

ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย  
ENERGY MANAGEMENT IN LIGHTING SYSTEM FOR RESIDENCE

โดย

กรัณธรรัตน์	สรรพรทรัพย์ศิริ
จากุพัจน์	แหววงศ์ทอง
ชุตินมณฑน์	เลิศมโนกุล
ธนภัทร	มาลัยกฤษณะชลี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย  
ENERGY MANAGEMENT IN LIGHTING SYSTEM FOR RESIDENCE

โดย

กรัณธรรัตน์	สรรรพทรัพย์สิริ
จามุพจน์	แหววงค์ทอง
ชุตินนทน์	เลิศมโนกุล
ธนภัทร	มาลัยกฤษณะชลี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# ENERGY MANAGEMENT IN LIGHTING SYSTEM FOR RESIDENCE

GARANTHARAT SUPPASUBSIRI  
JATUPAT WAEWONGTHONG  
CHUTIMON LERTMANOKUL  
THANAPAT MALAIKRITSANACHALEE

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปีการศึกษา 2556  
ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย  
ENERGY MANAGEMENT IN LIGHTING SYSTEM FOR RESIDENCE

โดย

นาย กรัณฐรัตน์	สรรพรทรัพย์ศิริ
นางสาว จาญพัจน์	แวววงศ์ทอง
นางสาว ชุติมณฑน์	เลิศมโนกุล
นาย ธนภัทร	มาลัยกฤษณะชลี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล

ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาแสน

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

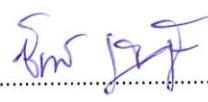
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย

ผู้จัดทำ

1. นาย กรัณฐรัตน์ สรรพทรัพย์ศิริ
2. นางสาว จาญพัจน์ แววงค์ทอง
3. นางสาว ชุตติมณฑน์ เลิศมโนกุล
4. นาย ธนภัทร มาลัยกฤษณะชลี

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เจ้าพิทักษ์กุล )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน )

## การจัดการพลังงานในระบบแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย

นายกรัณห์รัตน์ สรรพทรัพย์ศิริ

นางสาวจัญญ์พัจน์ แววงค์ทอง

นางสาวชุตติมณฑน์ เลิศมโนกุล

นายธนภัทร มาลัยกฤษณะชลี

ผศ.ดร.อรรถพล เก่งพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย โดยการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประเภทไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode : LED) ที่ติดตั้งชุดควบคุมการเพิ่มหรือลดของแสงสว่าง (Dimming control system) แทนหลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) เพื่อควบคุมระดับความสว่างบนพื้นที่ทำงานจากหลอดไดโอดเปล่งแสงให้มีความเหมาะสมกับแสงธรรมชาติจากภายนอก โดยหลอดไดโอดเปล่งแสงจะให้ความสว่างน้อยในช่วงเวลากลางวัน และความสว่างจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางคืน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นจากเดิมที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้ยังได้นำอุปกรณ์ซิกบี (ZigBee) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้เข้ากับระบบแสงสว่างภายในที่พักอาศัย ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นผลให้สามารถลดค่าไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างภายในที่พักอาศัยได้ในแต่ละเดือน

## Energy Management in Lighting System for Residence

Mr. Garantharat Suppasubsiri

Ms. Jatupat Waewongthong

Ms. Chutimon Lertmanokul

Mr. Thanapat Malaikritsanachalee

Asst.Prof.Dr. Atthapol Ngaopitakkul     Supervisor

Asst.Prof.Dr. Chaiyan Jettanasen        Supervisor

Year 2013

### Abstract

This thesis focuses on the energy management in lighting system for residence. The proposed system has replaced the original fluorescent tubes by LED bulbs and installed lighting control equipment consisting of 2 parts: dimmer circuit and light sensors in order to control illumination on the working plane; this also depends on the natural light. The idea is the LED's light will be dropped in the daytime or when there is too much light on the working area and the light will be brighten up in the night or when there is too little light on that zone. This equipment also uses ZigBee to communicate with the microcontroller in the dimmer circuit as a wireless communication system. As a result, the proposed system will be useful for consumers to save more electrical energy and reduce their bills in each month.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปด้วยดีได้ หากปราศจากการช่วยเหลือของบุคคลดังต่อไปนี้ ผศ.ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล และ ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน ทั้งสองท่านนี้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษาเสมอ และขอบคุณอาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้

ขอบคุณคุณวิเศษ ปุยสำลี นักพัฒนาระบบของห้องปฏิบัติการ ESL สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่คอยให้คำแนะนำในด้านการใช้งานระบบส่งข้อมูลไร้สายโดยใช้ซิกบี

ขอบคุณคุณนครศักดิ์ แสงสี เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการที่คอยอำนวยความสะดวกในการเบิกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ต้องขอบคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง เพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	7
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ .....	7
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ .....	7
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	8
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	10
2.1 นิยามและศัพท์เกี่ยวกับแสง.....	10
2.2 ระบบการให้แสงสว่าง.....	11
2.3 การตรวจจับจุดผ่านศูนย์กลาง .....	12
2.4 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Sampling).....	13
2.5 หลักการควบคุมมมูเฟส .....	13
2.6 ตัวประกอบกำลัง.....	14
2.7 หลอดไดโอดเปล่งแสง.....	16
2.8 อาร์ดูโน้ (Arduino).....	20
2.9 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN Technology) .....	22
2.10 ซิกบี (Zigbee).....	24
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดสร้าง .....	29
3.1 บทนำ.....	29
3.2 การวัดความเข้มแสงด้วย TEMT6000 .....	29
3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	30
3.4 ส่วนการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย.....	30
3.5 วงจรส่วนของการรับสัญญาณ.....	31
3.6 วงจรส่วนของการประมวลผลและปรับความสว่างของแสง .....	33

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flowchart).....	37
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	41
4.1 การศึกษาด้านพลังงาน .....	41
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการใช้วงจรทรานซิสเตอร์.....	58
4.3 การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	68
4.4 การศึกษาด้านคุณภาพของแสงเมื่อใช้วงจรทรานซิสเตอร์.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	72
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	73
เอกสารอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมความเข้มแสง .....	79
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ .....	100
ภาคผนวก ค เอกสารทางวิชาการ .....	114

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและขาออก .....	12
2.2 วงจรพื้นฐานที่ใช้ไตรแอก .....	13
2.3 วงจรพื้นฐานที่ใช้ไตรแอก .....	14
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังดิสเพลสเมนต์ ค่าตัวประกอบกำลังรวม และค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์กระแส .....	15
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังผิดเพี้ยนค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์แรงดัน และค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์กระแส .....	16
2.6 ลักษณะของโมดูลขยาย .....	21
2.7 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบเพียร์ทูเพียร์ .....	22
2.8 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบโคลแลนเซอเวอร์ .....	23
2.9 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Multiple access points and roaming .....	23
2.10 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบการใช้เอ็กซ์เทนชันพอยท์ .....	24
2.11 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบการใช้สายอากาศที่มีทิศทาง .....	24
2.12 ย่านความถี่และช่องสัญญาณของซิกบี .....	25
2.13 โครงสร้างของโปรโตคอลซิกบี .....	25
2.14 ลักษณะการทำงานของซิกบี .....	27
2.15 การทำงานของซิกบีแบบโครงข่าย .....	27
2.16 โทโพลยีของเครือข่ายซิกบี .....	28
3.1 ตัวตรวจจับความเข้มแสงสว่าง TEMT6000 .....	29
3.2 วงจรตรวจจับความเข้มแสงสว่าง .....	29
3.3 บอร์ดอาดูโน่ รุ่นยูนีอาร์ทรี .....	30
3.4 แสดงวงจรของบอร์ด ADX-XBee 3 โวลต์ .....	31
3.5 รายละเอียดของ ADX-XBee บอร์ดเชื่อมต่อโมดูลกับอุปกรณ์ภายนอก .....	31
3.6 วงจรแบ่งแรงดัน .....	32
3.7 วงจรการรับสัญญาณ .....	32
3.8 ส่วนของการรับสัญญาณ .....	33
3.9 วงจรส่วนการประมวลผลและวงจรปรับค่าความสว่าง .....	34
3.10 แผนผังแสดงการทำงานของส่วนของการประมวลผลและปรับความสว่าง .....	34
3.11 ส่วนของการรับสัญญาณและปรับความสว่าง .....	35
3.12 วงจรปรับความสว่างของแสง .....	36
3.13 ส่วนของการรับสัญญาณควบคุมและประมวลผล .....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ลำดับขั้นตอนการทำงาน.....	38
3.15 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (ต่อ) .....	39
3.16 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (ต่อ) .....	40
4.1 ห้องทดลองจริง .....	42
4.2 แผนผังตำแหน่งหลอดไฟของห้องทดลอง .....	43
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลา ในกรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอด และโคมดาวนไลท์ 4 หลอด โดยคงค่าความสว่างที่ 350 – 400ลักซ์ .....	47
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลา ในกรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอด และโคมดาวนไลท์ 4 หลอด โดยคงค่าความสว่างที่ 400 - 450ลักซ์ .....	52
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาในกรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 โคม และโคมดาวนไลท์ 4 โคม โดยคงค่าความสว่างที่ 450 – 500ลักซ์ .....	57
4.6 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0 .....	59
4.7 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0 .....	59
4.8 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 20 .....	60
4.9 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 20 .....	60
4.10 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 30 .....	61
4.11 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 30 .....	61
4.12 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 40 .....	62
4.13 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 40 .....	62
4.14 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50 .....	63
4.15 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50 .....	63
4.16 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 60 .....	64
4.17 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 60 .....	64
4.18 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 90 .....	65
4.19 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 90 .....	65
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลและความเข้มแสง .....	71

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ .....	8
2.1 การเปรียบเทียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE IES และ BS .....	11
2.2 เปรียบเทียบระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดไฟชนิดต่าง ๆ.....	20
4.1 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์.....	43
4.2 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์.....	44
4.3 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์.....	44
4.4 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรคไลท์ กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์ .....	45
4.5 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์.....	45
4.6 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด และโคมแทรคไลท์ 6 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์ .....	46
4.7 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอดและโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์.....	47
4.8 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์.....	48
4.9 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์.....	49
4.10 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์ .....	49
4.11 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรคไลท์ กรณีค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์.....	50
4.12 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีค่า ความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์.....	50
4.13 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด และโคมแทรคไลท์ 6 หลอดกรณีค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์ .....	51

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรกไลท์ 6 หลอดและโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์ .....	52
4.15 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	53
4.16 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	54
4.17 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	54
4.18 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์ กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	55
4.19 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	55
4.20 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด และโคมแทรกไลท์ 6 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	56
4.21 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรกไลท์ 6 หลอดและโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์ .....	56
4.22 ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เมื่อทำการหรี้หลอดไฟในระดับต่าง ๆ .....	67
4.23 การเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าเมื่อใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์ จำนวน 2 หลอด และใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 8 วัตต์จำนวน 4 หลอดแบบติดตั้งวงจรหรี้ไฟอัตโนมัติ .....	68
4.24 การเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าเมื่อใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 8 วัตต์จำนวน 4 หลอด แบบติดตั้งวงจรหรี้ไฟอัตโนมัติและแบบไม่ติดตั้งวงจรหรี้ไฟอัตโนมัติ .....	69
4.25 ความเข้มแสงของแต่ละระดับของหลอดไดโอดเปล่งแสง .....	70

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอัตราการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยแต่ละปีประเทศไทยต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการบริหารจัดการพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการ ส่วนใหญ่แล้วต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันพลังงานที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุดก็คือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประเทศไทยมีอัตราการเจริญเติบโตในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงและเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี จึงได้มีการวางแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย เป็นแผนที่รองรับนโยบายเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าของกระทรวงพลังงานหรือที่เรียกกันว่าพีดีพี (Power Development Plan : PDP) [1] โดยแผนนี้เป็นแผนการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้าของประเทศในอนาคต 15-20 ปีทำให้การลงทุนในการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าภายในประเทศที่เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งในประเทศอื่นๆ ก็ได้มีแนวทางในการควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าเช่นกัน เช่น ในประเทศเกาหลีมีการศึกษาในเรื่องของการอนุรักษ์หรือการประหยัดพลังงาน (Energy saving) โดยรัฐบาลเกาหลีได้ทำการให้ข้อมูลในเรื่องของการประหยัดพลังงาน และจัดการรณรงค์ต่างๆ ให้กับประชาชน เพื่อให้ประชาชนเกิดความรู้สึกนึกคิดหรือแรงจูงใจในการประหยัดการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการที่จะช่วยให้การบริโภคพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศนั้นมีแนวโน้มลดลง

จากความสำคัญของการใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงาน และเป็นจุดเริ่มต้นที่นำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าพลังงานและเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากต่างประเทศ โดยจะต้องคำนึงถึงสิ่งที่สำคัญของการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพคือการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดแต่จะต้องบรรลุวัตถุประสงค์ตามความต้องการครบทุกประการ คณะผู้จัดทำจึงมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยลดลง

ในการที่จะประหยัดพลังงานไฟฟ้านั้น จะต้องคำนึงถึงการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak load) ซึ่งการลดค่าความต้องการสูงสุดดังกล่าวนี้มีวิธีต่างๆ หลายวิธี ซึ่งในปัจจุบันมีระบบหนึ่งที่น่าสนใจในการลดการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยในปัจจุบันคือ ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) ซึ่งมีการศึกษา ออกแบบและทดลองกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยจากงานวิจัยต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศนั้นก็ได้มีการศึกษาถึงการบริโภคพลังงานไฟฟ้าหรือพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้เพื่อต้องการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดซึ่งมีตัวอย่างงานวิจัยมากมายที่มีการศึกษาและทดลองใช้ระบบบ้านอัจฉริยะกันอย่างมากมาย เช่น ตัวอย่างงานวิจัยระบบบ้านอัจฉริยะ [2] ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 ในการควบคุมและมีการตรวจจับต่างๆ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เมื่อรับค่าของ

จำนวนของคนที่อยู่ภายในห้องแล้ว ก็จะทำการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ เปิดพัดลมถ้าต้องการ เปิดหรือปิดไฟได้อย่างเหมาะสม ซึ่งตัวต้นแบบบ้านอัจฉริยะที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ได้ติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิไว้ในห้องต่างๆ และตัวตรวจจับอินฟราเรดได้ถูกติดตั้งไว้ที่ประตู โดยโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดว่าไฟตำแหน่งใดควรเปิดหรือปิด และระดับความเร็วของพัดลมนั้นจะตั้งไว้ที่ระดับใด นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าโดยรวม ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบราคาค่าไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ (Real time) อีกด้วย จะเห็นว่าบ้านอัจฉริยะจะสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างมาก เพราะช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ให้แก่ผู้พักอาศัย ทำให้ง่ายต่อการควบคุมและเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไปในทางที่ดีขึ้นหรืออย่างในประเทศไทยที่มีการมอบรางวัลบ้านอนุรักษ์พลังงานดีเด่นในปี พ.ศ.2554 เป็นบ้านอัจฉริยะที่ชื่อว่า Given House ซึ่งมีระบบที่ใช้ในการจัดการการใช้พลังงานต่างๆ ภายในบ้าน ให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

นอกจากระบบบ้านอัจฉริยะแล้ว [3] ระบบบ้านอัตโนมัติ (Home Automation) ก็ยังเป็นที่แพร่หลายในอีกหลายประเทศอีกด้วย ซึ่งเทคโนโลยีต่างๆ ที่นำมาใช้ในการควบคุมบ้านอัตโนมัตินี้ไม่เพียงแต่สามารถควบคุมผ่านทาง การสื่อสารและวัตถุที่เป็นสื่อกลางเท่านั้น เทคโนโลยีเหล่านี้ยังสามารถช่วยให้ผู้อยู่อาศัย หรือผู้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านสามารถควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ได้โดยผ่าน 2 ช่องทาง ช่องทางแรกคือการควบคุมทางไกลผ่านระบบการสั่งงานด้วยเสียง (Voice command) และอีกช่องทางหนึ่งคือการใช้การควบคุมผ่านรีโมท (Remote control) ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการควบคุมแบบแรก โดยระบบบ้านอัตโนมัตินั้นจะใช้สื่อกลางต่างๆ ในการควบคุมการทำงาน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) ระบบอินเทอร์เน็ต (mobile internet) ระบบจีเอสเอ็มบลูทูธ (GSM Bluetooth) และระบบซิกบี (Zigbee Network) เป็นต้น หลักการในการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในที่พักอาศัย ผ่านระบบการสั่งงานด้วยเสียง (Voice command) คือการแปลงคำสั่งเสียงจากผู้ใช้ ผ่านระบบข้อความแบบสั้น (Short Message Service : SMS) จากนั้นจะทำการส่งข้อความนี้ผ่านระบบจีเอสเอ็ม (GSM Network)

ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้านั้น การควบคุมการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างก็เป็นสิ่งสำคัญเพราะแสงสว่างเป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้ภายในที่พักอาศัย และระบบแสงสว่างยังเป็นระบบที่มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดภายในอาคารที่อยู่อาศัยอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันนั้นหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายอย่างมาก เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไฟธรรมดาทั่วไป หลอดไฟหลอดส่วนจึงได้เริ่มเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทน หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันทั่วไปมากขึ้น ซึ่งก็มีงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อดีของการใช้เทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงอย่างมาก เช่น งานวิจัยที่ได้กล่าวถึงการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้ในงานในโรงงานเยื่อกระดาษในด้านของความปลอดภัย [4] คุณภาพแสงและความเชื่อถือได้ของหลอดไดโอดเปล่งแสง เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีทางแสงชนิดอื่นๆ พบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้นมีความเสี่ยงในการเกิดการลุกไหม้และมลภาวะที่น้อยกว่า บริโภคพลังงานน้อยกว่าและยังให้ความสว่าง

และคุณภาพทางแสงที่ดีกว่า รวมไปถึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและไม่มีส่วนผสมของปรอทหรือวัสดุที่เป็นอันตราย นอกจากนี้แล้วยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแสงสว่างอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงสุด เช่น การเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กันตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจากตัวอย่างงานวิจัยพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหลอดไฟธรรมดา ทั้งความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าหรือกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าหรืออายุการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไฟธรรมดาทั่วไป หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงเหมาะสมในการใช้กับระบบที่ต้องการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในที่พักอาศัย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการควบคุมการใช้พลังงานแสงสว่างของร้านค้าโดยการลดความสว่างลง [5] ซึ่งสามารถช่วยให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพขึ้นได้ โดยการใช้กล้องดิจิตอล ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับมิเตอร์วัดค่าความส่องสว่าง (luminance meter) จุดประสงค์หลักของตัวควบคุมคือ การทำให้ค่าความเปรียบต่าง (Contrast) ภายในอาคารเทียบกับสภาพแวดล้อมนั้นคงที่ และยังมีตัวอย่างงานวิจัย [6] ที่อ้างถึงการประหยัดพลังงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง เมื่อเปลี่ยนมาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 50% นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้นำเสนอระบบแสงสว่างอัจฉริยะจากหลอดไดโอดเปล่งแสง สำหรับบ้านพักอาศัย [7] โดยประกอบไปด้วยเซนเซอร์ต่างๆ และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication Technology) เพื่อที่จะนำไปควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสง ให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งระบบดังกล่าวนี้สามารถลดการบริโภคพลังงานรวมของระบบได้มากถึง 21.9%

ในการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทนหลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์เพื่อลดการบริโภคพลังงานภายในอาคารนั้น ยังพบว่าสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้มากขึ้นไปอีก [8] โดยการใช้วงจรควบคุมการเพิ่มหรือลดความสว่าง (Dimming control system) ของหลอดไฟ ซึ่งมีทั้งการใช้วิธีการสื่อสารแบบใช้สาย (Wired communication) และแบบไร้สาย (Wireless communication) โดยการติดตั้งระบบการสื่อสารแบบมีสายนั้นจะมีข้อเสีย เนื่องจากต้องมีการแยกการติดตั้งสายสื่อสาร ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ ในต่างประเทศพบว่าการใช้ระบบควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟ โดยใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ [9] เข้ามาช่วยด้วยนั้นทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 30%-40% โดยในปัจจุบันนี้นั้นวงจรหรือไฟแบบควบคุมเฟส (Phase-controlled) ที่ใช้ไตรแอก ยังคงเป็นเทคนิคหลักที่ใช้ในการควบคุมการหรือไฟในท้องตลาด และมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้กับหลอดไส้ แรงดันขาออกเฉลี่ยหรือกำลังไฟฟ้าขาออกของวงจรหรือไฟไตรแอก จะถูกควบคุมโดยมุมจุดชนวน ( $\theta$ ) ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับหลอดไส้ นั้นจะทำให้การใช้งานของหลอดไส้ในแง่ของพลังงานนั้นมีประสิทธิภาพ และยังมีงานวิจัยของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี [10] ได้มีการจัดเตรียมโปรเจกต์ที่เรียกว่า "Working Comfort and Energy saving by using the control system" โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาว่า การใช้ระบบควบคุมแสงสว่างเปรียบเทียบกับระบบแสงสว่างธรรมดาสามารถประหยัดพลังงานได้เท่าไร

โดยใช้ข้อมูลที่เก็บใน 1 ปี และข้อมูลจะแบ่งเป็นเดือน ฤดู และปี ซึ่งการประหยัดพลังงานโดยใช้ระบบควบคุมแสงสว่างจะแสดงให้เห็นความแตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือนและฤดู จากผลการทดสอบพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 30% ในสภาพเงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป [11] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบระบบการควบคุมแสงสว่างสองแบบคือ ระบบที่มีการหรี่ไฟอย่างต่อเนื่องและระบบที่เปิด ปิด อัตโนมัติ โดยทดสอบในเงื่อนไขที่แตกต่างกันในการควบคุม ซึ่งพิจารณาจากพื้นที่การส่องสว่างและการบริโภคพลังงานไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่าภายใต้เงื่อนไขที่ห้องฟ้าปลอดโปร่งและปราศจากสิ่งปกคลุม ระบบควบคุมแสงสว่างทั้งสองสามารถลดการบริโภคพลังงานได้เฉลี่ย 50-60% เมื่อเปรียบเทียบกับแสงสว่างอย่างเต็มที่ ตั้งแต่ 6 โมงเช้าถึง 6 โมงเย็น โดยระบบที่มีการหรี่ไฟอย่างต่อเนื่องสามารถลดการใช้พลังงานได้ 4-45% ในขณะที่ระบบเปิด-ปิด อัตโนมัติ สามารถลดการใช้พลังงานได้ 5-80% จากงานวิจัยดังกล่าวนี้ทำให้ทราบว่า การใช้วงจรควบคุมการเพิ่มหรือลดความสว่างสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์

นอกจากการควบคุมการเพิ่มลดความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงแล้ว [12] ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมแสงสว่างให้สอดคล้องกันกับแสงจากธรรมชาติจากภายนอกตามความเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา โดยจะต้องคำนึงถึงความสบายในการมองเห็นและการประหยัดพลังงานของแสงสว่างภายในอาคาร ซึ่งมีแนวความคิดคือควบคุมระดับแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพทางด้านพลังงาน ทำให้แสงสว่างนั้นอยู่ในระดับความสว่างที่เหมาะสมพอดีตามความต้องการในแต่ละพื้นที่นั้นๆ ในขณะที่เดียวกันก็ลดระดับความสว่างให้อยู่ในระดับที่ต่ำสุดในพื้นที่ที่ไม่ต้องการแสงสว่างเพื่อที่จะทำการควบคุมตามที่กล่าวนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมหลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ละหลอด โดยควบคุมระดับแสงสว่างตามที่ต้องการได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งเซนเซอร์แสง (Light Sensor) เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor) เพื่อควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงให้เป็นไปตามสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานในห้องทำงานโดยการใช้วิธีการควบคุมที่ต่างกัน [13] โดยใช้การจำลองจากโปรแกรม DAYSIM เพื่อแสดงการคำนวณแสงสว่างและการควบคุมกำลังไฟฟ้าในฟังก์ชันของแสงธรรมชาติ โดยการควบคุมจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของห้อง ซึ่งพบว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 45-61% การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการประหยัดพลังงานจะสูงขึ้นเมื่อการมีควบคุมแสงสว่างให้สอดคล้องกับแสงสว่างจากธรรมชาติในเวลากลางวันและจะขึ้นอยู่กัทิศทางและตำแหน่งเล็กน้อย ในกรณีนี้ประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานจะเท่ากับ 61% ของการใช้พลังงานในหนึ่งปี

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น จะเห็นว่าการเลือกใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มหรือลดแสงสว่างนั้น จะช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก แต่ในการใช้งานนั้น ก็จะต้องมีการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อรับค่าแสงสว่างบริเวณพื้นที่นั้นๆ แล้วนำค่าความเข้มแสงนั้นไปคำนวณเพื่อหาปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสมของหลอดไดโอดเปล่งแสง ซึ่งการใช้งาน

เซนเซอร์นั้นมีการติดตั้งแบบใช้สาย และแบบไร้สาย แต่การติดตั้งแบบใช้สายนั้นจะมีข้อเสียมากกว่าแบบไร้สาย เช่น ในระบบบ้านอัจฉริยะที่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติ [14] ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เซนเซอร์เป็นจำนวนมากเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล โดยในสมัยก่อนนั้นจะเป็นระบบที่ต้องเดินสาย ทำให้มีค่าใช้จ่ายของสายและการติดตั้งเป็นจำนวนมาก และการเดินสายของอุปกรณ์นั้นไม่สะดวกสำหรับการนำไปใช้งานในธรรมชาติ เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งแบบไร้สายแล้ว การติดตั้งแบบไร้สายจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารวมไปถึงการใช้งานที่สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยที่ใช้การสื่อสารแบบไร้สาย [15] โดยติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อทางด้านแสงสว่างเพื่อใช้แสงจากธรรมชาติมาช่วยในการลดการใช้พลังงานภายในอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่าย วิธีการนี้เปรียบเหมือนการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานต่ำๆ หรือลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น ซึ่งประโยชน์ของการใช้เซนเซอร์ที่ใช้การติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless sensor network) คือ ง่ายต่อการติดตั้งภายในอาคาร มีขนาดและราคาเหมาะสม โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีอยู่มากมาย เช่น ซิกบี (ZigBee) [16] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการควบคุมดิจิทัลแบบไร้สายและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบแสงสว่างภายในอาคาร และภายนอกอาคาร เพื่อที่จะเปิดหรือปิดไฟในเวลาที่เหมาะสม ทำให้สามารถลดการบริโภคพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับความเหมาะสมในการนำซิกบีมาใช้งานร่วมกับเซนเซอร์เนื่องจากมีการบริโภคพลังงานต่ำ [17] และเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น บลูทูธ (Bluetooth) หรือ ไวไฟ (WiFi) จะพบว่า ซิกบีมีความยืดหยุ่นทางสถาปัตยกรรมที่มากกว่า ราคาถูก และมีกรบริโภคพลังงานที่ต่ำกว่า [18] โดยในปัจจุบันนั้นซิกบีเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานด้านการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สาย อีกทั้งซิกบีมีขนาดเล็ก จึงใช้เนื้อที่ไม่มากในการติดตั้งอุปกรณ์ และยังมีประสิทธิภาพที่ดี สามารถรับข้อมูลที่อัตราการส่งต่ำๆ ได้ และใช้พลังงานน้อยในการทำงาน รวมไปถึงมีความปลอดภัยและเชื่อถือได้ [19] นอกจากนี้ ซิกบียังเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในพื้นที่ต่างๆ อีกทั้งยังมีความน่าเชื่อถือ ความยืดหยุ่น และราคาไม่แพง จึงเหมาะกับการนำมาใช้ร่วมกับระบบควบคุมแสงสว่างภายในที่อยู่อาศัยแบบไร้สาย [20] โดยในปัจจุบัน ซิกบีก็กำลังเป็นที่ต้องการอย่างมากของตลาดทางด้านพลังงาน ซึ่งจากเหตุผลต่างๆ ที่ได้กล่าวในข้างต้นนั้น ซิกบีจึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานร่วมกับเซนเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบไร้สายในระบบแสงสว่างภายในที่อยู่อาศัย [21] ซึ่งการควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยใช้ระบบซิกบีนั้นเป็นการนำเอาข้อดีของซิกบี ในด้านการสื่อสารแบบไร้สายที่มีช่วงของการส่งข้อมูลแบบไร้สายที่สั้น มีการควบคุมที่ง่ายและสะดวกสบายในการใช้งานนั่นเอง [22] ซึ่งในปัจจุบันเซนเซอร์และซิกบีได้ถูกนำมาใช้ร่วมกันเป็นเครือข่ายไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องการเก็บข้อมูลหรือกระบวนการต่างๆ เช่น งานอุตสาหกรรม งานเกษตรกรรม งานในเชิงพาณิชย์หรือการค้า งานโลจิสติก การแพทย์ หรือ งานจราจร เป็นต้น ซึ่งงานเหล่านี้เป็นงานที่มีความคุ้มครองกระบวนการในการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยในต่างประเทศก็ได้มีการทำวิจัยเกี่ยวกับการนำซิกบีมาใช้ในงานประเภทต่างมากมาย ยกตัวอย่างเช่น การนำซิกบีมาใช้งานร่วมกับระบบแสงสว่างภายในโรงงานอุตสาหกรรม [23] ทำให้สามารถควบคุมและใช้งานได้อย่างสะดวกสบาย อีกทั้งยังช่วย

ให้ประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น การนำเอาชิปบีมาใช้ในการติดตามข้อมูลทางแสงในโรงงานเพาะปลูกทางการเกษตร [24] การใช้ชิปบีในระบบการควบคุมไฟถนนที่ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามข้อมูลของหลอดแต่ละหลอดมากขึ้น [25] การนำชิปบีมาใช้งานร่วมกับเซนเซอร์ต่างบ้านพักคนชรา [26] เพื่อติดตามข้อมูลต่างๆ ของผู้สูงอายุ เช่น ข้อมูลทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจ และความดัน เป็นต้น การนำชิปบีมาประยุกต์ใช้กับการปลูกพืชในเรือนกระจก [27] ซึ่งมีการติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น เพื่อติดตามข้อมูลสภาพอากาศภายในเรือนกระจก งานวิจัยที่นำเสนอการลดความสว่างแบบดิจิทัลไร้สายของระบบแสงสว่างสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยการส่งข้อมูลผ่านชิปบี ร่วมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ [28] เพื่อที่จะทำให้การควบคุมการลดความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ในพื้นที่ทดลองนั้นสามารถสื่อสารทางไกลแบบไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในการติดตามผลข้อมูลต่างๆ นั้นสามารถทำได้ผ่านโปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกเหนือจากนั้น ชิปบียังเป็นอุปกรณ์มีการควบคุมแบบดิจิทัลไร้สาย [29] ซึ่งจากงานวิจัยพบว่า การควบคุมแบบดิจิทัลช่วยให้หลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ใช้งานนั้นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น และช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการติดตั้งของหลอดไดโอดเปล่งแสงเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยนั้น นอกจากการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงที่สามารถควบคุมระดับความสว่างและใช้งานร่วมกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายชิปบีนั้น จะต้องคำนึงถึงประเภทของหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่จะนำใช้งานแทนหลอดไฟเดิมด้วยว่ามีความเหมาะสมกับลักษณะของการใช้งานและพื้นที่ที่ติดตั้งหรือไม่อย่างไร หลังจากติดตั้งแล้วจะสามารถให้ความสว่างได้เพียงพอต่อความต้องการในพื้นที่นั้นๆ เหมือนหลอดไฟชุดเดิมหรือไม่ [30] ซึ่งหลอดไดโอดเปล่งแสงที่กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบันคือ หลอดไดโอดเปล่งแสงแบบบัลล์ (LED Bulb) เป็นหลอดที่กินพลังงานน้อย ซึ่งจากงานวิจัยพบว่า หลอดไดโอดเปล่งแสงแบบบัลล์สามารถลดการบริโภคพลังงานจาก 7.2 วัตต์ ให้เหลือเพียง 0.3 วัตต์ได้ ด้วยเหตุนี้หลอดไดโอดเปล่งแสงแบบบัลล์จึงเหมาะแก่การใช้งานในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยได้มากที่สุด

โครงการวิจัยนี้ เป็นโครงการที่ศึกษาและแก้ไขปัญหาในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้า และสามารถที่จะบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยอาศัยแนวความคิดของบ้านอัจฉริยะในการเปลี่ยนจากการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดของแสงอัตโนมัติ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างภายในที่อยู่อาศัยได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในด้านการลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละเดือนแล้ว ยังส่งผลดีต่อการบริโภคพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศในปัจจุบันที่มีแนวโน้มในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี โดยการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้านั้นจะต้องเกิดจากการร่วมมือกันของทุกภาคส่วน หากผู้ใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีแนวโน้มและพฤติกรรมในการใช้ไฟฟ้าที่ดีขึ้น ก็จะส่งผลให้ความต้องการพลังงานภายในประเทศมีแนวโน้มที่ลดลง ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศทำให้เศรษฐกิจของประเทศเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้นเป็นอย่างมาก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้ประชาชนลดการใช้พลังงานและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษาวิธีการลดใช้พลังงานและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
3. เพื่อศึกษาการวางแผนการใช้พลังงาน โดยมีการควบคุมอัตราการใช้อย่างเหมาะสม
4. เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจและศึกษาในการออกแบบระบบที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน
5. เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งอาจมีการพัฒนาในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาพฤติกรรมการบริโภคพลังงานด้านแสงสว่างภายในที่พักอาศัย
2. ศึกษาแนวทางการลดใช้การบริโภคพลังงานด้านแสงสว่างภายในที่พักอาศัย
3. ศึกษาการส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สาย (Wireless Communication)

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการพลังงานภายในอาคาร การวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้ารวมไปถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแสงสว่างจากงานวิจัย วิทยานิพนธ์ หนังสือ และบทความต่างๆ
2. จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. ออกแบบและจัดสร้างวงจรต้นแบบ
4. ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติที่สร้างขึ้น
5. บันทึกข้อมูลผลการทดลอง
6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่ม

