

**การออกแบบชุดส่องสว่างโดยใช้ LED กำลังสูง**  
**Illumination Design Using High Power LED**



โดย

นาย ปิติพงษ์ อิสระ

นาย พงศพิศุทธิ์ เมฆนิติกุล

นาย ไพรัตน์ ถวิล

๖/๖/๖  
๖/๖/๖  
๖/๖/๖

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... **62372**  
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2549

b..... **11621995**  
i.....

**ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**  
**สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ปีการศึกษา 2548**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การออกแบบชุดส่องสว่างโดยใช้ LED กำลังสูง  
Illumination Design Using High Power LED



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

ดร.สมภพ ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบชุดส่องสว่างโดยใช้ LED กำลังสูง

ผู้จัดทำ

1. นาย ปิติพงษ์ อิศระ
2. นาย พงศ์พิศุทธิ์ เมฆนิตกุล
3. นาย ไพรัตน์ ถวิล

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร.สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบชุดส่องสว่างโดยใช้ LED กำลังสูง

นายปิติพงษ์ อิศระ

นายพงศ์พิสุทธิ์ เมฆนติกุล

นายไพรัตน์ ถวิล

ผศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

หลอด LED กำลังสูงนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดไฟประเภททั้งสแตน หรือฮาโลเจน นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันจึงเริ่มมีการนำหลอด LED กำลังสูงมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ทั้งในด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ ทางด้านการตกแต่งอาคารสถานที่ รวมไปถึงด้านการแพทย์อีกด้วย และในอนาคตอันใกล้หลอด LED กำลังสูง ก็จะเป็นผู้นำในด้านการส่องสว่าง ปรวิญญาณิพนธ์นี้ได้เห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของหลอดประเภทนี้ จึงได้นำเสนอชุดขับส่องสว่างสำหรับหลอด LED กำลังสูง เพื่อใช้ในงานตกแต่งสถานที่ โดยใช้หลอด LED กำลังสูงแม่สีสามสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน โดยเราจะใช้การผสมสีของหลอดเพื่อให้เกิดสีที่แตกต่างกันได้ รวมทั้งการสร้างและปรับปรุงชุดขับให้มีขนาดเล็ก ลง ราคาถูก และเหมาะสมต่อการใช้งาน

**Illumination Design Using High Power LED**

Pitipong Isara

Pongpisut Meknitikool

Pairath Tawin

Asst. Prof. Dr.Supat Kittiratsatcha advisor

Dr.Sompob Polmai advisor

2005

**ABSTRACT**

High Power LED has higher efficacy compared to the conventional tungsten or halogen bulbs. Therefore there is widely usage of high power LED in automotive industry, decoration and even in the medical. In the near future, high power LED will lead in the illumination market. This thesis realizes in the advantages of these high power LEDs. So it proposes the high power LED driver for decorative application. The lamp comprises of 3 colors by adjusting the intensity of each color. Moreover, this thesis presents how to build and modify the driver to be smaller, cheaper and compatible with the decorative application.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ดังต่อไปนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา และ ดร. สมภพ ผลไม้ ที่ได้ให้คำแนะนำทั้งทางทฤษฎีและการทดลองที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ รวมไปถึงคอยติดตามผลการดำเนินงานตลอดมา ทำให้ทางคณะผู้จัดทำมีความตั้งใจในการปฏิบัติงานสูงขึ้น รวมไปถึงบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณสมาชิกในกลุ่มทุกท่านที่ทุ่มเทแรงกายแรงใจช่วยกันอย่างแข็งขัน จนทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คุณสมบัติและข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED กำลังสูง .....	4
2.1.1 คุณสมบัติของหลอด LED กำลังสูง .....	4
2.1.2 การประยุกต์ใช้งานของหลอด LED กำลังสูง .....	4
2.2 ข้อมูลการใช้งานของหลอดชนิดต่างๆ.....	8
2.3 ทฤษฎีและหลักการของวงจรทอนระดับแรงดันหรือวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	9
2.3.1 หลักการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	10
2.3.1.1 ขณะสวิตช์นำกระแส.....	10
2.3.1.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	10
2.3.2 การหาค่าอัตราขยายแรงดันของวงจรวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	12
2.3.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	12
2.3.4 การหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก.....	13
2.3.5 การทำงานในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง ของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.....	13
2.4 การควบคุม DC-DC Converter ( Buck Converter ).....	16
2.3.1 การควบคุมวงจรแบบเปิด.....	16
2.3.2 การควบคุมวงจรแบบปิด.....	17
2.5 การทำงานของวงจรควบคุม.....	17
2.4.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน.....	17
2.4.2 วงจรควบคุมในโหมดกระแสต่อเนื่อง (คอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วย โหมดกระแสต่อเนื่อง).....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ระบบควบคุมในแบบต่าง ๆ.....	19
2.6.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control).....	19
2.6.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control).....	22
2.6.3 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (Proportion plus integral Control).....	23
2.7 ลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	26
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง</b>	
3.1 กล่าวนำ.....	28
3.2 หลักในการพิจารณาเลือกใช้วงจร.....	29
3.3 หลักการทำงานของวงจร.....	30
3.4 การออกแบบวงจร.....	32
3.4.1 การออกแบบวงจรบีกอนเวอร์เตอร์.....	32
3.4.2 การออกแบบวงจรบีกอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง.....	33
3.4.2.1 การออกแบบวงจรบีกอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ ต่อเนื่องโหลดสีน้ำเงิน.....	33
3.4.2.2 การออกแบบวงจรบีกอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ ต่อเนื่องของโหลดสีเขียว.....	35
3.4.2.3 การออกแบบวงจรบีกอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ ต่อเนื่องของโหลดสีแดง.....	36
3.4.3 ส่วนวงจรควบคุม.....	38
3.4.4 ชุดวงจรบายพาส.....	43
3.5 การออกแบบวงจรเพื่อปรับปรุงวงจรให้เหมาะกับการใช้งานยิ่งขึ้น.....	45
3.5.1 วัตถุประสงค์ในการปรับปรุงวงจร.....	45
3.5.2 แนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เบื้องต้น.....	45
3.5.3 เงื่อนไขในการออกแบบวงจร.....	45
3.6 ขั้นตอนการออกแบบวงจรควบคุมการส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง ส่องสว่างกำลังสูง.....	46
3.7 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในวงจร.....	51
3.8 ขั้นตอนการออกแบบวงจร.....	52
3.9 การออกแบบชุดโคมฉายโดยใช้หลอด LED กำลังสูง.....	56
3.9.1 การออกแบบวงจร.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

### บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแสดงกระแสขาออกของวงจรชุด ส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยที่ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุม.....	61
4.2.แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแสดงกระแสขาออกของวงจรชุด ส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยที่ออกแบบโดยใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม.....	62
4.3 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแสดงกระแสขาออกของวงจรชุด โคมฉายโดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการ ควบคุม.....	64

### บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง.....	66
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	67

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างของหลอด LED กำลังสูง .....	5
2.2 แสดงแบบ Drawing ของหลอด LED กำลังสูง .....	5
2.3 แสดงการประยุกต์ใช้งานของหลอด LED กำลังสูง.....	5
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Luminous flux กับ forward current สำหรับหลอดสีแดง เขียวและน้ำเงิน.....	7
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Luminous flux กับ forward current สำหรับหลอดสีขาว.....	7
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Forward current กับ forward voltage สำหรับหลอดสีแดง เขียวและน้ำเงิน.....	7
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Forward current กับ forward voltage สำหรับหลอดสีขาว.....	8
2.8 แสดงวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	10
2.9 แสดง (a) วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์, (b) แสดงวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์, (c) แสดงวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส, (d) แสดงกราฟ ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์.....	11
2.10 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	13
2.11 แสดงระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออก.....	13
2.12 การทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง.....	14
2.13 แสดงสัญญาณในการสร้างพัลส์.....	16
2.14 แสดงสัญญาณควบคุมพัลส์วิตช์มอดูเลชัน ( Pulse Width Modulation ).....	17
2.15 แสดงวงจรพื้นฐานในโหมดการควบคุมแรงดัน.....	18
2.16 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยโหมดกระแส.....	19
2.17 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต.....	20
2.18 การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบสัดส่วน.....	21
2.19 ระบบของการควบคุมแบบสัดส่วน.....	22
2.20 ลักษณะการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบระบบควบคุมแบบปรีฟันท์.....	23
2.21 ระบบควบคุมแบบปรีฟันท์.....	23
2.22 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วยการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปรีฟันท์.....	24
2.23 การตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปรีฟันท์.....	24
2.24 แสดงลักษณะของบอร์ด CP-JR51AC2.....	27
3.1 วงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง .....	28
3.2 แสดงวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง .....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 แสดงการทำงานของวงสวิทช์นำกระแส.....	31
3.4 แสดงกราฟการทำงานของวงสวิทช์นำกระแส.....	31
3.5 แสดงการทำงานของวงสวิทช์ ไม่นำกระแส.....	31
3.6 แสดงกราฟการทำงานของวงสวิทช์ ไม่นำกระแส.....	31
3.7 แสดงการทำงานของวงจรมายพาสขณะแรงดันบายพาสสูงกว่าแรงดันอ้างอิง.....	31
3.8 แสดงการทำงานของวงจรมายพาสขณะแรงดันบายพาสต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง.....	31
3.9 แสดงวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง.....	37
3.10 แสดงวงจรบ๊อตนกลับ.....	38
3.11 แสดงวงจรมายในของ Opto-couplers .....	39
3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาคอลเล็กเตอร์( $I_c$ ) และแรงดันระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ ).....	39
3.13 การต่อวงจรแบ่งแรงดันเพื่อสร้างพอร์ทรับค่าภายนอก	
3.14 แสดงวงจรควบคุม.....	40
3.15 แสดงแผนภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	41
3.16 วงจรมายพาส.....	42
3.17 วงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง .....	43
3.18 SG 3524 ในงานเรกูเลเตอร์แบบทอนแรงดัน ทำงานร่วมกับทรานซิสเตอร์ภายนอก เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น.....	45
3.19 แสดงของแรงดันและกระแสขาออกเมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์ที่ขา Shut-down.....	49
3.20 การสร้างสัญญาณเข้าขา Shut-down โดยใช้ Op-Amp.....	49
3.21 วงจรทางเบี่ยงกระแส.....	50
3.22 วงจรสร้างสัญญาณให้กับ Switch-bypass โดยใช้ Op-Amp.....	50
3.23 การต่อวงจรแบ่งแรงดันเพื่อสร้างแรงดันมาตรฐานในการจำกัดกระแสขาออก.....	53
3.24 วงจรในส่วนที่ทำกวนควบคุมกระแส.....	54
3.25 วงจรสร้างสัญญาณสวิทช์ซิงที่ตัว By-pass switch.....	54
3.26 แสดงการใช้ SG 3524 ในงาน step down ร่วมกับทรานซิสเตอร์ภายนอก.....	55
3.27 แสดงชุดโคมฉายโดยใช้หลอด LED กำลังสูง.....	57
3.28 วงจรชุดโคมฉายโดยใช้หลอด LED กำลังสูง.....	57
4.1 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีแดงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	61
4.2 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีแดงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	61
4.3 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีเขียวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	61
4.4 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีเขียวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีน้ำเงินโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	62
4.6 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีน้ำเงินโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	62
4.7 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีแดงโดยใช้ไอซี SG 3524.....	62
4.8 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีแดงโดยใช้ไอซี SG 3524.....	62
4.9 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีเขียวโดยใช้ไอซี SG 3524.....	63
4.10 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีเขียวโดยใช้ไอซี SG 3524.....	63
4.11 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีน้ำเงินโดยใช้ไอซี SG 3524.....	63
4.12 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีน้ำเงินโดยใช้ไอซี SG 3524.....	63
4.13 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีขาวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	64
4.14 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีขาวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED กำลังสูงแบบ Absolute Maximum Rating สำหรับหลอดสีแดง เขียวและน้ำเงิน.....	6
2.2 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED กำลังสูงสำหรับหลอดสีขาว.....	6
2.3 แสดงค่า Flux ของหลอดสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน.....	6
2.4 แสดงการเปรียบเทียบหลอดไฟชนิดต่างกับหลอด LED กำลังสูง.....	8
2.5 เปรียบเทียบการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ระหว่างโหมดกระแสต่อเนื่อง....	15
กับโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง	
3.1 ตารางคุณสมบัติของหลอด LED กำลังสูง.....	33
3.2 แสดงค่าค่าพารามิเตอร์ของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ของหลอด LED กำลังสูง.....	37
3.3 ตารางคุณสมบัติของหลอด LED กำลังสูงสีขาว.....	58
3.4 แสดงค่าค่าพารามิเตอร์ของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ของชุดโคมฉาย.....	59
4.1 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม..	64
4.2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ใช้ ไอซี SG 3524 ในการควบคุม.....	64
4.3 ตารางแสดงประสิทธิภาพของชุดโคมฉายที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม..	65
5.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของวงจรส่องสว่างที่ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรที่ใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม.....	66

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

หลอด LED เป็นหลอดที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย หลอด LED ถูกค้นพบหลังจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจน โดยเริ่มแรกนั้นหลอด LED ถูกค้นพบแล้วนำมาใช้เป็นหลอดแสดงสัญญาณทั่วๆ ไป หลังจากนั้นได้มีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วจนในปัจจุบันหลอด LED ถูกพัฒนามาเป็นหลอด LED กำลังสูงโดยมีความสามารถเทียบเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดฮาโลเจนไม่ว่าจะเป็นในด้านของประสิทธิภาพ ฟลักซ์ส่องสว่างและมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดชนิดอื่นๆ จนมีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านของหลอดเพื่อส่องสว่างทั่วไป ทางด้านการแพทย์ ยานยนต์ โทรทัศน์ จอคอมพิวเตอร์และอื่นๆ อีกมากมาย ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้หลอด LED กำลังสูงมาใช้แทนหลอดฮาโลเจน ซึ่งหลอด LED กำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี โดยคุณสมบัติของหลอดชนิดนี้คือ จะมีค่าฟลักซ์ส่องสว่างสูง มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ต มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดฮาโลเจน มีความร้อนของลำแสงน้อยมาก และที่สำคัญยังใช้พลังงานน้อยมาก ซึ่งในต่างประเทศนิยมนำหลอด LED กำลังสูงมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และยังมีคุณสมบัติที่ให้อิสระที่สมจริงและสวยงามมากกว่าหลอดธรรมดาอีกด้วย

หลอด LED กำลังสูงมีให้เลือกใช้มากมายหลายสี โดยในโครงการนี้ได้เลือกใช้หลอด LED กำลังสูง 3 สีที่เป็นแม่สี ได้แก่ สีแดง สีน้ำเงินและสีเขียว เพราะเราต้องการใช้การผสมสีเพื่อให้เกิดสีต่างๆ เพื่อใช้ในงานด้านการตกแต่งตามสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นห้องนอน ห้องนั่งเล่น หรือตามรั้วบ้านเพื่อความสวยงามอีกด้วย

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของหลอด LED กำลังสูง
2. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทั้งวงจรแบบเปิดและวงจรแบบปิด (วงจรแบบป้อนกลับ)
3. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องและโหมดควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง
4. เพื่อศึกษาการทำงานของบั๊กคอนเวอร์เตอร์ควบคุมแบบกระแสนัดความถี่คงที่
5. เพื่อสร้างชุดขับส่องสว่างโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าของหลอด LED กำลังสูง
6. เพื่อออกแบบและปรับปรุงชุดขับส่องสว่างสำหรับหลอด LED กำลังสูงให้มีขนาดเล็กและต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

สำหรับโครงการนี้เราแบ่งการเป็นการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกจะศึกษาการทำงานวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์แบบเปิด การทดลองวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในแบบปิดโดยควบคุมกระแสในโหมดควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง โดยครั้งที่ 1 เปลี่ยนขนาดของโหลดแต่ควบคุมกระแสขาออกคงที่และครั้งที่ 2 ใช้ขนาดของโหลดคงที่แต่เปลี่ยนค่ากระแสควบคุม และในส่วน 2 คือการออกแบบวงจรโดยใช้วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการเปล่งแสงของหลอด LED กำลังสูง ส่วนที่ 3 คือการปรับปรุงวงจรโดยใช้ IC สำเร็จรูปแทนวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจรเพื่อลดขนาดของวงจร

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลหลักการทำงานของหลอด LED กำลังสูง
2. ศึกษาข้อมูลวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ การทำงานของวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์และตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างในวงจร โดยทดลอง 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการทดลองแบบวงจรเปิด และส่วนที่สองเป็นแบบวงจรปิด โดยเพิ่มใช้วงจรควบคุมแบบป้อนกลับ
3. ศึกษาการทำงานของบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดควบคุมกระแสต่อเนื่องและโหมดควบคุมกระแสแบบไม่ต่อเนื่อง
4. ศึกษาการทำงานของบั๊กคอนเวอร์เตอร์ควบคุมแบบกระแสชนิดความถี่คงที่
5. ศึกษาตัวควบคุมแบบปริพันธ์ แบบสัดส่วนร่วมและแบบปริพันธ์ร่วมกับแบบสัดส่วนร่วม
6. ทำการออกแบบวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในแบบปิดโดยควบคุมกระแสในโหมดควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง
7. ทำการทดลองบั๊กคอนเวอร์เตอร์แบบปิดโดยควบคุมกระแสในโหมดควบคุมกระแสในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง โดยแบบแรกเปลี่ยนค่าที่โหลดแต่กระแสขาออกที่ แบบที่สองเปลี่ยนค่ากระแสควบคุมและกระแสขาออกมีค่าเหมือนกับกระแสควบคุม
8. ทำการออกแบบและสร้างชุดขับส่องสว่างหลอด LED กำลังสูงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม
9. ทำการปรับปรุงชุดขับส่องสว่างหลอด LED กำลังสูงโดยใช้ IC สำเร็จรูปแทนไมโครคอนโทรลเลอร์

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นการนำเสนอหลอด LED กำลังสูงซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยประหยัดพลังงาน
2. มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของชุดส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง
3. มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการทำงานในโหมดควบคุมกระแสต่อเนื่องและโหมดควบคุมกระแสแบบไม่ต่อเนื่องของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์
4. มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบวงจรควบคุมกระแสแบบความถี่คงที่
5. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์แบบปิดโดยควบคุมกระแสในโหมดควบคุมกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง
6. สามารถสร้างชุดขับส่องสว่างหลอด LED กำลังสูงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 คุณสมบัติและข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED กำลังสูง

หลอด LED กำลังสูงนั้นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่จะมาแทนที่หลอดอื่นๆที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเพราะคุณสมบัติที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพสูง โดยหลอด LED กำลังสูงมีให้เลือกใช้หลายสี ซึ่งในโครงการจะเลือกใช้หลอดที่เป็นแม่สีทั้ง 3 สี ได้แก่ หลอดสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน จะทำให้สามารถผสมสีเกิดเป็นสีต่างๆ โดยสามารถปรับความเข้มแสงของหลอดแต่ละสี จะทำให้แสงของหลอดแต่ละสีเกิดการผสมกันเป็นแสงสีชนิดต่างๆ ในหลอดแต่ละสีจะมีอินพุทและเอาต์พุทแยกจากกันซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน

#### 2.1.1 คุณสมบัติของหลอด LED กำลังสูง

1. มีฟลักซ์ส่องสว่างสูงกว่าหลอด LED ทั่วไป
2. มีอายุการใช้งานของหลอดโดยเฉลี่ยประมาณ 100,000 ชั่วโมง (11.41 ปีโดยใช้งานวันละ 24ชม.)
3. มีประสิทธิภาพของพลังงานมากกว่าหลอดไส้ และหลอดฮาโลเจน
4. ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำในการทำงาน
5. ลมแสงที่ออกมาจากหลอด LED กำลังสูงจะเย็นไม่ร้อนเหมือนหลอดไส้และหลอดฮาโลเจน
6. ไม่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ต
7. มีให้เลือกใช้หลายสี เช่น สีแดง เขียว น้ำเงิน อัมพัน ขาว เป็นต้น

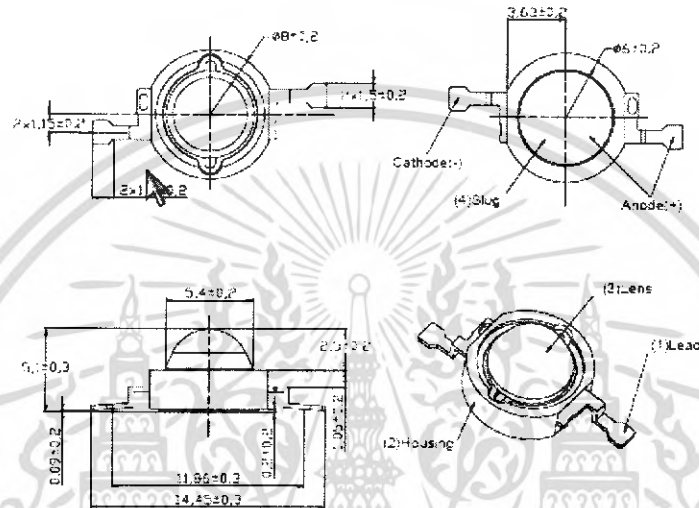
#### 2.1.2 การประยุกต์ใช้งานของหลอด LED กำลังสูง

1. ทางด้านการแพทย์มีการนำหลอด LED กำลังสูงมาใช้ทำไฟส่องในการผ่าตัด
2. ทางด้านยานยนต์มีการนำหลอด LED กำลังสูงมาใช้แทนหลอดธรรมดาซึ่งจะให้ความสว่างที่มากกว่าและมีความสวยงามมากกว่าหลอดทั่วไป
3. ทางด้านการตกแต่งภายนอกและภายในอาคาร สถานที่ต่างๆ เพื่อเพิ่มความสวยงาม
4. หลอดไฟใช้งานทั่วไป
5. จอ LCD และป้ายแสดงข้อความต่างๆ
6. หลอดไฟจราจร ไฟตามทางรถไฟ

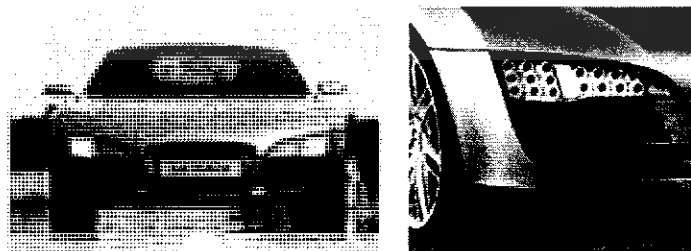
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.1** แสดงตัวอย่างของหลอด LED กำลังสูง  
**Lambertian Package Outlines**



**รูปที่ 2.2** แสดงแบบ Drawing ของหลอด LED กำลังสูง



**รูปที่ 2.3** แสดงการประยุกต์ใช้งานของหลอด LED กำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** แสดงข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED กำลังสูงแบบ Absolute Maximum Rating สำหรับหลอดสีแดง เขียวและน้ำเงิน

Parameter	Symbol	Rating	Unit
DC forward current	$I_f$	350	mA
Peak pulse current	$I_{pulse}$	1000	mA
Reverse voltage	$V_r$	5	V
$T_j$ (700 mA)	$T_j$	125	°C
Operating Temperature	$T_{opr}$	-30~+110	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40~+120	°C
Manual Soldering Time	$T_{sol}$	5	s

**ตารางที่ 2.2** แสดงข้อมูลทางเทคนิคของหลอด LED กำลังสูงสำหรับหลอดสีขาว

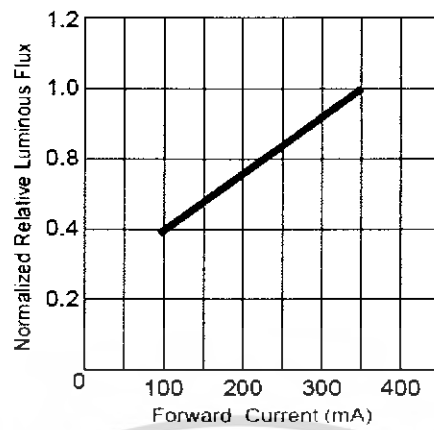
Parameter	Symbol	Rating	Unit
DC forward current	$I_f$	350	mA
Peak pulse current	$I_{pulse}$	500	mA
Average forward current	$V_r$	350	mA
$T_j$ (700 mA)	$T_j$	135	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40~+120	°C
Manual Soldering Time	$T_{sol}$	260	s

