

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคาร

THE INDOOR USE VISIBLE LIGHT COMMUNICATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-060-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคาร

THE INDOOR USE VISIBLE LIGHT COMMUNICATION



T148753



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 148753  
รับเดือนปี : 23 พ.ย. 2560

b. 00267102  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-EN-M-060-2

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคาร

THE INDOOR USE VISIBLE LIGHT COMMUNICATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-060-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE INDOOR USE VISIBLE LIGHT COMMUNICATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-EN-M-060-2



COPYRIGHT 2017

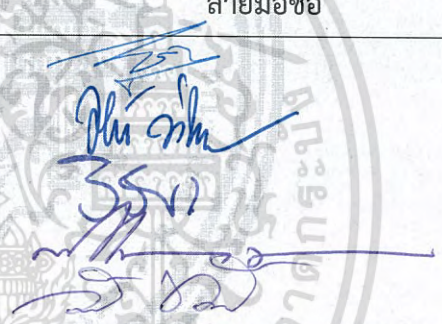
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคาร  
Thesis Title The Indoor use Visible Light Communication  
นักศึกษา นายปกภูมิ จันโทสถ  
รหัสประจำตัว 57601214  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-060-2

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ยุทธพงศ์	ทัฬหะดุจ	
รศ.อาจินต์	น่วมสำราญ	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.ทวีพล	ชื่อสัตย์	
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลา 15.00-17.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี)  
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคาร
นักศึกษา	นายปกภูมิ จันโทสถ
รหัสประจำตัว	57601214
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคารที่มีระบบ Redundant โดยใช้หลอดไฟ LED และ Photodiode เป็นตัวส่งและรับสัญญาณข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในส่งของเป็นข้อมูลแบบตัวอักษรที่มีการเข้ารหัสแบบ Manchester ใช้ LED แบบแสงขาว ระบบนี้ใช้กับ Photodiode สามชนิดได้แก่ VBPW24R, FDS10X10, OSD100-E การสำรองข้อมูล จะมีโมดูล LED สามชุดควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในกรณีที่โมดูลตัวใดตัวหนึ่งเกิดการเสียหาย และสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มีพอร์ต USB เช่น โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ เป็นต้น พร้อมทั้งยังมีการแจ้งเตือนสถานะสำหรับตรวจเช็คว่ามีโมดูลใดเกิดการทำงานผิดปกติขณะส่งข้อมูลให้ผู้ใช้ทราบถึงการทำงานผ่านหน้าจอมอนิเตอร์

**คำสำคัญ:** ระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย, li-fi, Redundant, Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	THE INDOOR USE VISIBLE LIGHT COMMUNICATION WITH WARRANTY SYSTEM
Student	Mr.Pokpoom Chanthosot
Student ID.	57601214
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Prof.Dr.Vittaya Tipsuwanporn

### Abstract

This thesis Communication presented with visible light for indoor use with a redundant system using the LED and Photodiode as transmitter and receiver data. The data used in the delivery of a letter with the encoding Manchester used LED light system is used with Photodiode three types VBPW24R, FDS10X10, OSD100-E backups are LED modules, three sets controlled by a microcontroller Arduino. in case one module failure. And can connect the device with a USB port, such as mobile phones, smart phones, computers, etc. It also has an alert status for checking that the module is a malfunction while sending data to the user to work through monitors.

**Keywords :**Visible Light Communication, li-fi, Redundant, Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ||และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคารที่มีการรับประกันข้อมูลในตัวระบบสำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจากคณาจารย์ซึ่งคอยให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการดำเนินงาน แนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการพิเศษ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพรและอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านเป็นอย่างสูง ซึ่งคอยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการพิเศษตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุน คอยให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ และคอยเป็นกำลังที่สำคัญอย่างยิ่งในการจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายปกภูมิ จันโทสถ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2. ทฤษฎี.....	4
2.2.1. หลักการของแสง (Principle of Light).....	4
2.2.2. อุปกรณ์แสง (Optical Device).....	5
2.2.3 OSI Model.....	8
2.2.4 รูปแบบสัญญาณข้อมูลไบนารี (Binary Data Signal Formats).....	8
2.2.5.สมการ Binary Manchester.....	10
2.2.6 ระบบ Redundant.....	12
2.2.7 ระบบ Star Redundant สำหรับ VLC.....	12
2.2.8 สมการของระบบ Star Redundant.....	13
2.2.9 รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอด (Baud Rate).....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณ.....	17
3.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล.....	21
3.3 ขั้นตอนดำเนินการทดสอบระบบทำงานต่อเนื่องกัน15วัน.....	25
3.4 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณภาครับ.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย.....	27
4.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล(data rates).....	27
แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode, FDS10x10 Photodiode และ OSD100-E Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจร	
4.2 ทดสอบการทำงานของระบบทำงานต่อเนื่อง 15 วัน.....	30
4.3 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณในส่วนของภาครับ .....	31
4.3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับโดยวัดค่าสัญญาณ.....	31
output ของทั้งภาคส่ง(สีส้ม)และภาครับ(สีเขียว) ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับ	
4.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับโดยวัดค่าสัญญาณ.....	34
output ของทั้งภาคส่ง(สีส้ม)และภาครับ(สีเขียว) ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับ	
4.3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับโดยวัดค่าสัญญาณ.....	39
output ของทั้งภาคส่ง(สีส้ม)และภาครับ(สีเขียว) ใช้ OSD100-E Photodiode เป็น ตัวรับ	
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	49
5.1.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล.....	49
(data rates)แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode และOSD100-E Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรภาคส่งสัญญาณ	
5.1.2 ทดสอบการทำงานของระบบทำงานต่อเนื่อง 15 วัน.....	49
5.1.3 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณในส่วนของภาครับ.....	50
5.2 ข้อจำกัดของระบบ.....	50
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอน.....	3
ตารางที่ 4.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล..... (baud rate) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode ที่ระดับ ความสูงต่างๆ	27
ตารางที่ 4. 2 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล..... (baud rate) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับ ความสูงต่างๆ	28
ตารางที่ 4.3 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล..... (baud rate) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ OSD100-E Photodiode ที่ระดับ ความสูงต่างๆ	28
ตาราง 4.4 ผลการทดลอง หาค่า bit error rate (%).....	29
ตาราง 4.5 ผลการทดลองส่งข้อมูลแบบตัวอักษรทั้งสาม line แบบสุ่มช่วงเวลา 10 ครั้งภายใน 1 วัน... จนครบ 15 วัน ทดสอบที่ห้องตรวจเด็กของโรงพยาบาลแม่สอด ใช้ OSD100-E Photodiode และ baud rate อยู่ที่ 9600 bit/s	30

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
รูปที่ 2.2	แสดงลักษณะของแอลอีดี.....	5
รูปที่ 2.3	อิเล็กทรอนิกส์อิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิดโชนตีพลีชั่น..... ซึ่งเป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน	6
รูปที่ 2.4	เมื่อต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระ ..... สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ	7
รูปที่ 2.5	แสดงลักษณะของโฟโตไดโอด (Photo Diode).....	8
รูปที่ 2.6	แสดงลักษณะการไบอัสไบอัสกลับ (Reverse Bias) ของโฟโตไดโอด.....	8
รูปที่ 2.7	การส่งข้อมูลแบบ VLC ที่อ้างอิงด้วย OSI Model	
รูปที่ 2.8	รูปแบบข้อมูลไบนารี.....	10
รูปที่ 2.9	รูปสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสแบบ binary Manchester codes..... ของฟังก์ชัน $S_{bl}(t)$ เมื่อส่ง bit 0	11
รูปที่ 2.10	รูปสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสแบบ binary Manchester codes ของฟังก์ชัน $S_{bl}(t)$ ..... เมื่อส่ง bit 1	11
รูปที่ 2.11	แผนผังระบบ star.....	13
รูปที่ 2.12	ระบบ Star Redundant ที่ถูกติดตั้งภายในอาคาร.....	13
รูปที่ 2.13	การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม.....	15
รูปที่ 2.14	การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม.....	15
รูปที่ 3.1	โปรแกรม Arduino Genuino.....	18
รูปที่ 3.2	วงจร Redundant.....	18
รูปที่ 3.3	วงจรตรวจสอบตัวโมดูล LED.....	19
รูปที่ 3.4	วงจรภาคส่งสัญญาณ.....	29
รูปที่ 3.5	วงจรภาครับสัญญาณ.....	20
รูปที่ 3.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno r3.....	21
รูปที่ 3.7	การเชื่อมต่อวงจรภาครับสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT (COM5).....	21
รูปที่ 3.8	แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิดVBPW2.....	22
รูปที่ 3.9	แสดงการตั้งค่า Baud rate ของวงจรภาครับ.(ก) และภาคส่งสัญญาณ (ข) ให้ตรงกัน.....	23
รูปที่ 3.10	หน้าต่างการส่งไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณโดยผ่านโปรแกรมTerminal v1.9b.....	23
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ส่งในการทดสอบ.....	24
รูปที่ 3.12	โปรแกรม Terminalv1.9b ของวงจรภาครับสัญญาณเมื่อทำการรับส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และVUJ อ่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิด FDS10x10 และ OSD100-E.....	25
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิด OSD100-E.....	25
รูปที่ 3.15 ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณและระบบ Redundant ในแนวตั้ง.....	25
รูปที่ 3.16 สถานที่ในใช้ในการทดสอบระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน.....	26
รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อภาคส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์.....	26
รูปที่ 3.18 รูปตัวอย่างที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคป.....	26
รูปที่ 4.1 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 0 cm.....	31
รูปที่ 4.2 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 5 cm.....	32
รูปที่ 4.3 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 10 cm.....	32
รูปที่ 4.4 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 15 cm.....	32
รูปที่ 4.5 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 20 cm.....	32
รูปที่ 4.6 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 30 cm.....	33
รูปที่ 4.7 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 40 cm.....	33
รูปที่ 4.8 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 50 cm.....	33
รูปที่ 4.9 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 0 cm.....	34
รูปที่ 4.10 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 5 cm.....	34
รูปที่ 4.11 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 10 cm.....	34
รูปที่ 4.12 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 15 cm.....	35
รูปที่ 4.13 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 20 cm.....	35
รูปที่ 4.14 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 30 cm.....	35
รูปที่ 4.15 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 40 cm.....	36
รูปที่ 4.16 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 50 cm.....	36
รูปที่ 4.17 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 70 cm.....	36
รูปที่ 4.18 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 90 cm.....	37
รูปที่ 4.19 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 110 cm.....	37
รูปที่ 4.20 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 130 cm.....	37
รูปที่ 4.21 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 150 cm.....	38
รูปที่ 4.22 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 170 cm.....	38
รูปที่ 4.23 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 190 cm.....	38
รูปที่ 4.24 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 210 cm.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้ไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 0 cm.....	39
รูปที่ 4.26	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 5 cm.....	39
รูปที่ 4.27	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 10 cm.....	39
รูปที่ 4.28	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 15 cm.....	40
รูปที่ 4.29	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 20 cm.....	40
รูปที่ 4.30	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 30 cm.....	40
รูปที่ 4.31	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 40 cm.....	41
รูปที่ 4.32	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 50 cm.....	41
รูปที่ 4.33	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 70 cm.....	41
รูปที่ 4.34	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 90 cm.....	42
รูปที่ 4.35	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 110 cm.....	42
รูปที่ 4.36	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 130 cm.....	42
รูปที่ 4.37	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 150 cm.....	43
รูปที่ 4.38	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 170 cm.....	43
รูปที่ 4.39	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 190 cm.....	43
รูปที่ 4.40	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 210 cm.....	44
รูปที่ 4.41	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 230 cm.....	44
รูปที่ 4.42	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 250 cm.....	44
รูปที่ 4.43	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 270 cm.....	45
รูปที่ 4.44	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 290 cm.....	45
รูปที่ 4.45	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 310 cm.....	45
รูปที่ 4.46	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 330 cm.....	45
รูปที่ 4.47	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 350 cm.....	46
รูปที่ 4.48	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 380 cm.....	46
รูปที่ 4.49	สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 410 cm.....	46
รูปที่ 4.50	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและประสิทธิภาพของ Photodiode ทั้งสามชนิด.....	47
รูปที่ 4.51	กราฟประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล Photodiode ทั้งสามชนิด.....	47
รูปที่ 4.52	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและ BER ของ Photodiode ทั้งสามชนิด.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และixต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคาร (Visible Light Communication, VLC) ใช้ White LED และ Photodiode เป็นตัวส่งและรับสัญญาณข้อมูล ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น นำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับ photogrammetric[1], สร้างระบบเน็ตเวิร์คไร้สาย[2] ซึ่งการสื่อสารแบบนี้ LED จะต้องกะพริบตลอดเวลาในระหว่างที่ส่งข้อมูลตาม Baud rate ที่ตั้งค่าเอาไว้ ผู้เขียนได้คาดการณ์ว่า LED จะยังคงทำงานได้ตลอดอายุการใช้งานของมันเพราะ LED มี Response Time ที่สูงจึงทนการกะพริบได้ดี แต่ตัวอุปกรณ์ที่ควบคุม LED อาจจะไม่สามารถทนต่อการกะพริบเป็นเวลานานๆได้เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับตัวระบบนี้ว่าจะทำงานได้ดีและไม่มีความผิดพลาด จึงได้สร้างระบบ Redundant ขึ้น

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่าน Visible Light
2. ต้องการสร้างระบบสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคารที่มีระบบสำรองข้อมูล
3. ศึกษาว่าระบบ Redundant จะทำงานได้ดีและไม่มีความผิดพลาดได้หรือไม่

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. ระบบสำรองข้อมูลจะสามารถรับกระกันข้อมูลและการทำงานของระบบได้ในกรณีที่โมดูล LED เกิดการเสียหาย
2. ระบบสำรองข้อมูลจะสามารถทำงานได้ต่อเนื่องเป็นเวลานานเกิน 15 วันได้โดยไม่หยุดพัก
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะสามารถแสดงสถานะของระบบและเสนอทางเลือกในการแก้ปัญหาให้กับผู้ใช้ เมื่อระบบเกิดความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้เริ่มขึ้นจากการศึกษาและสร้างระบบสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นทำให้มองเห็นถึงข้อจำกัดของระบบคือ ถ้าโมดูลภาคส่งเกิดการเสียหายจะทำให้ระบบจะไม่สามารถทำงานได้ จึงมีแนวคิดที่จะเริ่มพัฒนาส่วนของการ Redundant โดยออกแบบให้มีโมดูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นอีก 2 ชุด เพื่อให้สามารถทำงานแทนกันได้เมื่อโมดูลตัวใดตัวหนึ่งเกิดการเสียหาย การเพิ่มตัวโมดูลไม่เพียงแต่จะสำรองข้อมูลได้เพียงอย่างเดียว ยังทำให้เกิดช่องทางในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นอีกด้วย โมดูลทั้งสามนี้จะเชื่อมต่อกันโดยจะอาศัยหลักการพื้นฐานในเรื่องของ รูปแบบโครงสร้างของเครือข่ายแบบดาว (Star Network Topology)

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. สถานที่ที่ใช้ทดสอบภายในอาคารเป็นห้องปิดไม่มีแสงจากภายนอกรบกวน
2. ใช้ Photodiode ชนิด VBPW24R, FDS 10x10, OSD100-E และ White LED ยี่ห้อ LUMAX รุ่น XDD40 ในการทดสอบระบบ
3. ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ
4. ทดสอบความทนทานของระบบว่าจะทำงานได้นานติดต่อกันเป็นเวลา 15 วันหรือไม่

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับเทคโนโลยีการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านตามมองเห็น(Visible Light Communication, VLC)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาวงจร ภาคส่งสัญญาณ, ภาครับสัญญาณ และระบบสำรองข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและสร้างระบบ

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบระบบสำรองข้อมูลให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน 15 วันโดยไม่หยุดพัก

ขั้นตอนที่ 5 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ

ขั้นตอนที่ 6 สรุปงานวิจัยและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	ปี 2558							ปี 2559		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ขั้นตอนที่ 1	■	■								
ขั้นตอนที่ 2			■	■						
ขั้นตอนที่ 3					■	■				
ขั้นตอนที่ 4							■			
ขั้นตอนที่ 5								■	■	
ขั้นตอนที่ 6										■



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

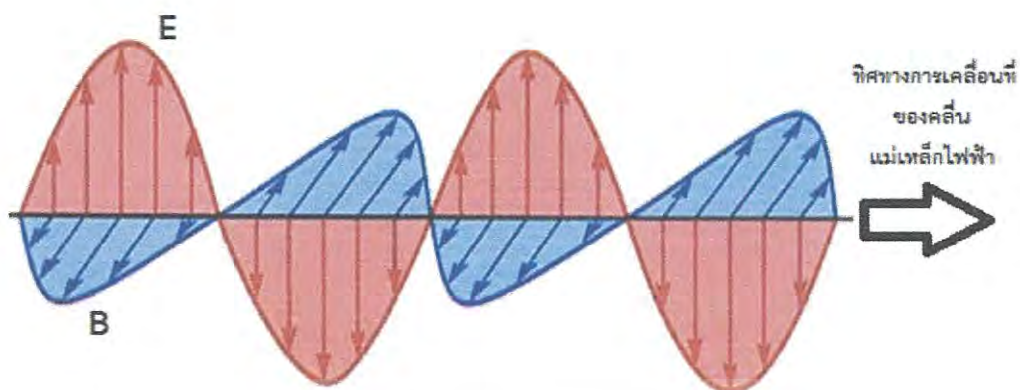
### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข [1] ได้นำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับ photogrammetric งานวิจัยหมายเลข [2] ได้มีการนำแสง LED ไปสร้างระบบเน็ตเวิร์คไร้สาย งานวิจัย [3] และ [4] ได้มีการศึกษาถึงการสื่อสารแบบ VLC โดยใช้หลอด LED และ photodiodes งานวิจัยหมายเลข [5] ได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเทคโนโลยี VLC ในการใช้งานภายในอาคาร งานวิจัยหมายเลข [6] ได้มีการศึกษาการสื่อสารแบบ VLC โดยวิธี modulation schemes and dimming support งานวิจัยหมายเลข [7] ได้มีการศึกษาโดยนำ LED Array มาใช้ในการสื่อสารบนท้องถนน งานวิจัยหมายเลข [8] ได้มีการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมของ LED Array ในการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ และจากงานวิจัยที่ [9] ทำให้ทราบว่าระบบที่กำลังจะทำในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Li-Fi เนื่องจากอยู่ในเงื่อนไข คือ ใช้ LED แสงสีขาวในการส่งข้อมูลและมี Photodiode เป็นตัวรับข้อมูล จากที่ผ่านมาจึงไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบ Redundant เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบนี้จะสามารถทำงานได้ตลอด จึงได้มีการทำงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้น

### 2.2 ทฤษฎี

#### 2.2.1 หลักการของแสง (Principle of Light)

ธรรมชาติของแสงนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาคกรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นคลื่น เรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งจะประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกันดังรูปที่ 2.1 ตามปกติแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงแต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางแสงจะมีการเปลี่ยนทิศทางไปเรียกว่าการสะท้อน และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกันเรียกว่า หักเหของแสงซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายว่าจะสามารถส่งสัญญาณแสง (Optical Signal) ออกไปยังช่องสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ได้เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเปิดเล็กๆ หรือช่องแคบที่ปล่อยให้คลื่นแสงผ่านไปได้ เรียกว่าการเลี้ยวเบน ส่วนการแทรกสอดนั้นเกิดจากการที่คลื่นแสงสองแนวเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการเสริมกันและหักล้างกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงต้องให้กำเนิดแสงความถี่เดียวกันและความยาวคลื่นเท่ากัน แสงเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็วสามร้อยล้านเมตรต่อวินาทีและมีความถี่อยู่ในย่านที่ตามองเห็น (Visible) อาจรวมถึงอินฟราเรด (Infrared) และอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)



รูปที่ 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

## 2.2.2 อุปกรณ์แสง (Optical Device)

เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง) และตัวรับแสงที่เป็นส่วนประกอบของการสื่อสารทางแสง โดยการส่งด้านนี้จะมีอุปกรณ์ส่งแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าของสัญญาณให้เป็นพลังงานแสง แล้วส่งผ่านอากาศออกไปให้ยังด้านรับ ซึ่งด้านรับนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้กลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (Transmitter Devices) อุปกรณ์ให้กำเนิดแสงเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้แสงออกมาโดยเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ซึ่งอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงที่นิยมใช้ในการสื่อสารด้วยแสง คือ LED

### 2.2.2.1 อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง)

แอลอีดี (LED) หรือไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode) ดังรูปที่ 2.4 LED มีหลายสีแต่สีที่เป็นที่ต้องการสำหรับการส่องสว่างมากที่สุดก็คือสีขาว แสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 480nm-750nm โดยสารเรืองแสง InGaN blue ที่เคลือบใน LED และจะถูกรวมกับสีฟ้าใน LED ซึ่งเกิดจากภายในของหลอดไฟ LED เมื่อได้รับเมื่อแรงดันจากภายนอกและเมื่อแสงสีฟ้ารวมกับสารเรืองแสงก็จะปล่อยแสงขาวออกมา



