

โคมไฟอัจฉริยะ
SMART LUMINAIRE

โดย

นางสาวกวีนิศา	เอกแก้ว
นายบัณฑิตณวัฒน์	เจตน์ม
นางสาวจิรัชตา	บุญพร้อม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2554

ปีการศึกษา 2554

โคมไฟอัจฉริยะ
Smart luminaire



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2554

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โคมไฟอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ

- 
1. นางสาววันวิสา เอกแก้ว
 2. นายธันณวัฒน์ เฉิดฉิม
 3. นางสาวจิรัชตา บุญพร้อม



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตนสัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์

นางสาววันวิสา เอกแก้ว
นายธันณวัฒน์ เฉิดฉิม
นางสาวจิรัชดา บุญพร้อม
รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้นำเสนอเกี่ยวกับการสร้างคอมพิวเตอร์โดยใช้หลอดแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งใช้วงจรระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแสเป็นวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยสามารถควบคุมความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 0% - 100% โดยการปรับเปลี่ยนกระแสขาออก นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ยังสามารถสื่อสารกับระบบควบคุมภายนอกเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน ปฏิญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการทำงานของวงจรระดับแรงดันในวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง แล้วทำการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM หลังจากนั้นทำการสร้างคอมพิวเตอร์ และทำการทดสอบสมรรถนะ

Smart luminaire

Wanvisa Ekkeaw

Thunnuwad Cherdchim

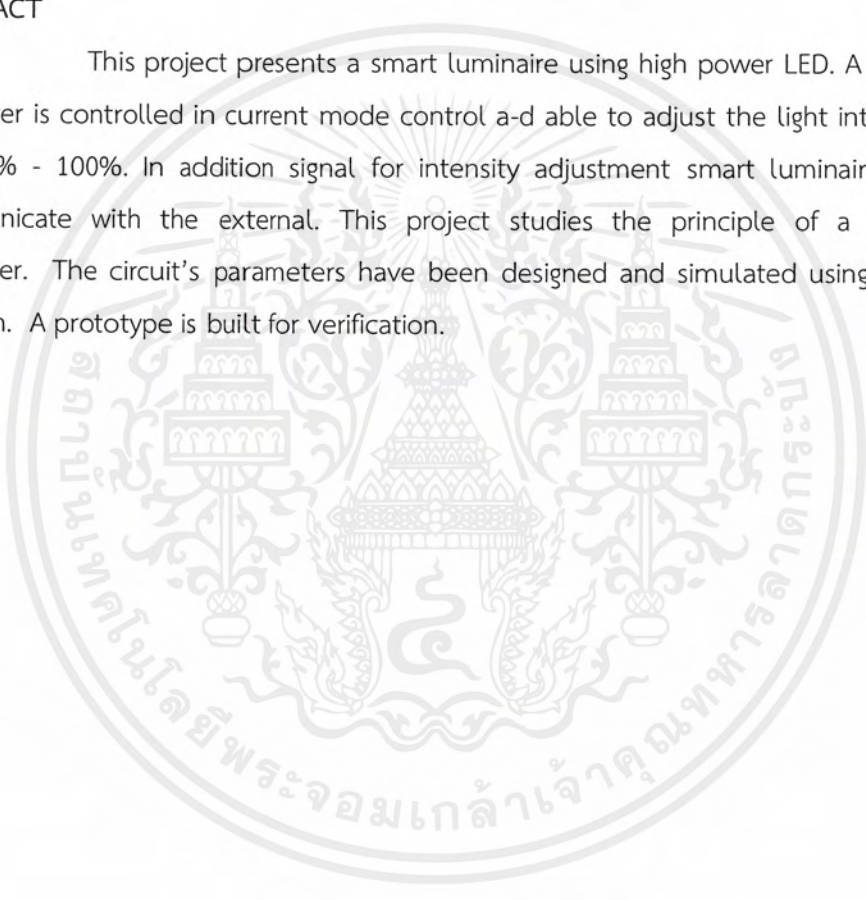
Jiratta Boonphrom

Assoc.Prof.Dr. Supat Kittiratsatcha Advisor

2011

ABSTRACT

This project presents a smart luminaire using high power LED. A boost converter is controlled in current mode control a-d able to adjust the light intensity from 0% - 100%. In addition signal for intensity adjustment smart luminaire can communicate with the external. This project studies the principle of a boost converter. The circuit's parameters have been designed and simulated using PSIM program. A prototype is built for verification.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาและความปรารถนาดีที่ รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา ได้ให้คำแนะนำต่างๆในการดำเนินงานเกี่ยวกับโครงการ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชา ที่ให้ความรู้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ โดยหากปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่ๆปริญญาโทในห้องปฏิบัติการ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา

ขอบคุณนายศุภกร จันทรประภา ที่เป็นกำลังใจและช่วยทำแผ่น PCB ตลอดจน บัดกรีและให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับวงจร

ขอบคุณนายวุฒินันท์ ฝาโสม ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์การทำฮาร์ดแวร์

ขอบคุณนายวิษณุพันธ์ ทองไสว ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการ เขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอบคุณนายวาณิช พรหมลธิ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านฮาร์ดแวร์

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องกราบขอพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจตลอดจนส่ง เสียเงินทองให้ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	1
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของหลอดแอลอีดี.....	4
2.1.1 นิยามไดโอดเปล่งแสง.....	4
2.1.2 ประเภทของไดโอดเปล่งแสง.....	4
2.1.3 โครงสร้างไดโอดเปล่งแสง.....	4
2.1.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของไดโอดเปล่งแสง.....	6
2.1.5 การนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งาน.....	8
2.1.6 หลอดแอลอีดีกำลังสูง.....	9
2.2 วงจรทระดับแรงดัน (Boost Converter).....	10
2.2.1 หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดัน.....	10
2.2.2 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทระดับแรงดัน.....	14
2.2.3 ค่าความพลัวของแรงดันไฟฟ้าขาออก.....	15
2.3 หลักการพื้นฐานในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ.....	15
2.3.1 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีผลคูณพื้นที่สำหรับแกนเฟอร์ไรต์.....	15
2.3.2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลีเฟอมาลอยด์.....	17
2.3.3 การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง.....	17
2.4 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรรอแปมป์.....	17
2.4.1 คุณสมบัติของออปแปมป์.....	18

2.4.2 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier).....	19
2.4.3 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier).....	20
2.5 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรสับเบอร์.....	20
บทที่ 3 การออกแบบ	
3.1 ภาพรวมของวงจรขับโหลดแอลอีดีกำลังสูง.....	22
3.2 การออกแบบวงจรทระดับแรงดัน.....	23
3.2.1 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ.....	23
3.2.2 การเลือกไอจีบีทีและไดโอดกำลัง.....	25
3.2.3 การเลือกตัวเก็บประจุ.....	25
3.3 การออกแบบวงจรตรวจจับกระแส.....	26
3.4 การออกแบบวงจรขับเกต.....	27
3.5 การออกแบบวงจรสับเบอร์.....	28
3.6 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	28
3.6.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	29
3.6.2 การสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม.....	30
3.7 การจำลองวงจรทระดับแรงดันด้วยโปรแกรม PSIM.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองจากการออกแบบสร้างวงจร	
4.1 ผลการทดลองวงจรทระดับแรงดัน.....	33
4.1.1 ผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A.....	33
4.1.2 ผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A.....	35
4.1.3 ผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A.....	37
4.1.4 ผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A.....	39
4.2 ประสิทธิภาพของวงจรทระดับแรงดัน.....	41
4.2.1 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A.....	41
4.2.2 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A.....	42
4.2.3 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A.....	42
4.2.4 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A.....	43
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	44
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	44
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างภายในของไดโอดเปล่งแสง.....	5
2.2 โครงสร้างภายในของชิพสารกึ่งตัวนำ.....	5
2.3 การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดและการทำงานของไดโอด.....	6
2.4 การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอดและการทำงานของไดโอด.....	7
2.5 กราฟระหว่างกระแสกับแรงดันของไดโอดเปล่งแสงเมื่อได้รับการไบอัส.....	8
2.6 การหาค่าความต้านทานเมื่อทราบค่าแรงดัน V_f และกระแส I_f	8
2.7 ลักษณะของหลอดแอลอีดีกำลังสูง.....	9
2.8 วงจรทบระดับแรงดัน.....	10
2.9 วงจรทบระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส.....	10
2.10 (ก)แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข)กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	11
2.11 วงจรทบระดับแรงดันขณะสวิตช์หยุดนำกระแส.....	12
2.12 สัญลักษณ์ออปแอมป์.....	18
2.13 วงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส (Inverting Amplifier).....	19
2.14 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier).....	20
2.15 วงจรสับเบอร์.....	21
3.1 ภาพรวมของวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง.....	22
3.2 วงจรภาคกำลังของวงจรทบระดับแรงดัน.....	23
3.3 วงจรตรวจจับกระแส.....	26
3.4 วงจรขับเคลื่อน.....	27
3.5 โครงสร้างวงจรการควบคุม.....	29
3.6 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	30
3.7 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม.....	31
3.8 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM	31
3.9 กระแสไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM.....	32
3.10 แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM.....	32
4.1 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A	33
4.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A	34
4.3 แรงดันตกคร่อมขาเกตและขาคอลเลคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A	34
4.4 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A	35
4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A	35
4.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A	36

4.7 แรงดันตกคร่อมขาเกตและชาคอลลอคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A	36
4.8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A.....	37
4.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A	37
4.10 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A	38
4.11 แรงดันตกคร่อมขาเกตและชาคอลลอคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A	38
4.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A	39
4.13 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A	39
4.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A	40
4.15 แรงดันตกคร่อมขาเกตและชาคอลลอคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A	40
4.16 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A.....	41



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดิฟเฟอเรนเชียล (D) กับ อัตราการขยายแรงดัน.....	13



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันนี้ถือได้ว่าเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ไปแล้ว เพื่อให้สามารถตอบสนองกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าอีกระบบที่ต้องให้ความสำคัญคือระบบแสงสว่าง เพราะสถานที่บางแห่งต้องการแสงสว่างตลอดเวลา เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน จึงได้มีการคิดโคมไฟอัจฉริยะขึ้น โดยโคมไฟนี้จะสามารถควบคุมความเข้มแสงได้โดยการปรับเปลี่ยนกระแสขาออก นอกจากนี้สามารถสื่อสารกับระบบควบคุมภายนอกเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน และโคมไฟอัจฉริยะนี้จะใช้หลอดแอลอีดีกำลังสูงแทนหลอดไฟแบบทั่วไป เพราะหลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งานและประหยัดไฟมากกว่าเมื่อใช้พลังงานเท่ากัน ซึ่งส่งผลให้ค่าบำรุงรักษาต่ำลง นอกจากนั้น หลอดแอลอีดียังปราศจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและสารปรอทจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้หลอดชนิดนี้กำลังจะเข้ามาแทนหลอดไฟแบบทั่วไปในอนาคตข้างหน้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแส
2. เพื่อออกแบบและสร้างโคมไฟอัจฉริยะโดยใช้วงจรระดับแรงดันในการขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาหลักการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูง
2. ศึกษาหลักการทำงานของวงจรระดับแรงดัน เพื่อใช้ในการขับนำแอลอีดีกำลังสูง
3. จำลองวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง โดยใช้โปรแกรม PSIM
4. สร้างวงจรขับหลอดแอลอีดี โดยใช้วงจรระดับแรงดัน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาชนิดและการทำงานของหลอดแอลอีดี
2. ศึกษาข้อมูลและการทำงานของวงจรระดับแรงดัน
3. ออกแบบวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง โดยการจำลองในโปรแกรม PSIM
4. สร้างวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยใช้วงจรระดับแรงดันเป็นตัวขับนำกระแส
5. เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมกระแสขาออกของวงจรระดับแรงดัน
6. ทดสอบสมรรถนะของโคมไฟอัจฉริยะ
7. ทำการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อ	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาข้อมูลของหลอดแอลอีดีที่ใช้	←→																																			
ศึกษาทฤษฎีของวงจรทบระดับแรงดัน	←→																																			
ออกแบบค่าพารามิเตอร์					←→																															
ทดลอง Simulation วงจรทบระดับแรงดันโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบมาในโปรแกรม PSIM							←→																													
จัดทำรายงานความคืบหน้าของโครงการ									←→																											
ศึกษาวิธีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้													←→																							
จัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ																	←→																			
เริ่มจัดทำวงจรตามทีออกแบบไว้																					←→															
ปรับปรุงและแก้ไขวงจรเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการ																									←→											
ตรวจสอบชิ้นงานก่อนนำเสนอ																													←→							
จัดทำรูปเล่ม																													←→							

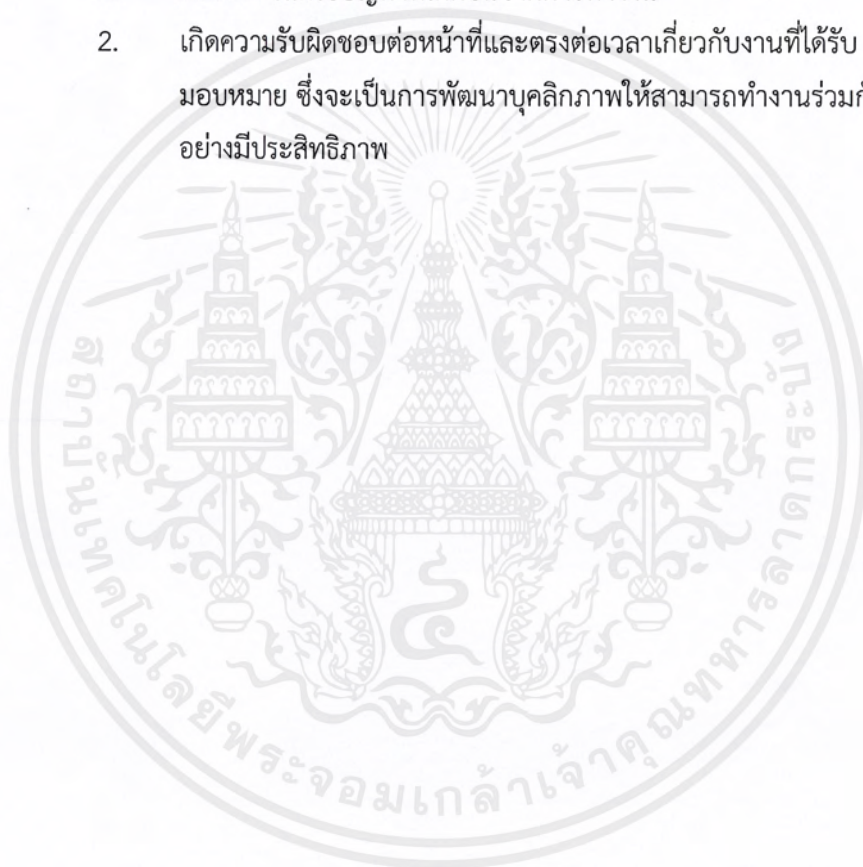
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ด้านวิชาการ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์จากการเรียนรู้ที่ผ่านมา ดังนี้

1. มีความเข้าใจคุณสมบัติของหลอดแอลอีดีกำลังสูง
2. มีความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับหลอดแอลอีดี
3. มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบวงจรควบคุมกระแสขาออก
4. สามารถสร้างวงจรขับหลอดแอลอีดีได้

ด้านสังคม และจริยธรรม ดังนี้

1. ฝึกฝนการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงาน
2. เกิดความรับผิดชอบต่อนหน้าที่และตรงต่อเวลาเกี่ยวกับงานที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งจะเป็นการพัฒนาบุคลิกภาพให้สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของหลอดแอลอีดี

2.1.1 นิยามไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงหรือที่เรียกว่า LED (Light-emitting diode) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงได้ ไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) ซึ่งมีโฮลเป็นพาหะข้างมากและชนิดเอ็น (N-type) ซึ่งมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมาก ต่อกันเป็นรอยต่อพีเอ็น (P-N junction) จะเปล่งแสงออกมาได้ก็ต่อเมื่อได้รับการไบอัสตรง (Forward Bias) โดยกระแสไบอัสตรงจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนและโฮลให้ข้ามรอยต่อพีเอ็นเพื่อมารวมตัวกัน ในการรวมตัวกันนี้จะปลดปล่อยพลังงานในรูปของโฟตอน (Photon) ซึ่งเป็นอนุภาคทางแสง โดยแสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างกับแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็นอันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่างๆกันมารวมกัน โดยแสงที่เปล่งออกมาจะอยู่ในย่านตั้งแต่อินฟราเรดขึ้นไปถึงอุลตราไวโอเลต

2.1.2 ประเภทของไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงโดยทั่วไป หากพิจารณาตามลักษณะแสงที่เปล่งออกมา สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ไดโอดเปล่งแสงชนิดสามารถมองเห็นได้ (Visible Light Emitting Diode) กับชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Infrared Light Emitting Diode)

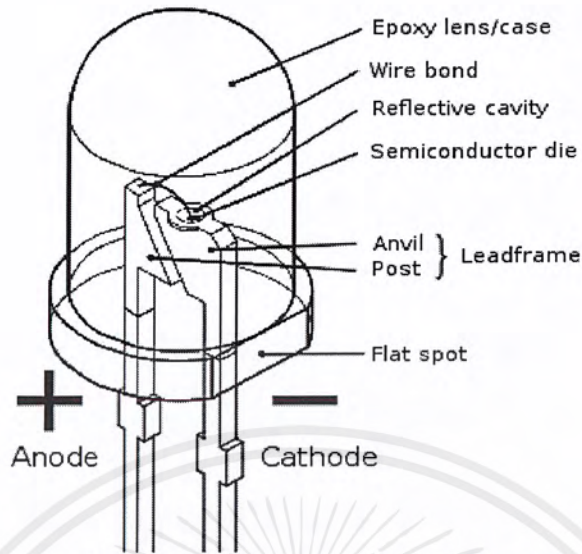
1. ไดโอดเปล่งแสงชนิดสามารถมองเห็นได้ คือ ไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สายตาค人可以มองเห็นได้ โดยความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งจากไดโอดจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ประกอบในสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำไดโอดและส่วนผสมของสารเจือปน

2. ไดโอดเปล่งแสงชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ คือ ไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงในย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 890 ถึง 900 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่สายตาค人ไม่สามารถมองเห็นได้ต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน

2.1.3 โครงสร้างไดโอดเปล่งแสง

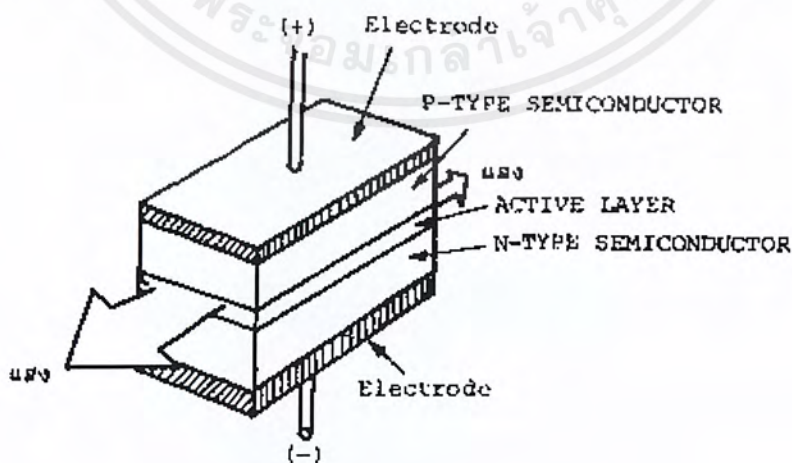
ไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วย

- ชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor chip)
- กรวยสะท้อนแสง (Reflector Cup)
- สลวดที่เชื่อมต่อกับชิปสารกึ่งตัวนำ (Bonding Wire)
- เลนส์ครอบบนอก (Epoxy Dome Lens)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของไดโอดเปล่งแสง

โครงสร้างที่เป็นหัวใจหลักของไดโอดเปล่งแสง คือ ชิฟสารกึ่งตัวนำ แสดงดังรูปที่ 2.2 ภายในชิฟจะมีสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นชั้นผิวที่มีอิเล็กตรอนส่วนเกิน ส่วนอีกชั้นผิวหนึ่งจะอยู่ด้านบนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่จุดต่อของชั้นผิวเอ็นและพีนั้นเรียกว่า ชั้นผิวทำงาน (Active region) ซึ่งแสงสว่างจะเปล่งออกมาจากจุดนี้เมื่อไดโอดเปล่งแสงได้รับการไบอัส แรงดันไฟฟ้าจะไปขับอิเล็กตรอนและโฮลเข้าไปในชั้นผิวทำงานให้ชั้นทั้งสองมาบรรจบกัน เมื่อบรรจบกันก็จะปล่อยโฟตอนออกมา และโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงจะถูกหุ้มไว้ด้วยเลนส์ที่ทำจากอีพอกซี เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับตัวชิฟที่อยู่ภายในและเป็นส่วนที่กรองเอาช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาแล้วยังช่วยกระจายแสงในทิศทางต่างๆด้วย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของชิฟสารกึ่งตัวนำ

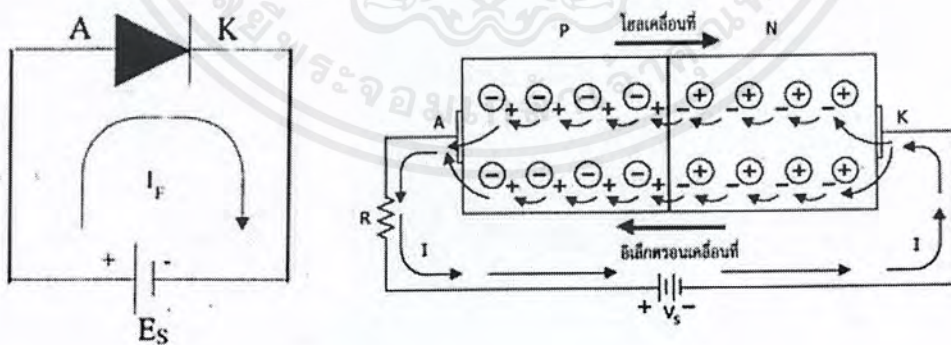
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของไดโอดเปล่งแสง

การจะนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งานจะต้องมีการจ่ายไบอัสหรือจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตัวไดโอดเปล่งแสง เพื่อให้ไดโอดเปล่งแสงนำกระแสและหยุดนำกระแส สามารถจ่ายไบอัสได้สองวิธีคือ ไบอัสตรง (Forward Bias) และไบอัสกลับ (Reverse Bias)

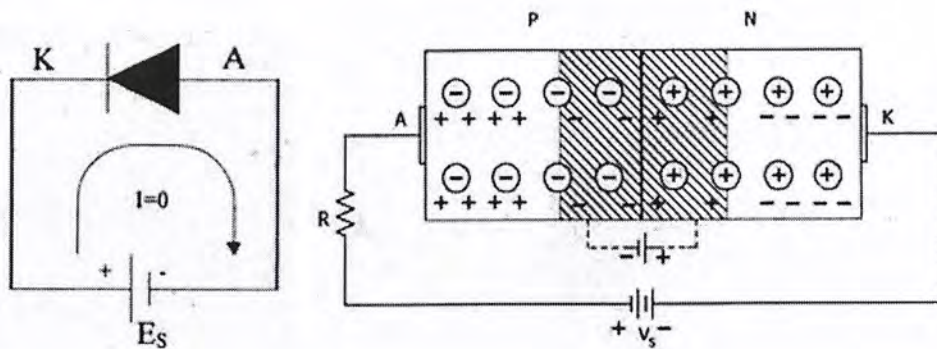
1. ไบอัสตรง (Forward Bias) สารกึ่งตัวนำชนิดพี ซึ่งมีโฮลเป็นพาหะข้างมากมาเชื่อมต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ซึ่งมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมาก (พาหะ คือ อิเล็กตรอนหรือโฮลที่เคลื่อนที่) จะทำให้อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเข้าไปหาโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีและก็เสมือนกับว่าโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อเข้าไปหาสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น การเคลื่อนที่ของพาหะส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณใกล้รอยต่อพีเอ็น ในบริเวณใกล้รอยต่อนี้จะเป็นบริเวณปลอดพาหะเพราะมีแต่โฮลกับอิเล็กตรอนเท่านั้น ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น สนามไฟฟ้านี้จะต้านการเคลื่อนที่ของพาหะส่วนใหญ่ของสารกึ่งตัวนำทั้งสองไม่ให้เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ เรียกสภาวะนี้ว่าสภาวะสมดุล

เมื่อไดโอดเปล่งแสงได้รับไบอัสตรง แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยต่อสัปดาห์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้ากับขาคะโนดและต่อสัปดาห์กับขาคะโทด ไฟลจะไปผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิดเอ็นให้เคลื่อนที่ได้ ในเวลาเดียวกันไฟลวกที่จ่ายให้สารชนิดพีจะดึงดูดอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่เข้ามาหา และจะผลักโฮลให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารชนิดพีเข้าสู่สัปดาห์ไฟลวกของแหล่งจ่าย และเคลื่อนที่ผ่านแหล่งจ่ายไปยังขาคะโทด ของสารชนิดเอ็นเกิดกระแสไหลผ่านไดโอด แรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ไดโอดจะต้องจ่ายแรงดันไบอัสมากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ตรงรอยต่อค่าแรงดันนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ผลิตไดโอด ดังนั้นการจ่ายแรงดันไบอัสตรงจะต้องจ่ายให้มากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมรอยต่อ



รูปที่ 2.3 การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดและการทำงานของไดโอด

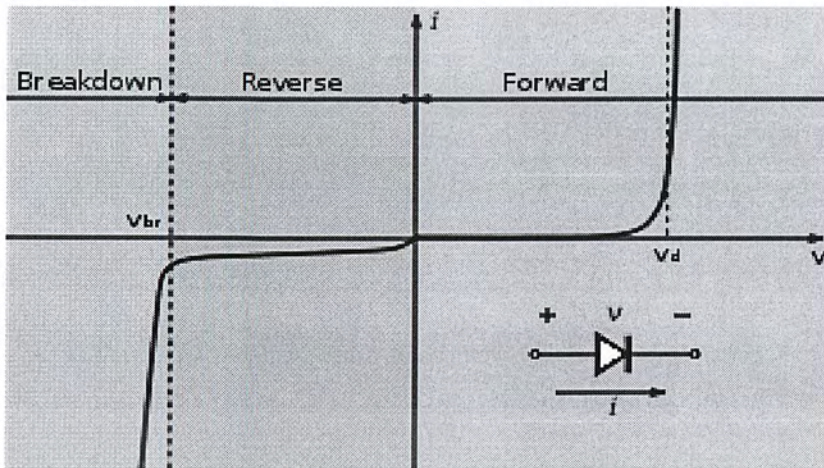
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอดและการทำงานของไดโอด

2. ไบอัสกลับ (Reverse Bias) ไบอัสกลับหรือเรียกว่า รีเวิร์ส แสดงดังรูปที่ 2.4 เป็นการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับไดโอดเปล่งแสงแบบกลับขั้วคือจ่ายศักย์ไฟบวกให้สารชนิดเอ็นจ่ายศักย์ไฟลบให้สารชนิดพีจะมีผลให้เกิดการทำงานคือ ศักย์ไฟบวกที่จ่ายให้ขาแคโทดจะดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิดเอ็นเคลื่อนตัวออกห่างรอยต่อส่วนศักย์ไฟลบที่จ่ายให้ขาแอนโอดจะดึงโฮลจากสารชนิดพีเคลื่อนตัวออกห่างรอยต่อเช่นกันทำให้อิเล็กตรอนวิ่งไม่ครบวงจร ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวไดโอด แต่อาจจะมีการรั่วไหล (Leakage Current) บ้างเล็กน้อย การไบอัสกลับเมื่อจ่ายแรงดันสูงมากๆและจ่ายเป็นระยะเวลานานก็จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงเสียหาย

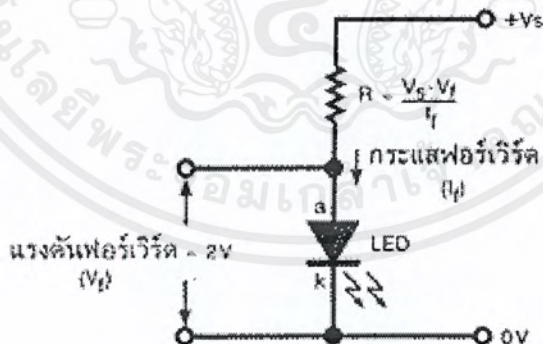
จากกราฟรูปที่ 2.5 เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสตรงกับไดโอดในช่วงเริ่มแรกไดโอดจะยังไม่นำกระแสเพราะแรงดันไบอัสตรงยังไม่สามารถทำลายศักย์ไฟฟ้าตรงรอยต่อพีเอ็นได้ เราต้องให้แรงดันไฟฟ้าไบอัสตรงกับไดโอดจนถึงค่าแรงดันคัทอิน (Cutin Voltage) จึงจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าตรงรอยต่อพีเอ็นลดลงซึ่งจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้ ในทำนองเดียวกันเมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับให้ไดโอด จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร มีเพียงกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยไหลผ่านไดโอดซึ่งกระแสดังกล่าวมีจำนวนน้อยมากเป็นไมโครแอมป์เปรียบได้ว่าขณะไดโอดได้รับไบอัสกลับ จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอด หรือไม่นำกระแสนั่นเอง แต่ถ้าเพิ่มแรงดันไบอัสกลับ ให้สูงมากขึ้นจนถึงค่าแรงดันหนึ่งเรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) ซึ่งไดโอดจะนำกระแสได้ ในสภาวะนี้รอยต่อพีเอ็นของไดโอดจะทะลุและมีกระแสไหลผ่านรอยต่อพีเอ็นจำนวนมาก ในการใช้งานทั่วไปจะไม่ยอมให้แรงดันไบอัสกลับแก่ไดโอดเกินกว่าค่าแรงดันพังทลายของไดโอด



รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างกระแสกับแรงดันของไดโอดเปล่งแสงเมื่อได้รับการไบอัส

2.1.5 การนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งาน

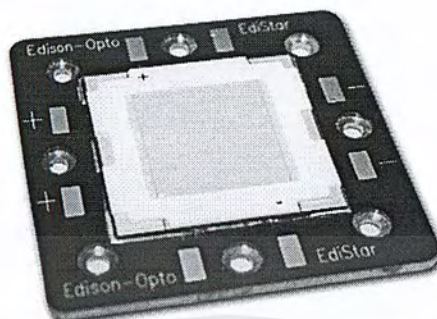
ในการนำไดโอดเปล่งแสงไปใช้งาน จะต้องต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสอนุกรมเข้ากับไดโอดเปล่งแสงด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้ไดโอดเปล่งแสงเสียหาย รูปที่ 2.6 แสดงการหาค่าตัวต้านทาน (R) เพื่อให้ได้กระแสที่พอเหมาะแก่ไดโอดเปล่งแสง โดยตัวต้านทานจะต่อที่ขั้วแคโทดหรือแอโนดของไดโอดเปล่งแสงก็ได้ ความสว่างของไดโอดเปล่งแสงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน โดยทั่ว ๆ ไปไดโอดเปล่งแสงจะสามารถทนกระแสได้สูงสุดประมาณไม่เกิน 30-40 มิลลิแอมป์



รูปที่ 2.6 การหาค่าความต้านทานเมื่อทราบค่าแรงดัน V_f และกระแส I_f

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 หลอดแอลอีดีกำลังสูง



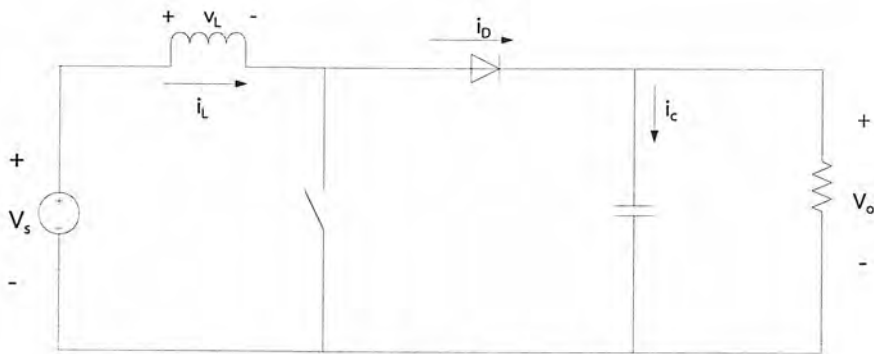
รูปที่ 2.7 ลักษณะของหลอดแอลอีดีกำลังสูง

หลอดแอลอีดีกำลังสูงมีวิวัฒนาการมาจากหลอดแอลอีดีซึ่งหลอดแอลอีดีกำลังสูงสามารถนำมาใช้แทนหลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดฮาโลเจน หรือหลอดไฟชนิดอื่นที่ใช้กับงานที่ต้องการความสว่างสูง เช่น ไฟถนน โคมไฟส่องสว่างสำหรับป้ายโฆษณาหรือสนามกีฬาขนาดเล็ก และไฟตกแต่งสถานที่ต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากหลอดแอลอีดีกำลังสูงมีข้อดีหลายประการ ดังนี้

1. มีประสิทธิภาพในการให้ความสว่างสูงเมื่อเทียบกับหลอดเผาไส้
2. อายุการใช้งานยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง หรือ 11 ปี เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอายุใช้งาน 30,000 ชั่วโมง หรือหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดที่มีอายุใช้งานเพียง 1,000-2,000 ชั่วโมงเท่านั้น
3. มีความทนทานต่อการสั่นสะเทือนมากกว่า ไม่เปราะบางเหมือนกับหลอดเผาไส้หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ บางครั้งแม้ถูกทุบตีอย่างแรง ก็ยังสามารถใช้งานได้
4. ขณะใช้งานปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้การระบายความร้อนของโคมไฟทำได้มีประสิทธิภาพ สามารถจับต้องได้โดยไม่ร้อน
5. ทำงานที่ไฟฟ้ากระแสตรงระดับแรงดันต่ำ
6. ไม่มีการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต ปราศจากปรอทและสารกลุ่มฮาโลเจนที่เป็นพิษ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
7. มีแสงหลายสีและปรับหรือแสงได้ง่าย
8. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรทบทระดับแรงดัน (Boost Converter)



รูปที่ 2.8 วงจรทบทระดับแรงดัน

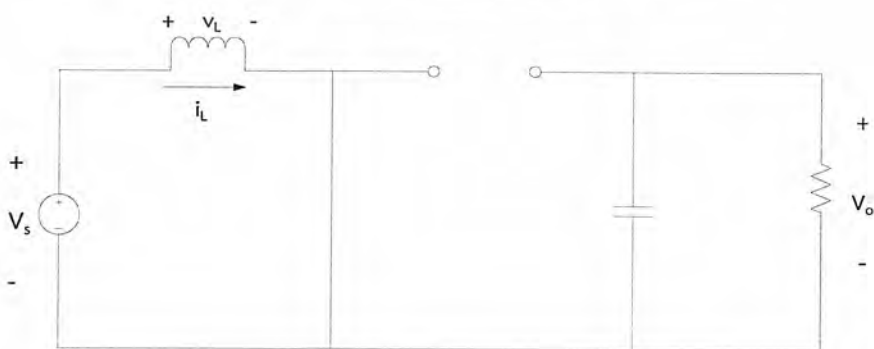
วงจรทบทระดับแรงดัน คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกจะสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าเงื่อนไขการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านขาเข้า เท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านขาออก

2.2.1 หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน

หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันเพื่อให้แรงดันขาออกมีค่าที่ต้องการจะเริ่มต้นที่ข้อกำหนดคือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด

1. ขณะสวิตช์นำกระแส จากรูปที่ 2.9 เมื่อสวิตช์นำกระแส กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำประจุพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้างดสมการที่ 2.1-2.3



รูปที่ 2.9 วงจรทบทระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-V_s + V_L = 0 \quad (2.1)$$

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.2)$$

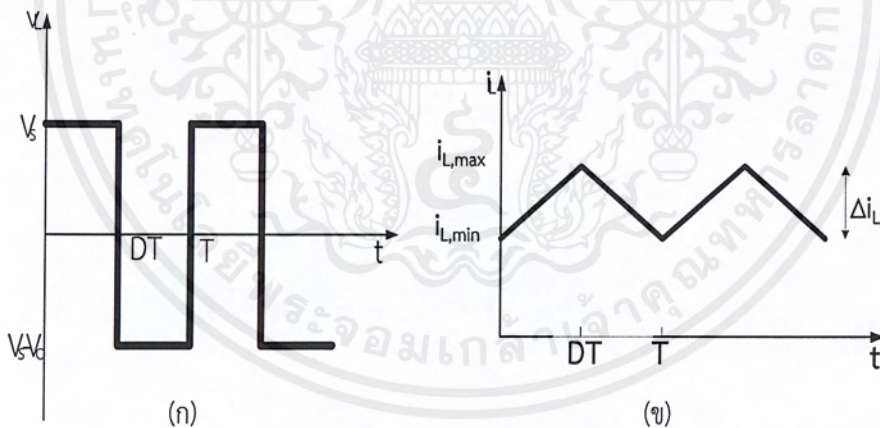
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.3)$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่า การเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.4)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.5)$$

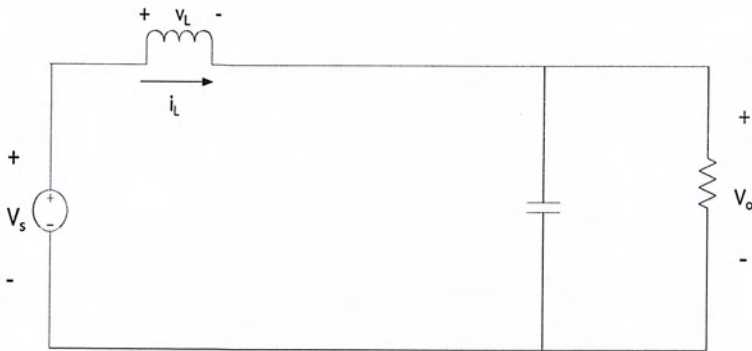
$\Delta i_{L,on}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.10 (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.11 วงจรทระดับแรงดันขณะสวิตช์หยุดนำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ตัวเหนี่ยวนำจะคืนพลังงาน ผ่านทางไดโอดและโหลด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.6)$$

$$v_L = V_s - V_o \quad (2.7)$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.8)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.9)$$

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคงที่ และถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.10)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.12)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0 \quad (2.13)$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0 \quad (2.14)$$

$$V_s - V_o(1-D) = 0 \quad (2.15)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (2.16)$$

จากสมการ $\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$ สามารถนำไปหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันขาเข้ากับ

แรงดันขาออกซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับแรงดันด้านขาออกขึ้นอยู่กับค่าตัวชี้โวลเทจ (Duty Cycle:D) โดยหากปรับค่าตัวชี้โวลเทจเป็นค่าต่างๆจะได้อัตราการขยายแรงดันขาออกดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวชี้โวลเทจ (D) กับ อัตราการขยายแรงดัน

Duty Ratio (D)	อัตราการขยายแรงดัน (V_o/V_s)
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	Infinity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทระดับแรงดัน

สมมติการสูญเสียภายในวงจรทระดับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.17)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.18)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.19)$$

เมื่อ

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.20)$$

$$V_s I_L = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} \quad (2.21)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.22)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดขณะสวิตช์นำกระแส หาได้จากสมการที่ 2.23

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s D T}{L} \quad (2.23)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด คือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.24)$$

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{L,\min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.26)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก ดังนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กสุด ที่ทำให้วงจรทบระดับแรงดันทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่องจากสมการ 2.26

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.27)$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.28)$$

2.2.3 ค่าความพลั่วของแรงดันไฟฟ้าขาออก

การเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะสามารถทำให้แรงดันด้านขาออกมีค่าคงที่ หรือสัญญาณมีความเรียบมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มากๆ ได้ เนื่องจากมีราคาแพงและต้องใช้พื้นที่มาก จึงต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม โดยที่ค่าความพลั่วของแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยใช้สมการ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.29)$$

2.3 หลักการพื้นฐานในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

นิยามสำหรับตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าคือ อุปกรณ์แม่เหล็กที่ทำหน้าที่ในการเก็บสะสมและคายพลังงานไฟฟ้าและด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้ตัวเหนี่ยวนำสามารถนำมาใช้เป็นตัวกรองกระแสไฟฟ้าได้

2.3.1 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีผลคูณพื้นที่สำหรับแกนเฟอร์ไรต์

กรณีของตัวเหนี่ยวนำเส้นแรงแม่เหล็กในแกนแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับค่ากระแส เมื่อกระแสไหลที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้นก็อาจมีผลทำให้แกนแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวซึ่งจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำในแกนแม่เหล็กมีค่าลดลงและสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ผลของการที่อุปกรณ์แม่เหล็กเกิดการอิ่มตัว อาจจะทำให้วงจรดังกล่าวทำงานในโหมด

กระแสไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง ซึ่งการทำงานในโหมดดังกล่าวจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจำเป็นที่จะต้องระบุค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด การออกแบบตัวเหนี่ยวนำสามารถทำได้ดังนี้

-คำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ โดยใช้กฎของฟาราเดย์ $[e=L(di / dt)]$

-ผลคูณพื้นที่ (a_p) หาได้จากพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ

$$E = \frac{1}{2} LI_L^2 \quad (2.30)$$

โดยพื้นที่ในการพันขดลวดจะต้องเหมาะสมกับจำนวนรอบ (N) และพื้นที่หน้าตัด (A) ดังนี้

$$K_w A_w = N a \quad (2.31)$$

แทนค่า $a = \frac{I}{J}$ จะได้

$$K_w A_w = N \frac{I}{J} \quad (2.32)$$

เนื่องจากนิยาม crest factor: K_c จะได้ว่า

$$K_c = \frac{I_m}{I} \quad (2.33)$$

แทนค่า (2.33) ลงใน (2.32) จะได้

$$K_w K_c A_w J = N I_m \quad (2.34)$$

จากกฎของฟาราเดย์

$$L I_m = N A_c B_m \quad (2.35)$$

แทนค่า (2.35) ลงใน (2.34) จะได้

$$E = \frac{1}{2} N I_m A_c B_m \quad (2.36)$$

แทนค่า I_m ลงใน (2.33) จะได้

$$A_p = A_w A_c = \frac{2E}{K_w K_c J B_m} \quad (2.37)$$

-จำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ สามารถหาได้จาก

$$N = \frac{L I_m}{A_c B_m} \quad (2.38)$$

-ขนาดของเส้นลวดตัวนำ หาได้จาก

$$a = \frac{I}{J} \quad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลีเพอมาลอยด์

แกนแม่เหล็กชนิดนี้เกิดจากเพอมาลอยด์เป็นส่วนผลม ซึ่งสารเพอมาลอยด์จะมีกราฟ คุณสมบัติของควมหนาแน่นต่อควมเข้มสนามแม่เหล็กใกล้เคียงอุดมคติคือ เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ค่าควมเข้มขาบแม่เหล็กและควมหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุตมีค่าสูง แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลีเพอมาลอยด์จะมีค่าควมขาบขีมลดลงจากโลหะเพอมาลอยด์เพราะเกิดจากการแยกองค์ประกอบของเพอมาลอยด์ ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนซึ่งจะทำให้เกิดช่องอากาศกระจายอยู่ภายในแกน และด้วยช่องอากาศที่กระจายอยู่ภายในแกนดังกล่าวทำให้ผงโลหะอัดเพอมาลอยด์สามารถใช้ได้ดีกับไฟฟ้ากระแสตรง

คุณสมบัติเด่นของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลีเพอมาลอยด์คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนมีค่าต่ำมากและสะสมพลังงานได้สูง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังควมถี่สูง

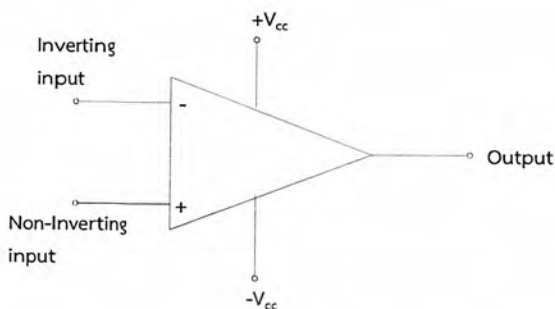
2.3.3 การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง

เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากปรากฏการณ์ทางผิว (Skin effect) นิยมใช้ตัวนำทองแดงจำนวนหลายๆเส้น โดยที่แต่ละเส้นจะเคลือบฉนวนแยกออกจากกันและตีเกลียวรวมกันหรือขนาบกันจนได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับตัวนำทองแดงแบนตัน เรียกสายดังกล่าวว่า เส้นลวดตีขนาบ (Litz wire) นอกจากนี้การใช้เส้นลวดตีขนาบยังสามารถลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วได้อีกด้วย แต่เส้นลวดตีขนาบจะสามารถใช้ได้เมื่อควมถี่ใช้งานมีค่าต่ำกว่า 500 kHz เท่านั้น เพราะที่ควมถี่สูงกว่า 500 kHz ผลของตัวเก็บประจุแฝงจะทำให้เส้นลวดตีขนาบดังกล่าวมีประสิทธิภาพน้อยลง

2.4 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรรอแอมป์

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง โดยจะถูกผลิตอยู่ในรูปของวงจรรวม (Integrated Circuit) หรือที่เรียกสั้นๆว่า ไอซี ในปัจจุบันออปแอมป์ได้รับความนิยมในการใช้งานมาก เนื่องจากวงจรมันจะใช้อุปกรณ์ภายนอกต่อร่วมน้อยมากจุดประสงค์ในการสร้างออปแอมป์คือต้องการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอัตราควมขยายสูงและสามารถใช้ขยายแรงดันได้ทั้งไฟตรงและไฟสลับโดยที่ออปแอมป์มาจากคำว่า “Operational Amplifier” หมายถึง เป็นอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการทำงานทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Operation) เช่น การบวก, การลบ, การคูณหรือการหาร เป็นต้น ในปัจจุบันเราสามารถขยายขอบเขตการใช้งานออปแอมป์ไปใช้งานด้านอื่น เช่น วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรรักษาแรงดัน, วงจรรองควมถี่, วงจรกำเนิดสัญญาณ, วงจรตั้งเวลา และอื่นๆ อีกมากมาย

2.4.1 คุณสมบัติของออปแอมป์



รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นวงจรรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราการขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรรขยายที่ต่อเนื่องกันคือ วงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลด้านทางเข้า วงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลภาคที่สอง วงจรเลื่อนระดับและ วงจรรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีทั่วไปคือ ไอซีออปแอมป์มีขาอินพุต 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขาบวกและขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขาลบส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณทางด้านเข้า

คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

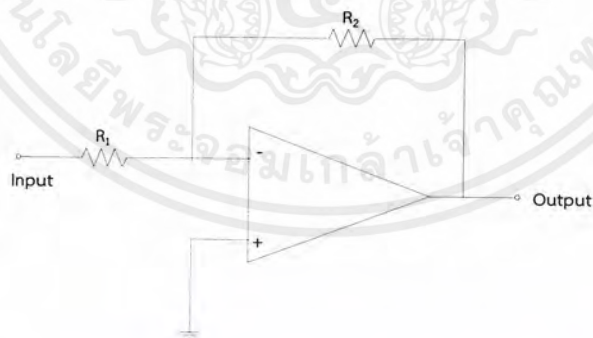
1. อัตราขยายมีค่าสูงมากเป็นอนันต์หรือ อินฟินิตี้ ($A_v = \infty$)
2. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($Z_i = \infty$)
3. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากเท่ากับศูนย์ ($Z_o = 0$)
4. ความกว้างของแบนด์วิท (Bandwidth) ในการขยายสูงมาก ($BW = \infty$)
5. สามารถขยายสัญญาณได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC
6. การทำงานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เมื่อศึกษาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้วพบว่า ออปแอมป์ได้รวมข้อดีของ วงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอนันต์และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งไฟ กระแสสลับและไฟกระแสตรง การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราขยายก็สามารถ กระทำได้โดยการป้อนกลับ (Feed Back) เพื่อมาลดอัตราขยายลง และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ อิมพีแดนซ์ทางอินพุตมีอิมพีแดนซ์สูงมาก จึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสอินพุตไหลเลยลักษณะเช่นนี้จึง ทำให้วงจรทางอินพุตไม่ไหลดวงจรส่งกำลังในส่วนหน้า เช่นเดียวกันที่เอาท์พุทมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ สามารถนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้ดี

2.4.2 วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

ในวงจรขยายออปแอมป์นั้นสามารถที่จะกำหนดอัตราขยายของวงจรได้โดยการ ใช้วงจรเนกาทีฟฟีดแบ็ค (Negative Feedback) เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางขากลับเฟส(ขาลบ) แรงดันด้านทางออกจะมีมุมเฟสต่างไปจากแรงดันทางเข้า 180 องศา ซึ่งมีลักษณะตรงข้ามสัญญาณ ตรงกันข้ามนี้จะถูกป้อนกลับผ่าน R_2 เข้ามายังขาอินเวอร์ตอีกครึ่งหนึ่ง ตรงจุดนี้จะทำให้สัญญาณเกิดการหักล้างกันอัตราขยายก็จะลดลง ถ้าตัวต้านทานที่เป็นตัวป้อนกลับมีค่ามากจะทำให้สัญญาณ ป้อนกลับมีขนาดเล็กอัตราขยายออกจึงสูง ถ้าตัวต้านทานที่ป้อนกลับมีค่าน้อยสัญญาณป้อนกลับ ไปได้มากอัตราขยายก็จะลดลง ฉะนั้นอัตราส่วนของความต้านทาน R_1 และ R_2 จะเป็นตัวกำหนด อัตราขยายของวงจรโดยไม่ขึ้นกับอัตราขยายของออปแอมป์ ซึ่งสามารถหาอัตราขยาย แรงดันได้จากสูตร

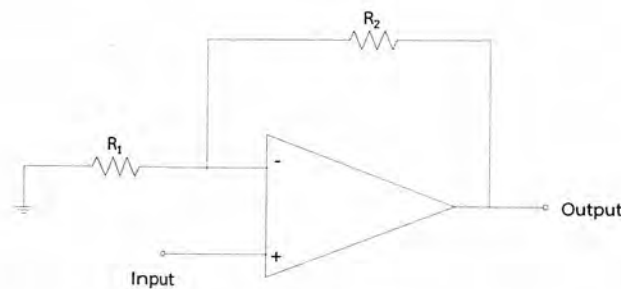
$$A_v = \frac{-R_2}{R_1} \quad (2.40)$$



รูปที่ 2.13 วงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)



รูปที่ 2.14 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier)

วงจรขยายนี้เป็นวงจรขยายอีกแบบหนึ่งที่ต้องการเฟสในการขยายเป็นเฟสเดียวกัน ดังนั้นการป้อนสัญญาณอินพุตจึงต้องป้อนเข้าที่ขาอินพุตไม่กลับเฟส (ขาบวก) ซึ่งเมื่อขยายออกที่เอาต์พุตแล้วจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสเหมือนเดิม ดังนั้นในวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสนี้การป้อนกลับเพื่อลดอัตราขยายจึงยังคงต้องป้อนไปยังขาอินเวอร์ตติ้ง (ขาลบ) เพื่อให้เกิดการหักล้างของสัญญาณกันภายในตัวไอซีออปแอมป์ โดยสามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จากสูตร

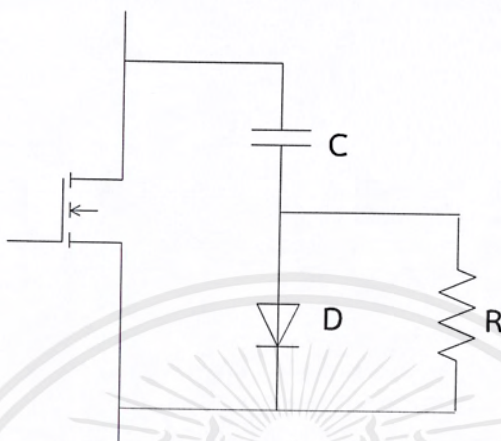
$$A_v = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (2.41)$$

2.5 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรสแน็บเบอร์

วงจรสแน็บเบอร์เป็นส่วนที่เพิ่มเข้ามาในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า เพื่อลดกำลังสูญเสีย ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์สวิตชิงโดยลดความเครียดในอุปกรณ์สวิตชิงขณะเริ่มนำกระแสจากผลของ di/dt และขณะเริ่มหยุดนำกระแสจากผลของ dv/dt วงจรสแน็บเบอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและไดโอด ในบางครั้งอาจเรียกว่า วงจร RCD สแน็บเบอร์

จากการที่การสูญเสียกำลังที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์สวิตชิง มักจะสูญเสียในขณะที่เปลี่ยนสถานะการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากก่อนที่สวิตช์จะหยุดนำกระแสนั้นกระแสจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นสู่ค่าแรงดันขาเข้าอย่างรวดเร็ว จึงมีพลังงานบางส่วนที่สูญเสียไปในรูปความร้อน เพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวสามารถทำได้โดยการต่อวงจรสแน็บเบอร์เข้ากับตัวสวิตช์เพื่อควบคุมให้แรงดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านตัวสวิตช์ลดลงได้ทันกัน การทำงานของวงจรสแน็บเบอร์จากรูปที่ 2.15 เมื่อสวิตช์เริ่มหยุดนำกระแส แรงดันตกคร่อมสวิตช์จะมีค่าสูงขึ้นทำให้มีกระแสบางส่วนไหลผ่านตัวเก็บประจุ C และไดโอด D ของวงจรสแน็บเบอร์ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุนี้จะทำให้แรงดันตกคร่อมสวิตช์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นถ้าตัวเก็บประจุมีค่ามากพอการเพิ่มขึ้นของแรงดันตกคร่อม

สวิตช์ในขณะที่สวิตช์หยุดนำกระแสจะถูกหน่วงออกไป เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ค่อยๆ ลดลง และสามารถลดกำลังสูญเสียในตัวสวิตช์ได้ ขณะที่สวิตช์เริ่มนำกระแสใหม่อีกครั้งตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่านตัวตัวต้านทานทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุลดลงสามารถทำงานได้ใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 2.15 วงจรสับเบอร์