### 1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
	2556	2556	2556	2556	2556	2556	2556	2557	2557	2557
1.ศึกษาหัวข้อโครงการ	←-----→									
2.ศึกษาระบบการจัดการพลังงานและ การคำนวณค่าไฟแบบ Real Time	←-----→									
3.จัดเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ทั้งหมด		←-----→								
4.รวบรวมข้อมูล เพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่อง และแนวทางแก้ไขที่เหมาะสม			←-----→							
5.สร้างวงจรต้นแบบ				←-----→						
6.ทดลองวงจรและแก้ไขวงจรต้นแบบ					←-----→					
7.วิเคราะห์ผลการทดลอง						←-----→				
8.สรุปผลการทดลอง								←-----→		
9.นำเสนอวิธีการ									←-----→	

←-----→ คือ แผนงานที่วางไว้  
 ←-----→ คือ แผนงานที่ทำได้จริง

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ประโยชน์ที่ได้รับจากการอนุรักษ์การใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
  - 1.1 ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าลดลง
  - 1.2 ช่วยในการประหยัดค่าไฟฟ้าแก่ผู้ใช้
  
2. เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยในด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
  - 2.1 โครงการวิจัยนี้ สามารถเป็นต้นแบบหรือเป็นแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจและศึกษา และการออกแบบระบบที่ช่วยในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปพัฒนา และต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ ในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 นิยามและศัพท์เกี่ยวกับแสง

##### 1. ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux : L)

ฟลักซ์การส่องสว่าง คือ ปริมาณของแสงสว่างที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดแสงหรือ ปริมาณปริมาณของแสงที่ได้รับบนพื้นผิวหนึ่ง มีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen)

##### 2. ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity : I)

ความเข้มของการส่องสว่าง คือฟลักซ์การส่องสว่างในทิศทางหนึ่งทีแผ่ออกมาต่อหน่วยของมุมตัน (Steradian) มีหน่วยคือแคนเดลา (Candela : Cd)

##### 3. ความเข้มแสง (Illuminance : E)

ความเข้มแสง นิยามจากอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวต่อพื้นที่ที่ตกกระทบนั้น ใช้การพิจารณาพื้นที่ในหน่วยตารางเมตร ความเข้มแสงจึงมีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตรหรือลักซ์ (Lux)

##### 4. สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน (Coefficient of utilization : CU)

สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (ลูเมน) ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวงานต่อค่าลูเมนทั้งหมดที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสง โดยสัมประสิทธิ์ของการใช้งานขึ้นอยู่กับ

- ประสิทธิภาพการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะดวงโคมที่ใช้ งาน เช่น แสงที่เปล่งออกมาจะถูกดูดกลืนโดยดวงโคมที่เปอร์เซ็นต์จากที่เปล่งออกมาทั้งหมด
- ระยะความสูงของดวงโคมที่ติดตั้งอยู่เหนือพื้นที่ใช้งาน (Working Plane) ซึ่งเป็นสิ่ง ที่สำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบแสงสว่าง ทั้งนี้เพราะค่าความส่องสว่างเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากดวงโคมไปยังพื้นที่ใช้งาน เช่น ถ้าระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้ความสว่างลดลง 4 เท่า
- ขนาดของห้อง ทั้งความยาว ความกว้าง และความสูงของห้อง
- การสะท้อนของแสงที่มาจากเพดานและฝาผนัง ถ้าเพดานและฝาผนังมีการสะท้อนได้ดี ค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้งานจะมีค่ามากกว่า

## 2.2 ระบบการให้แสงสว่าง

แสงสว่างพื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อการใช้งานแยกออกได้เป็นระบบต่างๆ ดังนี้

1. แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือ การให้แสงกระจายทั่วไปทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งานซึ่งใช้กับความส่องสว่างที่ไม่มากจนเกินไป
2. แสงสว่างเฉพาะที่ (Localised Lighting) คือ การให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณที่ต้องการใช้ไฟแสงสว่างมาก เพื่อการประหยัดพลังงาน
3. แสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (General and Localised Lighting) คือ การให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณและเฉพาะที่ที่ทำงาน ซึ่งมักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูง ซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก แต่ก็ไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างเฉพาะที่ได้เพราะเมื่อเงยหน้าจากการทำงานก็จะพบบริเวณข้างเคียงมืดเกินไป ทำให้สายตาเสียได้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE IES และ BS [31]

พื้นที่ต่างๆ	CIE	IES	BS
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750W
ห้องเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	750W
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500	500W
ร้านค้าในอาคารพาณิชย์	500-750	500-750-1000	500W
เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	200W
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องลิฟท์หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150S
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S
บันได	100-150-200	100-150-200	150F
ลิฟท์	100-150-200	100-150-200	150F

หมายเหตุ W = Working Plane

S = Switch

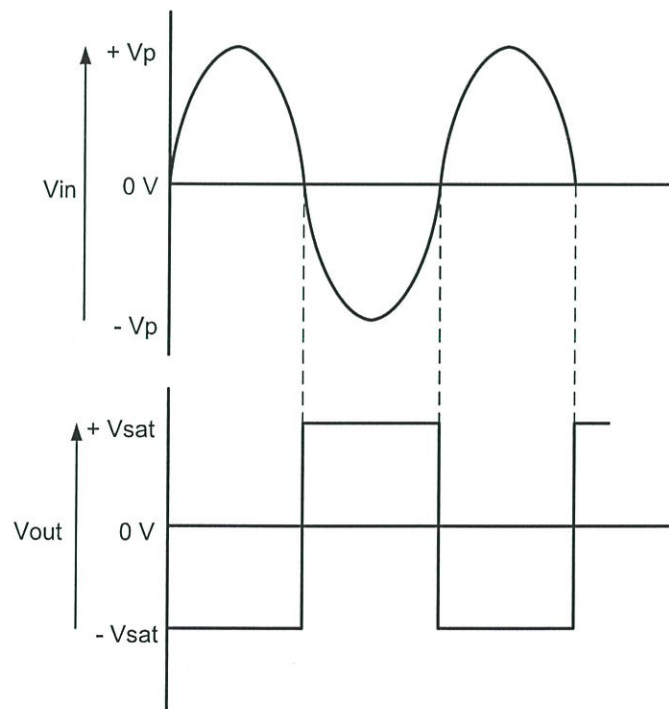
F = Floor

### 2.3 การตรวจจับจุดผ่านศูนย์

การตรวจจับจุดผ่านศูนย์ (Zero-crossing) เป็นวิธีการทั่วไปในทางอิเล็กทรอนิกส์ คณิตศาสตร์ เสียง และเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing) ในทางคณิตศาสตร์จุดผ่านศูนย์คือจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของฟังก์ชันนั้น (เช่น จากบวกไปลบ) แทนด้วยการตัดของแกนในกราฟของฟังก์ชัน ในไฟฟ้ากระแสสลับจุดผ่านศูนย์คือจุดที่เกิดขึ้นเพียงชั่วครู่ จุดนี้จะไม่มียกระดับแรงดันในสัญญาณไซน์หรือรูปคลื่นพื้นฐานอื่นๆ การเกิดจุดผ่านศูนย์จะเกิดขึ้นสองครั้งในทุกๆ ลูกคลื่น

ในการควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเปิดหรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ถ้าเปิดในขณะที่แรงดันไม่เป็นศูนย์อาจจะทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Interference : EMI) อาจทำให้โหลดบางชนิดเสียหายได้ หากมีการตรวจสอบโดยใช้การตรวจจับจุดผ่านศูนย์ หากจุดตัดแรงดันศูนย์จะทำให้เกิดการเปิดหรือปิดที่สามารถเริ่มจากศูนย์แล้วค่อยๆ เปลี่ยนไปตามรูปร่างไซน์ ซึ่งไม่ต้องเริ่มจากแรงดันมากโดยทันที

การใช้การตรวจจับจุดผ่านศูนย์ โดยใช้ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto-Coupler) และตัวต้านทานจำกัดกระแส เมื่อแรงดันไฟกระแสสลับผ่านจุดศูนย์ อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงจะปิด ทำให้เกิดอินเทอร์รัพ (Interrupt) ส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถสั่งเปิดสวิตช์ขณะนั้นได้



รูปที่ 2.1 รูปคลื่นของแรงดันขาเข้าและขาออก

## 2.4 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Sampling)

เนื่องจากการนำสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) มาใช้ในส่วนประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีการประมวลผลแบบสัญญาณดิจิทัลจึงจำเป็นต้องใช้การประมวลผลสัญญาณแบบระบบดิจิทัล (Digital Signal Processing) เนื่องจากมีความแม่นยำสูง ความสามารถในการทำงานซ้ำ และมีความเชื่อถือสูง

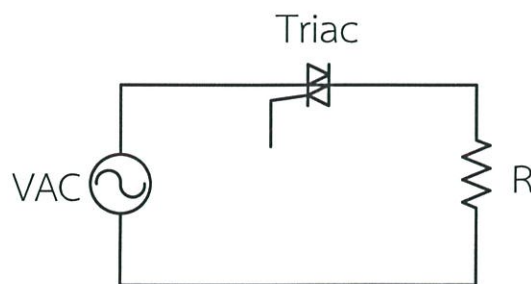
การแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะถูกสุ่มตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าที่ได้จากการสุ่มแต่ละค่าจะถูกกำหนดเป็นระดับค่าดิจิทัลตามระดับเทียบเท่ากับระบบบิต (bit) ดังนั้นหากสุ่มในจำนวนที่เหมาะสมจะทำให้ค่าที่ได้จากการสุ่มมีความแม่นยำมากขึ้นดังสมการที่ 2.1 (ถ้าใช้เวลาน้อยเกินไปจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลงภาพ ทำให้ภาพผิดไปจากความเป็นจริง แต่ถ้าสุ่มมากเกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากเกินไปจนความจำเป็น)

$$\begin{aligned} \text{ระดับของสัญญาณอนาล็อก} \\ \text{ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า 1 บิต} \end{aligned} = \text{สัญญาณอนาล็อกสูงสุด} / 2^{\text{จำนวนบิตของ A/D}} \quad (2.1)$$

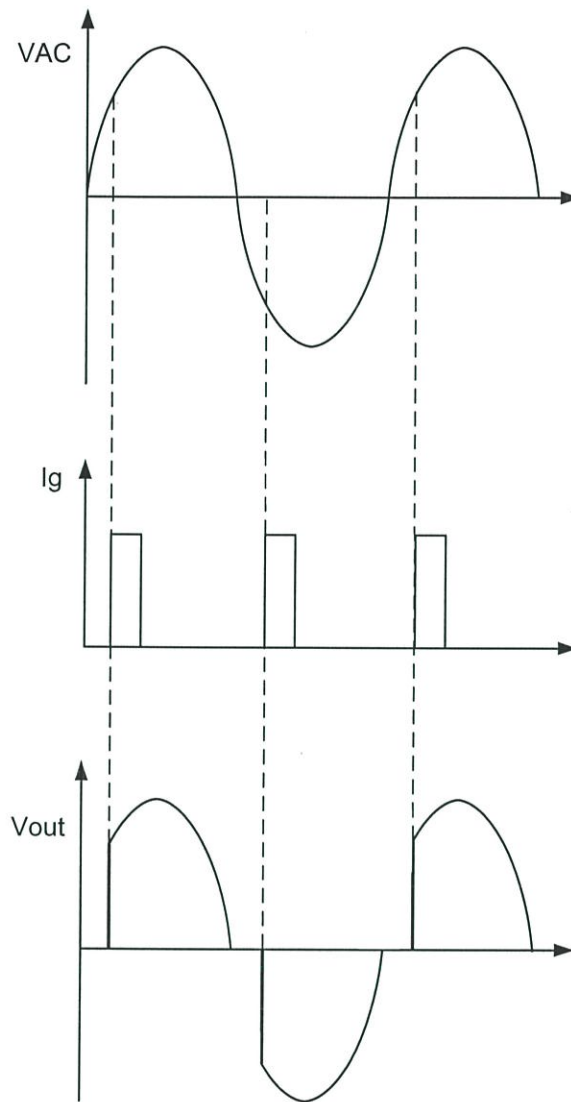
## 2.5 หลักการควบคุมมูมเฟส

ไตรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไทรสเตอร์ ถูกพัฒนาขึ้นมาให้ใช้งานได้กับไฟกระแสสลับเพื่อแก้ข้อบกพร่องของเอสซีอาร์ (SCR) ไตรแอกสามารถนำกระแสได้สองทิศทาง โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์ มีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ที่ดีกว่าสวิตช์ธรรมดาหลายประการ คือทำงานได้เร็ว ควบคุมการทำงานได้ง่าย ไม่มีหน้าสัมผัสจึงไม่เกิดประกายไฟ โครงสร้างของไตรแอกเหมือนการรวมเอสซีอาร์สองตัวไว้ด้วยกัน สามารถนำกระแสไฟในไฟฟ้ากระแสสลับได้ทั้งซีกบวกและซีกลบ

ในการควบคุมมูมเฟสของไตรแอก (Triac) กำหนดจากสัญญาณกระแสที่ขาเกตที่มาทริกสัญญาณแรงดัน โดยมูมเฟสจะขึ้นอยู่กับสัญญาณที่มาทริก วงจรพื้นฐานที่ใช้ไตรแอกในการควบคุมแรงดันขาออกแสดงดังรูปที่ 2.2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้า กระแสทริก และแรงดันขาออกแสดงดังรูป 2.3



รูปที่ 2.2 วงจรพื้นฐานที่ใช้ไตรแอก



รูปที่ 2.3 วงจรพื้นฐานที่ใช้ไทรแอก

## 2.6 ตัวประกอบกำลัง

โดยทั่วไปแล้วเมื่อกล่าวถึงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor : PF) นิยามจากค่าผลต่างของมุมระหว่างแรงดันและกระแส ( $\cos \theta$ ) ที่ความถี่เดียวกัน ซึ่งนิยามนี้ใช้สำหรับแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีเฉพาะความถี่มูลฐานเท่านั้น ไม่มีความถี่อื่นหรือฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสมาปะปน เนื่องจากในปัจจุบันโหลดที่มีการใช้งานมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) ซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในระบบมีส่วนประกอบของกระแสฮาร์มอนิกในปริมาณมาก และเป็นสาเหตุหลักของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นและฮาร์มอนิก ดังนั้นการนิยามหรือการคำนวณค่าตัวประกอบกำลังของระบบที่มีปริมาณฮาร์มอนิกในระดับสูงจึงไม่สามารถใช้เฉพาะค่าผลต่างของมุมระหว่างแรงดันและกระแสมาระบุค่าตัวประกอบกำลังได้ ในการประเมินค่าตัวประกอบกำลังของ

ระบบที่มีแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก การระบุค่าตัวประกอบกำลัง จะระบุในรูปของค่าตัวประกอบกำลังรวม (Total Power Factor) ดังสมการที่ 2.2

$$Total\ Power\ Factor = \frac{P}{S_1} \times \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2} \times \sqrt{1+THD_v^2}} \quad (2.2)$$

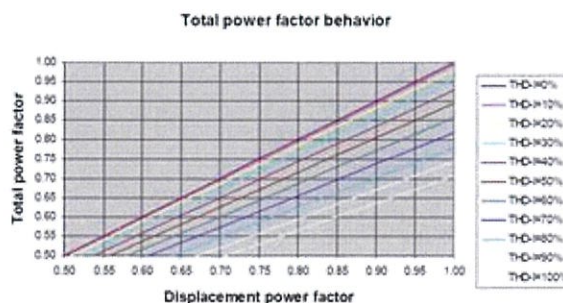
- โดย P คือ กำลังไฟฟ้าจริง (W)
- $S_1$  คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)
- $THD_i$  คือ ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์แรงดัน (Current total harmonic distortion)
- $THD_v$  คือ ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์กระแส (Voltage total harmonic distortion)

กรณีไม่มีแรงดันฮาร์มอนิก ( $THD_v=0$ ) โดยมีเฉพาะกระแสฮาร์มอนิกในระบบ ค่าตัวประกอบกำลังรวมจะคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$Total\ Power\ Factor = \cos \theta_1 \times \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}} \quad (2.3)$$

- โดย  $(\cos \theta_1)$  คือ ค่าตัวประกอบกำลังดิสเพลสเมนต์ (Displacement power factor)
- $\frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}}$  คือ ค่าตัวประกอบกำลังผิดเพี้ยน (Distortion power Factor)

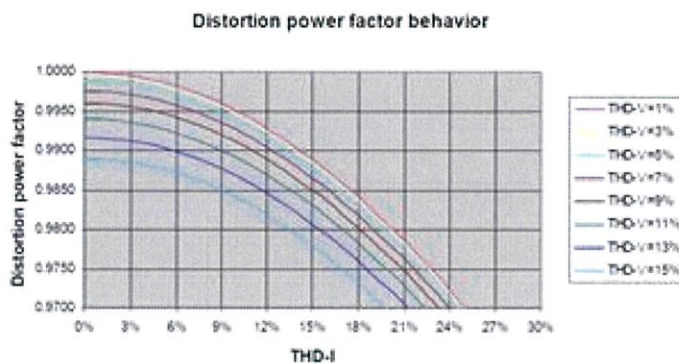
ในกรณีนี้สามารถแทน  $\frac{P}{S_1}$  ด้วย  $(\cos \theta_1)$  ได้ เราเรียกค่านี้ว่าค่าตัวประกอบกำลังดิสเพลสเมนต์ โดย  $\theta_1$  คือมุมที่เกิดขึ้นของกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 1 (Fundamental Current) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังดิสเพลสเมนต์ ค่าตัวประกอบกำลังรวมและค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์กระแสแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังดิสเพลสเมนต์ ค่าตัวประกอบกำลังรวมและค่าค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์กระแส [33]

กรณีที่มีทั้งแรงดันและกระแสฮาร์โมนิกเกิดขึ้นในระบบ

ในกรณีนี้ค่าตัวประกอบกำลังดิสเพลสเมนต์จะมี  $\frac{1}{\sqrt{1+THD_I^2} \times \sqrt{1+THD_V^2}}$  และเมื่อนำค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์แรงดันและค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์กระแสไปเขียนกราฟ จะได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังผิดเพี้ยน  
ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์แรงดันและค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์กระแส [33]

จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มีทั้งแรงดันและกระแสฮาร์โมนิกเกิดขึ้นในระบบค่าตัวประกอบกำลังผิดเพี้ยนจะมีค่าลดต่ำลงตามการเพิ่มขึ้นตามปริมาณฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นและก็จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังรวมในสมการที่ 2.2 ลดลงเช่นเดียวกัน

## 2.7 หลอดไดโอดเปล่งแสง

หลอดไดโอดเปล่งแสงหรือที่เรียกว่าหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ มีลักษณะโครงสร้างภายในเป็นรอยต่อของสารพี (P) และสารเอ็น (N) หรือที่เราเรียกว่ารอยต่อพีเอ็น (PN Junction) เหมือนกับไดโอด สีของแสงที่เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ หลอดชนิดนี้ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นหากจะนำมาใช้ในอาคารต้องมีอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนการใช้งาน หลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าการส่องสว่างอยู่ประมาณ 40 ถึง 240 ลูเมนต่อวัตต์ การเพิ่มกำลังการส่องสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงทำได้โดยการต่อหลอดไดโอดเปล่งแสงเล็กๆ หลายหลอดไว้บนแผงเดียวกัน โดยมักจะนำมาใช้แทนหลอดทังสเตนฮาโลเจน หรือนำไปใช้เป็นไฟส่องเฉพาะจุด

หลอดไดโอดเปล่งแสงเป็นหลอดที่ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่ถูกพัฒนาขึ้น จากข้อดีของหลอดอื่น โดยหลอดไฟประเภทนี้มีข้อดีคือมีอายุการใช้งานที่ยาวนานประมาณ

50,000 ถึง 100,000 ชั่วโมง ประหยัดไฟฟ้าและมีหลายสีให้เลือกใช้โดยใช้หลักการผสมสีของแสงสีแดง เขียว น้ำเงิน เหลือง ขาวแบบวอร์มไวท์ (Warm White) และขาวแบบเดย์ไลท์ (Daylight)

แสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีสีต่างกันั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารกึ่งตัวนำในการผลิตดังนี้

- สารประเภทแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟต (Gallium Arsenide Phosphide : GaAsP) จะให้แสงสีเหลืองและแสงสีเขียว
- สารแกเลียมฟอสไฟต์ (Gallium Phosphide : GaP) จะให้แสงสีแดง
- สารแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide : GaAs) จะให้กำเนิดแสงอินฟราเรด ซึ่งสารเหล่านี้ที่คุณสมบัติพิเศษคือเรืองแสงได้เมื่อรับไบอัสตรง การเกิดแสงที่หลอดไดโอดเปล่งแสงนี้เรียกว่าอิเล็กโทร - ลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence)

หลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีข้อเสียคือราคาที่ยังค่อนข้างสูงและให้แสงสว่างน้อย หากต้องการความสวยงามในการออกแบบภายในอาจไม่สวยงามเท่าหลอดฮาโลเจนไม่ได้เพราะเงาที่เกิดขึ้นจากหลอดฮาโลเจนจะคมกว่า แต่เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังนิยมในการใช้งานแบบระยะยาว ซึ่งเป็นทางเลือกในการประหยัดพลังงาน หรือบางสถานที่ที่อาจประดับตกแต่งด้วยแสงสี เปิดและปิดไฟบ่อย

#### ข้อดีของหลอดหลอดไดโอดเปล่งแสง

1. ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงในปัจจุบันจะต่ำกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึง 80 - 100 ลูเมนต่อวัตต์ อย่างไรก็ตามแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแพร่ออกไปทุกทิศทางทำให้สูญเสียเปลว ขณะที่แสงสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะส่องไปด้านหน้าเท่านั้นเท่านั้น
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากภายในบรรจุไอปรอท ขณะที่หลอดไดโอดเปล่งแสงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า
3. หลอดไดโอดเปล่งแสงมีขนาดเล็กจึงสามารถประยุกต์หรือปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานได้หลากหลาย สามารถควบคุมคุณภาพของแสงให้ปล่อยออกมาได้ ดังนั้นจึงนำไปใช้ประโยชน์ในการให้แสงสว่างในสถานที่สำคัญ และเนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่างจากหลอดไดโอดเปล่งแสงไม่ให้มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียน เช่น แสงอินฟราเรด แสงอัลตราไวโอเล็ต ฯลฯ
4. หลอดไดโอดเปล่งแสงปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้อาคารลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้นไปอีก
5. อายุการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสงยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง หรือ 11 ปี เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีอายุการใช้งาน 30,000 ชั่วโมง หรือหลอดแบบหลอดที่มีอายุการใช้งานเพียง 1,000 ถึง 2,000 ชั่วโมงเท่านั้น

6. หลอดไดโอดเปล่งแสงมีความทนทานต่อการสั่นสะเทือนมากกว่า ไม่เปราะบางเหมือนกับหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟฟ้าแบบขดลวด เพราะชิปเปล่งแสงบรรจุอยู่ในพลาสติกใสซึ่งแข็งและเหนียว
7. หลอดไดโอดเปล่งแสงเหมาะสำหรับการปิดเปิดบ่อยครั้ง เนื่องจากสามารถปิดและเปิดบ่อยๆ ได้โดยไม่มีปัญหา และเมื่อเปิดแล้วจะให้ความสว่างทันทีซึ่งแตกต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หากปิดและเปิดบ่อยครั้งจะเสียง่าย หรือหลอดฮาโลเจน ซึ่งเมื่อเปิดแล้วต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งจึงจะให้แสงสว่าง

#### ข้อเสียของหลอดไดโอดเปล่งแสง

1. หลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีราคาค่อนข้างสูง
2. หลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์
3. หลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) ต่ำ

#### ชนิดของหลอดไดโอดเปล่งแสง

แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

1. หลอดไดโอดเปล่งแสงชนิด 2 ขา (2 Dip LED) นิยมใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. หลอดไดโอดเปล่งแสงชนิด 4 ขา (4 Dip LED) นิยมใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
3. หลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดยึดลงผิวของชิ้นงาน (Surface Mount Device LED) นิยมใช้ในการให้แสงสว่างภายในรถยนต์ และหลอดฟลูออเรสเซนต์
4. หลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power LED) นิยมใช้ในการให้แสงสว่างทั่วไป เช่น ภายในสำนักงานหรือโพลนอน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่
  - 4.1 แบบแลมป์ (Lamp Type) เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป การขับกระแสของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงจะถูกออกแบบให้ขับกระแสได้ไม่เกิน 150 มิลลิแอมแปร์ เพราะหลอดไดโอดเปล่งแสงจะถูกเคลือบด้วยอีพ็อกซีทั้งหมด หลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดนี้สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอก ซึ่งจะทนต่อสภาวะอากาศต่างๆ ได้ดีมาก
  - 4.2 แบบเซอร์เฟซเมาท์ (Surface Mount Type) มีลักษณะเป็นตัวบางๆ มีขนาดการขับกระแสตั้งแต่ 20 มิลลิแอมแปร์จนถึง 1 แอมแปร์ ถ้าสามารถขับกระแสได้ตั้งแต่ 300 มิลลิแอมแปร์ขึ้นไปจะเรียกว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลัง (Power LED) และจะบอกหน่วยเป็นวัตต์ การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ภายในอาคาร เนื่องจากสารเคลือบหน้าหลอดไดโอดเปล่งแสงส่วนใหญ่เป็นซิลิโคน

ซึ่งละอองน้ำสามารถซึมเข้าสู่ภายในได้ และละอองน้ำหรือความชื้นต่างๆ ยังสามารถซึมผ่านส่วนต่างๆ ของหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงได้

5. หลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดมีหลายชิพ (Multi Chip High Power LED) นิยมใช้ในการให้แสงสว่างในไฟถนน

แบ่งตามประเภทของการใช้งาน

1. หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ภายในอาคาร เช่น แบบหลอดบัลบ์ (Bulb) แบบเส้น (Tube) ดาวน์ไลท์ (Down light) แบบทีบาร์ (T-Bar) แบบหลอดพาร์ (Par Light) แบบแขวนเพดาน (Pendant Light)
2. หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ภายนอกอาคาร เช่น ฟลัดไลท์ (Flood Light) ไฮเบย์ (High Bay) ไฟถนน (Street light)
3. หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ติดแต่ง เช่น ไฟเส้นตกแต่ง (Strip Light) แทรคไลท์ (Track Light)

แบ่งตามการมองเห็นแสงของมนุษย์

1. หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ให้แหล่งกำเนิดแสงที่มองไม่เห็น เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงที่กำเนิดแสงอินฟราเรด เราสามารถพบเห็นหลอดไดโอดเปล่งแสงประเภทนี้ได้จากรีโมทคอนโทรลเครื่องใช้ไฟฟ้า
2. หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ให้แหล่งกำเนิดแสงที่มองเห็น เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงสีต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารเจือปนที่ใส่ลงไป เช่น สีแดง สีส้ม สีเหลือง เนื่องจากเกิดความแตกต่างกันของความยาวของคลื่นแสง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดไฟชนิดต่างๆ

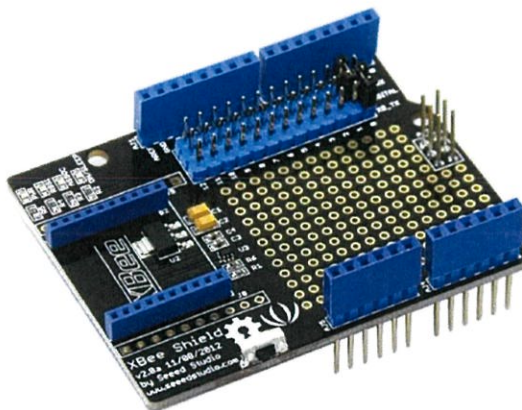
ชนิดของแหล่งกำเนิด	ลูเมนต่อวัตต์ (ระบุในคู่มือ)	ลูเมนต่อวัตต์ (ในการใช้งาน จริง)	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	ดัชนีความถูกต้องของสี (CRI)
หลอดอินแคนเดสเซนต์	17	10-17	30,000	100
หลอดฮาโลเจน	20	12-20	10,000	100
หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T12)	60	40-50	20,000	62-85
หลอดเมทัลฮาไลด์	65-70	35-40	10,000- 20,000	60-90
หลอดไดโอดเปล่งแสง (วอร์มไวท์)	80	55-65	50,000 ขึ้นไป	80-85
หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T8)	85-90	65-70	20,000- 30,000	78-85
หลอดโซเดียมความดันไอสูง	95-110	55-65	24,000	22
หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ	120-140	65-75	16,000	น้อยกว่า 5
หลอดฟลูออเรสเซนต์ (T5)	90	70-75	30,000	85
หลอดไดโอดเปล่งแสง (คูลไวท์)	105	70-80	50,000 ขึ้นไป	75

## 2.8 อาดูโน (Arduino)

อาดูโนหรืออาดูโน เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบโอเพ่นซอร์ส (Open Source) คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ตัวบอร์ดถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดบอร์ดหรือโปรแกรมได้ ดังนั้นอาดูโนจึงเป็นเครื่องมือที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้เครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ตัวบอร์ดออกแบบจากไมโครคอมพิวเตอร์ชิพเดี่ยว และมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้บอร์ดทำงาน อาดูโนสามารถประยุกต์ทำเครื่องใช้อัจฉริยะได้ โดยการรับสัญญาณจากสวิทช์หรือเซนเซอร์ และควบคุมหลอดไฟ มอเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ อาดูโนสามารถทำงานได้ทั้งแบบอิสระหรือทำงานติดต่อกับโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องพีซี ตัวบอร์ดสามารถประกอบขึ้นใช้เองหรือซื้อบอร์ดสำเร็จที่มีขาย ส่วนโปรแกรมพัฒนานั้นสามารถดาวน์โหลดได้ทั่วไป โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

อาตุโนสามารถนำไปประยุกต์กับการตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศได้หรือตรวจมลพิษทางเสียงได้ แต่ต้องมีโมดูล (Module) ส่วนขยายเพิ่มเติมมาใส่เข้าไปที่บอร์ด โดยที่โมดูลส่วนขยายเหล่านี้เรียกว่าชิลด์ (Shield) แสดงดังรูปที่ 2.6

ความง่ายของบอร์ดอาตุโนในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริมประเภทต่างๆ เช่น ชิลด์ของซิกบี (XBee Shield) ชิลด์ของรีเลย์ (Relay Shield) ชิลด์ของจีพีอาร์เอส (GPRS Shield) เป็นต้น มาเปรียบกับบอร์ดบนบอร์ดอาตุโนแล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้



รูปที่ 2.6 ลักษณะของโมดูลขยาย [34]

ข้อดีของอาตุโนเมื่อเปรียบเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์

- ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับบอร์ดอื่น
- ทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม โปรแกรมพัฒนาอาตุโนทำงานได้ทั้งบนวินโดวส์ แมกอินทอร์ช (Macintosh OSX) และบนระบบลินุกซ์ ในขณะที่บอร์ดอื่นทำงานได้เฉพาะบนวินโดวส์เท่านั้น
- ใช้งานง่าย มีการโปรแกรมพัฒนาที่ไม่ซับซ้อน ทำให้ใช้งานง่ายสำหรับมือใหม่และมีความสามารถครบความต้องการของนักพัฒนามืออาชีพ
- เปิดเผยแพร่ซอร์สโค้ด (Source Code) และนำไปพัฒนาต่อยอด นอกจากนั้นสามารถเพิ่มเติมความสามารถผ่าน C++ library ได้
- เปิดเผยแพร่วงจรและนำไปพัฒนาขยายฮาร์ดแวร์ได้ อาตุโนใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmel เบอร์ ATMEGA8 และ ATMEGA168 วงจรของบอร์ดตีพิมพ์แบบเปิดเผยวงจรภายใต้ Creative Commons License ซึ่งสามารถนำไปดัดแปลงต่อขยายและเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาการทำงานได้

## 2.9 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN Technology)

ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN หรือ Wireless Local Area Network) คือ ระบบการส่งข้อมูลในรูปแบบการสื่อสารไม่ใช้สาย โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุและคลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง นอกจากนี้ระบบเครือข่ายไร้สายยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN (Local Area Network) แบบใช้สายสื่อสาร (Cable media) ในการส่งข้อมูล

ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สาย

1. มีความคล่องตัวสูงจึงสามารถเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งต่างๆ ได้
2. สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการติดตั้งสาย
3. สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย (Installation flexibility)
4. ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม (Reduced cost of ownership) เนื่องจากระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา
5. เครือข่ายไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยาก (Scalability)

รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

- แบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer-to-peer)



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบเพียร์ทูเพียร์ [35]

การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบเพียร์ทูเพียร์เป็นลักษณะการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 เครื่องหรือมากกว่า เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานในด้านความเร็วหรือติดตั้งได้ง่าย

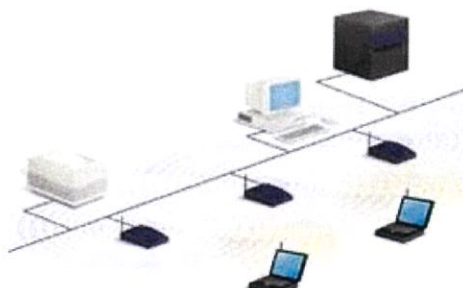
- แบบไคลแอนเซอเวอร์ (Client/Server)



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบไคลแอนเซอเวอร์ [35]

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบไคลแอนเซอเวอร์เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย แอคเซสพอยต์ (Access Point : AP) หรือเรียกว่าฮอตสปอต (Hot spot) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับและส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของแอคเซสพอยต์จะกลายเป็นเครือข่ายกลุ่มเดียวกัน โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะสามารถติดต่อกันหรือติดต่อกับเซอเวอร์ (Server) เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่านแอคเซสพอยต์เท่านั้น เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิม

- แบบมัลติเพิลแอคเซสพอยท์แอนด์ดาตาโรมมิ่ง (Multiple access points and roaming)

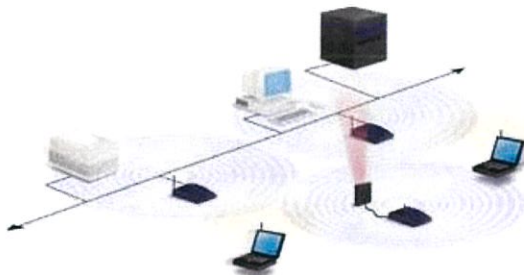


รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Multiple access points and roaming [35]

