

การส่งสัญญาณเสียงผ่านการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย  
AUDIO TRANSMISSION OVER FREE-SPACE OPTICAL  
COMMUNICATION

นาย กฤษดา	สรลัมพ์
นาย วีรภัทร	อริยะเสรี
นาย ไกรสิทธิ์	โหมาศวิน

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
ปีการศึกษา 2556  
55EE207

หัวข้อโครงการ            การส่งสัญญาณเสียงผ่านการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย

โดย                            นายกฤษดา ศรีลัมพ์  
                                  นายวีรภัทร อริยะเศรษฐี  
                                  นาย ไกรสิทธิ์หนาท โหมาศวิน

ภาควิชา                      วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้นับโครงการ  
วิศวกรรมฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
(ดร.ภรชัย จุณวัฒน์กุล)            และอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ)

(วันที่.....เดือน.....พ.ศ.2557)

รหัสโครงการ 55EE207

## การส่งสัญญาณเสียงผ่านการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย

### Audio Transmission Over Free-space Optical Communication

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอ ระบบการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสาร โดยนำหลักการของแสงมาประยุกต์ใช้งาน ในการสื่อสารรูปแบบพื้นฐาน ภาคส่งจะรับข้อมูลทางไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดและจะใช้คลื่นพาห้ที่เป็นความถี่ทางแสงโดยเลือกมาจากย่านของแสงที่มองเห็นได้ จากนั้นนำมารวมกับสัญญาณข้อมูลข่าวสารที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า จะได้สัญญาณแสงออกมา แล้วนำสัญญาณแสงนั้นส่งออกไปทางช่องการสื่อสารทางแสงโดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ เมื่อสัญญาณแสงส่งจากภาคส่งไปถึงยังภาครับ ภาครับจะทำการรับแสงจากตัวอุปกรณ์รับสัญญาณแสงเพื่อทำการแยกสัญญาณออกจากคลื่นพาห้ แล้วเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งให้อุปกรณ์ปลายทางต่อไป การสื่อสารทางแสงที่ใช้คลื่นพาห้ย่านแสงที่มองเห็นได้นั้น เป็นการใช้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่กว้างมากของแสงทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้นและรวดเร็วขึ้นด้วย นอกจากนี้สัญญาณแสงที่ส่งออกไปจะทำการตรวจจับหรือถูกรบกวนจากคลื่นความถี่อื่นๆ ได้ยากกว่าช่วงคลื่นความถี่วิทยุ การสื่อสารทางแสงเหมาะสำหรับการสื่อสารความเร็วสูงเพื่อส่งข้อมูลปริมาณสูงระหว่างเครือข่ายหลักหรือการประยุกต์เฉพาะทางอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี จากความอนุเคราะห์และการอบรมสั่งสอนของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้ความรู้ แรงบันดาลใจ แนวทางในการคิดการแก้ปัญหาและจรรยาบรรณวิชาชีพ รวมไปถึงคำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ มาโดยตลอด ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและต้องขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

และต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่ให้สถานที่และห้องปฏิบัติการในการจัดทำโครงการ รวมถึงอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ใช้อุปกรณ์บางส่วนในห้องปฏิบัติการและห้องทดลอง

ท้ายสุด ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษา รวมไปถึง ความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดการจัดทำโครงการ ซึ่งทำให้โครงการนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ของโครงการ	2
บทที่ 2 โครงสร้างและหลักการทำงาน	3
2.1 หลักการของแสง	3
2.2 การสื่อสารทางแสง	4
2.3 การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย	4
2.4 อุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงที่ดี	9
2.5 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณแสง	10
2.6 อุปกรณ์รับสัญญาณแสง	11
2.7 โครงสร้างของโครงการ	12
2.8 โครงการระยะที่ 1 การสื่อสารสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย	13
2.9 โครงการระยะที่ 2 การสื่อสารสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย	17
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง	27
3.1 การออกแบบและการสร้างในโครงการระยะที่ 1	27
3.2 การออกแบบและการสร้างในโครงการระยะที่ 2	29

**สารบัญ (ต่อ)**

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	39
4.1 การทดลองในโครงการระยะที่ 1	39
4.2 การทดลองในโครงการระยะที่ 2	41
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	50
5.1 บทสรุป	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการแปลงสัญญาณ A/D D/A	55
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	65
ภาคผนวก ค เอกสารรายละเอียด	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การลดทอนสัญญาณจากสภาพภูมิอากาศ

หน้า

8

## สารบัญภาพ

	หน้า	
ภาพที่ 2.1	สเปกตรัมของแสงที่มองเห็นได้	4
ภาพที่ 2.2	Beam Divergence	6
ภาพที่ 2.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางกับระยะห่าง	6
ภาพที่ 2.4	เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่น และเทคนิคการผสมสี	11
ภาพที่ 2.5	โครงสร้างการทดสอบส่งสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย	12
ภาพที่ 2.6	โครงสร้างการทดสอบส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย	13
ภาพที่ 2.7	พอร์ตอนุกรม RS232	13
ภาพที่ 2.8	การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	14
ภาพที่ 2.9	ไอซี MAX232	15
ภาพที่ 2.10	ระดับแรงดันสัญญาณ TTL	15
ภาพที่ 2.11	เปรียบเทียบระดับแรงดันระหว่างสัญญาณ TTL กับสัญญาณ RS232	16
ภาพที่ 2.12	TTL/CMOS Serial Logic Waveform	16
ภาพที่ 2.13	ชุดบอร์ด STM32F0 DISCOVERY	19
ภาพที่ 2.14	รูปแบบการเขียน/อ่านข้อมูลแบบ I2C BUS	20
ภาพที่ 2.15	I2C BUS START and STOP Conditions	20
ภาพที่ 2.16	I2C BUS (Control Byte)	21
ภาพที่ 2.17	การรับส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS	21
ภาพที่ 2.18	รูปแบบการสื่อสารแบบ UART	22
ภาพที่ 2.19	การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ที่ลำดับต่าง ๆ	23
ภาพที่ 2.20	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1	24
ภาพที่ 2.21	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2	25
ภาพที่ 3.1	วงจรแปลงระดับสัญญาณ	26
ภาพที่ 3.2	วงจรขับสัญญาณแสง	27
ภาพที่ 3.3	วงจรดีเทคเตอร์	28
ภาพที่ 3.4	วงจรรขยายสัญญาณ	28
ภาพที่ 3.5	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	29
ภาพที่ 3.6	วงจรขับสัญญาณแสง	30
ภาพที่ 3.7	วงจรดีเทคเตอร์	30



## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.8 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	31
ภาพที่ 3.9 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ	32
ภาพที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณเสียง	33
ภาพที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ	33
ภาพที่ 3.12 Flow Chart ควบคุมการแปลงสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	34
ภาพที่ 3.13 วงจรภาคส่งสัญญาณ ASCII code	35
ภาพที่ 3.14 วงจรภาครับสัญญาณ ASCII code	36
ภาพที่ 3.15 วงจรภาคส่งสัญญาณเสียง	37
ภาพที่ 3.16 วงจรภาครับสัญญาณเสียง	38
ภาพที่ 4.1 การทดลองสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย	39
ภาพที่ 4. 2 การทดลองส่งสัญญาณ ASCII code ที่ 2400 Bit per second	40
ภาพที่ 4.3 การทดลองส่งสัญญาณ ASCII code ที่ 9600 Bit per second	40
ภาพที่ 4.4 การทดลองเพื่อศึกษาการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สาย	42
ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมมเบียงในการส่ง (ที่ระยะ 1 เมตร)	42
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมมเบียงในการส่ง (ที่ระยะ 2 เมตร)	43
ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมมเบียงในการส่ง (ที่ระยะ 3 เมตร)	43
ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมมเบียงในการส่ง (ที่ระยะ 4 เมตร)	44
ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมมเบียงในการส่ง (ที่ระยะ 5 เมตร)	44
ภาพที่ 4.10 ภาพสเปคตรัมก่อนและหลังผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	46
ภาพที่ 4.11 การทดลองส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย	47
ภาพที่ 4.12 ภาพสัญญาณเสียงที่วงจรภาคส่งและวงจรภาครับ	47
ภาพที่ 4.13 ภาพสัญญาณข้อมูลที่วงจรภาคส่งและวงจรภาครับ	48
ภาพที่ 4.14 ภาพสัญญาณข้อมูลก่อนและหลังยกระดับสัญญาณ	49

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารส่วนใหญ่จะใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นช่องทางการสื่อสาร เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาในเชิงพาณิชย์และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นอกเหนือจากการสื่อสารผ่านช่องทางคลื่นความถี่วิทยุแล้วยังมีการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็น (Visible Light Communication : VLC) โดยการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นหรือ VLC นี้ยังมีเทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย (Free Space Optical Networking : FSO) ซึ่งเป็นการส่งและรับข้อมูลอัตราเร็วสูง ผ่านทางสัญญาณแสงโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง จุดที่น่าสนใจก็คือ คลื่นแสงจะเดินทางในอากาศได้เร็วกว่าในแก้ว ดังนั้นจึงอาจจัดได้ว่า FSO เป็นการสื่อสารทางแสงด้วยอัตราความเร็วแสงอย่างแท้จริง โครงการนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย มาประยุกต์เพื่อการสื่อสาร สัญญาณเสียงในย่านแสงที่มองเห็น ทั้งนี้เนื่องจาก FSO เป็นเทคโนโลยีแบบ line-of-sight โดย FSO จะไม่ให้กำเนิด side lobes คุณสมบัตินี้จะช่วยลดโอกาสของการเกิดสัญญาณรบกวนกันและทำให้การติดตั้งง่ายขึ้น เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในยุคปัจจุบันที่ต้องการความเร็วในการสื่อสารสูง

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในการสื่อสารนั้นมีอุปสรรคจากสัญญาณรบกวน (noise) ต่างๆ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนต่างๆรบกวนการสื่อสาร ทั้งยังมีความจำเป็นต้องขออนุญาตใช้ความถี่ในการสื่อสาร การเลือกใช้เทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายเป็นแนวทางที่จะแก้ไขและลดปัญหาต่างๆที่กล่าวมา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย
2. นำไปใช้งานด้านการสื่อสารเสียงด้วยแสงโดยการสร้างอุปกรณ์ที่สามารถสื่อสารผ่านแสงได้

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างต้นแบบอุปกรณ์ที่สามารถส่งและรับแสงสำหรับการสื่อสารเสียงได้ในภาวะไม่มีสิ่งกีดขวาง
2. สร้างต้นแบบอุปกรณ์ที่สามารถส่งและรับแสงสำหรับการสื่อสารเสียงได้ในระยะทางไม่น้อยกว่า 5 เมตร

## 1.4 ประโยชน์ของโครงการ

1. ได้ต้นแบบอุปกรณ์รับและส่งแสงสำหรับการสื่อสารเสียงได้
2. พัฒนาองค์ความรู้ในด้านการสื่อสารไร้สายโดยใช้แสงที่มองเห็นได้

## บทที่ 2

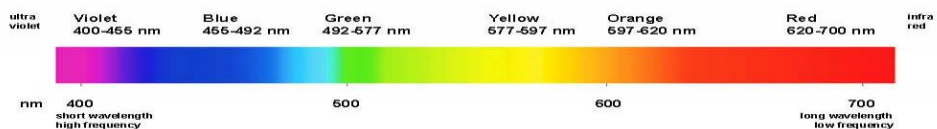
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการของแสง [1]

ธรรมชาติของแสงนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค คลื่นแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ในอากาศหรือสุญญากาศประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ซึ่งจะประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน ตามปกติแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางแสงจะมีการเปลี่ยนทิศทางไป เรียกว่าการสะท้อน และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของแสง เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเปิดเล็กๆ หรือช่องแคบที่ปล่อยให้คลื่นแสงผ่านไปได้ เรียกว่าการเลี้ยวเบน ส่วนการแทรกสอด จะเกิดจากการที่คลื่นแสงสองขบวนเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการเสริมกันและหักล้างกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงต้องให้กำเนิดแสงความถี่เดียวกัน และความยาวคลื่นเท่ากัน

##### 2.1.1 แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light)

แสงที่มองเห็นได้เป็นแสงที่อยู่ในความยาวคลื่นช่วงระหว่าง 400-700 นาโนเมตร เกิดจากการรวมตัวของแสงสีต่างๆ ที่ทำให้เกิดแสงสีขาว แสงแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นต่างกัน การที่จะแยกแสง สีขาวออกเป็นแสงสีต่างๆ ได้นั้นต้องใช้ปริซึมแยกแสงที่เป็นองค์ประกอบของแสงขาวออกจากกันได้เป็นแถบสีต่างๆ 7 สีเรียงติดกัน แถบสีที่เรียงติดกันนี้เรียกว่า สเปกตรัม



ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมของแสงที่มองเห็นได้

## 2.2 การสื่อสารทางแสง (Optical Communications) [2]

แนวความคิดในการที่จะนำแสงมาใช้ในการสื่อสารนั้น ได้เกิดขึ้นมาตั้งแต่สมัยที่มนุษย์รู้จักบังคับแสง ซึ่งได้จากไฟและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น การใช้พลุสัญญาณ สัญญาณไฟและการใช้กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์แต่จะใช้ได้ในระยะจำกัด จึงต้องจัดคนเป็นช่วงๆเพื่อทำหน้าที่ถ่ายทอดข่าวสารเพื่อการเพิ่มระยะทางในการสื่อสารให้มากขึ้น ต่อมาก็ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโดยใช้ความสว่างของแสงเป็นตัวกำหนดข้อมูลข่าวสาร ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณข่าวสารได้มากยิ่งขึ้น

ในปี ค.ศ. 1880 ชาวอเมริกันชื่อ อเล็กซานเดอร์ แกรแฮมเบล (Alexander Garham Bell) ได้ประดิษฐ์เครื่องโทรศัพท์ที่อาศัยหลักการของแสงขึ้นเป็นครั้งแรก โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง และทางด้านรับใช้ Selenium Cell เป็นอุปกรณ์รับแสง

ต่อจากนั้นมาได้มีการประดิษฐ์ หลอดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Tube) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าได้ และได้คิดวิธีการที่ทางด้านส่งจะทำการเปลี่ยนความสว่างของหลอดไฟให้ขึ้นไปตามสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปในอากาศ ทางด้านรับใช้หลอดโฟโต ไดอิเล็กทริกเปลี่ยนแสงให้กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าอย่างเดิม

## 2.3 การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย (Free Space Optical Communications) [3]

### 2.3.1 หลักการทำงานของ การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย

หลักการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย เกิดจากแหล่งกำเนิดข้อมูลจะสร้างข้อมูลในรูปของสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นทำการส่งสัญญาณไปยังแหล่งกำเนิดแสง เพื่อทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงโดยการรวมสัญญาณข้อมูลเข้ากับคลื่นพาห้ จากนั้นส่งสัญญาณแสงที่มีลักษณะเป็นลำแสง ออกไปยังช่องสัญญาณทางแสงซึ่งเป็นอากาศ สัญญาณแสงนั้นจะถูกส่งไปยังตัวรับแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากคลื่นพาห้ จากนั้นส่งสัญญาณไฟฟ้าที่

ได้ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เพื่อทำการเปลี่ยนกลับคืนให้เป็นสัญญาณข้อมูลแบบเดียวกับที่แหล่งกำเนิดข้อมูลส่งออกมา

### 2.3.2 คุณสมบัติของการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย

1. การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย เป็นเทคโนโลยีแบบ line-of-sight โดย การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย จะไม่ให้กำเนิด side lobes ในลักษณะเดียวกับที่เกิดจากสายอากาศไมโครเวฟแบบมีทิศทางคุณสมบัตินี้จะช่วยลดโอกาสของการเกิดสัญญาณรบกวนกันและทำให้การติดตั้งง่ายขึ้น การเลือกสถานที่ติดตั้งจะต้องแน่ใจว่าไม่มีอะไรมาขัดขวางการเชื่อมโยงของสัญญาณ ระยะการแยกห่างของ link จะถูกกำหนดโดยมุม divergence ของ빔ลำแสง
2. การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย เป็นระบบที่ไม่ต้องขออนุญาตใช้ความถี่ ถึงแม้ว่าแสงจะเป็นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ก็ไม่อยู่ภายใต้กฎข้อบังคับของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เพราะ กสทช. จะไม่วางกฎข้อบังคับสำหรับคลื่นความถี่ที่มากกว่า 300 GHz เนื่องจากการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายทั้งหมด จะมีความถี่เกินมากกว่า 300 GHz จึงไม่มีความจำเป็นสำหรับการขออนุญาตใช้ความถี่
3. โทโพโลยีของเครือข่ายระบบสื่อสารของสัญญาณของการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย เป็นการเชื่อมโยงแบบ point-to-point ในลักษณะ full duplex การเชื่อมโยงแบบ point-to-point นี้ สามารถถูกนำมาใช้สำหรับสร้างโทโพโลยีของเครือข่ายในรูปแบบใดๆ ก็ได้ อย่างเช่น แบบ ring, mesh และ star ส่วนฟังก์ชันของการ routing และการ multiplexing จะได้รับจากอุปกรณ์ประเภท router/switch และ add & drop multiplexer (ADM) ที่นำเข้ามาใช้ต่างหาก ระบบการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายเหมาะที่จะนำมาใช้ช่วยเสริมการใช้งานให้กับระบบเครือข่ายที่มีอยู่แล้วเนื่องจากง่ายต่อการติดตั้ง, ลงทุนต่ำ และไม่ต้องจ่ายค่าธรรมเนียมในการขออนุญาต รวมทั้งเหมาะที่จะนำมาติดตั้งใช้งานเป็นระบบเชื่อมโยงสำรอง หรือเป็นระบบเชื่อมโยงใช้งานชั่วคราว

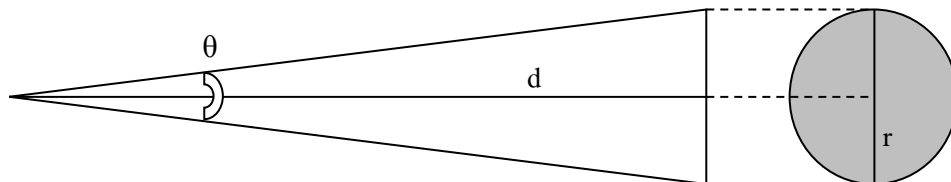
4. Beam divergence เนื่องจากระบบเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย เป็นแบบ point-to-point ดังนั้นจึงสามารถถูกจัดให้เป็นโทโพโลยีแบบต่างๆ ได้ เช่น เป็น spur, ring, star, mesh และอื่นๆ ตามปกติระบบการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย จะมีมุม divergence อยู่ใน ช่วง 3-6 mRad ทำให้สามารถเอาชนะปัญหาการแกว่งเอียงของตัวอาคารและปัญหาจาก scintillation ได้ลักษณะของ beam divergence จะเป็นรูปทรงกรวยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 10 เมตร

ตามสมการ  $r = d \tan \theta$  (2.1)

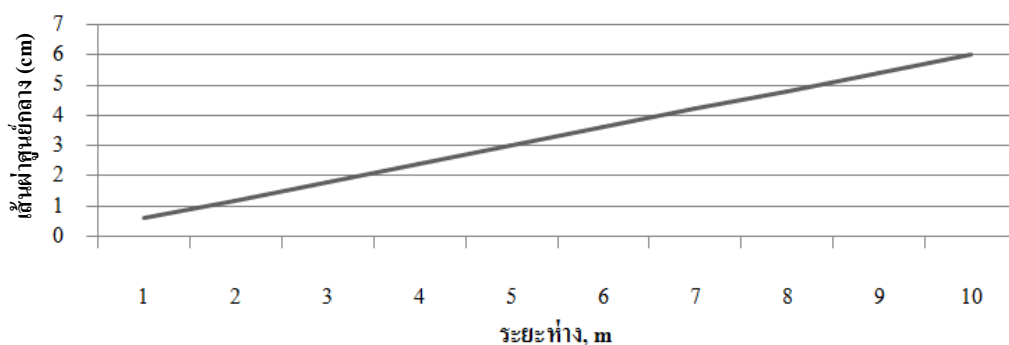
โดยที่  $\theta$  คือ beam divergence

$d$  คือ ระยะทาง

$r$  คือ รัศมีของแสงที่ตกกระทบ



ภาพที่ 2.2 Beam



ภาพที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางกับระยะทาง

กำลังส่งของแสงที่บริเวณใจกลางของบีม จะสูงมากกว่าบริเวณรอบนอก เนื่องจากเป็นคุณสมบัติของการปล่อยแสงของ laser diode ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของกำลังส่งของแสง (power distribution) จะมีลักษณะแบบเดียวกันไม่ว่าบีมจะใหญ่หรือจะแคบ

### 2.3.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย

การสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย แตกต่างจากระบบสื่อสารทางเส้นใยแก้วนำแสงตรงที่ตัวกลางที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณ ถ้าเป็นการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายจะต้องส่งผ่านอากาศเปิดภายนอก ทำให้อาจได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิศาสตร์ที่เกิดขึ้นภายนอกได้ ดังนั้นเครือข่ายต้องถูกออกแบบให้สามารถต้านทานต่อสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นเหล่านี้ และเนื่องจากระบบ การสื่อสารทางแสงแบบไร้สายเป็นเทคโนโลยีแบบ line-of-sight ดังนั้น การเชื่อมโยงจะต้องถูกออกแบบไม่ให้มีอะไรมาขัดขวางหรือขัดจังหวะบีมของลำแสง ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย มีดังนี้

1. หมอก (fog) ละอองน้ำหรือหยดน้ำที่เกิดในอากาศ ถ้ามีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงก็จะมีผลกระทบต่อการลดทอนของสัญญาณสูงมาก หมอก(fog) นั้นจะเป็นละอองน้ำหรือไอน้ำที่มีขนาดเล็กมากและใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงมากกว่าหยดเม็ดน้ำฝน ทำให้มีผลกระทบต่อการลดทอนสัญญาณมากกว่าอย่างมาก การลดทอนเป็นผลที่เกิดจากการรวมกันของการดูดกลืนแสง(absorption), การกระจัดกระจายของแสง(scattering) และการสะท้อนของแสง(reflection) วันใดที่มีหมอกลงจัด อาจทำให้ค่าลดทอน การออกแบบระบบเชื่อมโยงจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ อาจจะต้องลดระยะทางให้สั้นลงและเพิ่ม redundancy ให้กับระบบ



