

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง  
ระหว่างการขับด้วยสัญญาณพัลส์และไฟฟ้ากระแสตรง

COMPARISON OF THE LIGHTING LED LUMINOUS EFFICIENCY BETWEEN  
PULSE SIGNAL DRIVING CRUIT AND SWITCHING DC POWER SUPPLY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-040-047

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง  
ระหว่างการขับด้วยสัญญาณพัลส์และไฟฟ้ากระแสตรง

COMPARISON OF THE LIGHTING LED LUMINOUS EFFICIENCY BETWEEN  
PULSE SIGNAL DRIVING CRCUIT AND SWITCHING DC POWER SUPPLY



พิชญ์นิษฐ์ สุขภาณี  
PICHKANIT SUKPASRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-040-047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF THE LIGHTING LED LUMINOUS EFFICIENCY BETWEEN  
PULSE SIGNAL DRIVING CRCUIT AND SWITCHING DC POWER SUPPLY



PICHKANIT SUKPASRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016

KMITL-2016-EN-M-040-047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2016**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างระหว่างการขับ  
ด้วยสัญญาณพัลส์และไฟฟ้ากระแสตรง

Thesis Title Comparison of the Lighting LED Luminous Efficiency between Pulse Signal  
Driving Circuit and Switching DC Power Supply

นักศึกษา นางสาวพิชญ์กนิษฐ์ สุขภาชี

รหัสประจำตัว 57601183

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-040-047

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.นรินทร์	อดิวงศ์แสงทอง
ผศ.ดร.โยธิน	วงศ์ประเสริฐ
ดร.อัมพร	โพธิ์ไย
รศ.ชนิษฐา	แช่ตั้ง
รศ.จิรวัดน์	ปานกลาง

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **ฉบับตี คณะวิศวกรรมศาสตร์** โดยศูนย์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้อง **วันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2559**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างระหว่างการขับด้วยสัญญาณพัลส์และไฟฟ้ากระแสตรง
นักศึกษา	นางสาวพิชญ์กนิษฐ์ สุขภาณี
รหัสประจำตัว	57601183
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างวงจรขับ Light-Emitting Diode หรือ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า ที่ทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงขึ้น แต่มีค่าฟลักซ์ความส่องสว่างที่เทียบเท่ากับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือ DC ในโหมดกระแสไฟฟ้า จากการทดลองพบว่า ช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{PEAK}$ ) จะส่งผลต่อค่าฟลักซ์ความส่องสว่าง โดยช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุด ( $5T$ ) จะมีค่าประมาณ  $100 \mu s$  และความถี่สูงสุดที่เหมาะสมในการขับด้วยสัญญาณพัลส์คือ 1 kHz โดยค่า Duty Cycle ที่เหมาะสมในการเลือกใช้ขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดควบคุมแรงดันไฟฟ้าคือ 80% มีค่าฟลักซ์ความส่องสว่างที่แตกต่างกับการขับด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือ DC เท่ากับ 7% ซึ่งถือว่ามีค่าไม่แตกต่างจากการขับด้วย DC แต่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างมีค่ามากกว่าการขับด้วย DC ถึง 80% แสดงว่าสามารถใช้การขับหรือ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้าแทนที่การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือ DC ในโหมดควบคุมกระแสไฟฟ้าได้ โดยจะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากขึ้น แต่มีค่าฟลักซ์ความส่องสว่างที่เท่าเดิม

<b>Thesis Title</b>	Comparison of the Lighting LED Luminous Efficiency between Pulse Signal Driving Circuit and Switching DC Power Supply
<b>Student</b>	Miss Pichkanit Sukpasri
<b>Student ID.</b>	57601183
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Electronics Engineering
<b>Year</b>	2016
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Jirawath Parnklang

### ABSTRACT

This thesis studies data in order to create guidelines for assembling lighting LED driver which drives with pulse signals in voltage-mode control that gives lighting LED more Luminous Efficiency but has similar luminous flux to lighting LED that drives with switching DC or switching DC with current-mode control. From experiments, the period when peak current ( $I_{PEAK}$ ) occurs affects Luminous Flux. The peak current period ( $5\tau$ ) is approximately 100 us and the highest suitable frequency for pulse signal driving is 1 kHz, with adapted duty cycle for driving lighting LED with pulse in voltage-control mode of 80 percent. Difference in Luminous Flux between pulse signal driving and switching DC driving is 7 percent, which is small compared to switching DC driving but Lighting LED Luminous Efficiency of pulse signal driving is higher than switching DC driving up to 80 percent. This shows pulse signal driving in voltage-mode control can replace switching DC driving, resulting in giving lighting LED more Lighting LED Luminous Efficiency with same luminous flux.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ โดยให้ความช่วยเหลือและคำชี้แนะในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการทำวิจัย, การทดลอง ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและกำลังใจในการดำเนินงานตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณยาย และครอบครัวข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง และให้กำลังใจตลอดมาทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจทุกท่าน และสำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พิชญ์กนิษฐ์ สุขภาณี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	6
2.1 หลักการเปล่งแสงของหลอด LED.....	6
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED และค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED.....	14
2.3 ข้อดี-ข้อเสียของหลอด LED และวิธีการผลิตหลอด LED แสงสีขาว.....	15
2.3.1 การผสมสี (Color Mixing).....	16
2.3.2 การเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion).....	16
2.4 ชนิดของรูปรังหลอด LED.....	17
2.5 วงจรขับ LED อย่างง่ายและวิธีการทำงานของวงจรทั่วไป.....	17
2.5.1 วงจรขับ LED ด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้า.....	18
2.5.2 วงจรขับ LED ด้วยโหมดกระแสไฟฟ้า.....	20
2.6 วงจรขับ LED ด้วย PWM.....	25
2.7 ลักษณะเฉพาะของ LED เพื่อการส่องสว่างในปัจจุบัน.....	27
บทที่ 3 ค่าประสิทธิภาพส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วย DC และสัญญาณพัลส์ และวงจรที่ใช้ในการทดลอง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1 ความแตกต่างของการส่องสว่างเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC และสัญญาณพัลส์.....	29
3.2 ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง.....	34
3.3 วงจรที่ใช้ในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวงจรพัลส์.....	35
3.3.1 Line Filter.....	38
3.3.2 DC-DC Converter.....	38
3.3.3 Pulse Generator.....	39
3.3.4 Gate Drive.....	41
3.3.5 LED.....	42
บทที่ 4 วิธีดำเนินงานและผลการทดลอง.....	44
4.1 ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของ LED เพื่อการส่องสว่าง.....	44
4.1.1 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง.....	44
4.1.2 การหาค่าช่วงเวลา $5\tau$ ของ LED เพื่อการส่องสว่าง.....	48
4.2 การทดสอบการขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ความถี่ต่างๆ.....	50
4.3 แสดงผลที่ได้จากการทดลองเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์และDC.....	52
4.3.1 การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์.....	52
4.3.2 การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC.....	56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
อ้างอิง.....	63
ภาคผนวก ก.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ข.....	หน้า 69
ประวัติผู้เขียน.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปความแตกต่างของวงจรขับในโหมดต่างๆ.....	24
3.1 คุณสมบัติเฉพาะของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White, Pure Whit และ Cool White.....	43
4.1 แสดงผลการคำนวณค่า $R_D+R_S$ และ $R_S$ .....	46
4.2 แสดงผลอัตราส่วนของช่วงเวลาเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง เมื่อขับด้วยความถี่ต่างๆต่อช่วงเวลา turn on ของ LED เพื่อการส่องสว่าง.....	49
4.3 แสดงผลการทดสอบการขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ความถี่ต่างๆ.....	51
4.4 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White ด้วยสัญญาณพัลส์.....	53
4.5 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Pure White ด้วยสัญญาณพัลส์.....	54
4.6 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Cool White ด้วยสัญญาณพัลส์.....	55
4.7 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC.....	57



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ LED.....	6
2.2 แผนภาพการเปล่งแสงของ LED.....	7
2.3 การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน (ก) Direct Band Gap (ข) Indirect Band Gap.....	8
2.4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED.....	9
2.5 แสดงวงจรสมมูลของ LED.....	10
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED และเวลา.....	11
2.7 แสดงสัญญาณขาเข้า, สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจร.....	11
2.8 แสดงสัญญาณขาออกของ LED.....	12
2.9 แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ช่วง Transient Response.....	12
2.10 วงจรทดสอบค่าความถี่สูงสุดของ LED.....	13
2.11 วงจรสมมูลอันดับที่ใช้ทดสอบค่าความถี่สูงสุดของ LED.....	13
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED.....	14
2.13 (ก) เทคนิคในการผลิตหลอด LED แสงสีขาวด้วยวิธีการผสมสี (Color Mixing) (ข) เทคนิคในการผลิตหลอด LED แสงสีขาวด้วยวิธีการเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion).....	16
2.14 โครงสร้างพื้นฐานวงจรควบคุมโหมดแรงดันไฟฟ้า.....	18
2.15 วงจรขับ LED ด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้าและตรวจสอบกระแสไฟฟ้าด้วยตัวต้านทาน บัลลาสต์.....	19
2.16 โครงสร้างพื้นฐานวงจรควบคุมด้วยโหมดกระแสไฟฟ้า.....	20
2.17 วงจรขับ LED โหมดกระแสไฟฟ้าที่มีการควบคุมผลรวมกระแสไฟฟ้า.....	21
2.18 วงจรควบคุมด้วยโหมดกระแสไฟฟ้าโดยต่อ LED ที่ต่อแบบขนาน.....	22
2.19 วงจรควบคุมโหมดกระแสไฟฟ้าโดยต่อ LED แบบอนุกรม.....	22
2.20 ตัวอย่างวงจรขับ LED ด้วย LM317L และตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจาก $R_{SENSE}$ .....	23
2.21 โครงสร้างวงจรถ้าเนตสัญญาณ PWM.....	25

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 ตัวอย่างวงจรรวมแบบ PWM.....	26
2.23 ตัวอย่างลักษณะเฉพาะของ LED จากผู้ผลิต Remis Australia LED Light.....	27
2.24 ตัวอย่างเฉพาะของ LED จากผู้ผลิต Landivi.....	28
2.25 ตัวอย่างเฉพาะของ LED จากผู้ผลิต Philips.....	28
3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วย.....	30
3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วย สัญญาณพัลส์และค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างสัมพัทธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่าง.....	31
3.3 ตัวอย่างแผงวงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างในหลอดไฟ LED ทั่วไป.....	33
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED.....	34
3.5 บล็อกไดอะแกรมวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์.....	36
3.6 ลายวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์.....	37
3.7 Line Filter ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
3.8 วงจร DC-DC Converter ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.9 วงจร Pulse Generator ที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมและแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง.....	40
3.11 วงจร Gate Drive ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.12 (ก) แสดงภาพตัวอย่างหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองแบบ Warm White (ข) แสดงภาพตัวอย่างหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองแบบ Pure White (ค) แสดงภาพตัวอย่างหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองแบบ Cool White..	42
4.1 วงจรขับ LED ที่ใช้ในการทดสอบกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง.....	45
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง.....	46
4.3 วงจรที่ใช้ในขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์.....	48
4.4 สัญญาณตกคร่อมมอสเฟตและตัวต้านทานตรวจจับกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการหาค่า $5\tau$ .....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง (lm) และความถี่ (Hz).....	51
4.6 สัญญาณพัลส์ขาออกของวงจร Pulse Generator.....	52
4.7 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White ที่ได้จากการทดลอง (ก) Duty Cycle = 20% (ข) Duty Cycle = 40% (ค) Duty Cycle = 60% (ง) Duty Cycle = 80%.....	53
4.8 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Pure White ที่ได้จากการทดลอง (ก) Duty Cycle = 20% (ข) Duty Cycle = 40% (ค) Duty Cycle = 60% (ง) Duty Cycle = 80%.....	54
4.9 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Cool White ที่ได้จากการทดลอง (ก) Duty Cycle = 20% (ข) Duty Cycle = 40% (ค) Duty Cycle = 60% (ง) Duty Cycle = 80%.....	55
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและค่าตัวชี้วัดที่ได้จากวงจรขับ ด้วยสัญญาณพัลส์.....	56
4.11 วงจร DC – DC Converter ที่ใช้ในการอ้างอิง.....	56
4.12 วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC.....	57
4.13 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วย DC (ก) Warm White (ข) Pure White (ค) Cool White.....	58
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและค่าตัวชี้วัดของ LED เพื่อการ ส่องสว่างที่ได้จากการขับด้วยสัญญาณพัลส์และ DC.....	58

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการส่องสว่างได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจจากท้องตลาดเป็นอย่างมากคือ เทคโนโลยีการส่องสว่างด้วย LED เพื่อการส่องสว่างและนอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนที่การส่องสว่างแบบที่ใช้หลักการดิสชาร์จ เนื่องจาก LED เพื่อการส่องสว่างมีอายุการใช้งานมากกว่าเมื่อเทียบกับหลอดไฟชนิดเดิมที่เคยใช้กัน รวมทั้งยังมีค่าลูเมนส์/วัตต์ (lm/W) ที่มากจึงสามารถช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้พลังงานน้อยในการส่องสว่าง และประโยชน์อีกมากมาย

เทคโนโลยีในการส่องสว่างโดยใช้ LED เพื่อการส่องสว่างนี้มีการใช้วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่หลากหลาย แต่เดิมวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างอย่างง่ายคือ วงจรที่มีแหล่งจ่ายไฟบวก กระแสตรงต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 1 ตัวและ LED เพื่อการส่องสว่าง โดย LED เพื่อการส่องสว่างจะติดเมื่อให้แรงดันไบอัสตรงแก่ LED เพื่อการส่องสว่าง และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่ม แต่วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างแบบนี้ไม่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างได้ ต่อมาจึงมีการพัฒนาโดยใช้วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้า โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของวงจรให้คงที่ วิธีการขับ LED เพื่อการส่องสว่างแบบนี้มีข้อดีคือเป็นวงจรที่ง่ายต่อการออกแบบและมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ รวมถึงมีราคาไม่แพง แต่ข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าภายในวงจรได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าภายในวงจรจะไม่สามารถตรวจสอบได้ ถ้ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้พลังงานสูญเสียของ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ต่อมาจึงมีการพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหาของวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวงจรโหมดแรงดันไฟฟ้า โดยการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยโหมดกระแสไฟฟ้าโดยวงจรจะควบคุมกระแสไฟฟ้าสูงสุดของวงจรที่ LED เพื่อการส่องสว่างสามารถทนรับได้ และวงจรนี้จะตรวจสอบกระแสไฟฟ้าของวงจรจากตัวต้านทานตรวจสอบกระแสไฟฟ้า ( $R_{sense}$ ) ข้อดีของวงจรขับนี้คือสามารถตรวจสอบกระแสไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า แต่วงจรขับแบบนี้มีข้อเสียคือจะใช้ได้กับวงจรที่มีกระแสไฟฟ้าที่มีค่าน้อยและจะไม่รองรับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าในช่วงกว้างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันมีการพัฒนางจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น คือวงจร Pulse Width Modulation (PWM) และปัจจุบันเริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยสัญญาณขาออกของวงจร PWM จะเป็นสัญญาณแบบพัลส์ และผ่านด้วย Butterworth Filter ในที่นี้คือ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ไปขับ LED เพื่อการส่องสว่างนี้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) วงจรขับแบบ PWM สามารถควบคุมในโหมดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ แต่วงจรขับแบบนี้ยังคงมีราคาแพงเมื่อเทียบกับวงจรขับหลอดไฟแบบอื่นๆที่เคยใช้กันมา

แต่ในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นคือการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ทั้งหมด และนิยมใช้ควบคุมในโหมดกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างจะมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อส่องสว่าง และตามแนวคิดของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ มีข้อสังเกตที่น่าสนใจคือเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ จะเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{PEAK}$ ) ที่ทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่สูงขึ้น ดังนั้นการขับ LED เพื่อการส่องสว่างในโหมดแรงดันไฟฟ้าจะไม่มีการจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้น และการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันจะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างติดตลอดเวลา แต่การขับด้วยสัญญาณพัลส์ที่จะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างติดและดับสลับกันตามคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ที่กำหนดไว้ จึงมีค่ากำลังสูญเสียที่น้อยกว่าการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC การศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือแนวทางในการสร้างวงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างในโหมดแรงดันไฟฟ้า ที่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากขึ้น แต่มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่เทียบเท่ากับการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ในโหมดกระแสไฟฟ้าได้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1 ศึกษาหลักการทำงานของวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า
- 2 นำเสนอแนวคิดในการเลือกใช้การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากกว่า การขับด้วย DC ในโหมดกระแสไฟฟ้า แต่ให้ค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่เท่ากัน
- 3 สร้างวงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์โหมดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วงจรขับที่มีอยู่ในปัจจุบันจะเลือกใช้วงจรที่ป้อนสัญญาณกระแสไฟฟ้าตรงในการขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่าง โดย LED เพื่อการส่องสว่างเป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง ซึ่งการเปล่งแสงของ LED เพื่อการส่องสว่างนั้นจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง ถ้าค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมีค่ามาก จะทำให้ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของหลอด LED มีค่ามากตามไปด้วย

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาวิธีการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างต่อไป โดยมุ่งเน้นการพัฒนาวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของ LED เพื่อการส่องสว่างน้อย แต่ยังคงให้ค่า ฟลักซ์ส่องสว่างที่เท่ากับการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC เพราะการขับในโหมดแรงดันไฟฟ้าจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างได้ และช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดจะมีผลต่อค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่วัดได้ ซึ่งเมื่อขับด้วยดิวิตีไซเคิลมากแต่ไม่เท่ากับ 100% (DC) จะมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่เกิดจากช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงกว่าการขับที่ 100% ทำให้มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างมีค่าใกล้เคียงกับการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ในขณะที่มีค่ากำลังสูญเสียที่น้อยกว่าเพราะการขับด้วยสัญญาณพัลส์จะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างทำงานแบบติด-ดับ ดังนั้นจึงมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากกว่าการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษา วิจัย และออกแบบวงจรในการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้หลักการตามหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

1. หลักการเปล่งแสงของหลอด LED เพื่อการส่องสว่าง โดย LED หรือ Light Emitting Diode เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงได้ LED จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหมือนกับไดโอดมาตรฐานทั่วไป โดยการเปล่งแสงของ LED จะมีการเปล่งแสงเมื่อมีการไบอัสด้วยไฟฟ้า เป็นการฉีดพาหะอิเล็กตรอนเข้าไปในสารกึ่งตัวนำย่าน p ในทางตรงกันข้าม โฮลในย่าน p ก็แพร่ซึมเข้าไปในย่าน n เกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนที่ชั้นปลดพาหะชั้นมีอิเล็กตรอนที่เปลี่ยนระดับชั้นขึ้นไปชั้นแถบความนำ ( $C_B$ ) และตกลงมาที่ชั้นวาเลนซ์ ( $V_B$ ) เป็นระยะเวลาเท่ากับ relaxation time รวมทั้งอาจเกิดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮล ปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะมีการปล่อยพลังงานแสงออกมา โดยทั่วไป LED เพื่อการส่องสว่างนั้นจะ

เลือกใช้เป็น LED แสงสีขาว ที่มีค่าอุณหภูมิสีประมาณ 2700K-7000K แล้วแต่การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่าง ในวงจรขับหลอด LED อย่างง่ายคือ การต่อแหล่งจ่ายไฟบวกกระแสตรงต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่าน LED มากจนเกินไป และต่อเข้ากับขาแอนโอดของ LED และต่อไฟลบเข้ากับขาแคโทดของ LED แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เราเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าทางตรง ต่อมามีการพัฒนางจรขับ LED ที่สามารถควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านของ LED ได้ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม และควบคุมกระแสไฟฟ้าได้จากตัวต้านทานตรวจสอบกระแสไฟฟ้า

วงจรถับ LED ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยปัจจุบันมีการใช้วงจรถับ LED ด้วย PWM ในโหมดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า สัญญาณขาออกของ PWM จะเป็นแบบพัลส์ โดยหลักการการทำงานจะควบคุมด้วยค่าตัวดีไซเคิลของวงจรถับ และผ่าน Butterworth Filter เพื่อทำให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรถับทั้งหมดที่ได้กล่าวมาจะขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC และนิยมใช้โหมดกระแสไฟฟ้า

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาและออกแบบวงจรถับที่ใช้ในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า โดยไม่ควบคุมค่ากระแสไฟฟ้าของ LED เพื่อการส่องสว่าง เพื่อเปรียบเทียบค่าพลาซมส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างกับวิธีการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

