

การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสง
INDOOR POSITIONING SYSTEM BASED ON VISIBLE LIGHT
COMMUNICATION



โดย
นางสาวบริสุทธิ์ แซ่เตียว
นางสาวสุตาภัทร ตัชอุยวัตร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสง
INDOOR POSITIONING SYSTEM BASED ON VISIBLE LIGHT
COMMUNICATION



โดย
นางสาวบริสุทธิ์ แซ่เตียว 58010690
นางสาวสุตาภัทร ดัชฎยาวัตร 58011342

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.สุวิพล สิริธิชีวะภาค
รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสง

INDOOR POSITIONING SYSTEM BASED ON VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

ผู้จัดทำ

1. นางสาวปริสสุทธิ์ แซ่เตียว 58010690
2. นางสาวสุตาภัทร ดัชฎยาวัตร 58011342

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สุวิพล ลิทธิชีวกาค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการได้รับความกรุณาอนุเคราะห์ในการให้ช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิพล สิริธิชีวะภาค อาจารย์ที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีโดยตลอด อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณ บุคลากรในห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆและรุ่นพี่ ทุกคนที่มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่ง ได้เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในเรื่องทุนทรัพย์ และให้กำลังใจผู้จัดทำเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

บริสุทธิ์ แซ่เตียว
 สุตาภัทร ดัชฎยาวัตร
 ผู้จัดทำ

การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร
ผ่านแสง

INDOOR POSITIONING SYSTEM BASED ON VISIBLE
LIGHT COMMUNICATION

โดย นางสาวบริสุทธิ์ แซ่เตี่ยว 58010690

นางสาวสุตาภัทร ดัชญาวัตร 58011342

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวิมล สิทธิชีวภาค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการระบุตำแหน่งช่วยอำนวยความสะดวกในหลายๆด้าน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์จากจีพีเอสที่เป็นระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกในการบอกพิกัดต่างๆ แต่ในบางพื้นที่จีพีเอสก็ไม่สามารถบอกตำแหน่งได้เช่น ภายในอาคาร จึงใช้เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้มาประยุกต์เพื่อช่วยบอกตำแหน่งภายในอาคาร เนื่องจากในอาคารโดยปกติหลอดไฟเป็นสิ่งจำเป็นที่มนุษย์ใช้ในการให้ความส่องสว่างอยู่แล้ว ในการสร้างเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารจะใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยจะกระพริบตามสัญญาณข้อมูลที่ป้อนเข้าไป และทางภาครับจะรับสัญญาณโดยใช้โฟโตไดโอด ในการนำกระแสไฟฟ้าเมื่อมีแสงมาตกกระทบโดยเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะใช้อุปแอมป์ในการช่วยขยายสัญญาณเพื่อให้มีการรับส่งข้อมูลได้ระยะทางมากขึ้น ทำการทดลองระบุตำแหน่งโดยรับสัญญาณและประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จากการวัดความถี่และเปรียบเทียบ ทำให้สามารถจำแนก ID ของแต่ละหลอดแอลอีดีและแสดงผลตำแหน่งของหลอดแอลอีดีที่อยู่ใกล้ภาครับมากที่สุดผ่านหน้าจอ LCD

ABSTRACT

Nowadays, the autonomous positioning helps us to facilitate in many ways. Mostly they apply from GPS (Global Positioning System) for specify Geographic coordinates. However, in some areas, GPS doesn't position their coordinates for example in building. So, we use the Visible Light communication to apply for positioning in building. According to the lighting system in building, the lighting is necessary for human to illuminate for vision or others. To create the indoor positioning transmitter and receiver, we use LED for a source of visible light and it will be flashing when controlled by input data signal. Moreover, a receiver will receive the signal by using a photodiode which is electrical conductor. When the light hits the objects, this method will convert optical signal to electrical signal. After that, we use a op-amp to amplify a voltage signal for receiving input data in distance communication. In the experiment, the positioning is examined by receiving a signal and processing with Microcontrollers. The microcontrollers will measure a frequency and compare data from previous procedure. Furthermore, they can separate ID from each LED and display position of LED which is the most nearby the receiver via LCD screen.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1	บทนำ
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	1.2 วัตถุประสงค์
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
	2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่สามารถมองเห็นได้
	2.1.1 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้
	2.1.2 โพรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง
	2.1.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ VLC
	2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงที่สามารถมองเห็นได้
	2.2.1 แสงที่มองเห็นได้ (VISIBLE LIGHT)
	2.2.2 สเปกตรัมของแสงขาว (COLORS OF VISIBLE LIGHT)
	2.2.3 แหล่งกำเนิดแสงสว่าง
	2.2.4 ปัญหาและอันตรายที่เกิดจากแสงสว่าง
	2.3 เทคนิคการส่งข้อมูลโดยวิธี TIMER INTERRUPT
	2.3.1 วิธี TIMER OVERFLOW INTERRUPT
	2.3.2 วิธี TIMER COMPARE INTERRUPT
	2.3.3 วิธี TIMER CAPTURE INTERRUPT

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	16
2.4.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	16
2.4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	22
2.5 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด (PHOTO DIODE)	32
2.6 หลักการทำงานของแอลอีดี (LED)	33
2.6.1 รูปแบบของหลอดแอลอีดี	34
2.7 รหัส ASCII	36
2.7.1 วิธีการอ่านค่าจากตารางแอสกี	37
2.8 รูปแบบการส่งผ่านข้อมูล	37
2.8.1 การส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน (PARALLEL TRANSMISSION)	37
2.8.2 การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (SERIAL TRANSMISSION)	38
2.9 หลักการเบื้องต้นโปรแกรม ARDUINO IDE	41
2.9.1 ส่วนของฟังก์ชัน SETUP()	42
2.9.2 ส่วนของฟังก์ชัน LOOP()	42
2.10 โปรแกรม GOOGLE SKETCHUP VERSION PRO 2016	42
2.11 โปรแกรม PROTEUS 8 PROFESSIONAL	43
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์	
3.1 การออกแบบ	44
3.1.1 การคำนวณวงจรภาคส่ง	44
3.1.2 การคำนวณวงจรภาครับ	47
3.1.3 การออกแบบเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	52
3.1.4 การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มระยะในการส่งข้อมูล	56
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 โฟโตไดโอด VISHAY BPW34	57
3.2.2 แอลอีดีไฮพาวเวอร์ขนาด 3 วัตต์	58
3.2.3 ทรานซิสเตอร์ BD139	58
3.2.4 ออปแอมป์	59
3.2.5 ตัวต้านทานไฟฟ้า	60
3.2.6 แผ่นวงจรพิมพ์ หรือ พีซีบี	61
3.2.7 สายจัม	62
3.2.8 ARDUINO UNO R3	63
3.2.9 CHARACTER LCD DISPLAY แบบ I2C	64
3.2.10 มัลติมิเตอร์	65
3.2.11 ลักซ์มิเตอร์	65
3.2.12 ออสซิลโลสโคป	66
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	67
3.3.1 การทดสอบวัตรยะการรับส่งข้อมูล	67
3.3.2 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของภาครับ	67
3.3.3 การทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูลภายในพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร	68
3.3.4 การทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	70
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	81
4.1.1 ผลการทดสอบระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารที่มีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ผลการทดสอบระยะเวลาการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารที่มีสัญญาณส่งเป็นข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต	82
4.2 ผลการทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าของสัญญาณทางภาครับ	83
4.2.1 กราฟเอาต์พุตที่ได้จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลโลสโคปเมื่อสัญญาณส่งมีความถี่ 1k Hz	83
4.2.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูล	88
4.3 ผลการทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูลภายในพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร	91
4.3.1 ส่งสัญญาณความถี่ 1k Hz	91
4.3.2 ส่งสัญญาณข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต	93
4.4 ผลการทดลองการใช้งานระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	95
4.4.1 การระบุตำแหน่งจากความถี่ที่ต่างกัน	96
4.4.2 การระบุตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสารที่ต่างกัน	100
4.4.3 การแสดงผลบนหน้าจอ LCD เมื่อไม่มีการรับส่งข้อมูล	103
4.4.4 การระบุตำแหน่งภายในอาคารแสดงผ่านเว็บเบราว์เซอร์	104
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	105
5.2 ข้อเสนอแนะ	106
บรรณานุกรม	107
ภาคผนวก ก คำสั่งการสร้างสัญญาณวงจรภาคส่งให้หลอดแอลอีดี	110
ภาคผนวก ข คำสั่งภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	117
ภาคผนวก ค ข้อมูลและคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ (DATASHEET)	129

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นที่ใช้ภายในอาคาร	4
2.2 สถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโปรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง	5
2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ VLC	6
2.4 สเปกตรัมของแสงในช่วงที่ตาสามารถมองเห็น	7
2.5 วงล้อสี	8
2.6 รีจิสเตอร์สำหรับควบคุม TIMER 8 บิต	10
2.7 รีจิสเตอร์สำหรับควบคุม TIMER 16 บิต	11
2.8 TIMER INTERRUPT MASK REGISTER	12
2.9 เปรียบเทียบสัญญาณเมื่อมีค่า PRE SCALER	13
2.10 ขา ICP1 หรือ D8 ของ ARDUINO UNO	14
2.11 รีจิสเตอร์ TCCR1A	15
2.12 รีจิสเตอร์ TCCR1B	15
2.13 การไบแอสทรานซิสเตอร์ NPN โดยการใช้การต่อตัวต้านทาน	17
2.14 การไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เมื่อได้รับการไบแอส	18
2.15 กราฟความสัมพันธ์ของ I_C แรงดัน V_{CE} และ I_B	21
2.16 กราฟคุณลักษณะทางเอาต์พุตของวงจรมิตเตอร์รวม	21
2.17 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	23
2.18 วงจรขยายแบบผกผัน (INVERTING AMPLIFIERS)	24
2.19 วงจรขยายแบบไม่ผกผัน (NON-INVERTING AMPLIFIERS)	26
2.20 วงจรขยายผลรวม (SUMMING AMPLIFIER)	27
2.21 วงจรขยายผลต่าง (DIFFERENCE AMPLIFIER)	28
2.22 บล็อกไดอะแกรมภายในของ OP-AMP LM741	29
2.23 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรขยายแบบผกผัน	30
2.24 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรขยายแบบไม่ผกผัน	30
2.25 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรขยายผลต่าง	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.26	การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรตามแรงดัน	32
2.27	วงจรพื้นฐานและองค์ประกอบภายในของโฟโต้ไดโอด	32
2.28	หลอดแอลอีดีแบบ LAMP TYPE	34
2.29	หลอดแอลอีดีแบบ SURFACE MOUNT TYPE (SMT)	35
2.30	หลอด HI POWER LED	35
2.31	ตารางแสดงรหัส ASCII แทนตัวอักษรภาษาอังกฤษและภาษาไทย	36
2.32	การส่งข้อมูลแบบขนาน	37
2.33	การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	38
2.34	การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่มีบิตตรวจสอบความผิดพลาด	39
2.35	การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่มีบิตตรวจสอบความผิดพลาด	39
2.36	ตัวอย่างของการส่งข้อมูลที่มีอักขระซิง	40
2.37	การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส	41
2.38	การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	41
3.1	วงจรภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	45
3.2	วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	48
3.3	โหนดและทิศทางไหลของกระแสในวงจรส่วนที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	48
3.4	วงจรขยายสัญญาณภาครับ	50
3.5	แผนผังวงจรไฟฟ้าภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	53
3.6	วงจรภาคส่ง	54
3.7	แผนผังวงจรไฟฟ้าภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	55
3.8	วงจรภาครับ	55
3.9	โฟโต้ไดโอด VISHAY BPW34	57
3.10	แอลอีดีไฮพาวเวอร์ขนาด 3 วัตต์	58
3.11	ทรานซิสเตอร์ BD139	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	ไดโอะแกรมภายในของออปแอมป์ LM741 และ LM358	59
3.13	ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่	60
3.14	ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้	61
3.15	แผ่นพีซีบีแบบกลาสอีพอกซี (GLASS EPOXY)	62
3.16	สายจัมป์แบบผู้-ผู้ และแบบผู้-เมีย	62
3.17	บอร์ด ARDUINO UNO R3	63
3.18	ส่วนประกอบหลักของบอร์ด ARDUINO UNO R3	63
3.19	CHARACTER LCD DISPLAY แบบ I2C	64
3.20	เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์	65
3.21	เครื่องลัดขั้วมิเตอร์	66
3.22	ออสซิลโลสโคป	66
3.23	การวัดระยะทางการรับส่งข้อมูล	67
3.24	การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลโลสโคป	68
3.25	พื้นที่การทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูล	69
3.26	การทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูลภายในพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร	69
3.27	แผนภาพลำดับขั้นตอนของการสร้างสัญญาณวงจรรภาคส่งที่ความถี่ 1k Hz	71
3.28	แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของวงจรรภาคส่งที่ความถี่ 2k Hz	72
3.29	แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของวงจรรภาคส่งที่ความถี่ 4k Hz	73
3.30	แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของภาคส่งเมื่อระบุตำแหน่งจากสัญญาณข้อมูล	75
3.31	แผนภาพลำดับขั้นตอนในวงจรรภาครับเมื่อระบุตำแหน่งจากความถี่	76
3.32	แผนภาพลำดับขั้นตอนในวงจรรภาครับเมื่อระบุตำแหน่งจากข้อมูล	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.33 การออกแบบบ้านจำลองในโปรแกรม SKETCHUP	79
3.34 การสร้างบ้านจำลองจากอะครีลิค	79
3.35 บ้านจำลองสำหรับทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	80
4.1 การวัดระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร	81
4.2 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 0.5 m	84
4.3 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 1 m	84
4.4 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 1.5 m	85
4.5 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 2 m	85
4.6 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 2.5 m	86
4.7 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 3 m	86
4.8 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 3.5 m	87
4.9 สัญญาณเออาร์ทีฟุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 4 m	87
4.10 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะการอ่านข้อมูลเมื่อสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz	89
4.11 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะการอ่านข้อมูล สัญญาณส่งเป็นบิตข้อมูล 8 บิต	90
4.12 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 0.5 m	91
4.13 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 1 m	92
4.14 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 1.5 m	92
4.15 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 2 m	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิตและระยะรับส่งข้อมูล 0.5 m	93
4.17	ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิตและระยะรับส่งข้อมูล 1 m	94
4.18	ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิตและระยะรับส่งข้อมูล 1.5 m	94
4.19	ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิตและระยะรับส่งข้อมูล 2 m	95
4.20	ทดลองนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น	96
4.21	ความถี่ที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน SERIAL MONITOR เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น	97
4.22	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น เมื่อแยกตำแหน่งจากความถี่	97
4.23	ทดลองนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน	98
4.24	ความถี่ที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน SERIAL MONITOR เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน	98
4.25	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน เมื่อแยกตำแหน่งจากความถี่	99
4.26	ทดลองนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน	99
4.27	ความถี่ที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน SERIAL MONITOR เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน	100
4.28	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน เมื่อแยกตำแหน่งจากความถี่	100
4.29	ข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน SERIAL MONITOR เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น	101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.30	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น เมื่อแยกตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสาร	101
4.31	ข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน SERIAL MONITOR เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน	102
4.32	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน เมื่อแยกตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสาร	102
4.33	ข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน SERIAL MONITOR เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน	103
4.34	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน เมื่อแยกตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสาร	103
4.35	ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อไม่มีการรับส่งข้อมูล	103
4.36	เว็บเบราว์เซอร์แสดงผลการใช้งานระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความยาวคลื่นและความถี่ของแสงแต่ละสี	8
3.1	ผลการคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ที่แต่ละระยะทาง	49
3.2	ผลการคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ส่วนขยายสัญญาณที่แต่ละระยะทาง	52
4.1	การรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารในแต่ละระยะทาง โดยมีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz	82
4.2	การรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารในแต่ละระยะทาง โดยมีสัญญาณส่งในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต	83
4.3	ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูลโดยที่มีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz	88
4.4	ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูลโดยที่มีสัญญาณส่งเป็นข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันได้ใช้การระบุตำแหน่งเข้ามาช่วยในการอำนวยความสะดวกในหลายๆด้าน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์จากจีพีเอสที่เป็นระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกในการบอกพิกัดต่างๆ แต่ในบางพื้นที่จีพีเอสก็ไม่สามารถบอกตำแหน่งได้แม่นยำ เช่น ภายในอาคาร และในยุคนี้เทคโนโลยีด้านการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทและเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตมากขึ้น แต่ระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้สายตัวนำหรือการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาจมีข้อจำกัดบางอย่าง การใช้สายตัวนำมีข้อจำกัดด้านกายภาพที่ต้องมีสายตัวนำเชื่อมต่อสัญญาณจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ การสื่อสารผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุหรือย่านความถี่ไมโครเวฟมีความสะดวกและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เมื่อเวลามากขึ้นผู้ใช้บริการมีจำนวนมากทำให้คลื่นความถี่ที่มีจำนวนจำกัดเท่าเดิมไม่เพียงพอต้องมีการจัดสรรคลื่นความถี่ การสื่อสารด้วยแสงจึงเป็นทางเลือกเพิ่มเติมที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลในสถานะที่ความถี่ถูกใช้อย่างหนาแน่น

ด้วยปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำจึงเกิดแนวคิดในการนำเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงมาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากอุปกรณ์แอลอีดี (LED) เนื่องจากในอาคารโดยปกติหลอดไฟเป็นสิ่งจำเป็นที่มนุษย์ใช้ในการให้ความส่องสว่างอยู่แล้ว และมีโฟโตไดโอด (Photodiode) ในการนำกระแสเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวอุปกรณ์ โดยการระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การหาสิ่งของโดยดูได้ว่าสิ่งของนั้นใกล้หลอดไฟดวงไหน การป้องกันสิ่งของสำคัญในการโดนขโมยซึ่งตรวจสอบโดยดูว่าวัตถุมีการเคลื่อนไหวหรือไม่ ช่วยในการติดตามบุคคล เด็ก ผู้สูงอายุ คนพิการ หรือผู้ป่วยที่ต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด เป็นต้น นอกจากนี้แสงที่มองเห็นสามารถใช้ในการให้ความส่องสว่างและไม่เป็นอันตรายต่อสายตามนุษย์ ด้วยเหตุนี้จึงใช้เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงมาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสง
- 2) ศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบใช้ประโยชน์จากระบบแสงสว่างร่วมกับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
- 3) ศึกษาและพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารให้มีความแม่นยำที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

- 1) สามารถส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีทางแสงได้ โดยจำแนก ID ของแต่ละหลอดไฟ LED ได้ เพื่อใช้ระบุตำแหน่ง
- 2) ระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งออกแบบโดยใช้โปรแกรม Proteus/Altium และเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการทำงานโดยใช้โปรแกรม Arduino/MATLAB
- 3) สามารถใช้ประโยชน์จากการส่องสว่างร่วมกับการระบุตำแหน่งได้
- 4) สามารถพัฒนาระบบการระบุตำแหน่งให้มีความแม่นยำสูงขึ้น
- 5) ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถป้องกันการรบกวนระหว่างหลอดไฟแต่ละหลอดหรือแสงอื่นๆได้



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทความนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสง ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ เทคโนโลยีที่ใช้ในการส่งข้อมูลคือ Code Division Multiple Access ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในการออกแบบวงจรของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร นอกจากนี้ยังกล่าวถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารและแสดงผลผ่านโมดูล LCD

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่สามารถมองเห็นได้

เทคโนโลยี VLC (Visible Light Communication) คือการสื่อสารด้วยแสงสว่างโดยใช้แหล่งกำเนิดแสง หรือ LED (Light Emitting Diode) ซึ่งเป็นการสื่อสารทางเลือกใหม่ที่ช่วยเพิ่มข้อดีของการสื่อสารแบบเดิมที่ใช้สายตัวนำหรือการส่งผ่านด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

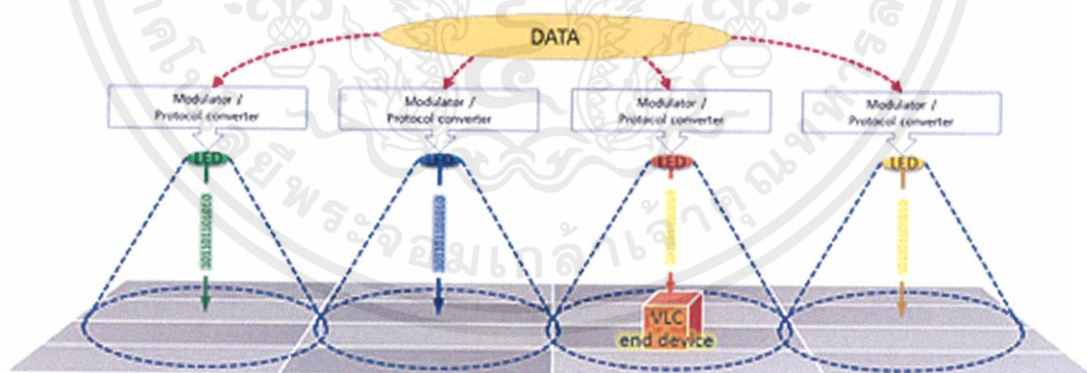
การสื่อสารด้วยสายตัวนำมีข้อดีหลายประการทั้งในด้านเสถียรภาพและความรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดด้านกายภาพที่ต้องมีสายตัวนำเชื่อมต่อสัญญาณจากอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณ ส่วนการสื่อสารผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุหรือย่านไมโครเวฟที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นมีความสะดวกในการใช้งาน ไม่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณและเมื่อการสื่อสารไร้สายผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสะดวกและมีข้อจำกัดด้านความนิยมจึงเพิ่มขึ้นมาอย่างรวดเร็ว ประกอบกับการเติบโตของเครือข่ายสังคมออนไลน์และการดูวิดีโอผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยี VLC จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลการสื่อสารในสถานะที่ช่องทางคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟถูกใช้อย่างหนาแน่น

การสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็นนั้นจะส่งข้อมูลด้วยการกล้ำความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง (Intensity Modulating) โดยอาจใช้แหล่งกำเนิดแสงจากอุปกรณ์แอลอีดี (Light-Emitting Diodes : LEDs) หรือเลเซอร์ไดโอด (Laser Diodes : Lds) ที่มีความเร็วมากกว่า การกล้ำความเข้มจะทำให้ความเร็วของการเปลี่ยนแปลงสูงมาก ซึ่งสูงกว่าความสามารถในการรับรู้ของตามนุษย์ (Persistence of the Human Eye) นอกจากนี้แสงที่มองเห็นสามารถใช้ในการให้ความสว่างแก่พื้นที่ได้ นั้นหมายถึงเทคนิคที่ทำการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นมีความสามารถทั้งด้านการ

ส่องสว่างและความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลรวมไว้ด้วยกัน จึงทำให้การสื่อสารรูปแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การส่องสว่างของข้อมูลบนพื้นผิวหรือเครื่องจักร การใช้การสื่อสารผ่านป้ายสัญลักษณ์ ป้ายบอกทาง หรือป้ายโฆษณา การส่งข้อมูลผ่านไฟส่องทาง ไฟส่องถนน ไฟสัญญาณ ไฟส่องสว่างในยานพาหนะ หรือสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น

2.1.1 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้

หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้ คือการควบคุมให้แหล่งกำเนิดแสงทำการเปิด และปิดตามจังหวะของข้อมูลดิจิทัลที่ป้อนเข้ามาสู่ระบบ ซึ่งการเปิดและปิดของแสงจะต้องทำด้วยความเร็วที่มากพอที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อการรับรู้ของสายตาของมนุษย์ เนื่องจากการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นนั้นใช้แหล่งกำเนิดแสงสำหรับส่งข้อมูลเป็นแหล่งเดียวกันกับที่ใช้ในการส่องสว่าง หรืออาจบอกได้ว่าแสงที่ให้แสงสว่างในบริเวณพื้นที่ต่างๆ สามารถแทรกข้อมูลลงไปโดยแฝงรวมกับความสว่าง และที่อุปกรณ์ตัวรับอาจใช้โฟโตไดโอดทำการแปลงสัญญาณแสงกลับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ทำให้สามารถกู้สัญญาณข่าวสารคืนกลับมาได้ ดังเช่น การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นที่ใต้ใช้ภายในอาคาร ข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นหลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode : LED) ซึ่งแอลอีดีจะกะพริบตามจังหวะของข้อมูล เมื่ออุปกรณ์รับแสงได้รับสัญญาณแสงจะทำการแปลงสัญญาณกลับมาเป็นข้อมูลอีกครั้ง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นที่ใช้ภายในอาคาร [1]

2.1.2 โพรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง

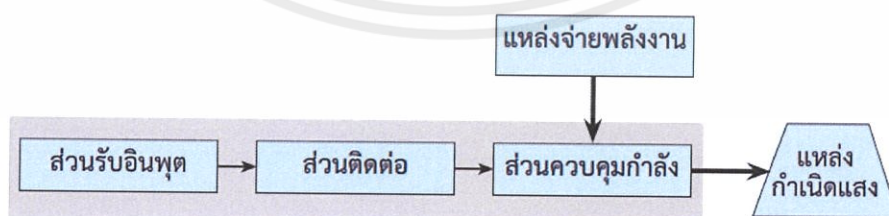
โพรโตคอลการควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง หมายถึง ระบบหรือคำสั่งที่ทำการควบคุมความเข้มของการส่องสว่างที่ตอบสนองจากอุปกรณ์ที่อาจเป็นสวิตช์กดแบบสองสถานะ สวิตช์เลื่อนปรับเปลี่ยนหลายสถานะ เพื่อเป็นการกระตุ้นในบริเวณที่ต้องการควบคุมจากการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง การรับรู้จากเซนเซอร์วัดการเคลื่อนไหว การหน่วงเวลา หรือการควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

โดยการควบคุมนี้จำเป็นต้องให้อุปกรณ์ในระบบที่ต้องการควบคุมอยู่ภายใต้โพรโตคอลเดียวกันจึงจะสามารถทำการควบคุมได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และสำหรับสถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโพรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างประกอบด้วย

2.1.2.1 ส่วนรับข้อมูลอินพุตจากผู้ใช้งาน (User Input) มีหลายวิธีเช่น สวิตช์ สวิตช์ปรับค่าความต้านทาน เซนเซอร์ต่างๆ หน้าจอสัมผัส เป็นต้น

2.1.2.2 ส่วนเชื่อมต่อ (Interface) เป็นส่วนที่รับค่ามาจากส่วนรับข้อมูลอินพุตโดยจะเป็นกลไก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการสื่อสารที่สามารถนำสัญญาณจากส่วนอินพุตไปควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ส่องสว่างได้ โดยส่วนเชื่อมต่อนี้สามารถทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพียงตัวเดียว หรือสามารถเชื่อมต่อเพื่อควบคุมอุปกรณ์หลายตัวได้

2.1.2.3 ส่วนควบคุมกำลัง (Power Controller) ถูกใช้เพื่อควบคุมกระแสแรงดัน และรูปแบบสัญญาณในการป้อนเข้าสู่แหล่งกำเนิดแสง รูปแบบของสัญญาณที่ถูกควบคุมอาจเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หรือแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างของพัลส์แบบปรับเปลี่ยนได้ สถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโพรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง ดังรูปที่ 2.2 โดยโพรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างที่นิยมใช้มีหลายโพรโตคอล

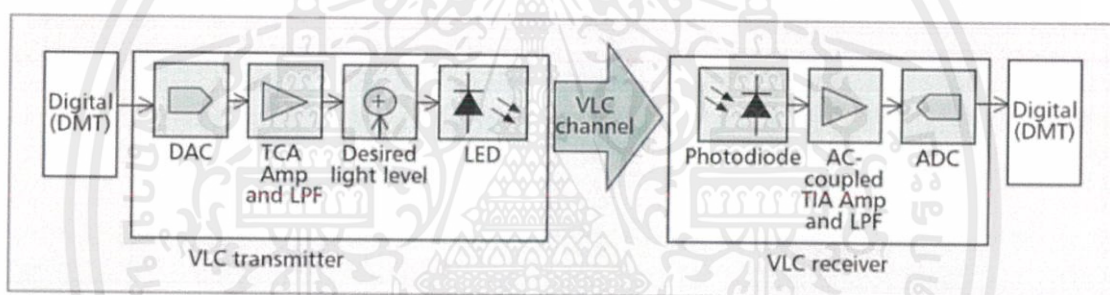


รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโพรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง [1]

2.1.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ VLC

เครื่องส่งและเครื่องรับ VLC ที่มาจากการมอดูเลชันความเข้มแสง/การตรวจจับโดยตรง ประกอบด้วย ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก ตัวขยายสัญญาณ ตัวกรองความถี่ต่ำ และ แอลอีดีความเร็วสูง ในภาคส่งและโฟโตไดโอด ตัวขยายสัญญาณ ตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลในภาครับ ดังรูปที่ 2.3

แอลอีดีเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงโดยใช้การส่องสว่างของแสงในการสื่อสารข้อมูล ถูกเข้ารหัสแบบเป็นแฉกและถูกมอดูเลตโดย DAC และส่งไปบนสัญญาณแสงโดยการมอดูเลตแอมพลิจูดหรือวิธีการบางอย่างของหลอดแอลอีดี ที่เครื่องรับโฟโตไดโอด เปลี่ยนจากพลังงานแสงที่รับได้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยตัวขยายสัญญาณ ตัวดีมอด และดีโค้ด โดยแอมพลิฟิเออร์ LPF ADC เพื่อกู้คืนบิตข้อความของผู้ใช้



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ VLC [2]

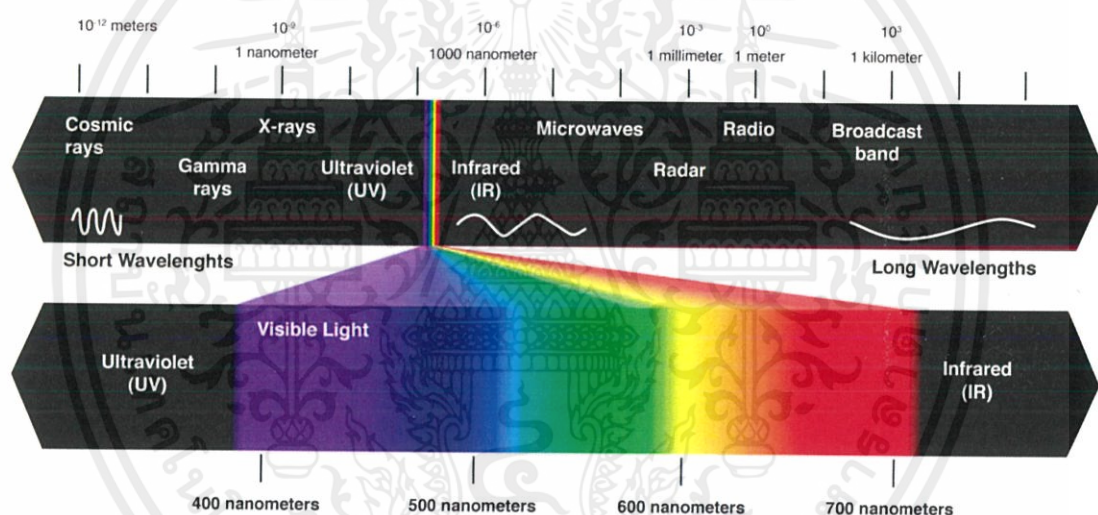
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงที่สามารถมองเห็นได้

แสงสว่างจำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก อีกทั้งหากไม่มีแสงสว่างไปตกกระทบที่วัตถุเราจะไม่สามารถมองเห็นสิ่งเหล่านั้น หรือบริเวณที่ต้องการมองได้ แสงยังเป็นพลังงานที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และมีการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการมองเห็น เช่น ความสามารถในการมองเห็นของดวงตา ความสว่างของวัตถุ ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุ ขนาดและรูปร่างของวัตถุ ความแตกต่างระหว่างวัตถุกับฉาก การเคลื่อนที่ของวัตถุและสีของวัตถุ เป็นต้น

2.2.1 แสงที่มองเห็นได้ (Visible light)

แสงสว่างที่ประสาทตาของมนุษย์รับรู้ได้นั้นมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-800 nm แสงที่อยู่ในช่วงนี้จะประกอบด้วยแสงสีต่างๆกัน โดยปกติแล้วประสาทตาของมนุษย์สามารถรับสัมผัสแสงบางช่วงคลื่นที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์ได้ แต่ไม่สามารถแยกออกเป็นแสงสีต่างๆ ได้จึงทำให้มองเห็นเป็นสีที่เรียกว่าแสงขาว

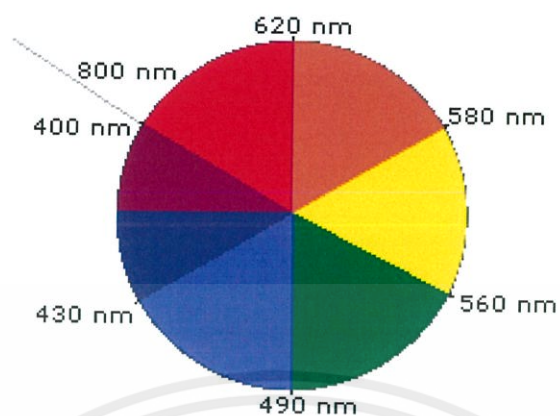
แสงขาวแท้จริงแล้วประกอบด้วยแสงสีที่รวมกันเรียกว่า สเปกตรัม (spectrum) ที่มีเจ็ดสีได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง โดยช่วงของสีม่วงจะมีพลังงานมากที่สุด (ความยาวคลื่นสั้น) และพลังงานจะลดลงเรื่อยๆตามลำดับ จนกระทั่งถึงช่วงสีแดงที่มีพลังงานต่ำสุด (ความยาวคลื่นยาว) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของแสงในช่วงที่ตาสามารถมองเห็น [2]

2.2.2 สเปกตรัมของแสงขาว (Colors of visible light)

คลื่นแสงที่ตาของมนุษย์มองเห็นได้อยู่ในช่วงประมาณ 400-800 nm ถ้านัยน์ตาถูกกระตุ้นหรือกระทบด้วยแสงช่วงความยาวคลื่นนี้ (400-800 nm) จะเป็นผลให้มองเห็นแสงนั้นเป็นแสงขาว แต่ถ้าหากคลื่นแสงนั้นถูกดูดกลืนไปบางส่วน แสงที่ตามองเห็นจะเป็นสีผสม (complementary) หรือสีที่อยู่ตรงข้ามของสีที่ถูกดูดกลืนเมื่อเทียบตามวงล้อสี ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงล้อสี [3]

ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นและความถี่ของแสงแต่ละสี

แสงสี	ความยาวคลื่น	ความถี่
ม่วง	$3.9-4.5 \times 10^{-7}$	$6.7-7.7 \times 10^{-7}$
น้ำเงิน	$4.5-4.9 \times 10^{-7}$	$6.1-6.7 \times 10^{-7}$
เขียว	$4.9-5.8 \times 10^{-7}$	$5.3-6.1 \times 10^{-7}$
เหลือง	$5.8-6.0 \times 10^{-7}$	$5.1-5.3 \times 10^{-7}$
ส้ม	$6.0-6.2 \times 10^{-7}$	$4.8-5.1 \times 10^{-7}$
แดง	$6.2-7.7 \times 10^{-7}$	$3.9-4.8 \times 10^{-7}$

การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นจะทำให้มองเห็นเป็นสีต่างๆ เช่น ที่ความยาวคลื่นที่ 580 – 600 นาโนเมตร จะเห็นเป็นสีเหลือง ความยาวคลื่นที่ 620 – 770 นาโนเมตร เป็นต้น

2.2.3 แหล่งกำเนิดแสงสว่าง

ปัจจุบันมนุษย์ใช้พลังงานแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงมี 2 แหล่งคือ

2.2.3.1 แสงสว่างจากธรรมชาติ (Natural Lighting)

ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์ ดวงดาว ฟ้ามุข ฟ้ามืด ฟ้ามัว แสงจากสัตว์บางชนิดที่มีแสงในตัวเอง เช่น หิ่งห้อย จักจั่นวงช้าง ปลาไหลไฟฟ้า แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติบางอย่างเกิดจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก เช่น ดวงอาทิตย์ และดาวฤกษ์ แสงสว่างบนโลกของเราส่วนใหญ่ได้มาจากดวงอาทิตย์

2.2.3.2 แสงสว่างจากสิ่งประดิษฐ์ (Artificial Lighting)