ตารางที่ 2.1 การลดทอนสัญญาณจากสภาพภูมิอากาศ

Weather Conditions	Attenuation
Clear	5 to 15 dB/km
Rain	20 to 50 dB/km
Snow	50 to 150 dB/km
Fog	50 to 300 dB/km

**2. การดูดกลืนแสง (absorption)** การดูดกลืนเกิดจากโมเลกุลของน้ำที่ลอยอยู่ในอากาศทำให้ ลดความหนาแน่นของกำลังแสงให้น้อยลงและมีผลต่อการลดค่า availability ของระบบ การดูดกลืนจะเกิดขึ้นมากกับบางความยาวคลื่น การใช้กำลังส่งที่เหมาะสมกับสภาพบรรยากาศ รวมทั้งการใช้ spatial diversity จะช่วยในการรักษาระดับของค่า availability เอาไว้ได้

**3. การกระจัดกระจายของแสง (scattering)** การกระจัดกระจายของแสงเกิดจากการที่ความยาวคลื่นแสงชนปะทะกับ scatterer ขนาดของ scatterer จะเป็นตัวกำหนดชนิดของ scattering ที่เกิดขึ้น ถ้า scatterer มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น ก็จะเรียกว่า Rayleigh scattering ถ้ามีขนาดใกล้เคียงกัน ก็จะเรียกว่า Mie scattering แต่ถ้าหาก scatterer มีขนาดใหญ่มากกว่าความยาวคลื่นมาก ก็จะเรียกว่า non-selective scattering การกระจัดกระจายของแสงจะไม่ใช่เป็นการดูดกลืนพลังงานของแสง แต่จะกระจายพลังงานของแสงไปในหลายทิศทาง มีผลทำให้ลดความเข้มของแสงให้น้อยลงสำหรับการส่งในระยะทางไกล

**4. การกีดขวางทางกายภาพ** นกที่บินอยู่ในท้องฟ้า อาจบินเข้ามาขวางลำแสงได้ แต่ก็ทำให้เกิดการขัดจังหวะสั้นๆ เท่านั้น การส่งสัญญาณก็จะคืนกลับเหมือนเดิม ระบบแบบ multi-beam อาจนำมาใช้แก้ปัญหานี้ได้

**5. การเคลื่อนไหวของตัวอาคาร** การเคลื่อนไหวของตัวอาคาร สามารถที่จะไปรบกวนการปรับตั้งทิศทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับได้ การใช้ divergent beam และระบบติดตาม (tracking) จะสามารถช่วยรักษาการเชื่อมโยงสัญญาณนี้เอาไว้ได้

6. **Scintillation** เกิดจากการที่อากาศร้อนลอยตัวจากพื้นดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในชั้นบรรยากาศ เป็นสาเหตุให้แอมพลิจูดของสัญญาณเกิดการกระเพื่อมที่เครื่องรับการที่จะหลีกเลี่ยงปัญหานี้คือ ไม่ควรเชื่อมโยงสัญญาณไกลกว่า 500 เมตร และควรวีคติดตั้งระบบให้ห่างจากช่องระบายอากาศ หรือพัดลมระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ การใช้ระบบ multiple laser beam สามารถช่วยเพิ่ม redundancy ให้กับระบบได้

7. **ความปั่นป่วนของการหักเห (Refractive turbulence)** สภาพอากาศที่มีความปั่นป่วนหรือเปลี่ยนแปลงอย่างไม่แน่นอน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของอากาศ ทำให้บีมลำแสงเกิดการผิดปกติกว้าง ผลกระทบที่เกิดกับบีมลำแสงมีอยู่ 3 แบบ คือ

- 1) beam wander เป็นการขยับบีมออกจากแนว line-of-sight
- 2) beam spreading เป็นการแผ่ขยายกว้างขึ้นของบีม
- 3) Intensity fluctuation การกระเพื่อมของความเข้มแสงของบีม มีผลทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้รับเกิดการกระเพื่อมด้วยเช่นเดียวกัน

## 2.4 อุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงที่ดีควรมีคุณสมบัติพิเศษ ดังนี้ [4]

1. เนื่องจากมีความสามารถทำการผสมคลื่นด้วยความเร็วสูงจึงสามารถส่งสัญญาณที่มีความเร็วสูงและความกว้างแถบกว้าง
2. มีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงได้ดี
3. มีกำลังทางออก (Output Power) สูง นอกจากนั้นสามารถรักษาคุณสมบัติการส่งที่ต้องการได้แม้กำลังแสงที่ได้รับมีค่าน้อยก็ตามจึงทำให้สามารถได้การสูญเสียที่ยอมรับได้ระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับอุปกรณ์รับแสงมากขึ้น

ในระบบการสื่อสารทางแสงไร้สายซึ่งมีข้อดี คือ มีการสูญเสียต่ำ อุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงที่มีกำลังทางเอาต์พุตและความไวสูงทำให้สามารถเพิ่มระยะทางตัวทวนสัญญาณของการส่งได้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้สายตัวนำที่เป็นโลหะแล้วจะสามารถลดจำนวนของตัวทวนสัญญาณได้เป็นจำนวนมากหรือสามารถเชื่อมต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์ที่ได้โดยไม่ต้องใช้ตัวทวนสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ประหยัดในระบบการสื่อสาร

และมีความเชื่อถือได้สูงแล้วยังทำการก่อสร้างและบำรุงรักษาได้ง่ายอีกด้วย ยิ่งกว่านั้นสำหรับการบริการต่างๆ ที่ความต้องการเพิ่มมากขึ้นในอนาคตก็สามารถส่งสัญญาณจำนวนหลายๆสัญญาณได้

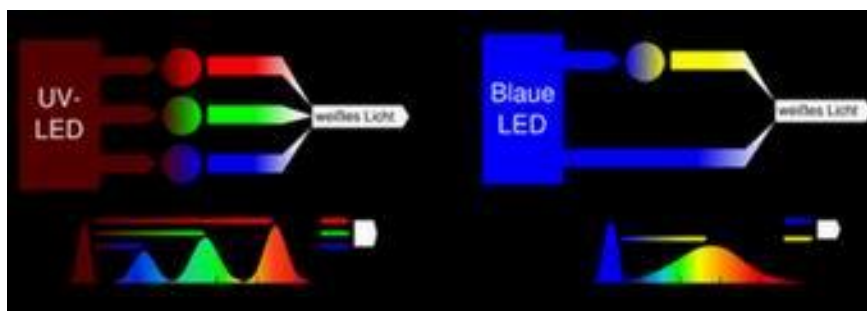
## 2.5 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณแสง[5]

อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณแสงที่นิยมใช้กันมากในระบบแสง ได้แก่ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอดเปล่งแสง เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติทางแสงและมีขนาดที่เหมาะสมกับกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กมากของเส้นใยแก้วนำแสง

**ไดโอดเปล่งแสง (LED) [6]** คือไดโอดที่ถูกออกแบบโครงสร้างให้สามารถเปล่งพลังงานออกมาได้เมื่อมีการไบอัสที่ถูกต้อง ลักษณะโครงสร้างของ LED เป็นพื้นฐานที่ใช้ในระบบสื่อสารทางแสง ซึ่งประกอบไปด้วยสารชนิด แกลเลียมอาร์เซไนด์ GaAs (LED ทั่วไปจะใช้สารพวกเจอร์เมอโรเนียมหรือซิลิคอน) ถูกโคปเป็นชนิด P (มีโฮลหรือประจุบวกมากกว่า) และชนิด N (มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่า) วางต่อกัน หลักการทำงานก็เหมือนกับไดโอดหรือ LED ธรรมดาทั่วไป เมื่อมีการไบอัสถูกทางด้วยค่าที่เหมาะสม จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังโฮลในระหว่างช่วงรอยต่อของสาร P – N (ที่เรียกว่าบริเวณดีพลิตชัน หรือ เขตปลอดพาห้) และมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของชั้นอิเล็กตรอนเกิดการคายพลังงานออกมภายนอกในรูปของแสงบางครั้งสารที่ใช้ทำ LED อาจเป็นประเภท แกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอ (GaAsP) แกลเลียมฟอสเฟอ (GaP) อลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (AlGaAs) หรืออินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอ (InGaAsP) ก็ได้ เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาวคลื่นแสงที่ได้มีค่าแตกต่างกัน แสงที่เปล่งออกมาจาก LED ในช่วงรอยต่อ P – N จะมีลักษณะกระจัดกระจายไม่มีแนวทางเดียวกัน และมักทำมุมค่อนข้างกว้าง ทำให้แสงที่ได้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำการแก้ไขทำได้โดยการปรับปรุงโครงสร้างของสารให้มีความซับซ้อนขึ้น และมีการกำหนดขอบการเปล่งสารเพื่อให้แสงมีการรวมตัวออกมาในทิศทางเดียวกันซึ่งลักษณะของแสงที่เปล่งออกมมักจะมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปร่าง

**ไดโอดเปล่งแสงสีขาวย [7]** โดยทั่วไปหลอดไดโอดเปล่งแสง สามารถเปล่งแสงออกมาได้เพียงสีเดียว (ความถี่หรือความยาวคลื่นเดียว) เท่านั้น แต่แสงสีขาวประกอบด้วยแสงหลายสีผสมกัน ดังนั้นจึงมีความพยายามหาเทคนิคต่างๆ เพื่อทำให้ไดโอดเปล่งแสงสามารถเปล่ง แสงสีขาวออกมา

ซึ่งปัจจุบันเทคนิคที่ใช้ผลิตหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ให้แสงสีขาวออกมาได้มี 2 เทคนิคด้วยกันคือ เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่น และเทคนิคการผสมสี



ภาพที่ 2.4 เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่น และเทคนิคการผสมสี

## 2.6 อุปกรณ์รับสัญญาณแสง [8]

อุปกรณ์รับสัญญาณแสงหรือ โฟโตดีเทคเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทาง คุณสมบัติที่สำคัญของ โฟโตดีเทคเตอร์ในระบบสื่อสารได้แก่

1. ต้องมีความเร็วในการรับแสงได้ดีเฉพาะในช่วงที่ต้องการเนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงเฉพาะ ดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกัน ย่อมทำให้ข้อมูลเกิดการผิดพลาดได้

2. เวลาในการตอบสนองสัญญาณต้องสั้นมากกว่า กล่าวคือ เมื่อแสงตกกระทบโฟโตดีเทคเตอร์ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาสั้นที่สุด เพื่อที่ว่าข้อมูลจำนวนมากสามารถรับส่งด้วยความเร็วสูงได้

3. ในระบบสื่อสารแบบแอนะล็อก ต้องใช้โฟโตดีเทคเตอร์ชนิดลิเนียร์เพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณลงให้น้อยที่สุด

4. สัญญาณรบกวนภายใน เนื่องจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

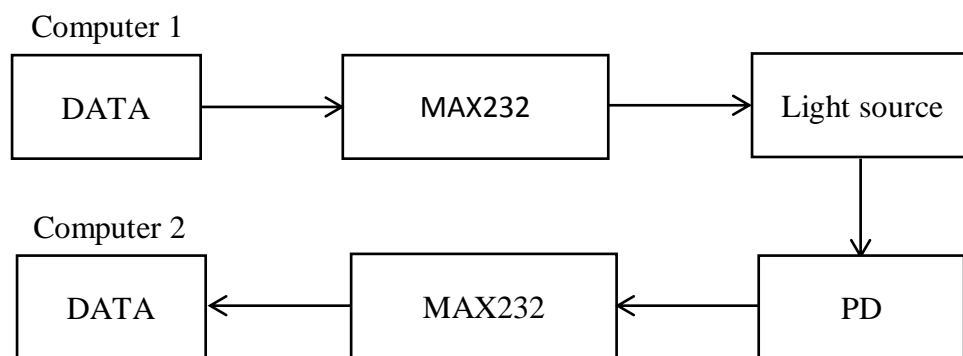
โฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้งานในท้องตลาดมีหลายชนิด โดยในโครงการนี้เราจะใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับสัญญาณแสง จึงขอกล่าวถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของการใช้โฟโตไดโอดดังนี้

โฟโตไดโอด (P - N Diode) [6] ซึ่งมีหลักการตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงหรือ LED กล่าวคือเมื่อไดโอดได้รับพลังงานจากแสงภายนอกจะทำให้เกิดโฟตรอนขึ้นในบริเวณเขตปลอด

พาห์หรือรอยต่อ P – N เกิดเป็นกระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (Dark Curreng) ใหลในช่วงนี้ หากมีการไบอัสกลับ (Revers bias) ให้แก่ไดโอดบริเวณที่ปลอดพาห์จะขยายกว้างขึ้นเป็นผลให้มีกระแสมากขึ้นทิศทางการไหลของกระแสเนื่องจากแสงนี้มีทิศทางเดียวกันกับการไบอัสกลับคืน จะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่แคโทดของไดโอด การเพิ่มบริเวณปลอดพาห์ให้กว้างขึ้นนอกจากทำได้โดยเพิ่มค่าแรงดันไบอัสกลับของโฟโตไดโอดแล้ว อาจทำได้โดยตรงกับโครงสร้างภายในโดยการแทรกแบบอินทรินซิก (Intrinsic: I) ไว้ระหว่างรอยต่อ P- N ช่วยให้ได้กระแสไหลมากขึ้นกว่าโฟโตไดโอดแบบธรรมดา เมื่อมีแสงตกกระทบ

## 2.7 โครงสร้างของโครงการ

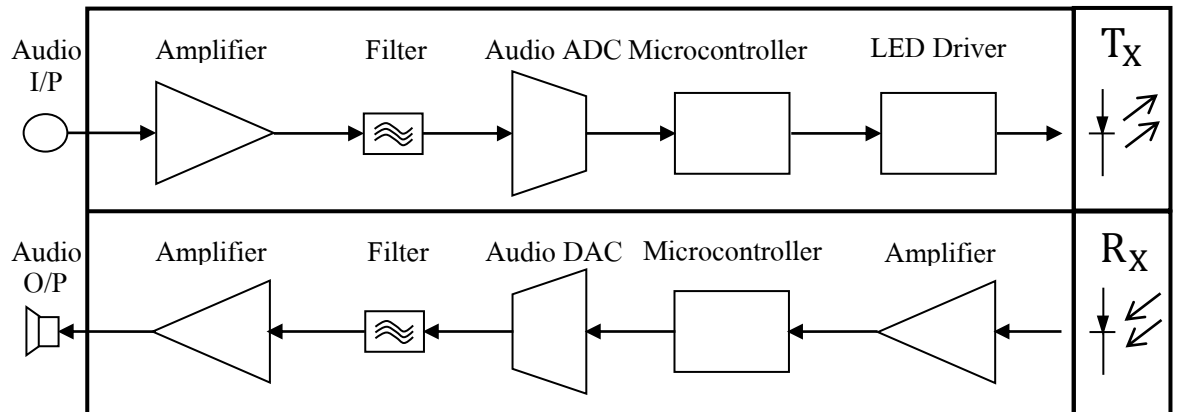
2.7.1 โครงการระยะที่ 1 เป็นการทดสอบเบื้องต้นในการส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลผ่านแสงแบบไร้สายโดยทำการส่งข้อมูล ASCII จากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS232



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างการทดสอบส่งสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย

## 2.7.2 โครงการระยะที่ 2 เป็นการดำเนินงานเพื่อสร้างต้นแบบอุปกรณ์ส่ง

สัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างการทดสอบส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย

## 2.8 โครงการระยะที่ 1 การสื่อสารสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย

### 2.8.1 พอร์ตอนุกรม RS232 [9]

RS-232 ย่อมาจาก Recommended Standard-232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม กำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ สมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยใช้สายเชื่อมต่อ DB แบบ 25 และ 9 เข็ม ที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง มีการทำงานแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Hand-shake) หรือไม่ได้



(ก)



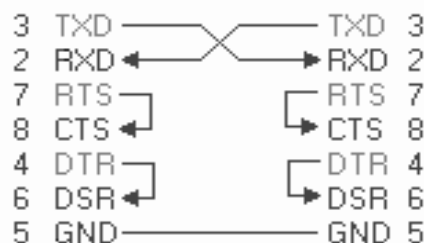
(ข)

ภาพที่ 2.7 พอร์ตอนุกรม RS232

(ก) ของคอมพิวเตอร์ DB9 ตัวผู้ (Male)

(ข) พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)

## 2.8.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9



ภาพที่ 2.8 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

ความหมายและหน้าที่ของขาต่างๆ

TXD เป็นขาส่งข้อมูล

RXD เป็นขารับข้อมูล

RTS เป็นขาที่ส่งสถานะไปยังตัวรับ ว่าต้องการส่งข้อมูล เมื่อต้องการส่งข้อมูล จะ ON จนกระทั่งส่ง Data ออกทางขา TX จนเสร็จจึงจะ OFF

CTS เป็นขาที่รอรับสถานะ จาก RTS ของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วย

DTR เป็นขาที่แสดงสถานะว่า Port นั้นเปิดอยู่หรือไม่

DSR เป็นขาที่ใช้ตรวจเช็ค สถานะ DTR ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ด้วย

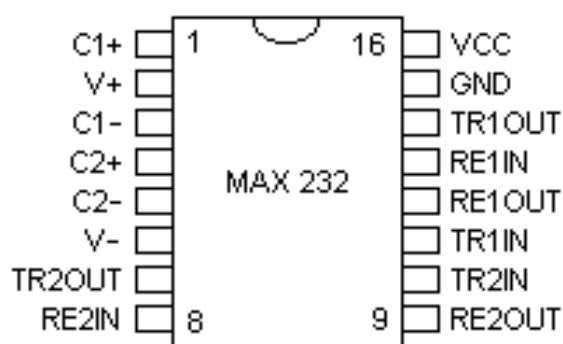
GND Signal Ground

## 2.8.3 ไอซีแปลงสัญญาณ MAX232 [10]

MAX232 เป็น IC ที่รับทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนแปลงข้อมูล RS232 ให้เป็นสัญญาณ TTL ระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทางที่เราต้องการจะจัดการ โดยคำสั่งจากโปรแกรมที่เรากำหนดหรือป้อนคำสั่งเข้าไป

IC MAX232 เป็นไอซีที่ผลิตขึ้นโดยบริษัท ดัลลัส เซมิคอนดักเตอร์ ภายในตัว IC เบอร์ MAX232 นั้นประกอบด้วยวงจรสำเร็จรูปจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณระหว่าง TTL ไปเป็น RS232 และ RS232 ไปเป็น TTL กลับกันเป็นไอซีแบบ 16 ขา ใช้ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ โดยภายในตัว IC นั้นมีวงจรแปลงสัญญาณข้อมูลจาก RS232 เป็น TTL ด้วยกัน

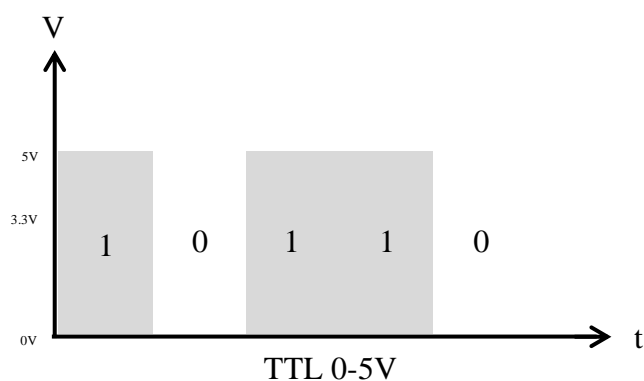
สองชุด และวงจรแปลง TTL เป็น RS232 อีกสองชุด รองรับมาตรฐานแบบ RS232 ตามข้อกำหนด EIA/TIA และ V.28 ภายใน MAX232 มีวงจรที่แรงดันและวงจรกลับขั้วแรงดันโดยต้องมีตัวคอนเด็นเซอร์ชนิดอิเล็กโทรไลติกมาต่อร่วมภายนอกเพิ่มอีก 4 ตัวจึงจะทำงานได้สมบูรณ์



ภาพที่ 2.9 ไอซี MAX232

#### 2.8.4 TTL (Transistor-Transistor Logic)

เป็นระดับแรงดันที่ถูกกำหนดขึ้นในยุคแรกๆเพื่อใช้ระหว่าง ทรานซิสเตอร์กับ ทรานซิสเตอร์ภายในวงจรรวม ( IC ) ดังนั้น TTL จะใช้ระดับแรงดัน อยู่ที่ 0 – 5 โวลต์ แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์หลายเบอร์ที่ทำงานในช่วง 0 – 3.3 โวลต์ (เรียกแรงดันระดับนี้ว่า LVTTTL) ซึ่งผู้ใช้ควรตรวจสอบจาก Datasheet ของอุปกรณ์ที่ใช้เสียก่อนว่าเป็นระดับแรงดันแบบใด เพราะหากใช้ผิดประเภทจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย



ภาพที่ 2.10 ระดับแรงดันสัญญาณ TTL

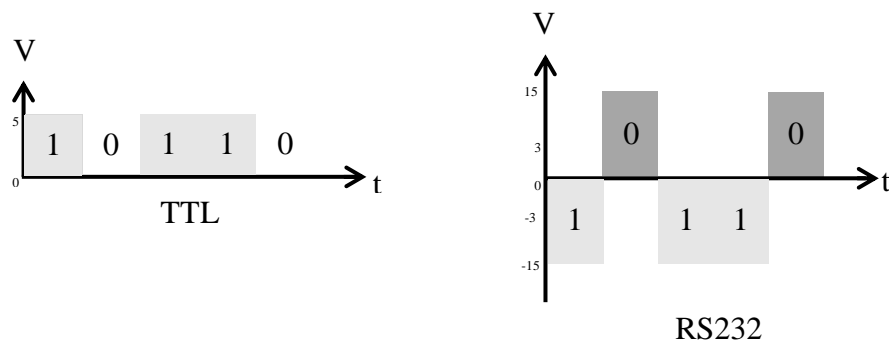


### 2.8.5 RS232 (Recommended Standard 232)

RS232 คือ มาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบ Serial ใช้เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูล แบบ Serial ให้สามารถส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น โดยมีการเปลี่ยนระดับแรงดัน ของ Logic จากเดิมที่จะอยู่ในช่วง 0-5 V หรือ 0-3.3 V เป็นช่วง -15 ถึง 15 V โดยมีรายละเอียดดังนี้