### 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สนใจศึกษาการสร้างวงจรถับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ได้พลาซมส่องสว่างตาม

ต้องการ โดยใช้สัญญาณพัลส์ในการขับแทนไฟฟ้ากระแสตรงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมุ่งพัฒนางจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น โดยการสร้างวงจรถับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวงจรถับพัลส์และศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งนี้จะนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับวงจรถับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวิธีการขับแบบอื่นๆ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในการทำวิจัยเกี่ยวกับวงจรถับหลอด LED เพื่อการส่องสว่าง รวมถึงสิ่งที่สนใจในการศึกษาและการพัฒนางจรในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 เนื่องจากวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างในปัจจุบันมีการควบคุมวงจรด้วยโหมดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้อธิบาย หลักการทำงานของแต่ละโหมดการควบคุม รวมทั้งข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน และทฤษฎีการเปล่งแสงของ LED เพื่อการส่องสว่าง รวมถึงความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพของ LED เพื่อการส่องสว่าง

บทที่ 3 ค่าประสิทธิภาพส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วย DC และสัญญาณพัลส์และวงจรที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยทำการวิเคราะห์การทำงานของวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่าง รวมทั้งฟลักซ์ส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพของ LED เมื่อเทียบกับวิธีการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะที่ได้จากการทดลอง

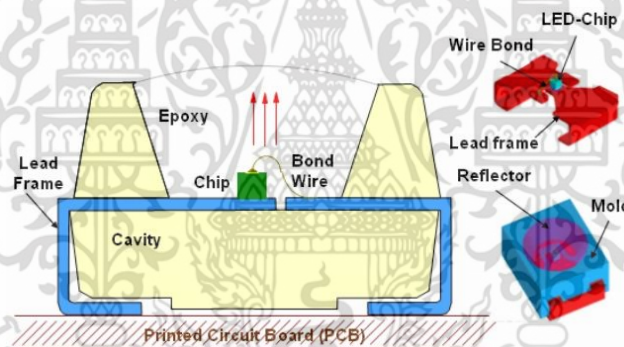


## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐาน

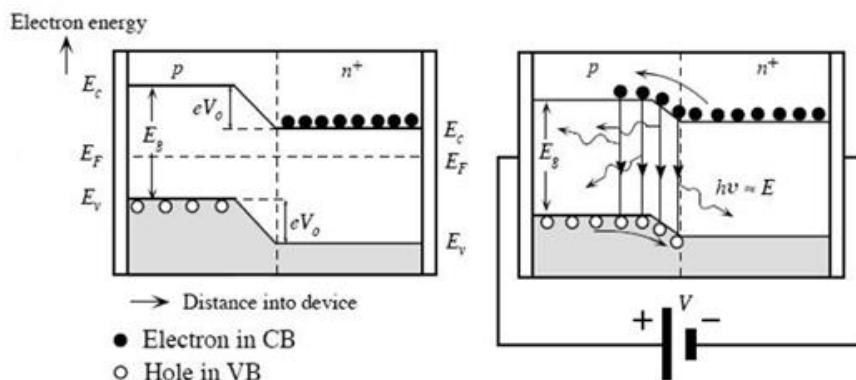
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปล่งแสงของ LED โดยจะเริ่มต้นจากการอธิบายโครงสร้างพื้นฐานของ LED และวงจรสมมูลของ LED กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง วงจรพื้นฐานที่ใช้ในการขับหลอด LED ทัวไปกับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมและการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง และกล่าวถึงการพัฒนาวงจรขับ LED ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ การใช้วงจร *Pulse Width Modulation (PWM)* ในโหมดแรงดันไฟฟ้าและ โหมดกระแสไฟฟ้า และตัวอย่างลักษณะเฉพาะของ LED เพื่อการส่องสว่าง

### 2.1 หลักการเปล่งแสงของหลอด LED



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ LED [1]

จากรูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ LED ไดโอดเปล่งแสงหรือ Light Emitting Diode (LED) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่ตั้งอยู่ในประเภทของไดโอด LED จึงมีโครงสร้างเหมือนไดโอดทั่วไป โดย LED นั้นจะสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงเมื่อมีการไบอัสตรงให้กับ LED โดย LED มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นไปตามรูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ LED ทัวไปจะระบายความร้อนด้วยฮีตซิงก์ ในกรณีที่เป็น LED เพื่อการส่องสว่างจะเป็น LED แสงสีขาว ที่มีการเคลือบสารเรืองแสงที่สม่ำเสมอ โดยชิปจะมีชั้นปกคลุมคือเจลซิลิโคนส่วนชั้นบนสุดของชิปจะเป็นเลนส์ จากข้างต้นนั้นหลักการเปล่งแสงของ LED เกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงเมื่อมีการไบอัสตรงให้กับ LED ดังนั้นการเปล่งแสงของ LED เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยแสดงแผนภาพการเปล่งแสงของ LED แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพการเปล่งแสงของ LED [2]

เมื่อไบอัสตรงให้กับ LED จะเกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนที่ชั้นปลอดพาหะ (Depletion Layer) โดยอิเล็กตรอนที่สะสมอยู่เป็นจำนวนมากที่ชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) จะเปลี่ยนระดับชั้นขึ้นไปทีแถบนำกระแส (Conduction band, CB) และลดระดับชั้นพลังงานลงมาที่ แถบวาเลนซ์ (Valence band, VB) โดยจะเกิดโอกาสที่อิเล็กตรอนตกลงมารวมตัวหรือไม่รวมตัวกับ โฮลที่แถบวาเลนซ์ได้ทั้งสิ้น แต่ในการลดระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนนั้นจะเปล่งแสงออกมา คือ แสงของ LED ที่เราสามารถจับได้ โดยระยะเวลาตั้งแต่อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานขึ้นไปทีแถบ ความนำจนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานลงมาที่ชั้นวาเลนซ์จะเรียกว่า Relaxation time และแสงที่เปล่ง ออกมานั้นจะมีค่าตามสมการดังต่อไปนี้

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

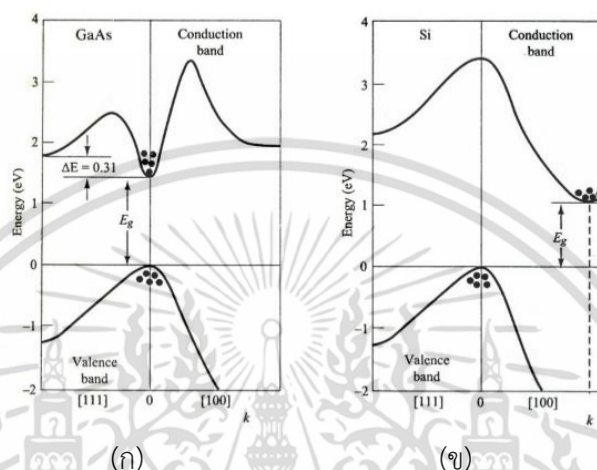
โดยที่  $E$  = พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจาก LED (J, eV)  
 $h$  = ค่าคงที่ของพลังค์มีค่าเท่ากับ  $6.626 \times 10^{-34}$  Js  
 $\nu$  = ความถี่แสง (Hz,  $\text{sec}^{-1}$ )

ในการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานมีเงื่อนไขทั้งหมด 2 แบบคือ Direct Band Gap (การส่งถ่าย พลังงานแบบตรง) และ Indirect Band Gap (การส่งถ่ายพลังงานแบบอ้อม) โดยแต่ละเงื่อนไขจะ ขึ้นอยู่กับเนื้อสารของ LED มีข้อแตกต่างดังต่อไปนี้

1. Direct Band Gap คือการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบนำกระแสลงมาที่ แถบวาเลนซ์มีค่าโมเมนตัมเท่ากัน และมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือพลังงานแสง ซึ่งอิเล็กตรอนทุกตัวที่ตกลงมาจะเกิดเป็นพลังงานแสงทั้งหมด โดยมีช่วงความถี่ที่แตกต่างกันตามขนาด ของช่องว่างแถบพลังงาน โดย LED ที่เป็นเนื้อสารแบบ Direct Band Gap เช่น GaAs มีค่า  $E = 1.43$  eV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Indirect Band Gap คือการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบนำกระแสลงมาถึงแถบวาเลนซ์ได้โดยตรงโดยมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม จุดต่ำสุดของแถบนำกระแสและจุดสูงสุดของแถบวาเลนซ์อยู่ไม่ตรงกัน ทำให้การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานลงของอิเล็กตรอนจะมีการพักที่ระดับชั้นพลังงานอื่นก่อน ซึ่งต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม โดย LED ที่เป็นเนื้อสารแบบ Indirect Band Gap เช่น Si มีค่า  $E = 1.08 \text{ eV}$  แสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน

(ก) Direct Band Gap (ข) Indirect Band Gap [3]

จากรูปที่ 2.2 แผนภาพการเปล่งแสงของ LED เป็นการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานแบบ Direct Band Gap จึงเหมาะกับเนื้อสารชนิด GaAs สมมติว่าเลือกใช้ LED แสงสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าความถี่แสงเท่ากับ  $6.52 \times 10^{14}$  เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ 2.1 จะมีค่า  $E = 4.32 \times 10^{-19} \text{ eV}$  และมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED สีน้ำเงินเท่ากับ 2.7 โวลต์ซึ่งมีค่า  $E$  ที่น้อย จะนิยมใช้เนื้อสารที่เป็นแบบ Indirect Band Gap

พลังงานแสงของ LED เกิดจากการที่อิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากสถานะที่สูงกว่าลงมาระดับชั้นที่ต่ำกว่า ปริมาณของอิเล็กตรอนที่มีการเคลื่อนที่และเปลี่ยนระดับชั้นลงมาบริเวณรอยต่อคือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED และเกิดเป็นมีฟลอคซ์ความส่องสว่างของ LED กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED มีค่าตามสมการที่ 2.2

$$I_{LED} = I_0(e^{qV_B/KT} - 1) \quad (2.2)$$

โดยที่  $I_{LED}$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED (A)

$I_0$  = กระแสไฟฟ้าอิ่มตัวเมื่อมีการไบอัสกลับ (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

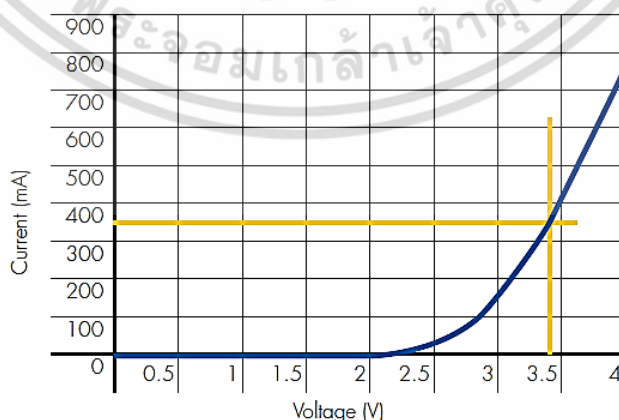
- $q$  = ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ  $1.6021 \times 10^{-19}$  C  
 $V_B$  = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED (V)  
 $k$  = ค่าคงที่ของ **โบลต์ซมานน์** มีค่าเท่ากับ  $1.3806503 \times 10^{-23}$  J K<sup>-1</sup>  
 $T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่รอยต่อ p-n

เนื่องจากในอุดมคติอิเล็กตรอนทุกตัวที่ตกลงมาจะกลายเป็นพลังงานแสงทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงอิเล็กตรอนบางตัวจะหลุดผ่านเข้าไปที่เนื้อสารกลายเป็นกำลังสูญเสียหรือพลังงานความร้อน และอิเล็กตรอนบางส่วนที่ตกลงมาที่รอยต่อที่ไม่ได้กลายเป็นพลังงานแสงก็กลายเป็นพลังงานความร้อนด้วยเช่นกัน ดังนั้นจะมีการกำหนดค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างคือ  $\eta$  เพื่ออธิบายว่ามีอิเล็กตรอนบางส่วนที่ไม่ได้กลายเป็นพลังงานแสง โดยมีค่าตามสมการที่ 2.3

$$I_{LED} = \eta I_0 (e^{qV_B/kT} - 1) \quad (2.3)$$

โดยที่  $\eta$  = ค่าประสิทธิภาพความสว่างของ LED มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงอิเล็กตรอนทุกตัวกลายเป็นแสงทั้งหมด

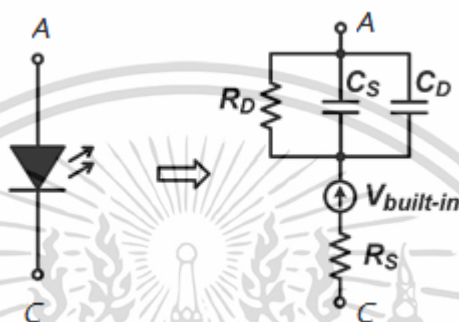
สำหรับการขับ LED นั้น LED จะนำกระแสไฟฟ้าได้นั้น แรงดันไฟฟ้าไบอัสตรงที่ป้อนให้ LED จะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่มของ LED หรือ Built-in Voltage ( $V_{Built-in}$ ) และค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED นั้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียลเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างจะแสดงดังรูปที่ 2.4



**รูปที่ 2.4** ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED จุดตัดกันระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะเรียกว่าจุดทำงาน หรือ Operating Point ของ LED และพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าของ LED มีค่าเท่ากับ 350 mA และค่าแรงดันไฟฟ้าของ LED มีค่าเท่ากับ 3.5 V โดยค่าแรงดันไฟฟ้าขั้วเริ่มของ LED มีค่าประมาณ 2.4 V ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED มีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขั้วเริ่มของ LED กระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่าน LED ได้ และจากวงจรสมมูลของ LED จะเกิดพลังงานความร้อนหรือพลังงานสูญเสียขึ้นภายใน LED ที่ตัวต้านทานของวงจรสมมูลของ LED



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของ LED [5]

โดยที่  $R_D$  คือตัวต้านทานที่รอยต่อ p-n,  $R_S$  คือความต้านทานภายในสารกึ่งตัวนำ,  $C_D$  คือค่าความเก็บประจุไฟฟ้าของ LED ที่ชั้นปลดพาหะ,  $C_S$  ค่าความเก็บประจุไฟฟ้าสารกึ่งตัวนำ จากวงจรสมมูลของ LED เมื่อกระตุ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าขาเข้าเป็นพัลส์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุภายใน LED จะมีค่าดังต่อไปนี้

$$I_C = \frac{V_{in}u(t)}{R_S} e^{-t/\tau} \tag{2.4}$$

- โดยที่  $C = C_S + C_D$  (F)
- $I_C =$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุไฟฟ้า  $C_S$  และ  $C_D$  (A)
- $V_{in}u(t) =$  แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED (V)
- $\tau =$  Time Constant มีค่าเท่ากับ  $R_S C$
- $t =$  เวลาใดๆ

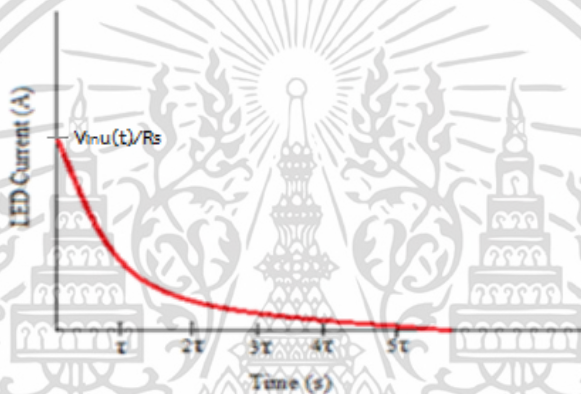
เมื่อเวลาที่  $t=0$  จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (Peak Current) ที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ

$$I_C = \frac{V_{in}u(t)}{R_S} \tag{2.5}$$

โดย  $R_D$  มีค่าตามสมการดังต่อไปนี้

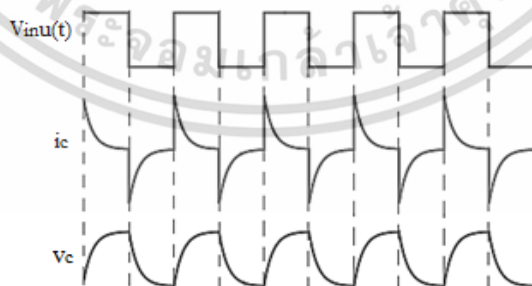
$$R_D = \frac{V_T}{I_{LED}} = \frac{kT/q}{I_{LED}} \tag{2.6}$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุภายใน LED จะเกิดขึ้นเมื่อเวลาที่  $t=0$  โดยมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเป็นไปตามสมการที่ 2.5 เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าในรูปสัญญาณพัลส์ให้กับ LED ประจุไฟฟ้าจะสะสมไว้ที่  $C_D$  และ  $C_S$  ของ LED ในช่วงเวลาทำงานของสัญญาณพัลส์ (Turn On Time) จนเข้าสู่สภาวะคงตัวและจะคายประจุเมื่ออยู่ในช่วงเวลาดับกระแสไฟฟ้า (Turn Off Time) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ จะเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) เมื่อเวลาเท่ากับ  $5\tau$  สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED และเวลาแสดงดังรูปที่ 2.6



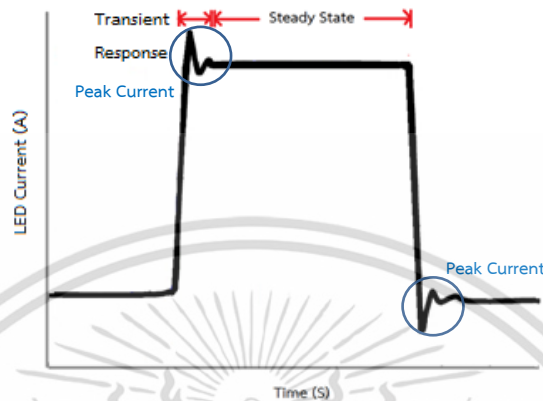
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED และเวลา

โดยสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุสามารถแสดงดังรูปต่อไปนี้



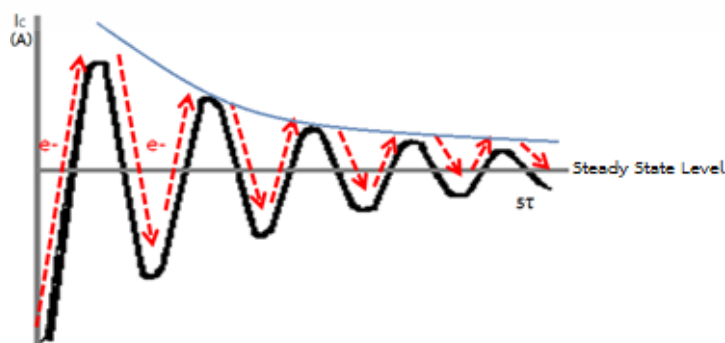
รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณขาเข้า, สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจร

เมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์ให้กับ LED สัญญาณขาออกจะมีลักษณะที่แบ่งออกเป็น 2 สถานะคือ Transient Response (การตอบสนองชั่วคราว) และ Steady State (การตอบสนองในสถานะคงตัว) โดยในช่วงสถานะ Transient Response จะเป็นสถานะที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามสมการที่ 2.4 และมีลักษณะดังแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณขาออกของ LED

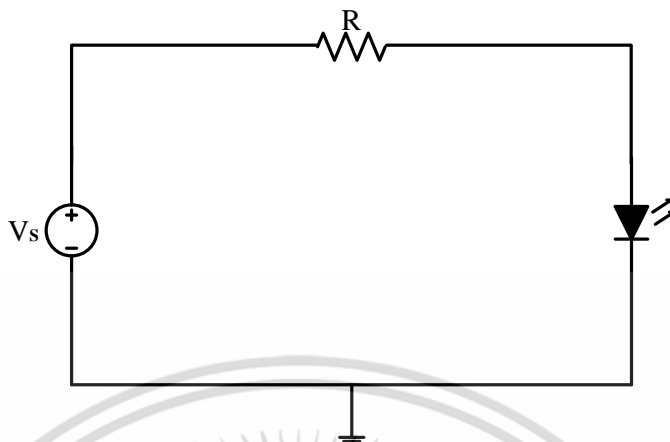
จากรูปที่ 2.2 การเปล่งแสงของ LED เกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของของอิเล็กตรอนที่รอยต่อ โดยอิเล็กตรอนที่สะสมอยู่เป็นจำนวนมากที่ชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) จะเปลี่ยนระดับชั้นขึ้นไปที่แถบนำกระแสและลดระดับชั้นพลังงานลงมาที่แถบวาเลนซ์ โดยระยะเวลาตั้งแต่อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานขึ้นไปที่แถบความนำจน และเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานลงมาที่ชั้นวาเลนซ์จะเรียกว่า Relaxation time ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\tau$  หรือ  $R_5C$  โดยเหตุการณ์ที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานและเกิดพลังงานแสงออกมาในสถานะ Transient Response จะแสดงดังรูปที่ 2.9 จากนั้นจะเกิดการตอบสนองแบบ Underdamped response (การตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต) และเข้าสู่ Steady State เมื่อเวลาเท่ากับ  $5\tau$  การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนจะทำให้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุภายใน LED และเวลาที่มีความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Transient Response

