

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**เครื่องประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์  
(Power Saver For Fluorescent)**



รพ.  
๑๑๓๘๑  
๒๕๕๐

เลขหาญ.....  
เลขทะเบียน..... **83013**  
วัน,เดือน,ปี... **3๐ ๐๘ 2551**

b. **11๙๕๘121**  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

(Power Saver For Fluorescent)

ผู้จัดทำ

1. นายวงษ์ปราชญ์ รังผึ้ง เลขประจำตัว 47010639

2. นายวรวุฒิ ไชคทวิศักดิ์ เลขประจำตัว 47010659



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟลูออเรสเซนต์

นายวงษ์ปราชญ์ รังผึ้ง รหัส 47010639  
นายวรวิทย์ โชคทวีศักดิ์ รหัส 47010659  
อาจารย์พลผดุง ผดุงกุล  
ปีการศึกษา 2550

## บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนออุปกรณ์ประหยัดพลังงานซึ่งใช้กับหลอดไฟลูออเรสเซนต์โดยการทำงานของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานคือ เราจะทำการตัดสัญญาณชานจ์จากไฟบ้าน(220 โวลต์ 50 เฮิร์ต) โดยสวิทช์ 2 ทิศทางที่ทำงานร่วมกันระหว่างไดโอดและ IGBT จำนวน 2 ชุด โดยใช้ความถี่ในการสวิทช์ประมาณ 2.5 KHz ซึ่งสวิทช์ตัวที่ 1 จะทำงานต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้หลอดไฟติดสว่างเต็มที่ หลังจากนั้นสวิทช์ตัวที่ 2 จะทำให้เกิดความต่อเนื่องของกระแสที่ไหลผ่านบัลลาสต์ และเป็นการลดค่าศักดาเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่หลอดไฟ ซึ่งความสว่างของหลอดไฟนั้นก็ลดลงแต่น้อยมากจนตาของเราไม่สามารถแยกออกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Power Saver For Fluorescent

Mr.Wongprach Rangpheung 47010639

Mr.Vorravoot Chokthaveesak 47010659

Mr.Polpadung Padungkun (Advisor)

Academic year 2007

## Abstract

This project presents a light saver for fluorescent lamp. For the working process of this device, the sine signal would be chopped from the house electric power 220V 50Hz by using 2-way switch in which to sets off diode and IGBT work together , with the frequency for switching about 2.5 KHz. The first switch would run continuously for a period off time in order to make fluorescent lamp extremely lighted. After that, The second switch would drink about the continuity of electric current which go through Ballast and also the reduction of voltage which distribute to the get off fluorescent lamp. However, it reduces very little that people's eyes are not able to realize difference of it from the normal fluorescent tube.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1) ทฤษฎีพื้นฐานหลอดฟลูออเรสเซนต์	2
2.2) โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์	4
2.3) การกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	8
2.4) การกระจายกำลังเชิงสเปกตรัม (Spectral Power Distribution : SPD)	9
2.5) ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์	10
2.6) ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์	10
2.7) ไอจีบีทีเบื้องต้น (Introduction IGBT)	11
2.7.1) โครงสร้างและสัญลักษณ์	11
2.7.2) สภาวะนำกระแส	13
2.7.3) การแลตช์ในไอจีบีที	15
2.7.4) การป้องกันการแลตช์	16
2.7.5) วงจรสมมูลของไอจีบีที	17
2.8) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	19
บทที่ 3 หลักการในการออกแบบวงจร	25
3.1) หลักการทำงานของระบบ	25
3.2) ส่วนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	28
3.3) วงจรขับ IGBT โดยใช้ ออปโตได	29
3.4 ) ค่าเวลาเผื่อ(Dead Time) สำหรับการสวิตซ์ใน Light Saver	31
3.5) การคำนวณตัวเก็บประจุ(Capacitor) สำหรับช่วงค่าเวลาเผื่อ(Dead Time)	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	43
ภาคผนวก	44
เอกสารอ้างอิง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	4
รูปที่ 2.2 แสดง Phosphor Model ของ Zinc Sulfer (Zns)	7
รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	8
รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายกำลังเชิงสเปกตรัมของหลอดฟลูออเรสเซนต์	9
รูปที่ 2.5 แสดงรูปบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์	10
รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์และการเรียกชื่อขาของ ไอจีบีที	11
รูปที่ 2.7 ภาพตัดขวาง โครงสร้างพื้นฐาน ไอจีบีที	12
รูปที่ 2.8 ก) ลักษณะคุณสมบัติกระแสและแรงดันของ ไอจีบีที	13
ข) ลักษณะคุณสมบัติการถ่ายโอนของ ไอจีบีที	13
รูปที่ 2.9 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนและโฮล	14
รูปที่ 2.10 โครงสร้างที่ปรับปรุงเพื่อป้องกันการแลตช์ใน ไอจีบีที	17
รูปที่ 2.11 (ก) โครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์และมอสเฟตแฝงอยู่ภายใน	18
(ข) วงจรสมมูลสำหรับการทำงานสภาพปกติของ ไอจีบีที	18
(ค) วงจรสมมูลที่แสดงส่วนของทรานซิสเตอร์ที่แฝงอยู่ใน ไอจีบีที	18
รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51	19
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะต่างของ MCS-51	22
รูปที่ 3.1 วงจรรวมของระบบทั้งหมด	27
รูปที่ 3.2 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	28
รูปที่ 3.3 รูปวงจรขับ IGBT โดยใช้ ออปโต	29
รูปที่ 3.4 แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของ ไอจีบีที	30
เนื่องจากประจุสะสมเมื่อ ไอจีบีทีนำกระแสพร้อมกัน	
รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดค่าเวลาเพื่อ $t_b$ ให้กับ ไอจีบีที	31
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 70%	32
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 70%	33
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 70%	33
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 75%	34
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 75%	34
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 75%	35
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 80%	35