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

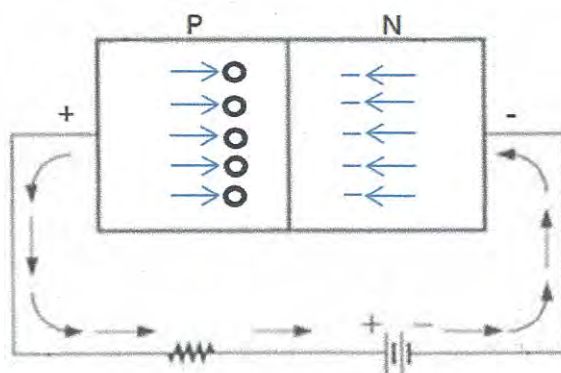
แอลอีดี (LED) เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้ ปกติ วัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เหลว เมื่อใส่สารเจือปนเข้าไปทำให้สามารถควบคุมการนำไฟฟ้า เรียกวธีนี้ว่าการโด๊ป (doping) โดยส่วนใหญ่หลอด LED ใช้สารอลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ (aluminium-gallium-arsenide) ย่อเป็น AlGaAs เป็นสารกึ่งตัวนำถ้ายังไม่ได้ใส่สารเจือปนพันธะใน อะตอมจะเกาะกันอย่างแข็งแรงไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ (ประจุไฟฟ้าลบ) จึงไม่นำกระแสแต่เมื่อทำการ โด๊ปโดยการเติมสารเจือปน จะทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนไป เมื่อใส่สารเจือปนแล้วทำให้ อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นเรียกว่าสารประกอบชนิด N ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ใส่สารเจือปน แล้วมีประจุไฟฟ้าบวกหรือโฮล เพิ่มขึ้นเรียกว่าสารประกอบชนิด P



รูปที่ 2.3 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิดโซนดีพลีชัน ซึ่งเป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน

ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด N ติดเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เชื่อมสายไฟเข้ากับ ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อยังไม่มีกระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระจาก N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไป ที่ P เกิดโซนดีพลีชัน (depletion) ขึ้นเมื่อโซนนี้มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้การเคลื่อนที่ของ อิเล็กตรอนอิสระยากขึ้นและอาจทำให้อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ เพื่อจะทำให้อิเล็กตรอน สามารถเคลื่อนที่ผ่านโซนนี้ได้สะดวกขึ้น จึงจำเป็นต้องทำให้โซนนี้แคบลงโดยการต่อขั้ว N ของไดโอด เข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ และขั้วบวกเข้ากับขั้ว P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน N ถูกดันด้วยแรงดัน ทางไฟฟ้าและประจุบวกขั้ว P จะถูกดันด้วยแรงทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันถ้าแรงดันทางไฟฟ้ามากพอโซน นี้จะแคบจนหายไปและอิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้สะดวกขึ้นในทางกลับกันถ้า ต่อขั้วลบเข้ากับ P และขั้วบวกเข้ากับ N จะทำให้การไหลของอิเล็กตรอนจะเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามโซนดีพลีชันจะหนาเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เมื่อต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

#### 2.2.2.2 อุปกรณ์ตัวรับแสง

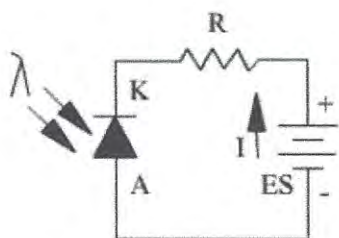
โฟโตไดโอด (Photo Diode) ดังรูปที่ 2.8 โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N และกึ่งตัวนำชนิด P โดยที่ระหว่างรอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส เป็นต้น โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด (IR Photo Diode)



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของโฟโตไดโอด (Photo Diode)

โฟโตไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นหรือมุมที่เหมาะสม จะทำให้มีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ

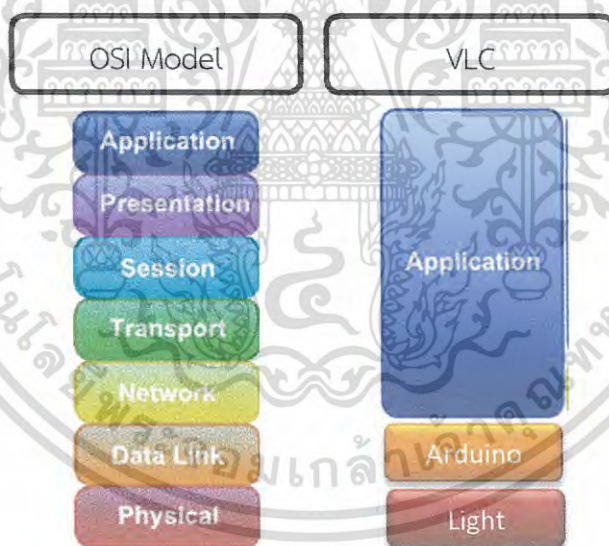
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการไบอัสไบอัสกลับ (Reverse Bias) ของโฟโตไดโอด

### 2.2.3 OSI Model

OSI Model หรือในชื่อเต็มคือ Open System Interconnection Model คือ Model ที่ใช้อ้างอิงการสื่อสาร (Reference Model) แบ่งออกเป็นชั้น (Layer) โดยมีตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงสเวร์คชั้น 7 (Layer 1 - 7) โดย Layer 1 จะอยู่ด้านล่างสุด และเรียงขึ้นไปจนถึง Layer 7 แต่ละ Layer ก็มีชื่อเรียกตามรูปแบบการสื่อสารและการทำงานของมันในแต่ละชั้น แต่เนื่องจาก ระบบที่สร้างนี้ ใช้แสงเป็นตัวกลางระหว่างตัวรับกับตัวส่ง จึงทำให้มีเพียง 3 Layer เปรียบเทียบดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 การส่งข้อมูลแบบ VLC ที่อ้างอิงด้วย OSI Model

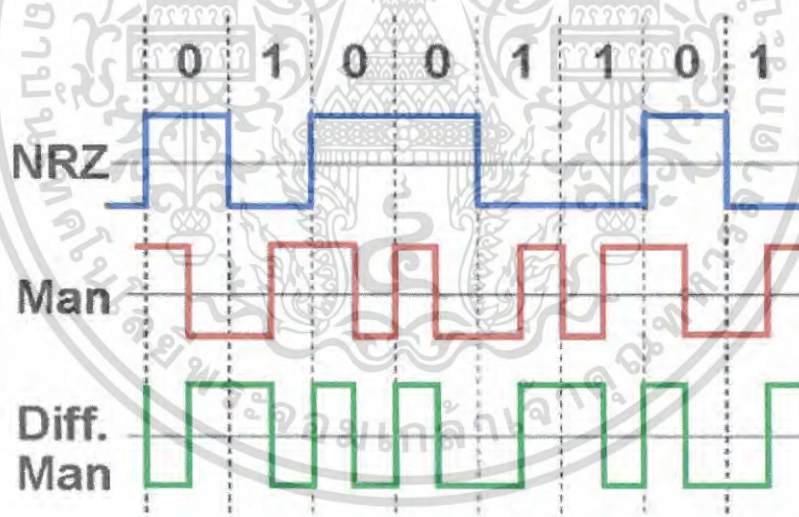
### 2.2.4 รูปแบบสัญญาณข้อมูลไบนารี (Binary Data Signal Formats)

ตามที่แสดงภาพที่รูปแบบสัญญาณข้อมูลซึ่งถูกส่งเป็นกระแสข้อมูลแบบอนุกรมอาจแสดงในรูปแบบของสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave Signal) ซึ่งมีความถี่แปรผันไปตามการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบบิต (Bit Pattern) ความถี่ของ "คลื่นสี่เหลี่ยม" ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของรูปแบบสัญญาณนั้นปกติจะต่ำลงเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4.1 Non Return to Zero (NRZ)

สัญญาณแบบ NRZ เป็นรูปสัญญาณแบบไบนารี 2 ระดับพื้นฐาน (Basic Two-level Binary Form) โลจิก 1 คือ ที่ระดับหนึ่ง (+V ในรูปที่ 1.12 (a)) และ 0 คือระดับโวลเตจสายดินที่ใช้อ้างอิง (Ground Reference voltage Level) คือ 0 V ในรูปที่ 1.12 (a) ที่แสดงในภาพเป็นไซน์เวฟพื้นฐาน (Fundamental Sine Wave) สำหรับข้อมูลปิดเปิดสูงสุด (Highest Switching data Rate) ที่ใช้สำหรับอัตราข้อมูลแต่ละแบบ แบบ NRZ นั้นอัตรานี้เกิดขึ้นเมื่อข้อมูลประกอบด้วย 1 และ 0 สลับกัน ไซน์เวฟ พื้นฐานนี้เป็นอัตราสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงที่ต้องใช้โดยระบบตามแบบข้อมูลที่กำหนดให้และต้องไม่เกินข้อจำกัดขั้นสูง (Upper Limit) ของความกว้างแถบในระบบนั้น โดยทั่วไปรูปแบบสัญญาณข้อมูลไบนารีแบบนี้เป็นแบบง่ายที่สุด เนื่องจากใช้เพียงเครื่องมือเปิดเพื่อให้เกิดโลจิก 1 หรือ ปิดซึ่งเป็นสายดิน (Ground) หรือ 0V ให้เกิดโลจิก 0 เช่น ระบบซึ่งมีความกว้างแถบ 8,000 Hz ใช้ข้อมูลแบบ NRZ นั้นสามารถหาอัตราปิดสูงสุดได้ดังนี้ ข้อมูล NRZ 2 บิตซึ่งเป็นค่า 1 และ 0 สลับกันนั้นทำให้เกิดความถี่พื้นฐานสูงสุด จำนวน 2 บิต ดังกล่าวทำให้เกิดไซน์เวฟพื้นฐานขึ้น 1 รอบ (Cycle) ดังนั้นอัตราข้อมูล (Data Rate) จึงเป็น 2 เท่าของความถี่พื้นฐานนั้นในที่นี้คือ  $8,000 \times 2 = 16,000$  bps



รูปที่ 2.8 รูปแบบข้อมูลไบนารี

### 2.2.4.2 Manchester Encoding (หรือ Biphase)

Manchester Encoding เป็นรูปแบบรหัสสัญญาณ coding Signal Form) มากกว่ารูปแบบสัญญาณดิจิทัลจริง ๆ กระแสข้อมูลถูกป้อนผ่านวงจรที่เสริม (Complement) หรือการกลับ (Invert) ครึ่งแรก (First Half) ของบิตข้อมูลโดยครึ่งหลังจะไม่ถูกกลับจะเห็นว่าโลจิก 1 ตัวแรกจะอยู่ในระดับล่าง (Low Level) ระหว่างครึ่งแรกของช่วงบิตแรกและอยู่ในระดับบน (High Level) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างครึ่งหลัง ที่ทำเช่นนี้มีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับแบบ RZ คือการทำให้เกิดการส่งที่มีศูนย์กลาง แต่ละบิตข้อมูลอย่างสม่ำเสมอเพื่อช่วยในการจับสัญญาณนาฬิกา จะเห็นได้ว่าสัญญาณนาฬิกาจะทำให้สอดคล้องกับการส่งที่จุดกึ่งกลางของแต่ละบิต และข้อมูลนั้นจะถูกจับได้จากครึ่งหลัง ตามด้วยการส่งสัญญาณนาฬิกาของแต่ละข้อมูล (Data Period)

### 2.2.4.3 Differential Manchester Encoding

รูปแบบนี้ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจะเลื่อนการตรวจจับ (Detection) ของระดับข้อมูลที่เกิดขึ้นจากครึ่งหลังของระยะข้อมูลมาเป็นที่เริ่มต้นของระยะข้อมูล ซึ่งในระบบ Manchester Encoding นั้น แต่ละบิตข้อมูลถูกส่งที่กึ่งกลางของระยะบิต (Bit Period) แต่ในระบบนี้ระดับของโลจิกถูกทำให้เกิดขึ้นโดยการเปรียบเทียบบิตข้อมูลที่อยู่ใกล้กัน ถ้าเปรียบเทียบแล้วพบว่าบิตที่สอง (Second Bit) เป็นโลจิก 1 ระดับของครึ่งแรกของเวลาบิต (Bit Time) ของมันจะเป็นเช่นเดียวกับระดับครึ่งหลังของบิตก่อนหน้านั้น ถ้าบิตที่สองเป็น 0 ครึ่งแรกของเวลาบิตที่สองจะถูกกลับให้เป็นระดับหลัง (Second-half Level) ของบิตแรก ทั้งสองกรณีดังกล่าวครึ่งหลังของระยะเวลาบิตที่สองคือส่วนเสริมของครึ่งแรก

### 2.2.5 สมการ Binary Manchester

สมการ Binary Manchester [1] คือสมการที่นำสัญญาณข้อมูลแบบ Digital มาเข้ารหัส และถอดรหัส โดยงานวิจัยนี้จะใช้ Manchester แบบ Differential Manchester Encoding

#### 2.2.5.1 สมการ Binary Manchester เข้ารหัส

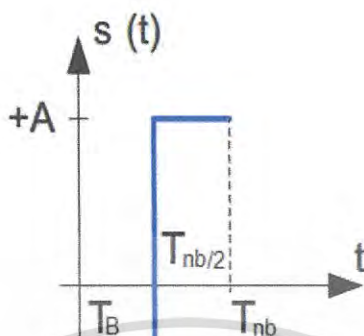
bit 1 จะถูกแปลงเป็น  $[+1, -1]$  และ bit 0 จะถูกแปลงเป็น  $[-1, +1]$  เราได้สร้างฟังก์ชันของสัญญาณสัญญาณไฟฟ้า  $x(t)$  [10] เพื่อขับหลอด LED Array ให้เปล่งแสงตามข้อมูลฝังอยู่

$$x(t) = b + \sum_n S_{bl}(t), \quad (1.0)$$

โดยที่  $b$  เป็นสัญญาณรบกวนของวงจรภาคส่ง  $n$  คือตำแหน่งของ bit แต่ละ bit  $S_{bl}(t)$  คือฟังก์ชันการทำงานในการส่ง bit 0 และ bit 1 เมื่อ  $T_{nb}$  คือเวลาที่ส่ง bit หนึ่ง bit  $T_B$  คือเวลาตั้งแต่เริ่มต้นส่ง bit ที่ 1 จนถึงเวลาก่อนหน้าที่จะส่ง bit ปัจจุบัน  $+A$  คือระดับสัญญาณที่รับรู้ว่าเป็น high ส่วน  $-A$  คือระดับสัญญาณที่รับรู้ว่าเป็น low ฟังก์ชันการทำงานในการส่ง bit 0 และ bit 1 เป็นดังนี้

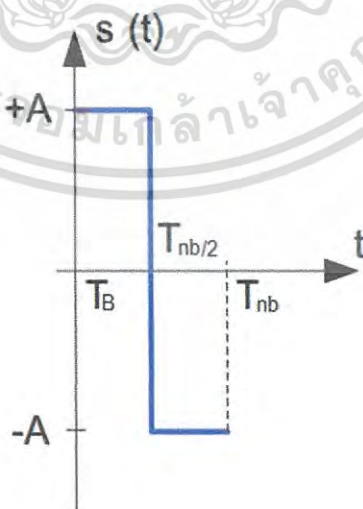
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{b0}(t) \begin{cases} -A; T_B \leq T \leq T_{nb}/2 \\ +A; T_{nb}/2 \leq T \leq T_{nb} \end{cases} \quad (1.1)$$



รูปที่ 2.9 รูปสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสแบบ binary Manchester codes ของฟังก์ชัน  $S_{b0}(t)$  เมื่อส่ง bit

$$S_{b1}(t) \begin{cases} +A; T_B \leq T \leq T_{nb}/2 \\ -A; T_{nb}/2 \leq T \leq T_{nb} \end{cases} \quad (1.2)$$



รูปที่ 2.10 รูปสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสแบบ binary Manchester codes ของฟังก์ชัน  $S_{b1}(t)$  เมื่อส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5.2 สมการ Binary Manchester ถอดรหัส

สัญญาณไฟฟ้าที่รับได้จาก LED ไปที่วงจร receiver วงจร receiver จะแปลงสัญญาณแสงที่รับได้มาเป็นสัญญาณเชิงไฟฟ้า เราจึงได้ฟังก์ชันสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับเป็น  $y(t)$  [10] จึงได้ว่า

$$y(t) = \sum_n R(S), \quad (2.0)$$

$$R(S) \begin{cases} +A; & A_L \leq S \leq A_H \\ -A; & S < A_L \end{cases}, \quad (2.1)$$

$$S = s_r - b_R, \quad (2.2)$$

$n$  คือสัญญาณที่เข้ามาในวงจรภาครับ  $R(S)$  จะมีหน้าที่ในการตรวจเช็คสัญญาณที่เข้ามาว่าเป็นสถานะ high หรือ low มีการทำงานดังสมการ (2.1) เมื่อ  $S$  คือสัญญาณที่ถูกหักล้างภายในวงจรแล้วมีค่าเท่ากับสัญญาณที่รับได้จาก Photodiode ( $s_r$ ) ลบกับสัญญาณลบภายในตัววงจรภาครับ ( $b_R$ ) ดังสมการ (2.2)  $A_L$  คือเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเป็นสถานะ low ส่วน  $A_H$  คือเกณฑ์ที่ยอมรับว่าเป็นสถานะ high

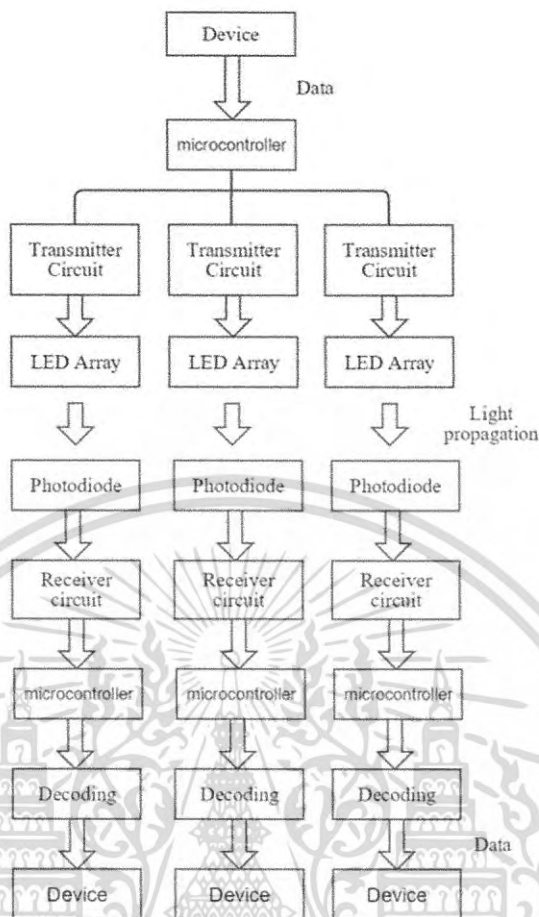
### 2.2.6 ระบบ Redundant

คือระบบที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่าจะมีปัญหาเกิดขึ้นก็ตาม เช่น โรงไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน และอื่นๆ จึงทำให้ระบบ มีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือ ซึ่งระบบ Redundant ที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร VLC นี้ จะเลือกใช้ระบบ Star Redundant เนื่องจากง่ายต่อการติดตั้งและการขยายเครือข่าย

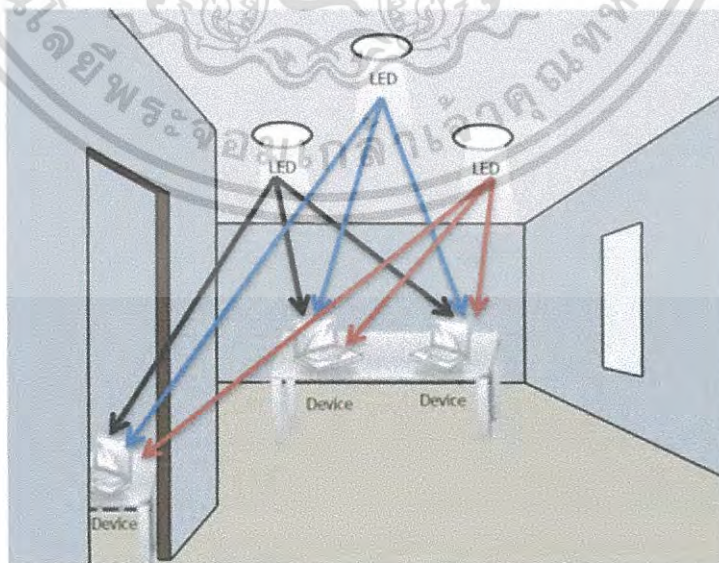
### 2.2.7 ระบบ Star Redundant สำหรับ VLC

ระบบ Star Redundant ของงานวิจัยนี้ถูกสร้างมาเพื่อแก้ปัญหาในกรณีที่โมดูล LED ชุดใดชุดหนึ่งเสียหายให้สามารถทำงานแทนกันได้ จะรูปที่ 1 ทำให้ทราบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno r3 ทำหน้าที่เป็นเหมือนสมองของระบบ และอินเตอร์เฟซกับตัวอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งข้อมูลและอุปกรณ์ที่รองรับข้อมูลแทน UART ในงานวิจัยเดิม [1] เนื่องจากสามารถโปรแกรมให้ความคุมตัวโมดูล LED ทั้งสาม ถอดรหัส Manchester codes จากเดิมที่เราต้องพึ่งพาคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวในการเข้าและถอดรหัส Manchester codes จึงทำให้ระบบทำงานได้ด้วยตนเองเพียงมีแหล่งส่งข้อมูลเช่น สมาร์ทโฟน เชื่อมต่อกับระบบก็สามารถรับส่งข้อมูลได้จากการที่เราได้เพิ่มโมดูล LED ในระบบให้เป็น 3 ชุดทำให้เราสามารถสร้าง line ในการสื่อสารในระบบเป็น 3 line อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แผนผังระบบ Star Redundant