โดยทั่วไปการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับแอคเซสพอยต์ของเครือข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมี 500 ฟุตสำหรับภายในอาคารและ 1000 ฟุตสำหรับภายนอกอาคาร

หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้างจะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้งแอสเซสพอยต์ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับและส่งสัญญาณเป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง

- แบบการใช้เอ็กซ์เทนชันพอยท์ (Use of an Extension Point)



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบการใช้เอ็กซ์เทนชันพอยท์ [35]

กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายแบบไร้สายมีปัญหาผู้ออกแบบระบบอาจจะใช้เอ็กซ์เทนชันพอยท์ (Extension Points) ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับแอสเซสพอยต์ แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายไร้สายเป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ

- แบบการใช้สายอากาศที่มีทิศทาง (The Use of Directional Antennas)



รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายแบบการใช้สายอากาศที่มีทิศทาง [35]

ระบบแบบนี้จะใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน

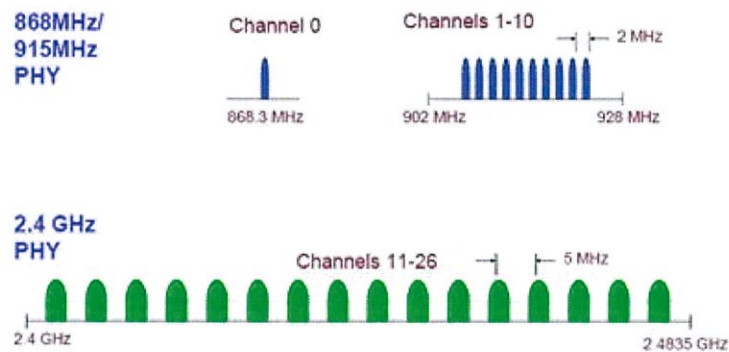
## 2.10 ซิกบี (Zigbee)

ซิกบีมาตรฐานสากล กำหนดโดยสมาพันธ์ซิกบี (ZigBee Alliance) เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า เซนเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) ได้ ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็กนานเป็นเวลาหลายเดือน หรืออาจจะอยู่ได้นานถึง 1 ปี ซิกบีมีการทำงานโดยการรับและส่งข้อมูลผ่านชิปขนาดเล็ก โดยส่งข้อมูลไปจนถึงจุดหมายที่ต้องการ

จากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลนั้นไปวิเคราะห์ผล เหมาะในการใช้สำหรับใช้ติดตามข้อมูลต่างๆ ปัจจุบันมีการนำซิกบีมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ระบบการควบคุมอัตโนมัติที่บ้าน โรงงาน เป็นต้น

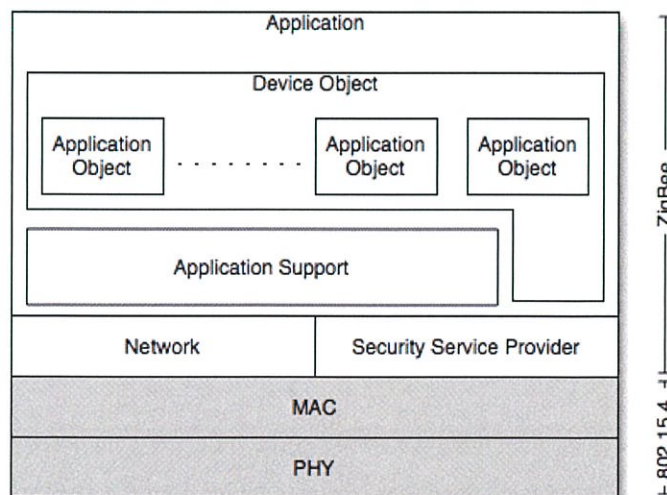
ซิกบีกำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ดังนี้

1. ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
2. ย่านความถี่ 915 GHz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
3. ย่านความถี่ 868 GHz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps



รูปที่ 2.12 ย่านความถี่และช่องสัญญาณของซิกบี [36]

ซิกบีนำฟิสิคอลละเยอร์ (Physical Layer) และ เอ็มเอซีเลเยอร์ (MAC Layer) ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานในเลเยอร์ที่ต่ำกว่า (2 เลเยอร์ล่างสุด) เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ คุณภาพของการเชื่อมต่อ (Link Quality) การควบคุมการเข้าถึง (Access control) ความปลอดภัย (Security) ฯลฯ แต่ในเลเยอร์ถัดไปจะเป็นรูปแบบของซิกบี



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของโปรโตคอลซิกบี [36]

จากที่กล่าวมาซิกบีจะสามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้เพราะอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 และมีการจัดการในแบบของซิกบีในเลเยอร์ถัดไป ทั้งนี้ IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Full Function Device (FFD) หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย จะให้เป็นเราท์เตอร์ (Router) ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้พลังงานจากสายไลน์ (Power line) และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

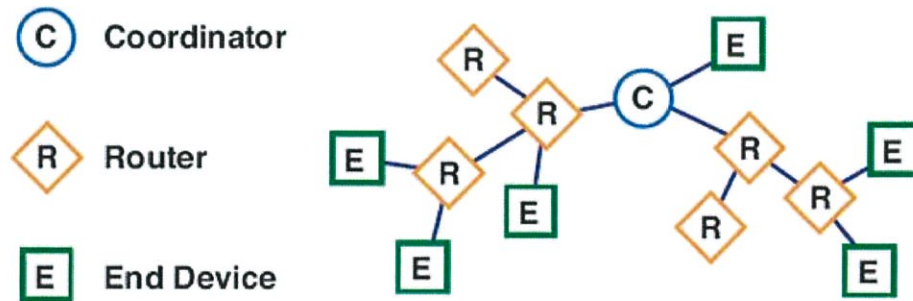
2. Reduced Function Device (RFD) หมายถึง อุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในอาคาร โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่และไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ได้

นอกจากนี้ซิกบี ได้แบบตามลักษณะการทำงานออกเป็น 3 แบบ ประกอบด้วย

- 1) Zigbee Coordinators มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) กับเราท์เตอร์ (Router) หรือโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) เข้าด้วยกัน หรือ โคออร์ดิเนเตอร์กับเราท์เตอร์ กำหนดแอดเดรสให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ช่วยในเรื่องของการดูแลจัดการเรื่องเส้นทาง เทียบได้กับ FFD
- 2) Zigbee Routers ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใดๆ เทียบได้กับ FFD
- 3) Zigbee End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ที่ปลายทาง โดยใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณีขึ้นอยู่กับเซนเซอร์ที่ใช้

## ZigBee Nodes

The ZigBee Protocol defines three types of nodes: Coordinators, Routers and End Device, with a requirement of one Coordinator per network. While all nodes can send and receive data, there are differences in the specific roles they play.



Coordinators are the most capable of the three node types. There is exactly one coordinator in each network and it is the device that establishes the network originally. It is able to store information about the network, including security keys.

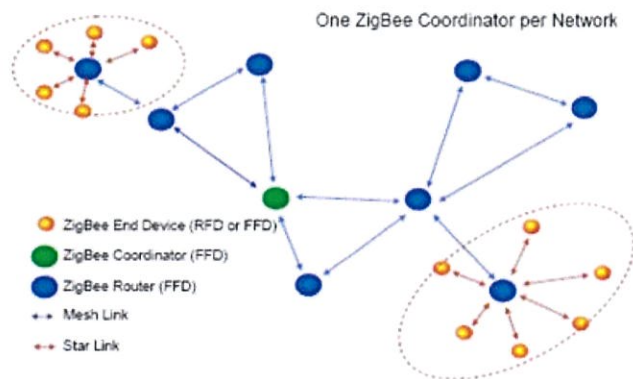
Routers act as intermediate nodes, relaying data from other devices.

End Devices can be low-power / battery-powered devices. They have sufficient functionality to talk to their parents (either the coordinator or a router) and cannot relay data from other devices. This reduced functionality allows for the potential to reduce their cost.

ZigBee offers these advantages:

- Open standard with interoperability between vendors
- Option for lower cost, reduced function end nodes

รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของซิกบี [36]



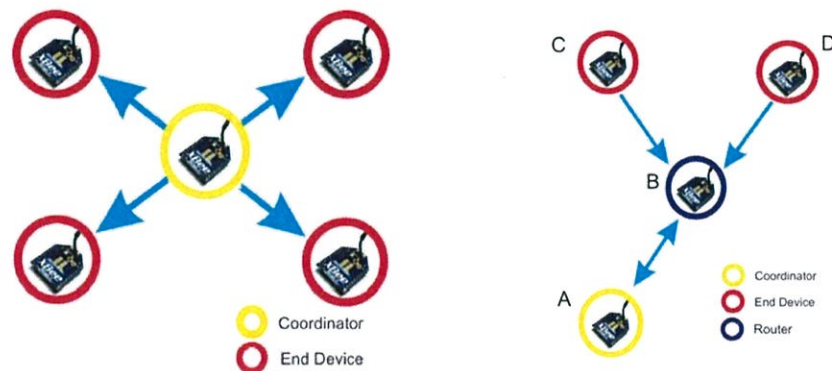
รูปที่ 2.15 การทำงานของซิกบีแบบโครงข่าย [36]

แอปพลิเคชันเลเยอร์ (Application layer) เป็นชั้นที่มีส่วนของเอ็นพอยท์ (Endpoint) อยู่ เรียกว่าแอปพลิเคชันเฟรมเวิร์ค (Application Framework) โดยมี Zigbee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งานแอปพลิเคชันเลเยอร์

Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมแอปพลิเคชันเลเยอร์ และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชันเลเยอร์

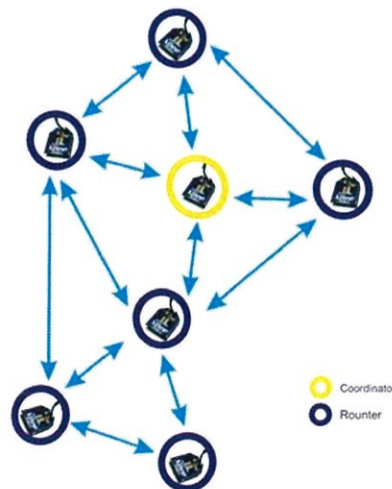
เน็ตเวิร์คเลเยอร์ (Network layer) ทำหน้าที่ใช้ในการเร้าท์ติ้ง (Routing) ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

ชั้นเครือข่ายสามารถรองรับได้ 3 โทโปโลยี คือแบบ สตาร์(Star) เมช(Mesh) และ คลัสเตอร์ทรี(Cluster-tree) แสดงในรูปที่ 2.16



เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network)

เครือข่ายแบบคลัสเตอร์ทรี (Cluster Tree Network)



เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)

รูปที่ 2.16 โทโปโลยีของเครือข่ายซิกบี [37]

## บทที่ 3

### การออกแบบและการจัดสร้าง

#### 3.1 บทนำ

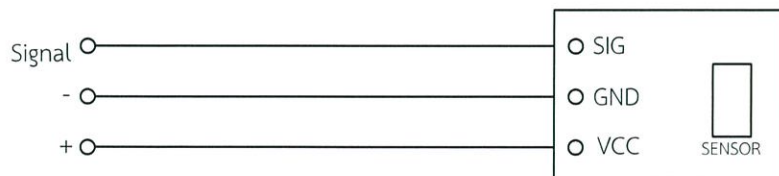
การออกแบบชุดควบคุมแสงสว่าง ประกอบด้วยวงจรตรวจจับความเข้มแสงสว่าง (Sensor) ส่วนการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งมีทั้งส่วนของการส่งสัญญาณและการรับสัญญาณ วงจรส่วนการประมวลผลและปรับความสว่าง และการออกแบบพื้นที่ทดลอง

#### 3.2 การวัดความเข้มแสงด้วย TEMT6000

วงจรตรวจจับความเข้มแสงทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ตรวจจับความเข้มแสงสว่าง และส่งข้อมูลผ่านการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ชิปเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อกำหนดดีวตีไซเคิล (Duty Cycle) ของสัญญาณที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อรักษาระดับความสว่างของไดโอดเปล่งแสงให้มีความเข้มแสงประมาณ 300-500 ลักซ์ ซึ่งชุดควบคุมแสงสว่างสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสง ประกอบด้วยตัวตรวจจับความเข้มแสงสว่าง (Sensor) ที่เลือกใช้คือ TEMT6000 ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งการใช้งานจำเป็นต้องจ่ายแรงดันไฟตรงขนาด +5V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับตัวตรวจจับความเข้มแสงสว่าง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ตัวตรวจจับความเข้มแสงสว่าง TEMT6000 [38]



รูปที่ 3.2 วงจรตรวจจับความเข้มแสงสว่าง

### 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

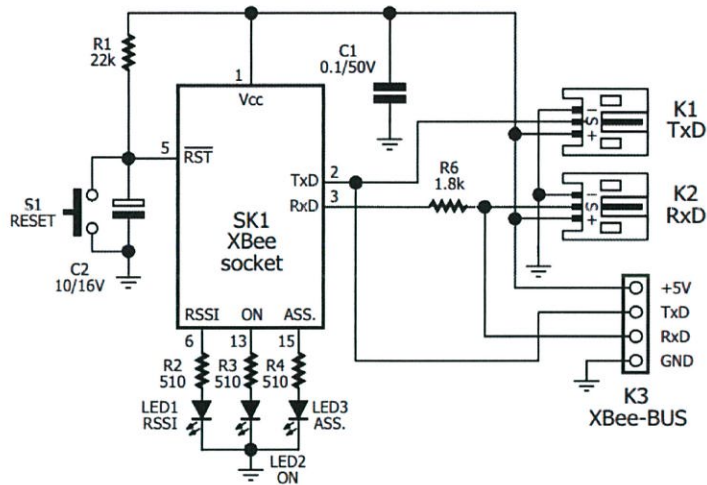
ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะใช้ในการประมวลผล เลือกใช้บอร์ดอาดูโน้ รุ่นยูโนอาร์ที (Arduino Uno R3) ซึ่งเป็นรุ่นที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โครงการและไลบรารี (Library) ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาสนับสนุนจะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย



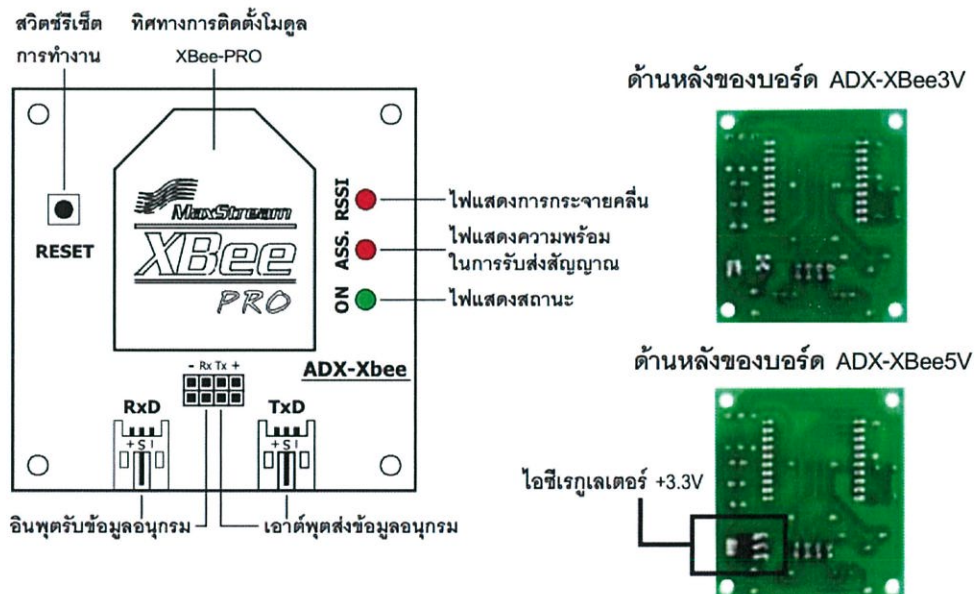
รูปที่ 3.3 บอร์ดอาดูโน้ รุ่นยูโนอาร์ที [34]

### 3.4 ส่วนการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย

การติดต่อสื่อสารระหว่างตัวตรวจจับความเข้มแสงสว่างกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการส่งข้อมูลได้เลือกใช้โมดูล XBee Serie2 ซึ่งเป็นโมดูลสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมไร้สาย 2.4 GHz ใช้ไฟเลี้ยง 2.1 ถึง 3.6 โวลต์ระยะทำการส่งในร่ม (Indoor) สูงสุดประมาณ 40 เมตรระยะทำการส่งกลางแจ้ง (Outdoor) สูงสุดประมาณ 120 เมตร สามารถกำหนดผ่านทางซอฟต์แวร์ X-CTU เพื่อให้ทำงานเป็นอินพุตแอนะล็อกสำหรับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลความละเอียด 10 บิต หรืออินพุตเอาต์พุตดิจิตอล โดยมีอัตราถ่ายทอดข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ 250,000 บิตต่อวินาทีและอัตราการถ่ายทอดข้อมูลอนุกรม (บอดเรต) เท่ากับ 1,200 ถึง 115,200 บิตต่อวินาที



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรของบอร์ด ADX-XBee 3 โวลต์ [39]



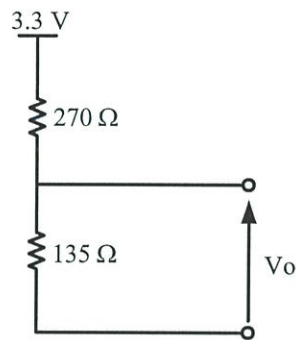
รูปที่ 3.5 รายละเอียดของ ADX-XBee บอร์ดเชื่อมต่อโมดูลกับอุปกรณ์ภายนอก [39]

โดยการต่อใช้งานโดยต่อขา TxD ของXBee-PRO เข้ากับขา RxD ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และต่อขา RxD ของ XBee-PRO เข้ากับขา TxD ของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.5 วงจรส่วนของการรับสัญญาณ

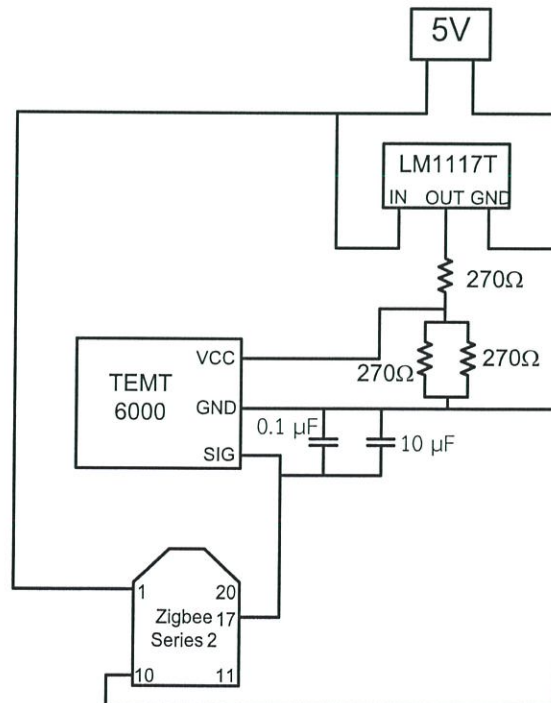
ใช้แหล่งจ่ายขนาด 5 โวลต์จ่ายผ่านตัวควบคุมแรงดัน (Regulator) เบอร์ LM1117T แรงดันที่ออกจากตัวควบคุมแรงดันจะมีขนาด 3.3 โวลต์ แต่ขนาดแรงดันที่ซิกปีต้องมีค่าไม่เกิน 1.2 โวลต์

จึงจำเป็นต้องทำการลดระดับแรงดันโดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Circuit) ดังรูปที่ 3.6 เพื่อลดระดับแรงดันให้มีค่าเท่ากับ 1.11 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับเซนเซอร์

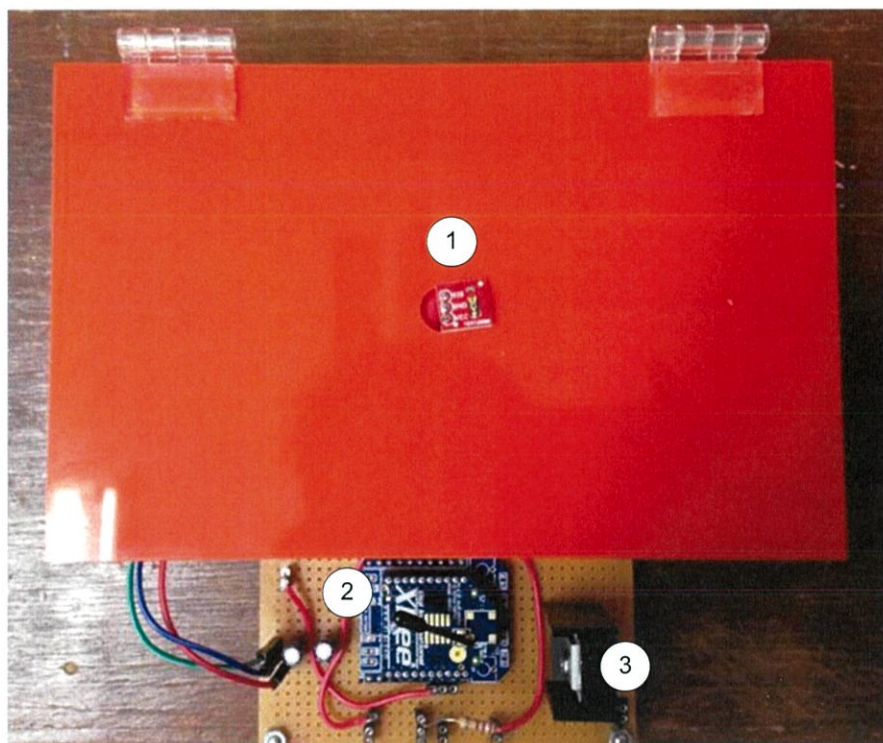


รูปที่ 3.6 วงจรแบ่งแรงดัน

แรงดันขาออกของเซนเซอร์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.11 โวลต์ ตามระดับความเข้มแสงที่ตรวจจับได้ สัญญาณแรงดันขาออกจะถูกต่อผ่านตัวเก็บประจุขนาด  $0.1\mu\text{F}$  และ  $10\mu\text{F}$  เพื่อให้แรงดันขาออกมีค่าเรียบและลดการแกว่งของสัญญาณแรงดัน สัญญาณที่ได้จะเป็นอินพุตให้กับชิปบีที่ขา 17 จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังชิปตัวรับสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรการรับสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 โดยสัญญาณที่ส่งจะมีอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Sampling) ตามที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 3.7 วงจรการรับสัญญาณ



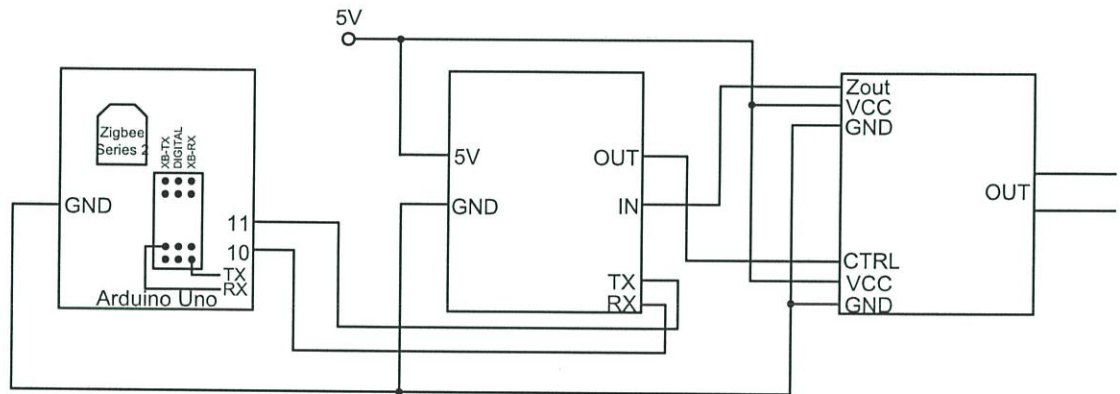
รูปที่ 3.8 ส่วนของการรับสัญญาณ

- หมายเลข 1 เซ็นเซอร์วัดค่าความสว่าง มีหน้าที่วัดความเข้มแสงสว่างของหลอดบนพื้นที่ใช้งาน และส่งข้อมูลให้กับชิปตัวส่งสัญญาณ ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
- หมายเลข 2 ชิปตัวส่งสัญญาณ มีหน้าที่ รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซ็นเซอร์และส่งต่อให้กับชิปตัวรับสัญญาณ
- หมายเลข 3 ไอซีเบอร์ 1117T มีหน้าที่แปลงแรงดันให้มีขนาดคงที่ที่ 3.3 โวลต์ เนื่องจากชิปปี ต้องการแหล่งจ่ายขนาด 3.3 โวลต์

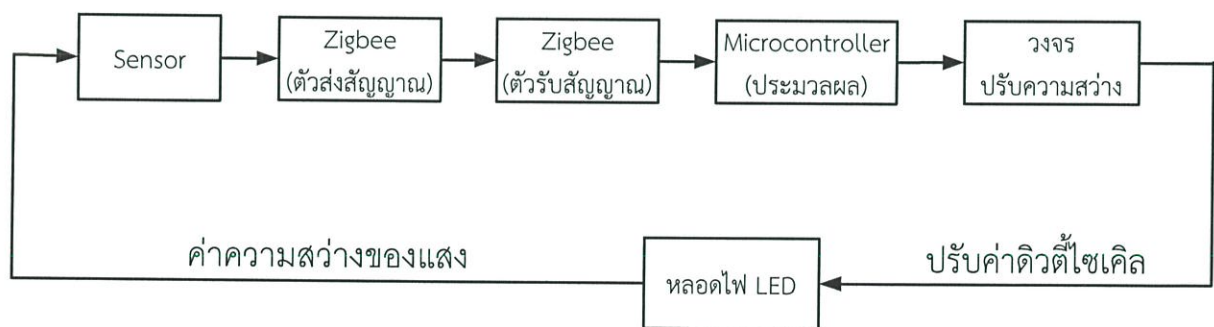
### 3.6 วงจรส่วนของการประมวลผลและปรับความสว่างของแสง

เมื่อชิปตัวรับได้รับสัญญาณข้อมูลจากชิปตัวส่งข้อมูลครบทุกตัวแล้วจะนำค่ามาที่ได้มาประมวลผลเป็นค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงสว่างและกำหนดเงื่อนไขในการทรีไฟ ข้อมูลเงื่อนไขที่ได้จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดการปรับค่าตัวดีไซเคิลและส่งต่อให้กับวงจรปรับค่าความสว่างของแสง แรงดันขาออกที่ได้จะมีขนาดมากน้อยตามความเข้มของแสงที่ตรวจจับได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9 และ 3.10

ในส่วนของวงจรปรับความสว่างจะสร้างสัญญาณ โดยใช้หลักการจุดตัดศูนย์ (Zero-crossing) ทุกๆ 10 มิลลิวินาที เพื่อเป็นการกำหนดไม่ให้เกิดการเลื่อนของแรงดัน เกิดจากเวลาไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าไม่เท่ากับเวลาของแรงดันไซน์ จึงมีความจำเป็นต้องใช้สัญญาณที่ได้จากหลักการจุดตัดศูนย์ สัญญาณควบคุมที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่สองจะเป็นสัญญาณให้กับ ไตรแอก (Triac) ในการปรับความสว่างเพื่อกำหนดการเปิดหรือปิดของไตรแอก ทำให้ได้รูปคลื่นไซน์ที่ถูกตัดตรงมุมจุดขนวนที่กำหนดทำให้หลอดได้รับสัญญาณในการปรับความสว่างที่แตกต่างกัน

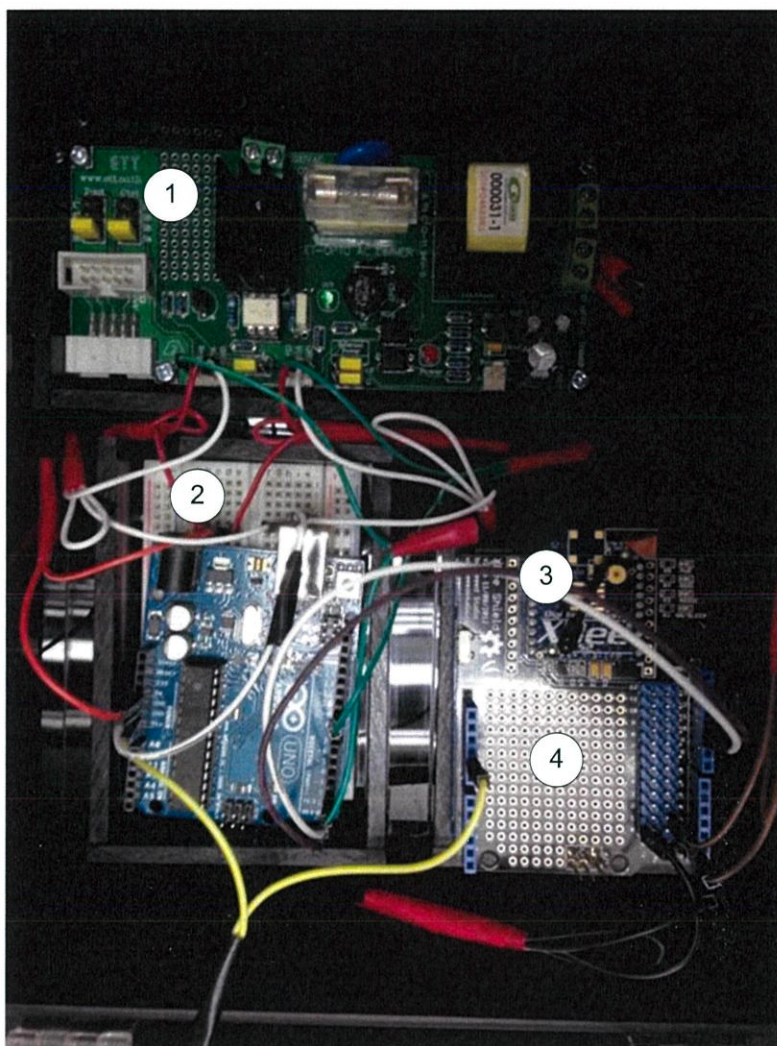


รูปที่ 3.9 วงจรส่วนการประมวลผลและวงจรปรับค่าความสว่าง



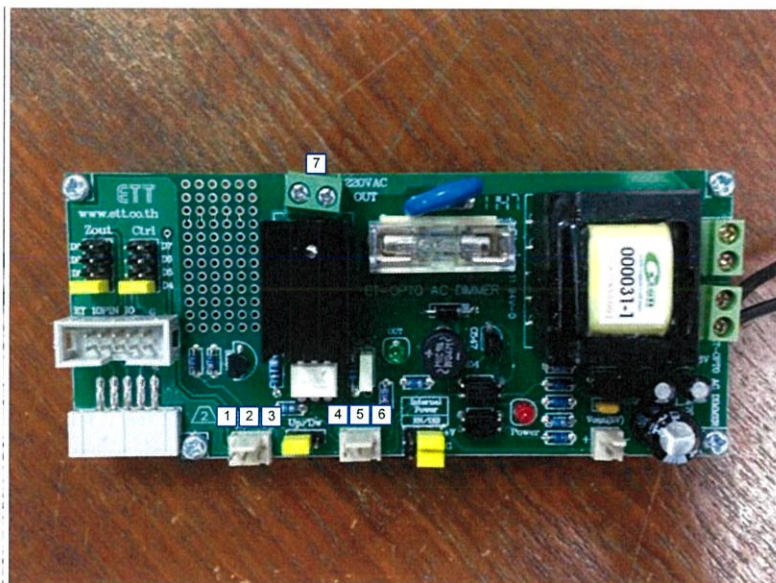
รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงการทำงานของส่วนของการประมวลผลและปรับความสว่าง

ค่าความสว่างของแสงจะถูกตรวจจับโดยใช้เซนเซอร์และส่งค่าแรงดันให้กับชิปปีตัวส่งสัญญาณ ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังชิปปีตัวรับสัญญาณ สัญญาณข้อมูลที่ได้จะประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อกำหนดมุมจุดขนวนให้กับวงจรการปรับความสว่างของแสง แรงดันขาออกที่ได้จะเป็นอินพุตให้กับหลอดไฟ



รูปที่ 3.11 ส่วนของการรับสัญญาณและปรับความสว่าง

- หมายเลข 1 วงจรปรับความสว่างของแสง มีหน้าที่ปรับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงให้มีค่าเหมาะสมตามคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 มีหน้าที่รับเงื่อนไขของการปรับความสว่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1
- หมายเลข 3 ชิปปีตัวรับสัญญาณ มีหน้าที่รับค่าแสงสว่างจากชิปปีตัวส่งสัญญาณ
- หมายเลข 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 มีหน้าที่รับค่าแสงสว่างจากชิปปีตัวรับสัญญาณเพื่อนำมาประมวลผลค่าทางแสงสว่างว่ามีค่าที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานหรือไม่



รูปที่ 3.12 วงจรปรับความสว่างของแสง

- หมายเลข 1 : Zout มีหน้าที่ส่งสัญญาณ Zero Crossing ทุกๆครึ่งรูปคลื่นไซน์ (10ms) เพื่อเป็นสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปควบคุมการตัดรูปคลื่นไซน์
- หมายเลข 2 : Vcc แหล่งจ่ายในส่วนควบคุมของวงจรปรับความสว่างของแสง ซึ่งต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์
- หมายเลข 3 : GND กราวด์ในส่วนควบคุมของวงจรปรับความสว่างของแสง
- หมายเลข 4 : Ctrl ขารับสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปคลื่นพัลส์ที่มี Duty Cycle ตามต้องการ
- หมายเลข 5 : Vcc แหล่งจ่ายในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 6 : GND กราวด์ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 7 : Vout ส่วนที่ต่อกับหลอดไดโอดเปล่งแสง ซึ่งสัญญาณที่ออกจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ถูกตัดไปที่มุมต่างๆตามต้องการ