Logic 0 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 15V

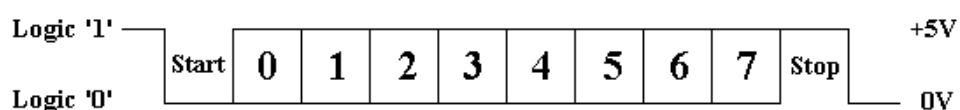
Logic 1 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง -3 ถึง -15V



ภาพที่ 2.11 เปรียบเทียบระดับแรงดันระหว่างสัญญาณ TTL กับสัญญาณ RS232

จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าทั้ง 2 อย่าง ส่ง Data เหมือนกัน แต่ระดับแรงดันที่ใช้ต่างกัน หากอุปกรณ์เป็น TTL แล้ว ไปต่อกับ RS232 ก็จะทำให้เกิดความเสียหายตามมาได้

การสื่อสาร โดย RS-232 เป็นการสื่อสารแบบ asynchronous หมายความว่า สัญญาณ clock ที่ใช้ควบคุมจังหวะไม่ได้ส่งไปพร้อมกับ Data แต่จะใช้ start bit เป็นตัว sync ในแต่ละ word ของการสื่อสารและใช้สัญญาณ clock ภายในของแต่ละคำเป็นตัวให้จังหวะเอง การรับ-ส่งข้อมูลในลักษณะนี้เรียกว่าแบบ frame คือมีการปิดล้อมข้อมูลไว้ด้วย start bit และ stop bit



ภาพที่ 2.12 TTL/CMOS Serial Logic Waveform

## 2.9 โครงการระยะที่ 2 การสื่อสารสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย

### 2.9.1 การส่งสัญญาณเสียงผ่านทางแสง [11]

การนำแสงมาเป็นคลื่นพาห้ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณการสื่อสารนั้น สัญญาณเสียงจะถูกส่งไปยังหน่วยผสมสัญญาณทางแสง ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปผสมกับคลื่นพาห้ โดยจะมีแหล่งกำเนิดแสงที่ทำหน้าที่ในการให้กำเนิดแสง ที่จะใช้เป็นคลื่นพาห้ในการผสมสัญญาณ เมื่อทำการผสมสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ภาคส่งจะทำการส่งสัญญาณในรูปแสง (Optical Signal) ออกไปยังอากาศ ส่งไปยังภาครับ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสง และมีอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (Optical Demodulator) ซึ่งจะส่งไปยังอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทางที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียง

### 2.9.2 ประเภทของสัญญาณ [12]

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ชนิด คือ

1. **สัญญาณแบบแอนะล็อก (Analog)** จะเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง ทุกๆค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของระดับสัญญาณจะมีความหมาย การส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกจะถูกรบกวนให้มีการแปลความหมายผิดพลาดได้ง่ายกว่า เนื่องจากค่าทุกค่าถูกนำมาใช้งาน ซึ่งสัญญาณแบบแอนะล็อกนี้จะเป็นสัญญาณที่สื่อกลางในการสื่อสารส่วนมากใช้อยู่ เช่น สัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์ เป็นต้น

2. **สัญญาณแบบดิจิทัล (Digital)** จะประกอบขึ้นจากระดับสัญญาณเพียง 2 ค่า คือสัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด ดังนั้นจะมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูงกว่าแบบแอนะล็อก เนื่องจากมีการใช้งานค่าเพียง 2 ค่า มาตีความหมายเป็น on/off หรือ 1/0 เท่านั้น ซึ่งสัญญาณดิจิทัลนี้ จะเป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานและติดต่อสื่อสารกัน

### 2.9.3 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

[12]

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit) เป็นกระบวนการที่สัญญาณแอนะล็อก (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC ซึ่งจะกำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ  $2^n$  คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลพื้นฐานมี 2 สถานะ และเรียกว่า ไบนารี ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของฐานหนึ่งและศูนย์

### 2.9.4 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to Analog Converter)

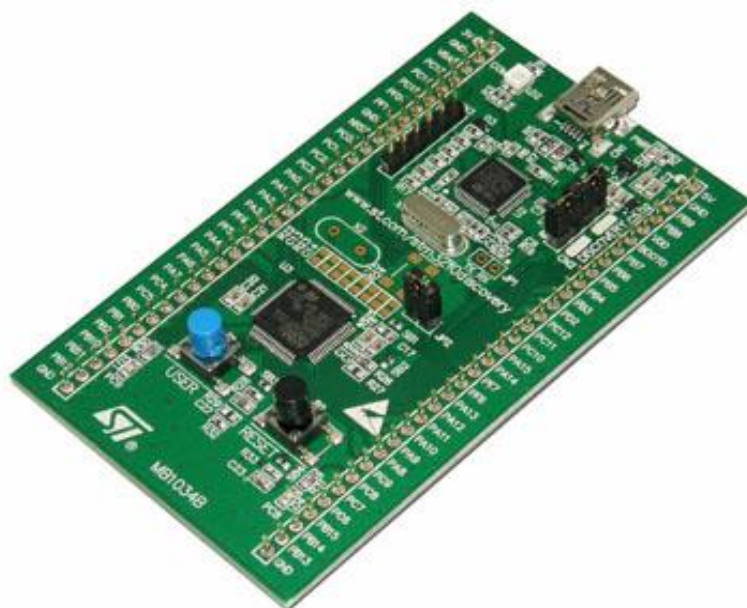
[12]

ทำหน้าที่แปลงข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผลเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อการแสดงผลข้อมูล (Output Unit) กระบวนการซึ่งสัญญาณมีการกำหนดระดับ หรือสถานะ จำนวนหนึ่ง (ปกติ คือ 2 สถานะ) หรือสัญญาณดิจิทัล ให้เป็นสัญญาณที่ไม่จำกัดจำนวนของสถานะ หรือสัญญาณแอนะล็อก วงจรที่ทำงานให้กับฟังก์ชันนี้ เรียกว่า digital to analog converter (DAC)

### 2.9.5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [13]

STM32F0 DISCOVERY เป็นชุดบอร์ดที่พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล STM32 ARM CORTEX-M0 ขนาด 32 บิต ของบริษัท ST โดยบนบอร์ดจะมี ส่วน Download และ Debug ในตัว

STM32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ซึ่งหน่วยประมวลผลกลางเป็น ARM Cortex-M0 สำหรับความสามารถและความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต นั้นดีกว่า 8 บิต พอสมควรแต่ต้องแลกกับความยากในการเขียนโปรแกรม เนื่องจากว่า โครงสร้างภายในมีความซับซ้อนมากกว่าจึงทำให้การกำหนดค่ารีจิสเตอร์ต่างๆจะมากกว่า แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 นั้น มีชุดคำสั่งในการกำหนดรีจิสเตอร์ไว้ให้ ชุดคำสั่งนี้เรียกชื่อเต็มว่า STM32F10x Standard Peripherals Library



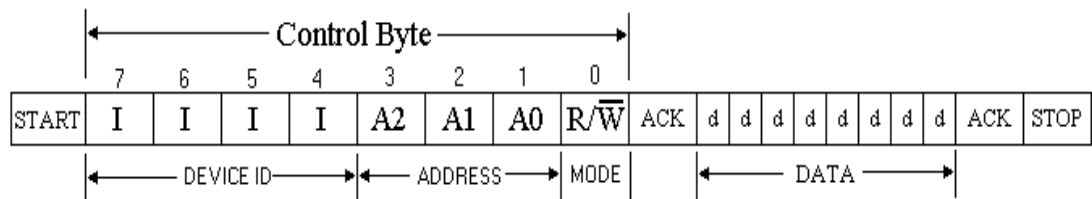
ภาพที่ 2.13 ชุดบอร์ด STM32F0 DISCOVERY

## 2.9.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C [14]

I2C Bus ย่อมาจาก Inter Integrate Circuit Bus (IIC) เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้น โดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ จำนวนหลายๆตัวเข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้สายสัญญาณ 2 เส้น คือ SCL,SDA สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์แบบ 2 ทิศทาง โดยที่ขาสัญญาณทั้ง 2 จะต้องต่อกับตัวต้านทานแบบ pull up 2-10K เนื่องจากเอาต์พุตมีลักษณะเป็น แบบ Open Darin หรือเป็นแบบ Open Collector เพื่อให้เอาต์พุตเชื่อมต่อกันได้หลายตัว โดยมีการทำงานแต่ละส่วน ดังนี้

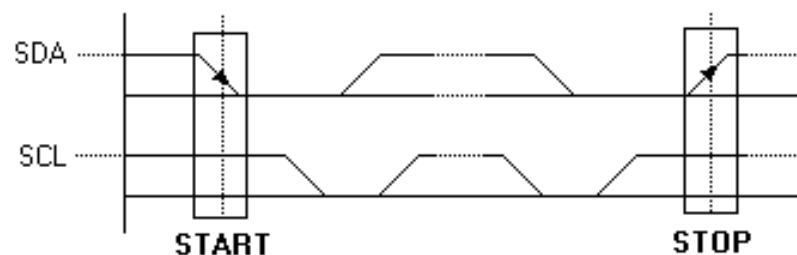
1. การเขียน-อ่านข้อมูลกับอุปกรณ์แบบ I2C BUS การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I2C BUS MCU จะเริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยการส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัสแล้วตามด้วยรหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบด้วยรหัสประจำตัวอุปกรณ์ Device ID ,Device Address ,และ Mode ในการ

เขียนหรืออ่านข้อมูล เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่า MCU ต้องการจะติดต่อก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ได้ส่งมามีความถูกต้องและเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่ง สถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่า สิ้นสุดการใช้บัส



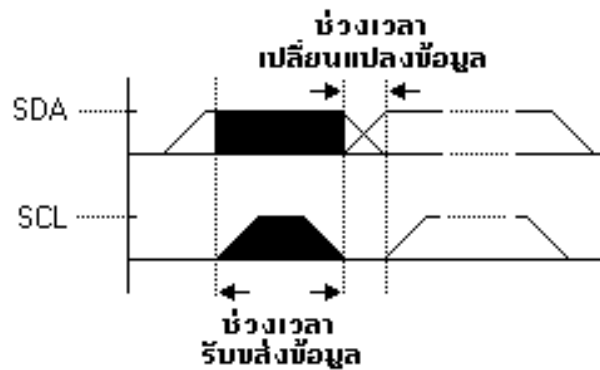
ภาพที่ 2.14 รูปแบบการเขียน/อ่านข้อมูลแบบ I2C BUS

**2. การกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C BUS (START and STOP Conditions)** ลักษณะการกำหนดสถานะเริ่มต้นและสถานะสิ้นสุดของ I2C BUS เมื่อต้องการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) คือให้ SDA เปลี่ยนจาก 1 มาเป็น 0 ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการการใช้บัส MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) คือให้ SDA เปลี่ยนจาก 0 มาเป็น 1 ในขณะที่ SCL มีค่าเป็น 1



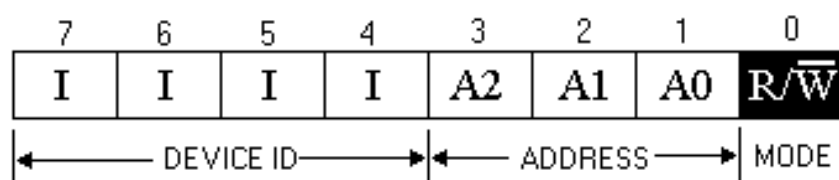
ภาพที่ 2.15 I2C BUS START and STOP Conditions

3. ช่วงเวลารับ-ส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS สถานะการรับ-ส่งข้อมูล จะกระทำในขณะที่ขา SCL เป็น 1 สถานะการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จะกระทำในขณะที่ขา SCL เป็น 0



ภาพที่ 2.16 การรับส่งบิตข้อมูลของ I2C BUS

4. รหัสควบคุมของ I2C BUS (Control Byte) รหัสควบคุมของ I2C BUS ประกอบด้วยรหัสประจำตัวของอุปกรณ์ (Device ID) ประกอบด้วยบิต 1-7 และบิต 0 เป็นบิตควบคุมการเขียน-อ่าน รหัสประจำตัวของอุปกรณ์ ประกอบด้วยรหัสประจำตัวจากผู้ผลิต Product ID 4 บิต (บิต 4-7) ที่เปลี่ยนแปลงแก้ไขไม่ได้ และ Device Address 3 บิต (บิต 1-3) ซึ่งผู้ใช้ สามารถกำหนดเองได้รวมแล้วเป็นรหัส 7 บิต ใช้ระบุตัวอุปกรณ์ ที่ต่ออยู่บนบัสจะมีค่าซ้ำกันไม่ได้บิตควบคุมการเขียน-อ่าน (Mode) เมื่อ MCU ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 0 และเมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ก็กำหนดให้บิตนี้เป็น 1



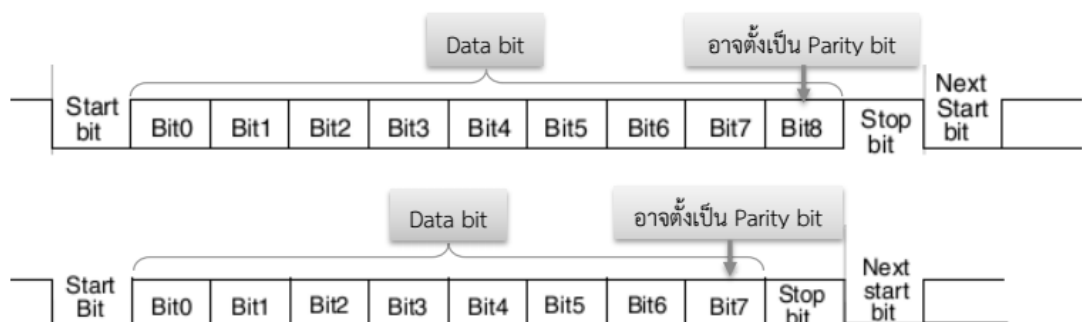
ภาพที่ 2.17 I2C BUS (Control Byte)

## 2.9.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ UART [15]

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็น การสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full duplex กล่าวคือสามารถรับและส่งข้อมูล ระหว่าง Receiver และ Transmitter ได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ไม่ต้องใช้สายสัญญาณ Clock เพื่อกำหนดจังหวะการรับ-ส่งข้อมูล แต่มีการกำหนดรูปแบบ Format หรือ Protocol การรับ-ส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับ-ส่ง ข้อมูลให้เท่ากัน ซึ่งการสื่อสารแบบอนุกรมจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous เป็นรูปแบบที่ใช้วิธีส่งข้อมูล โดยใช้ สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะ การส่งข้อมูลแบบนี้เป็นการรับ-ส่งที่ค่อนข้างมี คุณภาพ ในการส่งที่ความเร็วสูงมีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายระหว่างการส่งน้อย ข้อเสีย ของการส่งข้อมูลแบบนี้คือ ต้องใช้แบนด์วิดท์ของสายสัญญาณมาก เพราะจะต้องส่ง สัญญาณ Clock ไปด้วย

2) การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้ สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับ-ส่งข้อมูล แต่ใช้วิธีกำหนดรูปแบบ Format การรับ-ส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนด ความเร็วของการรับ-ส่ง ที่ เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง



ภาพที่ 2.18 รูปแบบการสื่อสารแบบ UART

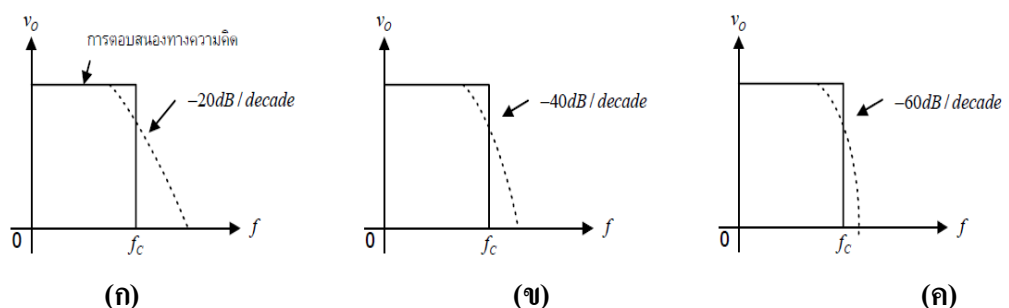
จากภาพที่ 2.18 แสดงรูปแบบการสื่อสารของ UART โดยกำหนดคุณสมบัติเหล่านี้ให้เหมือนกัน ทั้งฝั่ง Receiver และ Transmitter ซึ่งประกอบด้วย

- Start Bit เป็น สถานะ Low (Logic 0)
- สามารถกำหนดจำนวนข้อมูลของ Data Bit ให้เป็น 8 หรือ 9 Bit
- สามารถกำหนดชนิดของ Parity Bit แบบ Odd, Even หรือ None
- Stop Bit มีจำนวน 0.5, 1, 1.5 หรือ 2 บิต

### 2.9.8 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter , LPF) [16]

ผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะพบว่าเป็นทางความคิด หรืออุดมคติถ้าความถี่ของอินพุตมีค่ามากกว่าความถี่ตัดที่ต้องการ (Cut off frequency,  $f_c$ ) แล้ววงจรจะตัดสัญญาณความถี่นั้นไม่ให้ออกไปที่เอาต์พุตเลย แต่ในทางปฏิบัติวงจรไม่สามารถตอบสนองความถี่เช่นนี้ได้ วงจรจะค่อยๆลดการตอบสนองความถี่ในช่วงที่ไม่ต้องการลง

ลำดับของวงจรกรองความถี่ความถี่อินพุตเปลี่ยนแปลงถึงจุดตัดความถี่ ( $f_c$ ) ของวงจรจะค่อยๆลดการตอบสนองความถี่ลง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับลำดับ (Order) ของวงจรกรองความถี่ ซึ่งโดยทั่วไปวงจรกรองความถี่มีลำดับที่ 1 (First order) , ลำดับที่ 2 (Second order) , ลำดับที่ 3 (Third order) ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ที่ลำดับต่าง ๆ

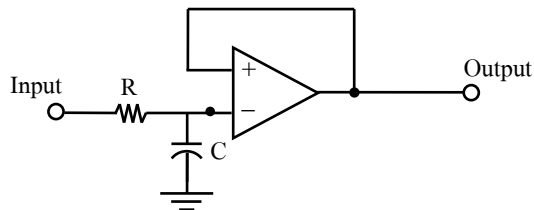
(ก) ลำดับที่ 1 (First order) (ข) ลำดับที่ 2 (Second order) (ค) ลำดับที่ 3 (Third order)



จากภาพที่ 2.19 จะเห็นว่าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ตอบสนองความถี่ได้ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุด คือ ลำดับที่ 3 แต่วงจรกรองความถี่ที่มีลำดับสูงจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในการใช้งานจริงมักจะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ลำดับที่ 2 (Second order) มากกว่าเนื่องจากสามารถใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียวสร้างได้

**1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1 (First order)** วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1 สามารถสร้างได้โดยใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียว ดังในรูปที่ 2.20 ใช้อุปกรณ์ต่อเป็นวงจรเพื่อทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองความถี่ โดยค่าความถี่ตัด ( $f_c$ ) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ภายนอก ตามสมการ (2.2)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.2)$$



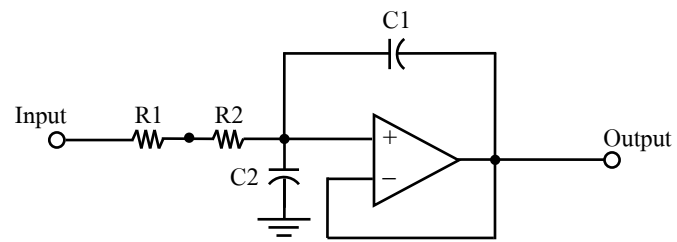
ภาพที่ 2.20 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1

**2. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2 (Second order)** วงจรของความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง สามารถสร้างได้ง่ายโดยใช้อุปกรณ์เพียง ตัวเดียว ดังในรูปที่ 2.21 วงจรนี้อาจจะเรียกว่า วงจรกรองความถี่แบบ Sallen and Key สำหรับวงจรนี้ความถี่ตัด ( $f_c$ ) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ภายนอกตามสมการ (2.3)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (2.3)$$

ถ้าหากเรากำหนดให้  $R_1 = R_2 = R$  และ  $C_1 = C_2 = C$  สามารถลดรูปได้เป็น

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.4)$$



ภาพที่ 2.21 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง

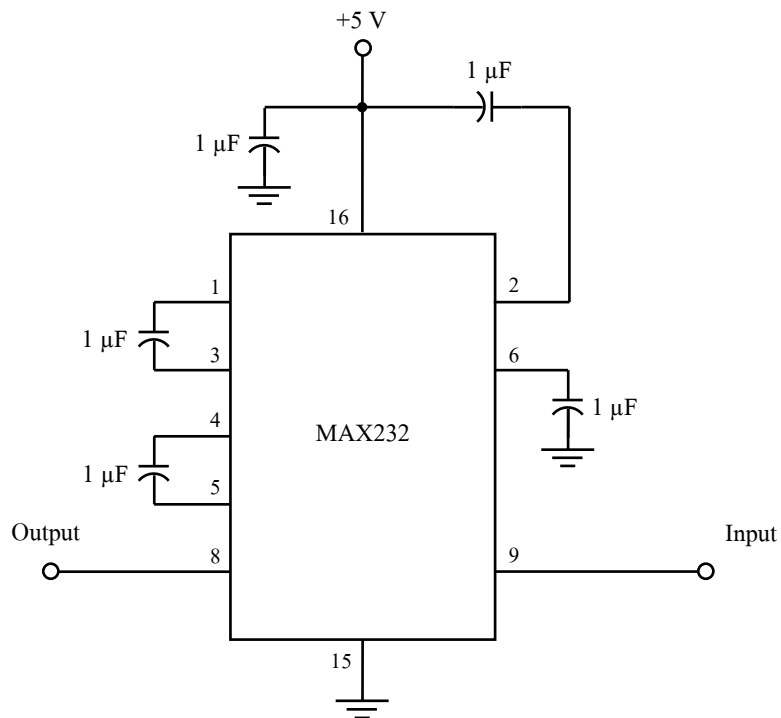
## บทที่ 3

### ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างวงจร

#### 3.1 การออกแบบและการสร้างวงจรในโครงการระยะที่ 1

##### 3.1.1 วงจรแปลงระดับสัญญาณ (Converter Circuit)

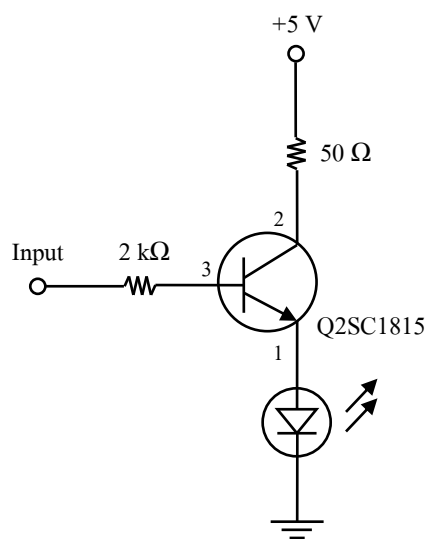
วงจรแปลงสัญญาณเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงจากระดับสัญญาณ RS232 ซึ่งอยู่ในช่วงแรงดันที่ -15V ถึง +15V เป็นระดับสัญญาณ TTL ซึ่งอยู่ในช่วงแรงดันที่ 0V ถึง +5V และในทำนองเดียวกันก็จะทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณ TTL กลับไปเป็นระดับสัญญาณ RS232 ซึ่งใช้ IC เบอร์ MAX232