รูปที่ 2.12 ระบบ Star Redundant ที่ถูกติดตั้งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.8 สมการของระบบ Star Redundant

การทำงานของระบบ Star Redundant ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมชุดโมดูล LED ทั้ง 3 ผ่าน ตัว Relay โดยจ่ายสัญญาณ on หรือ off ให้ Relay ต่างๆที่ควบคุม LED และ Ground ของโมดูลนั้นๆจากระบบ Star Redundant ที่ออกแบบไว้ในรูปที่ 1 สามารถเขียนดังสมการได้ดังนี้ [11]

$$M_{LED} = MCU(A, B, C) \quad (1.0)$$

$$MCU(0,1,1) \begin{cases} led_1 = 0 \\ led_2 = 1 \\ led_3 = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

$$MCU(1,0,1) \begin{cases} led_1 = 1 \\ led_2 = 0 \\ led_3 = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

$$MCU(1,1,0) \begin{cases} led_1 = 0 \\ led_2 = 1 \\ led_3 = 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

$$MCU(0,1,0) \begin{cases} led_1 = 0 \\ led_2 = 1 \\ led_3 = 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

$$MCU(1,0,0) \begin{cases} led_1 = 1 \\ led_2 = 0 \\ led_3 = 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

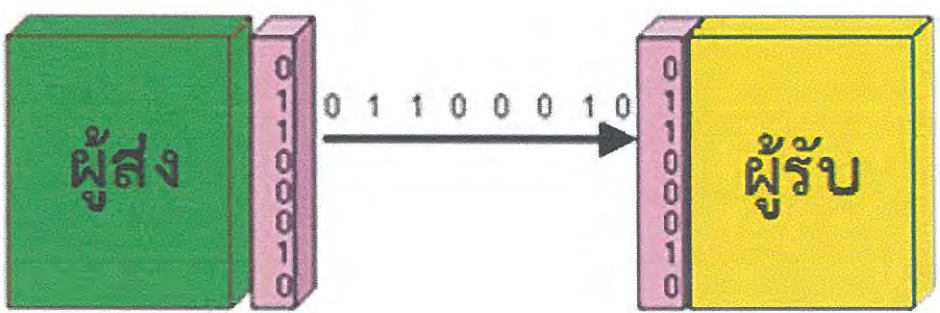
$$MCU(0,0,1) \begin{cases} led_1 = 0 \\ led_2 = 0 \\ led_3 = 1 \end{cases} \quad (1.5)$$

เมื่อ  $M_{LED}$  คือโมดูล LED ที่จะทำหน้าที่ Redundant ในกรณีที่โมดูลตัวใดตัวหนึ่งเกิดการเสียหาย  $MCU(A, B, C)$  คือฟังก์ชันการตัดสินใจของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อโมดูล LED ตัวใดตัวหนึ่งเกิดการเสียหายโดยที่  $A, B, C$  สถานะของวงจรตรวจสอบตัวโมดูล LED ที่ติดอยู่กับตัวโมดูลที่ 1, 2, 3 ในกรณีที่โมดูลตัวนั้นๆเกิดการเสียหายให้แทนด้วย 0 ถ้าทำงานได้ตามปกติให้แทนด้วย 1

## 2.2.9 รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอด (Baud Rate)

อัตราบอด (Baud Rate) คือความเร็วในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาทีซึ่งจะบอกจำนวนบิตที่รับและส่งในเวลา 1 วินาทีเช่นส่งข้อมูลด้วยอัตรา 9600 บิตต่อวินาทีก็คือการส่งข้อมูลตัวอักษรขนาด 10 บิต (บิต Start 1 บิตบิตข้อมูล 8 บิตบิต Stop 1 บิต) ได้ 960 ตัวอักษรใน 1 วินาที

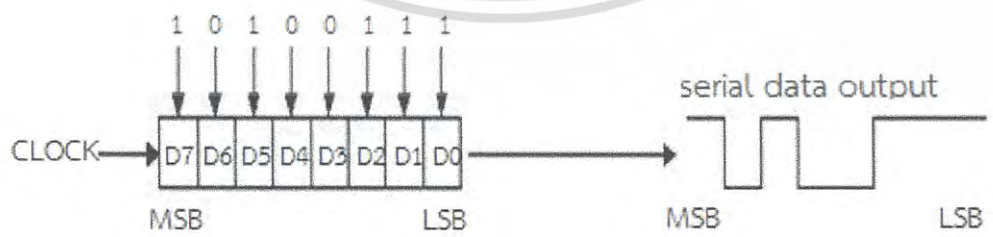
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป

อัตราบอด	ช่วงเวลาของแต่ละบิต
110	9.91 ms
150	6.67 ms
300	3.33 ms
600	1.67 ms
1200	0.833 ms
2400	0.417 ms
4800	0.208 ms
9600	0.104 ms
19200	0.052 ms



รูปที่ 2.14 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.14 เป็นการแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรมโดยเริ่มแรกข้อมูลแบบขนานจะถูกนำไปเก็บไว้ใน Shift Register หลังจากนั้นจะใช้สัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนค่าในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ออกมาทีละบิต (โดยการเลื่อนค่าไปทางขวามือ) โดยบิตแรกที่ถูกเลื่อนออกมาคือบิต LSB (least significant bit) ของข้อมูลและบิตที่สองที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิตที่อยู่ถัดจากบิต LSB และบิตต่อไปสำหรับบิตสุดท้ายที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิต MSB (most significant bit) ของข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในหัวข้อ การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคารที่มีระบบสำรองข้อมูล (Redundant) ได้ทำการออกแบบวงจรภาคส่งสัญญาณทางแสงและวงจรภาครับสัญญาณทางแสงของโมเดลต้นแบบ (VLC) โดยใช้โมดูล White LED ที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และเป็นที่ยอมรับคือยี่ห้อ LUMAX รุ่น XDD40 เป็นตัวส่งสัญญาณทางแสง และใช้ตัวรับสัญญาณทางแสง 3 ชนิดที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อแสงสีขาวยุติคือ Photodiode ชนิด VBPW24R, FDS10x10 และ OSD100-E จากนั้นทำการทดลองและประเมินความสามารถด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลของโมเดลต้นแบบเมื่อใช้ตัวรับแสงที่แตกต่างกัน 3 ชนิด และทดสอบเปิดใช้งานต่อเนื่อง 15 วันในห้องตรวจเด็กโรงพยาบาลแม่สอด ตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งการสร้างการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับใช้งานภายในอาคารที่มีระบบสำรองข้อมูล (Redundant) มีการดำเนินงานดังนี้

#### 3.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณ

ในขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณเป็นการศึกษาและออกแบบวงจร เพื่อให้ได้วงจรมีกระแส, แรงดันและคุณลักษณะ ที่เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ

##### 3.1.1 วงจร Redundant

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno r3 เขียนโปรแกรมผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า Arduino Genuino ให้ระบบมีการทำงานดังนี้ หลังการทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เป็นแหล่งส่งข้อมูลกับภาคส่งแล้วอุปกรณ์ที่รองรับข้อมูลกับภาครับใน line ต่างๆแล้ว ทางด้านภาคส่งจะให้ผู้ใช้เลือกว่าต้องการส่งข้อมูลไปที่ line การส่งข้อมูลใด เมื่อผู้ใช้เลือกแล้วคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งข้อมูลไปบอก line นั้นว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลให้เปิดระบบแสดงผลข้อมูล หลังจากนั้นก็จะสามารถส่งข้อมูลได้เมื่อส่งเสร็จแล้วก็จะส่งข้อมูลไปบอกภาครับให้ทราบและทำการปิดระบบแสดงผลข้อมูล ภาครับเมื่อมีข้อความถูกส่งมาจากภาคส่งว่าเป็น line ของตนเองก็จะมี การแสดงข้อความให้ผู้ใช้ที่รออยู่ในด้านของภาครับทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูล และแสดงผลข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลให้ปิดการแสดงผลก็จะปิดระบบแสดงผลข้อมูลลง ในกรณีที่โมดูลใน line ที่เลือกเสียหายระบบจะแจ้งให้ทราบและเสนอทางเลือกให้ใช้โมดูลที่ใกล้เคียงกับ line นั้นทำหน้าที่ส่งข้อมูลแทน

```

36 _TX_Manchester_SYSTEM | Arduino 1.5.12
File Edit Sketch Tools Help

_TX_Manchester_SYSTEM
}
else if (luz1>30&&luz2<30&&luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ
{

    Serial.print("\n LED 3,1 FAIL LED 1 ONLINE");

}

else if (luz1<30&&luz2>30&&luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ
{

    Serial.print("\n LED 3,1 FAIL LED 2 ONLINE");

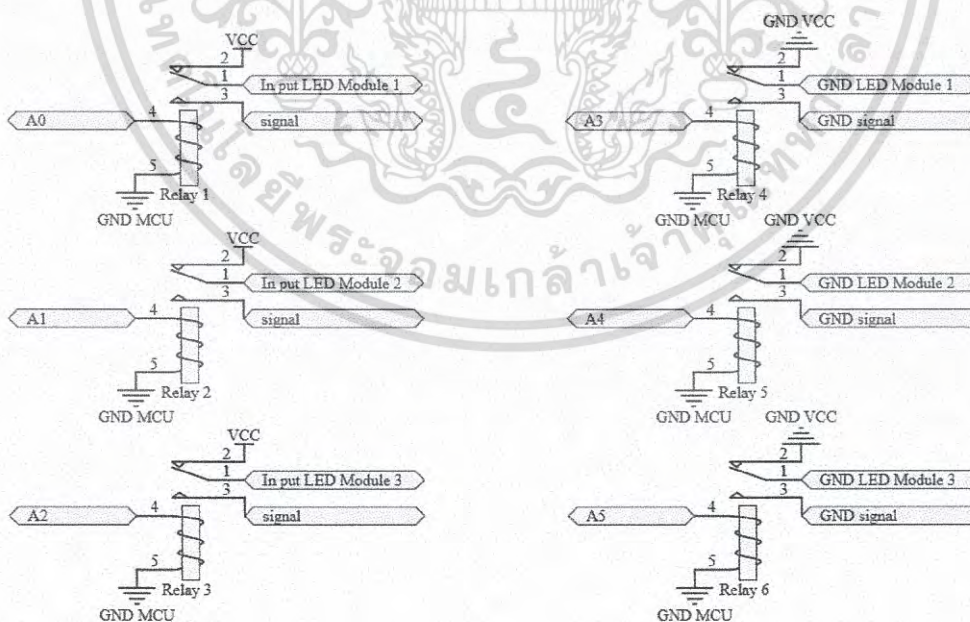
}

Serial.print("\n 1=LED1, 2=LED2, 3=LED3");
}
void loop ()
{
    SYSTEM();
}

void SYSTEM() //Configuracion de los valores del LDR
{
    valor_sensor1 = analogRead(LDR1);
    luz1 = (5.0 * valor_sensor1 * 100.0)/1024.0;
    valor_sensor2 = analogRead(LDR2);
    luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;
    valor_sensor3 = analogRead(LDR3);
    luz3 = (5.0 * valor_sensor3 * 100.0)/1024.0;

    //Serial.print(luz1); //แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer
    //Serial.print(" Luz1 "); //แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer
    //Serial.print(luz2); //แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer
    //Serial.print(" Luz2 "); //แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer
    //Serial.print(luz3); //แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer
}
    
```

รูปที่ 3.1 โปรแกรม Arduino Genuino



รูปที่ 3.2 วงจร Redundant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

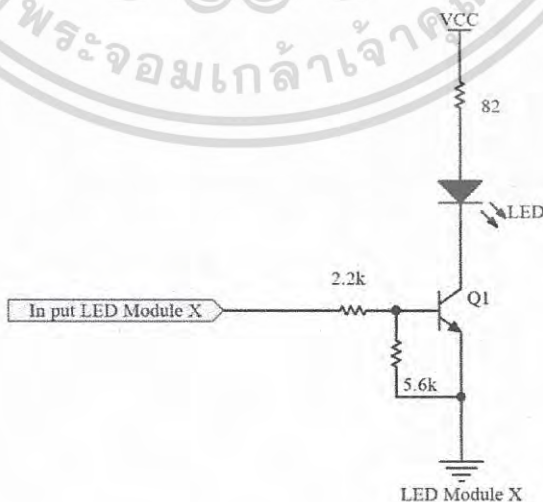
### 3.1.3 วงจรตรวจสอบตัวโมดูล LED

วงจรมีหน้าที่ในการตรวจสอบตัวโมดูล LED ว่าตัวโมดูลยังทำงานอยู่หรือไม่ ใช้ LDR ในการตรวจสอบโมดูล โดยติดตั้ง LDR ติดกับหลอด LED ของโมดูลนั้นๆหนึ่งหลอดจากนั้นต่อสายสัญญาณ output เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อโมดูลเกิดการเสียหายหรือไม่ทำงานจะทำให้ความต้านทานในตัว LDR เพิ่มมากขึ้น สัญญาณ output ที่ส่งไปที่ตัว LDR ก็จะลดต่ำลงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รู้ว่าโมดูลนั้นๆเกิดการเสียหาย



รูปที่ 3.3 วงจรตรวจสอบตัวโมดูล LED

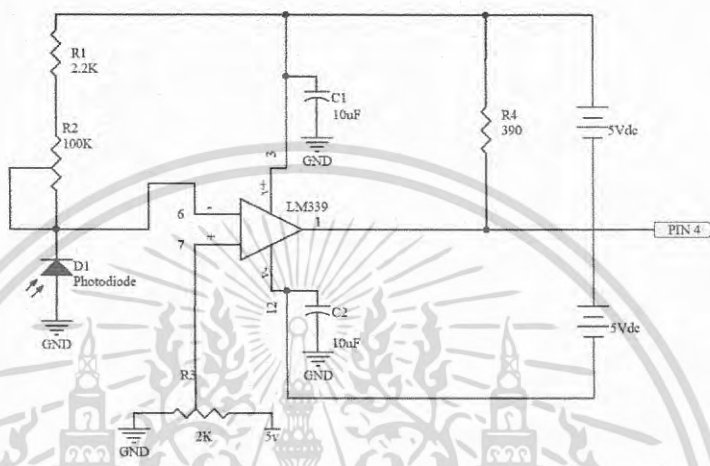
### 3.1.3 วงจรภาคส่งสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่งสัญญาณ** เอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรรภาคส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.2 นี้ โดย LEDs จะถูกควบคุมการทำงานด้วย switching transistor เบอร์ MJE15034G โดยทรานซิสเตอร์ในวงจรรภาคส่งสัญญาณนี้ทำหน้าที่เป็น สวิตช์ของโมดูล LED โดยที่ขา Base ของทรานซิสเตอร์จะต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.1.4 วงจรรภาครับสัญญาณ



รูปที่ 3.5 วงจรรภาครับสัญญาณ

หลักการทำงานของวงจรรภาครับสัญญาณดังรูปที่ 3.4 นี้ สำหรับวงจรรภาครับสัญญาณเป็น วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) โดยจะใช้ LM 339 ซึ่งมีทำหน้าที่เปรียบเทียบ แรงดัน (Quad comparator) โดยป้อนแรงดันอินพุท  $V_{in}$  ที่ ขา 6 (non-inverting input) และป้อน แรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) เข้าที่อินพุทขา 7 (inverting input) จะทำให้เกิดผลต่างระหว่าง แรงดันอินพุท ( $V_d$ ) ถ้าหากป้อนแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) เข้าที่อินพุท ขา 7 (inverting input) ด้วยค่า 0 และป้อนแรงดันอินพุทเข้าที่ ขา 6 (non-inverting input) ด้วยค่าที่มากกว่า 0V จะทำให้แรงดัน เอาท์พุทเท่ากับ  $+V_{sat}$  แต่ถ้าป้อนแรงดันอินพุทเข้าที่ ขา 6 (non-inverting input) ด้วยค่าที่น้อยกว่า 0V จะทำให้แรงดันเอาท์พุทเท่ากับ  $-V_{sat}$  ซึ่งเอาท์พุทที่ได้มีกระแสค่อนข้างน้อยมากจึงใช้ R4 390  $\Omega$  ต่อ ระหว่างขาเอาท์พุทที่ขา 1 กับไฟเลี้ยง +5V เพื่อเพิ่มกระแสให้เพียงพอสำหรับต่อเข้ากับ pin 4 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ของภาครับ

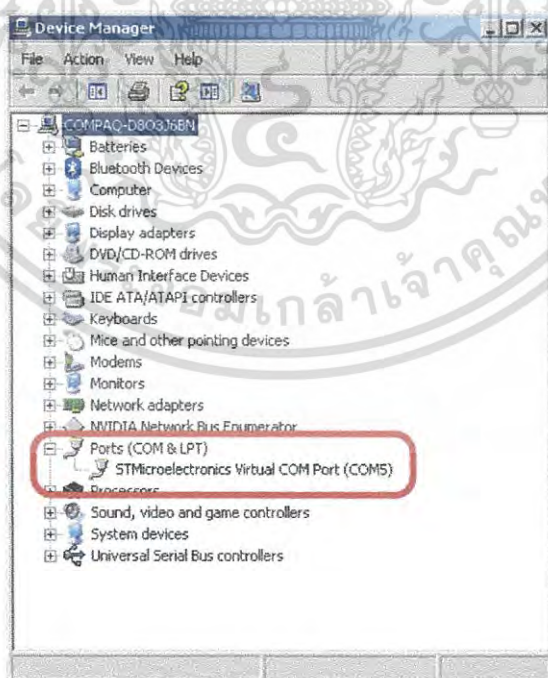
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno r3

### 3.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล

1. ติดตั้งวงจรรักษาับสัญญาณและวงจรรักษาส่งสัญญาณในแนวตั้ง โดยให้วงจรรักษาับสัญญาณอยู่ด้านล่างและวงจรรักษาส่งสัญญาณอยู่ด้านบน
2. เชื่อมต่อวงจรรักษาับสัญญาณและวงจรรักษาส่งสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง โดยผ่านโปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่ 3.6



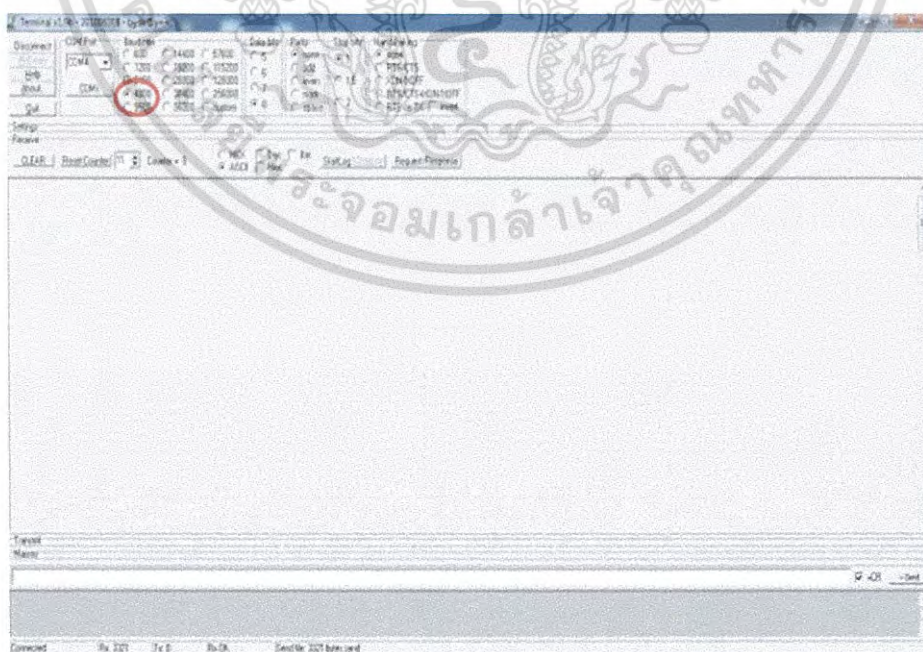
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อวงจรรักษาับสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT (COM5)

3. ทดลองโดยใช้ Photodiode ชนิดVBPW24R ในวงจรรักษาับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



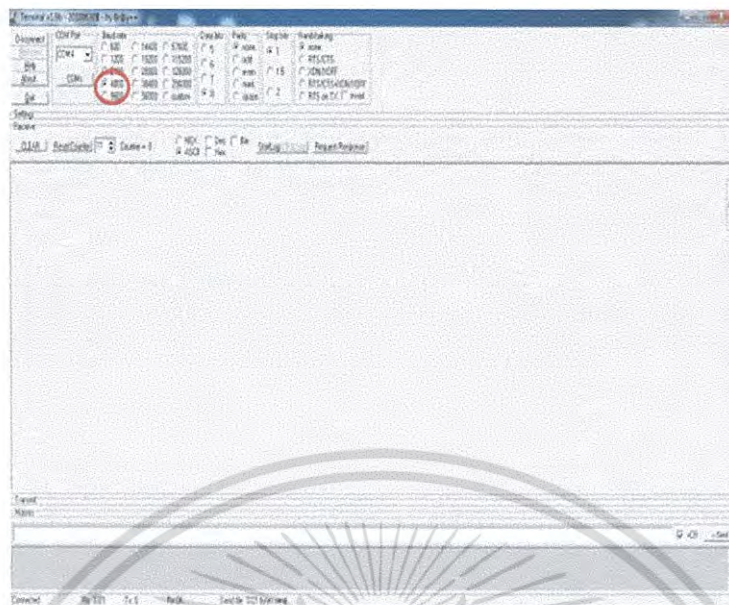
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิดVBPW2