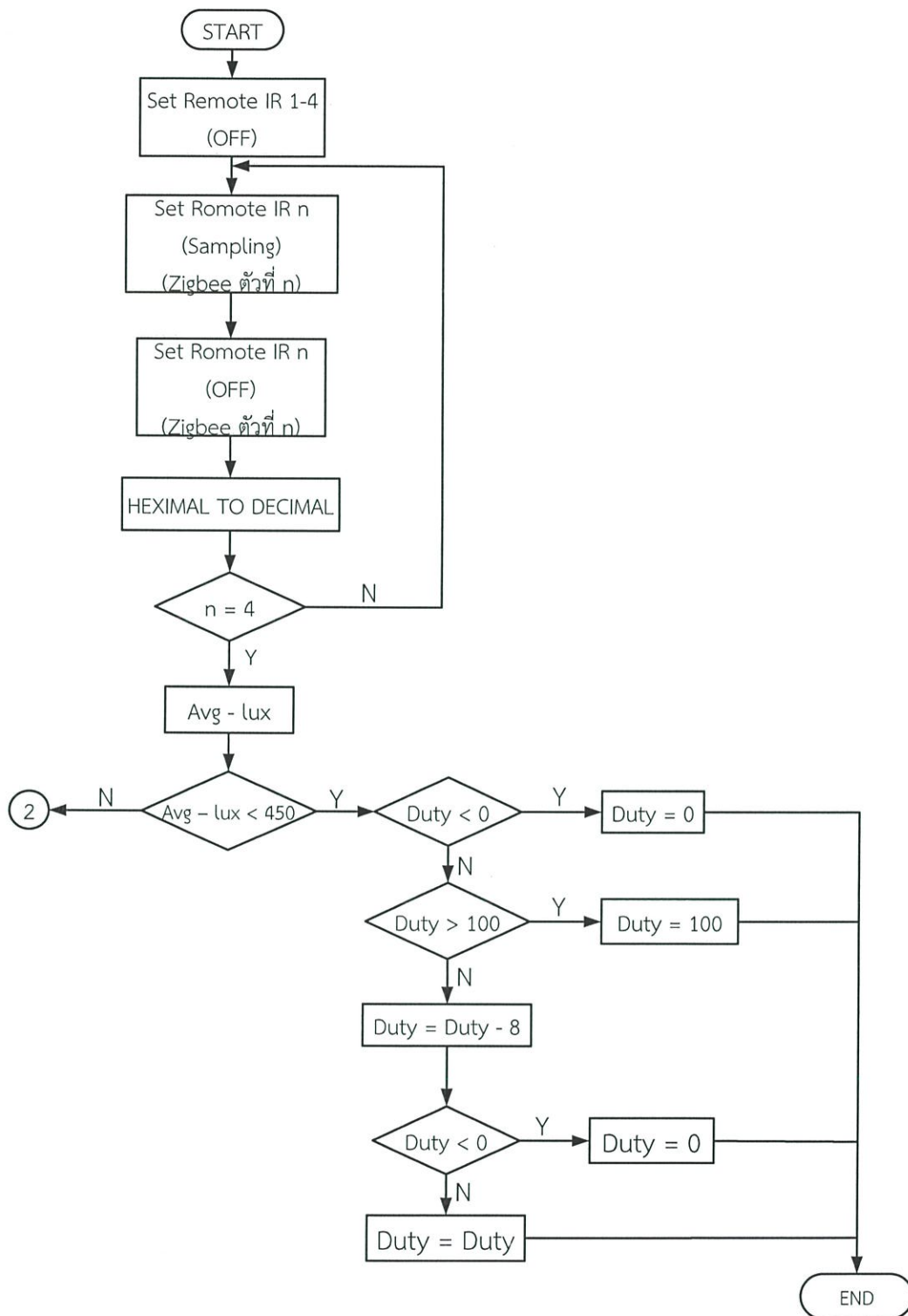


รูปที่ 3.13 ส่วนของการรับสัญญาณควบคุมและประมวลผล

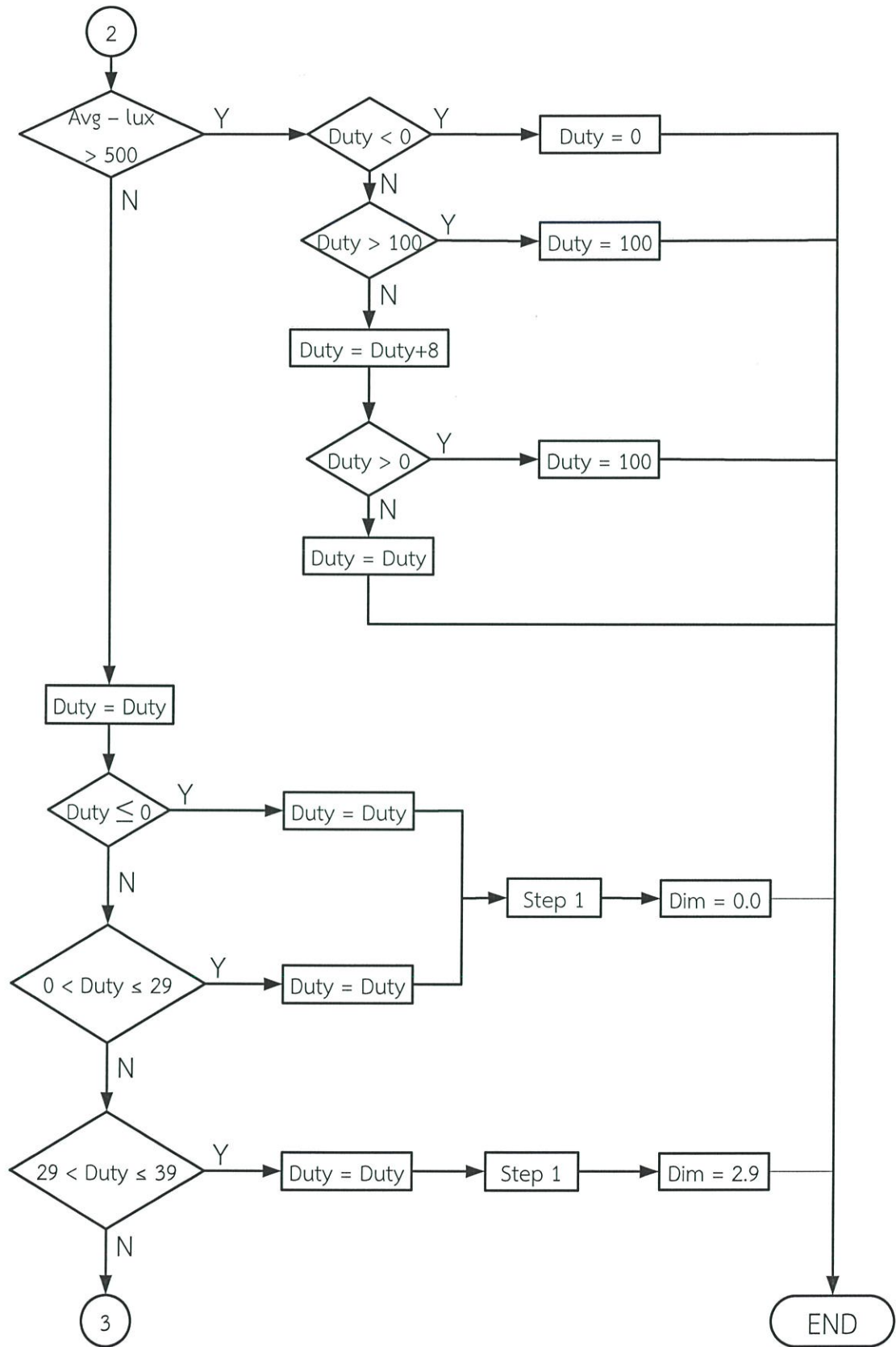
ส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 และส่งข้อมูลให้กับหน่วยประมวลผลหรือไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้อีกำหนดเงื่อนไขของการปรับความสว่างของแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง แสดงดังรูปที่ 3.13

### 3.7 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flowchart)

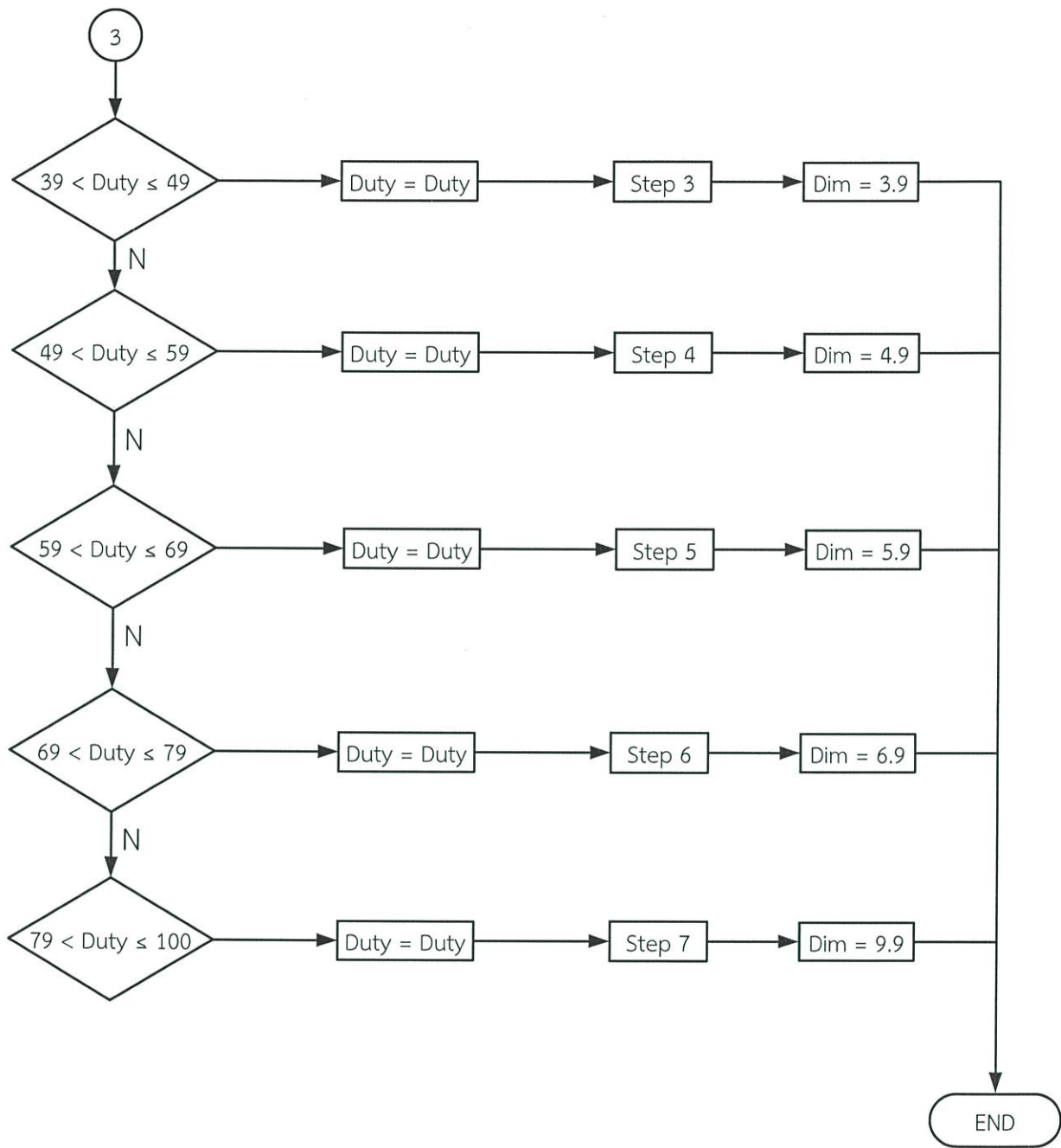
เริ่มต้นจะส่งสัญญาณให้ชิปปีตัวส่งข้อมูลให้ทำการปิดโหมดการสุ่มตัวอย่างสัญญาณของตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (ตามจำนวนของเซนเซอร์) เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าเซนเซอร์ทั้งหมดพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ จากนั้นทำการเปิดโหมดการสุ่มตัวอย่างสัญญาณของตัวที่ 1 และสั่งให้ชิปปีตัวส่งข้อมูลทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ ค่าให้กับชิปปีตัวรับข้อมูลและทำการปิดโหมดการสุ่มตัวอย่างสัญญาณของตัวที่ 1 ต่อจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงข้อมูลจากเลขฐาน 16 ไปเป็นเลขฐาน 10 ทำซ้ำจนครบตามจำนวนเซนเซอร์ที่มีทั้งหมด เมื่อทำงานครบตามจำนวนเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเฉลี่ยค่าจากเซนเซอร์ทั้งหมดและตรวจสอบเงื่อนไขว่าค่าความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 450 ลักซ์ มากกว่า 500 ลักซ์ หรืออยู่ระหว่าง 450-500 ลักซ์ ถ้าเข้าเงื่อนไขไหนก็จะทำการปรับค่าดีวีซีเคิลและส่งสัญญาณการปรับค่าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 และทำการปรับค่าความสว่าง ซึ่งระดับของการปรับค่าความสว่างมีทั้งหมด 7 ชั้น ที่ดีวีซีเคิลเท่ากับ 0% 29% 39% 49% 59% 69% และ 99% ซึ่งขึ้นกับค่าความสว่างที่ตรวจจับได้



รูปที่ 3.14 ลำดับขั้นตอนการทำงาน



รูปที่ 3.15 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (ต่อ)



รูปที่ 3.16 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (ต่อ)

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาด้านพลังงาน

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองในเรื่องของการประหยัดพลังงานและความสามารถในการปรับแสงสว่างแบบอัตโนมัติบนพื้นที่ใช้งานว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถหรี่ไฟเพื่อให้เข้ากับแสงสว่างจากภายนอกได้หรือไม่ เพื่อให้ได้ค่าความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยในการทดลองนั้นจะทำการเพิ่มระดับความสว่างจากภายนอกบนพื้นที่ทำงาน โดยใช้โคมไฟแทรคไลท์ (Track Light) โคมไฟดาวนไลท์ (Downlight) และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ พื้นที่ทำงาน ในการจำลองแสงแทนแสงสว่างจากภายนอก ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เนื่องจากในห้องที่ทำการทดลองนั้นไม่สามารถรับแสงสว่างจากภายนอกได้อย่างเต็มที่ จึงใช้โคมไฟแทรคไลท์ โคมไฟดาวนไลท์ และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ฉายแสงลงบนพื้นที่ทำงานแทนแสงสว่างจากภายนอก โดยสามารถปรับระดับความสว่างได้จากการปรับมุมองศาในการฉายแสงของโคมไฟแทรคไลท์และการเปิด ปิด ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และโคมไฟดาวนไลท์เพื่อให้ได้ค่าความสว่างที่ต้องการ ซึ่งภายในห้องจะติดตั้งโคมไฟแทรคไลท์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 6 ตัว หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมด 7 โคม และโคมไฟดาวนไลท์ทั้งหมด 4 ดวง

ในบทนี้ทำการจำลองแสงจากแสงภายนอกแบ่งกรณีการทดลองออกเป็น 3 กรณีดังนี้

1. กรณีความเข้มแสงคงที่ที่ 350 – 400 ลักซ์แบ่งได้ 5 กรณีดังนี้
  - 1.1 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด
  - 1.2 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด
  - 1.3 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด
  - 1.4 กรณีเปิดโคมแทรคไลท์
  - 1.5 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอด
2. กรณีความเข้มแสงคงที่ที่ 400 – 450 ลักซ์แบ่งได้ 5 กรณีดังนี้
  - 2.1 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด
  - 2.2 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด
  - 2.3 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด
  - 2.4 กรณีเปิดโคมแทรคไลท์
  - 2.5 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอด
3. กรณีความเข้มแสงคงที่ที่ 450 – 500 ลักซ์แบ่งได้ 5 กรณีดังนี้
  - 3.1 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด
  - 3.2 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด

3.3 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด

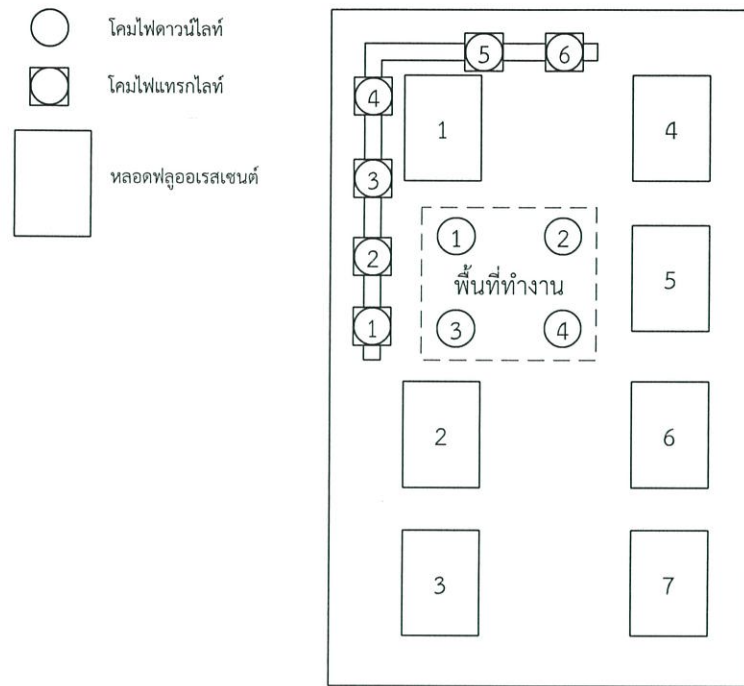
3.4 กรณีเปิดโคมแทรคไลท์

3.5 กรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอด

จากกรณีข้างต้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1 - 4.7 , ตารางที่4.8 - 4.14และ ตารางที่4.15 - 4.21 โดยพื้นที่ทำการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1และแผนผังตำแหน่งหลอดไฟของห้องทดลอง



รูปที่ 4.1 ห้องทดลองจริง



รูปที่ 4.2 แผนผังตำแหน่งหลอดไฟของห้องทดลอง

#### 4.1.1 ความเข้มแสงคงที่ที่ 350 – 400 ลักซ์

ในการทดลองนี้จะทำการแบ่งกรณีการทดลองออกเป็น 5 กรณีได้แก่

4.1.1.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 5 และ 6 ดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1	37	100.67	137.67	ไม่หรี่	-
2	25	102.34	127.34	ไม่หรี่	-
4	0	102.87	102.87	ไม่หรี่	-
5	18.84	115.28	134.12	ไม่หรี่	-
6	0	101.54	101.54	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.1 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 350 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.1.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1 กับ 6, 2 กับ 4, 4 กับ 6 และ 1 กับ 2 ดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 6	44.56	112.62	157.18	ไม่หรี่	-
2, 4	6.32	109.18	115.50	ไม่หรี่	-
4, 6	18.84	104.64	123.48	ไม่หรี่	-
1, 2	35.92	114.83	150.75	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.2 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 350 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.1.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 6 ดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6	84.02	109.3	193.32	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.3 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 350 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.1.4 โคมแทรกไลท์ ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 กับ 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ดังในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์กรณีคงค่าความเข้มแสง 350 - 400 ลักซ์

ตำแหน่งโคมแทรกไลท์	ความเข้มแสงของโคมแทรกไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 3, 4	218.81	103.75	322.56	ไม่หรี่	-
4, 5, 6	75.82	104.86	180.68	ไม่หรี่	-
1, 2, 3, 4, 5, 6	311.26	88.45	399.71	หรี่	1.17

จากตารางที่ 4.4 ในกรณีที่เปิดโคมแทรกไลท์ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงานมีค่าเกิน 400 ลักซ์ ส่งผลให้หลอดไดโอดเปล่งแสงทำการปรับความสว่างลงจาก 104.86 ลักซ์ เป็น 88.45 ลักซ์ ส่งผลให้กรณีนี้เกิดการประหยัดพลังงาน

4.1.5 โคมดาวไลท์ 4 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 ดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวไลท์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 350 - 400 ลักซ์

โคมดาวไลท์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรกไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 3, 4	67.17	103.09	170.26	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.5 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 350 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อ การประหยัดพลังงาน

4.1.1.6 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลอง แสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ดังในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์

ตำแหน่งหลอด ฟลูออเรสเซนต์ และโคมแทรคไลท์	ความเข้มแสง ของหลอดฟลูออ-เรสเซนต์และโคมแทรคไลท์(ลักซ์)	ความเข้มแสง ของหลอด ไดโอด เปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสง บนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะ ของหลอด ไดโอด เปล่งแสง	เวลาเข้าสู่ สภาวะ คงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6	423.65	3.32	420.33	ดับ	2.05

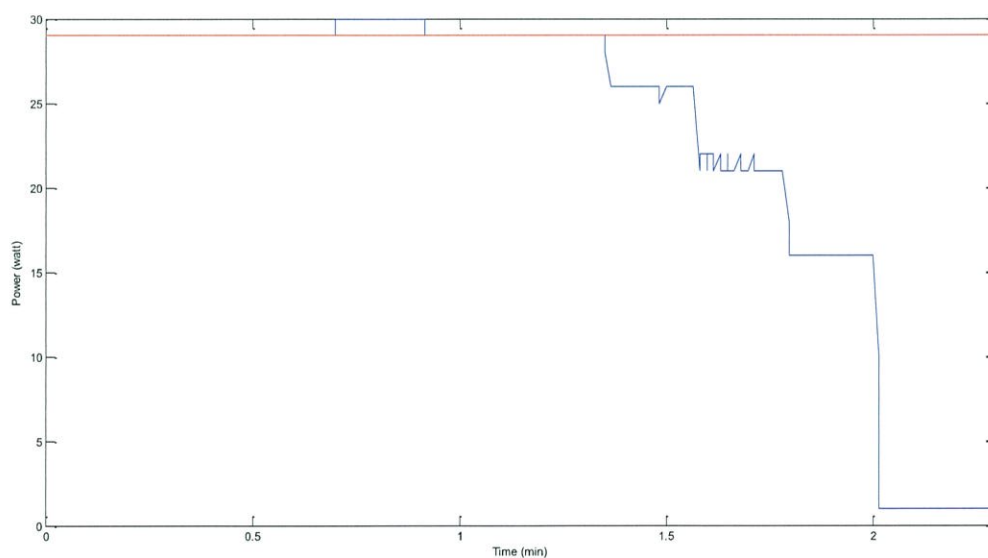
จากตารางที่ 4.6 เนื่องจากแสงจากภายนอกมีค่าเกิน 400 ลักซ์ ส่งผลให้หลอด ไดโอดเปล่งแสงเกิดการหรี่ลงจนหลอดดับใช้เวลาทั้งหมด 2.06 นาทีทำให้ในกรณีนี้เกิดการประหยัด พลังงานมากที่สุด

4.1.7 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอดและโคมดาวไลท์ 4 หลอดใน การทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และโคม ดาวไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 กับ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4 ตามลำดับ ดังในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอดและโคมดาวน์ไลท์ 4 หลอด กรณีคงค่าความเข้มแสง 350 – 400 ลักซ์

ตำแหน่งหลอด ฟลูออเรสเซนต์โคม แทรคไลท์ และโคมดาวน์ไลท์	ความเข้มแสง ของหลอด ฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์ และดาวน์ไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสง ของหลอด ไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสง บนพื้นที่ ทำงาน (ลักซ์)	สถานะ ของหลอด ไดโอด เปล่งแสง	เวลาเข้าสู่ สภาวะ คงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6 กับ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4	470.87	13.84	484.17	ดับ	2.05

จากตารางที่ 4.7เนื่องจากแสงจากภายนอกมีค่าเกิน 400 ลักซ์ ส่งผลให้หลอดไดโอดเปล่งแสงเกิดการหรี่ลงจนหลอดดับใช้เวลาทั้งหมด 2.06 นาทีทำให้ในกรณีนี้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุด



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์) และเวลา (นาที) ในกรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอดและโคมดาวน์ไลท์ 4 หลอด โดยคงค่าความสว่างที่ 350 – 400ลักซ์

จากผลการทดลองที่ 4.1.1 - 4.1.7 วงจรปรับความสว่างของแสงสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ ความเข้มแสงคงที่ที่ 350 - 400 ลักซ์ และค่าพลังงานไฟฟ้าจะลดลงตามความเข้มแสงจากภายนอก คือ ถ้าความเข้มแสงจากภายนอกมีค่ามากขึ้นความเข้มแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าลดลงมีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลง โดยหลอดไฟฟ้าจะเกิดการปรับระดับเมื่อเปิดคอมแพคไลท์ คอมฟลูออเรสเซนต์และดาวไลท์ ในเงื่อนไขที่ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 350 ลักซ์หรือมีค่าเกินกว่า 400 ลักซ์ในด้านพลังงานแสงในรูปที่ 4.3

กรณีที่ไม่มีไฟจะใช้พลังงานเท่ากับ  $28 \times 2.2 = 61.6$  วัตต์-นาท

กรณีที่ไฟจะใช้พลังงานเท่ากับ  $(28 \times 1.4) + (26 \times 0.3) + (21 \times 0.3) + (16 \times 0.3) = 58.1$

ดังนั้นทำให้ประหยัดพลังงานเท่ากับ 5.68%

#### 4.1.2 ความเข้มแสงคงที่ที่ 400 - 450 ลักซ์

ในการทดลองนี้จะทำการแบ่งกรณีการทดลองออกเป็น 5 กรณีได้แก่

4.1.2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 5 และ 6 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 400 - 450 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์(ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน(ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาท)
1	36.4	100.22	136.62	ไม่หรี่	-
2	25.7	101.55	127.25	ไม่หรี่	-
4	0	101.34	101.34	ไม่หรี่	-
5	19.3	117.53	136.83	ไม่หรี่	-
6	0	101.78	101.78	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.8 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 400 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1 กับ 6, 2 กับ 4, 4 กับ 6 และ 1 กับ 2 ดังในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์(ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน(ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 6	43.32	109.44	152.76	ไม่หรี่	-
2, 4	5.78	111.72	117.50	ไม่หรี่	-
4, 6	17.11	105.32	122.43	ไม่หรี่	-
1, 2	37.74	109.84	147.58	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.9 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 400 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของพลังงาน

4.1.2.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 6 ดังในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์(ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน(ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6	82.56	107.43	189.99	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.10 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 400 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.2.4 โคมแทรกไลท์ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 กับ 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ดังในตารางที่ 4.11

**ตารางที่ 4.11** การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์ กรณีคงค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

ตำแหน่งโคมแทรกไลท์	ความเข้มแสงของโคมแทรกไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 3, 4	205.34	106.23	311.57	ไม่หรี	-
4, 5, 6	72.78	104.46	177.24	ไม่หรี	-
1, 2, 3, 4, 5, 6	309.93	93.80	403.73	หรี	1.02

จากตารางที่ 4.11 ในกรณีที่เปิดโคมแทรกไลท์ 1, 2, 3, 4, 5, 6 แสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าเกิน 450 ลักซ์ ส่งผลให้หลอดไดโอดเปล่งแสงทำการปรับความสว่างลงจาก 104.46 ลักซ์ เป็น 93.80 ลักซ์ ส่งผลให้กรณีนี้เกิดการประหยัดพลังงาน

4.1.2.5 โคมดาวไลท์ 4 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 ดังในตารางที่ 4.12

**ตารางที่ 4.12** การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวไลท์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

โคมดาวไลท์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรกไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 3, 4	69.43	101.55	170.98	ไม่หรี	-

จากตารางที่ 4.12 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 400 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.2.6 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด และ โคมแทรคไลท์ 6 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ตามลำดับ ดังในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด และ โคมแทรคไลท์ 6 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6	413.01	4.27	417.28	ดับ	2.09

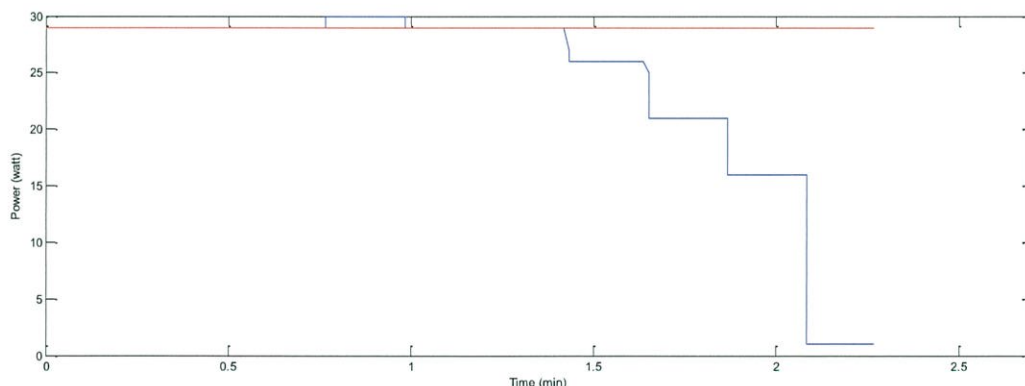
จากตารางที่ 4.13 เนื่องจากแสงจากภายนอกมีค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 400-450 ลักซ์ซึ่งเป็นช่วงที่มีความสว่างเพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้หลอดไดโอดเปล่งแสงเกิดการหรี่จนหลอดดับใช้เวลาทั้งหมด 2.09 นาทีทำให้ในกรณีนี้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุด

4.1.2.7 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอด และ โคมดาวนไลท์ 4 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และโคมดาวนไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 กับ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4 ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอด และโคมดาวนไลท์ 4 หลอด กรณีค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

ตำแหน่งหลอด ฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และ โคมดาวนไลท์	ความเข้มแสง ของหลอด ฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และ โคมดาวนไลท์(ลักซ์)	ความเข้มแสง ของหลอด ไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสง บนพื้นที่ ทำงาน (ลักซ์)	สถานะ ของหลอด ไดโอด เปล่งแสง	เวลาเข้าสู่ สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4	484.41	3.56	480.85	ดับ	2.02

จากตารางที่ 4.14 เนื่องจากแสงจากภายนอกมีค่าความเข้มแสงมีค่าเกินกว่า 450 ลักซ์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความสว่างเพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้หลอดไดโอดเปล่งแสงเกิดการหรี่จนหลอดดับใช้เวลาทั้งหมด 2.02 นาทีทำให้ในกรณีนี้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุด



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์) และเวลา (นาที) ในกรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอด และโคมดาวนไลท์ 4 หลอด โดยค่าความสว่างที่ 400 - 450 ลักซ์

จากผลการทดลองที่ 4.2.1 - 4.2.7 วงจรปรับความสว่างของแสงสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ ความเข้มแสงคงที่ที่ 400 - 450 ลักซ์ และค่าพลังงานไฟฟ้าจะลดลงตามความเข้มแสงจากภายนอก คือ ถ้าความเข้มแสงจากภายนอกมีค่ามากขึ้นความเข้มแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าลดลงมีผลทำให้พลังงานไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยหลอดไฟฟ้าจะเกิดการปรับระดับเมื่อเปิดโคมแทรคไลท์ โคมฟลูออเรสเซนต์และโคมดาวนไลท์ในเงื่อนไขที่ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 400 ลักซ์หรือมีค่าเกินกว่า 450 ลักซ์ในด้านพลังงานแสดงในรูปที่ 4.4

กรณีที่ไม่มีหรีไฟจะใช้พลังงานเท่ากับ  $28 \times 2.2 = 61.6$  วัตต์-นาทิต

กรณีที่หรีไฟจะใช้พลังงานเท่ากับ  $(28 \times 1.4) + (26 \times 0.3) + (21 \times 0.3) + (16 \times 0.3) = 58.1$   
ดังนั้นทำให้ประหยัดพลังงานเท่ากับ 5.68%

#### 4.1.3 ความเข้มแสงคงที่ที่ 450 – 500 ลักซ์

ในการทดลองนี้จะทำการแบ่งกรณีการทดลองออกเป็น 5 กรณีได้แก่

4.1.3.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์1 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 5 และ 6 ดังในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาทิต)
1	42.45	103.22	145.67	ไม่หรี	-
2	21.12	105.35	126.47	ไม่หรี	-
4	0	102.74	102.74	ไม่หรี	-
5	17.68	101.45	119.13	ไม่หรี	-
6	0	112.57	112.57	ไม่หรี	-

จากตารางที่ 4.15เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.3.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์2 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1กับ 6, 2กับ 4, 4กับ6 และ 1กับ2 ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์(ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน(ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 6	39.79	108.24	148.03	ไม่หรี่	-
2, 4	5.33	107.57	112.90	ไม่หรี่	-
4, 6	19.45	104.66	124.11	ไม่หรี่	-
1, 2	32.65	109.56	142.21	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.16 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.3.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์4 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 6 ดังในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์(ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน(ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว(นาที)
1, 2, 4, 6	86.21	102.66	188.87	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.17เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.3.4 โคมแทรกไลท์ ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์ ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 กับ 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมแทรกไลท์ กรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

ตำแหน่งโคมแทรกไลท์	ความเข้มแสงของโคมแทรกไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 3, 4	222.53	102.45	324.98	ไม่หรี่	-
4, 5, 6	77.34	105.12	182.46	ไม่หรี่	-
1, 2, 3, 4, 5, 6	305.93	103.34	409.27	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.18 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.3.5 โคมดาวไลท์ 4 หลอด ในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 ดังในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดโคมดาวไลท์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

โคมดาวไลท์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรกไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 3, 4	63.42	101.83	165.25	ไม่หรี่	-

จากตารางที่ 4.19 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงไม่ถึง 450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.3.6 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอดและโคมแทรคไลท์ 6 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6	388.85	102.01	490.86	ไม่หรี่	-

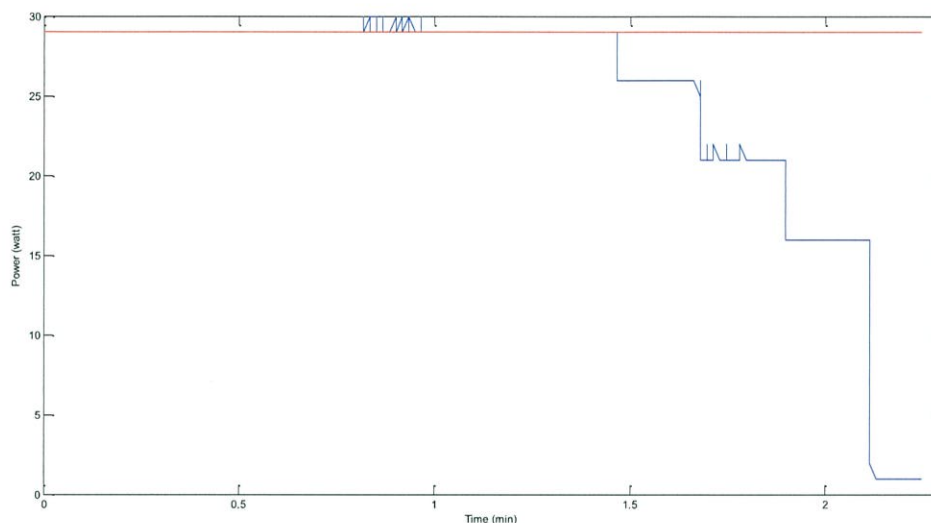
จากตารางที่ 4.20 เนื่องจากแสงจากภายนอกและหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 450 – 500 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงไม่เกิดการปรับความสว่างของแสงทำให้ในกรณีนี้ไม่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