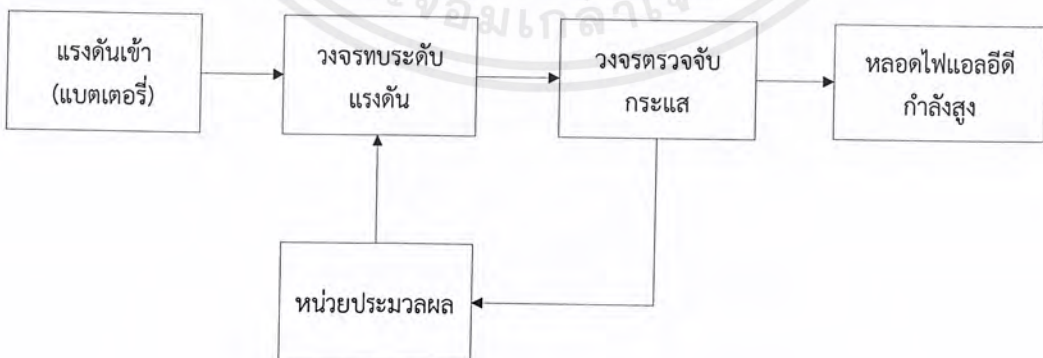
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบ

3.1 ภาพรวมของวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง

วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงด้วยวงจรทระดับแรงดันซึ่งสามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าขาออกให้คงที่ตามค่าที่กำหนดไว้ได้ หลักการทำงานของวงจรถังรูปที่ 3.1 วงจรทระดับแรงดันรับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 12V โดยใช้วงจรถวจจับกระแสเพื่อตรวจจับกระแสไฟฟ้าขาออกไปยังแอลอีดีว่ามีค่าเท่าไรและทำการป้อนกลับค่ากระแสนั้นมายังหน่วยประมวลซึ่งหน่วยประมวลผลจะมีหน้าที่ตรวจสอบว่าค่ากระแสไฟฟ้าขาออกนั้นมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าเท่าก็จะคงค่าดิวิต์ไซเคิลของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่ใช้ขับสวิตซ์ไว้ที่ค่านั้น แต่ถ้าไม่เท่าต้องตรวจสอบอีกว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า หากกระแสไฟฟ้าขาออกนั้นมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ต้องลดค่าดิวิต์ไซเคิลของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มลงเพื่อให้สวิตซ์ทำงานน้อยลงกระแสไฟฟ้าขาออกก็จะมีค่าลดลง และถ้าค่ากระแสไฟฟ้าขาออกนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ต้องเพิ่มค่าดิวิต์ไซเคิลของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มให้มากขึ้น เพื่อให้สวิตซ์ทำงานนานขึ้นกระแสไฟฟ้าขาออกก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น การทำงานของหน่วยประมวลผลเช่นนี้ทำให้สามารถรักษาค่ากระแสไฟฟ้าขาออกของวงจรถระดับแรงดันให้คงที่ได้

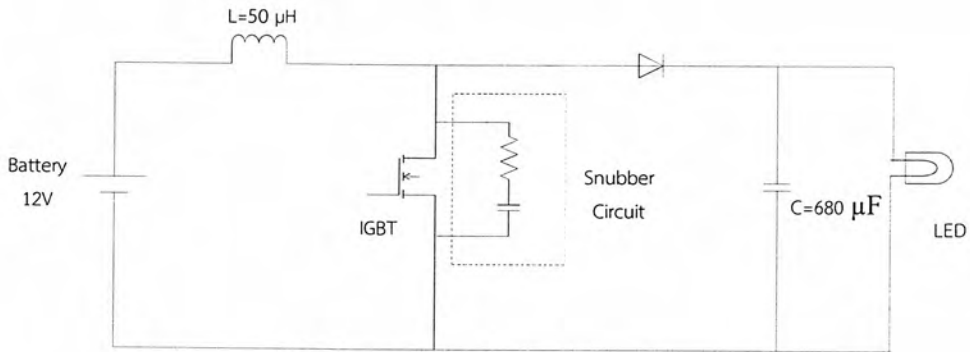
การออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยเลือกใช้อุปกรณ์ในส่วนวงจรถระดับแรงดัน วงจรถวจจับกระแสและวงจรถไฟเลี้ยง หน่วยประมวลผลซึ่งใช้ควบคุมการทำงานของวงจรถระดับแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ TMS320F28027 ในการออกแบบโครงสร้างทางซอฟต์แวร์ ประกอบด้วยโปรแกรมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและโปรแกรมการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของวงจรถขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรทระดับแรงดัน



รูปที่ 3.2 วงจรภาคกำลังของวงจรทระดับแรงดัน

วงจรถูกกำลังของวงจรทระดับแรงดันดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรมีดังนี้ แรงดันขาเข้าจากแบตเตอรี่ 12 Vdc, แรงดันขาออกที่พิกัดของหลอดแอลอีดี 27.2 Vdc, กระแสไฟฟ้าขาออกที่พิกัด (I_o) 2.4 A, ความถี่สวิตช์ (f_s) 20 kHz, คาบของการสวิตช์ (T_s) 50 μ s, สามารถหาตัวชี้เซลล์ ได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$

แทนค่า

$$\frac{27.2}{12} = \frac{1}{1-D}$$

$$D = 0.558$$

หา R_{load} จาก

$$R_{load} = \frac{V_o}{I_o} = \frac{27.2}{2.45} = 11.102 \Omega$$

3.2.1 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

คำนวณหาขนาดของตัวเหนี่ยวนำเล็กสุดของวงจรทระดับแรงดัน (L_{min})ได้จากสูตร

$$L_{min} = \frac{V_o D (1-D)^2}{2I_o f}$$

$$L_{min} = \left[\frac{(27.2)(0.558)(1-0.558)^2}{(2)(2.45)(20 \times 10^3)} \right]$$

$$L_{min} = 30.26 [\mu H]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเลือกตัวเหนี่ยวนำขนาด $50 \mu\text{H}$ ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในโครงการนี้เลือกใช้แกนชนิดแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดโมลีเพอมาลอยด์ พันด้วยลวดทองแดงอบน้ำยาจำนวนหลายเส้นที่เกลียวรวมกัน สามารถคำนวณหาขนาดของแกนแม่เหล็กได้จาก

-พลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำ(E) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} L I_{L(\max)}^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-6} \times 6.7^2 \\ &= 1.122 \times 10^{-3} \text{ (watt sec)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

กำหนดให้ $B_m = 0.3$

$K_u = 0.4$

$K_j = 403$

$$\begin{aligned} A_p &= \left(\frac{2(\text{Energy}) \times 10^4}{B_m \times K_u \times K_j} \right)^{1.14} \\ &= \left(\frac{2 \times 1.122 \times 10^{-3} \times 10^4}{0.3 \times 0.4 \times 403} \right)^{1.14} \\ A_p &= 0.417 \text{ cm}^4 \end{aligned} \quad (3.2)$$

จากตารางในภาคผนวก เลือก core = 55059 เลือกค่า $A_p = 0.46$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้

-จำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ (N)

$$\begin{aligned} N &= 1000 \sqrt{\frac{L}{L_{1000}}} \\ N &= 1000 \sqrt{\frac{50 \times 10^{-3}}{43}} \\ N &= 34 \text{ turns} \end{aligned} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ความหนาแน่นของกระแส

$$\begin{aligned} J &= K_j A_p^{-0.12} \\ &= (403)(0.46)^{-0.12} \\ &= 442.358 \text{ [A/cm]} \end{aligned} \quad (3.4)$$

-การเลือกขนาดของเส้นลวดทองแดง หาขนาดของเส้นลวดทองแดง (A_w) จาก

$$\begin{aligned} A_w &= \frac{I}{J} \\ &= \frac{6.7}{442.358} \\ &= 0.015 \text{ [cm}^2\text{]} \end{aligned} \quad (3.5)$$

จากตารางในภาคผนวก เลือกขนาดเส้นลวดทองแดง AWG No.25

3.2.2 การเลือกไอจีบีทีและไดโอดกำลัง

การพิจารณาเลือกไอจีบีที เนื่องจากไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์ที่นำข้อดีของบีเจทีและมอสเฟตมารวมกันทำให้สามารถทนกระแสได้สูง มีความเร็วในการสวิตช์สูงแต่ไม่เท่ามอสเฟตซึ่งในวงจรระดับแรงดันนี้มีความถี่สวิตช์ 20 kHz ซึ่งอยู่ในย่านการทำงานของไอจีบีที พิจารณากระแสตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (I_L) จาก

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

โดยช่วงที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$; $D = 0.558$, $L = 50 \mu\text{H}$

$$I_L = \frac{V_L dt}{L}$$

$$I_L = \frac{12 \times 2.79 \times 10^{-5}}{50 \times 10^{-6}}$$

$$I_L = 6.7 \text{ A}$$

เลือกไอจีบีทีเบอร์ HGTG30N60C3D จากบริษัท FAIRCHILD SEMICONDUCTOR พิกัดแรงดัน 600 V พิกัดกระแส 63 A และสามารถเลือกไดโอดกำลังได้จากค่ากระแสตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำสูงสุด เลือกไดโอดกำลังเบอร์ RURG3060 จากบริษัท FAIRCHILD SEMICONDUCTOR พิกัดแรงดัน 600 V พิกัดกระแส 30 A

3.2.3 การเลือกตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดค่าความพลัวของแรงดันขาออกหรือสัญญาณขาออกมีความเรียบมากขึ้นนั่นเอง ดังนั้นขนาดของตัวเก็บประจุต้องมากพอที่จะทำให้ค่าความพลัวของแรงดันขาออกอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (1%) พิจารณาเลือกค่าตัวเก็บประจุ 680 μF

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf}$$

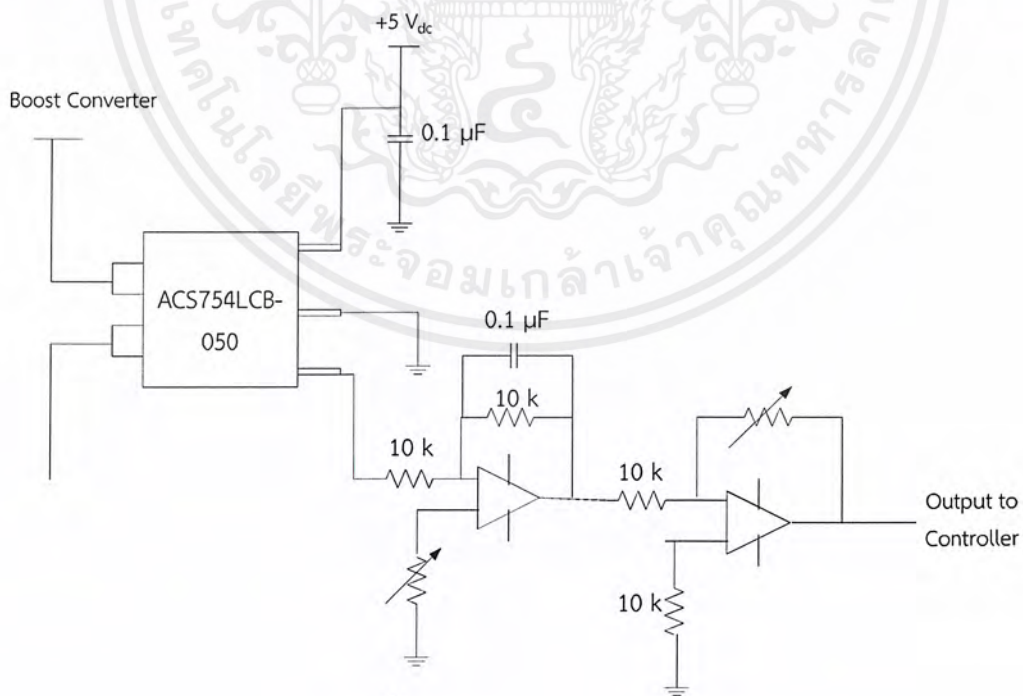
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{0.558}{11.102 \times 680 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 3.7 \times 10^{-3}$$

จากการคำนวณค่าตัวเก็บประจุ 680 μF มีเปอร์เซ็นต์ค่าความพลัวของแรงดันขาออกอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพราะฉะนั้นเลือกค่าตัวเก็บประจุ 680 μF ชนิดอิเล็กโทรไลต์

3.3 การออกแบบวงจรตรวจจับกระแส

ในการตรวจจับกระแสขาออกของวงจรทระดับแรงดันเลือกใช้อิซีเบอร์ ACS754LCB-050 ของบริษัท Allegro ซึ่งใช้หลักการของ hall effect สัญญาณขาออกของเซนเซอร์อยู่ในรูปของแรงดันโดยที่เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านจะได้แรงดันขาออกอยู่ที่ 2.5 V (แรงดันออฟเซต) และค่าเซนซีทีฟของเซนเซอร์อยู่ที่ 40 mV/A เพราะฉะนั้นเพื่อให้แรงดันขาออกมีค่าที่เหมาะสมกับหน่วยประมวลผล จึงต้องนำแรงดันขาออกมาผ่านวงจรออปแอมป์ชนิดกลับเฟสเพื่อปรับแรงดันออฟเซตจาก 2.5 V เป็น 0 V และนำมาผ่านวงจรออปแอมป์ชนิดกลับเฟสอีกครั้งเพื่อขยายขนาดของสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0-3 V



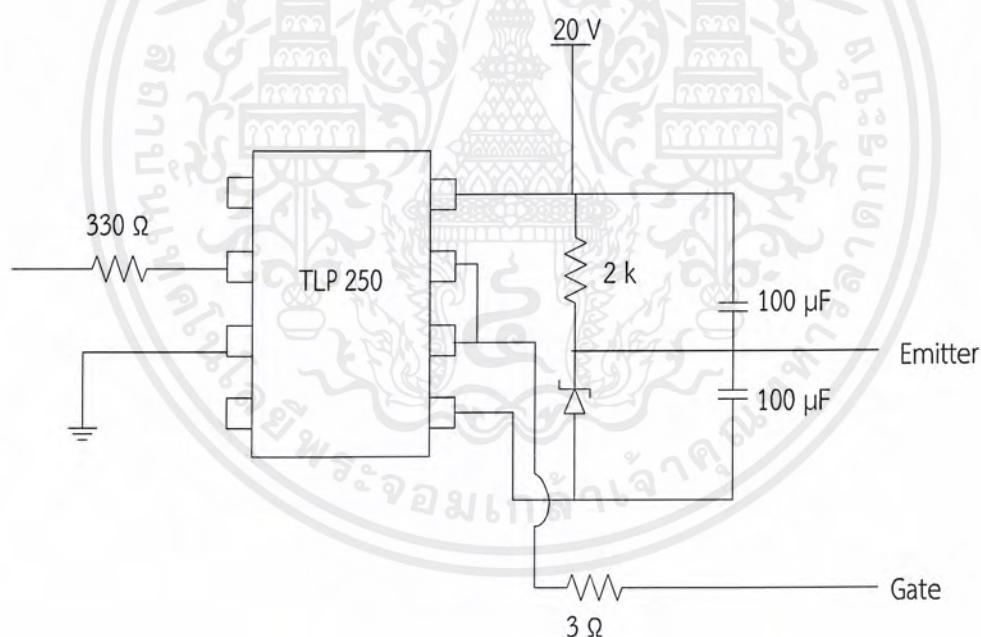
รูปที่ 3.3 วงจรตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

วงจรขับเคลื่อนนั้นได้เลือกใช้ตัวขับเคลื่อนของ Toshiba เบอร์ TLP 250 เป็นวงจรขับเคลื่อนสำหรับไอจีบีทีกำลัง ไอจีบีทีกำลังเป็นสวิตช์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน ทำให้ง่ายต่อการควบคุมให้เริ่มนำกระแสหรือเริ่มหยุดนำกระแส

สัญญาณที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม สัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังวงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อนด้วยไอซีสร้างสัญญาณขับเคลื่อนเบอร์ TLP 250 เพื่อควบคุมการทำงานของไอจีบีที โดยสัญญาณด้านเข้าเป็นสัญญาณที่มีขนาดแรงดัน 0 ถึง 3 V สัญญาณนี้ถูกส่งเข้าไปไบอัสให้หลอดแอลอีดีใน TLP 250 นำกระแส โดยมีความต้านทาน R_1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสในการไบอัส เมื่อหลอดแอลอีดีนำกระแสทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทางด้านขาออกของ TLP 250 นำกระแส แรงดันที่ขา 7 ของ TLP 250 เทียบกับกราวด์ เท่ากับ 20 V เมื่อแรงดัน V_{GE} มีค่าเป็นบวกสามารถทำให้ไอจีบีทีนำกระแสได้ ส่วนในกรณีที่แรงดันขาเข้าน้อยกว่า 0.7 V หลอดแอลอีดีภายใน TLP 250 หยุดนำกระแสส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทางด้านขาออกของ TLP 250 หยุดนำกระแสเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.4 วงจรขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบวงจรสับเบอร์

จากรูปที่ 3.2 วงจรสับเบอร์ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุและตัวต้านทานเนื่องจาก ไอจีบีทีที่เลือกใช้นั้นมีไดโอดอยู่ภายในแล้ว พิจารณาเลือกขนาดตัวเก็บประจุจาก

$$C = \frac{I_L t_f}{2V_s} \quad (3.6)$$

เมื่อ t_f คือ ช่วงเวลาที่ไอจีบีทีเริ่มหยุดนำกระแส จากข้อมูลของไอจีบีที HGTG30N60C3D มีค่า $t_f = 320$ ns และ $I_L = 6.7$ A ที่ดิวิตซ์ไอเคิลเท่ากับ 0.558 จะได้

$$C = \frac{6.7 \times 320 \times 10^{-9}}{2 \times 12}$$

$$C = 0.0893 \mu\text{F}$$

พิจารณาค่าเลือกขนาดตัวต้านทานจาก

$$R < \frac{t_{on}}{5C} \quad (3.7)$$

เมื่อ t_{on} คือ ช่วงเวลานำกระแสของไอจีบีทีที่ดิวิตซ์ไอเคิล 55.8% มีค่าเท่ากับ 27.9 μs จะได้

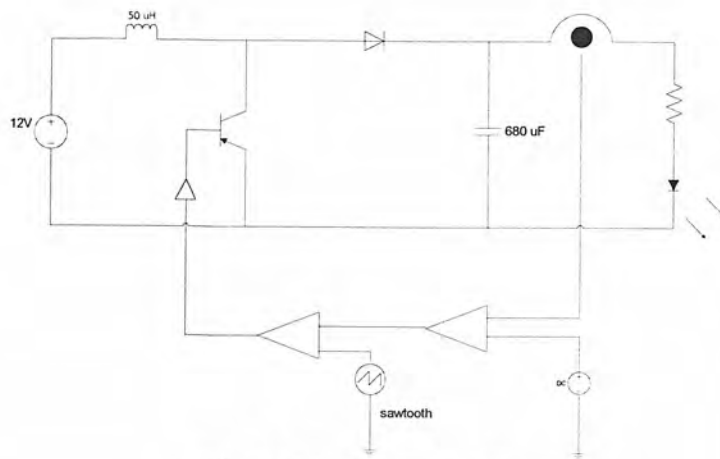
$$R < \frac{27.9 \times 10^{-6}}{5 \times 0.0893 \times 10^{-6}}$$

$$R < 62.5 \Omega$$

จากการคำนวณเลือกตัวเก็บประจุชนิดไม่ว่าค่าความจุ 0.1 μF และตัวต้านทานชนิดเซรามิกขนาด 30 Ω

3.6 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมการควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ TMS320F28027 ในการควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีกำลังสูง โดยเริ่มจากการรับค่ากระแสของระบบมาแปลงค่าจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบค่ากับสัญญาณอ้างอิงและนำสัญญาณขาออกไปตัดกับค่าสัญญาณที่สร้างขึ้นเพื่อสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่ดิวิตซ์ไอเคิลต่างๆ เพื่อไปขับไอจีบีทีให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าขาออกตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.5 โครงสร้างวงจรการควบคุม

3.6.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

Analog to Digital conversion (ADC) คือระบบการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีค่าเท่ากับสัญญาณอนาลอกนั้นๆ

Resolution คือการเปลี่ยนแปลงค่าที่น้อยที่สุดของแรงดันที่สามารถตรวจจับได้โดยระบบ และจะถูกแสดงเป็น Digital Code ซึ่ง Resolution คือจำนวนของ Digital Code ทั้งหมด
Resolution = n bit

Quantization Level คือค่าระดับทั้งหมดของจำนวนค่าอนาลอก

$$\text{Quantization Level} = 2^n$$

Quantization Step คือจำนวนขั้นระหว่าง Quantization Level ทั้งหมด

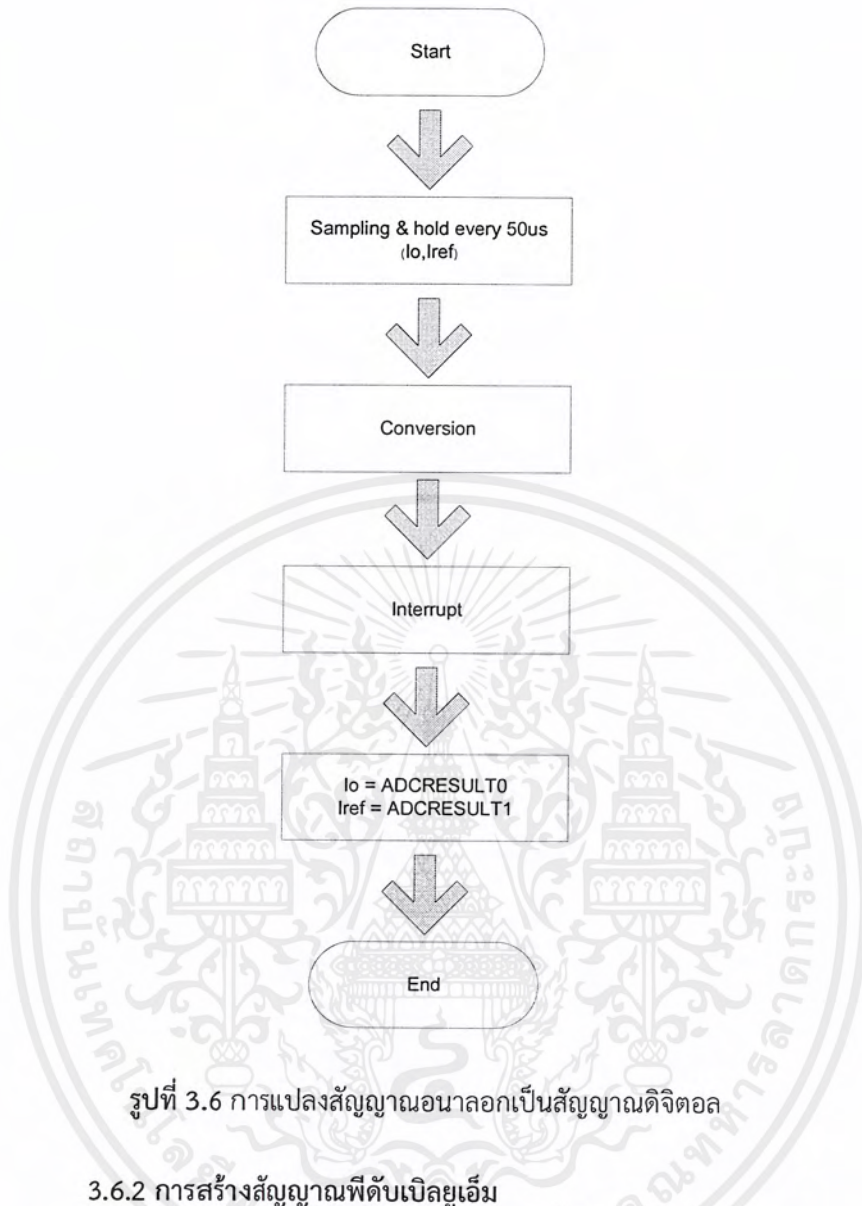
$$\text{Quantization step} = 2^n - 1$$

Voltage Resolution คือค่าแรงดันในแต่ละช่วงของ Step

$$\text{Voltage} = \frac{\text{Full Scale Voltage}}{2^n - 1}$$

โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีความละเอียด 12 บิต ประกอบด้วย อินพุต 16 ช่อง โดยแบ่งเป็นช่อง A 8 ช่อง คือ ADCINA0 - ADCINA7 และช่อง B 8 ช่อง คือ ADCINB0 - ADCINB7 รีจิสเตอร์สำหรับเก็บค่าสัญญาณดิจิทัลมีทั้งสิ้น 16 ตัว คือ ADCRESULT0 - ADCRESULT15 ซึ่งในโครงงานนี้ใช้เพียง 2 ช่องสัญญาณ คือ ADCINA2 ใช้สำหรับแปลงค่าสัญญาณกระแสอ้างอิงและเก็บค่าไว้ในตัวแปล ADCRESULT1 และ ADCINA4 ใช้ในการแปลงสัญญาณกระแสขาออกและเก็บค่าไว้ในตัว ADCRESULT0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

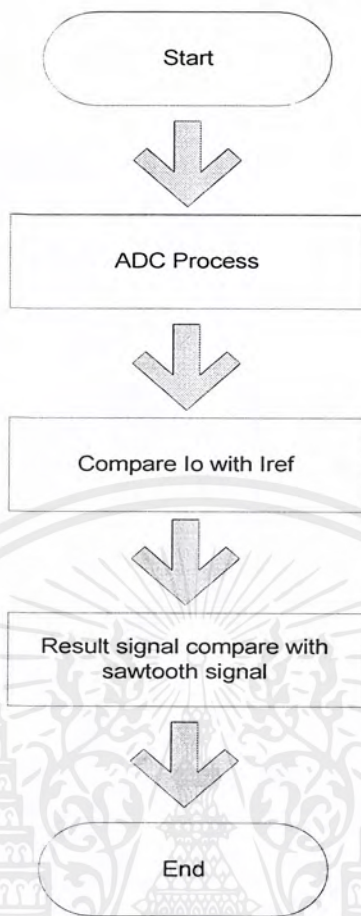


รูปที่ 3.6 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

3.6.2 การสร้างสัญญาณพีดีบีเบิลยูเอ็ม

PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation ซึ่งถ้าจะแปลให้เข้าใจง่ายๆ มันก็คือ การปรับความกว้างของพัลส์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน และ สองสัญญาณที่ว่านี้ก็คือสัญญาณ "สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์

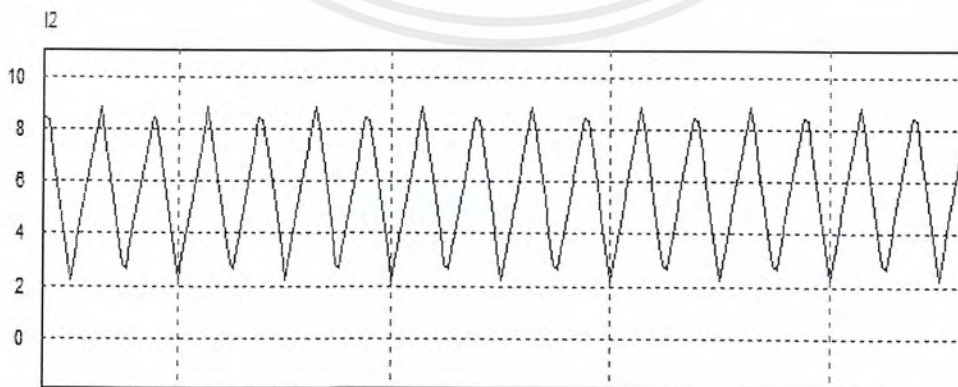
หน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเบอร์ TMS320F28027 มีวงจรสร้างสัญญาณพีดีบีเบิลยูเอ็มขนาด 16 บิต มีจำนวน 4 ช่องสัญญาณ โดยที่ภายใน 1 ช่องสัญญาณมี 2 เอ้าท์พุท ซึ่งสามารถทำงานแบบอิสระหรือทำงานพร้อมกันได้ ซึ่งในโครงการนี้ใช้เพียง 1 ช่องสัญญาณ และ 1 เอ้าท์พุท คือ EPWM2A เพื่อใช้ขับตัวไอจีบีที