ภาพที่ 3.1 วงจรแปลงระดับสัญญาณ

### 3.1.2 วงจรขับสัญญาณแสง (Driver Circuit)

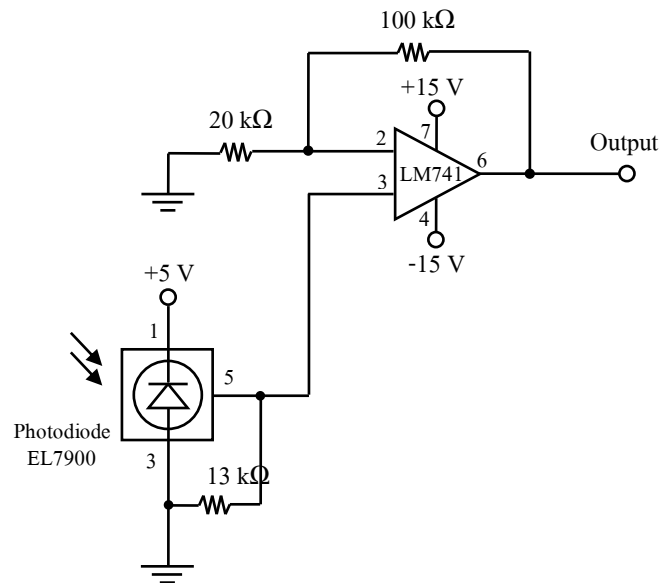
วงจรขับสัญญาณแสงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยในการออกแบบจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1815 มาเป็นตัวขับกระแสให้กับ LED โดยนำทรานซิสเตอร์ต่อ R1 และ R2 ที่ทำงานควบคุมกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ และกระแสที่ไหลผ่าน LED ซึ่งส่งผลต่อค่าความสว่างของแสงที่ขับออกไป จะได้วงจรขับสัญญาณแสงดังภาพ ที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรขับสัญญาณแสง

### 3.1.3 วงจรดีเทคเตอร์ (Detector Circuit)

วงจรดีเทคเตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ดีเทคสัญญาณแสงและแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ในวงจรดีเทคเตอร์จะใช้ Photodiode เบอร์ EL7900 แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้ออกมาจากเอาต์พุตของวงจรดีเทคเตอร์ นั้นมีสัญญาณที่ค่อนข้างอ่อน จึงต้องมีการขยายสัญญาณ ซึ่งได้ทำการออกแบบวงจรขยายสัญญาณโดยใช้อปแอมป์เบอร์ LM741 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ วงจรดีเทคเตอร์ที่ออกแบบตามข้อกำหนดใน Data sheet ของ Photodiode ด้วยการใส่ตัวต้านทาน โดยค่าที่ใช้ควรมีค่าประมาณ 13 kΩ เพื่อให้รับแสงของ LED ที่มีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 0 lux ถึง 500 lux โดยสามารถออกแบบวงจรดีเทคเตอร์ได้ดังภาพที่ 3.3

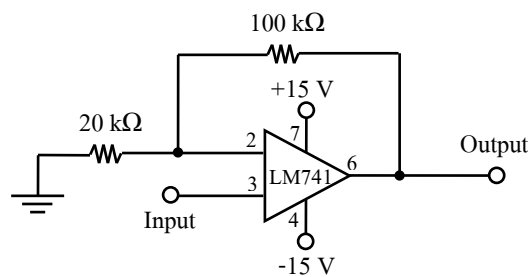


ภาพที่ 3.3 วงจรดีเทคเตอร์

### 3.1.4 วงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier)

สัญญาณที่ออกมาจากวงจรถิเทคเตอร์ ยังมีขนาดสัญญาณที่ต่ำอยู่ ไม่เพียงพอจะป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณได้ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณโดยวงจขยายสัญญาณ ซึ่งใช้ IC เบอร์ LM741 มีแบนวิทต์เท่ากับ 1 MHz โดยออกแบบดังนี้

$$\text{กำหนดให้} \quad R_1 = 20 \text{ k}\Omega \quad R_f = 100 \text{ k}\Omega$$

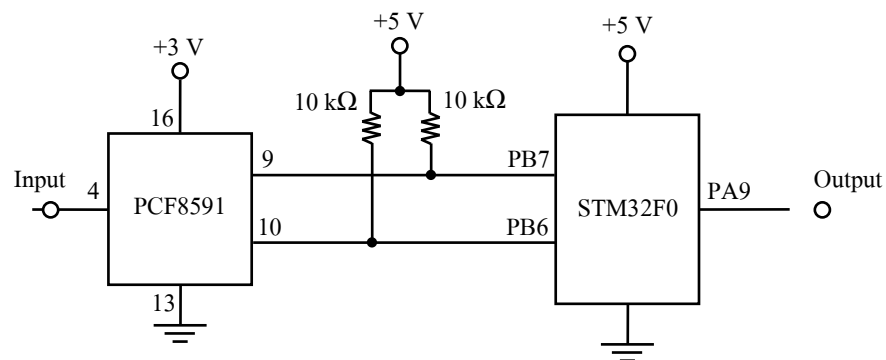


ภาพที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณ

## 3.2 การออกแบบและการสร้างวงจรในโครงการระยะที่ 2

### 3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC Circuit)

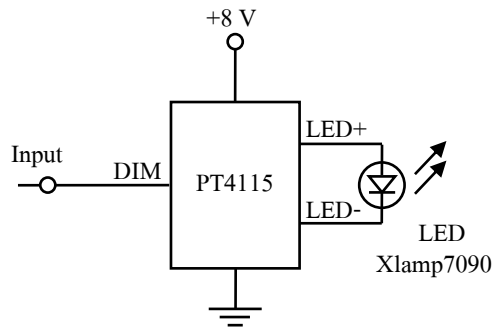
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ในการออกแบบจะใช้โมดูลเบอร์ PCF8591 ซึ่งเป็นทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต (Analog to Digital Converter : ADC) โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F0 เป็นตัวสั่งการและควบคุม สัญญาณเอาต์พุตที่ได้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลที่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุต จะได้วงจรดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

### 3.2.2 วงจรขับสัญญาณแสง (Driver Circuit)

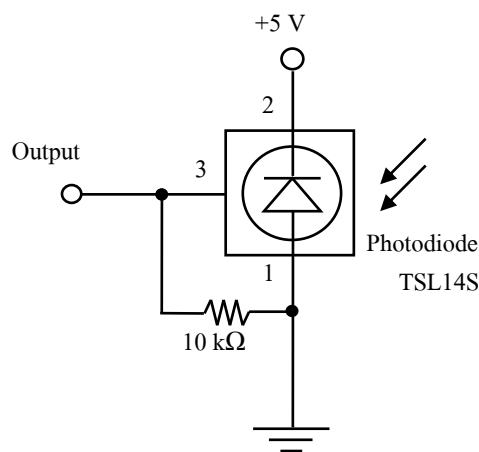
วงจรขับสัญญาณแสง ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยในการออกแบบจะใช้ โมดูลเบอร์ PT4115 มาเป็นตัวขับกระแสให้กับ LED และกระแสที่ไหลผ่าน LED ซึ่งส่งผลต่อค่าความสว่างของแสงที่ขับออกไป จะได้วงจรขับสัญญาณแสงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 วงจรขับสัญญาณแสง

### 3.2.3 วงจรดีเทคเตอร์ (Detector Circuit)

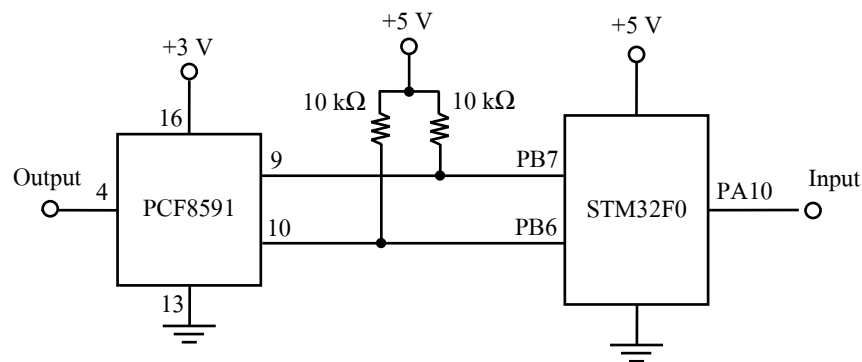
วงจรดีเทคเตอร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ดีเทคสัญญาณแสงและแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และนำสัญญาณไฟฟ้า ในวงจรดีเทคเตอร์จะใช้ Photodiode เบอร์ TSL14S เนื่องจากตัว Photodiode มีการขยายสัญญาณในตัว และตามข้อกำหนดใน Data sheet ของ Photodiode ด้วยการใส่ตัวต้านทาน โดยค่าที่ใช้ควรมีค่า  $10\text{ k}\Omega$  เพื่อให้รับแสงของ LED ที่มีค่าความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง  $320\text{ nm}$  ถึง  $1050\text{ nm}$  โดยสามารถออกแบบวงจรดีเทคเตอร์ได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 วงจรดีเทคเตอร์

### 3.2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก (DAC Circuit)

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ในการออกแบบจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PCF8591 ซึ่งเป็นทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกขนาด 8 บิต (Digital to Analog Converter : DAC) โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F0 เป็นตัวสั่งการและควบคุม สัญญาณเอาต์พุตที่ได้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะล็อกที่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณดิจิทัลที่อินพุต จะได้อ้างอิงภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

### 3.2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอคทีฟ (Active Low-pass Filter)

ใช้เพื่อเป็นวงจรกรองสัญญาณเสียง โดยกรองสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงออก การออกแบบเป็นวงจรกรองต่ำผ่านแบบแอคทีฟอันดับ 1 ( $n=1$ ) โดยใช้โอปแอมป์เบอร์ LF833 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ความถี่ตัด ( $f_c$ ) = 3 kHz ทำได้โดยกำหนดค่าตัวเก็บประจุ  $C$  ซึ่งเรากำหนดให้  $C = 10\text{nF}$  แล้วจึงมาคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร

คำนวณค่าอุปกรณ์ได้ตามสมการที่ (2.2)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

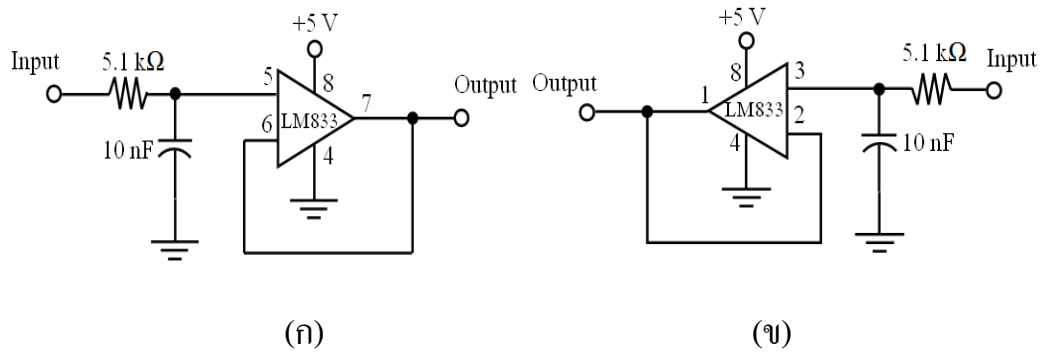
$$R = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

$$= \frac{1}{2\pi(5.1 \text{ kHz})(10\text{nF})}$$

$$R = 3.1 \text{ k}\Omega$$



เมื่อสามารถคำนวณค่าอุปกรณ์ต้นแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปใส่ในวงจร  
ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ

- (ก) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟของภาคส่ง
- (ข) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟของภาครับ

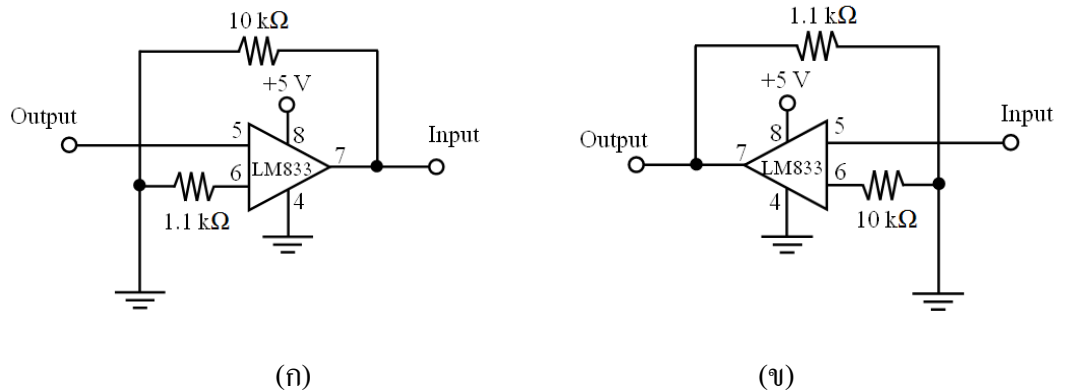
### 3.2.6 วงจรขยายสัญญาณเสียง (Audio Amplifier)

สัญญาณที่ออกมาจากวงจร Active Low pass Filter ยังมีขนาดสัญญาณที่ต่ำอยู่  
ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณเสียงมาทำการขยายวงจร Audio Amplifier ซึ่งใช้ IC เบอร์  
LM833 มีแบนวิทต์เท่ากับ 15 MHz ทำหน้าที่ขยายสัญญาณผ่านความถี่เสียงโดยเฉพาะ  
โดยออกแบบให้มีอัตราขยายดังนี้

$$\text{กำหนดให้} \quad R_i = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_f = 1.1 \text{ k}\Omega$$

โดยสามารถออกแบบวงจรขยายสัญญาณเสียงได้ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 วงจรขยายสัญญาณเสียง

(ก) วงจรขยายสัญญาณเสียงของภาคส่ง

(ข) วงจรขยายสัญญาณเสียงของภาครับ

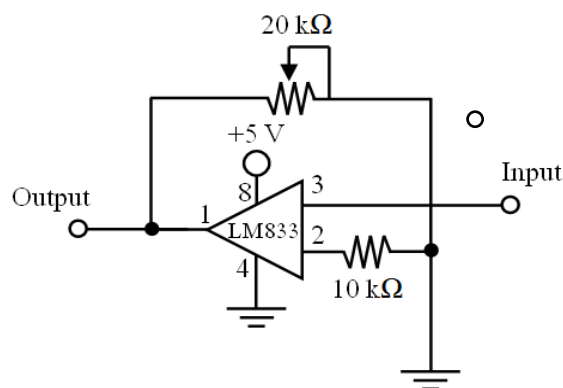
### 3.2.7 วงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier)

สัญญาณที่ออกมาจากวงจรดีเทคเตอร์ ยังมีขนาดสัญญาณที่ต่ำอยู่ไม่เพียงพอจะป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกได้ ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณโดยวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งใช้ IC เบอร์ LM833 มีแบนวิทต์เท่ากับ 15 MHz โดยออกแบบดังนี้

กำหนดให้  $VR1 = 20 \text{ k}\Omega$

$R_f = 10 \text{ k}\Omega$

โดยสามารถออกแบบวงจรขยายสัญญาณได้ดังภาพที่ 3.11

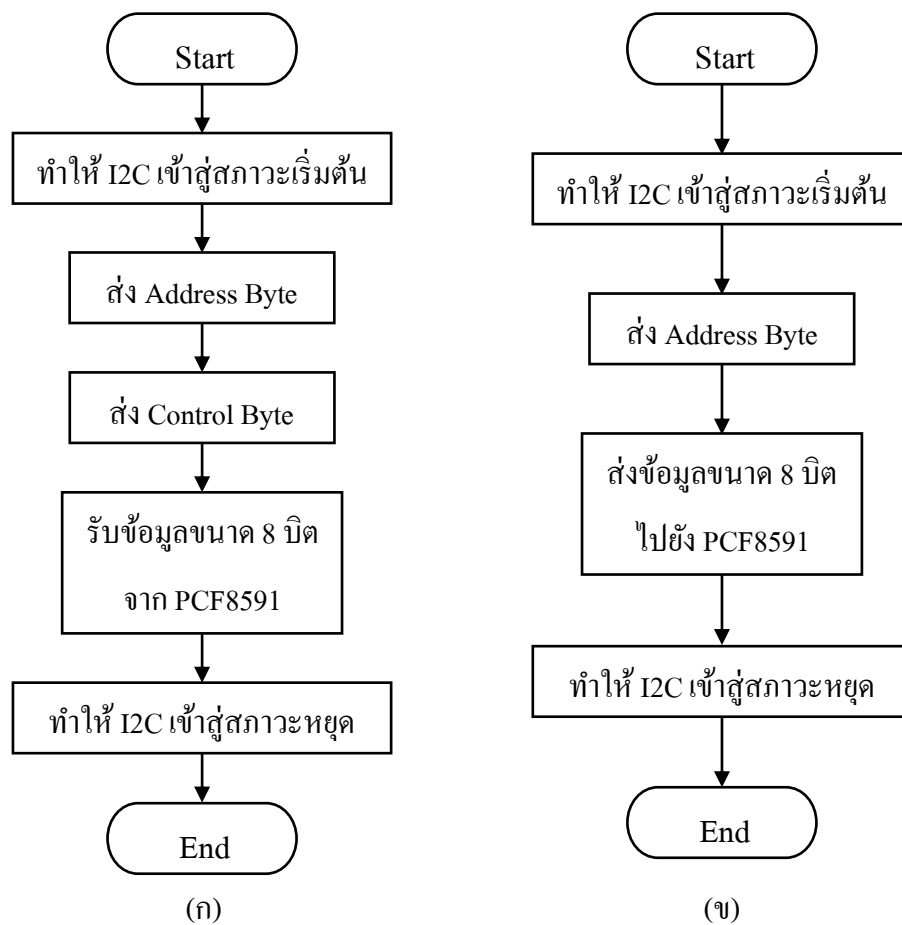


ภาพที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ

### 3.2.8 การออกแบบและควบคุมการแปลงสัญญาณ A/D D/A ด้วย

#### ไมโครคอนโทรลเลอร์

Flow Chart อธิบายถึงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.12 ซึ่งสามารถหา code การทำงานด้วยภาษาซีได้ที่ภาคผนวก ก

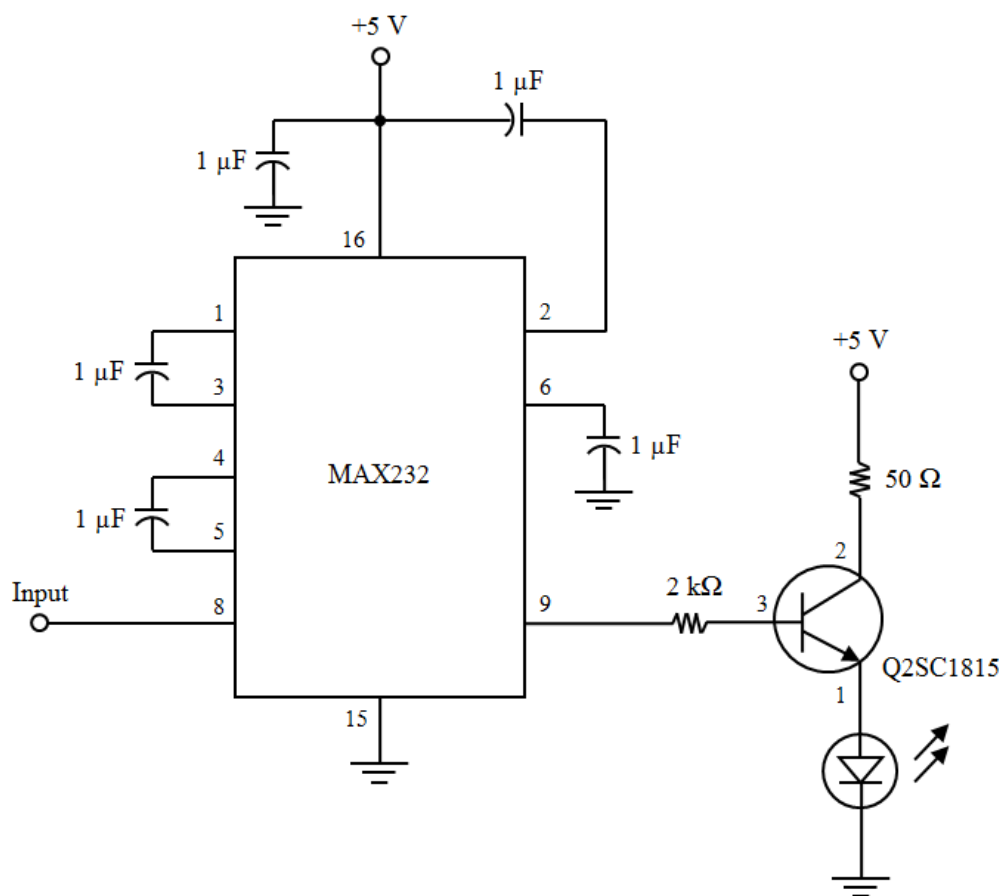


ภาพที่ 3.12 Flow Chart ควบคุมการแปลงสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

