รายงานการวิจัย

การพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมความสว่าง หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบดิจิตอล

Development of a Prototype Digital System for Lighting Control of Fluorescent Tubes

สัญญาเลขที่ CU-CLUSTER-Energy-6-6-53

ผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้สนับสนุนทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (CU-CLUSTER-FUND)

30 มิถุนายน 2554

กิตติกรรมประกาศ

Acknowledgement

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (CU-CLUSTER-FUND) ประจำปี 2553 และห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและวงจรรวม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือวัดต่างๆที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้

บทคัดย่อ

สภาวะโลกร้อนและวิกฤตทางพลังงานในปัจจุบันเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากผู้คนทั่วโลก ทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถลดปัญหาดังกล่าวนี้ได้คือการลดการใช้พลังงานต่างๆ สำหรับอาคารบ้านเรือนทั่วไปนั้น การประหยัดพลังงานสามารถทำได้โดยการลดพลังงานที่ไม่ได้ใช้ เช่นการปิดไฟดวงที่ไม่ได้ใช้งานโดยเฉพาะหลอดฟลูออเรสเซนต์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปรับความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้โดยการใช้ระบบบัสตามมาตรฐานโปรโตคอล DALI ระบบนี้มีบัลลาสต์ได้สูงสุด 64 ตัว เชื่อมต่อกับบัส 2 สายซึ่งถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุม DALI (DALI MASTER) อุปกรณ์พื้นฐานภายในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ชิพควบคุมบัลลาสต์, วงจรสวิตชิ่งแบบ Half bridge, ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโปรแกรมรองรับโปรโตคอล DALI, ชิพควบคุมการแก้ค่าตัวประกอบกำลังและวงจรเชื่อมต่อระบบบัส DALI แบบแสง เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กทั่วไป บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีประสิทธิภาพสูง มีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงและสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 1-100% สำหรับหน่วยควบคุม DALI นั้นนอกจากจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโปรแกรมรองรับโปรโตคอล DALI และวงจรติดต่อกับระบบบัส DALI แบบใช้แสงแล้วยังประกอบด้วยหน้าจอแสดงผล เซนเซอร์วัดความเข้มแสง โมดูลสำหรับสื่อสารไร้สาย Zigbee หน่วยควบคุม DALI จะตรวจวัดความเข้มแสงและส่งคำสั่งควบคุมหลอดไฟให้ได้ความสว่างที่เหมาะสมเพื่อช่วยประหยัดพลังงานและยังคงให้คุณภาพที่ดีสำหรับการมองเห็นอีกด้วย และด้วยโมดูล Zigbee หน่วยควบคุม DALI สามารถสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโมดูลสื่อสารแบบไร้สายเพื่อใช้ควบคุมจากระยะไกล

จากการศึกษาทดลองกับระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างได้แสดงให้เห็นว่าระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสมกับหลากหลายพื้นที่ใช้งานเช่นห้องประชุม ห้องเรียน ห้องรับรองแขกในโรงแรม และสถานที่อื่นๆ ที่ไม่ต้องการแสงสว่างคงที่ตลอดเวลาหรือสถานที่ซึ่งมีแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เข้าถึงได้

Abstract

The problems of global warming and energy crisis have now received much attention from the public. One way to ease them is to reduce energy consumption. In buildings and houses, energy savings can be obtained by reducing unnecessary uses of light, especially from fluorescent lamps.

This research project aims at developing an electronic ballast that can dim a fluorescent lamp using a DALI bus with DALI protocol standard. Up to 64 ballasts can be connected on a 2 wire DALI bus controlled by a DALI master unit. The basic components within the developed electronic ballast are a ballast controller chip, a half bridge fluorescent driver, a DALI microcontroller, a power factor controller and a DALI optical interface. Comparing with a typical magnetic ballast, this ballast is much more energy efficient, achieve closed to unity power factor and capable of 1-100% dimming. The DALI master unit, besides a DALI microcontroller and a DALI optical interface, has an LCD display, light sensors and a Zigbee RF module. By sensing the ambient light intensity, the DALI master can issue commands to appropriately dim the fluorescent lamps, thereby saves energy without degrading the visible quality. With the Zigbee RF module, the master can communicate with a personal computer, also equipped with an RF module, for remote control.

Experiments with the developed smart lighting control have shown that the developed system is appropriate for several areas such as a conference room, a lecture room, a hotel lobby and other places that require non-uniform lighting intensity or can exploit sun light.

สารบัญเรื่อง

(Table of Contents)

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญญาลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	1
บทที่ 2 โปรโตคอล DALI	3
2.1 แนะนำระบบ DALI	3
2.2 สัญญาณและข้อมูลในบัส DALI	4
2.3 ข้อมูลคำสั่งในระบบ DALI	5
บทที่ 3 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ DALI	8
3.1 ฟังก์ชั่นการทำงานของบัลลาสต์ DALI	9
3.2 การทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์	10
3.3 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์	11

บทที่ 4 หน่วยควบคุม DALI 16

4.1 ฟังก์ชันการทำงานของหน่วยควบคุม DALI 17

4.2 โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์บนหน่วยควบคุม DALI 18

บทที่ 5 การทดลองระบบ 20

5.1 ระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI 20

บทที่ 6 สรุปงานวิจัย 24

6.1 สรุปและเสนอแนะการวิจัยในขั้นต่อไป 24

6.2 ประโยชน์ในการประยุกต์ของผลงานวิจัยที่ได้ 25

บรรณานุกรม 26

ภาคผนวก 27

ภาคผนวก ก รหัสเทียม (Pseudo Code) ของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ 28

ภาคผนวก ข รูปวงจรและรายการอุปกรณ์ซึ่งออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ 32

ภาคผนวก ค บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ 39

ประวัตินักวิจัย 60

สารบัญตาราง

(List of Tables)

หน้า

ตารางที่ 3-1 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T8 ขนาด 36 วัตต์ 12

ตารางที่ 3-2 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T5 ขนาด 28 วัตต์ 13

ตารางที่ 3-3 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T8 ขนาด 18 วัตต์ 14

ตารางที่ 3-4 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T5 ขนาด 14 วัตต์ 15

ตารางที่ 5-1 ประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในช่วงเวลา 10.00-16.00 23

ตารางที่ 6-1 ต้นทุนบัลลาสต์แบบต่างๆ 25

สารบัญภาพ

(List of Illustration)

	หน้า
รูป 2 1 โครงสร้างระบบบัส DALI และหลอดไฟชนิดต่างๆ	3
รูป 2 2 ระดับสัญญาณที่ใช้ในระบบบัส DALI	4
รูป 2 3 สัญญาณข้อมูลในบัส DALI	5
รูป 2 4 โครงสร้างของชุดคำสั่งในระบบ DALI	5
รูป 3 1 โครงสร้างการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่รองรับระบบบัส DALI	9
รูป 3 2 ภาพบัลลาสต์ DALI ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น	10
รูป 3 3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์	11
รูป 3 4 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T8 ขนาด 36 วัตต์	12
รูป 3 5 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T5 ขนาด 28 วัตต์	13
รูป 3 6 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T8 ขนาด 18 วัตต์	14
รูป 3 7 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T5 ขนาด 14 วัตต์	15
รูป 4 1 โครงสร้างภายในของหน่วยควบคุม DALI	17
รูป 4 2 หน่วยควบคุม DALI และอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่าง	18
รูป 4 3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมบนตัวควบคุม	19
รูป 5 1 ภาพโครงสร้างระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่าง	20
รูป 5 2 กราฟความเข้มแสงในแต่ละระดับความสว่าง	21
รูป 5 3 แผนผังจำลองแสดงลักษณะของห้องตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	22
รูป 5 4 กราฟความสว่างภายในห้องทดลองโดยแบ่งตามช่วงระยะเวลาของวัน	23

คำอธิบายสัญญาลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

(List of Abbreviations)

คำศัพท์	คำอธิบาย
DALI	Digital Addressable Lighting Interface เป็นชื่อย่อของระบบควบคุมแสงสว่างตามมาตรฐาน IEC 62386-101
LED	Light Emitting Diode เป็นชื่อย่อของหลอดไฟซึ่งผลิตจากสารกึ่งตัวนำโดยสามารถทำให้เกิดการเปล่งแสงเป็นสีต่างๆได้และมีการพลังงานสูญเสียต่ำกว่าหลอดไส้ทั่วไป
CFL	Compact Fluorescent Lamp เป็นชื่อย่อของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าหลอดตะเกียบ

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องการการเอาใจใส่ดูแลเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัญหาดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมต่างๆรอบตัวเราในอนาคต สิ่งหนึ่งที่สามารถทำได้ง่ายและเห็นผลทันทีคือการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อดูจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่เป็นจำนวนมากจะพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทให้แสงสว่างนั้นมีปริมาณการใช้งานที่สูงมากและมีส่วนที่ถูกใช้งานไปโดยเปล่าประโยชน์จากการเปิดทิ้งไว้และการเปิดใช้งานเกินความจำเป็น เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตรจึงมีปริมาณความเข้มของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมากและเหมาะกับการนำมาช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบให้แสงสว่างโดยการปรับความสว่างของหลอดไฟให้เหมาะกับความต้องการแสงสว่างในบริเวณต่างๆ

ระบบแสงสว่างที่มีใช้อยู่มากที่สุดในอาคารและที่พักอาศัยคือระบบแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งในปัจจุบันนี้อุปกรณ์ให้แสงสว่างประเภทนี้จะใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กหรือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบธรรมดา ซึ่งไม่สามารถปรับความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ปรับความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์และรองรับการสั่งงานควบคุมแบบดิจิตอลได้มาใช้ เพื่อปรับความสว่างของหลอดไฟให้เหมาะสมกับความต้องการความสว่างในแต่ละบริเวณ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้อย่างมากมาย สอดคล้องกับแนวคิดการลดปัญหาโลกร้อนในปัจจุบัน

ในอุปกรณ์ควบคุมความสว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบดิจิตอลนั้นได้มีการนำระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) มาใช้ในการคิดคำนวณค่าความสว่าง และรวมถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวควบคุมและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น ซึ่งจะทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายตามความต้องการใช้งานของแต่ละสถานที่ อีกทั้งระบบสมองกลฝังตัวในปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศ ดังนั้นการทำวิจัยด้านนี้จะช่วยส่งเสริมความก้าวหน้าในเชิงวิชาการให้แก่องค์กรทางการศึกษาได้ดีอีกด้วย โดยเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบสมองกลฝังตัว ให้สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ

บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กธรรมดาจะมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปความร้อนโดยประมาณ 10 วัตต์ ทำให้มีการกินกำลังไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 28 วัตต์ และ 46 วัตต์ สำหรับหลอด 18 วัตต์และ 36 วัตต์ตามลำดับ แต่เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์จะไม่มีการสูญเสียพลังงานที่ตัวบัลลาสต์ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าไปได้ 20-30 % นอกจากนั้นการที่บัลลาสต์สามารถปรับความสว่างของหลอดไฟได้ในกรณีที่บริเวณนั้นได้รับแสงจากธรรมชาติอยู่แล้วในตอนกลางวัน ซึ่งจะช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดได้อีก ส่งผลให้เกิดการลดการใช้พลังไฟฟ้าของอาคารและบ้านเรือนลงได้ ซึ่งปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่างในอาคารและบ้านเรือนคิดเป็นร้อยละ 25 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม [1] นอกจากนั้นแล้วกำลังสูญเสียในตัวบัลลาสต์ที่ลดลงจะช่วยลดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในอาคารได้อีกด้วย

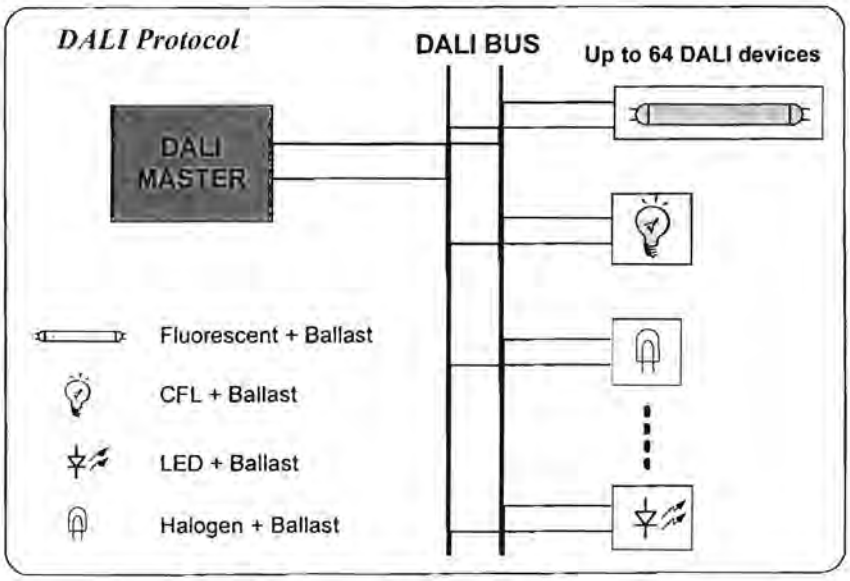
หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลักที่ถูกนำมาใช้ในโครงการนี้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบใหม่ (T5) ซึ่งจะมีจุดเด่นที่กำลังไฟฟ้าลดลงแต่ยังคงสามารถให้ความสว่างใกล้เคียงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเดิม (T8) โดยจะมีการกินกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 14 วัตต์และ 32 วัตต์ ซึ่งจะพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบให้แสงสว่างภายในอาคารลงได้ อีกทั้งในขณะนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตเองได้มีโครงการสนับสนุนให้ผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบใหม่นี้เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานหรือสถานประกอบการ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าโครงการนี้จะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้อย่างแน่นอนและจะส่งผลดีต่อการแก้ปัญหาสภาวะโลกร้อนที่ทุกประเทศกำลังเผชิญอยู่ด้วย อย่างไรก็ดี โครงการนี้จะพัฒนาบัลลาสต์สำหรับหลอดผอม (T8) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอีกด้วย โดยบัลลาสต์ทั้ง 2 แบบจะใช้ทดแทนกันไม่ได้

บทที่ 2

โปรโตคอล DALI

2.1 แนะนำระบบ DALI

คำว่า DALI ย่อมาจาก Digital Addressable Lighting Interface [2] เป็นมาตรฐานที่สถาบัน IEC (International Electrotechnical Commission) กำหนดขึ้นสำหรับควบคุมความสว่างของอุปกรณ์กำเนิดแสงชนิดต่างๆแบบดิจิตอล โดยมีรหัสมาตรฐานว่า IEC 62386-101 [3] มาตรฐานนี้กำหนดให้อุปกรณ์กำเนิดแสงทุกตัวมีหมายเลข (Address) ประจำตัว และต่ออยู่กับบัส DALI Bus ที่ใช้สาย 2 เส้น โดยมีหน่วยควบคุมหลักหรือ DALI Master เป็นตัวติดต่อเพื่อส่งคำสั่งควบคุมต่างๆดังแสดงในรูป 2-1 อุปกรณ์กำเนิดแสงอาจมีได้หลายชนิดได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ หลอด LED และหลอดฮาโลเจน เป็นต้น โดยมีบัลลาสต์ (Ballast) แบบอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมโยงเข้ากับบัส DALI อีกทีหนึ่ง บัลลาสต์จะทำหน้าที่จุดหลอดและควบคุมความสว่างของหลอดตามคำสั่งที่ได้รับจากหน่วยควบคุมหลัก บัส DALI หนึ่งคู่จะมีบัลลาสต์ได้มากที่สุด 64 ตัว แต่หน่วยควบคุมหลักสามารถจัดบัลลาสต์หลายตัวเข้าเป็นกลุ่มได้มากถึง 16 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะใช้คำสั่งควบคุมเพียงคำสั่งเดียวได้ ทั้งนี้ค่าความสว่างที่ใช้ในบัส DALI จะอยู่ระหว่าง 0 – 255 หรือมีขนาด 8 บิต และเพื่อให้ง่ายแก่การใช้งาน DALI ยังกำหนดให้มีคำสั่งตั้งค่าความสว่างของบัลลาสต์ล่วงหน้าในแบบฉาก (Scene) ได้สูงสุด 16 ฉาก



รูป 2-1 โครงสร้างระบบบัส DALI และหลอดไฟชนิดต่างๆ

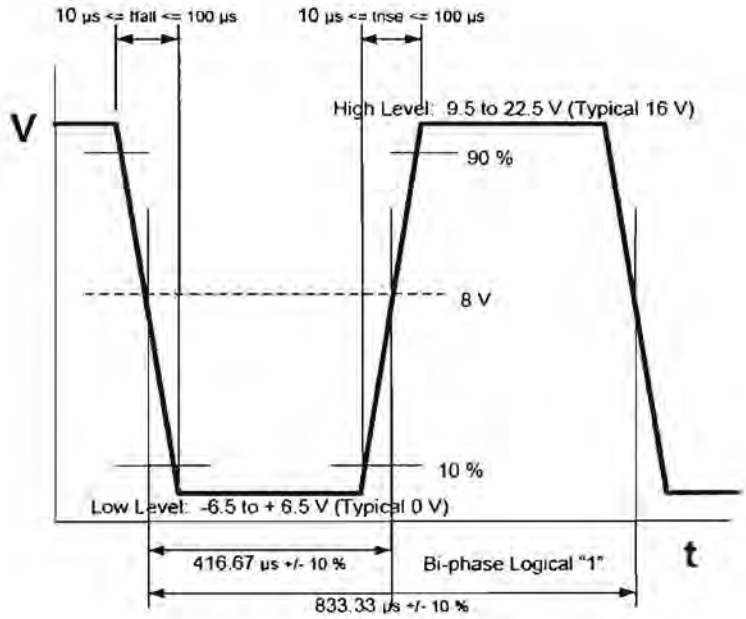
2.2 สัญญาณและข้อมูลในบัส DALI [3]

สัญญาณที่ใช้ในระบบบัส DALI เป็นสัญญาณที่มีขนาดแรงดันอยู่ในช่วง 16 - 22 โวลต์ ดังแสดงใน รูป 2-2 โดย

- สัญญาณช่วง -6.5 – 6.5 โวลต์ จะหมายถึงระดับสัญญาณต่ำ (Low)
- สัญญาณที่สูงกว่า 9 โวลต์ จะหมายถึงระดับสัญญาณสูง (High)

ข้อมูล 1 บิตในระบบบัส DALI จะสามารถดูได้จากการเปลี่ยนระดับสัญญาณในบัส DALI โดย

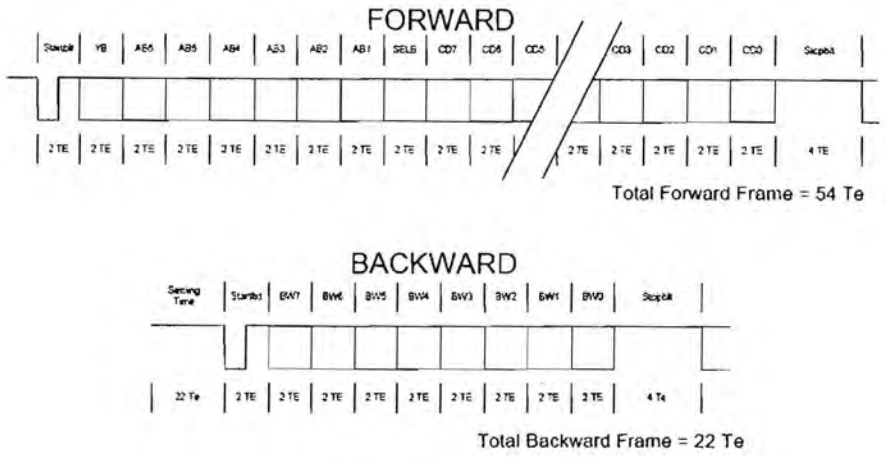
- ข้อมูลลอจิก 0 จะมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก High ไป Low
- ข้อมูลลอจิก 1 จะมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก Low ไป High



รูป 2-2 ระดับสัญญาณที่ใช้ในระบบบัส DALI

ข้อมูลในระบบบัส DALI จะมีอัตราการส่งข้อมูลที่ประมาณ 1200 บิต/วินาที โดยข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นเฟรมซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ [4]

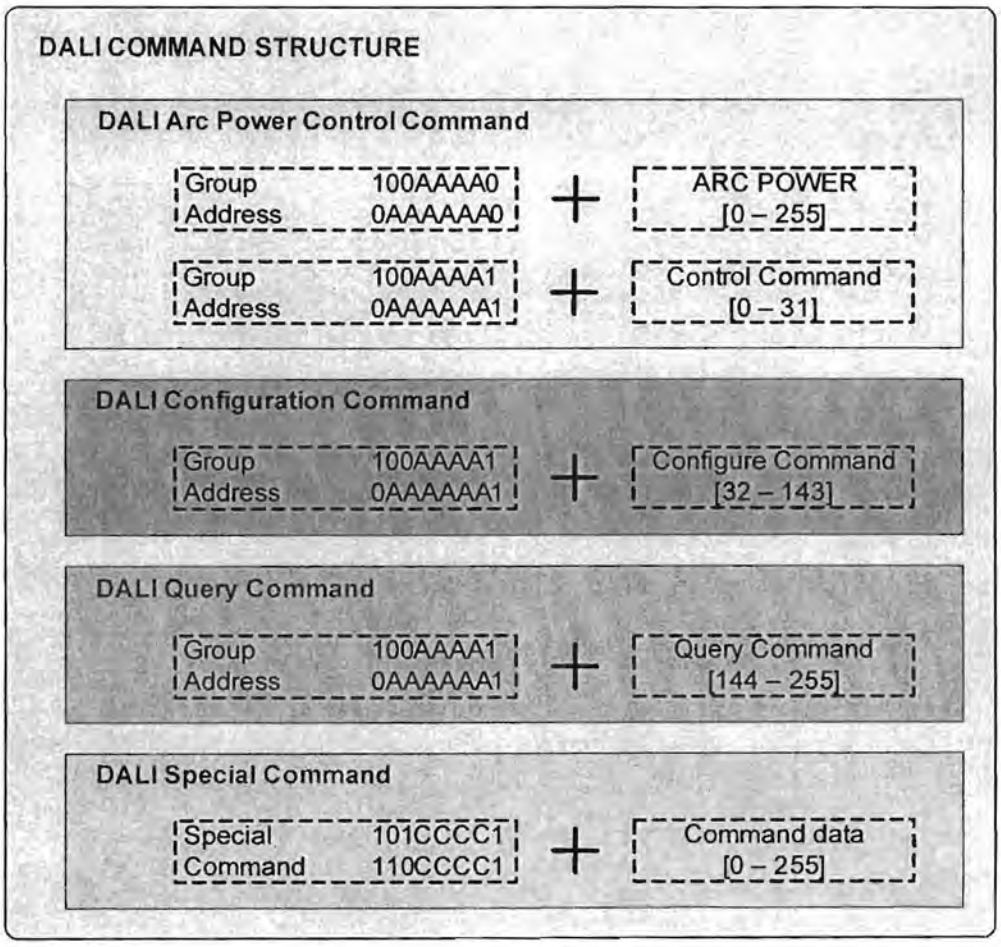
- ข้อมูลที่ส่งจากตัวควบคุมไปยังบัลลาสต์ในระบบ (FORWARD FRAME) มีความยาว 19 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้นจำนวน 1 บิต ตามด้วยคำสั่ง DALI จำนวน 16 บิต และปิดท้ายอีก 2 บิต
- ข้อมูลที่ส่งจากบัลลาสต์กลับมายังตัวควบคุม (BACKWARD FRAME) มีความยาว 11 บิต ประกอบด้วย บิตเริ่มต้นจำนวน 1 บิต ตามด้วยข้อมูลตอบรับ DALI 8 บิต และบิตปิดท้าย 2 บิต ดัง รูป 2-3



รูป 2-3 สัญญาณข้อมูลในบัส DALI

2.3 ข้อมูลคำสั่งในระบบ DALI

คำสั่งต่างๆในระบบ DALI แบ่งย่อยออกเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในรูป 2-4 แต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังนี้



รูป 2-4 โครงสร้างของชุดคำสั่งในระบบ DALI

2.3.1 คำสั่งควบคุมระดับความสว่าง (Arc Power Control Command)