4. ปรับระยะความสูงที่สูงสุดของการรับและส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (VLC) และเลื่อนPhotodiode ให้ได้มุม field of view (FOV) ที่ตำแหน่ง  $0^{\circ}$  องศา
5. ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าที่เหมาะสมกับระยะการรับและส่งสัญญาณ
6. ทำการทดสอบการรับและส่งสัญญาณโดยตั้งค่า Baud rate ที่โปรแกรม Terminal v1.9b ที่วงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณให้ตรงกัน ดังรูปที่ 3.8



(ก) หน้าต่างโปรแกรม Terminal v1.9b วงจรภาครับสัญญาณ

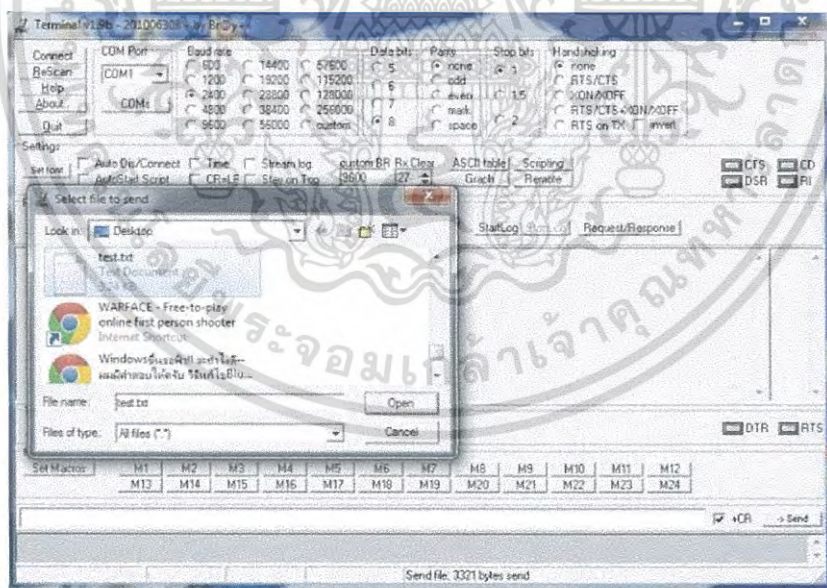
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) หน้าต่างโปรแกรม Terminal v1.9b วงจรภาคส่งสัญญาณ

รูปที่ 3.9 แสดงการตั้งค่า Baud rate ของวงจรภาครับ.(ก) และภาคส่งสัญญาณ (ข) ให้ตรงกัน

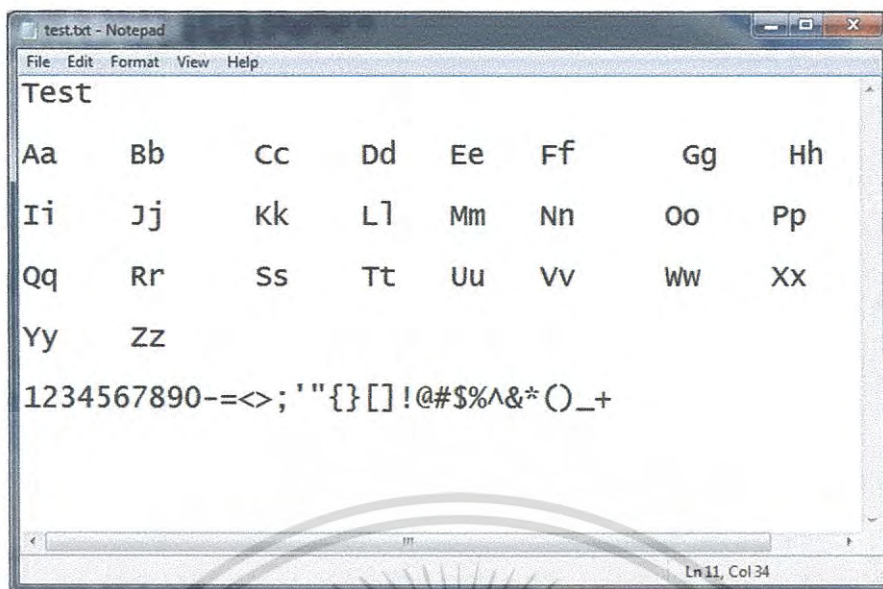
## 7. ส่งไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณโดยผ่านโปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่3.9



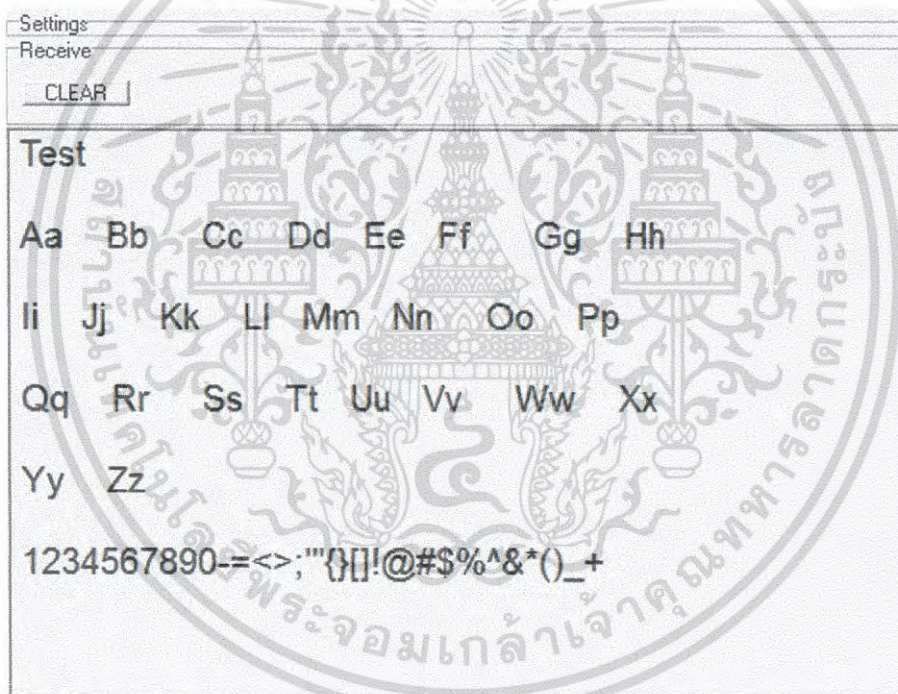
รูปที่ 3.10 หน้าต่างการส่งไฟล์ข้อมูลจากวงจรภาคส่งสัญญาณโดยผ่านโปรแกรมTerminal v1.9b

## 8. ตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์ข้อมูลของวงจรภาครับสัญญาณจากโปรแกรม Terminalv1.9b ดังรูปที่3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างข้อมูลที่ใส่ส่งในการทดสอบ



รูปที่ 3.12 โปรแกรม Terminalv1.9b ของวงจรรักษาสัญญาณเมื่อทำการรับส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว

9. บันทึกค่า Data rate ที่มีค่ามากที่สุดและ Error rate (ถ้ามี) ของการรับส่งข้อมูล
10. เพิ่มระยะความสูงของการรับและส่งสัญญาณลงครึ่งละ 10 cm จนถึงที่ระยะความสูงที่สุดที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 5-10
11. ทดลองโดยใช้ Photodiode ชนิด FDS10x10 และ OSD100-E ในวงจรรักษาสัญญาณ

ตั้งรูปที่ 3.11 และ 3.12 และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 4-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิด FDS10x10



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิด OSD100-E

### 3.3 ขั้นตอนดำเนินการทดสอบระบบทำงานต่อเนื่องกัน15วัน

1. ติดตั้งวงจรรภาคส่งสัญญาณและระบบ Redundant ในแนวตั้งโดยให้วงจรรภาคส่งสัญญาณอยู่ด้านบน

ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ติดตั้งวงจรรภาคส่งสัญญาณและระบบ Redundant ในแนวตั้ง

2. เชื่อมต่อวงจรรภาคส่งสัญญาณและระบบ Redundant เข้ากับคอมพิวเตอร์
3. ติดตั้งวงจรรภาครับทั้ง 3 line และเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์
4. ทดสอบส่งข้อมูลแบบตัวอักษร ทั้งสาม line แบบสุ่มช่วงเวลา 10 ครั้งภายใน 1 วัน จนครบ15วันสถานที่ที่ใช้ทดสอบระบบคือ ห้องตรวจเด็กของโรงพยาบาลแม่สอด ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบระบบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน

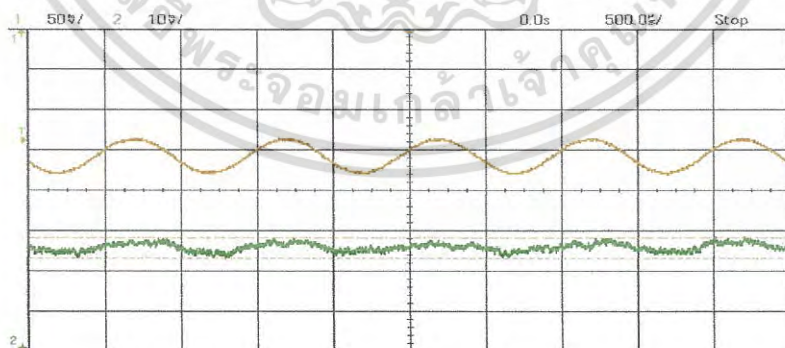
### 3.4 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณภาครับ

1. ติดตั้งวงจรภาคส่งสัญญาณและภาคส่งสัญญาณให้พร้อมใช้งาน
2. เชื่อมต่อวงจรภาคส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อภาคส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดและบันทึกรูปของสัญญาณที่ได้จากภาครับและภาคส่งที่ระยะต่างๆ เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของสัญญาณที่รับได้



รูปที่ 3.18 รูปตัวอย่างที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคป

4. นำค่าที่ได้จากรูปไปคำนวณหาประสิทธิภาพของสัญญาณภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อทำการออกแบบวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบความสามารถด้านต่างๆ โดยมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode, FDS10x10 Photodiode และ OSD100-E Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ

4.2 ทดสอบระบบทำงานต่อเนื่องกัน15วัน

4.3 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณในส่วนของภาครับ

**4.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode และ OSD100-E Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ**

ตาราง 4.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (BAUD RATE) ของ VBPW24R Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

ระยะ(cm)	baud rate (bit/s)
50	4800
40	14400
30	28800
20	57600
15	57600
10	128000
5	256000
0	256000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rate) ของ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

ระยะ(cm)	baud rate(bit/s)	ระยะ(cm)	baud rate(bit/s)
210	1200	50	56000
190	1200	40	57600
170	2400	30	128000
150	2400	20	128000
130	4800	15	256000
110	9600	10	256000
90	14400	5	256000
70	19200	0	256000

ตาราง 4.3 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rate) ของ OSD100-E Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

ระยะ(cm)	baud rate(bit/s)	ระยะ(cm)	baud rate(bit/s)
400	4800	130	14400
370	4800	110	28800
350	4800	90	38400
330	4800	70	38400
310	4800	50	57600
290	9600	40	57600
270	9600	30	128000
250	9600	20	128000
230	9600	15	256000
210	9600	10	256000
190	14400	5	256000
170	14400	0	256000
150	14400		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bit error rate หาได้จากการนำค่าจำนวน bit ที่ผิดพลาดกับจำนวน bit ที่ส่งทั้งหมดไปหาใน

สมการ  $BER = \frac{\text{จำนวนบิตที่ผิดพลาด}}{\text{จำนวนบิตที่ส่งทั้งหมด}}$  โดยการทดสอบนี้ข้อมูลที่ใช้ส่งเป็นตัวอักษร โดยตัวอักษรหนึ่งตัวใช้บิตในการส่งทั้งหมด 10 bit จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบ 1 ครั้งต่อหนึ่งระยะห่างมีจำนวน 89 ตัวอักษร และในหนึ่งระยะห่าง มีการทดสอบ 10 ครั้ง ทำให้ในการทดสอบ 1 ครั้งต่อหนึ่งระยะห่าง มีจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมด 8,900 bit และนำค่าที่คำนวณได้เขียนลงในตาราง

ตาราง 4.4 ผลการทดลอง หาค่า bit error rate (%)

ระยะ(cm)	VBPW24R	FDS 10X10	OSD100e
400	-	-	0.00056
370	-	-	0.00045
350	-	-	0.00045
330	-	-	0.00034
310	-	-	0.00034
290	-	-	0.00011
270	-	-	0.00011
250	-	-	0.00011
230	-	-	0
210	-	0.00045	0
190	-	0.00045	0
170	-	0.00045	0
150	-	0.00045	0
130	-	0.00045	0
110	-	0.00045	0
90	-	0.00022	0
70	-	0.00022	0
50	0.00022	0.00022	0
40	0.00022	0.00022	0
30	0.00011	0	0
20	0	0	0
15	0	0	0
10	0	0	0
5	0	0	0
0	0	0	0

## 4.2 ทดสอบการทำงานของระบบทำงานต่อเนื่อง 15 วัน

ตาราง 4.5 ผลการทดลองส่งข้อมูลแบบตัวอักษรทั้งสาม line แบบสุ่มช่วงเวลา 10 ครั้งภายใน 1 วัน  
จนครบ 15 วัน ใช้ OSD100-E Photodiode และ baud rate อยู่ที่ 9600 bit/s

สุ่มครั้งที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่
	1	2	3	4	5
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓

สุ่มครั้งที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่	วันทดสอบที่
	6	7	8	9	10
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓

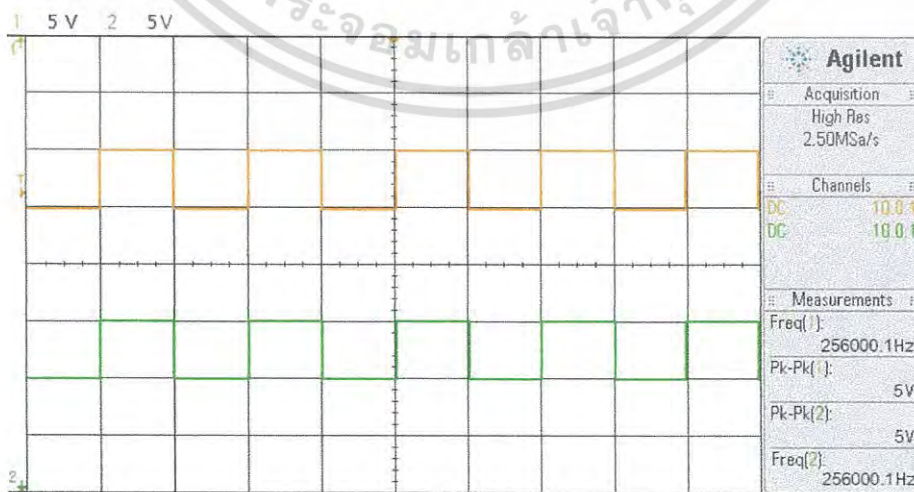
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัปดาห์ที่	วันทดสอบที่ 11	วันทดสอบที่ 12	วันทดสอบที่ 13	วันทดสอบที่ 14	วันทดสอบที่ 15
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓

✓ ส่งและรับข้อมูลได้ ✗ ไม่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้

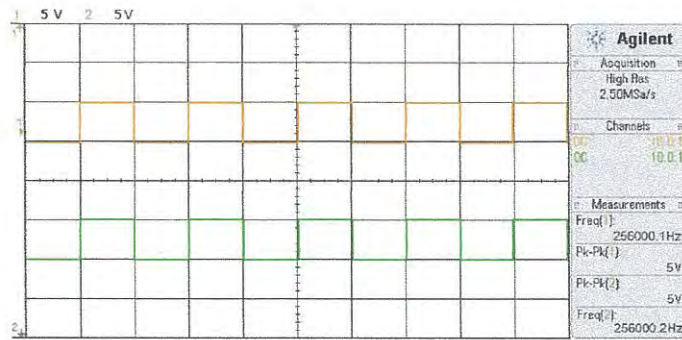
### 4.3 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณในส่วนของภาครับ

4.3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับโดยวัดค่าสัญญาณ output ของทั้งภาคส่ง(สีส้ม)และภาครับ(สีเขียว) ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับ

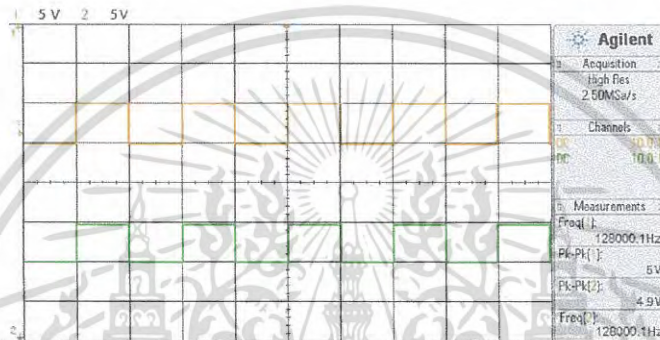


รูปที่ 4.1 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบโฆษณาบนเว็บไซต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



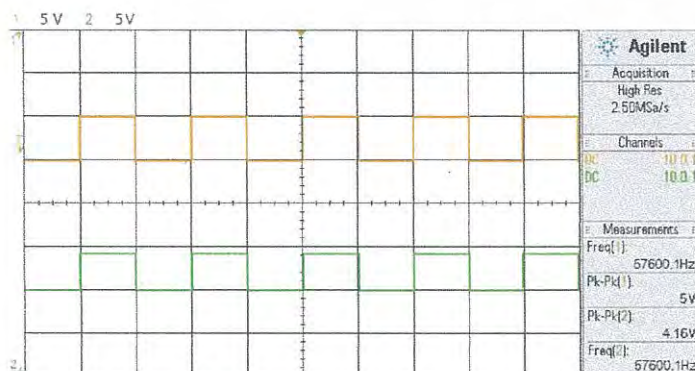
รูปที่ 4.2 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 5 cm



รูปที่ 4.3 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 10 cm

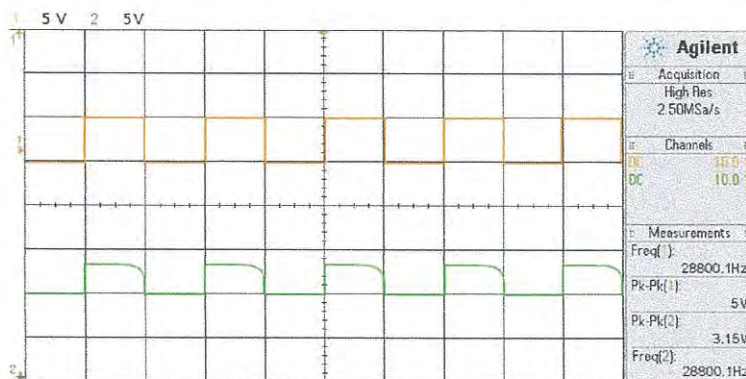


รูปที่ 4.4 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 15 cm

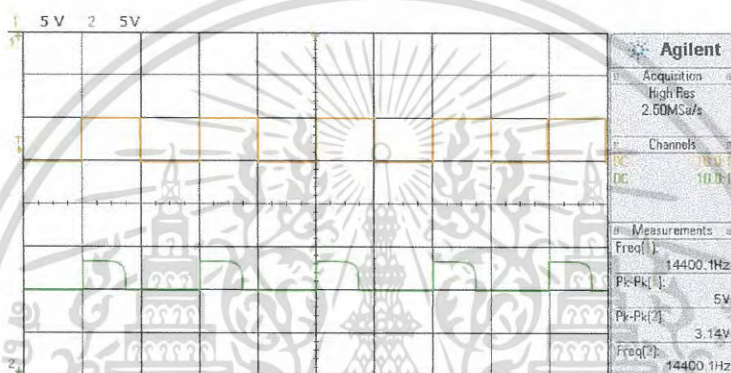


รูปที่ 4.5 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 20 cm

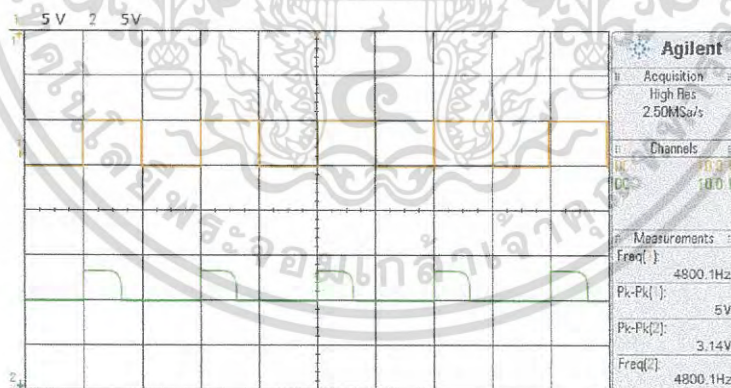
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาเบไซบระยะชันด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 30 cm



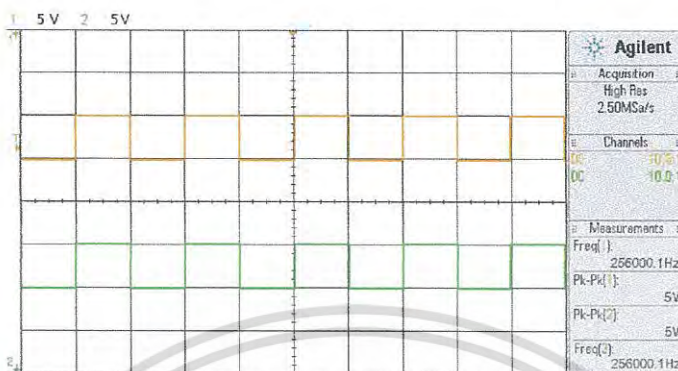
รูปที่ 4.7 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 40 cm