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

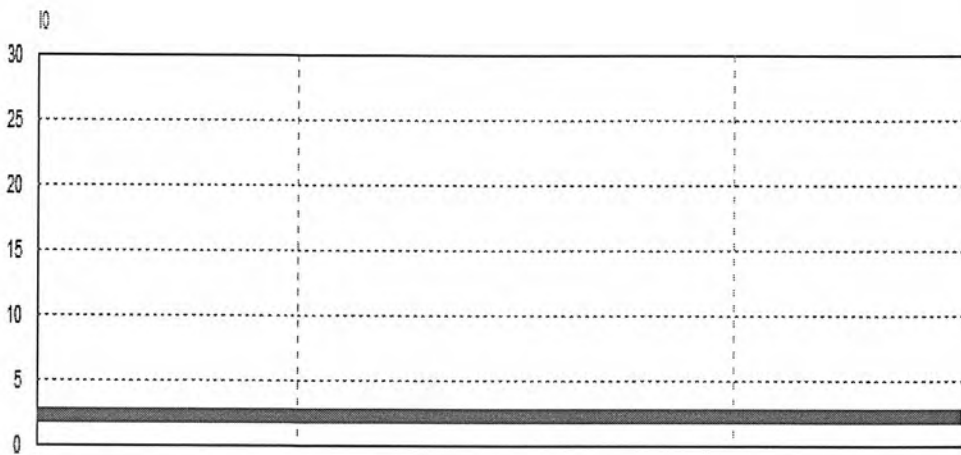
3.7 การจำลองวงจรระดับแรงดันด้วยโปรแกรม PSIM

จากรูปที่ 3.8 - 3.10 เป็นการจำลองวงจรระดับแรงดันที่ใช้ในการขับโหลด แอลอีดีกำลังสูงในโหมดควบคุมกระแสขาออกที่พิกัดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของ วงจร คือ 27.2 V และ 2.4 A ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กระแสไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM



รูปที่ 3.10 แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM

จากการจำลองวงจรทระดับแรงดันด้วยโปรแกรม PSIM จะพบว่ากระแสทางด้านขาออกจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่พิกัดของวงจร และรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเป็นแบบต่อเนื่อง แต่ในทางปฏิบัติอาจจะต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ในวงจรใหม่บางตัว เพื่อให้ได้พิกัดของกระแสและแรงดันที่ถูกต้อง ผลการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม PSIM จึงเป็นเพียงแค่แนวทางในการศึกษาเพื่อนำไปปฏิบัติจริง

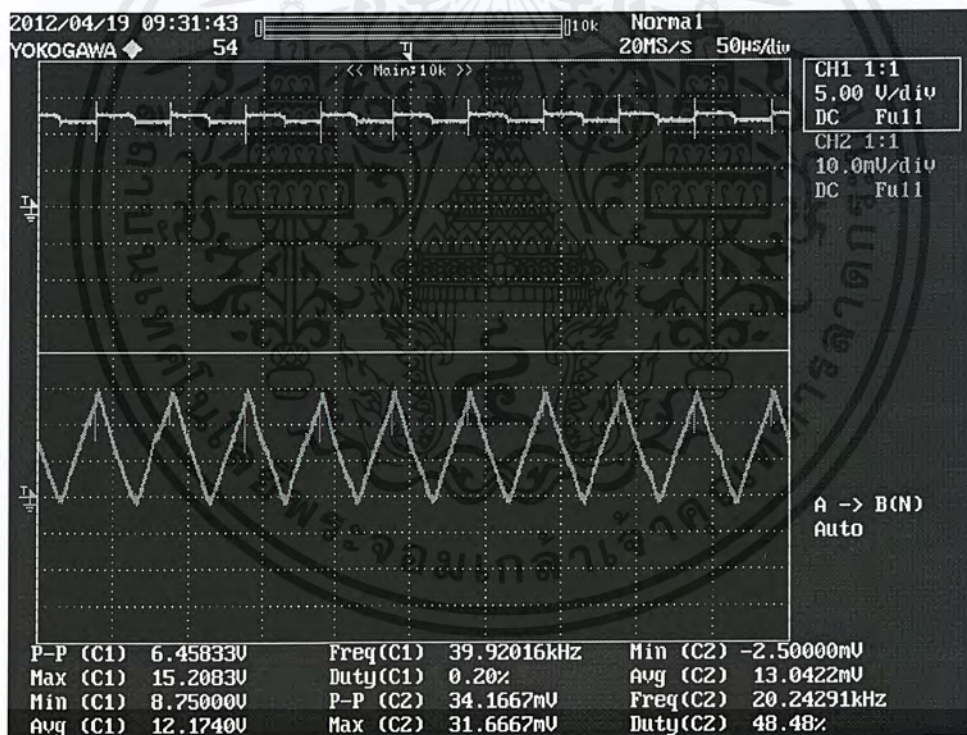
บทที่ 4

ผลการทดลองจากการออกแบบสร้างวงจร

4.1 ผลการทดลองวงจรทระดับแรงดัน

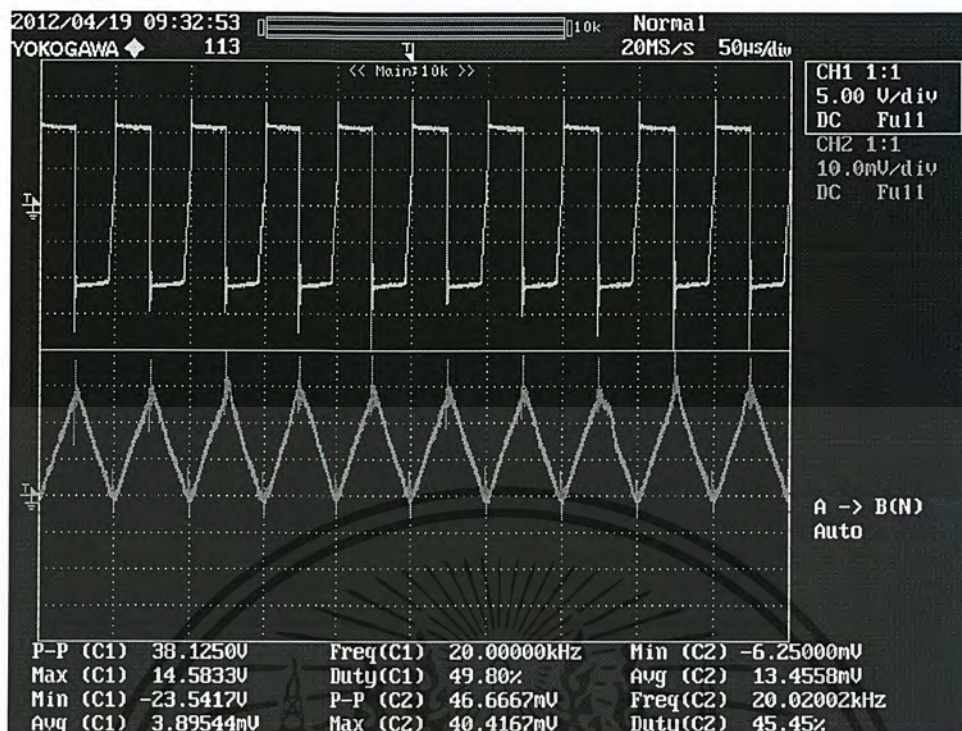
ทำการทดลองวงจรขับหลอดแอลอีดีให้ทำงานที่พิกัดกระแสไฟฟ้าขาออกทั้งหมด 4 ค่า โดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V ใช้หลอดแอลอีดีพิกัด 27.2 V, 2.4 A เมื่อหลอดแอลอีดีทำงานที่พิกัดค่าวัตต์ไซเคิล (จากการคำนวณ) จะอยู่ที่ 55.8% สังเกตค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_{in}) ค่ากระแสไฟฟ้าขาเข้า (I_{in}) ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก (I_o) แรงดันไฟฟ้าขาออก (V_o) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V_L) แรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตของไอจีบีที (V_{GE}) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไอจีบีที (V_{CE}) และทำการบันทึกผลโดยใช้อัตราการแปลงค่าของ Current Probe อยู่ที่ 10mV/A

4.1.1 ผลการทดลองวงจรขับหลอดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A

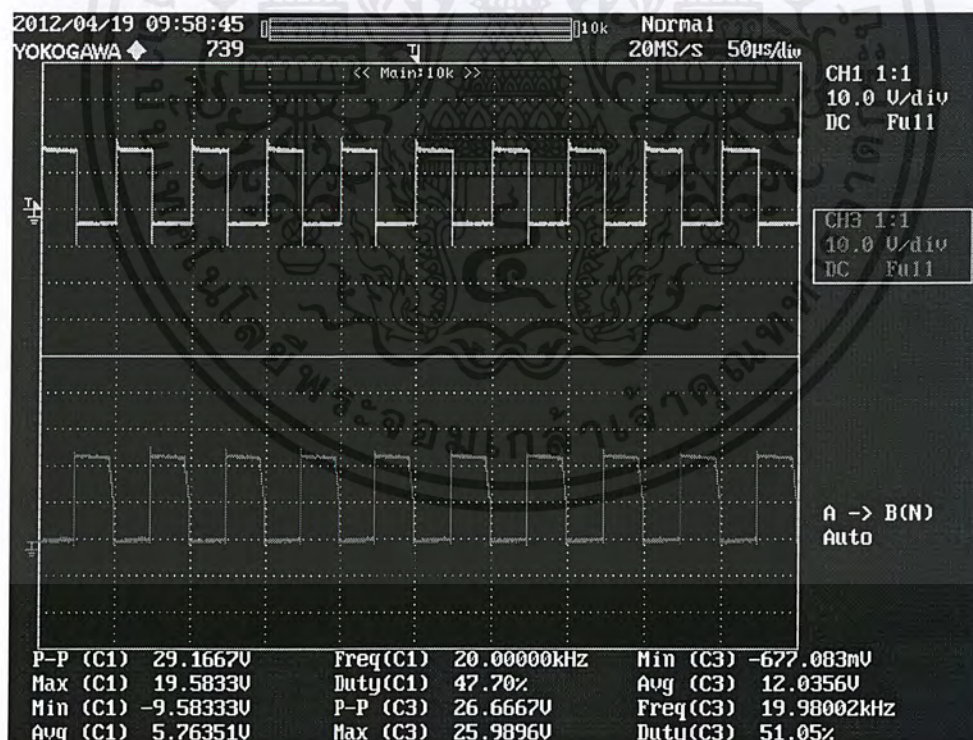


รูปที่ 4.1 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

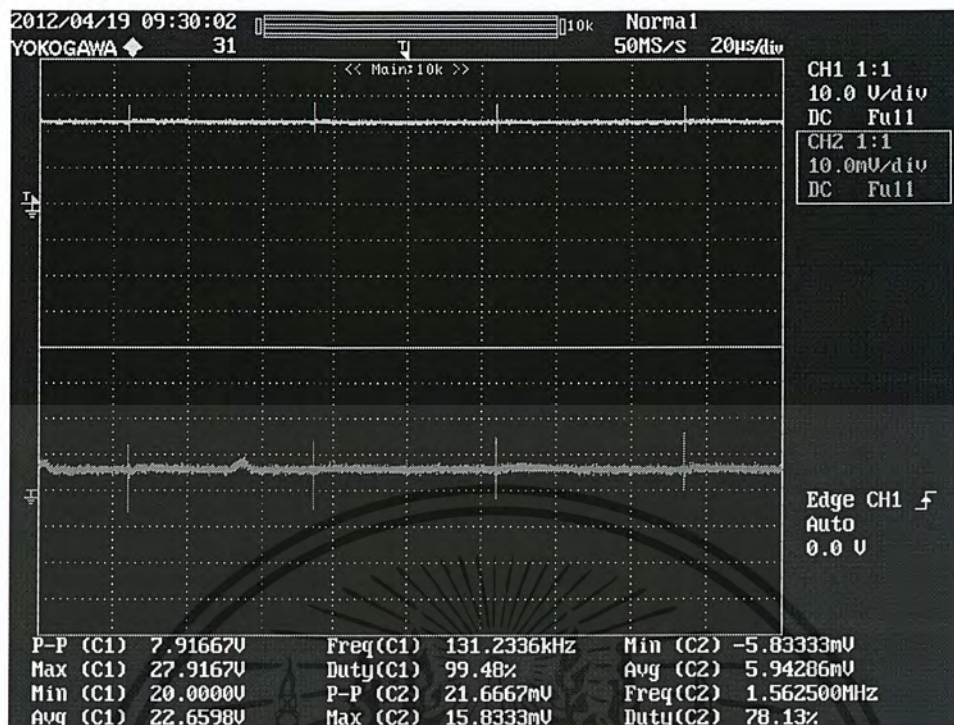


รูปที่ 4.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A



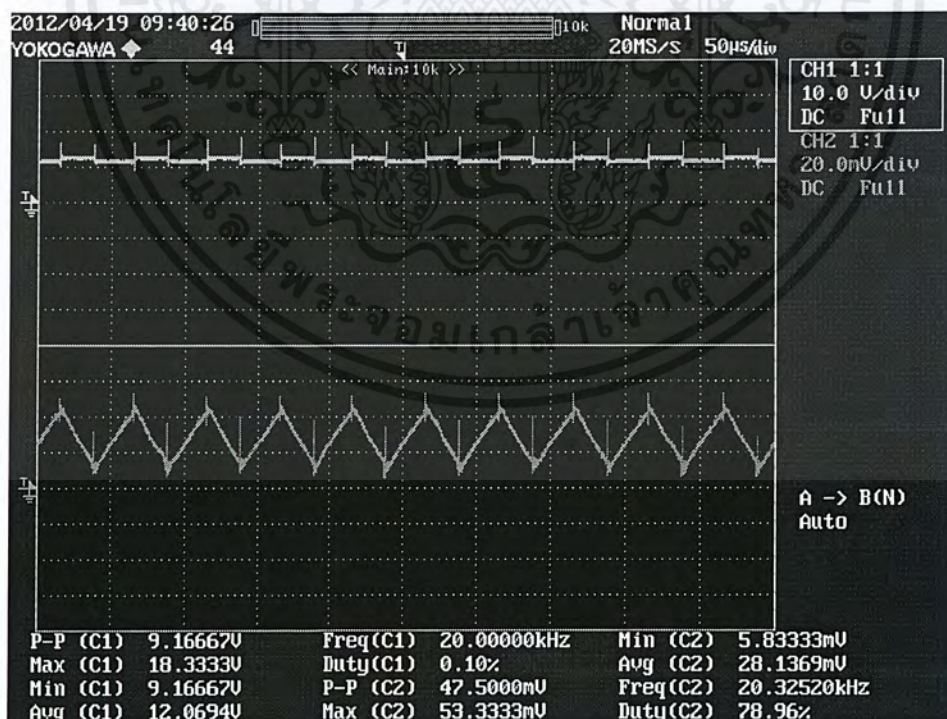
รูปที่ 4.3 แรงดันตกคร่อมขาคัดและขาคอลเลคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



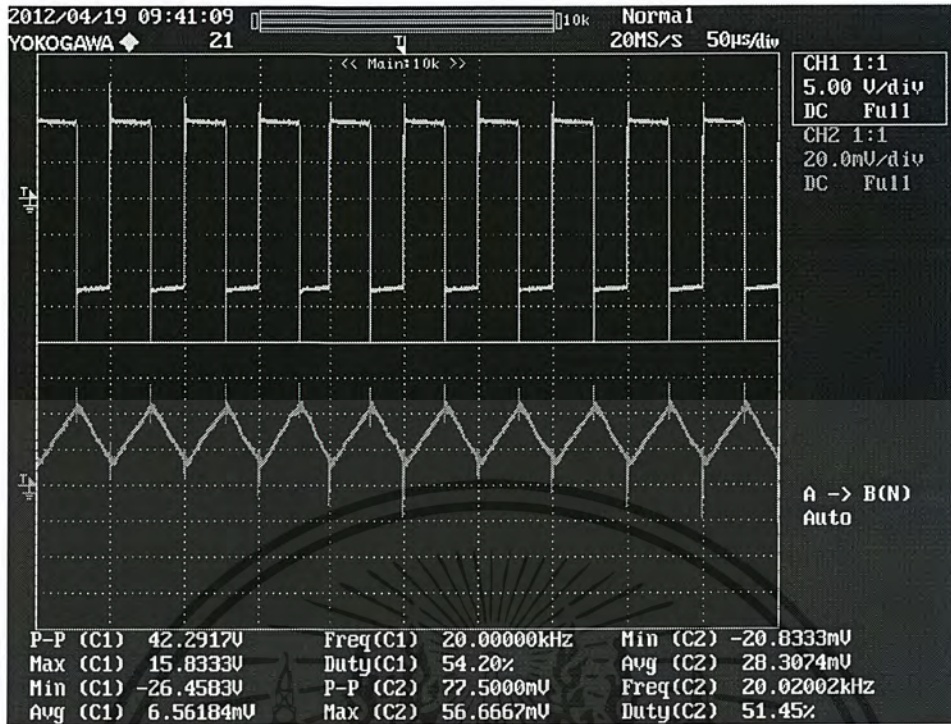
รูปที่ 4.4 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A

4.1.2 ผลการทดลองวงจรขับหลอดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A

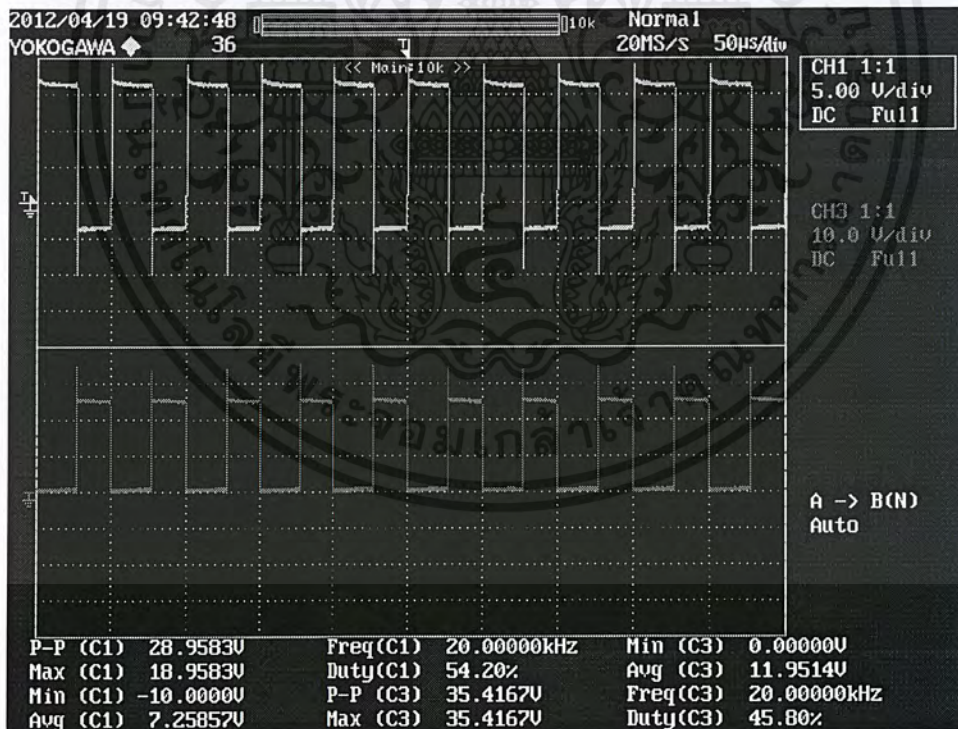


รูปที่ 4.5 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

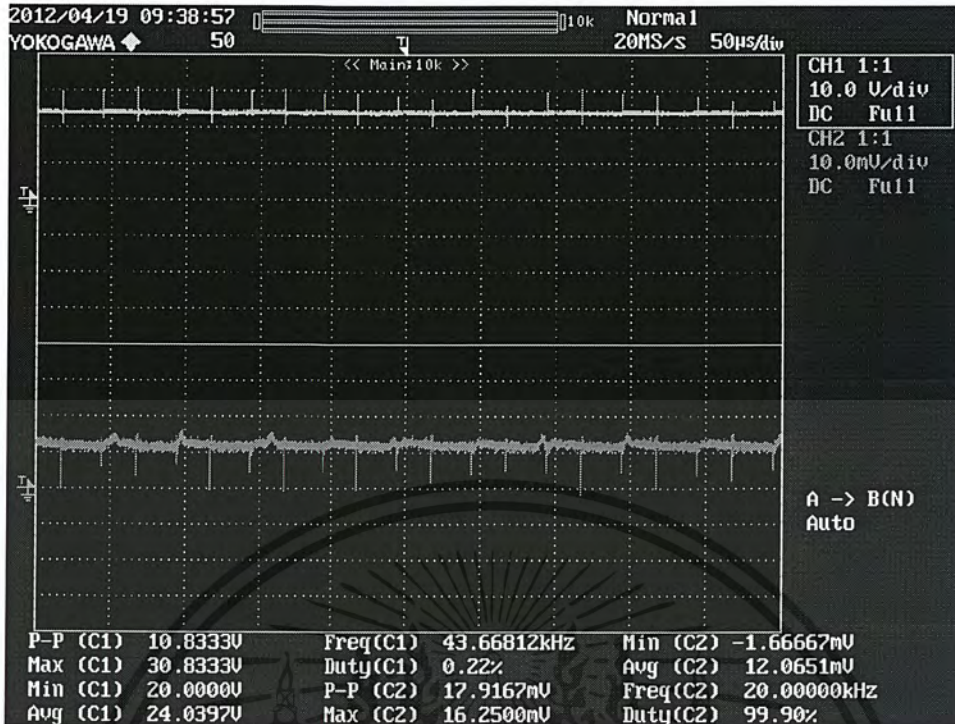


รูปที่ 4.6 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A



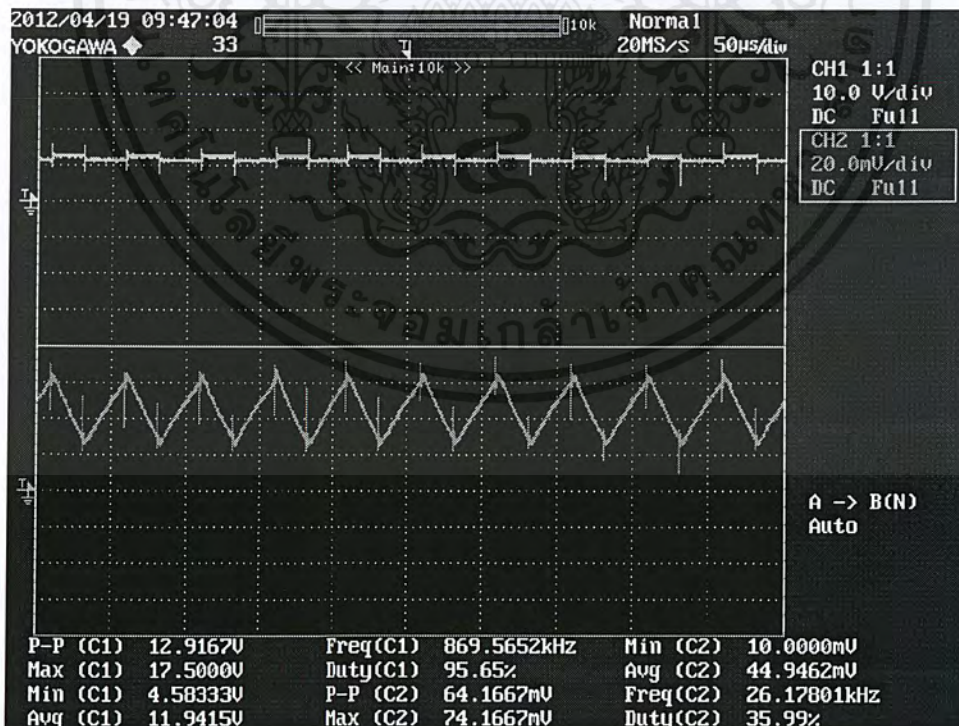
รูปที่ 4.7 แรงดันตกคร่อมขาคัดและขาคอลเลคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



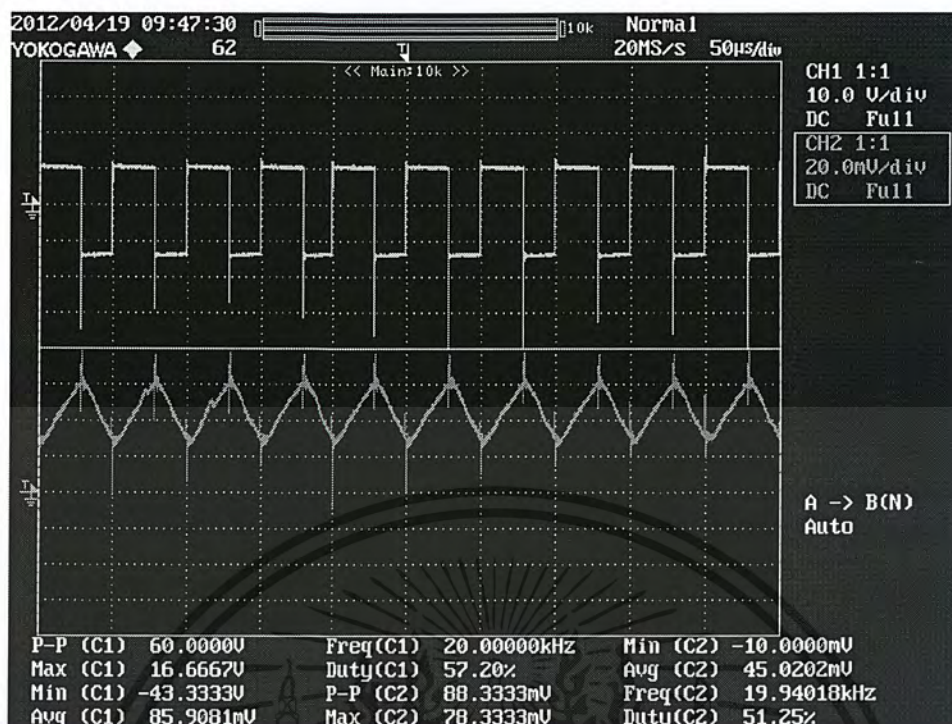
รูปที่ 4.8 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A

4.1.3 ผลการทดลองวงจรขับหลอดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A