คำสั่งในกลุ่มนี้จะถูกส่งไปยังบัลลาสต์เพื่อปรับความสว่างของหลอดไฟ โดยสามารถเลือกปรับเป็นบางตัวหรือเป็นกลุ่มหรือปรับทุกตัวในระบบได้ ข้อมูลของชุดคำสั่งนี้ประกอบด้วยข้อมูลหมายเลขที่อยู่ของบัลลาสต์ (Address) สำหรับกรณีต้องการสั่งเฉพาะตัวที่ต้องการมีค่าเริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 63 (6 บิต) หรือหากต้องการสั่งเป็นกลุ่ม (Group) ซึ่งจะมีกลุ่มตั้งแต่ 0 ถึง 15 (4 บิต) ซึ่งจะอยู่ใน 8 บิตแรก ตามด้วยส่วนของระดับความสว่างที่ต้องการซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 คือสว่างน้อยสุด ไปจนถึง 255 คือสว่างมากที่สุด หรืออาจตามด้วยคำสั่งเกี่ยวกับความสว่างอย่างอื่นเช่น คำสั่งเพิ่มลดความสว่าง คำสั่งดับไฟ คำสั่งความสว่างสูงสุดต่ำสุดเป็นต้น

2.3.2 คำสั่งสำหรับตั้งค่า (Configuration command)

คำสั่งในกลุ่มนี้ลักษณะของคำสั่งที่ส่งออกไปจะมีความพิเศษเพิ่มขึ้นจากกลุ่มแรก โดยจะต้องมีการส่งคำสั่งเดิมซ้ำสองครั้งภายในช่วงเวลา 100 มิลลิวินาที บัลลาสต์จึงจะมีการตอบสนองต่อคำสั่งนี้ โครงสร้างของคำสั่งในกลุ่มนี้จะประกอบด้วยหมายเลขที่อยู่ของบัลลาสต์ หรือหมายเลขกลุ่ม ซึ่งจะอยู่ใน 8 บิตแรก และตามด้วยรหัสคำสั่งซึ่งมีค่าตั้งแต่ 32 ถึง 143 ซึ่งคำสั่งในกลุ่มนี้ ได้แก่ คำสั่งรีเซ็ตบัลลาสต์ คำสั่งตั้งค่าความสว่างสูงสุดต่ำสุด ค่าความสว่างขณะที่เปิด ค่าความสว่างในขณะที่ระบบไม่ทำงาน คำสั่งตั้งค่าโหมดความสว่างที่ตั้งไว้ล่วงหน้า (Scene) เป็นต้น

2.3.3 คำสั่งสำหรับตรวจสอบค่า (Query command)

คำสั่งในกลุ่มนี้จะถูกใช้เพื่อร้องขอข้อมูลหรือการตอบรับจากบัลลาสต์ในระบบซึ่งบัลลาสต์จะมีการตอบสนองมาภายใน 9.1 มิลลิวินาที ในรูปแบบของข้อมูลตอบรับ (Backward frame) ขนาด 8 บิต โครงสร้างของคำสั่งกลุ่มนี้จะประกอบด้วยหมายเลขที่อยู่ของบัลลาสต์ หรือหมายเลขกลุ่ม ซึ่งจะอยู่ใน 8 บิตแรก และตามด้วยรหัสคำสั่งซึ่งมีค่าตั้งแต่ 144 ถึง 255 คำสั่งในกลุ่มนี้ได้แก่ คำสั่งตรวจสอบสถานะหรือข้อมูลทั่วไปของบัลลาสต์ คำสั่งตรวจสอบการตั้งค่าความสว่างสูงสุดต่ำสุด ค่าความสว่างเมื่อเปิด ค่าความสว่างในโหมดความสว่างของบัลลาสต์ (Scene) เป็นต้น

2.3.4 คำสั่งพิเศษ (Special command)

เป็นคำสั่งเฉพาะซึ่งจะถูกใช้ในการตั้งค่าระบบบัส DALI คำสั่งจะถูกส่งไปยังบัลลาสต์ทุกตัวในระบบโดยไม่ระบุกลุ่มหรือหมายเลขที่อยู่ คำสั่งในกลุ่มนี้ได้แก่ คำสั่งเริ่มต้นและสิ้นสุดการตั้งค่าระบบ คำสั่งสุ่มรหัสที่อยู่ค้นหา คำสั่งดาวโหลดค่า DTR คำสั่งเปรียบเทียบรหัสที่อยู่ค้นหา คำสั่งถอนบัลลาสต์ออกจากการค้นหา เป็นต้น

บทที่ 3

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบ DALI

ต้นแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้น มีแผนผังโครงสร้างดังแสดงในรูป 3-1 ซึ่งสามารถแบ่งเป็นส่วนย่อยตามการทำงานได้ดังนี้

ก. ไอซีบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์

ไอซีบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์ IR21592 [5] ควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยสร้างสัญญาณความถี่ไปควบคุมการเปิดและปิดเกตของ Half bridge ในภาค Output ทำให้เกิดแรงดันไฟสลับความถี่สูงไปยังหลอด เพื่อใช้ในการอุ่นไส้หลอด และจุดติดหลอดไฟ รวมถึงการควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟตามที่ตั้งไว้

ข. หน่วยประมวลผลกลาง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต PIC16F648 [6] ทำหน้าที่รับข้อมูลจากระบบบัส DALI แล้วทำการถอดรหัสข้อมูลที่ได้และสร้างสัญญาณขนาด 0.5 – 5 โวลต์ไปยังบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมความสว่างของหลอดไฟ รวมทั้งส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์และคอยตรวจสอบสถานะการทำงานของบัลลาสต์และหลอดไฟ ในกรณีที่หลอดเสียหรือมีการถอดหลอดออกจากขั้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งหยุดการทำงานของบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์และสั่งเริ่มการทำงานใหม่เองเมื่อหลอดไฟกลับสู่สภาพปกติ

ค. วงจรภาคขาออก (Output Stage)

เป็นวงจรอินเวิร์ตเตอร์ชนิด Half Bridge ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟตรง 400 V เป็นแรงดันไฟสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายไปยังหลอดฟลูออเรสเซนต์

ง. วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

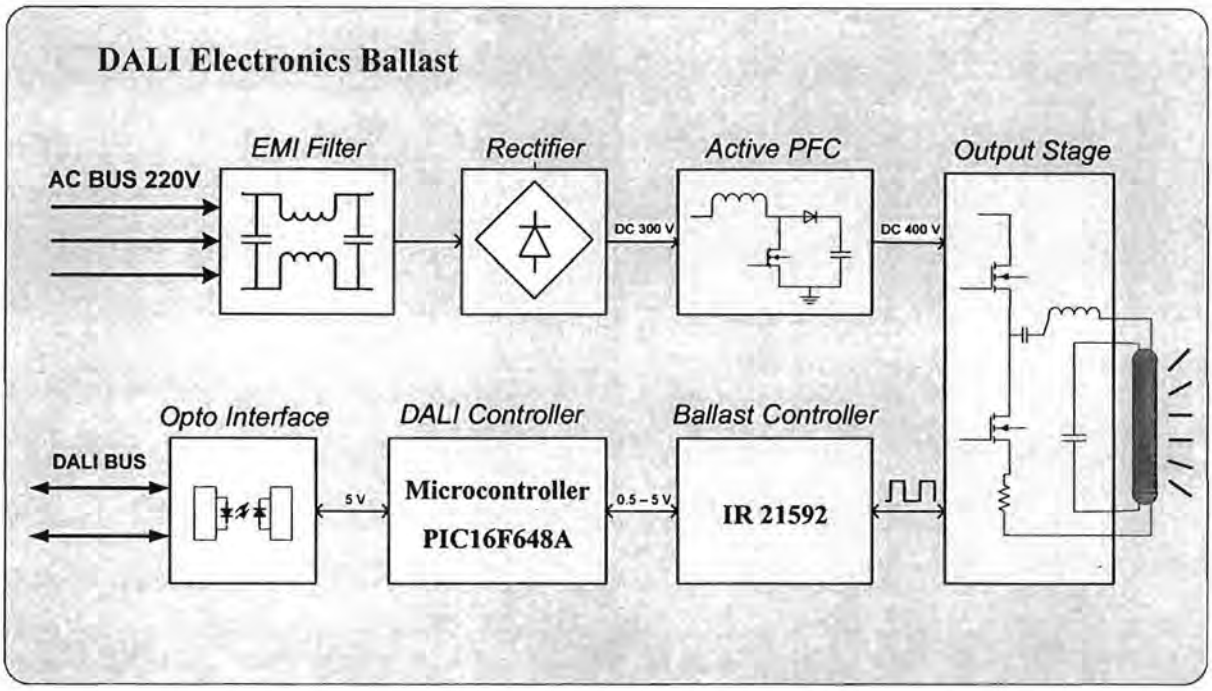
ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรงขนาด 300 โวลต์เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

จ. **วงจรแก้ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Corrector, PFC)**

ทำหน้าที่ปรับแก้ค่าตัวประกอบกำลังของบัลลาสต์ในขณะทำงาน โดยจะชดเชยค่าตัวประกอบกำลังให้มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด

ฉ. **วงจรติดต่อบัสแบบใช้แสง (Opto Interface)**

ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันของสัญญาณที่ใช้ในบัส DALI กับสัญญาณที่ดิจิตอลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนั้นยังใช้ในการป้องกันปัญหาการต่อกราวด์ร่วมกันของอุปกรณ์ในบัส DALI

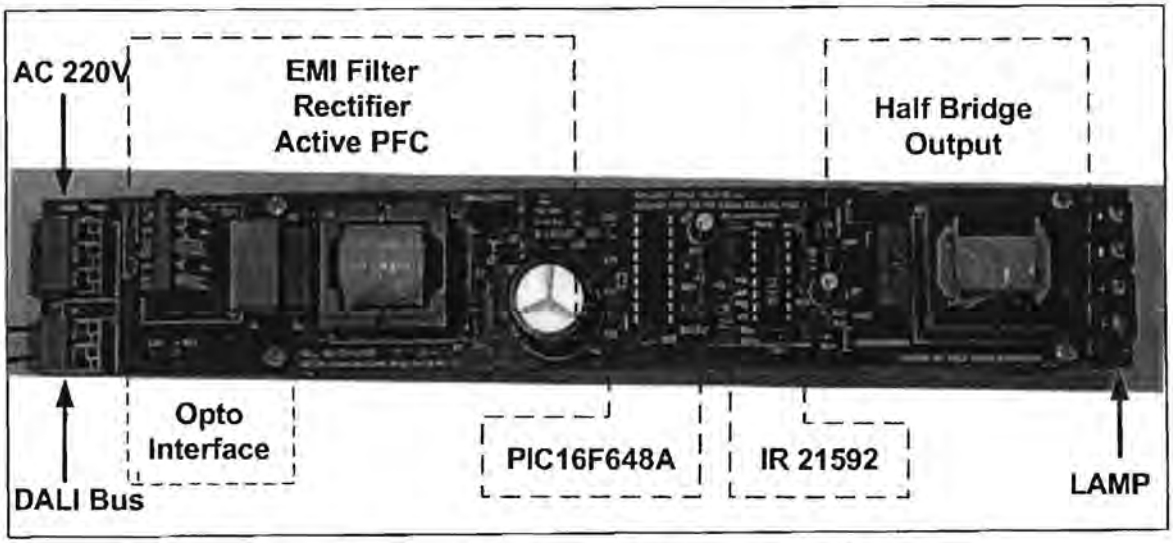


รูป 3-1 โครงสร้างการทำงานของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่รองรับระบบบัส DALI

3.1 ฟังก์ชั่นการทำงานของบัลลาสต์ DALI

- รองรับคำสั่งควบคุมความสว่างแบบต่างๆจากอุปกรณ์ควบคุมตามมาตรฐาน IEC 60929 [4] เช่น รองรับคำสั่งปรับความสว่างตามระดับความสว่างที่ได้รับมา รองรับคำสั่งเพิ่มหรือลดระดับความสว่าง รองรับคำสั่งแบบกลุ่ม รองรับคำสั่งระดับความสว่างตามฉากที่ตั้งไว้ เป็นต้น
- รองรับคำสั่งดึงข้อมูล (Query) การทำงานจากตัวบัลลาสต์ เช่น รายงานสถานะการทำงานของบัลลาสต์ ระดับความสว่างปัจจุบัน ค่าความสว่างที่ตั้งไว้ในแต่ละฉาก เป็นต้น

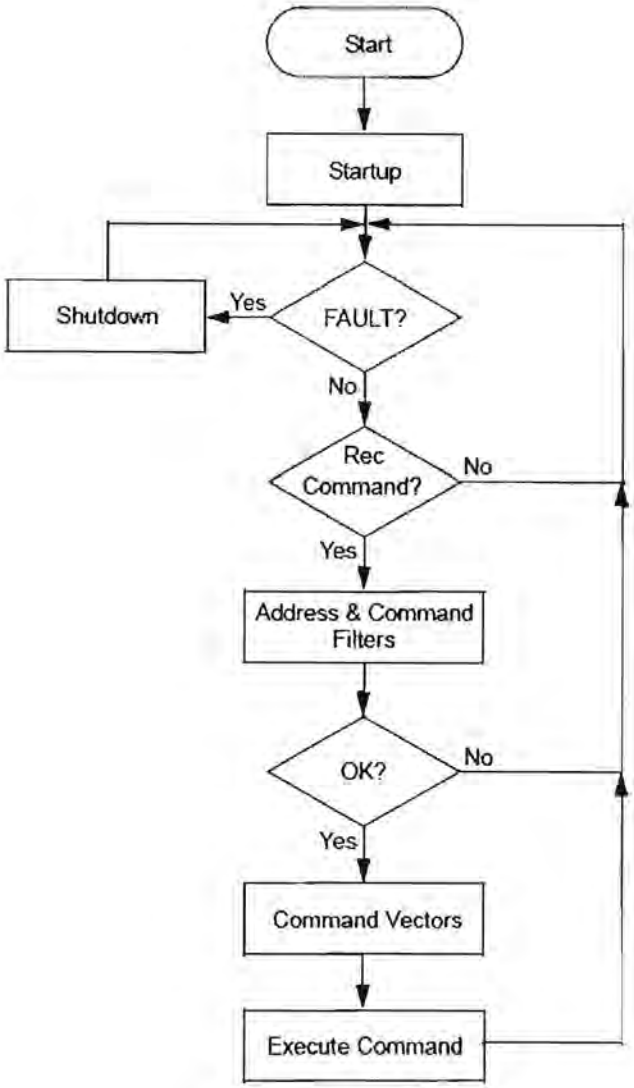
- รองรับคำสั่งการตั้งค่าควบคุมเช่น การกำหนดกลุ่ม การตั้งค่าความสว่างของฉาก การตั้งค่าความสว่างสูงสุดและต่ำสุดของบัลลาสต์ เป็นต้น



รูป 3-2 ภาพบัลลาสต์ DALI ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น

3.2 การทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

เริ่มต้นจากกำหนดค่าเริ่มต้นให้แก่พอร์ตอินพุตเอาท์พุตและโมดูลภายในที่ต้องการใช้งาน จากนั้นจะคอยตรวจสอบสัญญาณจากบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์ และขั้วหลอดไฟหากพบความผิดปกติเช่นบัลลาสต์ไม่ทำงาน หรือหลอดไฟถูกปลดออกจากขั้ว โปรแกรมจะสั่งหยุดการทำงานของบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์จนกว่าสัญญาณที่มีความผิดปกติจะกลับสู่สภาวะปกติ จากนั้นจะเริ่มการทำงานของบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์ใหม่อีกครั้ง หากมีการส่งคำสั่งเข้ามาจากระบบบัส DALI ข้อมูลคำสั่งที่เข้ามาจะถูกกรองส่วนของรหัสที่อยู่และส่วนของคำสั่งออกจากกัน เพื่อตรวจสอบว่าเป็นคำสั่งที่ส่งไปยังหมายเลขที่อยู่หรือกลุ่มของตนเองหรือไม่หากไม่ใช่ก็จะมีมีการตอบสนองต่อคำสั่งนั้น หากเป็นคำสั่งที่ส่งไปยังหมายเลขที่อยู่หรือกลุ่มของตนบัลลาสต์จะทำการแปลคำสั่งที่ส่งมาเพื่อไปดำเนินการปรับการควบคุมความสว่าง หรือเปลี่ยนแปลงค่าการตั้งค่าในหน่วยความจำตามที่ได้รับคำสั่งมา เมื่อดำเนินการตามคำสั่งที่ได้รับมาเสร็จก็จะวนกลับไปตรวจสอบสถานะการทำงานของบัลลาสต์อีกครั้ง

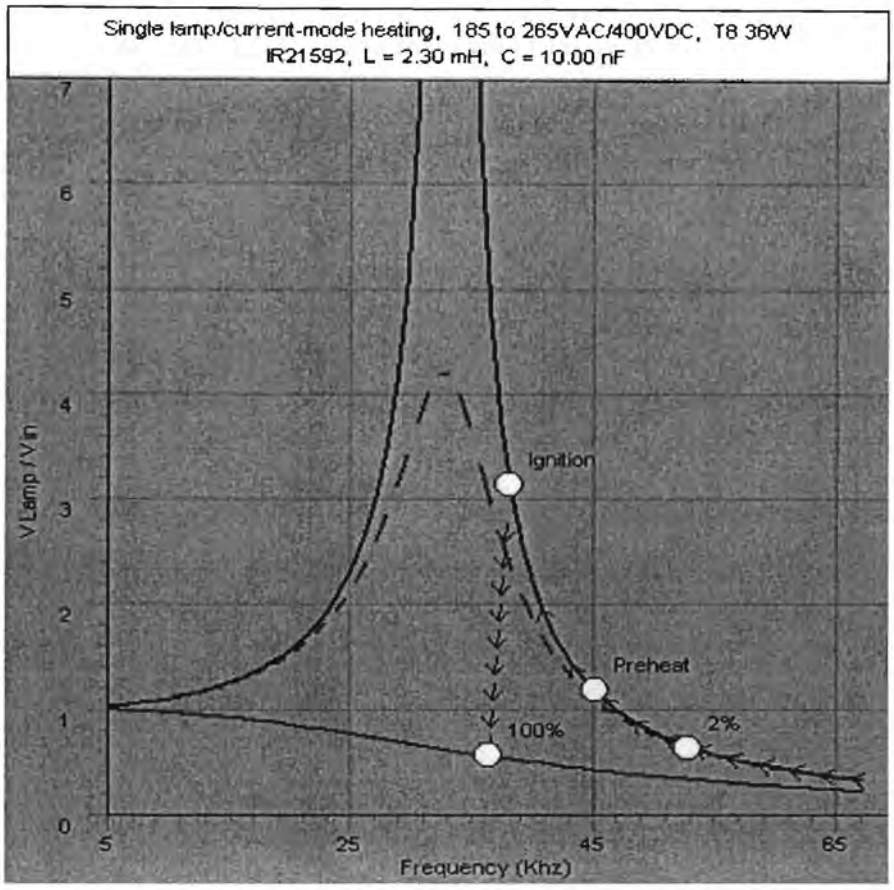


รูป 3-3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 การทดสอบการทำงานของบัลลาสต์

ขั้นตอนการออกแบบวงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ได้มีการจำลองผลการทำงานของบัลลาสต์เบื้องต้น โดยใช้โปรแกรม Ballast Designer ของบริษัท International Rectifier โปรแกรมสามารถจำลองผลการทำงานของบัลลาสต์ที่ใช้ไอซีบัลลาสต์คอนโทรลเลอร์ได้ ซึ่งเราจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้สำหรับบัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละขนาดและดูผลการทำงานเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์และปรับแก้ก่อนทำการทดลองจริง โดยผลการจำลองและผลการทดสอบการทำงานจริงของบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละขนาดเป็นดังข้อมูลต่อไปนี้

3.3.1 ผลการทดสอบบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36 วัตต์

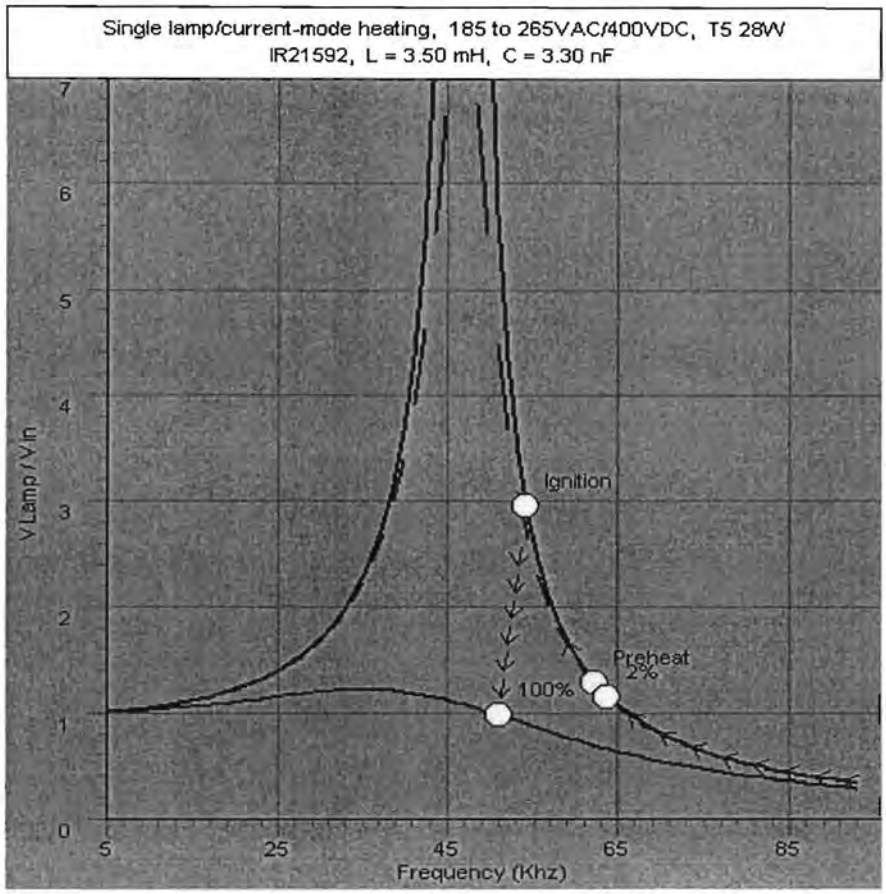


รูป 3-4 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T8 ขนาด 36 วัตต์

ตารางที่ 3-1 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T8 ขนาด 36 วัตต์

% ความสว่าง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	ความถี่ (KHz)
100	36	0.98	39
80	27	0.97	46
50	20	0.96	49
10	8	0.85	52
0	6	0.81	55

3.3.2 ผลการทดสอบบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 28 วัตต์

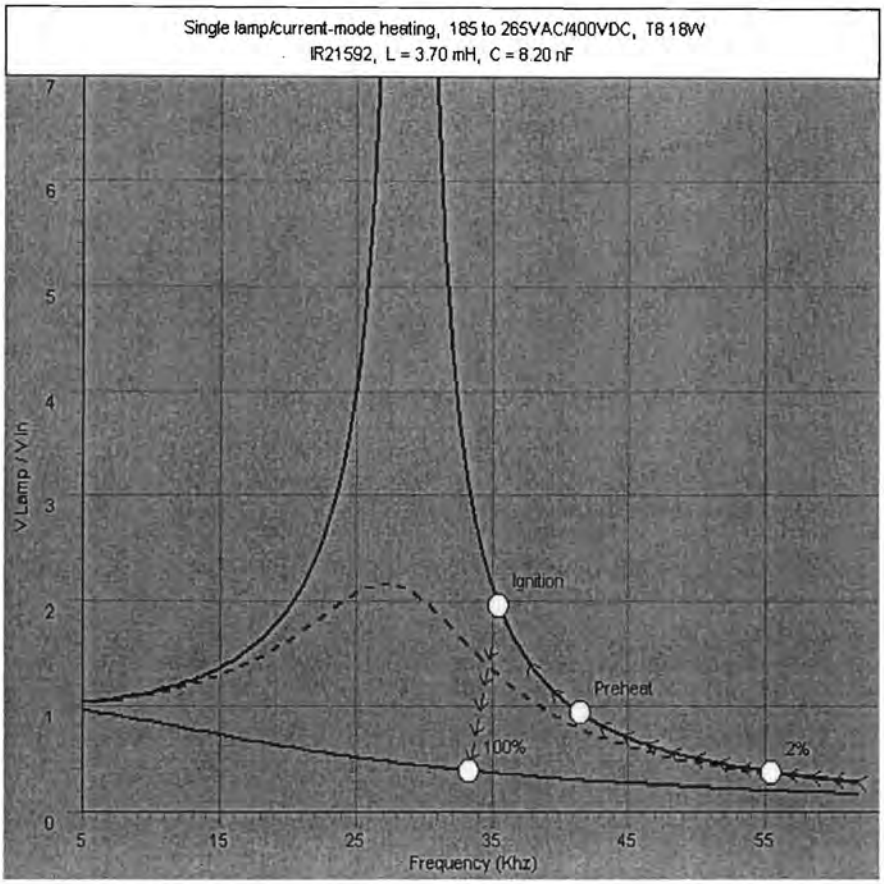


รูป 3-5 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T5 ขนาด 28 วัตต์

ตารางที่ 3-2 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T5 ขนาด 28 วัตต์