(ก) Flow Chart ควบคุมการแปลงสัญญาณ A/D ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

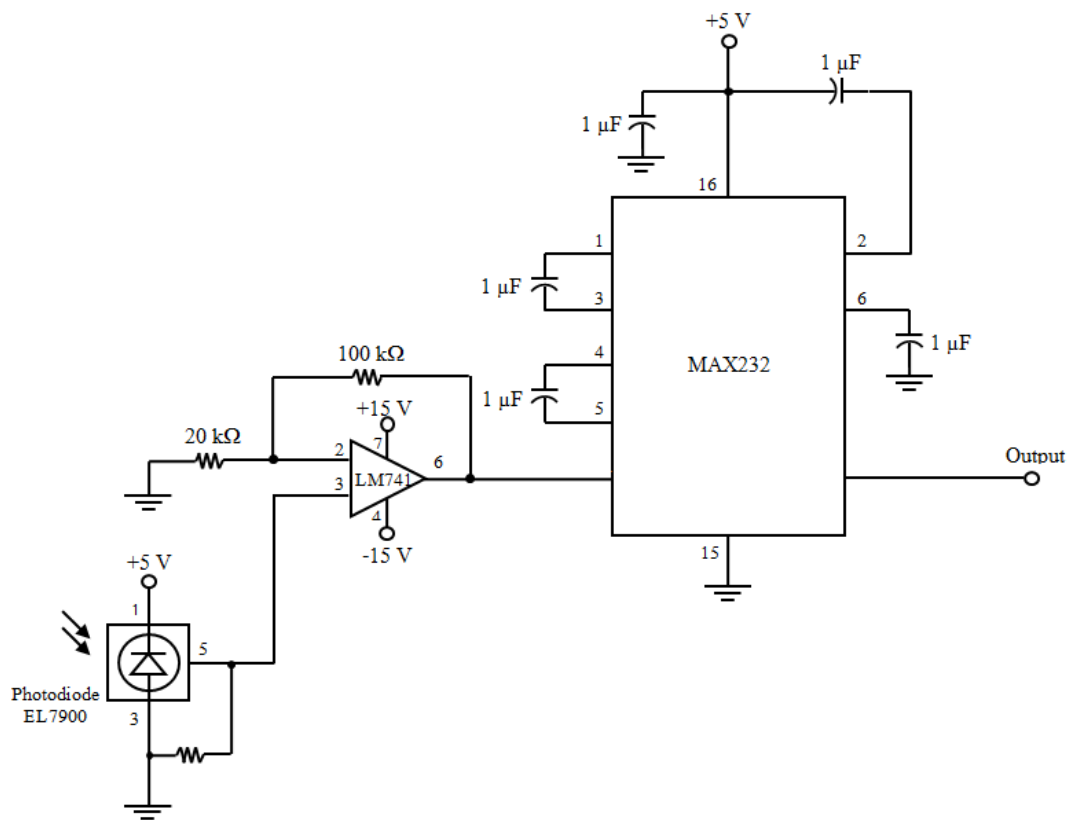
(ข) Flow Chart ควบคุมการแปลงสัญญาณ D/A ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

### วงจรภาคส่งในโครงการระยะที่ 1



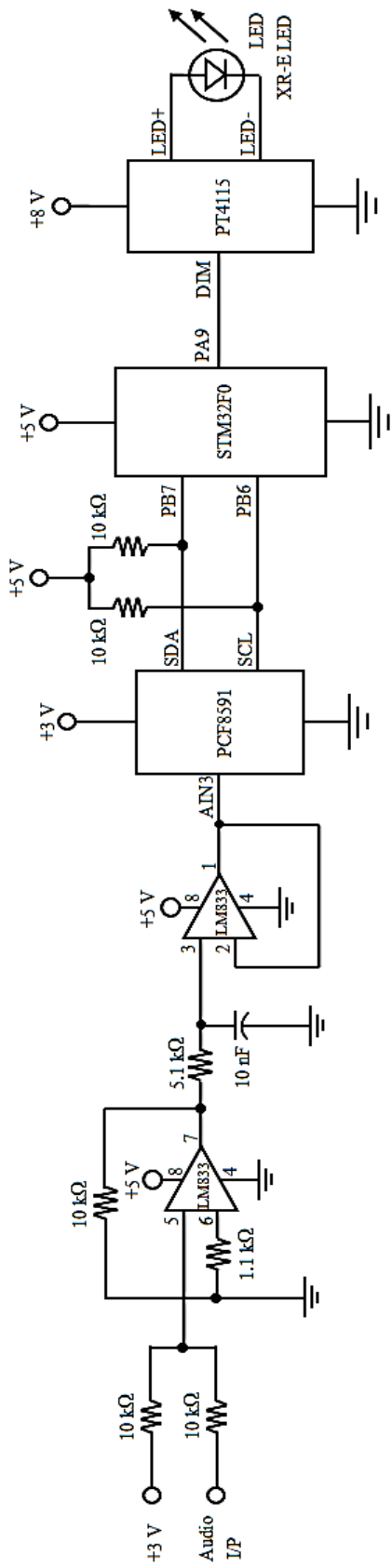
ภาพที่ 3.13 วงจรภาคส่งสัญญาณ ASCII code

### วงจรภาครับในโครงการระยะที่ 1



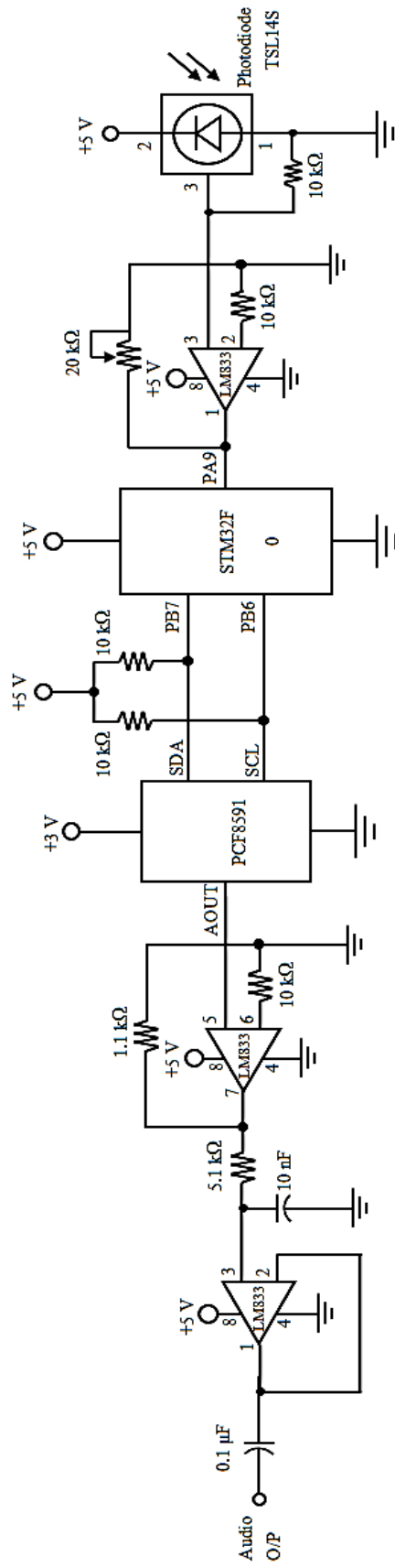
ภาพที่ 3.14 วงจรภาครับสัญญาณ ASCII code

## วงจรภาคส่งในโครงการระยะที่ 2



ภาพที่ 3.15 วงจรภาคส่งสัญญาณเสียง

## วงจรการรับสัญญาณระยะที่ 2



ภาพที่ 3.16 วงจรการรับสัญญาณเสียง

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองในโครงงานระยะที่ 1

##### 4.1.1 การทดลองส่งสัญญาณรหัสแอสกี (ASCII code) ผ่านแสงแบบไร้สาย

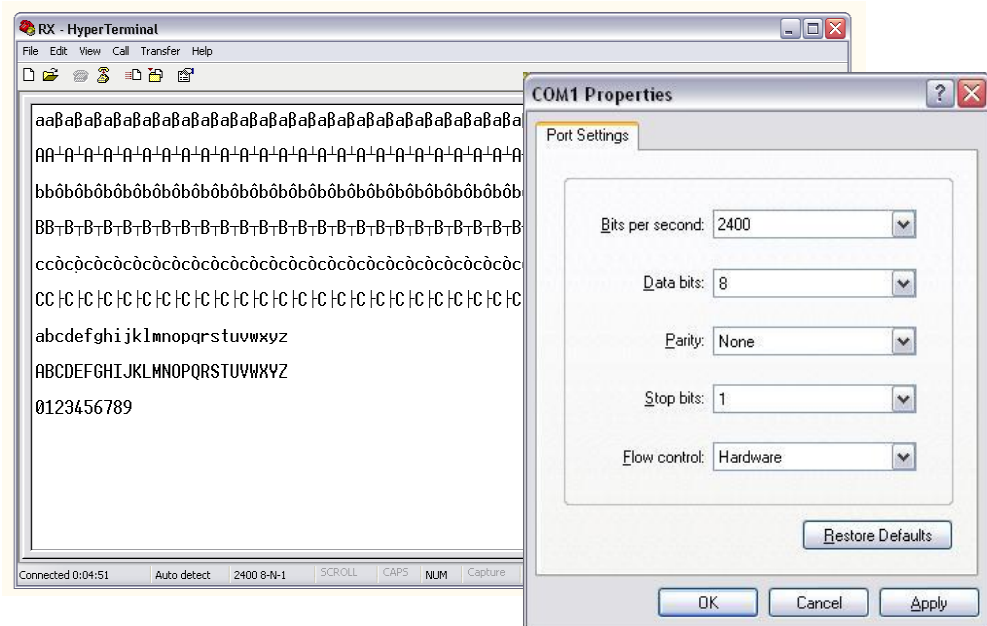
เป็นการทดลองการทำงานของระบบการสื่อสารผ่านแสงแบบไร้สายเพื่อทดลองความสามารถในการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสง โดยสัญญาณข้อมูลที่ใช้ทดลองเป็นสัญญาณรหัสแอสกี ที่ระยะห่าง 50 เซนติเมตร



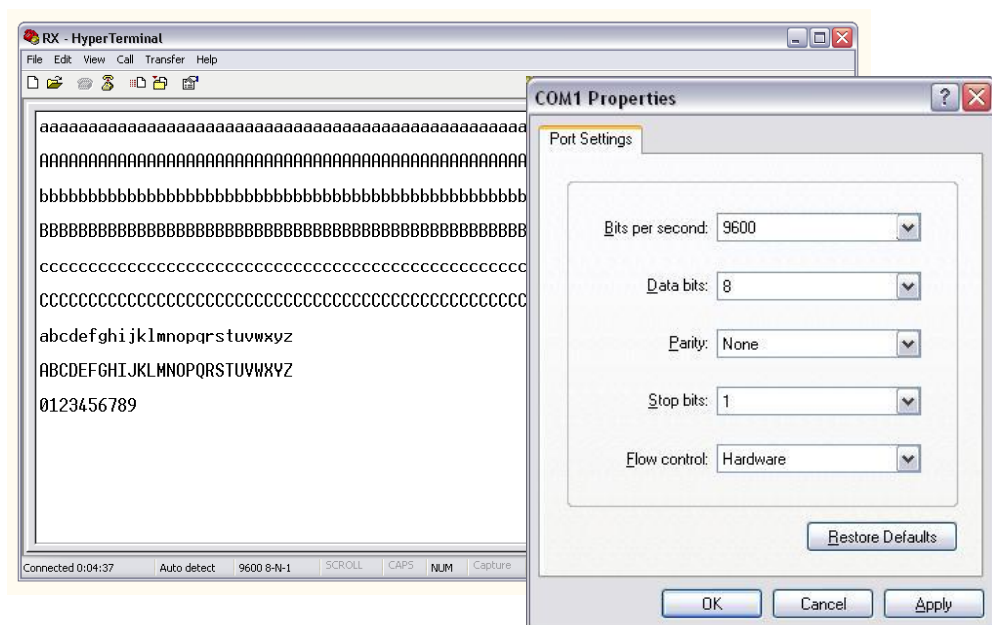
ภาพที่ 4.1 การทดลองสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย



## 4.1.2 ผลการทดลองส่งสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย



ภาพที่ 4.2 การทดลองส่งสัญญาณ ASCII code ที่ 2400 Bits per second



ภาพที่ 4.3 การทดลองส่งสัญญาณ ASCII code ที่ 9600 Bits per second

### 4.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการส่งสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สาย พบว่าการส่งข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สายนั้นทำได้เหมือนการส่งข้อมูลในสายสัญญาณทั่วไป แต่อาจจะมีการผิดเพี้ยนของข้อมูลได้เนื่องจากมีสัญญาณแสงรบกวนจากสภาพแวดล้อมสูงมาก

### 4.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองการส่งสัญญาณ ASCII code ผ่านแสงแบบไร้สายนั้น สรุปได้ว่าการส่งข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องอยู่กับที่และตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดี ด้วยเหตุนี้จึงต้องออกแบบและพัฒนางจรภาคส่งเพิ่มเติมให้เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับโครงการ เนื่องจากมีเงื่อนไขการส่งสัญญาณจะต้องส่งสัญญาณได้ไม่น้อยกว่าระยะ 5 เมตร จึงต้องมีการออกแบบและพัฒนางจรภาคส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณข้อมูลให้ดีขึ้น

## 4.2 การทดลองในโครงการระยะที่ 2

### 4.2.1 การทดลองเพื่อศึกษาการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สาย

ในวงจรภาคส่งสัญญาณผ่านแสงแบบไร้สายนั้น ได้มีการออกแบบและพัฒนาชุดตัวส่งแสงจากการทดลองการส่งสัญญาณที่ผ่านมา ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองชุดตัวส่งแสงที่สถานะของระยะห่างและมุมเบี่ยงในการส่ง โดยแสดงรายละเอียดผลการทดลองในรูปแบบตารางในภาคผนวก ค

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีดังนี้

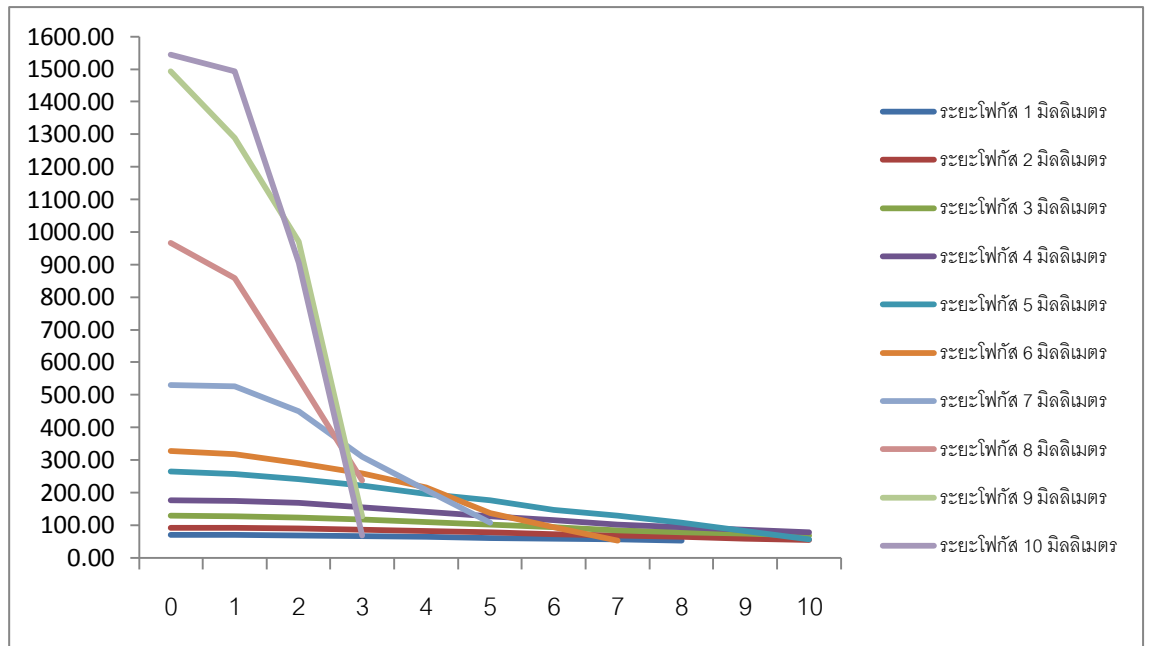
Supply Voltage 8 V

แอมพลิจูดของสัญญาณ 2 Vp-p

ความถี่ของสัญญาณ 50 kHz

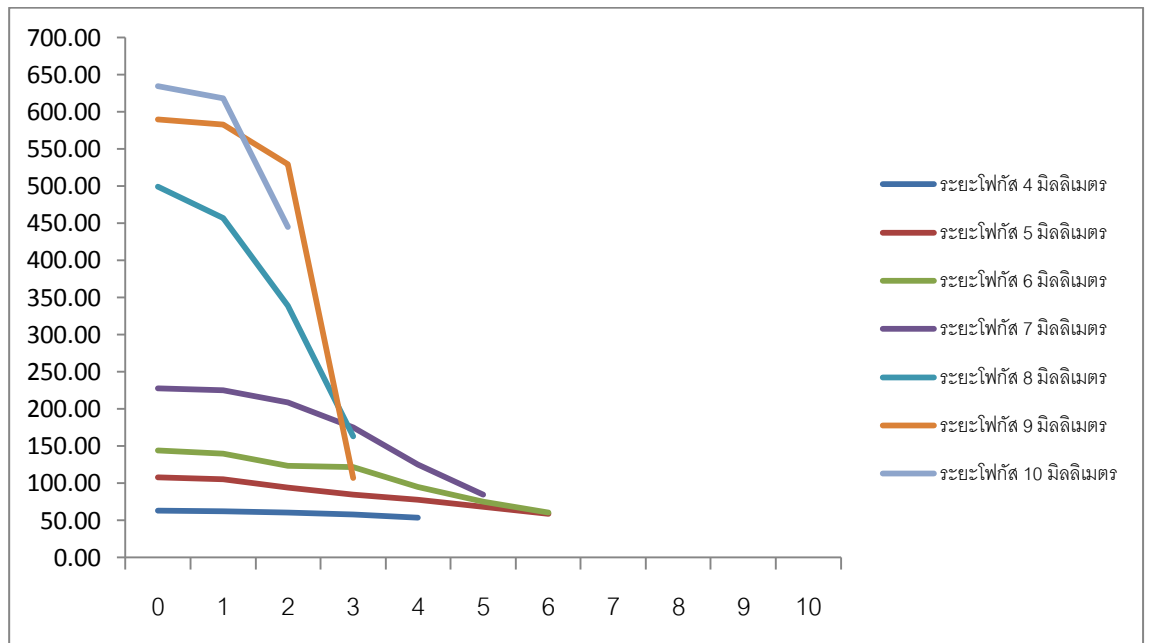


- ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร



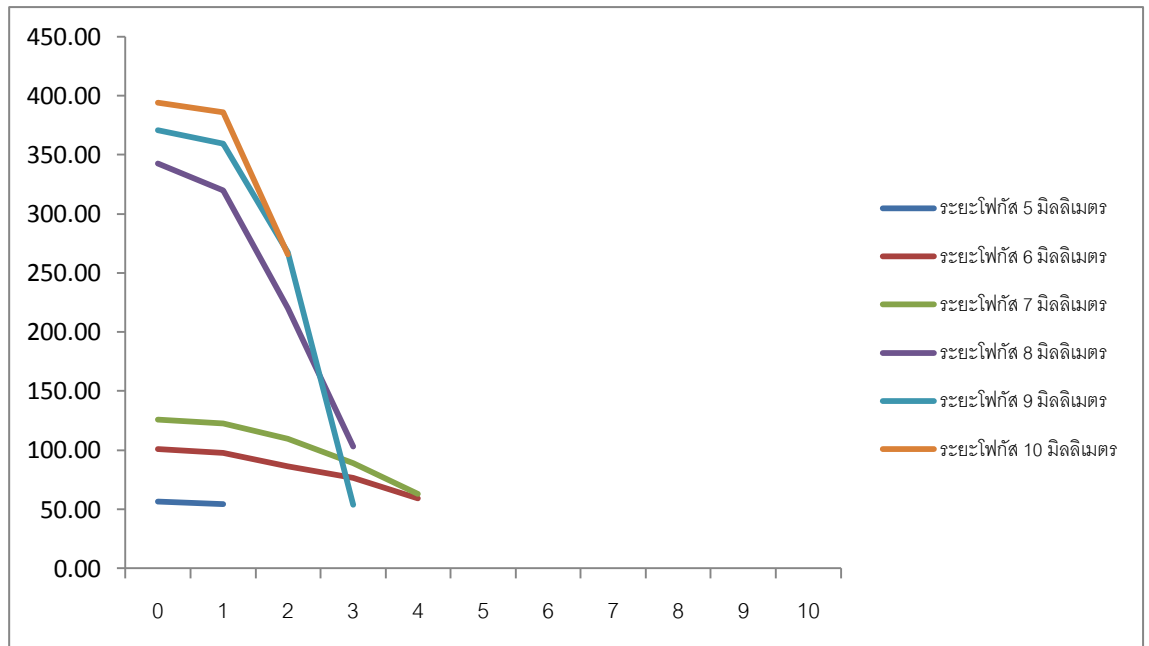
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมุมเบี่ยงในการส่ง (ทดลองที่ระยะ 2 เมตร)