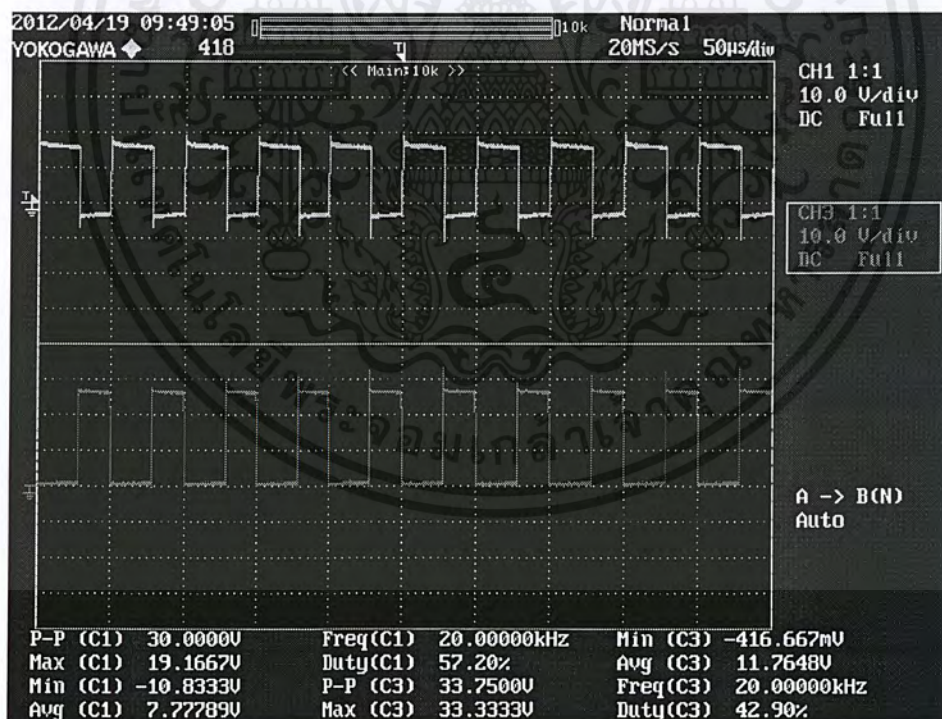


รูปที่ 4.9 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

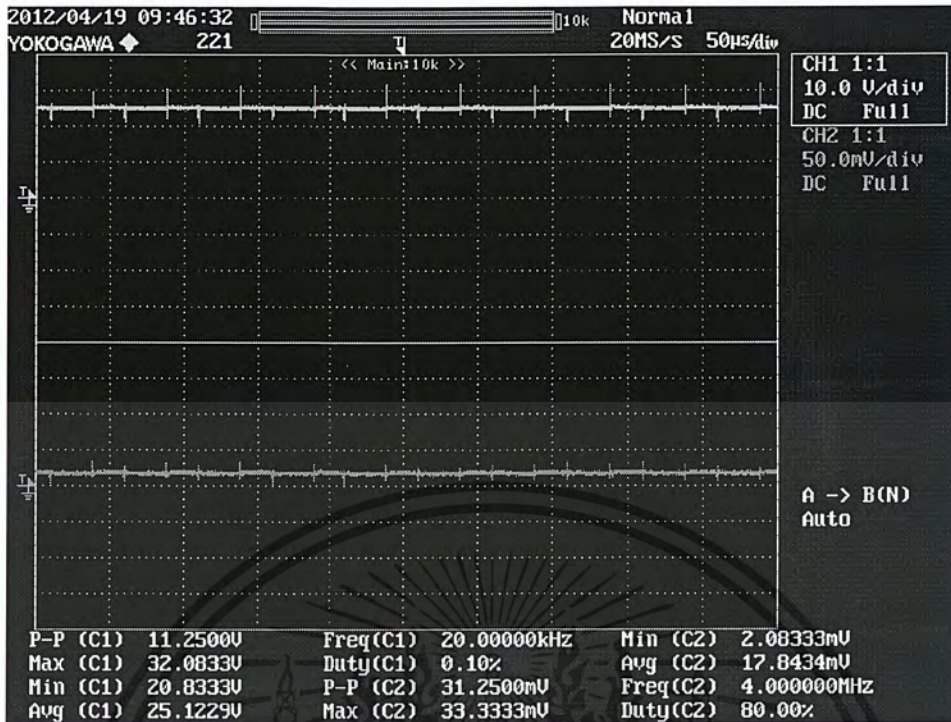


รูปที่ 4.10 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A



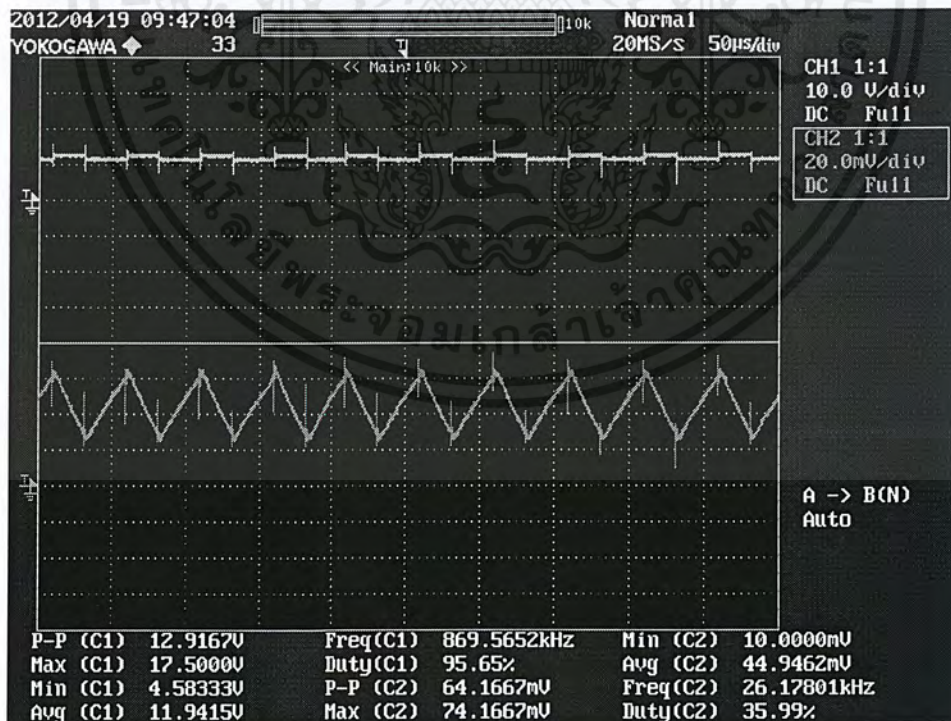
รูปที่ 4.11 แรงดันตกคร่อมขาคัดและขาคอลเลคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



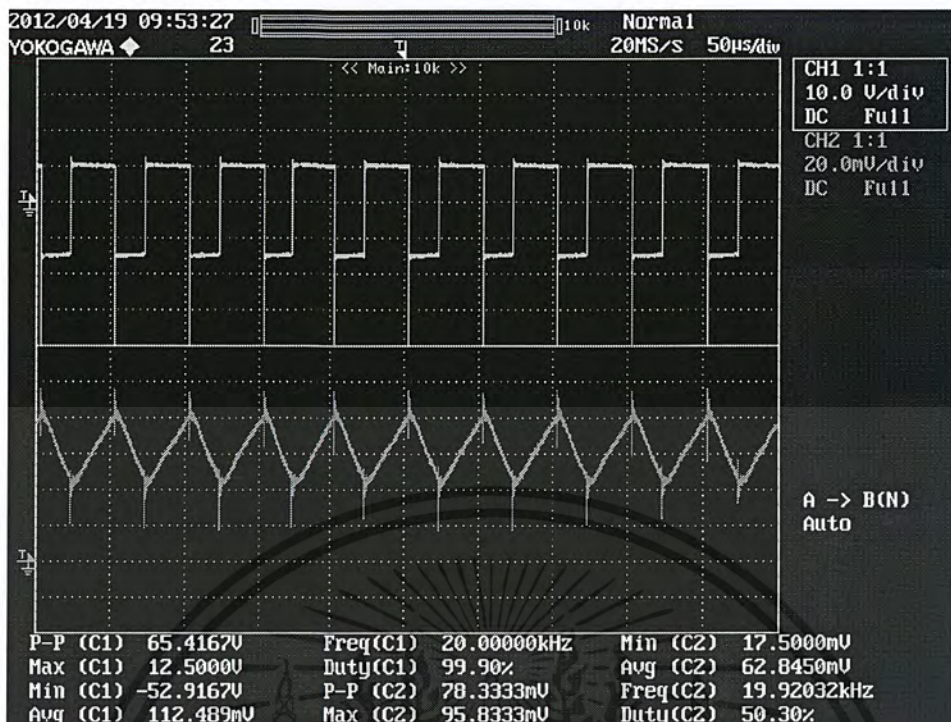
รูปที่ 4.12 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A

4.1.4 ผลการทดลองวงจรขับหลอดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

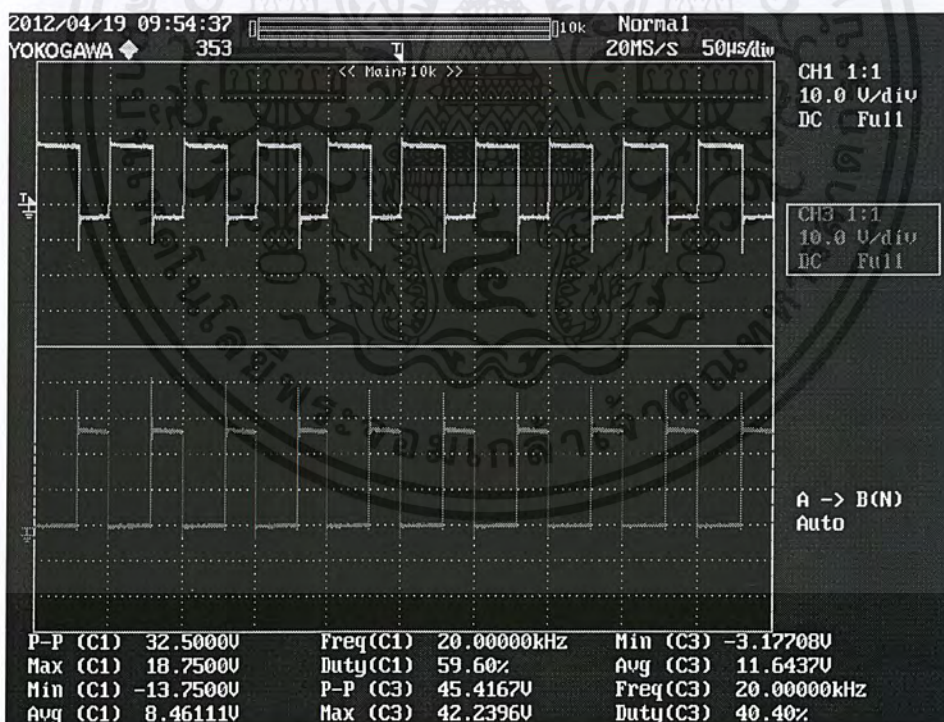


รูปที่ 4.13 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

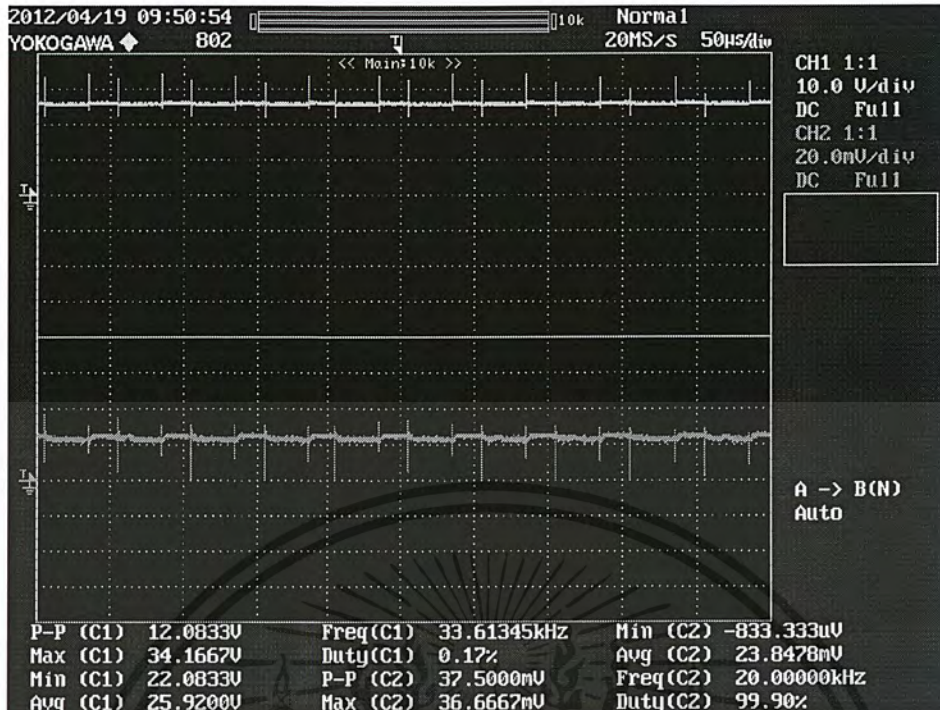


รูปที่ 4.14 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A



รูปที่ 4.15 แรงดันตกคร่อมขาคัดและขาคอลเลคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

4.2 ประสิทธิภาพของวงจรระดับแรงดัน

ประสิทธิภาพของวงจรระดับแรงดัน (eff) สามารถหาได้จาก

$$\text{eff} = \frac{V_{\text{out}} \times I_{\text{out}}}{V_{\text{in}} \times I_{\text{in}}} \times 100 \quad (4.1)$$

4.2.1 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A

จากผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6 A

$$V_{\text{in}} = 12.174 \text{ V}_{\text{dc}}$$

$$I_{\text{in}} = I_{\text{L}} = 1.304 \text{ A}$$

$$V_{\text{out}} = 22.66 \text{ V}_{\text{dc}}$$

$$I_{\text{out}} = 0.594 \text{ A}$$

จะได้

$$\text{eff} = \frac{22.66 \times 0.594}{12.174 \times 1.304} \times 100$$

$$\text{eff} = 84.79\%$$

ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีเมื่อทำงานที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 0.6A มีค่าเท่ากับ 84.79%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A
จากผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2 A

$$\begin{aligned}V_{in} &= 12.07 V_{dc} \\I_{in} = I_L &= 2.814 A \\V_{out} &= 24.04 V_{dc} \\I_{out} &= 1.207 A\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}eff &= \frac{24.04 \times 1.207}{12.07 \times 2.814} \times 100 \\eff &= 85.43\%\end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีเมื่อทำงานที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.2A มีค่าเท่ากับ 85.43%

4.2.3 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A
จากผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8 A

$$\begin{aligned}V_{in} &= 11.94 V_{dc} \\I_{in} = I_L &= 4.494 A \\V_{out} &= 25.12 V_{dc} \\I_{out} &= 1.784 A\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}eff &= \frac{25.12 \times 1.784}{11.94 \times 4.494} \times 100 \\eff &= 83.52\%\end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีเมื่อทำงานที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 1.8A มีค่าเท่ากับ 83.52%

4.2.4 ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4A
จากผลการทดลองวงจรขับโหลดแอลอีดีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4A

$$V_{in} = 11.84 V_{dc}$$

$$I_{in} = I_L = 6.26 A$$

$$V_{out} = 25.92 V_{dc}$$

$$I_{out} = 2.385 A$$

จะได้

$$eff = \frac{25.92 \times 2.385}{11.84 \times 6.26} \times 100$$

$$eff = 83.41\%$$

ประสิทธิภาพของวงจรขับโหลดแอลอีดีเมื่อทำงานที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4A มีค่าเท่ากับ 83.41%



บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองโครงการนี้ทำโดยใช้วงจรทระดับแรงดันขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงซึ่งคงที่กระแสไฟฟ้าขาออกไว้ที่ค่าที่กำหนดไว้หรือโหลดควบคุมกระแสขาออก ซึ่งวงจรทระดับแรงดันรับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V จากการทดลองสามารถขับหลอดแอลอีดีให้ทำงานที่พิกัดกระแสขาออกตามที่ต้องการและรักษาการทำงานที่พิกัดนี้ไว้ได้โดยการป้อนกลับกระแสไฟฟ้าขาออกจากวงจรทระดับแรงดันหรือกระแสที่ไหลไปยังหลอดแอลอีดีโดยใช้วงจรตรวจจับกระแสซึ่งจะส่งสัญญาณออกเป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมค่าตัวดีไซเคิลของสัญญาณที่เข้าไปขับขาเกตของไอจีบีทีของวงจรทระดับแรงดันให้ได้ค่ากระแสขาออกที่กำหนดไว้ และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นกระแสไฟฟ้าเดียวกันกับกระแสไฟฟ้าขาเข้าของวงจรทระดับแรงดันซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของวงจรทระดับแรงดัน นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำยังทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องอีกด้วย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ตกลงสู่ศูนย์ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทางด้านขาเข้าและขาออกของวงจรทระดับแรงดันมาคำนวณประสิทธิภาพแล้วพบว่า วงจรมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าประสิทธิภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงในโหมดควบคุมกระแสขาออกนั้น มีข้อจำกัดในการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเพื่อไม่ให้กระแสมีค่ามากเกินไปกว่าพิกัดที่หลอดแอลอีดีสามารถทนได้ รวมถึงการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรทระดับแรงดันจะต้องทำอย่างรอบคอบเนื่องจากหลอดแอลอีดีมีกำลังไฟสูงหากไม่ระมัดระวังอาจเกิดอันตรายขึ้นได้ และเนื่องจากในวงจรมีความถี่ในการสวิตช์สูงจึงทำให้มีสัญญาณรบกวนมากจึงต้องมีการใช้วงจรสแน็บเบอร์รวมถึงตัวเก็บประจุไฟฟ้าทางด้านขาออก

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ใช้หน่วยประมวลที่มีความละเอียดมากกว่านี้(จำนวนบิตมากขึ้น) อาจทำให้ข้อมูลมีความละเอียดมากขึ้น ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของตัวดีไซเคิลมีความละเอียดมากขึ้น
- 2) พัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการกำจัดสัญญาณรบกวน
- 3) ลดขนาดของแผ่น PCB โดยการออกแบบลายวงจรแบบใหม่ๆ เพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดกะทัดรัดมากขึ้น
- 4) นำวงจรขับหลอดแอลอีดีรูปแบบนี้ไปประยุกต์ใช้อย่างสร้างสรรค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia, “ light-emitting diode” [Online].
Available:http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [2] คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, “หลอด LED” [Online].
Available:<http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/led/thaiLED.htm>
- [3] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [4] McLyman, Colonel Wm.T, **Transformer and inductor design handbook**, New York : Marcel Dekker, 1988
- [5] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, ครั้งที่ 9, กรุงเทพฯ, หจก.วี.เจ พรินต์ติ้ง, 2547
- [6] ฉัตรชัย วิเศษบัณฑิตกุล และคณะ, “วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [7] กนกพัฒน์ บัวเลิศ กระพัน เกิดผล และจตุพล พงศ์ศิริศาสตร์, “ระบบไฟฉุกเฉินโดยใช้ LED,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางคุณสมบัติของแกนแม่เหล็กผงโลหะอัด

Table 2-2 Powder core characteristics

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Core	A_L mil	A_p mil	MLTmm	N AWG	$\Delta T_{25^\circ C}$	P_{25}	$1/\sqrt{L}$	$\Delta T_{25^\circ C}$ 1-1/2 mil	$\Delta T_{25^\circ C}$	P_{25}	$1/\sqrt{L}$	$\Delta T_{25^\circ C}$ 1-1/2 mil	Weight lb. oz.	Volume cu. in.	A_c mil	
1	55051	8.189	0.2022	2.11	30	0.215	0.216	1.20	0.17	0.220	0.304	1.45	189	3.1	2.71	1.39	1.111
2	55121	11.24	0.130	2.74	180	1.115	0.240	3.248	0.22	0.503	1.021	1.23	302	3.8	6.3	3.31	0.185
3	55946	16.59	0.254	2.97	260	0.359	0.519	0.761	450	0.983	1.231	1.11	182	10	11.2	5.07	0.131
4	55079	25.02	0.400	3.48	310	1.27	0.657	0.739	460	1.39	1.523	1.05	147	16	19.3	9.28	0.307
5	55094	28.22	0.399	4.01	351	1.07	0.914	0.763	435	2.05	2.16	1.02	631	26	21.2	12.4	0.429
6	55261	44.24	1.83	4.33	302	1.60	1.41	0.558	344	5.11	3.40	0.812	506	55	29.9	23.3	0.258
7	55971	40.66	1.25	4.60	355	3.70	1.34	0.622	371	4.07	3.13	0.877	540	67	47.4	21.0	0.160
8	55076	64.91	2.44	4.08	305	4.71	1.55	0.574	358	5.17	3.81	0.814	538	51	61.0	25.7	0.670
9	55281	61.25	4.53	6.07	359	10.24	2.00	0.541	333	7.20	4.64	0.795	487	92	65.0	28.1	1.06
10	55093	81.58	0.06	0.05	1372	10.9	2.03	0.490	307	11.8	6.24	0.722	449	121	196	59.3	1.32
11	55433	72.37	3.33	7.62	259	8.49	2.60	0.533	341	8.32	6.08	0.601	497	162	107	68.1	1.91
12	55719	91.32	3.32	8.40	1094	13.0	3.00	0.480	336	14.3	7.00	0.699	431	173	170	68.6	1.24
13	55110	112.4	10.65	7.00	2125	17.8	3.72	0.467	321	18.6	8.63	0.663	419	176	226	82.4	1.44

copper ions \neq iron ions

ตารางแสดงขนาดเส้นลวดทองแดง

Table 6-1. Wire table

Avg Wire Size	Bare Area		Resistance		Heavy Synthetics							
	mm ² 10 ⁻⁶ (1 foot to 10 ft)	CIR-MIL ²	10 ⁻⁴ Ω 1000 ft	Area		Diameter		Turns-Per		Weight gms/cm		
				CM ² 10 ⁻⁵	CIR-MIL ²	CM	Inch ²	cm	Inch ²			
10	52.61	10384	31.70	55.9	11040	0.207	0.1051	3.87	9.5	10.73	69.24	0.468
11	41.08	8226	41.87	44.5	8768	0.238	0.0938	4.35	10.7	13.48	89.96	0.3750
12	33.09	6590	52.09	35.83	7012	0.213	0.0656	4.85	11.9	16.31	108.4	0.3077
13	24.26	5184	65.64	28.28	5410	0.190	0.0749	5.37	13.4	21.15	130.4	0.2507
14	16.82	4008	82.00	22.95	4246	0.171	0.0676	6.04	13.8	26.14	163.6	0.1879
15	14.51	3240	104.3	18.37	3324	0.153	0.0602	6.77	15.4	32.66	210.6	0.1482
16	13.07	2581	131.6	14.73	2906	0.137	0.0539	7.32	16.6	40.73	262.7	0.1184
17	10.34	2057	165.8	11.68	2373	0.122	0.0482	8.18	23.6	51.36	331.2	0.0943
18	9.290	1424	200.5	9.296	1851	0.109	0.0431	9.13	23.2	64.33	414.9	0.07479
19	6.531	1089	269.0	7.539	1496	0.0996	0.0386	10.39	25.9	78.85	515.0	0.05949
20	5.188	1024	332.3	6.065	1197	0.0816	0.0346	11.37	28.9	98.93	438.1	0.04725
21	4.116	812.3	419.9	4.837	954.1	0.0734	0.0309	12.75	32.4	124.0	199.8	0.03757
22	3.243	548.1	531.4	3.857	751.7	0.0701	0.0276	14.28	38.2	155.6	1460	0.02966
23	2.698	510.0	666.0	2.135	620.0	0.0632	0.0249	15.67	40.2	151.3	1234	0.02372
24	2.047	404.0	842.1	2.514	497.3	0.0566	0.0223	17.43	44.8	213.6	1335	0.01664
25	1.623	320.4	1062.0	2.002	390.0	0.0505	0.0199	19.34	50.3	294.7	1933	0.01498
26	1.280	252.8	1345.0	1.608	316.3	0.0452	0.0178	22.12	55.2	374.2	2414	0.01185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางขนาดเฉพาะของแกนแม่เหล็กหมายเลข 55059-A2

Table 5.B-4. Dimensional specifications for Magnetic Inc 55059-A2. Arnold Engineering A-059043-2

	ENGLISH		METRIC	
W_w / A_c			4.30	
$W_w \times A_c$	0.0113	in ⁴	0.468	cm ⁴
OD	0.930	in	2.36	cm
ID	0.527	in	1.339	cm
HT	0.320	in	0.813	cm
W_w = WINDOW AREA	0.28×10^6	CIR-MIL	1.407	cm ²
W_w = REFRACTIVE	0.164	in ²	1.058	cm ²
A_c = CROSS SECTION	0.0507	in ²	0.327	cm ²
l_m = PATH LENGTH	2.28	in	5.67	cm
CORE WEIGHT	0.033	lb	15.0	grams
TOTAL WEIGHT	0.0716	lb	32.5	grams
WOUND OD MIN	1.035	in	2.63	cm
MLT	1.356	in	3.45	cm
A_t = SURFACE AREA	3.103	in ²	20.019	cm ²
PERMEABILITY			60	
μ 125			2.06 X L @	μ 40
μ 150			2.67 X L @	μ 40
μ 200			3.33 X L @	μ 60
μ 550			9.17 X L @	μ 60

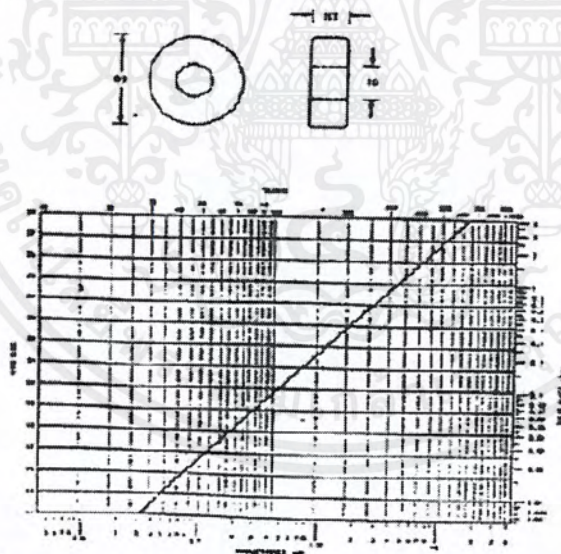
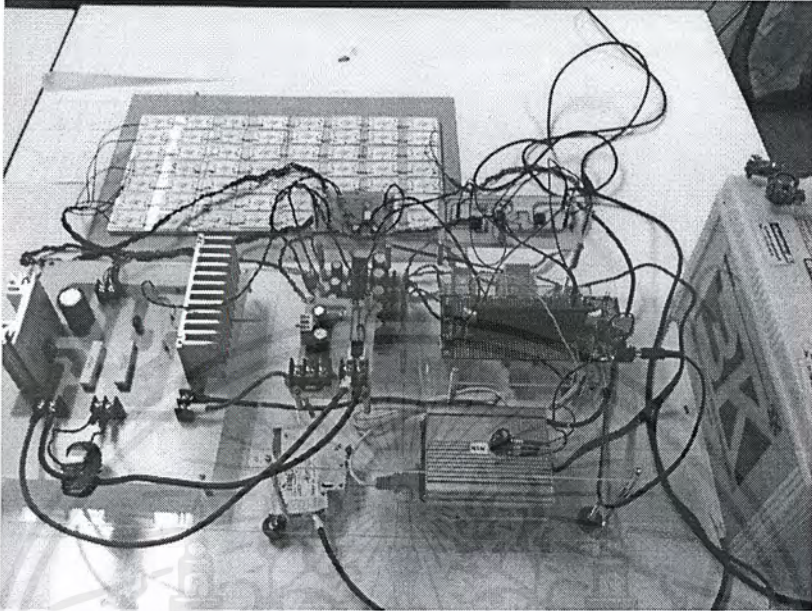