% ความสว่าง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	ความถี่ (KHz)
100	29	0.98	61
80	27	0.97	62
50	23	0.96	63
10	13	0.92	64
0	12	0.92	67

3.3.3 ผลการทดสอบบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 18 วัตต์

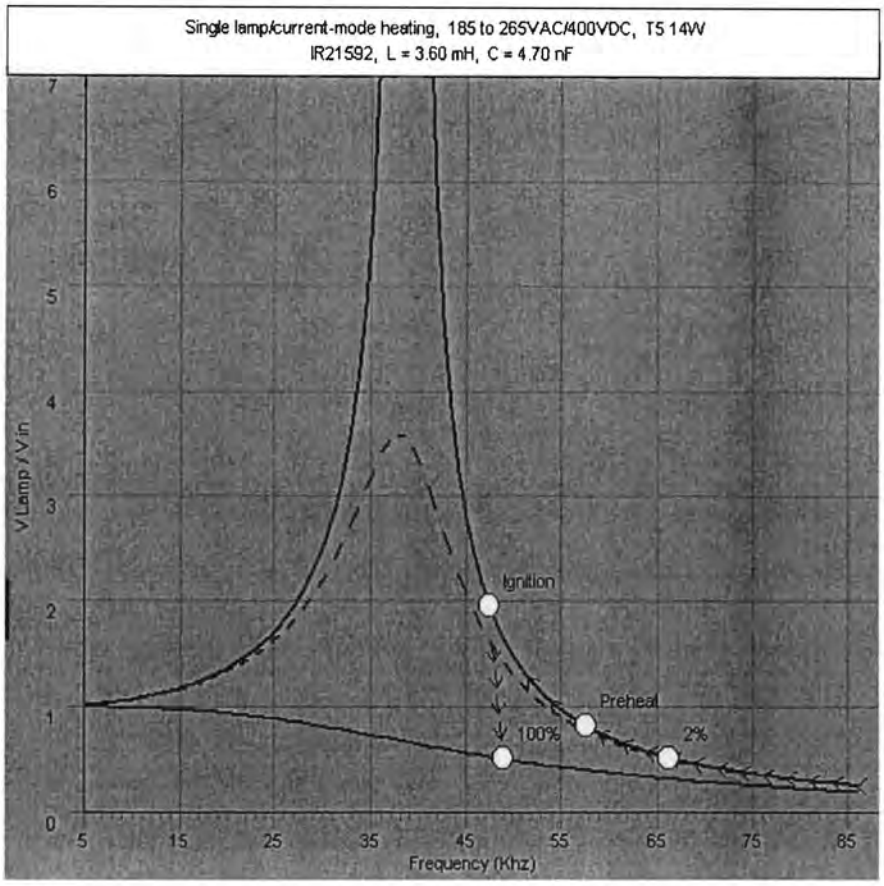


รูป 3-6 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T8 ขนาด 18 วัตต์

ตารางที่ 3-3 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T8 ขนาด 18 วัตต์

% ความสว่าง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	ความถี่ (KHz)
100	15	0.94	42
80	12	0.92	51
50	10	0.89	58
10	8	0.86	66
0	-	-	-

3.3.4 ผลการทดสอบบัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ขนาด 14 วัตต์



รูป 3-7 กราฟจำลองสถานการณ์ทำงานของบัลลาสต์ T5 ขนาด 14 วัตต์

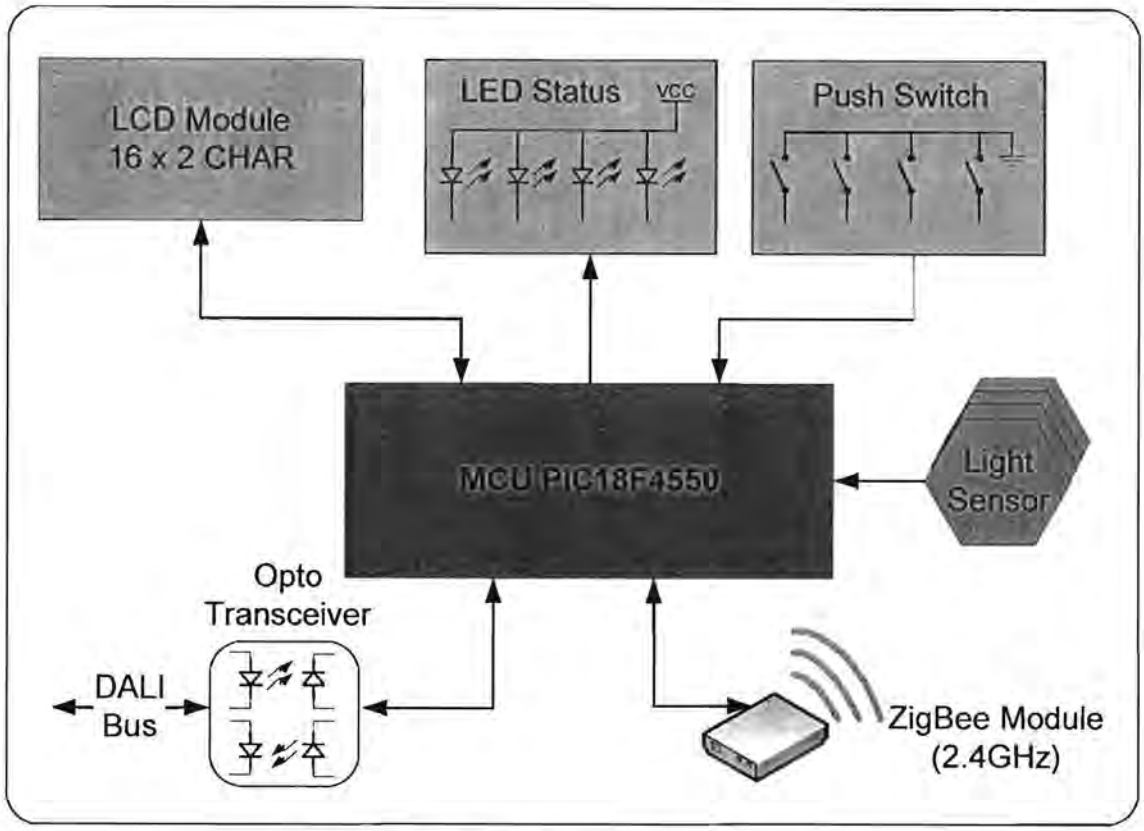
ตารางที่ 3-4 แสดงการทดสอบบัลลาสต์ DALI ที่สร้างขึ้นสำหรับหลอด T5 ขนาด 14 วัตต์

% ความสว่าง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ตัวประกอบกำลัง	ความถี่ (KHz)
100	14	0.94	47
80	12	0.88	50
50	8.7	0.96	49
10	7.5	0.85	52
0	6	0.81	55

บทที่ 4

หน่วยควบคุม DALI

โครงสร้างของหน่วยควบคุม DALI ที่พัฒนาขึ้น ใน*รูป 4-1 โครงสร้างภายในของ*ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลหลักเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต PIC18F4550 ทำงานที่ความเร็ว 48 MHz มีหน่วยความจำประเภทแฟลชขนาด 16 KB และมีแรมขนาด 2 KB [7] มีวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลความละเอียด 12 bit สามารถติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างได้สูงสุด 4 จุด โดยสามารถวัดความสว่างของได้ในช่วง 0 ถึง 1000 ลักซ์ (Lux) ผ่านตัวตรวจวัด (Sensor) EL7900ILCZ Ambient Light Photo Detect IC [8] มีปุ่มกด (Push Switch) จำนวน 4 ปุ่ม สำหรับรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้ในการตั้งค่าความสว่างและการทำงานของเครื่อง หลอด LED จำนวน 4 หลอด สำหรับแสดงสถานะการทำงาน จอแสดงผล LCD ชนิดตัวอักษรขนาด 16 x 2 สำหรับแสดงข้อมูลการทำงานและใช้ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ สามารถเชื่อมต่อกับ Zigbee Module เพื่อรองรับการส่งคำสั่งควบคุมระยะไกลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านการสื่อสารแบบไร้สาย โดยใช้คลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz ตามโปรโตคอล Zigbee (IEEE 802.15.4) มีการเชื่อมต่อกับบัส DALI โดยผ่านวงจรสื่อสารแบบใช้แสง Opto Transceiver



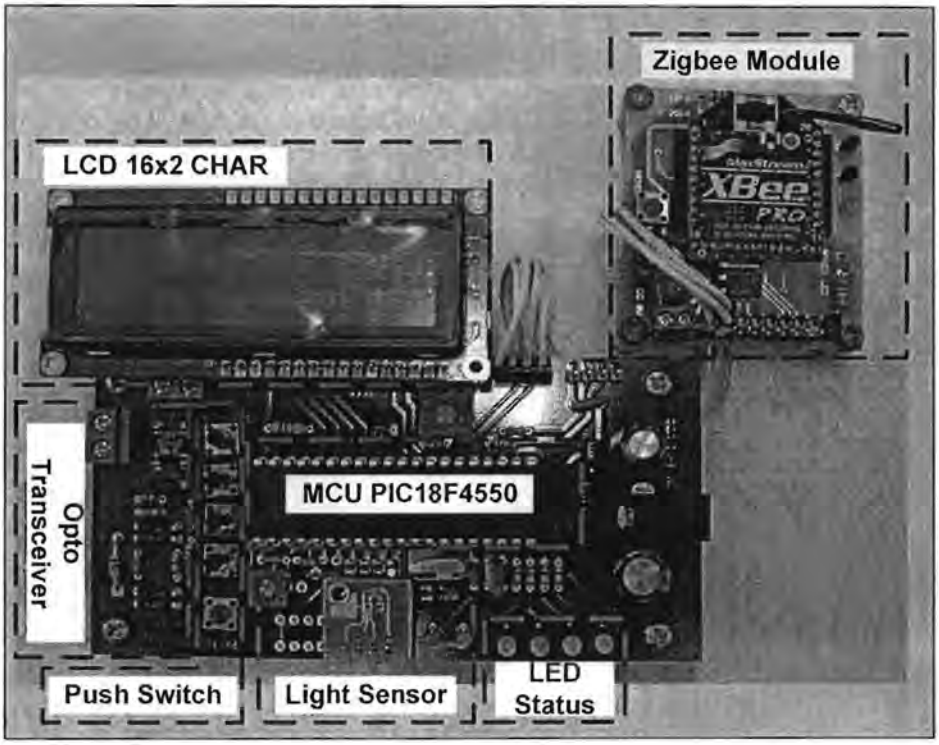
รูป 4-1 โครงสร้างภายในของหน่วยควบคุม DALI

4.1 ฟังก์ชันการทำงานของหน่วยควบคุม DALI

หน่วยควบคุม DALI จะทำงานได้ในโหมดตัวควบคุม ซึ่งรับคำสั่งควบคุมความสว่างของหลอดไฟจากปุ่มกดบนตัวอุปกรณ์ควบคุมเองหรือสามารถรับคำสั่งควบคุมจากระยะไกลโดยผ่านคลื่นวิทยุแบบไร้สายความถี่ 2.4 GHz ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถส่งคำสั่งควบคุมจากเครื่องคอมพิวเตอร์มายังอุปกรณ์ควบคุมได้แม้ไม่ได้อยู่ในบริเวณห้องนั้น นอกจากการทำงานในโหมดตัวควบคุมแล้วอุปกรณ์ยังสามารถตั้งโปรแกรมให้ทำการควบคุมความสว่างของหลอดไฟแต่ละดวงในห้องแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งในโหมดนี้อุปกรณ์จะทำงานโดยอาศัยการรับค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดความสว่างที่ติดตั้งอยู่ตามจุดสำคัญต่างๆในบริเวณห้องเพื่อนำค่าความสว่างที่ได้มาทำการประมวลผลและส่งคำสั่งควบคุมเพื่อปรับเปลี่ยนความสว่างของหลอดไฟเพื่อให้ได้แสงสว่างตามที่ตั้งไว้

การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมในระบบ DALI สามารถเลือกตั้งค่าให้มีการควบคุมแบบแยกหลอดไฟแต่ละดวงหรือเลือกควบคุมแบบเป็นกลุ่มของหลอดไฟได้ ทำให้สามารถปรับใช้กับพื้นที่ใช้งานได้หลากหลายทั้งพื้นที่ขนาดใหญ่ซึ่งมีหลอดไฟจำนวนมากและต้องการใช้งานพร้อมๆกันหรือจะเป็นพื้นที่ซึ่งถูกแบ่งเป็นสัดส่วนและมีการใช้งานแสงสว่างเพียงบางจุดของพื้นที่เท่านั้น

หน่วยควบคุม DALI จะมีจอ LCD และหลอด LED ซึ่งใช้ในการแสดงสถานการณ์ทำงานของตัวเครื่องรวมทั้งแสดงเมนูโต้ตอบเพื่อรับคำสั่งจากผู้ใช้โดยผ่านทางปุ่มกดบนตัวเครื่อง การควบคุมผ่านปุ่มกดบนตัวเครื่องสามารถสั่งควบคุมเพิ่มหรือลดความสว่างของหลอดไฟได้ทั้งแบบเป็นกลุ่มและแบบระบุหลอดไฟได้



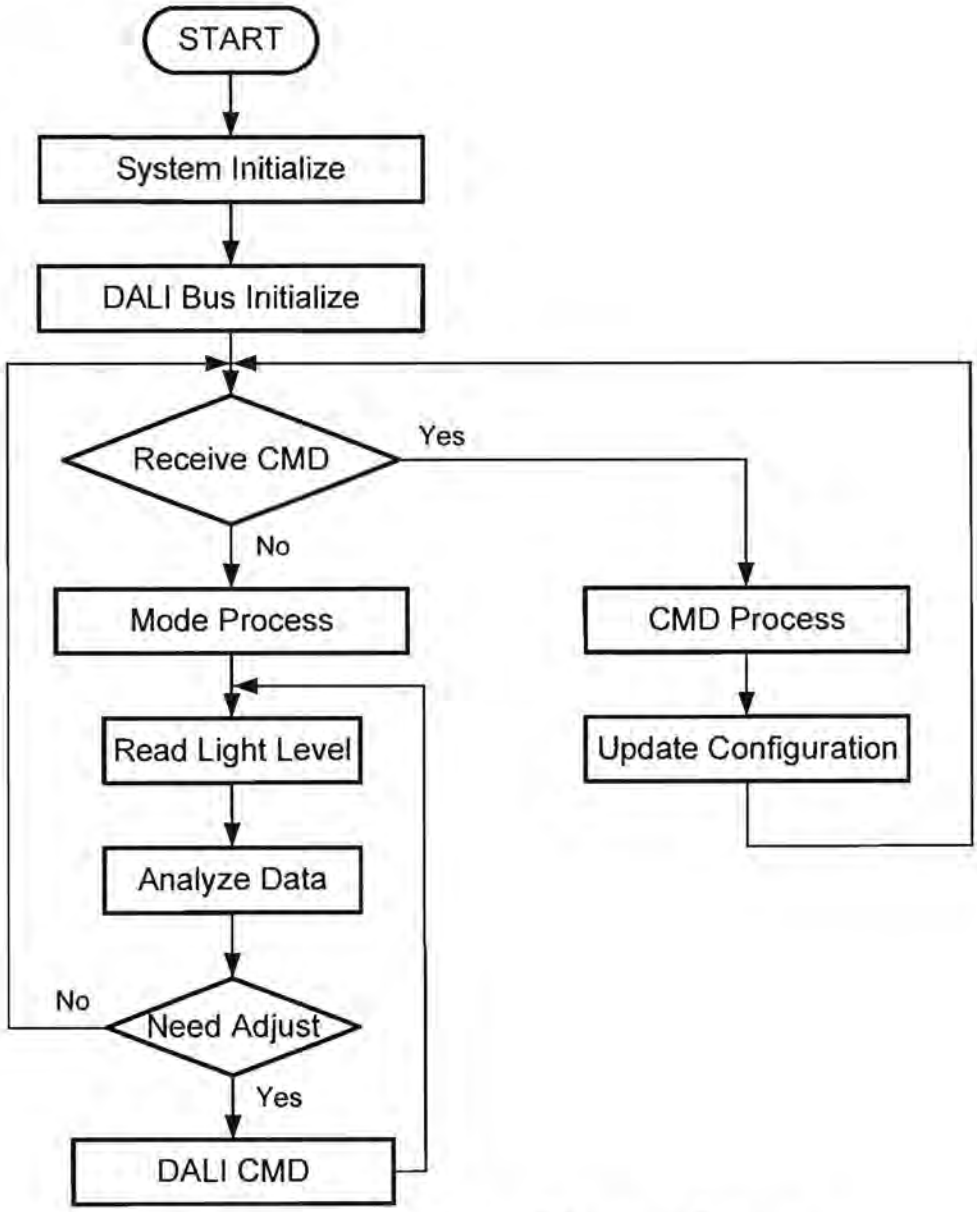
รูป 4-2 หน่วยควบคุม DALI และอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่าง

4.2 โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์บนหน่วยควบคุม DALI

มีฟังก์ชั่นการทำงานดังรูป 4-3 โดยเมื่อเปิดเครื่องจะทำการตั้งค่าอุปกรณ์และโมดูลที่เชื่อมต่ออยู่ จากนั้นจะส่งคำสั่งเพื่อเริ่มต้นการควบคุมอุปกรณ์ในระบบ DALI โดยจะมีลำดับการทำงานดังต่อไปนี้

- ตัวควบคุมจะส่งคำสั่ง Initialize ไปยังอุปกรณ์ทุกตัวที่อยู่ในระบบบัส
- จากนั้นตัวควบคุมจะเริ่มส่งหมายเลข Address ตั้งแต่ 0x000000 ถึง 0xFFFFFF และคำสั่ง Compare Address เพื่อตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ตัวใดอยู่ในระบบบ้าง
- เมื่อพบอุปกรณ์ตัวควบคุมจะส่งค่า Short Address ไปยังอุปกรณ์เพื่อใช้เป็นหมายเลขประจำอุปกรณ์นั้นสำหรับการควบคุมใช้งานต่อไป
- เมื่อการเสร็จกระบวนการค้นหาอุปกรณ์ ตัวควบคุมจะส่งคำสั่ง Terminate เพื่อจบการกระบวนการค้นหา และเข้าสู่การโหมดการทำงานปกติต่อไป

จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่ามีคำสั่งจากผู้ใช้หรือไม่ หากพบคำสั่งจากผู้ใช้ โปรแกรมจะไปทำงานตามคำสั่งที่ได้รับมา หากไม่พบคำสั่งจากผู้ใช้ โปรแกรมจะทำงานในโหมดที่ติดไว้ โดยในระหว่างการทำงานโปรแกรมจะอ่านค่าความสว่างจากเซนเซอร์วัดความสว่างที่ติดตั้งไว้ทุกๆช่วงเวลาประมาณ 1 วินาที และหากโปรแกรมทำงานอยู่ในโหมดควบคุมความสว่างอัตโนมัติ โปรแกรมจะทำการประมวลผลความสว่างที่อ่านได้จากเซนเซอร์เพื่อส่งคำสั่งควบคุมไปยังหลอดไฟเพื่อปรับความสว่างในบริเวณต่างๆตามที่ได้ตั้งค่าไว้ล่วงหน้า

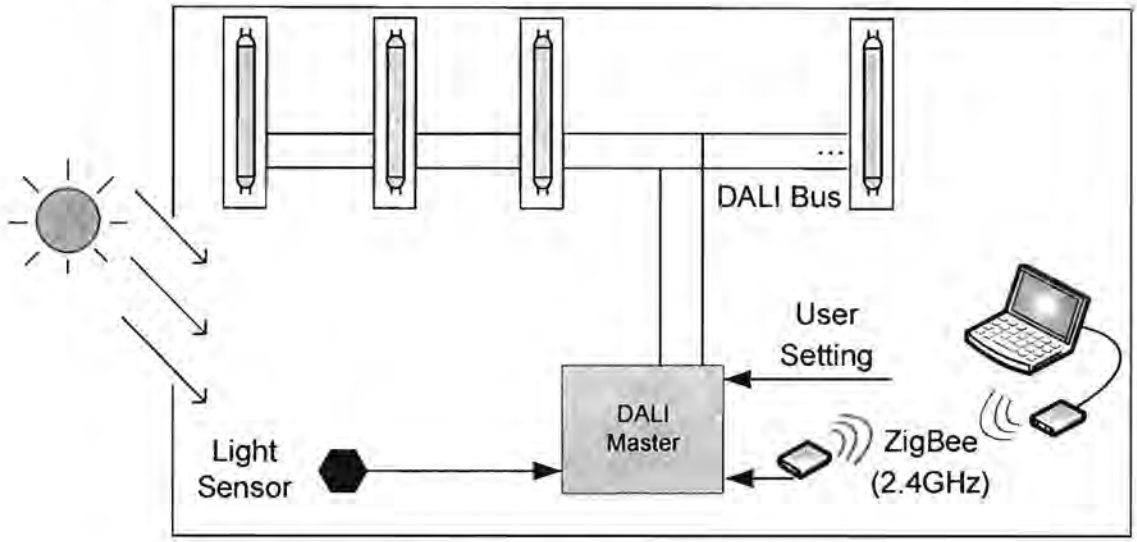


รูป 4-3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมบนตัวควบคุม

บทที่ 5

การทดลองระบบ

5.1 ระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI



รูป 5-1 ภาพโครงสร้างระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่าง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างที่มีโครงสร้างดังรูป 5-1 ซึ่งแสดงการทำงานร่วมกันของระบบแสงสว่างภายในห้องและแสงสว่างจากธรรมชาติโดยมีหน่วยควบคุม DALI คอยรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างและส่งคำสั่งไปควบคุมความสว่างของหลอดไฟเพื่อปรับปริมาณความสว่างบริเวณนั้นให้เหมาะสมกับการใช้งาน ระบบนี้ยังสามารถติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านคลื่นวิทยุไร้สายแบบซิกบี (Zigbee) ความถี่ 2.4 กิ๊กกะเฮิร์ทซ์ เพื่อสั่งควบคุมการทำงานของหลอดไฟจากบริเวณอื่น

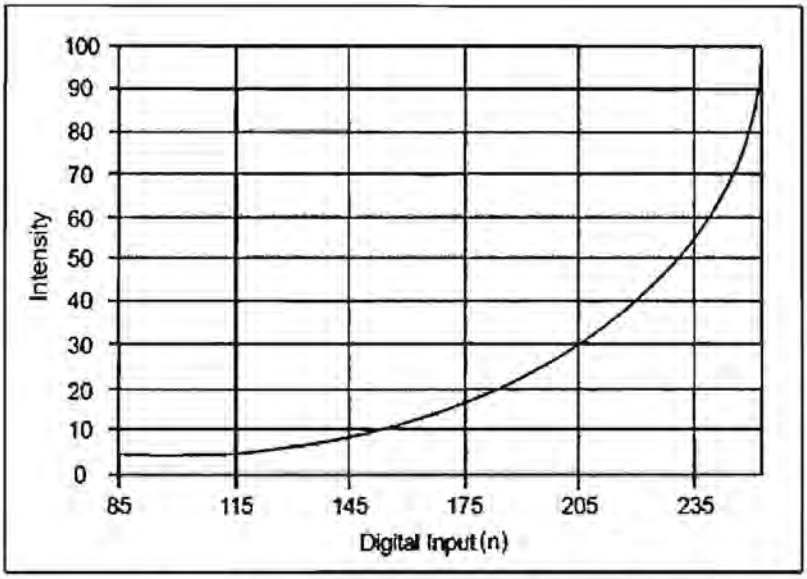
ระบบนี้จะใช้ความสามารถในการจัดกลุ่มของระบบ DALI เข้ามาช่วยในการควบคุมความสว่างในแต่ละบริเวณของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งทำให้สามารถตั้งค่าการควบคุมความสว่างในแต่ละพื้นที่ได้แตกต่างกันและเหมาะสมกับความต้องการแสงสว่างในบริเวณนั้นๆ