**ตารางที่ 2.3** แสดงค่า Flux ของหลอดสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน

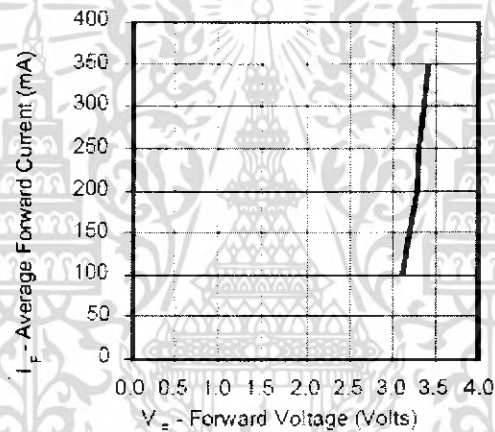
Len item	color	Flux (lm)		
		Min	Typical	max
Lambertian	Green	23.3	40.0	-
	Blue	6.3	12.0	-
	Red	17.9	26.0	-
	white	30.6	45	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current &amp; Luminous Flux

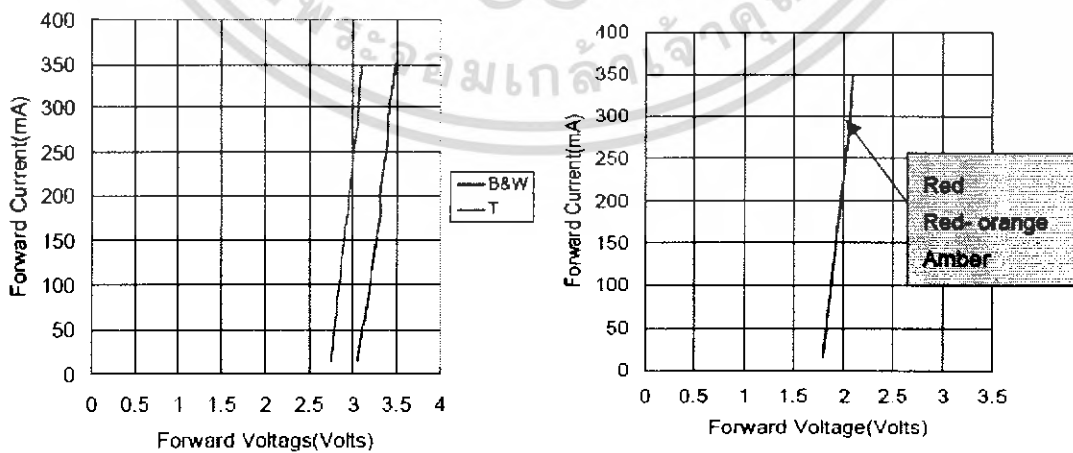


**รูปที่ 2.4** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Luminous flux กับ forward current สำหรับหลอดสีแดง เขียวและน้ำเงิน



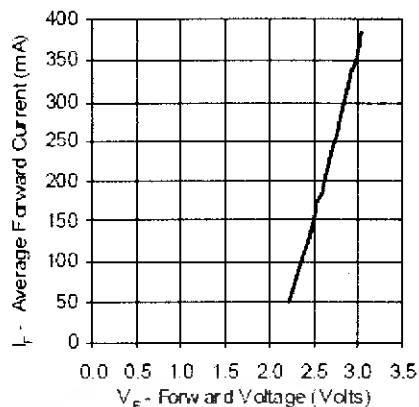
**รูปที่ 2.5** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Luminous flux กับ forward current สำหรับหลอดสีขาว

Operating Current &amp; Forward Voltage



**รูปที่ 2.6** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Forward current กับ forward voltage สำหรับหลอด สีแดง เขียวและน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.7** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Forward current กับ forward voltage สำหรับหลอดสีขาว

**ตารางที่ 2.4** แสดงการเปรียบเทียบหลอดไฟชนิดต่างกับหลอด LED กำลังสูง

หลอด	ออกแบบ	จำนวน	ลูเมนส์ (lm)	วัตต์ (W)	ประสิทธิภาพ (lm/W)	อายุการใช้งาน(hrs)
Incandescent	100A19	1	1,740	100	17.4	750
Halogen	Q400T4/CL	1	7,500	400	18.75	2,000
High power LED	RGB	1	120	6.7	17.91	100,000

## 2.2 ข้อมูลการใช้งานของหลอดชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานด้านตกแต่ง

หลอดอินแคนเดสเซนต์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มหลอดไส้และกลุ่มหลอดทังสเตนฮาโลเจน โดยหลอดไส้จะมีลักษณะเด่นในการให้แสงสีเหลืองอมส้ม สีของวัสดุภายใต้แสงจะไม่ผิดเพี้ยนจากสีจริง วัตถุที่มีสีเหลืองหรือแดงจะถูกขับให้เด่นมากขึ้นเมื่อใช้แสงจากหลอดชนิดนี้ เช่น ไม้ธรรมชาติสีน้ำตาลอมแดงในบ้านไม้โบราณ ช่วยขับสีส้มของอาหารให้น่ารับประทานมากขึ้น เหมาะสำหรับการให้แสงใช้เพื่อการจัดแสดงต่างๆ ตามพิพิธภัณฑ์แต่อาจมีปัญหาเรื่องความร้อน อายุการใช้งานสั้นแต่มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะที่พลังงานส่วนใหญ่สูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อนที่เผาไส้หลอด แต่ก็สามารถปรับหรือแสงได้และราคาถูกสามารถแบ่งได้ดังนี้

หลอดแก้วสีฟ้า เป็นหลอดไส้ทรงธรรมดาที่มีกระเปาะแก้วใสสีฟ้าอ่อน แสงที่ได้จะใกล้เคียงกับธรรมชาติ จึงนิยมใช้ในการเทียบสี หรือใช้ในการสร้างสรรค์ศิลปะ งานหัตถกรรม และเหมาะกับการอ่านหนังสือ

หลอดไส้กระเปาะสี มีตั้งแต่กระเปาะสีเข้มสดไปถึงกระเปาะสีอ่อน มักนำมาใช้เพื่อสร้างบรรยากาศสนุกสนานตื่นเต้นเร้าใจ ใช้ในการตกแต่งสถานที่ มีให้เลือกใช้หลายสี เช่น สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน เป็นต้น

หลอดแสงนวล เป็นหลอดไส้ที่ภายในกระเปาะเคลือบสีอ่อน เช่น สีชมพูหรือสีส้มอ่อน มีลักษณะเป็นรูปหลอดทรงทึบ (T) ให้แสงที่นุ่มนวล สีเหลืองอมชมพูหรืออมส้มนำมาใช้กับโคมไฟตั้งโต๊ะ หรือโคมส่องลงเพื่อบริการแสงที่นวลตา

หลอดคริปทอน เป็นหลอดที่ไส้หลอดที่เติมก๊าซคริปทอนลงไป เพื่อให้แสงสว่างมากกว่า และแสงมีสีขาวนวลมากกว่าหลอดไส้ธรรมดาเล็กน้อย กระเปาะแก้วผิวฝ้าที่ผ่านการเคลือบเป็น อย่างดีจะช่วยให้แสงสม่ำเสมอและลดแสงแยงตาสามารถใช้แทนหลอดไส้ธรรมดาได้เพราะมี กำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

หลอดทรงลูกแพร์ เป็นหลอดไส้ขนาดเล็กคล้ายลูกแพร์ เหมาะสำหรับใช้ในงานด้าน ตกแต่งเป็นไฟตกแต่งฝ้าเพดาน ผับและใช้กับโคมตั้งพื้น

หลอดปิงปอง มีขนาดเล็กกว่าหลอดไส้ธรรมดา นิยมติดตั้งหลอดปิงปองเป็นแนวต่อรอบ กระจกแต่งหน้าหรือซ่อนหลอดไฟเป็นระยะรอบกระจกแต่งหน้า เพราะว่าหลอดชนิดนี้มีกระเปาะ เป็นฝ้าที่มีแสงนวลตกกว่า มักนำมาใช้เมื่อไม่ต้องการเห็นเงาคมชัดหรือมองเห็นตัวหลอด

หลอดนีออนได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นสื่อทางด้านการออกแบบศิลปะ ด้วย คุณสมบัติที่ให้แสงที่สดใส การบำรุงรักษาต่ำ มีให้เลือกสีส้มมากมาย มีปริมาณแสงประมาณ 500 ลูเมนต่อฟุต หลอดนีออนสามารถปรับหรือหรี่แสงได้เมื่อใช้กับชุดอุปกรณ์ปรับหรือหรี่แสงสว่าง หลอดนีออนสามารถให้แสงสีขาวยุติทั้งวอร์มไวท์ ขาวหิมะ ขาวธรรมดาและขาวสดใส

### 2.3 ทฤษฎีและหลักการของวงจรทอนระดับแรงดันหรือวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

วงจรทอนระดับแรงดันหรือวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า ด้านออกมีค่าต่ำกว่าด้านเข้าและเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกที่มีความเป็นกระแสตรง มากๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านโดยมีเงื่อนไขการทำงานดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_l(t+T) = i_l(t) \quad (2.1)$$

หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากัน ณ ตำแหน่งเดียวกันในทุกคาบเวลา

2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์

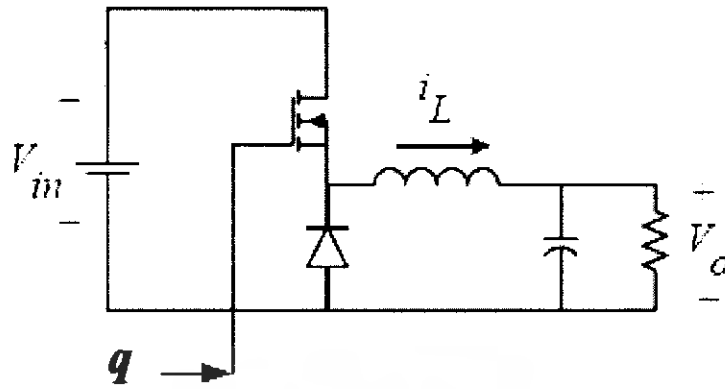
$$V_l = \frac{1}{T} \int_i^{i+T} v_l(\lambda) d\lambda = 0 \quad (2.2)$$

3. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_c = \frac{1}{T} \int_i^{i+T} i_c(t) dt = 0 \quad (2.3)$$

4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก

$$P_s = P_o \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

### 2.3.1 หลักการทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์จะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว

#### 2.3.1.1 ขณะสวิตช์นำกระแส

กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยกระแสในส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$-V_s + v_l + V_o = 0 \quad (2.5)$$

$$v_l = V_s - V_o \quad (2.6)$$

$$v_l = L \frac{di_l}{dt} \quad (2.7)$$

$$\frac{di_l}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.8)$$

$$\Delta i_{l,on} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.9)$$

#### 2.3.1.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้าให้นำกระแสทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องจะได้สมการดังนี้

$$v_L = -v_o \quad (2.10)$$

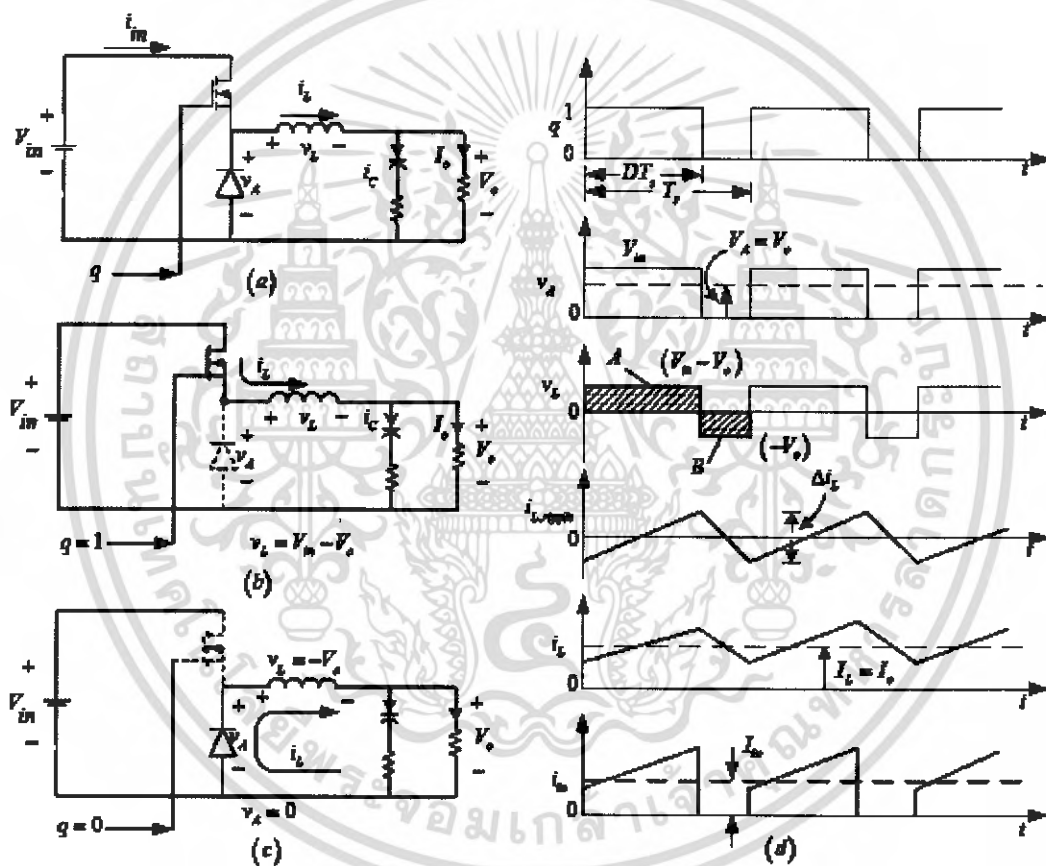
$$v_L = -V_o = L \frac{di_l}{dt} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \tag{2.12}$$

ความหมายของสมการที่ (2.12) คือการที่กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อยๆมีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสตัวเหนี่ยวนำต่อเวลาที่มีค่าเป็นลบ  $dt$  ในกรณีอยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส คือ  $dt = (1-D)T$  ดังนั้นสมการที่ (2.12) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \tag{2.13}$$



**รูปที่ 2.9** แสดง (a) วงจรบักคอนเวอร์เตอร์, (b) แสดงวงจรบักคอนเวอร์เตอร์, (c) แสดงวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส, (d) แสดงกราฟต่างๆที่เกี่ยวกับวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การหาค่าอัตราขยายแรงดันของวงจรจรมักคอนเวอร์เตอร์

ในสภาวะคงตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์นำกระแส จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยเราสามารถหาอัตราขยายแรงดันได้จากสมการ

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.14)$$

### 2.3.3 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรจรมักคอนเวอร์เตอร์

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะทำให้วงจรจรมักคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดเนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังสมการ

$$I_{L,\max} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[ \frac{V_o}{L} (1-D) T \right] \quad (2.15)$$

$$I_{L,\max} = V_o \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.16)$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_o}{R} - \frac{V_o}{2} \left[ \frac{(1-D)}{L} T \right] \quad (2.17)$$

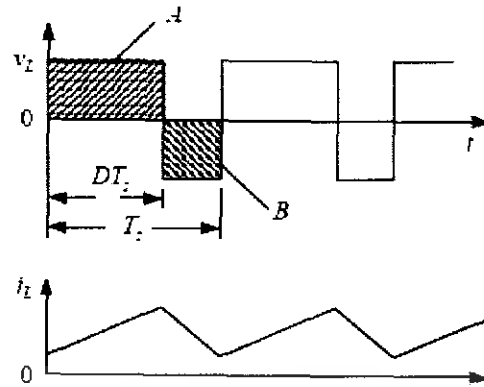
$$I_{L,\min} = V_o \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.18)$$

เงื่อนไขที่สำคัญในการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องคือกระแสที่ไหลจะต้องเป็นบวกเสมอ ซึ่งจากสมการที่ (2.18) สามารถหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิตช์ซึ่ง ถ้า  $I_{L,\min}$  มีค่าเท่ากับศูนย์

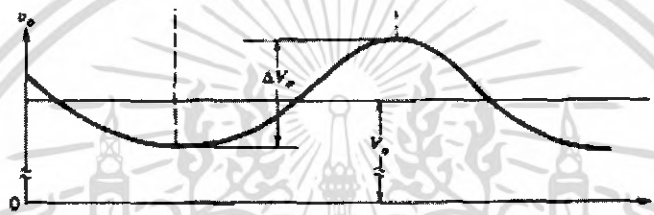
$$I_{L,\min} = \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0 \quad (2.19)$$

$$L_{\min} = \left( \frac{(1-D)R}{2f} \right) \quad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.20) ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสต่อเนื่อง



รูปที่ 2.10 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.11 แสดงระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าด้านออก

### 2.3.4 การหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

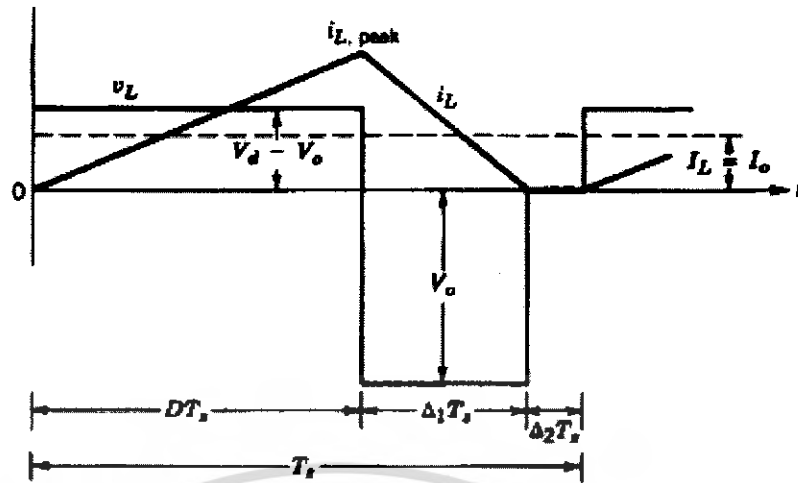
ในปรกติวงจรกรองแรงดันความถี่ต่ำที่อยู่ในวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์นั้นจะมีขนาดใหญ่เพื่อรักษาแรงดันให้คงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้เพราะเนื่องจากมีราคาแพงจึงควรเลือกใช้ในขนาดที่เหมาะสมและให้ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.21)$$

### 2.3.5 การทำงานในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่องของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรบีกที่ผ่านมาเราพิจารณาแบบกระแสต่อเนื่องซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นบวกตลอดคาบการสวิตช์ ซึ่งในการทำงานจริงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่จำเป็นต้องเป็นแบบต่อเนื่องเท่านั้น อาจทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบไม่ต่อเนื่องก็ได้ เงื่อนไขในการพิจารณาว่าเป็นการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่องหรือไม่ คือ เริ่มนับตรงขอบเขตเมื่อกระแสในตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ไปจนกระทั่งจบคาบเวลาการสวิตช์ที่กระแสตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง

ที่ช่วงเวลา  $0-DT$  หมายถึงเวลาที่สวิตช์นำกระแส กระแสตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น

ที่ช่วงเวลา  $D_1T$  หมายถึงเวลาที่สวิตช์ไม่นำกระแสและกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์

ที่ช่วงเวลา  $(1-(D+D_1))T$  หมายถึงเวลาที่สวิตช์ไม่นำกระแสและกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์

$$D_1 = 1 - D \quad (2.22)$$

$$D_1 < 1 - D \quad (2.23)$$

จะเป็นการทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและด้านเข้าหาได้จากค่าแรงดันเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำตลอดคาบมีค่าเป็นศูนย์ ดังสมการ

$$(V_s - V_o)(DT) - V_o(D_1)T = 0 \quad (2.24)$$

$$(V_s - V_o)(DT) = V_o(D_1)T \quad (2.25)$$

$$(V_s - V_o)(D) = V_o(D_1) \quad (2.26)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D}{D + D_1} \quad (2.27)$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในตัวเก็บประจุเท่ากับศูนย์ ดังนั้น กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในโหลดความต้านทาน สมมติแรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเฉลี่ยของตัวเหนี่ยวนำจะเท่ากับ

$$I_L = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{2} I_{L,MAX} DT + \frac{1}{2} I_{L,MAX} D_1 T \right) \quad (2.29)$$

$$I_L = \frac{1}{2} I_{L,MAX} (D + D_1) \quad (2.30)$$

จากสมการความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.28) และสมการที่ (2.30) จะได้

$$\frac{V_o}{R} = \frac{1}{2} I_{L,MAX} (D + D_1) \quad (2.31)$$

ในช่วงการทำงานขณะสวิตช์นำกระแส แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.32)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแสคือ

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{I_{L,MAX}}{DT} \quad (2.33)$$

ดังนั้น

$$I_{L,MAX} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \quad (2.34)$$

แทนค่า  $I_{L,MAX}$  ในสมการ

$$\frac{V_o}{R} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (D + D_1) \quad (2.35)$$

จากสมการจะหาค่า  $D$  ได้

$$D_1 = \frac{-D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}}{2} \quad (2.36)$$

แทน  $D_1$  ในสมการที่

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D}{D + D_1} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}} \quad (2.37)$$

สมการที่ (2.37) เป็นอัตราขยายแรงดันของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ เมื่อทำงานในโหมดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งขอบเขตการทำงานของโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง กับโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่องอยู่ในเงื่อนไข เมื่อเปรียบเทียบอัตราขยายแรงดันของโหมดกับสแลไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ กับโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง จะได้ดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.5** เปรียบเทียบการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ระหว่างโหมดกระแสต่อเนื่อง กับโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์	โหมดกระแสต่อเนื่อง	โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง
อัตราขยายแรงดัน $\frac{V_o}{V_s}$	$D$	$\frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}}$

**2.4 การควบคุม DC-DC Converter ( Buck Converter )**

การควบคุม DC-DC Converter (Buck Converter) ให้ได้แรงดันขาออกตามที่ ต้องการนั้น ระดับแรงดันขาออกจะขึ้นอยู่กับ สัญญาณควบคุมการสวิตซ์ซิ่ง ( Switch Control Signal) ฉะนั้นการจะบังคับให้แรงดันที่ต้องการก็คือการบังคับ สัญญาณควบคุมการสวิตซ์ซิ่ง ตามที่ต้องการ

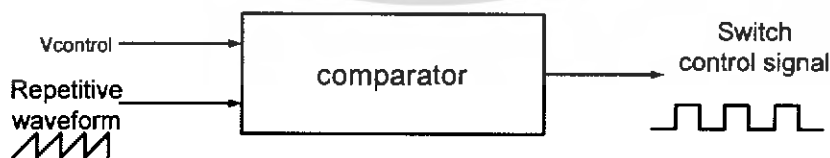
ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองควบคุมแรงดันคงที่ ซึ่งมีวิธีการควบคุมอยู่ 2 แบบด้วยกัน

**2.4.1 การควบคุมวงจรแบบเปิด**

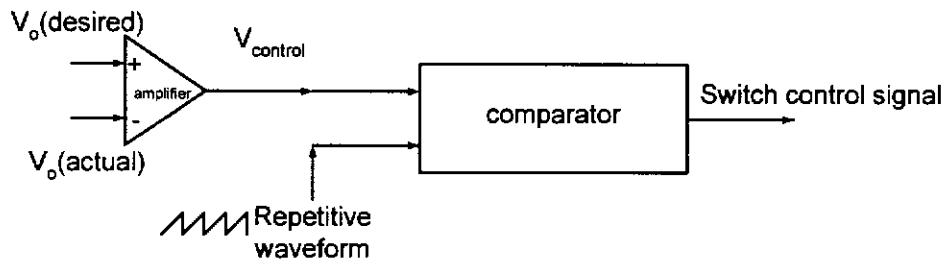
เป็นการควบคุมแบบที่ไม่มีการป้อนกลับของสัญญาณขาออก จึงทำให้เป็นระบบที่ไม่ตอบสนองต่อการถูกรบกวนสัญญาณของระบบ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพต่ำไม่เหมาะแก่การใช้งานในระบบที่มีปัจจัยเข้ามารบกวนระบบมากๆ ในที่นี้เราสร้างสัญญาณควบคุมการ สวิตซ์ซิ่ง โดยอาศัยหลักการพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) ในการสร้างพัลส์ขึ้นมาเป็น สัญญาณควบคุม