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 80%	36
รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 80%	36
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 85%	37
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 85%	37
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 85%	38
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 90%	38
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 90%	39
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 90%	39
รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 95%	40
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 95%	40
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 95%	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์อย่างกว้างขวาง ทั้งตามอาคาร บ้านเรือน หรือสำนักงานต่างๆทั่วไป จนถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการดำเนินชีวิตไปแล้ว ดังนั้นผมจึงคิดอุปกรณ์ในการประหยัดไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขึ้นมา เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังเป็นทางเลือกในการลดพลังงานเพื่อช่วยประเทศชาติได้อีกทางหนึ่งด้วย

การทำงานของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานคือ เราจะทำการตัดสัญญาณชานน์จากไฟบ้าน (220 โวลต์ 50 เฮิร์ต) โดยใช้ IGBT เป็นสวิทซ์สัญญาณชานน์ที่ถูกตัดจะมีกำลังลดลง ส่วนความสว่างของหลอดไฟก็จะลดลงด้วย แต่ลดลงน้อยมากจนตาของเราไม่สามารถแยกออกได้

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องประหยัดพลังงานไฟฟ้า สำหรับชุดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องประหยัดพลังงานฯ ที่ใช้สวิทซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบนำกระแสได้สองทิศทาง
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และซอฟต์แวร์ที่ควบคุมการทำงานของสวิทซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากไฟตก

### ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบสวิทซ์ที่นำกระแสได้สองทิศทางพร้อมวงจรขับนำ ที่สามารถทนกำลังงานได้ตามจำนวนชุดของหลอดไฟที่ต่อใช้งาน และสวิทซ์ทั้งสองตัวต้องทำงานสลับกันตลอดเวลา โดยในช่วงแรกของการเริ่มต้นการทำงานสวิทซ์1จะทำงานต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้หลอดทุกหลอดติดสว่างเต็มที่ หลังจากนั้นจะเริ่มทำงานสลับกับสวิทซ์2ที่มีความถี่สูง เพื่อทำให้เกิดความต่อเนื่องของกระแสที่ไหลผ่านบัลลาสต์และเป็นการลดค่าศักดาเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่ชุดหลอดไฟที่ต่ออยู่
2. ออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของสวิทซ์ พร้อมตรวจสอบแรงดันไฟสลับที่เข้ามาว่ามีระดับเท่าใด ขาดหายไปหรือไม่ เพื่อควบคุมช่วงเวลาการทำงานของสวิทซ์ในแต่ละคาบเวลาการสวิทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานหลอดฟลูออเรสเซนต์

ในปัจจุบันสามารถยอมรับได้เลยว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์จัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่ได้รับความนิยมกันแพร่หลาย ในการใช้งานตามบ้านเรือนที่พักอาศัย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างที่สูงพอสมควร และคุณภาพของแสงที่ออกมาที่เหมาะสมสำหรับการให้แสงสว่างทั่วไปจากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นเหตุให้มันถูกนำไปใช้ทดแทนแหล่งกำเนิดแสงสว่างแบบเดิม คือ หลอดเผาไส้ ( Incandescent )

หลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ทำให้เกิดแสงสว่างเปล่งออกมาจากหลอดนั้น นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบในปี ค.ศ. 1852 โดยอาศัยการเปลี่ยนพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นแสงสว่างที่สามารถมองเห็นได้ แต่กว่าที่หลอดฟลูออเรสเซนต์หลอดแรกจะถือกำเนิดก็ล่วงมาถึงปี ค.ศ. 1935 ซึ่งเป็นหลอดขนาด 2 ฟุต และปี ค.ศ. 1938-1939 หลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ถูกพัฒนาให้นำมาใช้ในแหล่งอุตสาหกรรมและชุมชน โดยในช่วงนั้นจะมีสีขาวและสีอื่นๆ อีก 6 สี ซึ่งใช้สารฟอสเฟอร์ที่แตกต่างกันเคลือบที่ผนังหลอดฟลูออเรสเซนต์

จากข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ให้ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างที่สูงเมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงทำให้ได้มีการคิดค้น และผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ใหม่ๆ ออกมา ในปัจจุบันมากมายเพื่อที่จะทดแทนข้อเสียเดิมที่มีอยู่แล้ว เช่น ขนาดของหลอดที่ยังจัดได้ว่าค่อนข้างยาว และ เกะกะ โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับหลอดเผาไส้

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่พบมากกันในปัจจุบัน มีดังนี้

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็ก

หลอดแบบนี้ได้รวมเอาบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ไว้ในตัว ขั้วของหลอดเป็นแบบเกลียว โดยมีวัสดุประสงค์เพื่อใช้แทนหลอดเผาไส้โดยตรง ที่ฐานหลอดจะบรรจุบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ไว้ หลอดชนิดนี้จะมีชื่อเรียกทางการค้าต่างกันออกไปตามผู้ผลิต เช่น

บริษัทฟิลิปส์ เรียกว่า หลอด SL, SLD

บริษัทซิลวาเนีย เรียกว่า หลอดCheetah

ขนาดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประเภทนี้มีหลายขนาด คือ 9 วัตต์, 13 วัตต์, 18 วัตต์, 25 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หลักการทํางานเบื้องต้น

การทํางานของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเกิดขึ้นจากไอปรอทที่บรรจุเอาไว้ในก๊าซเฉื่อย เช่น พกก๊าซอาร์กอน คริปตอน หรือ นีออน ที่ความดันต่ำๆ ไอปรอทได้รับพลังงานจากแหล่งปลดปล่อยพลังงาน เพื่อกระตุ้นให้ไอปรอทปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เปล่งออกจากไอปรอทนี้จะกระทบเข้ากับผิวในของหลอดแก้วซึ่งฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงที่เรียกว่า ฟอสเฟอร์ ( Phosphor ) ตัวเรืองแสงนี้ก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ให้กลายเป็นแสงสว่างที่ปรากฏแก่สายตาของมนุษย์