ระดับแสงสว่างในระบบ DALI สามารถเลือกตั้งค่าได้ 256 ระดับ แต่ละระดับจะมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างเป็นแบบลอการิทึม ดังกราฟในรูป 5-2 ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\% \text{ ความเข้มแสง} = 10^{\frac{n-1}{253/3}-1}$$

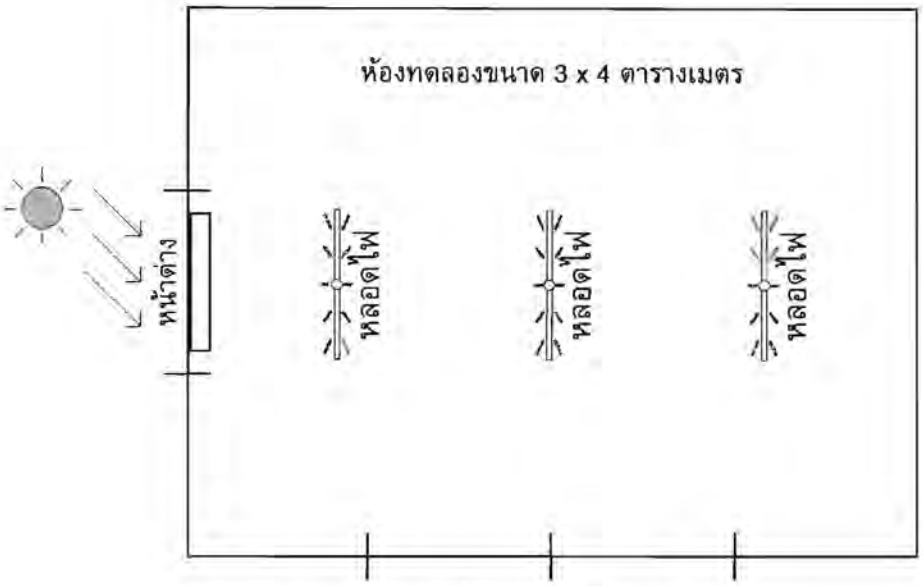
โดย n เป็นค่าระดับความสว่าง

สาเหตุที่ต้องมีการเปลี่ยนระดับความสว่างเช่นนี้เพื่อให้เหมาะสมกับธรรมชาติของสายตามนุษย์ที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในช่วงที่มีแสงสว่างน้อยได้ดีกว่าช่วงที่มีแสงสว่างมาก ซึ่งทำให้ผู้ใช้รู้สึกถึงความต่อเนื่องเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสว่างของหลอดไฟในระบบ



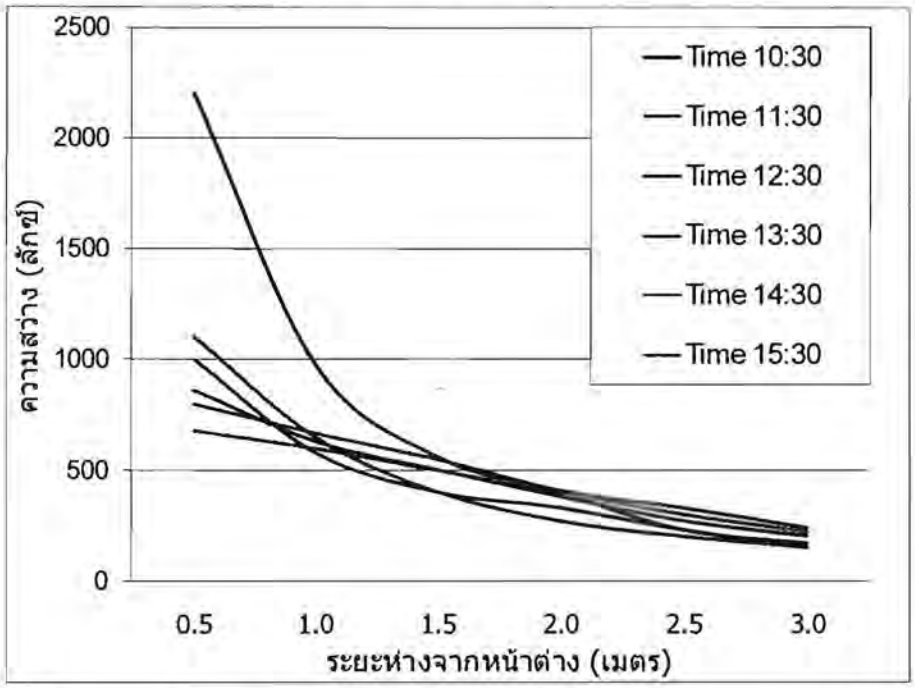
รูป 5-2 กราฟความเข้มแสงในแต่ละระดับความสว่าง [3]

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองวัดปริมาณความสว่างซึ่งเกิดจากแสงสว่างจากธรรมชาติซึ่งส่องเข้ามาภายในห้องทดลองขนาด 3 x 4 ตารางเมตร ดังรูป 5-3 ผ่านทางหน้าต่างของห้องซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันออก ในช่วงเวลา 10.00 – 16.00 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้งานระบบแสงสว่างอยู่เป็นประจำ โดยช่วงที่ทำการทดลองนั้นเป็นช่วงฤดูหนาวและลักษณะของแสงสว่างที่ส่องเข้ามาไม่แน่นอนขึ้นกับสภาพอากาศในแต่ละวัน จึงมีการแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของความสว่างที่ระยะต่างๆจากขอบหน้าต่างโดยแบ่งตามช่วงเวลาดังรูป 5-4



หมายเหตุ *หน้าต่างขนาด 70 x 120 cm^2
*หลอดไฟเป็นแบบโคมคู่

รูป 5-3 แผนผังจำลองแสดงลักษณะของห้องตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง



รูป 5-4 กราฟความสว่างภายในห้องทดลองโดยแบ่งตามช่วงระยะเวลาของวัน

เมื่อพิจารณาความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติตามการผลการทดลองจะพบว่าในช่วงเวลาระหว่างวันเราสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างลงได้โดยนำระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างในงานวิจัยนี้มาใช้ โดยหากต้องการใช้ความสว่างเฉลี่ยภายในห้องมีค่าสูงกว่า 500 ลักซ์ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 – 16 .00 ใน 1 วัน เราสามารถประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบแสงสว่างภายในห้องทดลองนี้ได้ตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 5-1 ประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในช่วงเวลา 10.00-16.00

ชนิดของหลอดไฟ	10.00-11.00 (Watt)	11.00-12.00 (Watt)	12.00-13.00 (Watt)	13.00-14.00 (Watt)	14.00-15.00 (Watt)	15.00-16.00 (Watt)	รวม (Watt)
T8 (ธรรมดา)	252	252	252	252	252	252	1512
T8 Dali	96	136	136	110	110	110	698
T5 Dali	110	136	136	126	126	126	760

จากตารางการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 10.00-16.00 พบว่าเราสามารถลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างลงได้ประมาณ 50-55 % โดยอาศัยแสงสว่างจากธรรมชาติเป็นตัวช่วย นอกจากนั้นหากพื้นที่ทดลองมีปริมาณหน้าต่างหรือขนาดของหน้าต่างที่เพิ่มขึ้น ก็สามารถช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่างจากธรรมชาติได้อีกทาง ซึ่งจะทำให้ระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างลงได้อีก

นอกจากการใช้งานในห้องปกติตามตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว ระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างยังสามารถนำไปใช้กับห้องสถานที่อื่นๆ ทั้งห้องประชุม โรงยิม ลานจอดรถ หรือใช้ในห้องพักของโรงแรมได้ เนื่องจากความยืดหยุ่นได้ของระบบ DALI ที่นำมาใช้เมื่อทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดความสว่างทำให้สามารถควบคุมความสว่างในแต่ละบริเวณให้มีค่าแตกต่างกันหรือเท่ากันได้ตามความต้องการในแต่ละบริเวณและช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนที่เกินความจำเป็นลงได้โดยอัตโนมัติ

บทที่ 6

สรุปงานวิจัย

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแสงสว่างราคาถูกที่ให้ความสว่างสูงและประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าหลอดชนิดเผาไส้มาก หลอดชนิดนี้จึงได้รับความนิยมสูง แต่หลอดชนิดนี้ต้องมีบัลลาสต์สำหรับจุดหลอดและปรับขนาดแรงดันคร่อมหลอดให้เหมาะสม ปัจจุบันบัลลาสต์ที่ใช้ทั่วไปเป็นชนิดแกนเหล็กซึ่งมีกำลังสูญเสียในตัวเองมากถึง 10% ของกำลังงานที่หลอดใช้ไป จึงมีผู้ผลิตบัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกำลังสูญเสียลดลงเหลือเพียง 1% อย่างไรก็ดีในกรณีที่สถานที่ติดตั้งหลอดมีความสว่างจากที่อื่นอยู่แล้วหรือหลอดนั้นสว่างเกินความต้องการ ทั้งบัลลาสต์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าวไม่สามารถหรี่หรือลดกำลังงานที่ใช้ให้เหมาะสมได้ ทำให้บริเวณนั้นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเกินความจำเป็น

โครงการวิจัยได้พัฒนาบัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สายสัญญาณดิจิตอลสำหรับกำหนดความสว่างหรือกำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ตั้งแต่ 1 – 100% โดยใช้โปรโตคอล DALI ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้ในยุโรป นอกจากนี้ยังพัฒนาหน่วยควบคุมที่เป็นศูนย์สั่งการไปยังบัลลาสต์ต่างๆ ได้มากที่สุด 64 ตัว นอกจากผู้ใช้จะสามารถกำหนดความสว่างของหลอดแต่ละดวงได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เนตแล้ว หน่วยควบคุมจะมีตัววัดแสงจากภายนอก เช่น แสงสว่างที่เข้าทางหน้าต่าง เพื่อนำข้อมูลมาลดความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้มากที่สุด ซึ่งอาจลดพลังงานไฟฟ้าได้อีกถึง 50%

6.1 สรุปและเสนอแนะการวิจัยในขั้นต่อไป

ก) โครงการวิจัยนี้เจาะจงเฉพาะบัลลาสสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์เท่านั้น ปัจจุบันหลอดแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงยังมีอีกหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ หลอด LED ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในต่างประเทศ ดังนั้นการพัฒนาบัลลาสต์สำหรับหรี่หลอด LED จึงเป็นงานวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไปได้

ข) โครงการวิจัยนี้เจาะจงวิธีการควบคุมตามโปรโตคอล DALI ซึ่งต้องใช้สายสัญญาณเพิ่มขึ้นอีก 2 เส้น ทำให้เหมาะกับอาคารบ้านเรือนที่เพิ่งเริ่มสร้างใหม่ แต่ไม่เหมาะกับสถานที่ที่มีอยู่แล้ว การพัฒนาวิธีควบคุมบัลลาสต์แบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุโดยใช้โปรโตคอล Zigbee หรือใช้การส่งคำสั่งผ่านสายไฟฟ้าร (Power Line Communication) จึงเป็นงานวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไปได้

6.2 ประโยชน์ในการประยุกต์ของผลงานวิจัยที่ได้

ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์กับสถานที่ที่ยังไม่ได้ก่อสร้างได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถเดินสายสัญญาณเพื่อติดตั้งระบบควบคุมแสงสว่างได้อย่างประหยัดเงินลงทุนแต่ประหยัดการใช้พลังงานได้

ในด้านเศรษฐศาสตร์ ต้นแบบบัลลาสส DALI ที่พัฒนาขึ้นจะมีต้นทุนเฉพาะวัสดุอยู่ที่ 700 บาท/ตัว รายละเอียดอุปกรณ์พร้อมราคาที่ใช้ในบัลลาสต์และหน่วยควบคุมจะแสดงอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 6-1 ต้นทุนบัลลาสต์แบบต่างๆ

ต้นแบบบัลลาสต์ DALI	700	บาท
บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป (รวมสตาร์ทเตอร์)	150	บาท
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ไม่มี PFC)	250 - 300	บาท
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (มี PFC)	400 - 500	บาท
บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหรี่ไฟได้	600 - 700	บาท

ตารางที่ 6-1 แสดงการเปรียบเทียบราคาของบัลลาสต์ DALI ที่พัฒนาขึ้น บัลลาสต์แบบอื่นที่มีขายในท้องตลาด

เมื่อพิจารณาการนำบัลลาสต์ DALI มาใช้งานจริงในห้องซึ่งมีแสงสว่างจากภายนอกในช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 50% โดยมีอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยยูนิตละ 3 บาท บัลลาสต์ DALI จะมีระยะเวลาคุ้มทุนที่ 3 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กทั่วไป และเมื่อเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดไม่มี PFC จะมีระยะเวลาคุ้มทุนที่ 3 ปี 10 เดือน

บรรณานุกรม

(Bibliography)

เอกสารอ้างอิง

[1] วัชระ มั่งวิทิตกุล, 2544, คู่มือการประหยัดพลังงานในสถานที่ทำงาน, พิมพ์ครั้งที่ 3

[2] DALI [Online] Available from: http://www.dali-ag.org/ [2009]

[3] IEC 62386-101, Digital addressable lighting interface - Part 101:General requirements- System, First Edition, 2009

[4] IEC 60929, AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements, Third Edition, 2006

[5] International Rectifier, IR21592 Dimming Ballast Control IC, Datasheet, 2005.

[6] Microchip Technology Inc. PIC16F648A Datasheet, 2009

[7] Microchip Technology Inc. PIC18F4550 Datasheet, 2007

[8] Intersil, EL7900 Ambient Light Photo Detect Datasheet, 2007

[9] MaxStream Inc, Xbee / Xbee-Pro OEM RF Modules Manual, 2006

ภาคผนวก

(Appendix)

ภาคผนวก ก.

รหัสเทียม (Pseudo Code) ของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

#DALI Ballast

```
main()
{
        Initialize_systemclock();
        Initialize_portIO();
        Initialize_timer();
        Initialize_comparator();
        Initialize_interrupt();
        while(1)
        {
                status = get_lamp_status();
                if(status==fault)
                        enter_sleepmode();
                else
                        if(receive_cmd==true)
                                receive = check_cmd();
                                if(receive==address)
                                        need_respond = compare_address();
                                        if(need_respond==true)
                                                command_vectors();
                                                execute_command();
                                        endif
                                endif
                        endif
                endif
```

```
        }
}
comparator_isr()
{
        do
                delay();
                getdata();
        until (dali_frame_complete)
        receive_cmd = true;
        isr_flag  = clear;
}
```

#Dali Master Unit

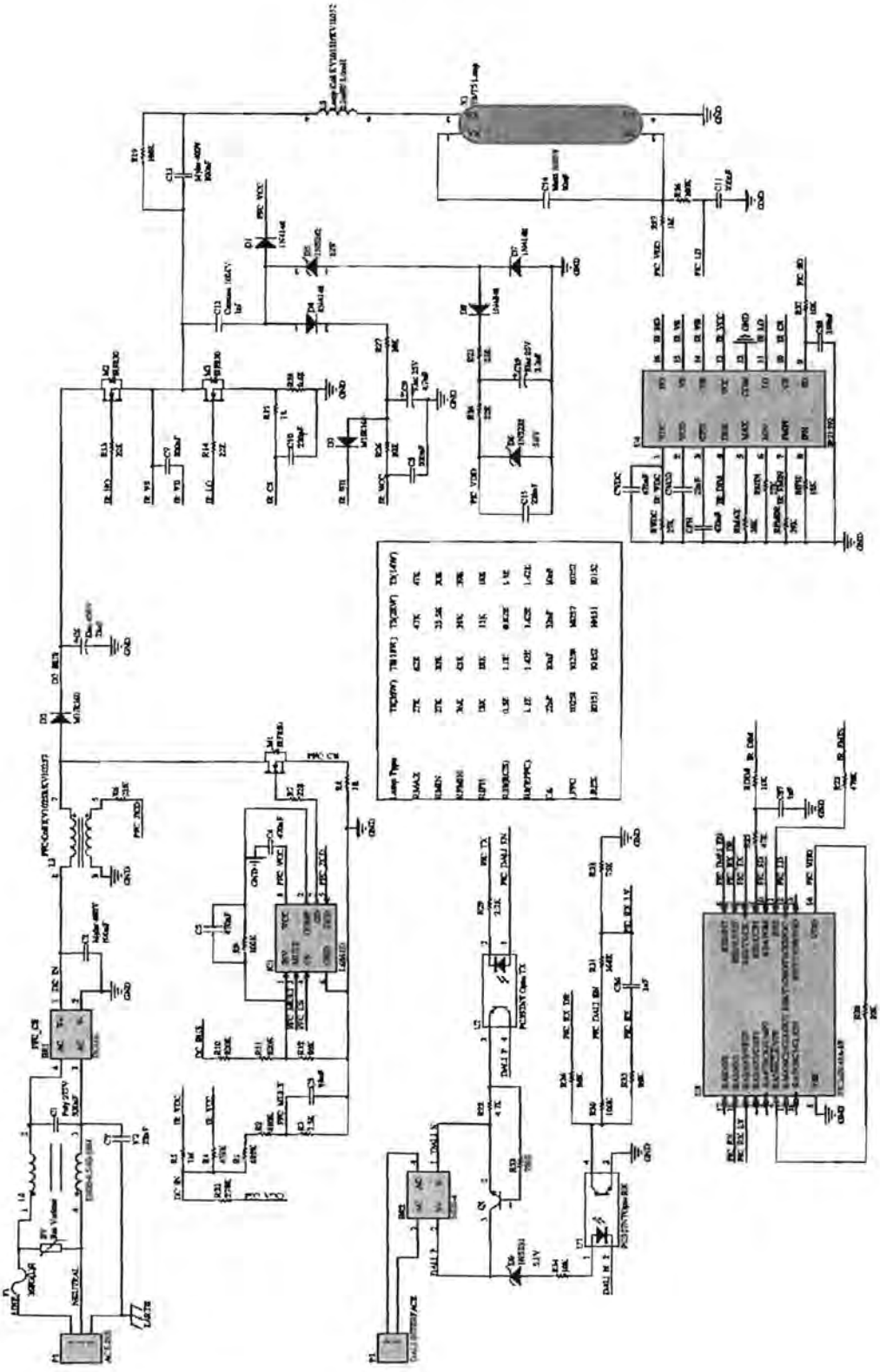
```
main()
{
        Initialize_systemclock();
        Initialize_portIO();
        Initialize_timer();
        Initialize_comparator();
        Initialize_adc();
        Initialize_uart();
        Initialize_lcd();
        Initialize_Interrupt();
        Initialize_dalibus();
        while(1)
        {
                if(receive_cmd==true)
                        command_decode();
                        command_execute();
                        update_display();
                        update_variable();
                        update_mode();
                else
                        mode_process();
                        update_display();
                        do
                                read_light_sensor();
                                analyze_data();
```

```
                    send_dali_cmd();
                until(need_adjust==fault);
            endif
        }
}
uart_isr()
{
        get_cmd();
        receive_cmd = true;
        isr_flag = clear;
}
port_isr()
{
        decode_input();
        receive_cmd = true;
        isr_flag = clear;
}
```

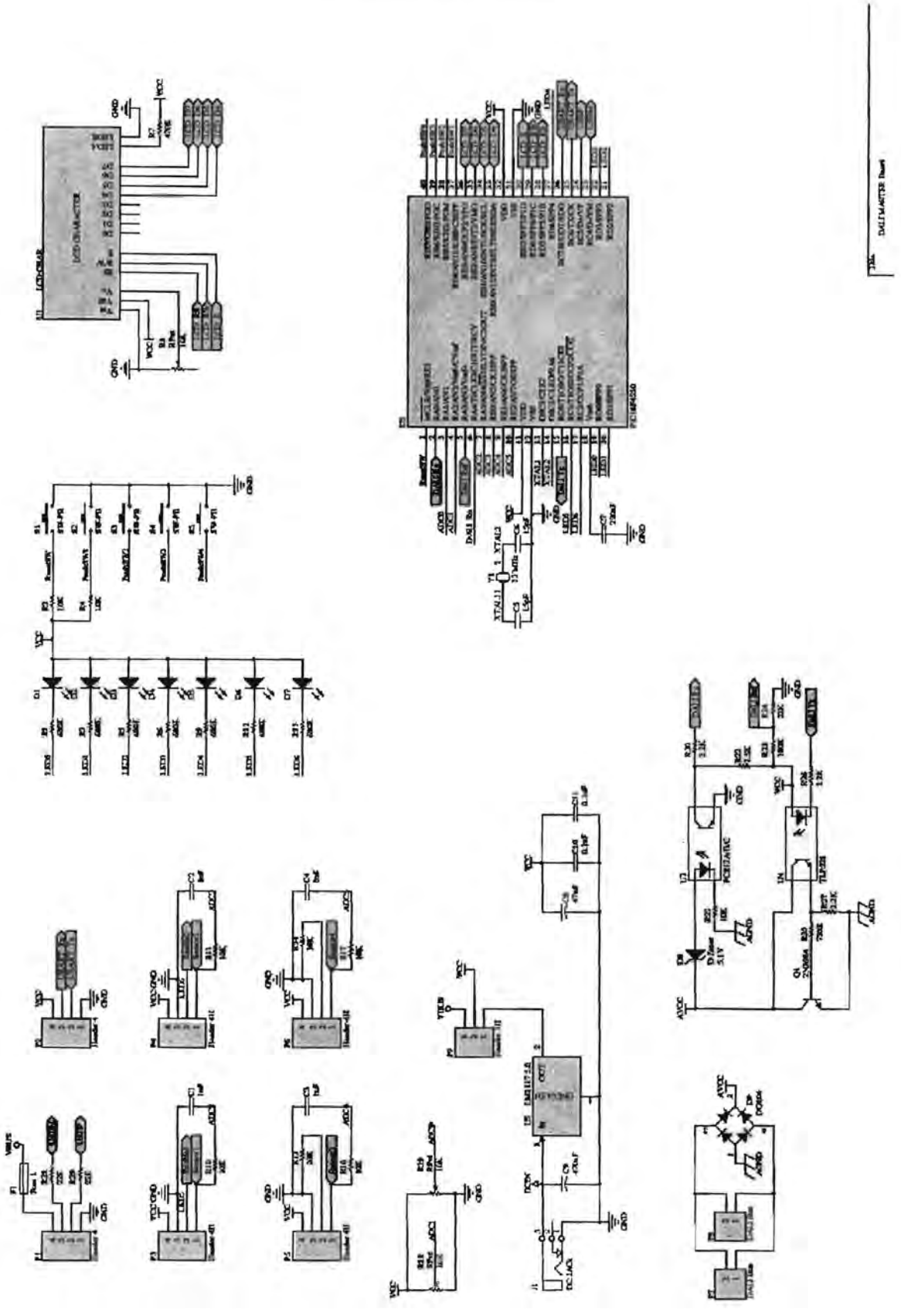
ภาคผนวก ข.