- ผลการทดลองที่ระยะ 3 เมตร



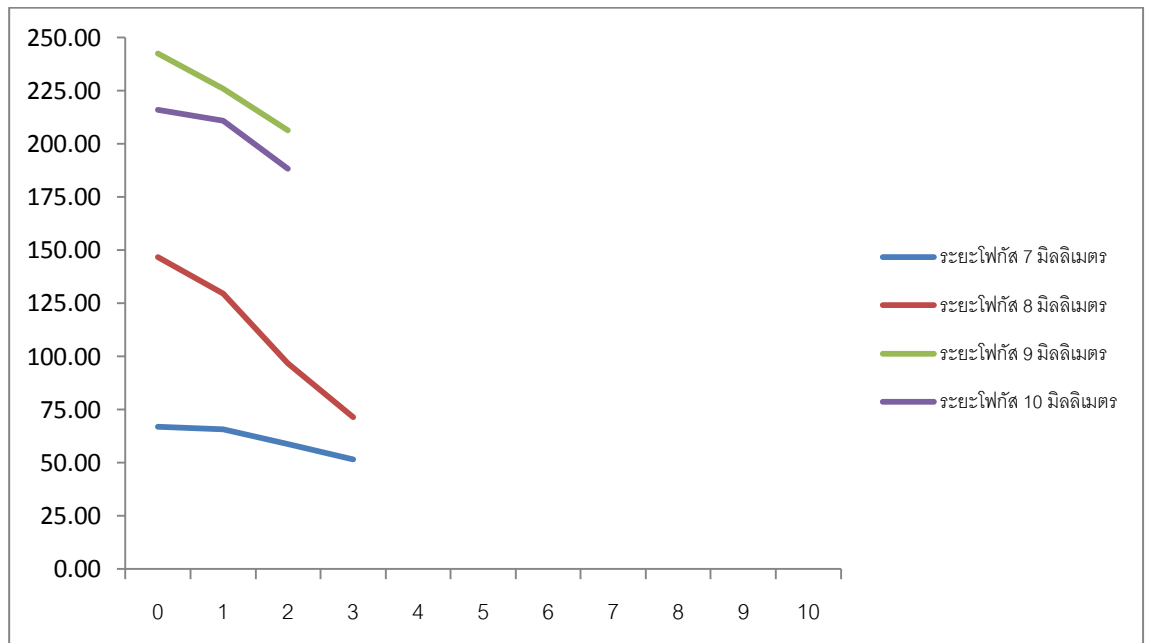
ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมุมเบี่ยงในการส่ง (ทดลองที่ระยะ 3 เมตร)

- ผลการทดลองที่ระยะ 4 เมตร



ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมุมเบี่ยงในการส่ง (ทดลองที่ระยะ 4 เมตร)

- ผลการทดลองที่ระยะ 5 เมตร



ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อมุมเบี่ยงในการส่ง (ทดลองที่ระยะ 5 เมตร)

## 2. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สาย พบว่าถ้าระยะโฟกัสมากจะทำให้บีมลำแสงแคบลงและความเข้มแสงมากขึ้น ส่งผลให้มีระยะการส่งสัญญาณข้อมูลมากขึ้นแต่พื้นที่ในการรับสัญญาณน้อยลง ถ้าระยะโฟกัสน้อยจะทำให้บีมลำแสงกว้างขึ้นและความเข้มแสงน้อยลง ส่งผลให้มีระยะการส่งสัญญาณข้อมูลน้อยลงแต่พื้นที่ในการรับสัญญาณมากขึ้น

## 3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

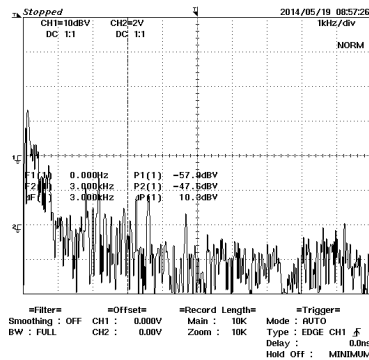
จากการทดลองเพื่อศึกษาการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สายนั้น สรุปได้ว่าระยะทางและมุมเบี่ยงในการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สายจะมีผลกระทบต่อ การส่งสัญญาณข้อมูล อีกทั้งยังมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูลอยู่

ด้วยเหตุนี้จึงต้องออกแบบและเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลงในวงจรภาคส่ง และวงจรภาครับเพื่อให้เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับโครงงาน เนื่องจากมีเงื่อนไขการส่งสัญญาณนั้นต้องส่งสัญญาณได้ไม่น้อยกว่าระยะ 5 เมตร จึงต้องมีการออกแบบและเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณข้อมูลให้ดีขึ้น

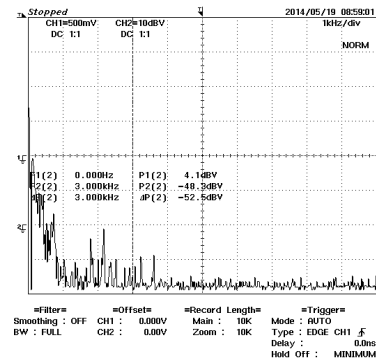
### 4.2.3 การทดลองการเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter)

ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนั้น ได้มีการออกแบบให้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบแอกทีฟ ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่ตัด ( $f_c$ ) = 3 kHz โดยสัญญาณข้อมูลที่ใช้ทดลองเป็นสัญญาณเสียงในรูปแบบของเสียงเพลง

## 1. ผลการทดลองการเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.10 ภาพสเปกตรัมก่อนและหลังผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

(ก) ภาพสเปกตรัมก่อนผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

(ข) ภาพสเปกตรัมหลังผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

## 2. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน พบว่าสัญญาณรบกวนที่มีความถี่มากกว่า 3 kHz จะไม่สามารถผ่านไปได้ และช่วยลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูลได้

## 3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองการเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านนั้น สรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้าไปที่วงจรภาคส่งและวงจรภาครับ จะทำให้การส่งสัญญาณข้อมูลมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบกับวงจรภาคส่งและวงจรภาครับที่ไม่มีการเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้าไปประสิทธิภาพด้อยกว่า

### 4.2.2 การทดลองส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย

ในวงจรภาคส่งและวงจรภาครับสัญญาณผ่านแสงแบบไร้สายนั้น ได้มีการออกแบบและพัฒนาวงจรภาคส่งและวงจรภาครับจากการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งในการ

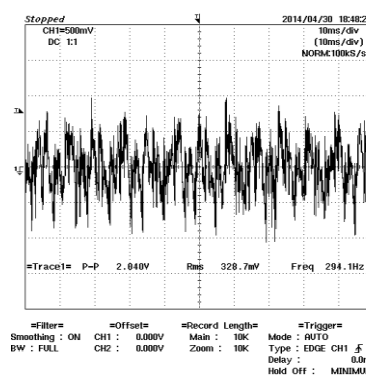
ทดลองนี้จะเป็นการทดลองส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สายที่ระยะห่างต่างๆ โดยสัญญาณข้อมูลที่ใช้ทดลองเป็นสัญญาณเสียงในรูปแบบของเสียงเพลง



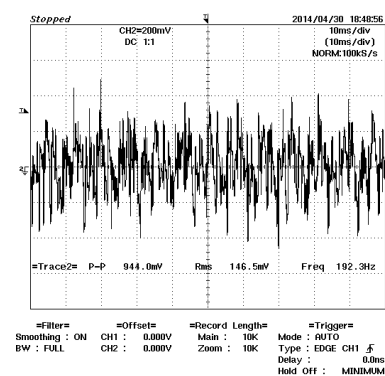
ภาพที่ 4.11 การทดลองส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย

### 1. ผลการส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.12 ถึง 4.13



(ก)



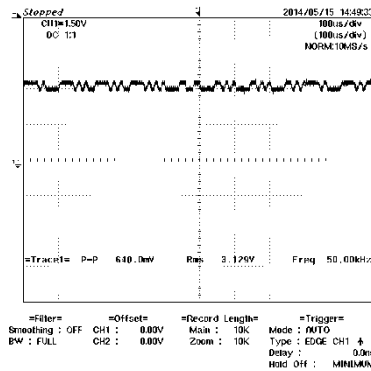
(ข)

ภาพที่ 4.12 ภาพสัญญาณเสียงที่วงจรถูกส่งและวงจรถูกรับ

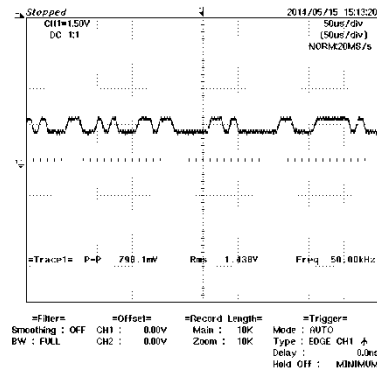
(ก) ภาพสัญญาณเสียงที่วงจรถูกส่ง

(ข) ภาพสัญญาณเสียงที่วงจรถูกรับ





(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.13 ภาพสัญญาณข้อมูลที่วงจรถ่ายส่งและวงจรถ่ายรับ

(ก) ภาพสัญญาณข้อมูลที่วงจรถ่ายส่ง

(ข) ภาพสัญญาณข้อมูลที่วงจรถ่ายรับ

## 2. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สายพบว่า ระยะการส่งตั้งแต่ 1 - 8 เมตร สามารถรับสัญญาณเสียงได้ชัดเจน เมื่อเพิ่มระยะการส่งเป็น 8.50 เมตร จะเริ่มการมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณเสียง แต่ที่ระยะการส่ง 9 เมตรขึ้นไป จะไม่สามารถรับสัญญาณเสียงได้

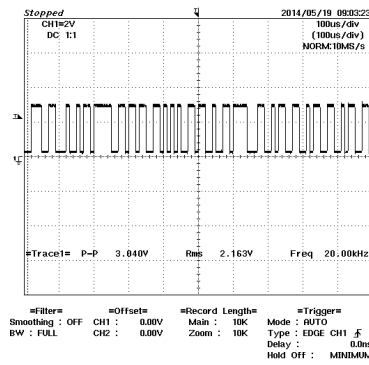
## 3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สายนั้น สรุปได้ว่าการส่งสัญญาณเสียงที่ระยะการส่งตั้งแต่ 1 - 8 เมตร สามารถรับสัญญาณเสียงได้ชัดเจน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของโครงการ แต่ยังคงมีการกระพริบของแสงอยู่ด้วยเหตุนี้จึงต้องหาวิธีการลดการกระพริบของแสง

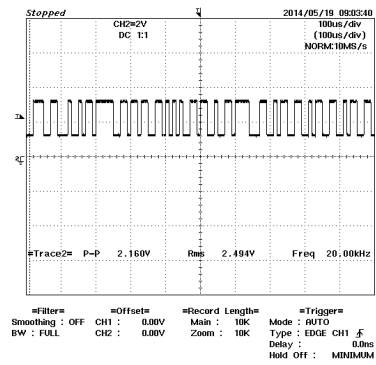
### 4.2.4 การทดลองลดการกระพริบของแสง

จากการศึกษาวงจรขับสัญญาณแสงเบอร์ PT4115 ทำให้ทราบถึงวิธีการลดการกระพริบของแสง ทำได้โดยการนำสัญญาณข้อมูลมารวมกับสัญญาณไฟฟ้า DC ซึ่งส่งผลให้สัญญาณข้อมูลถูกยกระดับขึ้นอยู่บนสัญญาณไฟฟ้า DC

## 1. ผลการทดลอง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.14 ภาพสัญญาณข้อมูลก่อนและหลังยกระดับสัญญาณ

(ก) ภาพสัญญาณข้อมูลก่อนยกระดับสัญญาณ

(ข) ภาพสัญญาณข้อมูลหลังยกระดับสัญญาณ

## 2. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองลดการกระพริบของแสง โดยการยกระดับของสัญญาณข้อมูล ทำให้แสง มีการกระพริบลดลงจนเกือบจะไม่สามารถมองเห็นได้

## 3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองลดการกระพริบของแสง สามารถนำมาประยุกต์และพัฒนาเป็น อุปกรณ์ส่องสว่างที่ส่งข้อมูลผ่านแสงได้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

จากการศึกษาข้อมูลการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย จึงได้ทำการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ส่งสัญญาณเสียงผ่านแสงแบบไร้สาย ในระยะทางไม่น้อยกว่า 5 เมตร การสร้างเครื่องอุปกรณ์ต้นแบบส่งสัญญาณเสียงผ่านการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดโดยที่สัญญาณไม่ผิดเพี้ยนที่ระยะ 5 เมตร ภาคล่งจะรับสัญญาณเสียงเข้ามา แล้วทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้การกระพริบของแสงที่ความถี่สูงในย่านของแสงที่มองเห็นได้ นำสัญญาณแสงที่ได้ส่งออกไปยังทางช่องการสื่อสารทางแสง โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ เมื่อสัญญาณแสงส่งไปถึงยังภาครับ ภาครับจะทำการแยกสัญญาณออกจากการกระพริบของแสง แล้วทำการเปลี่ยนสัญญาณทางแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งจะได้สัญญาณข้อมูลดิจิทัลแล้วทำแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อก เพื่อส่งออกไปยังอุปกรณ์ปลายทางต่อไป

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

หากมีผู้สนใจนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อยอด ควรศึกษาหลักการและวิธีการเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านแสงแบบไร้สาย ซึ่งแนวทางหรือหัวข้อในการแก้ปัญหาต่อมีดังนี้

##### 5.2.1 การพัฒนาชุดตัวส่งแสง

ควรศึกษาและหาข้อมูลเกี่ยวกับชุดตัวส่งแสงที่สามารถส่งแสงได้ไกลยิ่งขึ้น

##### 5.2.2 การพัฒนางจรขับสัญญาณแสง

ควรเลือกใช้ IC ที่สามารถรองรับความถี่ที่สูงขึ้น เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้น

### 5.2.3 การพัฒนาการเข้ารหัสสัญญาณ

ควรศึกษาและหาข้อมูลเกี่ยวกับการเข้ารหัสสัญญาณ

### 5.2.4 การพัฒนาเพื่อเป็นการสื่อสารใต้น้ำ

การสื่อสารใต้น้ำนั้นไม่สามารถใช้คลื่นวิทยุได้ จึงควรใช้การสื่อสารทางแสงเข้ามาสื่อสารใต้น้ำ

### 5.2.5 การพัฒนาการส่งข้อมูลในรูปแบบ (data)

เทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย เป็นการรับส่งข้อมูลในอัตราความเร็วสูง ผ่านทางโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง คลื่นแสงจะเดินทางในอากาศได้เร็วกว่าใยเส้นใยแก้ว

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีชา ยูพาพิน. (2544). “วิศวกรรมใยแก้วนำแสง”  
กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [2] David A. Johnson. “Handbook of Optical Through the Air Communications” (ออนไลน์)  
<http://www.imagineeringezine.com/files/air-bk2.html>
- [3] พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ ไพบูลย์. (2547). “ไฟฟ้าและอุตสาหกรรม” (ออนไลน์)  
<http://www.technologymedia.co.th/articledetail.asp?arid=1368&pid=136>
- [4] อภินันท์ มัชฌานนท์. (2542). “การสื่อสารเส้นใยแสง”  
กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] ทศนัย อากิม. “อุปกรณ์กำเนิดแสงและรับแสง” (ออนไลน์)  
<http://tassanai16.blogspot.com/2013/02/blog-post.html>
- [6] Wikipedia, Luckas-bot (bot). “ไดโอด” (ออนไลน์)  
<http://th.wikipedia.org/wiki/ไดโอด>
- [7] ชัยสิทธิ์ โสภณ. “ไดโอดเปล่งแสง : หลอดประหยัดไฟแห่งอนาคต” (ออนไลน์)  
[http://www.coe.or.th/e\\_engineers/knc\\_detail.php?id=42](http://www.coe.or.th/e_engineers/knc_detail.php?id=42)
- [8] ไม่วะบุผู้แต่ง. “ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง” (ออนไลน์)  
<http://signalkm.cloud.rta.mi.th/wp-content/uploads/2012/09/ling.pdf>
- [9] chant. “RS232 คืออะไรและทำงานอย่างไร??” (ออนไลน์)  
<http://chantproject.blogspot.com/2010/03/rs232.html>
- [10] ฝ่ายวิจัยและพัฒนาสาขาอิเล็กทรอนิกส์. (2547). “Embedded System : E5 4501”  
(ออนไลน์)  
[http://lexitron.nectec.or.th/KM\\_HL5001/file\\_HL5001/Prototype/Lab%20Prototype/krrn\\_20478.doc](http://lexitron.nectec.or.th/KM_HL5001/file_HL5001/Prototype/Lab%20Prototype/krrn_20478.doc)

- [11] พัทรินทร์ ดวงแก้ว , เครือวัลย์ วงศ์ปัญญา. (2544). “พื้นฐานการสื่อสารเชิงแสง” (ออนไลน์)  
[http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Principle\\_of\\_Optical\\_Communications/index.php](http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Principle_of_Optical_Communications/index.php)
- [12] นายอัษฎาวุธ เหมาะะทอง นายอัษณัย ปิ่นจอม และนายอาทิตย์ ช.เจริญยิ่ง. (2549). “การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกและดิจิทัล”  
ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [13] ไ่ม่ระบุผู้แต่ง. “STM32F0 DISCOVERY”  
<http://ett.co.th/prod2012/STM32F0/STM32F4-DISCOVERY.html>
- [14] ไ่ม่ระบุผู้แต่ง. “การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C”  
<http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/I2CBUS.htm>
- [15] ไ่ม่ระบุผู้แต่ง. “การใช้งานพอร์ตสื่อสาร UART” (ออนไลน์)  
<http://aimagin.com/blogการใช้งานพอร์ตสื่อสาร-uart/?lang=th>
- [16] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. “วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟเบื้องต้น”  
<http://www.te.kmutnb.ac.th/msn/filter.pdf>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการแปลงสัญญาณ A/D D/A



## โปรแกรมควบคุมการแปลงสัญญาณ A/D

```

#include "stm32f0xx.h"
#include "stm320518_eval.h"
#include <stdio.h>

#define sEE_FLAG_TIMEOUT      ((uint32_t)0x1000)
#define sEE_LONG_TIMEOUT     ((uint32_t)(10 * sEE_FLAG_TIMEOUT))
__IO uint32_t sEETimeout1 = sEE_LONG_TIMEOUT;
#define sEE_READ_ADDRESS1    0x3

USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
static __IO uint32_t TimingDelay;
void TimingDelay_Decrement(void);
void Delay(__IO uint32_t nTime);
void usart1_putc(unsigned char c);
void usart1_puts(unsigned char *s);
int usart1_getc(void);

#ifdef __GNUC__
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int __io_putchar(int ch)
#else
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int fputc(int ch, FILE *f)
#endif

int Read_I2C(uint16_t ReadAddr);
int x=0;
int main(void)
{
    if (SysTick_Config(SystemCoreClock / 1000))
    {
        while (1);
    }

    I2C_InitTypeDef I2C_InitStructure;

```

```

sEE_LowLevel_Init();
I2C_InitStructure.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
I2C_InitStructure.I2C_AnalogFilter = I2C_AnalogFilter_Enable;
I2C_InitStructure.I2C_DigitalFilter = 0x00;
I2C_InitStructure.I2C_OwnAddress1 = 0x00;
I2C_InitStructure.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;
I2C_InitStructure.I2C_AcknowledgedAddress = I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
I2C_InitStructure.I2C_Timing = 0x00210507;
I2C_Init(sEE_I2C, &I2C_InitStructure);
I2C_Cmd(sEE_I2C, ENABLE);
USART_InitStructure.USART_BaudRate = 100000;
USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;
USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1;
USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl = USART_HardwareFlowControl_None;
USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
STM_EVAL_COMInit(COM1, &USART_InitStructure);
printf("\n\rUSART Printf Example: retarget the C library printf function to the USART\n\r");
while (USART_GetFlagStatus(EVAL_COM1, USART_FLAG_TC) == RESET)
{
x = Read_I2C(sEE_READ_ADDRESS1);
while (1)
{
I2C_TransferHandling(sEE_I2C, 0x91, 255, I2C_SoftEnd_Mode, I2C_Generate_Start_Read);
while(I2C_GetFlagStatus(sEE_I2C, I2C_ISR_RXNE) == RESET)
{
}
}
x = I2C_ReceiveData(sEE_I2C);
usart1_putc(x);
}

```

```

}
int Read_I2C(uint16_t ReadAddr)
{
int adc;
I2C_TransferHandling(sEE_I2C, 0x90, 2, I2C_SoftEnd_Mode, I2C_Generate_Start_Write);
sEETimeout1 = sEE_LONG_TIMEOUT;
while(I2C_GetFlagStatus(sEE_I2C, I2C_ISR_TXIS) == RESET)
{
if((sEETimeout1--)== 0);
}
I2C_SendData(sEE_I2C, (uint8_t)(ReadAddr & 0x00FF));
I2C_TransferHandling(sEE_I2C, 0x90, 255, I2C_SoftEnd_Mode, I2C_Generate_Stop);
I2C_TransferHandling(sEE_I2C, 0x91, 255, I2C_SoftEnd_Mode, I2C_Generate_Start_Read);
sEETimeout1 = sEE_LONG_TIMEOUT;
while(I2C_GetFlagStatus(sEE_I2C, I2C_ISR_RXNE) == RESET)
{
if((sEETimeout1--)== 0);
}
adc = I2C_ReceiveData(sEE_I2C);
return adc;
}
void usart1_putc(unsigned char c)
{
while(USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TXE)==RESET);
USART_SendData(USART1, (int)c);
}
void usart1_puts(unsigned char *s)
{
while(*s)
{

```

```

        usart1_putc(*s++);
    }
}

int usart1_getc(void)
{
    while(USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_RXNE)==RESET);
    return(USART_ReceiveData(USART1));
}

void Delay(__IO uint32_t nTime)
{
    TimingDelay = nTime;
    while(TimingDelay != 0);
}

void TimingDelay_Decrement(void)
{
    if (TimingDelay != 0x00)
    {
        TimingDelay--;
    }
}

PUTCHAR_PROTOTYPE
{
    USART_SendData(EVAL_COM1, (uint8_t) ch);
    while (USART_GetFlagStatus(EVAL_COM1, USART_FLAG_TXE) == RESET)
    {
    }
    return ch;
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT

void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)