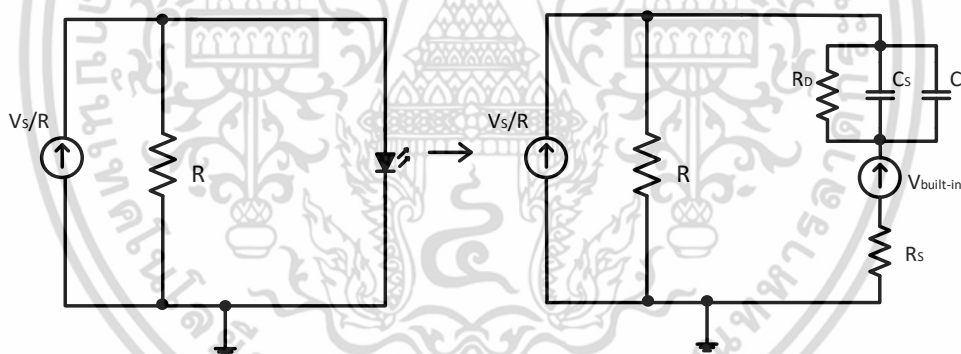
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่าหาค่าความถี่สูงสุดที่สามารถจ่ายให้กับ LED ได้จะทดสอบจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าความถี่ต่างๆให้กับวงจรดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 วงจรทดสอบค่าความถี่สูงสุดของ LED เพื่อการส่องสว่าง

จากรูปที่ 2.10 วงจรทดสอบค่าความถี่สูงสุดของ LED เพื่อการส่องสว่าง สามารถแปลงเป็นวงจรจากแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้หลักของวงจรสมมูลนอร์ตัน[4] ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลนอร์ตันที่ใช้ทดสอบค่าความถี่สูงสุดของ LED เพื่อการส่องสว่าง

วงจรข้างต้นเป็นวงจรอนุพันธ์อันดับหนึ่งซึ่งมีค่าโพลของระบบเท่ากับ  $1/\tau$  ดังนั้นค่าความถี่สูงสุดที่สามารถจ่ายให้กับ LED เพื่อการส่องสว่างจะมีค่า

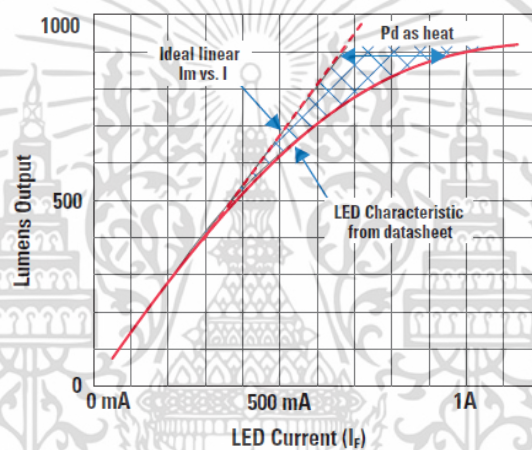
$$f_{max} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{(R_s + R_0)C} \tag{2.7}$$

โดยที่  $f_{max}$  = ความถี่สูงสุดของ LED (Hz)  
 $C = C_s + C_D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED และค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED

จากการศึกษาพบว่าค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED คือปริมาณพลังงานแสงที่เปล่งออกมาจาก LED ต่อหนึ่งหน่วยเวลามีหน่วยเป็น ลูเมนต์ หรือ Lumens (lm) นั้นขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง ในอุดมคติค่าฟลักซ์ความส่องสว่างจะมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED แต่ในความเป็นจริงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง อิเล็กตรอนทั้งหมดที่เคลื่อนที่ไม่ได้เปลี่ยนเป็นพลังงานแสงของ LED เพื่อการส่องสว่างทั้งหมด ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้ง และเกิดกำลังงานที่สูญเสียขึ้น ดังแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED [6]

การเปล่งแสงของ LED เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชั้นเซมิคอนดักเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามพลังงานขาเข้าส่วนหนึ่งจะกลายเป็นพลังงานสูญเสียหรือพลังงานความร้อน ขณะที่อีกส่วนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานแสงของ LED จากรูปที่ 2.4 แสดงวงจรสมมูลของ LED กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นที่ตัวต้านทางภายใน LED เพื่อการส่องสว่างคือ  $R_D$  และ  $R_S$  จากการศึกษาค่ากำลังงานสูญเสียจะได้จากสมการดังต่อไปนี้ [7]

$$P_T = 0.75V_F I_F \quad (2.8)$$

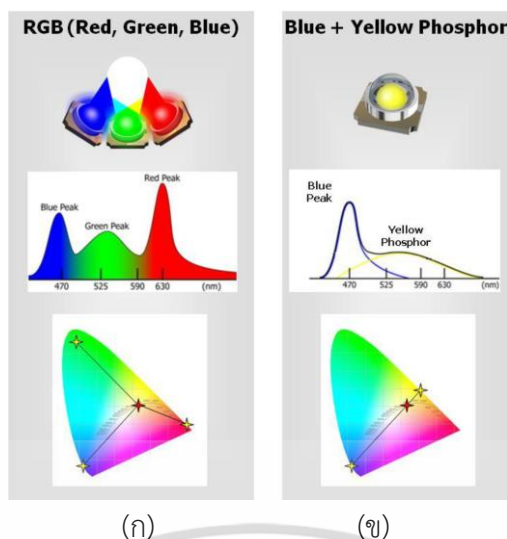
โดยที่  $P_T$  = กำลังงานสูญเสียของ LED (W)  
 $V_F$  = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED (V)  
 $I_F$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกวีเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ข้อดี-ข้อเสียของหลอด LED และวิธีการผลิตหลอด LED แสงสีขาว

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเซมิคอนดักเตอร์มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้เทคโนโลยีในการผลิต LED มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วตามไปด้วย โดยมีการนำ LED มาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น ไฟจราจร ไฟท้ายรถยนต์ ไฟฉาย ป้ายสัญญาณไฟต่างๆ รวมถึงความสว่างของหน้าจอโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันในด้านของการส่องสว่างนั้น รัฐบาลณรงค์ให้ประชาชนใช้หลอด LED เพื่อการส่องสว่างเพิ่มขึ้น ทำให้การผลิตหลอด LED ในตลาดมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นที่น่าสนใจจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น เหตุผลที่หลอด LED ได้รับความนิยมอย่างมาก มีหลายประการดังต่อไปนี้

1. เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น ภายในมีการบรรจุไอของปรอททำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่หลอด LED มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า
  2. เนื่องจากหลอด LED จะเกิดพลังงานความร้อนที่ LED ทำให้ภายในห้องสามารถลดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าในส่วนของเครื่องปรับอากาศได้ ถือว่าเป็นการช่วยประหยัดพลังงานอีกหนทางหนึ่ง
  3. หลอด LED มีความทนทานต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่นการสะท้อนจากการกระแทก เป็นต้น จึงเหมาะที่จะเลือกใช้กับรถยนต์หรือเครื่องบินได้ เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟแบบขดลวดหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเปราะบางกว่า
  4. หลอด LED เมื่อทำการเปิด-ปิด หลอดไฟบ่อยครั้ง หลอด LED จะไม่มีปัญหาใดๆและจะสว่างทันทีเมื่อทำการเปิด ซึ่งแตกต่างจากหลอดประเภทแก๊สดีสชาร์จ ที่เมื่อเปิดหลอดไฟแล้วจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งถึงจะสว่าง
  5. หลอด LED มีอายุการใช้งานที่มากกว่าหลอดไฟชนิดอื่นๆ ยาวนานกว่าหลอดไฟชนิดเดิม
- สำหรับข้อเสียของหลอด LED คือมีราคาแพงกว่าหลอดไส้และหลอดฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 2-3 เท่าและโดยทั่วไปหลอด LED สามารถเปล่งแสงได้เพียงสีเดียว แต่ในการผลิตหลอด LED เพื่อการส่องสว่างนั้น ปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตหลอด LED ที่เปล่งแสงสีขาวได้โดยแท้จริงได้ ซึ่งในปัจจุบันการผลิต LED ที่เปล่งแสงสีขาวยังคงใช้ทางอ้อมในการผลิตโดยใช้การรวมจากแหล่งกำเนิดแสงหลายสีที่มีความยาวคลื่นและค่าความเข้มแสงที่แตกต่างกันเข้าไว้ด้วยกัน ผู้ผลิตหลอด LED จะใช้หลักการของการมองเห็นแสงสว่างมาใช้ในการผลิต เทคนิคในการผลิตมีทั้งหมด 2 วิธีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 (ก) เทคนิคในการผลิตหลอด LED แสงสีขาวด้วยวิธีการผสมสี (Color Mixing)  
(ข) เทคนิคในการผลิตหลอด LED แสงสีขาวด้วยวิธีการเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion) [8]

### 2.3.1 การผสมสี (Color Mixing)

จากรูปที่ 2.12(ก) คือเทคนิคที่ใช้การผสมแม่สีแสงหลักโดยตรง โดยภายในหลอด LED จะประกอบด้วยแผ่นชิปให้แสงสีต่างกัน 3 ตัว เมื่อรวมแสงสีที่ออกมาจากแผ่นชิปแต่ละตัวอย่างเหมาะสมจะได้แสงสีขาว

### 2.3.2 การเปลี่ยนความยาวคลื่น (Wavelength Conversion)

จากรูปที่ 2.12(ข) คือเทคนิคที่ใช้สารเรืองแสงในการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงบางส่วนหรือทั้งหมดซึ่งสามารถประยุกต์ได้ 3 รูปแบบด้วยกันคือ

1. การใช้ LED ให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสารเรืองแสงสีเหลือง (yellow phosphor) แสงสีน้ำเงินจากแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงสีเหลืองที่เคลือบอยู่ให้ปล่อยแสงสีเหลืองออกมา และเมื่อปรับสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินและแสงสีเหลืองให้พอเหมาะจะทำให้ดวงตาเห็นแสงที่ออกมาเป็นแสงสีขาว เทคนิคการทำ LED ให้แสงสีขาวมีต้นทุนต่ำที่สุด และใช้ผลิตหลอด LED ให้แสงสีขาวส่วนใหญ่ในตอนนี้อยู่

2. การเคลือบ LED ให้แสงสีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงหลายสี เทคนิคนี้คล้ายกับเทคนิคแรกแต่ใช้สารเรืองแสงที่ให้แม่สีแสงหลักร่วมกัน เมื่อผสมแสงที่ออกมาจากสารเรืองแสงแต่ละสี กับแสงสีน้ำเงินเข้าด้วยกันจะได้แสงสีขาวเช่นกันจุดเด่นของเทคนิคนี้คือ แสงสีขาวที่ผลิตได้มีคุณภาพดีกว่าเทคนิคแรกแต่หลอด LED ชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าด้วยเช่นกัน

3. การใช้ LED ที่เปล่งแสงในช่วงคลื่นแสงยูวี (UV) ร่วมกับสารเรืองแสงหลายสีเทคนิคนี้มีรูปแบบคล้ายกับเทคนิคการเรืองแสงของหลอด ฟลูออเรสเซนต์ โดยแสงยูวีจะกระตุ้น ให้สารเรืองแสงแต่ละสีปล่อยแม่สีแสงหลักออกมาผสมกันได้เป็นแสงสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ชนิดของรูปทรงหลอด LED

เนื่องจาก LED มีหลักการทำงานที่แตกต่างจากแหล่งกำเนิดแสงประเภทอื่นๆ ทำให้การพัฒนาและการผลิตหลอด LED เพื่อการส่องสว่างนั้นมีความหลากหลายมาก เพื่อการตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ทั้งในรูปแบบโคมไฟและหลอดไฟที่มีรูปร่าง ลักษณะ ขนาด ขั้วหลอด อุปกรณ์ต่อร่วม และวิธีการใช้งานที่แตกต่างกันมากมาย ดังต่อไปนี้

### 1. หลอด LED รูปทรงมาตรฐาน แบบไม่บังคับทิศทางแสง (Non-directional light)

หมายถึงหลอด LED ที่มีรูปทรงและขั้วหลอดเช่นเดียวกับหลอดทั่วไป เช่น รูปทรงกลม รูปทรงลูกแพร์ รูปทรงปิงปอง รูปทรงเทียน เป็นต้น มีขั้วหลอดที่พบได้ทั่วไปเช่น ขั้วเกลียวขนาด E14 และ E27 หรือขั้วบิดขนาด B22 และมีลักษณะการให้แสงกระจาย (เกือบ) รอบทิศทาง หลอด LED ประเภทนี้มักใช้แทนหลอดไส้หรือหลอดประหยัดไฟทั่วไปได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริม

### 2. หลอด LED รูปทรงมาตรฐาน แบบบังคับทิศทางแสง (Directional light)

หมายถึงหลอด LED ที่มีรูปทรงและขั้วหลอดเช่นเดียวกับหลอดทั่วไปที่มีตัวสะท้อนแสงในตัว เช่น หลอดรูปทรงถ้วย (MR) รูปทรงพาร์ (PAR) หรือรูปทรงดอกเห็ด ขั้วหลอดที่พบได้ทั่วไปเช่น ขั้วเกลียวขนาด E14 และ E27 หรือขั้วเข็มเสียบชนิด GU5.3 และ GU10 และมีลักษณะการให้แสงแบบบังคับทิศทาง หลอด LED ประเภทนี้มักใช้แทนหลอดไส้หรือหลอดฮาโลเจนรูปทรงดังกล่าว โดยหลอดฮาโลเจนบางชนิดจำเป็นต้องใช้ร่วมกับหม้อแปลงลดแรงดัน ดังนั้นหลอด LED ที่จะนำมาแทนหลอดฮาโลเจนชนิดนี้ จำเป็นต้องพิจารณาชนิดของหม้อแปลงที่ใช้ว่าสามารถใช้ร่วมกันได้หรือไม่

### 3. หลอด LED รูปทรงไม่มาตรฐาน

หมายถึงหลอด LED ที่มีรูปทรงแตกต่างจากหลอดทั่วไป แต่อาจมีขั้วหลอดเหมือนหรือแตกต่าง และอาจใช้ทดแทนหลอดทั่วไปได้หรือไม่ก็ตาม การใช้หลอดประเภทนี้ต้องมีความระมัดระวัง และจำเป็นต้องสอบถามข้อมูลจากผู้ผลิต ถึงวิธีการใช้งานและอุปกรณ์ที่ประกอบ

### 4 หลอด LED รูปร่างท่อตรง (tube)

หมายถึงหลอด LED ที่มีรูปทรงเป็นท่อตรง ลักษณะเช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดท่อตรง ซึ่งอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8 หุน (T8) หรือขนาด 5 หุน (T5) โดยมีขั้วหลอดเป็นแบบเขี้ยวชนิด G13 (สำหรับหลอดขนาด T8) หรือชนิด G5 (สำหรับหลอดขนาด T5)

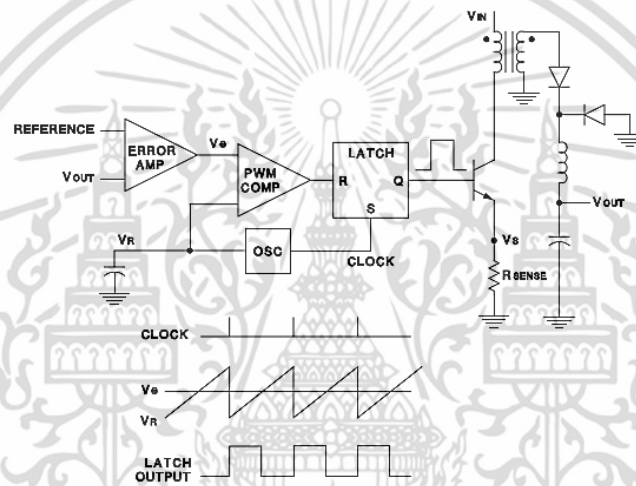
จากที่กล่าวมาข้างต้นในเรื่องชนิดของหลอด LED คือการผลิตหลอด LED จะเลียนแบบหลอดมาตรฐานต่างๆที่มีใช้ในปัจจุบัน

## 2.5 วงจรขับ LED อย่างง่ายและวิธีการทำงานของวงจรทั่วไป

สำหรับการทำงานทางด้านแสงสว่างด้วย LED จำเป็นที่จะต้องใช่วงจรในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED หรือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED ซึ่งเรียกว่า วงจรขับ (Driver) ซึ่งในการทำงานของวงจรมันกระแสไฟฟ้าเท่านั้นที่สามารถไหลผ่าน LED โดยมีการไหลในทิศทางเดียว เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาผ่านไปอุณหภูมิภายในของ LED มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้ามืดค่าเปลี่ยนแปลงไป แต่ถ้ากระแสไฟฟ้ามืดค่ามากเกินไปจนความสามารถที่อุปกรณ์สามารถทนได้จะทำให้ LED เสียหายได้ โดยปัจจุบันวงจรขับ LED มีรูปแบบที่หลากหลายแล้วแต่การเลือกใช้งาน ซึ่งความหลากหลายของวงจรขับที่กล่าวมานั้นยังทำให้ความสามารถในการเปล่งแสงของ LED ในวงจรที่แตกต่างกันตามไปด้วย โดยความแตกต่างในที่นี้ยังรวมถึงการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆเช่น กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น การทำงานของวงจรขับที่สามารถทำงานได้กับ LED เพื่อการส่องสว่างนั้นมีการทำงานทั้งหมด 2 แบบคือ

### 2.5.1 วงจรขับ LED ด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2.14 โครงสร้างพื้นฐานวงจรควบคุมโหมดแรงดันไฟฟ้า [9]

การควบคุมโหมดแรงดันไฟฟ้าถือเป็นวงจรพื้นฐานที่มีการใช้มาเป็นระยะเวลานาน และใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวงจรที่ควบคุมด้วยโหมดแรงดันนั้นสามารถต่อกับ LED ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานได้ ราคาถูก และง่ายต่อการออกแบบ สำหรับการควบคุมโหมดแรงดันไฟฟ้าจะมีส่วนของการป้อนกลับแรงดันไฟฟ้าเพียงครั้งเดียว และวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า (*Error Amplifier*) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ผิดพลาดกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ดังแสดงดังรูปที่ 2.14

การควบคุมอัตราการขยายแรงดันไฟฟ้าขาออกของตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า โดยมีทำงานในโหมดของแรงดันไฟฟ้าตามสมการดังต่อไปนี้ [9]

$$\frac{V_{OUT}}{V_e} = \frac{V_e}{V_s} H_e(s) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 
$$H_e(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_o} + \frac{s^2}{Q\omega_o^2}}$$

(2.10)

โดยที่ 
$$\omega_o = 1/\sqrt{LC}$$
  

$$\omega_z = 1/R_{ESR}C$$
  

$$Q = R_{out}/\omega_o L$$

$V_S$  = แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจสอบ

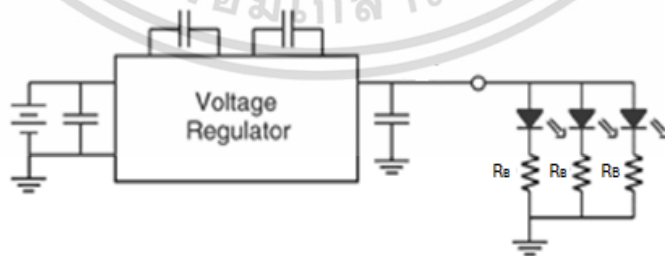
ข้อดีของการควบคุมด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้ามืดังต่อไปนี้

1. มีการป้อนกลับแรงดันเพียงลูปเดียวทำให้ง่ายต่อการออกแบบและคำนวณ
2. รูปแบบของ large-amplitude ramp จะช่วยให้กระบวนการมอดูเลตเสถียรมากขึ้น
3. สามารถควบคุมการทำงานสำหรับวงจรที่มีหลายๆโหนดได้ดี