รูปวงจรและรายการอุปกรณ์ซึ่งออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้

วงจรบัลลาสต์ DALI



วงจรหน่วยควบคุม DALI



ตารางรายการอุปกรณ์สำหรับบัลลาสต์ DALI

Comment	Description	Designator	Quantity	Value	Price [฿/unit]	Cost [฿]
DG106	Diode Bridge	BR1	1	800V	5	5
MBS-4	Diode Bridge	BR2	1	400V	5	5
Poly 275V	Capacitor	C1	1	330nF	5	5
Mylar 400V	Capacitor	C2, C13	2	100nF	8	16
Ceramic	Capacitor	C3	1	10nF	1	1
Ceramic	Capacitor	C4, C5, CPH, CVDC	4	470nF	1	4
Elec 450V	Capacitor	C6	1	22uF	12	12
Ceramic	Capacitor	C7, C8, C11, C18	4	100nF	1	4
Elec 25V	Capacitor	C9	1	4.7uF	1	1
Ceramic	Capacitor	C10	1	220pF	1	1
Ceramic 1000V	Capacitor	C12	1	1nF	6	6
Multi 1600V	Capacitor	C14	1	10nF	4	4
Ceramic	Capacitor	C15	1	220nF	1	1
Ceramic	Capacitor	C16	1	1nF	1	1
Ceramic	Capacitor	C17	1	1uF	1	1
Elec 25V	Capacitor	C19	1	2.2uF	1	1
Ceramic	Capacitor	CVCO	1	22nF	1	1
Y2	Capacitor	CY	1	22nF	4	4
1N4148	Diode	D1, D7, D8	3		1	3
MUR160	Schottky Diode	D2, D3	2	600V	4	8
1N4148	Diode	D4	1		1	1
1N5242	Zener Diode	D5	1	12V	1	1
1N5232	Zener Diode	D6	1	5.6V	1	1
1N5231	Zener Diode	D9	1	5.1V	1	1
36FG(L)R	Fuse	F1	1		3	3
L6561D	Power Factor Corrector	IC1	1		45	45
EH20-0.5-02-18M	Transformer Choke Coil	L1	1		13	13
KV10258/257	Transformer	L2	1		45	45
KV10151/152	Inductor	L3	1	2.3mH/ 3.1mH	45	45

Comment	Description	Designator	Quantity	Value	Price [฿/unit]	Cost [฿]
IRF830	N-Channel Power MOSFET	M1, M2, M3	3		13	39
AC LINE	Terminal Box Spring 3 Pin	P1	1		8	8
DALI INTERFACE	Terminal Box Spring 2 Pin	P2	1		4	4
BJT NPN SMD	NPN Bipolar Transistor	Q1	1		1	1
1% 1/8Watt	Resistor	R1, R2	2	680K	1	2
1% 1/8Watt	Resistor	R3	1	7.5K	1	1
5% 1/4Watt	Resistor	R4	1	470K	1	1
5% 1/4Watt	Resistor	R5	1	1M	1	1
1% 1/8Watt	Resistor	R6	1	22K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R7, R13, R14, R21, R24	5	22E	1	5
1% 1/4Watt	Resistor	R8	1	1E	1	1
1% 1/8Watt	Resistor	R9	1	100K	1	1
1% 1/8Watt	Resistor	R10, R11	2	820K	1	2
1% 1/8Watt, 5% 1/8Watt	Resistor	R12, R34, R36, R37, RDIM	5	10K	1	5
5% 1/8Watt	Resistor	R15	1	1K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R16, R30	2	100K	1	2
5% 1/8Watt	Resistor	R17	1	1M	1	1
1% 1/4Watt	Resistor	R18	1	0.6E	1	1
5% 1/4Watt	Resistor	R19	1	100K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R20, R35	2	10K	1	2
5% 1/2Watt	Resistor	R22	1	270K	1	1
1% 1/8Watt	Resistor	R23	1	470K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R25	1	47K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R26, R27	2	10E	1	2
5% 1/8Watt	Resistor	R28	1	4.7K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R29	1	2.2K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R31	1	360K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R32	1	75K	1	1
5% 1/8Watt	Resistor	R33	1	750E	1	1

Comment	Description	Designator	Quantity	Value	Price [฿/unit]	Cost [฿]
1% 1/8Watt	Resistor	RFMIN	1	39K	1	1
1% 1/8Watt	Resistor	RIPH	1	18K	1	1
1% 1/8Watt	Resistor	RMAX	1	33K	1	1
1% 1/8Watt, 5% 1/8Watt	Resistor	RMIN, RVDC	2	27K	1	2
Res Varistor	Varistor	RV	1		4	4
PC357NTOpto	Phototransistor Optocoupler	U1, U2	2		6	12
PIC16F648A-I/P	8-Bit Microcontroller	U3	1		60	60
IR21592	Dimable Ballast Controller IC	U4	1		93	93
T8/T5 Lamp	Terminal Box 4 Pin	X1	1		7	7
PCB Board	Ballast PCB	-	1		190	190

ตารางรายการอุปกรณ์สำหรับหน่วยควบคุม DALI

Comment	Description	Designator	Quantity	Value	Price (฿/Unit)	Cost (฿)
Cap	Capacitor	C1, C2, C3, C4	4	1uF	1	4
Ceramic	Capacitor	C5, C6	2	15pF	1	2
Ceramic	Capacitor	C7	1	220nF	1	1
Cap2	Capacitor	C8	1	47uF	1	1
Cap2	Capacitor	C9	1	470uF	2	2
Cap	Capacitor	C10, C11	2	0.1uF	1	2
LED	LED	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7	7		1	7
D Zener	Zener Diode	D8	1	5.1V	1	1
DG104	Full Wave Diode Bridge	D9	1		4	4
Fuse 1	Fuse	F1	1		2	2
DC JACk		J1	1		4	4
Header 4	Header, 4-Pin	P1, P2	2		2	4
Header 4H	Header, 4-Pin,	P3, P4, P5, P6	4		2	8
DALI Bus	Header, 2-Pin	P7, P8	2		3	6
Header 3H	Header, 3-Pin,	P9	1		1	1
2N3904	NPN Transistor	Q1	1		1	1
Res1	Resistor	R1, R3, R5, R6, R9, R12, R15	7	680E	1	7
Res1	Resistor	R2, R13, R14, R21	4	10K	1	4
Res, Res1	Resistor	R4, R10, R11, R16, R17	5	10K	1	5
Res	Resistor	R7	1	470E	1	1
RPot	Potentiometer	R8, R18, R19	3	10K	1	3
Res1	Resistor	R20, R26, R27	3	2.2K	1	3
Res1	Resistor	R22	1	7.5K	1	1
Res1	Resistor	R23	1	100K	1	1
Res1	Resistor	R24	1	22K	1	1
Res1	Resistor	R25	1	750E	1	1
Res	Resistor	R28, R29	2	22E	1	2
SW-PB	Switch	S1, S2, S3, S4, S5	5		2	10
LCD CHAR	LCD 16x2 CHAR	U1	1		160	160

Comment	Description	Designator	Quantity	Value	Price (฿/Unit)	Cost (฿)
PIC18F4550	8 bits Microcontroller	U2	1		170	170
PC817C	4-Pin Phototransistor Optocoupler	U3, U4	2		6	12
LM1117 5.0	LOW DROPOUT REGULATOR	U5	1		19	19
12 MHz	Crystal Oscillator	Y1	1		5	5
EL7900ILCZ	Light sensor		4		30	120
PCB	PCB 2 Layer		1		400	400
Zigbee	Zigbee Module		2		1100	2200

ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เรื่อง "A Fluorescent Lighting Control System based on DALI protocol"

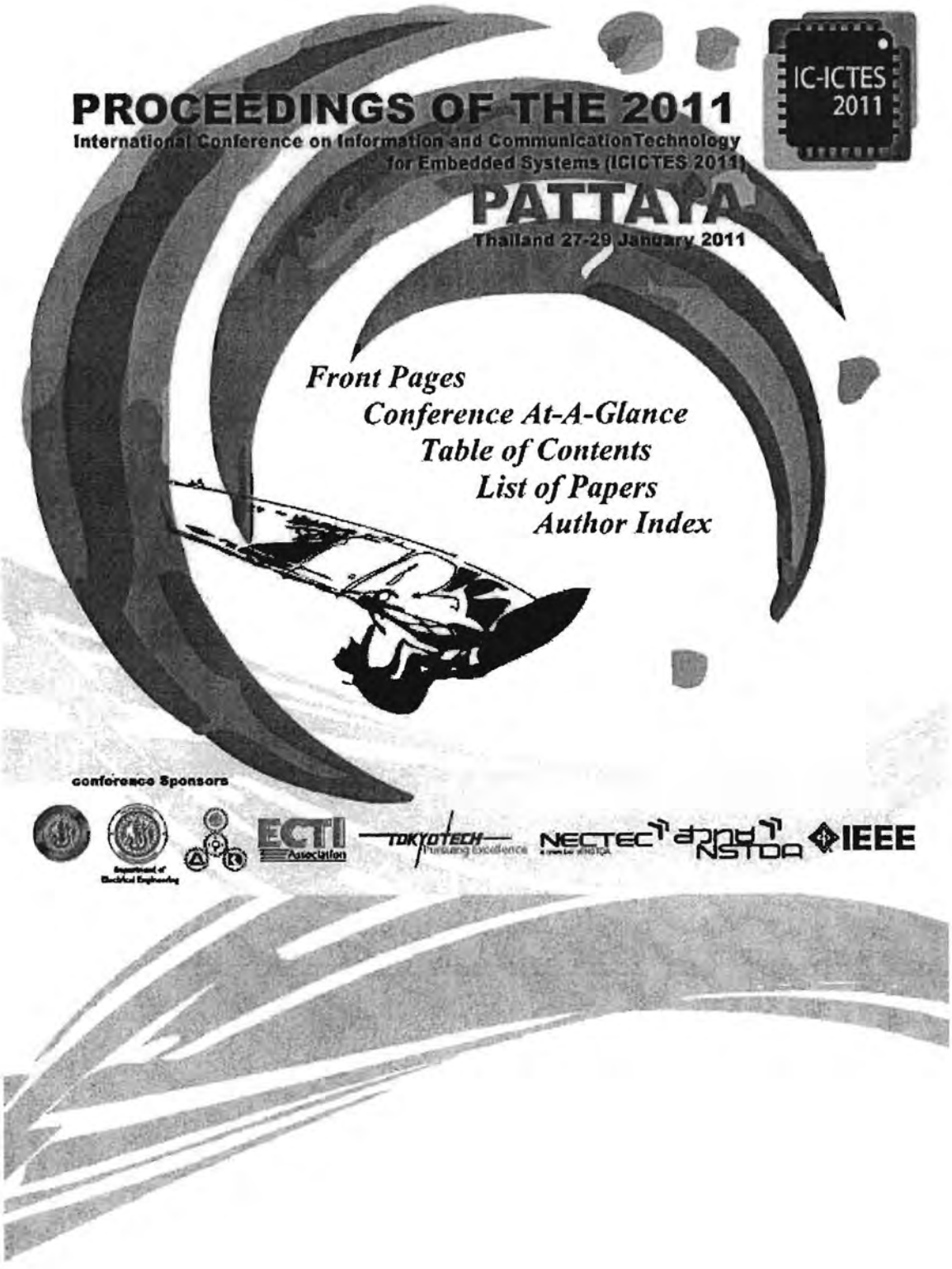
IC-ICTES 2011, Pattaya, Thailand 27-29 January 2011

เรื่อง "Energy Saving and Management, Home Automation"

ECTI-CARD 2011, AMARI DONMUANG BANGKOK Hotel Bangkok, THAILAND May 5-6, 2011

เรื่อง "A Smart Lighting Control System Using DALI Protocol "

รอการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


PROCEEDINGS OF THE 2011
International Conference on Information and CommunicationTechnology for Embedded Systems (ICICTES 2011)
PATTAYA
Thailand 27-29 January 2011
IC-ICTES 2011
Front Pages
Conference At-A-Glance
Table of Contents
List of Papers
Author Index
conference Sponsors
ECTI Association
TOKYOTECH Pursuing Excellence
NECTEC
NSTDA
IEEE

IC-ICTES 2011, Pattaya, Thailand 27-29 January 2011

A Fluorescent Lighting Control System based on DALI protocol

Sarawut Dechjarusyothin, Rawit Thiravirojana and Ekachai Leelarasmee
Electrical Engineering Department, Chulalongkorn University
459 Phaya-thai Road Patumwan, Bangkok 10330 Thailand
Email dech_01@hotmail.com, thiravirojana@hotmail.com, ekachai.l@chula.ac.th

***Abstract*— A set of hardware for dimming fluorescent lamps based on DALI protocol is developed. The system consists of several DALI electronic ballasts and a DALI master unit connected to a two wire digital data bus. Up to 64 ballasts can be addressed either individually or in one of 16 groups. Various 16 bits lighting control commands such as dimming, lamp configuration and query can be issued by the master to the ballasts. To facilitate ease of use and simplify the hardware, the master is designed to link with a personal computer via wireless Zigbee modules. Both DALI ballasts and master are developed with a low cost microcontroller. Such a system can be deployed to improve lighting environment as well as saving electrical energy.**

Keywords-DALI, Electronic Ballast, Lighting Control

I. INTRODUCTION

DALI [1] (Digital Addressable Lighting Interface) is a protocol for lighting control according to IEC Standard 60929. It is widely used in home automation and intelligent living to provide comfort and save energy [2]. With good flexibility, low cost and ease of implementation, DALI is used for light decoration in buildings and control of a large area.

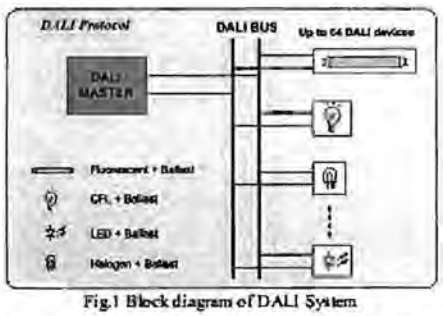


Fig.1 Block diagram of DALI System

A DALI system such as shown in Fig 1 consists of a DALI master and up to 64 DALI devices connected to a 2-wire DALI bus. Devices can be an LED, fluorescent lamp, halogen lamp, etc or any combination of them. A master can address each or a group of devices by sending a DALI command, where "1" represents a 9.5 to 22.5V and "0" represents -6.5 to 6.5V. DALI commands are 16 bits wide and have the format as shown in Fig.2 where A denotes an address. A DALI system can support up to 2^6 or 64 short addresses (devices) and up to 2^4 group addresses (group of devices). The commands can be divided into 4 groups. They are

- Arc power control for changing the intensity level.
- Configuration of the device.
- Query for getting the status or device configuration.
- Special to initialize process, arrange DALI bus system and etc.

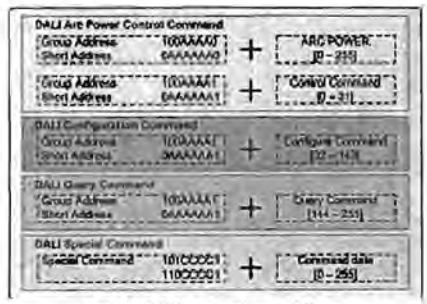


Fig.2 DALI Command set and Structure

This work describes an embedded system implementation of a DALI system for controlling fluorescent tubes. It consists of a DALI master with Zigbee module to link with a personal computer and a set of DALI electronic ballasts. The development of a DALI master is described in Section II followed by a DALI electronic ballast in Section III. The total system is tested with the energy measurement in Section IV.

II. DALI MASTER WITH ZIGBEE MODULE

The overall picture of the developed DALI system is shown in Fig.3. Here all devices are DALI electronic ballasts for fluorescent tubes. The DALI master is designed to operate a few common functions such as increasing/decreasing light intensity and selecting a few scenes. However the full flexibility of DALI programming functions such as devices

configuration can be reprogrammed through a computer with the use of Zigbee wireless module. This approach enables a simple hardware implementation.

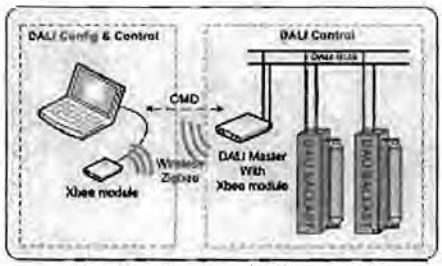


Fig.3 A DALI system with Zigbee modules

The internal structure of the DALI master is depicted in Fig.4. At the heart is a PIC16F648A 8 bit MCU with simple I/O devices [3]. The MCU runs at 4 MHz and has a 4 KB flash memory. Other parts are optical transceivers for transmitting and receiving data between DALI bus and the MCU, switches, LEDs and a 2.4GHz Zigbee module for communicating with the computer.

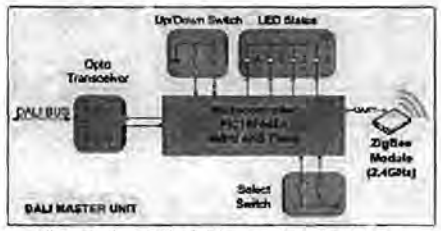


Fig.4 Hardware Block Diagram of a DALI Master

The DALI standard specifies that a DALI device has a 24 bit internal address. Hence, for a DALI system with up to 64 devices, these internal addresses can be generated randomly without colliding each other. It is the task of the master to search for each address and assign a 6 bit short address to it as shown in Fig.2. The search algorithm implemented in our developed system uses a bisection method described as follows.

The master repeatedly sends out addresses and waits for an affirmative response from a device. Starting at FFFFFF to cover the entire address space, the searched address space is increased or decreased by half. At the end of the 24th cycle, an unassigned device with the lowest address will be detected, assigned and programmed with a short address. This process goes on until all devices in the system are assigned.

Fig.5 displays the flow chart of the program executed by the DALI master. Input commands can be obtained either by scanning the input switches or being interrupted by the Zigbee module. Certain commands require that the master assembles and transmits DALI control command to the ballasts. This is illustrated in Fig.6.

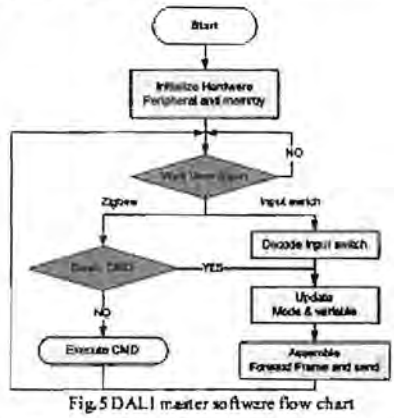


Fig.5 DALI master software flow chart

The 16 bit command data with the structure shown in Fig.2 are framed with a leading start bit. The whole frame is then shifted out at 1.2 KHz clock rate to a 2.4 KHz bi-phase generator which drives the DALI bus through an opto-isolator.

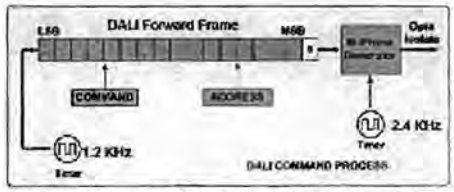


Fig.6 DALI command frame and its bi-phase transmission

III. A DALI ELECTRONIC BALLAST

We develop an electronic ballast based on the design reference from Microchip [4][5] which is a dimming electronic ballast supporting DALI protocol. Its block diagram is shown in Fig.7 with an appearance shown in Fig.8.

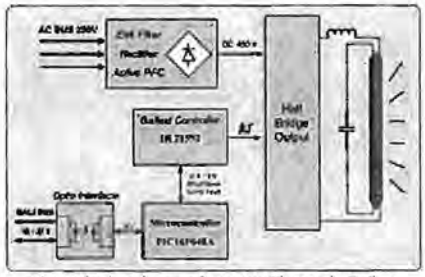


Fig.7 Block Deigram of a DALI Electronic Ballast

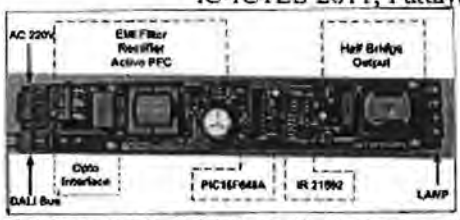


Fig.8 Constructed electronic ballast for dimming fluorescent tube

The ballast function is implemented by an IR 21592 ballast controller chip [6] which needs a 0.5-5V input to vary switching frequency between 20 KHz and 100 KHz of the half bridge output stage [7], thereby changing the inductance in series with the lamp in order to control the light intensity. The DALI interface uses an opto-isolator with a PIC16F648A microcontroller [3] to decode the DALI protocol, respond and generate the analog dimming voltage to the IR21592. Other blocks are just related to power electronics. The 8 bits DALI power control allows 255 levels of light intensity [8]. For fluorescent lamp, these levels are given by the formula

$$\%\text{Intensity} = 10^{\frac{x-1}{253/3}-1}$$

IV. TESTING AND CONCLUSION

The photo of the DALI master with Zigbee module is shown in Fig.9. It is used to control 4 DALI electronic ballasts for controlling T8 36W fluorescent lamps as shown in Fig.10.

Fig.9 DALI MASTER with Zigbee Module

Fig.10 Demonstration of a DALI System

Lighting control is done through a computer with a Zigbee module using GUI as show in Fig.11. Lamp intensity can be conveniently controlled individually or in groups. Specific scenes can be arranged.

Fig.11 GUI of DALI control

Table I shows the power consumption of each lamp at different intensities and the power factor of the ballast. This table shows how much energy saving can be achieved with a dimming ballast.

Table I Ballast effiency at different intensity levels

Intensity	Lamp Power	Power factor
100%	37 Watt	0.98
80%	32 Watt	0.95
50%	20 Watt	0.89
10%	9 Watt	0.82

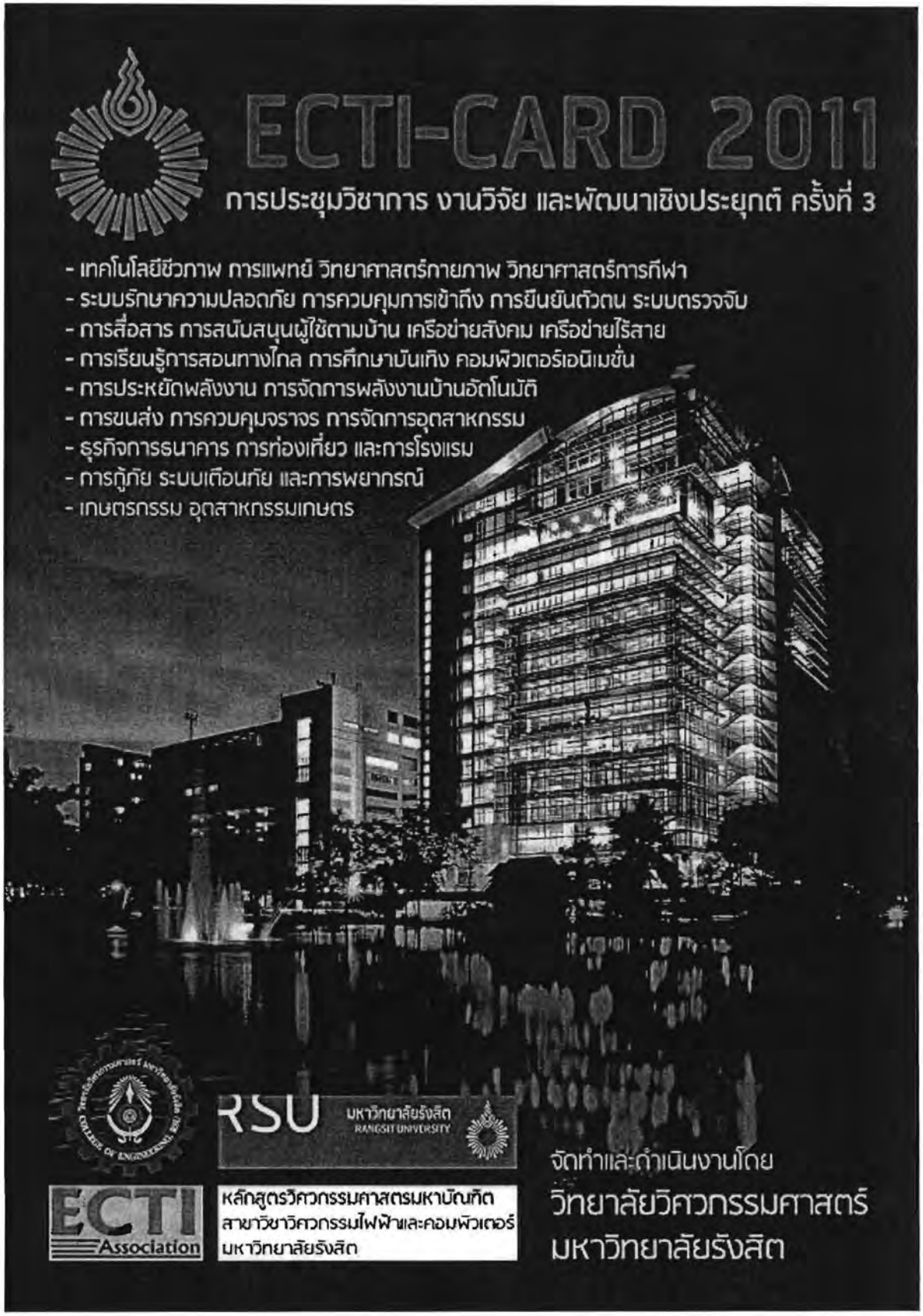
In conclusion, a fluorescent lighting control system is developed that supports DALI protocol. The system can be programmed to dim the light in order to save electrical energy. By adding sun light sensors, a DALI control system that automatically dims the fluorescent lamps when there is plenty of sun light can be implemented to conserve energy.

V. ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by grant from Chulalongkorn University Ratchadapisek Foundation.

REFERENCE

[1] DALI [Online] Available from: http://www.dali-ag.org/ [2009]
[2] Bonati, "Energy Saving using intelligent light management technology", OSRAM S.p.a., Italy
[3] Microchip Technology Inc. PIC16F648A Datasheet, 2009
[4] Microchip Technology Inc. AN809 "Digitally Addressable DALI Dimming Ballast" Reference design, 2002
[5] S. K. Biswas and R. P. Dhamuka, "Design considerations for economical electronic ballasts", in Proc. Power Electron. Drive Syst., Feb 1995, pp 411-416.
[6] International Rectifier, IR21592 Dimming Ballast Control IC, Datasheet, 2005.
[7] Thomas J. Riberich and John J. Riharich, "A new control method for dimmable high-frequency electronic ballasts", in IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Oct 1998.
[8] IEC std. 60929 "AC-Supplied Electronic Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps – Performance Requirements", 2006


ECTI-CARD 2011
การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 3
- เทคโนโลยีชีวภาพ การแพทย์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา
- ระบบรักษาความปลอดภัย การควบคุมการเข้าถึง การยืนยันตัวตน ระบบตรวจจับ
- การสื่อสาร การสนับสนุนผู้ใช้ตามบ้าน เครือข่ายสังคม เครือข่ายไร้สาย
- การเรียนรู้การสอนทางไกล การศึกษาบันเทิง คอมพิวเตอร์เอนิเมชั่น
- การประหยัดพลังงาน การจัดการพลังงานบ้านอัตโนมัติ
- การขนส่ง การควบคุมจราจร การจัดการอุตสาหกรรม
- ธุรกิจการธนาคาร การท่องเที่ยว และการโรงแรม
- การกู้ภัย ระบบเตือนภัย และการพยากรณ์
- เกษตรกรรม อุตสาหกรรมเกษตร
RSU มหาวิทยาลัยรังสิต RANGSIT UNIVERSITY
ECTI Association
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยรังสิต
จัดทำและดำเนินงานโดย
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยรังสิต

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

การพัฒนามอดูลดาลีสำหรับระบบส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

Development of DALI modules for fluorescent lamp lighting system

วิรัญญ์ ธีรวิโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
thiravirojana@hotmail.com

เอกชัย ลีลาวัทนี
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ekachai.l@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การควบคุมแสงสว่างในบ้านหรือในหน่วยงานขนาดเล็กโดยมากจะใช้สวิตช์เป็นตัวควบคุม ซึ่งอาจไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้งานของผู้ใช้งานในปัจจุบันได้ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับควบคุมแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอล DALI ในการควบคุม โดยระบบดังกล่าวเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ มีความยืดหยุ่นง่ายต่อการติดตั้งและสะดวกในการใช้งาน เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในระบบ บ้านอัตโนมัติ โรงงานอุตสาหกรรม และ อาคารสำนักงาน

Abstract

Almost of light controlling method used in residence or small office are switching method. This method does not effectively respond to the user need at the present time. This research has developed the devices for control the fluorescent lamp system based on DALI protocol. This system is low cost, highly flexible, easy to install and comfortably operate. It is suitable in applying for home automation, factory and office building.

คำสำคัญ

โปรโตคอล DALI, บ้านอัตโนมัติ (home automation)

1. บทนำ

การพัฒนาระบบควบคุมแสงสว่างมีมาอย่างต่อเนื่อง ในอดีตการควบคุมโดยมากจะเป็นในรูปแบบการใช้สวิตช์ในการเปิดปิดหลอดไฟ การควบคุมดังกล่าวไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่มีหลากหลาย ทั้งในด้านการประหยัดพลังงาน ความสะดวกในการควบคุม หรือคุณลักษณะต่างๆ เช่น การหรี่ไฟ การควบคุมแบบอัตโนมัติ เป็นต้น จึงได้มีการพัฒนาระบบควบคุมรูปแบบอื่นๆขึ้นมาแทนการใช้สวิตช์ในการควบคุมเพียงอย่างเดียว ระบบควบคุมแบบแอนาล็อก 1- 10 โวลต์ เป็นการควบคุมรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมมานาน ซึ่งการทำงานจะอาศัยแรงดันไฟตรงตั้งแต่ 1 -10 โวลต์สำหรับปรับระดับความสว่างของหลอดไฟ โดยระดับความสว่างจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้าไป ระบบควบคุมแบบแอนาล็อกมีข้อดีคือ ความง่ายของระบบแต่การใช้ระบบควบคุมแบบแอนาล็อกมีข้อจำกัดตรงที่จะใช้วงจรควบคุมหนึ่งตัวต่อหลอดไฟหนึ่งหลอดทำให้ระบบมีความสิ้นเปลืองและซับซ้อนในการติดตั้งเมื่อหลอดไฟมีจำนวนมาก และไม่สะดวกในการสร้างระบบควบคุมจากส่วนกลาง นอกจากนั้นการควบคุมแบบแอนาล็อกทำให้การบันทึกสถานะต่างๆลงไปในอุปกรณ์ทำได้ยากหรือไม่ได้เลย ต่อมาจึงมีการพัฒนาโปรโตคอลควบคุมแสงสว่างแบบดิจิทัลขึ้น เช่น DMX-512, DSI(Digital Signal Interface), DALI เป็นต้น โดยแต่ละโปรโตคอลจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่แตกต่างกัน โปรโตคอล DMX – 512 จะใช้มากในส่วนของการควบคุมระบบไฟเวที ส่วนโปรโตคอล DALI เป็นโปรโตคอลสำหรับการควบคุมแสงสว่างที่ใช้มากในบ้าน โรงงาน โรงพยาบาล การตกแต่งอาคารบ้านเรือน และกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากข้อดีหลายอย่างได้แก่

- ง่ายต่อการติดตั้งเนื่องจากใช้สายสัญญาณเพียงสองเส้น
- สนับสนุนการค้นหาอุปกรณ์โดยอัตโนมัติ
- สามารถบันทึกและอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆของอุปกรณ์ได้

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

-สนับสนุนคำสั่งมากกว่า 200 คำสั่ง

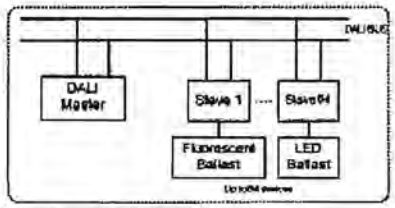
-สามารถนำไปใช้กับหลอดไฟได้หลายประเภท เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไดโอดเปล่งแสง หลอดฮาโลเจน เป็นต้น

ปัจจุบันในต่างประเทศที่มีการนำเอาโปรโตคอล DALI มาใช้งานอย่างแพร่หลาย ส่วนในประเทศไทยการใช้งานยังไม่แพร่หลายมากเท่าที่ควร ในบทความฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาระบบสำหรับควบคุมแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอล DALI โดยมีการนำเอาเครือข่ายไร้สาย Zigbee มาประยุกต์ใช้ด้วยเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งาน

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรโตคอล DALI

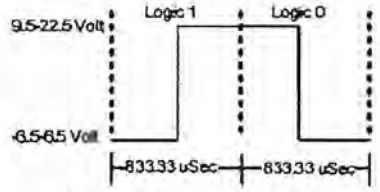
DALI ย่อมาจาก Digital Addressable Lighting Interface [1] เป็นโปรโตคอลสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Gears) เช่น บัลลาสต์ สำหรับควบคุมไดโอดเปล่งแสง เป็นต้น โปรโตคอล DALI ถูกบรรจุไว้ในมาตรฐาน IEC60929 Annex E.4[1] โครงสร้างทั่วไปของระบบเป็นรูปแบบ นาย – ปาว (master-slave) ดังแสดงในรูปที่ 1 มอดูลมาสเตอร์ทำหน้าที่ส่งข้อมูลซึ่งประกอบด้วยคำสั่ง และแอดเดรส เพื่อควบคุมมอดูลสเลฟผ่านทาง DALI bus ขนาด 2 เส้น ส่วนมอดูลสเลฟจะคอยรับข้อมูลและทำการตรวจสอบแอดเดรสว่าตรงกับของตนเองหรือไม่ ถ้าตรงก็จะตรวจสอบชนิดของคำสั่งและทำตามคำสั่ง ถ้าไม่ตรงก็จะไม่สนใจคำสั่งนั้น



รูปที่ 1 โครงสร้างโดยทั่วไปของการสื่อสารแบบ DALI

2.2 รูปแบบการสื่อสาร

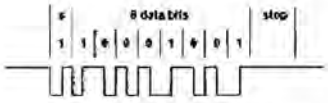
การสื่อสารของ DALI จะใช้สายสัญญาณ 2 เส้น โดยจำกัดความยาวไม่เกิน 300 เมตร ลอจิกสูงมีค่าสั่งแต่ 9.5 – 22.5 V ลอจิกต่ำมีค่าสั่งแต่ -6.5 – 6.5 V มีความเร็วในการสื่อสาร 1200 bps โดยคำสั่งข้อมูลแต่ละบิตมีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ bi-phase [1] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบของสัญญาณ DALI

คำสั่งข้อมูลจะถูกส่งเป็นแบบเฟรม แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ forward frame (ส่งจากมาสเตอร์ไปสเลฟ) และ backward frame (ส่งจากสเลฟไปมาสเตอร์) forward frame แสดงดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย บิตเริ่มต้น 1 บิต แอดเดรส 8 บิต คำสั่ง 8 บิต และบิตหยุด 2 บิต backward frame แสดงดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 บิต ข้อมูลตอบกลับ 8 บิต และบิตหยุด 2 บิต

รูปที่ 3 DALI forward frame



รูปที่ 4 DALI backward frame

โปรโตคอล DALI สามารถรองรับอุปกรณ์ได้สูงสุด 64 ตัว (64-short address) และจัดอุปกรณ์เข้ากลุ่มได้ 16 กลุ่ม (16-group address) สนับสนุนคำสั่งมากกว่า 200 คำสั่งซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. คำสั่งปรับระดับความสว่างโดยตรง (Direct Arc power command) เป็นคำสั่งขนาด 8 บิต สามารถปรับระดับความสว่างได้ 256 ระดับ โดยเวลาที่ใช้ในการหรี่ถูกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ fade time

2. คำสั่งมาตรฐาน DALI แบ่งออกได้ 3 ส่วน ได้แก่

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

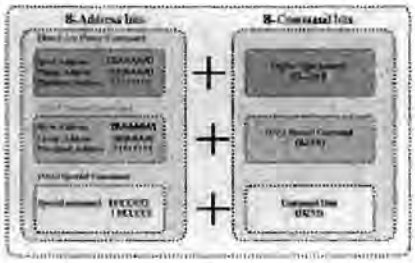
2.1 คำสั่งควบคุมความสว่าง (Indirect Arc power command) เป็นคำสั่งสำหรับกำหนดรูปแบบการแสดงแสงสว่างของหลอดไฟ

2.2 คำสั่งตั้งค่า (Configuration command) เช่น คำสั่งรีเซ็ตมอดูลสเลฟ คำสั่งบันทึกค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ

2.3 คำสั่งเรียกดูค่า(Query command) สำหรับเรียกดูค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ

3 คำสั่งพิเศษ(Special command) เป็นคำสั่งสำหรับการจัดเตรียมแอดเดรสให้กับมอดูลสเลฟ

รูปแบบการกำหนดแอดเดรสและคำสั่งแสดงดังรูปที่ 5



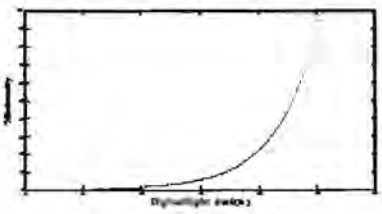
รูปที่ 5 รูปแบบการจัดแอดเดรสและคำสั่ง

2.3 หลักการควบคุมความสว่าง

โปรโตคอล DALI มีคำสั่งปรับความสว่างขนาด 1 ไบต์ซึ่งปรับได้ 256 ระดับ ตั้งแต่ 0.1 – 100 % คำนวณได้จากสมการ logarithm dimming curve[1] แสดงดังสมการที่ 1

$$\%\,Intensity = 10^{\frac{n-1}{253}-1} \qquad (1)$$

โดยที่ n คือระดับความสว่างแบบดิจิทัลขนาด 1 ไบต์ มีค่าตั้งแต่ 1 -254 สำนกรณี n = 0 หมายถึง ปิดไฟ และ n = 255 หมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความสว่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง n กับ % Intensity แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Logarithm dimming curve

เวลาที่ใช้ในการหรี่จากระดับความสว่างปัจจุบันไปยังระดับที่ต้องการ ถูกกำหนดโดยค่า fade time คำนวณได้ดังสมการที่ 2 โดย x มีขนาด 4 บิต กำหนดได้ตั้งแต่ 1 – 15 พารามิเตอร์ fade time จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7s – 1.5min

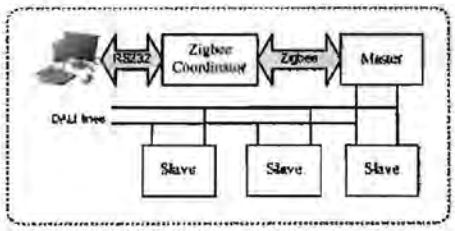
$$T = \frac{1}{2}\sqrt{2^x} \qquad (2)$$

ส่วนคำสั่งควบคุมความสว่างบางคำสั่งเช่น คำสั่ง STEP UP ซึ่งหมายถึงการปรับระดับความสว่างขึ้นเป็นเวลา 200 ms อัตราเร็วในการหรี่จะถูกกำหนดโดยค่า fade rate ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 โดย x มีขนาด 4 บิต กำหนดได้ตั้งแต่ 1 – 15 พารามิเตอร์ fade rate จะมีค่าอยู่ระหว่าง 357.716 steps/sec ถึง 2.795steps/sec

$$F = \frac{256}{\sqrt{2^x}} \qquad (3)$$

3. รายละเอียดการพัฒนา

รูปที่ 7 แสดงระบบที่ออกแบบขึ้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ ส่วนแรกคือมอดูล zigbee coordinator ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างเครือข่าย zigbee และรับส่งข้อมูลกับผู้ใช้งานผ่านทางซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์ ส่วนที่สองคือมอดูลมาสเตอร์ และส่วนสุดท้ายคือมอดูลสเลฟ โดยรายละเอียดฮาร์ดแวร์ของแต่ละมอดูลจะอธิบายในหัวข้อต่อไป



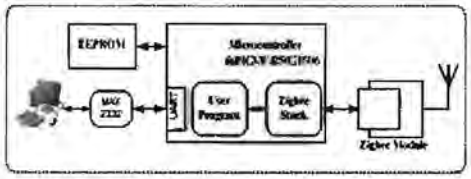
รูปที่ 7 ระบบที่ออกแบบ

3.1 มอดูล Zigbee Coordinator

ฮาร์ดแวร์ของมอดูล zigbee Coordinator แสดงดังรูปที่ 8 ใช้ชิพ dsPIC33FJ256GP506[2] เป็นตัวประมวลผล ติดต่อกับมอดูลมาสเตอร์ผ่านทางมาตรฐาน zigbeeในย่าน 2.4 GHz

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-380-301-6

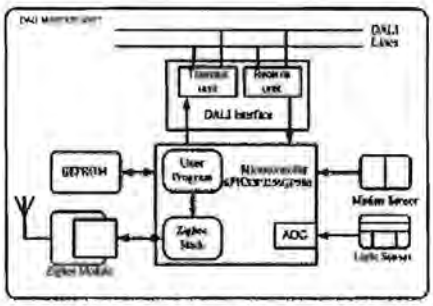
โดยใช้มอดูล mrf24j40ma การควบคุมมอดูลรับส่งคลื่นวิทยุทำผ่านทางซอฟต์แวร์ zigbee stack[4] ของบริษัทไมโครชิพ ซึ่งถูกฝังอยู่ในหน่วยประมวลผล ติดต่อกับผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางมอดูล UART



รูปที่ 8 ฮาร์ดแวร์ของมอดูล Zigbee Coordinator

3.2 มอดูลมาสเตอร์

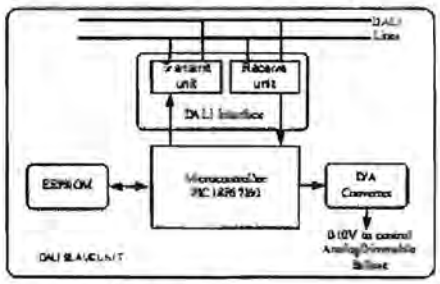
มอดูลมาสเตอร์ ใช้ชิพ dsPIC33FJ256GP506 เป็นตัวประมวลผล อุปกรณ์ต่อพ่วงประกอบด้วย มอดูลรับส่งคลื่นวิทยุ mrf24j40ma ใช้รับส่งข้อมูลกับ zigbee coordinator ในย่านความถี่ 2.4 GHz ติดต่อกับตัวตรวจรู้ 2 ตัวได้แก่ เซนเซอร์วัดแสงและเซนเซอร์ตรวจจับบุคคลแบบ PIR (Passive infrared) หน่วยความจำ EEPROM ใช้สำหรับเก็บค่าตารางเครือข่าย zigbee วงจร DALI interface ใช้สำหรับปรับแรงดันระหว่าง DALI bus ที่ 12 โวลต์ ให้เหมาะสมกับแรงดันของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีขนาด 3.3 โวลต์ โดยแบ่งเป็นวงจรภาคส่ง และวงจรภาครับ ฮาร์ดแวร์ของมอดูลมาสเตอร์แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงสร้างของมอดูลมาสเตอร์

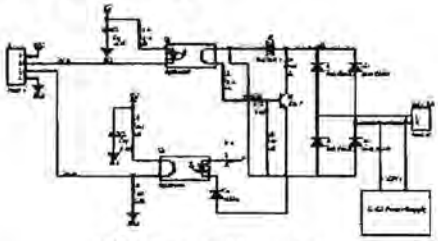
3.3 มอดูลสเลฟ

รูปที่ 10 แสดงฮาร์ดแวร์ของมอดูลสเลฟ หน่วยประมวลผลหลักใช้ชิพ PIC18F67J60[3] หน่วยความจำ EEPROM ใช้สำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ของ โปรโตคอล DALI วงจร D/A ใช้สำหรับแปลงระดับแสงสว่างแบบดิจิทัลเป็นแรงดันไฟตรงเพื่อควบคุมบัลลาสต์แบบหรี่แสง และมีวงจร DALI interface สำหรับปรับระดับแรงดันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ DALI bus ให้เหมาะสมเช่นเดียวกับมอดูลมาสเตอร์



รูปที่ 10 โครงสร้างของมอดูลสเลฟ

3.4 วงจร DALI Interface



รูปที่ 11 วงจร DALI Interface

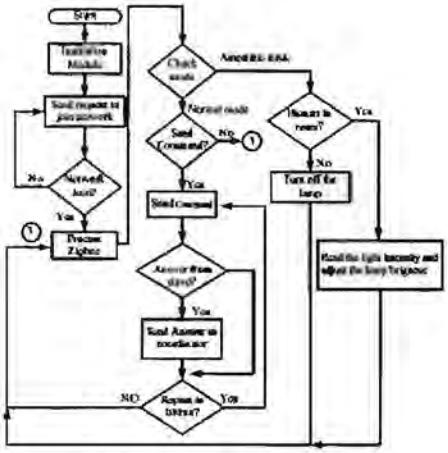
วงจร DALI Interface มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 11 แบ่งออกเป็นวงจรภาครับ และ วงจรภาคส่ง ในสภาวะปกติเมื่อไม่มีการรับ ส่งข้อมูล DALI bus จะมีสถานะเป็น ลอจิก 1 ตลอดเวลาโดยได้รับแรงดันจากวงจร DALI power supply ซึ่งทำหน้าที่สร้างแรงดันขนาด 12 โวลต์ จำกัดกระแสไม่เกิน 250 mA เมื่อต้องการส่งลอจิก 0 ไอซีออปโต (U1) จะเกิดการนำกระแส ส่งผลให้มีกระแสเบสจ่ายเข้าทรานซิสเตอร์ Q1 ทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ ON และดึงแรงดันจาก DALI bus ลงกราวด์ ส่วนในวงจรภาครับจะถูก isolate ออกจาก DALI bus โดยไอซีออปโต (U2)

© ECTI-CARD 2011, May 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

4.ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

4.1 มอดูลมาสเตอร์

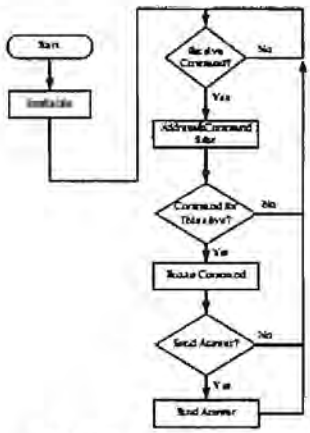
เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้วงจร มอดูลมาสเตอร์จะเริ่มส่งคำร้องเพื่อขอเข้าร่วมเครือข่าย zigbee เมื่อมอดูลมาสเตอร์เข้าร่วมเครือข่ายสำเร็จ มอดูลมาสเตอร์ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลกับมอดูล zigbee Coordinator ได้ มอดูลมาสเตอร์สามารถทำงานได้ 2 โหมดคือ โหมดปกติและโหมดอัตโนมัติ การเลือกโหมดสามารถเลือกได้ผ่านทางซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์ ในโหมดปกติเมื่อมีข้อมูลถูกส่งเข้ามาจะเกิดการอินเตอร์รัปขึ้น User program จะทำการดึงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ zigbee stack และทำการเข้ารหัสคำสั่งเป็น forward frame ส่งไปยังมอดูลสเลฟ จากนั้นก็จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลตอบกลับจากมอดูลสเลฟภายในเวลา 9.17 ms หรือไม่ ถ้ามีก็จะส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็จะตรวจสอบว่าคำสั่งนั้นเป็นคำสั่งชนิดที่ต้องมีการส่งสองครั้งหรือไม่ ถ้าใช่ก็ส่งคำสั่งอีก 1 ครั้ง แล้วกลับไปรอคำสั่งจากผู้ใช้งานต่อไป ส่วนในโหมดอัตโนมัติมอดูลมาสเตอร์จะคอยตรวจสอบว่ามีบุคคลในห้องหรือไม่ถ้าไม่มีก็จะส่งคำสั่งเพื่อปิดไฟ ส่วนในกรณีที่มีคนอยู่ในห้องมอดูลมาสเตอร์จะทำการอ่านค่าความเข้มแสงจากเซนเซอร์วัดแสงแล้วทำการส่งคำสั่งเพื่อปรับระดับความสว่างของหลอดไฟให้เหมาะสมกับความสว่างภายในห้อง โฟลว์ชาร์ตอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผังการทำงานของมอดูลมาสเตอร์