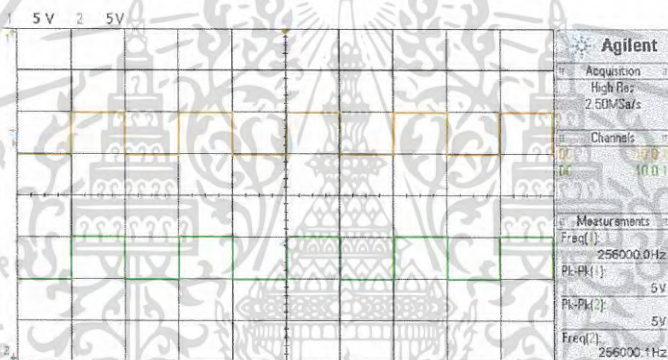
รูปที่ 4.8 สัญญาณ output ใช้ VBPW24R Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

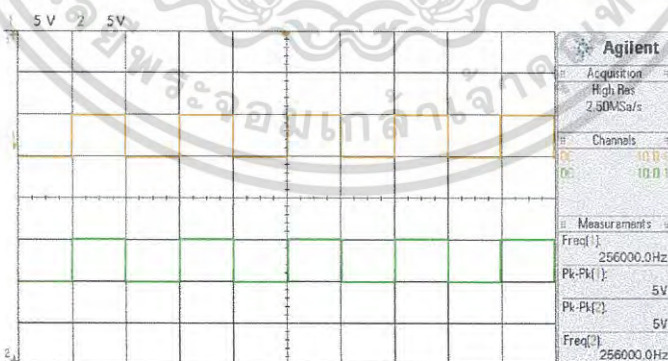
4.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับโดยวัดค่าสัญญาณ output ของทั้งภาคส่ง(สีส้ม)และภาครับ(สีเขียว) ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับ



รูปที่ 4.9 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 0 cm

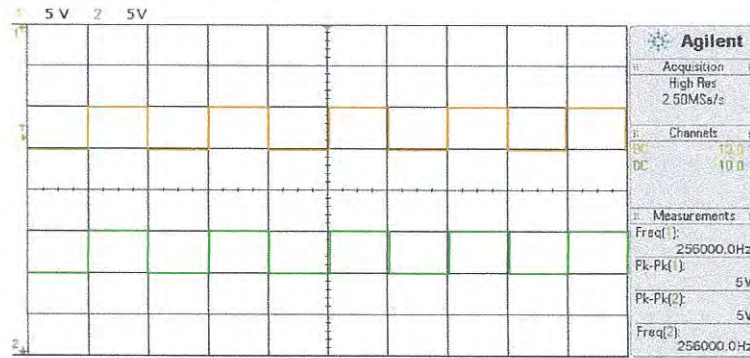


รูปที่ 4.10 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 5 cm

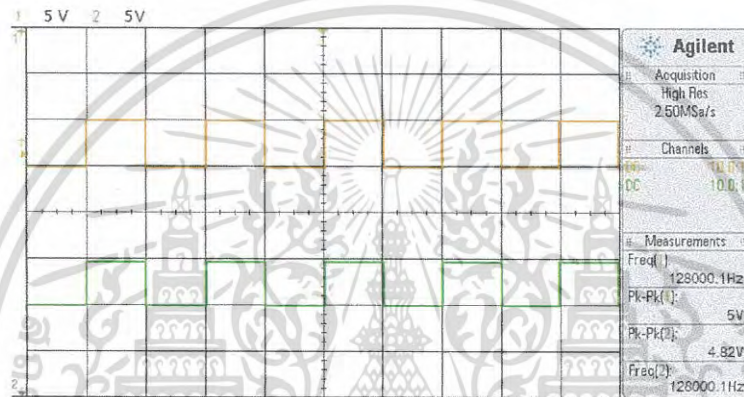


รูปที่ 4.11 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 10 cm

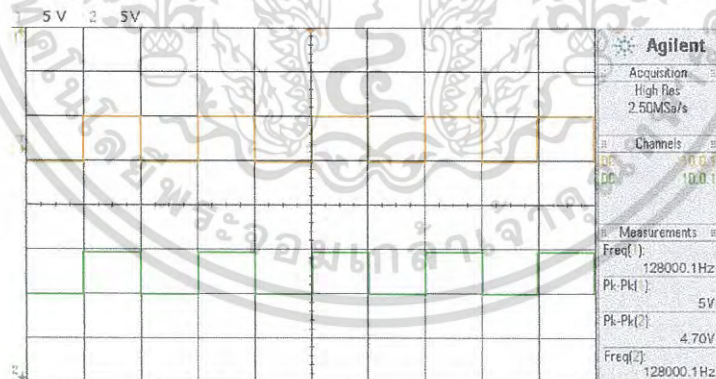
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 15 cm

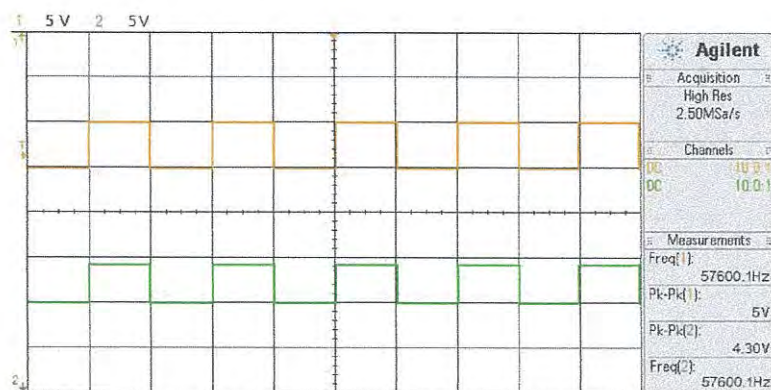


รูปที่ 4.13 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 20 cm

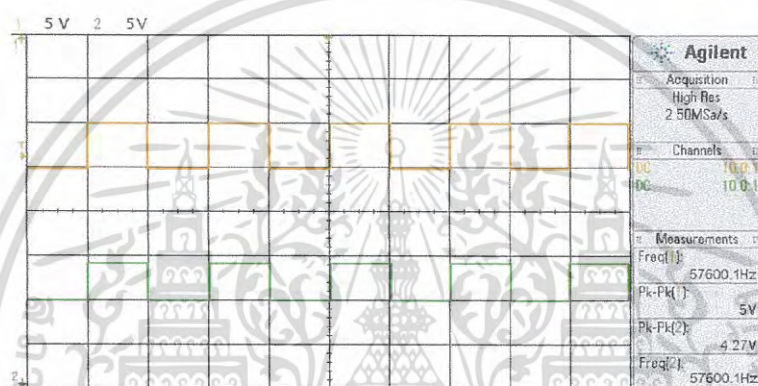


รูปที่ 4.14 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 30 cm

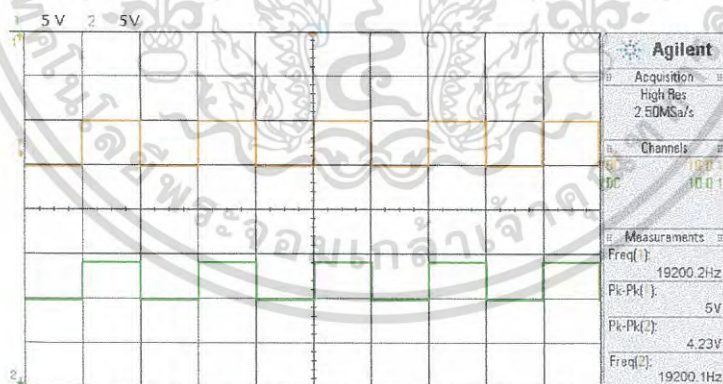
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 40 cm

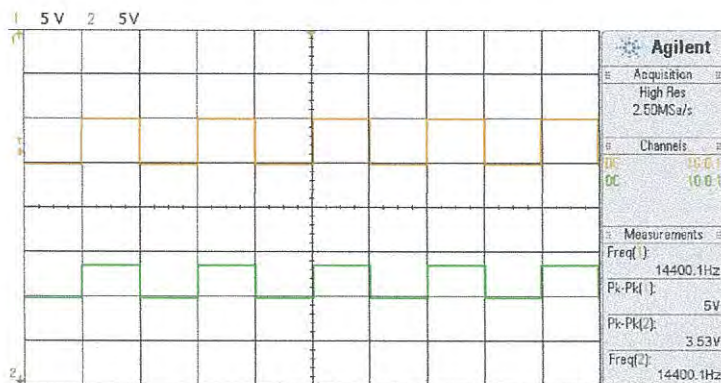


รูปที่ 4.16 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 50 cm

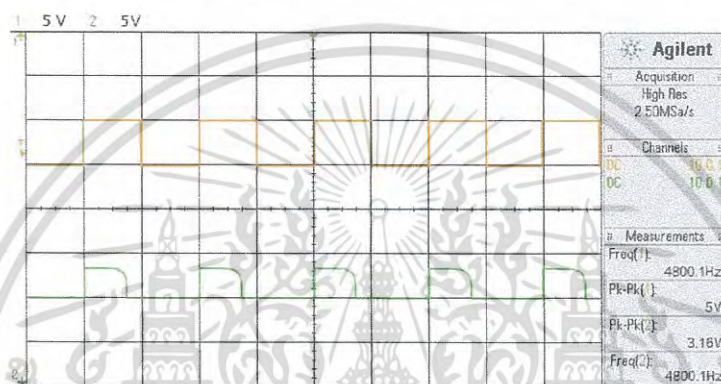


รูปที่ 4.17 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 70 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 90 cm

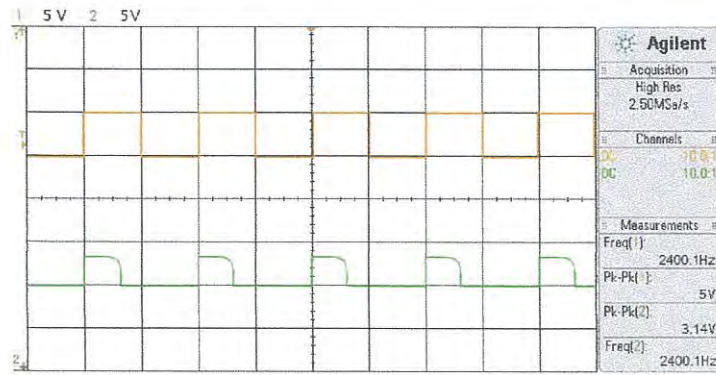


รูปที่ 4.19 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 110 cm

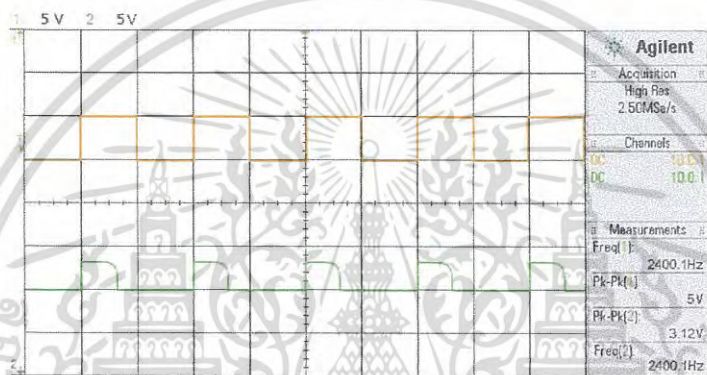


รูปที่ 4.20 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 130 cm

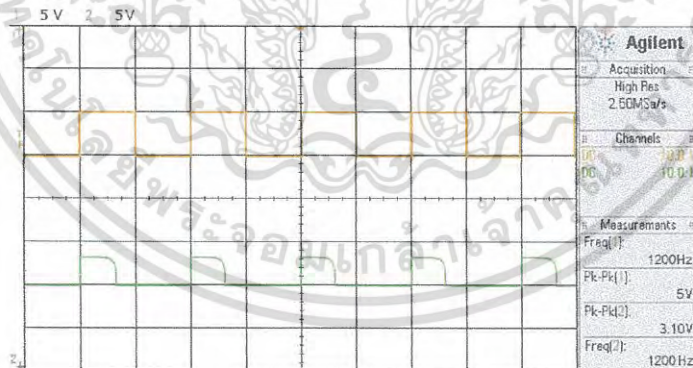
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 150 cm

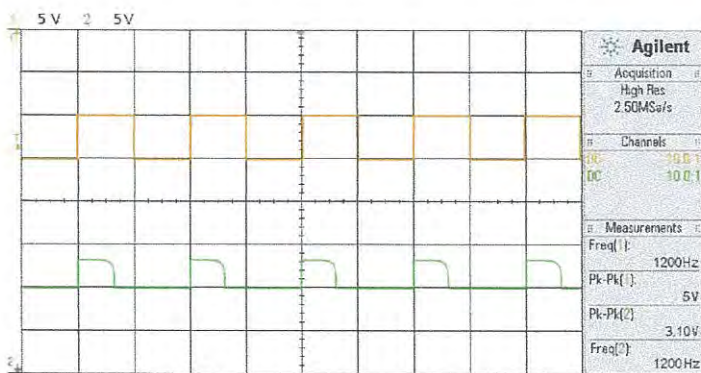


รูปที่ 4.22 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 170 cm



รูปที่ 4.23 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 190 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

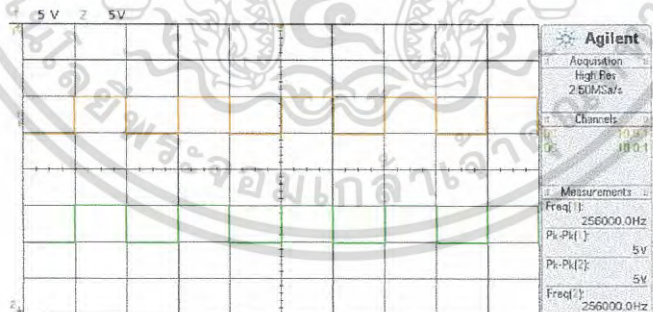


รูปที่ 4.24 สัญญาณ output ใช้ FDS10x10 Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 210 cm

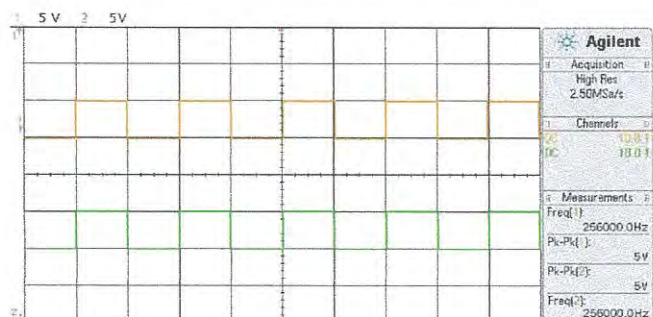
4.3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับโดยวัดค่าสัญญาณ output ของทั้งภาคส่ง(สีส้ม)และภาครับ(สีเขียว) ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับ



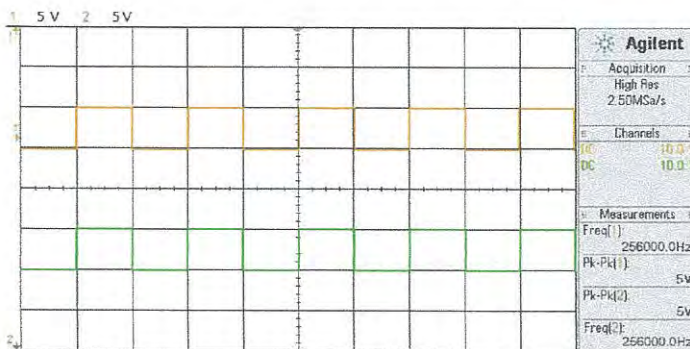
รูปที่ 4.25 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 0 cm



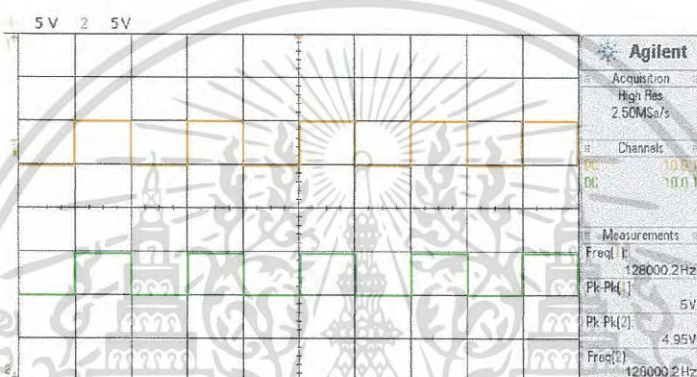
รูปที่ 4.26 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 5 cm



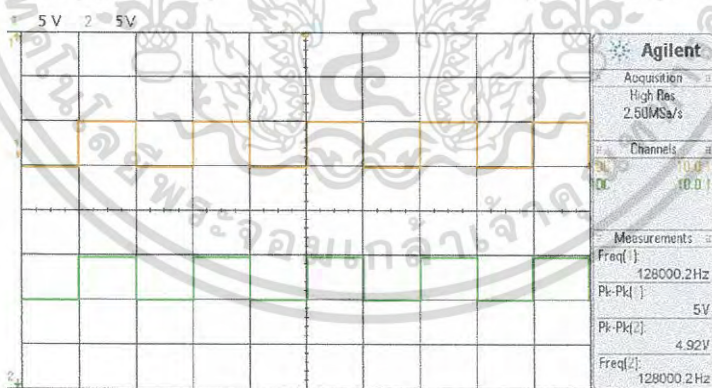
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.27 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 10 cm ขันด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 15 cm

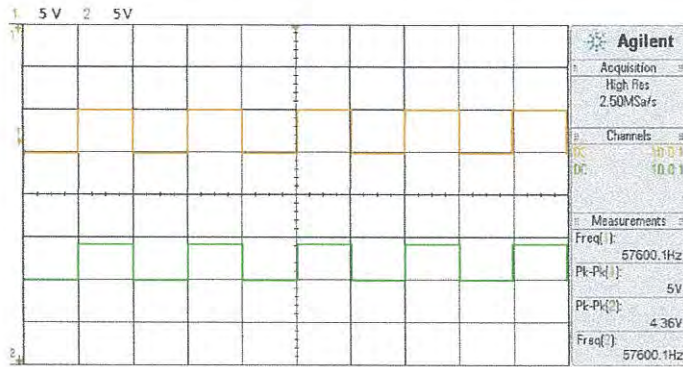


รูปที่ 4.29 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 20 cm

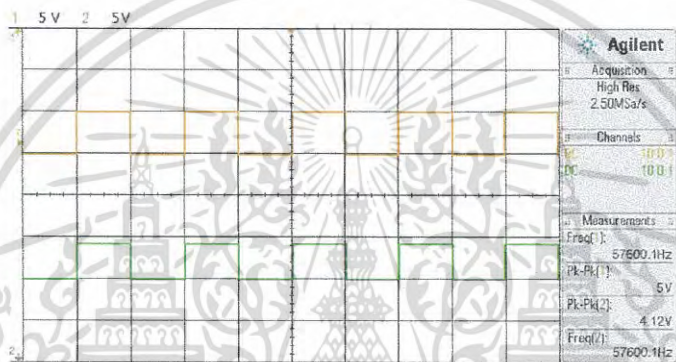


รูปที่ 4.30 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 30 cm

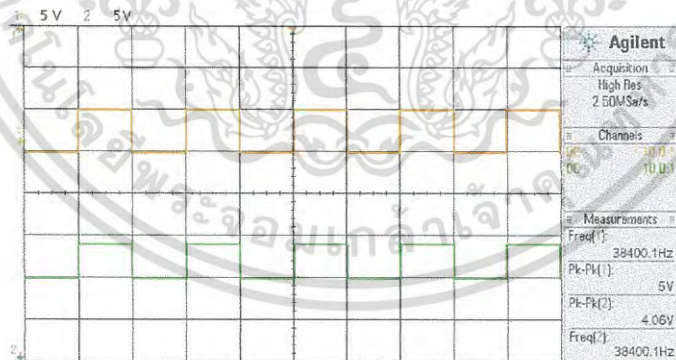
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 40 cm

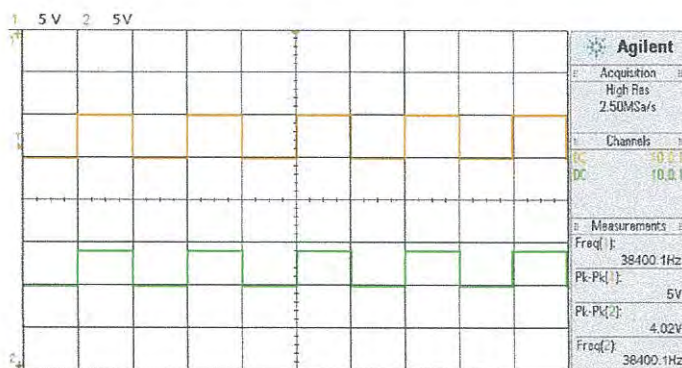


รูปที่ 4.32 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 50 cm

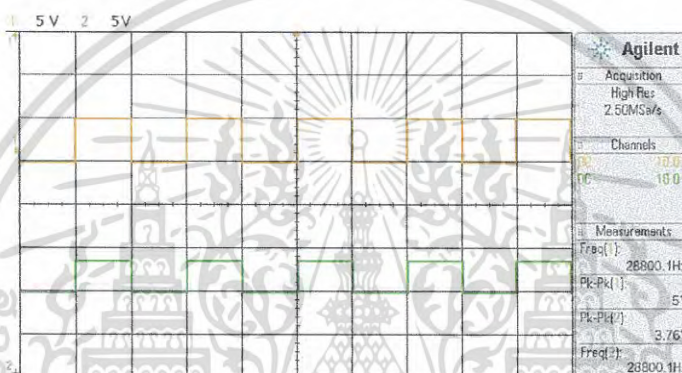


รูปที่ 4.33 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 70 cm

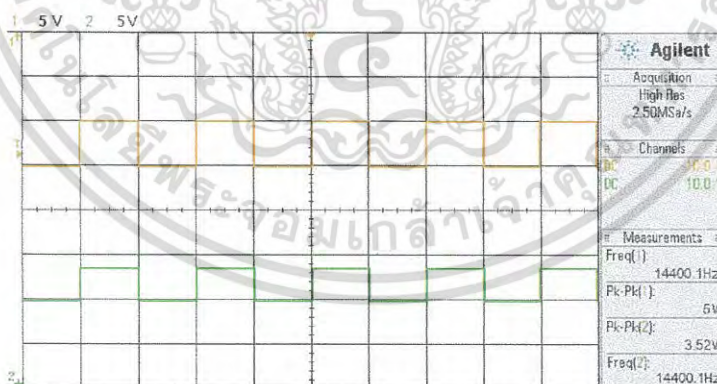
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 90 cm