โดยค่าของ  $D$  (Duty ratio) ขึ้นอยู่กับค่าของ  $V_c$  (แรงดันควบคุม ) กับ  $V_{sr}$  (Sawtooth Voltage) ดังนี้

$$D = \frac{V_c}{V_{sr}} \tag{2.38}$$



**รูปที่ 2.13** แสดงสัญญาณในการสร้างพัลส์



รูปที่ 2.14 แสดงสัญญาณควบคุมพัลส์สวิตช์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation)

2.4.2 การควบคุมวงจรแบบปิด

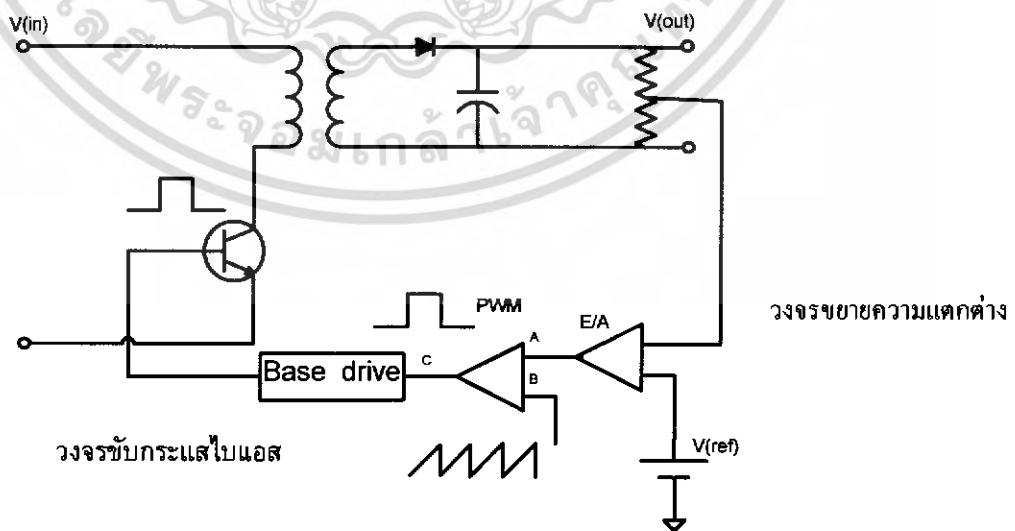
การควบคุมวงจรแบบปิดจะมีเสถียรภาพมากกว่าการควบคุมวงจรแบบเปิดโดยการในการควบคุมแบบวงปิดนั้นจะมีการป้อนกลับของสัญญาณ (Feed Back Control) เพื่อตรวจสอบแรงดันขาออกที่ออกมา ให้ได้แรงดันที่ต้องการออกมา

ในการสร้างสัญญาณควบคุมเราเลือกใช้วิธีการพัลส์สวิตช์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ในการสร้างสัญญาณควบคุมโดยมีหลักการเหมือนการควบคุมวงจรแบบเปิด (หลักการในการหาค่า Duty ratio ) มีขั้นตอนการสร้างสัญญาณดังรูปที่ 2.14

2.5 การทำงานของวงจรควบคุม

2.5.1 วงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดัน

การทำงานของวงจรในโหมดนี้ จะอาศัยการตรวจจับการแปลงค่าของแรงดันเอาท์พุทมาจากการควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อเป็นการลดค่าแรงดันเอาท์พุทเป็นหลักดังวงจรดังนี้



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรพื้นฐานในโหมดการควบคุมแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับของแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่แรงดันเอาต์พุต ค่าความแตกต่างนี้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่างก่อนที่จะส่งไปยังวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) โดยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างจะถูกเปรียบเทียบกับแรงดันฟันเลื่อย เอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของรูปแรงดันฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามมอดูเลชันของค่าแรงดัน ค่าความกว้างของพัลส์นี้เองจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์

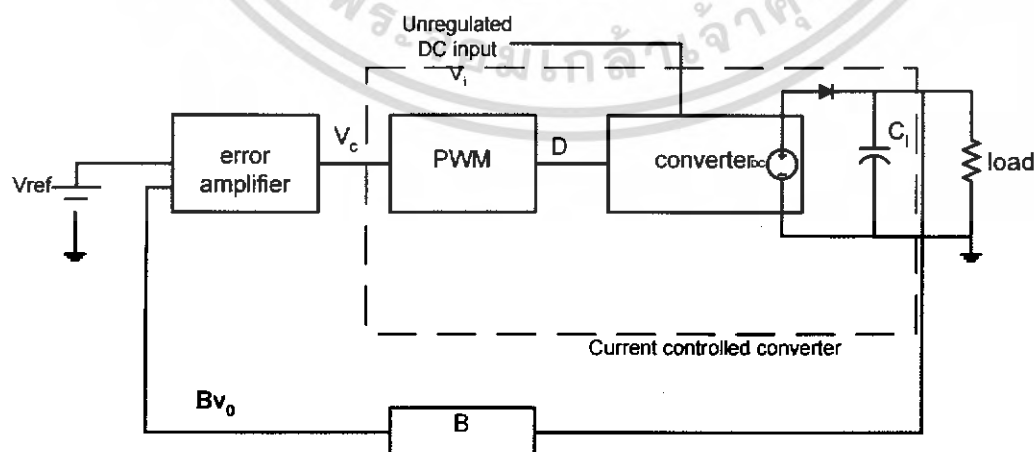
2.5.2 วงจรควบคุมในโหมดกระแสต่อเนื่อง (คอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยโหมดกระแสต่อเนื่อง)

กระแสเฉลี่ยที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยโหมดกระแสต่อเนื่องเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันควบคุม  $V_c$  ดังนั้น

$$I_o = GV_c \quad (2.39)$$

การทำงานของเร็กกูเลเตอร์สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สมมุติการทดลองว่า  $V_o$  น้อยลง ด้วยเหตุผลบางอย่างเช่น การลดลงของแรงดันอินพุตและการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าที่โหลด ทำให้แรงดันผิดพลาด  $V_e$  และแรงดันควบคุม  $V_c$  เพิ่มขึ้น
2. การเพิ่มขึ้นของแรงดัน  $V_c$  มีผลต่อการเพิ่มกระแสเอาต์พุต  $I_o$  ทำให้แรงดันเฉลี่ยที่เอาต์พุต  $V_o$  เพิ่มขึ้น เพื่อชดเชยแรงดัน  $V_o$  ที่ลดลงตามข้อ 1
3. ในทางตรงกันข้ามกับข้อที่ 1 แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  เพิ่มขึ้น ข้อที่ 1 และ 2 จะเกิดการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตกลับมาอยู่ที่ค่าเดิม



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยโหมดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สภาวะที่คงตัวแรงดันผิดพลาด  $V_e$  ต้องเพียงพอที่จะรักษา  $I_o$  ของวงจรให้คงที่ ขนาดของแรงดันผิดพลาดนี้สามารถหาได้จากการพิจารณาสมการดังต่อไปนี้

$$V_e = V_{ref} - \beta v_o \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} &= V_{ref} - \beta G_c V R_i \\ &= V_{ref} - \beta G_c A_e V_e R_i \end{aligned} \quad (2.41)$$

เมื่อ  $A_e$  คือ อัตราขยายของ error amplifier  $\left( A_e = \frac{V_c}{V_e} \right)$

$$V_e = \frac{V_{ref}}{1 + \beta A_e G_c R_i} \quad (2.42)$$

$$\beta V_o = V_{ref} \frac{\beta A_e G_c R_i}{1 + \beta A_e G_c R_i} \quad (2.43)$$

$$V_o = V_{ref} \frac{A_e G_c R_i}{1 + \beta A_e G_c R_i} \quad (2.44)$$

สังเกตได้จากสมการ  $A_e G_c R_i$  มากกว่า 1 มากๆ แรงดันเอาต์พุตจะใกล้เคียง  $\frac{V_{ref}}{\beta}$  และเป็นอิสระต่อ  $V_i$  และ  $R_i$

พิจารณาถึงหลักการทำงาน คุณสมบัติและปัญหาของคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยโหมดกระแสต่อเนื่องสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ

1. ชนิดฮีสเตอร์รีติก
2. ชนิดความถี่คงที่

การควบคุมด้วยโหมดกระแสชนิดฮีสเตอร์รีติก จะมีลักษณะใกล้เคียงกับคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยโหมดกระแสทางอุดมคติมากกว่าชนิดความถี่คงที่ แต่มีข้อเสียต้องใช้ความถี่สวิตช์ ซึ่งที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ในการทำงาน ทำให้เกิดปัญหาสำหรับวงจรที่มีความไวต่อการรบกวน การเปลี่ยนแปลงความถี่ เช่น หน่วยแสดงผลภาพและเครื่องรับทางด้านสื่อสารโทรคมนาคม ส่วนชนิดความถี่คงที่ที่ทำงานด้วยความถี่สวิตช์ซึ่งคงที่ แต่ยังมีปัญหาความไม่เสถียรภาพเมื่อคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องคือ ดีไซน์เคิลของการสวิตช์มีค่ามากกว่า 0.5

## 2.6 ระบบควบคุมในแบบต่าง ๆ

### 2.6.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

ในระบบควบคุมแบบสัดส่วน เราจะได้ว่า เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับ อินพุตของคอนโทรลเลอร์ และถ้าเรากำหนดสัญญาณอินพุตที่ให้กับคอนโทรลเลอร์เป็น ค่าความผิดพลาด ( $e$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา เราจะได้

$$\text{output} = K_p e \quad (2.45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $K_p$  เป็นค่าคงที่ที่เรียก Proportional gain เราจะพบว่าเอาต์พุตที่ออกจากคอนโทรลเลอร์แบบสัดส่วน จะขึ้นกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณา ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์  $G_i(s)$  จะมีค่าเป็น

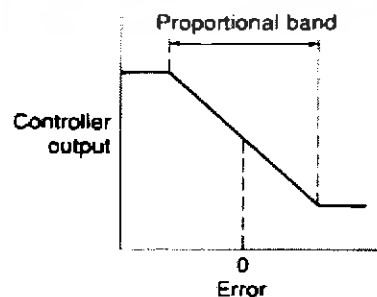
$$G_i(s) = K_p \quad (2.46)$$

ดังนั้นการควบคุมด้วยคอนโทรลเลอร์แบบนี้ก็จะเป็นเพียงการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่เราได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดเอาต์พุตที่มีขนาดใหญ่จากคอนโทรลเลอร์ในเวลาหนึ่ง อย่างไรก็ตามการที่เรากำหนดให้อัตราขยายคงที่นั้นในทางปฏิบัติเราอาจจะกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น เราอาจกำหนดให้คอนโทรลเลอร์ของเรามีค่าเอาต์พุตไม่น้อยกว่าค่าค่าหนึ่งและไม่มากเกินไปกว่าค่าค่าหนึ่งก็ได้ ซึ่งการกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุตจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.11 และการกำหนดเอาต์พุตของการควบคุมแบบสัดส่วน ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้ เราจะเรียกว่า proportional band

การกำหนด Proportional band นี้ จะช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่อินฟินิตี้ ทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบ และเมื่อคอนโทรลเลอร์มีเอาต์พุตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่งแล้ว เราก็นิยมที่จะกำหนดเอาต์พุตค่าใด ๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ 100% ก็หมายถึงว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้เราได้ว่า

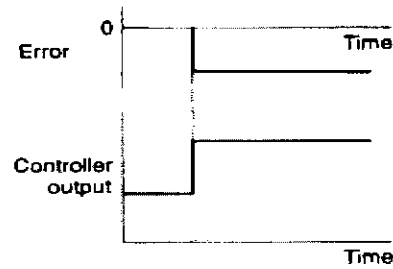
$$K_p = \frac{100}{\text{proportional band}} \quad (2.47)$$

เนื่องจากเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุต ดังนั้น ถ้าหากอินพุตมีลักษณะเป็นขั้นบันไดเอาต์พุตที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นขั้นบันไดเช่นกัน โดยลักษณะของกราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่ง ตามรูปที่ 2.17 โดยรูปนี้แสดงถึงการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์ เมื่ออินพุตอยู่ในช่วง proportional band



**รูปที่ 2.17** การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.18** การตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบสัดส่วน

ในทางปฏิบัติการควบคุมแบบสัดส่วน นี้ จะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คาน ก็ได้ลักษณะของระบบที่การควบคุมแบบสัดส่วน จะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.17 และจะทำให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

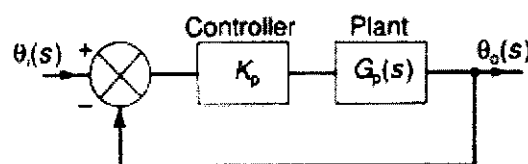
$$G_o(s) = K_p G_p(s) \quad (2.48)$$

เมื่อ  $G_p(s)$  เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

ข้อเสียประการสำคัญของระบบควบคุมที่คอนโทรลเลอร์คือ ไม่ได้มีการเพิ่มเทอม  $\frac{1}{s}$  (หรือการเพิ่มปริพันธ์) ในส่วน forward path ซึ่งหมายความว่า ถ้าระบบเป็นระบบ type 0 คอนโทรลเลอร์จะไม่ได้เปลี่ยนแปลง type ของระบบ ทำให้ระบบเป็น type 0 เหมือนเดิม และทำให้เกิดความผิดพลาดที่สภาพคงตัว เนื่องจากคอนโทรลเลอร์ไม่ได้ทำการเพิ่มโพลหรือศูนย์ใหม่ให้กับระบบเพียงแต่เปลี่ยนตำแหน่งของโพลหรือศูนย์เท่านั้น เนื่องจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วย ตามรูปที่ 2.18 จะมี ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \quad (2.49)$$

และสมการคุณลักษณะจะเป็น  $1 + K_p G_p(s)$  และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ  $K_p$



**รูปที่ 2.19** ระบบของการควบคุมแบบสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณสมบัติของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบสัดส่วน

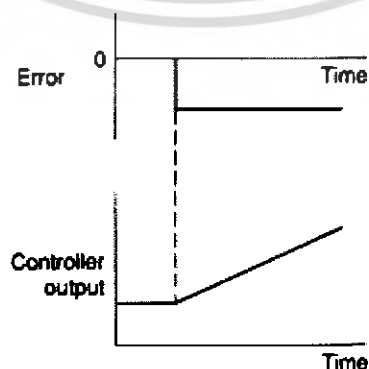
1. กระบวนการภายหลังการควบคุมจะมีคุณสมบัติของกระบวนการอันดับเดียวกันกับสัญญาณก่อนการควบคุม
2. อัตราการขยายเชิงสถิติของกระบวนการมีค่าลดลงเมื่อกระบวนการมีอันดับสูงขึ้น (อันดับ 1 > อันดับ 2 > อันดับ 3 รวมไปถึงที่ค่า  $K_p$  คงที่ ความเร็วในการตอบสนองของกระบวนการจะมีค่าเร็วขึ้น หากอันดับของกระบวนการเพิ่มขึ้น (อันดับ 1 < อันดับ 2 < อันดับ 3)
3. การเพิ่มค่า  $K_p$  จะทำให้กระบวนการมีผลต่างของการควบคุมลดลง การตอบสนองจะเข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น แต่การเพิ่มค่า  $K_p$  มากเกินไปจะทำให้เกิดผลข้างเคียง คือ ค่าการตอบสนองสูงสุดของกระบวนการมากขึ้นและอัตราการลดทอนมากขึ้น ซึ่งหมายถึงเสถียรของกระบวนการลดลง

#### 2.5.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

ในระบบควบคุมแบบปริพันธ์เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับปริพันธ์ของสัญญาณผิดพลาดเทียบกับเวลา

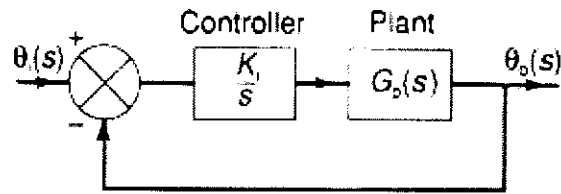
$$\text{output} = K_i \int_0^t \text{edt} \quad (2.50)$$

เมื่อ  $K_i$  เป็นค่าคงที่เรียกว่า Integral gain ซึ่งจะมีหน่วยเป็น 1/sec รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการตอบสนองของระบบควบคุมแบบปริพันธ์ เมื่อได้รับสัญญาณความผิดพลาดแบบ step ค่าปริพันธ์ระหว่างเวลา  $t$  และ 0 จะหมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณความผิดพลาดจากเวลา 0 ถึง  $t$  ดังนั้นเนื่องจากเริ่มการมีสัญญาณความผิดพลาดแบบขั้นบันได เอาต์พุตที่ออกจากคอนโทรลเลอร์จะมีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยอัตราที่คงที่ ทำให้เอาต์พุตที่เวลาใดๆจะเป็นสัดส่วนกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น



**รูปที่ 2.20** ลักษณะการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์แบบระบบควบคุมแบบปริพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ระบบควบคุมแบบปรีพันท์

เปลี่ยนรูปลาปลาซของสมการ จะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์เป็น

$$G_c(s) = \frac{\text{output}(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.51)$$

ดังนั้นสำหรับระบบที่แสดงในรูปที่ 2.14 ระบบควบคุมแบบปรีพันท์ จะให้ forward-path transfer function เป็น  $\frac{K_i}{s}G_p(s)$  และทำให้มี ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

คุณสมบัติของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบปรีพันท์

1. ผลการตอบสนองของกระบวนการภายหลังการควบคุมจะมีผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง

2. หากเพิ่มความเร็วในการตอบสนองของกระบวนการ (ลดค่า  $K_i$  จนเข้าใกล้ศูนย์) ให้เร็วขึ้นจะมีผลให้เกิดผลการตอบสนองสูงสุดและอัตราการลดทอนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้สูญเสียเสถียรภาพของระบบ

3. ทำให้อันดับของกระบวนการสูงขึ้น

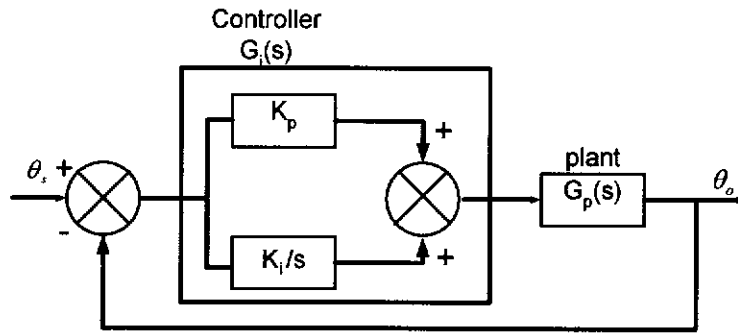
4. ค่ากระบวนการจะเข้าสู่เป้าหมายของการควบคุมเสมอ

2.5.3 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปรีพันท์ (Proportional plus integral Control)

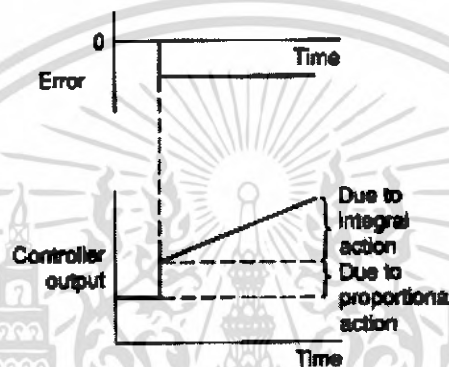
การที่ระบบควบคุมมีความเสถียรสัมพัทธ์ลดลง เมื่อเราใช้การควบคุมแบบปรีพันท์ สามารถที่จะแก้ไขได้ในระดับหนึ่งโดยการที่ใช้การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบปรีพันท์ (Proportional plus Integral, PI) ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมจะเป็นตามรูปที่ 2.15

$$\text{output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แผนภาพบล็อกที่ประกอบด้วย การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์



รูปที่ 2.23 การตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์

รูปที่ 2.23 แสดงเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับเมื่อมีอินพุตเป็นสัญญาณความผิดพลาดแบบขั้นบันได ถ้าเราเปลี่ยนรูปลาปลาซของสมการ เราจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์แบบการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ เป็น

$$\begin{aligned}
 G_0(s) &= K_p + \frac{K_i}{s} \\
 &= \frac{sK_p + K_i}{s} \\
 &= K_p \left[ \frac{s + K_i / K_p}{s} \right] \quad (2.53)
 \end{aligned}$$

เราให้ Integral time constant เป็น

$$\tau_i = \frac{K_p}{K_i} \quad (2.54)$$

ดังนั้นเราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_i(s) = \frac{K_p \left[ s + \left( \frac{1}{\tau_i} \right) \right]}{s} \quad (2.55)$$

และจะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$G_o(s) = G_i(s)G_p(s)$$

$$G_o(s) = \frac{K_p \left[ s + \left( \frac{1}{\tau_i} \right) G_p(s) \right]}{s} \quad (2.56)$$

เราจะเห็นว่ามีส่วนศูนย์ที่  $s = -\frac{1}{\tau_i}$  และโพลที่  $s=0$  เพิ่มให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเมื่อเราใช้การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ การที่เราเพิ่มตัวประกอบ  $s$  เข้ากับเทอมส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนก็เสมือนกับเราเพิ่มแบบของระบบขึ้นไป 1 จึงทำให้ระบบนี้จะไม่มีความผิดพลาดที่สภาพคงตัวสำหรับอินพุทแบบขั้นบันได นอกจากนั้นการที่เราเพิ่มศูนย์ให้กับระบบไปพร้อม ๆ กัน ก็จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวนโพล  $n$  และจำนวนศูนย์  $m$  มีค่าคงที่ ดังนั้นมุมของแอสซิมโทตสำหรับทางเดินของรากมีค่าคงเดิม เพราะอย่างไรก็ตามจุดตัดของเส้นแอสซิมโทตบนแกนจริง จะเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดมากขึ้น ยังผลให้ความเสถียรของระบบลดลงบ้าง

$$\text{Intersection/point} = (\text{ผลรวมของโพล} - \text{ผลรวมของศูนย์}) / (n - m) \quad (2.57)$$

การเพิ่มโพลที่  $s=0$  และศูนย์ที่  $s = -\frac{1}{\tau_i}$  จะทำให้จุดตัดเปลี่ยนไปเท่ากับ  $\pm \frac{(1/\tau_i)}{(n-m)}$  ซึ่งจะทำให้มีค่าเป็นบวกมากขึ้น และจุดตัดจะเคลื่อนที่มาจากขวามือเข้าใกล้จุดกำเนิดมากขึ้น อย่างไรก็ตามการลดลงของความเสถียรสัมพัทธ์นี้จะน้อยกว่าการที่เราใช้การควบคุมแบบปริพันธ์เพียงอย่างเดียวค่าของ  $K_p$  และ  $K_i$  เป็นค่าที่ใช้กำหนดตำแหน่งของศูนย์และโพลของระบบ โดยตำแหน่งของศูนย์จะกำหนดด้วยค่า  $K_p$  ในขณะที่  $K_i$  จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดโพลระบบปิด

คุณสมบัติของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์

1. กระบวนการจะมีอันดับสูงขึ้น (เนื่องจากการควบคุมแบบปริพันธ์)
2. กระบวนการไม่มีการคลาดเคลื่อนในการควบคุมค่ากระบวนการจะมีค่าเข้าสู่เป้าหมายของการควบคุมเสมอ (เนื่องจากการควบคุมแบบปริพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