```

```
{  
  while (1)  
  {  
  }  
}
```

## โปรแกรมควบคุมการแปลงสัญญาณ D/A

```

#include "stm32f0xx.h"
#include "stm320518_eval.h"
#include <stdio.h>

#define sEE_FLAG_TIMEOUT      ((uint32_t)0x1000)
#define sEE_LONG_TIMEOUT     ((uint32_t)(10*sEE_FLAG_TIMEOUT))
__IO uint32_t sEETimeout1 = sEE_LONG_TIMEOUT;
#define sEE_READ_ADDRESS1    0x40
USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
static __IO uint32_t TimingDelay;
void TimingDelay_Decrement(void);
void Delay(__IO uint32_t nTime);
void usart1_putc(unsigned char c);
void usart1_puts(unsigned char *s);
int usart1_getc(void);
#ifdef __GNUC__
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int __io_putchar(int ch)
#else
#define PUTCHAR_PROTOTYPE int fputc(int ch, FILE *f)
#endif
void Read_I2C(uint16_t ReadAddr,uint16_t adc);
int x=0;
int main(void)
{
    if (SysTick_Config(SystemCoreClock / 1000))
    {
        while (1);
    }
    I2C_InitTypeDef I2C_InitStructure;

```

```

sEE_LowLevel_Init();
I2C_InitStructure.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
I2C_InitStructure.I2C_AnalogFilter = I2C_AnalogFilter_Enable;
I2C_InitStructure.I2C_DigitalFilter = 0x00;
I2C_InitStructure.I2C_OwnAddress1 = 0x00;
I2C_InitStructure.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;
I2C_InitStructure.I2C_AcknowledgedAddress = I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
I2C_InitStructure.I2C_Timing = 0x00210507;
I2C_Init(sEE_I2C, &I2C_InitStructure);
I2C_Cmd(sEE_I2C, ENABLE);
USART_InitStructure.USART_BaudRate = 100000;
USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;
USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1;
USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl = USART_HardwareFlowControl_None;
USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
STM_EVAL_COMInit(COM1, &USART_InitStructure);
while (USART_GetFlagStatus(EVAL_COM1, USART_FLAG_TC) == RESET)
{
}
Read_I2C(sEE_READ_ADDRESS1,250);
while (1)
{
    x = usart1_getc();
    Read_I2C(sEE_READ_ADDRESS1,x);
    usart1_putc(x);
}
}
void Read_I2C(uint16_t ReadAddr,uint16_t adc)
{

```

```

I2C_TransferHandling(sEE_I2C, 0x90, 2, I2C_SoftEnd_Mode, I2C_Generate_Start_Write);
while(I2C_GetFlagStatus(sEE_I2C, I2C_ISR_TXIS) == RESET)
{
}
I2C_SendData(sEE_I2C, (uint8_t)(ReadAddr & 0x00FF));
    while(I2C_GetFlagStatus(sEE_I2C, I2C_ISR_TXIS) == RESET)
    {}
I2C_SendData(sEE_I2C, (uint8_t)(adc));
I2C_TransferHandling(sEE_I2C, 0x90, 2, I2C_SoftEnd_Mode, I2C_No_StartStop);
}
void usart1_putc(unsigned char c)
{
    while(USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TXE)==RESET);
    USART_SendData(USART1, (int)c);
}
void usart1_puts(unsigned char *s)
{
    while(*s)
    {
        usart1_putc(*s++);
    }
}
int usart1_getc(void)
{
    while(USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_RXNE)==RESET);
    return(USART_ReceiveData(USART1));
}
void Delay(__IO uint32_t nTime)
{
    TimingDelay = nTime;
}

```



```
while(TimingDelay != 0);
}

void TimingDelay_Decrement(void)
{
if (TimingDelay != 0x00)
{
TimingDelay--;
}
}

PUTCHAR_PROTOTYPE
{
USART_SendData(EVAL_COM1, (uint8_t) ch);
while (USART_GetFlagStatus(EVAL_COM1, USART_FLAG_TXE) == RESET)
{
}
return ch;
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT

void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)
{
while (1)
{
}
}

#endif
```

**ภาคผนวก ข**

**ตารางผลการทดลอง**

ตารางผลการทดลองเพื่อศึกษาการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงแบบไร้สาย

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองที่ระยะ 1 เมตร

มุม(องศา)											
ระยะโฟกัส (มิลลิเมตร)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0											
1	69.6	69.0	68.4	66.9	63.7	61.0	58.3	55.2	53.0		
2	91.5	91.0	89.7	86.5	81.1	77.2	72.7	67.4	64.9	57.5	53.5
3	129.1	126.2	123.8	116.2	108.6	100.6	94.0	84.3	77.3	73.3	67.9
4	176.8	174.6	168.5	155.2	141.1	126.6	115.3	101.9	92.7	85.2	78.3
5	264.7	255.7	241.3	220.3	194.8	175.3	146.4	129.6	107.9	81.5	55.4
6	327.9	317.5	290.6	258.9	214.7	136.6	93.9	51.4			
7	529.9	525.6	448.4	309.6	206.7	107.9					
8	965.8	858.0	550.5	236.4							
9	1494.0	1289.0	970.1	126.7							
10	1544.0	1493.0	905.1	67.4							

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองที่ระยะ 2 เมตร

มุม(องศา)											
ระยะโฟกัส (มิลลิเมตร)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0											
1	69.6	69.0	68.4	66.9	63.7	61.0	58.3	55.2	53.0		
2	91.5	91.0	89.7	86.5	81.1	77.2	72.7	67.4	64.9	57.5	53.5
3	129.1	126.2	123.8	116.2	108.6	100.6	94.0	84.3	77.3	73.3	67.9
4	176.8	174.6	168.5	155.2	141.1	126.6	115.3	101.9	92.7	85.2	78.3
5	264.7	255.7	241.3	220.3	194.8	175.3	146.4	129.6	107.9	81.5	55.4
6	327.9	317.5	290.6	258.9	214.7	136.6	93.9	51.4			
7	529.9	525.6	448.4	309.6	206.7	107.9					
8	965.8	858.0	550.5	236.4							
9	1494.0	1289.0	970.1	126.7							
10	1544.0	1493.0	905.1	67.4							





ภาคผนวก ค

เอกสารรายละเอียด (Data Sheet)



## PT4115

### 30V, 1.2A Step-down High Brightness LED Driver with 5000:1 Dimming

#### GENERAL DESCRIPTION

The PT4115 is a continuous conduction mode inductive step-down converter, designed for driving single or multiple series connected LED efficiently from a voltage source higher than the total LED chain voltage. The device operates from an input supply between 6V and 30V and provides an externally adjustable output current of up to 1.2A. Depending upon the supply voltage and external components, the PT4115 can provide more than 30 watts of output power.

The PT4115 includes the power switch and a high-side output current sensing circuit, which uses an external resistor to set the nominal average output current, and a dedicated DIM input accepts either a DC voltage or a wide range of pulsed dimming. Applying a voltage of 0.3V or lower to the DIM pin turns the output off and switches the device into a low current standby state. The PT4115 is available in SOT89-5 and ESOP8 packages.

#### FEATURES

- Simple low parts count
- Wide input voltage range: 6V to 30V
- Up to 1.2A output current
- Single pin on/off and brightness control using DC voltage or PWM
- Up to 1MHz switching frequency
- Typical 5% output current accuracy
- Inherent open-circuit LED protection
- High efficiency (up to 97%)
- High-Side Current Sense
- Hysteretic Control: No Compensation
- Adjustable Constant LED Current
- ESOP8 package for large output power application
- RoHS compliant

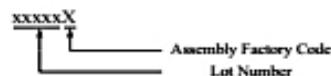
#### APPLICATIONS

- Low voltage halogen replacement LEDs
- Automotive lighting
- Low voltage industrial lighting
- LED back-up lighting
- Illuminated signs
- SELV lighting
- LCD TV backlighting

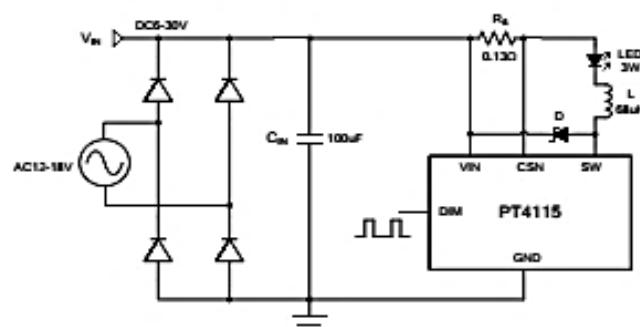
#### ORDERING INFORMATION

PACKAGE	TEMPERATURE RANGE	ORDERING PART NUMBER	TRANSPORT MEDIA	MARKING
SOT89-5	-40°C to 85°C	PT4115B89E:A type PT4115B89E-B:B type	Tape and Reel 1000 units	PT4115 xxxxxX
ESOP8	-40°C to 85°C	PT4115BSOH:A type PT4115BSOH-B:B type	Tape and Reel 2500 units	PT4115 xxxxxX

Note:



#### TYPICAL APPLICATION CIRCUIT

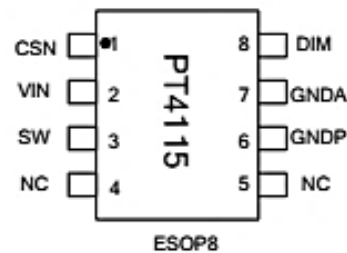
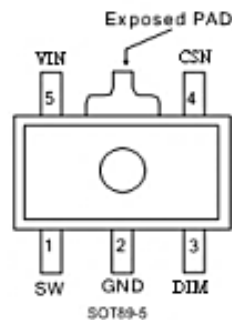




## PT4115

### 30V, 1.2A Step-down High Brightness LED Driver with 5000:1 Dimming

#### PIN ASSIGNMENT



#### PIN DESCRIPTIONS

PIN No.	PIN NAMES	DESCRIPTION
1	SW	Switch Output. SW is the drain of the internal N-Ch MOSFET switch.
2	GND	Signal and power ground. Connect directly to ground plane.
3	DIM	Logic level dimming input. Drive DIM low to turn off the current regulator. Drive DIM high to enable the current regulator.
4	CSN	Current sense input
5	VIN	Input Supply Pin. Must be locally bypassed.
-	Exposed PAD	Internally connected to GND. Mount on board for lower thermal resistance.
ESOP8 4,5	NC	No connection

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (note1)

SYMBOL	ITEMS	VALUE	UNIT
V <sub>IN</sub>	Supply Voltage	-0.3-45	V
SW	Drain of the internal power switch	-0.3-45	V
CSN	Current sense input (Respect to VIN)	+0.3-(-6.0)	V
DIM	Logic level dimming input	-0.3-6	V
I <sub>SW</sub>	Switch output current	1.5	A
P <sub>DMAX</sub>	Power Dissipation (Note 2)	1.5	W
P <sub>TR</sub>	Thermal Resistance, SOT89-5 $\theta_{JA}$	45	°C/W
P <sub>TR</sub>	Thermal Resistance, ESOP8 $\theta_{JA}$	40	°C/W
T <sub>J</sub>	Operation Junction Temperature Range	-40 to 150	°C
T <sub>STG</sub>	Storage Temperature	-55 to 150	°C
	ESD Susceptibility (Note 3)	2	kV





## PT4115

### 30V, 1.2A Step-down High Brightness LED Driver with 5000:1 Dimming

#### RECOMMENDED OPERATING RANGE

SYMBOL	ITEMS	VALUE	UNIT
$V_{IN}$	$V_{DD}$ Supply Voltage	6 – 30	V
$T_{OPT}$	Operating Temperature	-40 to +85	°C

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Recommended Operating Range indicates conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Range. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

**Note 2:** The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is dictated by  $T_{JMAX}$ ,  $\theta_{JA}$ , and the ambient temperature  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation is  $P_{DMAX} = (T_{JMAX} - T_A) / \theta_{JA}$  or the number given in Absolute Maximum Ratings, whichever is lower.

**Note 3:** Human body model, 100pF discharged through a 1.5kΩ resistor.

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 4, 5)

The following specifications apply for  $V_{IN}=12V$ ,  $T_A=25^\circ C$ , unless specified otherwise.

SYMBOL	ITEMS	CONDITIONS	Min.	Typ.	Max.	UNIT	
$V_{IN}$	Input Voltage		6		30	V	
$V_{UVLO}$	Under voltage lock out	$V_{IN}$ falling		5.1		V	
$V_{UVLO,HYS}$	UVLO hysteresis	$V_{IN}$ rising		500		mV	
$F_{SW}$	Max. Switching Frequency				1	MHz	
<b>Current Sense</b>							
$V_{CSN}$	Mean current sense threshold voltage	$V_{IN}-V_{CSN}$	A type	95	98	101	mV
			B type	99	102	105	mV
$V_{CSN,hys}$	Sense threshold hysteresis			±15		%	
$I_{CSN}$	CSN Pin Input Current	$V_{IN}-V_{CSN}=50mV$		8		μA	
<b>Operating Current</b>							
$I_{OFF}$	Quiescent supply current with output off	$V_{DIM}<0.3V$		95		μA	
<b>DIM Input</b>							
$V_{DIM}$	Internal supply voltage	DIM floating		5		V	
$V_{DIM,H}$	DIM input voltage High		2.5			V	
$V_{DIM,L}$	DIM input voltage Low				0.3	V	
$V_{DIM,DC}$	DC brightness control		0.5		2.5	V	
$f_{DIM}$	Max. DIM Frequency	$f_{OSC}=500kHz$			50	kHz	
$D_{PWM,LF}$	Duty cycle range of low frequency dimming	$f_{DIM}=100Hz$	0.02%		1		
	Brightness control range				5000:1		



## PT4115

### 30V, 1.2A Step-down High Brightness LED Driver with 5000:1 Dimming

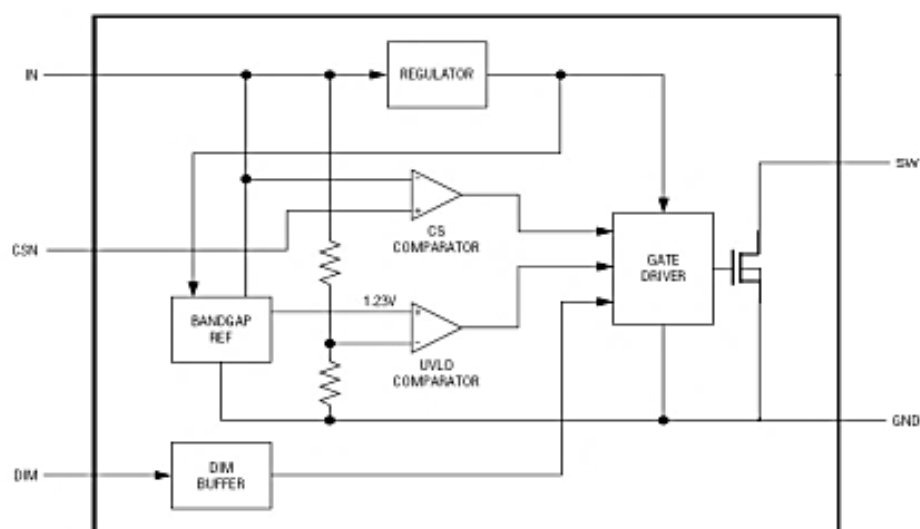
#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued) (Note 4, 5)

SYMBOL	ITEMS	CONDITIONS	Min.	Typ.	Max.	UNIT
<b>DIM Input</b>						
$D_{PWM\_HF}$	Duty cycle range of high frequency dimming	$f_{DIM}=20KHz$	4%		1	
	Brightness control range			25:1		
$R_{DIM}$	DIM pull up resistor to Internal supply voltage			200		K $\Omega$
$I_{DIM\_L}$	DIM input leakage low	$V_{DIM} = 0$		25		$\mu A$
<b>Output Switch</b>						
$R_{SW}$	SW On Resistance	$V_{IN}=12V$		0.6		$\Omega$
		$V_{IN}=24V$		0.4		
$I_{SW\max}$	Continuous SW Current				1.2	A
$I_{LEAK}$	SW Leakage Current			0.5	5	$\mu A$
<b>Thermal Shutdown</b>						
$T_{SD}$	Thermal Shutdown Threshold			160		$^{\circ}C$
$T_{SD-hys}$	Thermal Shutdown hysteresis			20		$^{\circ}C$

Note 4: Typical parameters are measured at 25°C and represent the parametric norm.

Note 5: Datasheet min/max specification limits are guaranteed by design, test, or statistical analysis.

#### SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM



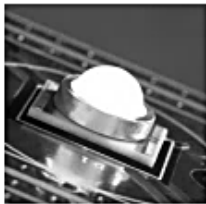
## Data Sheet Cree XLamp XR-E LED



## PRODUCT FAMILY DATA SHEET

CLD DS-05 REV12A

## Cree® XLamp® XR-E LED



## PRODUCT DESCRIPTION

The XLamp XR-E LED is leading the LED lighting revolution with its unprecedented lighting-class brightness, efficacy, lifetime and quality of light. These lighting-class features enable the XLamp XR-E LED to replace many traditional light sources and save money with energy-efficient light and long lifetimes.

Cree XLamp LEDs bring high performance and quality of light to a wide range of lighting applications, including color-changing lighting, portable and personal lighting, outdoor lighting, indoor directional lighting, commercial lighting and emergency-vehicle lighting.

## FEATURES

- Guaranteed minimum flux order codes up to 114 lm in white, 30.6 lm in blue and 67.2 lm in green at 350 mA
- Available in white (2,600 K to 10,000 K CCT), blue, royal blue and green
- Maximum drive current: up to 1000 mA
- Industry's lowest thermal resistance: 8 °C/W
- Max junction temperature: 150 °C
- Industry-leading JEDEC standard pre-qualification testing
- Reflow solderable - JEDEC J-STD-020C compatible
- Electrically neutral thermal path
- RoHS-compliant
- Lumen maintenance of greater than 70% after 50,000 hours

## TABLE OF CONTENTS

Flux Characteristics ( $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ) - White .....	2
Flux Characteristics ( $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ) - Color.....	3
Characteristics.....	4
Relative Spectral Power Distribution	.5
Relative Flux vs. Junction Temperature ( $I_F = 350\text{ mA}$ ).....	6
Electrical Characteristics ( $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	7
Thermal Design.....	7
Relative Flux vs. Current ( $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	8
Typical Spatial Distribution .....	8
Reflow Soldering Characteristics.....	9
Notes .....	10
Mechanical Dimensions ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ) .....	11
Tape and Reel.....	12
Dry Packaging and Packaging.....	13

WWW.CREE.COM/XLAMP

Copyright © 2006-2009 Cree, Inc. All rights reserved. The information in this document is subject to change without notice. Cree, the Cree logo and XLamp are registered trademarks of Cree, Inc.

Cree, Inc.  
4600 Silicon Drive  
Durham, NC 27703  
USA Tel: +1.919.313.5300



## CHARACTERISTICS

Characteristics	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Thermal Resistance, junction to solder point	°C/W		8	
Viewing Angle (FWHM) - white	degrees		90	
Viewing Angle (FWHM) - royal blue, blue, green	degrees		100	
Temperature coefficient of voltage - white, royal blue, blue, green	mV/°C		-4.0	
ESD Classification (HBM per Mil-Std-883D)			Class 2	
DC Forward Current - white ≥ 5000 K, royal blue, blue	mA			1000
DC Forward Current - white < 5000 K, green	mA			700
DC Pulse Current (@ 1 kHz, 10% duty cycle)	A			1.8
Reverse Voltage	V			5
Forward Voltage (@ 350 mA)	V		3.3	3.9
Forward Voltage (@ 700 mA)	V		3.5	
Forward Voltage (@ 1000 mA) - white ≥ 5000 K, royal blue, blue	V		3.7	
LED Junction Temperature*	°C			150

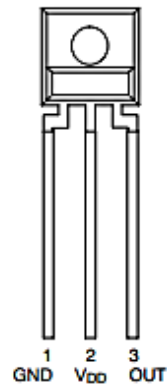
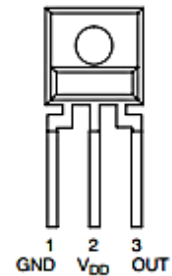
\* Note: For lumen maintenance data, see the Cree XLamp LED Reliability document.

## Data Sheet TSL14S

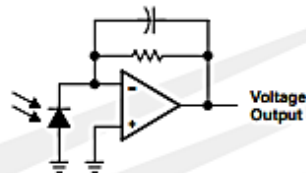

**TSL12S, TSL13S, TSL14S  
LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS**

TAOS051E - SEPTEMBER 2007

- Converts Light Intensity to Output Voltage
- Monolithic Silicon IC Containing Photodiode, Transconductance Amplifier, and Feedback Components
- Single-Supply Operation . . . 2.7 V to 5.5 V
- High Irradiance Responsivity . . . Typical 246 mV/( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) at  $\lambda_p = 640 \text{ nm}$  (TSL12S)
- Low Supply Current . . . 1.1 mA Typical
- Sidelooker 3-Lead Plastic Package
- RoHS Compliant (-LF Package Only)

**PACKAGE S  
SIDELOOKER  
(FRONT VIEW)**

**PACKAGE SM  
SURFACE MOUNT  
SIDELOOKER  
(FRONT VIEW)**

**Description**

The TSL12S, TSL13S, and TSL14S are cost-optimized, highly integrated light-to-voltage optical sensors, each combining a photodiode and a transimpedance amplifier (feedback resistor = 80 M $\Omega$ , 20 M $\Omega$ , and 5 M $\Omega$ , respectively) on a single monolithic integrated circuit. The photodiode active area is 0.5 mm  $\times$  0.5 mm and the sensors respond to light in the range of 320 nm to 1050 nm. Output voltage is linear with light intensity (irradiance) incident on the sensor over a wide dynamic range. These devices are supplied in a 3-lead clear plastic sidelooker package (S). When supplied in the lead (Pb) free package, the device is RoHS compliant.

**Functional Block Diagram**


The LUMENOLOGY • Company

Copyright © 2007, TAOS Inc.

**Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc.**

1001 Klein Road • Suite 300 • Plano, TX 75074 • (972) 673-0759

www.taosinc.com

1

## TSL12S, TSL13S, TSL14S LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS

TAOS051E - SEPTEMBER 2007

Electrical Characteristics at  $V_{DD} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_p = 640\text{ nm}$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  (unless otherwise noted)  
(see Notes 3, 4, 5)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TSL12S			TSL13S			TSL14S			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{OM}$	Maximum output voltage	4.6	4.9		4.6	4.9		4.6	4.9		V	
$V_O$	Output voltage	$E_o = 8\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$	1.5	2	2.5						V	
		$E_o = 31\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$				1.5	2	2.5				
		$E_o = 120\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$							1.5	2		2.5
		$E_o = 16\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$		4								
		$E_o = 62\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$					4					
	$E_o = 240\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$							4				
$R_o$	Irradiance responsivity	Note 6	248		64			16			mV/ ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	
$V_{OS}$	Extrapolated offset voltage	Note 6	-0.02	0.03	0.08	-0.02	0.03	0.08	-0.02	0.03	0.08	V
$V_d$	Dark voltage	$E_o = 0$	0	0.08		0	0.08		0	0.08		V
$I_D$	Supply current	$E_o = 8\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$		1.1	1.7							mA
		$E_o = 31\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$				1.1	1.7					
		$E_o = 120\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$						1.1	1.7			

- NOTES: 3. Measurements are made with  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  between output and ground.  
 4. Optical measurements are made using small-angle incident radiation from an LED optical source.  
 5. The 640 nm input irradiance  $E_o$  is supplied by an AlInGaP LED with peak wavelength  $\lambda_p = 640\text{ nm}$ .  
 6. Irradiance responsivity is characterized over the range  $V_O = 0.2\text{ to }4\text{ V}$ . The best-fit straight line of Output Voltage  $V_O$  versus irradiance  $E_o$  over this range may have a positive or negative extrapolated  $V_O$  value for  $E_o = 0$ . For low irradiance values, the output voltage  $V_O$  versus irradiance  $E_o$  characteristic is non linear with a deviation toward  $V_O = 0$ ,  $E_o = 0$  origin from the best-fit straight line referenced above.

Dynamic Characteristics at  $V_{DD} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_p = 640\text{ nm}$ ,  $R_L = 10\text{ k}\Omega$  (unless otherwise noted)  
(see Figure 1)

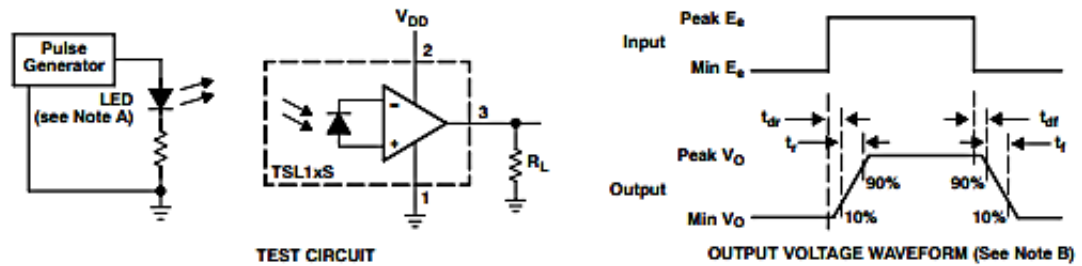
PARAMETER	TEST CONDITIONS	TSL12S			TSL13S			TSL14S			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$t_{dr}$	Output pulse delay time for rising edge (0% to 10%)	Min $V_O = 0\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		13		1.7		0.9			$\mu\text{s}$
		Min $V_O = 0.5\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		2.3		1.2		0.6			
$t_r$	Output pulse rise time (10% to 90%)	Min $V_O = 0\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		20		7.2		2.6			$\mu\text{s}$
		Min $V_O = 0.5\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		10		6.5		2.9			
$t_{df}$	Output pulse delay time for falling edge (100% to 90%)	Min $V_O = 0\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		2.3		1.2		0.8			$\mu\text{s}$
		Min $V_O = 0.5\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		2.2		1.1		0.7			
$t_f$	Output pulse fall time (90% to 10%)	Min $V_O = 0\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		10		6.8		2.9			$\mu\text{s}$
		Min $V_O = 0.5\text{ V}$ ; Peak $V_O = 2\text{ V}$		9		6.4		2.8			



## TSL12S, TSL13S, TSL14S LIGHT-TO-VOLTAGE CONVERTERS

TAOS051E - SEPTEMBER 2007

### PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

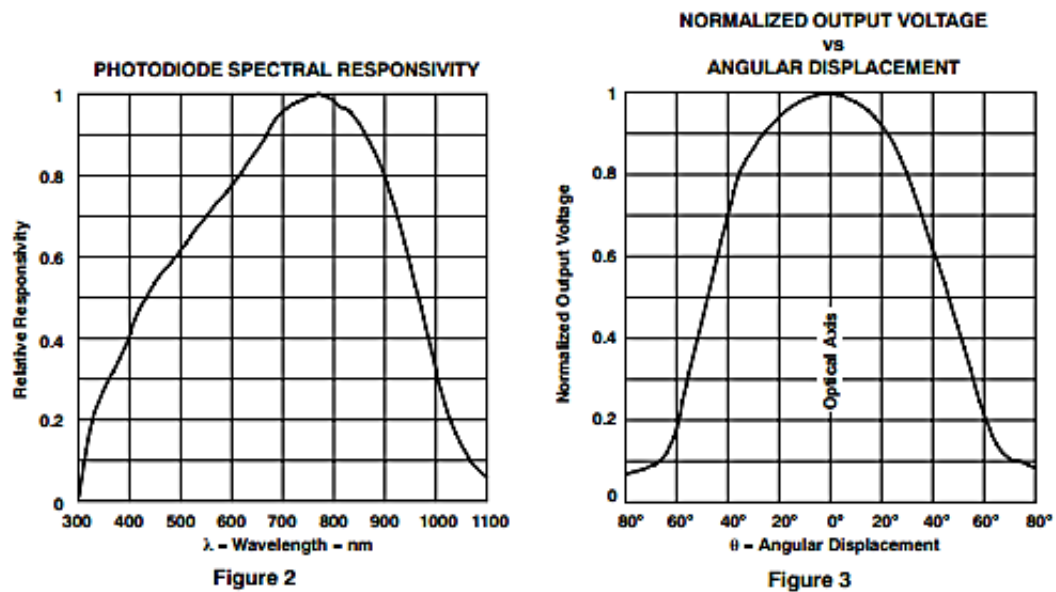


NOTES: A. The input irradiance is supplied by a pulsed AlInGaP light-emitting diode with the following characteristics:  $\lambda_p = 640$  nm,  $t_r < 1$   $\mu$ s,  $t_f < 1$   $\mu$ s.

B. The output waveform is monitored on an oscilloscope with the following characteristics:  $t_r < 100$  ns,  $Z_i \geq 1$  M $\Omega$ ,  $C_i \leq 20$  pF.

Figure 1. Switching Times

### TYPICAL CHARACTERISTICS



## Data Sheet PCF8591



# PCF8591

8-bit A/D and D/A converter

Rev. 7 — 27 June 2013

Product data sheet

## 1. General description

---

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low-power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I<sup>2</sup>C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I<sup>2</sup>C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I<sup>2</sup>C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I<sup>2</sup>C-bus.

## 2. Features and benefits

---

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6.0 V
- Low standby current
- Serial input and output via I<sup>2</sup>C-bus
- I<sup>2</sup>C address selection by 3 hardware address pins
- Max sampling rate given by I<sup>2</sup>C-bus speed
- 4 analog inputs configurable as single ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V<sub>SS</sub> to V<sub>DD</sub>
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

## 3. Applications

---

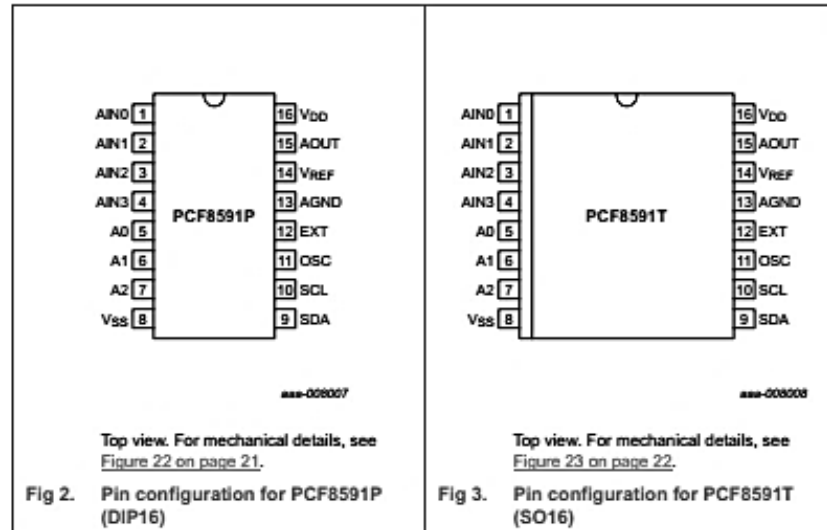
- Supply monitoring
- Reference setting
- Analog control loops





## 7. Pinning information

### 7.1 Pinning



### 7.2 Pin description

Table 4. Pin description

Symbol	Pin	Description
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware slave address
A1	6	
A2	7	
V <sub>SS</sub>	8	ground supply voltage
SDA	9	I <sup>2</sup> C-bus serial data input and output
SCL	10	I <sup>2</sup> C-bus serial clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground supply
V <sub>REF</sub>	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V <sub>DD</sub>	16	supply voltage

## 14. Characteristics

### 14.1 Static characteristics

Table 8. Characteristics  
 $V_{DD} = 2.5\text{ V to }6.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^{\circ}\text{C to }+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply						
$V_{DD}$	supply voltage		2.5	-	6.0	V
$I_{DD}$	supply current	standby; $V_I = V_{SS}$ or $V_{DD}$ ; no load	-	1	15	$\mu\text{A}$
		operating; $f_{SCL} = 100\text{ kHz}$				
		AOOUT off	-	125	250	$\mu\text{A}$
		AOOUT active	-	0.45	1.0	mA
$V_{POR}$	power-on reset voltage		[1] 0.8	-	2.0	V
Digital in- and outputs: SCL, SDA, A0, A1, A2						
$V_{IL}$	LOW-level input voltage		0	-	$0.3 \times V_{DD}$	V
$V_{IH}$	HIGH-level input voltage		$0.7 \times V_{DD}$	-	$V_{DD}$	V
$I_L$	leakage current	$V_I = V_{SS}$ to $V_{DD}$				
		A0, A1, A2	-250	-	+250	nA
		SCL, SDA	-1	-	+1	$\mu\text{A}$
$C_i$	input capacitance		-	-	5	pF
$I_{OL}$	LOW-level output current	$V_{OL} = 0.4\text{ V}$	3.0	-	-	mA
Reference voltage inputs						
$V_{ref}$	reference voltage	$V_{ref} > V_{AGND}$	[2] $V_{SS} + 1.6$	-	$V_{DD}$	V
$V_{AGND}$	voltage on pin AGND	$V_{ref} > V_{AGND}$	[2] $V_{SS}$	-	$V_{DD} - 0.8$	V
$I_{LI}$	input leakage current		-250	-	+250	nA
$R_{ref}$	reference resistance	pins $V_{REF}$ and AGND	-	100	-	k $\Omega$
Oscillator: OSC, EXT						
$I_{LI}$	input leakage current		-	-	250	nA
$f_{OSC}$	oscillator frequency		0.75	-	1.25	MHz

[1] The power-on reset circuit resets the I<sup>2</sup>C-bus logic when  $V_{DD}$  is less than  $V_{POR}$ .

[2] A further extension of the range is possible, if the following conditions are fulfilled:  $\frac{V_{ref} + V_{AGND}}{2} \geq 0.8\text{ V}$ ,

$$V_{DD} - \frac{V_{ref} + V_{AGND}}{2} \geq 0.4\text{ V}.$$

## 14.2 D/A characteristics

Table 9. D/A characteristics

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0$ ;  $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{AGND} = 0\text{ V}$ ;  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ;  $C_L = 100\text{ pF}$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Analog output						
$V_{oa}$	analog output voltage	no resistive load	$V_{SS}$	-	$V_{DD}$	V
		$R_L = 10\text{ k}\Omega$	$V_{SS}$	-	$0.9 \times V_{DD}$	V
$I_{LO}$	output leakage current	AOUT disabled	-	-	250	nA
Accuracy						
$E_O$	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	50	mV
$E_L$	linearity error		-	-	$\pm 1.5$	LSB
$E_G$	gain error	no resistive load	-	-	1	%
$t_{s(DAC)}$	DAC settling time	to 1/2 LSB full scale	-	-	90	$\mu\text{s}$
$f_{c(DAC)}$	DAC conversion frequency		-	-	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$ ; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	-	40	-	dB

## 14.3 A/D characteristics

Table 10. A/D characteristics

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0$ ;  $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{AGND} = 0\text{ V}$ ;  $R_S = 10\text{ k}\Omega$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Analog inputs						
$V_{ia}$	analog input voltage		$V_{SS}$	-	$V_{DD}$	V
$I_{UA}$	analog input leakage current		-	-	100	nA
$C_{i(a)}$	analog input capacitance		-	10	-	pF
$C_{i(dif)}$	differential input capacitance		-	10	-	pF
$V_{i(se)}$	single-ended input voltage	measuring range	$V_{AGND}$	-	$V_{REF}$	V
$V_{i(dif)}$	differential input voltage	measuring range: $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$\frac{-V_{FS}}{2}$	-	$\frac{+V_{FS}}{2}$	V
Accuracy						
$E_O$	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	20	mV
$E_L$	linearity error		-	-	$\pm 1.5$	LSB
$E_G$	gain error		-	-	1	%
		small signal; $\Delta V_i = 16\text{ LSB}$	-	-	5	%
CMRR	common mode rejection ratio		-	60	-	dB



## UM1525 User manual

### STM32F0DISCOVERY Discovery kit for STM32 F0 microcontrollers

#### Introduction

The STM32F0DISCOVERY helps you to discover the STM32 F0 Cortex™-M0 features and to develop your applications easily. It is based on STM32F051R8T6, an STM32 F0 series 32-bit ARM® Cortex™ microcontroller, and includes an ST-LINK/V2 embedded debug tool, LEDs, push buttons and a prototyping board.

Figure 1. STM32F0DISCOVERY

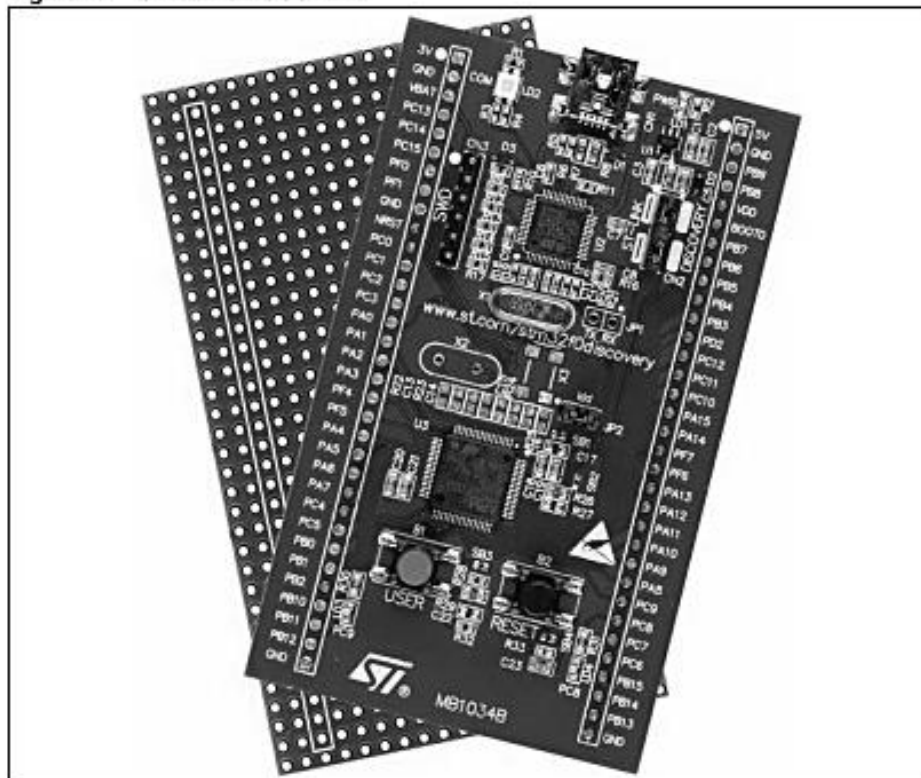
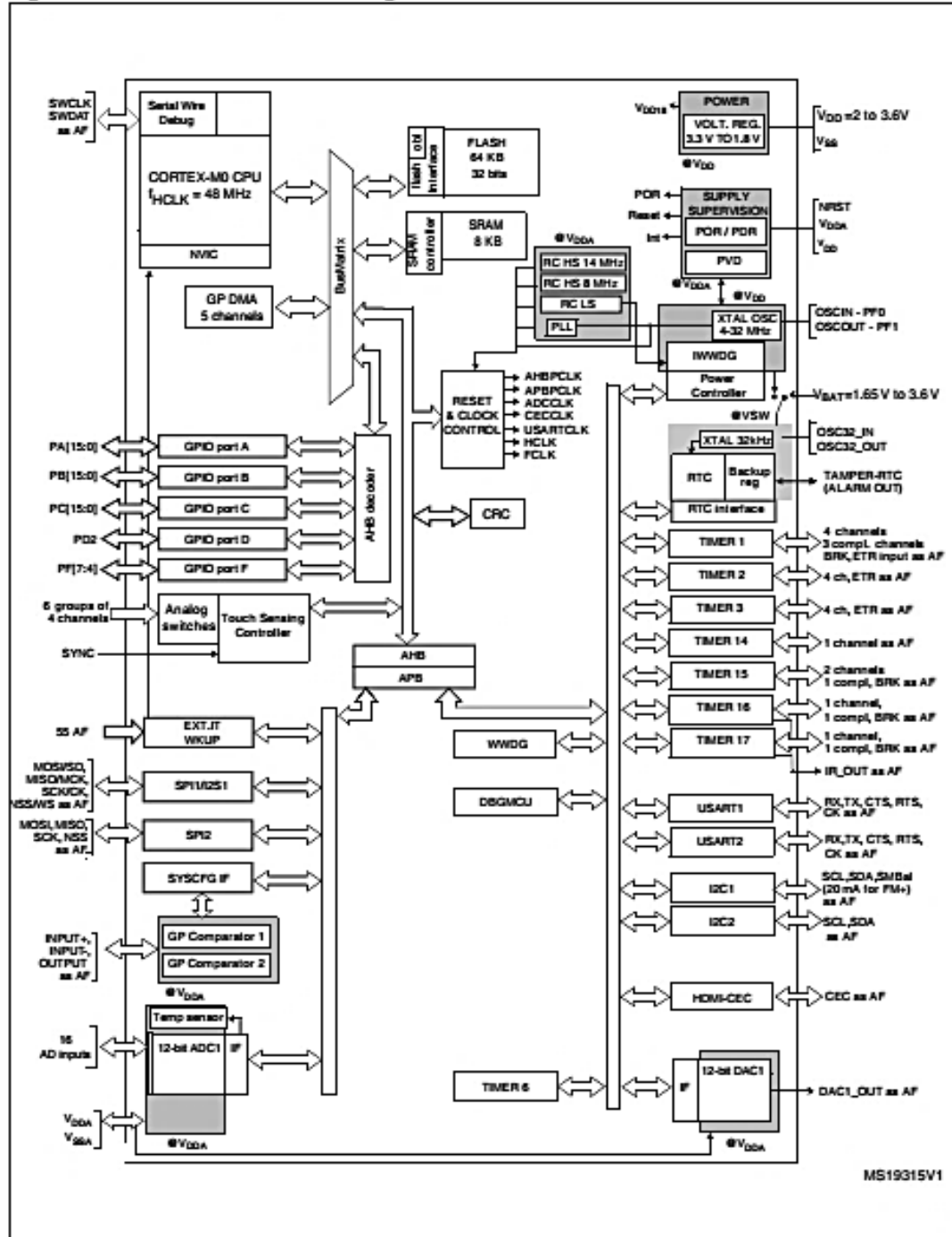


Table 1. Applicable tools

Type	Part number
Evaluation tools	STM32F0DISCOVERY

Figure 6. STM32F051R8T6 block diagram



MS19315V1

### 5.3 Arduino shield boards

Arduino™ is an open-source electronics prototyping platform based on flexible, easy-to-use hardware and software. See <http://www.arduino.cc> for more information.

Arduino accessory boards are called "Shields" and can be easily connected to the STM32F0 Discovery according to the following table.

**Table 11. Connecting with Arduino shields**

Connecting with Arduino shields			
Arduino power connector		STM32F0DISCOVERY	
Reset	Reset from Shield board	NRST	Reset discovery
3V3	VCC 3.3V power line	3V	VDD
5V	VCC 5V power line	5V	VDD
GND	Reference Ground	GND	Reference Ground
GND	Reference Ground	GND	Reference Ground
Vin	External allimentation	VBAT	Jumper to fit
Arduino analog in connector		STM32F0DISCOVERY	
A0	Analog input or Digital pin 14	PC0	ADC_IN10
A1	Analog input or Digital pin 15	PC1	ADC_IN11
A2	Analog input or Digital pin 16	PC2	ADC_IN12
A3	Analog input or Digital pin 17	PC3	ADC_IN13
A4	Analog input or SDA or Digital pin 18	PC4 or PF7	ADC_IN14 or I2C2_SDA
A5	Analog input or SCL or Digital pin 19	PC5 or PF6	ADC_IN15 or I2C2_SCL
Arduino digital connector		STM32F0DISCOVERY	
D0	Digital pin 0 or RX	PA3	USART2_RX
D1	Digital pin 1 or TX	PA2	USART2_TX
D2	Digital pin 2 / External interrupt	PB12	EXTI (5V tolerant)
D3	Digital pin 3 / Ext int or PWM	PB11	EXTI (5V tolerant) or TIM2_CH4
D4	Digital pin 4	PA7	GPIO (3V tolerant)
D5	Digital pin 5 or PWM	PB9	TIM17_CH1
D6	Digital pin 6 or PWM	PB8	TIM16_CH1
D7	Digital pin 7	PA6	GPIO (3V tolerant)
D8	Digital pin 8	PA5	GPIO (3V tolerant)
D9	Digital pin 9 or PWM	PA4	TIM14_CH1
D10	Digital pin 10 or CS or PWM	PA11	TIM1_CH4
D11	Digital pin 11 or MOSI or PWM	PB5	SPI1_MOSI or TIM3_CH2
D12	Digital pin 12 or MISO	PB4	SPI1_MISO
D13	Digital pin 13 or SCK	PB3	SPI1_SCK
GND	Reference Ground	GND	Reference Ground
AREF	ADC voltage reference	NC	Not connected

Figure 15. ST-LINK/V2 (SWD only)