ตัวหลอดไฟนั้น จริงๆ แล้วก็คือ หลอดแก้วที่ภายในฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสงจากนั้นก็จะถูกนำไปดูดเอาอากาศออก และปล่อยปรอทจำนวนเล็กน้อย และก๊าซเฉื่อยไว้ภายใน ที่ปลายทั้งสองของหลอดแก้ว จะมีขั้วไฟฟ้าที่เรียกว่า อิเล็กโทรด ( Electrode ) เมื่อเปิดสวิตซ์ให้มีกระแสไฟไหลผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทางเดินของกระแสผ่านขั้วอิเล็กโทรดจะทำให้ขั้วอิเล็กโทรดร้อน และปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะออกมาจากสารปล่อยอิเล็กตรอน ( Emissive Material ) ซึ่งเคลือบไว้บนไส้หลอด นอกเหนือจากอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาโดยความร้อน ก็ยังมีอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาเนื่องจากความแตกต่างของค่าแรงดัน ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่ง ก่อให้เกิดลำอิเล็กตรอน หรืออาร์ค ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านไอของปรอททำให้ไอของปรอทได้รับพลังงานจากอิเล็กตรอน และทำให้หลอดได้รับความร้อน และเพิ่มค่าแรงดันไอปรอทจนถึงจุดที่หลอดจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

สภาวะที่เกิดขึ้นภายในหลอดแก้วนี้จะมีคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับค่าความดันของก๊าซที่อยู่ในภายในและค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่สำคัญก็คือการก่อให้เกิดแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและอัลตราไวโอเล็ต เมื่ออิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ชนกับอะตอมของไอปรอท และทำให้อิเล็กตรอนของไอปรอทกระเด็นออกจากวงโคจรของมัน อิเล็กตรอนที่หลุดกระเด็นออกมาเหล่านี้พยายามที่จะกลับคืนเข้าสู่วงโคจรเดิม ดังนั้นมันจะปล่อยพลังงานที่มันได้รับออกมาก่อนที่จะเข้าสู่สถานะเดิม พลังงานที่มันปลดปล่อยออกมานี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 253.7 nm

แสงอัลตราไวโอเล็ตนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้โดยสารเรืองแสง ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตเอาไว้และปล่อยแสงซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่าตามนุษย์เห็นได้ออกมา หรืออาจกล่าวได้ว่า ตัวสารเรืองแสงนี้จะถูกกระตุ้นให้เปล่งแสงออกมา โดยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม สีของแสงที่ได้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารที่ใช้ภายในของหลอดแก้วหลักการทํางานเบื้องต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

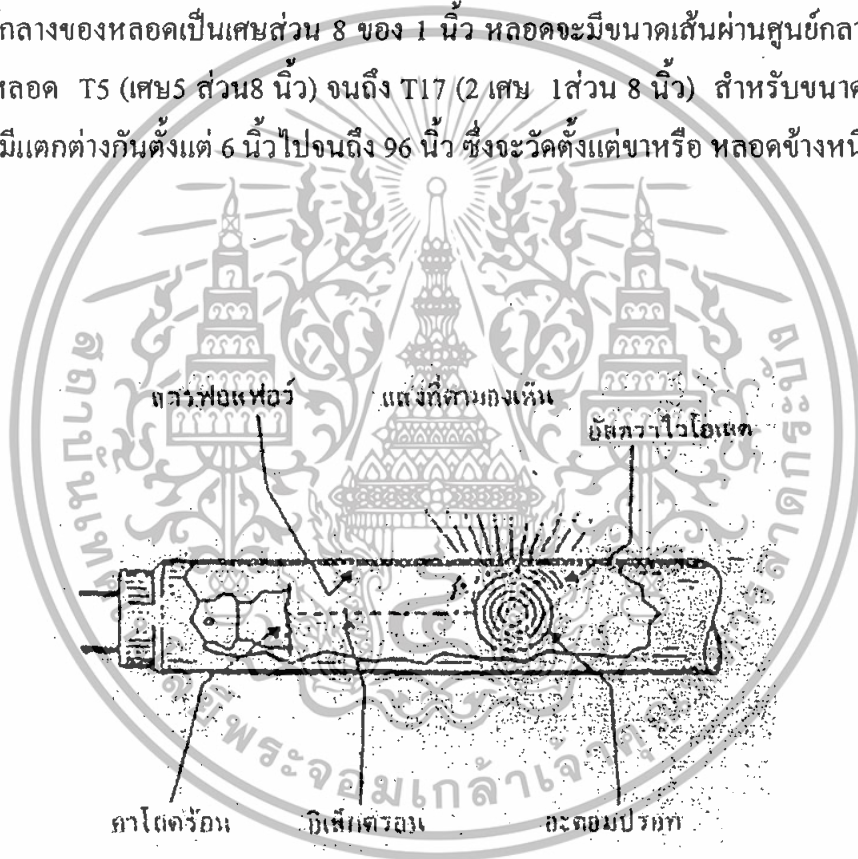
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โครงสร้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