ได้แก่ แสงจากไฟฉาย หลอดไฟฟ้า ตะเกียง เทียนไข และการเผาไหม้ที่เกิดจากเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น ไม้ กระดาษ ถ่าน ถ่านหิน มนุษย์ได้ประดิษฐ์สิ่งแหล่งกำเนิดแสงขึ้น เพื่อให้สามารถมองเห็นวัตถุต่าง ๆ ในที่ไม่มีแสงสว่าง ซึ่งอาจเป็นแสงที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แต่วิธีนี้จะทำให้เกิดมลพิษโดยเฉพาะทางอากาศ กระทั่งมีการประดิษฐ์หลอดไฟฟ้าขึ้น ยุคแรกเป็นหลอดแบบมีไส้ จะทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดความร้อนจนเปล่งแสงสว่างออกมานิยมทำด้วยทั้งสแตน หลอดไฟฟ้าแบบนี้ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าที่เป็นแสงสว่าง แล้วยุคหลังจึงได้มีการพัฒนามาเป็นหลอดแอลอีดีในปัจจุบัน

2.2.4 ปัญหาและอันตรายที่เกิดจากแสงสว่าง

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการมองเห็นอย่างชัดเจน และเกิดความสะดวกสบาย จึงต้องมีการจัดการกับแสงสว่างให้เหมาะสมกับลักษณะงาน โดยแสงสว่างนั้นต้องมีปริมาณความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการมองเห็น งานบางที่มีขนาดเล็กมากหรือต้องการความละเอียดสูงนั้นจำเป็นต้องใช้แสงสว่างที่มีความเข้มมากกว่างานที่มีขนาดใหญ่หรือหยาบๆ และแสงสว่างนั้นต้องมีคุณภาพ ไม่รบกวนและลายสายตา ปัญหาและอันตรายที่เกิดจากแสงสว่างและผลกระทบต่อผู้ทำงาน จำแนกได้ 3 ลักษณะ คือ

2.2.4.1 แสงสว่างที่น้อยเกินไป

จะทำให้มีผลเสียต่อสายตา กล้ามเนื้อตาจะทำงานหนักเกินไป โดยจะบังคับให้ม่านตาเปิดกว้างเพราะมองเห็นไม่ชัดเจน และต้องใช้เวลามากในการมองรายละเอียดนั้น ทำให้เกิดการเมื่อยล้าของตาเนื่องจากการเพ่งมอง และเกิดอาการ ปวดตา มีน้ต้อกระจก ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง อาจเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

2.2.4.2 แสงสว่างที่มากเกินไป

อาจทำให้ผู้ทำงานเกิดความไม่สบายตา เมื่อยล้า ปวด มีน้ตื้นระ วจเวียน และอาจเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

2.2.4.3 แสงจ้า

คือ แสงที่ส่องมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Direct glare) หรือเกิดจากการสะท้อนของแสง (Reflected glare) จากสิ่งแวดล้อม เช่น ผนังห้อง เครื่องมือ เครื่องจักร เป็นต้น ทำให้ผู้ทำงานเกิดความไม่สบาย เมื่อยล้า ปวดตา กล้ามเนื้อหนังตากระตุก การมองเห็นแยลง และยังก่อให้เกิดผลทางจิตใจ และเป็นผลทำให้เกิดอุบัติเหตุได้เช่นเดียวกัน

2.3 เทคนิคการส่งข้อมูลโดยวิธี Timer Interrupt

Arduino UNO's ATmega328p จะมี 3 Timer ได้แก่ Timer0, Timer1 และ Timer2 ซึ่ง Timer0 และ Timer2 มี 8 บิต (สามารถนับได้จาก 0 ถึง 255) รีจิสเตอร์สำหรับควบคุม Timer 8 บิตดังรูปที่ 2.6 ในขณะที่ Timer1 มี 16 บิต (0 ถึง 65535) รีจิสเตอร์สำหรับควบคุม Timer 16 บิตดังรูปที่ 2.7

Counter0	Counter2	Description
TCCR0A	TCCR2A	Timer/Counter Control Register A
TCCR0B	TCCR2B	Timer/Counter Control Register B
TCNT0	TCNT2	Timer/Counter Register
OCR0A	OCR2A	Output Compare Register A
OCR0B	OCR2B	Output Compare Register B
TIMSK0	TIMSK2	Timer/Counter Interrupt Mask Register
TIFR0	TIFR2	Timer/Counter Interrupt Flag Register

รูปที่ 2.6 รีจิสเตอร์สำหรับควบคุม Timer 8 บิต [4]

Counter I	Description
TCCR1A	Timer/Counter 1 Control Register A
TCCR1B	Timer/Counter 1 Control Register B
TCCR1C	Timer/Counter 1 Control Register C
TCNT1H	Timer/Counter 1 High Register
TCNT1L	Timer/Counter 1 Low Register
OCR1AH	Output Compare Register 1 A High
OCR1AL	Output Compare Register 1 A Low
OCR1BH	Output Compare Register 1 B High
OCR1BL	Output Compare Register 1 B Low
ICR1H	Input Capture Register 1 High
ICR1L	Input Capture Register 1 Low
TIMSK1	Timer/Counter Interrupt Mask Register
TIFR1	Timer/Counter Interrupt Flag Register

รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์สำหรับควบคุม Timer 16 บิต [4]

ในการใช้ Timer สำหรับการ interrupt จะมีทั้งหมด 3 วิธี

2.3.1 วิธี Timer Overflow Interrupt

วิธีแรกเป็นการตรวจสอบเมื่อ Timer เกิดการ Overflow ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เกิดเมื่อ Timer มีการนับเพิ่มขึ้นจนเกินค่าที่มันสามารถเก็บได้ สำหรับ Timer0 และ Timer2 จะเกิดการ Overflow เมื่อ Timer นับถึง 255 คือค่าสูงสุดและกลับไปเป็น 0 สำหรับ Timer1 จะเกิดการ Overflow เมื่อ Timer นับถึง 65535 คือค่าสูงสุดและกลับไปเป็น 0 ซึ่งเมื่อ counter เพิ่มค่าขึ้นไปจนเกินค่าสูงสุดที่เก็บได้ จะวกกลับไปเป็น 0 พร้อมกับสร้าง interrupt ขึ้น

ตั้งค่าบิต TOIE บนแต่ละ Timer Interrupt Mask Register (TIMSKx) ซึ่งเป็นตัว mask ว่าจะเปิดใช้งาน interrupt ตัวไหนบ้าง TIMSKx คือรีจิสเตอร์สำหรับนับ Timer/Counter ดังรูปที่ 2.8

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
TIMSK0	-	-	-	-	-	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 2.8 Timer Interrupt Mask Register [4]

เมื่อมีการตั้งค่าบิต TOIE0 และ I-bit ในสถานะรีจิสเตอร์ เป็น 1 Timer Overflow Interrupt จะถูกเปิดใช้งาน

เมื่อ Overflow เกิด มักจะขึ้นอยู่กับความถี่และและตัวแบ่งสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นจะมีการคำนวณเวลาการเกิด overflow ตามสมการที่ 2.1

$$T_{\text{overflow}} = \frac{1}{\text{Arduino clock speed (16MHz)}} \times 2^{\text{bits}} \times \text{prescaler} \quad (2.1)$$

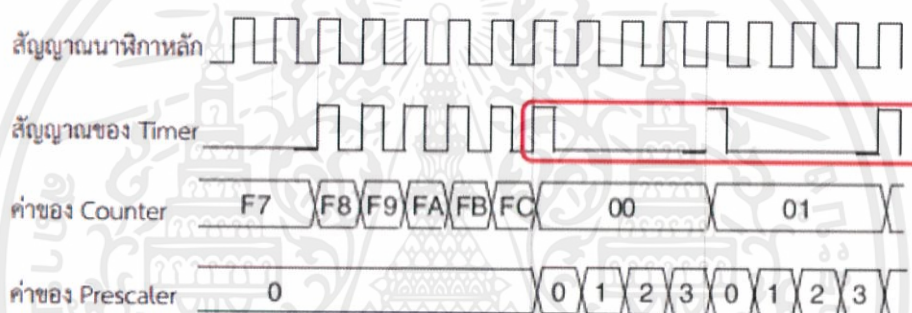
บอร์ด Arduino Uno จะทำงานที่ความถี่ 16 MHz โดยที่ ค่า pre scaler จะเท่ากับ 1, 8, 64, 256 และ 1024

2.3.2 วิธี Timer Compare Interrupt

ในการสร้างสัญญาณทางภาคส่ง เมื่อใช้คำสั่งเดิมที่เขียนด้วยลูปฟังก์ชัน delay ในการเขียนโปรแกรมทางภาคส่งจะทำให้ความถี่ที่ได้มีการคลาดเคลื่อน จึงได้ใช้การ interrupts ด้วยวิธี Clear Timer ที่อยู่บน Compare Match หรือ โหมด CTC (Clear Timer on Compare Match or CTC Mode) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการนับเวลากับค่าเฉพาะ ทุกครั้งที่นับเวลาได้เท่ากับค่านั้น จะเกิดการขัดจังหวะขึ้น ทำให้เราสามารถหยุดลำดับเหตุการณ์ปกติชั่วขณะที่เกิดขึ้นใน loop() ได้ในเวลาที่เหมาะสม

Arduino Uno ที่เราใช้จะมี 3 Timer คือ Timer0, Timer1 และ Timer2 แต่ละ Timer จะมีค่าเฉพาะไว้เปรียบเทียบซึ่งเป็นค่าที่เรากำหนดเองจากสมการ โดยที่ CTC timer interrupts ถูกทริกเกอร์ เมื่อนับถึงค่าเฉพาะ และเก็บไว้ใน compare match register เมื่อ timer counter นับถึงค่านั้นมันจะเคลียร์ (รีเซ็ตเป็น 0) ที่ tick ถัดไปของนาฬิกาของ timer หลังจากนั้นมันจะนับขึ้นตั้งแต่ 0 ใหม่เพื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉพาะอีกครั้ง

Arduino clock จะทำงานที่ความถี่ 16 MHz ซึ่งเป็นความเร็วที่เร็วมากในการเพิ่มจำนวนการนับของ Timer ซึ่ง Timer0 และ Timer2 มี 8 บิตซึ่งหมายความว่าสามารถเก็บค่าการนับสูงสุดได้ที่ค่า 255 Timer 1 มี 16 บิต หมายความว่าสามารถเก็บค่าการนับสูงสุดได้ที่ค่า 65535 นั่นคือเมื่อเราตั้งค่า compare match register ให้เป็นค่าการนับที่สูงที่สุด interrupts จะเกิดขึ้นทุกๆ $256/16,000,000$ วินาที ($\sim 16\mu s$) สำหรับ Timer ที่มี 8 บิต และจะเกิดขึ้นทุกๆ $65,536/16,000,000$ (~ 4 ms) วินาที สำหรับ Timer ที่มี 16 บิต ซึ่งเป็นการนับที่เร็วมากจึงได้เพิ่มตัวแปร pre scaler ในการช่วยควบคุมความเร็วในการนับ ช่วยยืดเวลาในการนับ ลดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลักเพื่อนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน ดังรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าเมื่อมีค่า pre scaler ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา Timer จะลดลง



รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบสัญญาณเมื่อมีค่า pre scaler

Pre scaler สามารถกำหนดความเร็วการนับของ Timer ได้ตามสมการที่ 2.2 โดยที่ค่า pre scaler จะเท่ากับ 1, 8, 64, 256 และ 1024

$$\text{timer speed (Hz)} = \frac{\text{Arduino clock speed (16MHz)}}{\text{prescaler}} \quad (2.2)$$

จึงสามารถคำนวณความถี่ interrupt ได้ตามสมการที่ 2.3 โดยบวก 1 เข้าไปเนื่องจาก compare match register จะเริ่มนับค่าจาก 0

$$\text{interrupt frequency (Hz)} = \frac{\text{Arduino clock speed (16MHz)}}{[\text{prescaler} \times (\text{compare match register} + 1)]} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 ถ้าต้องการให้สัญญาณที่สร้างมีความถี่เท่าไรก็สามารถแทนค่าลงไปได้เลย โดยที่จะทำการย้ายข้างสมการหาค่า compare match register เพื่อนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะทำการคูณ 2 เข้าไปในความถี่ที่ต้องการเนื่องจากสัญญาณที่สร้างจะมี 2 สถานะคือ High กับ Low ภายใน 1 คาบ โดยที่ค่า compare match register ที่ได้ถ้าเป็น Timer0 และ Timer2 จะต้องน้อยกว่า 256 และถ้าเป็น Timer1 ค่าที่ได้ต้องน้อยกว่า 65536

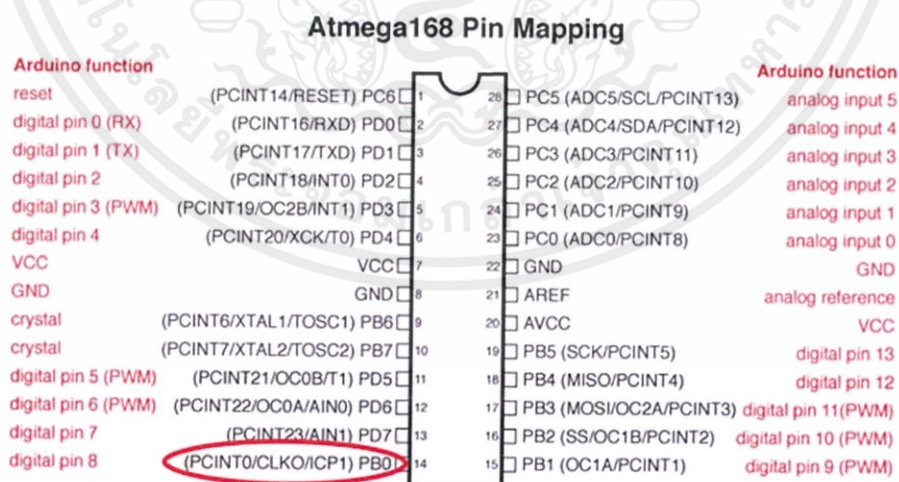
2.3.3 วิธี Timer Capture Interrupt

Arduino timer interrupt นี้ สามารถใช้ได้แค่กับ Timer 1 เพียงอย่างเดียวเท่านั้น บน Arduino UNO ซึ่ง Input Capture interrupt ก็คือ การจับเหตุการณ์ จากภายนอก (input)

การทำงานนี้ อาศัย Timer/counter1 มันจะเริ่มทำงานนับเวลาของมันไปเรื่อย และจะเอาค่านับนี้ไปเก็บใน register ในที่นี้ คือ TCNT1 ซึ่งสามารถจะกำหนดค่าเริ่มต้น ให้ได้ เช่น ให้เริ่มจาก 0 เป็นต้น เนื่องจาก TCNT1 นี้ มีขนาด 16 บิต ดังนั้น ค่าที่มันสามารถนับได้สูงสุดก็คือ 65535 นี้คือ และเมื่อนับจนล้น คือเกิน 65535 ก็จะกลับไปเริ่มที่ 0 ใหม่

เมื่อเราติดตั้งรีจิสเตอร์ต่างๆ (register setup) เสร็จแล้ว เมื่อมี interrupt เกิดขึ้น มันจะ เอาค่าใน TCNT1 นี้ไปเก็บใน Input Capture register (ICR1)

การตรวจจับสัญญาณเกิดขึ้นเมื่อ พัลส์ถูกอ่านที่ขา ICP1 หรือ D8 ดังรูปที่ 2.10 การตรวจจับสัญญาณสามารถระบุได้ไม่ว่าจะเป็นพัลส์ขาขึ้นหรือขาลง



รูปที่ 2.10 ขา ICP1 หรือ D8 ของ Arduino Uno [4]

2.3.3.1 REGISTERS ทั้งหมดที่ต้องใช้

1) Timer/Counter1 Control Register A (TCCR1A)

การทำงานของ Timer1 รีจิสเตอร์ TCCR1A ดังรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าจะไม่ใช้บิต 2 - 6 ซึ่งสำหรับ WGM11-WGM10 (bit 0-1) นั้น เป็นตัวที่จะบอกว่าจะให้ timer วิ่งใน mode ไหน โดยจะใช้ร่วมกับ WGM12 & WGM13 ที่อยู่ใน TCCR1B

Bit (0x80)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR1A
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	-	-	WGM11	WGM10	
Read/write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

รูปที่ 2.11 รีจิสเตอร์ TCCR1A [4]

TCCR1A จะใช้ normal mode กล่าวคือ ให้ counter มั่นวิ่งจากค่าล่างสุด (0) ไปจนถึงค่าสูงสุด ดังนั้น ค่า WGM13 ถึง WGM10 จะเป็น 0 หมด TCCR1A จะกำหนดให้เป็น 0

2) Timer/Counter1 Control Register B (TCCR1B)

การทำงานของ Timer1 รีจิสเตอร์ TCCR1A ดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่า bit 3-4 นั้นมันไปโยงกับ WGM13-12 ตามที่ว่ามีมาข้างบน ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็น 0 ส่วน bit 0-1-2 นั้นคือ CS ซึ่งเป็นตัวบอกว่า ต้องการจะชลอ Counter ซึ่งปกติจะวิ่งเท่ากับ system clock (prescale)

Bit (0x81)	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR1B
	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	
Read/write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

รูปที่ 2.12 รีจิสเตอร์ TCCR1B [4]

บิตที่เราต้องใช้อีก ก็คือบิตที่ 6 หรือ ICES1 เป็นการเลือก EDGE SELECT หาก set ก็เป็นการบอกว่า จะให้ ICP1 interrupt เกิดขึ้นแบบ ให้กระตุ้นตอนขาขึ้น rising หรือจะให้กระตุ้นตอนขาลง (falling)

3) Timer/Counter1 Interrupt Mask Register (TIMSK1)

รีจิสเตอร์ตัวนี้ ต้อง enable บิตที่ 5 ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่า ต้องการให้ Input Capture

4) Timer/Counter1 (TCNT1)

รีจิสเตอร์ที่คอยเป็นตัวนับค่า counter หรือ นาฬิกาของเรา ซึ่งจะจัดการ update ค่าเอง จาก datasheet รีจิสเตอร์ตัวนี้จะเป็น 16 bit register จะเป็นตัวคอยนับเวลาให้

5) Input Capture Register (ICR1)

รีจิสเตอร์ที่เมื่อมี interrupt เกิดขึ้น ค่าใน TCNT1 จะถูกเอามาเก็บใน ICR1 register เราก็ต้องมีหน้าที่คอยเก็บค่าในนี้ มาใช้ ในการคำนวณ

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

การออกแบบวงจรของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือการออกแบบวงจรทางภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร และการออกแบบวงจรทางภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

2.4.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

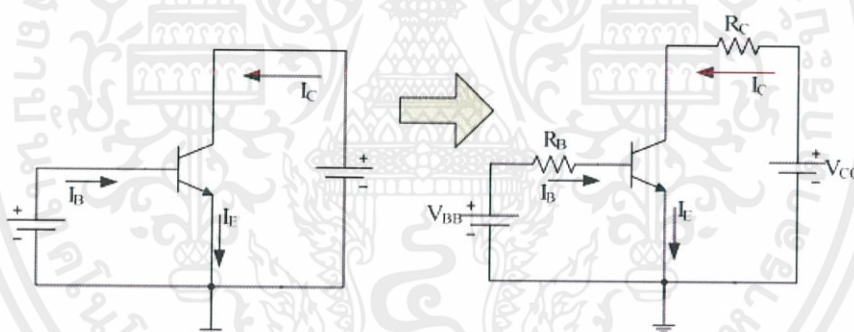
สำหรับวงจรทางภาคส่งนั้นเป็นวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อขับกระแสให้หลอดแอลอีดีที่กระพริบสว่างโดยควบคุมการติดดับของหลอดแอลอีดีตามค่าความถี่ที่ป้อนเข้ามาในวงจร ดังนั้นทฤษฎีของวงจรทางภาคส่งจะเกี่ยวข้องกับทรานซิสเตอร์เป็นส่วนใหญ่ วงจรทางภาคส่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนอินพุตที่มีหน้าที่ควบคุมทั้งวงจรโดยอาศัยความถี่อินพุตที่เข้ามา และส่วนเอาต์พุตที่แสดงการกระพริบของหลอดแอลอีดีที่ขึ้นอยู่กับความถี่ด้านอินพุต

2.4.1.1 ทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่มีคุณสมบัติขยายสัญญาณไฟฟ้า เปิด/ปิดสัญญาณไฟฟ้า คงค่าแรงดันไฟฟ้า หรือกล้ำสัญญาณไฟฟ้า การทำงานของทรานซิสเตอร์จะมีลักษณะเหมือนกับกับวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าขาเข้า เพื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดัน

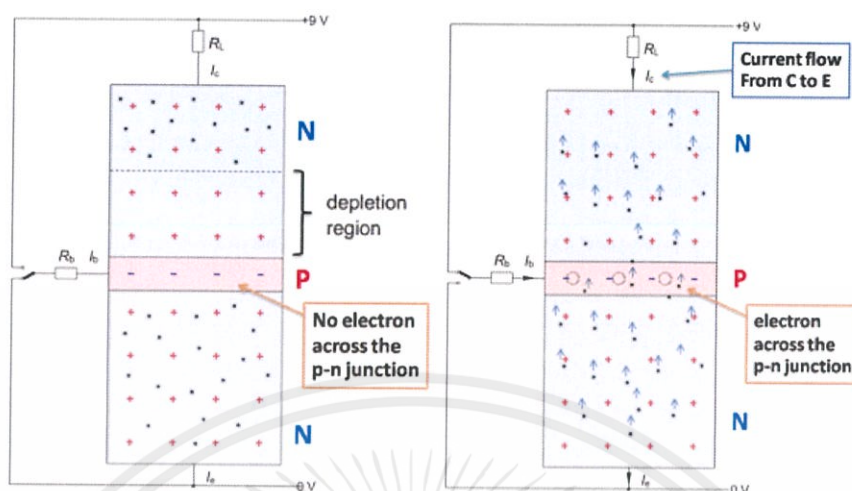
ทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และชนิด PNP จะต้องทำการไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ ไม่ว่าจะเป็นการขยายสัญญาณ หรือเป็นสวิตช์ โดยมีหลักการในการไบแอส คือ

- 1) จัดการไบแอสตรงให้กับรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์ (ขา E) กับเบส (ขา B)
- 2) จัดการไบแอสกลับให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลกเตอร์ (ขา C) กับเบส (ขา B)



รูปที่ 2.13 การไบแอสทรานซิสเตอร์ NPN โดยใช้องค์ต่อตัวต้านทาน [5]

จากรูปที่ 2.13 ในทรานซิสเตอร์ถ้าหากให้กระแสไหลมากเกินไปอาจทำให้ถึงจุดอิ่มตัวได้ ตามกฎของโอห์มจึงได้มีการปรับกระแสจากการปรับไฟเลี้ยงวงจรหรืออาจปรับจากค่าความต้านทานโดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง



รูปที่ 2.14 การไหลของกระแสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เมื่อได้รับการไบแอส [5]

จากรูปที่ 2.14 แสดงถึงการทำงานของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN รูปฝั่งทางขวาแสดงถึงการไม่ได้รับการไบแอส จึงส่งผลให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ขึ้นมา และรูปฝั่งซ้ายเป็นการไบแอสตรงที่รอยต่ออิมิตเตอร์และเบส และไบแอสกลับที่รอยต่อคอลเลกเตอร์และเบส จากการที่เราทำการไบแอสกลับให้แก่รอยต่อคอลเลกเตอร์และเบส ทำให้ทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างกว่ารอยต่ออิมิตเตอร์และเบส ที่ได้รับการไบแอสตรง ดังนั้นจึงเป็นผลให้ ค่าความต้านทานที่ขาเบส (R_B) มีค่าสูง เมื่อวิเคราะห์ตามรูปแบบของไดโอดจะทำให้ทราบว่า กระแสที่ขาเบส (I_B) เป็นค่ากระแสที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับค่ากระแสขาคอลเลกเตอร์ (I_C) ดังนั้นค่าของกระแสขาอิมิตเตอร์จึงมาจากค่ากระแสคอลเลกเตอร์ที่รอยต่อคอลเลกเตอร์และเบสของทรานซิสเตอร์เป็นส่วนใหญ่และได้รับส่วนน้อยมาจากค่ากระแสที่ขาเบส (I_B) จึงทำให้ได้สมการ

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.4)$$

หลังจากการจัดไบแอสตามรูปที่ 2.13 แล้วเราสามารถเรียกชื่อวงจรนี้ใหม่ได้เป็นวงจรอิมิตเตอร์ร่วม ไบแอสฝั่งอินพุตด้วยการไบแอสตรง และไบแอสฝั่งเอาต์พุตด้วยการไบแอสกลับ โดยแหล่งจ่ายแรงดันฝั่งอินพุตไบแอส คือ V_{BB} และแหล่งจ่ายแรงดันฝั่งเอาต์พุตไบแอส คือ V_{CC}

ค่าเบตาหรือ β หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) กับกระแสเบส (I_B) หรืออัตราส่วนระหว่างกระแสเอาต์พุต กับอินพุต เรียกว่าอัตราขยายทางกระแส (Current gain) จะได้สมการ

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีค่า β อยู่ระหว่าง 20-200 หรือมากกว่า ค่า β เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า h_{fe}

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายไบแอสตรงระหว่างเบส (ขา B) และอิมิตเตอร์ (ขา E) ในกรณีของวงจรภาคส่งเราจะใช้แหล่งจ่ายจากบอร์ด Arduino และสำหรับ V_{CC} ใช้เป็นแหล่งจ่ายไบแอสกลับให้กับรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์ เมื่อขาเบสและขาอิมิตเตอร์ได้รับไบแอสตรงจะเกิดแรงดันตกคร่อมรอยต่อขึ้นเป็น

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V} \quad (2.6)$$

V_{BE} คือแรงดันตกคร่อมระหว่างขา B กับขา E (กราวด์) สำหรับทรานซิสเตอร์แบบซิลิกอน เมื่ออยู่ในสถานะอิ่มตัว จะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.7 V ซึ่งควรยึดค่านี้นอนสถานะอิ่มตัว เพราะเป็นสถานะที่ใช้แรงดันตกคร่อมมากที่สุด

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE} \quad (2.7)$$

โดยที่ V_{RB} คือแรงดันตกคร่อม R_B

V_{BB} คือสัญญาณแรงดันควบคุมจากบอร์ด Arduino

V_{BE} คือแรงดันตกคร่อมระหว่างขา B กับขา E(กราวด์)

และ

$$V_{RB} = I_B R_B \quad (2.8)$$

โดยที่ I_B คือ กระแสขาเข้าทางขาเบส (ขา B)

R_B คือ ตัวต้านทานที่ต่อกับขาเบส (ขา B)

ดังนั้น

$$I_B R_B = V_{BB} - V_{BE} \quad (2.9)$$

ทำให้

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.10)$$

และ

$$I_C = \beta I_B \quad (2.11)$$

โดยที่ I_C คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขาคอลเลกเตอร์(ขา C)

β คืออัตราขยาย (Current Gain)

และ

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.12)$$

โดยที่ I_E คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขาอีมิเตอร์เตอร์(ขา E)

จากนั้น

$$V_{RC} = I_C R_C \quad (2.13)$$

โดยที่ V_{RC} คือแรงดันตกคร่อม R_C

จะสามารถหาค่าแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อของแต่ละขาของทรานซิสเตอร์ได้ดังนี้

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} \quad (2.14)$$

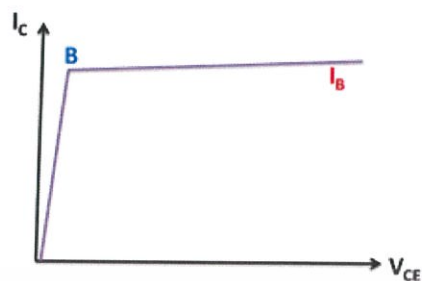
โดยที่ V_{CE} คือแรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเลกเตอร์กับอีมิเตอร์

V_{CC} คือไฟเลี้ยงทางฝั่งเอาต์พุต

$$V_{CB} = V_{CC} - V_{BE} \quad (2.15)$$

โดยที่ V_{CB} คือแรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบส

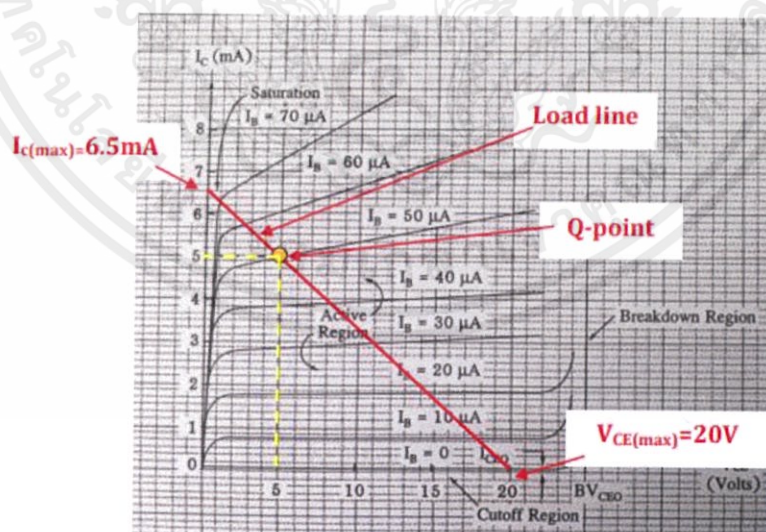
คุณลักษณะทางเอาต์พุตของวงจรอีมิเตอร์ร่วม



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ของ I_C แรงดัน V_{CE} และ I_B [5]

จากรูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของ I_C เมื่อ I_B มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง และแรงดัน V_{CE} มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งบ่งบอกถึงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่คอลเลกเตอร์โดยที่มีกระแสเบสเป็นตัวควบคุมตามความสัมพันธ์ของสมการ ซึ่งเป็นสมการที่สภาวะแอคทีฟ (Active region) คือ สภาวะขยายสัญญาณ ตามสมการที่ 2.11

พิจารณาจากวงจรในรูปที่ 2.13 ให้แหล่งจ่าย V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายปรับค่าได้ไบแอสตรงให้กับรอยต่อเบส และอิมิตเตอร์ สำหรับการปรับค่าของกระแส ถ้าปรับค่าของกระแส I_B ให้มีค่าคงที่ที่ $I_B > 0$ จากนั้นค่อย ๆ ปรับเพิ่มค่าแรงดัน V_{CC} ให้มากขึ้นจาก 0 V จะพบว่า I_C ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ในรูปที่ 2.15 ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่และเป็นไปตามสมการที่ 2.11



รูปที่ 2.16 กราฟคุณลักษณะทางเอาต์พุตของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม [5]

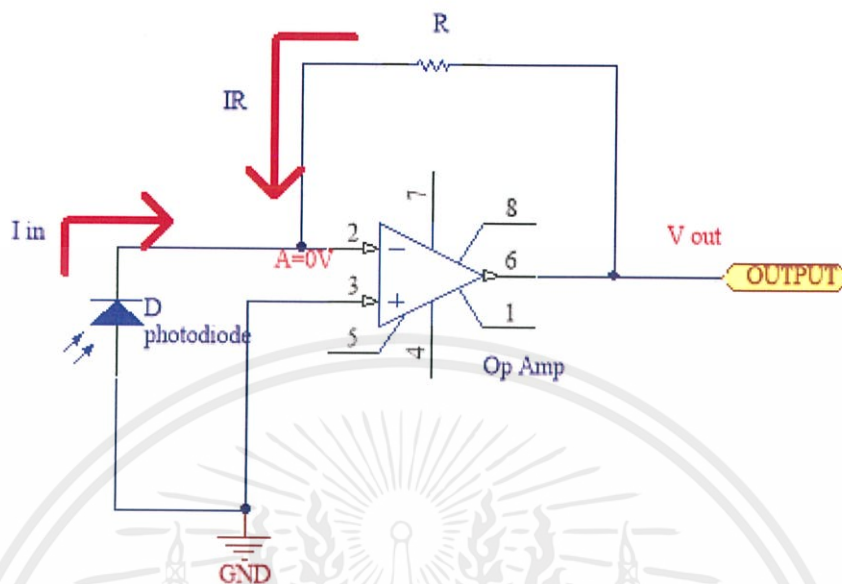
จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อกระแสอินพุตที่ขาเบส (I_B) มีค่าเป็นศูนย์ จะอยู่ในย่านคัตออฟ จะมีผลทำให้กระแสเอาต์พุตที่ขาคอลเลกเตอร์ (I_C) มีค่าเป็นศูนย์ด้วยเช่นกัน ส่วนย่านอิมิตวั้นจะหมายถึง ย่านที่แรงดัน V_{CE} มีค่าใกล้เคียงกับ 0 V และจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ หรือ จุด Q-Point หมายถึงจุดที่สามารถบอกได้ว่าค่าของ I_B I_C และ V_{CE} ขณะที่ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่นั้นมีค่าเท่าไร โดยการพิจารณาจากเส้นโหลด(Load Line) ที่ได้มาจากเส้นที่ตัดกันระหว่างแกนกระแส I_C และแกนแรงดัน V_{CE}

2.4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบวงจรภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

สำหรับวงจรทางภาครับนั้นเป็นวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อรับข้อมูลในรูปของแสงจากทางฝั่งส่งที่ออกมาจากหลอดแอลอีดีโดยใช้ตัวรับแสงที่เรียกว่าโฟโตไดโอด และจากนั้นทำการเปลี่ยนกระแสที่ได้จากโฟโตไดโอดให้กลายเป็นแรงดัน เพื่อจะนำไปขยายสัญญาณเพิ่มและส่งข้อมูลออกไปให้กับโมดูล Arduino เพื่อนำไปทำการประมวลผลเป็นค่ารหัสไอดีออกมาผ่านหน้าจอแอลซีดี ดังนั้นทฤษฎีของวงจรทางภาครับจะเกี่ยวข้องกับออปแอมป์เป็นส่วนใหญ่ วงจรทางภาคส่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนที่เปลี่ยนจากค่ากระแสที่โฟโตไดโอดรับได้ให้เป็นแรงดัน ส่วนที่ทำการขยายแรงดัน และส่วนที่ทำการปรับลดออฟเซต

2.4.2.1 การเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

ในส่วนของการเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันได้มีการใช้วงจรขยาย transresistance หรือวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Current – to – Voltage Converters) มีลักษณะที่เป็นวงจรแบบแหล่งจ่ายแรงดันถูกควบคุมด้วยกระแส คือ เมื่อได้มีการรับกระแสอินพุตเข้ามาจึงทำการเปลี่ยนให้เป็นค่าแรงดันทางเอาต์พุต



รูปที่ 2.17 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่ามี การต่อตัวต้านทานใส่เข้าไปให้เป็นตัวป้อนกลับสัญญาณ จากเอาต์พุตเข้ามาสู่ทางด้านอินพุต และตัวต้านทานนี้ทำหน้าที่เป็นตัวปรับเกน ขยายกระแส ทำให้ ค่ากระแสที่ได้รับมาจากโฟโต้ไดโอดครั้งแรกที่อาจมีค่าน้อยให้เพิ่มขึ้นจากเดิม และจากลูกศรสีแดง ในรูปจะแสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (I_R) และทิศทางการไหล ของกระแสอินพุตจาก โฟโต้ไดโอด (I_{in}) แต่ในความเป็นจริงทิศทางการไหลของกระแสของโฟโต้ ไดโอดจะเป็นทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสอินพุต ($I_{PD} = -I_{in}$) จากนั้นเราจะอาศัยหลักการของออป แอมป์

โดยกำหนดให้ เป็น KCL ที่โหนด A และ $A = 0V$ จึงทำให้

$$I_{in} = I_R \quad (2.16)$$

$$I_{in} = \frac{0 - V_{OUT}}{R} \quad (2.17)$$

โดยที่ I_{in} คือกระแสอินพุตจาก โฟโต้ไดโอด
 V_{OUT} คือแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร
 R คือตัวต้านทาน

จะได้

$$V_{OUT} = -I_{in} \times R \quad (2.18)$$

หรือ

$$V_{OUT} = I_{PD} \times R \quad (2.19)$$

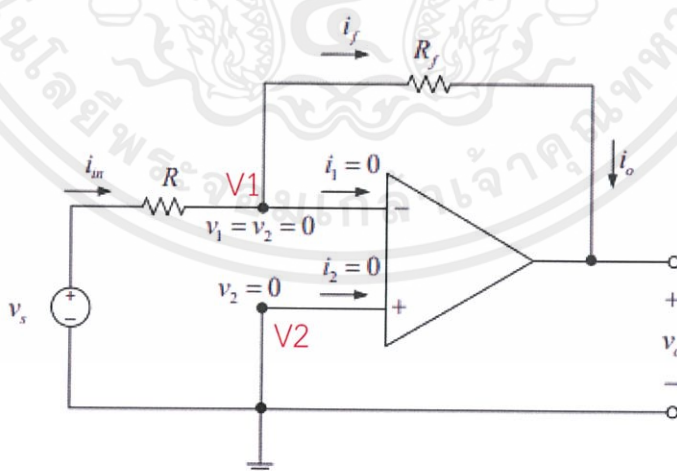
โดยที่ I_{PD} คือกระแสของโฟโตไดโอด

แรงดันเอาต์พุต $V_{OUT} = A \cdot I_{in}$ โดยที่ A คืออัตราขยาย (gain) ของวงจร จะมีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm) จึงทำให้นิยมเขียนในรูปของ R มากกว่า และเป็นเหตุผลให้วงจรนี้อาจถูกเรียกอีกอย่างว่า วงจรขยายค่าความต้านทาน