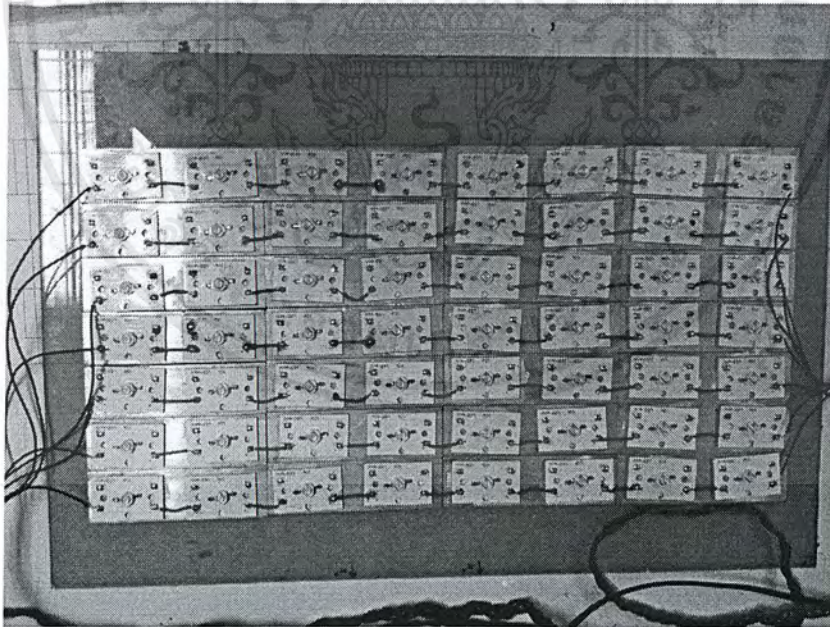
Fig. 5.B-4. Wire and inductance graph for Core 55059-A2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง

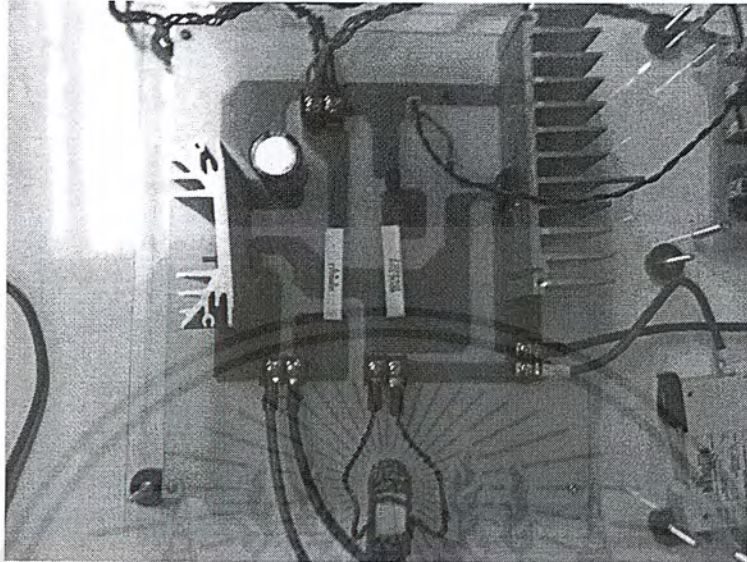


ชิ้นงานจริง

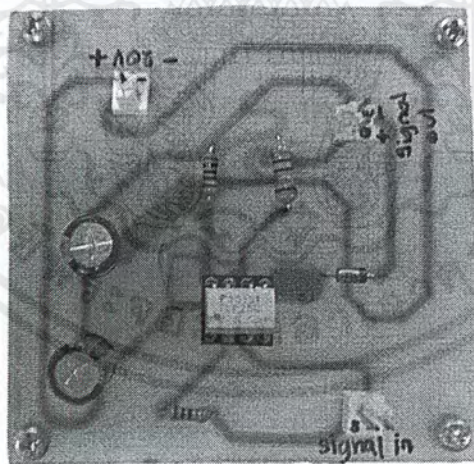


หลอดไฟแอลอีดีกำลังสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

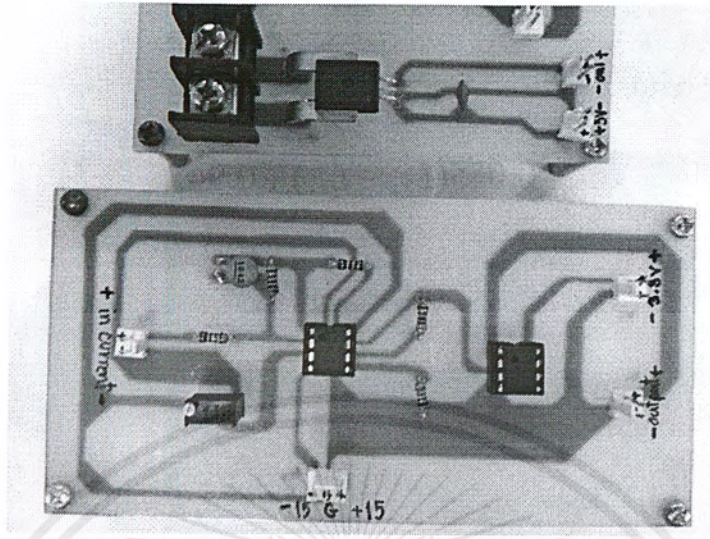


วงจรระดับแรงดัน

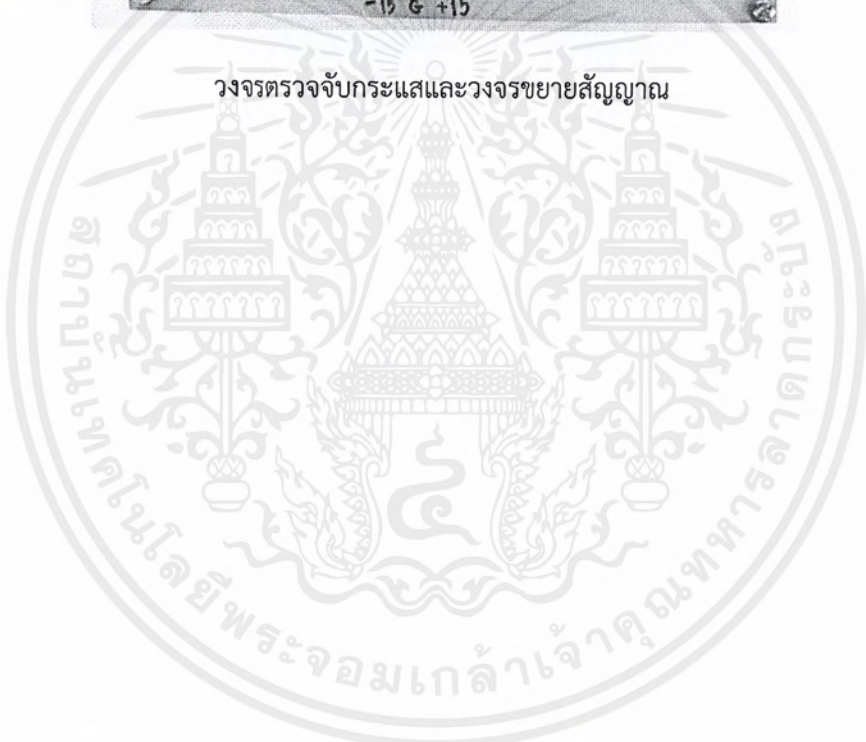


วงจรขั้วเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรตรวจจับกระแสและวงจรมหาพีเอ็มแอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคมไฟอัจฉริยะ

Smart luminaire

วันวิสา เอกแก้ว ธัญวัฒน์ เอ็ดดิม และ จิรัชดา บุญพร้อม
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

บทคัดย่อ

ปัญญานินพนธ์นี้นำเสนอเกี่ยวกับการสร้างโคมไฟอัจฉริยะโดยใช้หลอดแอลอีดีกำลังสูง ซึ่งใช้วงจรทบทระดับแรงดันในโหมดควบคุมกระแสเป็นวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยสามารถควบคุมความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 0% - 100% โดยการปรับเปลี่ยนกระแสขาออก นอกจากนี้โคมไฟยังสามารถสื่อสารกับระบบควบคุมภายนอกเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน ปัญญานินพนธ์นี้ได้ศึกษาการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันในวงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง แล้วทำการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSIM หลังจากนั้นทำการสร้างโคมไฟอัจฉริยะ และทำการทดสอบสมรรถนะ

Abstract

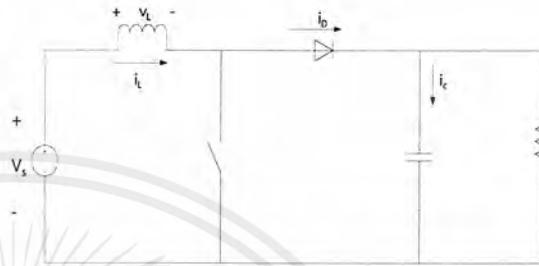
This project presents a smart luminaire using high power LED. A boost converter is controlled in current mode control a-d able to adjust the light intensity from 0% - 100%. In addition signal for intensity adjustment smart luminaire can communicate with the external. This project studies the principle of a boost converter. The circuit's parameters have been designed and simulated using PSIM program. A prototype is built for verification.

1. บทนำ

ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันนี้ถือได้ว่าเข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ไปแล้วเพื่อให้สามารถตอบสนองกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าอีกระบบที่ต้องให้ความสำคัญคือระบบแสงสว่าง เพราะสถานที่บางแห่งต้องการแสงสว่างตลอดเวลา เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน จึงได้มีการคิดโคมไฟอัจฉริยะขึ้น โดยโคมไฟนี้จะสามารถควบคุมความเข้มแสงได้โดยการปรับเปลี่ยนกระแสขาออก นอกจากนี้ยังสามารถสื่อสารกับระบบควบคุมภายนอกเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน และโคมไฟอัจฉริยะนี้จะใช้หลอดแอลอีดีกำลังสูงแทนหลอดไฟแบบทั่วไป เพราะหลอดแอลอีดีมีอายุการใช้งานและประหยัดไฟมากกว่าเมื่อใช้พลังงานเท่ากัน ซึ่งส่งผลให้ค่าบำรุงรักษาต่ำลง นอกจากนั้นหลอดแอลอีดียังปราศจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและสารปรอทจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้หลอดชนิดนี้กำลังจะเข้ามาแทนหลอดไฟแบบทั่วไปในอนาคตข้างหน้า

2. ทฤษฎีการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน

2.1 วงจรทบทระดับแรงดัน คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกจะสูงกว่าแรงดันทางด้านขาเข้า หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันเพื่อให้แรงดันด้านขาออกมีค่าที่ต้องการจะเริ่มต้นที่ข้อกำหนดคือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด



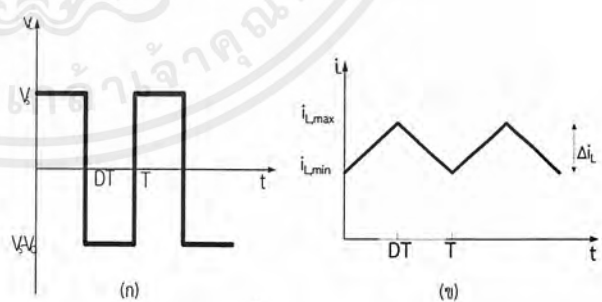
รูปที่ 2.1 วงจรทบทระดับแรงดัน

ขณะสวิตช์นำกระแส $dt = DT$ กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ ซึ่งทำให้ตัวเหนี่ยวนำประจุพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1 - D)T$ ตัวเหนี่ยวนำจะคืนพลังงานผ่านทางไดโอดและโหลด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง

สำหรับการคำนวณเพื่อหาค่าดีวตีไซเคิล (Duty Cycle) ทำได้ดังสมการต่อไปนี้

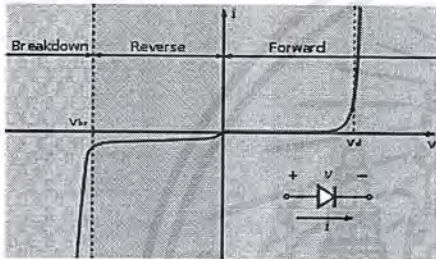
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (1)$$



รูปที่ 2.2 (ก) แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไดโอดเปล่งแสง ไดโอดเปล่งแสงหรือที่เรียกว่า LED (Light-emitting diode) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงได้ ไดโอดเปล่งแสงประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type) ซึ่งมีโฮลเป็นพาหะข้างมากและชนิดเอ็น (N-type) ซึ่งมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมาก ต่อกันเป็นรอยต่อพีเอ็น (P-N junction) จะเปล่งแสงออกมาได้ก็ต่อเมื่อได้รับการไบอัสตรง (Forward Bias) จากกราฟรูปที่ 2.3 เมื่อจ่ายแรงดันไบอัสตรงกับไดโอดในช่วงเริ่มแรกไดโอดจะยังไม่นำกระแสเพราะแรงดันไบอัสตรงยังไม่สามารถทำลายศักย์ไฟฟ้าตรงรอยต่อพีเอ็นได้ เราต้องให้แรงดันไฟฟ้าไบอัสตรงกับไดโอดจนถึงค่าแรงดันคัทอิน (Cutin Voltage) จึงจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าตรงรอยต่อพีเอ็นลดลง อันจะทำให้ไดโอดนำกระแสได้ ในทำนองเดียวกันเมื่อจ่ายแรงดันไบอัสกลับให้ไดโอด จะไม่มีกระแสไหลในวงจร แต่ถ้าเพิ่มแรงดันไบอัสกลับให้สูงมากขึ้นจนถึงค่าแรงดันหนึ่งเรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) ซึ่งไดโอดจะนำกระแสได้ ในสภาวะนี้รอยต่อพีเอ็นของไดโอดจะทะลุและมีกระแสไหลผ่านรอยต่อพีเอ็นจำนวนมาก ในการใช้งานทั่วไปจะไม่ยอมให้แรงดันไบอัสกลับแก่ไดโอดเกินกว่าค่าแรงดันพังทลายของไดโอด



รูปที่ 2.3 กราฟระหว่างกระแสกับแรงดันของไดโอดเมื่อได้รับการไบอัส

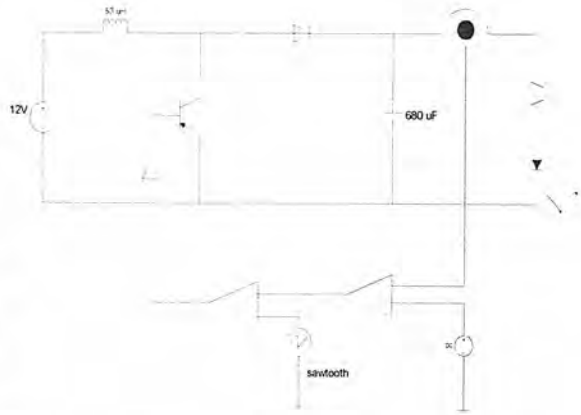
3. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยใช้วงจรระดับแรงดันในการจำลองเพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟและแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกที่พิกัด 2.4 A , 27.2 V ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในวงจรได้มาจากการคำนวณ วงจรระดับแรงดันทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกให้มีค่าเท่ากับ 27.2 V เพื่อให้แอลอีดีนำกระแส ในที่นี้เลือกใช้ IGBT เบอร์ HGTC30NC3D_NL ที่มีค่าพิกัดเท่ากับ 600 V 63 A เป็นสวิตซ์ของวงจรและทำงานในโหมดควบคุมกระแสร่วมกับวงจรสับเบร ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรองสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกให้มีค่าใกล้เคียงสัญญาณไฟฟ้กระแสตรงมากที่สุด โดยที่กระแสไฟฟ้ทางด้านขาออกของวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าดีวีซีเคิลของสัญญาณควบคุมการสวิตซ์ และตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เก็บและคายพลังงานขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ การคำนวณ หาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดเพื่อให่วงจรระดับแรงดันทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้จากสมการ

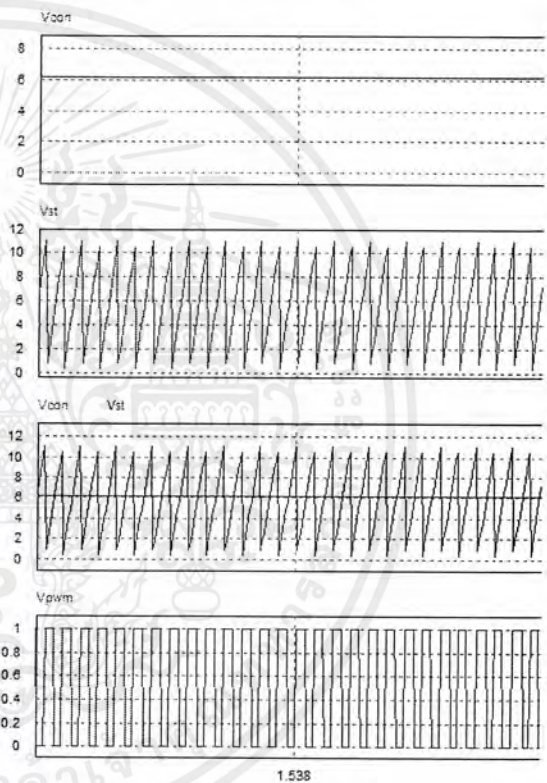
$$L_{min} = \frac{V_o D (1 - D)^2}{2I_o f} \quad (2)$$

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรระดับแรงดันสำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM มีดังนี้

1. แรงดันขาเข้า 12 V
2. ตัวเหนี่ยวนำ 50 uH
3. ตัวเก็บประจุ 680 uF



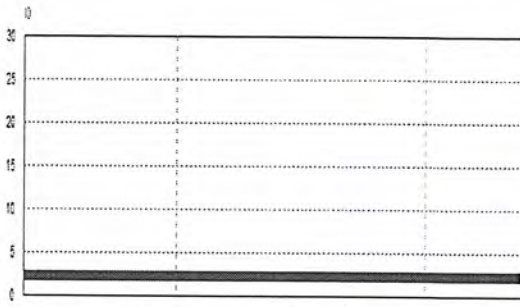
รูปที่ 3.1 วงจรทระดับแรงดันที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM



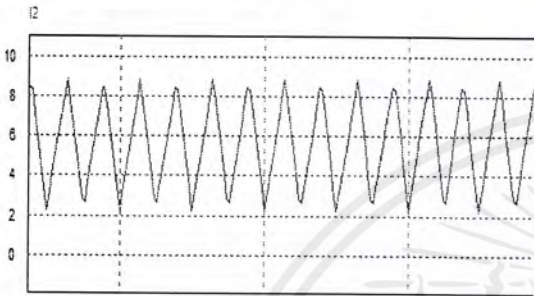
รูปที่ 3.2 สัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม

ในส่วนของการทำงานของโปรแกรมการควบคุมหลอดแอลอีดีกำลังสูง โดยใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ TMS320F28027 ในการควบคุม เริ่มจากการรับค่ากระแสของระบบมาแปลงค่าจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นก็ทำการเปรียบเทียบค่ากับสัญญาณอ้างอิงและนำสัญญาณขาออกที่ได้ไปตัดกับสัญญาณ sawtooth เพื่อสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มที่ค่าดีวีซีเคิลต่างๆไปขับไอจีบีที ดังรูปที่ 3.2 และผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.3 – 3.5

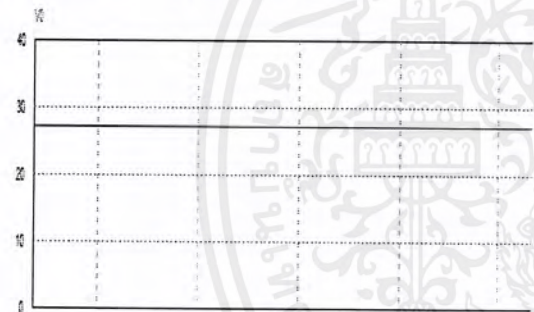
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM



รูปที่ 3.4 กระแสไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM

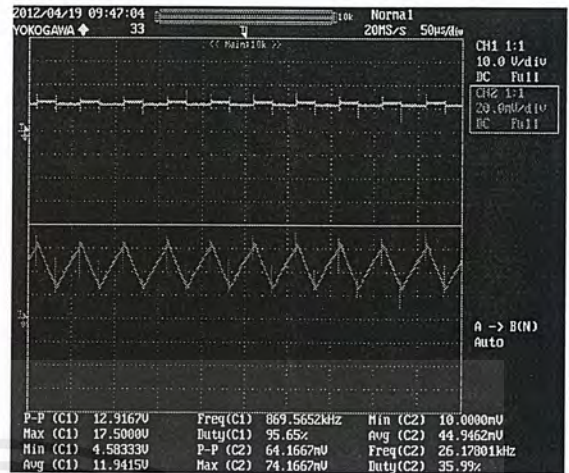


รูปที่ 3.5 แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PSIM

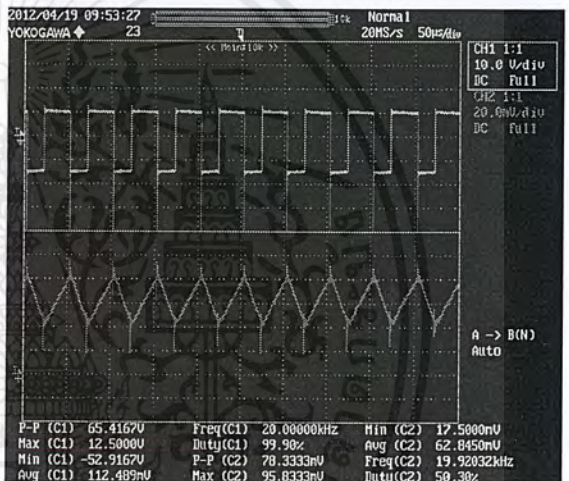
4. ผลการทดลอง

ทำการทดลองวงจรขั้วหลอดแอลอีดีให้ทำงานที่พิกัดกระแสไฟฟ้าขาออกทั้งหมด 4 ค่า โดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ขนาด 12V ใช้หลอดแอลอีดีพิกัด 27.2 V, 2.4 A เมื่อหลอดแอลอีดีทำงานที่พิกัดตัวดีไซเคิล (จากการคำนวณ) จะอยู่ที่ 55.8% สังเกตค่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า (V_{in}) ค่ากระแสไฟฟ้าด้านขาเข้า (I_{in}) ค่ากระแสไฟฟ้าด้านขาออก (I_o) แรงดันไฟฟ้าด้านขาออก (V_o) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (I_L) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V_L) แรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตของไอจีบีที (V_{GE}) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไอจีบีที (V_{CE}) และทำการบันทึกผลการทดลองโดยที่อัตราการแปลงค่าของ Current Probe อยู่ที่ 10mV/A

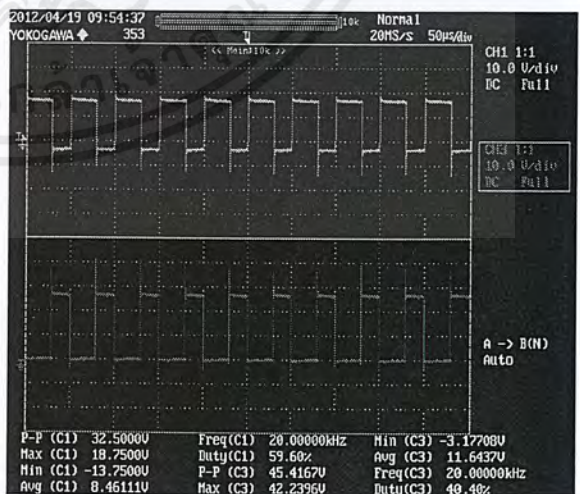
ผลการทดลองวงจรขั้วหลอดแอลอีดีที่พิกัดกระแสขาออกหรือ 2.4 A



รูปที่ 4.1 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาเข้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

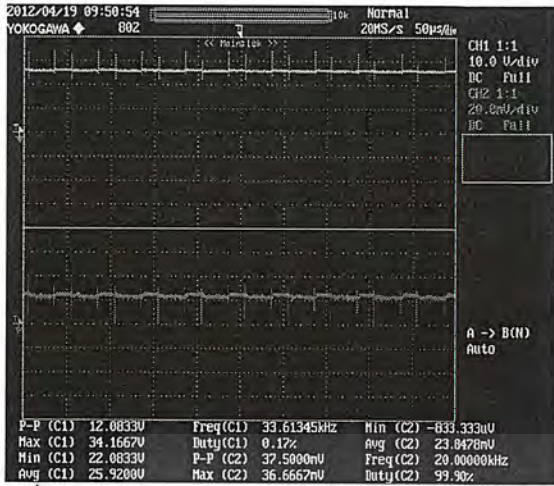


รูปที่ 4.2 แรงดันและกระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A



รูปที่ 4.3 แรงดันตกคร่อมขาเกตและขาคอลเลคเตอร์ของไอจีบีทีที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกที่ค่ากระแสไฟฟ้าขาออก 2.4 A

ประสิทธิภาพของวงจรระดับแรงดัน (eff) สามารถหาได้จาก

$$\text{eff} = \frac{V_{\text{out}} \times I_{\text{out}}}{V_{\text{in}} \times I_{\text{in}}} \times 100 \quad (3)$$

จากผลการทดลองวงจรขับหลอดแอลอีดีที่พิกัด

$$V_{\text{in}} = 11.84 \text{ V}_{\text{dc}}$$

$$I_{\text{in}} = I_{\text{L}} = 6.26 \text{ A}$$

$$V_{\text{out}} = 25.92 \text{ V}_{\text{dc}}$$

$$I_{\text{out}} = 2.385 \text{ A}$$

$$\text{eff} = \frac{25.92 \times 2.385}{11.84 \times 6.26} \times 100$$

$$\text{eff} = 83.41\%$$

ประสิทธิภาพของวงจรขับหลอดแอลอีดีเมื่อทำงานที่พิกัดมีค่าเท่ากับ 83.41%

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองโครงงานนี้ทำโดยใช้วงจรระดับแรงดันขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงซึ่งที่กระแสไฟฟ้าขาออกไว้ที่ค่าที่กำหนดหรือโหมดควบคุมกระแสขาออก ซึ่งวงจรระดับแรงดันรับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V จากผลการทดลองสามารถขับหลอดแอลอีดีให้ทำงานที่พิกัดกระแสขาออกตามที่ต้องการและรักษาการทำงานที่พิกัดนี้ไว้ได้โดยการป้องกันกระแสไฟฟ้าออกจากวงจรระดับแรงดันหรือกระแสที่ไหลไปยังหลอดแอลอีดีโดยใช้วงจรตรวจจับกระแสซึ่งจะส่งสัญญาณออกเป็นแรงดันไฟฟ้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมค่าตัวดิไซเคิลของสัญญาณที่เข้าไปขับขาเกตของไอจีบีทีของวงจรระดับแรงดันให้ได้ค่ากระแสขาออกที่กำหนดไว้ และจากผลการทดลองกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำของวงจรระดับแรงดันจะเห็นว่าวงจรระดับแรงดันทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่ตกลงสู่ศูนย์ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทางด้านขาเข้าและขาออกของวงจรระดับแรงดันมาคำนวณประสิทธิภาพแล้วพบว่า วงจรมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าประสิทธิภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาและความปรารถนาดีที่รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สังจา ได้ให้คำแนะนำต่างๆในการดำเนินงานเกี่ยวกับโครงงาน ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ให้ความรู้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ โดยหากปราศจากท่านโครงงานนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่ๆปรีญญาโทในห้องปฏิบัติการ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา

ขอบคุณนายศุภกร จันทร์ประภา ที่เป็นกำลังใจและช่วยทำแผ่น PCB ตลอดจนบัดกรีและให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับวงจร

ขอบคุณนายวุฒินันท์ ผาโสม ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์การทำอาร์ดแวร์

ขอบคุณนายวิษณุพันธ์ ทองไสว ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอบคุณนายวานิช พรหมลธิ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านอาร์ดแวร์

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องกราบขอพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจตลอดจนส่งเสียเงินทองให้ผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia, "light-emitting diode" [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [2] คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล "หลอด LED" [Online]. Available: <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/led/thaiLED.htm>
- [3] N. Mohan, T. M. Underland, and W.P. Robins, Power Electronics Converter, Application and Design, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [4] McLyman, Colonel Wm.T, Transformer and inductor design handbook, New York : Marcel Dekker, 1988
- [5] วีระเชษฐ์ ชื่นเงิน และ วุฒิพล ธาธาธิ์เรศขันธ์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง" ครั้งที่ 9, กรุงเทพฯ, หจก.วี.เจ.พรินต์ติ้ง, 2547
- [6] ฉัตรชัย วิเศษบัณฑิตกุล และคณะ "วงจรขับหลอดแอลอีดีกำลังสูง" ปริญญาโทบริหารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [7] กนกพัฒน์ บัวเลิศ กระพัน เกิดผล และจตุพล พงศ์ศิริศาสตร์ "ระบบไฟฉุกเฉินโดยใช้ LED" ปริญญาโทบริหารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

63A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diodes

The HGTG30N60C3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The IGBT used is the development type TA49051. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the development type TA49053.