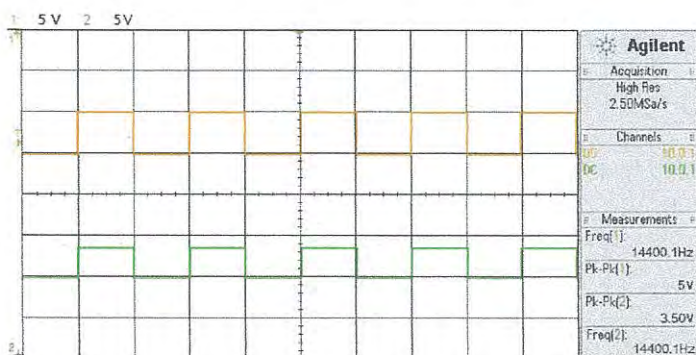


รูปที่ 4.35 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 110 cm

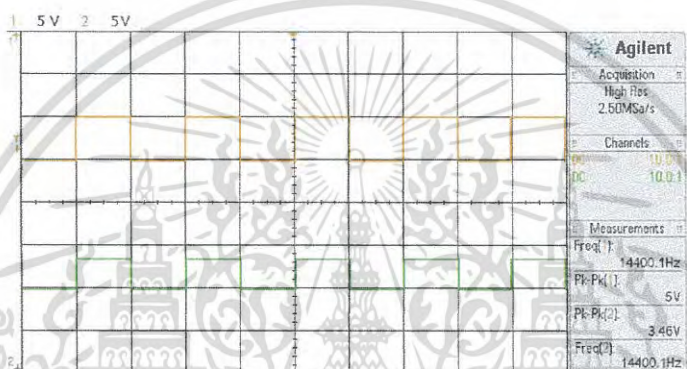


รูปที่ 4.36 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 130 cm

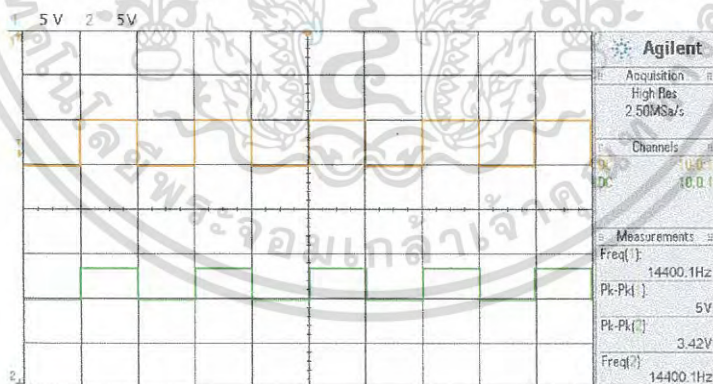
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 150 cm

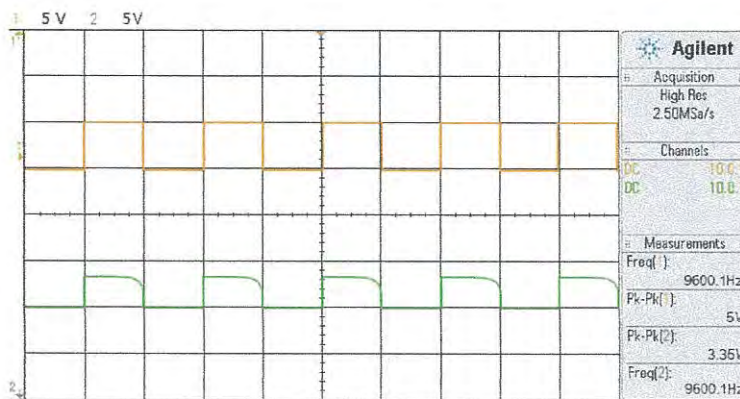


รูปที่ 4.38 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 170 cm

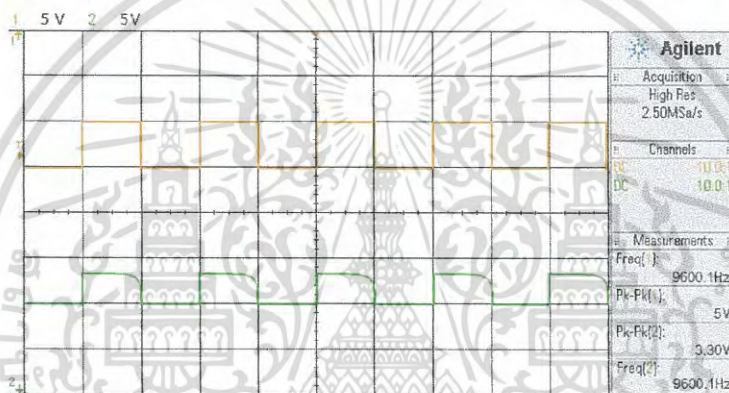


รูปที่ 4.39 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 190 cm

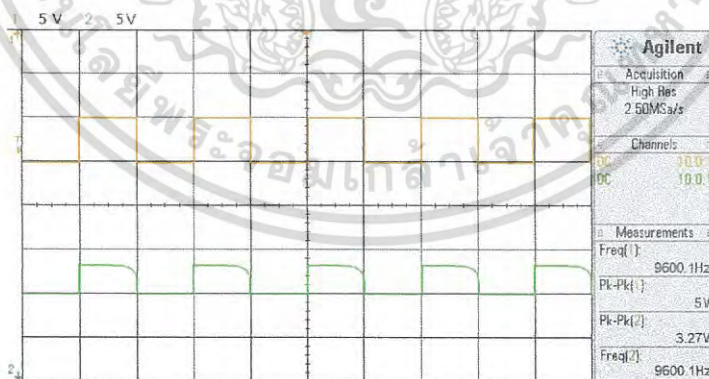
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 210 cm

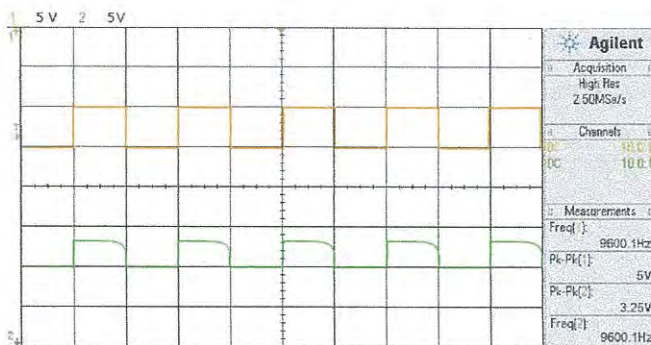


รูปที่ 4.41 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 230 cm

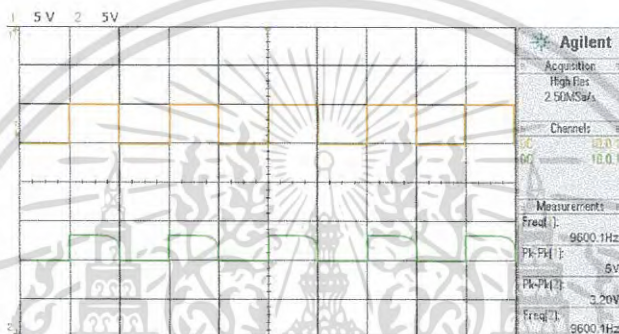


รูปที่ 4.42 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 250 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



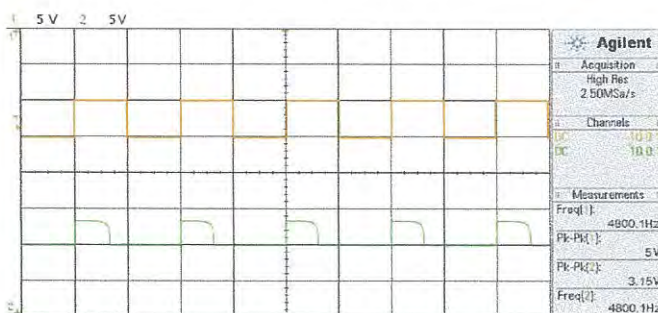
รูปที่ 4.43 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 270 cm



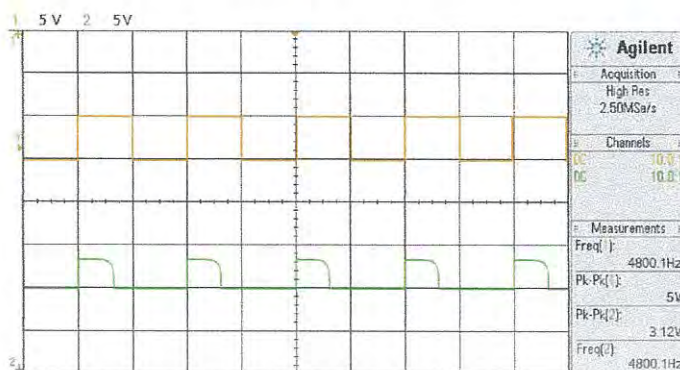
รูปที่ 4.44 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 290 cm



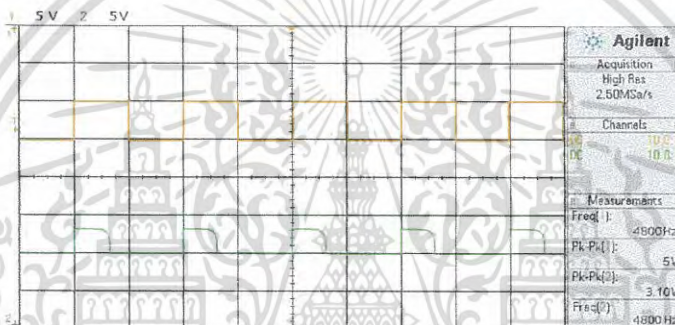
รูปที่ 4.45 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 310 cm



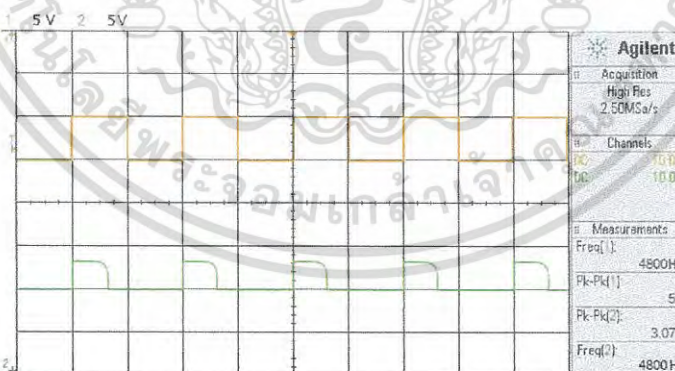
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.46 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 330 cm ด้านการคำนวณการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 350 cm



รูปที่ 4.48 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 380 cm



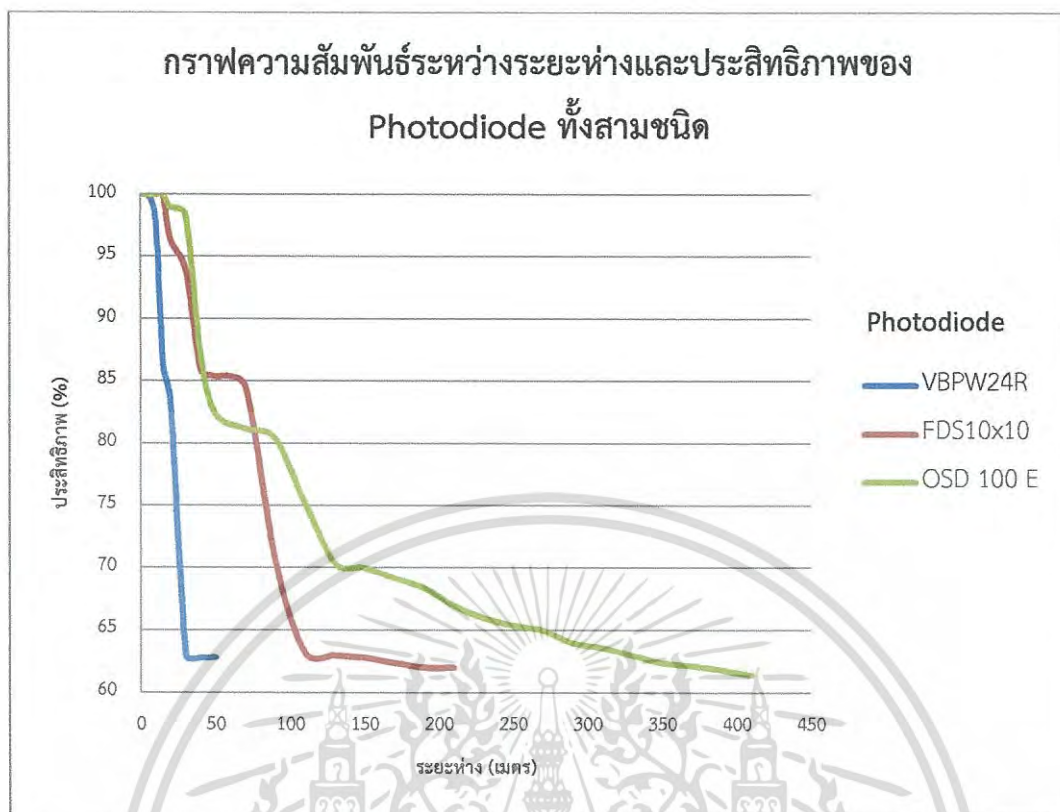
รูปที่ 4.49 สัญญาณ output ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับที่ระยะ 410 cm

หลังจากได้ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณของภาครับของ Photodiode ทั้งสามชนิดแล้ว

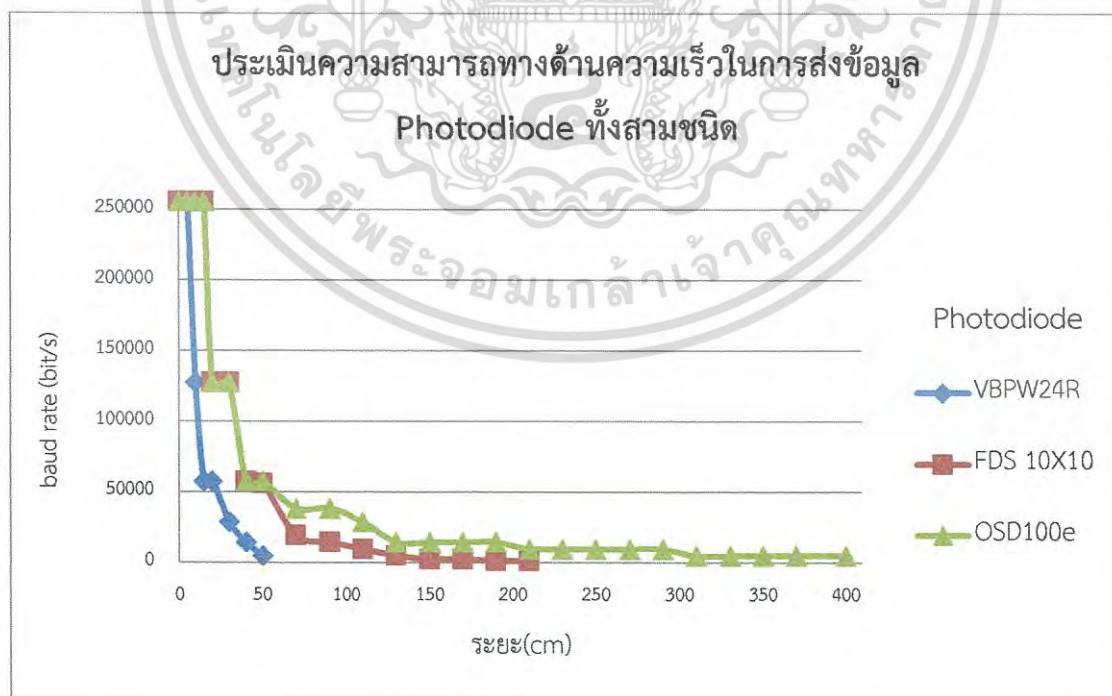
นำผลที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพผ่านสมการ 
$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{V_{\text{ที่วัดได้จากภาครับ}}}{V_{\text{ที่วัดได้จากภาคส่ง}}} \times 100$$
 และนำ

ค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและประสิทธิภาพของ Photodiode ทั้งสาม

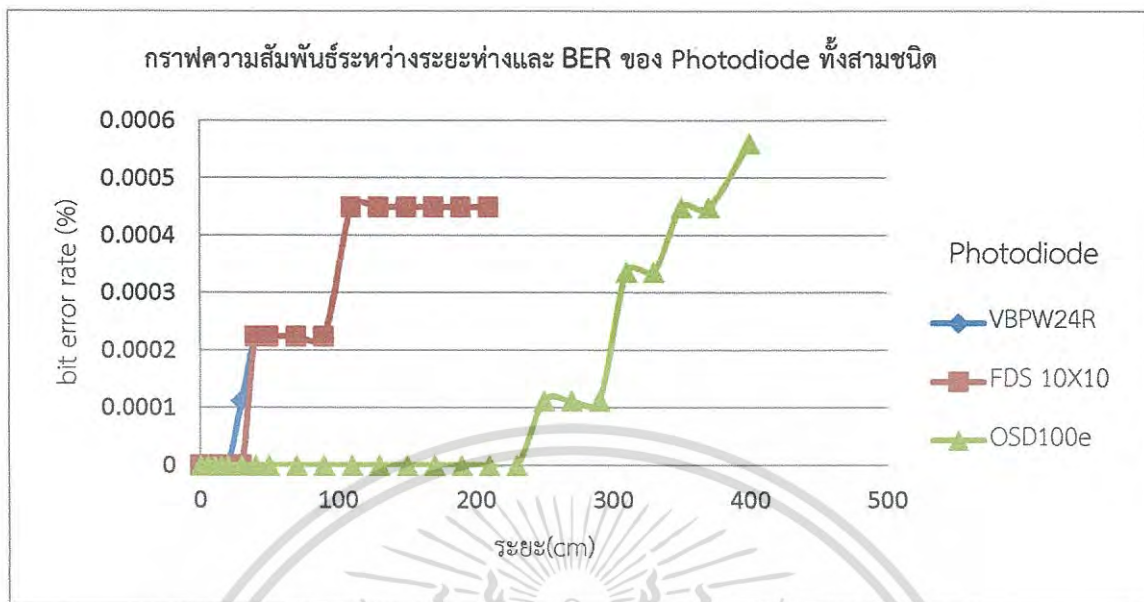
ชนิดเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและประสิทธิภาพของ Photodiode ทั้งสามชนิด



รูปที่ 4.51 กราฟประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล Photodiode ทั้งสามชนิด  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและ BER ของ Photodiode ทั้งสามชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการออกแบบประกอบวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณ และทำการทดสอบความสามารถในด้านการส่องสว่างและทางด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลของโมเดลต้นแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำให้ทราบถึงปัญหา และอุปสรรคในการดำเนินงานโดยมีการสรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

- 5.1. สรุปผลการดำเนินงาน
- 5.2. ข้อจำกัดของระบบ
- 5.3. ข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

**5.1.1 ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10Photodiode และ OSD100-E Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ**

จากผลการทดลองและเปรียบเทียบค่า baud rate ของตัวรับแสงทั้งสามชนิด ที่ระดับความสูงที่ต่าง ๆ กัน ทำให้สรุปได้ว่า Photodiode ชนิด OSD100-E มีความสามารถในการรับข้อมูล (data rates) ได้เร็วกว่า Photodiode ชนิด VBPW24R และ FDS10x10 เนื่องจาก Photodiode ชนิด OSD100-E มีพื้นที่การรับแสงที่เยือกกว่าและมีความไวในการรับแสงสูงกว่าชนิดและสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) แปรผกผัน กับความสูงระหว่างตัวรับและตัวส่งข้อมูล

### 5.1.2 ทดสอบการทำงานของระบบทำงานต่อเนื่อง 15 วัน

Redundant ที่ได้เพิ่มเข้ามาในระบบนั้นนอกจากจะทำหน้าที่ Redundant ได้แล้วยังสามารถทำให้ส่งข้อมูลได้ไกลมากขึ้นอีกด้วยจากเดิมที่ส่งได้เพียง 400cm ในงานนี้เราได้เพิ่มโมดูลเป็น 3 โมดูล จึงทำได้สามารถส่งข้อมูลได้ไกลถึง 1200 cm และจะทำได้มากกว่านี้หากว่าเพิ่มจำนวนโมดูลเข้าไปอีก ซึ่งระบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถเพิ่มจำนวนโมดูลเข้าได้อย่างไม่จำกัด

จากผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องถึง 15 วัน ที่ค่า baud rate 9600 bit/s ใช้ OSD100-E Photodiode เป็นตัวรับสัญญาณโดยที่ไม่มีความผิดพลาดใดๆเลยจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบนี้จะสามารถนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.3 ทดสอบประสิทธิภาพของสัญญาณในส่วนของภาครับ

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพสัญญาณของภาครับที่ได้จาก Photodiode ทั้งสามชนิดทำให้เราทราบว่า OSD100-E Photodiode มีประสิทธิภาพมากที่สุดและสรุปได้ว่านอกจากความเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) แปรผกผัน กับความสูงระหว่างตัวรับและตัวส่งข้อมูลและยังมีอีกปัจจัยด้วยนั่นก็คือระดับสัญญาณที่ Photodiode สามารถรับได้ด้วย

## 5.2 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบนี้ยังไม่สามารถทำการส่งข้อมูลชนิดภาพและเสียงได้ที่เป็นแบบนี้เนื่องจากว่าในการส่งข้อมูลประเภทนี้นั้นต้องใช้วิธีส่งแบบ full duplex แต่ระบบที่เราใช้อยู่นี้เป็นระบบ simplex

การส่งข้อมูลแบบ simplex เป็นการส่งข้อมูลในทางเดียวทำให้ไม่สามารถจัดการกับ error ที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการส่งข้อมูลได้

เนื่องจากใช้แสงในย่านตามองเห็นในการส่งข้อมูลจึงทำให้ถูกรบกวนได้ง่าย ยกตัวอย่างเช่น มีวัตถุมาบังไม่ให้แสงมาตกกระทบที่ตัวรับหรือนำไปใช้ในที่มีฝุ่นหนาแน่นจนบดบังแสงไม่ให้ไปกระทบกับตัวรับก็จะทำให้ระบบนี้ไม่สามารถใช้งานได้ ในสถานการณ์จริงการติดตั้งระบบอาจจะทำให้แสงตกกระทบกับมุมอับทำให้บางจุดไม่สามารถติดตั้งตัวอุปกรณ์รับข้อมูลได้ เช่น ขอบประตูหรือของใช้ภายในห้องที่เข้ามาบดบังแสงทำให้เกิดจุดอับแสงที่ถูกใช้ต่างๆได้เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดของการส่งข้อมูลด้วยแสงที่มองเห็นได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้สร้างระบบ Redundant โดยใช้หลอดไฟ LED และ Photodiode เป็นตัวส่งและรับสัญญาณข้อมูลเพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับตัวระบบนี้ว่าจะทำงานได้ดีและไม่มีควมผิดพลาดจากการที่เราได้ทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน ทำให้เราสามารถมั่นใจได้ว่าระบบนี้จะทำงานได้ตลอดเวลา เห็นได้จากผลการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล

เพื่อให้ระบบนี้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจึงควรสร้างระบบ Full Duplex Star Redundant เพื่อให้ระบบนี้สามารถส่งไฟล์ภาพและเสียงได้ และสามารถจัดการกับ error ในขณะที่มีการส่งข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Uchiyama, M. Yoshino, H. Saito, M. Nakagawa, S. Haruyama, T. Kakehashi and N. Nagamoto, "Photogrammetric system using visible light communication", *Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, IECON*, pp. 1771-1776, 2008.
- [2] T. D. C. Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, and B. Gallagher, "Using LED Lighting for Ubiquitous Indoor Wireless Networking", *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pp. 373-378, 2008.
- [3] J. Grubor, S. Randel, K.-D. Langer and J. W. Walewski, "Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting", *Journal of Lightwave Technology*, pp. 3883-3892, Dec 2008.
- [4] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, pp. 100-107, Jan 2004.
- [5] Geun-Bin Hong, Tae-Su Jang, Kwan-Woong Kim, Yong-Kab Kim "A Performance Enhancement for Ubiquitous Indoor Networking Using VLC-LED Driving Module" Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, pp. 257-262, 2011.
- [6] S. Rajagopal, R. D. Roberts and S.-K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support", *IEEE Communications Magazine*, pp. 72-82, Mar 2013
- [7] Toru NAGURA, Takaya YAMAZATO, Masaaki KATAYAMA, Tomohiro YENDO, Toshiaki FUJII, Hiraku OKADA "Tracking an LED Array Transmitter for Visible Light Communications in the Driving Situation" *Wireless Communication Systems (ISWCS), 2010 7th International Symposium on, ISWCS 2010*, pp. 765-769, Sept 2010
- [8] Irina Stefan, Harald Haas "Analysis of Optimal Placement of LED Arrays for Visible Light Communication" *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013 IEEE 77th*, pp1-5, June 2013
- [9] Rahul R. Sharma , Raunak , Akshay Sanganal " Li-Fi Technology Transmission of data through light " Rahul R Sharma et al , *Int.J.Computer Technology & Applications*, Vol 5 (1), pp150-154, Jan-Feb 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Pokpoom Chanthosot, Vittaya Tipsuwanporn, Viriya Krongratana, Thanaporn Lilawatthananun “The Indoor Use Development for Visible Light Communication” *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2015 Vol I WCECS 2015*, San Francisco, USA, 21-23, pp279-283, October, 2015
- [11] Vittaya Tipsuwanporn, Pokpoom Chanthosot, Viriya Krongratana, Arjin Numsomran” Star Redundant System for Visible Light Communication” 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016) in HICO, Gyeongju, Korea, Oct. 16-19, 2016



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

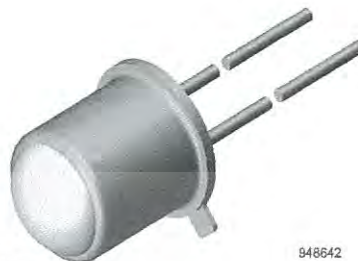
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Silicon PIN Photodiode

### Description

BPW24R is a high sensitive silicon planar photodiode in a standard TO-18 hermetically sealed metal case with a glass lens.

A precise alignment of the chip gives a good coincidence of mechanical and optical axes. The device features a low capacitance and high speed even at low supply voltages.



948642

### Features

- Hermetically sealed TO-18 case
- Exact central chip alignment
- Cathode connected to case
- Angle of half sensitivity  $\phi = \pm 12^\circ$
- Extra fast response times at low operating voltages
- High photo sensitivity
- Radiant sensitive area  $A = 0.78 \text{ mm}^2$
- Suitable for visible and near infrared radiation
- For photodiode and photovoltaic cell operation
- Lead-free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

### Applications

High speed photo detector

### Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage		$V_R$	60	V
Power Dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	$P_V$	210	mW
Junction Temperature		$T_j$	125	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range		$T_{amb}$	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		$T_{stg}$	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 5 \text{ s}$	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/Ambient		$R_{thJA}$	350	K/W

### Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Breakdown Voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}$ , $E = 0$	$V_{(BR)}$	60	200		V
Reverse Dark Current	$V_R = 50\text{ V}$ , $E = 0$	$I_{ro}$		2	10	nA
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		11		pF
	$V_R = 5\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		3.8		pF
	$V_R = 20\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		2.5		pF

### Optical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Open Circuit Voltage	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$V_o$		450		mV
Temp. Coefficient of $V_o$	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$TK_{V_o}$		-2		mV/K
Short Circuit Current	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$	$I_k$		55		$\mu\text{A}$
Temp. Coefficient of $I_k$	$E_A = 1\text{ klx}$	$TK_{I_k}$		0.1		%/K
Reverse Light Current	$E_e = 1\text{ mW/cm}^2$ , $\lambda = 950\text{ nm}$ , $V_R = 20\text{ V}$	$I_{ra}$	45	60		$\mu\text{A}$
Absolute Spectral Sensitivity	$V_R = 5\text{ V}$ , $\lambda = 870\text{ nm}$	$s(\lambda)$		0.60		A/W
	$V_R = 5\text{ V}$ , $\lambda = 900\text{ nm}$	$s(\lambda)$		0.55		A/W
Angle of Half Sensitivity		$\phi$		$\pm 12$		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		$\lambda_p$		900		nm
Range of Spectral Bandwidth		$\lambda_{0.5}$		600 to 1050		nm
Rise Time	$V_R = 20\text{ V}$ , $R_L = 50\text{ }\Omega$ , $\lambda = 820\text{ nm}$	$t_r$		7		ns
Fall Time	$V_R = 20\text{ V}$ , $R_L = 50\text{ }\Omega$ , $\lambda = 820\text{ nm}$	$t_f$		7		ns

### Typical Characteristics ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

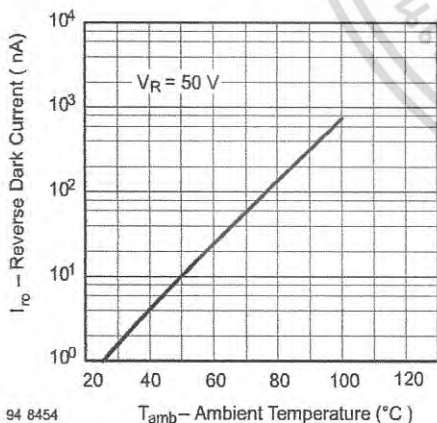


Figure 1. Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

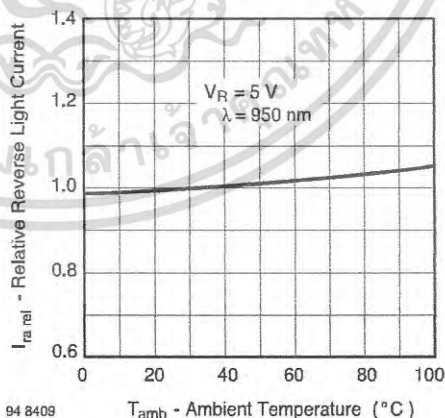


Figure 2. Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature

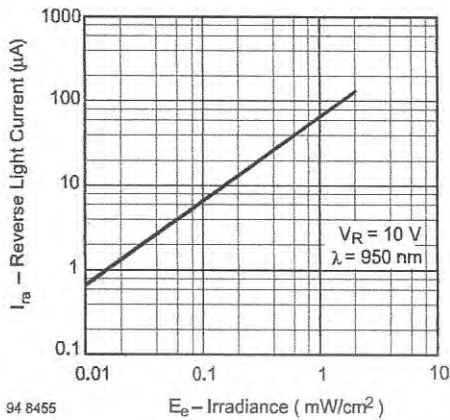


Figure 3. Reverse Light Current vs. Irradiance

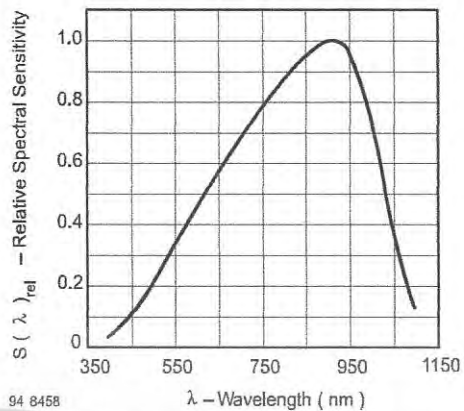


Figure 6. Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

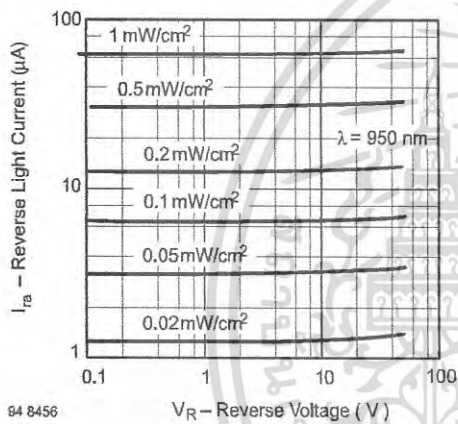


Figure 4. Reverse Light Current vs. Reverse Voltage

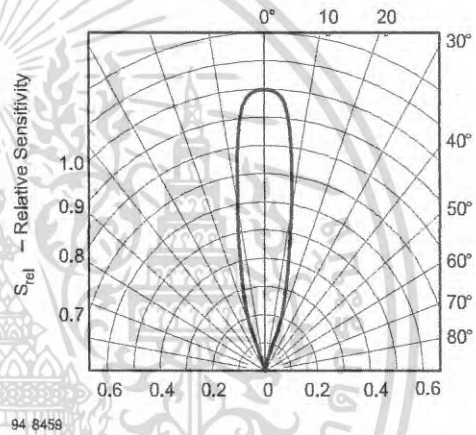


Figure 7. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

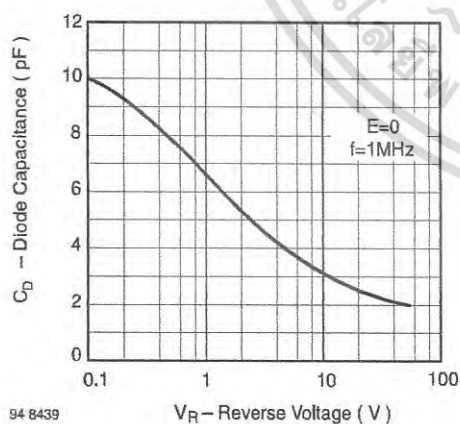
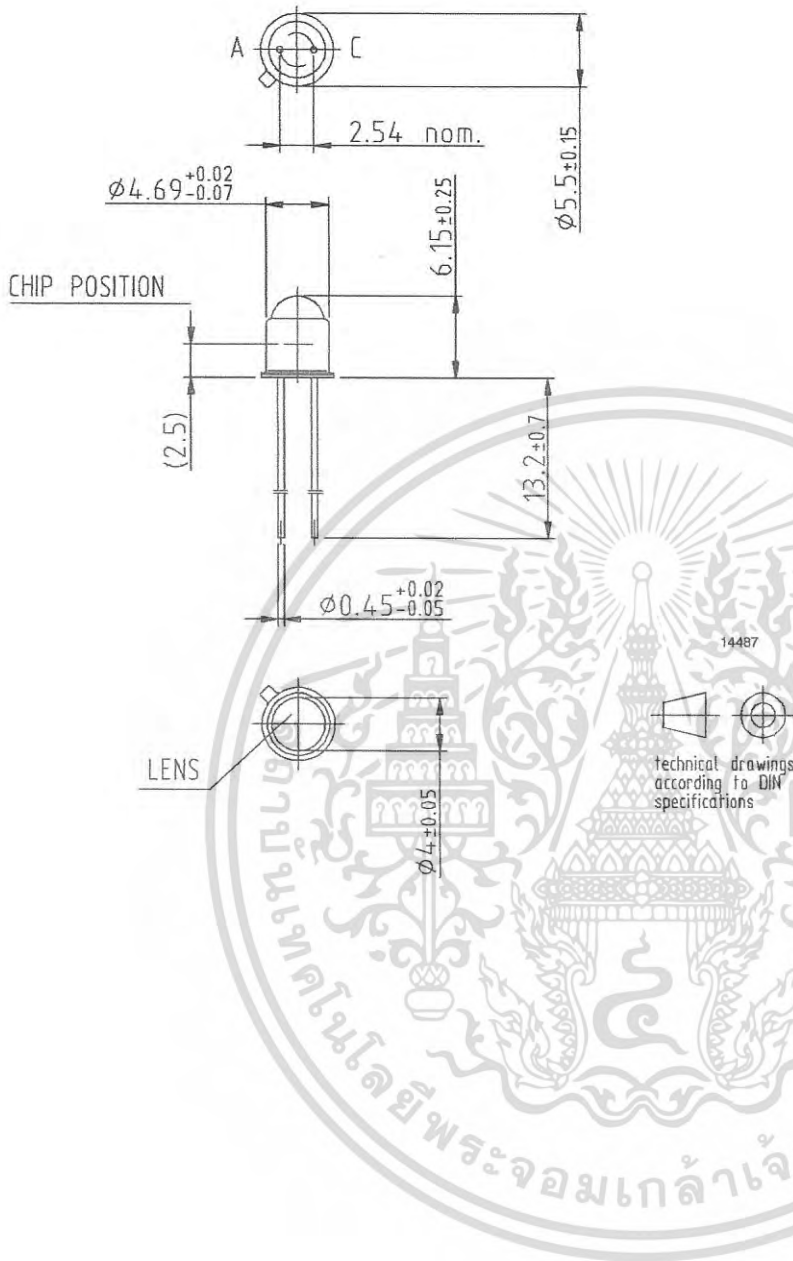


Figure 5. Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

### Package Dimensions in mm



## Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of Vishay Semiconductor GmbH to

1. Meet all present and future national and international statutory requirements.
2. Regularly and continuously improve the performance of our products, processes, distribution and operating systems with respect to their impact on the health and safety of our employees and the public, as well as their impact on the environment.

It is particular concern to control or eliminate releases of those substances into the atmosphere which are known as ozone depleting substances (ODSs).

The Montreal Protocol (1987) and its London Amendments (1990) intend to severely restrict the use of ODSs and forbid their use within the next ten years. Various national and international initiatives are pressing for an earlier ban on these substances.

Vishay Semiconductor GmbH has been able to use its policy of continuous improvements to eliminate the use of ODSs listed in the following documents.

1. Annex A, B and list of transitional substances of the Montreal Protocol and the London Amendments respectively
2. Class I and II ozone depleting substances in the Clean Air Act Amendments of 1990 by the Environmental Protection Agency (EPA) in the USA
3. Council Decision 88/540/EEC and 91/690/EEC Annex A, B and C (transitional substances) respectively.

Vishay Semiconductor GmbH can certify that our semiconductors are not manufactured with ozone depleting substances and do not contain such substances.

We reserve the right to make changes to improve technical design and may do so without further notice.

Parameters can vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by the customer. Should the buyer use Vishay Semiconductors products for any unintended or unauthorized application, the buyer shall indemnify Vishay Semiconductors against all claims, costs, damages, and expenses, arising out of, directly or indirectly, any claim of personal damage, injury or death associated with such unintended or unauthorized use.

Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany  
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

## Notice

Specifications of the products displayed herein are subject to change without notice. Vishay Intertechnology, Inc., or anyone on its behalf, assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies.

Information contained herein is intended to provide a product description only. No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document. Except as provided in Vishay's terms and conditions of sale for such products, Vishay assumes no liability whatsoever, and disclaims any express or implied warranty, relating to sale and/or use of Vishay products including liability or warranties relating to fitness for a particular purpose, merchantability, or infringement of any patent, copyright, or other intellectual property right.

The products shown herein are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications. Customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Vishay for any damages resulting from such improper use or sale.



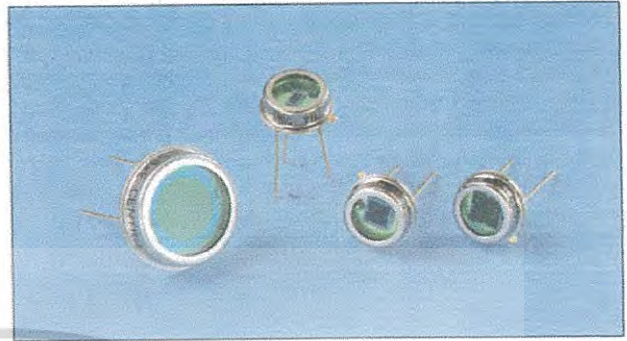
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Silicon Photodetectors

# Series E

## EYE RESPONSE DETECTORS

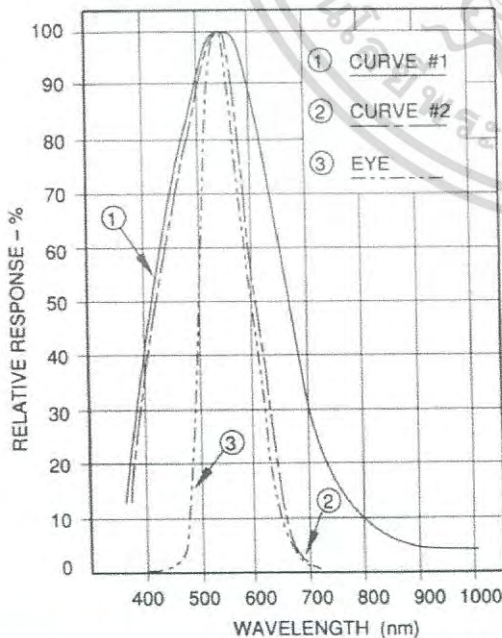
Centronic Series E photodetectors use the successful Series 5T chip together with high quality glass colour correcting filters. The resulting spectral response approximates to that of the human eye making this device ideal for use in general photometric applications.