2.4.2.2 การขยายสัญญาณแรงดัน

ในส่วนการขยายสัญญาณแรงดันสามารถใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชื่อว่า ออปแอมป์ ที่เป็นอุปกรณ์ชนิดแอกทีฟ ที่สามารถออกแบบให้เป็นวงจรดำเนินการทางคณิตศาสตร์ได้หลายรูปแบบ เช่น การบวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งการหาอนุพันธ์และปริพันธ์ เป็นต้น และในที่นี้เราจะใช้ออปแอมป์ให้ทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณโดยการต่อวงจรออปแอมป์มีได้หลายรูปแบบยกตัวอย่างเช่น

1) วงจรขยายแบบผกผัน (Inverting Amplifiers)



รูปที่ 2.18 วงจรขยายแบบผกผัน (Inverting Amplifiers) [6]

จากรูปที่ 2.18 วงจรขยายแบบผกผัน ทำหน้าที่ขยายและกลับขั้วแรงดันที่เข้ามาทางขาอินพุตในเวลาเดียวกัน จึงเป็นผลทำให้แรงดันเอาต์พุตมีขนาดที่มากกว่าแรงดันทางฝั่งอินพุต และมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันฝั่งอินพุต ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้านอินพุตและเอาต์พุตได้โดยกำหนดให้เป็น KCL ที่โหนด V_1 ทำให้

$$I_{in} = I_f \quad (2.20)$$

จะได้ว่า

$$\frac{V_s - V_1}{R} = \frac{0 - V_{OUT}}{R_f} \quad (2.21)$$

โดยที่

V_s คือแหล่งกำเนิดแรงดัน

V_{OUT} คือแรงดันเอาต์พุต

R คือค่าความต้านทานขาเข้า

R_f คือค่าความต้านทานป้อนกลับ

เนื่องจาก $V_1 = V_2 = 0$

$$\frac{V_s - 0}{R} = \frac{0 - V_{OUT}}{R_f} \quad (2.22)$$

$$\frac{V_s}{R} = -\frac{V_{OUT}}{R_f} \quad (2.23)$$

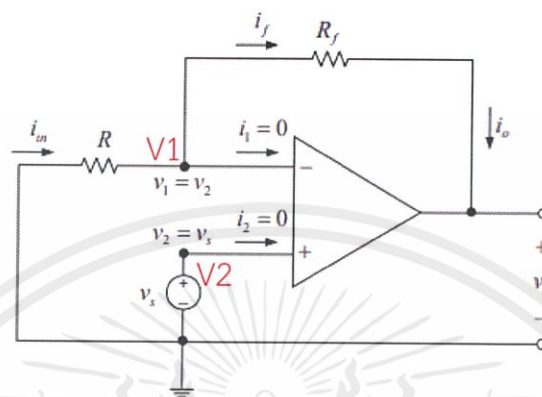
จะได้

$$\frac{V_{OUT}}{V_s} = -\frac{R_f}{R} = \text{Gain} \quad (2.24)$$

$$V_{OUT} = -\frac{R_f}{R} V_s \quad (2.25)$$

จากสมการที่ 2.24 ผลลัพธ์ที่ออกมาได้เป็นอัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต หรือ อัตราการขยายมีค่าติดลบ โดยค่าอัตราการขยายจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรด้วย

2) วงจรขยายแบบไม่ผกผัน (Non-Inverting Amplifiers)



รูปที่ 2.19 วงจรขยายแบบไม่ผกผัน (Non-Inverting Amplifiers) [6]

จากรูปที่ 2.19 วงจรขยายแบบไม่ผกผัน ทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยไม่กลับขั้ว สัญญาณแรงดันที่เข้ามา จึงเป็นผลทำให้แรงดันเอาต์พุตมีขนาดที่มากกว่าแรงดันทางฝั่งอินพุต และมีขั้วตรงกันกับแรงดันฝั่งอินพุต ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้านอินพุตและเอาต์พุตได้ โดยกำหนดให้เป็น KCL ที่โหนด V_1 ทำให้

$$I_{in} = I_f \quad (2.26)$$

จะได้ว่า

$$\frac{0 - V_1}{R} = \frac{V_1 - V_{OUT}}{R_f} \quad (2.27)$$

โดยที่ V_1 คือแรงดันที่โหนด V_1
 V_{OUT} คือแรงดันเอาต์พุต
 R คือค่าความต้านทานขาเข้า
 R_f คือค่าความต้านทานป้อนกลับ

เนื่องจาก $V_1 = V_2 = V_s$

$$\frac{V_s}{R} = \frac{V_s - V_{OUT}}{R_f} \quad (2.28)$$

โดยที่ V_s คือแหล่งกำเนิดแรงดัน

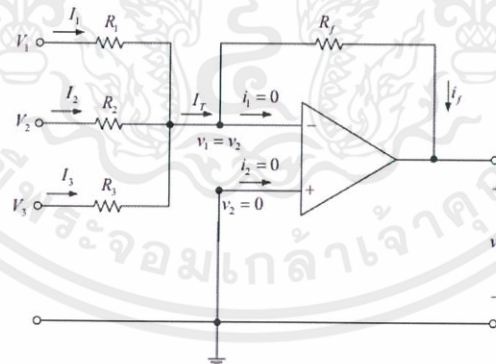
$$\frac{V_{OUT}}{V_s} = 1 + \frac{R_f}{R} = \text{Gain} \quad (2.29)$$

จะได้

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) V_s \quad (2.30)$$

จากสมการที่ 2.29 ผลลัพธ์ที่ออกมาได้เป็นอัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุตต่อแรงดันอินพุต หรือ อัตราการขยายมีค่าเป็นบวก โดยค่าอัตราการขยายจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร

3) วงจรขยายผลรวม (Summing Amplifier)



รูปที่ 2.20 วงจรขยายผลรวม (Summing Amplifier) [6]

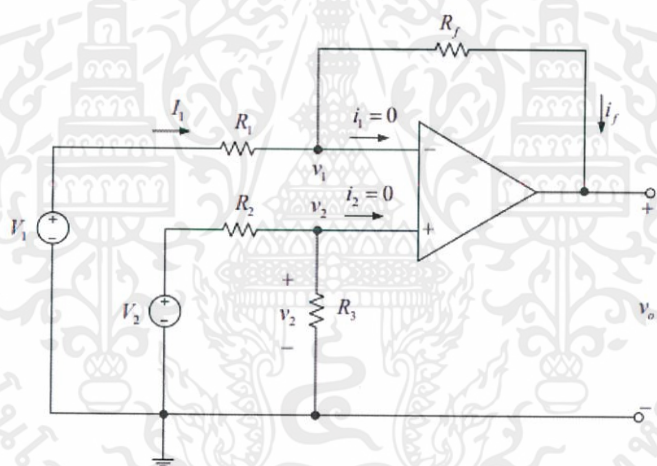
จากรูปที่ 2.20 วงจรขยายผลรวม ทำหน้าที่เป็นวงจรดำเนินการทาง คณิตศาสตร์ได้ เช่น การบวก การลบ และเป็นวงจรออปแอมป์ที่มีอินพุตหลายตัว และให้ค่าเอาต์พุตเป็นค่าผลรวม

ถ่วง น้ำหนักของอินพุตทั้งหมด หรือเป็นผลบวกของแรงดันอินพุตแต่ละค่า ซึ่งมีอัตราขยายเป็นลบที่มีค่าขึ้นกับค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจร จะได้ค่าแรงดันทางเอาท์พุตเป็น

$$V_{\text{OUT}} = -\frac{R_f}{R_1}(V_1) - \frac{R_f}{R_2}(V_2) - \frac{R_f}{R_3}(V_3) \quad (2.31)$$

โดยที่ V_{OUT} คือแรงดันเอาท์พุต
 V_1, V_2, V_3 คือแรงดันอินพุตแต่ละตัว
 R_1, R_2, R_3 คือค่าความต้านทานขาเข้าแต่ละตัว
 R_f คือค่าความต้านทานป้อนกลับ

4) วงจรขยายผลต่าง (Difference Amplifier)



รูปที่ 2.21 วงจรขยายผลต่าง (Difference Amplifier) [6]

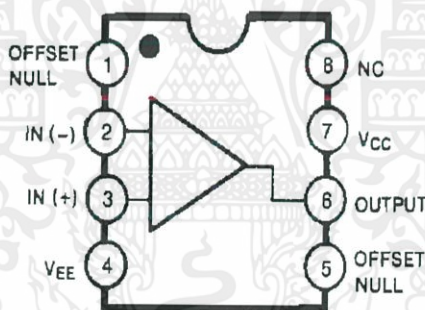
จากรูปที่ 2.21 จะเห็นว่าวงจรขยายผลต่างเป็นวงจรที่ขยายผลต่างสัญญาณอินพุตสองตัว และไม่มีเอาต์พุตเมื่อสัญญาณอินพุตทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ถูกลำนำไปประยุกต์ใช้เพื่อขยายผลต่างของสัญญาณที่อาจมีขนาดต่ำมาก ให้อยู่ในระดับที่สามารถตรวจวัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ จะได้ค่าแรงดันทางเอาท์พุตเป็น

$$V_{\text{OUT}} = \frac{R_f}{R_1} \frac{(1 + R_1/R_f)}{(1 + R_2/R_3)} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1 \quad (2.32)$$

โดยที่ V_{OUT} คือแรงดันเอาท์พุท
 V_1, V_2 คือแรงดันอินพุตแต่ละตัว
 R_1, R_2, R_3 คือค่าความต้านทานขาอินพุตแต่ละตัว
 R_f คือค่าความต้านทานป้อนกลับ

2.4.2.3 การปรับลดออฟเซต

ในการต่อใช้งานออปแอมป์โดยปกติแล้วตัวอุปกรณ์ออปแอมป์จะมีค่าที่เรียกว่า Input Offset Voltage หรือค่าแรงดันออฟเซตทางอินพุต ที่หมายถึงค่าความต่างศักย์หรือค่าแรงดันที่มีขนาดเล็กที่อยู่ระหว่างขาอินพุตทั้ง 2 ของออปแอมป์ ซึ่งมีผลมาจากการความไม่ตรงกันหรือไม่เข้าคู่กันของแรงดันไบแอสระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ที่ส่วนของอินพุตนั้นขยายผลต่างของออปแอมป์

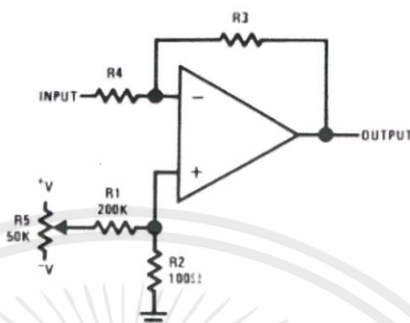


รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมภายในของ Op-amp LM741 [7]

จากรูปที่ 2.22 ในตัวอุปกรณ์ของออปแอมป์ปกติทั่วไปจะมีจุดที่มีไว้สำหรับปรับแรงดันออฟเซต สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับขา OFFSET NULL (N1) และขา OFFSET NULL (N2) โดยสามารถดูข้อมูลของขาเหล่านี้ได้จาก Datasheet ของออปแอมป์แต่ละตัว

การปรับลดออฟเซตอินพุตของออปแอมป์สามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งนั่นก็คือ การป้อนแรงดันจากภายนอกเข้าไปหักล้างผลของแรงดันออฟเซตอินพุตนี้ จะส่งผลให้เกิดการลดลงของ

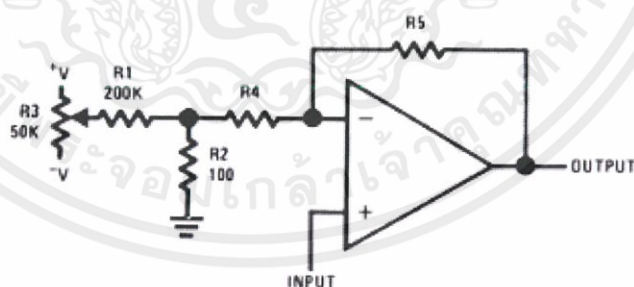
แรงดันออฟเซต ไม่ให้ไปปรากฏที่เอาต์พุตได้ การปรับออฟเซตที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวงจรของออปแอมป์มีดังนี้



รูปที่ 2.23 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรขยายแบบผกผัน [8]

จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าสามารถปรับแรงดันออฟเซตของวงจรขยายแบบผกผันได้ด้วยการต่อตัวต้านทานทั้งแบบปกติและแบบปรับค่าได้เข้าไปที่ขาอินพุตฝั่งบวกของออปแอมป์ โดยมีช่วงของการปรับค่าแรงดันออฟเซตเป็น

$$\text{Range} = \pm V \left(\frac{R2}{R1} \right) \quad (2.33)$$



รูปที่ 2.24 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรขยายแบบไม่ผกผัน [8]

จากรูปที่ 2.24 จะเห็นว่าสามารถปรับแรงดันออฟเซตของวงจรถ่ายแบบผกผันได้ด้วยการต่อตัวต้านทานทั้งแบบปกติและแบบปรับค่าได้เข้าไปที่ขาอินพุตฝั่งลบของออปแอมป์โดยมีช่วงของการปรับค่าแรงดันออฟเซต

$$\text{Range} = \pm V \left(\frac{R2}{R1} \right) \quad (2.34)$$

และอัตราขยาย

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R5}{R4+R2} \quad (2.35)$$



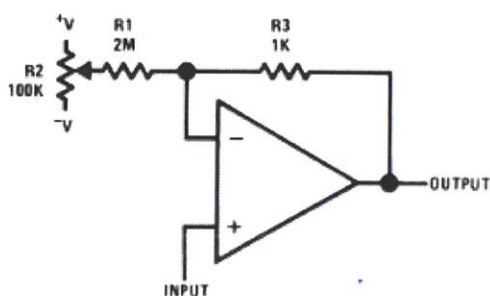
รูปที่ 2.25 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรถ่ายผลต่าง [8]

จากรูปที่ 2.25 จะเห็นว่าสามารถปรับแรงดันออฟเซตของวงจรถ่ายผลต่างได้ด้วยการต่อตัวต้านทานทั้งแบบปกติและแบบปรับค่าได้เข้าไปที่ขาอินพุตฝั่งบวกของออปแอมป์ โดยที่ค่าความต้านทานของ R2 มาจากผลรวมของค่าความต้านทานของ R3 รวมกับ R4 โดยมีช่วงของการปรับค่าแรงดันออฟเซต

$$\text{Range} = \pm V \left(\frac{R4}{R5} \right) \left(\frac{R1}{R1+R3} \right) \quad (2.36)$$

และอัตราขยาย

$$\text{Gain} = \frac{R2}{R1} \quad (2.37)$$



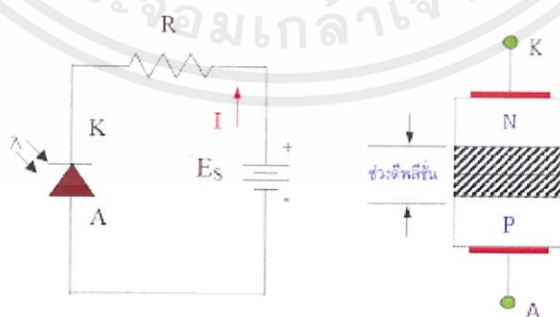
รูปที่ 2.26 การปรับแรงดันออฟเซตสำหรับวงจรตามแรงดัน [8]

จากรูปที่ 2.26 จะเห็นว่าสามารถปรับแรงดันออฟเซตของวงจรตามแรงดันได้ด้วยการต่อตัวต้านทานทั้งแบบปกติและแบบปรับค่าได้เข้าไปที่ขาอินพุตผั้ลบของออปแอมป์ โดยมีช่วงของการปรับค่าแรงดันออฟเซต

$$\text{Range} = \pm V \left(\frac{R3}{R1} \right) \quad (2.38)$$

2.5 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด (Photo Diode)

โฟโตไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N โดยรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดนี้จะใช้เป็นตัววัสดุที่ทำให้แสงสามารถผ่านได้ ส่วนมากอาจใช้เป็นกระจกใส โฟโตไดโอดสามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ชนิด ตามการตอบสนองต่อประเภทของแสง คือ โฟโตไดโอดที่ตอบสนองต่อแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible light) และโฟโตไดโอดที่ตอบสนองต่อแสงอินฟราเรด (Infrared)



รูปที่ 2.27 วงจรพื้นฐานและองค์ประกอบภายในของโฟโตไดโอด [9]

จากรูปที่ 2.27 กระบวนการทำงานของโฟโตไดโอดคือ ตัวโฟโตไดโอดทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับมาให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงถูกส่งลงบนสารกึ่งตัวนำ จะเป็นการให้พลังงานเพื่อดึงอิเล็กตรอนให้หลุดจากที่สร้างพันธะกันอยู่ นำจะทำให้เนื้อสารกึ่งตัวนำเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก การที่จะสามารถนำกระแสได้นั้น เมื่อมีอิเล็กตรอนอิสระและโฮลแล้วต้องป้อนอินพุตที่เป็นแรงดันไฟฟ้าเข้าไป จึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้น และทำให้ประจุอิเล็กตรอนและโฮล เคลื่อนที่ เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่จึงเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้นมา

การที่โฟโตไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมันออกมาได้มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง หลังจากที่ได้รับแรงดันไบอัสกลับ (Reverse Bias) และหากแสงที่ตกกระทบบรอยต่อมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะทำให้เกิดกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบบ และพบว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นมีผลโดยตรงต่อความเข้มแสง เพราะเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นมากจนถึงค่าหนึ่งแล้วจะไม่เกิดการเพิ่มจำนวนของอิเล็กตรอนอิสระขึ้นอีกซึ่งหมายถึง เข้าสู่ช่วงสภาวะอิ่มตัว (saturation region) และหากไม่มีแสงมาตกกระทบบรอยต่อก็ยังคงมีกระแสที่ไหลผ่านค้างอยู่เรียกว่า กระแสมืด (dark current)

โดยในการประยุกต์ใช้นี้จะต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่ไวต่อแสงของโฟโตไดโอดมีน้อยและเวลา rise/fall สั้น ถ้าเพิ่มพื้นที่ไวต่อแสง เวลาที่ตอบสนองจะช้า หากพื้นที่ไวต่อแสงมีขนาดใหญ่จะทำให้มีการจับแสงเพิ่มมากขึ้นได้ที่ฝั่งรับ ดังนั้น ตัวเลือกของโฟโตไดโอดจะถูกจำกัด ความต้องการของโฟโตไดโอดคือต้องการให้เวลาตอบสนองเร็ว ความไวของสเปกตรัมที่มองเห็นได้และบริเวณที่มีความละเอียดอ่อนต่อแสง ขนาดของพื้นที่ความไวต่อแสงนั้นสำคัญมาก

2.6 หลักการทำงานของแอลอีดี (LED)

ในวงจรภาคส่งได้มีการนำหลอดแอลอีดีมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ทำหน้าที่เปล่งแสงตามข้อมูลที่ป้อนเข้าไป โดยหลอดแอลอีดี ย่อมาจาก LED ย่อมาจากคำว่า Light Emitting Diode หรือไดโอดเปล่งแสง เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแล้วจึงจะสามารถปล่อยแสงสว่างออกมาได้ทันที และน้ำหนักเบา ซึ่งแสงสว่างที่เกิดขึ้นมาจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ โดยสารกึ่งตัวนำนั้นจะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่นำมาเรียงชิดกัน การที่หลอดแอลอีดีจะทำงานได้นั้นต้องได้รับการไบอัสตรงก่อนการไบอัสจะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในสารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถเคลื่อนที่

ข้ามผ่านรอยต่อเพื่อไปจับกับโฮลที่อยู่ภายในสารกึ่งตัวนำชนิด P ได้ ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้ จะทำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า และสามารถทำให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแสง

หลอดแอลอีดีในปัจจุบันมีสีของแสงหลากหลายสี โดยสีเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้สร้าง อาจมีทั้งของเหลวและก๊าซที่ใส่ลงในหลอด ได้แก่ การใช้แกเลียมฟอสไฟด์ (GaP) ทำให้เกิดเป็นแสงสีแดง การใช้แกเลียมอาซีนไนด์ ฟอสไฟด์ (GaAsP) เกิดแสงสีเหลืองและเขียว

สำหรับการควบคุมปริมาณแสงสว่างของหลอด LED ถ้าหากมีกระแสที่ไหลสูงมากไปเกินไป จะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนสูง อาจส่งผลทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก

2.6.1 รูปแบบของหลอดแอลอีดี

แบ่งตามลักษณะของ Packet แบ่งได้ 2 แบบคือ

2.6.1.1 หลอดแอลอีดีแบบ Lamp Type

เป็นแอลอีดีชนิดที่พบกันอยู่ทั่วไปมีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy 2 ขาหรือมากกว่า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 mm. ขึ้นไป สามารถขับกระแสได้ไม่เกิน 150 mA ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 หลอดแอลอีดีแบบ Lamp Type [10]

2.6.1.2 หลอดแอลอีดีแบบ Surface Mount Type (SMT)

มีลักษณะ packet เป็นตัวบางๆ มีความสามารถในการขับกระแสตั้งแต่ 20 mA-มากกว่า 1 A สำหรับแอลอีดีแบบ SMT ถ้าขับกระแสได้ตั้งแต่ 300 mA ขึ้นไป จะเรียกว่า power LED การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ภายในเนื่องจากสารเคลือบหน้าหลอดแอลอีดีส่วนใหญ่จะเป็นซิลิโคน ซึ่งระอุองน้ำหรือความชื้นสามารถซึมผ่านได้ ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 หลอดแอลอีดีแบบ Surface Mount Type (SMT) [11]

2.6.1.3 หลอด Hi Power LED

เป็นหลอดแอลอีดีชนิดพิเศษที่จะให้แสงสว่างสูงมากๆ จะมีความร้อนเกิดขึ้นมากจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ระบายความร้อนติดมาด้วย อย่างเช่น ฮีทซิงค์ (Heat Sink) ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากอลูมิเนียม ที่มีคุณสมบัติ หลอมขึ้นรูปได้ง่าย น้ำหนักเบา และพาความร้อนได้ดี ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 หลอด Hi Power LED [12]

2.7.1 วิธีการอ่านค่าจากตารางแอสกี

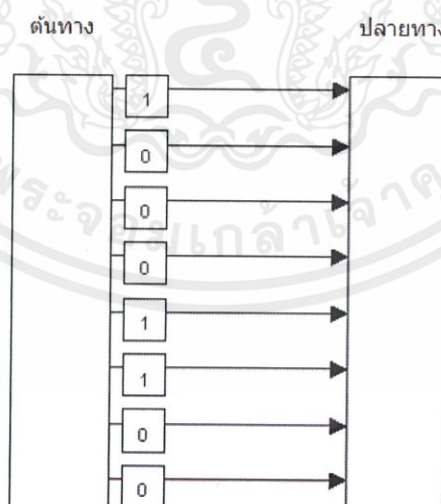
จากตารางแอสกีในรูปแบบที่ 2.31 ซึ่งตรงตัวอักษรที่ต้องการแทนรหัส เช่น ก อ่านค่ารหัสในตารางแนวตั้งตรงตำแหน่ง b7 b6 b5 และ b4 ค่าที่ได้ คือ 1010 จากนั้นอ่านค่ารหัสในตารางแนวนอนตรงตำแหน่ง b3 b2 b1 และ b0 ค่าที่ได้ คือ 0001 ดังนั้นรหัสแทนข้อมูลของตัวอักษร ก คือ 1010 0001

2.8 รูปแบบการส่งผ่านข้อมูล

รูปแบบของสายส่งสัญญาณสื่อสารประกอบด้วยสายส่งตั้งแต่หนึ่งสายขึ้นไป ทำให้เกิดช่องทางการส่งข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งช่องทาง รูปแบบของการส่งผ่านข้อมูลแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ

2.8.1 การส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmission)

ในรูปแบบการส่งผ่านข้อมูลในลักษณะนี้ทุกบิตที่แทนข้อมูลหนึ่งตัวอักษร จะถูกส่งผ่านไปตามสายส่ง หลายๆ สายขนานกันไป ดังนั้นทุกบิตจะเดินทางถึงผู้รับพร้อมๆ กัน และจำนวนสายส่งเพื่อให้เกิดช่องทางการส่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนบิตที่เข้ารหัสแทนตัวอักษรในแต่ละระบบ เช่นการส่งผ่านข้อมูลที่เข้ารหัสแบบ ASCII ก็จำเป็นต้องใช้ช่องทางการส่ง 8 ช่องทาง จึงจะทำให้ทุกบิตวิ่งผ่านสายส่งขนานกันไปได้อย่างรูปที่ 2.32

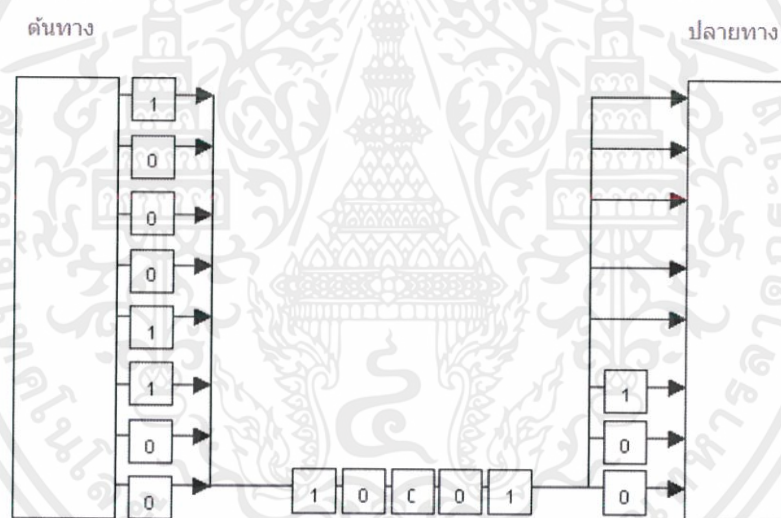


รูปที่ 2.32 การส่งข้อมูลแบบขนาน [13]

ทุกบิตที่เข้ารหัสตัวอักษรตัวหนึ่งๆ จะเดินทางขนานกันไป โดยเริ่มจากต้นทางผ่านสายส่งสัญญาณที่มีอยู่ด้วยกัน 8 เส้น ไปยังปลายทาง ดังนั้นปลายทางจะได้รับทุกบิตของตัวอักษรพร้อมๆ กัน การส่งผ่าน ข้อมูลแบบนี้ ส่วนมากจะใช้ในการส่งผ่านข้อมูลในระยะใกล้ อันได้แก่ การเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบข้างของมันเช่น ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์ เพราะสามารถทำได้ด้วยความเร็วสูง และถ้านำไปใช้ในระยะเวลาไกลๆ จะต้องเสีย ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้สายส่งเท่ากับจำนวนบิตที่ใช้เข้ารหัสแทนข้อมูลตัวอักษร

2.8.2 การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)

รูปแบบการส่งผ่านข้อมูลในลักษณะนี้ทุกบิตที่เข้ารหัสแทนข้อมูลหนึ่งตัวอักษรจะถูกส่งผ่านไปทางสายส่งเรียงลำดับกันไปทีละบิตในสายส่งเพียงเส้นเดียว ดังรูปที่ 2.33



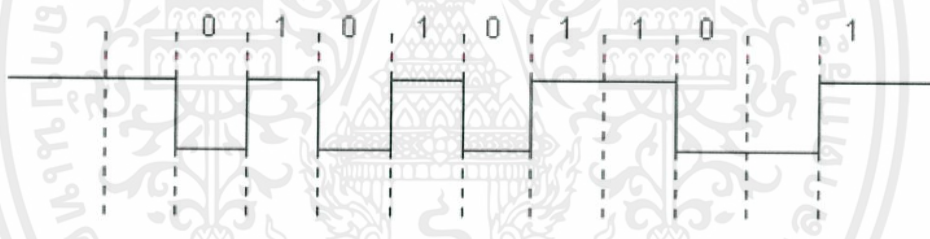
รูปที่ 2.33 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม [13]

ตัวอักษรจะประกอบด้วย 8 บิต เรียงเป็นลำดับ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างต้นทาง และปลายทาง และปลายทางจะรวบรวมบิตเหล่านี้ทีละบิตจนครบ 8 บิต เป็น 1 ตัวอักษร จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน แต่ค่าใช้จ่ายจะถูกกว่าแบบขนาน ซึ่งเหมาะสำหรับการส่งระยะทางไกลๆ

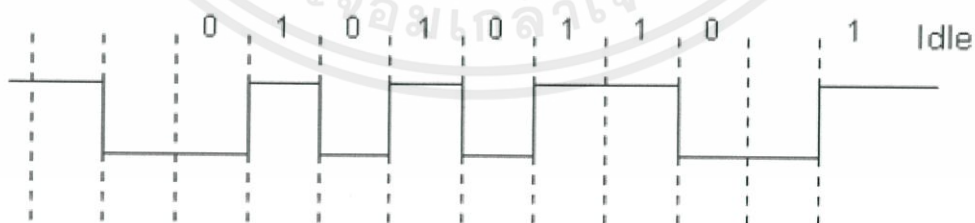
โดยทั่วไปการส่งข้อมูลนั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มของตัวอักษร ดังนั้นในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้จึงเกิดปัญหาขึ้นว่า แล้วต้นทางและปลายทางจะทราบได้อย่างไรว่า จะแบ่งแต่ละตัวอักษรตรงบิตใด จึงเกิดวิธีการสื่อสารข้อมูลขึ้น 2 แบบคือ การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission) และการสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

2.8.2.1 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็น การสื่อสารแบบระบุจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด (Start-Stop Transmission) ลักษณะของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันจะประกอบไปด้วย บิตเริ่มต้น (start bit) บิตของข้อมูลที่สื่อสาร (transmission data) จำนวน 8 บิต บิตตรวจข้อผิดพลาด (parity bit) และบิตสิ้นสุด (stop bit) สำหรับบิตตรวจสอบข้อผิดพลาดจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ ดังนั้นสัญญาณจึงต้องประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.34 ถ้ามีบิตตรวจสอบข้อผิดพลาดจะมีสัญญาณดังรูปที่ 2.35



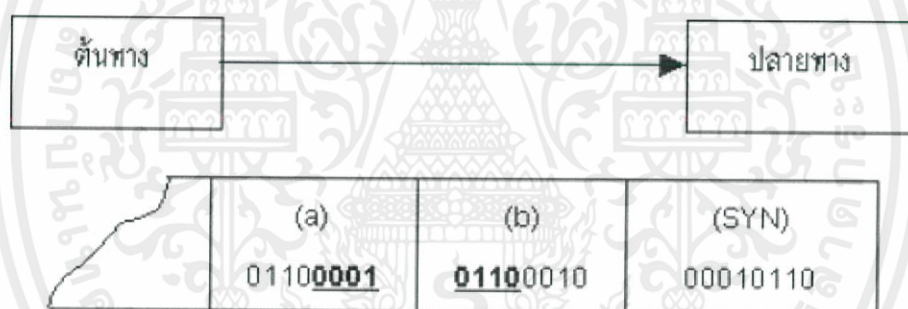
รูปที่ 2.34 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่มีบิตตรวจสอบความผิดพลาด [13]



รูปที่ 2.35 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่มีบิตตรวจสอบความผิดพลาด [13]

2.8.2.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

การสื่อสารแบบซิงโครนัส จะทำการจัดกลุ่มของข้อมูลเป็นกลุ่มๆ และทำการส่งข้อมูลทั้งกลุ่มไปพร้อมกันในทีเดียว เราเรียกกลุ่มของข้อมูลนี้ว่า บล็อกของข้อมูล (Block of Data) ซึ่งตัวอักษรตัวแรก และตัวถัดไปที่อยู่ในบล็อกเดียวกันจะไม่มีอะไรมาคั่นเหมือนอย่างแบบอะซิงโครนัสที่ต้องใช้บิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดคั่นทุกๆ ตัวอักษร แต่จะมีข้อมูลเริ่มต้นซึ่งเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่ส่งมาเพื่อให้รู้ว่านั้นคือ จุดเริ่มต้นของกลุ่มตัวอักษรที่กำลังส่งเรียงกันเข้ามา เช่น อักขระซิง (SYN character) โดยที่อักขระซิงมีรูปแบบบิต คือ 00010110 ตัวอย่างของการส่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.36 เมื่อสายทางตรวจพบอักขระซิง หรือ 00010110 แล้วจะทราบได้ทันทีว่าบิตที่ตามมาคือบิตตัวอักษรแต่ละตัว แต่การใช้อักขระซิงเพียงตัวเดียวอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เช่น ถ้าเราส่งตัวอักษร b และตัวอักษร a ติดต่อกันไป ซึ่งตัวอักษร b มีรูปแบบบิตคือ 01100010 และตัวอักษร a มีรูปแบบบิตคือ 01100001



รูปที่ 2.36 ตัวอย่างของการส่งข้อมูลที่มีอักขระซิง [13]

จะเห็นว่าเครื่องปลายทางจะตรวจพบอักขระซิงระหว่างบิตของตัวอักษร b และตัวอักษร a ทำให้เข้าใจว่าบิตต่อไปจะเป็นบิตของกลุ่มข้อมูล ซึ่งจะทำให้การรับข้อมูลนั้นเกิดผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยการใช้อักขระซิง 2 ตัวต่อกันเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่บอกให้ทราบว่าเป็นจุดเริ่มต้นบิตของกลุ่มข้อมูล

2.8.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส และแบบซิงโครนัส

การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสนั้นส่วนมาก ตลอดทางของสายส่งจะใช้ส่งผ่านข้อมูลเต็มตลอดทั้งสายดังรูปที่ 2.37 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นสายส่งจะขาดความต่อเนื่องของสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่าน หรือถ้ามีสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่านต่อเนื่องกันเต็มตลอดทั้งสายแล้ว ก็จะมีสูญเสียช่องทางในการส่งไปกับการส่งบิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดของแต่ละตัวอักษรดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.37 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส [13]



รูปที่ 2.38 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส [13]

2.9 หลักการเบื้องต้นโปรแกรม Arduino IDE

โปรแกรมที่ใช้ทำงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino มีชื่อเป็นทางการว่า Arduino IDE (Integrated development environment) ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ Windows (XP Vista 7 8) ทั้ง 32 และ 64 Bit MacOS และ Linux ก็สามารถใช้ได้ เรียกได้ว่าใช้งานกับทุกระบบปฏิบัติการเลยทีเดียว และยังเป็นอิสระจากการทำงานของระบบปฏิบัติการหรือ OS ทุกชนิด ทำให้ไม่ต้องมีการ Install โปรแกรม โดยโปรแกรมสามารถดาวน์โหลด (Download) หลังจากนั้นทำการ Unzip โปรแกรมไว้ใน Directory ที่ต้องการ

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด Arduino จะต้องเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาของ Arduino (Arduino programming language) ซึ่งตัวภาษาของ Arduino ได้นำเอาโอเพ่นซอร์สโปรเจกต์ชื่อ Wiring มาพัฒนาต่อ ภาษาของ Arduino แบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ

- 1) โครงสร้างภาษา (Structure) ตัวแปรและค่าคงที่
- 2) ฟังก์ชัน (Function)

ภาษาของ Arduino จะอ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino (ซึ่งก็รวมถึงบอร์ด Arduino) ก็คือการเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเรียกใช้ฟังก์ชันและไลบรารี โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino แบ่งได้เป็นสองส่วนคือ void setup() และ void loop()

2.9.1 ส่วนของฟังก์ชัน setup()

ฟังก์ชันนี้จะเขียนที่ส่วนต้นของโปรแกรม ทำงานเมื่อโปรแกรมเริ่มต้นเพียงครั้งเดียว ใช้เพื่อกำหนดค่าของ ตัวแปรโหมตการทำงานของเขาต่าง ๆ เริ่มต้นเรียกใช้ไลบรารี ฯลฯ

2.9.2 ส่วนของฟังก์ชัน loop()