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

Formerly Developmental Type TA49014.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG30N60C3D	TO-247	G30N60C3D

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Symbol

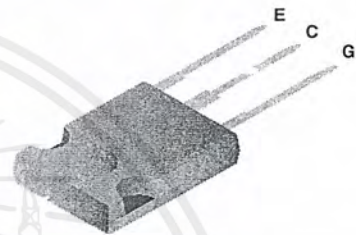


Features

- 63A, 600V at $T_C = 25^\circ\text{C}$
- Typical Fall Time 230ns at $T_J = 150^\circ\text{C}$
- Short Circuit Rating
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

Packaging

JEDEC STYLE TO-247



FAIRCHILD CORPORATION IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS

4,364,073	4,417,385	4,430,792	4,443,931	4,466,176	4,516,143	4,532,534	4,587,713
4,598,461	4,605,948	4,620,211	4,631,564	4,639,754	4,639,762	4,641,162	4,644,637
4,682,195	4,684,413	4,694,313	4,717,679	4,743,952	4,783,690	4,794,432	4,801,986
4,803,533	4,809,045	4,809,047	4,810,665	4,823,176	4,837,606	4,860,080	4,883,767
4,888,627	4,890,143	4,901,127	4,904,609	4,933,740	4,963,951	4,969,027	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HGTG30N60C3D

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	HGTG30N60C3D	UNITS
Collector to Emitter Voltage	BV_{CES}	600
Collector Current Continuous		V
At $T_C = 25^\circ\text{C}$	I_{C25}	63
At $T_C = 110^\circ\text{C}$	I_{C110}	30
Average Diode Forward Current at 110°C	$I_{(AVG)}$	25
Collector Current Pulsed (Note 1)	I_{CM}	252
Gate to Emitter Voltage Continuous	V_{GES}	± 20
Gate to Emitter Voltage Pulsed	V_{GEM}	± 30
Switching Safe Operating Area at $T_J = 150^\circ\text{C}$	SSOA	60A at 600V
Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	208
Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$		1.67
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	-40 to 150
Maximum Lead Temperature for Soldering	T_L	260
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15\text{V}$	t_{SC}	4
Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10\text{V}$	t_{SC}	15

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2. $V_{CE(PK)} = 360\text{V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$, $R_G = 25\Omega$.

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Collector to Emitter Breakdown Voltage	BV_{CES}	$I_C = 250\mu\text{A}$, $V_{GE} = 0\text{V}$	600	-	-	V
Emitter to Collector Breakdown Voltage	BV_{ECS}	$I_C = 10\text{mA}$, $V_{GE} = 0\text{V}$	15	25	-	V
Collector to Emitter Leakage Current	I_{CES}	$V_{CE} = BV_{CES}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
		$V_{CE} = BV_{CES}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	3.0	mA
Collector to Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_C = I_{C110}$, $V_{GE} = 15\text{V}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$	-	1.5	1.8	V
		$T_C = 150^\circ\text{C}$	-	1.7	2.0	V
Gate to Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(TH)}$	$I_C = 250\mu\text{A}$, $V_{CE} = V_{GE}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$	3.0	5.2	6.0	V
Gate to Emitter Leakage Current	I_{GES}	$V_{GE} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
Switching SOA	SSOA	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $V_{GE} = 15\text{V}$, $R_G = 3\Omega$, $L = 100\mu\text{H}$, $V_{CE(PK)} = 480\text{V}$	200	-	-	A
		$V_{CE(PK)} = 600\text{V}$	60	-	-	A
Gate to Emitter Plateau Voltage	V_{GEP}	$I_C = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$	-	8.1	-	V
On-State Gate Charge	$Q_{G(ON)}$	$I_C = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$, $V_{GE} = 15\text{V}$	-	162	180	nC
		$V_{GE} = 20\text{V}$	-	216	250	nC
Current Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$T_J = 150^\circ\text{C}$, $I_{CE} = I_{C110}$, $V_{CE(PK)} = 0.8 BV_{CES}$, $V_{GE} = 15\text{V}$, $R_G = 3\Omega$, $L = 100\mu\text{H}$	-	40	-	ns
Current Rise Time	t_{ri}		-	45	-	ns
Current Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	320	400	ns
Current Fall Time	t_{fi}		-	230	275	ns
Turn-On Energy	E_{ON}		-	1050	-	μJ
Turn-Off Energy (Note 3)	E_{OFF}		-	2500	-	μJ
Diode Forward Voltage	V_{EC}	$I_{EC} = 30\text{A}$	-	1.75	2.2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HGTG30N60C3D

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{EC} = 30\text{A}, di_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	52	60	ns
		$I_{EC} = 1.0\text{A}, di_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	42	50	ns
Thermal Resistance	$R_{\theta JC}$	IGBT	-	-	0.6	$^\circ\text{C}/\text{W}$
		Diode	-	-	1.3	$^\circ\text{C}/\text{W}$

NOTE:

- Turn-Off Energy Loss (E_{OFF}) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ($I_{CE} = 0\text{A}$). The HGTG30N60C3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

Typical Performance Curves

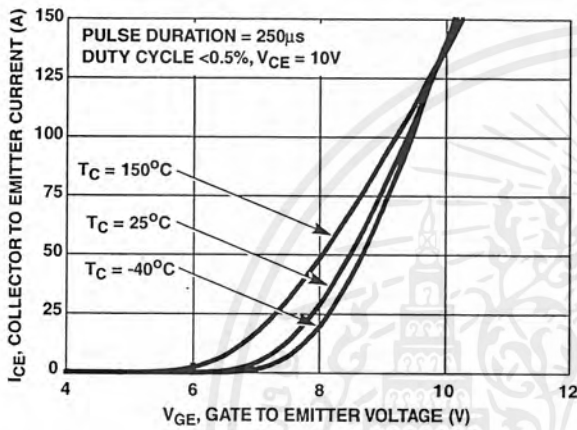


FIGURE 1. TRANSFER CHARACTERISTICS

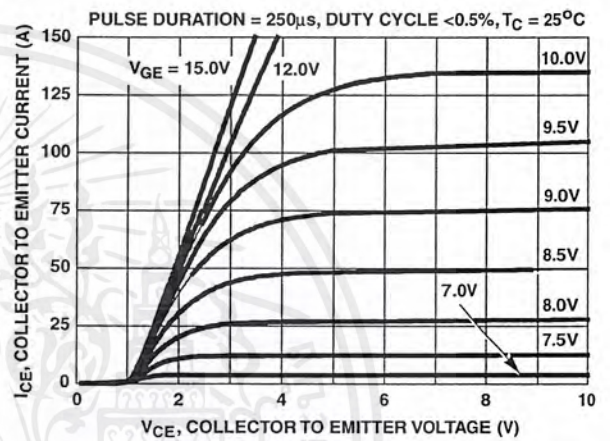


FIGURE 2. SATURATION CHARACTERISTICS

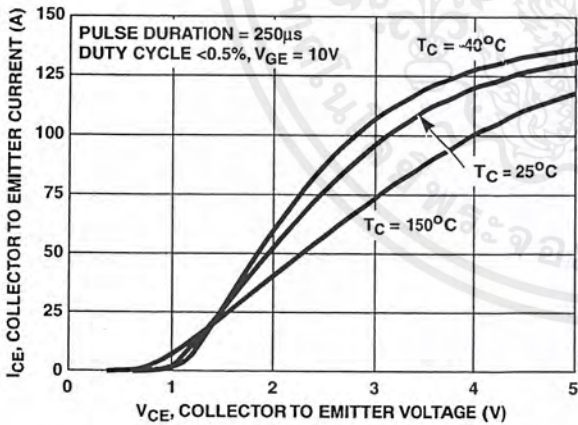


FIGURE 3. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

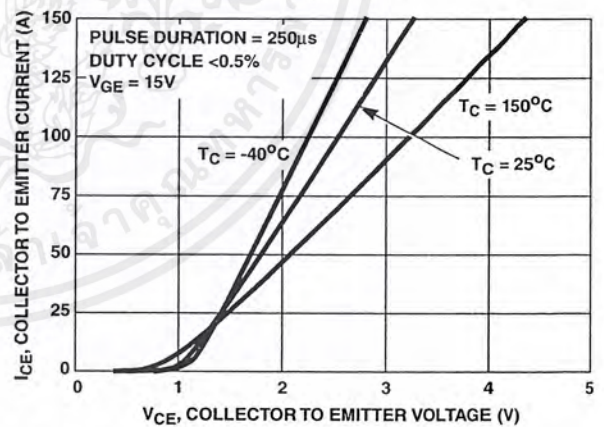


FIGURE 4. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves (Continued)

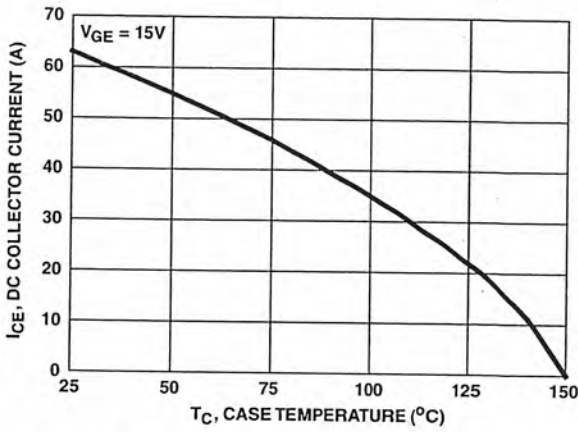


FIGURE 5. MAX. DC COLLECTOR CURRENT vs CASE TEMPERATURE

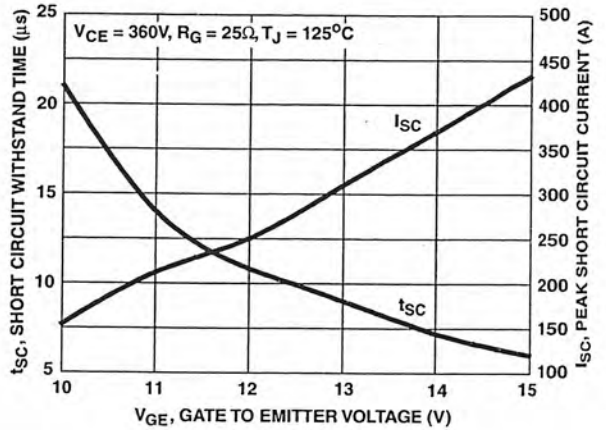


FIGURE 6. SHORT CIRCUIT WITHSTAND TIME

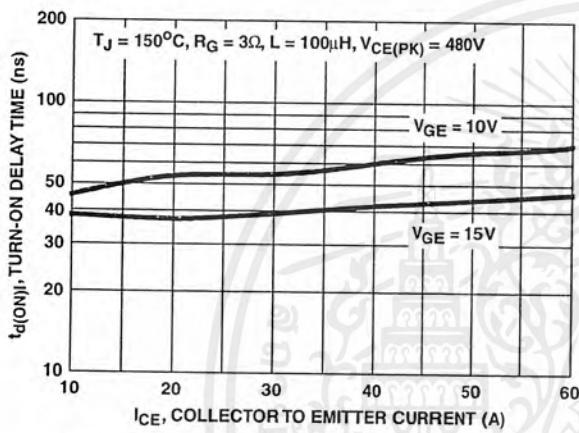


FIGURE 7. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

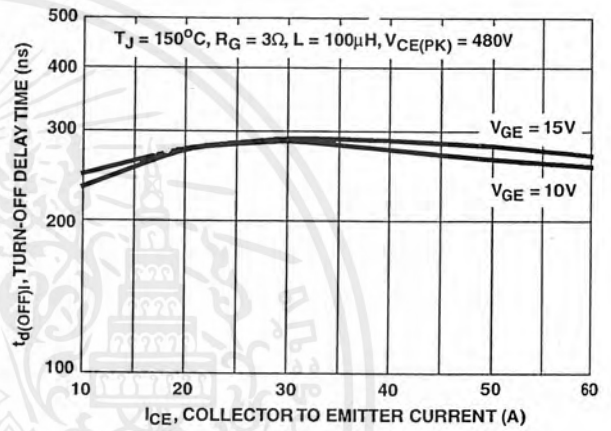


FIGURE 8. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

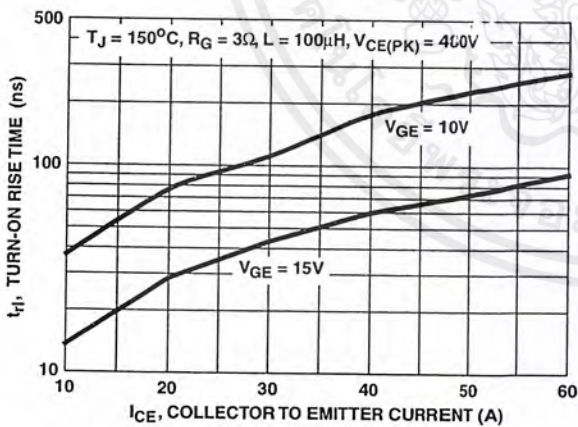


FIGURE 9. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

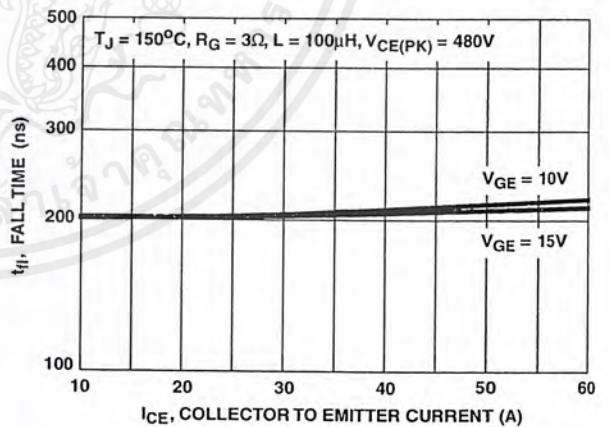


FIGURE 10. TURN-OFF FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves (Continued)

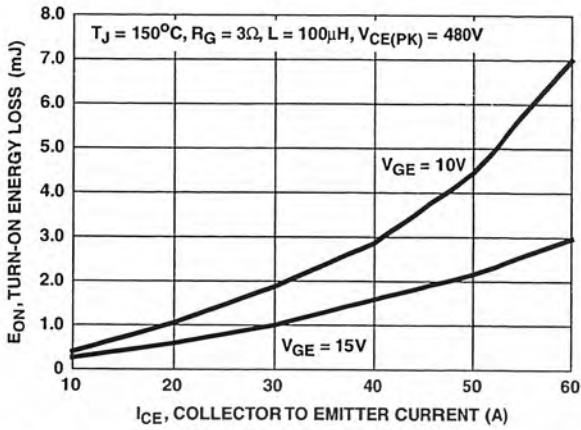


FIGURE 11. TURN-ON ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

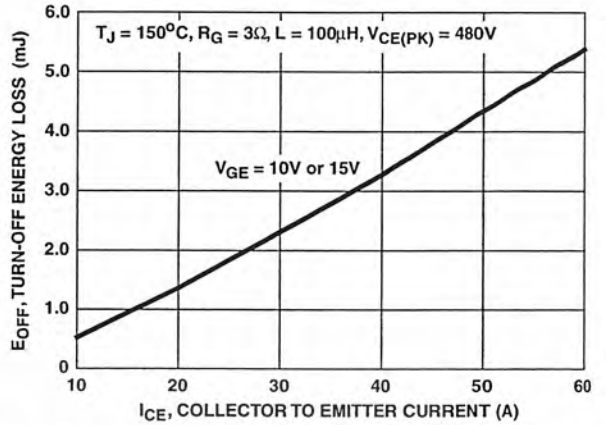


FIGURE 12. TURN-OFF ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

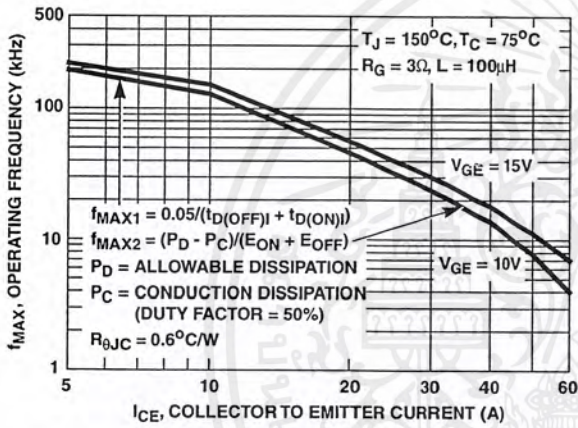


FIGURE 13. OPERATING FREQUENCY vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

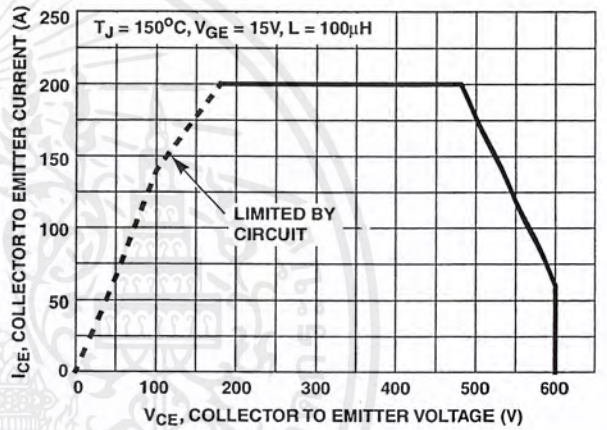


FIGURE 14. SWITCHING SAFE OPERATING AREA

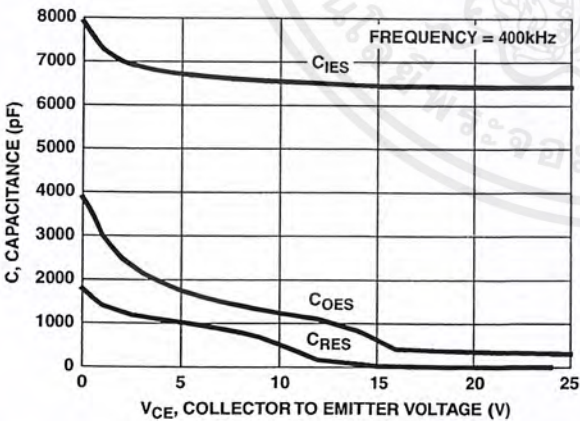


FIGURE 15. CAPACITANCE vs COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE

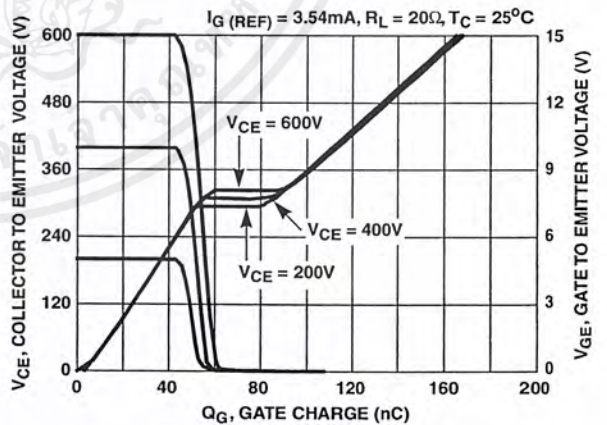


FIGURE 16. GATE CHARGE WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves (Continued)

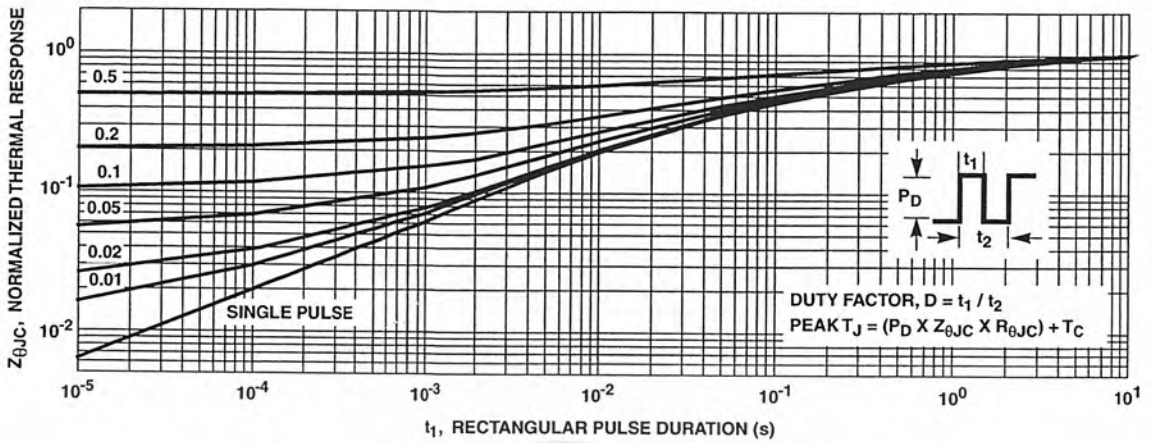


FIGURE 17. IGBT NORMALIZED TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE, JUNCTION TO CASE

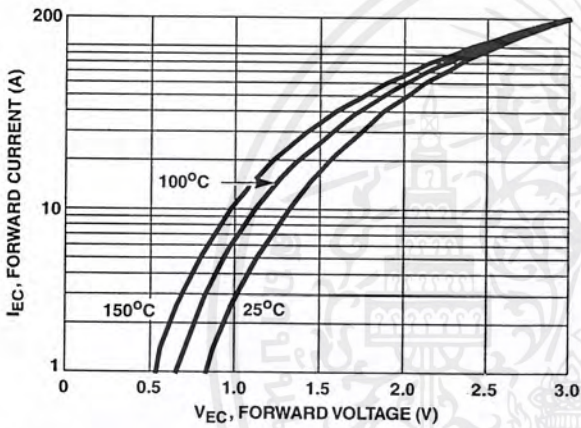


FIGURE 18. DIODE FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE DROP

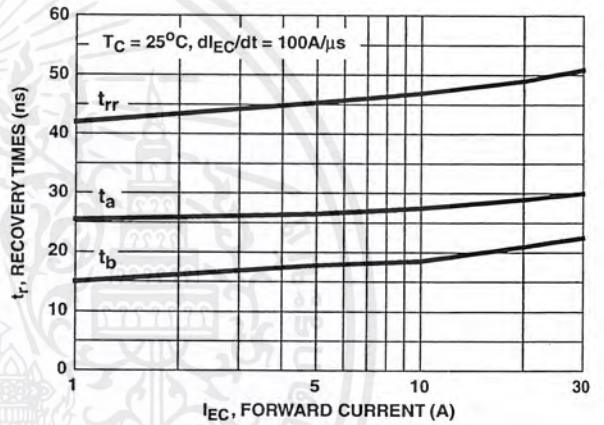


FIGURE 19. RECOVERY TIMES vs FORWARD CURRENT

Test Circuit and Waveforms

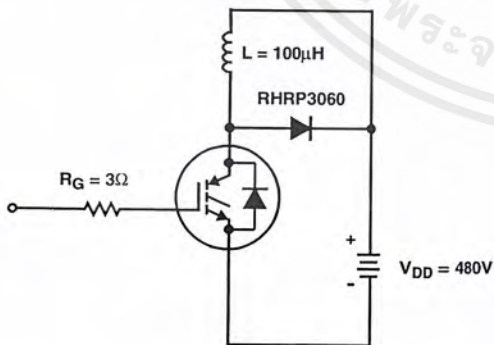


FIGURE 20. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

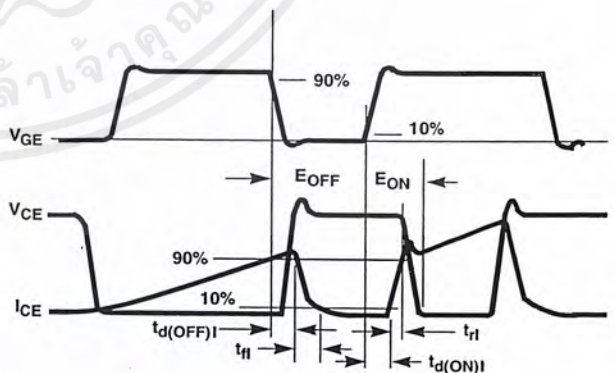


FIGURE 21. SWITCHING TEST WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Handling Precautions for IGBTs

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and application procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORB™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of V_{GEM} . Exceeding the rated V_{GE} can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external zener is recommended.

Operating Frequency Information

Operating frequency information for a typical device (Figure 13) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current (I_{CE}) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 4, 7, 8, 11 and 12. The operating frequency plot (Figure 13) of a typical device shows f_{MAX1} or f_{MAX2} whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

f_{MAX1} is defined by $f_{MAX1} = 0.05 / (t_{D(OFF)} + t_{D(ON)})$. Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on-state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible. $t_{D(OFF)}$ and $t_{D(ON)}$ are defined in Figure 21.

Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than T_{JM} . $t_{D(OFF)}$ is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

f_{MAX2} is defined by $f_{MAX2} = (P_D - P_C) / (E_{OFF} + E_{ON})$. The allowable dissipation (P_D) is defined by $P_D = (T_{JM} - T_C) / R_{\theta JC}$. The sum of device switching and conduction losses must not exceed P_D . A 50% duty factor was used (Figure 13) and the conduction losses (P_C) are approximated by $P_C = (V_{CE} \times I_{CE}) / 2$.

E_{ON} and E_{OFF} are defined in the switching waveforms shown in Figure 21. E_{ON} is the integral of the instantaneous power loss ($I_{CE} \times V_{CE}$) during turn-on and E_{OFF} is the integral of the instantaneous power loss during turn-off. All tail losses are included in the calculation for E_{OFF} ; i.e. the collector current equals zero ($I_{CE} = 0$).