แต่การควบคุมด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้าก็มีข้อเสียในการทำงานที่ควรพิจารณาสำหรับการเลือกใช้ งานด้วยนั่นคือ

1. ในการเปลี่ยนแปลงสายหรือโหนดของวงจรมันทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของขาออกมีค่า เปลี่ยนไป จึงต้องทำการแก้ไขลูปการป้อนกลับ นั่นหมายถึงว่าจะมีการตอบสนองที่ช้านั่นเอง
2. ยากที่จะควบคุมค่าความสว่างของโหนด
3. เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนเกิดขึ้นและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้กระแสไฟฟ้าอาจมีค่าเพิ่มขึ้นจนทำให้เกิดความเสียหายต่อ LED ได้

ในการควบคุมด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้านี้ เมื่อนำมาควบคุมการขับ LED จะสามารถต่อ LED แบบอนุกรมหรือขนานกับวงจรก็ได้ และมีการทำงานของวงจรอย่างง่ายโดยจะแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรขับ LED ด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้าและตรวจสอบกระแสไฟฟ้าด้วยตัวต้านทาน บัลลาสต์ [10]

จากรูปที่ 2.15 แสดงวงจรขับหลอด LED ด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้าและควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยตัวต้านทานบัลลัสต์ จะมีการทำงานของวงจรคือเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรรักษาแรงดันไฟฟ้าขาเข้าสู่่วงจร วงจรจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าขาออกที่เหมาะสมให้กับ LED ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ LED ต้องมีค่าไม่เกินกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรสามารถจ่ายได้ โดยค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละชุดมีค่าตามสมการที่ 2.9

$$I_{LED} = \frac{V_{OUT} - V_{LED}}{R_B} \quad (2.11)$$

โดยที่  $I_{LED}$  = กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน LED (A)

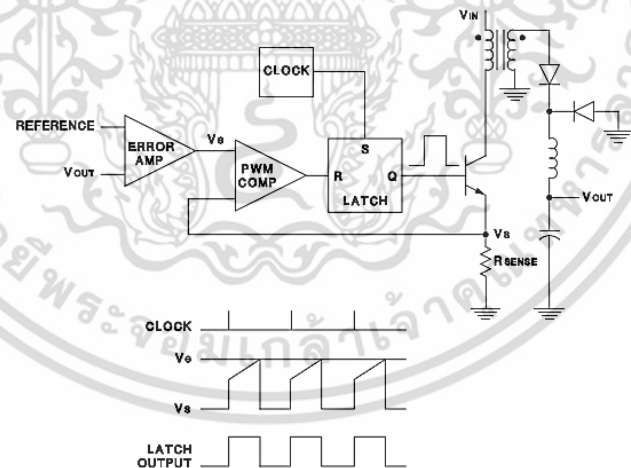
$V_{OUT}$  = แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจร (V)

$V_{LED}$  = แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED (V)

$R_B$  = ตัวต้านทานบัลลัสต์ ( $\Omega$ )

### 2.5.2 วงจรขับ LED ด้วยโหมตกระแสไฟฟ้า

จากข้อเสียของวงจรควบคุมด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้านั้นถือเป็นปัญหาที่ใหญ่ จึงมีการพัฒนางจรควบคุมอีกแบบขึ้นนั่นคือวงจรควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้า โดยจะแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้า [9]

จากรูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้า มีหลักการการทำงานคือจะใช้การควบคุมลูป 2 ลูป นั่นคือลูปภายในนั้นคือลูปควบคุมกระแสไฟฟ้าและลูปภายนอกคือลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้า โดยจากวงจรกำเนิดความถี่จะเป็นสัญญาณนาฬิกาความถี่เดียว นอกจากนี้มีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจาก  $V_s$  โดยถ้าค่า  $V_s$  มีค่าเท่ากับค่า  $V_e$  (แรงดันขาออกของ Error Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

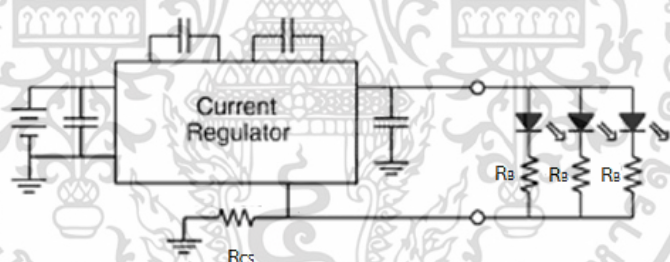
วงจรจะหยุดทำงาน และลูบแรงดันไฟฟ้าภายนอกจะควบคุมระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำอีกที ข้อดีของการใช้เทคนิคการควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้ามืดดังต่อไปนี้

1. มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าได้ทันที ทำให้ลดปัญหาการตอบสนองที่ช้าของวงจรควบคุมด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้าได้
2. สามารถรักษาความเสถียรของระบบได้ดีกว่าวงจรควบคุมด้วยโหมตแรงดันไฟฟ้า
3. การควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าจะจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดไว้รอบต่อรอบทำให้มีการตอบสนองอย่างสม่ำเสมอ

สำหรับข้อเสียของการควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้ามืดดังต่อไปนี้

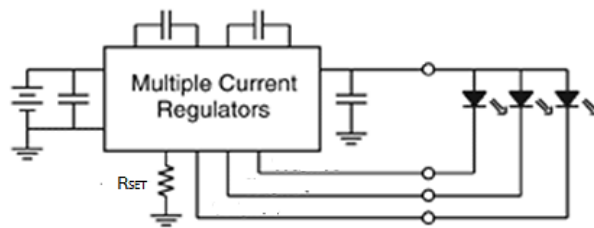
1. เมื่อมีการป้อนด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีค่าความถี่สูงเกินกว่า 50 % จะทำให้ความเสถียรของวงจรลดลง
2. วงจรควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้าจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุตในช่วงกว้างๆได้ไม่ดี
3. ใช้ได้กับวงจรที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าโหลดไม่สูงมาก

สำหรับการควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้ามืดนี้ เมื่อนำมาควบคุมการขับ LED จะสามารถต่อ LED ที่หลากหลายได้และมีการทำงานของวงจรอย่างง่ายโดยจะแสดงดังรูปที่ 2.17, 2.18 และ 2.19



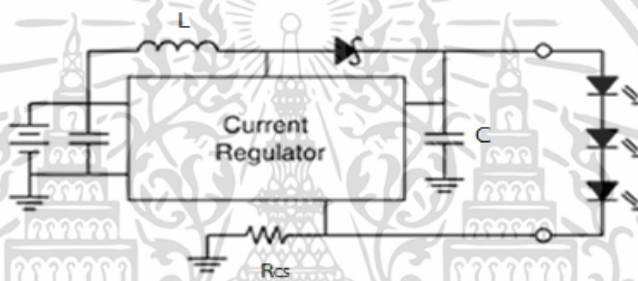
รูปที่ 2.17 วงจรขับ LED โหมตกระแสไฟฟ้าที่มีการควบคุมผลรวมกระแสไฟฟ้า [10]

จากรูปที่ 2.17 แสดงวงจรขับ LED โหมตกระแสไฟฟ้าที่มีการควบคุมผลรวมกระแสไฟฟ้าทั้งหมด ในที่นี้คือกระแสไฟฟารวมของ LED 3 ดวงที่ต่อขนาน นอกจากนี้มีการต่อบัลลาสต์รีซิสเตอร์ให้ในแต่ละชุดของ LED และมีตัวต้านทานที่ใช้ตรวจสอบกระแสไฟฟ้า ( $R_{cs}$ ) ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถลดค่าบัลลาสต์รีซิสเตอร์ลงได้ครึ่งหนึ่งของการควบคุมแบบโหมตแรงดันไฟฟ้าที่มีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าด้วยบัลลาสต์รีซิสเตอร์ ( $V_B$ ) ทำให้วงจรควบคุมแบบนี้ลดการสูญเสียพลังงานที่บัลลาสต์รีซิสเตอร์ได้แต่การตรวจสอบยังคงไม่แม่นยำเท่าที่ควร



รูปที่ 2.18 วงจรควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้าโดยต่อ LED ที่ต่อแบบขนาน [10]

จากรูปที่ 2.18 วงจรควบคุมด้วยโหมตกระแสไฟฟ้าโดยตรงในแต่ละ LED ที่ต่อแบบขนาน และไม่จำเป็นต้องมีบัลลาสต์รีซิสเตอร์ เพราะการตรวจสอบความถูกต้องของกระแสไฟฟ้านั้นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าจะจับคู่กับแต่ละ LED โดยตรง การควบคุมแบบนี้จะทำให้ประหยัดพื้นที่บนบอร์ด การควบคุมด้วยวงจรมีสามารถตรวจสอบกระแสไฟฟ้าได้แม่นยำมากขึ้นและมีค่าประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

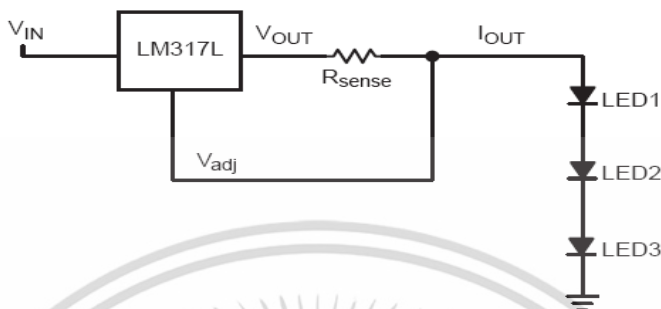


รูปที่ 2.19 วงจรควบคุมโหมตกระแสไฟฟ้าโดยต่อ LED แบบอนุกรม [10]

สำหรับรูปที่ 2.19 แสดงวงจรควบคุมโหมตกระแสไฟฟ้าโดยต่อ LED แบบอนุกรม วงจรนี้จะควบคุมโดยใช้หลักการของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าขาเข้าเข้ามาคือช่วงเวลา  $T_{on}$  จะเกิดการสะสมพลังงานที่ตัวเหนี่ยวนำ (L) ช่วงเวลานี้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขาออกจะน้อยมาก ต่อมาในช่วงเวลา  $T_{off}$  พลังงานที่สะสมไว้ที่ตัวเหนี่ยวนำจะคายออกมาจ่ายให้กับ LED และสะสมไว้ที่ตัวเก็บประจุ (C) และเมื่อกลับเข้าสู่ช่วงเวลา  $T_{on}$  อีกครั้งตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่คายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ให้กับ LED ในขณะที่มีการสะสมพลังงานที่ตัวเหนี่ยวนำ โดยมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกไว้ล่วงหน้าและสามารถต่อ LED เป็นอนุกรมกันในแต่ละชุดได้ วิธีการควบคุมนี้จะมีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าอย่างแม่นยำ โดยกระแสไฟฟ้าของ LED จะต้องมีค่าตรงกับค่าที่กำหนดไว้ในตอนแรก โดยมีตัวต้านทาน ( $R_{cs}$ ) ไว้สำหรับตรวจจับกระแสไฟฟ้าของระบบ และมีส่วนบ่อนกลับเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า วงจรควบคุมแบบนี้มีความแม่นยำอย่างมากและมีค่าประสิทธิภาพสูงมาก แต่มีราคาแพง

ต่อมาในปัจจุบันมีการสร้างวงจรรวมที่ทำหน้าที่ขับ LED ขึ้นมา มีคุณสมบัติที่ง่ายในการใช้งาน, รองรับการต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นและมีราคาที่ถูกลง โดยขอยกตัวอย่างการทำงานของ IC รุ่นหนึ่งขึ้นมาคือ LM317L เป็นวงจรรขับ LED ในโหมตกระแสไฟฟ้า หลักการทำงานอย่างง่ายของวงจรมีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับวิศวกรเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้งานจริงต้องดูที่ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก ( $V_{OUT}$ ) ไว้ล่วงหน้า เมื่อทำการขับ LED จะมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่  $R_{SENSE}$  กลับเข้าไปในวงจรควบคุม เรียกว่า  $V_{ADJ}$  เพื่อเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบและตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ LED โดยจะยกตัวอย่างวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างในโหมดกระแสไฟฟ้าต่ออนุกรมกับวงจรขับ แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรขับ LED ด้วย LM317L และตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจาก  $R_{SENSE}$ [11]

สำหรับการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โหนดนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$I_{OUT} = \frac{V_{OUT} - V_{adj}}{R_{sense}} \tag{2.12}$$

- โดย
- $I_{OUT}$  = กระแสไฟฟ้าขาออกของวงจร (A)
  - $V_{OUT}$  = แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจร (V)
  - $V_{adj}$  = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนกลับไปในวงจร (V)
  - $R_{sense}$  = ตัวต้านทานตรวจสอบกระแสไฟฟ้า ( $\Omega$ )

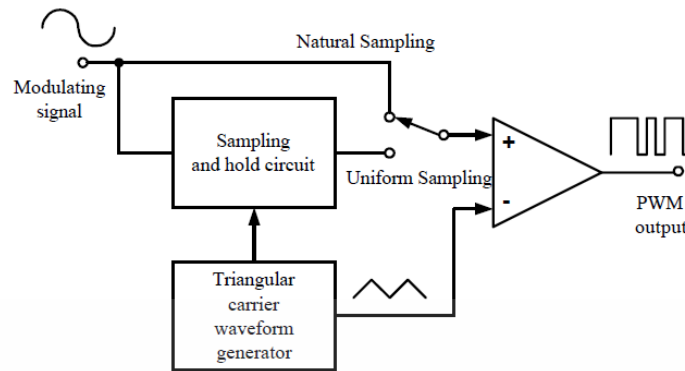
จากที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.5 เป็นวงจรขับในโหมดต่างๆ ที่มีใช้กันในปัจจุบัน โดยความต้องการที่หลากหลายในการเลือกใช้งานของผู้บริโภค ทำให้ผู้ผลิตมีการคิดค้นและจัดจำหน่ายวงจรขับในโหมดต่างๆ ที่รองรับการใช้ความส่องสว่างด้วย LED เพื่อการส่องสว่างมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปความแตกต่างของวงจรขับในโหมดต่างๆ ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปความแตกต่างของวงจรขับในโหมดต่างๆ

วงจรขับ LED	ข้อดี	ข้อเสีย
โหมดแรงดันไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการป้องกันแรงดันเพียงลูปเดียวทำให้ง่ายต่อการออกแบบและคำนวณ</li> <li>- รูปแบบของ large-amplitude ramp จะช่วยให้กระบวนการมอดูเลตเสถียรมากขึ้น</li> <li>- สามารถควบคุมการทำงานสำหรับวงจรที่มีหลายๆ โหลดได้ดี</li> </ul>	<p>ในการเปลี่ยนแปลงสายหรือโหนดของวงจรมันทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า ของขาออกมีค่าเปลี่ยนไป ดังนั้นจะต้องทำการแก้ไขลูปการป้อนกลับนั้นหมายถึงว่าจะมีการตอบสนองที่ช้า ยกที่จะควบคุมค่าความสว่างของโหนดเมื่อเวลาผ่านไปจะมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนเกิดขึ้นและค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้กระแสไฟฟ้าอาจมีค่าเพิ่มขึ้นจนทำให้เกิดความเสียหายต่อโหนดได้</p>
โหมดกระแสไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าได้ทันที ทำให้ลดปัญหาการตอบสนองที่ช้าของวงจรควบคุมด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้าได้</li> <li>- สามารถรักษาความเสถียรของระบบได้กว่าวงจรควบคุมด้วยโหมดแรงดันไฟฟ้า</li> <li>- การควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าจะจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดไว้รอบต่อรอบทำให้มีการตอบสนองอย่างสม่ำเสมอ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อมีการป้อนด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีค่าดีวีดีไซเคิลมากกว่า 50 % จะทำให้ความเสถียรของวงจรลดลง วงจรควบคุมด้วยโหมดกระแสไฟฟ้าจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าขาเข้าในช่วงกว้างๆได้ไม่ดี</li> <li>- ใช้ได้กับวงจรที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าโหนดไม่สูงมากเท่านั้น</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 วงจรขับ LED ด้วย PWM



รูปที่ 2.21 โครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM [12]

วงจรขับ Pulse width modulation หรือ PWM เป็นวงจรที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการสื่อสารโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารทางแสง หรือแม้กระทั่งด้านการส่องสว่างด้วย LED โดยวงจร Pulse width modulation คือการเปรียบเทียบสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีความถี่คงที่ และปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ขาออกตลอดเวลา โดยมีโครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ตามรูปที่ 2.21

วงจร PWM เป็นวงจรขับ LED ที่สามารถขับในโหมดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า หลักการทำงานพื้นฐานของวงจร PWM สามารถทำได้ 2 รูปแบบคือ NPWM โดยจะเกิดจากการสุ่มแบบธรรมชาติ (Natural sampling) มีการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งจะเรียกว่าสัญญาณพาร์ และ UPWM เป็นการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform sampling) โดยจะเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากับระดับอ้างอิงโดยมาจากวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sample and hold circuit)

สำหรับวงจร PWM เป็นวิธีการที่จะควบคุมกระแสไฟฟ้า โดยการควบคุมคาบเวลาเริ่มต้นรวมถึงการเริ่มต้นใหม่อีกครั้งของคาบเวลาในวงจรด้วย ความถี่ที่ใช้ในการควบคุมวงจรมันจะต้องมีค่ามากกว่าค่าความถี่ที่ตาตรวจจับได้ อาจมีค่าประมาณ 200 Hz หรือค่าที่มากกว่านี้แต่จะต้องเป็นค่าที่ระบบยอมรับได้[6] กระแสไฟฟ้าของวงจร PWM มีค่าตามสมการดังต่อไปนี้ [6]

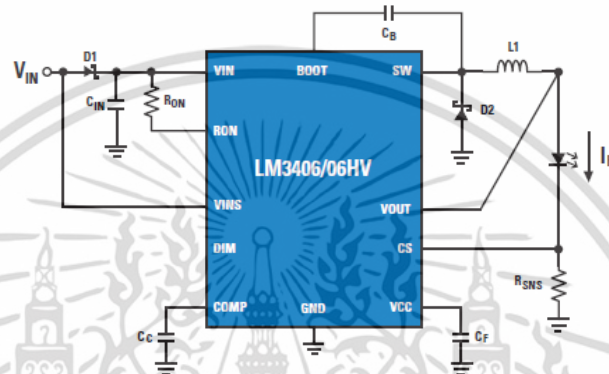
$$I_{\text{DIM-LED}} = D_{\text{DIM}} \times I_{\text{LED}} \quad (2.13)$$

โดยที่  $D_{\text{DIM}}$  = ค่าตัวชี้เซลล์ที่ใช้ในการลดความสว่างของ LED (%)

$I_{\text{LED}}$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างแบบ PWM ในปัจจุบันนี้จะสามารถตอบสนองต่อความกว้างของสัญญาณและแอมพลิจูดที่ความถี่ค่าต่างๆ ค่าดิวตี้ไซเคิลที่ขาเข้า ( $V_{IN}$ ) สามารถปรับได้โดยค่าดิวตี้ไซเคิลจะต้องไม่เกิน 70% [6] โดยมีหลักการทำงานคือ ขา  $V_{IN}$  จะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและเปลี่ยนเป็นสัญญาณ PWM เพื่อจ่ายให้กับโหลดต่อไป โดยจะเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองสัญญาณในการควบคุม ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจสอบจากภายนอกไม่เป็นไปตามเงื่อนไข วงจรควบคุมแบบ PWM จะหยุดการทำงานทันที โดยตัวอย่างวงจรรวมแบบ PWM จะแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างวงจรรวมแบบ PWM [6]

จากรูปที่ 2.22 ตัวอย่างวงจรรวมแบบ PWM นี้นิยมใช้อย่างมากในเทคโนโลยีเกี่ยวกับแสงสว่างของยานยนต์ การควบคุมแบบนี้จะมีการตรวจสอบรวดเร็วและแม่นยำ และมีค่าประสิทธิภาพของระบบสูงแม้จะทำงานในช่วงกำลังงานต่ำ แต่ข้อเสียของการควบคุมแบบนี้คือมีค่า EMI ที่สูง ดังนั้นจะต้องมีภาคฟิลเตอร์ที่กรองสัญญาณ PWM ให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรงเพื่อลดสัญญาณรบกวนไม่ให้ย้อนกลับไปในวงจรควบคุม แต่ในการมีภาคฟิลเตอร์ที่กรองสัญญาณจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ภาคฟิลเตอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้วงจร PWM ที่มีขายในปัจจุบันมีราคาที่สูงมาก