หลังจากที่เขียนฟังก์ชัน setup() ที่กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมแล้ว ส่วนถัดมาคือฟังก์ชัน loop() ซึ่งมีการทำงานตรงตามชื่อ คือจะทำงานตามฟังก์ชันวนต่อเนื่องตลอดเวลา ภายในฟังก์ชันจะมีโปรแกรมของผู้ใช้เพื่อรับค่าจากพอร์ต ประมวลผลแล้วส่งเอาต์พุตออกขาต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด

โปรแกรมทำงานวนในฟังก์ชัน loop() ตลอดเวลา หลังจากทำงานในฟังก์ชัน setup() จึงสรุปได้ว่าฟังก์ชัน setup() คือส่วนต้นของโปรแกรมที่ใช้ในการประกาศ หรือตั้งค่าการทำงานในตอนเริ่มต้นทำงาน ในขณะที่ฟังก์ชัน loop() เป็นเสมือนส่วนของโปรแกรมหลักที่ต้องวนทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา อย่างไรก็ตามในบางโปรแกรมอาจมีเฉพาะส่วนของฟังก์ชัน setup() และไม่มีฟังก์ชัน loop() ก็ได้ นั่นแสดงว่าโปรแกรมนั้น ๆ ต้องการตั้งค่าการทำงาน หรือกำหนดให้มีการทำงานเพียงครั้งหรือรอบเดียว แล้วจบการทำงานทันที

2.10 โปรแกรม Google SketchUp version Pro 2016

โปรแกรม Google SketchUp เป็นโปรแกรมที่ใช้ออกแบบ สร้าง หรือจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ของชิ้นงานที่เราต้องการออกแบบ มีความง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ชิ้นงานส่วนใหญ่ที่ใช้โปรแกรมนี้จะเป็งานออกแบบทั้งภายในและภายนอกในเชิงสถาปัตยกรรม เช่น การ

ออกแบบโครงสร้าง 3 มิติของแผงผัง ตัวอาคาร สิ่งก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ หรือรูปแบบของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งฟังก์ชันหลักในการใช้งานที่เป็นพื้นฐานในจะประกอบไปด้วย

- คำสั่ง lines ในการวาดเส้น
- คำสั่ง shapes ในการวาดเส้นที่เป็นรูปร่าง วงกลม วงรี สี่เหลี่ยม
- คำสั่ง push/pull ช่วยในการยกผิวหน้าชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นให้เป็นลักษณะ 3 มิติ
- คำสั่ง offset เพื่อใช้ในการกำหนดเส้นขอบหรือแนวขอบให้แก่ระนาบที่ต้องการ
- คำสั่ง scale เพื่อใช้ในการกำหนดขนาด ยืด หด ชิ้นงาน
- คำสั่ง move ใช้ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งสิ่งที่เราต้องการ
- คำสั่ง orbit ใช้ในการปรับมุมมองภาพได้รอบทิศทาง
- คำสั่ง zoom ใช้ย่อขยายระยะการมองภาพ เป็นต้น

และนอกจากนั้นยังมีคำสั่งหรือฟังก์ชันแบบพิเศษที่ช่วยในเรื่องของการจัดแสงเงาให้ดูใกล้เคียงกับความเป็นจริง เช่น V-Ray หรือ Podium ที่เป็นปลั๊กอิน (Plugin) เสริม

2.11 โปรแกรม Proteus 8 professional

โปรแกรม Proteus มีชื่อเต็มว่า Labcenter Electronics Proteus ซึ่งภายในโปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ISIS และ ARES โปรแกรม Proteus จะมีอยู่หลายเวอร์ชันให้เลือกใช้งาน ซึ่งเวอร์ชันในปัจจุบัน คือ เวอร์ชัน 7

ความสามารถในการทำงานของโปรแกรม Proteus ก็คือ สามารถจำลองการทำงานของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ได้หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล หรือทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัลผสมกัน นอกจากนี้ Proteus ยังสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ (PCB) ได้อีกด้วย จุดเด่นของโปรแกรม Proteus ที่เป็นที่ยอมรับและชื่นชอบก็คือ การจำลองการทำงานของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น PIC, MCS-51, AVR และ ARM เป็นต้น ทำให้นักเขียนโปรแกรมหรือโปรแกรมเมอร์สามารถตรวจสอบได้ว่าโปรแกรม หรือซอสโค้ด (Source Code) ที่เขียนขึ้นมานั้น สามารถสนับสนุนกับวงจรฮาร์ดแวร์ที่ต่อได้หรือไม่ ถ้าโปรแกรม (Source Code) ที่เขียนขึ้น ไม่สนับสนุนกับวงจรฮาร์ดแวร์ที่ต่อโปรแกรมเมอร์ก็จะทำการพัฒนาโปรแกรม (Source Code) ที่เขียนขึ้นใหม่ หรือปรับปรุงวงจรฮาร์ดแวร์ใน Proteus จนกว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นและฮาร์ดแวร์ที่ต่อ สามารถสนับสนุนซึ่งกันและกัน

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร

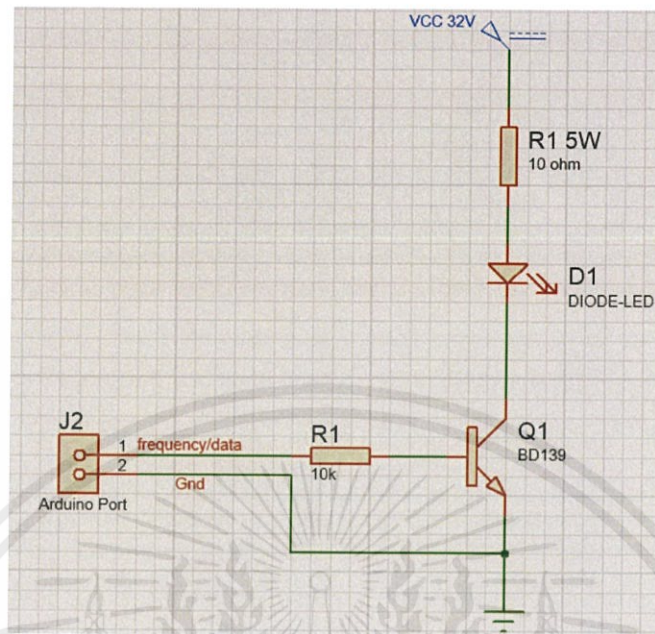
บทนี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร ได้ออกแบบวงจร โดยใช้โปรแกรม Proteus ทั้งในด้านภาคส่งและภาครับ ภายในวงจรได้ใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสง และได้ใช้โฟโตไดโอดในการรับแสงเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงที่รับได้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ศึกษาวิธีที่ทำให้มีการรับส่งข้อมูลได้ระยะไกลขึ้น กล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองต่างๆที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งวิธีการจัดเก็บผลการทดลอง การวัดระยะทางในการรับส่งข้อมูล การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า และการทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสง

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การคำนวณวงจรภาคส่ง

การคำนวณหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องภายในวงจรภาคส่งสัญญาณของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร เพื่อให้วงจรภาคส่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับวงจรนี้เป็นวงจรที่ทำการให้กำเนิดสัญญาณแสงจากหลอดแอลอีดี (LED) โดยขับกระแสให้หลอดแอลอีดี กระปริบสว่างจากควบคุมการติดดับของหลอดแอลอีดีตามค่าความถี่ที่ป้อนเข้ามาในวงจร

ในส่วนของวงจรทางภาคส่ง ดังรูปที่ 3.1 เราจะใช้หลอด LED ชนิด 3 วัตต์ จำนวน 7 ดวง ที่มี Forward Voltage ดวงละ 3.2-3.8 V และมี Forward Current ประมาณ 700-1000 mA สำหรับหน้าที่ในส่วนของ Function Generator จะทำการปล่อยสัญญาณเพื่อควบคุมสัญญาณทั้งวงจรโดยใช้กระแสที่ขาเบส I_B และ R_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดกระแสของกระแสที่ขาเบส I_B และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ขาเบสจะทำให้ความต่างศักย์ของขาคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ลดลง ส่งผลให้มีกระแสไหลจากขาคอลเล็กเตอร์ไปสู่ขาอีมิเตอร์ เกิดความต่างศักย์และทำให้มีกระแสไหลผ่านหลอด LED ที่ได้รับไฟเลี้ยงมาจาก V_{CC} ที่มีค่า 32 V หลอด LED จึงติด



รูปที่ 3.1 วงจรภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.1.1.1 การหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

เราจะสามารถหาค่า R_C ได้จาก ค่ากระแสที่ใช้กับโพลตและเหมาะสมสำหรับทรานซิสเตอร์

$$R_C = \frac{(V_{CC} - V_f)}{I_C} \quad (3.1)$$

โดยที่ R_C คือตัวต้านทานที่ขาคอลเล็กเตอร์

V_{CC} คือแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร

V_f คือแรงดันตกคร่อมที่โพลตต้องใช้ในการทำงาน

I_C คือกระแสที่ขาคอลเล็กเตอร์

เมื่อใช้ I_C เท่ากับ 800 mA จะได้

$$R_C = \frac{(32 - (3.5 \times 7))}{800 \times 10^{-3}}$$

$$R_C = 9.75 \Omega$$

จากนั้นจะสามารถหาค่า R_B จาก I_B

$$I_C = \beta I_B \quad (3.2)$$

โดยที่ I_B คือกระแสที่ขาเบส
 β คือกำลังหรืออัตราขยาย (ดูจาก Datasheet ของอุปกรณ์)

ในที่นี้เมื่อใช้ I_C เท่ากับ 800 mA จะใช้ค่า β เท่ากับ 25 จะได้

$$I_B = \frac{800 \times 10^{-3}}{25}$$

$$I_B = 32 \text{ mA}$$

จะหาค่า R_B ได้

$$R_B = \frac{(V_{\text{input}} - V_{BE})}{I_B} \quad (3.3)$$

โดยที่ V_{input} คือแรงดันควบคุมจาก Arduino
 V_{BE} คือแรงดันตกคร่อมขาเบสและอิมิตเตอร์

เมื่อ V_{input} เท่ากับ 5 V และ V_{BE} เท่ากับ 0.7 V จะได้

$$R_B = \frac{(5 - 0.7)}{32 \times 10^{-3}}$$

$$R_B = 134.3 \ \Omega$$

$$R_B \approx 120 \ \Omega$$

เมื่อประมาณค่า R_B ใหม่ จะทำให้ได้ค่า I_B และ I_C ใหม่เป็น 35.8 mA และ 0.895 A ตามลำดับ ดังนั้นจะหาค่าของแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์จากความต่างศักย์ที่ตัวต้านทาน R_C (V_{RC})

$$V_{RC} = I_C R_C \quad (3.4)$$

จะได้ $V_{RC} = 0.895 \times 9.75$

$$V_{RC} = 8.7263 \text{ V}$$

แรงดันตกคร่อมรอยต่อขาคอลเล็กเตอร์และอีมีตเตอร์

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} \quad (3.5)$$

จะได้ $V_{CE} = 32 - 8.7263$

$$V_{CE} = 23.2737 \text{ V}$$

ค่ากระแสที่ขาอีมีตเตอร์ (I_E)

$$I_E = I_C + I_B \quad (3.6)$$

จะได้ $I_E = (0.895) + (35.8 \times 10^{-3})$

$$I_E = 0.9308 \text{ A}$$

ซึ่ง I_E ที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่า I_C

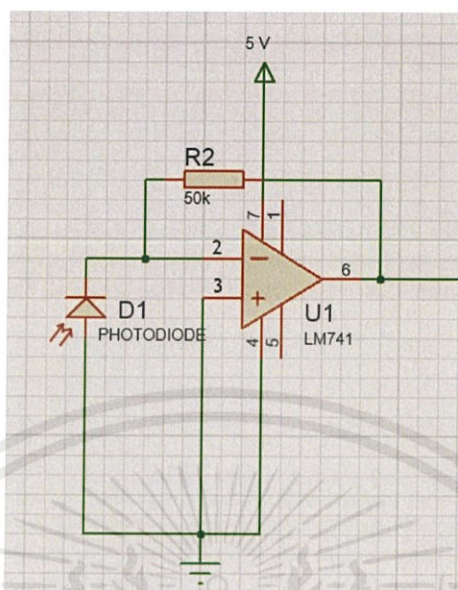
3.1.2 การคำนวณวงจรภาครับ

การคำนวณหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องภายในวงจรภาครับสัญญาณของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร เพื่อให้วงจรภาครับสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับวงจรนี้เป็นวงจรที่ทำการรับสัญญาณแสงจากหลอดแอลอีดี (LED) โดยใช้อุปกรณ์รับแสงที่เรียกว่า โฟโตไดโอด นำมาใช้เพื่อเปลี่ยนแสงไฟที่รับให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้าและจากนั้นจึงเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันรวมทั้งทำการขยายสัญญาณโดยการใช้อปแอมป์

วงจรภาครับแบ่งการคำนวณเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ได้จากโฟโตไดโอดให้กลายเป็นแรงดัน และส่วนที่สองเป็นการขยายสัญญาณ

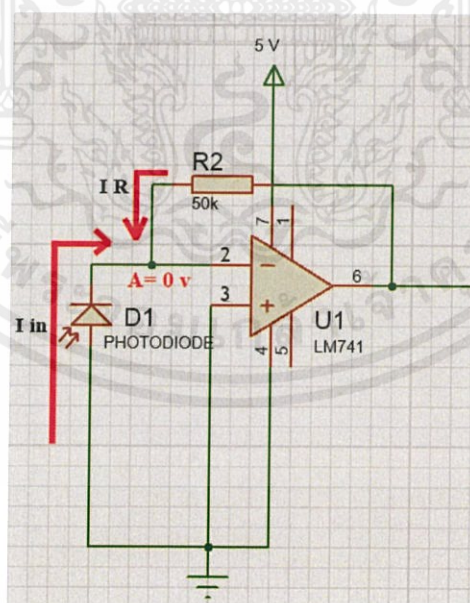
3.1.2.1 การคำนวณการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ให้กลายเป็นแรงดัน

วงจรส่วนนี้มีอุปกรณ์ที่ใช้ คือโฟโตไดโอด ตัวต้านทาน และอปแอมป์ในการช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากกระแสไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอินพุต ให้มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 3.2 วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

จากรูปที่ 3.2 สามารถคำนวณหาค่าสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นแรงดันได้จากหลักการการเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันของการใช้วงจรขยาย transresistance



รูปที่ 3.3 โหนดและทิศทางการไหลของกระแสในวงจรส่วนที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 ที่แสดงถึงโหนดและทิศทางการไหลของกระแสในวงจรส่วนที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน ทำให้สามารถที่จะคำนวณหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้โดยกำหนดให้ เป็น KCL ที่โหนด A และ $A = 0 \text{ V}$ จาก

$$I_{in} = I_R \quad (3.7)$$

$$I_{in} = \frac{0 - V_{OUT}}{R} \quad (3.8)$$

โดยที่ I_{in} คือกระแสอินพุตจาก โฟโตรีโอด

V_{OUT} คือแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร

R คือตัวต้านทาน

เมื่อใช้ค่าตัวต้านทาน (R) $50 \text{ k} \Omega$ และให้กระแสอินพุตมีค่าเท่ากับ $9.1 \mu\text{A}$ จะได้

$$V_{OUT} = -I_{in} \times R \quad (3.9)$$

หรือ

$$V_{OUT} = I_{PD} \times R \quad (3.10)$$

โดยที่ I_{PD} คือกระแสของโฟโตรีโอด

$$V_{OUT} = 9.1 \times 10^{-6} \times 50,000$$

ดังนั้น

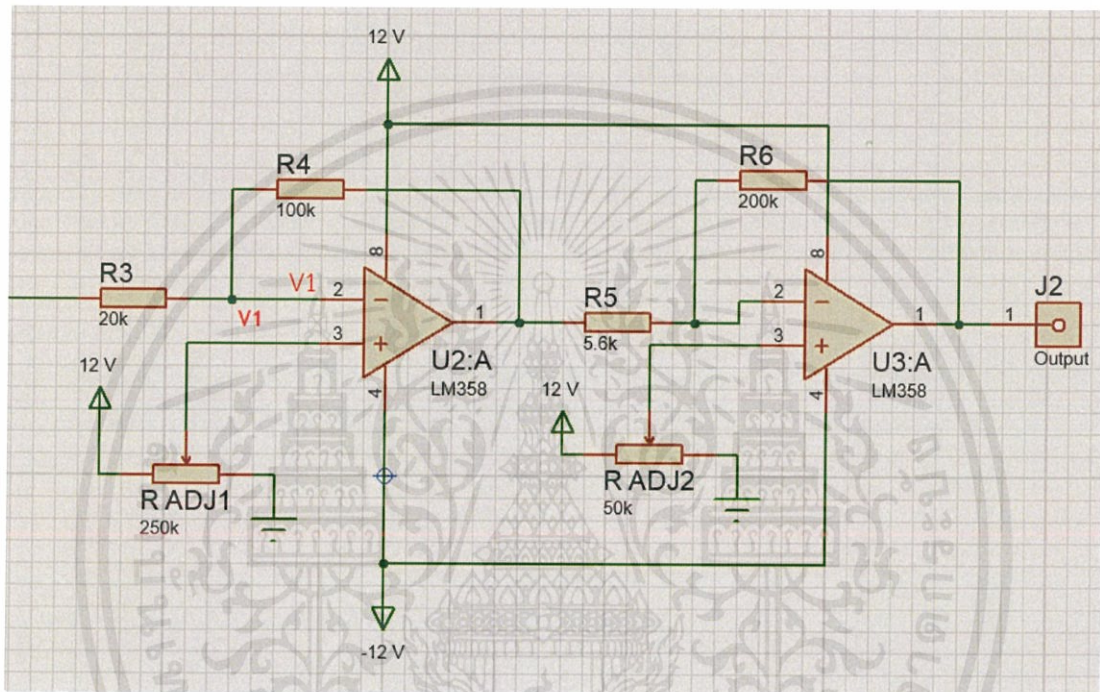
$$V_{OUT} = 0.455 \text{ V}$$

ตารางที่ 3.1 ผลการคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ที่แต่ละระยะทาง

ระยะทาง (cm)	กระแสอินพุต (μA)	แรงดันเอาต์พุต (V)
50	9.1	0.455
100	5.1	0.255
150	3.1	0.155
200	2.2	0.110
250	1.9	0.095
300	1.2	0.060
350	1.1	0.055
400	1.0	0.050

3.1.2.2 การคำนวณการขยายแรงดัน

วงจรส่วนนี้มีส่วนช่วยในการขยายสัญญาณแรงดันที่ได้รับมากจากวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณแรงอินพุต ให้มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณภาครับ

จากรูปที่ 3.4 สามารถคำนวณหาค่าสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นแรงดันได้จากหลักการการขยายสัญญาณของออปแอมป์ โดยเมื่อมีกระแสไหลเข้าสู่ขา 2 ของออปแอมป์ LM358 ตัวแรกนับจากทางด้านซ้าย และมีกระแสอีกตัวไหลจากจุด B ไปยังขา 1 ของออปแอมป์ และทำให้เกิดสัญญาณแรงดันทางเอาต์พุตที่ถูกขยายขึ้น สามารถที่จะคำนวณหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้

กำหนด KCL ที่โหนด V1 ทำให้

$$I_1 = I_2 \quad (3.11)$$

$$\frac{V_{in} - V_B}{R4} = \frac{0 - V_{OUT}}{R5} \quad (3.12)$$

เนื่องจาก $V_1 = 0$ ทำให้

$$\frac{V_{in} - 0}{R4} = \frac{0 - V_{OUT}}{R5} \quad (3.13)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -\frac{R5}{R4} \quad (3.14)$$

เมื่อให้ $R4$ เป็น $20k \Omega$ และ $R5$ เป็น $200k \Omega$ จะได้

$$\text{Gain} = \frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -\frac{200k}{20k}$$

$$\text{Gain} = \frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -10$$

$$V_{OUT} = -\frac{V_{in}}{20k} \times 200k$$

ยกตัวอย่างการคำนวณเมื่อ V_{in} มีค่าเท่ากับ 0.455 V

จะได้
$$V_{OUT} = -\frac{0.455}{20k} \times 200k$$

$$V_{OUT} = 4.550 \text{ V}$$

สำหรับการคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องของออปแอมป์ตัวถัดมาฝั่งขวา ในรูปที่ 3.4 นั้นจะคล้ายคลึงกันกับออปแอมป์ตัวฝั่งซ้าย แต่มีการเปลี่ยนแปลงแค่ค่าตัวต้านทานเท่านั้น โดยที่ให้

$$\frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -\frac{R7}{R6} \quad (3.15)$$

เมื่อให้ $R6$ เป็น $5.6k \Omega$ และ $R7$ เป็น $100k \Omega$

จะได้
$$\frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -\frac{100k}{5.6k}$$

$$\text{Gain} = \frac{V_{OUT}}{V_{in}} = -17.857$$

ยกตัวอย่างการคำนวณเมื่อ V_{in} มีค่าเท่ากับ 18.800 V

$$\text{จะได้ } V_{OUT} = -\frac{(-4.550)}{5.6k} \times 100k$$

$$V_{OUT} = 81.250 \text{ V}$$

ตารางที่ 3.2 ผลการคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ส่วนขยายสัญญาณที่แต่ละระยะทาง

ระยะทาง (cm)	แรงดันอินพุต (V)	แรงดันเอาต์พุตออปแอมป์ที่มีเกนเท่ากับ	
		10 (V)	17.857 (V)
50	0.455	4.550	81.250
100	0.255	2.550	45.535
150	0.155	1.550	82.142
200	0.110	1.100	27.678
250	0.095	0.950	16.964
300	0.060	0.600	10.714
350	0.055	0.550	9.821
400	0.050	0.500	8.928

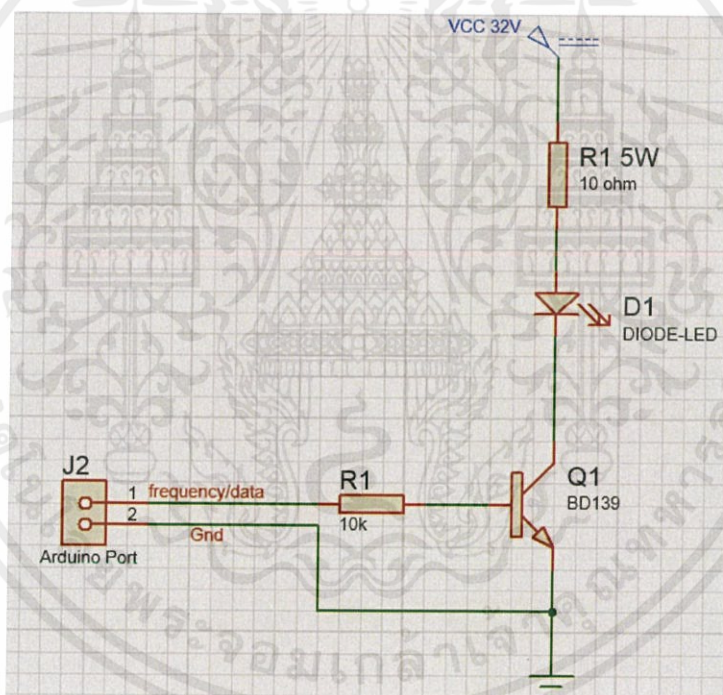
หมายเหตุ แต่เนื่องจากแรงดันไฟใน(ไฟเลี้ยง) มีค่าเป็น 12 V ดังนั้นจึงทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจากออปแอมป์ มีค่าสูงสุดเพียง 12 V เท่านั้น

3.1.3 การออกแบบเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

การออกแบบเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้นมีความสำคัญกับชิ้นงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากการทำให้อุปกรณ์ทุกตัวเชื่อมต่อกันและสามารถส่งสัญญาณเข้าออกในอุปกรณ์ทุกตัวได้ เพื่อสร้างสัญญาณจากฝั่งส่ง แพร่ออกไปได้อย่างเสถียรและการรับสัญญาณในฝั่งรับเพื่อเอาไปเปลี่ยนแปลงให้สมบูรณ์ขึ้นเพื่อไปใช้ในการประมวลผลนั้นคงที่ขึ้น การออกแบบจะประกอบไปด้วย การต่อวงจรทั้งภาคส่งและภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร การออกแบบลายวงจรจนกระทั่งเป็นแผ่นวงจร

3.1.3.1 การสร้างแผนผังวงจรไฟฟ้าของวงจรภาคส่ง

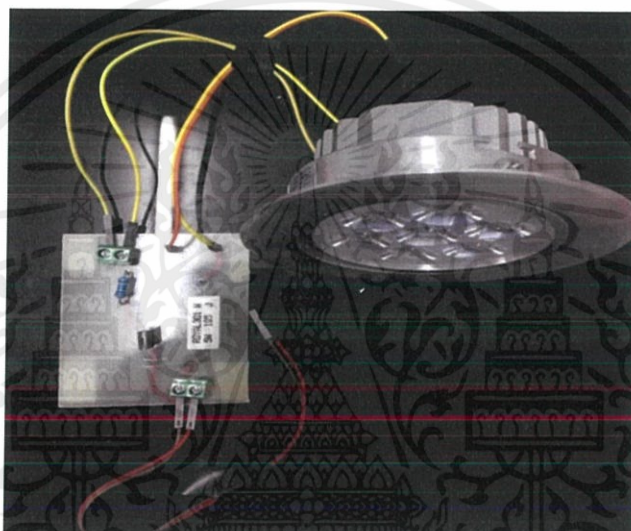
การสร้างแผนผังวงจรไฟฟ้าภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Altium Designer โดยในวงจรภาคส่งนี้ อุปกรณ์หลักจะประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน หลอดแอลอีดี และทรานซิสเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมสัญญาณขาออกที่เป็นแสงจาก หลอดแอลอีดีได้จากการนำความถี่มาควบคุมวงจรผ่านทางตัวต้านทานที่ต่ออยู่ฝั่งขาเบสของ ทรานซิสเตอร์ ซึ่งตัวต้านทานที่ขาเบสจะช่วยในการจำกัดกระแสไม่ให้ไหลมากเกินไป ทั้งนี้ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขา CE ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับว่ามีกระแสไฟฟ้าที่ขา B หรือไม่ เมื่อมี กระแสไฟฟ้าที่ขา B ก็จะมีกระแสไฟฟ้าจาก Vcc ไหลผ่านขา CE และ LED ด้วย ส่วน Rc มีไว้จำกัด กระแสที่จะไหลผ่าน LED ไม่ให้มากเกินไป ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังวงจรไฟฟ้าภาคส่งของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.1.3.2 การสร้างวงจรภาคส่ง

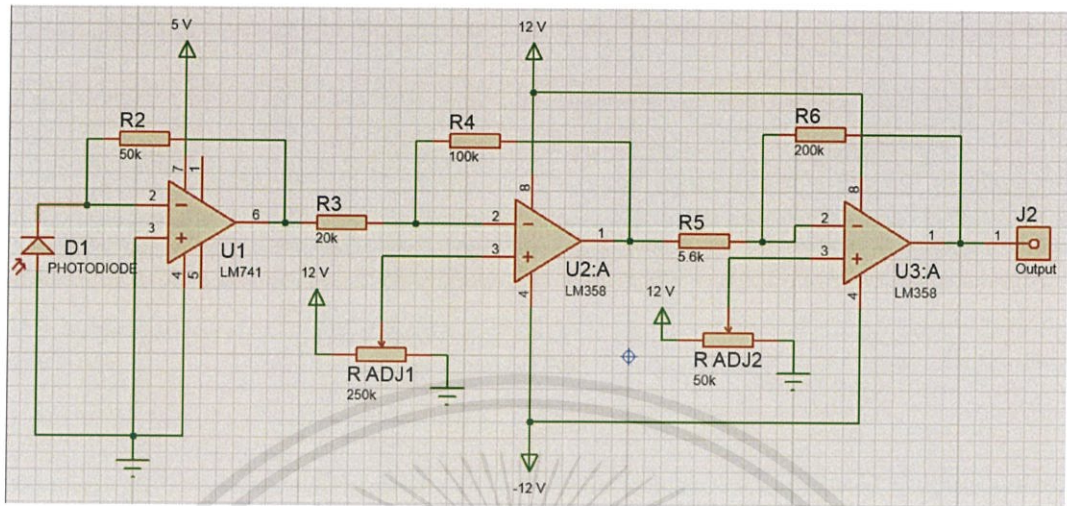
วงจรภาคส่งแผ่นพีซีบีของวงจรภาคส่งนี้ทำมาจากแผ่นทางแดงที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่ต้องการในวงจร โดยการสร้างเริ่มจากการนำแผ่นพีซีบี มาคัดลอกให้มีลายของวงจรแล้วนำไปกัดปรินท์เพื่อให้ลายทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออกด้วยน้ำยากัดปรินท์ จากนั้นนำมาเจาะรูตามลายวงจรเพื่อให้สามารถนำขาของอุปกรณ์เชื่อมกับลายทองแดงได้ต่อมาจึงบัดกรีตะกั่วเพื่อเชื่อมอุปกรณ์ให้เชื่อมกับทั้งแผ่นพีซีบีและลายทองแดงได้ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรภาคส่ง

3.1.3.3 การสร้างแผนผังวงจรไฟฟ้าของวงจรภาครับ

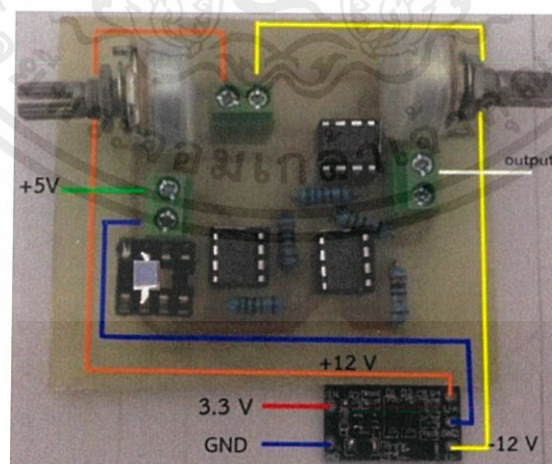
การสร้างแผนผังวงจรไฟฟ้าภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Altium Designer ในการสร้างแผนผังวงจรไฟฟ้าภาครับ โดยในวงจรภาคส่งนี้ อุปกรณ์หลักจะประกอบไปด้วยออปแอมป์ LM741 ที่ทำหน้าที่ร่วมกับโพโต้ไดโอดและตัวต้านทานในการเป็นวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันและออปแอมป์ LM358 ใช้เป็นตัวขยายสัญญาณแรงดันให้มีขนาดมากขึ้นจนเหมาะสมสามารถนำไปประมวลผลและมีตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อลดแรงดันออฟเซตที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังวงจรไฟฟ้าภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.1.3.4 การสร้างวงจรภาครับ

วงจรภาคส่งแผ่นพีซีบีของวงจรภาคส่งนี้ทำมาจากแผ่นทางแดงที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่ต้องการในวงจร โดยการสร้างเริ่มจากการนำแผ่นพีซีบี มาคัดลอกให้มีลายของวงจรแล้วนำไปกัดปรินท์เพื่อให้ลายทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออกด้วยน้ำยากัดปรินท์ จากนั้นนำมาเจาะรูตามลายวงจรเพื่อให้สามารถนำขาของอุปกรณ์เชื่อมกับลายทองแดงได้ต่อมาจึงบัดกรีตะกั่วเพื่อเชื่อมอุปกรณ์ให้เชื่อมกับทั้งแผ่นพีซีบีและลายทองแดงได้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มระยะในการส่งข้อมูล

3.1.4.1 การเลือกใช้โฟโตไดโอด

การเลือกใช้โฟโตไดโอดให้เหมาะสำหรับการใช้งานเราควรเลือกรูปแบบจากปัจจัยอย่างแรกคือชนิดของแสงเพราะโฟโตไดโอดนั้นมีหลากหลายชนิดและแต่ละชนิดจะรับแสงคนละประเภทกัน เช่น โฟโตไดโอดที่สามารถรับแสงได้เฉพาะแสงที่อยู่ในย่านความถี่ตาเรามองเห็นได้ (Visible light) โฟโตไดโอดที่สามารถรับแสงได้เฉพาะแสงอินฟราเรด (Infrared) หรือชนิดที่สามารถรับได้ทั้งแสงที่ตาเรามองเห็นและแบบแสงอินฟราเรด ถ้าหากเราเลือกใช้ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานของเราก็จะส่งผลให้เกิดสัญญาณเอาท์พุตที่เป็นกระแสออกมาได้

ปัจจัยอย่างที่สองที่ต้องคำนึงคือพื้นที่ในการรับแสง ในทุกวันนี้โฟโตไดโอดมีอยู่หลากหลายแบบทั้งแบบหลอดกลม ที่มีลักษณะคล้ายกับแอลอีดีชนิด lamp type ซึ่งโฟโตไดโอดแบบนี้จะมีพื้นที่รับแสงได้น้อยและสามารถรับได้เฉพาะเป็นจุดพื้นที่เล็กๆเท่านั้น และอีกแบบหนึ่งคือเป็นชนิดที่เป็นตัวแบน ที่มีทั้งแบบกลมและแบนแบบเหลี่ยมจะเพิ่มพื้นที่ในการรับแสงมากขึ้นกว่าแบบหลอดกลม

ปัจจัยอย่างที่สามคือคุณสมบัติของอุปกรณ์ใน Datasheet ของโฟโตไดโอด ส่วนสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการจะรับ ระยะเวลาการ swichting แรงดันไบแอสกลับ หรือความสามารถในการบล็อกแรงดันไฟฟ้าในวงจร DC (reverse voltage) กระแสที่ถูกผลิตขึ้นหรือผ่านมาจากอุปกรณ์ไวต่อแสง (Photocurrent) พื้นที่ที่ไวต่อแสงของอุปกรณ์ (A) กระแสไฟตกค้างที่ไหลในอุปกรณ์ เมื่อไม่ได้รับแสงสว่าง (Dark current) ความไวต่อ spectral ของอุปกรณ์ rise-falltime พลังงานแสงขั้นต่ำที่ต้องใช้สำหรับเอาท์พุต และขีดจำกัดของการตรวจจับ

3.1.4.2 การเพิ่มจำนวนออปแอมป์

การเพิ่มจำนวนออปแอมป์ในวงจรภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร เพิ่มจำนวนเพื่ออัตราการขยายแรงดัน หรือเกนให้มากขึ้นเพื่อที่จะทำให้แรงดันทางฝั่งอินพุตที่มีค่าน้อยมากนั้นให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมหลายเท่าตัว แต่ด้วยเหตุผลที่นั่นว่าเราจะเพิ่มเกนการขยายนั้นจะต้องใช้ตัวต้านทานที่มีค่ามากๆซึ่งถ้าหากเราใช้ตัวต้านทานที่มีค่ามากจนเกินไปอาจจะทำให้เกิดผลเสียมากกว่าข้อดี คืออาจจะ Loss หรือสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น

ดังนั้นเราจึงทำการเพิ่มจำนวนของออปแอมป์ให้มากขึ้นโดยการนำเอาที่พุดของออปแอมป์ตัวหนึ่งต่อเพื่อให้เป็นอินพุตของออปแอมป์อีกตัวและใช้ค่าความต้านทานที่จะเป็นอัตราขยายให้อยู่ในช่วงของค่าที่ไม่สูงมากจนเกินไป

สำหรับการต่อเรียงกันนั้น เพื่อเพิ่มอัตราขยายของวงจรทั้งระบบ และอินพุตของออปแอมป์แต่ละตัวจะถูกขยายมาจากตัวออปแอมป์ที่อยู่ภาคก่อนหน้าตัวมันเอง ลักษณะพิเศษที่เป็นข้อดีของออปแอมป์คือ การนำมาต่อแบบเรียงกัน ไม่มีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์แต่ละตัว อัตราขยายทั้งหมดวงจรเมื่อออปแอมป์ต่อเรียงกันมีค่าเท่ากับผลคูณของอัตราขยายของออปแอมป์แต่ละตัว แม้ว่าการนำออปแอมป์มาต่อเรียงกัน จะไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะเฉพาะของออปแอมป์แต่ละตัว แต่ในการเลือกค่าอินพุตและการออกแบบวงจรต้องพิจารณาเงื่อนไขที่จะไม่ส่งผลให้ออปแอมป์ภายในวงจรโดยรวมทำงานในภาวะอิ่มตัวด้วย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 โฟโตไดโอด Vishay BPW34

โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่นำกระแสได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวอุปกรณ์หรือเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้ และเป็นอุปกรณ์ที่มีอิมพีแดนซ์สูง เหมาะสำหรับทำงานในวงจรกำลังไฟฟ้าต่ำ รวมถึงมีการตอบสนองในการทำงานเป็นเชิงเส้นและความไวในการทำงานสูงกว่า LDR โดยใช้เวลาในการตอบสนองการทำงานเพียง 200 ns



รูปที่ 3.9 โฟโตไดโอด Vishay BPW34 [14]