4.1.3.7 หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอดและโคมดาวนไลท์ 4 หลอดในการทดลองนี้ได้จำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และโคมดาวนไลท์ที่ตำแหน่ง 1, 2, 3, 4 กับ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 1, 2, 3, 4 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 หลอดและโคมดาวนไลท์ 4 หลอดกรณีคงค่าความเข้มแสง 450 – 500 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และโคมดาวนไลท์	ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โคมแทรคไลท์และโคมดาวนไลท์ (ลักซ์)	ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง (ลักซ์)	ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)
1, 2, 4, 6 และ 1, 2, 3, 4, 5, 6	479.52	22.48	502	ดับ	2.08

จากตารางที่ 4.21 เนื่องจากแสงจากภายนอกมีค่าความเข้มแสงมีค่าเกินกว่า 450 ลักซ์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความสว่างเพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้หลอดไดโอดเปล่งแสงทำการปรับความสว่างลงจาก 102.01 ลักซ์ เป็น 22.48 ลักซ์ ใช้เวลาทั้งหมด 2.08 นาที ทำให้ในกรณีนี้เกิดการประหยัดพลังงาน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์) และเวลา (นาที)

ในกรณีเปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรกไลท์ 6 หลอดและโคมดาวไลท์ 4 หลอด โดยคงค่าความสว่างที่ 450 – 500 ลักซ์

จากผลการทดลองที่ 4.1.3.1 – 4.1.3.7 วงจรปรับความสว่างของแสงสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ ความเข้มแสงคงที่ที่ 450 – 500 ลักซ์ และค่าพลังงานไฟฟ้าจะลดลงตามความเข้มแสงจากภายนอก คือ ถ้าความเข้มแสงจากภายนอกมีค่ามากขึ้นความเข้มแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าลดลงมีผลทำให้พลังงานไฟฟ้ามีค่าลดลง โดยหลอดไฟฟ้าจะเกิดการปรับระดับเมื่อเปิดโคมแทรกไลท์และโคมฟลูออเรสเซนต์ในเงื่อนไขที่ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 450 ลักซ์หรือมีค่าเกินกว่า 500 ลักซ์ในด้านพลังงานแสดงในรูปที่ 4.5

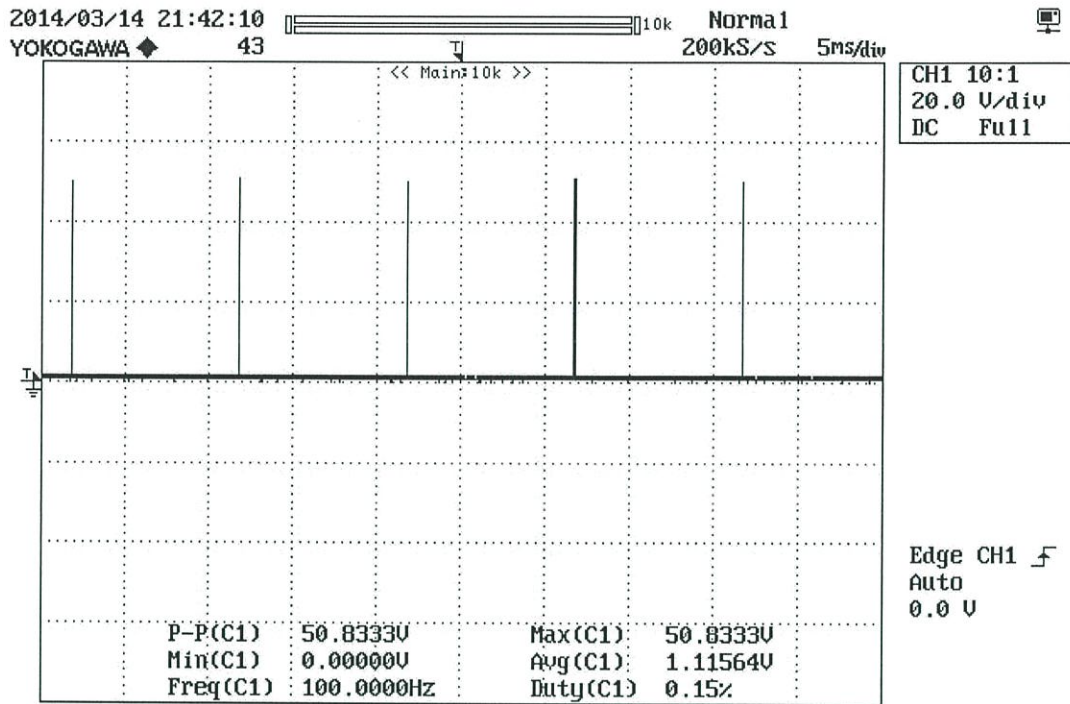
กรณีที่ไม่มีไฟจะใช้พลังงานเท่ากับ  $28 \times 2.2 = 61.6$  วัตต์-นาที

กรณีที่หรีไฟจะใช้พลังงานเท่ากับ  $(28 \times 1.4) + (26 \times 0.3) + (21 \times 0.3) + (16 \times 0.3) = 58.1$  ดังนั้นทำให้ประหยัดพลังงานเท่ากับ 5.68%

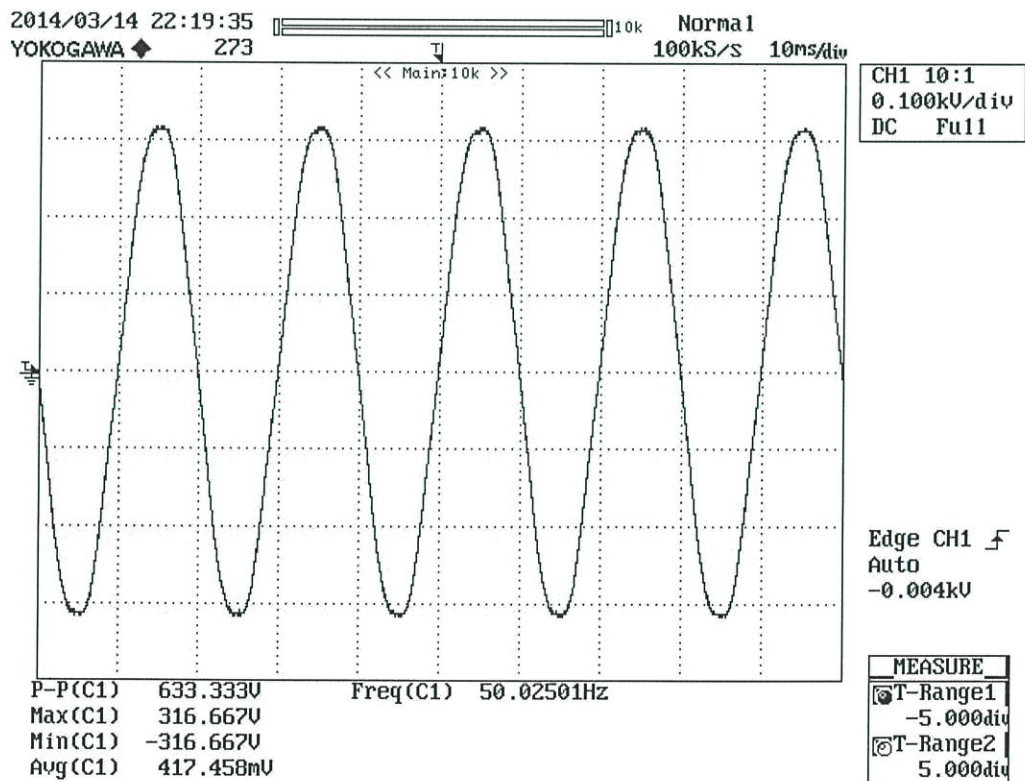
จากการทดลองกรณีต่าง ๆ ทั้งหมดในข้างต้น จะเห็นว่า หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดแสงสว่างอัตโนมัติ จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าหลอดไดโอดที่ไม่ได้ติดตั้งวงจรควบคุม ซึ่งการประหยัดพลังงานนั้นจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของระดับความสว่างของแสงจากภายนอก ซึ่งจากผลการทดลอง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาดังรูปที่ 4.3 – 4.5 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละกรณีต่าง ๆ นั้นจะมีลักษณะกราฟที่คล้ายกัน ซึ่งเป็นผลมาจากแสงสว่างจำลองจากหลอดไฟมีค่าความเข้มแสงที่มากกว่า 500 ลักซ์ ทำให้หลอดไดโอดเปล่งแสงดับทุกดวงเนื่องจากพื้นที่การทำงานมีค่าความสว่างในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งจากคำนวณจากข้อมูลที่วัดได้จะพบว่าสามารถประหยัดพลังงานสูงสุดได้ 5.68 % และหากใช้งานบนพื้นที่ทำงานที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งต้องติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงเป็นจำนวนมาก ก็จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดเมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในแต่ละเดือน

#### 4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้วงจรรีไฟต์อัตโนมัติ

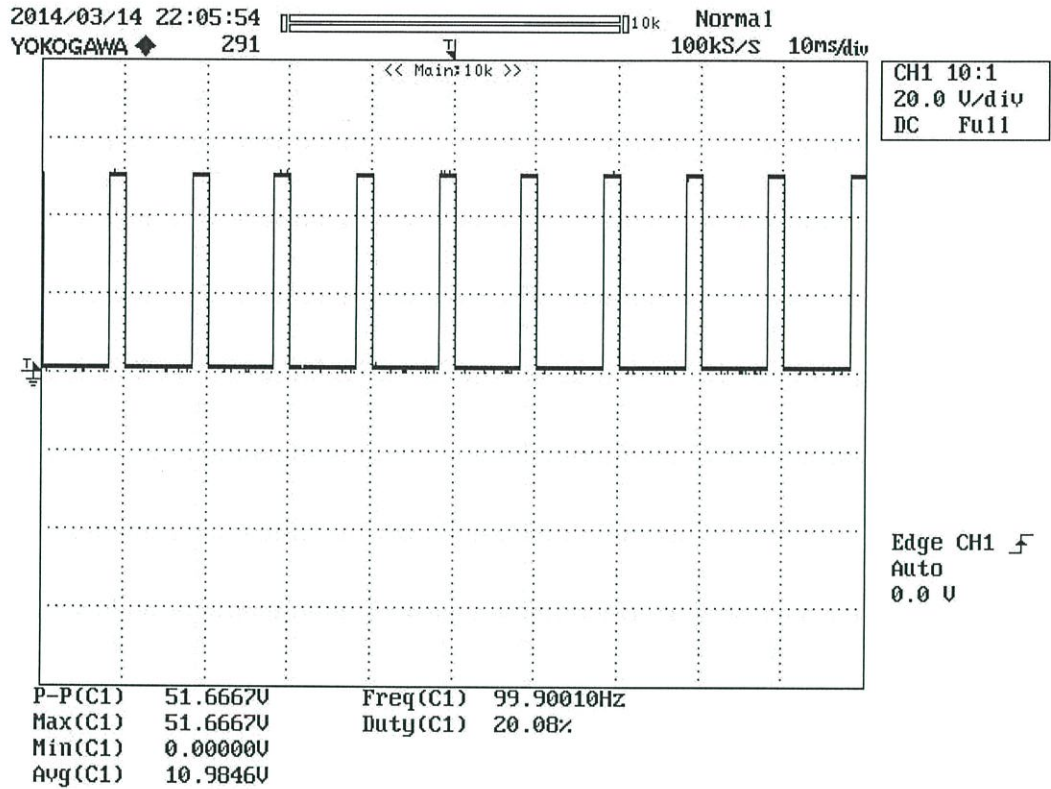
การทดลองนี้เป็นการบันทึกผลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อค่าความเข้มแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงบนพื้นที่ทำงานมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลของการใช้ชุดวงจรในการรีไฟต์อัตโนมัติว่ามีผลต่อค่าพารามิเตอร์ใดบ้างในการที่จะควบคุมระดับความสว่างบนพื้นที่ทำงาน โดยจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ระดับความเข้มแสงตั้งแต่ 0 ลักซ์ไปจนถึงระดับความเข้มแสงประมาณ 80ลักซ์ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงสูงสุดบนพื้นที่ทำงานจากหลอดไดโอดเปล่งแสงทั้ง 4 โคมซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการเก็บค่าสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และรูปคลื่นของแรงดันที่ค่าวิตซ์ไซเคิลที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.6 – 4.19 ดังนี้



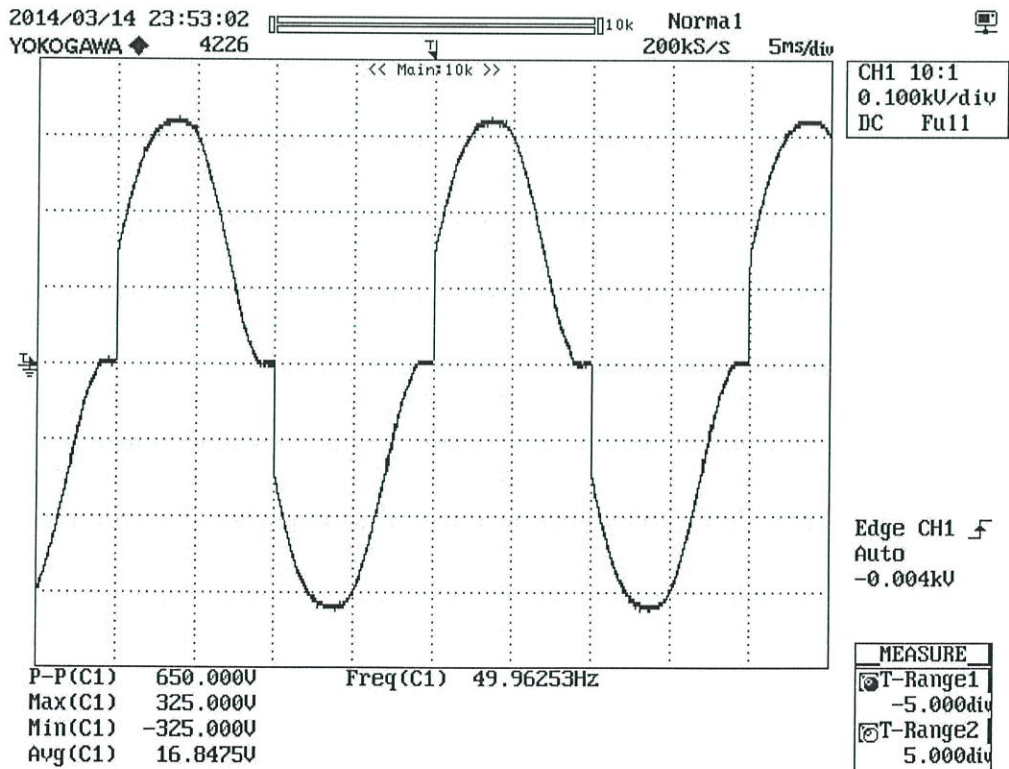
รูปที่ 4.6 รูปคลื่นของแรงดันที่ดิวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0



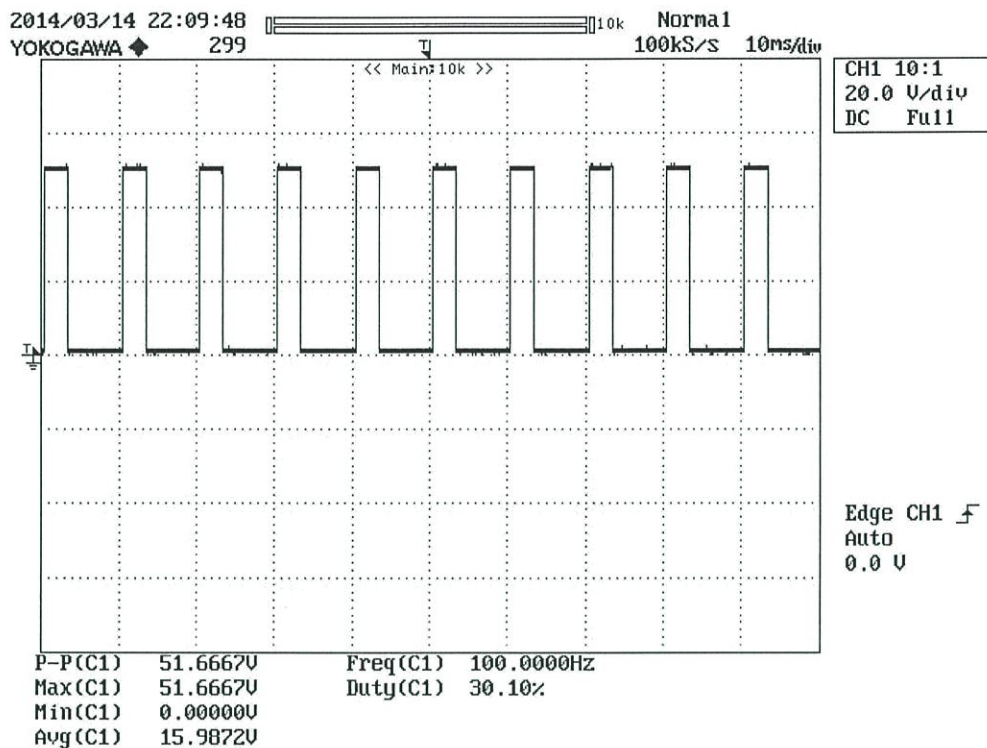
รูปที่ 4.7 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ดิวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 0



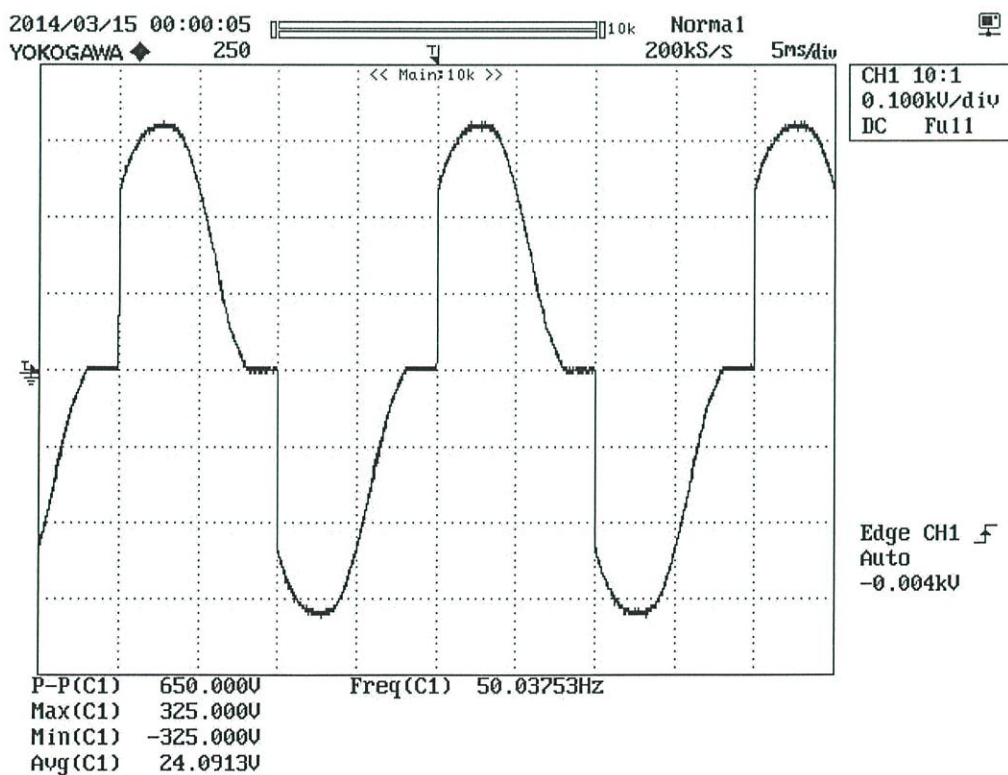
รูปที่ 4.8 รูปคลื่นของแรงดันที่ตัวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 20



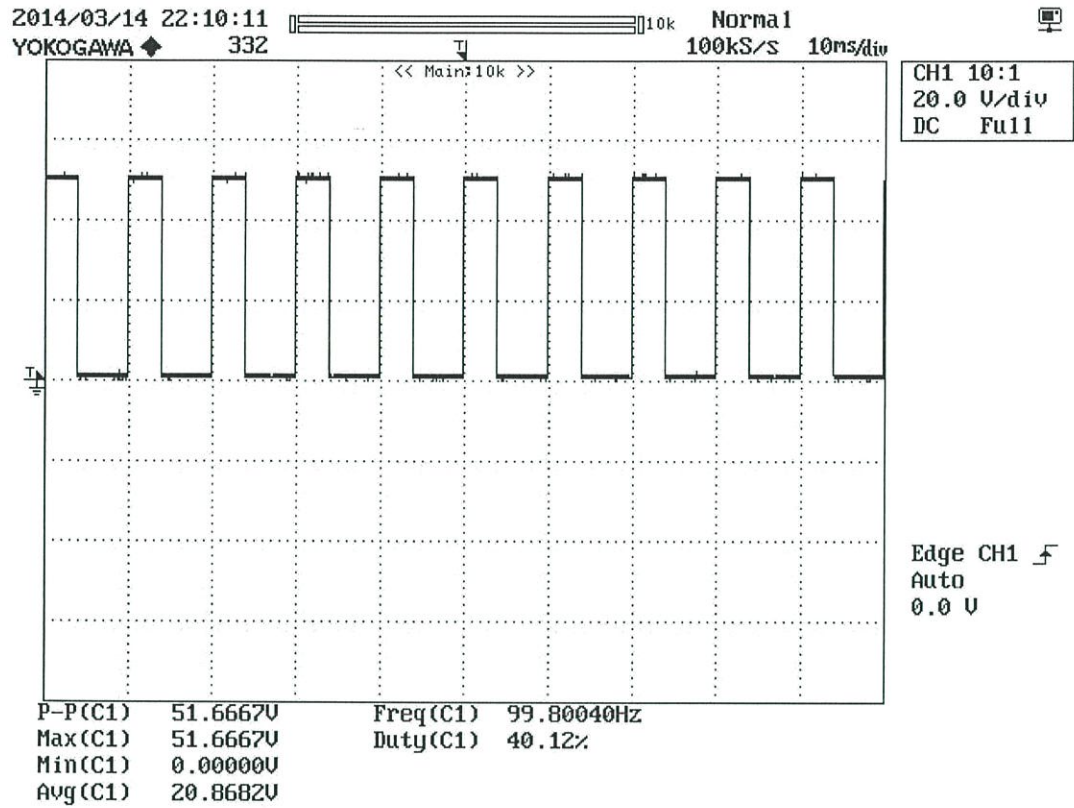
รูปที่ 4.9 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ตัวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 20



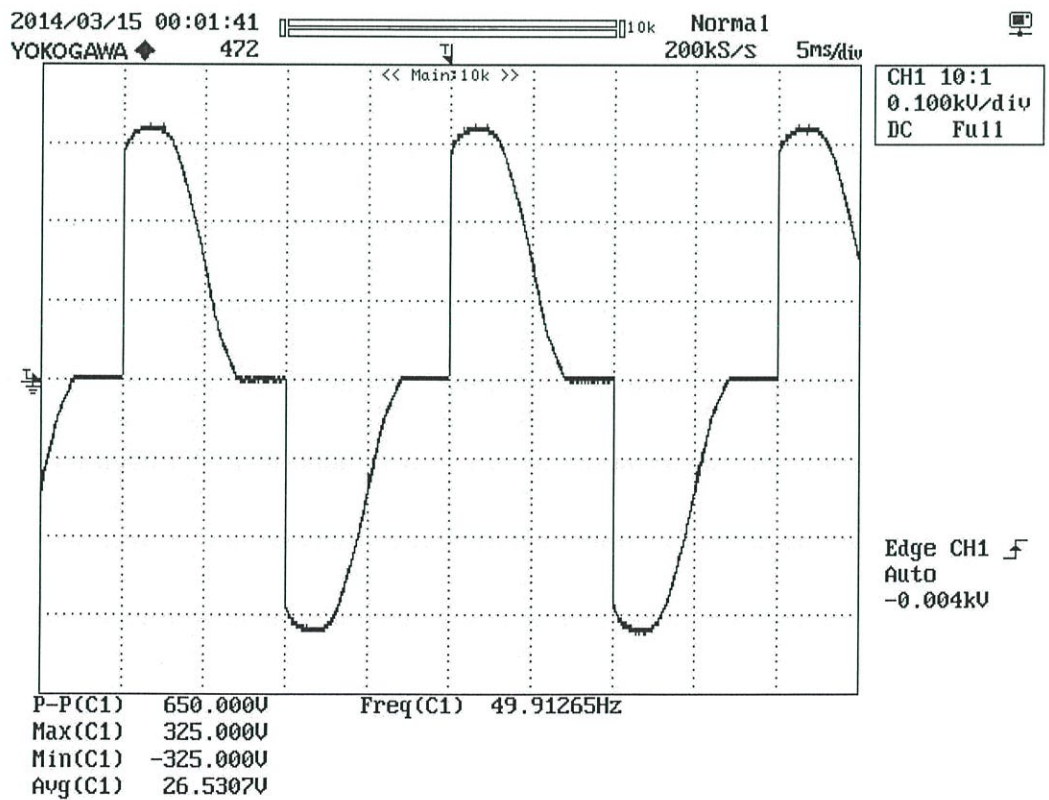
รูปที่ 4.10 รูปคลื่นของแรงดันที่ตัวตัดไซเคิลมีค่าเท่ากับ 30



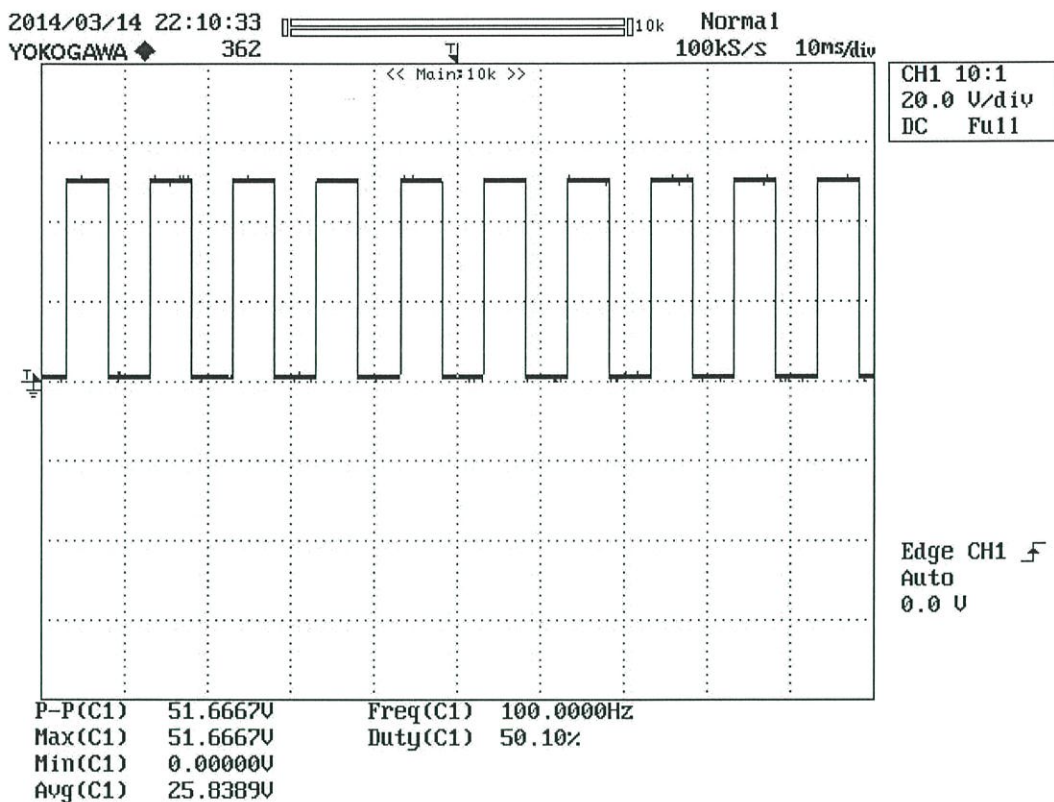
รูปที่ 4.11 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ตัวตัดไซเคิลมีค่าเท่ากับ 30



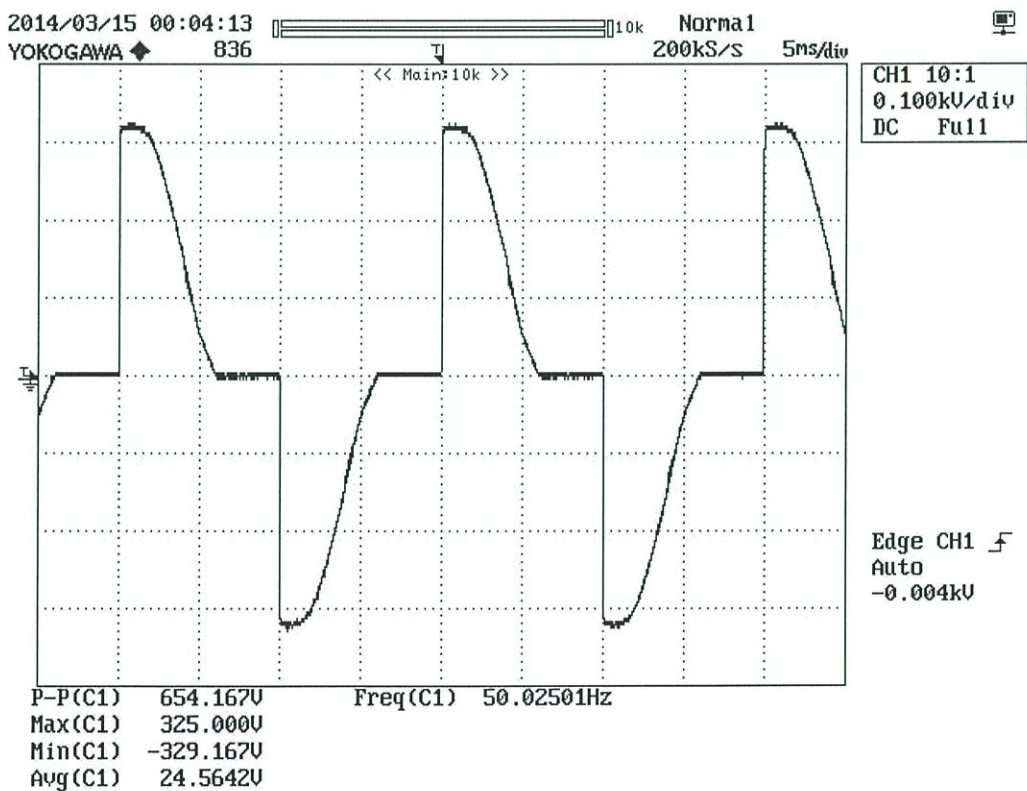
รูปที่ 4.12 รูปคลื่นของแรงดันที่ตัวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 40



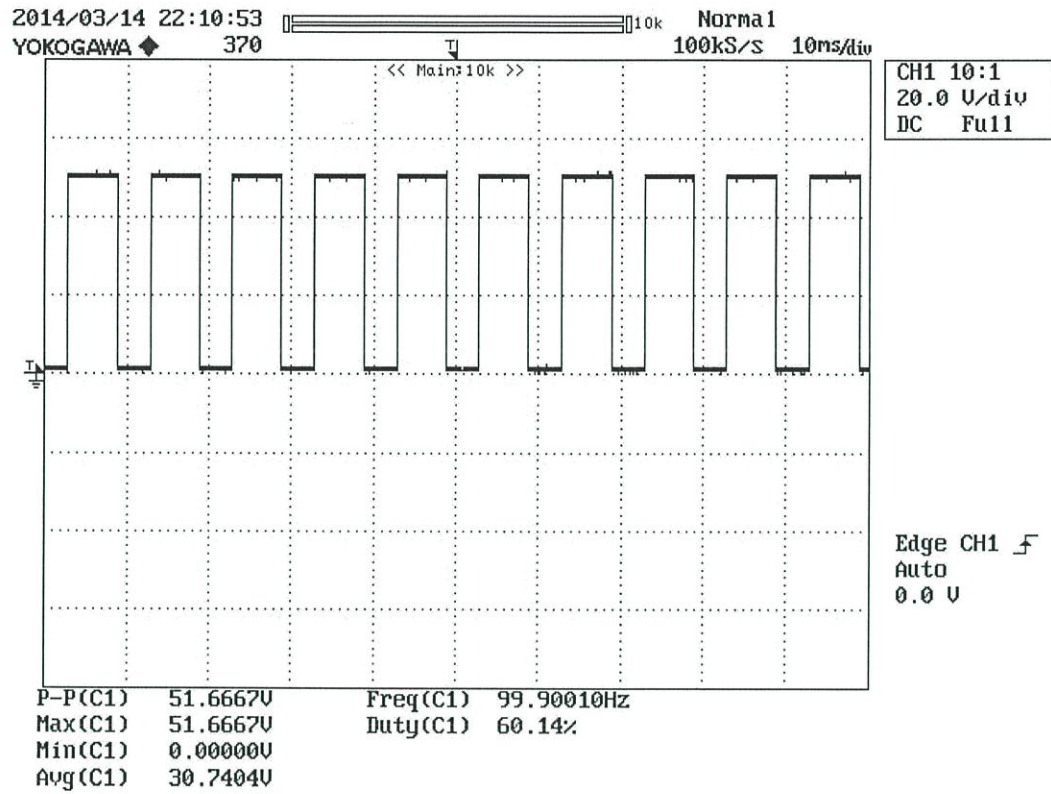
รูปที่ 4.13 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ตัวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 40