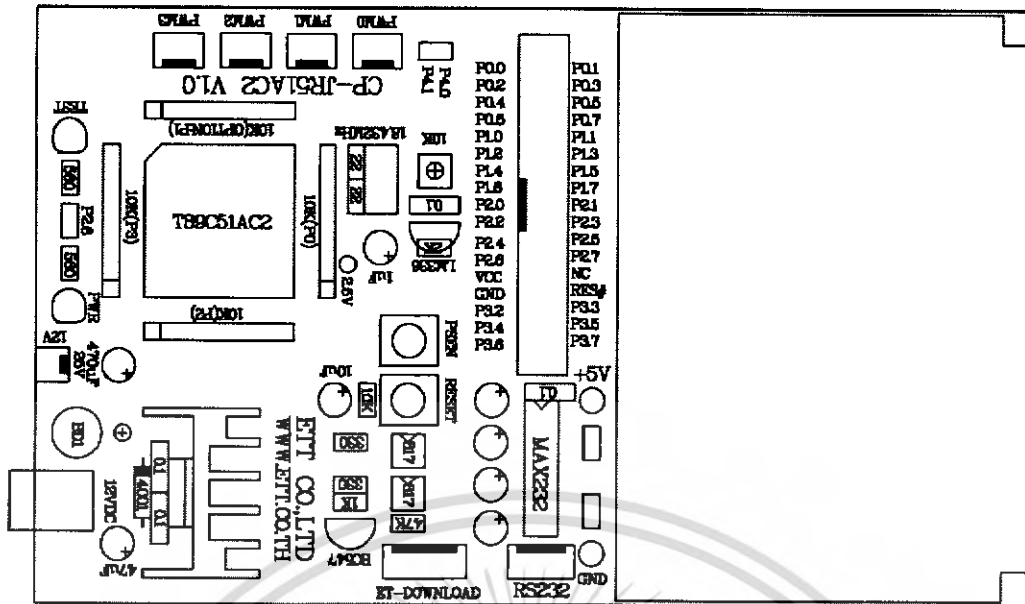
3. การเพิ่มค่า  $K_p$  ทำให้การตอบสนองของกระบวนการสูงขึ้น (เนื่องจากกระบวนการควบคุมแบบ PI) กระบวนการจะมีการแกว่งมากขึ้น ค่าการตอบสนองสูงสุดและอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น อัตราการตอบสนองของกระบวนการมีค่ามากขึ้นและเสถียรภาพของกระบวนการจะลดลง (เนื่องจากกระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับ)

4. การลดค่า Integral time constant จะทำให้ของกระบวนการเร็วขึ้น กระบวนการจะมีการแกว่งมากขึ้น ค่าการตอบสนองสูงสุดและอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น (เนื่องจากการควบคุมแบบป้อนกลับ)

## 2.7 ลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในกลุ่ม CP-JR51AC2 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดกลาง โดยเลือกใช้ CPU ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ของ ATMEL ในตระกูล MCS51 เบอร์ T89C51AC2 เป็น CPU ประจำบอร์ด ซึ่ง CPU ตัวนี้บรรจุอยู่ในตัวถังแบบ PLCC ขนาด 44 ขา และมีทรัพยากรต่างๆ บรรจุไว้ภายในตัว CPU อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็น ADC/TIMER/COUNTER/PWM หรือ PORT I/O ต่างๆ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสถาปัตยกรรมทางด้านฮาร์ดแวร์ของ CPU เบอร์นี้ จะมีความอ่อนตัวในการใช้งานได้ค่อนข้างดี กล่าวคือ ฟังก์ชันการทำงานต่างๆของฮาร์ดแวร์สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ด้วยโปรแกรม ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำระบบฮาร์ดแวร์แบบเดียวกันไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆกันได้อย่างไม่ยากนัก โดยการปรับเปลี่ยนโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของบอร์ดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

CP-JR51AC2 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งออกแบบวงจรเฉพาะส่วนพื้นฐานที่จำเป็น เช่น แหล่งจ่ายไฟ วงจรรีเซ็ตวงจรกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกาวงจรสำหรับ ดาวโหลดโปรแกรม และวงจรสื่อสารอนุกรม ส่วนวงจร I/O ภายนอกนั้น จะไม่ได้จัดเตรียมไว้ให้ด้วย แต่จะทำการต่อสัญญาณ I/O ต่างๆจาก CPU มาไว้ยังขั้วต่อ Connector สำหรับให้ผู้ใช้นำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ I/O ภายนอกได้โดยง่าย และยังมีพื้นที่เอนกประสงค์สำหรับให้ผู้ใช้ออกแบบวงจร I/O และต่อวงจร I/O เพิ่มเติมได้เอง เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการนำบอร์ดไปใช้พัฒนางานต้นแบบโดยการสร้าง I/O ต่างๆขึ้นมาใช้งานเอง



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะของบอร์ด CP-JR51AC2

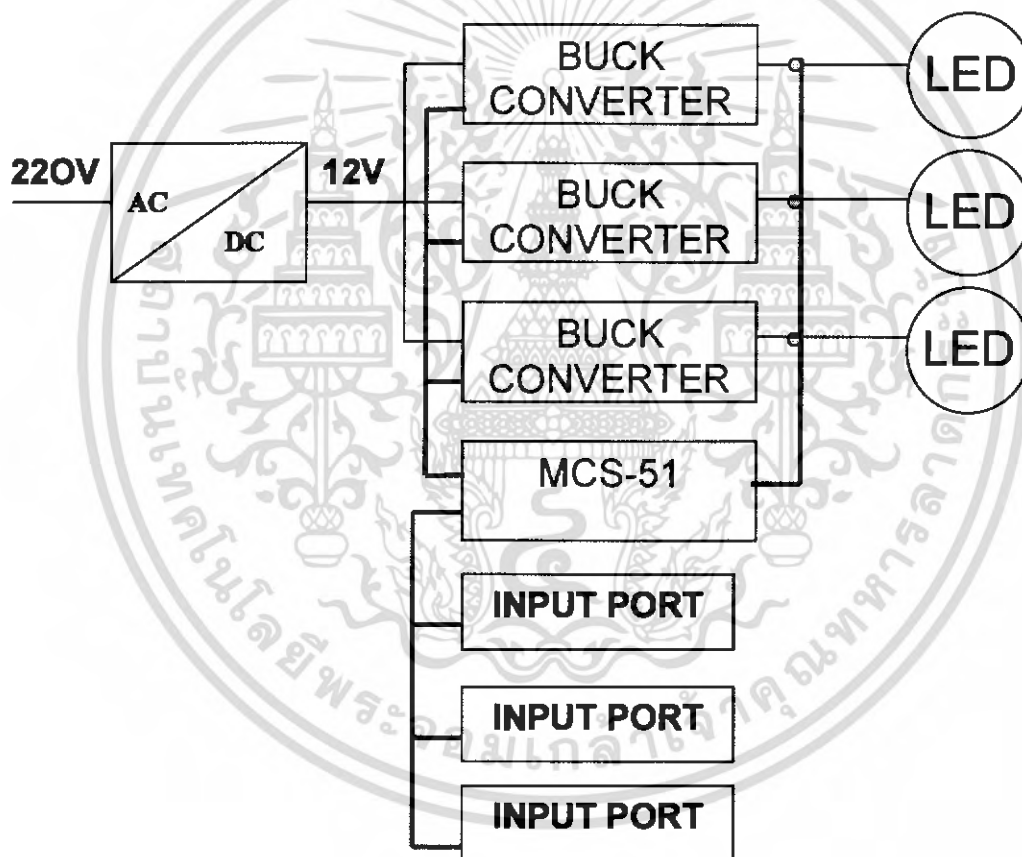
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบวงจร

#### 3.1 บทนำ

การออกแบบชุดส่องสว่างที่สามารถปรับสีและความเข้มการส่องสว่างได้ โดยใช้หลอด LED กำลังสูงในการปรับสีนี้จะใช้หลอด LED กำลังสูง 3 หลอดคือ หลอดสีแดง หลอดสีเขียว และหลอดสีน้ำเงิน เพื่อใช้เป็นแม่สีในการผสมสี ในการปรับความเข้มแสงแต่ละหลอด จะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นในวงจรจะประกอบไปด้วยวงจรถอนเวอร์เตอร์ 3 ชุด และไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ชุด และหลอด LED กำลังสูง 3 หลอด และพอร์ตรับค่า 3 ชุด ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง

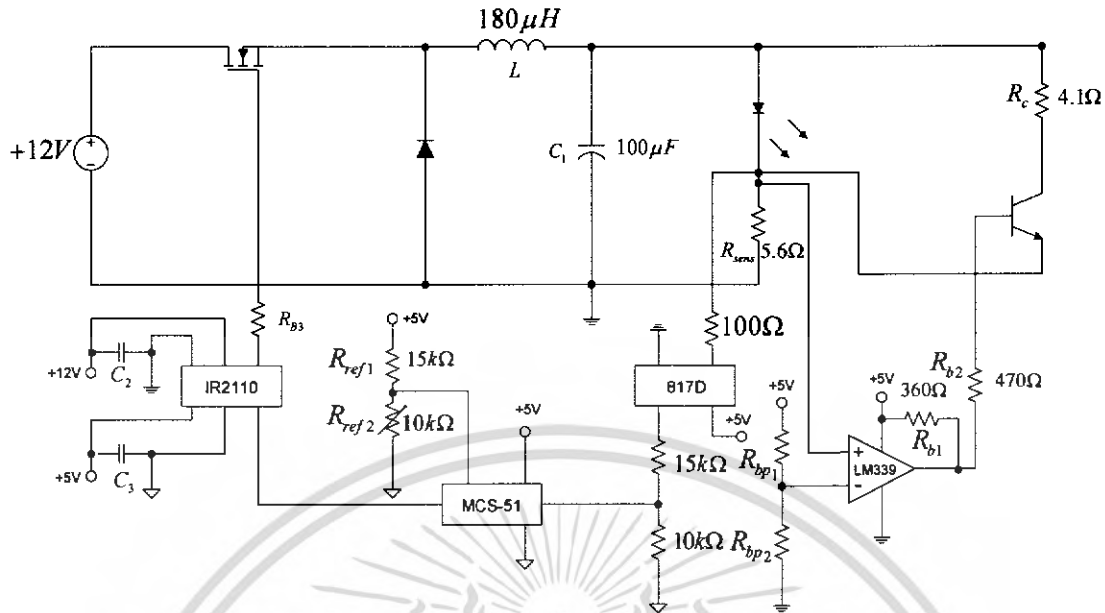
### 3.2 หลักในการพิจารณาเลือกใช้วงจร

จากข้อมูลของหลอด LED กำลังสูงพบว่า

1. แรงดัน forward ของหลอดสีแดง มีค่าเท่ากับ 2.75 โวลต์  
แรงดัน forward ของหลอดสีเขียว มีค่าเท่ากับ 4.0 โวลต์  
แรงดัน forward ของหลอดน้ำเงิน มีค่าเท่ากับ 4.0 โวลต์
2. มีค่าย่านในการปรับกระแส 0-350 มิลลิแอมแปร์ (โดยมีกระแสที่ใช้งานทั่วไปอยู่ที่ 350 มิลลิแอมแปร์)
3. มีค่าย่านในการปรับแรงดันของหลอดสีแดง 1.8-2.1 โวลต์  
มีค่าย่านในการปรับแรงดันของหลอดสีเขียว 2.7-3.1 โวลต์  
มีค่าย่านในการปรับแรงดันของหลอดสีแดง 3.05-3.5 โวลต์
4. มีความถี่คงที่

ดังนั้นเราจึงต้องออกแบบวงจรดังนี้

1. ออกแบบวงจรที่แรงดันขาออกน้อยกว่าขาเข้า
  2. เป็นวงจรแบบปิด
  3. มีความถี่คงที่
  4. มีการควบคุมแบบควบคุมกระแส เนื่องจากย่านในการปรับกระแสสูงกว่าย่านในการปรับแรงดัน ทำให้ปรับได้ละเอียดกว่า
  5. มีการจำกัดกระแส โดยจำกัดกระแสอยู่ที่ 350 มิลลิแอมแปร์ เนื่องจากเป็นกระแสที่ใช้งานทั่วไปของหลอด LED กำลังสูง
  6. มีค่าเสถียรภาพทุก Duty cycle
- จากการพิจารณาทั้งหมด เราจึงเลือกใช้วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter) แบบปิด โดยควบคุมกระแสชนิดความถี่คงที่และทำงานในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง มีการจำกัดกระแสที่ 350 มิลลิแอมแปร์



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง

### 3.3 หลักการทำงานของวงจร

ส่วนการทำงานของวงจรแบ่งได้ดังนี้คือ

1. วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์
2. วงจรควบคุม
3. วงจรบายพาส (by pass)

การทำงานของวงจร

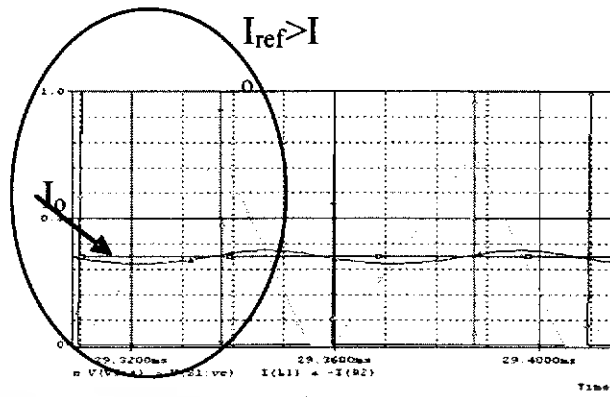
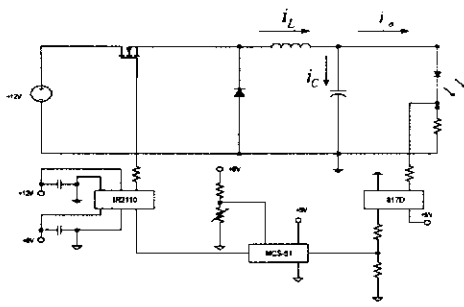
การทำงานของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์แบบปิดโดยควบคุมกระแสและทำงานในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง มีการจำกัดกระแสที่ 350 มิลลิแอมแปร์ แบ่งเป็น 3 ช่วงการทำงาน คือ

1. ช่วงที่กระแสขาออกมีค่าน้อยกว่ากระแสอ้างอิง ในช่วงนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสร้างสัญญาณพัลส์บวกไปยังมอสเฟต ทำให้มอสเฟตนำกระแส จึงทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจะไหลผ่านมอสเฟตผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด และกระแสอีกส่วนหนึ่งจะไปเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุ ดังนั้นกระแสขาออกจึงมีค่าสูงขึ้น ดังรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4

2. ช่วงที่กระแสขาออกมีค่ามากกว่ากระแสอ้างอิง ในช่วงนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ศูนย์ออกไปยังมอสเฟต ทำให้มอสเฟตไม่นำกระแส เมื่อมอสเฟตไม่นำกระแสจึงทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงไม่สามารถไหลผ่านมอสเฟตได้ ในช่วงนี้ตัวเหนี่ยวนำจะคายกระแสออกมา ทำให้ไดโอด (Diode) ถูกไบอัสไปข้างหน้าให้นำกระแสทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านไปยังโหลด ต่อมากระแสจากตัวเหนี่ยวนำประจุจะค่อยๆ ลด

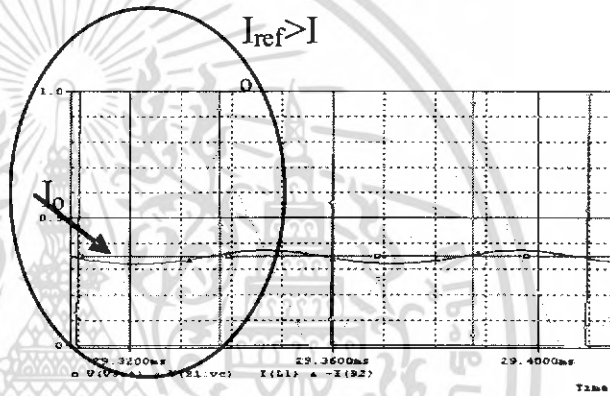
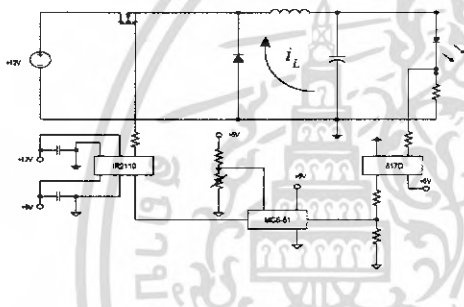
ต่ำลง ทำให้กระแสขาออกมีค่าลดลงไปด้วย ดังรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



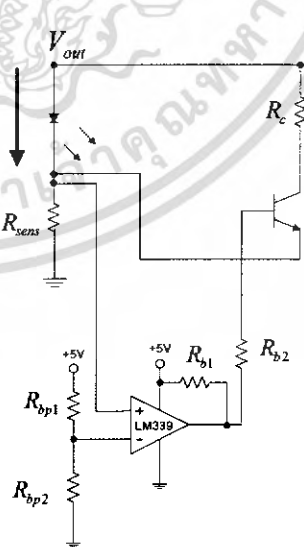
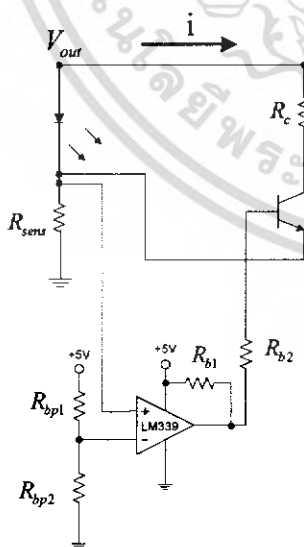
**รูปที่ 3.3** แสดงการทำงานช่วงสวิตช์  
นำกระแส

**รูปที่ 3.4** แสดงกราฟการทำงานช่วงสวิตช์  
นำกระแส



**รูปที่ 3.5** แสดงการทำงานช่วงสวิตช์  
ไม่นำกระแส

**รูปที่ 3.6** แสดงกราฟการทำงานช่วงสวิตช์  
ไม่นำกระแส



**รูปที่ 3.7** แสดงการทำงานของวงจรมายพาส  
ขณะแรงดันอ้างอิงสูงกว่าแรงดันที่  
กระแสต่ำสุด

**รูปที่ 3.8** แสดงการทำงานของวงจรมายพาส  
ขณะแรงดันอ้างอิงต่ำกว่าแรงดันที่  
กระแสต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในช่วงที่ต้องการลดกระแสขาออกให้มีค่าเท่ากับศูนย์แอมแปร์ เพื่อใช้ในการดับหลอด LED กำลังสูงในช่วงนี้วงจรจะไม่สามารถควบคุมกระแสขาออกให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้ แต่จากการทดลองกระแสต่ำสุดที่สามารถลดได้ คือ 50 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้นเพื่อต้องการให้กระแสไหลผ่านหลอดที่มีค่าเท่ากับศูนย์ จึงได้มีการต่อชุดบายพาสขนานกับหลอด LED กำลังสูงเพื่อทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านหลอด LED กำลังสูงจึงทำให้หลอด LED กำลังสูง ดับ วงจรบายพาส (by pass) จะอาศัยอ็อปแอมป์ (Op-amp) มาเปรียบเทียบกับกระแสขาออกที่ต่ำที่สุดกับกระแสที่อ้างอิงในวงจรบายพาส โดยกระแสอ้างอิงของวงจรบายพาสจะมีค่าสูงกว่ากระแสขาออกต่ำสุดประมาณ 10% ในการเป็นเปรียบเทียบกระแสนั้น เราจะมาใช้ในรูปของแรงดัน โดยแรงดันอ้างอิงของวงจรบายพาสสูงกว่าแรงดันต่ำสุด จะทำให้ขาออกของอ็อปแอมป์ทำงาน (แรงดัน 5 โวลต์) จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ (transistor) นำกระแสทำให้กระแสไหลผ่านวงจรบายพาส จึงไม่มีกระแสไหลผ่านหลอด (กระแสไหลผ่านหลอดเป็นศูนย์แอมแปร์) หลอดจึงดับ ดังรูป 3.7 ในทางกลับกันถ้าแรงดันบายพาสต่ำกว่าแรงดันต่ำสุดของขาออกจะทำให้ขาออกของอ็อปแอมป์ไม่ทำงาน (แรงดันเท่ากับศูนย์โวลต์) จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส จึงทำให้กระแสไหลผ่านหลอด LED กำลังสูง ดังรูป 3.8

### 3.4 การออกแบบวงจร

#### 3.4.1 การออกแบบวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสดรง จะนิยมใช้วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) โดยใช้วงจรกรองแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่

การคำนวณหาค่าความต้านทานของแต่ละหลอด

#### 1. หาค่าความต้านทานของหลอดสีน้ำเงิน

จากข้อมูลหลอด LED กำลังสูงหลอดสีน้ำเงิน

แรงดันของหลอด 4 โวลต์ แรงดันป้อนกลับ 2 โวลต์ กระแสของหลอด 350 มิลลิแอมแปร์ กำลังของหลอด 2.1 วัตต์

หาค่าความต้านทานของหลอดจาก

$$R = \frac{P}{I^2}$$

$$R = \frac{2.1}{0.35^2}$$

$$R = 17.14\Omega$$

### 2. หาค่าความต้านทานของหลอดสีเขียว

จากข้อมูลหลอด LED กำลังสูงหลอดสีเขียว

แรงดันของหลอด 4 โวลต์ แรงดันป้อนกลับ 2 โวลต์ กระแสของหลอด 350 มิลลิแอมแปร์

กำลังของหลอด 2.1 วัตต์

หาค่าความต้านทานของหลอดจาก

$$R = \frac{P}{I^2}$$

$$R = \frac{2.1}{0.35^2}$$

$$R = 17.14\Omega$$

### 3. หาค่าความต้านทานของหลอดสีแดง

จากข้อมูลหลอด LED กำลังสูงหลอดสีแดง

แรงดันของหลอด 2.75 โวลต์ แรงดันป้อนกลับ 2 โวลต์ กระแสของหลอด 350 มิลลิแอมแปร์

กำลังของหลอด 1.66 วัตต์

หาค่าความต้านทานของหลอดจาก

$$R = \frac{P}{I^2}$$

$$R = \frac{1.66}{0.35^2}$$

$$R = 13.55\Omega$$

**ตารางที่ 3.1** ตารางคุณสมบัติของหลอด LED กำลังสูง

ชนิดหลอด LED กำลังสูง	แรงดันไฟฟ้า (V)	แรงดันไฟฟ้า ป้อนกลับ (v)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความ ต้านทาน ( $\Omega$ )
สีน้ำเงิน	4	2	0.35	2.1	17.14
สีเขียว	4	2	0.35	2.1	17.14
สีแดง	2.75	2	0.35	1.66	13.55

#### 3.4.2 การออกแบบวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

##### 3.4.2.1 การออกแบบวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องหลอดสี น้ำเงิน

ต้องการสร้างวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันขาออก 6 โวลต์ โดยมีแหล่งจ่าย  
กำลังไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ โดยมีความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ มีอัตราระลอกคลื่นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าต้านออก (Ripple factor  $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ ) มีค่าน้อยกว่า 1 % และมีค่าคุณสมบัติของโหลด  
 สิ้นน้ำเงินจากตารางที่ 3.1

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$D = \frac{V_o}{V_d}$$

$$D = \frac{6}{12} = 0.5$$

- หาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L_{\min} = \frac{(1-0.5)17.14}{2 \times 20 \times 10^3} = 214.25 \mu H$$

- ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องต้องน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

∴ เลือกค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเท่ากับ 180 ไมโครเฮนรี่

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}}$$

$$\frac{6}{12} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8 \times 180 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3}{17.14}}}$$

$$D = 0.458$$

- หาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าอัตราระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1 %

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}}$$

$$C = \frac{1-0.458}{8 \times 180 \times 10^{-6} \times (20 \times 10^3)^2 \times 10^{-2}}$$

$$C = 94.1 \mu F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 การออกแบบวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของหลอดสี่เหลี่ยม