แม้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีหลายขนาดและหลายรูปร่าง แต่รูปร่างที่พบบันมากที่สุดก็คือหลอดกลมที่มีขั้วหลอดและฐานขั้วหลอดอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอด ภายในหลอดจะบรรจุไว้ด้วยปรอทจำนวนเล็กน้อย และก๊าซเฉื่อย ซึ่งส่วนมากจะเป็นก๊าซอาร์กอน หรือส่วนประกอบก๊าซอื่นๆ และสารเคลือบเรืองแสง ส่วนประกอบอื่นๆ ของหลอดมีดังนี้

### 1. ตัวหลอด

ขนาดและรูปร่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะได้รับการกำหนดโดยรหัสที่ประกอบด้วยตัว T (ซึ่งหมายความว่า เป็นหลอดกลม คือ T มาจากคำว่า Tubular) จากนั้นจะตามด้วยตัวเลขซึ่งแสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดเป็นเศษส่วน 8 ของ 1 นิ้ว หลอดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันไปตั้งแต่หลอด T5 (เศษ 5 ส่วน 8 นิ้ว) จนถึง T17 (2 เศษ 1 ส่วน 8 นิ้ว) สำหรับขนาดความยาวโดยทั่วไปจะมีแตกต่างกันตั้งแต่ 6 นิ้วไปจนถึง 96 นิ้ว ซึ่งจะวัดตั้งแต่ขาหรือ หลอดข้างหนึ่งไปยังขาอีกข้างหนึ่ง



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ขั้วอิเล็กโทรูด

ขั้วอิเล็กโทรูดที่ตอนปลายของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเป็นขดลวดทั้งสแตนท์ที่นำมาขดซ้อนๆ กัน และฉาบไว้ด้วยสารชนิดที่จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาซึ่งอาจจะได้แก่ แบเรียม, สตรอนเทียม และแคลเซียมออกไซด์ สารที่กล่าวมานี้จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดทำงานของมันที่จะตกประมาณ 950 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้ อิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างอิสระ โดยมีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่สูญเสียไปที่คาโทด การปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมานี้เรียกว่า Thermionic Emission เนื่องจากความร้อนเป็นตัวที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนมากกว่าแรงดันไฟฟ้าคาโทดชนิดนี้ เราเรียกว่า คาโทดร้อน (Hot Cathode) ซึ่งต้องการแรงดันไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดอิเล็กตรอนภายในหลอดไม่มากนัก

## 3. ขั้วหลอด

ขั้วของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะแตกต่างกันตามชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เช่น สำหรับชนิด Preheat และ Rapid Start จะต้องการขั้วสองขั้วที่แต่ละข้างของหลอด ดังนั้นตัวรับขั้วหลอดจึงต้องเป็นชนิดสองขั้วด้วย ซึ่งมีอยู่ 3 ขนาด คือ ขนาดจิวสำหรับหลอด T-5, ขนาดกลางสำหรับหลอด T-8 และ F-12 และชนิดใหญ่สำหรับหลอด T-17 ส่วนหลอดชนิดวงกลมนั้น ตัวหลอดจะมาบรรจุกันเป็นวงกลม ดังนั้นจะมีส่วนหนึ่งซึ่งเป็นขั้วหลอด ซึ่งมีขาอยู่ 4 ขา ส่วนหลอดชนิด High output และ Very high output จะมีขั้วชนิดยุบลงไป ( Recessed double contact ) ส่วนหลอดชนิด Slimline หรือ Instant Start นั้นจะต้องการขั้วไฟฟ้าเพียงสองขั้วเท่านั้นคือ ที่ปลายแต่ละข้างเพียงขั้วเดียว และตัวรับขั้วหลอดก็เป็นชนิดขั้วเดียว ส่วนหลอดชนิด Sign line จะมีขั้วที่เป็นขาชนิดเดี่ยว ( Shrouded single pin: SSP )