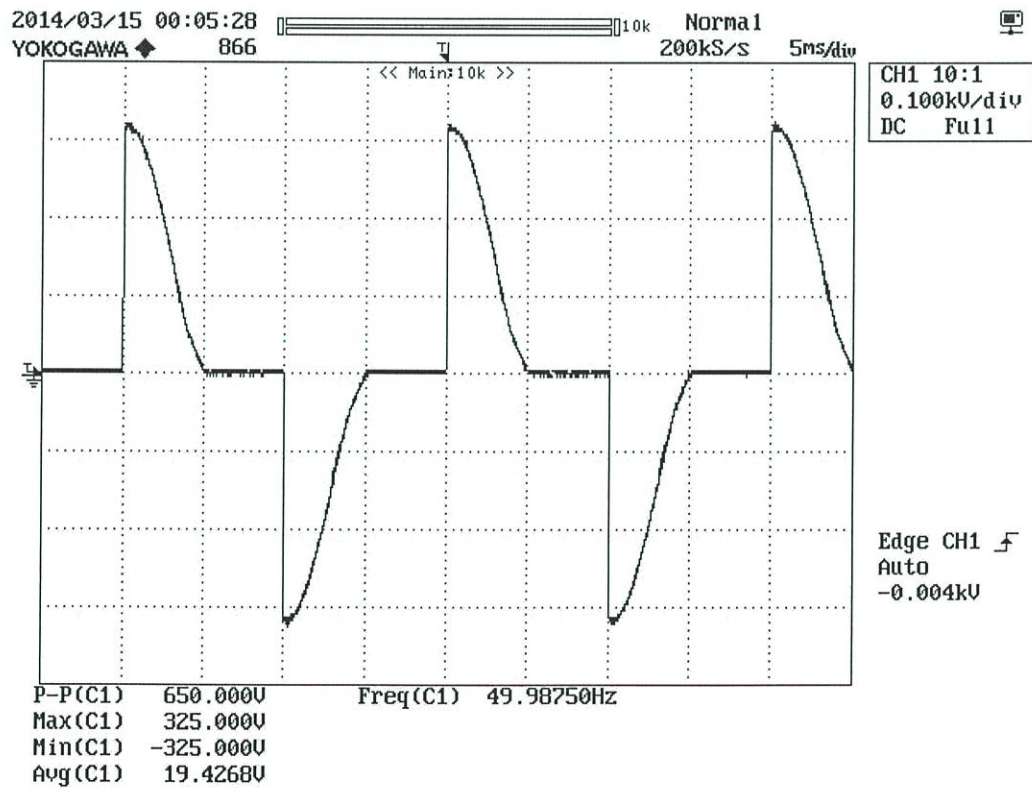
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นของแรงดันที่ตัวไดโอดซิลิคอนที่มีค่าเท่ากับ 50



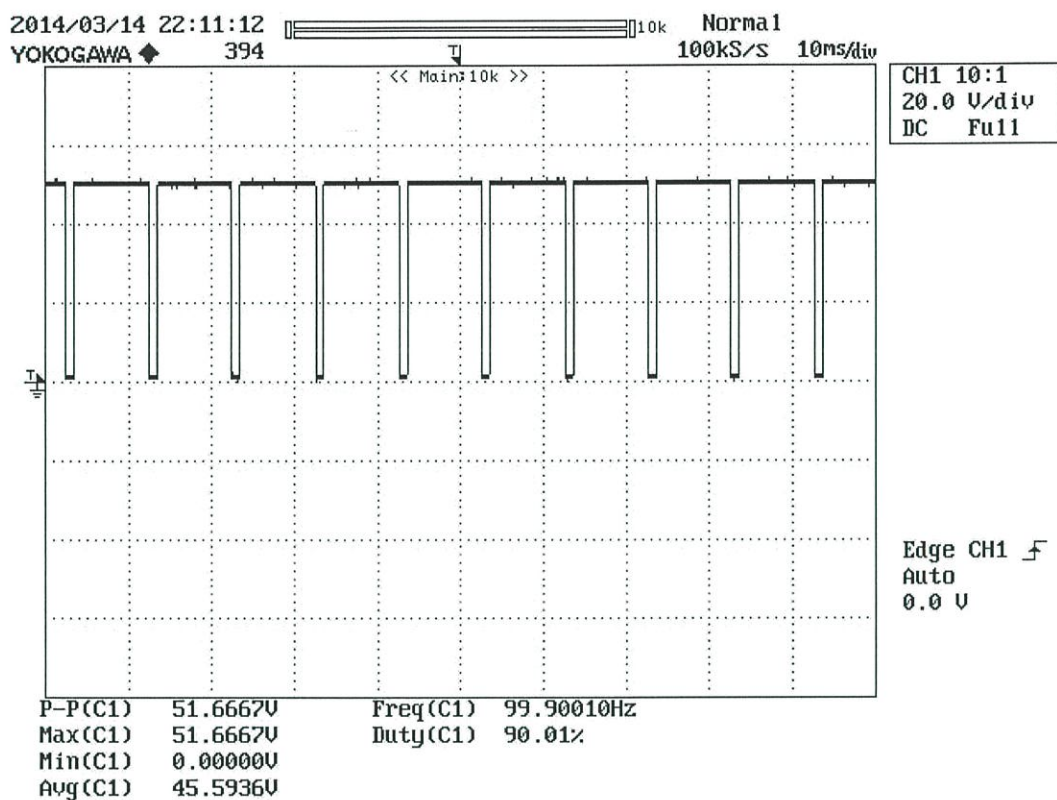
รูปที่ 4.15 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ตัวไดโอดซิลิคอนที่มีค่าเท่ากับ 50



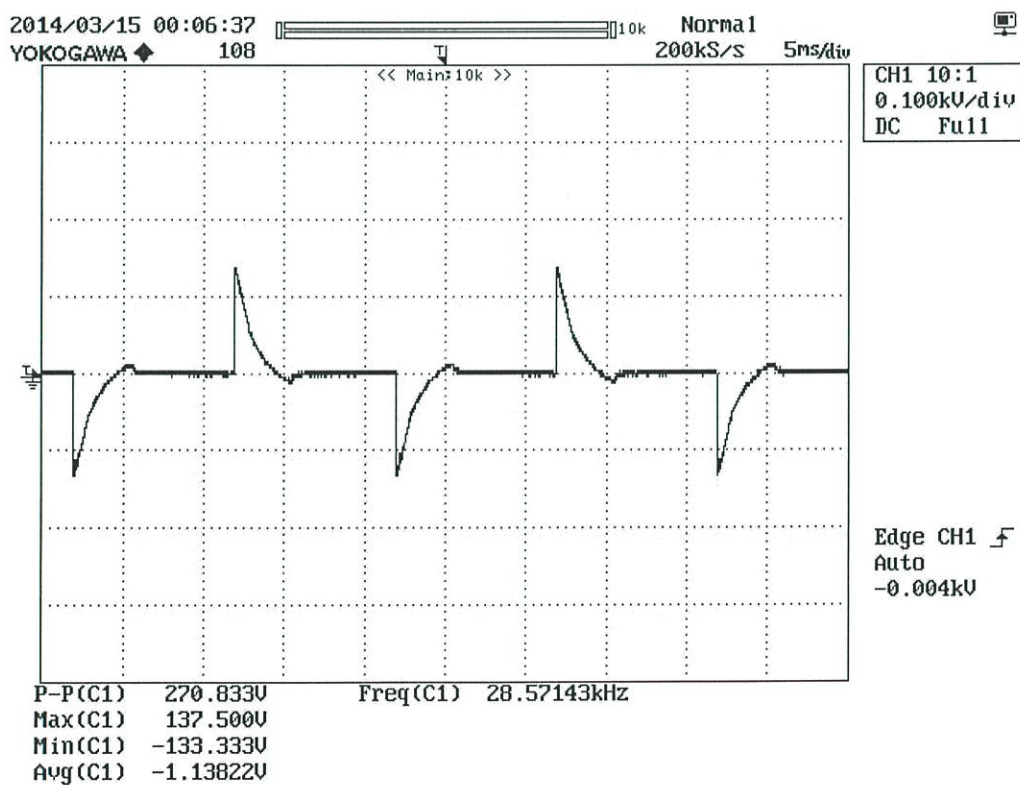
รูปที่ 4.16 รูปคลื่นของแรงดันที่ตัวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 60



รูปที่ 4.17 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ตัวดีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 60



รูปที่ 4.18 รูปคลื่นของแรงดันที่ตัวไดโอดซิลิคอนที่มีค่าเท่ากับ 90



รูปที่ 4.19 รูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ตัวไดโอดซิลิคอนที่มีค่าเท่ากับ 90

จากรูปที่ 4.6 ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับศูนย์ จากรูปแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์จึงไม่มีสัญญาณเข้าไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ทำให้ความสว่างของแสงมีค่ามากที่สุด

จากรูปที่ 4.8 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 100 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์เป็นดังแสดงในรูป 4.9 มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.10 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 100 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์เป็นดังแสดงในรูป 4.11 มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.12 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 100 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์เป็นดังแสดงในรูป 4.13 มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.14 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 100 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์เป็นดังแสดงในรูป 4.15 มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.16 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 100 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์เป็นดังแสดงในรูป 4.17 มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.18 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 100 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไทรแอก ทำให้แรงดันไฟฟ้าเป็นรูปคลื่นไซน์เป็นดังแสดงในรูป 4.19 มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง จนทำให้หลอดดับ

เมื่อทำการลดระดับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงลงในแต่ละครั้ง จะทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีค่าลดลงตามไปด้วย ในขณะที่ค่าของกระแสจะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทุก ๆ ระดับความสว่าง ส่งผลให้เมื่อลดระดับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงลงทำให้กำลังไฟฟ้าจะลดลงตามไปด้วยเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง นั่นก็คือยิ่งหลอดไดโอดเปล่งแสงมีความสว่างลดลงก็จะทำให้การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของหลอดลดลงด้วย จึงทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้นเมื่อมีแสงสว่างจากภายนอกเข้ามาจากนั้นเอง แต่จะเห็นว่ายิ่งระดับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าลดลง ก็จะทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) มีค่าลดลงตามไปด้วย เนื่องมาจากค่าของดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ที่ระดับความสว่างต่ำ ๆ ของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะเกิดฮาร์โมนิกส์มากขึ้นตามไปด้วย ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เมื่อทำการหรือโหลดไฟในระดับต่าง ๆ

ระดับ	ความเข้มแสง (Lux)	ดิวตี้ไซเคิล (%)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแส ไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้าจริง (W)	กำลังไฟฟ้า ปรากฏ (VA)	กำลังไฟฟ้า เสมือน (VAR)	ค่าตัวประกอบ กำลังดีสเพลส เมนต์ (DPF)	ค่าตัวประกอบ กำลังรวม (PF)	พลังงาน ไฟฟ้า (Wh)
1	79.81	0	226.90	0.22	29	49	39.49	0.93	0.58	4.8
2	76.71	20	224.14	0.25	29	55	46.73	0.92	0.52	4.9
3	69.61	30	213.82	0.28	28	60	53.06	0.93	0.46	4.7
4	56.09	40	200.00	0.32	26	63	57.38	0.95	0.41	4.4
5	40.35	50	175.26	0.32	21	56	51.91	0.96	0.38	3.7
6	22.17	60	145.13	0.32	16	46	43.12	0.97	0.35	2.7
7	0	90	36.96	0.20	1	8	7.93	-	0.19	0.2

### 4.3 การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเรื่องของเศรษฐศาสตร์ในการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายใน 1 ปี โดยแบ่งออกเป็นการเปรียบเทียบ 2 กรณี คือ

1. เปรียบเทียบระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้วงจรหรือแสงอัตโนมัติ

กำหนดให้พื้นที่ทำงานใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์ จำนวน 2 หลอด เปรียบเทียบกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรือแสงอัตโนมัติ โดยสมมติให้แสงสว่างจากภายนอกมีค่าคงที่ประมาณ 350 - 400 ลักซ์ ตั้งแต่เวลา 7 โมงเช้า จนถึง 5 โมงเย็น (10 ชั่วโมง) และเปิดใช้งานทุกวัน เฉลี่ยวันละ 16 ชั่วโมง ดังนั้นใน 1 ปี เวลาการใช้งานเฉลี่ยของหลอดคือ 5,840 ชั่วโมง และกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3 บาทต่อหน่วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าเมื่อใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์ จำนวน 2 หลอด และใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 8 วัตต์จำนวน 4 หลอดแบบติดตั้งวงจรหรือไฟอัตโนมัติ

สูตรการคำนวณ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรือไฟอัตโนมัติ
จำนวนหน่วยไฟฟ้า/ปี (หน่วย)	327.04	73.83
อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	3	3
ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	981.12	221.49
เงินที่ประหยัด/ปี (บาท/ปี)	759.63	

#### วิธีการคำนวณ

- กรณีใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อปี} = \frac{28 \times 2 \times 5840}{1000} = 327.04 \text{ หน่วย}$$

$$\text{อัตราค่าไฟฟ้า} = 3 \text{ บาท/หน่วย}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อปี} = 327.04 \times 3 = 981.12 \text{ บาท}$$

- หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรือไฟอัตโนมัติ

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อปี} = \frac{365}{1000} \times \left( \frac{61.6 \times 10}{60} + (8 \times 4 \times 6) \right) = 73.83 \text{ หน่วย}$$

$$\text{อัตราค่าไฟฟ้า} = 3 \text{ บาท/หน่วย}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อปี} = 73.83 \times 3 = 221.49 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้นเงินที่ประหยัดต่อปี} = 981.12 - 221.49 = 759.63 \text{ บาท/ปี}$$

2. เปรียบเทียบระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้วงจรหรือไฟ้อตโนมิตและหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ไม่ใช้วงจรหรือไฟ้อตโนมิต

กำหนดให้พื้นที่ทำงานใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 8 วัตต์ จำนวน 4 หลอดเหมือนกัน แต่ไม่ติดตั้งวงจรหรือไฟ้อตโนมิต โดยสมมติให้แสงสว่างจากภายนอกมีค่าคงที่ประมาณ 350 - 400 ลักซ์ ตั้งแต่เวลา 7 โมงเช้า จนถึง 5 โมงเย็น (10 ชั่วโมง) และเปิดใช้งานทุกวัน เฉลี่ยวันละ 16 ชั่วโมง ดังนั้นใน 1 ปี เวลาการใช้งานเฉลี่ยของหลอดคือ 5,840 ชั่วโมง และกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าเท่ากับ 3 บาท ต่อหน่วยจากข้อกำหนดดังกล่าวสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าเมื่อใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 8 วัตต์ จำนวน 4 หลอดแบบติดตั้งวงจรหรือไฟ้อตโนมิตและแบบไม่ติดตั้งวงจรหรือไฟ้อตโนมิต

สูตรการคำนวณ	หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ไม่ติดตั้งวงจรหรือไฟ้อตโนมิต	หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรือไฟ้อตโนมิต
จำนวนหน่วยไฟฟ้า/ปี(หน่วย)	186.88	73.83
อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	3	3
ค่าไฟฟ้า/ปี (บาท)	560.64	221.49
เงินที่ประหยัด/ปี (บาท/ปี)	339.15	

#### วิธีการคำนวณ

- กรณีใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อปี} = \frac{8 \times 4 \times 5840}{1000} = 186.88 \text{ หน่วย}$$

$$\text{อัตราค่าไฟฟ้า} = 3 \text{ บาท/หน่วย}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อปี} = 186.88 \times 3 = 560.64 \text{ บาท}$$

- หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรือไฟ้อตโนมิต

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าต่อปี} = \frac{365}{1000} \times \left( \frac{61.6 \times 10}{60} + (8 \times 4 \times 6) \right) = 73.83 \text{ หน่วย}$$

$$\text{อัตราค่าไฟฟ้า} = 3 \text{ บาท/หน่วย}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อปี} = 76.88 \times 3 = 221.49 \text{ บาท}$$

$$\text{ดังนั้นเงินที่ประหยัดต่อปี} = 560.64 - 221.49 = 339.15 \text{ บาท/ปี}$$

จากตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.24 การเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์จะสามารถช่วยให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ทั้งหมด  $981.12 - 560.44 = 420.48$  บาทต่อปี แต่ถ้าหากใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรี่ไฟอัตโนมัติ จะช่วยทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้นเป็น  $981.12 - 221.49 = 759.63$  บาทต่อปี ดังนั้นการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรหรี่ไฟอัตโนมัติจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากกว่ากรณีที่ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงธรรมดา และหากนำมาใช้งานกับพื้นที่ทำงานที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้จำนวนหลอดมากยิ่งขึ้น ก็จะทำให้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นทวีคูณ

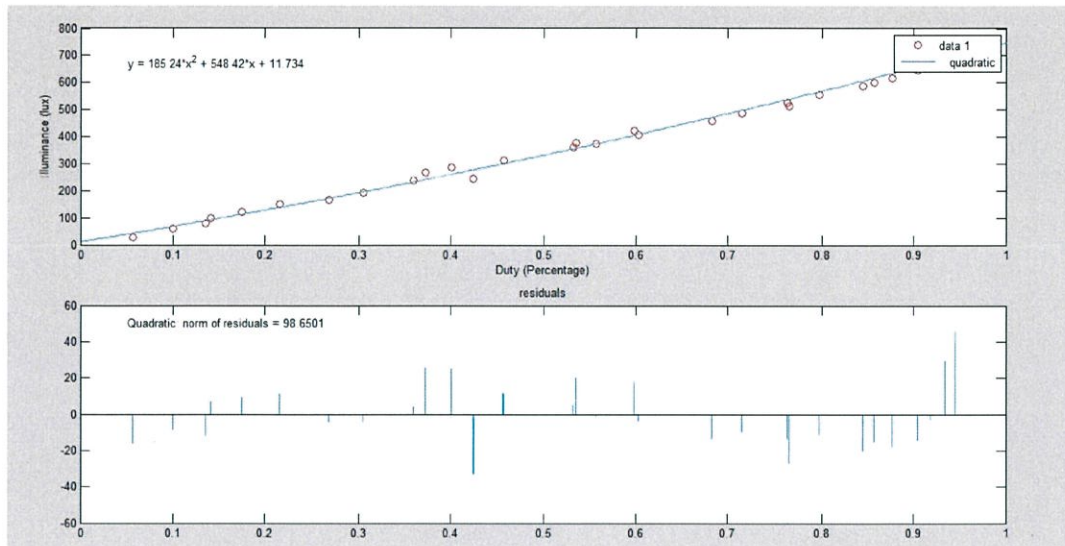
#### 4.4 การศึกษาด้านคุณภาพของแสงเมื่อใช้วงจรหรี่ไฟอัตโนมัติ

เนื่องจากแสงสว่างมีผลต่อดวงตาของมนุษย์อย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อต้องเพ่งมองเป็นเวลานานๆ เช่น เวลาในการทำงาน เมื่อแสงสว่างจากหลอดไฟมีความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของแสงสว่างจึงอาจส่งผลให้เกิดอาการเมื่อยหรือปวดศีรษะแก่ผู้ที่ทำงานอยู่บริเวณนั้นได้ โดยเฉพาะเมื่อต้องทำงานเป็นเวลานานโดยไม่ได้พักสายตาซึ่งจะส่งผลเสียต่อสุขภาพในระยะยาว

เนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการทดลองโดยนั่งทำงานที่บริเวณพื้นที่ทำงานที่ใช้ทดลองจริง และทดลองปรับค่าระดับแสงสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงและวัดค่าที่ได้ ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงความเข้มแสงของแต่ละระดับของหลอดไดโอดเปล่งแสง

ดิวิตซ์ไคเซล (%)	ความเข้มแสง (Lux)
0	79.81
20	76.71
30	69.61
40	56.09
50	40.35
60	22.17
90	0



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิวตี้ไซเคิลและความเข้มแสง

จากตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.20 จะพบว่าค่าของความเข้มแสงจากที่ระดับหนึ่งเมื่อเพิ่มขึ้นหนึ่งระดับหรือลดลงหนึ่งระดับจะมีค่าที่ไม่เกิน 30 ลักซ์ ซึ่งเป็นระดับความสว่างที่สายตาคนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ การเปลี่ยนเพิ่มลดความสว่างหนึ่งระดับเป็นเวลาต่อเนื่องกันนานๆ จึงไม่เกิดผลกระทบต่อสายตาของคนขณะทำงาน

ในขณะเดียวกันกรณีที่มีการเปลี่ยนความเข้มแสงที่มากกว่าหนึ่งระดับเนื่องมาจากความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมาก ทำให้หลอดไดโอดเปล่งแสงต้องเพิ่มหรือลดระดับความเข้มแสงตามไปด้วย ซึ่งกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่มากกว่า 30 ลักซ์ ต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน จะทำให้ผู้ที่อยู่บริเวณนั้นเกิดอาการเมื่อยและปวดศีรษะขึ้นได้ คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้กำหนดให้การเปลี่ยนระดับความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงในกรณีเปลี่ยนแปลงหลายระดับ ให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงทีละระดับ และมีระยะเวลาห่างจากกันในแต่ละระดับ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสายตาของคนที่ต้องทำงานอยู่บริเวณพื้นที่นั้นเป็นเวลานานๆ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองถึงการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มหรือลดลงของแสงสว่างบนพื้นที่ใช้งานจริง เปรียบเทียบกับการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจากการทดลองพบว่า การใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมระดับแสงสว่างนั้น สามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นอย่างมาก เนื่องจากการควบคุมปริมาณของแสงสว่างจากหลอดให้มีความเหมาะสมกับแสงจากธรรมชาติ ทำให้สามารถลดการบริโภคพลังงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ในบางช่วงเวลา เช่น ช่วงที่มีแสงจากภายนอกเข้ามามากคือในช่วงเวลาเช้าจนถึงเวลาเย็น ซึ่งเป็นช่วงที่หลอดไดโอดเปล่งแสงจะใช้พลังงานที่น้อยลงจากเดิม

ในส่วนของ การทดลองนั้น สามารถจำแนกออกได้เป็นหมวดหมู่ต่างๆ คือ การทดลองด้านพลังงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการศึกษาด้านคุณภาพของแสงเมื่อใช้วงจรรีไฟต์โนมิตี

การทดลองด้านพลังงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดแสงสว่างกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ไม่ติดตั้งวงจรนั้น จะพบว่ากรณีที่มีวงจรควบคุมระดับความสว่างจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงจากภายนอกด้วย ยังมีแสงจากภายนอกเข้ามามากก็จะต้องทำให้หลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น โดยจากการทดลองจะแบ่งออกเป็นกรณีต่างๆ คือ กรณีความเข้มแสงจากภายนอก 300–350 ลักซ์ กรณีความเข้มแสงจากภายนอก 350–400 ลักซ์ และกรณีความเข้มแสงจากภายนอก 400–450 ลักซ์ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าแต่ละกรณีจะสามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 5.68%

การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชุดหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น จากการทดลองและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า เมื่อลดระดับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงจะทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าลดลงไปด้วย ในขณะที่ค่าของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นผลทำให้ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าลดลง จึงทำให้ที่ระดับแสงสว่างต่างๆ หลอดก็จะยังใช้พลังงานที่ลดลง แต่ในขณะเดียวกันเมื่อระดับแสงสว่างของหลอดลดลงมากๆ ก็จะทำให้ค่าของตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำลงไปด้วย จึงทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์มากขึ้นตามไปด้วย

การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น เป็นการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายใน 1 ปี ของการใช้หลอดไฟในแต่ละกรณี โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้หลอด

ฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมกับการเปรียบเทียบระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมและหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุม จากการศึกษาจากผลการทดลองพบว่า การใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดของแสงสว่างจะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าในแต่ละปีเมื่อเทียบกับการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุม เท่ากับ 759.63 บาทต่อปี และ 339.15 บาทต่อปี ตามลำดับ

การศึกษาด้านคุณภาพของแสงเมื่อใช้วงจรหรี่ไฟอัตโนมัติ นั้น เป็นการทดลองเพื่อดูผลกระทบของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดแสงสว่าง ว่ามีผลกระทบต่อผู้ใช้งานที่ต้องทำงานบนพื้นที่ทำงานนั้นๆ หรือไม่ เนื่องจากแสงสว่างมีผลต่อดวงตาของมนุษย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไปจึงอาจส่งผลให้เกิดอาการเมื่อยหรือปวดศีรษะแก่ผู้ที่ทำงานอยู่บริเวณพื้นที่นั้นๆ เป็นเวลานาน แต่จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มแสงจากหลอดไดโอดเปล่งแสงมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระดับจะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นระดับความเข้มแสงที่สายตาคนสังเกตได้ยาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับแสงสว่างของหลอดจึงไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของคนที่จะต้องทำงานบริเวณพื้นที่นั้นๆ เป็นเวลานาน

จากการศึกษาและทดลองโดยรวมนั้นจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดของแสงสว่างจะช่วยให้การประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ แต่ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างถึงการพิจารณาในการเลือกใช้ เช่น ปัญหาที่เกิดขึ้นจากฮาร์โมนิกส์ที่ตามมา หรือปริมาณของหลอดในการใช้งานที่พื้นที่ทำงานและระยะเวลาในการใช้งาน ซึ่งหากใช้จำนวนของหลอดไดโอดเปล่งแสงจำนวนน้อยๆ ก็จะทำให้การประหยัดพลังงานไฟฟ้าอาจไม่เห็นผลมากนักและระยะเวลาคืนทุนจะมีเวลาที่ค่อนข้างมาก แต่ถ้าใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงจำนวนมาก ก็จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก และระยะเวลาในการคืนทุนก็จะมีค่าน้อยลง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากชุดวงจรควบคุมของหลอดไดโอดเปล่งแสงดังกล่าวยังมีข้อบกพร่องที่ยังสามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาต่อไปในอนาคต มีรายละเอียดดังนี้

1. บรรจุภัณฑ์ยังมีขนาดใหญ่ จึงไม่เหมาะที่จะที่จะนำมาใช้งานในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก แต่สามารถปรับปรุงได้โดยการลดขนาดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในและลดขนาดแหล่งจ่ายไฟ
2. พื้นที่ที่ติดตั้งตัวตรวจจับความเข้มแสงควรเป็นพื้นที่ที่มีการรับแสงสว่างจากภายนอกได้ดี จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของวงจรควบคุมแสงสว่างได้มากยิ่งขึ้น
3. การเลือกย่านการทำงานของวงจรตรวจจับแสง หากเลือกย่านที่มีความแคบเกินไป จะทำให้หลอดไฟที่ใช้ในการควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานจะเกิดการติดๆ ดับๆ ซึ่งอาจทำให้หลอดเสียได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] N.N. Kang, S.H. Cho, and J.T. Kim, “The energy-saving effects of apartment residents’ awareness and behavior,” **Energy and Buildings**, Vol.46, 2012, pp. 112-122.
- [2] R. Panna, R. Thesrumluk, and C. Chantrapornchai, “Development of energy saving smart home prototype,” **International Journal of Smart Home**, Vol.7, No.1, 2013, pp. 47-65.
- [3] F. Baig, S. Beg, and M.F. Khan, “Zigbee based home appliances controlling through spoken commands using handheld devices,” **International Journal of Smart Home**, Vol.7, No.1, 2013, pp. 19-26.
- [4] M. Schratz, C. Gupta, T.J. Struhs, and K. Gray, “Reducing energy and maintenance costs while improving light quality and reliability with LED lighting technology,” **Pulp and Paper Industry Technical Conference (PPIC), Conference Record of 2013 Annual IEEE**, Vol., No., 2013, pp. 43-49.
- [5] C. Carrillo, E. Diaz-Dorado, J. Cidras, A. Bouza-Pregal, P. Falcon, A. Fernandez, and A. Alvarez-Sanchez, “Lighting control system based on digital camera for energy saving in shop windows,” **Energy and Buildings**, Vol.59, 2013, pp. 143-151.
- [6] W.R. Ryckaerta, K.A.G. Smeta, I.A.A. Roelandtsa, M. Van Gils, P. Hanselaer, “Linear LED tubes versus fluorescent lamps,” **Energy and Buildings**, Vol.49,2012 pp.429–436.
- [7] J. Byun, I. Hong, B. Lee, and S. Park, “Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction,” **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, Vol.59, No.1, 2013, pp. 70-76.
- [8] B. Yang, H. Eun, H. Min, J. Kang, J. Song, and J. Cha, “Indoor LED light switch with step-by-step illumination reduction,” **International Journal of Smart Home**, Vol.7, No.4, 2013, pp. 225-232.
- [9] W. Chen, X. Zhu, G. Wang, and G. Wang, “A new double frequency dimmer for lighting device,” **Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2013 IEEE**, Vol.20, No.4, 2013, pp. 4655-4658.

- [10] S. Onaygil, and O. Guler, "Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul," **Building and Environment**, Vol.38, 2003, pp. 973-977.
- [11] A.D. Galasiu, M.R. Atif, and R.A. MacDonald, "Impact of window blinds on daylight-linked dimming and automatic on/off lighting controls," **Solar Energy**, Vol.76, pp. 523-544.
- [12] L. Ciabattoni, A. Freddi, and G. Ippoliti, "A smart lighting system for industrial and domestic use," **Mechatronics (ICM), 2013 IEEE International Conference on**, Vol., No., 2013, pp. 126-131.
- [13] B. Roisin, M. Bodart, A. Deneyer, and P. D'Herdt, "Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption," **Energy and Buildings**, Vol.40, No., 2008, pp. 514-523.
- [14] R.S. Hsiao, D.B. Lin, D.H. Chung, and S.C. Cheng, "Integrating ZigBee lighting control into existing building automation systems," **Information Science and Control Engineering 2012 (ICISCE 2012), IET International Conference on**, Vol., No., 2012, pp. 1-5.
- [15] A.A.N. Kumar, G. Kiran, and TSB. Sudarshan, "Intelligent lighting system using wireless sensor networks," **International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC)**, Vol.1, No.4, 2010, pp. 17-27.
- [16] K. Thattai, K.B. Manikanta, S. Chhawchharia, and R. Marimuthu, "ZigBee and ATmega32 based wireless digital control and monitoring system for LED lighting," **Information Communication and Embedded System (ICICES), 2013 International Conference on**, Vol., No., 2013, pp. 878-881.
- [17] D.A. Visan, I. Lita, M. Jurian, and I.B. Cioc, "Wireless measurement system based on ZigBee transmission technology," **Electronics Technology (ISSE), 2010 33rd International Spring Seminar on**, Vol.1, No., 2010, pp. 464-467
- [18] L.T. Lee, K.F. Tsang, and W.K. Ma, "DIY ZigBee light switch systems," **Microwave Conference, 2008. AMPC 2008. Asia-Pacific**, Vol., No., 2008, pp. 1-4.
- [19] M. Sun, Q. Liu, and M. Jiang, "An implementation of remote lighting control system based on ZigBee technology and soc solution," **Audio, Language and Image Processing, 2008. ICALIP 2008. International Conference on**, Vol., No., 2008, pp. 629-632.

- [20] D.M. Han, and J.H. Lim, "Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and ZigBee," **Consumer Electronics, IEEE Transactions on**, Vol.56, No.3, 2010, pp. 1403-1410.
- [21] Y. Jun, and W. Wei, "LED lighting control system based on the ZigBee wireless network," **Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), 2010 International Conference on**, Vol.1, No., 2010, pp. 892-895.
- [22] Z. Jijie, and X. Xinjian, "Data analysis and research on ZigBee wireless sensor network system based on complex event processing technology," **Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International on**, Vol.5, No., 2010, pp. 311-314.
- [23] J.Wang, "ZigBee light link and its applications," **Wireless Communications, IEEE**, Vol.20, No.4, 2013, pp. 6-7.
- [24] F. Ijaz, A.A. Siddiqui, B.K. Im, and C. Lee, "Remote management and control system for LED based plant factory using ZigBee and internet," **Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference on**, Vol., No., 2012 pp. 942-946.
- [25] F. Leccese, "Remote-control system of high efficiency and intelligent street lighting using a ZigBee network of devices and sensors," **Power Delivery, IEEE Transactions on**, Vol.28, No.1, 2013, pp. 21-28.
- [26] M.C. Huang, J.C. Huang, J.C. You, and G.J. Jong, "The wireless sensor network for home-care system using ZigBee," **Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2007. IHHMSP 2007. Third International Conference on**, Vol.1, No., 2007, pp. 643-646.
- [27] C. Akshay, N. Karnwal, K.A. Abhfeeth, R. Khandelwal, T. Govindraj, D. Ezhilarasi, and Y. Sujan, "Wireless sensing and control for precision green house management," **Sensing Technology (ICST), 2012 Sixth International Conference on**, Vol., No., 2012, pp. 52-56.
- [28] C.A. Cheng, H.L. Ceng, K.J. Lin, K.L. Chu, and C.H. Yen, "A digitally wireless dimmable lighting system for two-area fluorescent lamps," **TENCON2010-2010 IEEE Region 10 Conference**, Vol., No., 2010, pp. 2173-2178.
- [29] A.W. Louw, and C. Neethling, "Digital LED lighting solutions" **Domestic Use of Energy Conference (DUE), 2013 Proceedings of the 21<sup>st</sup>**, Vol., No., 2013, pp. 1-4.