ในปัจจุบันแสงสว่างที่ได้จากหลอด LED ได้รับความนิยมมากขึ้นเพราะสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่หลากหลายได้ โดยในปัจจุบันความต้องการของผู้บริโภคมุ่งเน้นไปที่ความประหยัดและความสวยงาม อาจมีเหตุผลอื่นๆประกอบเพิ่มเติมคือ เพื่อการถนอมสายตาสามารถเลือกใช้แสงได้อย่างเหมาะสมตามกิจกรรมหรือความต้องการของผู้บริโภค เป็นต้น และการลดความสว่างของ LED คือการควบคุมการเปิด-ปิดไฟที่เหมาะสม โดยทั่วไปสำหรับการลดความสว่างนั้นจะใช้กับหลอดไส้เพราะหลอดไส้เกิดการเปล่งแสงจากการเผาไหม้ของไส้หลอด ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดไส้มีค่าน้อย ก็สว่างน้อย ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดไส้มีค่ามากก็สว่างมาก ซึ่งแตกต่างจากหลอดไฟทั่วไปชนิดอื่นๆเช่น หลอดตะเกียบที่ไม่สามารถลดความสว่างได้เพราะหลักการเปล่งแสงนั้นต้องอาศัยแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงๆ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่จากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง

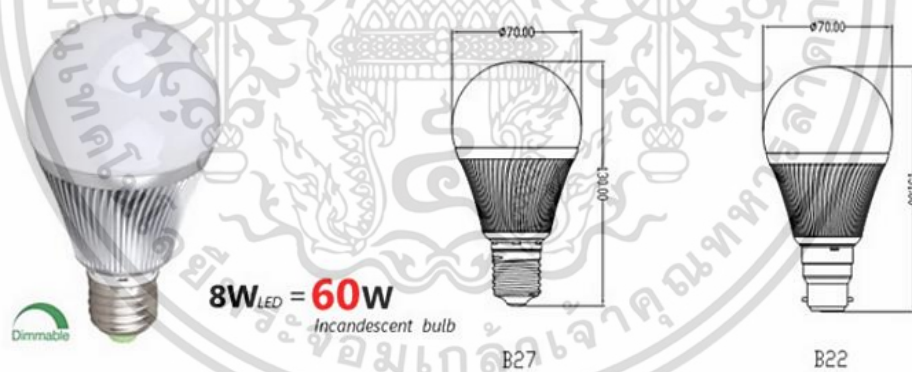
ของหลอด แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาหลอด LED ที่มีนำมาใช้เพื่อการลดความสว่างได้ด้วยวงจร PWM ซึ่งหลอด LED มีคุณสมบัติที่ดีกว่าและทนทานกว่าหลอดไส้ และยังสามารถลดความสว่างได้ทันทีเมื่อทำการเปิดไฟ

จากวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น สุดท้ายจะใช้วิธีการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไปเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงและการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์



## 2.7 ลักษณะเฉพาะของ LED เพื่อการส่องสว่างในปัจจุบัน

เนื่องจาก LED เพื่อการส่องสว่างปัจจุบันได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ทำให้กลุ่มผู้ผลิตมีการผลิต LED ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค เช่น หลอด LED เพื่อการส่องสว่างทั่วไปหรือ LED เพื่อการส่องสว่างแบบลดความสว่างได้ ซึ่งคุณสมบัติที่แตกต่างกันนี้ยังมีอีกหลายชนิดให้ผู้บริโภคสามารถเลือกใช้งานได้ โดยจะยกตัวอย่างหลอดไฟ LED จากผู้ผลิตทั้ง 3 ผู้ผลิตที่เป็น LED ชนิด Bulb ดังต่อไปนี้

1. Remis Australia LED Lights (LED Bulbs Light, Color Temperature : Warm White and Cool White)



This bulbs fit into the existing light fittings without any modification.

Part Number	Power (watt)	Dimension (mm)	LED Brand	Color	Color Temperat (K)	Pttection	Voltage (V)	Lumen output (lm)	Beam Angle	Base
UP-BLQ23G70-E27-8W	8W	Ø70*130 A25	SAMSUNG S630SMD	Cool white	4700-5300K		AC100-240	660lm	270°	E27 B22
UP-BLQ23G70-E27-8W	8W	Ø70*130 A25	SAMSUNG S630SMD	Warm white	2600-2800K		AC100-240	580lm	270°	GU10

รูปที่ 2.23 ตัวอย่างลักษณะเฉพาะของ LED จากผู้ผลิต Remis Australia LED Light

จากรูปที่ 2.23 ตัวอย่างรายละเอียดทั่วไปของ LED จากผู้ผลิต Remis Australia LED Lights เป็นหลอดไฟ LED ชนิด bulbs ซึ่งสินค้ามี 2 แบบคือ Warm White และ Cool White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Landivi (Color Temperature : Cool White ,White และ Warm White)



Technical parameters	
Model	LX-QPERA9N08000
Size(mm)	Φ60mm x 117mm (Dx H)
Input Voltage	AC100-240V
Total Power	8W
Color	Warm White, White, Cool White.
Color Temperature	White(6000-6500K), Warm white(3000-3500K) , Coolwhite (>7000K)
Luminous Flux	650±5lm
Applicable Interface	E27(Choose interface: E26, E17, B22)
Working temperature	-20 ℃~45 ℃
Weight	Net weight : 105±3g      Gross weight : 130±3g
Package Size	135*80*62mm
Beam Angle	180°
CRI	75±5%RA
Working life	≥50,000hrs
Shell material character	Aluminum + PC
Ambient Humidity	10%~90%
IP Rating	IP50
Shell Color	Gold(optional color: silver, black)
Product Warranty	2 Years
Light source	3328SMD*36PCS
Brightness Degradation	7%~10%/3kh( Edison ), 3%~6%/3kh(Cree)
Power Factor	>70%

รูปที่ 2.24 ตัวอย่างเฉพาะของ LED จากผู้ผลิต Landivi

จากรูปที่ 2.24 ตัวอย่างรายละเอียดทั่วไปของ LED จากผู้ผลิต Landivi เป็นหลอดไฟ LED ชนิด bulbs ซึ่งสินค้ามี 3 แบบคือ Cool White, White และ Warm White

## 3. Philips (Color Temperature : Warm white)

### • Light Technical Characteristics

Colour Code	827
Colour Designation	Warm White
Correlated Colour Temperature	2200 K
Luminous Flux	806 Lm
Colour rendering index	80
Luminous Efficacy Lamp	78.00 Lm/W
Colour Temperature	2700 K [CCT 2700K]
Rated Luminous Flux	806 Lm
LLMF - end nominal lifetime	70 %
Colour consistency	6 steps

### • Electrical Characteristics

Wattage	9 W
Wattage Technical	6 W
Voltage	220-240 V
Line Frequency	50-60 Hz
Power Factor	0.7 -
Lamp Current mA	37 mA
Dimmable	Yes
Wattage Equivalent	60 W
Rated Wattage	6.0 W
Starting Time	0.5 (max) s



MASTER LEDbulb

MASTER LEDbulb D 9-60W E27 827 A60 CL

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างเฉพาะของ LED จากผู้ผลิต Philips

จากรูปที่ 2.25 ตัวอย่างรายละเอียดทั่วไปของ LED จากผู้ผลิต Philips เป็นหลอดไฟ LED ชนิด bulbs ซึ่งสินค้าคือแบบ Warm white

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ค่าประสิทธิภาพส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับ ด้วย DC และสัญญาณพัลส์และวงจรที่ใช้ในการทดลอง

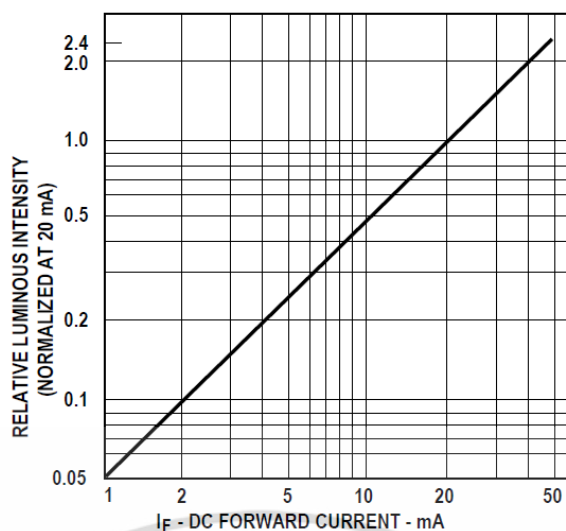
สาระสำคัญของบทที่ 3 นี้กล่าวถึงทฤษฎีและสูตรการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบการทำงานของวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และสัญญาณพัลส์ รวมทั้งหลักการและเหตุผลที่ใช้ในการออกแบบวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวงจรพัลส์ นอกจากนี้จะนำเสนอการออกแบบวงจรขับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยแบ่งออกเป็น Line Filler (วงจรรองความถี่), DC-DC Converter, Pulse Generator (วงจรถ้าเนิดพัลส์), Gate Drive (วงจรขับเกต) และ LED เพื่อการส่องสว่าง

### 3.1 ความแตกต่างของการส่องสว่างเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC และสัญญาณพัลส์

เนื่องจากความสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง ดังนั้นความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขับ LED เพื่อการส่องสว่างเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้งาน ในปัจจุบันนี้หลอดไฟ LED เพื่อการส่องสว่างทั่วไปที่มีการใช้งาน จะขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ในโหมดกระแสไฟฟ้า แต่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า จึงจะอธิบายความแตกต่างของ DC และสัญญาณพัลส์ดังต่อไปนี้

#### 1. การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

เมื่อทำการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่เปล่งออกมาจาก LED เพื่อการส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ขับด้วย DC นั้นจะได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าแปรผันตรงกับค่าความสัมพันธ์ความเข้มการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง โดยมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นจะแสดงดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วย DC และค่าความเข้มแสงสัมพัทธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่าง [13]

โดยกำหนดให้อุณหภูมิ ( $T_A$ ) มีค่าเท่ากับ  $25^\circ\text{C}$  เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสัมพันธ์ความเข้มการส่องสว่างก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ค่าความเข้มแสงของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วย DC จะเป็นไปตามสมการที่ 3.1 [13]

$$I_{nV} = [I_{nV}(25^\circ\text{C})] (\text{Relative Luminous Intensity Factor}) \quad (3.1)$$

โดยที่  $I_{nV}(\text{dc})$  = ความเข้มแสง LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วยสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

$I_{nV}(25^\circ\text{C})$  = ค่าความเข้มแสงที่  $T_A = 25^\circ\text{C}$

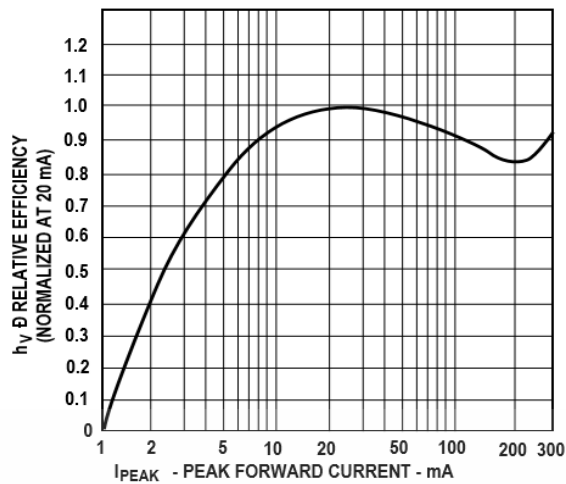
Relative Luminous Intensity Factor = แฟคเตอร์ของความเข้มแสงสัมพัทธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่าง

จากรูปที่ 3.1 ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างกำหนดให้มีค่า 20 mA ดังนั้นค่าแฟคเตอร์ของความเข้มแสงสัมพัทธ์ของ LED จะมีค่าเท่ากับ 1

## 2. การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์

สำหรับในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์นั้นถือว่าเป็นค่าพิกัดส่องสว่างที่สูงกว่า DC เพราะการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์นั้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างเปล่งแสงออกมานั้นคือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{\text{PEAK}}$ ) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ของ LED เพื่อการส่องสว่าง ซึ่งทำให้พิกัดส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วยสัญญาณพัลส์มีค่ามากกว่าการขับด้วย DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วยสัญญาณพัลส์และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสัมพันธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่าง [13]

จากรูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วยสัญญาณพัลส์และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสัมพันธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่าง เมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ค่าความเข้มของ LED เพื่อการส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง โดยค่าความเข้มแสงของ LED เพื่อการส่องสว่างมีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสัมพันธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่างเป็นไปตามสมการที่ 3.2 [13]

$$I_V(\text{time avg}) = [I_V(25^\circ\text{C})] \left( \frac{I_{\text{AVG}}}{I_F} \right) (\eta_V) \quad (3.2)$$

โดยที่  $I_V(\text{time avg})$  = ค่าความเข้มแสง LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วยค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าพัลส์

$I_V(25^\circ\text{C})$  = ค่าความเข้มแสงที่  $T_A = 25^\circ\text{C}$

$I_{\text{AVG}}$  = ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง

$I_F$  = ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างตาม data sheet

$\eta_V$  = ค่าพารามิเตอร์ของประสิทธิภาพการส่องสว่างสัมพันธ์ของ LED เพื่อการส่องสว่าง

จากรูปที่ 3.2 อุณหภูมิที่  $25^{\circ}\text{C}$  กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมีค่า 20 mA จะได้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าเท่ากับ 1 และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างจะมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าความเข้มแสงของ LED เพื่อการส่องสว่างขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างดังนั้นค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าของ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการขับด้วยสัญญาณพัลส์จะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูงกว่าการขับด้วย DC โดยกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้น เกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุภายใน LED เพื่อการส่องสว่าง จากรูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของ LED เพื่อการส่องสว่างโดยจะเห็นได้ว่าในวงจรสมมูลของ LED เพื่อการส่องสว่างจะมีตัวเก็บประจุ ( $C_S+C_D$ ) และตัวต้านทานภายในของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อยจ่ายสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณพัลส์ให้กับ LED เพื่อการส่องสว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดขึ้นเมื่อเวลาที่  $t=0$  โดยสังเกตได้จากรูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและเวลา เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างที่  $t=0$  ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 2.5 คือมีค่าเท่ากับ  $\frac{V_{in}u(t)}{R_S}$  มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) และกระแสไฟฟ้าสูงสุดจะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วยสัญญาณพัลส์มีความสว่างสูงกว่าการขับด้วย DC

สัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับ LED เพื่อการส่องสว่างเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีค่าดิวิตีเซเคิลที่แตกต่างกัน โดยแรงดันไฟฟ้าขาเข้ามีค่าดังต่อไปนี้

$$V_{in}u(t) = \frac{I_C \times R_S}{D} \quad (3.3)$$

โดยที่  $D$  คือค่าดิวิตีเซเคิล (%) ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการที่ 2.4 จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและค่าดิวิตีเซเคิลเป็นไปดังต่อไปนี้

$$I_C = \frac{I_C R_S / D}{R_S} e^{-t/\tau} \quad (3.4)$$

และ  $I_{LED} = I_C \quad (3.5)$

เนื่องจากค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วยสัญญาณพัลส์จะ

ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ตัวเก็บประจุภายใน LED จากสมการที่ 3.4 แทนค่าในสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

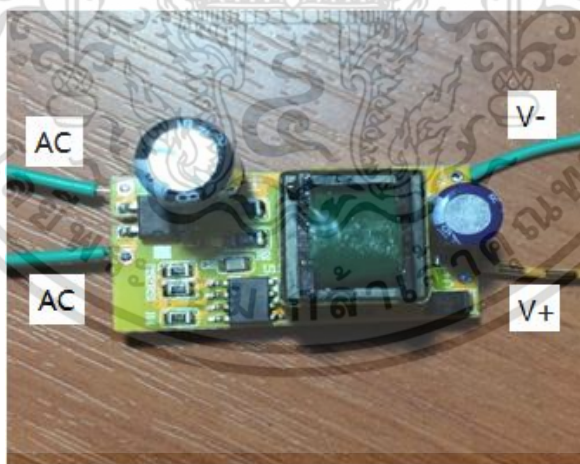
2.3 ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและดิวตี้ไซเคิลเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{I_C R_S / D}{R_S} e^{-t/\tau} = \eta I_0 (e^{qV_B / kT} - 1) \quad (3.6)$$

$$\eta = \frac{I_C x e^{-t/\tau}}{D I_0 (e^{qV_B / kT} - 1)} \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.7 จะได้ว่าเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ที่ค่าดิวตี้ต่ำ จะได้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มาก ในทางตรงกันข้ามเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ที่ค่าดิวตี้มาก จะได้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่น้อย และการขับด้วย DC คือการขับด้วยสัญญาณที่มีค่าดิวตี้ไซเคิล 100% การขับด้วย DC จึงมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่น้อยที่สุด

วงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่มีใช้กันในปัจจุบัน จะใช้วิธีการขับด้วย DC ที่ผ่านวงจร DC-DC Converter ผ่านวงจรฟิเตอร์ที่ทำหน้าที่ให้ DC เรียบขึ้นเพื่อใช้ในการขับ LED เพื่อการส่องสว่าง โดยจะแสดงตัวอย่างแผงวงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างในหลอด LED ทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแผงวงจรขับหลอด LED เพื่อการส่องสว่างในหลอดไฟ LED ทั่วไป

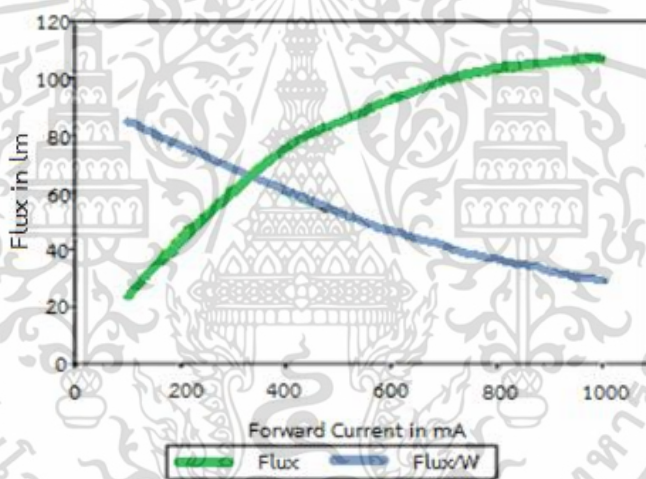
ในการขับด้วย DC จะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างติดตลอดเวลา ตามค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างที่กำหนดไว้ เมื่อ LED เพื่อการส่องสว่างมีการติดตลอดเวลาการใช้งานจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ LED เพื่อการส่องสว่างตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขับด้วยสัญญาณพัลส์ที่จะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างติดและดับสลับกันตามคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ที่กำหนดไว้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะติด-ดับด้วยความถี่ที่ตามนุษย์ไม่สามารถตรวจจับได้ ซึ่งเป็นที่มาของแนวความคิดที่ว่า การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์จะสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ LED เพื่อการส่องสว่างได้

จากที่กล่าวเรื่องความแตกต่างของการส่องสว่างเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC และสัญญาณพัลส์เป็นหลักการและเหตุผลที่เลือกใช้วิธีการขับด้วยสัญญาณพัลส์ เพื่อการส่องสว่างที่มากกว่าการขับด้วยไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อมุ่งเน้นถึงค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากขึ้น

### 3.2 ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง

ค่าการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED ที่เปล่งออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED [1]

ถึงแม้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการส่องสว่างที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างนั้นจะแปรผกผันกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED โดยเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED มีค่าเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการผลิตหลอด LED มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ทำให้หลอด LED ที่มีใช้อยู่สามารถตอบสนองต่อความถี่สูงๆได้ แต่ประโยชน์ในข้อนี้จะใช้ในด้านโทรคมนาคม แต่ในการส่องสว่างจะสนใจเกี่ยวกับเรื่องของค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED ที่ใช้ในการส่องสว่าง โดยค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่ใช้ มีค่าเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\text{Luminous Flux}}{P_{\text{LED}}} \quad (3.8)$$

โดยที่  $\eta$  = ประสิทธิภาพความส่องสว่าง (lm/W)

Luminous Flux = ฟลักซ์ส่องสว่างของ LED (lm)

$P_{\text{LED}}$  = กำลังไฟฟ้า LED (W)

สำหรับการคำนวณกำลังไฟฟ้าของ LED จะคำนวณจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างที่เป็นค่าเฉลี่ย โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{\text{AVG}} = V_p \times D \quad (3.9)$$