จากรูปที่ 3.9 โฟโตไดโอด BPW34 เป็นโฟโตไดโอดแบบมีขา (PIN photodiode) มีความเร็วและความไวสูงแม้จะมีขนาดเล็ก มีลักษณะแบน ใช้งานโดยรับแสงจากทางด้านบนของอุปกรณ์ มีการใช้พลาสติกใสเป็นตัวห่อหุ้มอุปกรณ์ ตัวโฟโตไดโอด BPW34 มีความไวต่อแสงที่ตา

มองเห็นได้และช่วงความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของแสงอินฟราเรด ประมาณ $0.75\text{-}2\ \mu\text{m}$ เป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทที่ถูกหุ้มด้วยตะกั่ว มีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) $5.4\times 4.3\times 3.2$ ในหน่วยมิลลิเมตร พื้นที่ที่ไวต่อแสง $7.5\ \text{mm}^2$ ความไวแสงสูง เวลาในการตอบสนองรวดเร็ว

3.2.2 แอลอีดีไฮพาวเวอร์ขนาด 3 วัตต์

แอลอีดีไฮพาวเวอร์เป็นหลอดไฟที่สามารถใช้กับกำลังไฟสูง หลอดชนิดนี้ใช้กับกระแสไฟที่มากกว่า $1\ \text{A}$ บางชนิดสามารถกระจายแสงได้มากกว่า $1\ \text{k lm}$ ขึ้นไป แต่ แอลอีดีไฮพาวเวอร์กับ แอลอีดีแบบ SMD ที่ไม่สามารถกระจายความร้อนด้วยตัวเองได้ ต้องมี HEAT SINK ที่ส่วนมากทำมาจากอะลูมิเนียมเพื่อที่กระจายความร้อน



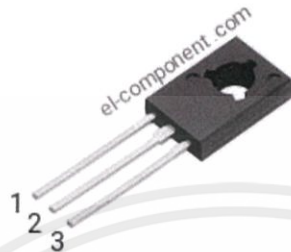
รูปที่ 3.10 แอลอีดีไฮพาวเวอร์ขนาด 3 วัตต์ [15]

จากรูปที่ 3.10 แอลอีดีไฮพาวเวอร์ขนาด 3 วัตต์ มีลักษณะเป็นตัวชิปมีขอบกลม ด้านบนเป็นเลนส์นูน มีสีของแสงไฟเป็นสีขาว ที่มีอุณหภูมิสีอยู่ในช่วง $6000\text{-}6500\ \text{K}$ มีแรงดันไฟฟอว์เวิร์ดเท่ากับ $3.2\text{-}3.4\ \text{V}$ หลอดนี้ใช้กระแสไฟฟ้า $700\text{-}1000\ \text{mA}$ มีมุมของแสงที่ส่องสว่างผ่านหน้าเลนส์เป็น $120\text{-}140$ องศา ความสว่างที่หลอดไฟอยู่ในช่วง $200\text{-}220\ \text{lm}$ อายุการใช้งานไม่ต่ำกว่า $50,000$ ชั่วโมง

3.2.3 ทรานซิสเตอร์ BD139

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ Semiconductor ชนิดหนึ่ง หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถเป็นทั้งตัวนำและฉนวนได้ในตัวเดียวกัน มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (ทั้งอนุญาตให้ไหล และบล็อกไม่ให้ไหลผ่าน) มีการทำงานคล้ายกับไดโอด แต่ทรานซิสเตอร์มีประโยชน์

มากกว่า เพราะสามารถควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าได้และ ความสามารถนี้เกิดขึ้นได้เพราะสารกึ่งตัวนำภายในตัวทรานซิสเตอร์



BD139 pinout

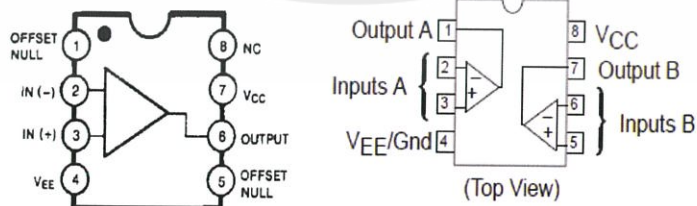
1. Emitter
2. Collector
3. Base

รูปที่ 3.11 ทรานซิสเตอร์ BC139 [16]

จากรูปที่ 3.11 ทรานซิสเตอร์ BD139 มีขั้วทรานซิสเตอร์แบบ NPN ค่าแรงดันสูงสุดระหว่างขาคอลเลกเตอร์และขาอิมิตเตอร์เป็น 80 Vdc ค่าแรงดันสูงสุดระหว่างขาคอลเลกเตอร์และขาเบส 100 Vdc แรงดันระหว่างอิมิตเตอร์และขาเบส 5Vdc ค่ากระแสสูงสุดที่ขาคอลเลกเตอร์ 1.5 Adc ค่ากระแสสูงสุดที่ขาเบส 0.5 Adc อุณหภูมิในการทำงาน -55 ถึง 150 °C

3.2.4 ออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดหรือกำลังของสัญญาณ โดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุต แต่มีขนาดใหญ่กว่า ในความหมายนี้ ตัวขยายสัญญาณทำการกล้ำสัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมภายในของออปแอมป์ LM741 และ LM358 [17]

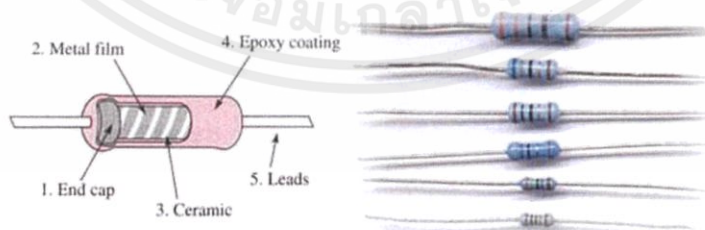
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 ไตอะแกรมภายในของออปแอมป์ LM741 และ LM358 เป็น วงจรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบ ลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออป แอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่ออนุกรมกัน ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจาก ลิเนียร์ไอซีต่างๆ ไปคือไอซีออปแอมป์มีขาอินพุท 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขา เดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้า ป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณ ทางด้านเข้า

3.2.5 ตัวต้านทานไฟฟ้า

ตัวต้านทานไฟฟ้า (Resistor) เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมา มีค่าเฉพาะค่าค่าหนึ่งที่ใช้ในการ ด้านการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้มากที่สุด มีตัวย่อ คือ R มีคุณสมบัติในการลด กระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ มีหน่วยเป็น โอห์ม (OHM) เขียนแทนด้วยเครื่องหมายอักษรกรีกโบราณ คือ Ω

ตัวต้านทานนั้นมีหลายแบบ ได้แก่ ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistors) ตัว ต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistors) ตัวต้านทานชนิดปรับแต่งค่าได้ (Adjustable Resistors) ตัวต้านทาน ชนิดแบ่งค่าได้ (Tapped Resistors) และตัวต้านทานชนิดพิเศษ (Special Resistors) ในการสร้างวงจรครั้งนี้ได้มีการใช้งานตัวต้านทาน 2 ชนิด คือ ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ และตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้



รูปที่ 3.13 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ [18]

จากรูปที่ 3.13 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ มีขั้นตอนการทำโดยการฉาบหมึก คาร์บอน ซึ่งเป็นตัวความต้านทานลงบนแท่งเซรามิก แล้วจึงนำไปเผา เพื่อให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มคาร์บอนขึ้นมา และตัวต้านทานชนิดปรับแต่งค่าได้ ข้อดีของตัวความต้านทานชนิดนี้คือ ราคาจะถูกกว่าแบบคาร์บอน แต่ไม่สามารถ ทนต่อแรงดันกระชากในช่วงสั้น ๆ



รูปที่ 3.14 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ [19]

จากรูปที่ 3.14 ตัวต้านทานชนิดเปลี่ยนค่าได้ความต้านทานชนิดที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ โดยการใช้แกนหมุน (แบบวงแหวน) หรือเลื่อนแกน (แบบสไลด์) จะใช้ในงานที่ต้องการปรับค่าความต้านทานบ่อยๆ ตัวต้านทานชนิดนี้จะมีหน้าคอนแทคสำหรับการหมุนเลื่อนหน้าคอนแทค

การใช้งานเป็นโพเทนทิโอมิเตอร์ (Potentionmeter) ใช้สำหรับควบคุม โวลต์เตจของ วงจร หรือใช้สำหรับปรับสัญญาณต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ นิยมเรียกกันว่า วอลุ่ม (Volume) มีทั้งชนิดที่เป็นแกนหมุน (Rotary) และชนิดที่เป็นแกนเลื่อน (Slide) ทำจากคาร์บอน จะมีค่าความต้านทาน ตั้งแต่ 1k ถึง 5M Ω อัตราการทนกำลังงานต่ำได้ประมาณ 1/2 – 2 วัตต์

ทริม พอท (Trim pot) หรือที่เรียกว่า วอลุ่มเกือกม้า เป็นวอลุ่มขนาดเล็กไม่มีแกนปรับ ส่วนมากจะถูกออกแบบให้ยึดติดแผ่นวงจร ภายในของเครื่องโดยมากจะเป็นชนิดผงคาร์บอน เขียนค่าความต้านทานไว้เป็นตัวเลข ถ้าต้องการปรับค่าจะต้องใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น ไขควงเล็ก

3.2.6 แผ่นวงจรพิมพ์ หรือ พีซีบี

แผ่นวงจรพิมพ์เป็นแผ่นที่สร้างด้วยพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการฉาบผิวด้วยทองแดงเต็มแผ่น ดังรูปที่ 3.15 และเมื่อต้องการใช้แผ่นวงจรพิมพ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องนำลายวงจรที่ต้องการมาทาบ หรือสกรีนลายลงบนแผ่นทองแดงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน จนเกิดลายบนทองแดง แล้ว

นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างลายเรียบร้อยแล้ว ไปจุ่มในน้ำยากัดแผ่นปรินท์ในช่วงระยะเวลา จนเริ่มเห็นลายวงจรที่ชัดเจนขึ้น นำไปล้างด้วยน้ำธรรมดา จะเห็นว่ามีส่วนลายทองแดงที่เด่นชัดขึ้น ทำการเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยน้ำยาเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์ นำมาเจาะรูเพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือประกอบกันเป็นวงจรแทนการต่อวงจรด้วยสายไฟ

รูปที่ 3.15 แผ่นพีซีบีแบบกลาสอีพอกซี (Glass Epoxy)

พีซีบี แบบนี้ในส่วนที่เป็นฉนวนซึ่งเป็นฐานของตัวนำคือแผ่นทองแดงบางๆ ทำมาจากเส้นใยแก้วถักทอกันเป็นแผ่น เมื่อทอใยแก้วเสร็จแล้วจึงอัดเป็นแผ่นด้วยส่วนผสมของอีพอกซีเรซิน แล้วจึงมาเคลือบแผ่นทองแดงบางๆติดกันด้วยกาวอีกครั้งหนึ่งทั้งด้านเดียวและสองด้าน เราจะเห็นพีซีบีชนิดนี้ได้ทั่วไปเช่นกัน มีทั้งแบบหน้าเดียว สองหน้า สองหน้าเพลททรูโฮล มัลติเลเยอร์ แผ่นพีซีบีชนิดนี้มีราคาที่ได้รับได้ และสะดวกในการซื้อหาและสั่งทำ มีความคงทน สามารถทำได้ทั่วไปหมด

3.2.7 สายจัม

สายจัมทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในวงจรจากฝั่งหนึ่งของสายเชื่อมไปยังอีกฝั่งที่เป็นโมดูลโดยมีการใช้สามจัมที่เป็นแบบผู้-ผู้และแบบผู้-เมีย ดังรูปที่ 3.16

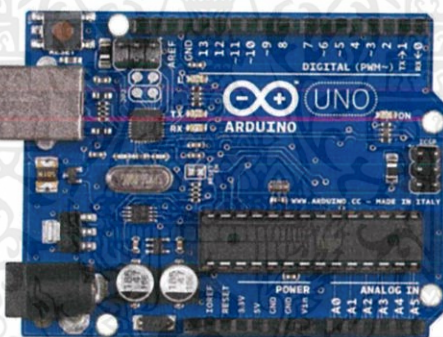


รูปที่ 3.16 สายจัมแบบผู้-ผู้ และแบบผู้-เมีย [20]

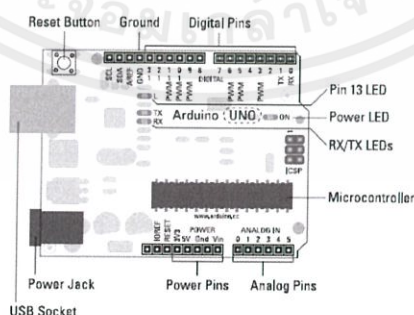
3.2.8 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ดังรูปที่ 3.17 เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย

Arduino UNO R3 แบ่งย่อยออกเป็น 2 แบบ ตามชนิดของชิป Microcontroller ที่ใช้ได้แก่ Arduino UNO R3 แบบธรรมดา จะใช้ชิป MCU แบบ DIP (Dual Inline Package) ซึ่งเป็นชิปที่เสียบเข้ากับ Socket อีกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ และ Arduino UNO R3 SMD จะใช้ชิป MCU แบบ SMD (Surface Mount Device) ซึ่งเป็นชิปที่ถูกบัดกรีติดลงบนบอร์ดเลย บอร์ดลักษณะนี้จะไม่สามารถถอดเปลี่ยนชิปได้ ซึ่งบอร์ดแบบ SMD จะมีต้นทุนที่ถูกกว่าจึงทำให้ราคาถูกกว่าบอร์ดแบบ DIP แต่ทั้งสองบอร์ดก็มีฟังก์ชัน สเปคและการใช้งานที่เหมือนกันทุกประการ โดยมีส่วนประกอบหลักของบอร์ด Arduino Uno R3 ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 บอร์ด Arduino Uno R3 [21]



รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบหลักของบอร์ด Arduino Uno R3 [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 Character LCD Display แบบ I2C

จอ Liquid crystal display (LCD) เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานกับระบบสมองกลฝังตัวอย่างแพร่หลาย หน้าจอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักษรเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

หน้าจอ LCD ที่มีการเชื่อมต่อแบบ I2C หรือเรียกอีกอย่างว่าการเชื่อมต่อแบบ Serial จะเป็นหน้าจอ LCD ธรรมดาทั่วไปที่มาพร้อมกับบอร์ด I2C Bus ที่ทำให้การใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นและยังมาพร้อมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ สำหรับปรับความเข้มของจอ ในรูปแบบ I2C จะใช้ขาในการเชื่อมต่อกับ Microcontroller เพียง 4 ขา (แบบ Parallel ใช้ 16 ขา) ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 Character LCD Display แบบ I2C [22]

ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอ LCD จะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD (I2C) เช่นเดียวกันกับจอ LCD แบบธรรมดาจอ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

- 1) GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
- 2) VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD มีขนาด +5VDC
- 3) SDA (Serial data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
- 4) SCL (Serial clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

3.2.10 มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์จัดเป็นหนึ่งในเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สำคัญและเป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานต่าง ๆ ในการวัดค่าทางไฟฟ้าพื้นฐานต่าง ๆ เช่น กระแส แรงดัน ตัวต้านทาน เป็นต้น โดยในมัลติมิเตอร์จะประกอบด้วยการทำงานหลายอย่างรวมกัน ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เครื่องมัลติมิเตอร์ [23]

3.2.11 ลักซ์มิเตอร์

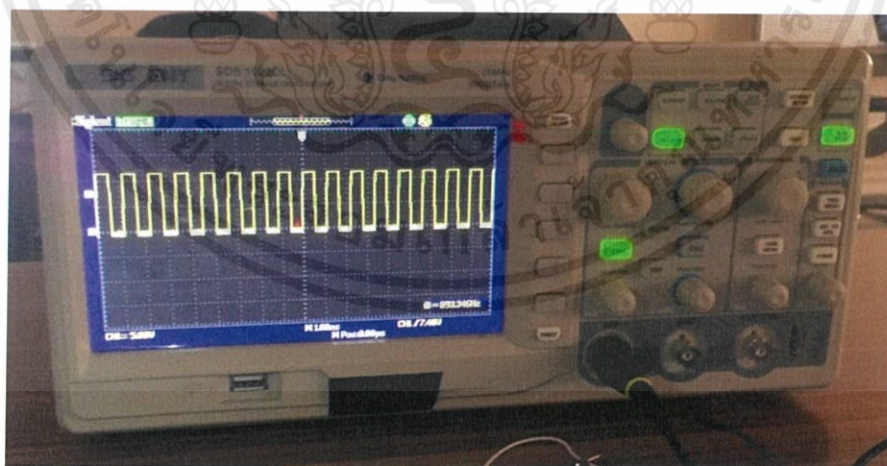
เครื่องวัดปริมาณของแสงที่มองเห็น (ความสว่าง) ในพื้นที่ที่กำหนดทดสอบ สว่างจะแสดงในหน่วยของ LUX (ตัวชี้วัด) และเทียนเท้า (อังกฤษ) Lux เป็นหน่วยมาตรฐานของการวัดความเข้มของแสง (ซึ่งยังสามารถเรียกว่า “ความสว่าง” หรือ “ความสว่าง”) 1 ลักซ์มีค่าเท่ากับ ความสว่างของพื้นผิวหนึ่งเมตรห่างจากเทียนเดียว หน่วยการวัดแสงสว่าง การวัดแสงโดยปกติจะใช้ลักซ์มิเตอร์โดยใช้เป็นวัดในแรงเทียน (ftcd, fc, FCD) (หรือลักซ์ในระบบ SI ตัวชี้วัด) เทียนเท้าเป็นจริงหนึ่งลูเมนของความหนาแน่นของแสงต่อตารางฟุต หนึ่งลักซ์เป็นหนึ่งในลูเมนต่อตารางเมตร ตัวอย่างลักซ์มิเตอร์ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องลักซ์มิเตอร์ [24]

3.2.11 ออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคป คือ เครื่องที่ใช้วัดสัญญาณไฟฟ้า คลื่นไฟฟ้า วัดค่าแรงดันของไฟฟ้า การใช้วัดความถี่ วัดเฟสของสัญญาณ และใช้สำหรับการวัดคาบเวลา ซึ่งออสซิลโลสโคปจะแสดงผลออกมาเป็นกราฟ ซึ่งจะแสดงผลผ่านหลอดภาพที่ฉาบด้วยฟอสเฟอร์ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.22 ออสซิลโลสโคป

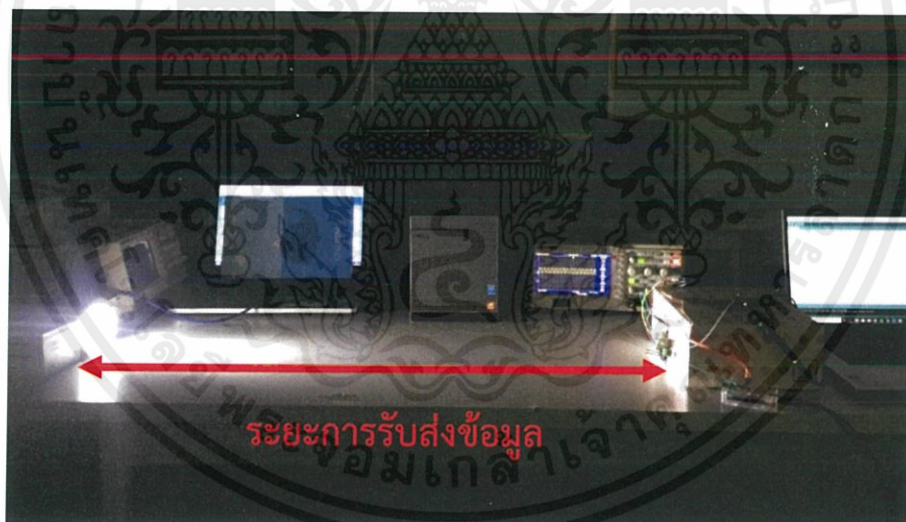
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

ในการจัดเก็บบันทึกผลการทดลอง ได้มีการทดสอบวัดระยะเวลาการรับส่งข้อมูล การทดสอบวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางที่มีการรับส่งข้อมูล และการทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.3.1 การทดสอบวัดระยะเวลาการรับส่งข้อมูล

การทดสอบระยะเวลาการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร จะทดสอบโดยป้อนสัญญาณเข้าไปทางภาคส่งเพื่อให้หลอดแอลอีดีเปล่งแสง และนำหลอดแอลอีดีไปเข้าใกล้บริเวณที่มีโฟโต้ไดโอดในทางภาครับ จะดูว่ามีการรับส่งข้อมูลจากการดูสัญญาณที่เกิดขึ้นโดยใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อมีการรับส่งข้อมูลจะทำการอ่านค่าระยะทางที่ได้ซึ่งจะใช้ตัวลบเมตรเป็นเกณฑ์และอ่านค่าจากตาเปล่า จากนั้นจะค่อยๆเคลื่อนหลอดแอลอีดีให้ไกลขึ้นเพื่อดูว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลขนาดไหน ดังรูปที่ 3.23



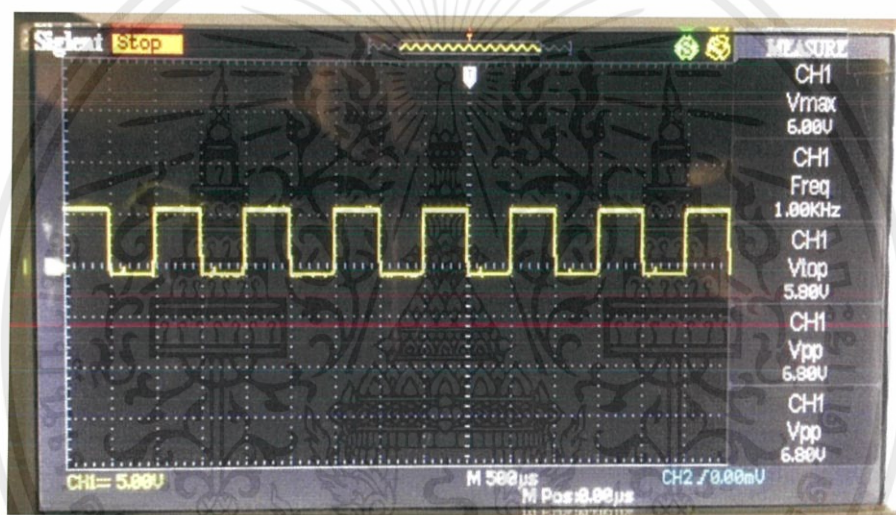
รูปที่ 3.23 การวัดระยะทางการรับส่งข้อมูล

3.3.2 การทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของภาครับ

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจะใช้ออสซิลโลสโคปซึ่งเป็นเครื่องมือในการวัดค่าแรงดันของสัญญาณไฟฟ้า โดยภาคส่งได้ทำการสร้างสัญญาณที่มีแอมพลิจูดขนาด 5 V ที่ความถี่ 1000 Hz และ

สัญญาณข้อมูล 8 บิต '01010101' ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในทางภาครับ เพื่อตรวจสอบสัญญาณที่ได้ทำการขยายแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ฟังก์ชัน measure ในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความถี่ที่วัดได้ ดังรูปที่ 3.24 พร้อมนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าก่อนที่จะทำการขยายแรงดันไฟฟ้าว่าสามารถขยายได้มากน้อยขนาดไหน สัญญาณที่ขยายได้ต้องเสถียรพอที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถตรวจจับข้อมูลได้ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งน้อยที่สุด

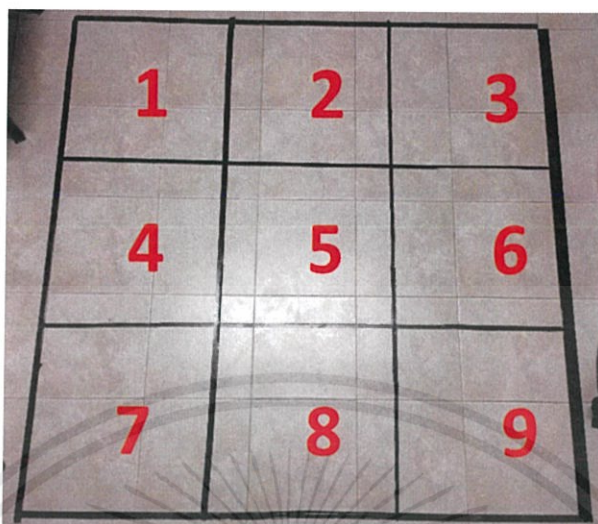
การวัดกระแสไฟฟ้า จะใช้มัลติมิเตอร์ในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า โดยอ่านค่าจากกระแสไฟฟ้าทางด้านรับที่โฟโต้ไดโอดรับได้ ซึ่งจะต่อมัลติมิเตอร์ให้อนุกรมระหว่างโฟโต้ไดโอดกับออปแอมป์ โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลจากโฟโต้ไดโอดไปออปแอมป์



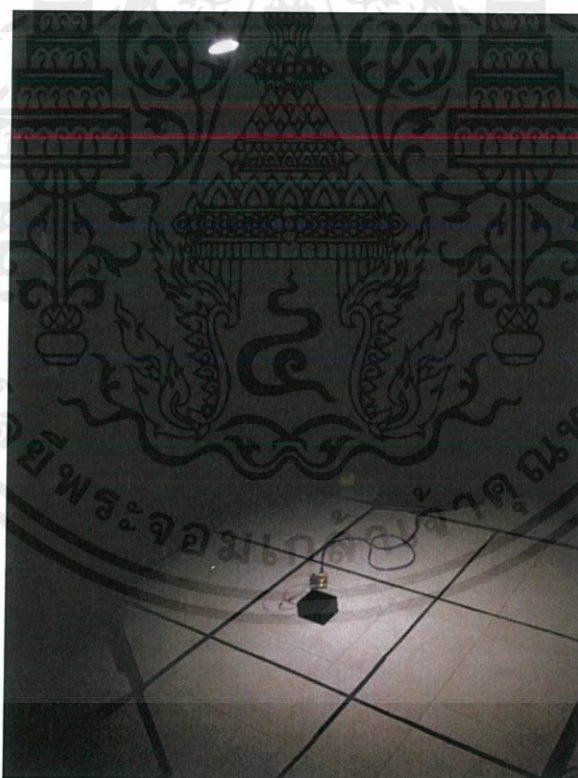
รูปที่ 3.24 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลโลสโคป

3.3.3 การทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูลภายในพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร

การทดสอบขอบเขตของการรับส่งข้อมูล จะใช้หลอดแอลอีดี 1 ดวง 7 วัตต์ ทดสอบในพื้นที่ 1.5 m² โดยจะแบ่งพื้นที่ที่ออกเป็นพื้นที่ย่อย 9 ส่วน ให้แต่ละส่วนมีขนาดพื้นที่ 0.5 m² เท่าๆกัน เพื่อทดสอบดูว่าพื้นที่ย่อยใดบ้างที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ ดังรูปที่ 3.25 ซึ่งจะทำการทดลองตั้งแต่ระยะการรับส่งข้อมูล 0.5 m ถึง 2 m ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 พื้นที่การทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 3.26 การทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูลภายในพื้นที่ 1.5 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เมื่อมีการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้น จะทำให้มีการแสดงตำแหน่งผ่านหน้าจอ LCD โดยภาคส่งได้ใช้โปรแกรม Arduino ในการสร้างสัญญาณให้หลอดแอลอีดีเพื่อทำให้แอลอีดีเปล่งแสงตามสัญญาณข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าไป และภาครับใช้โปรแกรม Arduino เพื่อใช้ในการอ่านค่าความถี่ของสัญญาณและอ่านค่าสัญญาณข้อมูล ถอดรหัสเป็นข้อมูลที่สามารถเข้าใจได้ที่ภาครับและทำการเปรียบเทียบความถี่และข้อมูลพร้อมแสดงผลไปยังหน้าจอ LCD ว่าสามารถระบุตำแหน่งได้หรือไม่

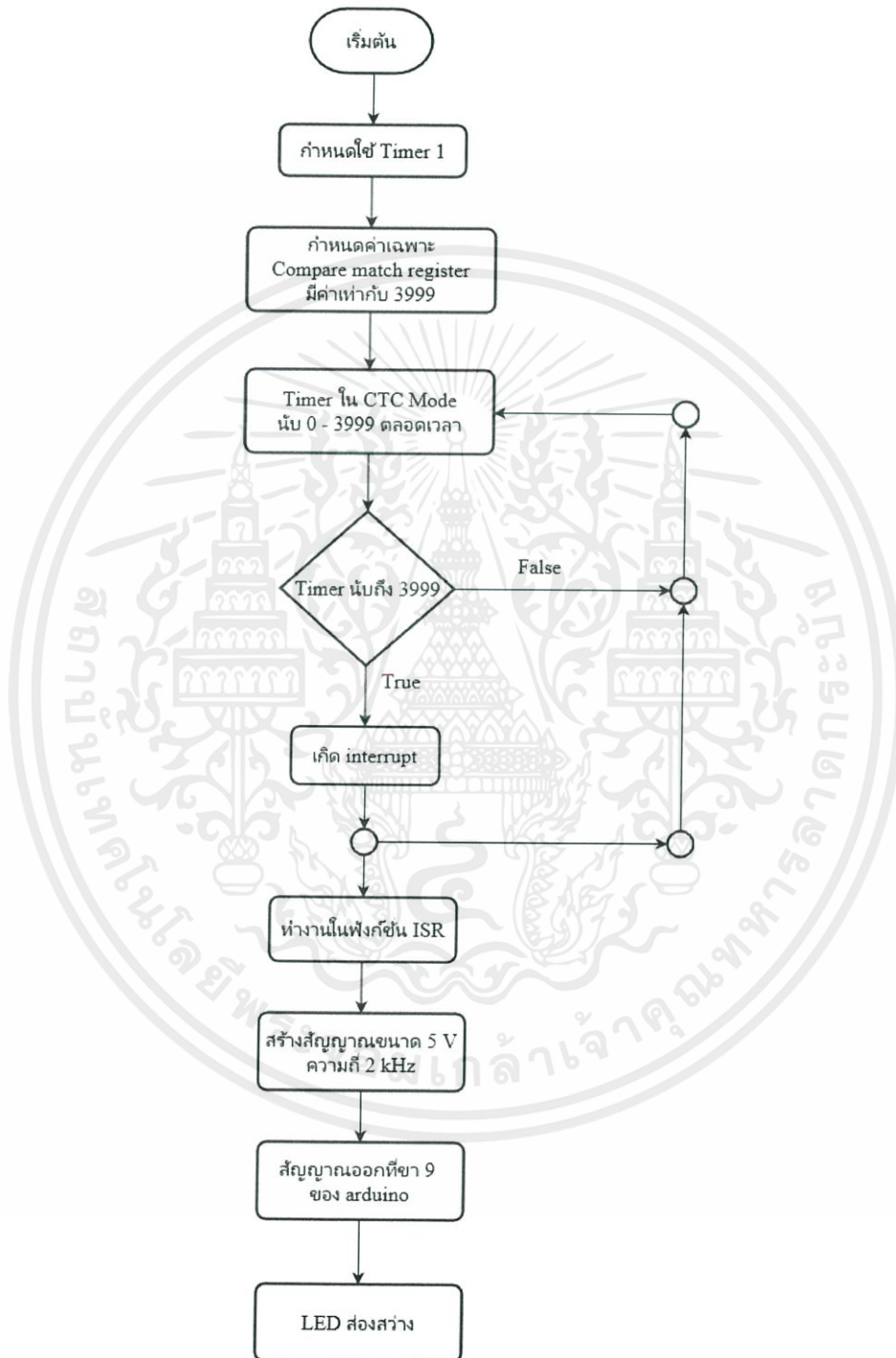
3.3.4.1 การสร้างสัญญาณวงจรรภาคส่งเมื่อระบุตำแหน่งจากความถี่

การเขียนโปรแกรมในการสร้างสัญญาณให้ภาคส่ง จะใช้โปรแกรม Arduino เพื่อที่จะสามารถกำหนดขนาดสัญญาณและความถี่ที่เลือกใช้ได้ โดยในการสร้างสัญญาณภาคส่งได้ใช้เทคนิค Timer Compare Interrupt เพื่อที่จะให้สัญญาณที่ออกมา มีขนาดของพัลส์และจำนวน sample ใน 1 วินาที เพี้ยนน้อยที่สุด เนื่องจาก Arduino มี 3 Timer ที่สามารถใช้งานได้ จึงให้สัญญาณความถี่ 1k Hz ใช้ Timer0 ความถี่ 2k Hz ใช้ Timer1 ความถี่ 4k Hz ใช้ Timer2 จากนั้นคำนวณหา ค่า compare match register โดยทำการย้ายข้างสมการที่ 2.3 จะได้

$$\text{compare match register} = \left[\frac{16,000,000\text{Hz}}{(\text{prescaler} \times \text{desired interrupt frequency} \times 2)} \right] - 1 \quad (3.16)$$

จากสมการที่ 3.16 จะได้ว่าเมื่อแทนค่าลงไปค่า compare match register ที่ความถี่ 1k Hz มีค่าเท่ากับ 124 ที่ความถี่ 2k Hz มีค่าเท่ากับ 3999 ที่ความถี่ 4k Hz มีค่าเท่ากับ 249 กำหนดค่า compare match register ในโปรแกรม การทำงาน Timer จะเริ่มนับตั้งแต่ 0 ไปจนถึงค่า compare match register ช่วงเวลาที่ค่า Timer ถูกเคลียร์เป็น 0 จะเกิดการ interrupt ขึ้นและไปทำงานต่อในฟังก์ชัน ISR ในขณะที่ Timer ก็ยังคงเริ่มนับใหม่ไปเรื่อยๆ เมื่อทำงานในฟังก์ชัน ISR ครอบรอบ cycle ก็จะไปยังคำสั่งหลัก โดยที่ในฟังก์ชัน ISR จะเป็นการกำหนดให้แอลอีดีมีสถานะเป็น High จะช่วยให้ไฟติด และกำหนดให้แอลอีดีมีสถานะเป็น Low จะทำให้ไฟดับ จะเห็นว่าไฟจะกระพริบตามข้อมูลที่ได้อ่านเข้าไปแต่เนื่องจากใช้ความถี่ที่มีค่าสูงมาก ทำให้มนุษย์ไม่สามารถแยกข้อมูลว่ามีการกระพริบด้วยตาเปล่าเห็น แผนภาพลำดับขั้นตอนการเขียนโปรแกรมภาคส่งที่ความถี่ 1k Hz, 2k Hz และ 4k Hz ดังรูปที่ 3.27, 3.28 และ 3.29 ตามลำดับ

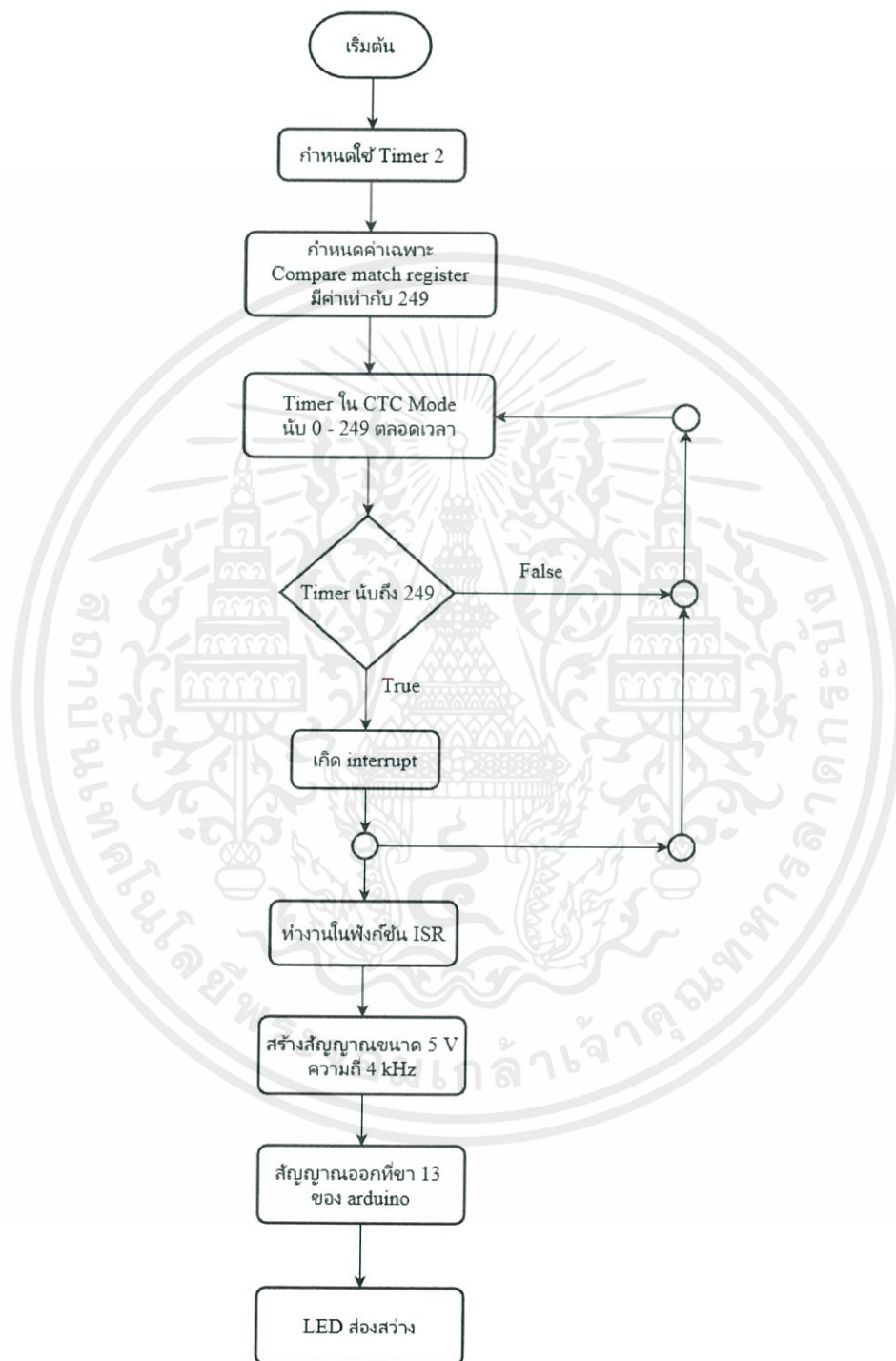
2) ความถี่ 2k Hz



รูปที่ 3.28 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของวงจรราคส่งที่ความถี่ 2k Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความถี่ 4k Hz