ต้องการสร้างวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันขาออก 6 โวลต์ โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรง 12 โวลต์ โดยมีความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ มีอัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (Ripple factor  $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ ) มีค่าน้อยกว่า 1% และมีค่าคุณสมบัติของหลอดสี่เหลี่ยมจากตารางที่ 3.1

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$D = \frac{V_o}{V_d}$$

$$D = \frac{6}{12} = 0.5$$

- หาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L_{\min} = \frac{(1-0.5)17.14}{2 \times 20 \times 10^3} = 214.25 \mu H$$

- ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องต้องน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

∴ เลือกค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเท่ากับ 180 ไมโครเฮนรี่

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}}$$

$$\frac{6}{12} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8 \times 180 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3}{17.14}}}$$

$$D = 0.458$$

- หาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าอัตราการลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1 %

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}}$$

$$C = \frac{1-0.458}{8 \times 180 \times 10^{-6} \times (20 \times 10^3)^2 \times 10^{-2}}$$

$$C = 94.1 \mu F$$

3.4.2.3 การออกแบบวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของ หลอดสี่แดง

ต้องการสร้างวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันขาออก 4.75 โวลต์ โดยมีแหล่งจ่าย กำลังไฟกระแสตรง 12 โวลต์ โดยมีความถี่สวิตซิ่ง 20 กิโลเฮิรตซ์ มีอัตราระลอกคลื่นของ แรงดันไฟฟ้าด้านออก (Ripple factor  $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ ) มีค่าน้อยกว่า 1% และมีค่าคุณสมบัติของหลอดสี่ แดงจากตารางที่ 3.1

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$D = \frac{V_o}{V_d}$$

$$D = \frac{4.75}{12} = 0.396$$

- หาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$L = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L = \frac{(1-0.396)13.55}{2 \times 20 \times 10^3} = 204.6 \mu H$$

- ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องต้องน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

∴ เลือกค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบัพคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง เท่ากับ 180 ไมโครเฮนรี่

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}}$$

$$\frac{4.75}{12} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8 \times 180 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3}{13.55}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = 0.371$$

- หาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าอัตราแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1 %

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_0}{V_0}}$$

$$C = \frac{1-0.371}{8 \times 180 \times 10^{-6} \times (20 \times 10^3)^2 \times 10^{-2}}$$

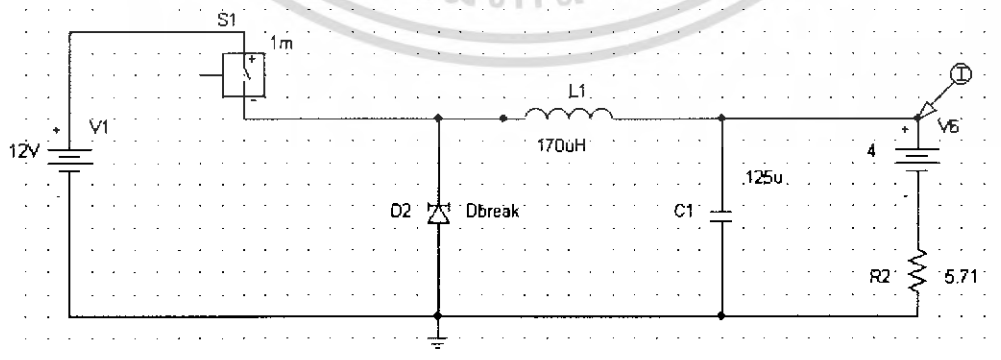
$$C = 109.2 \mu F$$

การออกแบบจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของหลอด LED กำลังสูงในการทดลองจริง

ในการทดลองจริงได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของวงจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเพื่อความเหมาะสมและสามารถจัดทำได้จริงตามห้องตลาด ดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 3.2** แสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของหลอด LED กำลังสูง

ชนิดของหลอด	แรงดันของหลอด (v)	แรงดันป้อนกลับ (v)	ความต้านทาน ( $\Omega$ )	ตัวเหนี่ยวนำ ( $\mu H$ )	ตัวเก็บประจุ ( $\mu F$ )
หลอดสีน้ำเงิน	4	2	17.14	180	100
หลอดสีเขียว	4	2	17.14	180	100
หลอดสีแดง	2.75	2	13.55	180	125



**รูปที่ 3.9** แสดงวงจบบั๊กคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 ส่วนวงจรควบคุม

ส่วนควบคุมจะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. ส่วนวงจรป้อนกลับ (Feed back)
2. ส่วนแยกกราวด์
3. ส่วนของพอร์ที่รับค่าภายนอก
4. ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 1. วงจรป้อนกลับ (Feed back)

จากวงจรเราต้องการควบคุมกระแส ดังนั้นเราจึงมีวงจรป้อนกลับเอาไว้ในการป้อนกลับ กระแสขาออกมาเปรียบเทียบกับกระแสอ้างอิงของชุดควบคุม เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของกระแสขาออกของวงจร โดยค่ากระแสทั้งสองนี้จะนำมาใช้ในรูปแบบของแรงดัน ในวงจรป้อนกลับจะประกอบด้วยส่วนป้อนกลับและส่วนที่ต้องการแยกกราวด์

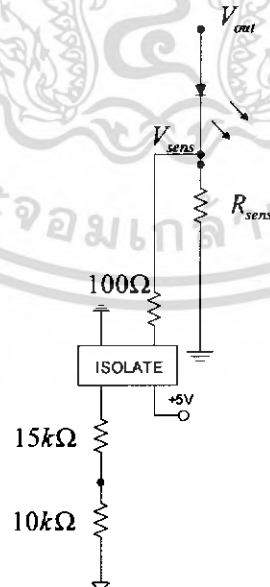
#### การออกแบบส่วนป้อนกลับ

จากวงจรต้องการจำกัดกระแสสูงสุดที่ 350 มิลลิแอมแปร์ โดยกระแสนี้จะมาใช้รูปของแรงดัน กำหนดให้กระแสอ้างอิงมีค่า 350 มิลลิแอมแปร์ มีค่าเท่ากับแรงดัน 2 โวลต์ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่า  $R_{sens}$  ได้จาก

$$R_{sens} = \frac{V_{ref}}{I_{max}}$$

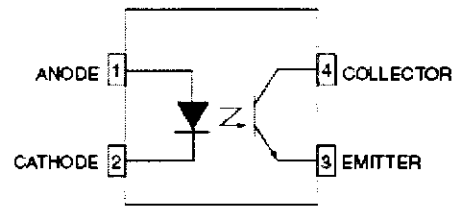
$$R_{sens} = \frac{2}{0.35}$$

$$R_{sens} = 5.7\Omega$$

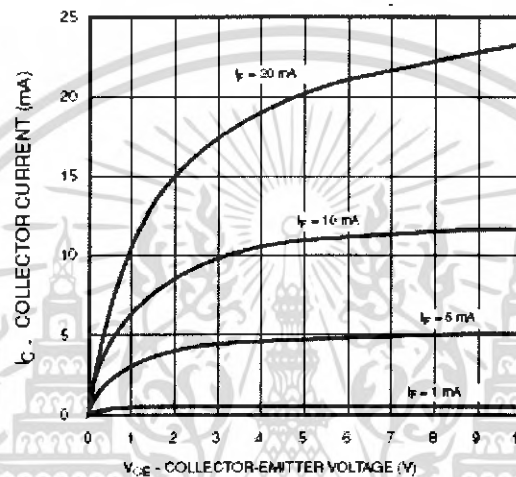


**รูปที่ 3.10** แสดงวงจรป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรภายในของ Opto-couplers



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสคอลเลคเตอร์ ( $I_c$ ) และแรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ )

## 2. ส่วนแยกกราวด์ (Isolate ground)

จากวงจรเราต้องแยกกราวด์ของวงจรบีกอนเวอร์เตอร์และวงจรควบคุม และส่งผ่านแรงดันป้อนกลับโดยวงจร Opto-Couplers

จากวงจรเราต้องการแรงดันป้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์แต่เราไม่สามารถป้อนแรงดันป้อนกลับได้โดยตรง ต้องผ่านตัว Opto-Couplers เพื่อแยกกราวด์ของวงจรบีกอนเวอร์เตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ และต้องการให้แรงดันป้อนกลับที่เข้า Opto-Couplers มีค่าเท่ากับแรงดันด้านออกโดยในวงจรเลือกใช้ H11A817 เป็น Opto-Couplers ดังนั้นต้องหาค่าแรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ ) ของทรานซิสเตอร์แล้วทำการแบ่งแรงดันให้มีค่าเท่ากับแรงดันขาเข้า

ในการหาแรงดันระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ ) จากกราฟเลือกค่ากระแสคอลเลคเตอร์ ( $I_c$ ) ที่ 20 มิลลิแอมป์ เนื่องจากมีย่านใกล้เคียงกับเชิงเส้น

ดังนั้นต้องกำหนดหาค่าตัวต้านทานขาเข้าของ Opto-Couplers เพื่อมีกระแสขาเข้ามีขนาด 20 มิลลิแอมป์ โดยค่าแรงดันป้อนกลับ ( $V_{sens}$ ) เท่ากับ 2 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

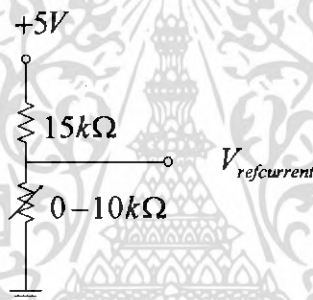
$$R = \frac{V_{sens}}{I_c}$$

$$R = \frac{2}{0.02} = 100\Omega$$

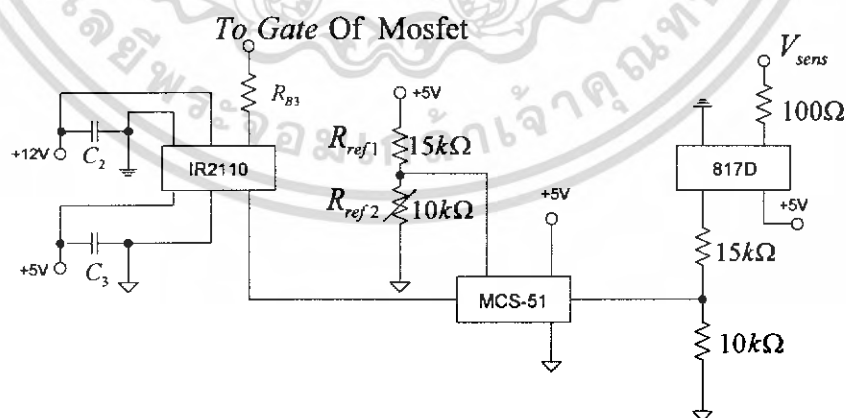
และทำการแบ่งแรงดันระหว่างขาคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ ) ให้ออก 2 โวลต์ ให้มีค่าเหมือนแรงดันขาเข้า โดยในการแบ่งแรงดันใช้ความต้านทาน 2 ตัว ขนาด 15 กิโลโอห์ม และ 10 กิโลโอห์ม

### 3. พอร์รับค่าภายนอก

เป็นส่วนแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบกระแสอ้างอิงโดยมีแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบกระแสอ้างอิงมีค่าตั้งแต่ 0 – 2 โวลต์ โดยมีค่าความต้านทานที่ใช้ในการแบ่งแรงดันดังรูป

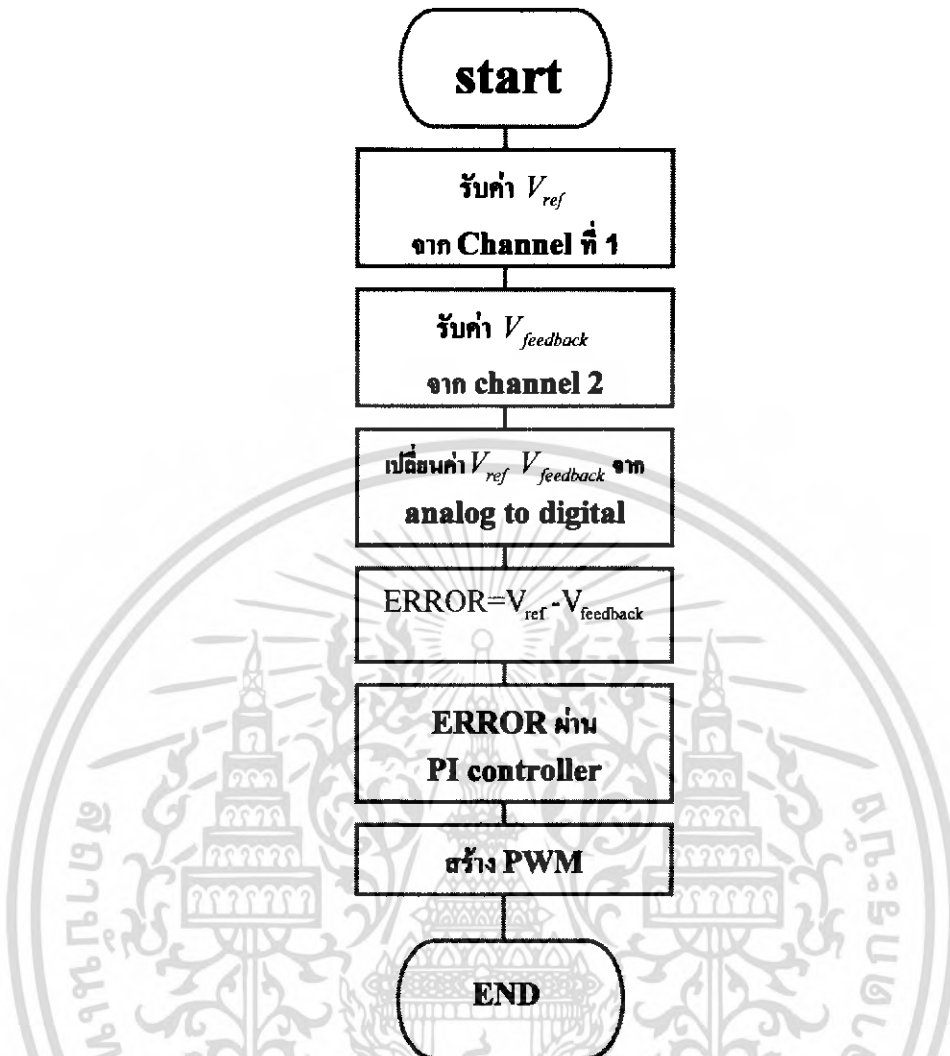


รูปที่ 3.13 การต่อวงจรแบ่งแรงดันเพื่อสร้างพอร์รับค่าภายนอก



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงแผนภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 4. ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบวงจรในส่วนของตัวควบคุมนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการเปล่งแสงของหลอด LED กำลังสูง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.15

จากแผนภาพเป็นการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยโปรแกรมจะรับค่า  $V_{ref}$  จาก channel ที่ 1 และรับค่า  $V_{feedback}$  จาก channel ที่ 2 เมื่อรับค่าทั้ง 2 ค่าแล้วก็จะทำการเปลี่ยนค่าจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อนำค่าที่ได้มาประมวลผล หลังจากนั้นนำค่า  $V_{ref} - V_{feedback}$  จะได้ค่าความผิดพลาด หลังจากนั้นนำค่าผิดพลาดที่ได้ไปผ่านตัวควบคุมแบบสัดส่วนโดยคูณกับค่า  $K_p$  และนำค่าความผิดพลาดไปผ่านตัวควบคุมแบบปริพันธ์ โดยใช้การคูณกับค่า  $K_i$  แล้วทำการบวกซ้ำกับค่าที่สะสมไว้ แล้วนำค่าความผิดพลาดที่ผ่านตัวควบคุมแบบสัดส่วนและปริพันธ์มา

บวกกันแล้วนำไปสร้างสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชันเพื่อนำสัญญาณไปขับชุดขับต่อไปโดยมีตัวโปรแกรมที่ภาคผนวก

โดยสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชันจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งผ่านชุดขับเกด (IR 2110) ซึ่งใช้ในการแยกกราวด์และเป็นชุดขับเกดของมอสเฟตโดยเราใช้แรงดัน 12 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรชุดขับเกดนี้เพื่อไปขับมอสเฟต (IRF 510 มีแรงดันขับเกดต่ำสุด 2 โวลต์)



รูปที่ 3.16 วงจรบายพาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 ชุดวงจรขยายพาส

ชุดวงจรขยายพาสมีไว้สำหรับขยายพาสวงจรขณะที่ทำการลดกระแสขาออกเข้าใกล้ศูนย์ เนื่องจากวงจรไม่สามารถควบคุมกระแสขาออกให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้ โดยจากการทดลองกระแสต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้ คือ 50 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้นเราจึงต้องต่อชุดขยายพาสขนานเข้ากับหลอด LED กำลังสูงเพื่อทำให้กระแสที่ไหลผ่านหลอด LED กำลังสูง เป็นศูนย์โดยจะนำกระแสต่ำสุดมาเปรียบเทียบกับกระแสอ้างอิงของวงจร กระแสทั้งสองนี้จะอยู่ในรูปของแรงดัน โดยที่แรงดันขยายพาส ( $V_{bp}$ ) มีค่ามากกว่าแรงดันต่ำสุดที่สามารถควบคุมกระแสได้ ค่าแรงดันขยายพาสจะมีค่ามากกว่าแรงดันต่ำสุดประมาณ 10% ถ้าแรงดันขยายพาสมีค่ามากกว่าแรงดันต่ำสุดจะทำให้ขาออกของออปแอมป์ทำงาน (5 โวลต์) จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ (transistor) นำกระแสทำให้กระแสไหลผ่านวงจขยายพาส จึงไม่มีกระแสไหลผ่านหลอด (กระแสไหลผ่านหลอดเป็นศูนย์แอมแปร์) หลอดจึงดับ ในทางกลับกันถ้าแรงดันขยายพาสต่ำกว่าแรงดันต่ำสุดของขาออกจะทำให้ขาออกของออปแอมป์ไม่ทำงาน (แรงดันเท่ากับศูนย์โวลต์) จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส จึงทำให้กระแสไหลผ่านหลอด LED กำลังสูงหลอดจึงติด

หมายเหตุ กระแสจะไหลมายังวงจขยายพาสได้ก็ต่อเมื่อความต้านทานของวงจขยายพาสมีค่าน้อยกว่าวงจของหลอด

การคำนวณหาค่าแรงดันต่ำสุดที่สามารถควบคุมกระแสได้

ค่าของแรงดันขยายพาสหาได้จาก

$$V_{bp} = \left( V_{\min} \times \frac{10}{100} \right) + V_{\min} \quad (3.1)$$

จากแรงดันจ่ายไฟฟ้า 5 โวลต์ แบ่งแรงดันให้มีค่าเท่ากับ  $V_{bp}$  โดยใช้ค่าความต้านทาน

การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจขยายพาส

แรงดันต่ำสุดที่กระแสต่ำสุด คือ 2.3 โวลต์ จากค่าตัวต้านทานในวงจขยายพาสมีค่าน้อยกว่าค่าของ  $R_{sens}$  โดยค่าของ  $R_{sens}$  จากวงจรมีค่าเท่ากับ 5.6 โอห์ม เพราะฉะนั้นจึงเลือกตัวต้านทานของวงจขยายพาสเท่ากับ  $4 \Omega$

$$I_c = \frac{V}{R_c}$$

$$I_c = \frac{2.3}{4}$$

$$I_c = 0.575 A$$

จากทรานซิสเตอร์แบบ NPN เบอร์ DB139 มีค่า  $\beta$  ไม่เกิน 250 จึงเลือกค่า  $\beta$  เท่ากับ 100

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$I_b = \frac{0.575}{100} = 5.74 mA$$

หาค่าความต้านทานที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

$$R_b = \frac{V_b}{I_b}$$

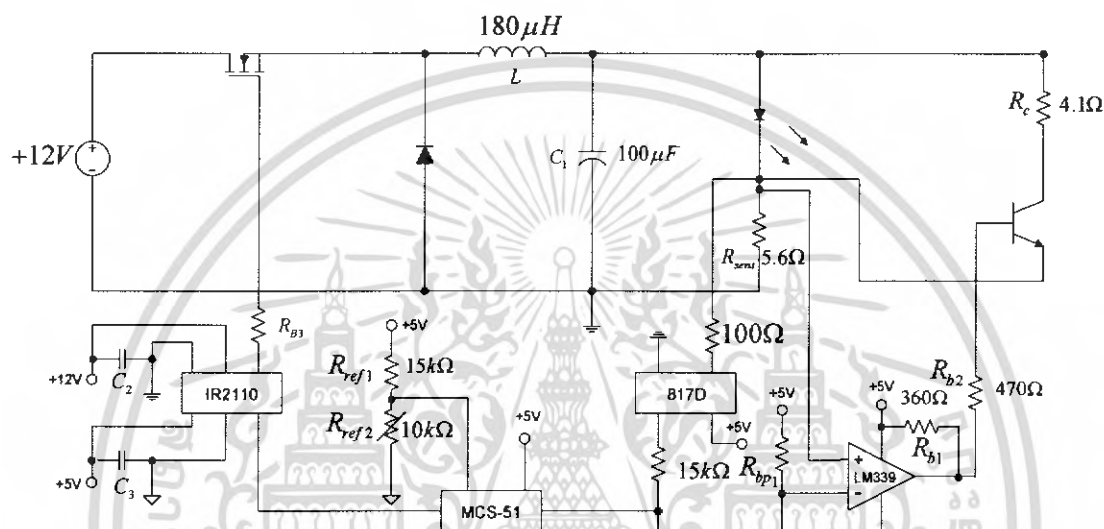
$$R_b = \frac{5}{5.74 \times 10^{-3}} = 875 \Omega$$

จาก

$$R_b = R_{b1} + R_{b2}$$

ดังนั้นจะได้

$$R_{b1} = 600 \Omega, R_{b2} = 275 \Omega$$



รูปที่ 3.17 วงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การออกแบบวงจรเพื่อปรับปรุงวงจรให้เหมาะกับการใช้งานยิ่งขึ้น

#### 3.5.1 วัตถุประสงค์ในการปรับปรุงวงจร

1. ทำให้วงจรมีขนาดเล็กลง น้ำหนักน้อยลง เพื่อให้ง่ายแก่การติดตั้งเพื่อใช้งานจริง
2. ลดต้นทุนต่อวงจรของวงจรให้มีราคาต่ำลง
3. เพิ่มความเร็วในการตอบสนองของการสั่งงานจากพอร์ตรับค่า

#### 3.5.2 แนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เบื้องต้น

1. ออกแบบให้วงจรทำงานที่ความถี่ในการสวิตช์ซึ่งสูงขึ้น เพื่อให้วงจรมีขนาดเล็กลง น้ำหนักลดลง และรวมไปถึงสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทำงานที่สภาวะต่างๆ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

2. เลือกใช้ไอซี SG 3524 (ไอซีสำเร็จรูปใช้ในงานพัลส์วิดท์มอดูเลชัน) ในการควบคุมการทำงานของวงจรแทนการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีเหตุผลในการเลือกใช้ดังนี้

- ไม่จำเป็นต้องทำการแยกกราวด์ระหว่างวงจรกำลังกับวงจรสร้างสัญญาณทำให้ลดขนาดวงจรลงและราคาถูกลง

- ลดจำนวนแหล่งจ่ายไฟตรงในวงจรลง ทำให้วงจรมีขนาดเล็กลง และน้ำหนักลดลง

- ขจัดปัญหา “ ดีเลย์โหม ” เนื่องจากขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สูง (ทั้งขั้นตอนการแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นอนาล็อก รวมถึงขั้นตอนในการคำนวณของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถตอบสนองการทำงานจากการสั่งงานจากพอร์ตรับค่าภายนอกเร็วขึ้นเนื่องสัญญาณในวงจรเป็นอนาล็อกทั้งหมด