และ  $I_{\text{AVG}} = I_p \times D \quad (3.10)$

โดยที่  $D = t_{\text{on}}/T$

จากสมการค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างในสมการที่ 3.8 เป็นสมการการคำนวณที่การทดลองในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เลือกใช้ในการคำนวณ โดยในการคำนวณค่าประสิทธิภาพความส่องสว่าง LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในระบบทั้งหมดของการทดลองจะใช้สมการข้างต้นในการพิสูจน์ โดยจะเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างของการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวงจรถูกที่ได้รับการออกแบบกับการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ที่มีใช้ในปัจจุบัน

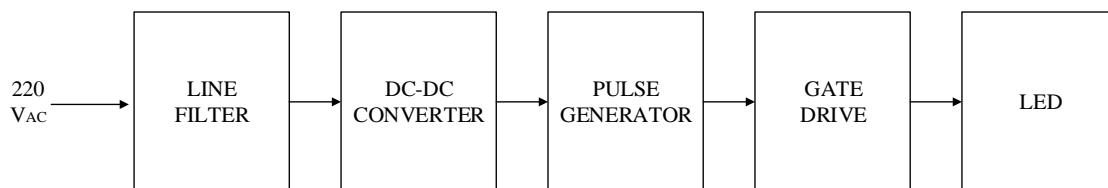
### 3.3 วงจรที่ใช้ในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยวงจรถูก

จากหัวข้อที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นหลักการและเหตุผลที่ว่า การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์จะมีค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างที่มากกว่าการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจุดประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้คือการเปรียบเทียบวงจรถูก LED ที่ใช้งานกันในปัจจุบันโดยจะขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ในโหมดกระแสไฟฟ้ากับวงจรถูกที่ได้ทำการออกแบบขึ้น ซึ่งเป็นวงจรถูก LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์โหมดแรงดันไฟฟ้า ขึ้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปคือการออกแบบวงจรทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง โดยมีองค์ประกอบของวงจรดังแสดงดังรูปที่

3.5



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์

การทำงานของวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์คือ แรงดันไฟฟ้าสลับผ่านเข้าสู่ วงจรไลน์ฟิลเตอร์เพื่อกรองความถี่ที่เกิดขึ้นเข้าไปรบกวนวงจรอื่น ต่อมาแปลงแรงดันไฟฟ้า AC เป็น แรงดันไฟฟ้า DC ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 18 V ผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันที่ให้แรงดันขาออก เท่ากับ 12 V เพื่อจ่ายให้กับวงจรพัลส์ และผ่านวงจรขับเกตเพื่อขับ LED โดยจะแสดงลายวงจรขับ LEDเพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ให้เห็นในรูปที่

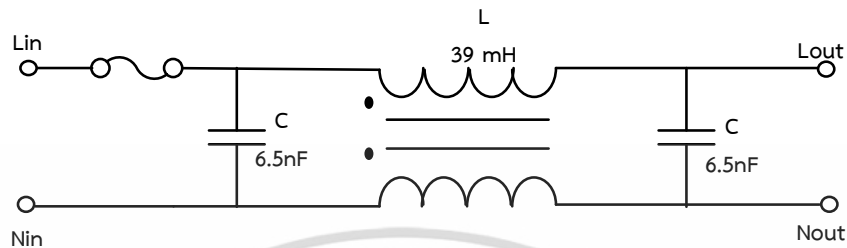
3.6





### 3.3.1 Line Filter

Line Filter คือวงจรกรองสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ EMI ที่เกิดขึ้น เพื่อป้องกันคลื่นแม่เหล็กรบกวนจากสวิทซ์ซึ่งย้อนกลับไปไฟฟ้ากระแสสลับ รวมไปถึงรบกวนอุปกรณ์อื่นๆในระบบ



รูปที่ 3.7 Line Filter ที่ใช้ในการทดลอง

วงจรจะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก EMI และ RFI โดยกำจัดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากสัญญาณหรือการแพร่กระจายใดๆ ทำให้เกิดการแผ่รังสีและเกิดการเหนี่ยวนำตามสายสัญญาณและอาจจะทำให้เกิดการลดทอนความชัดเจนของสัญญาณ โดยจะต่อร่วมกับฟิวส์ โดยฟิวส์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการป้องกันการลัดวงจรและการใช้กระแสไฟฟ้าเกินของวงจร ซึ่งจะหลอมละลายและตัดกระแสไฟฟ้าออกจากวงจรเพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหาย ฟิวส์จะเป็น เส้นลวดทำจากตะกั่วผสมดีบุก มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ

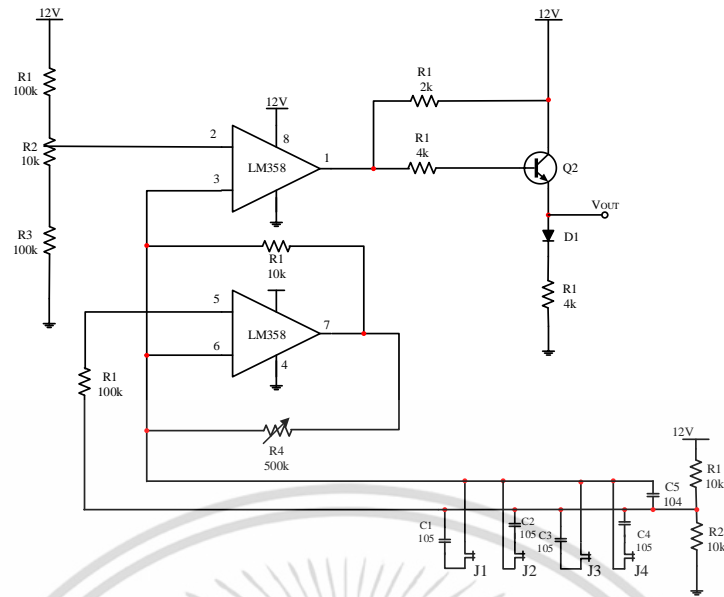
จากการทดลองเมื่อต่อวงจร DC-DC Converter, Pulse Generator, Gate Drive และ LED เพื่อการส่องสว่าง พบว่าเกิดสัญญาณรบกวนที่ระบบจึงมีการต่อภาค Line Filter เพิ่มเข้ามาเพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

### 3.3.2 DC - DC Converter

ในส่วนของวงจร DC - DC Converter จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าตรงจาก 310 V เป็นแรงดันไฟฟ้า 18V เพื่อจ่ายให้กับวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่าง สำหรับวงจร DC-DC Converter ในการทดลองจะใช้แบบ Offline Switching ซึ่งมีหลักการทำงานของวงจรคือ เมื่อต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 220 V<sub>AC</sub> 50 Hz ผ่านบริดจ์ไดโอดที่ทำหน้าที่จัดเรียงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าตรงจะถูกป้อนให้กับวงจรสับกระแสไฟฟ้า ที่จะทำงานแบบเปิดและปิดสลับกัน เปรียบเสมือนแรงดันไฟฟ้าสลับเพื่อป้อนให้กับหม้อแปลง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ผ่านหม้อแปลงจะถูกแปลงกลับเป็นแรงดันไฟฟ้าตรงและผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocouplers) ที่ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าขาออกและป้อนกลับเพื่อใช้งานอีกครั้ง

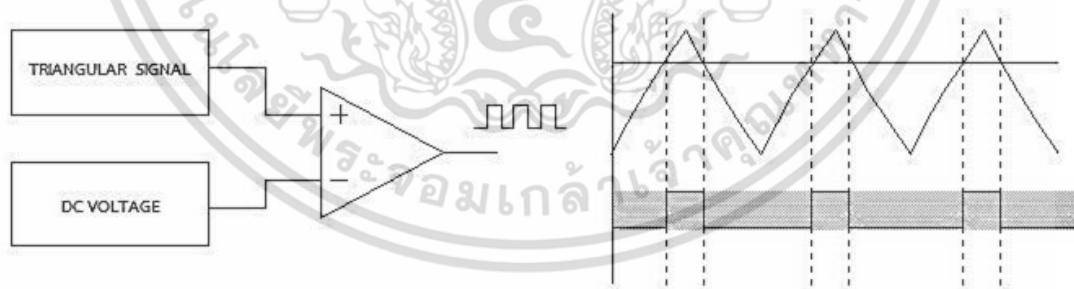
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.9 วงจร Pulse Generator ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 3.9 วงจร Pulse Generator ที่ใช้ในการทดลอง สัญญาณที่ขา 7 ของ LM358 จะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (Triangular Signal) และป้อนกลับให้ขา 3 ของ LM358 เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) ขาเข้าของออปแอมป์ที่ขา 2 โดยการปรับค่าตัวต้านทาน  $R_2$  เป็นเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและ  $R_4$  เป็นการปรับค่าตัวที่ไซเคิลที่ขาออกของวงจร Pulse Generator โดยสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ขาออกของวงจรเกิดจากเปรียบเทียบดังจะแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมและแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง

และวงจร Pulse Generator ที่ใช้ในการทดลอง สามารถปรับค่าความถี่ของวงจรได้ที่ตัวต้านทาน  $R_4$  โดยการคำนวณหาค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์สามารถคำนวณได้จากสูตร

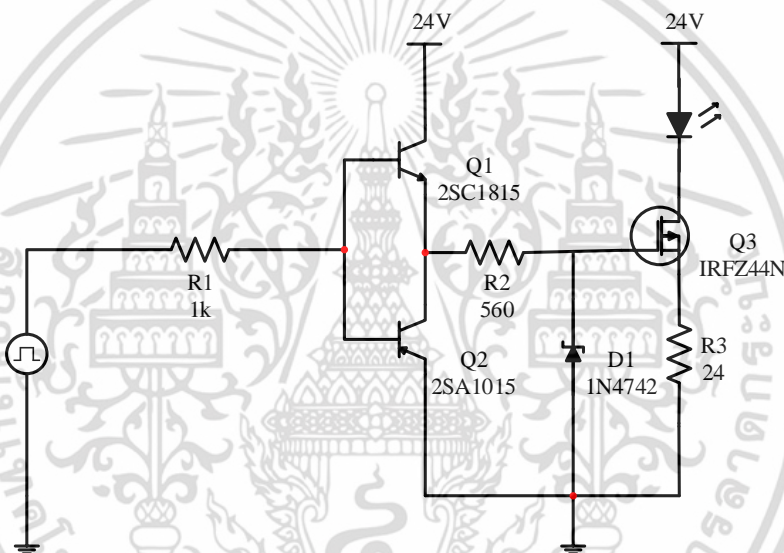
$$f_{osc} = \frac{1}{2R_4C_5 \ln\left(\frac{2R_1}{R_2} + 1\right)} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเลือกใช้วงจร Pulse Generator นี้ในการกำเนิดสัญญาณให้กับวงจรที่ใช้ในการทดลอง เพราะวงจร Pulse Generator สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ไซเคิลได้ตั้งแต่ 9 - 100% สามารถเลือกใช้งานได้ตามต้องการ, มีการทำงานวงจรที่ง่ายและอุปกรณ์น้อยไม่ซับซ้อนมาก สามารถนำมาพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ง่าย

### 3.3.4 Gate Drive

Gate Drive หรือวงจรขับเคลื่อน เนื่องจากในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างนั้นจะต้องใช้ IGBT หรือ MOSFET ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ในวงจรขับ ทำให้จะต้องมีวงจร Gate Drive เพื่อทำหน้าที่สั่งการ MOSFET ทำงานอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 3.11 วงจร Gate Drive ที่ใช้ในการทดลอง

ในวงจร Gate Drive เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ 2SC1815 และ PNP เบอร์ 2SA1015 ที่ทำหน้าที่อัดและคายประจุที่ขาเกตและขาซอร์สของมอสเฟตได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการทำงานคือจะทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะสลับกันทำงาน โดยเมื่อแรงดันไฟฟ้าพัลส์ที่ได้มาจากวงจร Pulse Generator จ่ายให้กับวงจร Gate Drive ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์ 2SC1815 จะทำงานและมอสเฟตจะนำกระแสไฟฟ้า และเมื่อ  $V_{in} = 0\text{ V}$  ทรานซิสเตอร์ PNP เบอร์ 2SA1015 จะทำงานโดยดึงประจุออกจากมอสเฟตทำให้มอสเฟตไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้า

มอสเฟตที่เลือกใช้คือ เบอร์ IRFZ24N โดยเริ่มทำงานที่แรงดันไฟฟ้า  $V_{GS}$  มากกว่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มคือ 2-4 โวลต์และมีซีเนอร์ไดโอด 12 V ไว้เพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่แรงดันไฟฟ้า  $V_{GS}$  เกินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 LED

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้หลอด LED เพื่อการส่องสว่างทั่วไป โดยหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่เลือกใช้คือ หลอดไฟ LED เพื่อการส่องสว่างแบบ Warm White, Pure White และ Cool White ที่สามารถใช้เพื่อส่องสว่างได้ทั่วไป สามารถต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับได้ตั้งแต่ 220-240 V และมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5W ของบริษัท Landivi เป็นหลอดรูปทรง bulbs โดยภายในจะเป็น LED เพื่อการส่องสว่างแบบเซอร์เฟสเมาท์ จะแสดงตัวอย่างที่หลอด LED เพื่อการส่องสว่างแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 (ก) แสดงภาพตัวอย่างหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองแบบ Warm White  
 (ข) แสดงภาพตัวอย่างหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองแบบ Pure White  
 (ค) แสดงภาพตัวอย่างหลอด LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองแบบ Cool White

โดยคุณสมบัติเฉพาะของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White, Pure White และ Cool White ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติเฉพาะของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White, Pure White และ Cool White

Technical Parameters	
Model	LX-QPERA9N08000
Size(mm)	∅60mm×117mm(D×H)
Input Voltage	15V
Total Power	5W
Luminous Flux	650 ± 5% lm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### วิธีการดำเนินงานและผลการทดลอง

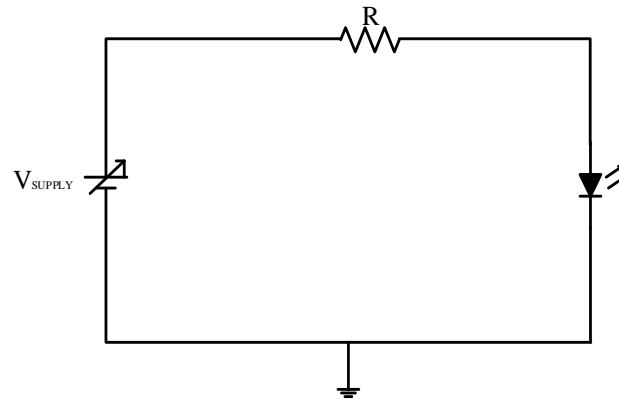
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดลอง โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ 4.1) ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของ LED เพื่อการส่องสว่างคือ การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง, การหาค่าช่วงเวลา  $5\tau$  ของ LED เพื่อการส่องสว่าง 4.2) การทดสอบการขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ความถี่ต่างๆ 4.3) แสดงผลที่ได้จากการทดลองเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้าและ DC, เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อขับด้วยสัญญาณพัลส์และ DC

#### 4.1 ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของ LED เพื่อการส่องสว่าง

โดยทั่วไป LED เพื่อการส่องสว่างมีรูปร่างหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่ภายในจะเป็น LED เพื่อการส่องสว่างที่เป็นแบบเซอร์เฟสเมาท์เหมือนกัน ในการทดลองจึงเลือกนำผลการทดลองจาก LED เพื่อการส่องสว่างเพียงหนึ่งบริษัทจากการทดลองหลายๆบริษัทมาแสดงผลเพราะมี LED เพื่อการส่องสว่างครบทั้ง 3 ชนิด คือ Warm White, Pure White และ Cool White คือบริษัทของ Landivi โดยในหนึ่งบรรจุภัณฑ์จะมี LED แบบเซอร์เฟสเมาท์ทั้งหมด 10 เม็ด และมีคุณสมบัติเฉพาะตามตารางที่ 3.1

##### 4.1.1 การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง

ในการทดลองจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรง ( $V_{Supply}$ ) ตั้งแต่ 0 – 25 V ให้กับ LED เพื่อการส่องสว่างทั้ง 3 ชนิดคือ Warm White, Pure White และ Cool White โดยวงจรที่ใช้ในการทดสอบจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรขับLED ที่ใช้ในการทดสอบกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง

จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง ( $V_{LED}$ ) และคำนวณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน ( $V_R$ ) ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_R = V_{Supply} - V_{LED} \quad (4.1)$$

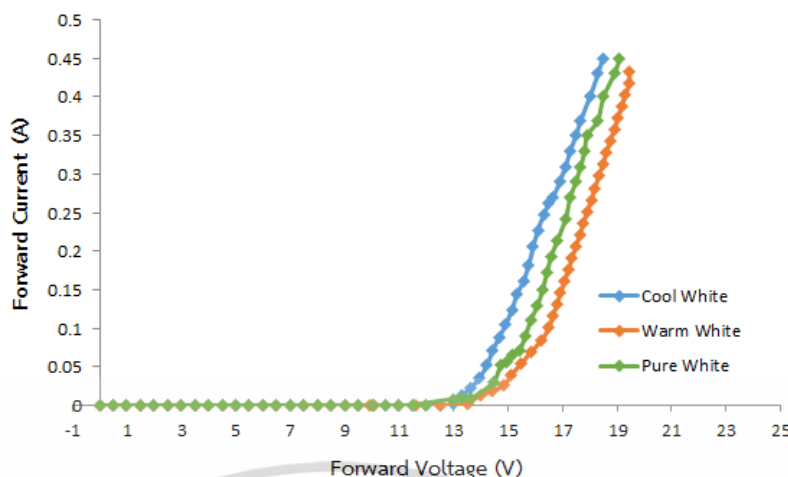
นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานมาคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$I_{LED} = I_R = \frac{V_R}{R} \quad (4.2)$$

โดยที่  $V_R$  = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง (V)

$I_R$  = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (A)

ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง

จากรูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง พบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างเพิ่มขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นความสัมพันธ์แบบเอ็กซีโพเนนเชียล โดยถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างน้อยมาก จนไม่เกิดปรากฏการณ์ใดใด โดยค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มของ LED เพื่อการส่องสว่างที่เลือกใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 13 V

เนื่องจากในสเปคของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ไม่มีมีการบอกค่า  $R_D$  และ  $R_S$  ของ LED เพื่อการส่องสว่าง ดังนั้นจากรูปที่ 4.2 ความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ  $R_D+R_S$  และค่า  $R_D$  จะคำนวณได้ตามสมการที่ 2.6 ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณค่า  $R_D+R_S$  และ  $R_S$

ชนิดของ LED	$R_D+R_S$	$R_S$
Warm White	10.50 $\Omega$	8.53 $\pm$ 20% $\Omega$
Pure White	12.25 $\Omega$	10.25 $\pm$ 20% $\Omega$
Cool White	12.18 $\Omega$	11.85 $\pm$ 25% $\Omega$

จากการการคำนวณพบว่าในขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างทั้งสามชนิดมี

ค่าเท่ากันจะทำให้  $R_D$  ของ LED เพื่อการส่องสว่างทั้งสามชนิดมีค่าเท่ากัน แต่ค่า  $R_S$  จะมีค่าไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเรียงลำดับ LED เพื่อการส่องสว่างจากค่า  $R_S$  มากสุดไปน้อยสุดคือ ชนิด Cool White, Pure White, Warm White และสามารถคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างทั้งสามชนิดเมื่อขับด้วย DC ในการคำนวณ  $V_{in}(t)$  มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จุดทำงาน จากสมการที่ 2.5 กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Cool White เมื่อ  $V_{in}(t)$  มีค่าเท่ากับ 17.50 V คือ

$$I_C = \frac{V_{in}(t)}{R_S} = \frac{17.50}{11.85} = 1.47 \text{ (A)} \quad (4.3)$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Pure White เมื่อ  $V_{in}(t)$  มีค่าเท่ากับ 17.67 V คือ

$$I_C = \frac{V_{in}(t)}{R_S} = \frac{17.67}{10.25} = 1.72 \text{ (A)} \quad (4.4)$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White เมื่อ  $V_{in}(t)$  มีค่าเท่ากับ 17.90 V คือ

$$I_C = \frac{V_{in}(t)}{R_S} = \frac{17.90}{8.53} = 2.09 \text{ (A)} \quad (4.5)$$