รูปที่ 3.29 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของวงจรราคส่งที่ความถี่ 4k Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 การสร้างสัญญาณวงจรถ่วงตำแหน่งจากสัญญาณข้อมูล

ในการสร้างสัญญาณข้อมูลนั้น จะต้องทำให้ข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล 8 บิต โดยข้อมูลแรกที่จะส่งไปคือตัวอักษร U ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของรหัส ASCII ตัวอักษรภาษาอังกฤษ เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบ binary จะได้เป็นบิต 01010101 ซึ่งเป็นข้อมูลแรกที่จะส่งไป

ข้อมูลที่ 2 คือตัวอักษร f ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของรหัส ASCII ตัวอักษรภาษาอังกฤษ เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบ binary จะได้เป็นบิต 01100110

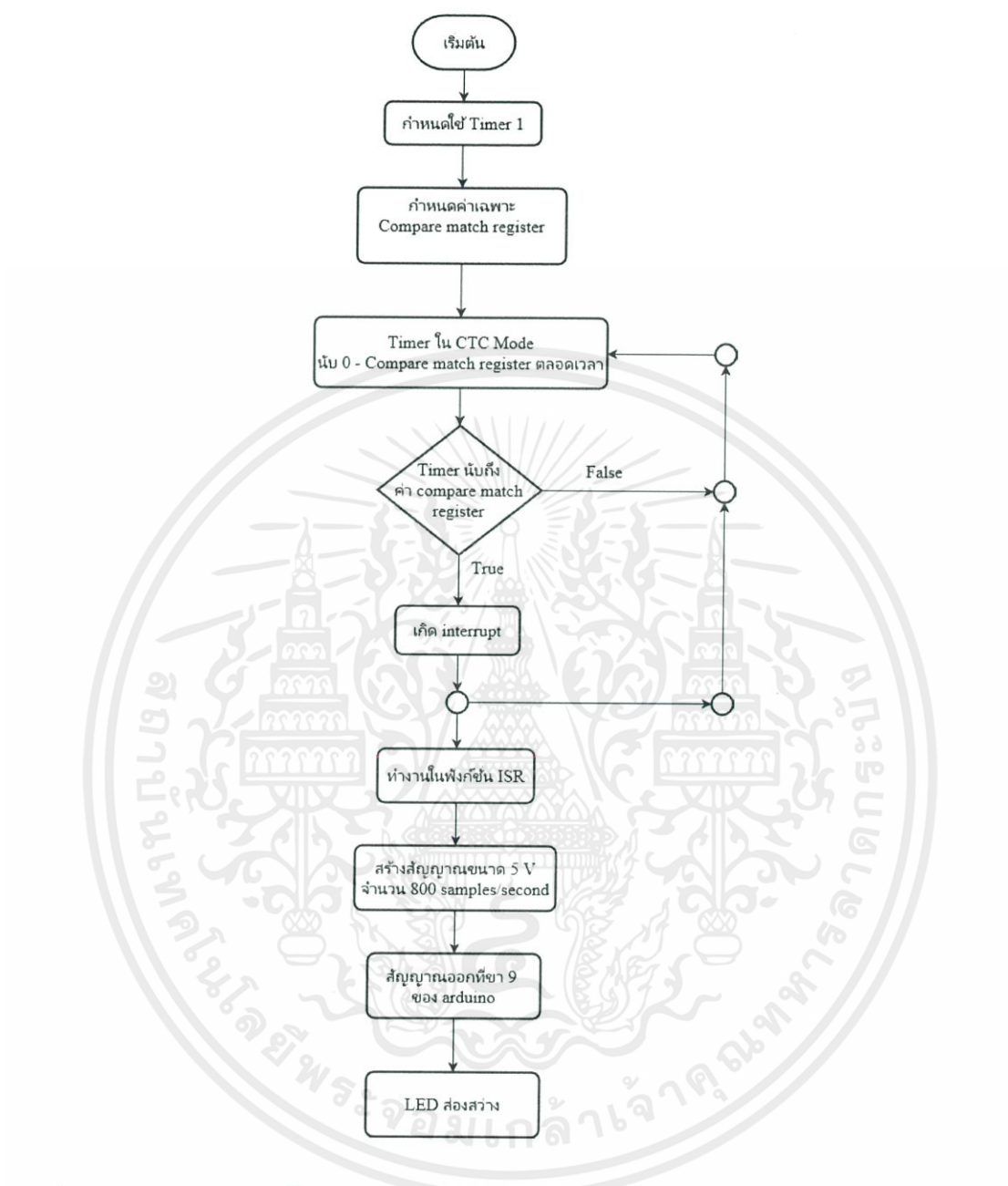
ข้อมูลที่ 3 คือตัวอักษร x ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของรหัส ASCII ตัวอักษรภาษาอังกฤษ เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบ binary จะได้เป็นบิต 01111000

เมื่อจะใช้เทคนิค Timer Compare Interrupt ในการสร้างสัญญาณ จะต้องกำหนดขนาดของพัลส์ ซึ่งจะกำหนดให้พัลส์มีความกว้าง 1250 μ s โดยจะกำหนดให้ sample ของสัญญาณเท่ากับ 800 sample ใน 1 วินาที เนื่องจากถ้า sample มีจำนวนมากเกินไป ทางภาครับอาจไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้

ในการสร้างสัญญาณข้อมูลโดยเทคนิค Timer Compare Interrupt นี้ จะสามารถใช้ได้แค่ Timer1 เนื่องจากถ้าใช้ Timer0 ค่า compare match register จะไม่เป็นจำนวนเต็มทำให้จำนวน sample คลาดเคลื่อนได้ และ Timer2 ไม่สามารถทำงานที่จำนวน sample เท่ากับ 800 ใน 1 วินาที จึงจำเป็นต้องใช้ Timer1 ในการทำงาน

การเขียนโปรแกรมขั้นแรกกำหนดค่า compare match register ในโปรแกรม การทำงาน Timer จะเริ่มนับตั้งแต่ 0 ไปจนถึงค่า compare match register ช่วงเวลาที่ค่า Timer ถูกเคลียร์เป็น 0 จะเกิดการ interrupt ขึ้น และไปทำงานต่อในฟังก์ชัน ISR ในขณะที่ Timer ก็ยังคงเริ่มนับใหม่ไปเรื่อยๆ เมื่อทำงานในฟังก์ชัน ISR ครอบรอบ cycle ก็จะกลับไปยังคำสั่งหลัก โดยที่ในฟังก์ชัน ISR จะเป็นการกำหนดให้แอลอีดีมีสถานะเป็น High จะช่วยให้ไฟติด และกำหนดให้แอลอีดีมีสถานะเป็น Low จะทำให้ไฟดับ

ไฟจะกระพริบตามข้อมูลที่ได้อ่านเข้าไปแต่เนื่องจากใน 1 วินาทีมีจำนวน sample ที่ค่อนข้างมาก ทำให้มนุษย์ไม่สามารถแยกข้อมูลที่มาจากหลอดแอลอีดี ไม่สามารถสังเกตว่ามีการกระพริบด้วยตาเปล่าเห็น แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของวงจรถ่วงตำแหน่งจากสัญญาณข้อมูลดังรูปที่ 3.30



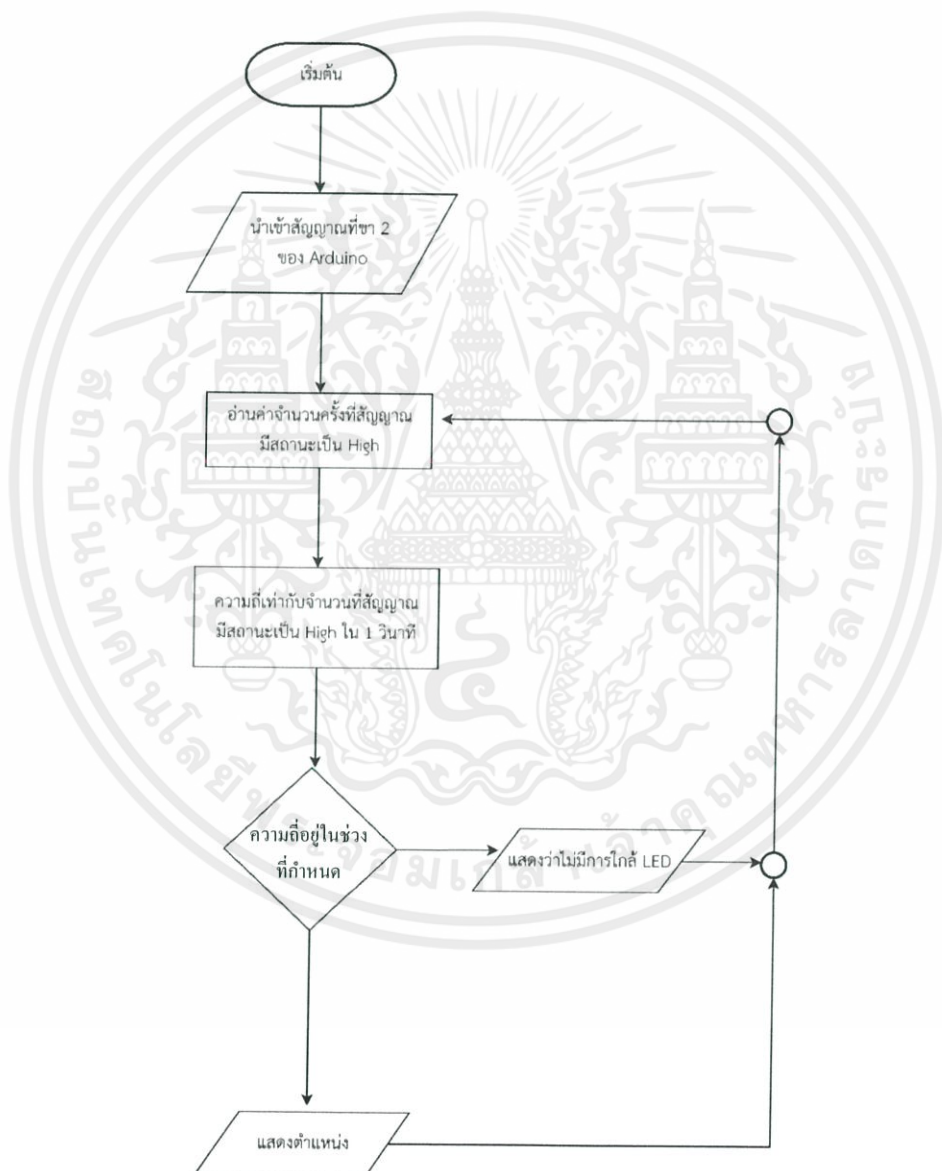
รูปที่ 3.30 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างสัญญาณของภาคส่งเมื่อระบุตำแหน่งจากสัญญาณข้อมูล

3.3.4.3 การอ่านค่าความถี่และแสดงตำแหน่งเมื่อมีการรับข้อมูลในช่วงความถี่ที่ต้องการของวงจรภาครับ

วงจรภาครับ จะใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนคำสั่งเพื่อให้ระบุตำแหน่ง โดยมีแผนภาพลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 3.31 เริ่มต้นจะทำการนำเข้าสู่สัญญาณที่โฟโต้ไดโอดรับสัญญาณแสง

แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณนั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เข้าไปยังขา 2 ของ Arduino โดยจะทำการนับจำนวนครั้งที่สัญญาณมีสถานะเป็น High หรือสัญญาณที่ทำให้ไฟติด โดยภายใน 1 วินาที สัญญาณจะมีสถานะ High ก็ครั้ง ซึ่งจำนวนครั้งนั้นจะถือว่าเป็นความถี่

จึงทำการเปรียบเทียบความถี่โดยถ้าอ่านความถี่ได้ค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดของแต่ละห้อง LCD จะแสดงผลว่าเครื่องรับจะอยู่ใกล้หลอดแอลอีดีตัวนั้น และแสดงตำแหน่งว่าเครื่องรับอยู่ที่ห้อง ไหน แต่ถ้าค่าความถี่อยู่นอกเหนือจากที่กำหนดจะแสดงผลว่าไม่มีการใกล้หลอดแอลอีดี



รูปที่ 3.31 แผนภาพลำดับขั้นตอนในวงจรภาครับเมื่อระบุตำแหน่งจากความถี่

3.3.4.4 การอ่านค่าสัญญาณข้อมูลและแสดงตำแหน่งเมื่อมีการรับข้อมูลที่ถูกต้องของวงจรถ่าย

ข้อมูลที่เข้ามายังภาครับจะมีทั้งหมดด้วยกัน 3 รูปแบบคือ

1) สัญญาณข้อมูลดิจิทัล '01010101' เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสิบจะมีค่าเท่ากับ 85 เมื่อแปลงในรูปแบบรหัส ASCII จะเท่ากับตัวอักษรภาษาอังกฤษคือ 'U'

2) สัญญาณข้อมูลดิจิทัล '01100110' เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสิบจะมีค่าเท่ากับ 102 เมื่อแปลงในรูปแบบรหัส ASCII จะเท่ากับตัวอักษรภาษาอังกฤษคือ 'f'

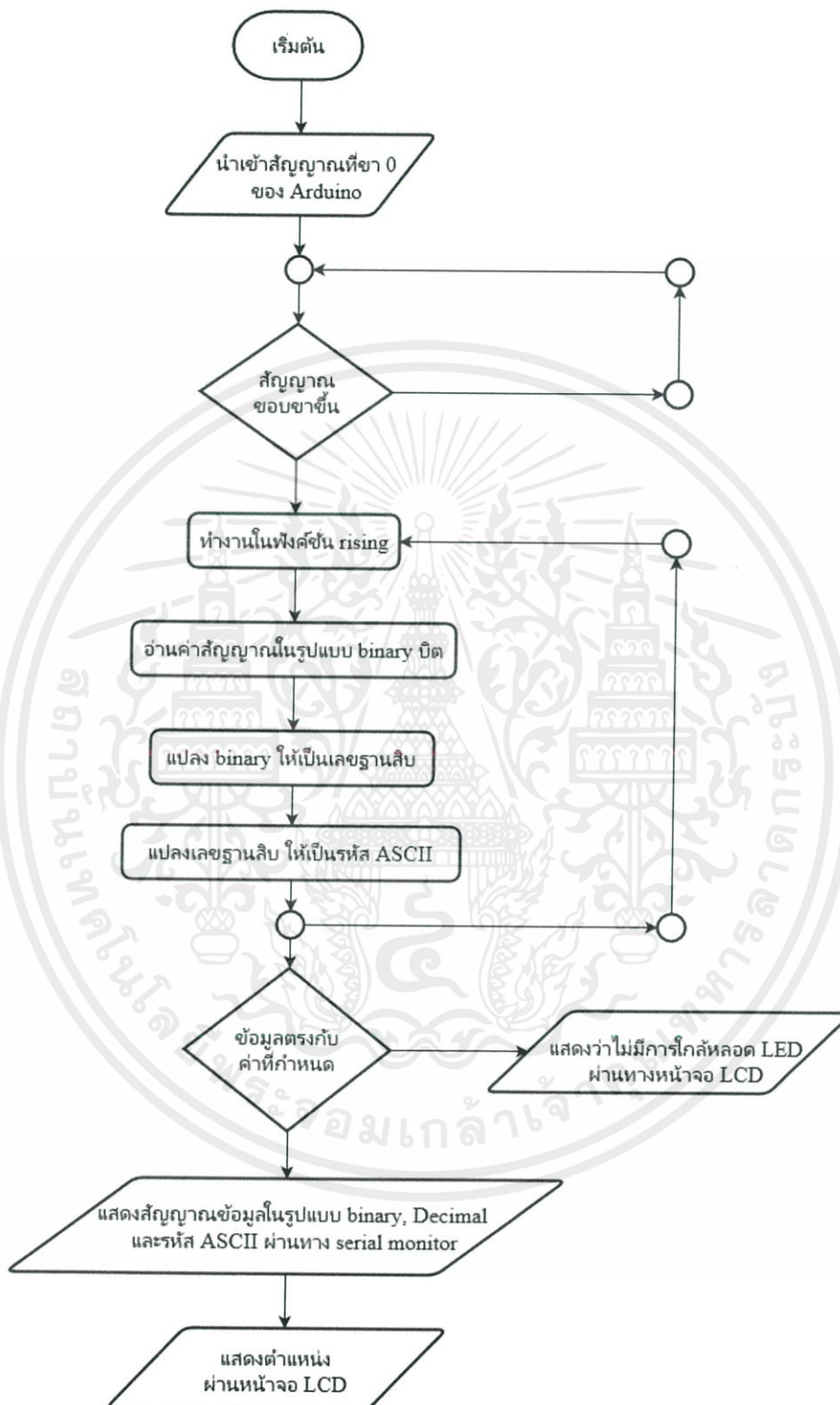
3) สัญญาณข้อมูลดิจิทัล '01111000' เมื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสิบจะมีค่าเท่ากับ 85 เมื่อแปลงในรูปแบบรหัส ASCII จะเท่ากับตัวอักษรภาษาอังกฤษคือ 'x'

เริ่มแรกกำหนดค่าตัวแปรต่างๆที่ต้องใช้งาน สร้างฟังก์ชัน rising และ falling ใน void setup กำหนดให้เมื่อสัญญาณดิจิทัลตรวจจับสัญญาณขอบขาขึ้น ที่เป็นเหมือนบิตเริ่มต้น เมื่อทราบว่าบิตเริ่มต้นอยู่ตรงไหนก็จะไปทำงานที่ฟังก์ชัน rising ซึ่งจะเป็นการตรวจจับบิตของข้อมูลสื่อสาร กำหนดช่วงเวลาในการจะเริ่มตรวจจับ

เมื่อถึงเวลาที่กำหนดบิตแรกที่เข้ามาตรวจสอบดูว่าเป็นสัญญาณสถานะอะไร ถ้าเป็นสถานะ High ให้โชว์ผ่านทาง serial monitor เท่ากับ 1 และเก็บค่าจำนวนเต็มเลขฐานสิบเท่ากับ 128 ไว้ ถ้ามีสถานะเป็น Low ให้แสดง 0 ผ่านทาง serial monitor เก็บค่าเลขฐานสิบเท่ากับ 0 ไว้ จากนั้นตรวจจับบิตที่สองซึ่งมีการทำงานคล้ายๆกัน แต่เมื่อเป็นสถานะ High ให้เก็บค่า 64 ไว้ ถ้าบิตที่ 3 ให้เก็บค่า 32 บิตที่ 4 เก็บค่า 16 บิตที่ 5 เก็บค่า 8 ฟังก์ชัน บิตที่ 6 เก็บค่า 4 บิตที่ 7 เก็บค่า 2 บิตที่ 8 เก็บค่า 1

เมื่อตรวจจับสัญญาณข้อมูลได้ครบทั้ง 8 บิต จะเป็นสัญญาณในรูปแบบ binary จากนั้นให้นำทุกค่าที่เก็บไว้มารวมกันจะได้เป็นสัญญาณ binary ในรูปแบบเลขฐานสิบ และสามารถแปลงเป็นรหัส ASCII ค่าต่างๆได้

โดยแต่ละข้อมูลจะกำหนดให้เป็นหมายเลข ID ของหลอดแอลอีดีแต่ละดวง และแทนเป็นตำแหน่งห้องต่างๆ ถ้าสัญญาณข้อมูลเข้ามา เมื่อตรวจจับครบ 8 บิตแล้วตรงกับค่าที่กำหนดไว้ จะแสดงผลหมายเลข ID ของหลอดแอลอีดีและตำแหน่งห้องผ่านทางหน้าจอ LCD โดยแผนภาพลำดับขั้นตอนในวงจรถ่ายเมื่อระบุตำแหน่งจากข้อมูลดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แผนภาพลำดับขั้นตอนในวงจรภาครับเมื่อระบุตำแหน่งจากข้อมูล

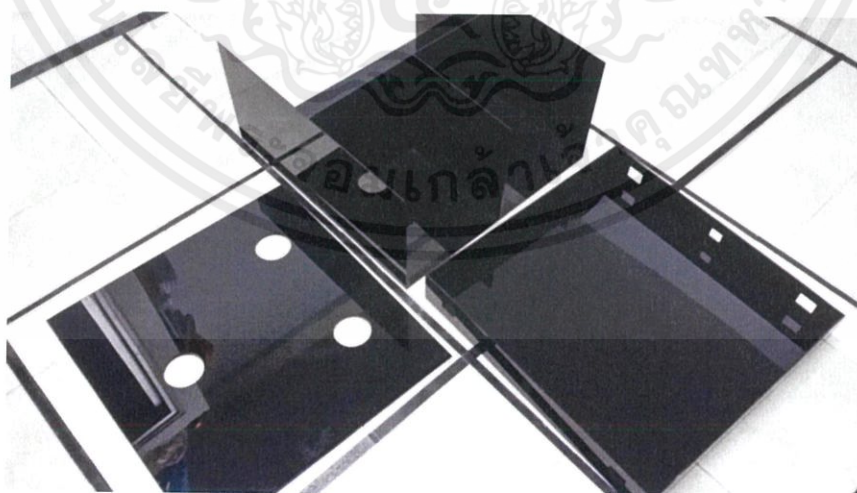
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.5 การสร้างแบบจำลองสำหรับทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่ง ภายในอาคาร

จำลองอาคารโดยการออกแบบบ้านจำลองในโปรแกรม SketchUp ดังรูปที่ 3.33 และสร้างบ้านจำลองจากอะครีลิกดังรูปที่ 3.34 แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ห้อง คือห้องนั่งเล่น ห้องนอน และห้องทำงาน เพื่อทดสอบดูว่าเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถบอกตำแหน่งได้ตรงหรือไม่ และเพื่อช่วยป้องกันแสงจากภายนอกรบกวนเมื่อทดสอบในที่สว่าง ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.33 การออกแบบบ้านจำลองในโปรแกรม SketchUp



รูปที่ 3.34 การสร้างบ้านจำลองจากอะครีลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 บ้านจำลองสำหรับทดสอบระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระยะการอ่านข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร เพื่อดูว่าการรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ไกลขนาดไหน โดยมีการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ในแต่ละระยะทาง และแสดงผลการจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารผ่านหน้าจอ LCD เปรียบเทียบการแสดงผลเมื่อสามารถรับส่งข้อมูลได้และไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้

4.1 ผลการทดสอบระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

4.1.1 ผลการทดสอบระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารที่มีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz

การทดสอบระยะการรับส่งข้อมูล จากการป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดขนาด 5 V ที่ความถี่ 1k Hz ให้เครื่องส่งทำให้หลอดแอลอีดีสว่าง และนำมาส่องตรงไปยังแนวตั้งกับบริเวณที่มีโฟโต้ไดโอดตั้งรูปที่ 4.1 วัดระยะทางโดยใช้ตลับเมตรเป็นเกณฑ์และอ่านค่าด้วยตาเปล่า ทำการวัดระยะทางโดยวัดตั้งแต่ 0.5 จนถึง 4 m ซึ่งจะวัดระยะทางเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 m นอกจากนี้ทำการตรวจสอบปริมาณของแสงที่มองเห็นที่ภาครับ ว่าแสงจากทางภาคส่งมีความสว่างมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 4.1 การวัดระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

เมื่อทำการอ่านค่าระยะการรับส่งข้อมูลจะพบว่า สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลสุดที่ ระยะทาง 4 m และสัญญาณที่ได้มีสัญญาณรบกวนน้อย เป็นรูปพัลส์ชัดเจนถึงแม้ที่ระยะทางนั้น จะมีความสว่างค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบจากปริมาณของแสงที่มองเห็นที่วัดได้ ดังตารางที่ 4.1 และเมื่อ เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณระหว่างการรับส่งข้อมูลที่ระยะทาง 0.5 m และระยะทาง 4 m พบว่า มีลักษณะของสัญญาณใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 การรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารในแต่ละระยะทาง โดยมีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz

ระยะการรับส่งข้อมูล (m)	การรับส่งข้อมูล	ปริมาณของแสงที่มองเห็น (LUX)
0.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	2643
1	สามารถรับส่งข้อมูลได้	838
1.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	385
2	สามารถรับส่งข้อมูลได้	235
2.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	146
3	สามารถรับส่งข้อมูลได้	109
3.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	81
4	สามารถรับส่งข้อมูลได้	47

4.1.2 ผลการทดสอบระยะการรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารที่มี สัญญาณส่งเป็นข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต

การทดสอบระยะการรับส่งข้อมูล จากการป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดขนาด 5 V และมีบิตของข้อมูลสื่อสารคือ '01010101' ทำให้เครื่องส่งทำให้หลอดแอลอีดีสว่าง และนำมาส่องตรง ไปยังแนวตั้งกับบริเวณที่มีโฟโตไดโอด วัดระยะทางโดยใช้ตลับเมตรเป็นเกณฑ์และอ่านค่าด้วยตาเปล่า ทำการวัดระยะทางโดยวัดตั้งแต่ 0.5 จนถึง 4 m ซึ่งจะวัดระยะทางเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 m นอกจากนี้ทำการตรวจสอบปริมาณของแสงที่มองเห็นที่ภาครับ ว่าแสงจากทางภาคส่งมีความสว่าง มากน้อยเพียงใด

เมื่อทำการอ่านค่าระยะการรับส่งข้อมูลจะพบว่า สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลสุดที่ ระยะทาง 4 m และสัญญาณที่ได้มีสัญญาณรบกวนน้อย เป็นรูปพัลส์ชัดเจนถึงแม้ที่ระยะทางนั้น จะ

มีความสว่างค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบจากปริมาณของแสงที่มองเห็นที่วัดได้ ดังตารางที่ 4.2 และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณระหว่างการรับส่งข้อมูลที่ระยะทาง 0.5 m และระยะทาง 4 m พบว่ามีลักษณะของสัญญาณใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 การรับส่งข้อมูลของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารในแต่ละระยะทาง โดยมีสัญญาณส่งในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต

ระยะการรับส่งข้อมูล (m)	การรับส่งข้อมูล	ปริมาณของแสงที่มองเห็น (LUX)
0.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	2629
1	สามารถรับส่งข้อมูลได้	828
1.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	399
2	สามารถรับส่งข้อมูลได้	237
2.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	152
3	สามารถรับส่งข้อมูลได้	103
3.5	สามารถรับส่งข้อมูลได้	80
4	สามารถรับส่งข้อมูลได้	48

4.2 ผลการทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าของสัญญาณทางภาครับ

4.2.1 กราฟเอาต์พุตที่ได้จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ออสซิลโลสโคปเมื่อสัญญาณส่งมีความถี่ 1k Hz

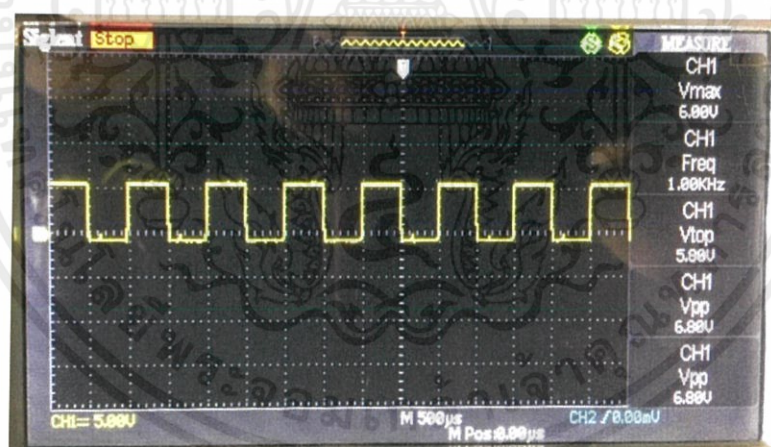
สัญญาณข้อมูลที่เกิดจากการใช้โฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ถ้ามีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นแสดงว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยจะวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทางภาครับ โดยใช้ฟังก์ชัน measure ในออสซิลโลสโคปที่ทำให้สามารถอ่านค่าได้

ที่ระยะทาง 0.5 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีค่าแรงดันไฟฟ้า 5.8 V และมีสัญญาณรบกวนน้อยมาก ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 0.5 m

ที่ระยะทาง 1 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโต้ไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีค่าแรงดันไฟฟ้า 5.8 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.3



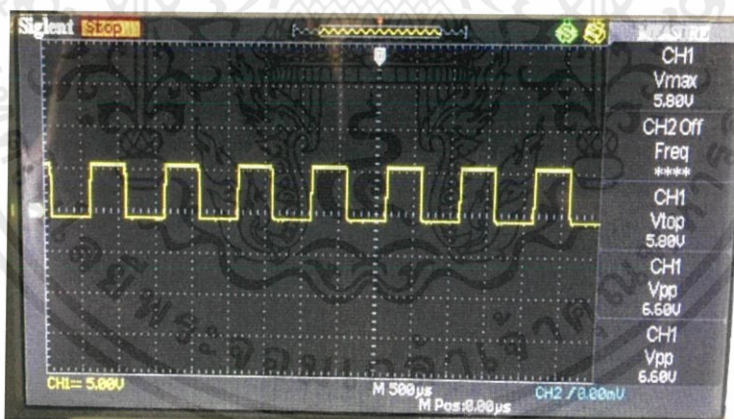
รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 1 m

ที่ระยะทาง 1.5 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโต้ไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีค่าแรงดันไฟฟ้า 5.8 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.4



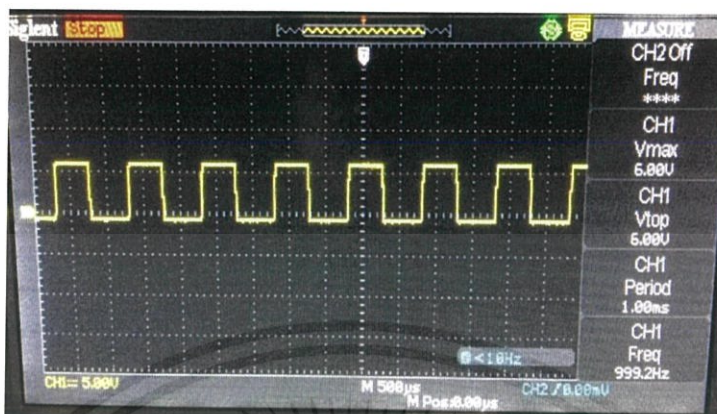
รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 1.5 m

ที่ระยะทาง 2 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีค่าแรงดันไฟฟ้า 5.8 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.5



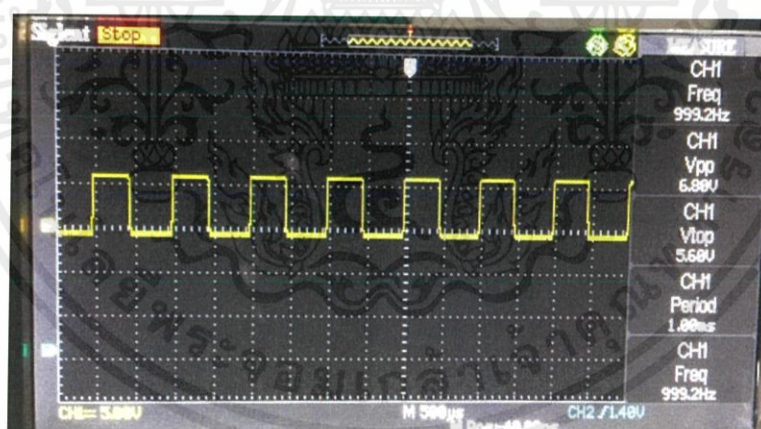
รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 2 m

ที่ระยะทาง 2.5 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดันจะเห็นว่าสัญญาณมีขนาด 5.8 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.6



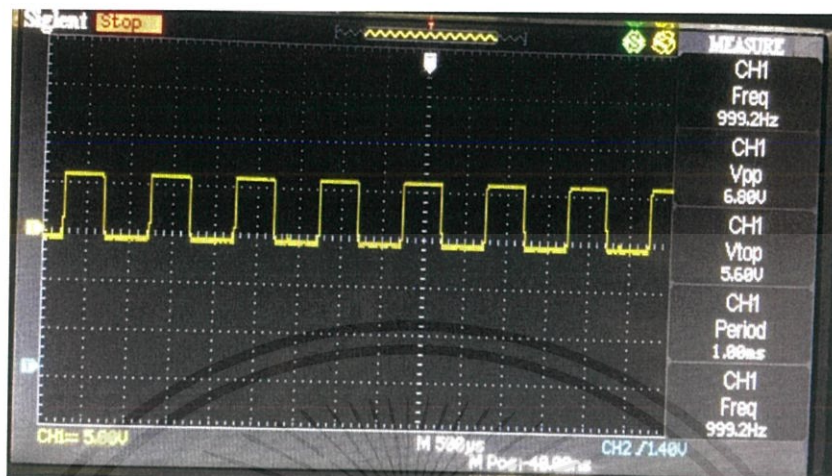
รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 2.5 m

ที่ระยะทาง 3 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีขนาด 5.6 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.7



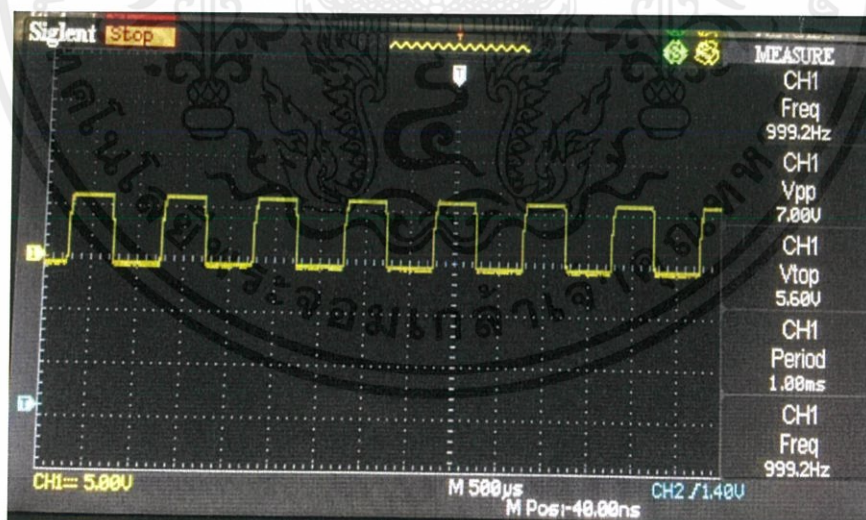
รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 3 m

ที่ระยะทาง 3.5 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีขนาด 5.6 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 3.5 m

ที่ระยะทาง 4 m เมื่อหลอดแอลอีดีเปล่งแสง และโฟโตไดโอดรับสัญญาณแสงเข้ามา เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นสัญญาณจะผ่านการขยายแรงดัน จะเห็นว่าสัญญาณมีขนาด 5.6 V และมีสัญญาณรบกวนน้อย ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่อระยะทางการรับส่งข้อมูลมีค่า 4 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูล

4.2.2.1 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูลโดยที่มีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz

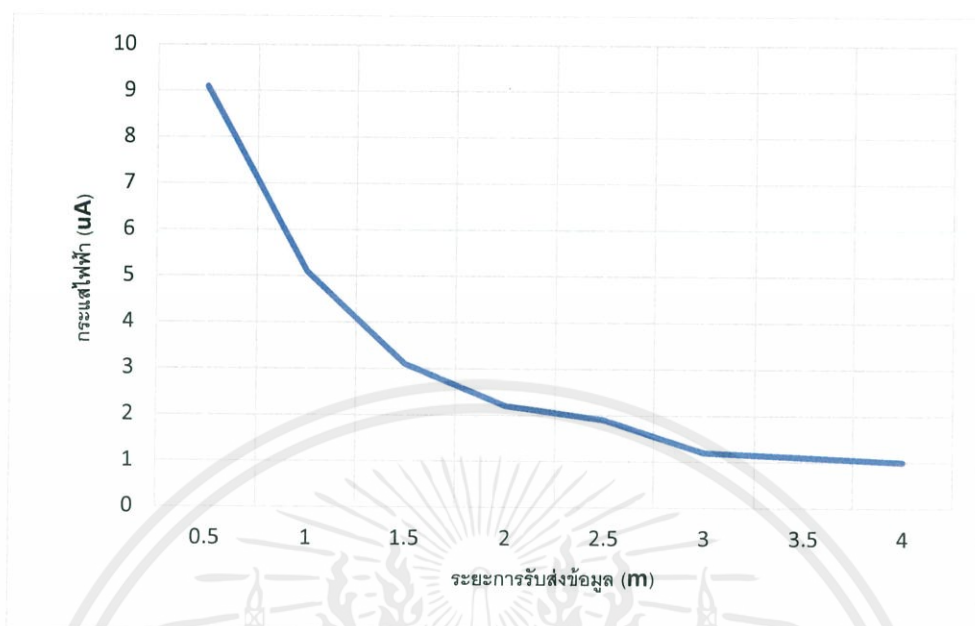
ค่าแรงดันไฟฟ้าได้จากการอ่านค่าจากกราฟเอาต์พุตที่วัดโดยออสซิลโลสโคป และค่ากระแสไฟฟ้าจะได้จากการใช้มัลติมิเตอร์ต่ออนุกรมระหว่างโพโต้ไดโอดกับออปแอมป์ตัวแรกและทำการอ่านค่าด้วยตาเปล่า โดยจะวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ระยะทางการรับส่งข้อมูล 0.5–4 m โดยวัดที่ระยะทางเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 m ซึ่งสัญญาณที่รับได้จะเป็นสัญญาณจากเครื่องส่งที่ส่งสัญญาณเป็นความถี่ 1k Hz ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูลโดยที่มีสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz

ระยะการรับส่งข้อมูล (m)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (μ A)
0.5	5.80	9.1
1.0	5.80	5.1
1.5	5.80	3.1
2.0	5.80	2.2
2.5	6.00	1.9
3.0	5.60	1.2
3.5	5.60	1.1
4.0	5.60	1.0

เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้ามาวิเคราะห์จะพบว่าแม้ระยะการรับส่งข้อมูลจะมากขึ้น แต่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากที่สุดคือค่า 6.00 V ที่ระยะการรับส่งข้อมูล 2.5 m และค่าแรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดคือค่า 5.6 V ที่ระยะการรับส่งข้อมูล 3-4 m

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้ามาวิเคราะห์จะพบว่ายิ่งระยะการรับส่งข้อมูลมากขึ้น กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง โดยมีกระแสไฟฟ้ามากที่สุดคือค่า 12.1 μ A ที่ระยะการรับส่งข้อมูล 5 m และมีกระแสไฟฟ้าที่มีค่าน้อยที่สุดคือค่า 1.1 μ A ที่ระยะการรับส่ง 4 m ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะการอ่านข้อมูลเมื่อสัญญาณส่งความถี่ 1k Hz

4.2.2.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูลโดยที่มีสัญญาณส่งเป็นข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต

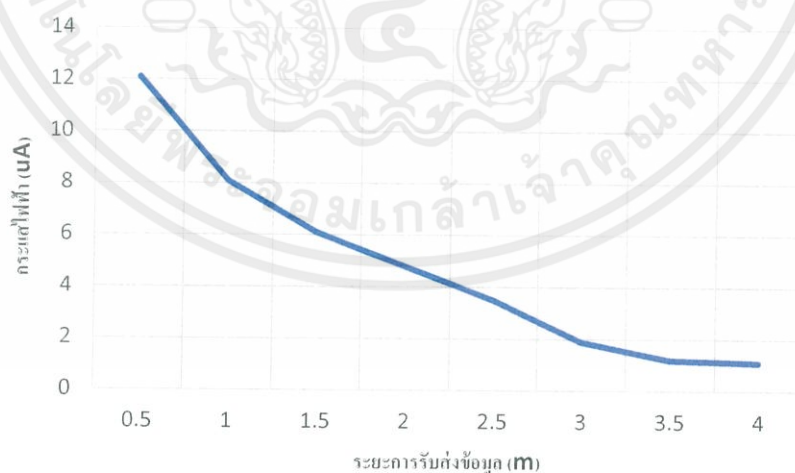
สัญญาณดิจิทัล 8 บิตที่ส่งไป จะเป็นบิตการสื่อสารข้อมูล '01010101' ถ้าแปลงเป็นเลขฐานสิบจะเท่ากับ 85 ซึ่งถ้าแปลงเป็นรหัส ASCII จะเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 'U' โดยจะถือว่าเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลอยู่

ค่าแรงดันไฟฟ้าได้จากการอ่านค่าจากกราฟเอาต์พุตที่วัดโดยออสซิลโลสโคป และค่ากระแสไฟฟ้าจะได้จากการใช้มัลติมิเตอร์ต่ออนุกรมระหว่างโฟโต้ไดโอดกับออปแอมป์ตัวแรกและทำการอ่านค่าด้วยตาเปล่า โดยจะวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ระยะทางการรับส่งข้อมูล 0.5–4 m โดยวัดที่ระยะทางเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 m ซึ่งสัญญาณที่รับได้จะเป็นสัญญาณจากเครื่องส่งที่ส่งสัญญาณเป็นความถี่ 1k Hz ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะทางการรับส่งข้อมูล โดยที่มีสัญญาณส่งเป็นข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต

ระยะการรับส่งข้อมูล (m)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (μA)
0.5	5.62	12.1
1.0	5.60	8.1
1.5	5.60	6.1
2.0	5.60	4.8
2.5	5.60	3.5
3.0	5.60	1.9
3.5	5.60	1.2
4.0	5.60	1.1

เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้ามาวิเคราะห์จะพบว่าแม้ระยะการรับส่งข้อมูลจะมากขึ้นแต่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้ามาวิเคราะห์จะพบว่ายิ่งระยะการรับส่งข้อมูลมากขึ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าน้อยลง โดยกระแสไฟฟ้ามากที่สุดคือค่า 12.1 μA ที่ระยะการรับส่งข้อมูล 5 m และกระแสไฟฟ้าที่มีค่าน้อยที่สุดคือค่า 1.1 μA ที่ระยะการรับส่ง 4 m ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กระแสไฟฟ้าในแต่ละระยะการอ่านข้อมูล สัญญาณส่งเป็นบิตข้อมูล 8 บิต

4.3 ผลการทดสอบขอบเขตการรับส่งข้อมูลภายในพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร

เมื่อภาคส่งทำการส่งสัญญาณข้อมูลมาและภาครับสามารถตรวจจับและวิเคราะห์ข้อมูลที่ส่งมาได้ จะทำการตรวจสอบว่าในพื้นที่ 1.5 m² ตรงไหนบ้างที่สามารถรับสัญญาณได้ โดยในพื้นที่ 1.5 m² จะแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย 9 ส่วนเท่าๆกัน และจะแทนค่าเป็น “1” ในพื้นที่ย่อยที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ แทนค่าเป็นเลข “0” ในพื้นที่ย่อยที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยการทดสอบจะทำการทดสอบตั้งแต่ระยะการรับส่งข้อมูล 0.5 m ถึง 4 m

4.3.1 ส่งสัญญาณความถี่ 1k Hz

4.3.1.1 ระยะการรับส่งข้อมูล 0.5 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณความถี่ 1k Hz ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 0.5 m จะพบว่า ในบางพื้นที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ ภาครับไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ พื้นที่ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้คือพื้นที่หมายเลข 1,2,4,5,6 และ 8 โดยจะแทนเป็นหมายเลข 1 และพื้นที่ที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้คือพื้นที่หมายเลข 3,7 และ 9 โดยจะแทนเป็นหมายเลข 0 ดังรูปที่ 4.12

1	1	0
1	1	1
0	1	0



รูปที่ 4.12 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 0.5 m

4.3.1.2 ระยะการรับส่งข้อมูล 1 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณความถี่ 1k Hz ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 1 m จะพบว่า ในบางพื้นที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ ภาครับไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ พื้นที่ที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้คือพื้นที่หมายเลข 9 โดยจะแทนเป็น

หมายเลข 0 ส่วนพื้นที่นอกเหนือจากนั้นทุกพื้นที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ จะแทนเป็นหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.13

1	1	1
1	1	1
1	1	0




รูปที่ 4.13 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 1 m

4.3.1.3 ระยะการรับส่งข้อมูล 1.5 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณความถี่ 1k Hz ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 1.5 m จะพบว่าทุกพื้นที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งหมด โดยจะแทนเป็นหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.14

1	1	1
1	1	1
1	1	1



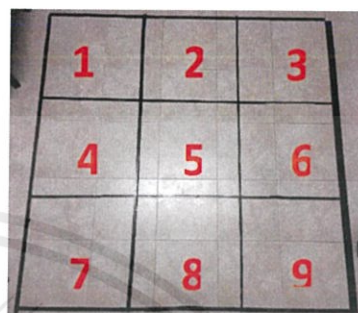
รูปที่ 4.14 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 1.5 m

4.3.1.4 ระยะการรับส่งข้อมูล 2 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณความถี่ 1k Hz ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 m จะพบว่ามีส่วนเดียวที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ คือพื้นที่หมายเลข 5

ซึ่งเป็นพื้นที่ตรงกลาง โดยจะแทนเป็นหมายเลข 1 ส่วนพื้นที่อยู่นอกเหนือจากนั้น ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยจะแทนเป็นหมายเลข 0 ดังรูปที่ 4.15

0	0	0
0	1	0
0	0	0



รูปที่ 4.15 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz และระยะรับส่งข้อมูล 2 m

4.3.2 ส่งสัญญาณข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต

4.3.2.1 ระยะการรับส่งข้อมูล 0.5 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต '01010101' ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 0.5 m จะพบว่า ในบางพื้นที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ ภาครับไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ พื้นที่ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้คือพื้นที่หมายเลข 2,3,4,5,6 โดยจะแทนเป็นหมายเลข 1 และพื้นที่ที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้คือพื้นที่หมายเลข 1,7,8 และ 9 โดยจะแทนเป็นหมายเลข 0 ดังรูปที่ 4.16

0	1	1
1	1	1
0	0	0

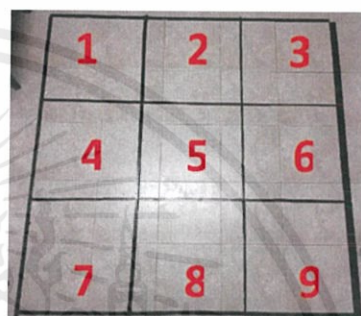


รูปที่ 4.16 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต และระยะรับส่งข้อมูล 0.5 m

4.3.2.2 ระยะการรับส่งข้อมูล 1 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต '01010101' ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 1 m จะพบว่า ในบางพื้นที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ พื้นที่ที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้คือพื้นที่หมายเลข 7 และ 9 โดยจะแทนเป็นหมายเลข 0 ส่วนพื้นที่นอกเหนือจากนั้นทุกพื้นที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ จะแทนเป็นหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.17

1	1	1
1	1	1
0	1	0



รูปที่ 4.17 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต และระยะรับส่งข้อมูล 1 m

4.3.2.3 ระยะการรับส่งข้อมูล 1.5 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต '01010101' ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 1.5 m จะพบว่าทุกพื้นที่ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งหมด โดยจะแทนเป็นหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.18

1	1	1
1	1	1
1	1	1



รูปที่ 4.18 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต และระยะรับส่งข้อมูล 1.5 m

4.3.2.4 ระยะการรับส่งข้อมูล 2 m

เมื่อนำหลอดไฟที่มีการกระพริบตามสัญญาณข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต '01010101' ห่างจากเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 m จะพบว่ามีย่านที่ส่วนเดียวที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ คือพื้นที่หมายเลข 5 ซึ่งเป็นพื้นที่ตรงกลาง โดยจะแทนเป็นหมายเลข 1 ส่วนพื้นที่ย่อยนอกเหนือจากนั้น ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยจะแทนเป็นหมายเลข 0 ดังรูปที่ 4.19

0	0	0
0	1	0
0	0	0



รูปที่ 4.19 ขอบเขตการรับส่งข้อมูลที่สัญญาณส่งข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล 8 บิต และระยะรับส่งข้อมูล 2 m

จากการทดลองแสดงว่าในระยะการรับส่งข้อมูล 1.5 m สามารถรับส่งข้อมูลในพื้นที่ขนาด 1.5 m^2 ได้ดีที่สุดโดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ในทุกพื้นที่ที่ย่อยแต่เมื่อระยะการรับส่งข้อมูล 2 m จะสามารถรับส่งข้อมูลได้แค่บริเวณตรงกลางของพื้นที่ คือตรงที่หลอดแอลอีดีสามารถให้ความส่องสว่างได้โดยตรง เนื่องจากพื้นที่อื่นอาจได้รับความสว่างไม่เพียงพอจนทำให้ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่งได้

4.4 ผลการทดลองการใช้งานระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

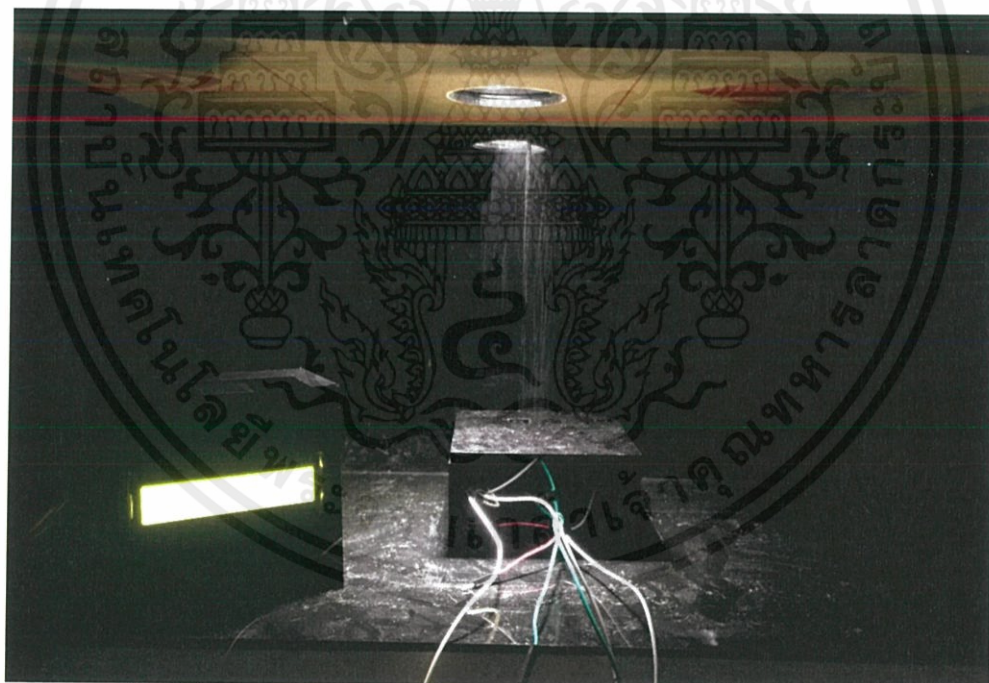
การทดสอบการใช้งานระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยทดลองจากแบบจำลองบ้านที่ได้สร้างขึ้น แบ่งออกเป็นทั้งหมดสามห้องคือห้องนั่งเล่น ห้องนอนและห้องทำงาน ซึ่งแต่ละห้องจะมีความสูง 21 cm ในการทดสอบจะแบ่งการระบุตำแหน่งออกเป็น 2 แบบคือการระบุตำแหน่งจากความถี่ คือหลอดไฟทั้งสามห้องจะกระพริบด้วยความถี่ที่ต่างกันและระบุตำแหน่งจากสัญญาณข้อมูลคือหลอดไฟในแต่ละห้องจะมีสัญญาณที่มีข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบด้วยการนำ

เครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร มาวางในตำแหน่งของห้องที่ต้องการระบุ สังเกตผลจากหน้าจอ LCD ถ้าสามารถระบุตำแหน่งได้จะแสดงหมายเลขของหลอดแอลอีดีและตำแหน่งว่าเครื่องรับอยู่ห้องไหน

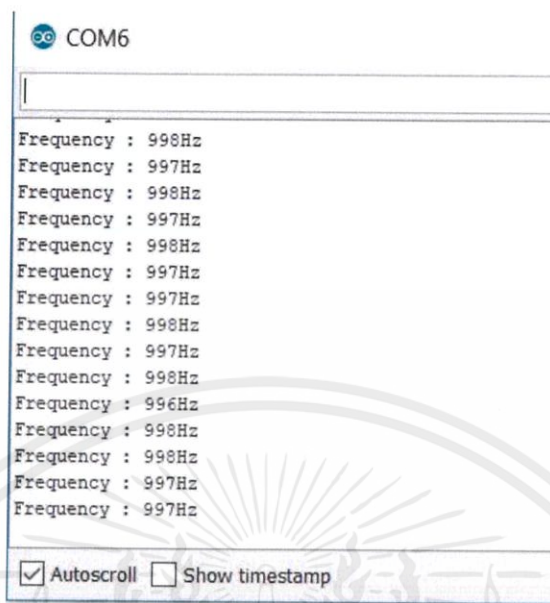
4.4.1 การระบุตำแหน่งจากความถี่ที่ต่างกัน

4.4.1.1 สัญญาณส่งความถี่ 1k Hz

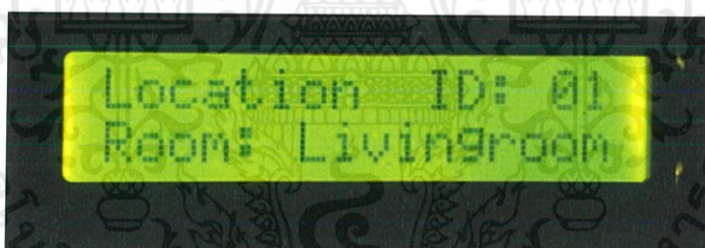
กำหนดให้หลอดไฟที่มีความถี่ 1k Hz แทนห้องนั่งเล่น เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น ดังรูปที่ 4.20 ใช้โปรแกรมอ่านความถี่จะได้ว่าความถี่ที่ปรากฏใน serial monitor จะมีค่าใกล้เคียงกับ 1k Hz ที่เป็นความถี่ที่ได้ป้อนเข้าไป ดังรูปที่ 4.21 และหน้าจอ LCD จะแสดงหมายเลขแอลอีดีคือ '01' และแสดงตำแหน่งห้องว่า 'Livingroom' ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.20 ทดลองนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น



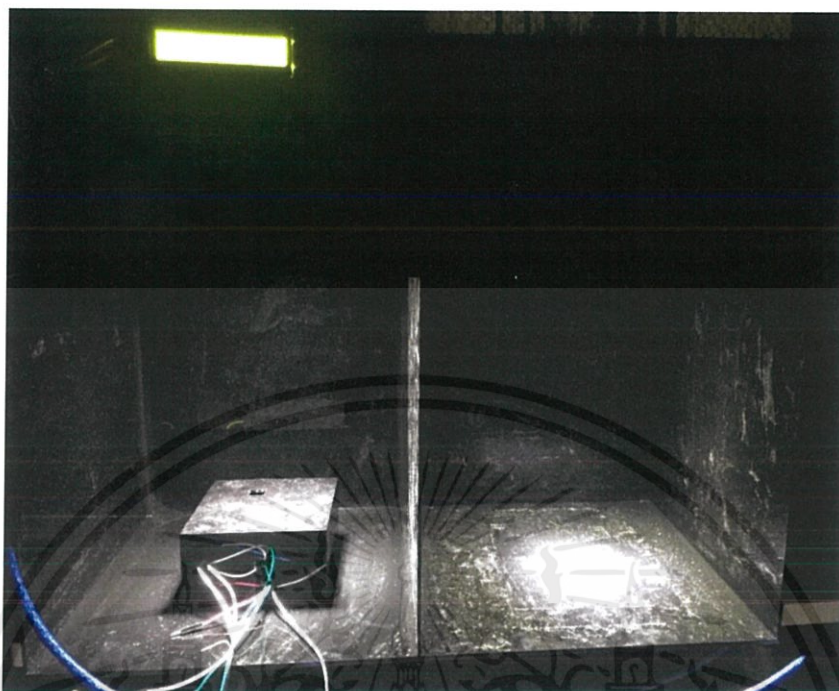
รูปที่ 4.21 ความถี่ที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน serial monitor เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น



รูปที่ 4.22 ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น เมื่อแยกตำแหน่งจากความถี่

4.4.1.2 สัญญาณส่งความถี่ 2k Hz

กำหนดให้หลอดไฟที่มีความถี่ 2k Hz แทนห้องนอน เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน ดังรูปที่ 4.23 ใช้โปรแกรมอ่านความถี่จะได้ว่าความถี่ที่ปรากฏใน serial monitor จะมีค่าใกล้เคียงกับช่วงความถี่ 2k Hz ที่เป็นความถี่ที่ได้ป้อนเข้าไป ดังรูปที่ 4.24 และหน้าจอ LCD จะแสดงหมายเลขแอลอีดีคือ '02' และแสดงตำแหน่งห้องว่า 'Bedroom' ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.23 ทดลองนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน

COM6

Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1936Hz
 Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1937Hz
 Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1936Hz
 Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1936Hz
 Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1936Hz
 Frequency : 1939Hz
 Frequency : 1937Hz

Autoscroll Show timestamp

รูปที่ 4.24 ความถี่ที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน serial monitor เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน

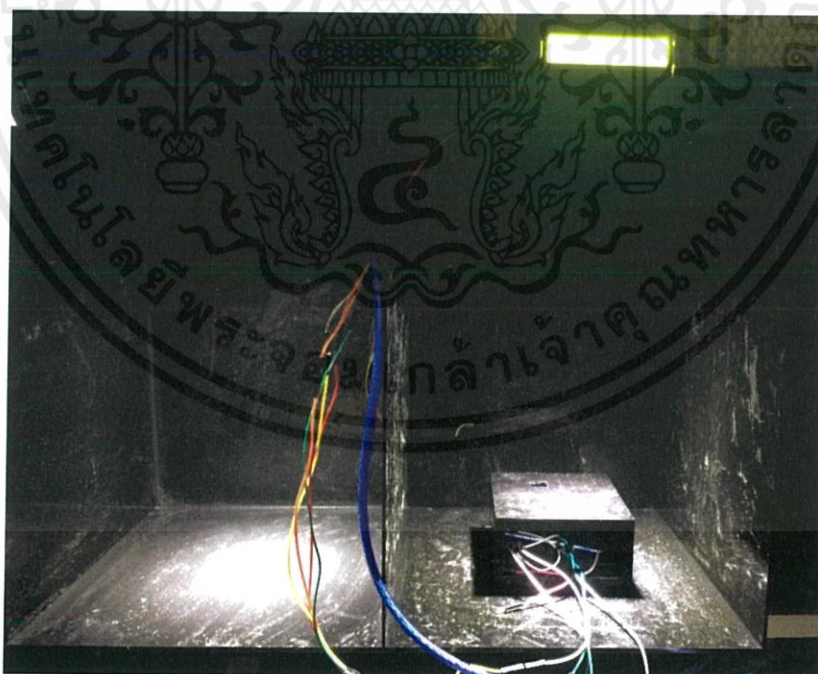
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน เมื่อแยกตำแหน่งจากความถี่

4.4.1.3 สัญญาณส่งความถี่ 4k Hz

กำหนดให้หลอดไฟที่มีความถี่ 4k Hz แทนห้องทำงาน เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน ดังรูปที่ 4.26 ใช้โปรแกรมอ่านความถี่จะได้ว่าความถี่ที่ปรากฏใน serial monitor จะมีค่าใกล้เคียงกับช่วงความถี่ 4k Hz ที่เป็นความถี่ที่ได้ป้อนเข้าไป ดังรูปที่ 4.27 และหน้าจอ LCD จะแสดงหมายเลขแอลอีดีคือ '03' และแสดงตำแหน่งห้องว่า 'Workroom' ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.26 ทดลองนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency : 3872Hz
 Frequency : 3872Hz
 Frequency : 3868Hz
 Frequency : 3871Hz
 Frequency : 3867Hz
 Frequency : 3872Hz
 Frequency : 3868Hz
 Frequency : 3872Hz
 Frequency : 3867Hz
 Frequency : 3871Hz
 Frequency : 3872Hz
 Frequency : 3868Hz
 Frequency : 3871Hz
 Frequency : 3867Hz
 Frequency : 3872Hz
 Frequency : 3868Hz
 Frequency : 3872Hz

รูปที่ 4.27 ความถี่ที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน serial monitor เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน



รูปที่ 4.28 ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน เมื่อแยกตำแหน่งจากความถี่

4.4.2 การระบุตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสารที่ต่างกัน

4.4.2.1 สัญญาณบิตข้อมูลสื่อสาร '01111000'

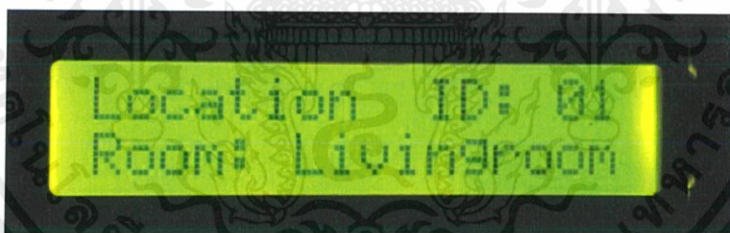
กำหนดให้หลอดไฟที่มีการกระพริบตามบิตข้อมูลสื่อสาร '01111000' แทนห้องนั่งเล่น เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น ถ้าสามารถตรวจจับสัญญาณข้อมูลได้ตรงกับข้อมูลที่กำหนด จะปรากฏค่าบิต binary ค่าเลขฐานสิบ และรหัส ASCII ที่

เป็นข้อมูลที่สามารถถอดรหัสออกมาได้ใน serial monitor ดังรูปที่ 4.29 และหน้าจอ LCD จะแสดงหมายเลขแอลอีดีคือ '01' และแสดงตำแหน่งห้องว่า 'Livingroom' ดังรูปที่ 4.30

```

COM7
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
Binary : 00111000      Decimal : 56       ASCII : 8.
Binary : 01111000      Decimal : 120      ASCII : x.
  
```

รูปที่ 4.29 ข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน serial monitor เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น



รูปที่ 4.30 ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนั่งเล่น เมื่อแยกตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสาร

4.4.2.2 สัญญาณบิตข้อมูลสื่อสาร '01100110'

กำหนดให้หลอดไฟที่มีการกระพริบตามบิตข้อมูลสื่อสาร '01100110' แทนห้องนั่งเล่น เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน ถ้าสามารถตรวจจับสัญญาณข้อมูลได้ตรงกับข้อมูลที่กำหนด จะปรากฏค่าบิต binary ค่าเลขฐานสิบ และรหัส ASCII ที่

เป็นข้อมูลที่สามารถถอดรหัสออกมาได้ใน serial monitor ดังรูปที่ 4.31 และหน้าจอ LCD จะแสดงหมายเลขแอลอีดีคือ '02' และแสดงตำแหน่งห้องว่า 'Bedroom' ดังรูปที่ 4.32

```

COM7
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01001100      Decimal : 76       ASCII : L.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
Binary : 01100110      Decimal : 102      ASCII : f.
  
```

รูปที่ 4.31 ข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้แสดงผ่าน serial monitor เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอน



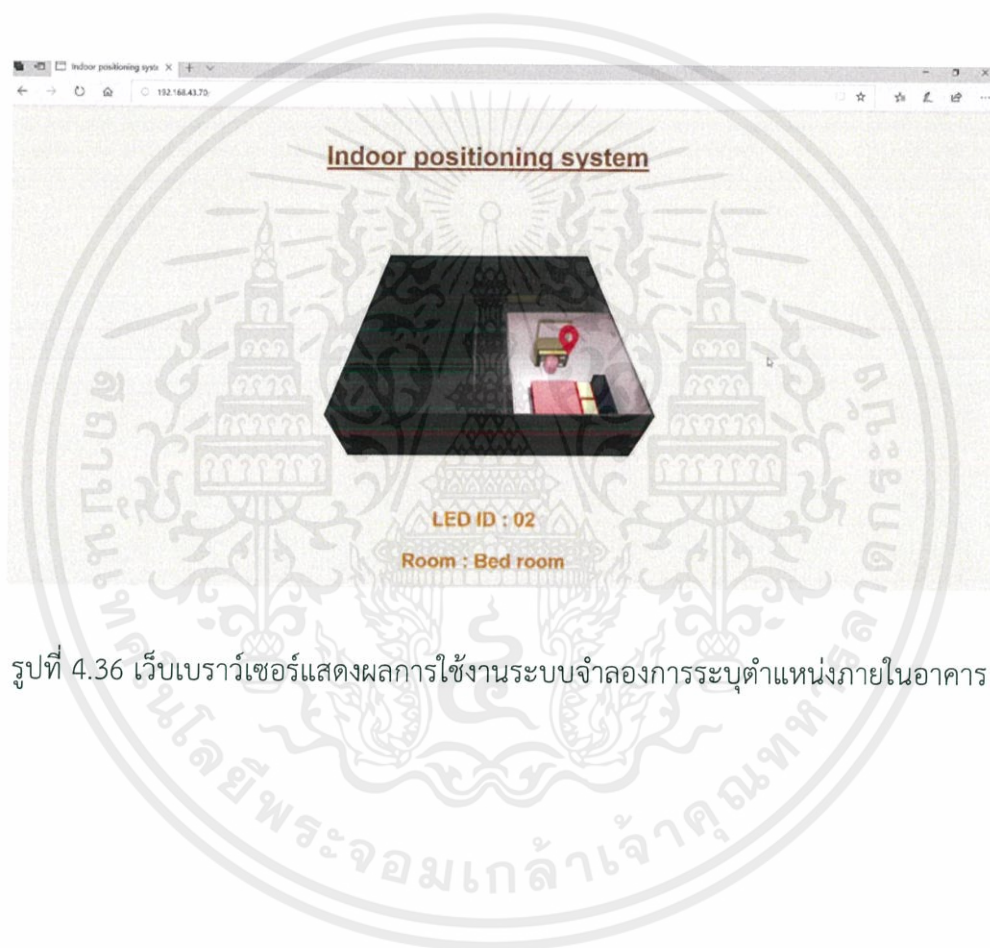
รูปที่ 4.32 ผลบนหน้าจอ LCD เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องนอนเมื่อแยกตำแหน่งจากสัญญาณบิตข้อมูลสี่สาร

4.4.2.2 สัญญาณบิตข้อมูลสี่สาร '01010101'

กำหนดให้หลอดไฟที่มีการกระพริบตามบิตข้อมูลสี่สาร '01010101' แทนห้องทำงาน เมื่อนำเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารมาวางไว้บริเวณห้องทำงาน ถ้าสามารถตรวจจับสัญญาณข้อมูลได้ตรงกับข้อมูลที่กำหนด จะปรากฏค่าบิต binary ค่าเลขฐานสิบ และรหัส ASCII ที่เป็นข้อมูลที่สามารถถอดรหัสออกมาได้ใน serial monitor ดังรูปที่ 4.33 และหน้าจอ LCD จะแสดงหมายเลขแอลอีดีคือ '03' และแสดงตำแหน่งห้องว่า 'Workroom' ดังรูปที่ 4.34

4.5 การระบุตำแหน่งภายในอาคารแสดงผ่านเว็บเบราว์เซอร์

ในการแสดงผลนอกจากแสดงผ่านทางหน้าจอ LCD ยังสามารถแสดงผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์เพื่อให้สามารถดูตำแหน่งของวัตถุได้ แม้อยู่ในระยะทางที่ไกลจากวัตถุหรืออยู่ภายนอกอาคาร โดยจะแสดงตำแหน่งเป็นรูปภาพเพื่อให้สามารถเข้าใจและดูได้ง่ายขึ้น และมีชื่อห้องหมายเลขแอลอีดีเพื่อแสดงว่าเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร ณ เวลานั้นอยู่ตำแหน่งใด ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 เว็บเบราว์เซอร์แสดงผลการใช้งานระบบจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ต้องการนำเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้มาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยจะใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสัญญาณที่ป้อนให้หลอดแอลอีดีจะใช้โปรแกรม Arduino สร้างขึ้นมา จากนั้นนำข้อมูลเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการประมวลผลเพื่อให้หลอดแอลอีดีกระพริบตามสัญญาณที่ได้รับ ผู้จัดทำได้ใช้การระบุตำแหน่งสองรูปแบบคือการแยกจากความถี่และแยกจากสัญญาณบิตข้อมูลสื่อสารที่แตกต่างกัน ทำให้หลอดแอลอีดีกระพริบถี่มากจนตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกได้ โดยในการรับสัญญาณได้ใช้โฟโตไดโอด Vishay BPW34 ในการนำกระแสเมื่อมีแสงมาตกกระทบ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้ แต่ระยะการรับส่งข้อมูลจะสั้นมาก จึงต้องใช้ออปแอมป์เข้ามาช่วยเพื่อเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้า และขยายแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้น ทำให้ระยะการรับส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น เมื่อวัดระยะการรับส่งข้อมูลโดยดูจากสัญญาณที่เกิดขึ้นทางภาครับ พบว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลสุดที่ 4 เมตร

เมื่อทดลองโดยทำการจำลองระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งเขียนโปรแกรมขึ้นมาเพื่ออ่านค่าความถี่ของสัญญาณที่ได้รับและอ่านค่าบิตข้อมูลการสื่อสาร และเปรียบเทียบว่าสัญญาณที่รับเข้ามามีข้อมูลตรงกับข้อมูลที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าข้อมูลตรงกันจะมีการแสดงผลพร้อมหมายเลขของหลอดแอลอีดีที่ภาครับอยู่ใกล้ และบอกตำแหน่งห้องที่ภาครับอยู่ เป็นการแสดงให้เห็นว่าสามารถระบุตำแหน่งได้ แต่ถ้าข้อมูลของสัญญาณที่ได้ไม่ตรง จะแสดงผลพร้อมว่าไม่มีการใกล้ของหลอดแอลอีดีดวงไหนเลย ซึ่งในการจำลองระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารนี้ จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ระยะมากที่สุดคือ 4 เมตร แต่ต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมและอยู่ในพื้นที่ที่มีแสงจากภายนอกรบกวนน้อย จึงจะทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำและเลือกใช้หลอดแอลอีดีที่มีกำลังไฟสูงและมีความสว่างของหลอดไฟมาก จนทำให้ไฟสามารถส่องสว่างถึงเครื่องรับ

การนำเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ช่วยให้สามารถระบุติดตามบุคคลหรือสิ่งของเพื่อป้องกันการสูญหาย ช่วยนำไปใช้ในด้านความปลอดภัยเพื่อป้องกันขโมยในการตรวจสอบว่าวัตถุมีการเคลื่อนไหวหรือไม่ อีกทั้งยังสามารถ

นำความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ มาประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆที่เป็นประโยชน์ในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ถ้ามีหลอดแอลอีดีมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปอยู่ในบริเวณเดียวกัน จะทำให้สัญญาณเกิดการรบกวนกัน และเครื่องระบุตำแหน่งไม่สามารถแยกสัญญาณแต่ละชนิดได้
- 2) เมื่อทำการทดลองในพื้นที่ที่มีหลอดไฟดวงอื่นรบกวนอยู่ จะทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนค่อนข้างมากหรือบางกรณีอาจไม่มีสัญญาณเกิดขึ้นเลยทางภาครับ ทำให้มีข้อจำกัดในการทดลองซึ่งต้องทดลองในสถานที่มืดเท่านั้นถึงจะทำให้สัญญาณมีประสิทธิภาพ
- 3) เครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคารค่อนข้างได้รับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมง่าย ซึ่งมีส่วนต่อระยะเวลาการรับส่งข้อมูลที่คลาดเคลื่อนได้ง่าย
- 4) เมื่อทำการระบุตำแหน่งโดยแยกจากสัญญาณข้อมูลที่แตกต่างกัน จะมีความผิดพลาดถ้าความกว้างของพัลส์ของสัญญาณเกิดความล่าช้าและไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ทำให้ตรวจจับสัญญาณออกมามีความผิดพลาดได้ง่าย

บรรณานุกรม

- [1] ปรีชา กอเจริญ, เพชร นันทวิวัฒนา, เต็มพงษ์ ศรีเทศ, วรณรีย วังศ์ไตรรัตน์, ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์, คทา จารุงศ์รังส, และนริศ เสริมปรุงสุข “การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ด้วยแสงที่มองเห็น : เทคโนโลยี การพัฒนา และการขับเคลื่อน” *วารสารกสทช ประจำปี 2559* : 529-547
- [2] Shukla, M.K. “Design of a Li-Fi Transceiver.” *Wireless Engineering and Technology*
https://www.researchgate.net/publication/320712164_Design_of_a_Li-Fi_Transceiver
- [3] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล *สีและแสง การวัดการดูดกลืน*
http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/12/6/CD/colorandLight/page1_4.html
- [4] Teachmemicro “Interrupt Tutorial II - Arduino Timer Interrupt” 14 June 2018
<https://www.teachmemicro.com/arduino-timer-interrupt-tutorial/>
- [5] นภัทร วัจนเทพินทร *อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์* สำนักพิมพ์สกายบุ๊กส์. ปทุมธานี. 2545
- [6] Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2004). *Fundamentals of electric circuits* (2nd ed.). Boston: McGraw-Hill.
- [7] FAIRCHILD semiconductor “LM741 Single Operational Amplifier” Datasheet,
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/53589/FAIRCHILD/LM741.html>
- [8] National Semiconductor. “Op Amp Circuit Collection” Application Note, September 2002
<http://www.ti.com/ww/en/bobpease/assets/AN-31.pdf>
- [9] รจนา พันฮวบ “บทที่ 13 โฟโตไดโอด” *อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร*, 30 ตุลาคม 2015
<https://sites.google.com/site/xupkrnxilekthrxnikslaeawngcr/home/bth-thi-13>
- [10] eclpaza “5mm Lamp LED - Horizontal oval/ Round/ Flat type” Datasheet, 2012
https://www.ecplaza.net/products/lamp-type-led-5mm-lamp-led_2471574
- [11] Robotics “Varieties of LED packages”
<http://digitalmedia.risd.edu/pbadger/PhysComp/index.php?n=Devices.Led>

- [12] G-forcetechnology company “LED Technology”
<https://www.gforcethai.com/16364039/led-technology>
- [13] Forouzan B. A.; Data Communication and Networking. 3rd Edition. McGraw-Hill. 2003.
- [14] Vishay Semiconductors “Silicon PIN Photodiode BPW34” Datasheet, 2012
<https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/0de9/0900766b80de9fc5.pdf>
- [15] Multicomp “3W High Power LED” Datasheet, 2012
<https://foton.ua/upload/datasheet/3w/3W%20High%20Power%20LED.pdf>
- [16] MOTOROLA semiconductor technical data “Plastic medium power silicon NPN transistor” Datasheet,
<http://pdf1.all-datasheet.com/datasheetpdf/view/11552/ONSEMI/BC548.html>
- [17] MOTOROLA “Dual Low Power Operational Amplifier” Datasheet,
<http://pdf1.all-datasheet.com /datasheet- pdf/view/3067/MOTOROLA/LM358.html>
- [18] rmutphysics “ตัวต้านทาน (Resistor)”
<http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/285/22/resistor1/resistor2.html>
- [19] Anwar Kholdi Nasution, Variable Resistor, 2014
<https://anwarkholdid.wordpress.com/2014/10/10/resistor/>
- [20] Arduino.Codemobiles “สายไฟ Jumper Male to Female”
<http://www.arduino .codemobiles.com/product/43/สายไฟ-จัมเปอร์-jumpwire-male-to-female-ยาว-20-cm-จำนวน-40-เส้น>
- [21] ThaiEasyElec. “บทความ Arduino ตอนที่ 1 แนะนำ Arduino”
<https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คืออะไร-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html>
- [22] ArduinoAll , “1602 LCD (Blue Screen) 16x2 LCD with backlight of the LCD screen พร้อม I2C Interface”
<https://www.arduinoall.com/product/456 /1602-lcd-blue-screen-16x2-lcdwith-backlight-of-the-lcd-screen-พร้อม-i2c-interface>

- [23] EsoGoal Digital Multimeter “มัลติมิเตอร์ดิจิทัล เครื่องวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า”
- [24] Twellwishes “การวัดความสว่างของแสงด้วย lux meter”
<http://www.twellwishes.com/เครื่องมือวัด/การวัดความสว่างของแสงด้วย-lux-meter.html>
- [25] YIN Li-qiang, YU Zhou, SU Xin-hong, ZHANG Jia “The Simulation of the Direct Sequence Spread Spectrum Based on SystemView” Information and Communication Technology and Smart Grid
- [26] WANG Feng & XU Chen (2015) LED visible light communication system based on FPGA. Proceedings Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)
- [27] Jay H. Bhut, Dharmrajsinh N. Parmar, Khushbu V. Mehta “ LI-FI Technology – A Visible Light Communication”, International Journal Of Engineering Development And Research, vol. 4 Issue 2, ISSN 2321-9939, 2014
- [28] Abu-Rgheff, M. A. (2007). Introduction to CDMA wireless communications: Academic Press.