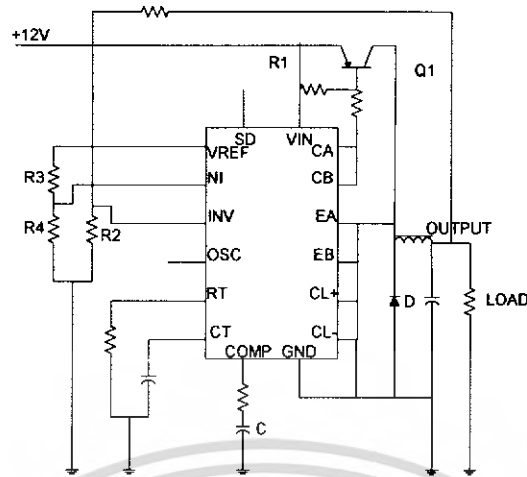
- ราคาของไอซี SG 3524 มีราคาถูกกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อเทียบต่อการใช้ใน 1 วงจร

- เนื่องจากมองขอบเขตงานในการสร้างวงจรมีการทำงานโดยรับค่าจากพอร์ตรับค่าอย่างเดียว การสั่งงานเป็นแบบอนาล็อกรูปแบบเดียว

#### 3.5.3 เงื่อนไขในการออกแบบวงจร

1. เป็นวงจรเรกกูเลเตอร์แบบ Step-down (วงจรบักคอนเวอร์เตอร์)
2. เป็นวงจรควบคุมกระแส สามารถปรับระดับกระแสที่ต้องการควบคุมได้
3. ทำงานในโหมดรับค่าการสั่งงานจากภายนอกเท่านั้น

เพื่อลดความยุ่งในการทำงานของวงจรลง เนื่องจากเงื่อนไขการพิจารณาในส่วนนี้สนใจเพียงให้สามารถรักษาระดับกระแสให้ได้ตามต้องการเท่านั้น จึงออกแบบวงจรโดยออกแบบให้เป็นวงจรบักคอนเวอร์เตอร์แบบแรงดันคงที่สามารถรักษาระดับกระแสที่ระดับต่างๆ ได้ตามต้องการ (ตั้งแต่ 0 – 350 มิลลิแอมป์แปร)



**รูปที่ 3.18** SG 3524 ในงานเรกูเลเตอร์แบบทอนแรงดัน ทำงานร่วมกับทรานซิสเตอร์ภายนอก เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น

### 3.6 ขั้นตอนการออกแบบวงจรควบคุมการส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง

วงจรที่ดึงดูดใจออกแบบเป็นวงจรแบบทอนแรงดัน (Buck-converter) แบบแรงดันขาออกมีค่าคงที่ สามารถควบคุมกระแสขาออกได้หลายระดับ โดยสามารถแบ่งตามการทำงานออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนสร้างแรงดันขาออกมีค่าคงที่ โดยต้องออกแบบให้แรงดันขาออกที่มีค่าคงที่มีขนาดสูงกว่าขนาดแรงดันขาออกที่ทำให้หลอด LED กำลังสูงมีกระแสไหลผ่านสูงกว่า 350 มิลลิแอมแปร์ในหลอดทั้ง 3 สี โดยใช้ SG 3524 ทำงานเป็นตัวเรกูเลเตอร์แบบทอนแรงดัน

SG 3524 จะควบคุมความกว้างของพัลส์เพื่อให้แรงดันป้อนกลับนี้มีขนาดเท่ากับแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  ที่จ่ายให้กับ Non-inverting input ของ Error amplifier ที่ขา 2 จากวงจรแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  เกิดจากการแบ่งแรงดันของตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  สามารถหาจากสมการ

$$V_{ref} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} \quad (3.2)$$

แก้สมการ เพื่อหา  $V_{out}$  จะได้

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{ref} \quad (3.3)$$

แรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  สามารถใช้แหล่งอ้างอิงภายนอกเข้าที่ขา 16 หรือใช้แรงดันอ้างอิง 5 โวลต์ ที่อยู่ภายใน CA 3524 เอง โดยปกติจะนิยมใช้แรงดันอ้างอิง 5 โวลต์ ภายใน CA 3524 มากกว่า โดยเรียกแรงดันนี้ว่า  $V_{int}$  ดังนั้นแรงดัน Non-inverting input (ขา 2) ของ Error amplifier ก็จะทำให้เกิดจากการแบ่งแรงดันของตัวต้านทาน  $R_3$  และ  $R_4$  ดังสมการ

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{int} \quad (3.4)$$

ในทางปฏิบัติแล้วจะเลือกค่าความต้านทาน  $R_3$  และ  $R_4$  เท่ากัน เพื่อแบ่งแรงดันให้ได้ 2.5 โวลต์ โดยค่าความต้านทานของ  $R_3$  และ  $R_4$  นิยมใช้ค่า 10 กิโลโอห์ม แต่ถ้าในกรณีที่ใช้แหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงภายนอกก็จะเลือกค่าความต้านทาน  $R_4$  เท่ากับ 10 กิโลโอห์ม และใช้สมการที่ 7.3 เพื่อหาค่า  $R_3$

สำหรับ Error amplifier เป็นออปแอมป์แบบไบโพลาร์ ในทางทฤษฎีกระแสไบแอสแต่ละอินพุตจะต้องเท่ากัน ดังนั้น  $R_1 // R_2$  (ตัวต้านทานที่ต่อกับขา inverting input) จึงเท่ากับ  $R_3 // R_4$  (ตัวต้านทานที่ต่อกับขา Non-inverting input) ดังสมการ

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_3 // R_4 \quad (3.5)$$

จากที่กล่าวมาแล้ว ถ้าเลือก  $R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$  ดังนั้นจากสมการที่ 7.4 จะได้  $R_3 // R_4 = 5 \text{ กิโลโอห์ม}$  แก้สมการ 7.4 เพื่อหาค่า  $(R_1 + R_2) / R_2$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{R_1}{R_3 // R_4} \quad (3.6)$$

แทนสมการ 7.5 ลงในสมการ 7.2 เพื่อหาค่าของ  $R_1$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_3 // R_4} V_{ref}$$

$$\therefore R_1 = \frac{V_{out}}{V_{ref}} R_3 // R_4 \quad (3.7)$$

เมื่อทราบค่า  $R_1$  แล้ว ในที่สุดก็จะสามารถหาค่า  $R_2$  จากการแก้สมการที่ 7.4

สำหรับพัลส์ที่ใช้ในการสวิตช์ซิงนั้น ถูกสร้างจากความต้านทาน  $R_T$  และตัวเก็บประจุ  $C_T$  ที่ต่ออยู่กับขา 6 และ 7 ตามลำดับ กับกราวด์ ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้สำหรับ SG 3524 อยู่ในย่านตั้งแต่ 10 ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์ โดยมีสูตรหาความถี่ออสซิลเลเตอร์ดังนี้

$$f_{osc} = \frac{1}{R_T C_T} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของความต้านทาน  $R_T$  เลือกใช้ประมาณ 10 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุอยู่ในย่าน 0.001 ถึง 0.1 ไมโครฟารัด ที่ขา 3 จะเป็นเอาต์พุทของพัลส์ความถี่ออสซิลเลเตอร์ สำหรับทำงานร่วมกับ เรกกูเลเตอร์ตัวอื่น

SG 3524 ยังมีการจำกัดกระแส (Current limiting) ตัวต้านทานตรวจจับ  $R_{sense}$  จะต่ออนุกรมกับเอาต์พุทของเรกกูเลเตอร์ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนี้จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรจำกัดกระแส (Current limiting circuit) ที่อยู่ภายใน SG 3524 โดยผ่านที่ขา 4 และ ขา 5

ค่าของตัวต้านทาน  $R_{sense}$  หาได้จาก

$$R_{sense} = \frac{\text{Sense Voltage}}{I_{out(max)}} \quad (3.9)$$

แรงดัน Sense Voltage ของ SG 3524 จะเท่ากับ 200 มิลลิโวลต์ แต่ถ้าไม่มีการตรวจจับในเรื่องการจำกัดกระแสก็จะต่อขา 4 กับขา 5 ลงกราวด์

ขา 9 ใช้สำหรับในการชดเชย (Compensation) ในทางปฏิบัติจะต่อต้านทาน 47 กิโลโอห์ม อนุกรมกับตัวเก็บประจุ 0.001 ไมโครฟารัด และลงกราวด์

สำหรับขาสุดท้ายของ SG 3524 ที่จะกล่าวต่อไปก็คือ ขา 10 มีชื่อว่า Shutdown ถ้าขา 10 นี้ต่อลงกราวด์จะทำให้เรกกูเลเตอร์หยุดทำงาน

ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะใช้สมการ 7.9 และ 7.10 ตามลำดับ ในการหาค่า

$$L = \frac{2.5V_{out}(V_{in} - V_{out})}{I_{out}V_{in}f_{osc}} \quad (3.10)$$

และ

$$C = \frac{0.01768I_{out}}{V_{ripple}f_{osc}} \quad (3.11)$$

ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ  $C$  สูงกว่าค่าที่คำนวณเล็กน้อย

การใช้ SG 3524 นั้นมีขีดจำกัดในด้านการจ่ายกระแสได้ไม่เกิน 200 มิลลิแอมแปร์ จึงต้องทำให้มีการตัดแปลงวงจรอีกเล็กน้อย โดยการเพิ่มทรานซิสเตอร์สวิตซ์ซึ่งภายนอกมาช่วยขับกระแส

การใช้ SG 3524 ในงาน Step-down ที่ต้องการกระแสสูง ๆ โดยทำงานร่วมกับ ทรานซิสเตอร์ภายนอก สังเกตว่าทรานซิสเตอร์ภายนอกที่ใช้ในวงจร จะใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP โดยมีตัวต้านทาน  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  เป็นส่วนไบแอส ซึ่งทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายใน SG 3524 จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อระหว่างขาเบสของทรานซิสเตอร์ภายนอกกับกราวด์ และเปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าทรานซิสเตอร์ภายในเปิดวงจร ก็จะไม่มีการแสไหลเข้าไปยังตัวต้านทานไบแอส ทำให้ทรานซิสเตอร์ภายนอกเปิดวงจรด้วย แต่ถ้าทรานซิสเตอร์ภายในปิดวงจร จะทำให้ตัวต้านทาน  $R_{B2}$  ถูกต่อกับกราวด์ และเกิดกระแสไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสอง ( $R_{B1}$  กับ  $R_{B2}$ ) เกิดเป็นวงจรแบ่งแรงดัน และทำให้ทรานซิสเตอร์ภายนอกนำกระแสในที่สุด

ในการออกแบบค่าตัวต้านทาน  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  นั้น จะสมมติให้กระแส  $I_{bleeder}$  ไหลผ่าน  $R_{B1}$  และรวมกับกระแสเบสของทรานซิสเตอร์สวิทช์ซึ่งผ่าน  $R_{B2}$  ผู้ออกแบบสามารถเลือกค่ากระแส  $I_{bleeder}$  ได้ประมาณ 1 ใน 10 ของกระแสเบสทรานซิสเตอร์สวิทช์ซึ่ง

สำหรับการเลือกกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ จะใช้ค่าสูงสุดของกระแสคอลเลคเตอร์ (นั่นหมายถึงกระแสไหลสูงสุดนั่นเอง)  $I_{C,max}$  และค่าอัตราขยาย  $\beta$  น้อยที่สุดของทรานซิสเตอร์หาได้จากข้อมูลของทรานซิสเตอร์,  $\beta_{min}$  สมการในการหากระแสเบส คือ

$$I_{B,min} = \frac{I_{C,min}}{\beta_{min}} \quad (3.12)$$

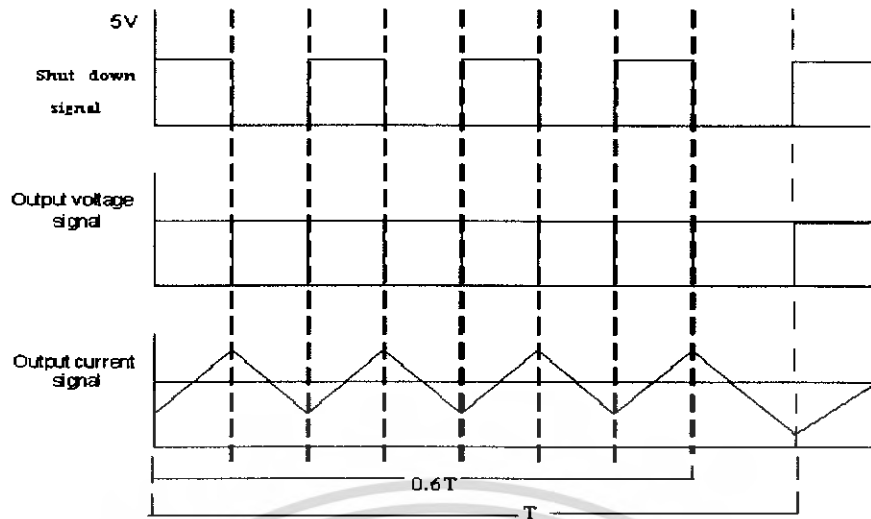
แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $R_{B1}$  (แรงดันตกคร่อม  $V_{BE}$ ) จะเท่ากับ 0.7 โวลต์ เพื่อให้แน่ใจว่าทรานซิสเตอร์นำกระแสที่ไหลผ่าน  $R_{B1}$  คือ กระแส  $I_{bleeder}$  คำนวณหา  $R_{B1}$  จากกฎของโอห์ม

$$R_{B1} = \frac{V_{BE}}{I_{bleeder}} \quad (3.13)$$

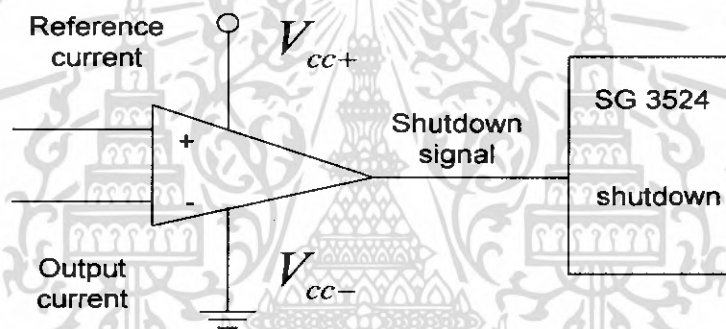
ในทางปฏิบัติจะเลือกจะใช้ค่า  $R_{B1}$  ที่ได้มากกว่าค่าจากการคำนวณ เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันตกคร่อมระหว่างขาเบสกับอิมิตเตอร์อย่างน้อยที่สุด 0.7 โวลต์ และสมการในการคำนวณค่า  $R_{B2}$  ก็หาได้จากกฎของโอห์มเช่นกัน

$$R_{B2} = \frac{V_{DCSUPPLY} - V_{BE} - V_{SAT}}{I_{bleeder} + I_{B,min}} \quad (3.14)$$

2. ส่วนที่ทำงานในส่วนควบคุมกระแสขาออกหลายระดับ (ตั้งแต่ 0- 350 มิลลิแอมแปร์ ) โดยการทำงานในส่วนนี้ใช้ขา Shutdown ( ขา 10 ของไอซี SG 3524 ) ในการทำงานโดยใช้สัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณของกระแสขาออกกับสัญญาณของกระแสอ้างอิงซึ่งสร้างจากพอร์ทรับค่าภายนอก เข้ามาสั่งการทำงานของขา Shutdown (ทำงานในลักษณะ Active-Low)



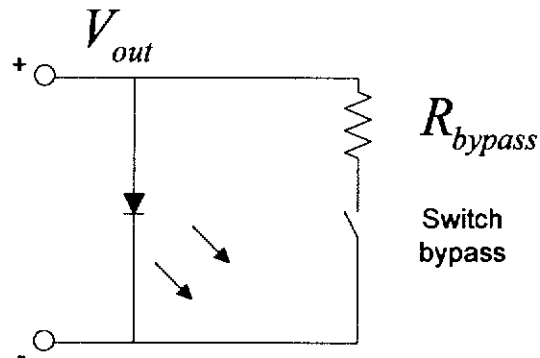
**รูปที่ 3.19** แสดงของแรงดันและกระแสขาออกเมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์ที่ขา Shutdown



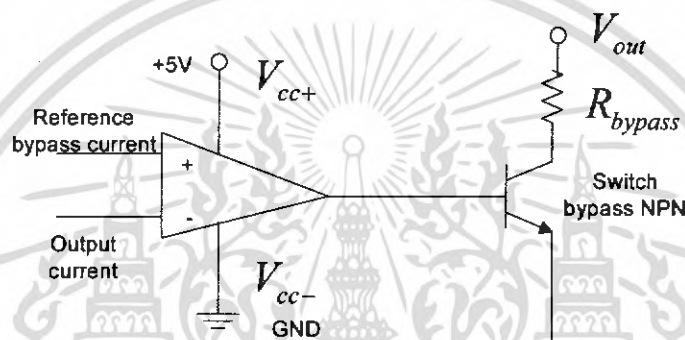
**รูปที่ 3.20** การสร้างสัญญาณเข้าขา Shutdown โดยใช้ Op-Amp

เนื่องจากขา Shut-down ทำงานในลักษณะ Active-Low เราจึงออกแบบให้ขณะที่กระแสขาออกมีค่าสูงกว่าขนาดกระแสอ้างอิงที่กำหนดไว้สัญญาณที่ขา Shutdown จะต้องเป็นสัญญาณ Low ในทางกลับกันขณะที่กระแสขาออกมีขนาดต่ำกว่ากระแสอ้างอิงที่กำหนดไว้สัญญาณที่ขา Shutdown จะต้องเป็น High ดังรูป

3. ส่วนวงจรทางเบี่ยงกระแส เนื่องจากวงจรที่เราออกแบบเป็นวงจรแบบควบคุมกระแส ซึ่งไม่สามารถทำงานในโหมดไม่มีภาระทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นในกรณีที่เรต้องการดับหลอดให้ดับสนิท จำเป็นจะต้องสร้างภาระทางไฟฟ้าขึ้นมารองรับกระแส แทนภาระหลักทางไฟฟ้าของวงจร (หลอด LED กำลังสูง) เมื่อต้องการดึงภาระทางไฟฟ้าหลักของวงจรออกไป (ต้องการดับหลอด LED กำลังสูง)



รูปที่ 3.21 วงจรทางเบี่ยงกระแส



รูปที่ 3.22 วงจรสร้างสัญญาณให้กับ Switch-bypass โดยใช้ Op-Amp

ในส่วนนี้จะทำงานในช่วงที่เราต้องการดับหลอดไดโอดส่องสว่างกำลังสูง ซึ่งในช่วงที่เราต้องการดับหลอดนั้นก็มีกระแสที่ไหลผ่านหลอดไดโอดส่องสว่างกำลังสูงมีค่าต่ำสุด ซึ่งในที่นี้คือ 2 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้นในเงื่อนไขของการทำงานคือเมื่อมีกระแสไหลผ่านหลอด LED กำลังสูง สูงกว่า 2 มิลลิแอมแปร์ ส่วนวงจรทางเบี่ยงกระแสจะไม่ทำงาน ดังรูป

### 3.7 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในวงจร

ออกแบบเป็นเรกกูเลเตอร์แบบทอนแรงดัน โดยใช้ ไอซี SG 3524 ให้ได้แรงดันขาออก 9 โวลต์ ( เป็นระดับแรงดันที่หลอดทั้งสามสีมีกระแสไหลผ่านได้เกิน 350 มิลลิแอมแปร์ ) กำหนดจ่ายกระแสได้ตั้งแต่ 0- 350 มิลลิแอมแปร์ จากแหล่งจ่ายไฟตรง 15 มิลลิแอมแปร์ กำหนดความถี่ในการสวิตช์ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดันระลอกคลื่นขาออก 0.005 โวลต์ มีส่วนป้องกันไม่ให้กระแสเกิน 350 มิลลิแอมแปร์

### 3.8 ขั้นตอนการออกแบบวงจร

1. ขั้นตอนแรกเป็นการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ  $C_T$  และตัวต้านทาน  $R_T$  จากสมการ ค่าตัวต้านทาน  $R_T$  นั้นผู้ผลิตกำหนดให้เลือกใช้ประมาณ 10 กิโลโอห์ม ดังนั้นแก้สมการหาค่า  $C_T$  ออกมาได้เป็น

$$C_T = \frac{1}{f_{osc} R_T}$$

$$C_T = \frac{1}{45kHz \times 10k\Omega}$$

$$C_T = 0.0022\mu F$$

2. ขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณตัวต้านทานในวงจรแบ่งแรงดันระหว่าง  $R_1$  และ  $R_2$  โดยเลือกแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  เท่ากับ 2.5 โวลต์ และ  $R_1 = R_2 = 10$  กิโลโอห์ม ใช้สมการหา  $R_1$

$$R_1 = \frac{V_{out}}{V_{ref}} \times \frac{R_3 \times R_4}{R_3 + R_4}$$

$$R_1 = \frac{9V}{2.5V} \times 5k\Omega$$

$$R_1 = 18k\Omega$$

แทนค่า  $R_1 = 18$  กิโลโอห์ม ลงในสมการ เพื่อหา  $R_2$

หรือ

$$\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3 \times R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{5k\Omega}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{5k\Omega} - \frac{1}{18k\Omega}$$

$$R_2 = 6.92k\Omega$$

เลือกใช้ค่ามาตรฐาน  $R_2$  เท่ากับ 6.8 กิโลโอห์ม

3. ส่วนวงจรชดเชยใช้ค่ามาตรฐาน  $R_c = 47$  กิโลโอห์ม และ  $C_c = 0.001$  ไมโครฟารัด

4. ค่าของตัวต้านทานที่ใช้ในการตรวจจับ  $R_{sens}$  ที่ใช้ในการป้องกันไม่ให้กระแสไหลเกิน 350 มิลลิแอมแปร์ หาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 R_{\text{sens}} &= \text{Sense Voltage} / I_{\text{out (max)}} \\
 &= 200 \text{ mV} / 350 \text{ mA} \\
 &= 0.57 \ \Omega
 \end{aligned}$$

5. ขั้นตอนนี้เป็นกรคำนวณหาค่าตัวต้านทานไบแอส  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  ต้องการกระแสเอท์พุท 350 มิลลิแอมแปร์ และ จากตารางค่ามาตรฐานของทรานซิสเตอร์  $\beta_{\text{min}}$  ของทรานซิสเตอร์เท่ากับ 60 คำนวณกระแสเบสที่น้อยที่สุด จากสมการ

$$\begin{aligned}
 I_{B\text{min}} &= I_{C\text{max}} / \beta_{\text{min}} \\
 &= 0.5 \text{ A} / 60 \\
 &= 0.08333 \text{ A}
 \end{aligned}$$

กระแส bleeder ประมาณ 1 ใน 10 ของกระแส  $I_{B\text{min}}$  ดังนั้นกระแส bleeder มีค่าประมาณ 10 มิลลิแอมแปร์ คำนวณค่า  $R_{B1}$  จากสมการ

$$\begin{aligned}
 R_{B1} &= V_{EE} / I_{\text{bleeder}} \\
 &= 0.7 \text{ V} / 10 \text{ mA} \\
 &= 70 \ \Omega
 \end{aligned}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าทรานซิสเตอร์นำกระแสแน่นอน จึงเลือกใช้ค่าที่ใช้งานสูงกว่าที่คำนวณได้ คือ 75 โอห์ม

ทรานซิสเตอร์ภายในมีแรงดันอ้อมตัวเท่ากับ 1 โวลต์ และค่าแรงดัน  $V_{EE}$  ของทรานซิสเตอร์เท่ากับ 0.7 โวลต์ คำนวณค่า  $R_{B2}$  จากสมการ

$$R_{B2} = \frac{V_{\text{dc supply}} - V_{EE} - V_{SAT}}{I_{\text{bleeder}} + I_{\beta\text{min}}}$$

$$R_{B2} = \frac{15V - 0.7V - 1V}{10mA + 83.3mA}$$

$$R_{B2} = 142.55k\Omega$$

เลือกค่า  $R_{B2}$  น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานอย่างเต็มที่ เลือกใช้ค่ามาตรฐาน 130 โอห์ม เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อม  $R_{B2}$  เท่ากับ 28.3 โวลต์ และมีกระแสไหลเท่ากับ 0.08333 แอมแปร์ ทำให้ต้องเลือก  $R_{B2}$  ที่มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 28.3 โวลต์ x 0.08333 แอมแปร์ = 2.36 วัตต์ แต่แรงดันที่ออกมาเป็นพัลส์จึงสามารถเลือกขนาดเล็กลงมาได้จึงเลือกใช้  $R_{B2}$  เท่ากับ 130 โอห์ม ขนาด 2 วัตต์

6. ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุโดยใช้สมการ ตามลำดับค่าตัวเหนี่ยวนำ  $L$  หาได้จาก

$$L = \frac{2.5V_{\text{out}}(V_{\text{in}} - V_{\text{out}})}{I_{\text{out}}V_{\text{in}}f_{\text{osc}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{2.5(9V)(15V - 9V)}{350mA \times 15V \times 45kHz}$$

$$L = 572\mu H$$

เลือกใช้ 545  $\mu H$  เนื่องจากต้องการใช้งานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง และค่าตัวเก็บประจุ C หาได้จาก

$$C = \frac{0.01768I_{out}}{V_{ripple}f_{osc}}$$

$$C = \frac{0.01768 \times 350mA}{0.005V \times 45kHz}$$

$$C = 27\mu F$$

เลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุมาตรฐาน 50  $\mu F$

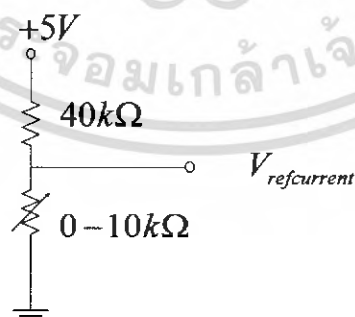
7. ขั้นตอนนี้เป็นารออกแบบวงจรสร้างสัญญาณสวิตช์ซึ่ง ป้อนเข้าที่ขา Shutdown ของตัว SG 3524 เพื่อทำงานในส่วนควบคุมกระแส

ส่วนแรกเป็นการสร้างแรงดันจากกระแสขาออกที่ป้อนกลับมาเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง โดยกำหนดให้ที่กระแสขาออกมีขนาด 350 มิลลิแอมแปร์ สัญญาณแรงดันที่ขาออปแอมป์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นตัวต้านทานที่ต่อเข้าไปในวงจรเพื่อสร้างสัญญาณแรงดันมีขนาด

$$R_{limit} = 1V / 0.35A$$

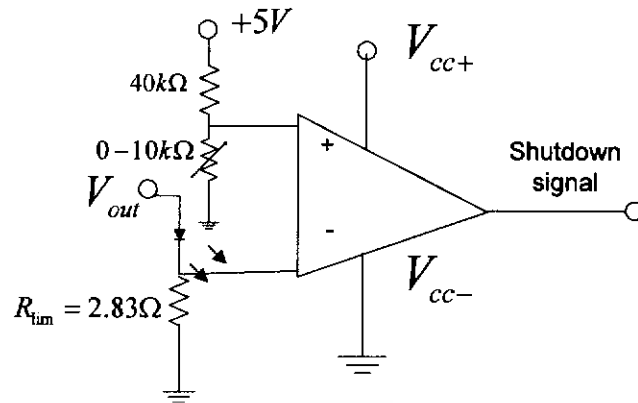
$$= 2.86\Omega$$

ส่วนในส่วนที่ใช้ในการสร้างสัญญาณอ้างอิงให้มีขนาดตั้งแต่ 0- 1 โวลต์ เพื่อใช้ในการปรับระดับกระแส โดยการปรับค่าจากพอร์ทรับค่าภายนอก โดยใช้วงจรแบ่งแรงดันต่อเข้ากับขา 16 SG 3524 ดังรูป



**รูปที่ 3.23** การต่อวงจรแบ่งแรงดันเพื่อสร้างแรงดันมาตรฐานในการจำกัดกระแสขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 วงจรในส่วนที่ทำกวนควบคุมกระแส

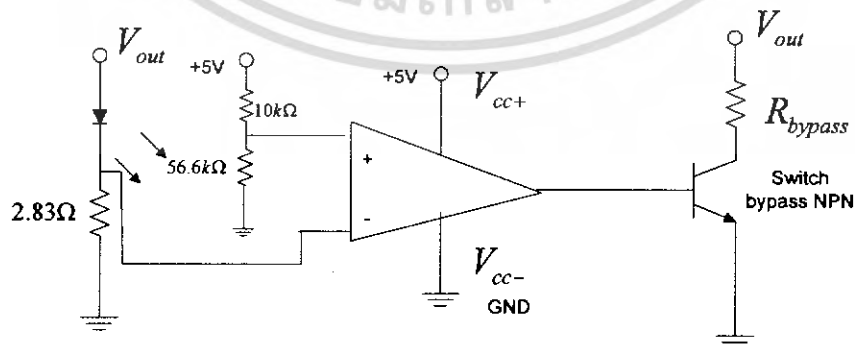
8. ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการออกแบบวงจรในส่วนวงจรทางเบี่ยงกระแส ในการออกแบบ กำหนดให้ขนาดกระแสขาออกที่วงจรทางเบี่ยงกระแสจะทำงานคือกระแสขาออกมีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิแอมแปร์ โดยใช้สัญญาณป้อนกลับของกระแสขาออกที่จุดเดียวกับวงจรควบคุมกระแส ดังนั้นสัญญาณแรงดันมีค่าน้อยกว่า  $2.83 \text{ โอห์ม} \times 10 \text{ มิลลิแอมแปร์} = 28.3 \text{ มิลลิโวลต์}$  จึงจะทำงาน ดังนั้นแรงดันอ้างอิงของวงจรทางเบี่ยงกระแสจะใช้วงจรแบ่งแรงดันให้มีขนาด 28.3 มิลลิโวลต์ ป้อนเข้าที่ขาอ็อปแอมป์เพื่อทำการเปรียบเทียบ

ส่วนในการคำนวณหาค่า  $R_{bypass}$  นั้นจะต้องมีแรงดันตกคร่อม  $R_{bypass}$  นั้น ต่ำกว่า ขนาดแรงดันที่ตกคร่อมหลอดไดโอดสองสว่างกำลังสูงในขณะนั้นซึ่งมีค่าประมาณ 1.35 โวลต์ ดังนั้น

$$R_{bypass} \leq \frac{1.35V}{10mA}$$

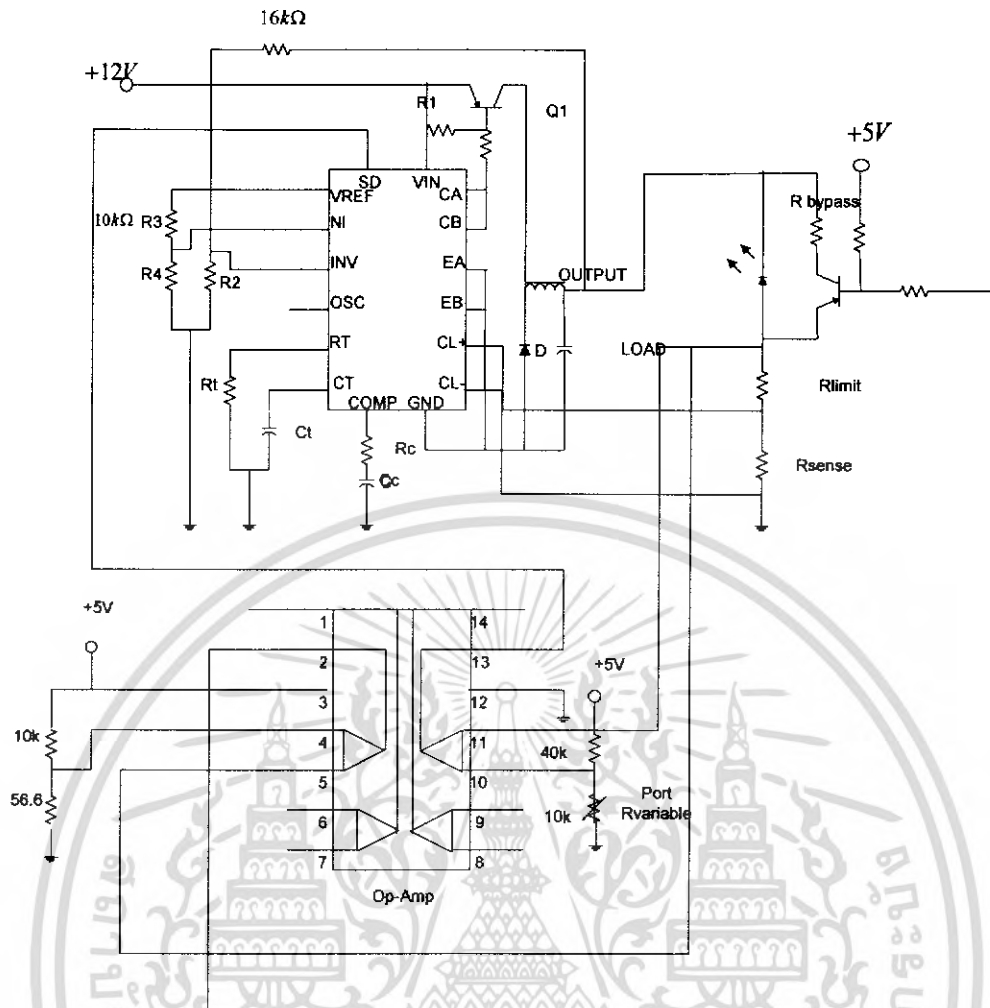
$$R_{bypass} \leq 135\Omega$$

เลือกใช้ค่าที่ต่ำกว่าประมาณ 3 เท่า จึงเลือกใช้ตัวต้านทานค่ามาตรฐาน 40 โอห์ม ดังนั้นจะได้รูปวงจรดังรูป



รูปที่ 3.25 วงจรสร้างสัญญาณสวิตซ์ซึ่งที่ตัว Bypass switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แสดงการใช้ SG 3524 ในงาน step down ร่วมกับทรานซิสเตอร์ภายนอก

จะได้วงจรควบคุมแรงดันให้มีขนาดคงที่ แบบควบคุมระดับกระแสขาออกให้ระดับที่แตกต่างกันโดยการสั่งงานจากพอร์ที่รับค่าภายนอกดังรูป

### 3.9 การออกแบบชุดโคมฉายโดยใช้หลอด LED กำลังสูง

การออกแบบชุดโคมฉายโดยใช้หลอด LED กำลังสูงมีการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นการนำชุดควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ของวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูงมาประยุกต์ใช้ โดยชุดโคมฉายจะประกอบไปด้วย หลอด LED กำลังสูงสีขาว 1 วัตต์ 3 หลอด โดยนำหลอดทั้ง 3 หลอด มาต่ออนุกรมกัน ส่วนภายในวงจรประกอบไปด้วยวงจรมอเตอร์ไดรฟ์ วงจรชุดควบคุมและวงจรรบายพาส ดังรูป ซึ่งวงจรชุดควบคุมและวงจรรบายพาส นำมาจากวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.9.1 การออกแบบวงจร

ส่วนการทำงานของวงจรแบ่งได้ดังนี้คือ

1. วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์
2. วงจรควบคุม
3. วงจรบายพาส (by pass)

#### 1. การออกแบบวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

การคำนวณหาค่าความต้านทานของชุดโคมฉาย

จากข้อมูลหลอด LED กำลังสูงหลอดสีขาว

แรงดันของหลอด 3.42 โวลต์ แต่ชุดโคมฉายมีการต่ออนุกรมหลอดสีขาว 3 หลอด ดังนั้นแรงดันของหลอด 10.26 โวลต์ แรงดันป้อนกลับ 2 โวลต์ กระแสของหลอด 350 มิลลิแอมป์ กำลังโหลด 4.3 วัตต์

หาค่าความต้านทานของชุดโคมฉายจาก

$$R = \frac{P}{I^2}$$

$$R = \frac{4.3}{0.35^2}$$

$$R = 35.1\Omega$$

**ตารางที่ 3.3** ตารางคุณสมบัติของหลอด LED กำลังสูง

ชนิดหลอด LED กำลังสูง	แรงดันไฟฟ้า (V)	แรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ (v)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความต้านทาน ( $\Omega$ )
สีขาว 3 หลอด	10.26	2	0.35	4.3	35.1

การออกแบบวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของชุดโคมฉาย

ต้องการสร้างวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ที่มีแรงดันขาออก 12.26 โวลต์ โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 17 โวลต์ โดยมีความถี่สวิตซ์ซิ่ง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ มีอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (Ripple factor  $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ ) มีค่าน้อยกว่า 1% และมีค่าคุณสมบัติของหลอด

สีน้ำเงินจากตารางที่ 3.1

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสต่อเนื่อง

$$D = \frac{V_o}{V_d}$$

$$D = \frac{12.26}{17} = 0.72$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L_{\min} = \frac{(1-0.72) \times 35.1}{2 \times 20 \times 10^3} = 245 \mu H$$

- ค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องต้องน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

∴ เลือกค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเท่ากับ  $220 \mu H$

- หาค่า Duty Ratio ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8Lf}{R}}}$$

$$\frac{12.26}{17} = \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8 \times 220 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3}{35.1}}}$$

$$D = 0.68$$

- หาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ค่าอัตราแรงดันคลื่นแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1%

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

$$C = \frac{1-D}{8Lf^2 \frac{\Delta V_0}{V_0}}$$

$$C = \frac{1-0.68}{8 \times 220 \times 10^{-6} \times (20 \times 10^3)^2 \frac{1}{100}}$$

$$C = 45 \mu F$$

**ตารางที่ 3.4** แสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรบิกคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องของชุดโคมฉาย

ชนิดของหลอด	แรงดันของหลอด (v)	แรงดันป้อนกลับ (v)	ความต้านทาน ( $\Omega$ )	ตัวเหนี่ยวนำ ( $\mu H$ )	ตัวเก็บประจุ ( $\mu F$ )
หลอดสีขาว 3 หลอด	10.26	2	35.1	220	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบส่วนของวงจรควบคุมและวงจรขยายพาสจะเหมือนกับชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม



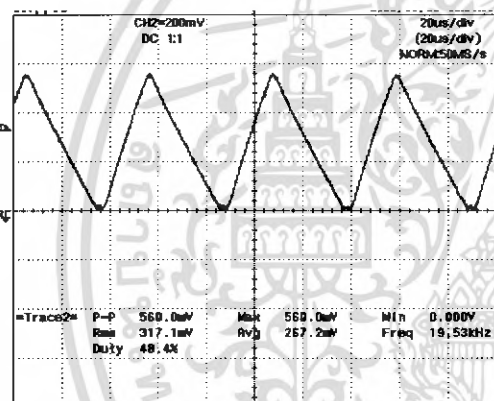
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

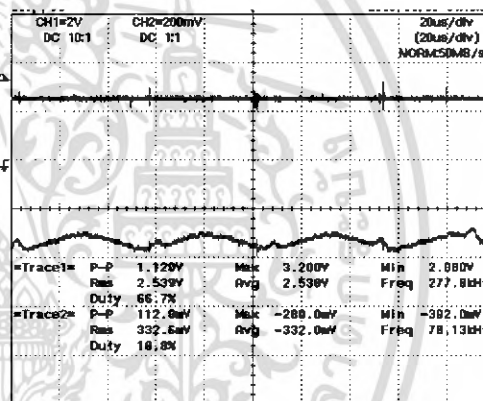
### ผลการทดลอง

การทดลองในบทนี้จะเป็นการทดสอบวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยที่ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมและวงจรที่ใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม สามารถควบคุมกระแส จำกัดกระแสมีความถี่คงที่และสามารถทำงานในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ต่อเนื่อง โดยการทดลองนี้จะเปรียบเทียบผลการทดลองของวงจรที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมและวงจรที่ใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม และการหาค่าประสิทธิภาพของวงจร

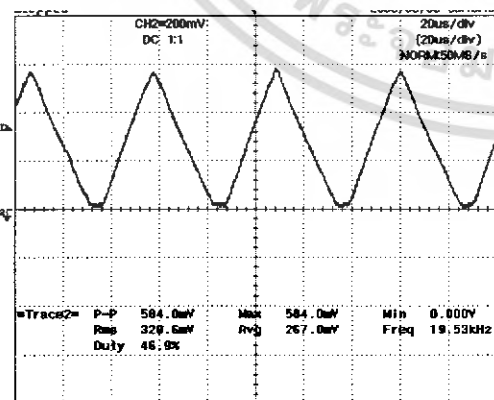
#### 4.1 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแสดงกระแสขาออกของวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยที่ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม



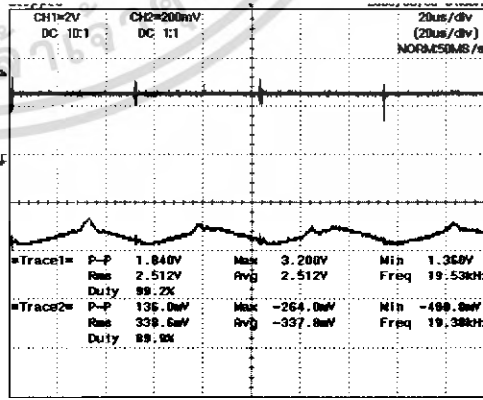
รูปที่ 4.1 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีแดง



รูปที่ 4.2 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีแดง

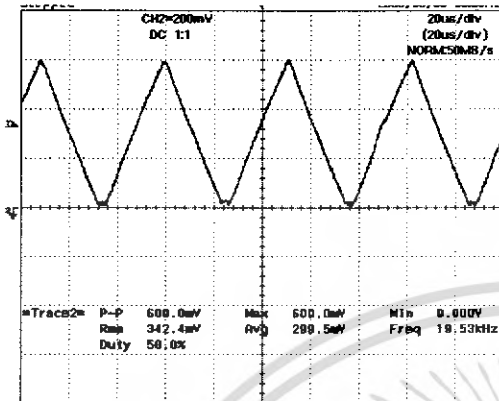


รูปที่ 4.3 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีเขียว

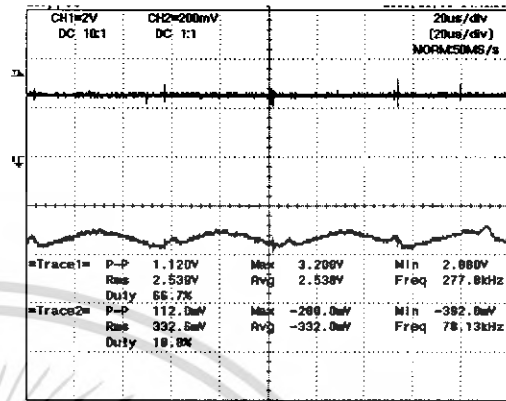


รูปที่ 4.4 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

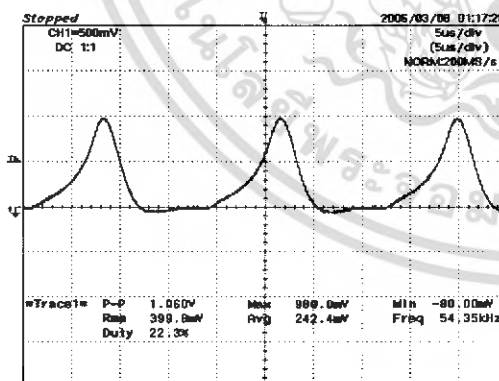


รูปที่ 4.5 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีน้ำเงิน

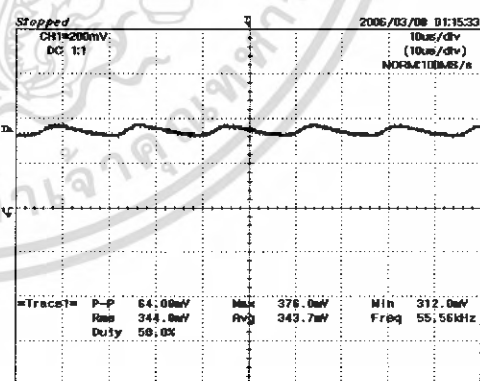


รูปที่ 4.6 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีน้ำเงิน

#### 4.2. แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแสดงกระแสขาออกของวงจรชุดสองสว่าง โดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยที่ออกแบบโดยใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม

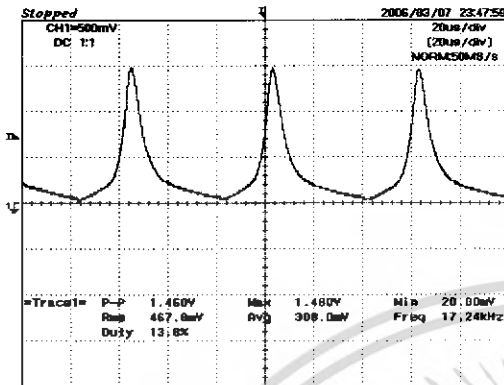


รูปที่ 4.7 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีแดง

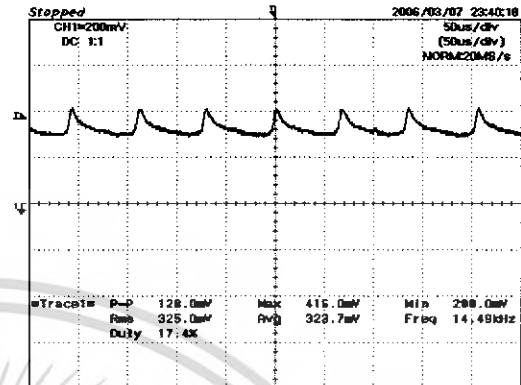


รูปที่ 4.8 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีแดง

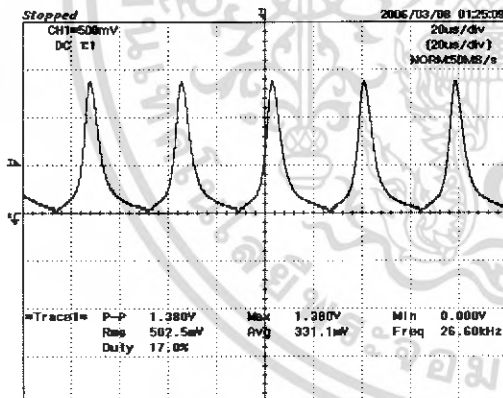
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



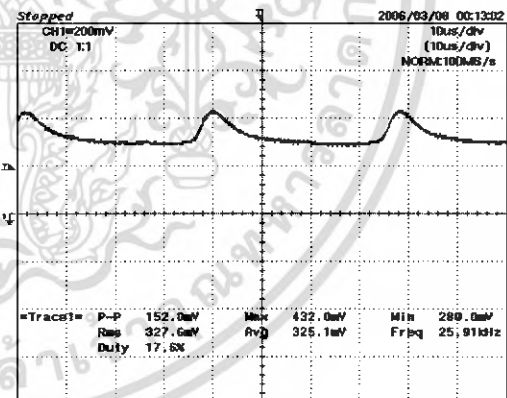
รูปที่ 4.9 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสี่ขาขาว



รูปที่ 4.10 แสดงกระแสขาออกของหลอดสี่ขาขาว



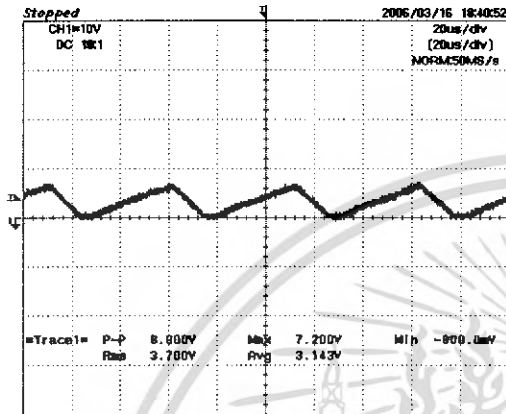
รูปที่ 4.11 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสี่ขาเงิน



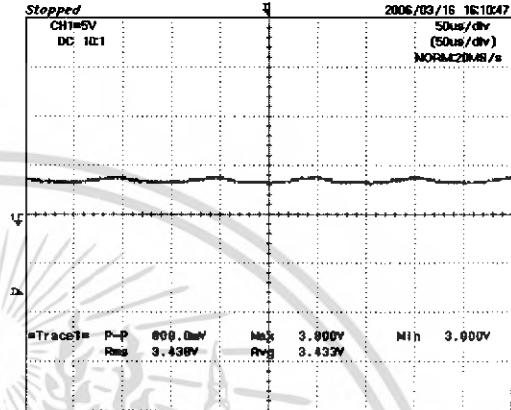
รูปที่ 4.12 แสดงกระแสขาออกของหลอดสี่ขาเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและแสดงกระแสขาออกของวงจรชุดโคมฉาย โดยใช้หลอด LED กำลังสูง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม



รูปที่ 4.13 แสดงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของหลอดสีขาว



รูปที่ 4.14 แสดงกระแสขาออกของหลอดสีขาว

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

ชนิดของหลอด	$V_{in}(V)$	$I_{in}(mA)$	$V_{out}(V)$	$I_{out}(mA)$	$P_{in}(mW)$	$P_{out}(mW)$	%Efficiency
หลอดสีน้ำเงิน	12	200	4	352	2400	1408	58.67
หลอดสีเขียว	12	200	3.72	354	2400	1316.9	54.84
หลอดสีแดง	12	160	2.65	350	1920	927.5	48.30

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ใช้ ไอซี SG 3524 ในการควบคุม

ชนิดของหลอด	$V_{in}(V)$	$I_{in}(mA)$	$V_{out}(V)$	$I_{out}(mA)$	$P_{in}(mW)$	$P_{out}(mW)$	%Efficiency
หลอดสีน้ำเงิน	12	240	3.14	353	2880	1108.4	38.49
หลอดสีเขียว	12	350	3.72	355	4200	1320.6	31.42
หลอดสีแดง	12	240	2.43	358	2880	870	30.20

**ตารางที่ 4.3** ตารางแสดงประสิทธิภาพของชุดโคมฉายที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

ชนิดของหลอด	$V_{in}(V)$	$I_{in}(mA)$	$V_{out}(V)$	$I_{out}(mA)$	$P_{in}(mW)$	$P_{out}(mW)$	%Efficiency
หลอดสีขาว 3 หลอด	17	272	9.3	336	3264	3124.8	95.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

วงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง ทั้งสองแบบสามารถทำงานแบบควบคุม กระแส จำกัดกระแส ความถี่คงที่และทำงานในโหมดกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบไม่ต่อเนื่อง การทดลองพบว่าค่ากระแสที่จ่ายไหลดมีค่าระลอกคลื่นและ ค่ากระแสผิดพลาดของ กระแสขาออกที่สภาวะคงตัว มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มีคาบเวลาของสัญญาณสวิทช์ซึ่ง มีขนาดคงที่ ( $T = 50$  ไมโครวินาที) กล่าวคือทำงานที่สภาวะความถี่ที่ลดลดการทำงาน และ วงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมเมื่อเพิ่ม จำนวนโหลดมากขึ้นประสิทธิภาพจะสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียของระบบเท่าเดิมแต่กำลังที่ ออกมากขึ้น

**ตารางที่ 5.1** ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของวงจรส่องสว่างที่ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรที่ใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม

คุณสมบัติ	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุม	ไอซี SG 3524 ในการควบคุม
1.ประสิทธิภาพ	58.6% และเมื่อเพิ่มจำนวน โหลดประสิทธิภาพยังมีค่า สูงขึ้น	38.49%
2.ความหลากหลายในการใช้ งาน	สามารถปรับแสงด้วยแบบ อนาล็อกหรือแบบอัดโนมิติ	สามารถปรับแสงด้วยแบบ อนาล็อก
3.ค่าการตอบสนองในการ ปรับแสงจากพอร์ทรับค่า	มีการตอบสนองช้าและในการ ปรับค่าบางช่วงไม่เป็นเชิงเส้น	มีการตอบสนองที่รวดเร็วและ มีการปรับค่าเป็นเชิงเส้น
4.ความถี่	20 กิโลเฮิร์ตซ์	45 กิโลเฮิร์ตซ์
5.ขนาดและน้ำหนักของวงจร	วงจรมีขนาดใหญ่และมีชุด แหล่งจ่ายไฟถึง 3 ชุด ใน 1 ชุดขับหลอด 1 สี	วงจรมีขนาดเล็กและมี แหล่งจ่ายไฟเพียงชุดเดียว ใน 1 ชุดขับหลอด 1 สีและ อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง เนื่องจากความถี่สูงขึ้น
6.ราคา	สูงกว่าเนื่องจากราคาของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	ต่ำกว่าเนื่องจากราคาของไอซี มีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

ประสิทธิภาพของวงจรชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการลดค่าตัวต้านทานป้อนกลับ ( $R_{sens}$ ) ส่วนชุดส่องสว่างโดยใช้หลอด LED กำลังสูง ที่ใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเลือกค่าทรานซิสเตอร์ให้เหมาะกับกระแสในวงจร ลดค่าตัวต้านทานในการไบแอสทรานซิสเตอร์ ( $R_b$ ) และลดค่าตัวต้านทานป้อนกลับ ( $R_{sens}$ )

ในการปรับสีให้ได้สีขาว พบว่ายังไม่สามารถให้เป็นสีขาวได้เนื่องจากการจัดวางของหลอด ดังนั้นจึงควรเลือกใช้หลอด LED กำลังสูง ในรุ่น BL4000+ ที่เป็นหลอดสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน (หลอด RGB) ที่เหมาะในการผสมสีของแสง หรืออาจจะเพิ่มหลอดสีขาวมาเพิ่มอีก 1 หลอด โดยหลอดนี้จะทำงานในช่วงที่ต้องการปรับเป็นสีขาวเท่านั้น แต่การเพิ่มหลอดสีขาวจะต้องเพิ่มชุดขับอีก 1 ชุด



## เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter, Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989
- [2] Jacob, **Power Electronics Principles**, Delmar a division of Thomson Learning, 2002
- [3] Muhammad H. Rachid, **Power Electronic Circuits, Devices and Applications**, Present Hall International Editions 2th, 1993
- [4] สุวัฒน์ ดัน, **สวิตชิงเทอเวอรัชพหลาย**, บริษัท เอนเทลไทย จำกัด, 2537
- [5] สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย, สมบูรณ์ มลานนท์, **แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง**, หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2538
- [6] สุมาลี อุทวนิชย์, **ระบบควบคุม**, บริษัท ว.เพ็ชรกุล จำกัด, 2545
- [7] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิ์วเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, หจก.วี.เจ. พรินติ้ง, 2547
- [8] [www.laminaceramics.com](http://www.laminaceramics.com).
- [9] [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)
- [10] [www.edision-opto.com.tw](http://www.edision-opto.com.tw)
- [11] [www.irf.com](http://www.irf.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



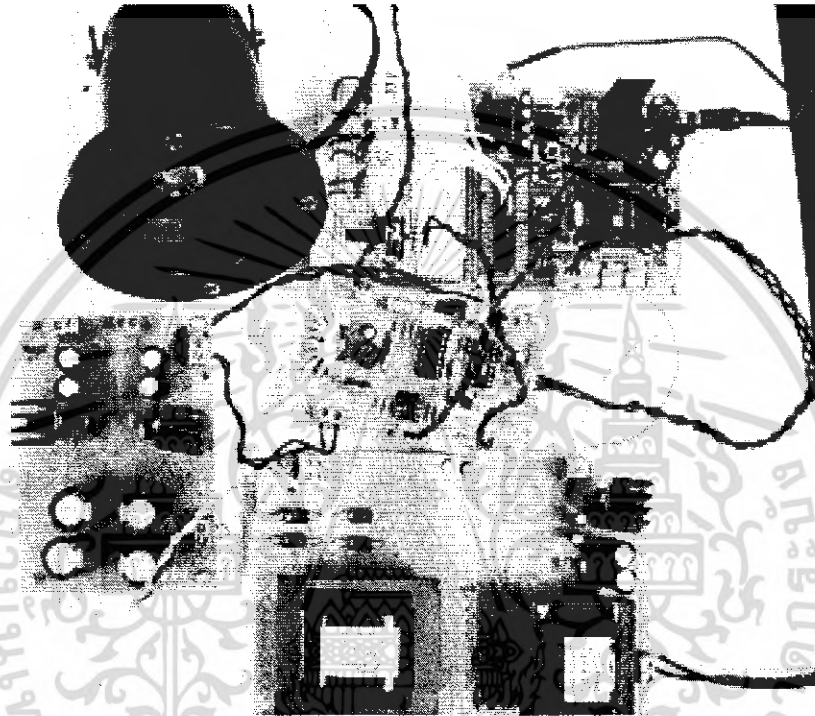
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

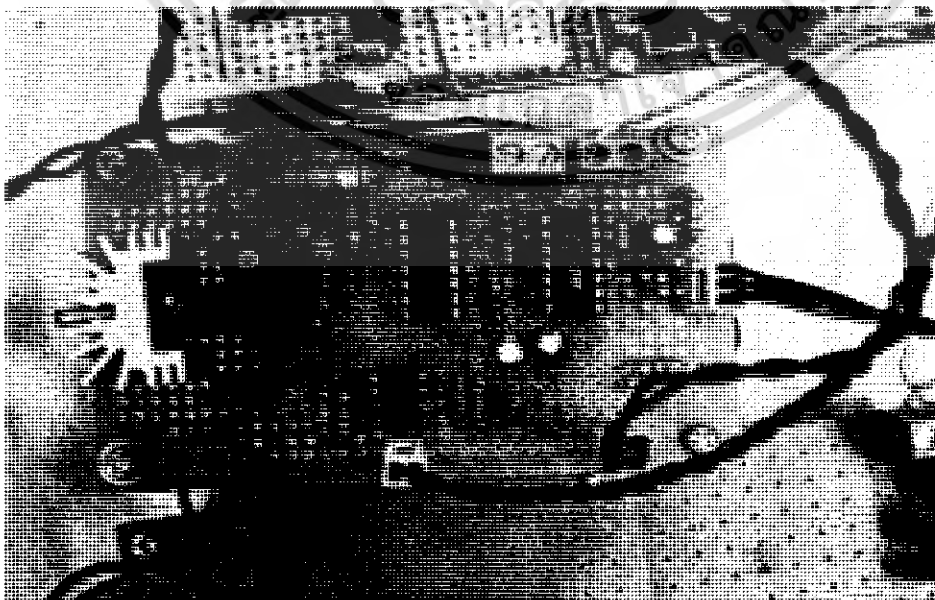
วงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. รูปวงจรอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในชุดที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม

- วงจรควบคุมการส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง แบบควบคุมกระแส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน

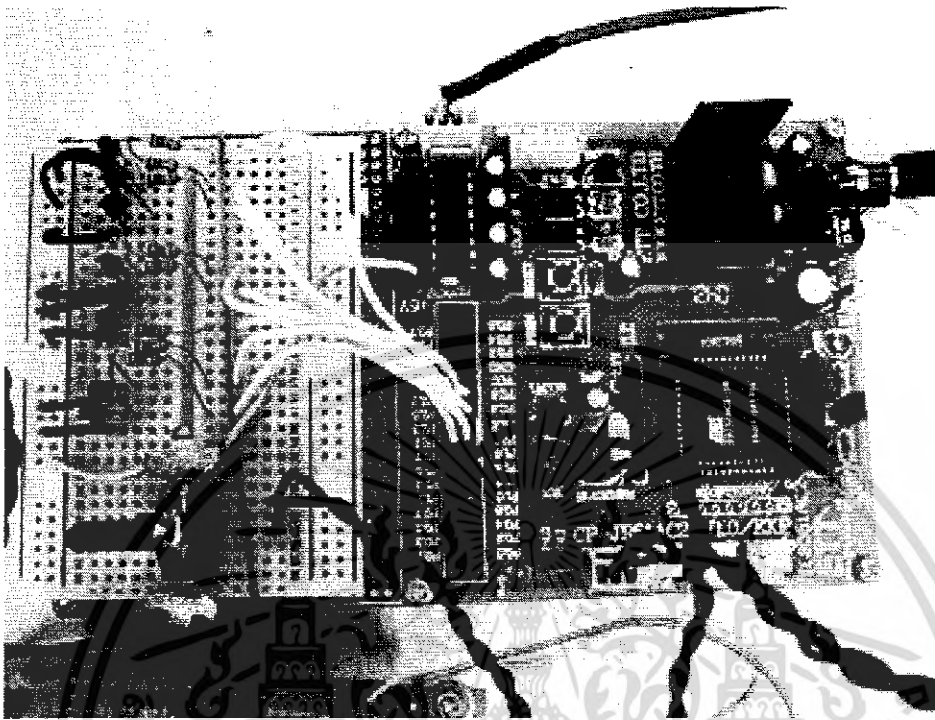


- วงจรควบคุมกระแสที่ใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

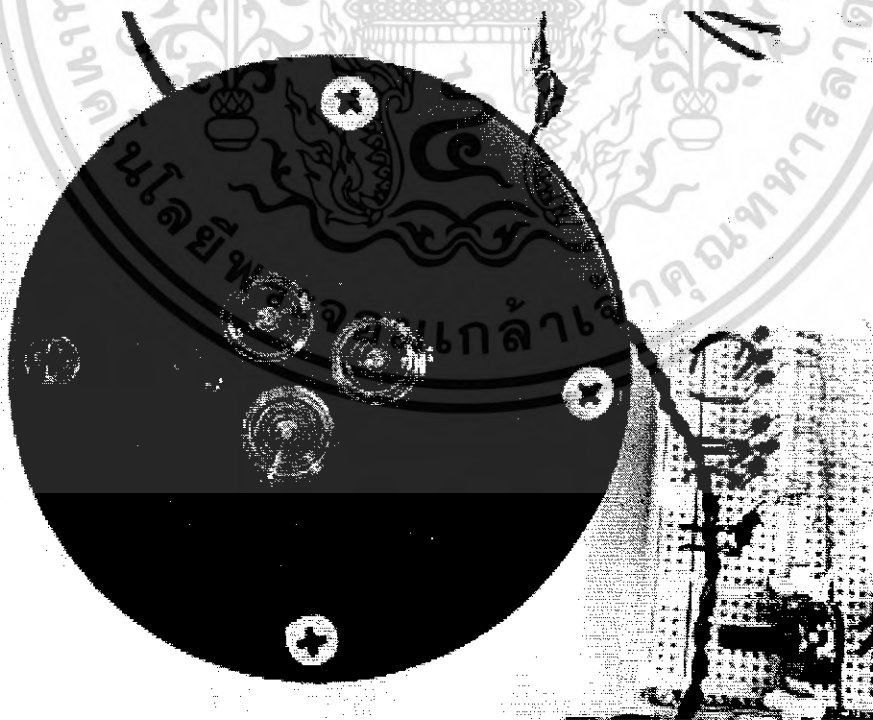


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-วงจรพอร์รับค่าภายนอกและชุดสร้างสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



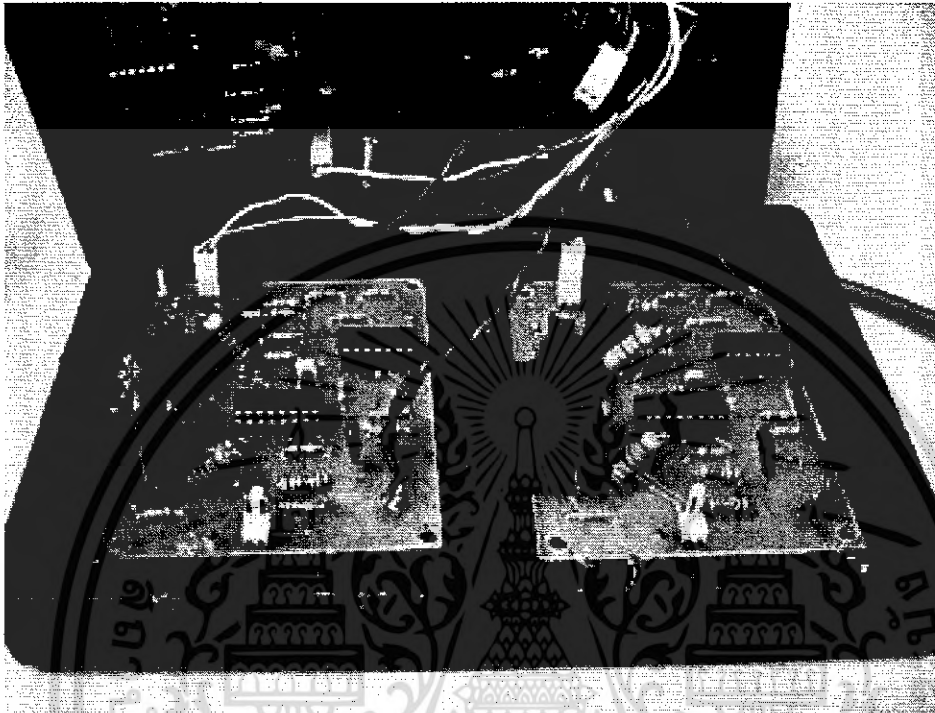
-ชุดโคมหลอด LED กำลังสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.รูปวงจรอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองในชุดที่ใช้ไอซี SG 3524 เป็นตัวควบคุม

-วงจรควบคุมการส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง ชนิดควบคุมกระแส แบบใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม

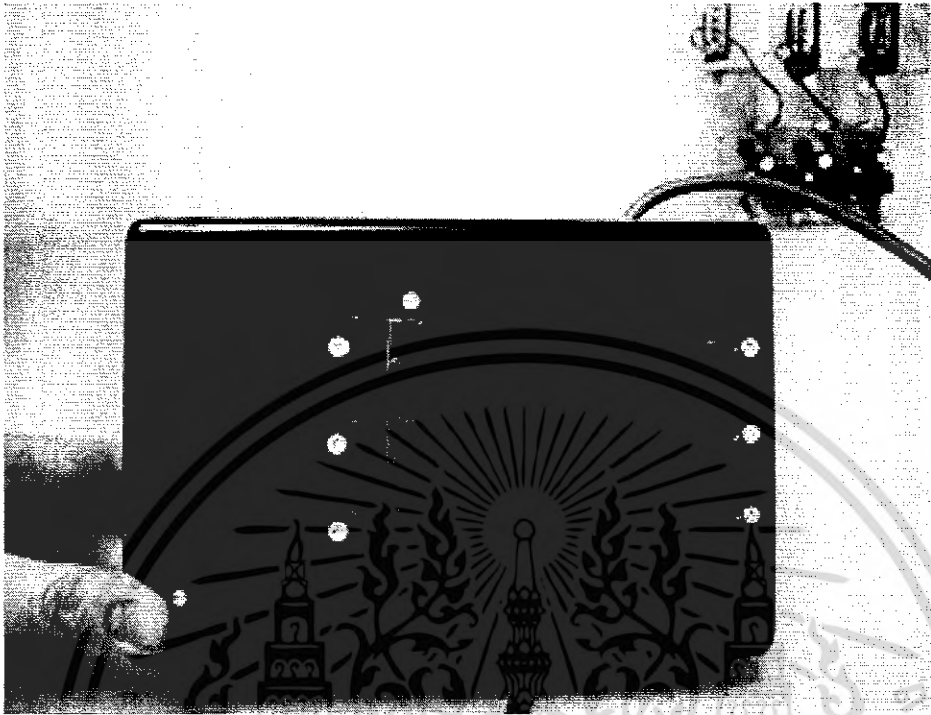


-วงจรควบคุมการส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง ชนิดควบคุมกระแส แบบใช้ไอซี SG 3524 ในการควบคุม ต่อเข้ากับพอร์ตรับค่าภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ทรับค่าของวงจรควบคุมกระแสที่ใช้ ไอซี SG 3524 ในการควบคุม



- ชุดโคมของหลอด LED กำลังสูง

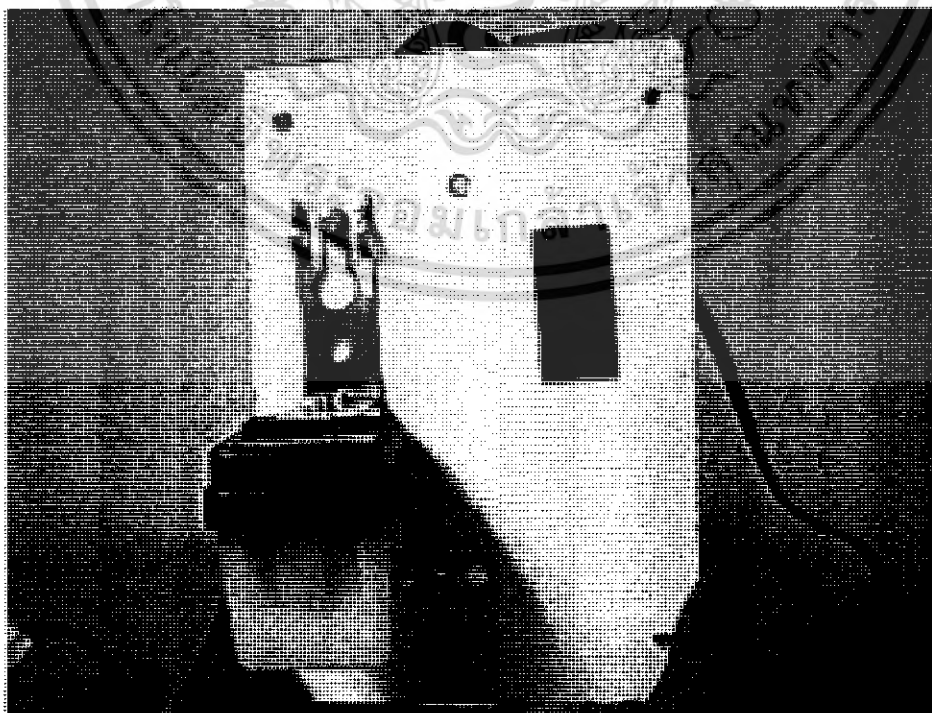


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรชุดหลอด LED กำลังสูง



- ชุดสวิตช์ตัดต่อวงจร ทำงานร่วมกับสวิตช์รีเลย์แบบใช้แสงกำหนดการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

โปรแกรมที่ใช้สั่งการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจรควบคุมการส่องสว่างของหลอด LED กำลังสูง ชนิดควบคุมกระแส

```
#include <REG52.H>

float INPUT_REF;
float INPUT_CUR;
float ERROR;
float DUTY;
float ICONT_O;
float PCONT ;
float ICONT;

int duty;
void dmsec(unsigned int count);
unsigned ADCON_STO;

main()
{
    TMOD = 2 ; //convert pwm
    TR0=1;
    CMOD=2;
    CCAPM0=66;
    CCAPM1=66;
    CCON=64;
    ADCON_STO = 0;
    ADCF = 0x3 ; // 0000 0011 adc
    ADCON = 32 ; //setb aden
    ICONT_O = 0;

    while (1)
    {
        ADCON = ADCON & 248 ; //CLR CH
        ADCON = ADCON | 0 ; //CH0 1.0
        ADCON = ADCON | 8 ; //CONVERT
        ADCON_STO = ADCON & 16 ; //CHK BIT 000'1'0000B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(ADCON_STO != 16)
{
    ADCON_STO = ADCON & 16;
}
ADCON = ADCON & 239;           //CLR BIT
INPUT_REF = ADDH;
ADCON = ADCON & 239;           //CLEAR BIT
ADCON_STO = 0;
ADCON = 32 ;                   //setb aden
ADCON = ADCON & 248 ;          //CLR CH
ADCON = ADCON | 1;             //SELECT CH1 P1.1
ADCON = ADCON | 8 ;           //CONVERT
ADCON_STO = ADCON & 16;
while (ADCON_STO != 16)
{
    ADCON_STO = ADCON & 16; //CHK BIT 4=1 CONVERT
}
ADCON = ADCON & 239 ;          //CLR BIT
INPUT_CUR = ADDH;              //FINISH
P2 = ~ADDH;
ERROR = INPUT_REF - INPUT_CUR;
PCONT = ERROR*0.5;
ICONT = ERROR*0.05;
ICONT_O = ICONT_O+ICONT;
DUTY = PCONT + ICONT_O;
duty = DUTY ;
if (duty > 250)
{
    duty = 250;
    ICONT_O = 250;}
else if (duty < 0)
{
    duty = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ICONT_O = 0 ;
    }
    CCAP0H = ~duty;
    CCAP1H = ~duty;
}
}
void dmsec(unsigned int count)
{
    unsigned char i;           //delay
    while (count)
    {
        for(i=1;i<113;i++);
        count--;
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้