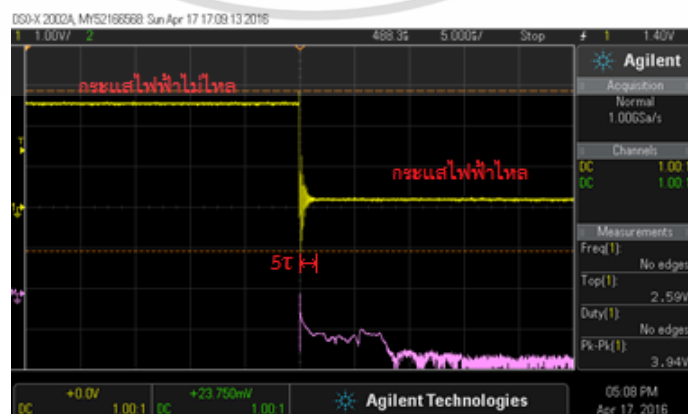
จากการคำนวณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างพบว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าสูงกว่ากระแสไฟฟ้าเดินเบา (กระแสไฟฟ้าที่ช่วงเวลา Steady State) 5 - 6 เท่า โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED จะมีค่าแปรผกผันกับ  $R_D$  คือ เมื่อมีค่า  $R_D$  น้อยจะทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมาก ในทำนองเดียวกันถ้าค่า  $R_D$  มากจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าน้อย และกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างจะแปรผกผันกับค่า  $R_S$  คือเมื่อมีค่า  $R_S$  น้อยจะทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมาก ในทำนองเดียวกันถ้าค่า  $R_S$  มากจะทำให้กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าน้อย

#### 4.1.2 การหาค่าช่วงเวลา $5\tau$ ของ LED เพื่อการส่องสว่าง

เมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์และ DC จะเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดขึ้นเมื่อเวลา  $t = 0$  โดยเกิดที่สถานะ Transient Response จนเมื่อเวลาเท่ากับ  $5\tau$  กระแสไฟฟ้าจะเข้าสู่สถานะ Steady State โดยค่า  $\tau$  มีค่าเท่ากับ  $R_S C$  แต่ในการหาค่าช่วงเวลา  $5\tau$  (ช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุด) ของ LED เพื่อการส่องสว่างไม่สามารถทราบค่า  $C_D$  และ  $C_S$  ของ LED เพื่อการส่องสว่างได้ ดังนั้นในการหาค่าช่วงเวลา  $5\tau$  จะสามารถคำนวณได้จากรูปสัญญาณที่ได้จากวงจรที่ 3.6 โดยสามารถเขียนได้โดยจะแสดงดังรูปต่อไปนี้



ในการทดลองจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นพัลส์ให้กับ LED เพื่อการส่องสว่าง ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12 V และมีค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 50% ที่ความถี่ 1 kHz จับสัญญาณที่ตกคร่อม Active device ในที่นี้คือ มอสเฟตเทียบกราว สัญญาณที่ได้จะกลับเฟสกับสัญญาณขาเข้า



รูปที่ 4.4 สัญญาณตกคร่อมมอสเฟตและตัวต้านทานตรวจจับกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการหาค่า  $5\tau$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 เป็นสัญญาณที่จับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมมอสเฟตเทียบกราว โดยส่วนที่เหลือคือค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่าง ซึ่งมีรูปสัญญาณที่กลับเฟสกับสัญญาณขาเข้าเช่นกัน ดังนั้นจุดที่เกิดการกระแสไฟฟ้าสูงสุดของสัญญาณทั้งหมดเกิดขึ้นที่ช่วงเวลา  $5\tau$  แต่เนื่องจากสโคปไม่สามารถตรวจจับค่าได้ดังนั้นเราสามารถคำนวณได้จากรูปที่ 4.3 โดยมีค่าประมาณดังต่อไปนี้

$$5\tau = \frac{2}{10} \times 488 \text{ us} = 97.6 \text{ }\mu\text{s} \quad (4.6)$$

โดยที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างมี 2 ช่องและทั้งหมดมี 10 ช่อง มีค่าเท่ากับ 488  $\mu\text{s}$  ดังนั้นช่วงเวลา  $5\tau$  มีค่าประมาณ 100  $\mu\text{s}$  และเมื่อเปลี่ยนความถี่เป็น 100Hz และ 10kHz ได้ช่วงเวลา  $5\tau$  มีค่าประมาณ 100  $\mu\text{s}$  เช่นกัน โดยอัตราส่วนของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างในช่วงเวลา  $5\tau$  ต่อกระแสไฟฟ้าเดินเบาคือช่วงเกิด turn on ของ LED เพื่อการส่องสว่าง ( $I_{PK}/t_{on}$ ) ที่จับด้วยดิวิตีไซเคิลต่างๆมีค่าดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.2** แสดงผลอัตราส่วนของช่วงเวลาเกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างเมื่อจับด้วยความถี่ต่างๆต่อช่วงเวลา turn on ของ LED เพื่อการส่องสว่าง

Frequency	Duty Cycle (%)	$t_{on}$ ( $\mu\text{s}$ )	อัตราส่วนของ $I_{PK}$ ที่มีต่อ $t_{on}$
100 Hz (T = 10000 $\mu\text{s}$ )	20	2000	1/20
	30	3000	1/30
	40	4000	1/40
	50	5000	1/50
	60	6000	1/60
	70	7000	1/70
	80	8000	1/80
	100	10000	1/100
1 kHz (T = 1000 $\mu\text{s}$ )	20	200	1/2
	30	300	1/3
	40	400	1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

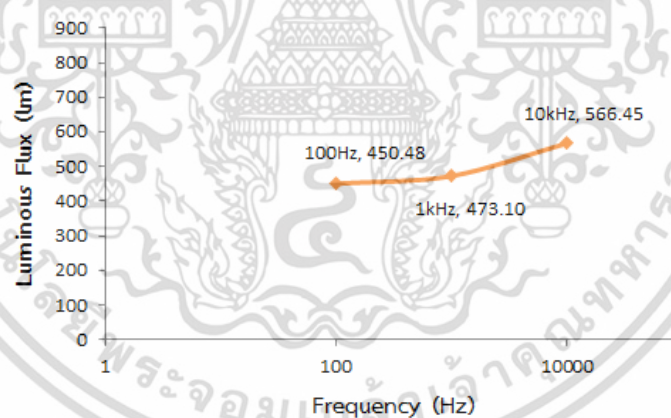


kHz, 10 kHz ทำการบันทึกผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม  $R_S$  และคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างตามสมการที่ 4.3 จากนั้นทำการวัดค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE 1931 โดย LED เพื่อการส่องสว่างที่เลือกใช้ในการทดสอบคือชนิด Warm White ได้ผลดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลการทดสอบการขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ความถี่

ความถี่ (Hz)	$V_{LED}$ (V)	$V_R$ (V)	$I_{LED}$ (mA)	ฟลักซ์ส่องสว่าง (lm)
100	15.0	0.175	0.350	450.48
1k	15.1	0.175	0.350	473.10
10k	15.1	0.175	0.350	566.45

และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและความถี่ของ LED เพื่อการส่องสว่างได้ดังต่อไปนี้



**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง (lm) และความถี่ (Hz)

จากรูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและความถี่ของ LED เพื่อการส่องสว่าง เมื่อเปลี่ยนความถี่เป็น 100 Hz, 1 kHz และ 10 kHz โดยที่ความถี่ 1 kHz จะมีค่าฟลักซ์ความส่องสว่างที่มากกว่า 100 Hz เพียงเล็กน้อย แต่ที่ความถี่ 10 kHz จะมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่สูงที่สุด เพราะที่ความถี่ 10 kHz จะมีค่า  $T = 100 \mu s$  และช่วงเวลา  $5T$  ที่คำนวณได้จากสูตร 4.3 มีค่าประมาณ  $100 \mu s$  ดังนั้นหลังจากเกิดช่วงเวลา  $5T$  ที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุด LED เพื่อการส่องสว่างจะ turn off ทัน

ที่ โดยไม่เข้าสู่สถานะ Steady State และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดส่งผลต่อค่าฟลักซ์ส่องสว่างมาก ทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไม่เหมาะสมในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การควบคุมค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างจะทำได้ยาก ดังนั้นความถี่ที่เหมาะสมในการใช้ขับ LED เพื่อการส่องสว่างควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 165 Hz [14] และไม่เกิน 1kHz

### 4.3 แสดงผลที่ได้จากการทดลองเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ และ DC

#### 4.3.1 การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์

จากวงจรในรูปที่ 4.3 วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ ป้อนแรงดันไฟฟ้าสลับให้กับวงจร DC – DC Converter โดยจะแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็น 18 V และ 12 V จ่ายแรงดันไฟฟ้า 18 V ให้กับวงจร Gate Drive และ 12 V จ่ายให้กับวงจร Pulse Generator เพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยปรับความถี่ของสัญญาณพัลส์ให้มีค่า 1 kHz ที่ดิวิตีไซเคิล 50% โดยมีรูปสัญญาณดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ขาออกของวงจร Pulse Generator

ทำการป้อนสัญญาณพัลส์ให้กับ LED เพื่อการส่องสว่าง โดยเปลี่ยนค่าดิวิตีไซเคิลคือ 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% โดยจับสัญญาณที่ตกคร่อมมอสเฟตเทียบกราว และนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ( $V_R$ ) ที่ได้จากการวัด มาคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เช่นกัน โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการที่ 3.9 และ 3.10 ทำการวัดค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED ชนิดส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE 1931 และคำนวณค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างจากสมการที่ 3.8 โดยการทดลองจะทดลองกับ LED เพื่อการส่องสว่างทั้งหมด 3 ชนิด ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

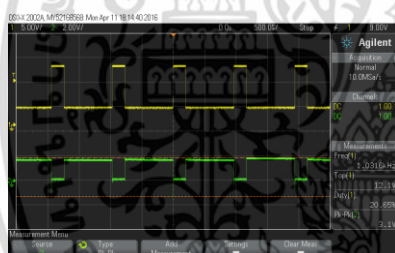
#### 1. Warm White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

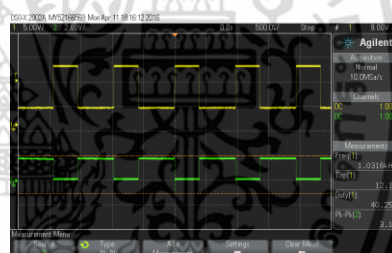
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White ด้วยสัญญาณพัลส์

Duty Cycle (%)	$V_{LED}$ (V)	$I_{LED}$ (A)	Flux (lm)	$\eta$ (lm/W)
20	2.98	0.06	392.68	2196.19
30	4.50	0.10	430.38	956.40
40	5.96	0.13	449.23	576.80
50	7.60	0.17	474.36	367.15
60	7.76	0.20	505.78	325.88
70	10.50	0.24	515.20	204.44
80	12.16	0.28	559.18	164.23

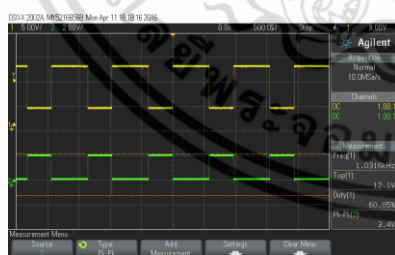
โดยมีตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White ที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



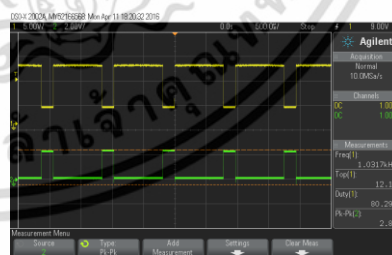
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White ที่ได้จากการทดลอง

(ก) Duty Cycle = 20% (ข) Duty Cycle = 40% (ค) Duty Cycle = 60%

(ง) Duty Cycle = 80%

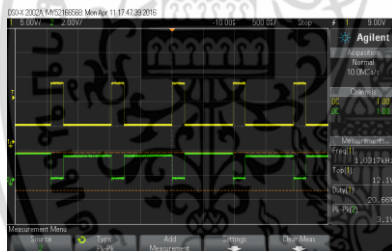
## 2. Pure White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

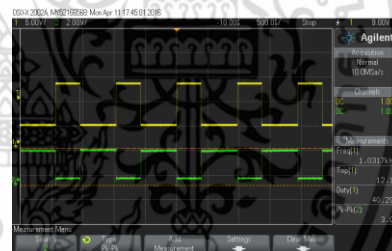
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Pure White ด้วยสัญญาณพัลส์

Duty Cycle (%)	$V_{LED}$ (V)	$I_{LED}$ (A)	Flux (lm)	$\eta$ (lm/W)
20	2.98	0.06	450.86	2521.58
30	4.50	0.10	491.13	1091.40
40	6.00	0.13	519.20	665.64
50	7.20	0.17	550.09	449.41
60	9.06	0.20	575.34	317.51
70	10.43	0.24	602.45	240.67
80	12.00	0.27	598.33	184.66

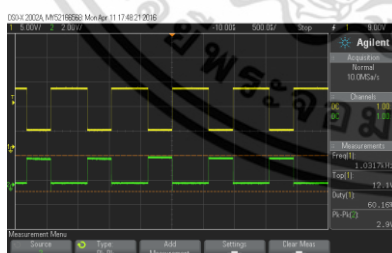
โดยมีตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Pure White ที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



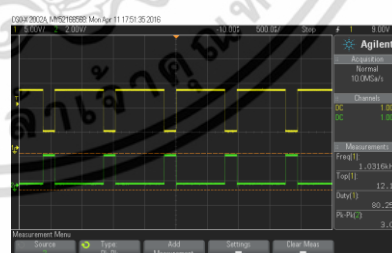
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Pure White ที่ได้จากการทดลอง

(ก) Duty Cycle = 20% (ข) Duty Cycle = 40% (ค) Duty Cycle = 60%

(ง) Duty Cycle = 80%

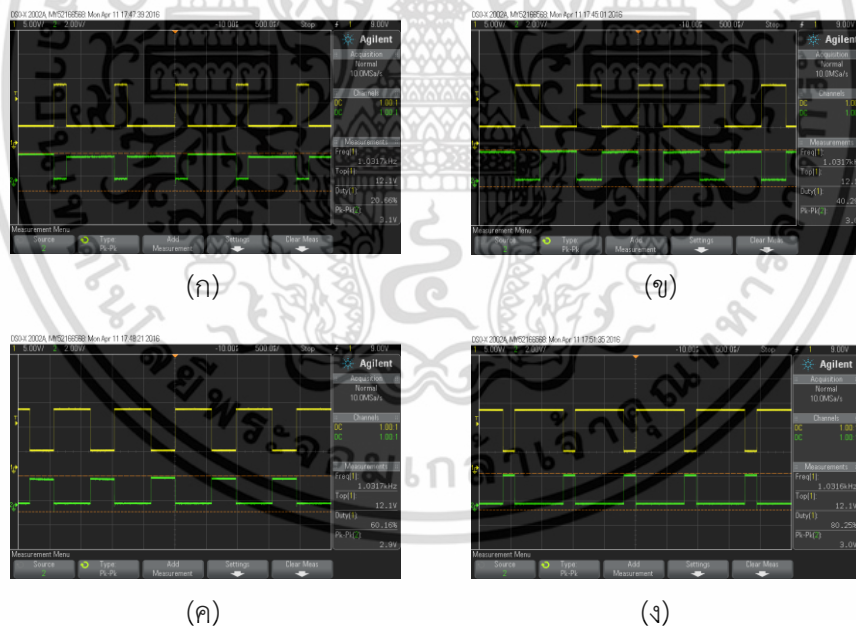
### 3. Cool White

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Cool White ด้วยสัญญาณพัลส์

Duty Cycle (%)	$V_{LED}$ (V)	$I_{LED}$ (A)	Flux (lm)	$\eta$ (lm/W)
20	2.98	0.06	640.86	3584.22
30	4.56	0.10	691.13	1515.63
40	6.00	0.13	719.40	922.30
50	7.20	0.17	845.00	690.35
60	9.06	0.20	870.20	480.24
70	10.43	0.24	923.60	368.96
80	12.00	0.27	790.02	243.83

โดยมีตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Cool White ที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในรูปต่อไปนี้

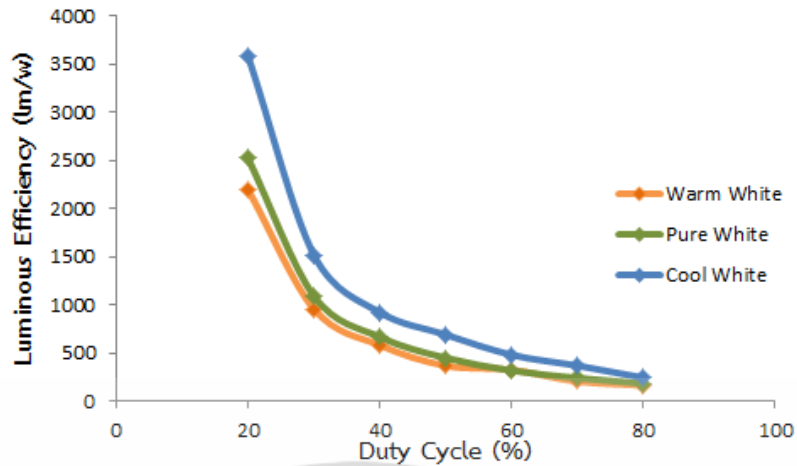


รูปที่ 4.9 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Cool White ที่ได้จากการทดลอง

(ก) Duty Cycle = 20% (ข) Duty Cycle = 40% (ค) Duty Cycle = 60%  
(ง) Duty Cycle = 80%

จากนั้นนำค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างและค่าตัวชี้เซลล์ที่ใช้ใน

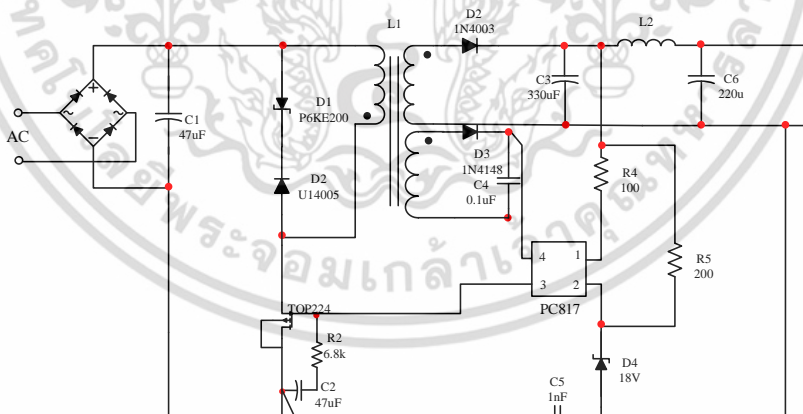
การขับ LED เพื่อการส่องสว่างมาแสดงผลความสัมพันธ์ โดยจะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นไปดังต่อไปนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและค่าดิวตี้ไซเคิล  
ที่ได้จากวงจรขับด้วยสัญญาณพัลส์

จากรูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและค่าดิวตี้ไซเคิลที่ได้จาก  
วงจรขับด้วยสัญญาณพัลส์ พบว่าเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีค่าดิวตี้ไซเคิล  
เพิ่มขึ้นค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างจะลดลง เป็นไปตามสมการที่ 3.7

#### 4.3.2 การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

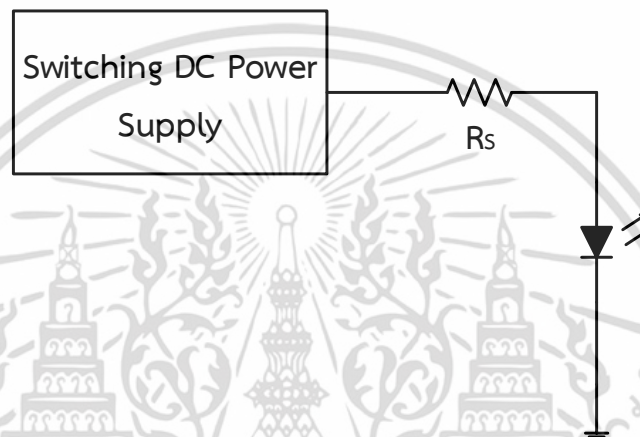


รูปที่ 4.11 วงจร DC – DC Converter ที่ใช้ในการอ้างอิง

จากรูปที่ 4.10 วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรง เป็นวงจรที่ใช้สำหรับวงจร  
ขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC จะอ้างอิงผลจากการทดลองเรื่อง วงจรจ่ายกำลังโหมดแรงดัน  
โหลดแอลอีดีส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ [15] วงจรจะแปลงแรงดันไฟฟ้า DC ที่ตกคร่อม  $C_1$  ที่มี