- [30] R. Zhang, and S.H. Chung, "A TRIAC-Dimmable LED lamp driver with wide dimming range," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.29, No.3, 2014, pp. 1434-1446.
- [31] สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง;. [หน้า1] [18 ม.ค. 2557]. เข้าถึงได้ที่ <http://www.tieathai.org/know/general/general0.htm>
- [32] Power Quality Team. Power Factor (PF.), Displacement PF., Distortion PF., Total PF. คืออะไร/ต่างกันอย่างไร?;. [หน้า1] [2 ก.พ. 2557]. เข้าถึงได้ที่ <http://www.pq-team.com/engineering-zone/power-factor-pf-displacement-pf-distortion-pf-total-pf>
- [33] ThaiEasyElec. Arduino;. [หน้า1] [31 ส.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ <http://www.thaieasyelec.com/arduino-brand.html>
- [33] สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ กรมที่ดิน. ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN Technology);. [หน้า24] [22 ส.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ [http://www.dol.go.th/it/index.php?option=com\\_content&task=view&id=115](http://www.dol.go.th/it/index.php?option=com_content&task=view&id=115)
- [35] ThaiEasyElec. Zigbee And Xbee Basic ตอน Zigbee คืออะไร [หน้า 1] [17 ต.ค. 2557]. เข้าถึงได้ที่ <http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html>
- [36] ThaiEasyElec. Xbee Basic Configuration in Network Application;. [หน้า1] [24 ส.ค. 2556]. เข้าถึงได้ที่ <http://www.thaieasyelec.com/Embedded-Electronics-Application/Xbee-Basic-Configuration-in-Network-Application.html>
- [37] Rocketscream. TEMT6000 Breakout Board;. [หน้า1] [18 ก.พ. 2557]. เข้าถึงได้ที่ <http://www.rocketcream.com/blog/product/temt6000-breakout-board/>
- [38] บริษัท อินเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด. XBee-PRO;. [หน้า7-8] [26 ส.ค. 2556] เข้าถึงได้ที่ <http://www.inex.co.th/store/manual/XBEE-board.pdf>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.  
โปรแกรมควบคุมความเข้มแสง

## โปรแกรมควบคุมความเข้มแสงโดยอาศัยการรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์

### โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1

```
#include <SoftwareSerial.h>
int i,n0,n1,n2,n3,n4,startclear;
int rxPin=10;
int txPin=11;
float analogReading,lux,luxcondition,luxabs,luxdim,luxsign,lux1,lux2,lux3,lux4,lux5,lux6,duty=0;
byte analogMSB,analogLSB,checksum,readData,discardByte,test;
SoftwareSerial mySerial2 = SoftwareSerial(rxPin,txPin); // RX, TX
void setup()
{
  pinMode(rxPin,INPUT);
  pinMode(txPin,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  mySerial2.begin(9600);
}
void loop()
{
  delay(2000);
  n0=1;
  n1=1;
  n2=1;
  n3=1;
  n4=1;
  while(n0==1)
  {
    setRemotelR1(0x00);
    setRemotelR2(0x00);
    setRemotelR3(0x00);
    setRemotelR4(0x00);
    delay(1000);
```

```

    startclear=Serial.available();
    Serial.print(startclear);
    for(i=1;i<(startclear);i++)
    {
        discardByte = Serial.read();
    }
    checksum=Serial.read();
    delay(1000);
    n0=5;
}
setRemotelR1(0x00);
delay(500);
while(n1==1)
{
    if(Serial.available()>=19){
        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
            {
                discardByte = Serial.read();
            }
            if(Serial.read()==0x00){
                checksum=Serial.read();
                n1=5;
            }
            else{ software_Reset();}
        } } }
    setRemotelR1(0x33);
    while(n2==1)
    {
        if(Serial.available()>=19){
            if(Serial.read()==0x7E){
                for(i=1;i<17;i++)

```

```

{
    discardByte = Serial.read();
}

if(Serial.read()==0x00){
    checksum=Serial.read();
    delay(500);
    n2=5;
}

else{ software_Reset();}
}}}

while(n3==1)
{
    if(Serial.available()>=22){
        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<19;i++)
            {
                discardByte = Serial.read();
            }

            analogMSB = Serial.read();
            analogLSB = Serial.read();
            checksum = Serial.read();
            analogReading = analogLSB+(analogMSB*256);
            lux1 = (analogReading / 1024) *1.22;
            Serial.print(lux1,DEC);
            n3=5;
        }

        else{software_Reset();}
    }}

    setRemoteIR1(0x00);
    while(n4==1)
    {
        if(Serial.available()>=19){

```

```

        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
        {
            discardByte = Serial.read();
        }

        if(Serial.read()==0x00){
            checksum=Serial.read();
            n4=5;
        }

        else{ software_Reset();}
    }}}

    setRemoteIR2(0x00);
    delay(500);
    while(n1==5)
    {
        if(Serial.available()>=19){
            if(Serial.read()==0x7E){
                for(i=1;i<17;i++)
            {
                discardByte = Serial.read();
            }

            if(Serial.read()==0x00){
                checksum=Serial.read();
                n1=1;
            }

            else{software_Reset();}
        }}}

        setRemoteIR2(0x33);
        while(n2==5)
    {
        if(Serial.available()>=19){
            if(Serial.read()==0x7E){

```

```

        for(i=1;i<17;i++)
    {
        discardByte = Serial.read();
    }
    if(Serial.read()=0x00){
        checksum=Serial.read();
        delay(500);
        n2=1;
    }
    else{software_Reset();}
}}}
while(n3==5)
{
    if(Serial.available()>=22){
        if(Serial.read()=0x7E){
            for(i=1;j<19;i++)
        {
            discardByte = Serial.read();
        }
        analogMSB = Serial.read();
        analogLSB = Serial.read();
        checksum = Serial.read();
        analogReading = analogLSB+(analogMSB*256);
        lux2 = (analogReading / 1024) *1.22;
        Serial.print(lux2,DEC);
        n3=1;
    }
    else{software_Reset();}
}}}
setRemoteIR2(0x00);
while(n4==5)
{

```

```

if(Serial.available()>=19){
  if(Serial.read() == 0x7E){
    for(i=1;i<17;i++)
  {
    discardByte = Serial.read();
  }

  if(Serial.read() == 0x00){
    checksum=Serial.read();
    n4=1;
  }

  else{software_Reset();}
}}}

setRemoteIR3(0x00);
delay(500);
while(n1==1)
{
  if(Serial.available()>=19){
    if(Serial.read() == 0x7E){
      for(i=1;i<17;i++)
    {
      discardByte = Serial.read();
    }

    if(Serial.read() == 0x00){
      checksum=Serial.read();
      n1=5;
    }

    else{software_Reset();}
  }}}

setRemoteIR3(0x33);
while(n2==1)
{
  if(Serial.available()>=19){

```

```

        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
        {
            discardByte = Serial.read();
        }

        if(Serial.read()==0x00){
            checksum=Serial.read();
            delay(500);
            n2=5;
        }

        else{software_Reset();}
    }}}

    while(n3==1)
    {
        if(Serial.available()>=22){
            if(Serial.read()==0x7E){
                for(i=1;i<19;i++)
            {
                discardByte = Serial.read();
            }

            analogMSB = Serial.read();
            analogLSB = Serial.read();
            checksum = Serial.read();
            analogReading = analogLSB+(analogMSB*256);
            lux3 = (analogReading / 1024) *1.22;
            Serial.print(lux3,DEC);
            n3=5;
        }

        else{software_Reset();}
    }}

    setRemoteIR3(0x00);
    while(n4==1)

```

```

{
    if(Serial.available()>=19){
        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
        {
            discardByte = Serial.read();
        }
        if(Serial.read()==0x00){
            checksum=Serial.read();
            n4=5;
        }
        else{software_Reset();}
    }
}

setRemotelR4(0x00);
delay(500);
while(n1==5)
{
    if(Serial.available()>=19){
        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
        {
            discardByte = Serial.read();
        }
        if(Serial.read()==0x00){
            checksum=Serial.read();
            n1=1;
        }
        else{software_Reset();}
    }
}

setRemotelR4(0x33);
while(n2==5)
{

```

```

    if(Serial.available()>=19){
        if(Serial.read()==0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
        {
            discardByte = Serial.read();
        }
        if(Serial.read()==0x00){
            checksum=Serial.read();
            delay(500);
            n2=1;
        }
        else{software_Reset();}
    }}
    while(n3==5)
    {
        if(Serial.available()>=22){
            if(Serial.read()==0x7E){
                for(i=1;i<19;i++)
            {
                discardByte = Serial.read();
            }

            analogMSB = Serial.read();
            analogLSB = Serial.read();
            checksum = Serial.read();
            analogReading = analogLSB+(analogMSB*256);
            lux4 = (analogReading / 1024) *1.22;
            Serial.print(lux4,DEC);
            n3=1;
        }
        else{software_Reset();}
    }}
    setRemotelR4(0x00);
    while(n4==5)

```

```

{
    if(Serial.available()>=19){
        if(Serial.read()&=0x7E){
            for(i=1;i<17;i++)
            {
                discardByte = Serial.read();
            }
            if(Serial.read()&=0x00){
                checksum=Serial.read();
                n4=1;
            }
            else{software_Reset();}
        }
    }
}
//Program Dimmer
lux((((lux1+lux2+lux3+lux4)/4)*(744.3))-25.05);
Serial.print(lux);
if(lux<450)
{
    if(duty<0)
        {duty=0;}
    else if(duty>100)
        {duty=100;}
}
else
{
    duty=duty-8;
    if(duty<0)
        {duty=0;}
    else{}
}
}
else if(lux>500)
{
    if(duty<0)

```

```

    {duty=0;}
else if(duty>100)
    {duty=100;}
else
{
    duty=duty+8;
    if(duty>0)
        {duty=100;}
    else{}
}}

else
    {duty=duty;}
    duty=duty;
    Serial.print(duty);
if(duty<=0)           //สว่างเต็มที่
{
    mySerial2.write('1');
    duty=duty;
}

else if((duty>0)&&(duty<=29)) //สว่างเต็มที่
{
    mySerial2.write('1');
    duty=duty;
}

else if((duty>29)&&(duty<=39)) //สว่างชั้น2
{
    mySerial2.write('2');
    duty=duty;
}

else if((duty>39)&&(duty<=49)) //สว่างชั้น3
{
    mySerial2.write('3');

```

```
    duty=duty;
}
else if((duty>49)&&(duty<=59)) //สว่างชั้น4
{
    mySerial2.write('4');
    duty=duty;
}
else if((duty>59)&&(duty<=69)) //สว่างชั้น5
{
    mySerial2.write('5');
    duty=duty;
}
else if((duty>69)&&(duty<=79)) //สว่างชั้น6
{
    mySerial2.write('6');
    duty=duty;
}
else if((duty>79)&&(duty<=85)) //สว่างชั้น6
{
    mySerial2.write('7');
    duty=duty;
}
else if((duty>85)&&(duty<=95)) //สว่างชั้น6
{
    mySerial2.write('7');
    duty=duty;
}
else //ดับสนิท
{
    mySerial2.write('7');
    duty=100;
}}
```

```
void software_Reset()
// Restarts program from beginning but
// does not reset the peripherals and registers
{
    asm volatile (" jmp 0");
}
void setRemoteIR1(char ir){
Serial.write(0x7E);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x11);
delay(10);
Serial.write(0x17);
delay(10);
Serial.write(0x01);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x13);
delay(10);
Serial.write(0xA2);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x40);
delay(10);
Serial.write(0xA4);
delay(10);
Serial.write(0xD6);
delay(10);
Serial.write(0x17);
```

```
delay(10);
Serial.write(0xFF);
delay(10);
Serial.write(0xFE);
delay(10);
Serial.write(0x02);
delay(10);
Serial.write(0x49);
delay(10);
Serial.write(0x52);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
long sum = 0x17 + 0x01 + 0x00 + 0x13 + 0xA2 + 0x00 + 0x40 + 0xA4 + 0xD6 + 0x17 + 0xFF + 0xFE +
0x02 + 0x49 + 0x52 + ir + ir;
delay(10);
Serial.write(0xFF-(sum & 0xFF));
delay(10);
}
void setRemoteIR2(char ir){
Serial.write(0x7E);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x11);
delay(10);
Serial.write(0x17);
delay(10);
Serial.write(0x01);
delay(10);
```

```
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x13);
delay(10);
Serial.write(0xA2);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x40);
delay(10);
Serial.write(0xA4);
delay(10);
Serial.write(0xD6);
delay(10);
Serial.write(0x3F);
delay(10);
Serial.write(0xFF);
delay(10);
Serial.write(0xFE);
delay(10);
Serial.write(0x02);
delay(10);
Serial.write(0x49);
delay(10);
Serial.write(0x52);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
long sum = 0x17 + 0x01 + 0x00 + 0x13 + 0xA2 + 0x00 + 0x40 + 0xA4 + 0xD6 + 0x3F + 0xFF + 0xFE +
0x02 + 0x49 + 0x52 + ir + ir;
```

```
delay(10);
Serial.write(0xFF-(sum & 0xFF));
delay(10);
}
void setRemoteIR3(char ir){
Serial.write(0x7E);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x11);
delay(10);
Serial.write(0x17);
delay(10);
Serial.write(0x01);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x13);
delay(10);
Serial.write(0xA2);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x40);
delay(10);
Serial.write(0xA4);
delay(10);
Serial.write(0xD5);
delay(10);
Serial.write(0xF9);
delay(10);
Serial.write(0xFF);
```

```
delay(10);
Serial.write(0xFE);
delay(10);
Serial.write(0x02);
delay(10);
Serial.write(0x49);
delay(10);
Serial.write(0x52);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
long sum = 0x17 + 0x01 + 0x00 + 0x13 + 0xA2 + 0x00 + 0x40 + 0xA4 + 0xD5 + 0xF9 + 0xFF + 0xFE +
0x02 + 0x49 + 0x52 + ir + ir;
delay(10);
Serial.write(0xFF-(sum & 0xFF));
delay(10);
}
void setRemoteIR4(char ir){
Serial.write(0x7E);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x11);
delay(10);
Serial.write(0x17);
delay(10);
Serial.write(0x01);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
```

```
Serial.write(0x13);
delay(10);
Serial.write(0xA2);
delay(10);
Serial.write(0x00);
delay(10);
Serial.write(0x40);
delay(10);
Serial.write(0xA4);
delay(10);
Serial.write(0xD5);
delay(10);
Serial.write(0xEC);
delay(10);
Serial.write(0xFF);
delay(10);
Serial.write(0xFE);
delay(10);
Serial.write(0x02);
delay(10);
Serial.write(0x49);
delay(10);
Serial.write(0x52);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
Serial.write(ir);
delay(10);
long sum = 0x17 + 0x01 + 0x00 + 0x13 + 0xA2 + 0x00 + 0x40 + 0xA4 + 0xD5 + 0xEC + 0xFF + 0xFE +
0x02 + 0x49 + 0x52 + ir + ir;
delay(10);
Serial.write(0xFF-(sum & 0xFF));
```

```
delay(10);
}
โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2
int data=0;
float dim = 0;
char readdata;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(2,INPUT);
  attachInterrupt(0,test,RISING);
}
void loop()
{
  if(data == 1) {
    data = 0;
    digitalWrite(9,HIGH);
    delay(dim);
    digitalWrite(9,LOW);
  }
  void test()
  {data = 1;}
void serialEvent(){
  if(Serial.available(>0){
    Serial.print(Serial.available());
    readdata=Serial.read();
    if(readdata=='1')
  {
    Serial.print("step1");
    dim = 0.0;
  }
}
```

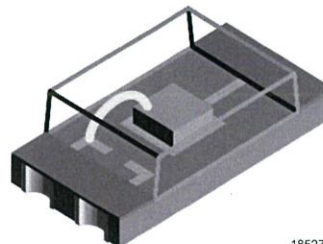
```
    if(readdata=='2')
  {
    Serial.print("step2");
    dim = 2.9;
  }
    if(readdata=='3')
  {
    Serial.print("step3");
    dim = 3.9;
  }
    if(readdata=='4')
  {
    Serial.print("step4");
    dim = 4.9;
  }
    if(readdata=='5')
  {
    Serial.print("step5");
    dim = 5.9;
  }
    if(readdata=='6')
  {
    Serial.print("step6");
    dim = 6.9;
  }
    if(readdata=='7')
  {
    Serial.print("step7");
    dim = 9.9;
  }
  else{}
}}
```

ภาคผนวก ข.  
อุปกรณ์ที่ใช้

## Ambient Light Sensor

### Description

TEMT6000 is a silicon NPN epitaxial planar phototransistor in a miniature transparent mold for surface mounting onto a printed circuit board. The device is sensitive to the visible spectrum.



18527

### Features

- Adapted to human eye responsivity
- Wide angle of half sensitivity  $\varphi = \pm 60^\circ$
- SMD style package on PCB technology
- Suitable for IR reflow soldering
- Lead free component
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

### Applications

Ambient light sensor for display backlight dimming in:

Mobile phones

Notebook computers

PDA's

Cameras

Dashboards

### Absolute Maximum Ratings

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

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Collector Emitter Voltage		$V_{CEO}$	6	V
Emitter Collector Voltage		$V_{ECO}$	1.5	V
Collector current		$I_C$	20	mA
Total Power Dissipation	$T_{amb} \delta 55^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	100	mW
Junction Temperature		$T_J$	100	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range		$T_{amb}$	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range		$T_{stg}$	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	$t \delta 3 \text{ s}$	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance Junction/ Ambient		$R_{thJA}$	450	K/W

## Basic Characteristics

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

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Collector Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 0.1\text{ mA}$	$V_{CEO}$	6			V
Collector dark current	$V_{CE} = 5\text{ V}, E = 0$	$I_{CEO}$		3	50	nA
Collector-emitter capacitance	$V_{CE} = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, E = 0$	$C_{CEO}$		16		pF
Collector Light Current	$E_v = 20\text{ lx}$ , standard light A	$I_{ca}$	3.5	10	16	$\mu\text{A}$
	$E_v = 100\text{ lx}$ , standard light A	$I_{ca}$		50		$\mu\text{A}$
Angle of Half Sensitivity		$\Pi$		$\pm 60$		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		$L_p$		570		nm
Range of Spectral Bandwidth		$L_{0.1}$		360 to 970		nm
Collector Emitter Saturation Voltage	$E_v = 20\text{ lx}, 0.45\text{ }\mu\text{A}$	$V_{CEsat}$		0.1		V

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

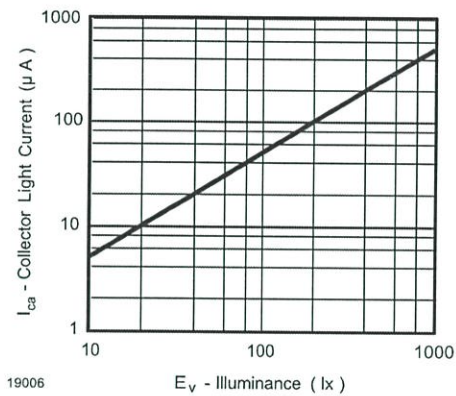


Figure 1. Collector Light Current vs. Illuminance

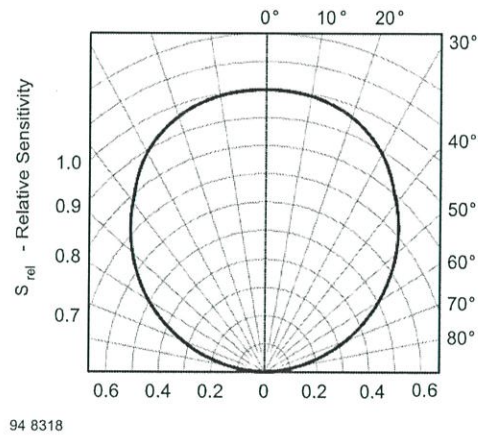


Figure 3. Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

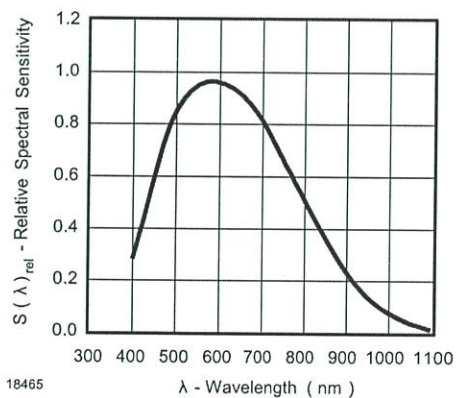


Figure 2. Relative Spectral Responsivity vs. Wavelength

## Reflow Solder Profiles

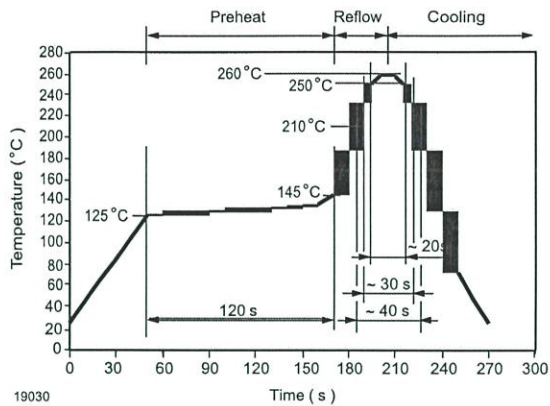


Figure 4. Lead-Free (Sn) Reflow Solder Profile

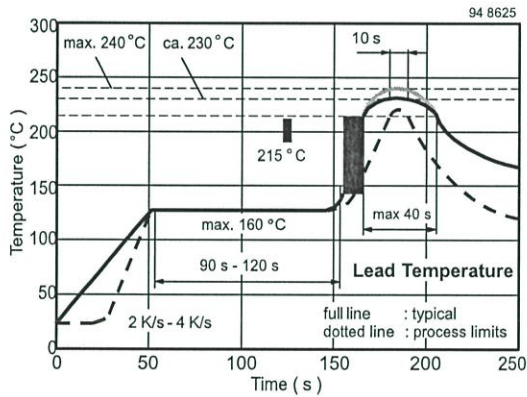


Figure 5. Lead Tin (SnPb) Reflow Solder Profile

## Drying

In case of moisture absorption devices should be baked before soldering. Conditions see J-STD-020 or Label. Devices taped on reel dry using recommended conditions 192 h @ 40 °C (+ 5 °C), RH < 5 %

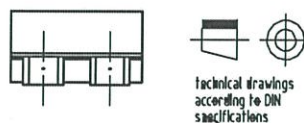
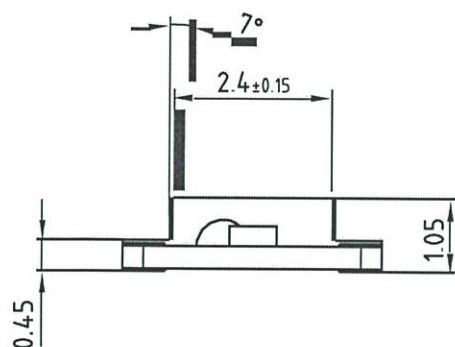
## Drypack

Devices are packed in moisture barrier bags (MBB) to prevent the products from moisture absorption during transportation and storage. Each bag contains a desiccant.

## Floor Life

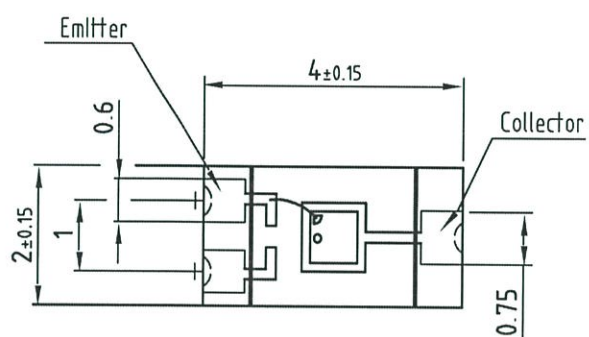
Floor life (time between soldering and removing from MBB) must not exceed the time indicated in J-STD-020. TEMT6000 is released for: Moisture Sensitivity Level 4, according to JEDEC, J-STD-020  
 Floor Life: 72 h  
 Conditions:  $T_{amb} < 30\text{ °C}$ , RH < 60 %

## Package Dimensions in mm

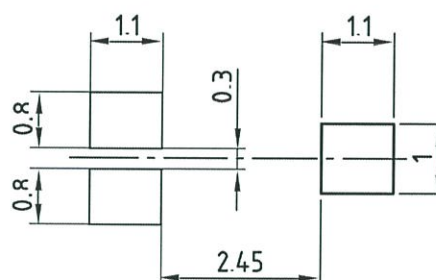


Technical drawings  
according to DIN  
specifications

All dimensions in mm  
Not indicated tolerances  $\pm 0.1$



Recommended solder pad  
Footprint



18464

Drawing-No.: 6.541-5053.01-4  
Issue: 2; 21.06.04

## Ozone Depleting Substances Policy Statement

It is the policy of **Vishay Semiconductor GmbH** to

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

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

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

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

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

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

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

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

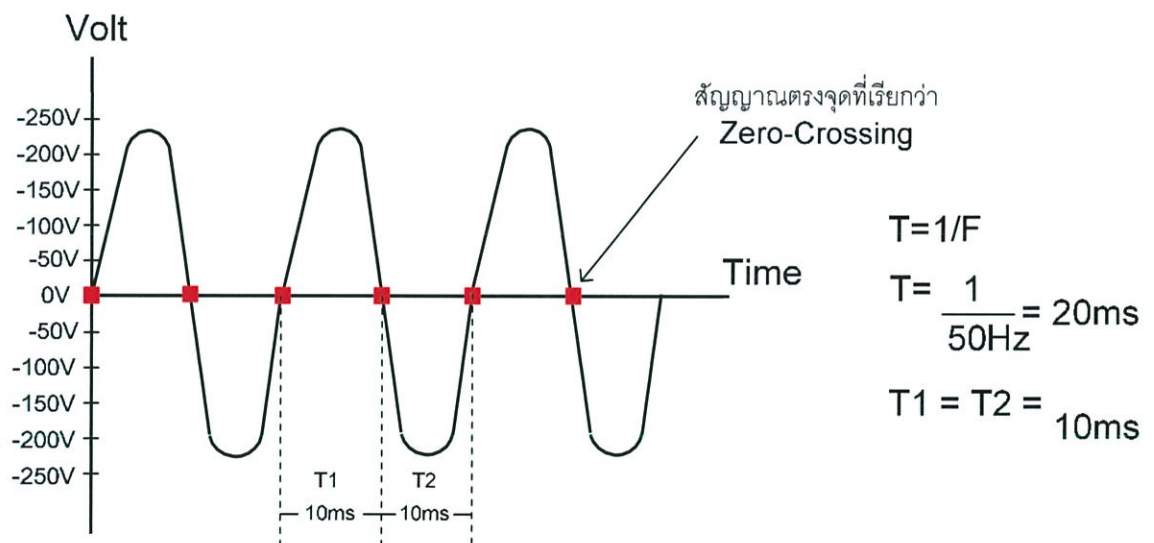
Vishay Semiconductor GmbH, P.O.B. 3535, D-74025 Heilbronn, Germany  
Telephone: 49 (0)7131 67 2831, Fax number: 49 (0)7131 67 2423

## การใช้งาน ET- OPTO AC DIMMER

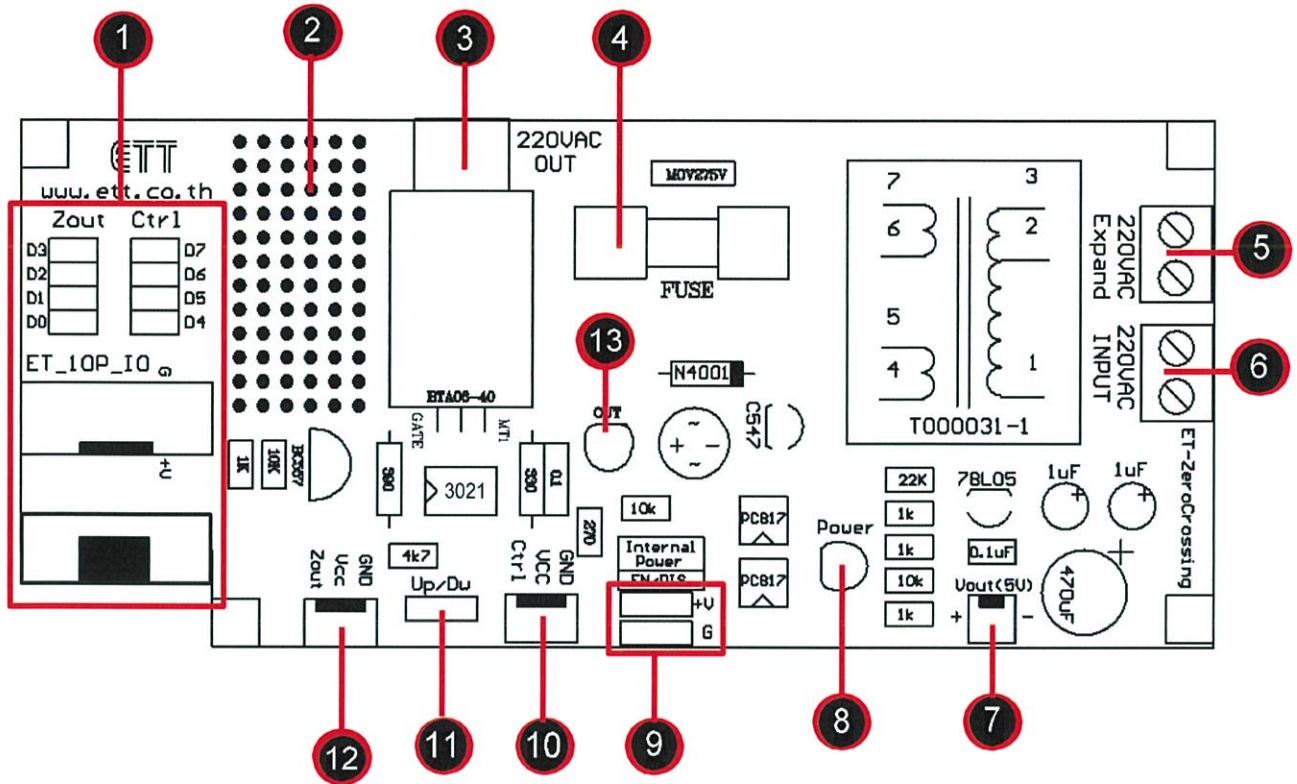
ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ล้วนแล้วแต่ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจาก ไฟฟ้ากระแสสลับแทบทั้งสิ้น เช่น หลอดไฟ พัดลม กระทะไฟฟ้า และอื่นๆ เป็นต้น โดยความต้องการของการควบคุมไฟฟ้านั้น นอกจากการเปิด-ปิดแล้วยังมี เครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทที่มีความต้องการที่จะทำงานในระดับแรงดันต่างๆ เช่น หลอดไฟแบบไส้ พัดลม มอเตอร์ ไฟฟ้า เครื่องทำความร้อน เป็นต้น

ET-OPTO AC DIMMER เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการควบคุมระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ให้สามารถมีระดับแรงดันเอาต์พุตต่างๆ ตามที่เราต้องการ โดยอาศัยหลักการในการควบคุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (AC 220V) ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์เวฟ (มุมเฟส 360 องศา) ขนาดความถี่ 50Hz

การควบคุมเฟสจะอาศัยหลักการทำงานของ ไตรแอก (Triac) โดยการควบคุมการจุดชนวนเกตของ ไตรแอก ซึ่งการจุดชนวนเกตที่มุมเฟสต่างๆ ของ ไตรแอกจะมีผลต่อค่าระดับแรงดันเอาต์พุตกระแสสลับ โดยเราจะใช้สัญญาณ จากจุดที่เรียกว่า Zero-Crossing เป็นจุดอ้างอิงในการกระตุ้นเฟสของสัญญาณ

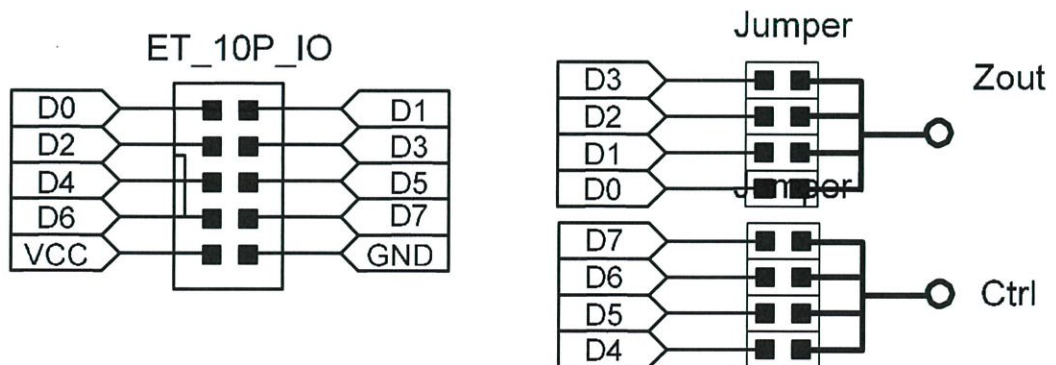


จากรูปสัญญาณ Zero-Crossing จะเกิดขึ้นทุกๆ 10 ms ดังนั้นการควบคุมเฟสของสัญญาณสามารถทำได้โดยอาศัยวิธีการหน่วงเวลาภายใน 0 ถึง 10 ms แล้วส่งพัลส์ไปกระตุ้นขาเกตของ ไตรแอก (Ctrl) ซึ่งขนาดของสัญญาณพัลส์ที่ไปกระตุ้นควรมีความกว้างอย่างน้อย 10 uSec โดยการจุดชนวนเกตภายในเวลา 0 ถึง 10ms จะมีผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาต์พุต ซึ่งมีสัดส่วนแปรผันกัน โดยตรงกับค่าเวลาดังกล่าว



สามารถอธิบายโครงสร้างบอร์ดเรียงตามหมายเลขต่างๆ ได้ดังนี้

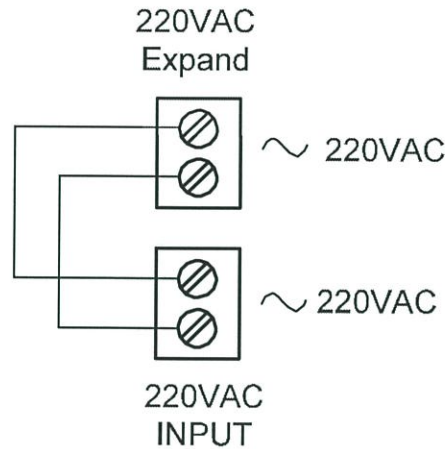
1. พอร์ต ET\_10P\_IO เป็นคอนเนกเตอร์สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง สัญญาณของอุปกรณ์ภายนอกกับสัญญาณภายในของบอร์ด ET-OPTO AC DIMMER โดยสัญญาณภายในบอร์ดก็คือ Zout, Ctrl, VCC และ GND



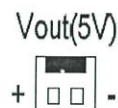
Zout = Zero Crossing Output คือ สัญญาณใช้อ้างอิงที่มุมเฟส 0 องศาของสัญญาณไซน์ 50Hz

Ctrl = Control เป็นขาสัญญาณควบคุมการเปิด-ปิด ไฟ 220VAC OUT

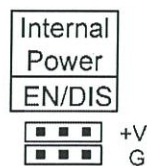
2. พื้นที่เอนกประสงค์สำหรับต่อวงจรเพิ่มเติม
3. ขั้วต่อไฟเอาต์พุต 220VAC
4. ฟิวส์ (FUSE) สำหรับป้องกันไฟฟ้าวจร
5. 220VAC Expand เป็นจุดต่อขยายของสัญญาณไฟฟ้า 220VAC สำหรับนำไปต่อพ่วงกับอุปกรณ์ภายนอกที่ต้องการ โดยไฟฟ้าที่จุดนี้จะต่อขนานมาจากขั้วต่อสัญญาณ 220VAC INPUT ดังรูป