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST [®]	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FAST ^r ™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench [®]	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E ² CMOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

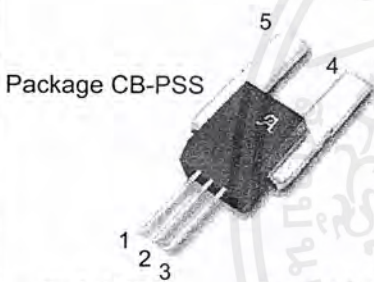
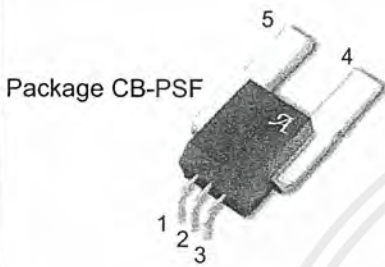
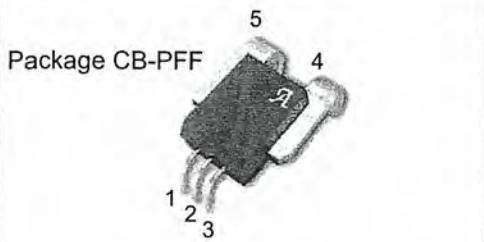
Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. H4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050



Pin 1: VCC
Pin 2: GND
Pin 3: VOUT
Terminal 4: IP+
Terminal 5: IP-

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{CC}	16 V
Reverse Supply Voltage, V_{RCC}	-16 V
Output Voltage, V_{OUT}	16 V
Reverse Output Voltage, V_{ROUT}	-0.1 V
Output Current Source, $I_{OUT(SOURCE)}$	3 mA
Output Current Sink, $I_{OUT(SINK)}$	10 mA
Operating Temperature,	
Ambient, T_A , L range	-40 to 150°C
Ambient, T_A , S range	-20 to 85°C
Maximum Junction, $T_{J(max)}$	165°C
Maximum Storage Temperature, T_S	-65 to 170°C



TUV America
Certificate Number:
U8V 04 11 54214 001



The Allegro ACS75x family of current sensors provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precision, low-offset linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy at the factory.

The output of the device has a positive slope ($>V_{CC}/2$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is typically 100 $\mu\Omega$, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5 \times overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 1 through 3). This allows the ACS75x family of sensors to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The device is fully calibrated prior to shipment from the factory. The ACS75x family is lead-free. All leads are coated with 100% matte tin, and there is no lead inside the package. The heavy gauge leadframe is made of oxygen-free copper.

Features and Benefits

- Monolithic Hall IC for high reliability
- Single +5 V supply
- 3 kV_{RMS} isolation voltage between terminals 4/5 and pins 1/2/3
- 35 kHz bandwidth
- Automotive temperature range
- End-of-line factory-trimmed for gain and offset
- Ultra-low power loss: 100 $\mu\Omega$ internal conductor resistance
- Ratiometric output from supply voltage
- Extremely stable output offset voltage
- Small package size, with easy mounting capability
- Output proportional to ac and dc currents

Applications

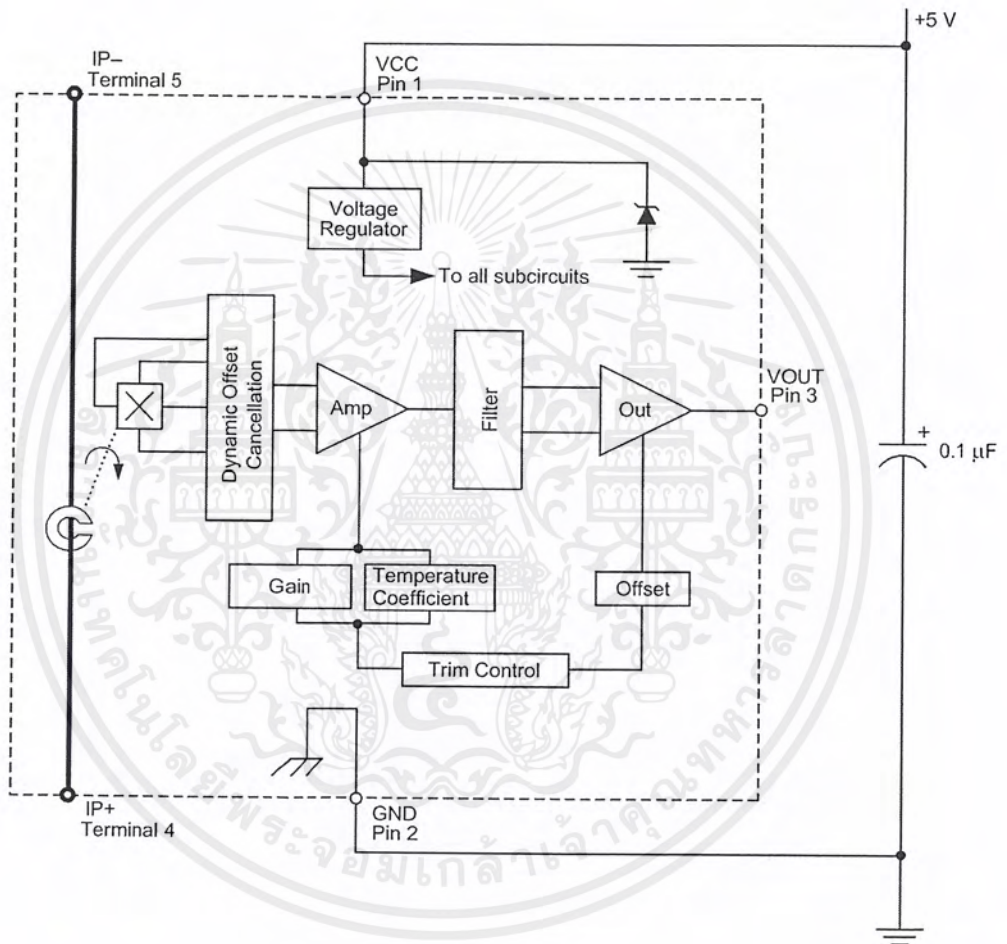
- Automotive systems
- Industrial systems
- Motor control
- Servo systems
- Power conversion
- Battery monitors

Use the following complete part numbers when ordering:

Part Number	Signal Pins	Terminals	Ambient
ACS754LCB-050-PFF	Formed	Formed	-40 to 150°C
ACS754LCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754LCB-050-PSS	Straight	Straight	
ACS754SCB-050-PFF	Formed	Formed	-20 to 85°C
ACS754SCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754SCB-050-PSS	Straight	Straight	

Current Sensor: ACS754xCB-050

Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

ELECTRICAL CHARACTERISTICS, over operating ambient temperature range unless otherwise stated

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Primary Sensed Current	I_P		-50	-	50	A
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	6.5	8	10	mA
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{OUT} = 1.2$ mA	-	1	2	Ω
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VOUT to GND	-	-	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VOUT to GND	4.7	-	-	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$I_P = \pm 100$ A; $T_A = 25^\circ$ C	-	100	-	$\mu\Omega$
		Pins 1-3 and 4-5; 60 Hz, 1 minute	3.0	-	-	kV

PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -20°C to +85°C, $V_{CC} = 5$ V unless otherwise specified

Propagation time	t_{PROP}	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	4	-	μ s
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	12	-	μ s
Rise time	t_r	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	11	-	μ s
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ$ C	-	35	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ$ C	-	40	-	mV/A
		Over full range of I_P	37.8	-	42.0	mV/A
Noise	V_{NOISE}	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ$ C, no external filter	-	65	-	mV
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	-	-	± 1.5	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	V_{OE}	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-10	-	10	mV
		$I = 0$ A	-20	-	20	mV
Magnetic Offset Error	I_{ERROM}	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	± 0.1	± 0.30	A
Total Output Error (Including all offsets)	E_{TOT}	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ$ C	-	± 1.0	-	%
		Over full range of I_P	-	-	± 5.0	%

PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -40°C to +150°C, $V_{CC} = 5$ V unless otherwise specified

Propagation time	t_{PROP}	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	4	-	μ s
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	12	-	μ s
Rise time	t_r	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	11	-	μ s
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ$ C	-	35	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ$ C	-	40	-	mV/A
		Over full range of I_P	36.0	-	42.8	mV/A
Noise	V_{NOISE}	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ$ C, no external filter	-	65	-	mV
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	-	-	± 1.8	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	V_{OE}	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-10	-	10	mV
		$I = 0$ A	-35	-	35	mV
Magnetic Offset Error	I_{ERROM}	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	± 0.1	± 0.40	A
Total Output Error (Including all offsets)	E_{TOT}	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ$ C	-	± 1.0	-	%
		Over full range of I_P	-	-	± 9.9	%

Current Sensor: ACS754xCB-050

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens): The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is trimmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}): The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}): The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Linearity reveals the maximum deviation from the ideal transfer curve for this transducer. Nonlinearity in the output can be attributed to the gain variation across temperature and saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta \text{ gain} \times \% \text{ sat} (V_{\text{out_full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})}{2 (V_{\text{out_half-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where

Δ gain = the gain variation as a function of temperature changes from 25°C,

% sat = the percentage of saturation of the flux concentrator, which becomes significant as the current being sensed approaches full-scale $\pm I_p$, and

$V_{\text{out_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale $\pm I_p$.

Symmetry (E_{SYM}): The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following equation is used to derive symmetry:

$$100 \left[\frac{V_{\text{out_+full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}}}{V_{\text{OUT(Q)}} - V_{\text{out_full-scale amperes}}} \right]$$

Quiescent output voltage ($V_{\text{OUT(Q)}}$): The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{\text{CC}}/2$. Thus, $V_{\text{CC}} = 5$ V translates into $V_{\text{OUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{OUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim, magnetic hysteresis, and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}): The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{\text{CC}}/2$ due to nonmagnetic causes.

Magnetic offset error (I_{ERROM}): The magnetic offset is due to the residual magnetism (remnant field) of the core material. The magnetic offset error is highest when the magnetic circuit has been saturated, usually when the device has been subjected to a full-scale or high-current overload condition. The magnetic offset is largely dependent on the material used as a flux concentrator. The larger magnetic offsets are observed at the lower operating temperatures.

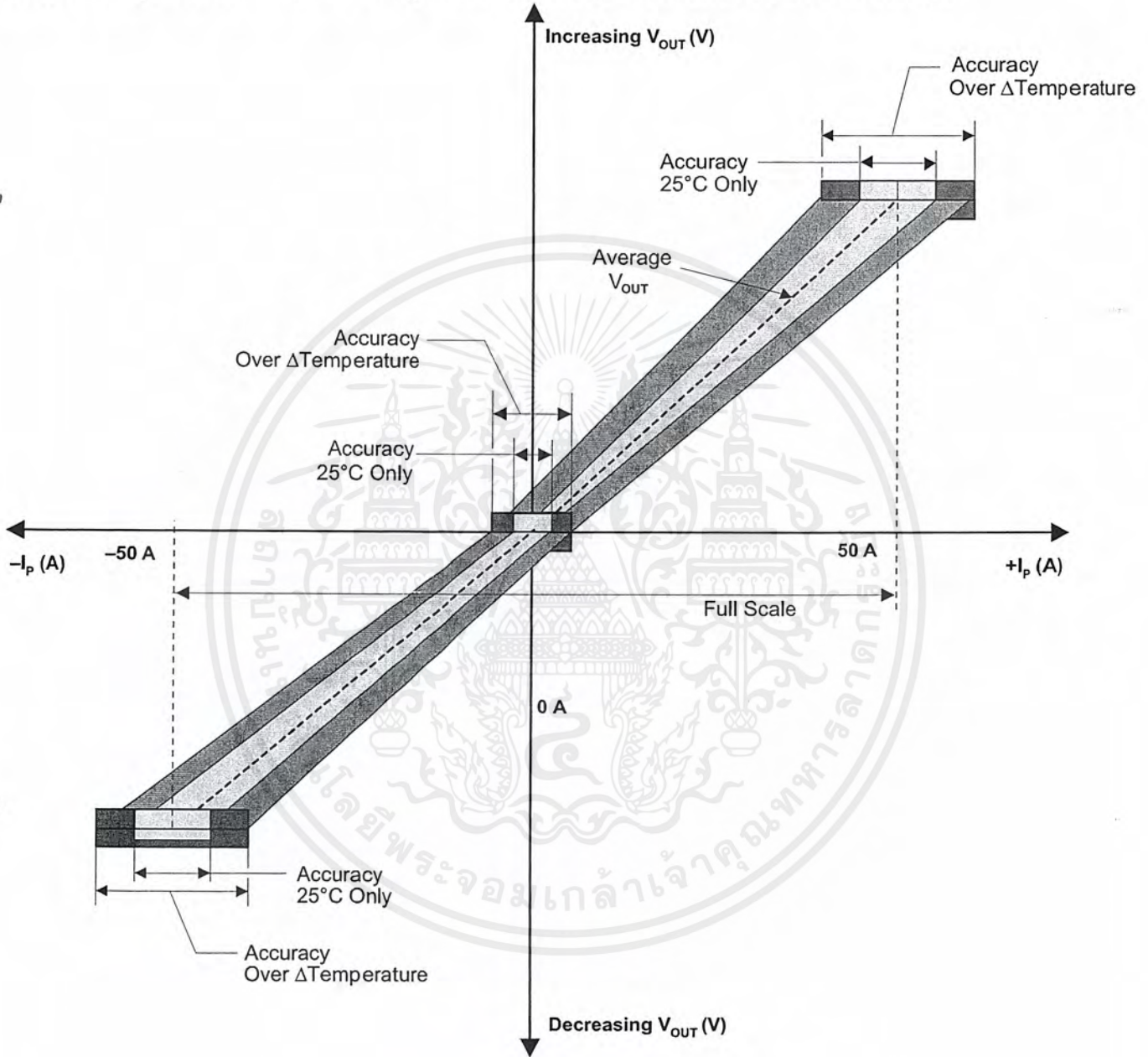
Accuracy (E_{TOT}): The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the Output Voltage versus Current chart on the following page.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C:** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over temperature:** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C:** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature:** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

Current Sensor: ACS754xCB-050

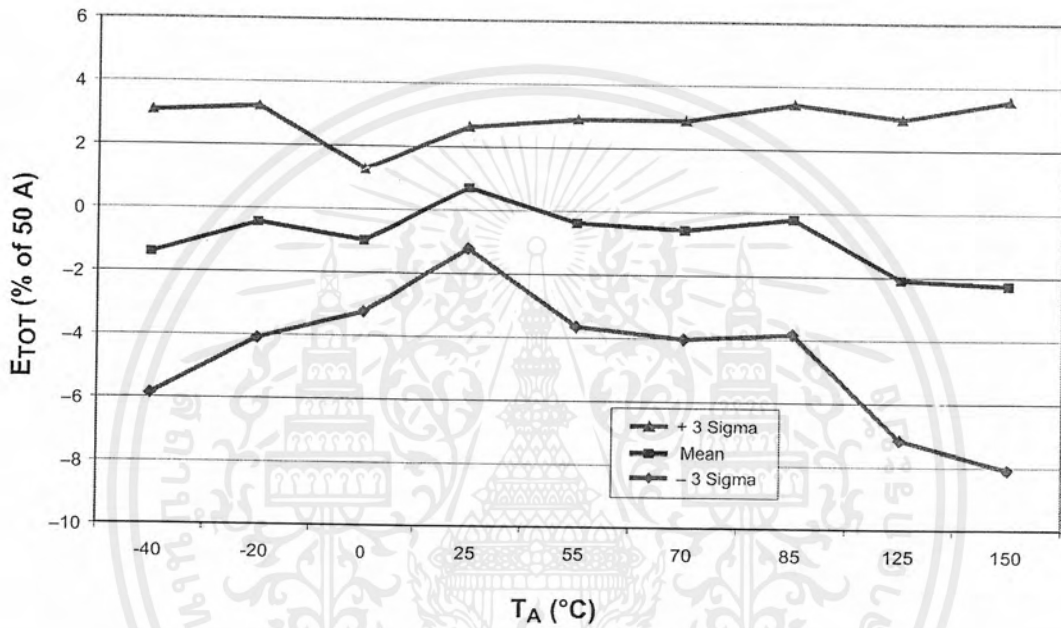
Output voltage vs. current, illustrating sensor accuracy at 0 A and at full-scale current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Sensor: ACS754xCB-050

Typical Percentage Error versus Ambient Temperature

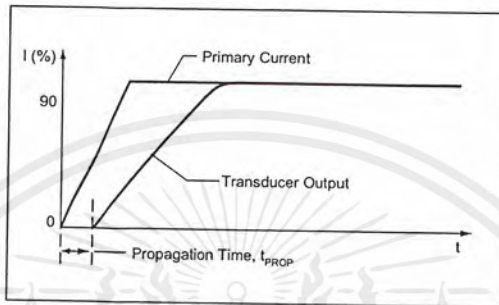


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

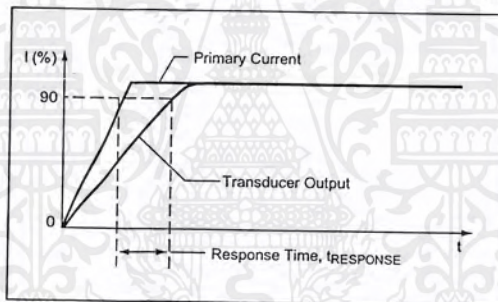
Current Sensor: ACS754xCB-050

Definitions of Dynamic Response Characteristics

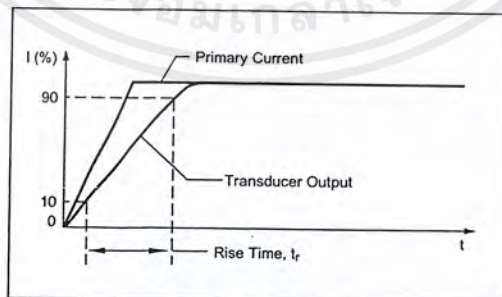
Propagation delay (t_{PROP}): The time required for the sensor output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.



Response time ($t_{RESPONSE}$): The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the sensor reaches 90% of its output corresponding to the applied current.



Rise time (t_r): The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane and, to varying degrees, in the ferrous flux concentrator within the current sensor package.

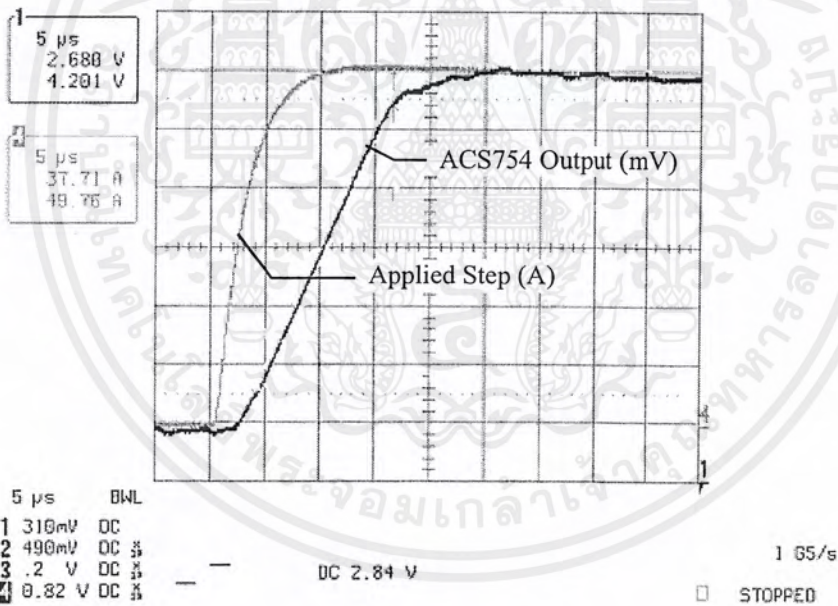


Current Sensor: ACS754xCB-050

Standards and Physical Specifications

Parameter	Specification
Flammability (package molding compound)	UL recognized to UL 94V-0
Fire and Electric Shock	UL60950-1:2003 EN60950-1:2001 CAN/CSA C22.2 No. 60950-1:2003
Creepage distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Clearance distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Package mass	4.63 g typical

Step Response, $I_p = 0$ to 50 A, no external filter



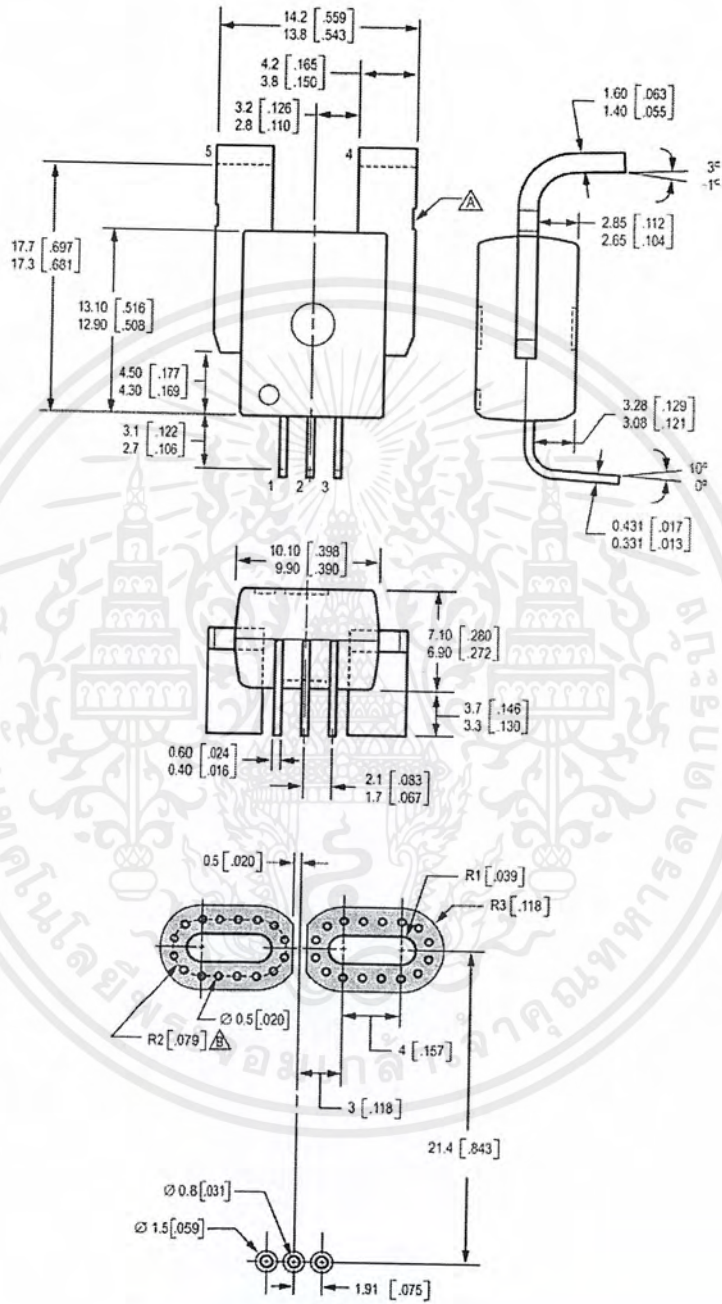
Current Sensor: ACS754xCB-050

Device Branding Key (Two alternative styles are used)

ACS754 TCB050 YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor
	754	Device family number
	T	Operating ambient temperature range code [L or S]
	CB	Package type designator
	050	Maximum measurable current
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Manufacturing date code: Calendar week
ACS754 TCB050 L...L YYWW	ACS	Allegro Current Sensor
	754	Device family number
	T	Operating ambient temperature range code [L or S]
	CB	Package type designator
	050	Maximum measurable current
	L...L	Manufacturing lot code
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
WW	Manufacturing date code: Calendar week	

Current Sensor: ACS754xCB-050

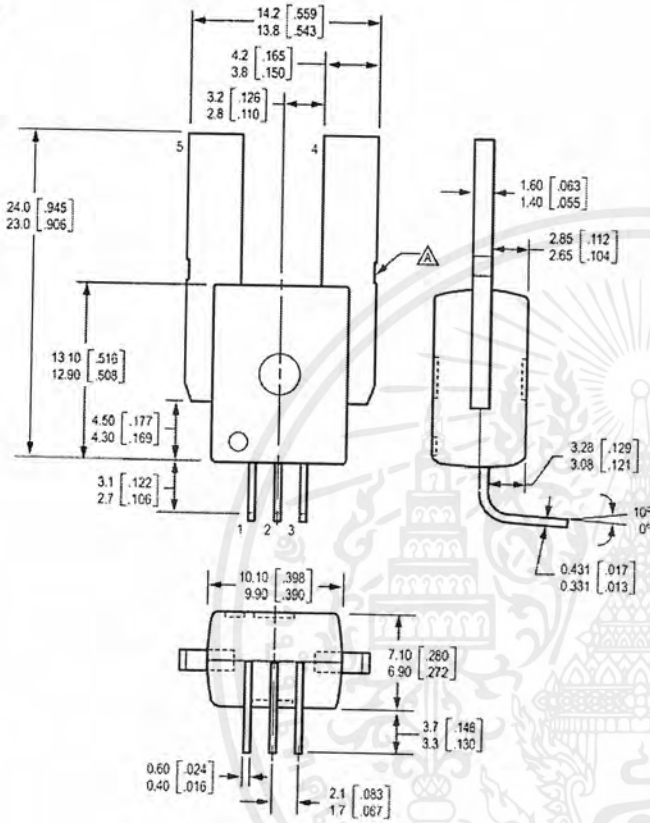
Package CB-PFF



Dimensions in millimeters
 U.S. Customary dimensions (in.) in brackets, for reference only
 ▲ Dambar removal intrusion
 ▲ Perimeter through-holes recommended

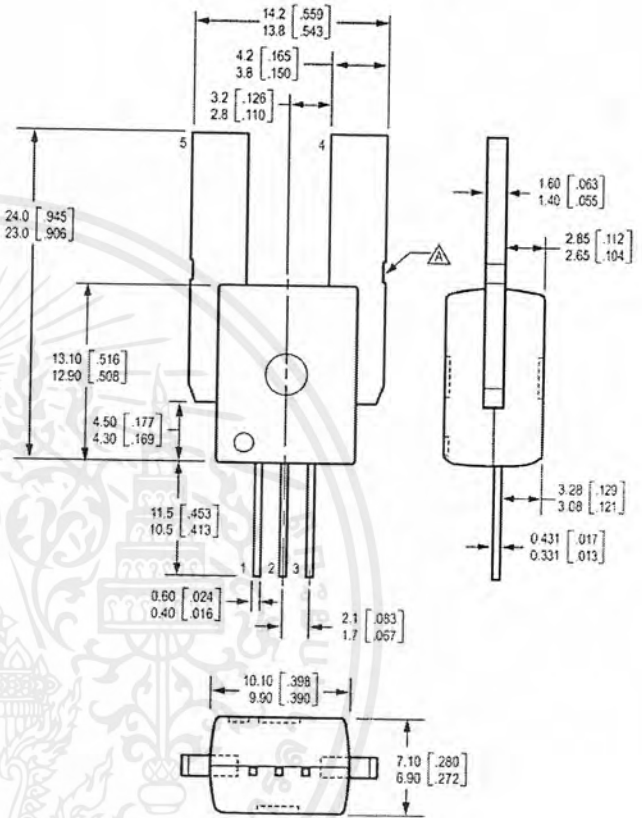
Current Sensor: ACS754xCB-050

Package CB-PSF



Dimensions in millimeters
U.S. Customary dimensions (in.) in brackets, for reference only
▲ Dambar removal intrusion

Package CB-PSS



Dimensions in millimeters
U.S. Customary dimensions (in.) in brackets, for reference only
▲ Dambar removal intrusion

The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright © 2004, 2005, AllegroMicrosystems, Inc.

ACS754050-DS, Rev. 3



115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้