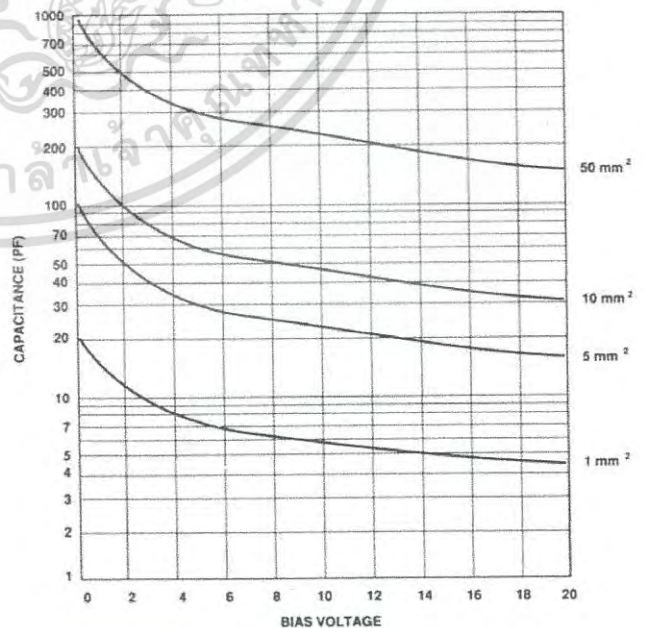
## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

	Max. Rating
DC Reverse Voltage	15V
Peak Pulse Current (1 $\mu$ s, 1% duty cycle)	200mA
Peak DC Current	10mA
Storage Temperature Range	-25°C to +85°C
Operating Temperature Range	-25°C to +75°C
Soldering Temperature for 5 seconds max.	200°C

Series E - Typical Spectral Response  
(for equal energy source)



Series E - Typical Capacitance versus  
Bias Voltage for a given Detector area





```
#include <Manchester.h> //Totalmente creado por Antonio López Rubia [LPZ] para YouTube.com/antoniolr95, Taringa y http://antoniolr95.blogspot.com
```

```
#define Relay1 2 //El LED esta conectado en el pin 9
#define Relay2 3
#define Relay3 4
#define Relay4 5
#define Relay5 6
#define Relay6 7
#define Relay_re 8
#define LDR1 A0 //El LDR esta conectado en el pin A0
#define LDR2 A1
#define LDR3 A2
#define TX_PIN 5
#define LED_PIN 13
int incomingByte=0;
int luz1 = 0;
int valor_sensor1 = 0;
int luz2 = 0;
int valor_sensor2 = 0;
int luz3 = 0;
int valor_sensor3 = 0;
char input;
uint8_t moo = 1; //last led status
uint16_t transmit_data = 0;
void setup() { //Configuración de los pin como entrada o salida
  Serial.begin(9600);
  manworkAround1MHzTinyCore(); //add this in order for transmitter to work with 1Mhz Attiny85/84
  man.setupTransmit(TX_PIN, MAN_9600);
  pinMode(Relay1,OUTPUT);
  pinMode(Relay2,OUTPUT);
  pinMode(Relay3,OUTPUT);
  pinMode(Relay4,OUTPUT);
  pinMode(Relay5,OUTPUT);
  pinMode(Relay6,OUTPUT);
  pinMode(Relay_re,OUTPUT);
  pinMode(LDR1,INPUT);
  pinMode(LDR2,INPUT);
  pinMode(LDR3,INPUT);
  valor_sensor1 = analogRead(LDR1);
  luz1 = (5.0 * valor_sensor1 * 100.0)/1024.0;
  valor_sensor2 = analogRead(LDR2);
  luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;
  valor_sensor3 = analogRead(LDR3);
  luz3 = (5.0 * valor_sensor3 * 100.0)/1024.0;
  Serial.print("SYSTEM ONLINE");
  if (luz1>30&&luz2>30&&luz3>30){ Serial.print("\n LED 1 ONLINE LED 2 ONLINE LED 3 ONLINE");

  }else if (luz1<30&&luz2>30&&luz3>30) //LED1 ไม่ทำงาน แต่LED 2,3 ทำงานปกติ
  { Serial.print("\n LED 1 FAIL LED 2,3 ONLINE");

  }
  }else if (luz1>30&&luz2<30&&luz3>30) //LED2 ไม่ทำงาน แต่LED 1,3 ทำงานปกติ {
  Serial.print("\n LED 2 FAIL LED 1,3 ONLINE");
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

} else if ((luz1>30&&luz2>30&&luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1,2 ทำงานปกติ

{ Serial.print("\n LED 3 FAIL LED 1,2 ONLINE"); }

else if (luz1<30&&luz2<30&&luz3>30) //LED1 ไม่ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ

{ Serial.print("\n LED 1,2 FAIL LED 3 ONLINE"); }

}else if (luz1<30&&luz2>30&&luz3<30) //LED1 ไม่ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\n LED 1,3 FAIL LED 2 ONLINE"); }

} else if ((luz1>30&&luz2<30&&luz3<30) //LED2 ไม่ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\n LED 2,3 FAIL LED 1 ONLINE"); }

else if ((luz1<30&&luz2<30&&luz3>30) //LED2 ไม่ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\n LED 2,1 FAIL LED 3 ONLINE"); }

else if ((luz1>30&&luz2<30&&luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\n LED 3,1 FAIL LED 1 ONLINE"); }

else if ((luz1<30&&luz2>30&&luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\n LED 3,1 FAIL LED 2 ONLINE"); }

Serial.print("\n 1=LED1, 2=LED2, 3=LED3");

}void loop ()

{ SYSTEM;

}

void SYSTEM() //Configuración de los valores del LDR

{

valor_sensor1 = analogRead(LDR1);

luz1 = (5.0 * valor_sensor1 * 100.0)/1024.0;

valor_sensor2 = analogRead(LDR2);

luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;

valor_sensor3 = analogRead(LDR3);

luz3 = (5.0 * valor_sensor3 * 100.0)/1024.0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Serial.print(luz1); แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

//Serial.print(" Luz1 "); แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

//Serial.print(luz2); แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

//Serial.print(" Luz2 "); แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

//Serial.print(luz3); แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

//Serial.println(" Luz3"); แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

//delay(300);      แสดงค่า ความสว่างไปที่ computer

if (Serial.available())

input = Serial.read();

else if ((luz1>30&&input=='1') //สั่งLED1 ทำงาน luz1>30&&

//else if (input=='1' )

{

digitalWrite (Relay1, HIGH); //INPUT_LED3

digitalWrite (Relay2, LOW); //INPUT_LED2

digitalWrite (Relay3, LOW); //INPUT_LED1

digitalWrite (Relay4, HIGH); //ground_LED1

digitalWrite (Relay5, LOW); //ground_LED2

digitalWrite (Relay6, LOW); //ground_LED3

Serial.print("\nOK COM1 ON");

com1_on();

}

else if ((luz2>30&&input=='2' ) //สั่งLED2 ทำงาน

//else if (input=='2' )

{

digitalWrite (Relay1, LOW); //ANPUT_LED1

digitalWrite (Relay2, HIGH); //INPUT_LED2

digitalWrite (Relay3, LOW); //INPUT_LED3

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite (Relay4, LOW); //ground_LED1

digitalWrite (Relay5, HIGH); //ground_LED2

digitalWrite (Relay6, LOW); //ground_LED3

Serial.print("\nOK COM2 ON");

com2_on();

}

```

```

else if ((uz3>30&&input=='3') //สั่งLED3 ทำงาน

```

```

//else if (input=='3')

```

```

{

digitalWrite (Relay1, LOW); //INPUT_LED1

digitalWrite (Relay2, LOW); //INPUT_LED2

digitalWrite (Relay3, HIGH); //INPUT_LED3

digitalWrite (Relay4, LOW); //ground_LED1

digitalWrite (Relay5, LOW); //ground_LED2

digitalWrite (Relay6, HIGH); //ground_LED3

Serial.print("\nOK COM3 ON");

com3_on();

}

```

```

else if ((uz1<30&&uz2>30&&uz3>30&&input=='1') //สั่งLED1 ไม่ทำงาน แต่LED 2,3 ทำงานปกติ

```

```

{

Serial.print("\nSorry LED 1 FAIL LED 2,3 ONLINE");

}

```

```

else if ((uz1>30&&uz2<30&&uz3>30&&input=='2') //สั่งLED2 ไม่ทำงาน แต่LED 1,3 ทำงานปกติ

```

```

{

Serial.print("\nSorry LED 2 FAIL LED 1,3 ONLINE");

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

else if ((luz1>30&&luz2>30&&luz3<30&&input=='3') //สั่งLED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1,3 ทำงานปกติ

{Serial.print("\nSorry LED 3 FAIL LED 1,2 ONLINE");

} else if ((luz1<30&&luz2<30&&luz3>30&&input=='1') //สั่งLED1 ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ

{ Serial.print("\nSorry LED 1,2 FAIL LED 3 ONLINE");

} else if ((luz1<30&&luz2>30&&luz3<30&&input=='1') //สั่งLED1 ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\nSorry LED 1,3 FAIL LED 2 ONLINE");

} else if ((luz1>30&&luz2<30&&luz3<30&&input=='2') //สั่งLED2 ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\nSorry LED 2,3 FAIL LED 1 ONLINE");

} else if ((luz1<30&&luz2<30&&luz3>30&&input=='2') //สั่งLED2 ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\nSorry LED 2,1 FAIL LED 3 ONLINE");

} else if ((luz1>30&&luz2<30&&luz3<30&&input=='3') //สั่งLED3 ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\nSorry LED 3,1 FAIL LED 1 ONLINE");

} else if ((luz1<30&&luz2>30&&luz3<30&&input=='3') //สั่งLED3 ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ

{Serial.print("\nSorry LED 3,1 FAIL LED 2 ONLINE");

}

}

//เปิดcomport

void com1_on()

{

loop:

valcr_sensor1 = analogRead(LDR1);

luz1 = (5.0 * valcr_sensor1 * 100.0)/1024.0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

Serial.print((char)incomingByte);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(incomingByte=='^'){

com1_off();

}

else if(luz1<10){

Serial.println("\n SYSTEM FAIL");

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

}

goto loop;

}

void com2_on()

{

loop:

valor_sensor2 = analogRead(A2);

luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

Serial.print((char)incomingByte);

if(incomingByte=='^'){

com2_off();

}

else if(luz2<10){

Serial.println("\n SYSTEM FAIL");

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

}

goto loop;

}

void com3_on()
{
loop:

valor_sensor3 = analogRead(LDR3);

luz3 = (5.0 * valor_senscr3 * 100.0)/1024.0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

Serial.print((char)incomingByte);

if(incomingByte=='^'){

com3_off();

}

else if(luz3<10){

Serial.println("\n SYSTEM FAIL");

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

}

goto loop;

}

//ปิดcom port

void com1_off()

{Serial.println(' com1 off?');

loop:

incomingByte=0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

if(incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

else if (incomingByte=='X'){

Serial.print((char)incomingByte);

com1_on();

}

}

goto loop;

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void com2_off()

//Serial.println(" com1 off?");

loop:

incomingByte=0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

if(incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

else if (incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

com2_on();

}

}

goto loop;

}

void com3_off()

//Serial.println(" com1 off?");

loop:

incomingByte=0;

if (Serial.available() > 0) {

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

if(incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

else if (incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

com3_on();

}

}

goto loop;

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <Manchester.h>

#define Relay_re 8

int incomingByte=0;

#define RX_PIN 4

uint8_t moo = 1;

void setup() {

  Serial.println("\n Type 'C1' for com1 on");

  pinMode(Relay_re,OUTPUT);

  man.setupReceive(RX_PIN,MAN_9600);

  man.beginReceive();

  Serial.begin(9600);

}

void loop() {

  c10;

}

void c1()

{

  loop:

  int incomingByte=0;

  if (man.receiveComplete()>0) {

    uint16_t m = man.getMessage();

    man.beginReceive(); //start listening for next message right after you retrieve the message

    //Serial.print((char)man.getMessage());

    incomingByte = (char)man.getMessage();

    if(incomingByte=='C'){

      c20;

    }

  }

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void c2()

loop:

incomingByte=0;

if (man.receiveComplete(>0) {

uint16_t m = man.getMessage();

man.beginReceive();

incomingByte = (char)man.getMessage();

//incomingByte = Serial.read();

if(incomingByte!='1'){

c1();

}

else if (incomingByte=='1'){

Serial.println("\n ok com1 on");

com1_on();

}

}

goto loop;

}

void com1_on()

{

loop:

if (man.receiveComplete(>0){

uint16_t m = man.getMessage();

man.beginReceive();

incomingByte = (char)man.getMessage();

Serial.print((char)incomingByte);

if(incomingByte=='^'){

com1_off();

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
}
goto loop;
}

void com1_off()

//Serial.println(' com1 off?');

loop:

incomingByte=0;

if (man.receiveComplete(>0) {

uint16_t m = man.getMessage();

man.beginReceive();

incomingByte = (char)man.getMessage();

if(incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

else if (incomingByte=='N'){

com1_on();

}

}

goto loop;

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <Manchester.h> //Totalmente creado por Antonio López Rubia [LPZ] para YouTube.com/antoniolr95, Taringa y http://antoniolr95.blogspot.com
```

```
#define Relay1 2 //El LED esta conectado en el pin 9
```

```
#define Relay2 3
```

```
#define Relay3 4
```

```
#define Relay4 5
```

```
#define Relay5 6
```

```
#define Relay6 7
```

```
#define Relay_re 8
```

```
#define LDR1 A0 //El LDR esta conectado en el pin A0
```

```
#define LDR2 A1
```

```
#define LDR3 A2
```

```
#define TX_PIN 5
```

```
#define LED_PIN 13
```

```
int incomingByte=0;
```

```
int luz1 = 0;
```

```
int valor_sensor1 = 0;
```

```
int luz2 = 0;
```

```
int valor_sensor2 = 0;
```

```
int luz3 = 0;
```

```
int valor_sensor3 = 0;
```

```
char input;
```

```
uint8_t moo = 1; //last led status
```

```
uint16_t transmit_data = 0;
```

```
void setup() { //Configuracion de los pin como entrada o salida
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
man.workAround1MhzTinyCore(); //add this in order for transmitter to work with 1Mhz Attiny85/84
```

```
man.setupTransmit(TX_PIN, MAN_9600);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

test

```
pinMode(Relay1,OUTPUT);
pinMode(Relay2,OUTPUT);
pinMode(Relay3,OUTPUT);
pinMode(Relay4,OUTPUT);
pinMode(Relay5,OUTPUT);
pinMode(Relay6,OUTPUT);
pinMode(Relay_re,OUTPUT);
pinMode(LDR1,INPUT);
pinMode(LDR2,INPUT);
pinMode(LDR3,INPUT);
valor_sensor1 = analogRead(LDR1);
luz1 = (5.0 * valor_sensor1 * 100.0)/1024.0;
valor_sensor2 = analogRead(LDR2);
luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;
valor_sensor3 = analogRead(LDR3);
luz3 = (5.0 * valor_sensor3 * 100.0)/1024.0;
Serial.print("SYSTEM ONLINE");
if (luz1>30&&luz2>30&&luz3>30)
{ Serial.print("\n LED 1 ONLINE LED 2 ONLINE LED 3 ONLINE"); }
else if (luz1<30&&luz2>30&&luz3>30 ) //LED1 ไม่ทำงาน แต่LED 2,3 ทำงานปกติ
{ Serial.print("\n LED 1 FAIL LED 2,3 ONLINE");
}
else if (luz1>30&&luz2<30&&luz3>30 ) //LED2 ไม่ทำงาน แต่LED 1,3 ทำงานปกติ
{
Serial.print("\n LED 2 FAIL LED 1,3 ONLINE");
}
else if (luz1>30&&luz2>30&&luz3<30 ) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1,2 ทำงานปกติ
{
Serial.print("\n LED 3 FAIL LED 1,2 ONLINE");
}
else if (luz1<30&&luz2<30&&luz3>30 ) //LED1 ไม่ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ
{
Serial.print("\n LED 1,2 FAIL LED 3 ONLINE");
}
else if (luz1<30&&luz2>30&&luz3<30 ) //LED1 ไม่ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ
{
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("\n LED 1,3 FAIL LED 2 ONLINE");

}

else if ((luz1>30&& luz2<30&& luz3<30) //LED2 ไม่ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ

{ Serial.print("\n LED 2,3 FAIL LED 1 ONLINE"); }

else if ((luz1<30&& luz2<30&& luz3>30) //LED2 ไม่ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ

{ Serial.print("\n LED 2,1 FAIL LED 3 ONLINE");

} else if ((luz1>30&& luz2<30&& luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ

{ Serial.print("\n LED 3,1 FAIL LED 1 ONLINE"); }

else if ((luz1<30&& luz2>30&& luz3<30) //LED3 ไม่ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ

{ Serial.print("\n LED 3,1 FAIL LED 2 ONLINE");

}

Serial.print("\n 1=LED1, 2=LED2, 3=LED3");

void loop ()

SYSTEM0; }

void SYSTEM() //Configuración de los valores del LDR

{ valor_sensor1 = analogRead(LDR1);

luz1 = (5.0 * valor_sensor1 * 100.0)/1024.0;

valor_sensor2 = analogRead(LDR2);

luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;

valor_sensor3 = analogRead(LDR3);

luz3 = (5.0 * valor_sensor3 * 100.0)/1024.0;

//Serial.print(luz1);

//Serial.print(" Luz1 ");

//Serial.print(luz2);

//Serial.print(" Luz2 ");

//Serial.print(luz3);

//Serial.println(" Luz3");

//delay(300);

if (Serial.available())

input = Serial.read();

//สั่งLED1 ทำงาน luz1>30&&

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if (input=='1' )
{
digitalWrite (Relay1, HIGH); //INPUT_LED3

digitalWrite (Relay2, LOW); //INPUT_LED2

digitalWrite (Relay3, LOW); //INPUT_LED1

digitalWrite (Relay4, HIGH); //ground_LED1

digitalWrite (Relay5, LOW); //ground_LED2

digitalWrite (Relay6, LOW); //ground_LED3

Serial.print("\nOK COM1 ON");

com1_on();

}

//สั่งLED2 ทำงาน
else if (input=='2' )
{
digitalWrite (Relay1, LOW); //INPUT_LED1

digitalWrite (Relay2, HIGH); //INPUT_LED2

digitalWrite (Relay3, LOW); //INPUT_LED3

digitalWrite (Relay4, LOW); //ground_LED1

digitalWrite (Relay5, HIGH); //ground_LED2

digitalWrite (Relay6, LOW); //ground_LED3

Serial.print("\nOK COM2 ON");

com2_on();

}

//สั่งLED3 ทำงาน
else if (input=='3' )
{
digitalWrite (Relay1, LOW); //INPUT_LED1

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite (Relay2, LOW); //INPUT_LED2

digitalWrite (Relay3, HIGH); //INPUT_LED3

digitalWrite (Relay4, LOW); //ground_LED1

digitalWrite (Relay5, LOW); //ground_LED2

digitalWrite (Relay6, HIGH); //ground_LED3

Serial.print("\nOK COM3 ON");

com3_on();

}

else if ((luz1<30&&luz2>30&&luz3>30&&input=='1') //สั่งLED1 ไม่ทำงาน แต่LED 2,3 ทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 1 FAIL LED 2,3 ONLINE");

}

else if ((luz1>30&&luz2<30&&luz3>30&&input=='2') //สั่งLED2 ไม่ทำงาน แต่LED 1,3 ทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 2 FAIL LED 1,3 ONLINE");

}

else if ((luz1>30&&luz2>30&&luz3<30&&input=='3') //สั่งLED3 ไม่ทำงาน แต่LED 1,3 ทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 3 FAIL LED 1,2 ONLINE");

}

else if ((luz1<30&&luz2<30&&luz3>30&&input=='1') //สั่งLED1 ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ
{

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("\nSorry LED 1,2 FAIL LED 3 ONLINE");

}

else if ((uz1<30&&uz2>30&&uz3<30&&input!='1') //สั่งLED1 ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 1,3 FAIL LED 2 ONLINE");

}

else if ((uz1>30&&uz2<30&&uz3<30&&input=='2') //สั่งLED2 ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 2,3 FAIL LED 1 ONLINE");

}

else if ((uz1<30&&uz2<30&&uz3>30&&input=='2') //สั่งLED2 ทำงาน แต่LED 3 เท่านั้นทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 2,1 FAIL LED 3 ONLINE");

}

else if ((uz1>30&&uz2<30&&uz3<30&&input=='3') //สั่งLED3 ทำงาน แต่LED 1 เท่านั้นทำงานปกติ
{

Serial.print("\nSorry LED 3,1 FAIL LED 1 ONLINE");

}

else if ((uz1<30&&uz2>30&&uz3<30&&input=='3') //สั่งLED3 ทำงาน แต่LED 2 เท่านั้นทำงานปกติ

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

Serial.print("\nSorry LED 3,1 FAIL LED 2 ONLINE");

}

}

//เปิดcomport

void com1_on()

{

loop:

valor_sensor1 = analogRead(LDR1);

tuz1 = (5.0 * valor_sensor1 * 100.0)/1024.0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

Serial.print((char)incomingByte);

if(incomingByte=='^'){

com1_off();

}

}

goto loop;

}

void com2_on()

{

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

loop:

valor_sensor2 = analogRead(LDR2);

luz2 = (5.0 * valor_sensor2 * 100.0)/1024.0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

Serial.print((char)incomingByte);

if(incomingByte=='^'){

com2_off;

}

}

goto loop;

}

void com3_on()

{

loop:

valor_sensor3 = analogRead(LDR3);

luz3 = (5.0 * valor_sensor3 * 100.0)/1024.0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print((char)incomingByte);

if(incomingByte=='A'){

  com3_off();

}

}

}

goto loop;

}

//ปิด com port

void com1_off()

{

//Serial.println(" com1 off");

loop:

incomingByte=0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

if(incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

}

else if (incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void com3_off()

{//Serial.println(" com1 off");

loop:

incomingByte=0;

if (Serial.available() > 0) {

incomingByte = Serial.read();

transmit_data=incomingByte;

man.transmit(transmit_data);

if(incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

Serial.println("\n SYSTEM RESET");

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, HIGH);

delay(1000);

digitalWrite (Relay_re, LOW);

}

else if (incomingByte=='N'){

Serial.print((char)incomingByte);

com3_on();

}

}

goto loop;

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายปกภูมิ จันโทสถ  
วัน เดือน ปีเกิด 22 มีนาคม 2534  
ที่อยู่ 556/1 หมู่1 ซอย ม.ริมสวน ถนนลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง  
10520 โทร 088-2338494  
ประวัติการศึกษา 2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้