2. พื้นที่เอนกประสงค์สำหรับต่อวงจรเพิ่มเติม
3. ขั้วต่อไฟเอาต์พุต 220VAC
4. ฟิวส์ (FUSE) สำหรับป้องกันไฟฟ้าวจร
5. 220VAC Expand เป็นจุดต่อขยายของสัญญาณไฟฟ้า 220VAC สำหรับนำไปต่อพ่วงกับอุปกรณ์ภายนอกที่ต้องการ โดยไฟฟ้าที่จุดนี้จะต่อขนานมาจากขั้วต่อสัญญาณ 220VAC INPUT ดังรูป
6. 220VAC INPUT เป็นจุดต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ 220VAC เข้ามายังบอร์ดซึ่งสัญญาณนี้จะเชื่อมต่อกับขั้วต่อ 220VAC Expand สำหรับนำไปต่อพ่วงกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องการ
7. Vout (5V) เป็นขั้วต่อแรงดันเอาต์พุตกระแสตรง 5 V ที่ได้มาจากวงจรเรกติไฟเออร์ (78L05) ภายในบอร์ด

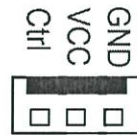


8. Power คือ หลอดไฟแสดงผล LED สำหรับแสดงสถานะของไฟฟ้าภายในบอร์ด
9. Internal Power EN/DIS คือ จัมเปอร์สำหรับเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5V และ GND



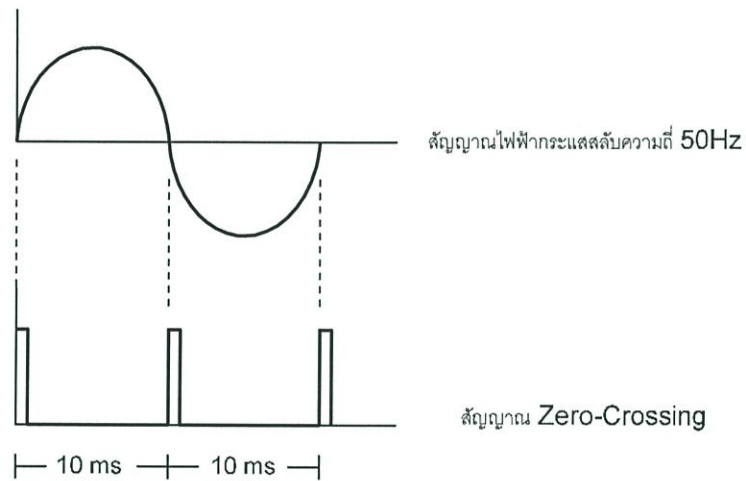
EN = ใช้ไฟจากวงจรเรกติไฟภายใน  
DIS = ใช้ไฟจากภายนอก (เพื่อความ  
เข้าใจโปรดดูวงจรประกอบ)

10. Ctrl คือ ขั้วต่อสัญญาณควบคุมไฟฟ้าที่จุดขั้วต่อสัญญาณควบคุมไฟฟ้าที่จุด 220 VAC OUT ทำงานที่ลอจิก “0” (Active 0)

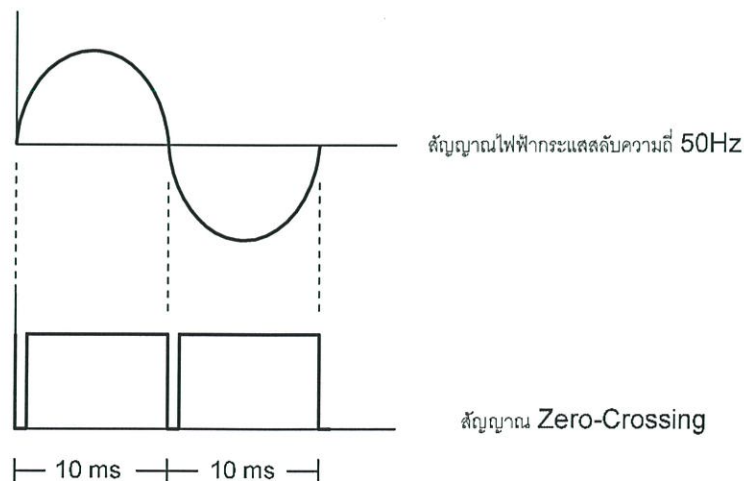


Ctrl = 0 ไตรแอกนำกระแส  
Ctrl = 1 ไตรแอกไม่นำกระแส

11. Up/Dw คือ จัมเปอร์สำหรับเลือกรูปแบบของสัญญาณ Zero-Crossing มีรูปแบบดังนี้  
Up = ให้สัญญาณที่มุมศูนย์กลางของสัญญาณเป็นลอจิก “1” ซึ่งมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้



- Dw = ให้สัญญาณที่มุมศูนย์กลางของสัญญาณเป็นลอจิก “0” ซึ่งมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้



12. ขั้วต่อสัญญาณเอาต์พุต Zero-Crossing โดยจะมีรูปแบบสัญญาณตามข้อ 11

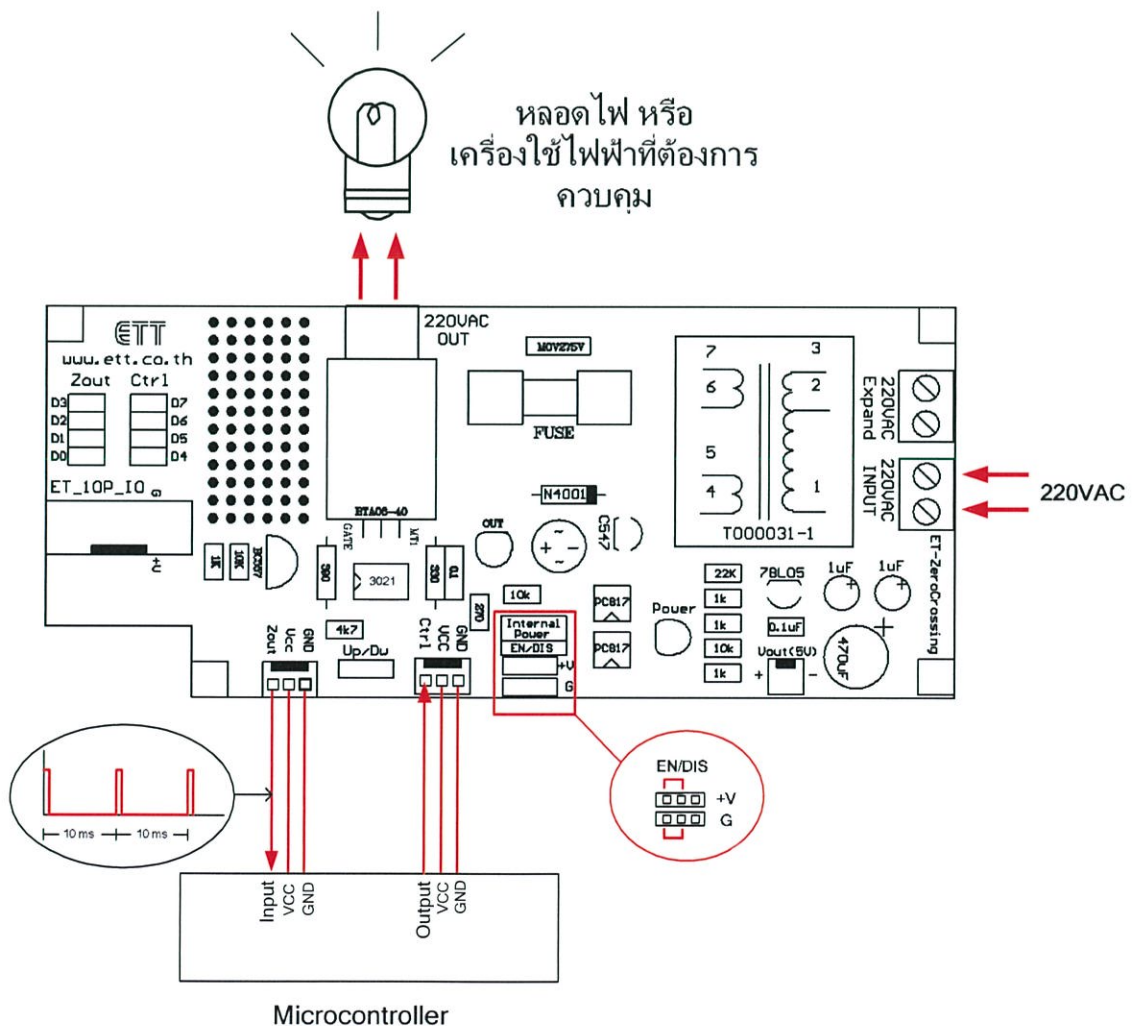
13. LED OUT เป็นหลอดไฟ LED ที่แสดงสถานะการทำงานของวงจรควบคุมไฟฟ้า AC 220V เอาต์พุต LED ติดสว่าง = มีลอจิกไปทริก หรือ จุดชนวนการทำงานของ TRIAC LED ดับ = ไม่มี ลอจิกไปทริก หรือ จุดชนวนการทำงานของ TRIAC

### การต่อใช้งาน

ET-AC Dimmer จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะมีสัญญาณที่ต้องเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ 3 ส่วน ดังนี้

- 1) สัญญาณ Zero-Crossing (Zout)
- 2) สัญญาณกระตุ้นขาเกต (Gate) ของไทรแอก (Ctrl)
- 3) แหล่งจ่ายไฟ (VCC,GND) ซึ่งสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายในบอร์ด ET-AC Dimmer หรือจาก บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายนอกเองก็ได้ โดยการเลือกจัมป์เปอร์ (Internal Power)

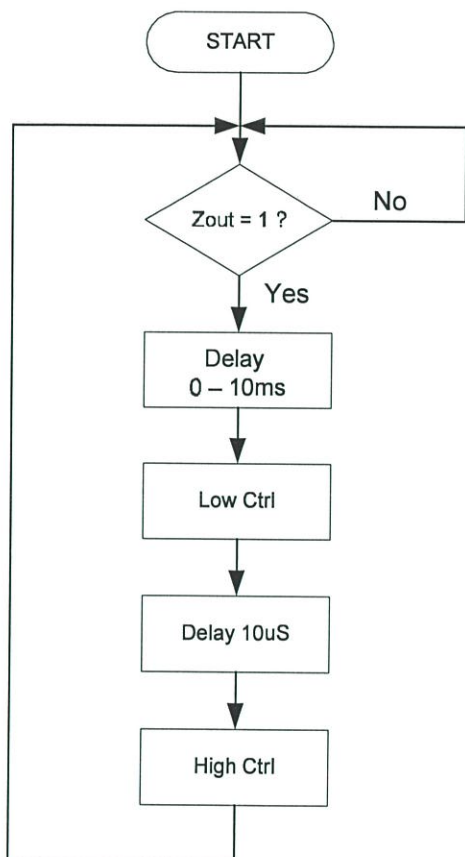
การต่อแบบใช้ไฟเลี้ยงจากบอร์ด ET-AC Dimmer ให้เลือกจัมป์เปอร์ Internal Power มาที่ตำแหน่ง EN ดังรูปต่อไปนี



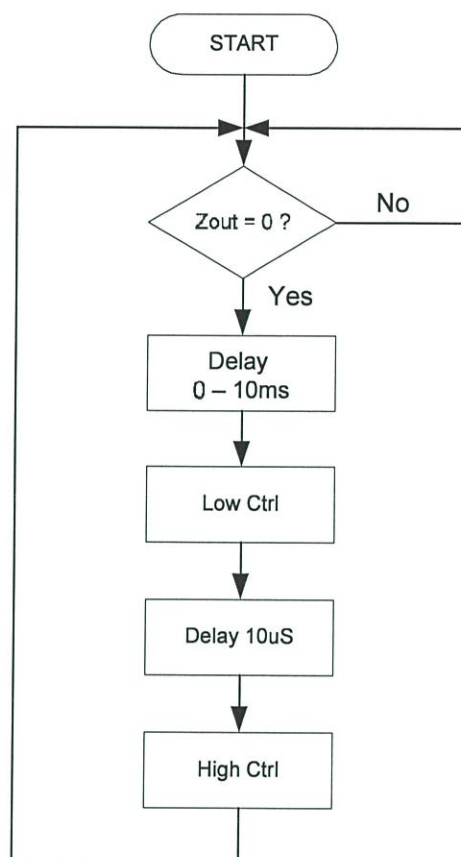


## รูปแบบการเขียนโปรแกรมควบคุมไฟ AC อย่างง่าย

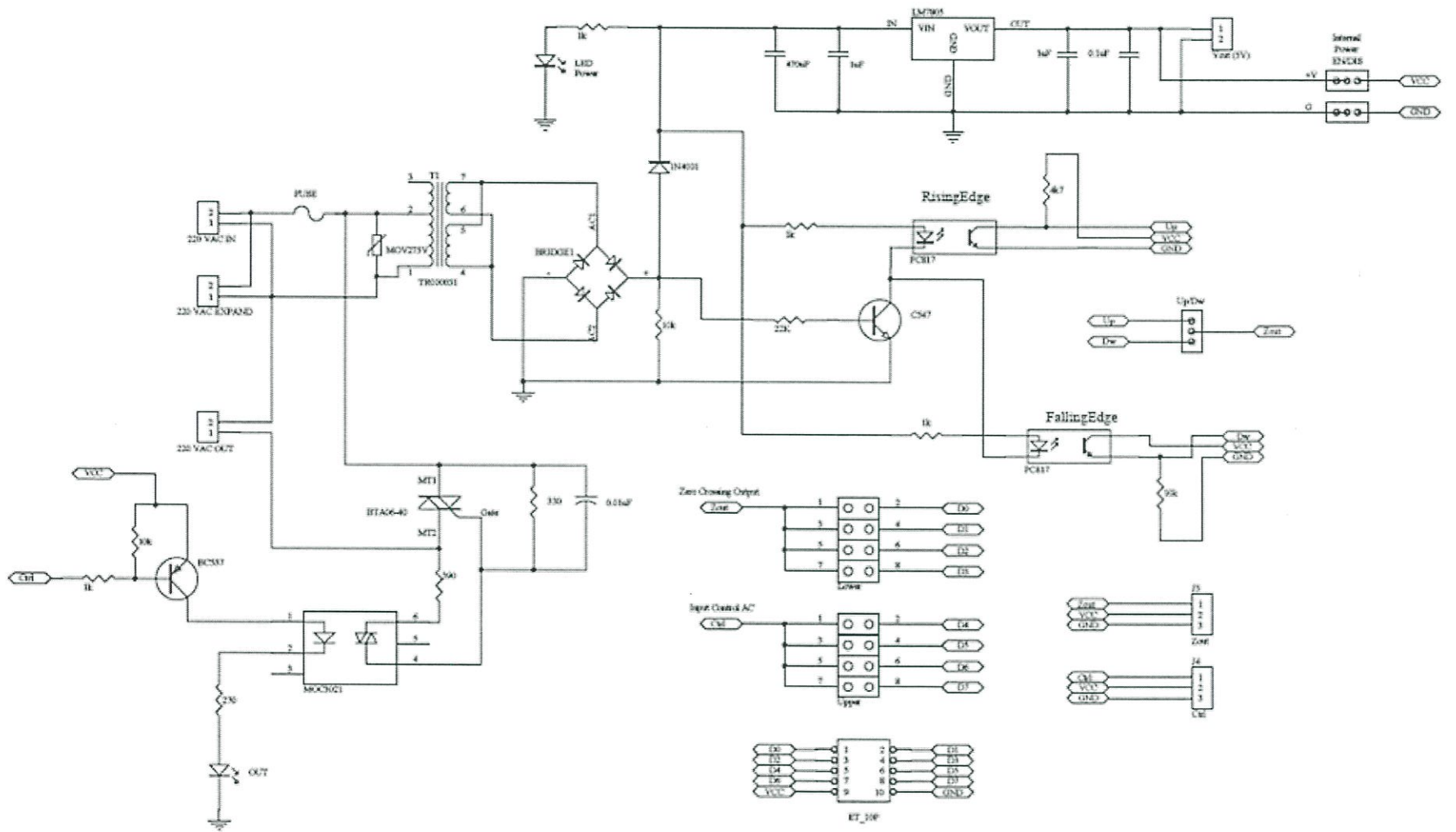
กรณีเลือกจัมป์เปอร์ Up/Dw เป็น Up



กรณีจัมป์เปอร์ Up/Dw เป็น Dw



ค่าหน่วงเวลา (0 - 10ms) จะมีผลต่อระดับแรงดันซึ่งแปรผันในช่วง 0 ถึง 220 volt และ จะต้องหน่วงเวลาให้คงที่ทุกๆ รอบของการเกิด Zero Crossing ดังไฟว์ชาร์ตด้านบน



ภาคผนวก ค.  
เอกสารทางวิชาการ

## การจัดการพลังงานในระบบแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย

### Energy Management in Lighting System for Residence

กรัณท์รัตน์ สรรพทรัพย์ศิริ จาณูพันธ์ เวววงศ์ทอง ชุตินณชนัน เลิศมโนกุล ธนภัทร มาลัยกฤษณะชลิ  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

#### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับที่พักอาศัย โดยการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟประเภทไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ติดตั้งชุดควบคุมการเพิ่มหรือลดของแสงสว่าง (Dimming control system) แทนหลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) เพื่อควบคุมระดับความสว่างบนพื้นที่ทำงานจากหลอดไดโอดเปล่งแสงให้มีความเหมาะสมกับแสงธรรมชาติจากภายนอก โดยหลอดไดโอดเปล่งแสงจะให้ความสว่างมากในช่วงเวลากลางวัน และความสว่างจะลดลงในช่วงเวลากลางคืน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นจากเดิมที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ และนอกจากนั้นได้ใช้อุปกรณ์ซิกบี (Zigbee) ในการสื่อสารแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้เข้ากับระบบแสงสว่างภายในที่พักอาศัย ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นผลให้สามารถลดค่าไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างภายในที่พักอาศัยได้ในแต่ละเดือน

**คำสำคัญ** หลอดไดโอดเปล่งแสง, ชุดควบคุมการเพิ่มหรือลดแสงสว่าง, ซิกบี

#### Abstract

This thesis focuses on the energy management in lighting system for residence. The proposed system has replaced the original fluorescent tubes by LED bulbs and installed lighting control equipment consisting of 2 parts: dimmer circuit and light sensors in order to control illumination on the working plane; this also depends on the natural light. The idea is the LED's light will be dropped in the daytime or when there is too much light on the working area and the light will be brighten up in the night or when there is too little light on that zone. This equipment also uses Zigbee to communicate with the microcontroller in the dimmer circuit as a wireless communication system. As a result, the

proposed system will be useful for consumers to save more electrical energy and reduce their bills in each month.

**Keyword** LED, Automatic Dimming, Zigbee

#### 1. บทนำ

ในปัจจุบันอัตราการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ในแต่ละปีจึงมีการวางแผนพัฒนาการผลิตไฟฟ้า หรือพีดีพี (Power Development Plan : PDP) คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยคำนึงถึงสิ่งที่สำคัญของการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพคือการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดแต่จะบรรลุวัตถุประสงค์ตามความต้องการ

ระบบแสงสว่างเป็นระบบที่มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดภายในที่พักอาศัย หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไฟธรรมดาทั่วไป ซึ่งมีงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับข้อดีของหลอดไดโอดเปล่งแสงมากมาย เช่น [1] การประหยัดพลังงานของหลอดไดโอดเปล่งแสง เมื่อเปลี่ยนมาใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 50% นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้มากขึ้น [2] โดยใช้วงจรควบคุมการเพิ่มหรือลดความสว่างของหลอดไฟ (Dimming control system) ตัวอย่างงานวิจัยในต่างประเทศพบว่า [3] การใช้ระบบควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟ โดยใช้แสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาช่วยนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 30%-40% ซึ่งในการใช้งานนั้นจะมีทั้งวิธีการสื่อสารแบบใช้สาย (Wired communication) และแบบไร้สาย (Wireless communication) เมื่อเปรียบเทียบกันจะพบว่า การติดตั้งแบบไร้สายจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารวมไปถึงการใช้งานที่สะดวกสบายมาก

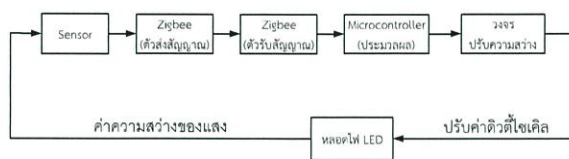
ยิ่งขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมียุ่  
มากมาย เช่น ซิกบี (Zigbee) [4] สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ  
ระบบแสงสว่างภายในอาคาร และภายนอกอาคาร เพื่อเปิดหรือ  
ปิดไฟในเวลาที่เหมาะสม ทำให้ลดการบริโภคพลังงานได้อย่าง  
มีประสิทธิภาพ

ปัญหานี้นักศึกษาระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษาในเรื่  
องการใช้พลังงานไฟฟ้า และการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า  
ภายในอาคาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเสีค่าใช้จ่ย  
น้อยที่สุด โดยการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด  
โอดีเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุมการเพิ่มลดของแสง  
อัตโนมัติ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสง  
สว่างภายในที่อยู่อาศัยได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้จะเป็น  
ประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในด้านกรลดค่าใช้จ่ยไฟฟ้าในแต่ละ  
เดือนแล้ว ยังส่งผลดีต่อการบริโภคพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของ  
ประเทศ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ยและลดการนำเข้พลังงานจาก  
ต่างประเทศเป็นผลให้เศรษฐกิจของประเทศเป็นไปในทิศทาง  
ที่ดีขึ้น

2. การออกแบบวงจรควบคุมแสงสว่าง

ลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flowchart)

เริ่มต้นจะส่งสัญญาณให้ซิกบีตัวส่งข้อมูลให้ทำการเปิด  
โหมคการสู่มตัวอย่างสัญญาณ ของตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 4 (ตาม  
จำนวนของเซนเซอร์) เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าเซนเซอร์  
ทั้งหมดพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ จากนั้นจะทำการเปิดโหมค  
การสู่มตัวอย่างสัญญาณของตัวที่ 1 และส่งให้ซิกบีตัวส่งข้อมูล  
ทำการสู่มตัวอย่างสัญญาณ ค่าให้กับซิกบีตัวรับข้อมูลและทำ  
การเปิดโหมคการสู่มตัวอย่างสัญญาณของตัวที่ 1 ต่อจากนั้น  
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงข้อมูลจากเลขฐาน 16  
ไปเป็นเลขฐาน 10 ทำจ้จวนครบตามจำนวนเซนเซอร์ที่มี  
ทั้งหมด เมื่อทำงานครบตามจำนวนเซนเซอร์ทั้ง 4 ตัวแล้ว  
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเฉลี่ยค่าจากเซนเซอร์ทั้งหมด  
และตรวจสอบเงื่อนไขว่าค่าความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่า 450  
ลักซ์ มากกว่า 500 ลักซ์ หรืออยู่ระหว่าง 450-500 ลักซ์ ถ้า  
เข้าเงื่อนไขไหนก็จะทำการปรับค่าตัวดีไซเคลและส่งสัญญาณ  
การปรับค่าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวที่ 2 และทำการ  
ปรับค่าความสว่าง ซึ่งระดับของการปรับค่าความสว่างมี  
ทั้งหมด 7 ขั้น ที่ตัวดีไซเคลเท่ากับ 0% 29% 39% 49% 59%  
69% และ 99% ซึ่งขึ้นกับค่าความสว่างที่ตรวจจ่ยได้



รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

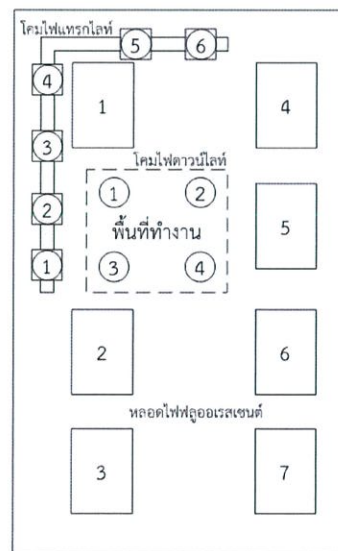
3. การทดลอง

สถานที่ทดลองประกอบด้วยโคมไฟชนิดต่าง ๆ ดังนี้

- |                       |       |
|-----------------------|-------|
| 1. โคมไฟแทรคไลท์      | 6 โคม |
| 2. โคมไฟดาวน์ไลท์     | 4 โคม |
| 3. โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ | 7 โคม |



รูปที่ 2 สถานที่ทดลอง



รูปที่ 3 แผนผังแสดงตำแหน่งหลอดไฟ

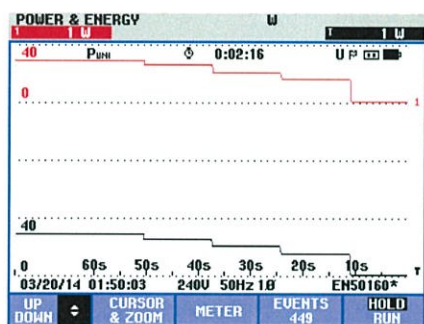
#### 4.ผลการทดลองวัดค่าทางแสงที่ได้จากวงจรควบคุมแสงสว่าง

##### 4.1 การศึกษาด้านพลังงาน

จากผังห้องทดลองในรูปที่ 4 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด และ โคมแทรคไลท์ 6 โคม กรณีจกค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	1,2,4,6
ตำแหน่งโคมแทรคไลท์	1,2,3,4,5,6
ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมแทรคไลท์(ลักซ์)	413.01
ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	4.27
ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	417.28
สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	ดับ
เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)	2.09

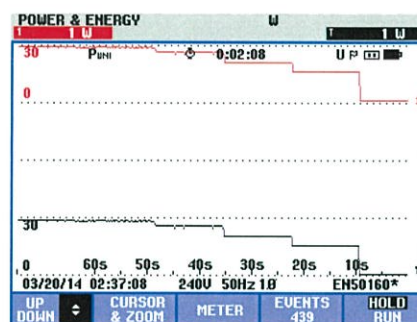


รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาในกรณีเปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 โคม โดยจกค่าความสว่างที่ 450 – 500 ลักซ์

จากตารางที่ 1 เมื่อจำลองแสงรบกวนจากภายนอกโดยการเปิดหลอดไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ตำแหน่งที่ 1, 2, 4, 6 และ โคมแทรคไลท์ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 พบว่าค่าความเข้มแสงจะมีค่าเท่ากับ 413.01 ลักซ์ ซึ่งอยู่ในช่วงการทำงานของชุดควบคุมที่ตั้งค่าไว้คืออยู่ระหว่าง 400-450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจะถูกหรี่ลงจนดับ เนื่องจากการหรี่หลอดไฟจะหรี่ลงทีละระดับทำให้กราฟกำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์) ที่ใช้ลดลงแบบขั้นบันได แสดงดังรูปที่ 4

ตารางที่ 2 การจำลองแสงจากภายนอกโดยการเปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 โคม และ โคมคาวนไลท์ 4 โคม กรณีจกค่าความเข้มแสง 400 – 450 ลักซ์

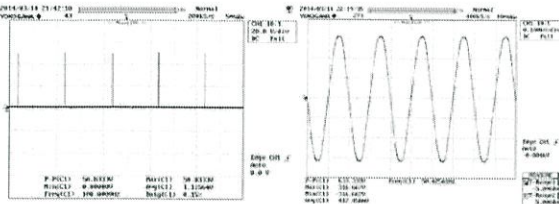
ตำแหน่งหลอดฟลูออเรสเซนต์	1,2,4,6
ตำแหน่งโคมแทรคไลท์	1,2,3,4,5,6
ตำแหน่งคาวนไลท์	1,2,3,4
ความเข้มแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์โคมแทรคไลท์ และโคมคาวนไลท์ (ลักซ์)	484.41
ความเข้มแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง(ลักซ์)	3.56
ความเข้มแสงบนพื้นที่ทำงาน (ลักซ์)	480.85
สถานะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	ดับ
เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)	2.02



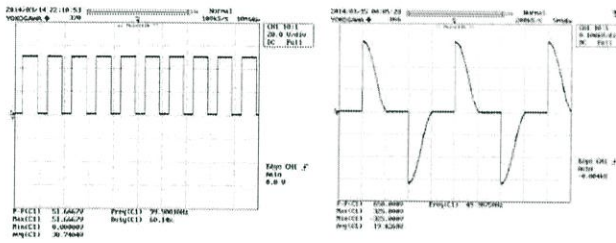
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและเวลาในกรณีเปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 4 หลอด โคมแทรคไลท์ 6 โคม และ โคมคาวนไลท์ 4 โคม โดยจกค่าความสว่างที่ 450 – 500 ลักซ์

จากตารางที่ 2 เมื่อจำลองแสงรบกวนจากภายนอกโดยการเปิดหลอดไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์ตำแหน่งที่ 1, 2, 4, 6 และ โคมแทรคไลท์ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 พบว่าค่าความเข้มแสงจะมีค่าเท่ากับ 484.41 ลักซ์ ซึ่งอยู่ในช่วงการทำงานของชุดควบคุมที่ตั้งค่าไว้คืออยู่ระหว่าง 400-450 ลักซ์ หลอดไดโอดเปล่งแสงจะถูกหรี่ลงจนดับ เนื่องจากการหรี่หลอดไฟจะหรี่ลงทีละระดับทำให้กราฟกำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์) ที่ใช้ลดลงแบบขั้นบันได แสดงดังรูปที่ 5

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้วงจรหรี่ไฟอัตโนมัติ



รูปที่ 6 รูปคลื่นที่นำไปทริกไครแอกและรูปคลื่นแรงดันขาออกที่ควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 0 %



รูปที่ 7 รูปคลื่นที่นำไปทริกไครแอกและรูปคลื่นแรงดันขาออกที่ควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 60 %

จากรูปที่ 6 ดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับศูนย์ จากรูปแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์จึงไม่มีสัญญาณเข้าไปทริกไครแอก ทำให้แรงดันมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ไม่ถูกตัดทำให้ความสว่างของแสงมีค่ามากที่สุด

จากรูปที่ 7 ดิวตี้ไซเคิลมีค่า 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่เท่ากับ 50 Hz เนื่องจากต้องการตัดรูปคลื่นไซน์ที่ครึ่งบนและล่าง จึงเกิดสัญญาณไปทริกไครแอก ทำให้แรงดันเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ที่ถูกตัด มีผลทำให้ความสว่างมีค่าลดลง

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เมื่อทำการหรี่ไฟหลอดไฟในระดับต่าง ๆ

ระดับ	ความเข้มแสง (Lux)	ควิตซ์ไซเคิล (%)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้าจริง (W)	พลังงาน (Wh)
1	79.81	0	226.90	0.22	29	4.8
2	76.71	20	224.14	0.25	29	4.9
3	69.61	30	213.82	0.28	28	4.7
4	56.09	40	200.00	0.32	26	4.4
5	40.35	50	175.26	0.32	21	3.7
6	22.17	60	145.13	0.32	16	2.7
7	0	90	36.96	0.20	1	0.2

เมื่อทำการลดระดับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงในแต่ละครั้ง จะทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีค่าลดลงตามไปด้วย ในขณะที่ค่าของกระแสจะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทุก ๆ ระดับความสว่าง ส่งผลให้เมื่อลดระดับความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสงลงทำให้กำลังไฟฟ้าจะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง นั่นก็ถือยิ่งหลอดไดโอดเปล่งแสงมีความสว่างลดลงก็จะทำให้การบริโภคพลังงานไฟฟ้าของหลอดลดลงด้วย จึงทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้นเมื่อมีแสงสว่างจากภายนอกเข้ามาเท่านั้นเอง

5. สรุปผลการทดลอง

กรณีที่มีวงจรควบคุมระดับความสว่างจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า โดยทดสอบที่ความเข้มแสงจากภายนอก 300 – 350 ลักซ์ 350 – 400 ลักซ์ และ 400 – 450 ลักซ์ โดยแต่ละกรณีจะสามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 5.68% ซึ่งประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปริมาณแสงจากภายนอก

การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่จะต้องจ่ายใน 1 ปี พบว่ากรณีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้หลอด ฟลูออเรสเซนต์กับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุม ลดค่าใช้จ่ายเท่ากับ 759.63 บาทต่อปี และกรณีการเปรียบเทียบระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งวงจรควบคุม และหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ไม่ติดตั้งวงจรควบคุม ลดค่าใช้จ่ายเท่ากับ 339.15 บาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง

[1] W.R. Ryckaerta, K.A.G. Smeta, I.A.A. Roelandtsa, M. Van Gils, P. Hanselaer, "Linear LED tubes versus fluorescent lamps," *Energy and Buildings*, Vol.49,2012 pp.429–436.

[2] B. Yang, H. Eun, H. Min, J. Kang, J. Song, and J. Cha, "Indoor LED light switch with step-by-step illumination reduction," *International Journal of Smart Home*, Vol.7, 2013, pp. 225-232.

[3] W. Chen, X. Zhu, G. Wang, and G. Wang, "A new double frequency dimmer for lighting device," *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2013 IEEE*, Vol.20, No.4, 2013, pp. 4655-4658.

[4] K. Thattai, K.B. Manikanta, S. Chhawchharia, and R. Marimuthu, "ZigBee and ATmega32 based wireless digital control and monitoring system for LED lighting," *Information Communication and Embedded System (ICICES), 2013 International Conference on*, Vol., No., 2013, pp. 878-881.

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายกรัณทรรัตน์ สรรพทรัพย์สิริ

วัน เดือน ปี เกิด 15 กันยายน 2534

ที่อยู่ 304/795 หมู่บ้านนิรันดรวิลล่า ซอยพื้งมี 50/38 ถนนสุขุมวิท 93  
แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร 10260  
ติดต่อ 085-258-8893, Liverpool\_ben8@hotmail.com



ชื่อ-นามสกุล นางสาวจากุพัจน์ แววงค์ทอง

วัน เดือน ปี เกิด 18 สิงหาคม 2534

ที่อยู่ 66/64 ซอยอาทรอุปถัมภ์ ถนนประชาราษฎร์ สาย 1  
แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800  
ติดต่อ 081-814-0190, paddle.ploy@gmail.com



ชื่อ-นามสกุล นางสาวชุติมณฑน์ เลิศมโนกุล

วัน เดือน ปี เกิด 10 มกราคม 2535

ที่อยู่ 104/198 หมู่บ้านศิवालย์วิลเลจ3 ต.สันกำแพง  
อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ 50130  
ติดต่อ 087-301-1164, L-chutimon@hotmail.com



ชื่อ-นามสกุล นายธนภัทร มาลัยกฤษณะชลี

วัน เดือน ปี เกิด 14 กรกฎาคม 2535

ที่อยู่ 78/117 หมู่ 4 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000  
ติดต่อ 087-8297504, thanapat\_07@hotmail.com