ค่าประมาณ 310V ให้เท่ากับ 20 V เพื่อจ่ายให้กับ LED เพื่อการส่องสว่าง โดยวงจรมีหลักการทำงาน  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีหลักการทำงานเหมือนกับวงจรในรูปที่ 3.8 ของวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ ในการทดลองจะทดลองกับ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White, Pure White และ Cool White ชนิดเดียวกันกับวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยมีค่าความถี่เท่ากับ 1kHz ในการทดลองจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการทดลอง และคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ( $R_s$ ) เพื่อใช้ในการคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED โดยจะแสดงวงจรขับดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

จากนั้นทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC โดยได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC

LED	$V_{LED}$ (V)	$I_{LED}$ (A)	Flux (lm)	$\eta$ (lm/W)
Warm White	15.00	0.35	464.94	88.56
Pure White	15.10	0.34	573.45	111.69
Cool White	15.00	0.35	790.02	150.48

โดยมีสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิดทั้ง 3 ชนิดที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



(ก)

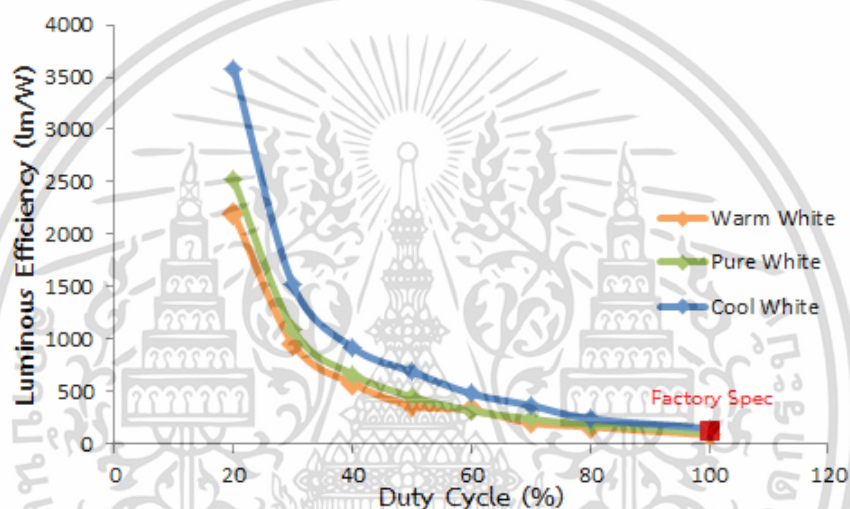
(ข)

(ค)

### รูปที่ 4.13 ตัวอย่างสัญญาณของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับเคลื่อนด้วย DC

(ก) Warm White (ข) Pure White (ค) Cool White

นำผลการทดลองอ้างอิงนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการทดลองวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและดิวตี้ไซเคิลของ LED เพื่อการส่องสว่างทั้งสามชนิดได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างและค่าดิวตี้ไซเคิลของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ได้จากการขับด้วยสัญญาณพัลส์และ DC

จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยค่าความถี่ที่เท่ากันแต่มีค่าดิวตี้ไซเคิลที่เปลี่ยนแปลงไป ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลน้อยจะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงกว่าค่าดิวตี้ไซเคิลมาก โดยจากในหัวข้อที่ 4.1.2 การหาค่าช่วงเวลา  $5\tau$  ของ LED เพื่อการส่องสว่าง ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นได้อธิบายไว้ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลน้อยค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED จะมีอัตราส่วนที่มากกว่าค่ากระแสไฟฟ้าเดิเบอาที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง มีผลต่อค่าฟลักซ์ส่องสว่างเพราะค่าฟลักซ์ส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพ โดยที่ดิวตี้ไซเคิลที่มีค่าน้อยจึงมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากกว่าดิวตี้ไซเคิลที่มีค่ามาก จากรูปที่ 4.9 ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 60% - 100% จะมีอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าสูงสุดน้อย ทำให้มีเมื่อวัดค่าฟลักซ์ส่องสว่างจะเป็นค่าที่ได้จากช่วง Steady State ทำให้ค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับเคลื่อนด้วยดิวตี้ไซเคิล 60%-80% มีค่ามากกว่าการขับด้วย DC เพียงเล็กน้อยจนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสมือนเท่านั้น แต่มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างที่สูงกว่าการขับด้วย DC เมื่อทำการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (Linear Interpolation) และการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ที่ได้จากสเปค (Factory Spec) ของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองคือ 130 lm/W

จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างพบว่า การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่น้อยกว่าการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ที่ duty cycle 80% เท่ากับ 80% เหตุเพราะในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC คือการทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างติดตลอดเวลา ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียตลอดเวลาที่ใช้งานเช่นกัน แต่การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์จะทำให้ LED เพื่อการส่องสว่างทำงานแบบติด - ดับตามค่าเวลา  $t_{on}$  ของค่า duty cycle ที่จ่ายให้กับ LED เพื่อการส่องสว่าง จึงทำให้เมื่อขับด้วยสัญญาณพัลส์มีค่ากำลังสูญเสียต่ำกว่า ในขณะที่การขับด้วยสัญญาณพัลส์ที่ duty cycle 80% จะให้ค่าฟลักซ์ความส่องสว่างที่แตกต่างจากการขับด้วย DC เท่ากับ 7% ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า duty cycle 80% จะสามารถนำมาใช้แทนการขับแบบเดิมคือ การขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยไฟฟ้ากระแสตรงในโหมดกระแสไฟฟ้า โดยการขับด้วยสัญญาณพัลส์จะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากกว่า

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาข้อมูลและรวบรวมพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานจรขับ LED เพื่อความส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า โดยจากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่าง จะมีผลต่อค่าฟลักซ์ส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง และค่าตัวตัดไซเคิลที่ขับด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้ากับการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ในโหมดกระแสไฟฟ้า โดยผลการทดลองจะแบ่งตามขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

จากผลการทดลองที่ 1 ทดสอบคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของ LED เพื่อการส่องสว่างของชนิด Warm White, Pure White, Cool White พบว่าเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียล และค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ใช้ในการทดลองมีค่าประมาณ 13 V และเมื่อคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มของ LED เพื่อการส่องสว่างแต่ละเม็ดที่บรรจุอยู่ในหลอดมีค่าประมาณ 2.6 V ดังนั้นการผลิต LED เพื่อการส่องสว่างที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นการใช้เทคนิคการเปลี่ยนความยาวคลื่นที่ใช้ LED แสงสีน้ำเงินเป็น LED ตั้งต้นความชันของกราฟในรูปที่ 4.2 มีค่าเท่ากับ  $R_D + R_S$  จากการคำนวณพบว่า  $R_S$  ของ LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White, Pure White, Cool White มีค่าเท่ากับ  $8.53 \pm 20\% \Omega$ ,  $10.25 \pm 20\% \Omega$ ,  $11.85 \pm 25\% \Omega$  ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างชนิด Warm White, Pure White, Cool White มีค่าเท่ากับ 2.09A, 1.72A, 1.47A ตามลำดับ มีค่าสูงกว่ากระแสไฟฟ้าที่สถานะ Steady State ประมาณ 5-6 เท่า

ในการหาค่าช่วงเวลา  $5\tau$  ของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ได้จากการทดลอง เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นพัลส์ให้กับ LED เพื่อการส่องสว่างที่มีความถี่เท่ากับ 100Hz, 1kHz, 10kHz พบว่า LED เพื่อการส่องสว่างทั้ง 3 ชนิดมีค่าช่วงเวลา  $5\tau$  ประมาณ  $100 \mu s$  จากการทดลองเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยตัวตัดไซเคิลที่เพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลา  $5\tau$  และช่วงเวลา Steady state มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง ทำให้เมื่อขับด้วยดิวิตีไซเคิลค่ามากคือตั้งแต่ 60% ขึ้นไป ค่าพลักซ์ส่องสว่างที่เกิดจากช่วงเวลา  $5T$  ซึ่งคือช่วงเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดส่งผลต่อค่าพลักซ์ส่องสว่างเฉลี่ยที่วัดได้น้อยมาก ดังนั้นค่าพลักซ์ส่องสว่างที่วัดได้จะเกิดจากกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา Steady State เป็นผลให้เมื่อขับด้วยดิวิตีไซเคิลที่ 80% อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลา  $5T$  และช่วงเวลา Steady State มีค่ามากกว่าการขับด้วย DC เล็กน้อย ค่าพลักซ์ส่องสว่างที่วัดได้มีค่าประมาณเท่ากัน แม้ว่าการขับด้วย DC จะมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED มากกว่า

จากผลการทดลองที่ 2 ทดสอบการขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ความถี่ต่างๆ (Duty Cycle = 50%) การขับด้วยความถี่ 10kHz มีค่าพลักซ์ส่องสว่างที่สูงกว่าการขับด้วยความถี่ 100 Hz และ 1 kHz เหตุเพราะอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลา  $5T$  และช่วงเวลา Steady State หลายเท่า แสดงว่าเมื่อเกิดช่วงเวลา  $5T$  LED เพื่อการส่องสว่างจะ turn off โดยไม่เกิดช่วงเวลา Steady State ทำให้การควบคุมค่าพลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างได้ยาก ดังนั้นค่าความถี่สูงสุดที่เหมาะสมในการขับ LED เพื่อการส่องสว่างในโหมดแรงดันไฟฟ้าคือ 1 kHz และไม่ควรถ่ำกว่า 165 Hz [14]

จากผลการทดลองที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการทดลองเมื่อขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์และ DC โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม LED เพื่อการส่องสว่างและค่าพลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างในการขับด้วยสัญญาณพัลส์ เพื่อคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED เพื่อการส่องสว่างและค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่าง เปรียบเทียบผลที่ได้กับการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC จากการทดลองเรื่อง วงจรจ่ายกำลังโหมดแรงดันหลอดแอลอีดีส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ พบว่าโดยมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วยดิวิตีไซเคิล 60%-80% มีค่ามากกว่าการขับด้วย DC มาก ซึ่งที่ดิวิตีไซเคิล 80% จะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างมีค่ามากกว่าการขับด้วย DC เท่ากับ 80% แต่ค่าพลักซ์ส่องสว่างมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 7%

จากการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการทดลองการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์เพื่อมุ่งเน้นให้เป็นการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างต่อไปในอนาคต วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้า เพื่อต้องการใช้ประโยชน์จากการเกิดช่วงเวลา  $5T$  ที่เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดมาแทนการขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วย DC ในโหมดกระแสไฟฟ้า ซึ่งจากการทดลองพบว่าการขับ LED เพื่อการส่องสว่างที่ขับด้วยสัญญาณพัลส์ในโหมดแรงดันไฟฟ้าที่ดิวิตีไซเคิล 80% มีค่า

ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการขับด้วย DC แสดงว่าประหยัพลังงานมากกว่า แต่มีค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่เทียบเท่าเดิม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือในการทดลองเพื่อการวัดค่าฟลักซ์ส่องสว่างของ LED เพื่อการส่องสว่างจะต้องวัดตามมาตรฐาน CIE 1931 คือวัดที่ระยะห่าง 1 เมตร เป็นระยะห่างระหว่าง LED เพื่อการส่องสว่างกับอุปกรณ์ในการวัดและจะต้องวัดในห้องมืด เพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก แต่ในการทดลองอาจมีแสงสว่างภายนอกมารบกวน และวงจรขับ LED เพื่อการส่องสว่างด้วยสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเพียงวงจรตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ ยังไม่สามารถบรรจุใส่ในหลอด LED เพื่อการส่องสว่างเพื่อใช้งานได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] OSRAM Opto Semiconductors. **Electrical Characteristics of LEDs**. [Slide]. OSRAM Opto Semiconductors
- [2] Vijay Kumar Peddiniti. **Light Emitting Diode (LEDs)**. [Slide].
- [3] นรินทร์ สิริกุลรัตน์. **สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำและทฤษฎีแถบพลังงาน**. กรุงเทพมหานคร.
- [4] VS Lighting Solution. **Understanding LED Driver Technology**. Germany
- [5] P. H. Binh., V. D. Trong., P. Renucci., X. Marie. 2013. “A simple sub-nanosecond ultraviolet light pulse generator with high repetition rate and peak power.” **Scientific Instruments**. 083102-2 – 083102-5
- [6] Rich Rosen. **Dimming Techniques for Switched-Mode LED Drivers**. [Slide]. National Semiconductor. 2011
- [7] Cree, Inc. 2015. **Thermal Management of Cree XLamp LEDs**. USA
- [8] Cree, Inc. 2015. **LEDs Color Mixing: Basics and Background**. USA
- [9] Robert Mammano. **Switching Power Supply Topology Voltage Mode vs. Current Mode**. [Slide]. Unitrode. 1999
- [10] Maxim integrated. 2004. **Why Drive White LEDs with Constant Current?**.
- [11] Mark Scholten. **LED Constant Current Source Scheme**. [Slide]. On Semiconductor
- [12] มন্ত্রী ศิริปรัชญานันท์ และ ปราโมทย์ วาดเขียน. 2544. “การกำเนิดสัญญาณผลอนุพันธ์ PWM ที่มีความถี่คงที่โดยใช้วงจรสมิตริกเกอร์แบบใหม่”. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมทางไฟฟ้า ครั้งที่ 24. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [13] Agilent Technilgies, Inc. **Operational Considerations for LED Lamps and Display Device**.
- [14] Arnold Wilkins., Jennifer Veitch., Brad Lehman. “LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns.” **IEEE Standard PAR1789 Update**.

[15] วรณวลัย ไวกุลเพชร และศุภลักษณ์ ขำพล. “วงจรจ่ายกำลังโหมตแรงดันหลอดแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพ.” ปริญญาโทบริหารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
อิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง



รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องมือวัดแสง

เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง ซึ่งอ่านค่าเป็น ลักซ์ (ตามกฎกระทรวงฯ เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 ) หรือ ฟุตแคนเดิลเครื่องมือวัด มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

1) เซลล์รับแสง (Photo Cell) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกด้านในเคลือบด้วยสารซิลิกอน(Silicon) หรือ เซเลเนียม (Selenium) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าความเข้มแสงสว่างมาก พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมากตามไปเป็นสัดส่วน เซลล์รับแสง อาจถูกออกแบบให้โค้งงอเล็กน้อย เพื่อให้แสงจากทิศทางต่างๆ ตกกระทบในมุม  $90^{\circ}$  หรือใกล้เคียงที่สุดได้รอบด้าน

2) ส่วนมิเตอร์ (Meter) ส่วนนี้จะรับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์รับแสง และแสดงค่าบนหน้าจอเป็นความเข้มแสงสว่าง

สามารถวัดความเข้มแสงสว่างได้ ตั้งแต่ 0 - มากกว่า 10,000 ลักซ์ คุณสมบัติของเครื่องวัดแสงต้องเป็นไปตามมาตรฐาน CIE 1931 ของคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยความส่องสว่าง (International Commission on Illumination) หรือ ISO/CIE 10527 หรือเทียบเท่า เช่น JIS Z 8701 หรือดีกว่า (โดยเซลล์รับแสงต้องมีคุณลักษณะCosine-Corrected เพื่อปรับค่าของแสงที่ไม่ได้ตกตั้งฉากกับ Photo Cell และต้องมี Color Corrected ตามมาตรฐาน CIE )

ขั้นตอนและเทคนิควิธีการวัดแสงสว่าง

1. ปรับให้เครื่องอ่านค่าที่ศูนย์ โดยก่อนทำการตรวจวัดแสงสว่าง ต้องปรับให้เครื่องอ่านค่าที่ศูนย์ก่อนทุกครั้ง การปรับเครื่องเช่นนี้ เรียกว่า Zeroing ซึ่งไม่ใช่การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) ของเครื่องมือ การปรับให้เครื่องอ่านค่าที่ศูนย์ ก่อนการเริ่มอ่านค่าเป็นสิ่งจำเป็น สามารถทำได้โดยใช้วัสดุสีดำทึบแสงปิดที่เซลล์รับแสงแล้วเปิดเครื่องและอ่านค่า ค่าที่อ่านได้ควรเป็น

ศูนย์ เนื่องจากไม่มีแสงตกกระทบเซิร์ฟแสง หากไม่เป็นเช่นนั้น ต้องปรับมิเตอร์ให้อ่านค่าศูนย์ก่อน  
เริ่มการตรวจวัด

2. ปรับมิเตอร์ โดยมีเตอร์บางรุ่นจะมีปุ่มให้ปรับเลือกช่วงของความเข้มแสงสว่างระดับต่างๆ หากไม่แน่ใจว่าระดับความเข้มของแสงสว่างเป็นปริมาณเท่าไรให้ปรับปุ่มไปช่วงของการวัดที่ระดับสูง  
ก่อน ถ้าไม่ใช่ช่วงการวัดนั้นจึงค่อยปรับสเกลต่ำลงมา

3. ศึกษาลักษณะการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ขนาดของชิ้นงาน ความละเอียดของงาน ปัจจัย  
แวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อมุมมอง การส่องสว่าง และคุณภาพของการส่องสว่าง

4. วางเซิร์ฟแสง ระบายเดียวกับพื้นผิวงานของผู้ปฏิบัติงานนั้น อ่านค่าความเข้มแสงสว่าง ผู้ทำ  
การตรวจวัดฯ ต้องระวังไม่ให้เงาของตัวเองทอดบังบนเซิร์ฟแสง ซึ่งทำให้ค่าความเข้มแสงสว่างผิด  
จากความเป็นจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Dear Graduate Student Pichkanit Sukpasri,

It is our pleasure to inform you that your paper referenced below has been accepted for presentation and publication in the proceedings of the 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2015) to be held on October 13-16, 2015 in BEXCO, **Busan**, Korea:

- **Paper No** : 150030

- **Title** : The Appropriate Voltage Mode Duty Cycle Signal Supply for Lighting LED

- **Authors** : Graduate Student Pichkanit Sukpasri (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand)

Mr. Jirawath Pamklang (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand)

- **Presenting Author** : Graduate Student Pichkanit Sukpasri (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand)

Please note that reviewers' comments can be accessed by logging in to <http://2015.iccas.org>, which are also attached in this mail below for your convenience. It is important that any critical comments therein are adequately addressed in the final version of the paper submitted for inclusion in the conference proceedings.

Presentation type of Lecture or Interactive Poster has not yet been decided by the Organizing Committee, and will be notified to the authors around the end of August. Please note that the decision will be based on the theme of the sessions and therefore may become different from the authors' preference.

Now we ask you to submit the final camera-ready format of your paper by **July 24**, 2015 through the conference website at <http://2015.iccas.org>. In order to prepare the final version, please refer to the guideline at [http://2015.iccas.org/sub/sub02\\_1.asp?sub\\_param=2](http://2015.iccas.org/sub/sub02_1.asp?sub_param=2). Since the final version will become available at IEEE Xplore, it is very important to make it compatible with the standard of IEEE. Please do not forget to see the guideline. According to the policy of the IEEE, if the accepted paper is not presented at the conference, the paper will be excluded from IEEE Xplore after the conference.

Please note that at least one of the authors per paper must complete the advanced registration since the registration number is required to submit the final version. If you have any additional questions, please contact us by email

([conference@icross.org](mailto:conference@icross.org)) or call us at +82-32-234-5801(Ext.3).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

At last, the organizing committee is working on making instructive tutorials and exciting special programs  
We look forward to seeing you in **Busan**, Korea in October.

Best regards,

**Organizing Committee**

**2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems(ICCAS 2015)**

## **Reviewers' comments**

**Reviewer A**

**Reviewer B**

**2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems(ICCAS 2015)**

Bucheon Techno Park 401-1505, Pyeongcheon-ro 655, Wonmi-Gu Bucheon-City, Gyeonggi-Do, 420-734, Korea

Phone : +82-32-234-5801(Ext.3) / Fax : +82-32-234-5807 / E-mail : [conference@icross.org](mailto:conference@icross.org)

Homepage : <http://2015.iccas.org>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวพิชญ์นิษฐ์ สุขภาณี  
 วัน เดือน ปีเกิด 1 พฤศจิกายน 2534 ที่กรุงเทพมหานคร  
 ที่อยู่ 98/66 หมู่บ้านสมชายพัฒนา ถนนบางกรวย-ไทรน้อย ต.บางกรวย  
 อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130 โทร 08-7327-3342  
 ประวัติการศึกษา 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย สาขาวิทย์-คณิต โรงเรียนเบญจมราชาลัย  
 ในพระบรมราชูปถัมภ์  
 2556 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้