ภาคผนวก ก
คำสั่งการสร้างสัญญาฉันทนวงจรรักษาสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การสร้างสัญญาณวงจรถ่วงเมื่อระบุตำแหน่งจากความถี่

```
boolean toggle0 = 0;
```

```
boolean toggle1 = 0;
```

```
boolean toggle2 = 0;
```

```
void setup(){
```

```
  pinMode(8, OUTPUT);
```

```
  pinMode(9, OUTPUT);
```

```
  pinMode(13, OUTPUT);
```

```
cli();//stop interrupts
```

```
//set timer0 interrupt at 2kHz
```

```
TCCR0A = 0;// set entire TCCR0A register to 0
```

```
TCCR0B = 0;// same for TCCR0B
```

```
TCNT0 = 0;//initialize counter value to 0
```

```
// set compare match register for 2khz increments
```

```
OCR0A = 124;// = (16*10^6) / (2000*64) - 1 (must be <256)
```

```
// turn on CTC mode
```

```
TCCR0A |= (1 << WGM01);
```

```
// Set CS01 and CS00 bits for 64 prescaler
```

```
TCCR0B |= (1 << CS01) | (1 << CS00);
```

```
// enable timer compare interrupt
```

```
TIMSK0 |= (1 << OCIE0A);
```

```
TCCR1A = 0; // set entire TCCR1A register to 0
```

```
TCCR1B = 0; // same for TCCR1B
```

```
TCNT1 = 0; // initialize counter value to 0
```

```
// set compare match register for 4000 Hz increments
```

```
OCR1A = 3999; // = 16000000 / (1 * 4000) - 1 (must be <65536)
```

```
// turn on CTC mode
```

```

TCCR1B |= (1 << WGM12);
// Set CS12, CS11 and CS10 bits for 1 prescaler
TCCR1B |= (0 << CS12) | (0 << CS11) | (1 << CS10);
// enable timer compare interrupt
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

//set timer2 interrupt at 8kHz
TCCR2A = 0;// set entire TCCR2A register to 0
TCCR2B = 0;// same for TCCR2B
TCNT2 = 0;//initialize counter value to 0
// set compare match register for 8kHz increments
OCR2A = 249;// = (16*10^6) / (8000*8) - 1 (must be <256)
// turn on CTC mode
TCCR2A |= (1 << WGM21);
// Set CS21 bit for 8 prescaler
TCCR2B |= (1 << CS21);
// enable timer compare interrupt
TIMSK2 |= (1 << OCIE2A);

sei();//allow interrupts
};//end setup

ISR(TIMER0_COMPA_vect){//timer0 interrupt 2kHz toggles pin 8
//generates pulse wave of frequency 2kHz/2 = 1kHz (takes two cycles for full wave-
toggle high then toggle low)
if (toggle0){
    digitalWrite(8,HIGH);
    toggle0 = 0;
}
else{
    digitalWrite(8,LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    toggle0 = 1;
}
}

```

```

ISR(TIMER1_COMPA_vect){//timer1 interrupt 1Hz toggles pin 13 (LED)
//generates pulse wave of frequency 1Hz/2 = 0.5kHz (takes two cycles for full wave-
toggle high then toggle low)

```

```

    if (toggle1){
        digitalWrite(9,HIGH);
        toggle1 = 0;
    }
    else{
        digitalWrite(9,LOW);
        toggle1 = 1;
    }
}

```

```

ISR(TIMER2_COMPA_vect){//timer1 interrupt 8kHz toggles pin 9
//generates pulse wave of frequency 8kHz/2 = 4kHz (takes two cycles for full wave-
toggle high then toggle low)

```

```

    if (toggle2){
        digitalWrite(13,HIGH);
        toggle2 = 0;
    }
    else{
        digitalWrite(13,LOW);
        toggle2 = 1;
    }
}
void loop(){
}

```

2) การสร้างสัญญาณวงจรถ่วงเมื่อระบุตำแหน่งจากสัญญาณข้อมูล

```
boolean toggle0 = 0;
```

```
boolean toggle1 = 0;
```

```
boolean toggle2 = 0;
```

```
void setup(){
  //set pins as outputs
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);

  cli();//stop interrupts

  TCCR1A = 0; // set entire TCCR1A register to 0
  TCCR1B = 0; // same for TCCR1B
  TCNT1 = 0; // initialize counter value to 0
  // set compare match register for 200 Hz increments
  OCR1A = 9999; // = 16000000 / (8 * 200) - 1 (must be <65536)
  // turn on CTC mode
  TCCR1B |= (1 << WGM12);
  // Set CS12, CS11 and CS10 bits for 8 prescaler
  TCCR1B |= (0 << CS12) | (1 << CS11) | (0 << CS10);
  // enable timer compare interrupt
  TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

  TCCR1A = 0; // set entire TCCR1A register to 0
  TCCR1B = 0; // same for TCCR1B
  TCNT1 = 0; // initialize counter value to 0
  // set compare match register for 400 Hz increments
  OCR1A = 39999; // = 16000000 / (1 * 400) - 1 (must be <65536)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// turn on CTC mode
TCCR1B |= (1 << WGM12);
// Set CS12, CS11 and CS10 bits for 1 prescaler
TCCR1B |= (0 << CS12) | (0 << CS11) | (1 << CS10);
// enable timer compare interrupt
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

TCCR1A = 0; // set entire TCCR1A register to 0
TCCR1B = 0; // same for TCCR1B
TCNT1 = 0; // initialize counter value to 0
// set compare match register for 800 Hz increments
OCR1A = 19999; // = 16000000 / (1 * 800) - 1 (must be <65536)
// turn on CTC mode
TCCR1B |= (1 << WGM12);
// Set CS12, CS11 and CS10 bits for 1 prescaler
TCCR1B |= (0 << CS12) | (0 << CS11) | (1 << CS10);
// enable timer compare interrupt
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);

sei();//allow interrupts
} //end setup

ISR(TIMERO_COMPA_vect){ //timer0 interrupt 2kHz toggles pin 8
//generates pulse wave of frequency 2kHz/2 = 1kHz (takes two cycles for full wave-
toggle high then toggle low)
if (toggle0){
    digitalWrite(8,HIGH);
    toggle0 = 0;
}
else{
    digitalWrite(8,LOW);

```

```

    toggle0 = 1;
  }
}
ISR(TIMER1_COMPA_vect){//timer1 interrupt 1Hz toggles pin 13 (LED)
//generates pulse wave of frequency 1Hz/2 = 0.5kHz (takes two cycles for full wave-
toggle high then toggle low)
  if (toggle1){
    digitalWrite(9,HIGH);
    toggle1 = 0;
  }
  else{
    digitalWrite(9,LOW);
    toggle1 = 1;
  }
}
ISR(TIMER2_COMPA_vect){//timer1 interrupt 8kHz toggles pin 9
//generates pulse wave of frequency 8kHz/2 = 4kHz (takes two cycles for full wave-
toggle high then toggle low)
  if (toggle2){
    digitalWrite(13,HIGH);
    toggle2 = 0;
  }
  else{
    digitalWrite(13,LOW);
    toggle2 = 1;
  }
}
void loop(){
}

```



ภาคผนวก ข
คำสั่งภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) คำสั่งภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร เมื่อระบุตำแหน่งจากความถี่

```
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define I2C_ADDR 0x27 // <
#define BACKLIGHT_PIN 3

LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,2,1,0,4,5,6,7);
long freq, tempo;
int pulsos;
boolean pulso;

void setup()
{
  lcd.begin (16,2); // <
  Serial.begin(9600);
  // Switch on the backlight
  lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home (); // ไปที่ตัวอักษรที่ 0 แถวที่ 1
}

void loop()
{
  tempo = millis();
  if(digitalRead(2)==HIGH)
  {
    if(pulso==HIGH)
    {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    pulsos = pulsos + 1;
}

pulso=LOW;

}
else{
    pulso=HIGH;
}

if(tempo%1000==0){
    freq = pulsos;
    Serial.print("Frequency : ");
    Serial.print(freq);
    Serial.println("Hz");

    if ((freq>900)&&(freq<1010)){
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Location");
        lcd.setCursor(10,0);
        lcd.print("ID: ");
        lcd.setCursor(14,0);
        lcd.print("01");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("Room: ");
        lcd.setCursor(6,1);
        lcd.print("Livingroom");
    }

    else if ((freq>1900)&&(freq<2010)){
        lcd.setCursor(0,0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.print("Location");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("ID: ");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print("02");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Room : ");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print("Bedroom");
}

else if ((freq>3800)&&(freq<4010)){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Location");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("ID: ");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print("03");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Room : ");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print("Workroom");
}

else {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Nothing");
}

pulsos=0;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คำสั่งภาครับของเครื่องระบุตำแหน่งภายในอาคาร เมื่อระบุตำแหน่งสัญญาณข้อมูล

```
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define I2C_ADDR 0x27 // <
#define BACKLIGHT_PIN 3
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,2,1,0,4,5,6,7);
boolean pulso;
volatile int pwm_value = 0;
volatile int prev_time = 0;
volatile int mmm = 0;
long freq, tempo1, tempo;
int pulsos, data1, data2, data3, data4, data5, data6, data7, data8, data,
Decimal;

void setup() {
  lcd.begin (16,2); // <
  // Switch on the backlight
  lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home (); // ไปที่ตัวอักษรที่ 0 แถวที่ 1
  Serial.begin(115200);
  attachInterrupt(0, rising, RISING);
}

void rising() {
  mmm = micros();
  tempo1 = mmm - 5000;
  if(tempo1%5==0){Dec0();}
  return mmm;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void falling() {
  Serial.println(".");
  delay(10);
  attachInterrupt(0, rising, RISING);
}

```

```

void loop()
{
  tempo = millis();
  if(digitalRead(0)==HIGH)
  {
    if(pulso==HIGH)
    {
      pulsos = pulsos + 1;
    }
    pulso=LOW;
  }
  else{
    pulso=HIGH;
  }
}

```

```

if(tempo%1000==0){
  freq = pulsos;
}

```

```

if (data==120){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Location");
  lcd.setCursor(10,0);
  lcd.print("ID: ");
  lcd.setCursor(14,0);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("01");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Room: ");
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print("Livingroom");

```

```

}

```

```

else if (data==102){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Location");
  lcd.setCursor(10,0);
  lcd.print("ID: ");
  lcd.setCursor(14,0);
  lcd.print("02");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Room : ");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print("Bedroom");
}

```

```

else if (data==85){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Location");
  lcd.setCursor(10,0);
  lcd.print("ID: ");
  lcd.setCursor(14,0);
  lcd.print("03");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Room : ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print("Workroom");
}
else {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Nothing");
}
pulsos=0;
}
}

//Function
void Dec0(){
    Serial.print("Binary : ");
    if(digitalRead(0)==HIGH)
    {
        Serial.print(" ");
    }
    if(digitalRead(0)==LOW)
    {
        Serial.print(" ");
    }
    delayMicroseconds(3750);
    Dec1();
}

```

```

void Dec1(){
    if(digitalRead(0)==HIGH)
    {
        data1=128;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("1");
}
if(digitalRead(0)==LOW)
{
data1=0;
Serial.print("0");
}
delayMicroseconds(1250);
Dec2();
}

void Dec2(){
if(digitalRead(0)==HIGH)
{
data2=64;
Serial.print("1");
}
if(digitalRead(0)==LOW)
{
data2=0;
Serial.print("0");
}
delayMicroseconds(1250);
Dec3();
}

```

```

void Dec3(){
if(digitalRead(0)==HIGH)
{
data3=32;
Serial.print("1");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(digitalRead(0)==LOW)
{
  data3=0;
  Serial.print("0");
}
delayMicroseconds(1250);
Dec4();
}

void Dec4(){
  if(digitalRead(0)==HIGH)
  {
    data4=16;
    Serial.print("1");
  }
  if(digitalRead(0)==LOW)
  {
    data4=0;
    Serial.print("0");
  }
  delayMicroseconds(1250);
  Dec5();
}

```

```

void Dec5(){
  if(digitalRead(0)==HIGH)
  {
    data5=8;
    Serial.print("1");
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(digitalRead(0)==LOW)
{
  data5=0;
  Serial.print("0");
}
delayMicroseconds(1250);
Dec6();
}

```

```

void Dec6(){
if(digitalRead(0)==HIGH)
{
  data6=4;
  Serial.print("1");
}
if(digitalRead(0)==LOW)
{
  data6=0;
  Serial.print("0");
}
delayMicroseconds(1250);
Dec7();
}

```

```

void Dec7(){
if(digitalRead(0)==HIGH)
{
  data7=2;
  Serial.print("1");
}
if(digitalRead(0)==LOW)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

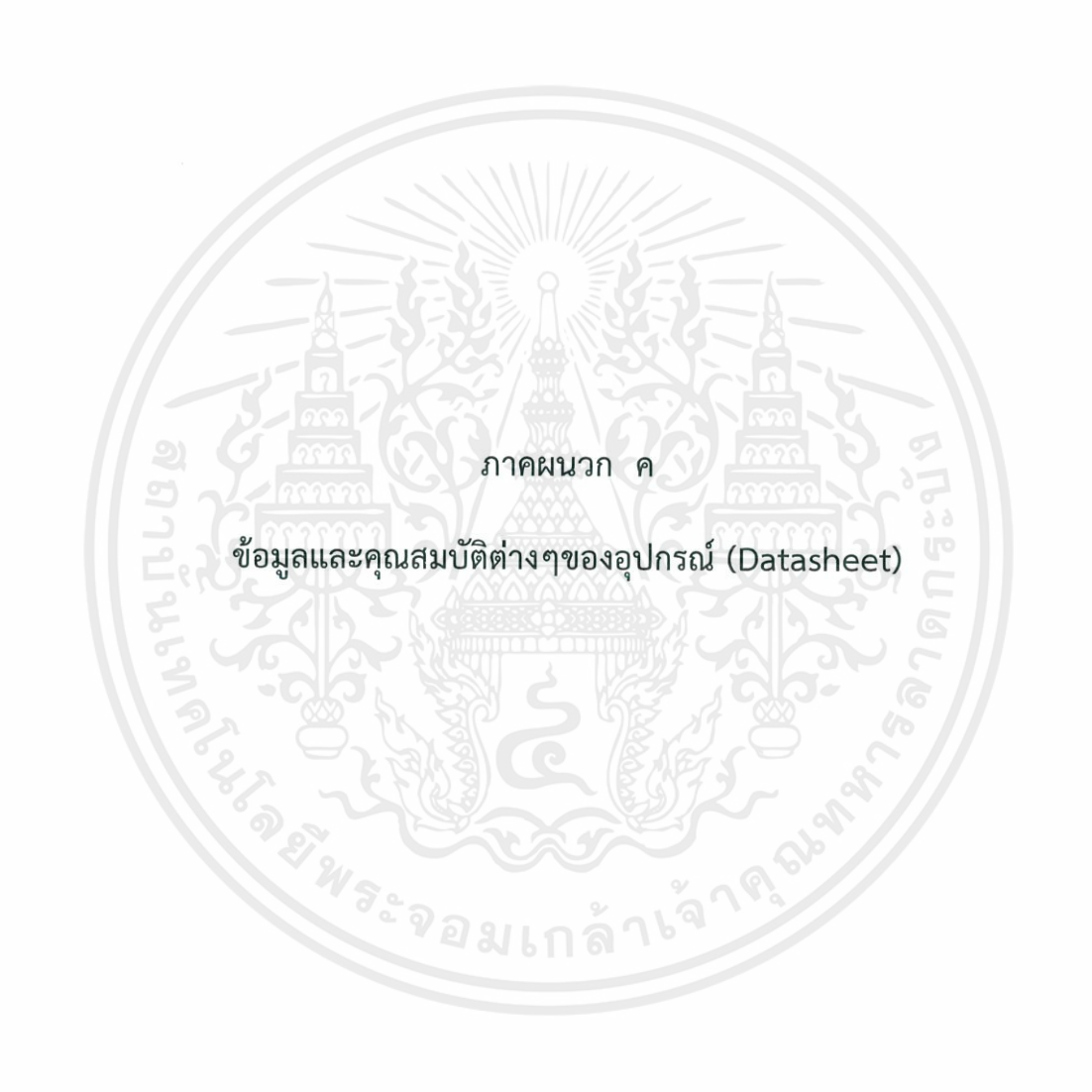
    {
        data7=0;
        Serial.print("0");
    }
    delayMicroseconds(1250);
    Dec8();
}

void Dec8(){
    if(digitalRead(0)==HIGH)
    {
        data8=1;
        Serial.print("1");
    }
    if(digitalRead(0)==LOW)
    {
        data8=0;
        Serial.print("0");
    }
    delayMicroseconds(1250);
    data = data1 + data2 + data3 + data4 + data5 + data6 + data7 +
data8;

    Decimal = data;
    Serial.print("    Decimal : ");
    Serial.print(Decimal);
    Serial.print("    ASCII : ");
    Serial.write(Decimal);
    delay(15);
    attachInterrupt(0, falling, FALLING);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



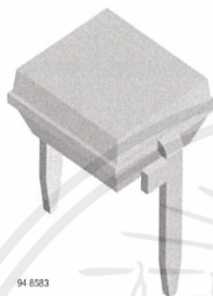
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

BPW34, BPW34S

Vishay Semiconductors

Silicon PIN Photodiode

94 8583

FEATURES

- Package type: leaded
- Package form: top view
- Dimensions (L x W x H in mm): 5.4 x 4.3 x 3.2
- Radiant sensitive area (in mm²): 7.5
- High photo sensitivity
- High radiant sensitivity
- Suitable for visible and near infrared radiation
- Fast response times
- Angle of half sensitivity: $\varphi = \pm 65^\circ$
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC


RoHS
 COMPLIANT
GREEN
 (5-2008)**
Note
 ** Please see document "Vishay Material Category Policy":
www.vishay.com/doc?99902
DESCRIPTION

BPW34 is a PIN photodiode with high speed and high radiant sensitivity in miniature, flat, top view, clear plastic package. It is sensitive to visible and near infrared radiation. BPW34S is packed in tubes, specifications like BPW34.

APPLICATIONS

- High speed photo detector

PRODUCT SUMMARY

COMPONENT	I_{ra} (μ A)	φ (deg)	$\lambda_{0.1}$ (nm)
BPW34	50	± 65	430 to 1100
BPW34S	50	± 65	430 to 1100

Note

- Test condition see table "Basic Characteristics"

ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
BPW34	Bulk	MOQ: 3000 pcs, 3000 pcs/bulk	Top view
BPW34S	Tube	MOQ: 1800 pcs, 45 pcs/tube	Top view

Note

- MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		V_R	60	V
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	P_V	215	mW
Junction temperature		T_J	100	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		T_{amb}	- 40 to + 100	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 40 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	$t \leq 3$ s	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance junction/ambient	Connected with Cu wire, 0.14 mm ²	R_{thJA}	350	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



www.vishay.com

BPW34, BPW34S
Vishay Semiconductors

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Breakdown voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}$, $E = 0$	$V_{(BR)}$	60			V
Reverse dark current	$V_R = 10\text{ V}$, $E = 0$	I_{ro}		2	30	nA
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$	C_D		70		pF
	$V_R = 3\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$	C_D		25	40	pF
Open circuit voltage	$E_o = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	V_o		350		mV
Temperature coefficient of V_o	$E_o = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	TK_{V_o}		-2.6		mV/K
Short circuit current	$E_A = 1\text{ klx}$	I_k		70		μA
	$E_o = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	I_k		47		μA
Temperature coefficient of I_k	$E_o = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	TK_{I_k}		0.1		%/K
Reverse light current	$E_A = 1\text{ klx}$, $V_R = 5\text{ V}$	I_{ra}		75		μA
	$E_o = 1\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$, $V_R = 5\text{ V}$	I_{ra}	40	50		μA
Angle of half sensitivity		ϕ		± 65		deg
Wavelength of peak sensitivity		λ_D		900		nm
Range of spectral bandwidth		$\lambda_{0.1}$		430 to 1100		nm
Noise equivalent power	$V_R = 10\text{ V}$, $\lambda = 950\text{ nm}$	NEP		4×10^{-14}		W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Rise time	$V_R = 10\text{ V}$, $R_L = 1\text{ k}\Omega$, $\lambda = 820\text{ nm}$	t_r		100		ns
Fall time	$V_R = 10\text{ V}$, $R_L = 1\text{ k}\Omega$, $\lambda = 820\text{ nm}$	t_f		100		ns

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

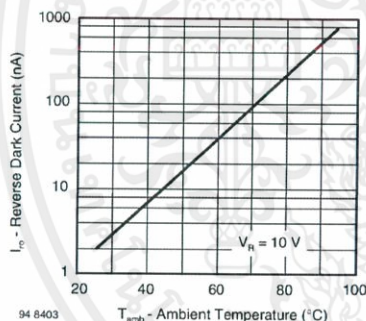


Fig. 1 - Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

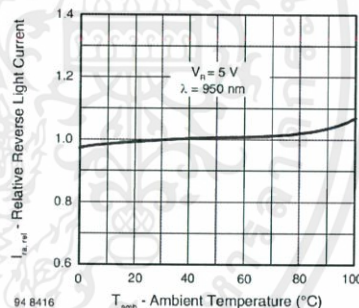
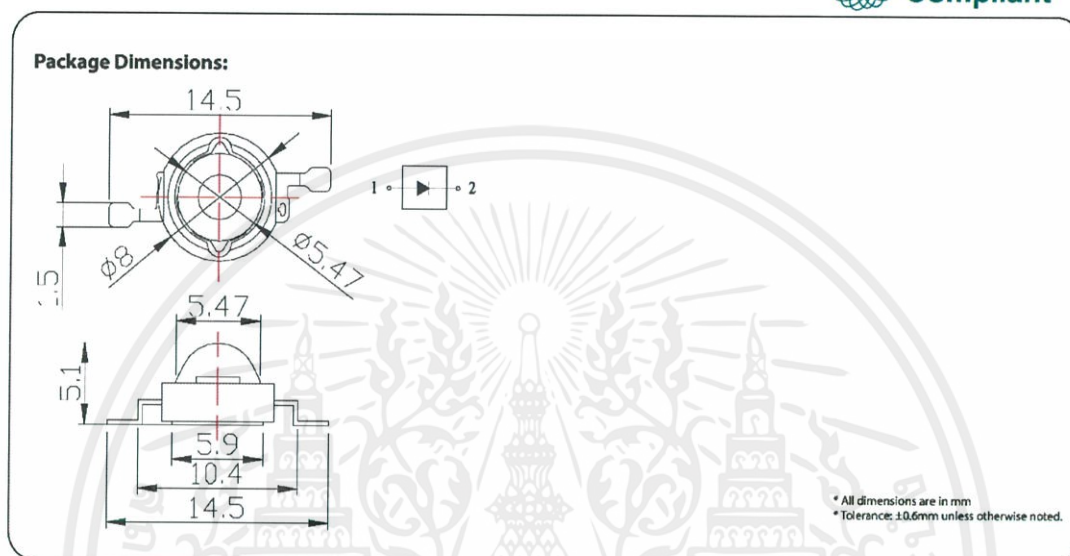


Fig. 2 - Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3W High Power LED



Ant Part No.	LED Chip		Lens Colour
	Material	Colour Coordinates	
703-0149	InGaN/Sapphire	Warm White	Water clear

Absolute Maximum Ratings at Ta=25°C:

Parameter	Rating	Unit
Power Dissipation	2730	mW
LED Junction Temperature	120	°C
Reverse Voltage	5	V
D.C. Forward Current	700	mA
Pulsed Forward Current; tp ≤ 100µs, Duty Cycle = 0.005)*1	1000	mA
Operating Temperature Range	-40 to +75	°C
Storage Temperature Range	-40 to +100	°C
Soldering Temperature	Dip Soldering: 260°C for 10sec. Hand Soldering: 350°C for 3sec.	
Electric Static Discharge Threshold (HBM)	6000	V

Important Notice: This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2011

www.element14.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3W High Power LED



Duty Cycle:



Notes:

1. Proper current derating must be observed to maintain junction temperature below the maximum.
2. All products not sensitive to ESD damage (6000 Volts by HBM condition).
3. Be careful with powered up current limited power supply, because of current spikes during power up and/or connection. Best practice is to connect the LED then turn up the voltage gradually. People building their own power supplies should design for minimum current spikes during power up and connection.
4. For best results the customer needs to provide proper control of the thermal path, protect against electrical overstress conditions and ensure the emitters are properly attached to the mcpcb/heat sink.
5. It is recommended that the temperature of lead does not exceed 55 °C.
6. It is recommended to apply an electrically isolated heat conductive film between slug and contact surfaces.

Electrical & Optical Characteristics:

Parameter	Symbol	Condition	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Luminous Flux	FULL	IF = 700 mA	-	170	-	lm
	Rank L1		160	-	180	
	Rank L2		180	-	200	
Forward Voltage	Rank V1	IF = 700 mA	2.9	-	3.1	V
	Rank V2		3.1	-	3.3	
	Rank V3		3.3	-	3.5	
	Rank V4		3.5	-	3.7	
	Rank V5		3.7	-	3.9	
Correlated Colour Temperature	CCT	IF = 700 mA	-	2700	-	K
CIE Chromaticity Coordinates: X Axis	X	IF = 700 mA	-	0.4578	-	-
CIE Chromaticity Coordinates: Y Axis	Y	IF = 700 mA	-	0.4101	-	-
Reverse Current	IR	Vr = 5V	-	-	50	µA
View Angle	2θ½	IF = 700 mA	-	130	-	deg
Thermal resistance Junction to Case	RθJ-c	IF = 700 mA	-	15	-	°C/W

- Notes: 1. The data is tested by an IS tester.
2. Customer's special requirements are also welcome.

Important Notice: This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2011.



August 2000

LM741 Operational Amplifier

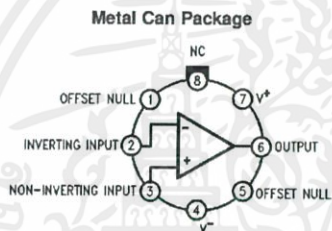
General Description

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

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

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

Connection Diagrams

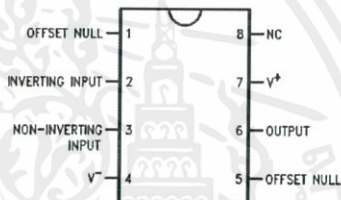


DS009341-2

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

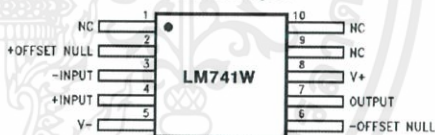
Dual-In-Line or S.O. Package



DS009341-3

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak

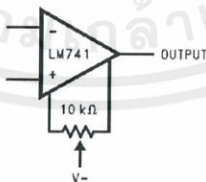


DS009341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



DS009341-7

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.0	5.0	2.0	6.0	mV	
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$									mV	
	$R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0							
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			4.0						mV	
	$R_S \leq 50\Omega$						6.0			mV	
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$								7.5	mV	
Average Input Offset Voltage Drift				15						$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10			±15			±15		mV	
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30	20	200	20	200		nA	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70	85	500		300		nA	
Average Input Offset Current Drift				0.5						nA/°C	
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80	80	500	80	500		nA	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210		1.5		0.8		μA	
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0	0.3	2.0		M Ω	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$	0.5								M Ω	
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$						±12	±13		V	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13				V	


MOTOROLA

Order this document by LM358/D

LM358, LM258, LM2904, LM2904V

Dual Low Power Operational Amplifiers

Utilizing the circuit designs perfected for recently introduced Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature 1) low power drain, 2) a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , 3) single supply or split supply operation and 4) pinouts compatible with the popular MC1558 dual operational amplifier. The LM158 series is equivalent to one-half of an LM124.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- Similar Performance to the Popular MC1558
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904 LM2904V	Unit
Power Supply Voltages				Vdc
Single Supply	V_{CC}	32	26	
Split Supplies	V_{CC}, V_{EE}	± 16	± 13	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	± 26	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	V_{ICR}	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous		
Junction Temperature	T_J	150		$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +125		$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A			$^\circ\text{C}$
LM258		-25 to +85	-	
LM358		0 to +70	-	
LM2904		-	-40 to +105	
LM2904V		-	-40 to +125	

NOTES: 1. Split Power Supplies.

2. For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 26 V for the LM2904, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

DUAL DIFFERENTIAL INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

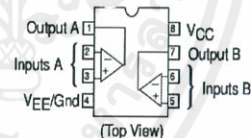


N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM2904D	$T_A = -40^\circ\text{ to } +105^\circ\text{C}$	SO-8
LM2904N		Plastic DIP
LM2904VD	$T_A = -40^\circ\text{ to } +125^\circ\text{C}$	SO-8
LM2904VN		Plastic DIP
LM258D	$T_A = -25^\circ\text{ to } +85^\circ\text{C}$	SO-8
LM258N		Plastic DIP
LM358D	$T_A = 0^\circ\text{ to } +70^\circ\text{C}$	SO-8
LM358N		Plastic DIP

© Motorola, Inc. 1996

Rev 2

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

 Order this document
 by BD135/D

**Plastic Medium Power Silicon
 NPN Transistor**

. . . designed for use as audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi complementary circuits.

- DC Current Gain — $h_{FE} = 40$ (Min) @ $I_C = 0.15$ Adc
- BD 135, 137, 139 are complementary with BD 136, 138, 140

BD135
BD137
BD139
1.5 AMPERE
POWER TRANSISTORS
NPN SILICON
45, 60, 80 VOLTS
10 WATTS

 CASE 77-08
 TO-225AA TYPE

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Type	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	BD 135 BD 137 BD 139	45 60 80	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	BD 135 BD 137 BD 139	45 60 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}		5	Vdc
Collector Current	I_C		1.5	Adc
Base Current	I_B		0.5	Adc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		1.25 10	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		12.5 100	Watt mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}		-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	θ_{JC}	10	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	θ_{JA}	100	$^\circ\text{C}/\text{W}$

REV 7

© Motorola, Inc. 1995



BD135 BD137 BD139**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Type	Min	Max	Unit
Collector–Emitter Sustaining Voltage* ($I_C = 0.03 \text{ A dc}$, $I_B = 0$)	BV_{CEO}^*	BD 135 BD 137 BD 139	45 60 80	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 30 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 30 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	I_{CBO}		—	0.1 10	$\mu\text{A dc}$
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}		—	10	$\mu\text{A dc}$
DC Current Gain ($I_C = 0.005 \text{ A}$, $V_{CE} = 2 \text{ V}$) ($I_C = 0.15 \text{ A}$, $V_{CE} = 2 \text{ V}$) ($I_C = 0.5 \text{ A}$, $V_{CE} = 2 \text{ V}$)	h_{FE}^*		25 40 25	— 250 —	—
Collector–Emitter Saturation Voltage* ($I_C = 0.5 \text{ A dc}$, $I_B = 0.05 \text{ A dc}$)	$V_{CE(sat)}^*$		—	0.5	Vdc
Base–Emitter On Voltage* ($I_C = 0.5 \text{ A dc}$, $V_{CE} = 2.0 \text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}^*$		—	1	Vdc

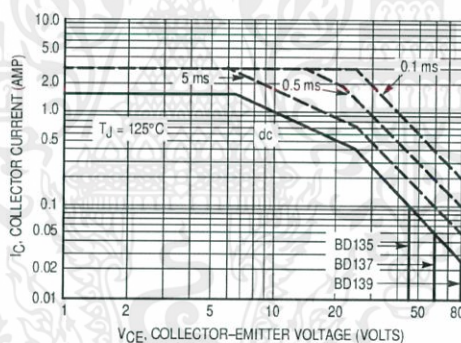
* Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

Figure 1. Active-Region Safe Operating Area