4.2 มอดูลสเลฟ

ซอฟต์แวร์เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับมอดูลต่างๆ จากนั้นก็จะลอยตรวจสอบสถานะบน DALI bus เมื่อเกิดขอบขาลงซึ่งหมายถึงเกิด start bits ขึ้น มอดูลสเลฟจะเปิดการทำงานของมอดูล timer เพื่อดึงข้อมูลจาก DALI bus เมื่อดึงข้อมูลจนครบทุกบิตแล้ว ก็จะตรวจสอบแอดเดรสที่ส่งมาว่าตรงกับของตัวเองหรือไม่ถ้าใช่ก็จะค้นหาและทำคำสั่ง หลังจากนั้นก็จะตรวจสอบว่าคำสั่งนั้นต้องมีการส่งข้อมูลตอบกลับไปยังมอดูลมาสเตอร์หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะเข้ารหัสข้อมูลเป็นสัญญาณ backward frame ส่งกลับไป แล้วก็กลับไปรอคำสั่งต่อไป ขั้นตอนการทำงานอย่างง่ายของมอดูลสเลฟแสดงดังรูปที่ 13



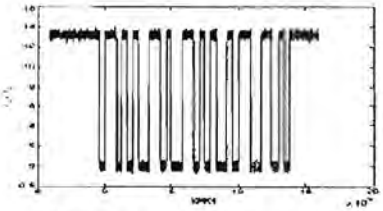
รูปที่ 13 ผังการทำงานของมอดูลสเลฟ

5.การทดสอบการใช้งาน

ทำการทดสอบระบบทั้งหมดโดยใช้ฮาร์ดแวร์ที่ได้ออกแบบขึ้นมาดังรูปที่ 14 การทดสอบแรกเป็นการทดลองส่งคำสั่ง แล้วทำการวัดสัญญาณ DALI ซึ่งสัญญาณที่วัดได้จะต้องตรงตามข้อกำหนดของโปรโตคอล DALI เพื่อที่มอดูลที่ออกแบบจะสามารถใช้ติดต่อควบคุมอุปกรณ์ที่มีสิทจากบริษัทอื่นๆได้ รูปที่ 15 แสดงสัญญาณที่วัดได้เมื่อทดลองส่งคำสั่ง 0001 0010 0011 0100 สัญญาณที่วัดได้มีคาบเวลาประมาณ 834 uSec หรือมีความเร็วประมาณ 1200 bps ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน

© ECTI-CARD 2011, May' 5-6, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-350-301-6

รูปที่ 14 ระบบที่สร้างขึ้น



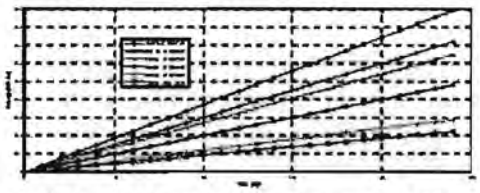
รูปที่ 15 สัญญาณ forward frame ที่วัดได้

การทดลองต่อมาเป็นการทดสอบส่งคำสั่งควบคุมหลอดไฟซึ่งสามารถสั่งการได้ผ่านทางซอฟแวร์บนคอมพิวเตอร์สั่งแสดงในรูปที่ 16 โดยซอฟแวร์แบ่งออกเป็นหลายส่วน ได้แก่ ส่วนกำหนดการเชื่อมต่อกับ zigbee coordinator ผ่านทาง UART ส่วนกำหนดแอดเดรสให้กับมอดูลสเลฟ ส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ เช่น fade rate, fade time, group address, ฉากความสว่าง(scene) เป็นต้น ส่วนกำหนดโหมดการทำงานซึ่งทำได้ทั้งแบบปกติ และแบบอัตโนมัติ การควบคุมหลอดไฟทำได้ทั้งใส่คำสั่งโดยตรง หรือควบคุมผ่านทางแถบปรับความสว่าง รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างการปรับระดับความสว่างของหลอดไฟไปที่ระดับความสว่างต่างๆกัน ได้แก่ ที่ระดับ 100% 50% และ 10 % ตามลำดับ

รูปที่ 16 ซอฟแวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ

รูปที่ 17 ความสว่างของหลอดไฟที่ระดับต่าง ๆ

การทดลองสุดท้ายเป็นการทดสอบการบริโภคพลังงานของหลอดไฟที่ระดับความสว่างต่างๆ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 18 ซึ่งจากรูปพบว่าการบริโภคพลังงานจะมีค่าแปรผันตามระดับความสว่างของหลอดไฟ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในด้านการประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 18 การบริโภคพลังงานที่ระดับความสว่างต่าง ๆ

6. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบต้นแบบสำหรับควบคุมระบบแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนส์ ระบบที่ออกแบบขึ้นมาเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ สะดวกต่อการใช้งาน เหมาะแก่การนำมาใช้ภายในบ้านเรือน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] IEC std. 60929 "AC-Supplied Electronic Ballasts for Tubular Fluorescent Lamps – Performance Requirements", 2006

[2] Microchip Technology Inc. dSPIC33FJ256GP506 Datasheet, 2008

[3] Microchip Technology Inc. PIC18F76J60 Datasheet, 2008

[4] Microchip Technology Inc. AN123 "Microchip Zigbee-2006 Residential Stack Protocol", 2008

ระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างด้วยโปรโตคอล DALI

A Smart Lighting Control System Using DALI Protocol

เอกชัย สิตารัศมี และ สราวุฒิ เลขจรัสโยธิน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทร 02-218-6488 โทรสาร 02-218-6488 Email: Ekachai.L@chula.ac.th, dach_01@hotmail.com

บทคัดย่อ—งานวิจัยนี้กล่าวถึงการออกแบบสร้างระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนส์โดยใช้โปรโตคอล DALI ระบบนี้สามารถรองรับหลอดไฟได้สูงสุด 64 ชุด ตัวบัลลาสต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และไอซีควบคุมการเปิดปิดและปรับความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนส์ ตัวควบคุมส่วนกลางประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่าง รวมทั้งจอ LCD สำหรับแสดงสถานะ ตัวควบคุมนี้สามารถสั่งการควบคุมระบบแสงสว่างได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบโดยตรงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านระบบไร้สายด้วย Zigbee โมดูล งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการนำระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างมาประยุกต์ใช้งานกับสถานที่ตัวอย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของระบบแสงสว่างในอาคาร

Abstract—This research describes a design of a smart lighting control system for the fluorescent lamps using DALI Protocol. This system supports an independent lamp control up to 64 lamps. The ballast uses a microcontroller and ballast controller IC to turn on, turn off and adjust the light level of the lamp. The master control consists of a microcontroller and light sensor and also LCD for display system status. This master supports both automatic control and direct control from PC using wireless Zigbee module. This research observes and analyzes the result in using a smart lighting control system with the sample room for saving the electrical energy of lighting system in building.

คำสำคัญ DALI, อุปกรณ์ตรวจวัดความสว่าง, ระบบควบคุมแสงสว่าง, Zigbee

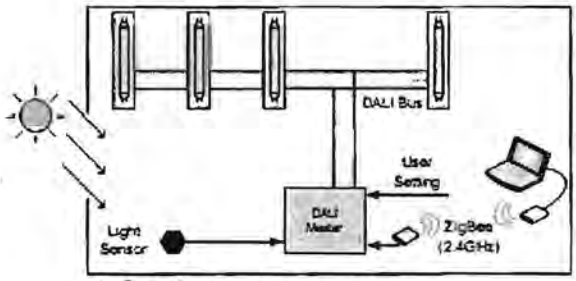
Keyword DALI, Light Sensor, Embedded System, Lighting Control, Zigbee

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อนและวิกฤติด้านพลังงานเป็นสิ่งที่ทุกคนให้ความสนใจและพยายามหาหนทางเพื่อช่วยลดของปัญหาเหล่านี้ แม้จะมีแนวคิดในการนำพลังงานทางเลือกต่าง ๆมาใช้ทดแทน แต่ยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณการตัดต้นไม้เพื่อสร้างเขื่อน สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนทั้งสิ้น ดังนั้นทางเลือกอีกทางที่จะช่วยบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นนี้คือการลดการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถทำได้ด้วยวิธีการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไม่มีการใช้งาน และการใช้พลังงานเท่าที่จำเป็น

กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้งานตามอาคารและบ้านเรือนนั้น โดยประมาณร้อยละ 25 เป็นของระบบแสงสว่างซึ่งถูกใช้งานอยู่ตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน [1] แนวคิดในการประหยัดพลังงานเบื้องต้นสามารถทำได้โดยติดตั้งตัวตรวจจับ เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าและสั่งปิดเมื่อไม่มีการใช้งาน วิธีการนี้สามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง

รูป 1 การปรับความสว่างของหลอดไฟในห้องซึ่งได้รับแสงสว่างจากธรรมชาติ



รูป 2 โครงสร้างของระบบควบคุมแสงสว่าง

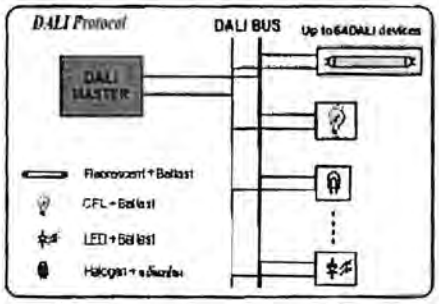
บทความนี้นำเสนอแนวคิดในการประหยัดพลังงานที่มากขึ้น โดยนำระบบควบคุมความสว่างมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างเพื่อให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างเท่าที่จำเป็นและสามารถใช้งานร่วมกับแสงสว่างจากสิ่งแวดล้อมได้ ระบบควบคุมแสงสว่างซึ่งใช้โปรโตคอล DALI (Digital Addressable Lighting Interface) [3] จึงถูกนำมาใช้ด้วยสามารถควบคุมความสว่างของหลอดได้หลากหลายและรองรับการใช้งานได้ตั้งแต่ห้องขนาดเล็กจนถึงห้องประชุมหรือลานกว้างที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนของหลอดไฟที่มาก ซึ่งจะสามารถลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างลงได้อีกและยังคงให้แสงสว่างในปริมาณที่เหมาะสมในแต่ละสถานที่อีกด้วย

2. ระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่าง

งานวิจัยนี้จะพัฒนาระบบอัจฉริยะควบคุมแสงสว่างที่มีโครงสร้างดังรูป 2 ซึ่งแสดงการทำงานร่วมกันของระบบแสงสว่างภายในห้องและแสงสว่างจากธรรมชาติโดยมีตัวควบคุมระบบบัส DALI (DALI Master) คอยรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างและส่งคำสั่งไปควบคุมความสว่างของหลอดไฟเพื่อปรับปริมาณความสว่างบริเวณนั้นให้เหมาะสมกับการใช้งาน ระบบนี้ยังสามารถติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านคลื่นวิทยุไร้สายแบบซิกบี (Zigbee) ความถี่ 2.4 GHz เพื่อสั่งควบคุมการทำงานของหลอดไฟจากบริเวณอื่น ระบบนี้จะใช้ความสามารถในการจัดกลุ่มของระบบ DALI เข้ามาช่วยในการควบคุมความสว่างในแต่ละบริเวณของพื้นที่ทั้งหมด

ระบบควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI [3] เป็นระบบบัส 2 สาย มีการรับส่งข้อมูลแบบดิจิตอล อาศัยการตีความจากระดับแรงดันของสายสัญญาณ โดยเมื่อแรงดันมีค่าในช่วง 9.5 ถึง 22.5 โวลต์ จะหมายถึง 1 และเมื่อแรงดันมีค่าในช่วง -6.5 ถึง 6.5 โวลต์ จะหมายถึง 0 คุณสมบัติของระบบบัส DALI อยู่ที่สามารถควบคุมความสว่างของหลอดไฟได้สูงสุด 64 จุด ซึ่งเป็นอิสระต่อกันและสามารถจัดกลุ่มหลอดไฟเพื่อสั่งควบคุมพร้อมกันทั้งกลุ่มได้ 16 กลุ่ม นอกจากนั้นยังสามารถตั้งความสว่างของแต่ละหลอดเป็นฉากหรือ

Scene ได้อีก 16 ฉาก ซึ่งสามารถเลือกความสว่างได้ 256 ระดับ [4] โดยชนิดของหลอดไฟในระบบบัส DALI สามารถเป็นได้ทั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดละเกียบ (CFL) หลอด LED หลอดฮาโลเจน หรือหลอดชนิดอื่นซึ่งรองรับโปรโตคอล DALI ดังรูป 3

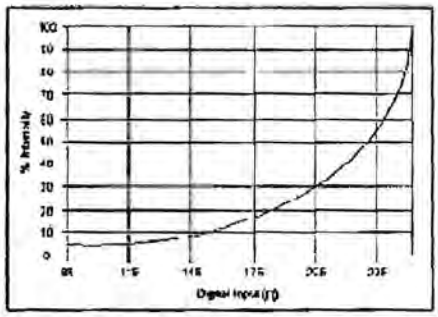


รูป 3 โครงสร้างระบบบัส DALI และหลอดไฟชนิดต่าง ๆ

ระดับแสงสว่างในระบบ DALI สามารถเลือกตั้งค่าได้ 256 ระดับ แต่ละระดับจะมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างเป็นแบบลอการิทึม ดังกราฟในรูป 4 ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\%\text{ความเข้มแสง} = 10^{\frac{x-1}{253/3}}$$

โดย x เป็นค่าระดับความสว่าง

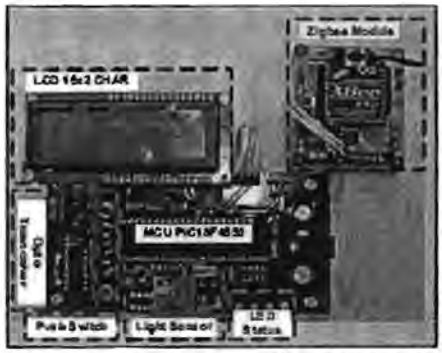


รูป 4 กราฟความเข้มแสงในแต่ละระดับความสว่าง [3]

สาเหตุที่ต้องมีการเปลี่ยนระดับความสว่างเช่นนี้เพื่อให้เหมาะสมกับธรรมชาติของสายตามนุษย์ที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในช่วงที่มีแสงสว่างน้อยได้ดีกว่าช่วงที่มีแสงสว่างมากซึ่งทำให้ผู้ใช้รู้สึกถึงความต่อเนื่องเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสว่างของหลอดไฟในระบบ

3. การออกแบบอุปกรณ์และตัวควบคุมในระบบ

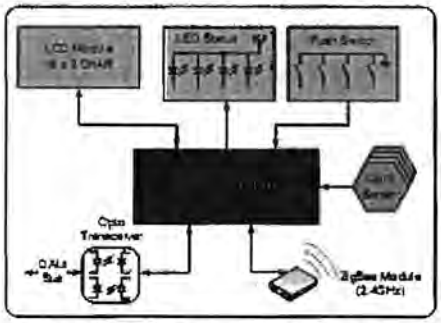
รูป 5 แสดงภาพตัวควบคุมระบบบัส DALI ที่ใช้ในบทความนี้ซึ่งมีแผนภาพโครงสร้างดังแสดงในรูป 6 ตัวควบคุมประกอบด้วย หน่วยประมวลผลหลักเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต PIC18F4550 ทำงานที่ความเร็ว 48 MHz มีหน่วยความจำประเภทแฟลชขนาด 16 KB และมีแรมขนาด 2 KB [5] สามารถอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างได้สูงสุด 4 จุด โดยสามารถวัดความสว่างได้ในช่วง 0 ถึง 1000 ลักซ์ (Lux) [6] มีปุ่มกดและหลอด LED เพื่อรับคำสั่งการเพิ่มลดความสว่างของหลอดไฟรวมทั้งการตั้งระดับแสงสว่างใหม่ให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละจุดและแสดงสถานะการทำงานของระบบ มีจอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 16 x 2 ตัวอักษร เพื่อแสดงข้อมูลการทำงานของตัวควบคุมเช่น ค่าความสว่างที่ตั้งไว้ ค่าความสว่างที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างหรือฉากที่กำลังเรียกใช้งานเป็นต้น



รูป 5 ตัวควบคุม DALI และอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่าง

และใช้เพื่อแสดงข้อความสื่อสารกับผู้ใช้ในกรณีรับคำสั่งผ่านปุ่มกดบนบอร์ด นอกจากนั้นยังมีโมดูล

Zigbee [7] ที่ทำให้ตัวควบคุมสามารถรับคำสั่งควบคุมระยะไกลผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz ตามโปรโตคอล Zigbee ผู้ใช้จะสามารถตั้งค่าการทำงานหรือเปลี่ยนแปลงระดับความสว่างที่ต้องการผ่านระบบอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างรวมทั้งการควบคุมความสว่างโดยรวมในจุดต่างๆ ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

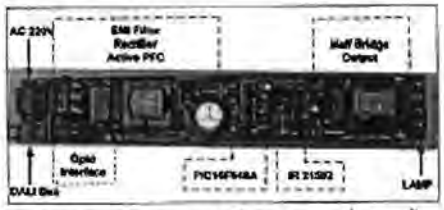


รูป 6 โครงสร้างภายในของตัวควบคุม DALI

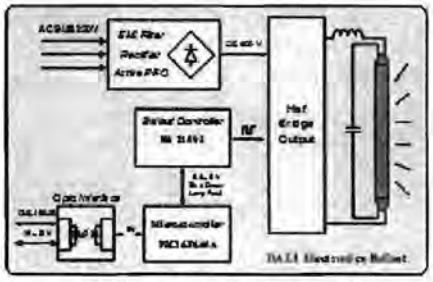
ขณะทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าความสว่างจากอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างแต่ละจุดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสว่างที่ตั้งไว้ หากพบว่าบริเวณใดมีปริมาณความสว่างไม่ตรงกับที่ตั้งไว้ตัวควบคุมจะส่งคำสั่งควบคุมผ่านระบบบัส DALI ไปยังหลอดไฟในบริเวณนั้นเพื่อปรับความสว่างของหลอดไฟให้ได้ตามที่ตั้งไว้

4. การออกแบบบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับระบบ DALI

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปรับความสว่างได้และรองรับโปรโตคอล DALI ดังแสดงในรูป 7 โดยพัฒนาขึ้นตามแบบอ้างอิงของบริษัทไมโครชิพ [8] ซึ่งในปัจจุบันยังไม่พบว่ามีบัลลาสต์ชนิดนี้ในท้องตลาดภายในประเทศ พบเพียงแต่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดที่ไม่สามารถปรับความสว่างได้และชนิดที่ปรับความสว่างได้โดยอาศัยสัญญาณอนาลอก 0-10 โวลต์ ซึ่งไม่รองรับวิธีการควบคุมความสว่างที่หลากหลายและการควบคุมเป็นจำนวนมากเหมือนโปรโตคอล DALI สำหรับในต่างประเทศนั้นมีจำหน่ายแต่จะมีราคาสูง



รูป 7 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ระบบ DALI ที่พัฒนาขึ้น



รูป 8 โครงสร้างภายในของบัลลาสต์

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นมีแผนภาพโครงสร้างดังแสดงในรูป 8 ซึ่งประกอบด้วยชิพควบคุม 2 ตัว ตัวแรกคือ IR21592 [9] ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานที่เกี่ยวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้แก่ การอุ่นไส้หลอด การควบคุมการจุดหลอด และควบคุมความสว่างของหลอดตามสัญญาณอนาลอกที่ได้รับมา ตัวที่สองคือ PIC16F648 [10] เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิท ทำงานที่ความเร็ว 4 MHz มีหน่วยความจำชนิดแฟลชขนาด 4 KB ทำหน้าที่จัดการการติดต่อสื่อสารของบัลลาสต์กับระบบบัส DALI รวมทั้งเก็บข้อมูลการตั้งค่าในระบบไว้ในหน่วยความจำ EEPROM คอยตรวจสอบสถานะการทำงานของหลอดไฟและสร้างสัญญาณอนาลอกให้กับ IR21592 เพื่อไปควบคุมความสว่างของหลอดไฟ

ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นกับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กทั่วไปและบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ในท้องตลาดแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟแต่ละชนิดที่ความสว่างสูงสุด

ชนิดของหลอดไฟ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความสว่าง (ลักซ์)	ตัวประกอบกำลัง
หลอด 36 W บัลลาสต์แกนเหล็ก	42	142	0.50
หลอด 18 W บัลลาสต์แกนเหล็ก	21	80	0.37
หลอด 36 W บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหรี่ไฟ (ยี่ห้อก)	36	140	0.98
หลอด 18 W บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	18	73	0.62
หลอด 28 W บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	29	148	0.61
หลอด 14 W บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	14	80	0.60
หลอด 36 W บัลลาสต์ DALI	32	136	0.97
หลอด 18 W บัลลาสต์ DALI	15	72	0.94
หลอด 28 W บัลลาสต์ DALI	31	140	0.98
หลอด 14 W บัลลาสต์ DALI	13	72	0.92

จากผลการทดสอบพบว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ทั้งขนาด 36 วัตต์ และ 18 วัตต์ ซึ่งใช้บัลลาสต์ DALI มีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าหลอดที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็กอยู่ประมาณ 30 % ในขณะที่สามารถให้ความสว่างใกล้เคียงกัน อีกทั้งบัลลาสต์ DALI มีค่าตัวประกอบกำลังที่สูงกว่าอย่างชัดเจน

เมื่อนำบัลลาสต์ DALI ที่พัฒนาขึ้นสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ขนาด 36 วัตต์ มาเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์แบบหรี่ไฟได้โดยใช้สัญญาณอนาลอกพบว่าบัลลาสต์ DALI มีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าอยู่ประมาณ 10 % ในขณะที่สามารถให้ความสว่างใกล้เคียงกันและมีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ในระดับดีทั้งสองชนิด

เมื่อนำบัลลาสต์ DALI สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 ขนาด 18 วัตต์ และชนิด T5 ขนาด 28 วัตต์ และ 14 วัตต์ มาเปรียบเทียบกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดพบว่ามีการใช้กำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกันโดยแตกต่างกันต่างกันเพียงประมาณ 10 % และสามารถให้ความสว่างที่ใกล้เคียงกัน แต่บัลลาสต์ DALI จะมีค่าตัวประกอบกำลังซึ่งสูงกว่าอย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วบัลลาสต์ DALI ที่พัฒนาขึ้นมีข้อดีในด้านการประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังรองรับการใช้งานที่หลากหลายซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานได้อีกเมื่อนำมาใช้งานร่วมกับระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่าง

ผลการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟซึ่งใช้บัลลาสต์ DALI ที่ระดับความสว่างต่างๆ

ความสว่าง	หลอด T8 36W	หลอด T8 28 W	หลอด T8 18 W	หลอด T8 14 W
100%	32 W	30 W	16 W	13.1 W
75%	24 W	24 W	12.7 W	11.4 W
50%	18 W	18 W	9 W	9 W
25%	12 W	14 W	5.1 W	6.6 W
ต่ำสุด	4 W	11 W	4.5 W	4.8 W

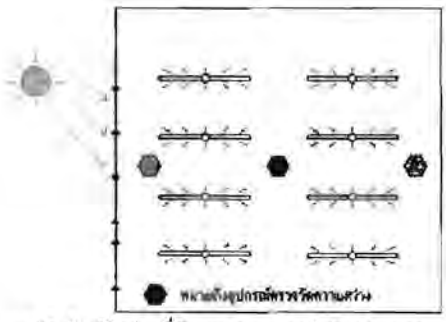
5. ตัวอย่างการติดตั้งระบบ DALI และอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่าง

การออกแบบระบบควบคุมแสงสว่างเพื่อให้สามารถประหยัดพลังงานได้นั้นจำเป็นต้องทราบถึงความต้องการปริมาณแสงสว่างในแต่ละบริเวณเพื่อจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างและตั้งค่าความสว่างให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ซึ่งในบทความนี้จะอ้างอิงจากมาตรฐานความสว่างภายในอาคารดังตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงมาตรฐานความสว่างซึ่งถูกกำหนดโดย IES (Illumination Engineering Society) [10]

ลักษณะพื้นที่ใช้งาน		ความสว่าง (ลักซ์)
พื้นที่ทำงานทั่วไป		300 – 750
พื้นที่ส่วนกลาง / ทางเดิน		100 – 200
ห้องเรียน		300 – 500
ร้านค้า / ศูนย์การค้า / ไฮเปอร์มาร์เก็ต		300 – 750
โรงแรม	:บริเวณทางเดิน	300
	:ห้องครัว	500
	:ห้องพัก / ห้องน้ำ	100 – 300
โรงพยาบาล	:บริเวณทั่วไป	100 – 300
	:ห้องตรวจรักษา	500 – 1000
บ้านที่อยู่อาศัย	:ห้องนอน	50
	:ห้องเรียง	300
	:ห้องน้ำ	100 – 500
	:ห้องนั่งเล่น	100 – 500
	:บันได	100
	:ห้องครัว	300 – 500

จากนั้นจะพิจารณาจุดที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างเพื่อให้ได้ปริมาณความสว่างที่เหมาะสมดังตัวอย่างในรูป 9



รูป 9 ห้องตัวอย่างที่มีแสงจากธรรมชาติส่องเข้ามาทางหน้าต่าง

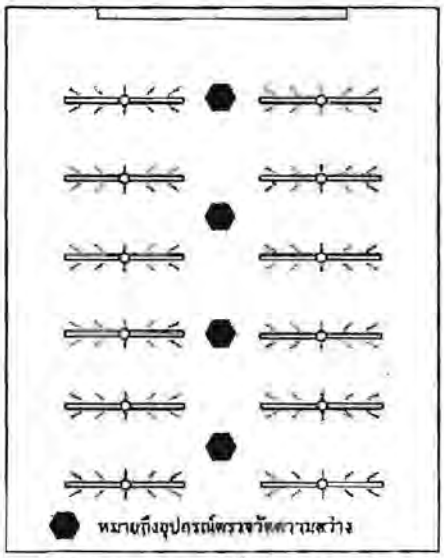
เมื่อพิจารณาห้องตัวอย่างจะพบว่าแสงสว่างภายในห้องนั้นมาจากหลอดไฟภายในห้องและจากลวงอาทิตย์ซึ่งส่องผ่านมาทางหน้าต่างด้านข้างของห้องเพียงด้านเดียว ห้องในลักษณะนี้หากไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมความสว่าง ผลที่เกิดขึ้นคือความสว่าง ณ ตำแหน่งต่างๆภายในห้องอาจมีปริมาณที่มากกว่าหรือน้อยกว่าความต้องการ ตัวอย่างเช่น ในเวลากลางวันที่มีแสงสว่างจากภายนอกส่องเข้ามาภายในห้อง พื้นที่บริเวณริมหน้าต่างจะได้รับแสงสว่างมากกว่าบริเวณด้านใน ซึ่งเมื่อรวมกับแสงสว่างจากหลอดไฟภายในห้องแล้ว พื้นที่บริเวณริมหน้าต่างจะมีปริมาณความสว่างที่มากเกินไป ทำให้เกิดการใช้พลังงานโดยสูญเปล่าและอาจส่งผลกระทบต่อสายตาของผู้ที่ทำงานอยู่ในบริเวณนั้น

หากติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างไว้บริเวณกลางห้องผลลัพธ์ที่ได้คือแสงสว่างภายในห้องในขณะที่ไม่มีแสงสว่างจากภายนอกจะถูกควบคุมให้มีปริมาณความสว่างที่เหมาะสมกับความต้องการซึ่งจะช่วยให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ แต่การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างในตำแหน่งนี้อาจเกิดปัญหาในการควบคุมความสว่างได้เมื่อแสงสว่างจากภายนอกที่เข้ามาภายใน ห้อง ณ จุดต่าง ๆมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งอาจทำให้พื้นที่บริเวณริมหน้าต่างมีปริมาณความสว่างมาก

เกินไป และพื้นที่บริเวณด้านในมีปริมาณความสว่างน้อยเกินไปได้

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาข้างต้นจึงควรใช้วิธีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างโดยติดตั้งและควบคุมความสว่างของหลอดไฟในแต่ละด้านแยกจากกัน ด้วยวิธีนี้จะทำให้พื้นที่ในบริเวณทั้ง 2 ฝั่งมีปริมาณความสว่างที่ใกล้เคียงกันและเพียงพอกับความต้องการและยังช่วยประหยัดพลังงานได้อีกด้วย

นอกจากการใช้งานในห้องทั่วไปซึ่งได้รับแสงสว่างจากภายนอกแล้วยังสามารถใช้ระบบควบคุมความสว่างนี้กับห้องที่มีขนาดใหญ่และไม่มีแสงสว่างจากภายนอก แต่มีความต้องการความสว่างในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากันเช่นในห้องประชุม ดังรูป 10



รูป 10 ตัวอย่างห้องประชุมซึ่งเป็นห้องปิดและมีความต้องการความสว่างในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน

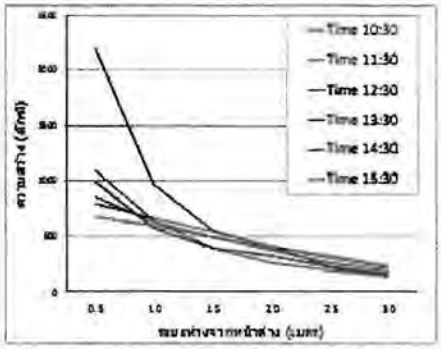
เมื่อพิจารณาห้องประชุมในตัวอย่างจะพบว่าแม้แสงสว่างภายในห้องประชุมจะมีที่มาจากหลอดไฟในห้องเพียงอย่างเดียวแต่ความต้องการปริมาณแสงสว่างในแต่ละพื้นที่อาจจะไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น หากในการประชุมมีการฉายภาพไปยังผนังบริเวณด้านหน้าของห้องจะทำให้พื้นที่บริเวณด้านหน้ามีความต้องการปริมาณแสงสว่างที่ลดลงเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพบนผนังได้อย่างชัดเจน ในขณะที่พื้นที่อื่น ๆภายในห้องอาจจะมีความต้องการปริมาณแสงสว่างที่มากขึ้นจากด้านหน้าเพื่อใช้ในการมองเห็นหรือจดบันทึกข้อความ ในกรณีนี้สามารถใช้ระบบควบคุมความสว่างโดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความสว่างตามจุดต่าง ๆของห้องดังรูป 10 ซึ่งจะช่วยให้สามารถควบคุมความสว่างในบริเวณหน้าห้องและบริเวณอื่น ๆของห้องประชุมได้ตามความต้องการเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้งานและช่วยประหยัดพลังงาน

หากในการประชุมมีผู้เข้าประชุมไม่เต็มห้องซึ่งทำให้พื้นที่บริเวณด้านหลังห้องอาจจะไม่มีผู้เข้าประชุมนั่งอยู่และไม่มีความต้องการแสงสว่างเลย ในกรณีนี้ระบบควบคุมความสว่างจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็นลงได้ และยังสามารถรักษาปริมาณแสงสว่างในแต่ละพื้นที่ให้ได้ตามความต้องการ

นอกจากสถานที่ตัวอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วระบบควบคุมความสว่างยังสามารถใช้ได้กับสถานที่อื่น ๆที่มีความต้องการปริมาณแสงสว่างที่แตกต่างกันเช่น ระบบส่องสว่างของลานจอดรถภายในอาคาร ระบบส่องสว่างภายในโรงยิม ไฟทางเดิน เป็นต้น

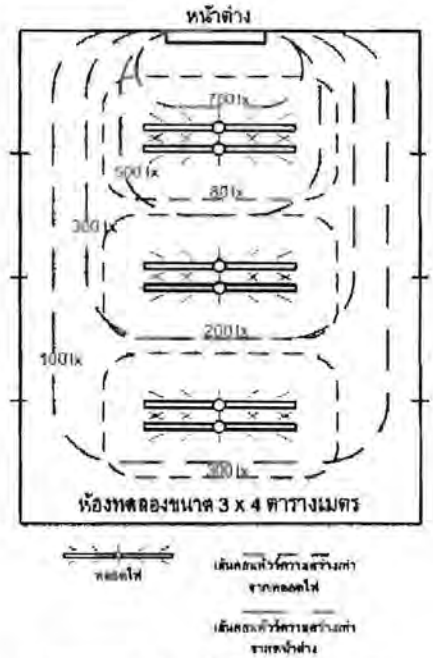
6. กรณีศึกษาผลการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ทดลองวัดปริมาณแสงสว่างจากธรรมชาติซึ่งส่องผ่านเข้ามาในห้องทดลองขนาด 4 x 4 ตารางเมตร ผ่านหน้าต่างห้องขนาด 1.2 x 0.7 ตารางเมตร ซึ่งตั้งอยู่บริเวณมุมห้องโดยหน้าต่างห้องอยู่ทางด้านทิศตะวันออก จากการทดลองวัดผลดังกล่าวภายในเวลา 1 วัน ได้ข้อมูลดังกราฟในรูป 11 ต่อไปนี้



รูป 11 กราฟปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาทางหน้าต่างห้อง ณ ตำแหน่งต่างๆในช่วงเวลาต่าง ๆภายในห้อง

จากผลการทดลองวัดปริมาณแสงสว่างที่ส่องเข้ามาภายในห้องในช่วงเวลาระหว่างวันพบว่ามีปริมาณความสว่างซึ่งสามารถนำมาช่วยในการประหยัดพลังงานภายในอาคารได้ โดยกำหนดกรณีศึกษาที่มีห้องจำลองขนาด 3 x 4 ตารางเมตร มีหน้าต่าง 1 บาน มีการติดตั้งหลอดไฟบริเวณกลางห้องเป็นคู่ จำนวน 6 ดวง ดังรูป 12 และติดตั้งระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่าง โดยลักษณะของห้องมีความต้องการความสว่างไม่ต่ำกว่า 500 ลักซ์ (lx) รูป 12 ยังแสดงเส้นคอนทัวร์ของความสว่างต่าง ๆที่เกิดแสงเข้าจากหน้าต่างและหลอดไฟ



รูป 12 ภาพห้องจำลองเพื่อวัดผลการทำงานของระบบ

จากข้อมูลที่กล่าวมาสามารถประมาณการใช้พลังงานของการติดตั้งหลอดชนิดต่างๆเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

- หากติดตั้งด้วยหลอด T8 36 W ด้วยบัลลาสต์แกนเหล็ก จะมีอัตราการใช้พลังงานเท่ากับ (42 x 6) = 152 วัตต์ โดยจะใช้เท่ากันหลอดทุกช่วงเวลา
- หากติดตั้งหลอด T8 36 W ร่วมกับระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างจะมีอัตราการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในระหว่างวันเท่ากับ ((32 x 2) + (24 x 2) + (12 x 2)) = 136 วัตต์ สำหรับในวันที่มีแสงสว่างจากภายนอกปกติ
- หากติดตั้งหลอด T5 28 W ร่วมกับระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างจะมีอัตราการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยในระหว่างวันเท่ากับ ((30 x 2) + (24 x 2) + (14 x 2)) = 136 วัตต์ สำหรับในวันที่มีแสงสว่างจากภายนอกปกติ

7. สรุป

ระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างด้วยโปรโตคอล DALI ในงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบแสงสว่างภายในอาคารซึ่งมีหน้าต่างหรือเพดานที่สามารถรับแสงสว่างจากภายนอกอาคารได้ในเวลากลางวันจะช่วยให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างได้มากขึ้น และสำหรับห้องซึ่งไม่มีหน้าต่างหรือไม่สามารถรับแสงสว่างจากภายนอกได้ หากลักษณะการใช้งานภายในห้องนั้นมีความต้องการความสว่างในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันก็สามารถนำระบบอัจฉริยะควบคุมความสว่างที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ได้ซึ่งจะสามารถลดการใช้พลังงานได้ส่วนหนึ่งและยังทำให้สภาพแวดล้อมในพื้นที่ทำงานมีความสว่างเพียงพอและเหมาะสมกับการทำงานอีกด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยด้านเทคนิคโดยการอนุมัติจากสถาบันวิจัยพลังงานแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] วิชระ มั่งวิทิตกุล, 2544, คู่มือการประหยัดพลังงานในสถานที่ทำงาน, พิมพ์ครั้งที่ 3

[2] การอนุรักษ์พลังงาน ไฟฟ้าและแสงสว่าง [Online] Available from http://www.prdnorth.in.th/energy/energysave_light.php [2010]

[3] DALI [Online] Available from: http://www.dali-ag.org/ [2009]

[4] มาตรฐาน IEC 60929, AC-supplied electronic ballasts for tubular fluorescent lamps-performance requirements, Third Edition, 2006

[5] Microchip Technology Inc. PIC18F4550 Datasheet, 2007

[6] Intersil, EL7900 Ambient Light Photo Detect Datasheet, 2007

[7] MaxStream Inc, Xbee / Xbee-Pro OEM RF Modules Manual, 2005

[8] Microchip Technology Inc. AN809 "Digitaly Addressable DALI Dimming Ballast" Reference design, 2002

[9] International Rectifier, IR21592 Dimming Ballast Control IC, Datasheet, 2005.

[10] Microchip Technology Inc. PIC16F648A Datasheet, 2009

ประวัตินักวิจัย และผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย :

ชื่อ นายเอกชัย ลีลารัศมี

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ดร.

สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์, ห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวม

โทร 0-218-6488

โทรสาร 0-218-6488

อีเมล์ ekachai.l@chula.ac.th

การศึกษา

ปี (พ.ศ.)	ปริญญา	สถานศึกษา	สาขาวิชา
2525	Ph.D.	University of California, Berkeley, U.S.A.	Computer Aided Design of Electronics
2519	M.Sc.	University of California, Berkeley, U.S.A.	Integrated Circuit Design
2517	วศ.บ. (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไฟฟ้าสื่อสาร

ประวัติการทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี (พ.ศ.)	ตำแหน่ง
2546 - ปัจจุบัน	รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายกิจการนิสิต
2528 - ปัจจุบัน	รองศาสตราจารย์
2526 - 2528	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
2517 - 2526	อาจารย์
2537 - 2550	หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวม

ตำแหน่งหน้าที่อื่น ๆ

ปี (พ.ศ.)	ตำแหน่ง	หน่วยงาน
2553 - ปัจจุบัน	นายกสมาคมฯ	IEEE Thailand Section
2550 - 2552	อุปนายกสมาคมฯ	IEEE Thailand Section

2536 - ปัจจุบัน	กรรมการกำกับมาตรฐานหลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	ม. ศรีปทุม , ม.อัสสัมชัญ, ม.หอการค้าไทย
2550 - 2551	รองผู้อำนวยการ	สำนักบริหารหลักสูตรนานาชาติวิศวกรรม จุฬาฯ
2544 - 2550	เลขานุการ	IEEE Thailand Section
2539 - 2541	เลขานุการ	IEEE Thailand Section
2538 - 2542	กรรมการบริหาร	ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง
2540 - 2543	หัวหน้าสาขาอิเล็กทรอนิกส์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาฯ
2524 - 2525	Visiting Researcher	Harris Semiconductor, Florida, U.S.A.
2523 - 2524	Visiting Scientist	IBM Research Center, Yorktown Height, New York, U.S.A.

<u>รางวัล</u>

- รางวัล "อาจารย์แบบอย่าง" กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2552 จากสภาคณาจารย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 15 กันยายน 2552
- รางวัล "ศักดิ์อินทาเนีย" บุคลากรดีเด่นด้านอาจารย์ที่ปรึกษา ประจำปี 2552 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ, วันที่ 1 มิถุนายน 2552
- รางวัล IEEE R10 Outstanding Volunteer Award 2006 จาก IEEE R10 Director Dr. Janina Mazierska ในการประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2550 ที่ประเทศมาเลเซีย, วันที่ 24 – 25 มีนาคม 2550
- รางวัลบุคคลดีเด่นที่สนับสนุนงานด้านคนพิการ ประจำปี 2549 จัดโดย สำนักส่งเสริมและพิทักษ์คนพิการ, วันที่ 1 ธันวาคม 2549
- รางวัล "อาจารย์ดีเด่น" ระดับมหาวิทยาลัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2547 โดย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 25 มีนาคม 2548
- "<u>ระบบการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติโดยใช้แสงอินฟราเรดหรือสายโทรศัพท์</u>", ร่วมกับ ผศ.ดร. วันเฉลิม โปรา และคณะวิจัย รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2548 (รางวัลชมเชย), สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- "<u>ระบบวีดีทัศน์ที่ซ่อนคำบรรยายภาพภาษาไทยและอังกฤษเพื่อคนหูหนวก</u>", รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2545 (รางวัลชมเชย), สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- "<u>ระบบอ่านออกเสียงภาษาไทยด้วยคอมพิวเตอร์</u>",ผลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ประเทศชาติประจำปี 2541 (รางวัลชมเชย), สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- "<u>ชิพจุฬา-เทเลเท็กซต์ เวอร์ชั่น 1</u>" , สิ่งประดิษฐ์ประเภทฮาร์ดแวร์ รางวัลชมเชย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538

- "เครื่องถอดรหัสเทเลเท็กซต์ไทย - อังกฤษ" , สิ่งประดิษฐ์ประเภทฮาร์ดแวร์ รางวัลที่ 2, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536
- "เล็ก 6.0:ซอฟต์แวร์วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์" , สิ่งประดิษฐ์ประเภทซอฟต์แวร์รางวัลที่ 3, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534
- "เล็ก 5.0:ซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้นแบบท่อนทั่วไป" , ผลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ประเทศชาติประจำปี 2531 รางวัลชมเชย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- "ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรไฟฟ้าเชิงเส้นทั่วไป" , ผลงานวิจัยคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ประเทศชาติประจำปี 2528 รางวัลที่ 3, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- "The Waveform Relaxation Method for Time-Domain Analysis of large Integrated Circuits", Guillemin-Cauer Prize Paper Award for Best Paper, IEEE Circuits and Systems , 2525
- "RELAX:An MOS Simulator for large Scale Digital Integrated Circuits", Design Automation Conferrence Best Paper Award, IEEE/ACM Society ,2525

งานวิจัย / สาขาเชี่ยวชาญ

- Circuit Simulation Techniques
- IC Design and Applications
- Embedded System Applications
- Meter Design and Applications

บทความเอกสารวิชาการ (Journal Papers)

- Panuwat Dan-klang and Ekachai Leelarasmee, "Transient Simulation of Voltage and Current Distributions within Transmission Lines", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (IEICE Journal), Vol. E92-C, No.4,pp, April 2009
- Panuwat Dan-klang and Ekachai Leelarasmee, "Simulation of Voltage and Current Distributions in Transmission Lines using State Variables and Exponential Approximation", Information, Telecommunications & Electronics (ETRI Journal), Volume 31 – Number 1 – February 2009, ISSN 1225-6463, page 42 - 50
- Ekachai Leelarasmee, "A TV Sign Image Expander with Built-in Closed Caption Decoder", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Volume 51 (ISSN 0098-3063), Page 682 – 687, May 2005

- เอกชัย ลีลารัศมี และ วันเฉลิม โปรา, "*การพัฒนาระบบวีดิทัศน์ชนิด PAL ที่ซ่อนคำบรรยายไทย – อังกฤษ*" , วารสาร NECTEC TECHNICAL JOURNAL, ปี 2545
- Methee Hwangkhunnatham and Ekachai Leelarasmee , "*A Two Level Transmission Line Models for Transient Analysis*" , Journal of Circuits Systems and Computers, 1999
- Ekachai Leelarasmee and Methee Hwangkhunnatham , "*An Implementation of a Matrix Cache to Speed up The Conventional Transient Simulation of Piecewise Linear Circuits*", Journal of Circuits, Systems, and Computer Vol. 7, No. 4 (1997) page 353-360, 1997

บทความการประชุมทางวิชาการ (ย้อนหลัง 5 ปี) (Conference Papers)

- Rawit Thiravirojana and and Ekachai Leelarasmee, "Energy Saving and Management, Home Automat", ECTI-CARD 2011 Bangkok THAILAND, May 5-6, 2011
- Sarawut Dechjarusyothin, Rawit Thiravirojana and and Ekachai Leelarasmee, "A Fluorescent Lighting Control System based on DALI protocol", IC-ICTES 2011, 27-29 มกราคม 2554
- ณัฐนิช เกียรติมณีรัตน์ และเอกชัย ลีลารัศมี, "วงจรออสซิลเลเตอร์รูปสามเหลี่ยมแบบวงแหวนที่มีความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันขีดเริ่มเปลี่ยน", ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33), 1–3 ธันวาคม 2553
- Prakit Jaroenkittichai and Ekachai Leelarasmee, "Indoor Localization System with Path-loss Model A daptation in ZigBee Network", The 3rd AUN/SEED-Net Regional Conference on Electrical and Electronics Engineering, Philippines, 8-9 September 2010
- Varit Limwibul and Ekachai Leelarasmee, "A Successive Approximation ADC based on Charge Sharing and Charge Accumulation Techniques ", The 3rd AUN/SEED-Net Regional Conference on Electrical and Electronics Engineering, Philippines, 8-9 September 2010
- Torkiat Taithongchai and Ekachai Leelarasmee, "Adaptive Electromagnetic Energy Harvesting Circuit for Wireless Sensor Application", ECTI-CON 2009, Pattaya Thailand, May 6 – 9, 2009
- Torkiat Taithongchai and Ekachai Leelarasmee, "A Wireless Video Surveillance using GPRS and powered by harvested electromagnetic field", ICESIT 2009, Pattaya Thailand, Feb. 11-13, 2009
- สกลพงษ์ บูรณะวิทย์ และเอกชัย ลีลารัศมี, "การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้ชิพประมวลผลสัญญาณดิจิตอล TMS302C6713", ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), 29 – 31 ตุลาคม 2551
- Kanitpong Pengwon and Ekachai Leelarasmee ,"A Quadrature Generator Based on CMOS Triangular-to-Sine/Cosine Converter with ? Frequency Output", IEEE International Conference on Circuits & Systems for communications [ICCSC 2008], 26 – 28 May 2008

- Ekachai Leelarasmee, "A TV Image Expander for the Deaf", International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology 2008 (ICREATE 2008), Bangkok Thailand, 13 – 15 May 2008
- Panuwat Dan-klang and Ekachai Leelarasmee, ""Transient Simulation of Coupled Transmission Lines based on Piecewise Exponential Approximation of Voltage and Current Distributions", Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2007), Bangkok Thailand , December 11 – 14, 2007
- Ekachai Leelarasmee and Wanchalerm Pora, "An Automatic TOU Meter Reading using ZigBee", International Conference on Telecommunication, Industry and Regulatory Development (ICTIR 2007), Bangkok Thailand, August 19 - 21, 2007
- Kobkaew Opasjumruskit, Apisak Worapishet and Ekachai Leelarasmee, "A Design of CMOS Class-AB Differential Log-Companding Amplifier", ECTI-CON 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, THAILAND, May 9 - 12, 2007
- Kanitpong Pengwon and Ekachai Leelarasmee, "A Modified CMOS Differential-Pair-Based Triangular-and-Trapezoidal to-Sine", ECTI-CON 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, THAILAND, May 9 - 12, 2007
- Dr. Ekachai Leelarasmee and Dr. Wanchalerm Pora, "CU-NEC Energy Meter with Secure RF AMR"(Poster), Microelectronics and Embedded Ssytems Workshop MES 2007, UK Singapore, January 23 – 24, 2007, The Biopolis, Singapore
- Weerayut Amphaiwikrai, Ekachai Leelarasmee and Boonchuay Suphmonchai,"A 10 Gb/s MCML Multiplexer/Demultiplexer for High Speed Communication", ECTI-CON 2006, May 10 -13, 2006, Ubon RAtchathani, THAILAND
- Ohmmarin Sathusen and Ekachai Leelarasmee,"A Low-Voltage and Low-Power Digital Temperature Sensor Unit for RFID Chip", ECTI-CON 2006, May 10 -13, 2006, Ubon RAtchathani, THAILAND
- Prapto Nugroho, Ekachai Leelarasmee and Nobuo Fujii, "Tuning Analysis of a CMOS Current Controlled Ring Oscillator", ITC-CSCC 2006, 10 – 13 July, 2006, Chiang Mai, THAILAND

นักวิจัย :

ชื่อ	สราวุฒิ เดชจรัสโยธิน
ตำแหน่ง	-
สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์, ห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวม
โทร	0-218-6488
โทรสาร	0-218-6488
อีเมล์	sarawut.d@chula.ac.th

ปี (พ.ศ.)	**ปริญญา**	**สถานศึกษา**	**สาขาวิชา**
2550	วศ.ม.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วิศวกรรมไฟฟ้า
2547	วศ.บ.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วิศวกรรมไฟฟ้า