## 4. สารเคลือบเรืองแสง (Phosphor)

สีของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของสารเรืองแสงที่ใช้ฉาบภายในของหลอดฟลูออเรสเซนต์ การใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกันไป จะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์มีสีต่างกัน ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีอยู่หลายสี เช่น สีขาว สีน้ำเงิน สีเขียว สีทอง สีชมพู และสีแดง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้รับการฉาบสารเรืองแสงนี้เพื่อให้ได้แสงที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช หรือให้แสงสีชนิดพิเศษอื่นๆ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

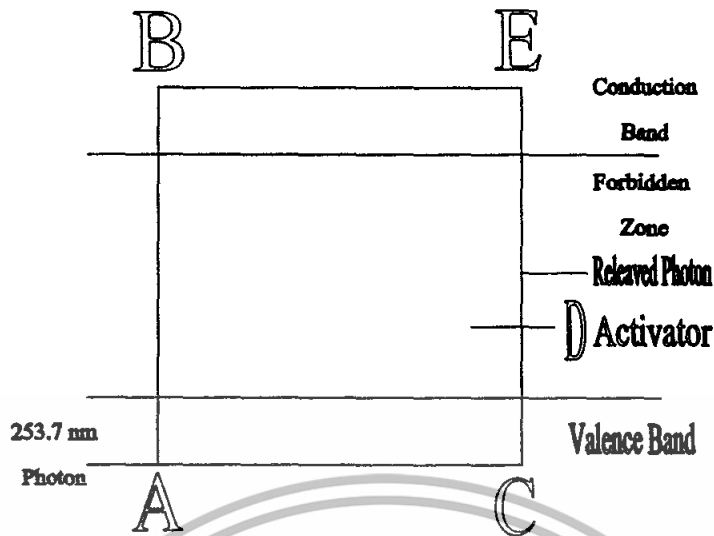
สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้สีส้มต่างๆ กันนี้ เมื่อยังไม่ได้เปิดสวิตช์ไฟจะยังคงมีสีขาวอยู่ยกเว้น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ชนิดสีน้ำเงินเข้ม สีทอง สีแดง และหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ใช้แสงเหมือนกับหลอดมีไส้ (Incandescent Fluorescent Lamp) ซึ่งหลอดเหล่านี้จะฉาบเมือสีขาวเอาไว้ภายในหลอดแก้วก่อนที่จะเคลือบสารเรืองแสงทับลงไป ส่วนชนิดที่ให้สีน้ำเงินออกไปทางดำ (Black Light Blue) จะเป็นหลอดชนิดพิเศษที่กรองแสงสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าออกไป ซึ่งการใช้สารเคลือบเรืองแสงชนิดที่แตกต่างกันภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีผลทำให้เกิดสีดังแสดงในตาราง

ตาราง 2.1 แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์สีและสารเคลือบฟอสฟอรัสที่ใช้เคลือบผิว

สารฟอสฟอรัสที่ใช้	สีที่ได้จากหลอด
1. แคดเมียมบอเรต (Cadmium Borate)	ชมพู
2. แคลเซียมฮาโลฟอสเฟต (Calcium Halophosphate)	ขาว
3. แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)	ส้ม
4. แคลเซียมทังสเตต (Calcium Tungstate)	น้ำเงิน
5. แมกนีเซียมเจอร์มาเนต (Magnesium Germanate)	แดง
6. แมกนีเซียมทังสเตต (Magnesium Tungstate)	ขาวน้ำเงิน
7. สตรอนเทียมแฮโลฟอสเฟต (Strontium Halophosphate)	เขียวอ่อน
8. ซิงกซิลิเกต (Zinc Silicate)	เขียว

กระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นพลังงานแสงสว่างที่สามารถมองเห็นได้ สามารถอธิบายได้จากรูปคือ เมื่อโปรตอน (Photon) ของรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งมีความยาวคลื่น 253.7 nm เคลื่อนที่มาชนสารฟอสฟอรัสที่เคลือบไว้ที่ผนังหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- A-B Electron Jump
- A-C Hole Migration
- B-E Electron Migration
- D-C Electron Jump
- E-D Electron Jump

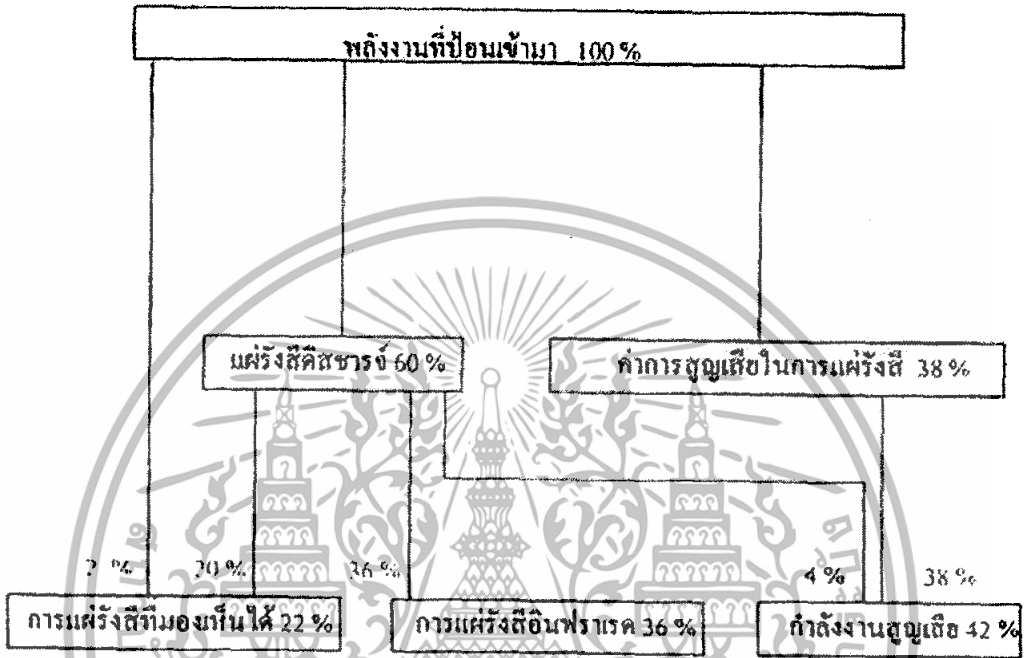
รูปที่ 2.2 แสดง Phosphor Model ของ Zinc Sulfur (Zns)

การชนกันจะทำให้อิเล็กตรอนกระโดดจาก Divalent Sulfur ไปยัง Divalent Zinc ผลทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นที่ conduction band และจะเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการเคลื่อนย้ายจากผลึก Zinc หนึ่งไปยังผลึกอื่นๆ ขณะเดียวกันก็จะเกิด positive hole ที่ valence band และ positive hole และจะเคลื่อนย้ายไปยัง sulfur ion หนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง เมื่อ positive hole เคลื่อนที่เข้ามาใกล้ตัว Activator และอิเล็กตรอนใน Valence band ก็จะเคลื่อนย้ายมายัง Positive Hole ในตัว Activator จึงทำให้เกิดการปล่อยพลังงานแสงซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่าและตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 การกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เมื่อพิจารณาหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 W ชนิด Cool white เป็นตัวอย่างดังในรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

จะพบว่าค่าพลังงานที่ป้อนให้หลอดประมาณ 60% จะเปลี่ยนเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ต พลังงานอีก 38% จะเป็นค่าการสูญเสียในการแผ่รังสี ส่วนที่เหลืออีก 2% จะกลายเป็นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ตัวสารเรืองแสงที่เคลือบภายในหลอดจะทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ต 20% ไปเป็นแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ ส่วนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เหลืออีก 40% จะกลายเป็นรังสีอินฟราเรด และกำลังงานสูญเสียซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านแสงสว่างที่จะปรากฏให้ตาเห็นจริงๆ จะเหลือเพียง 22% ของพลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้แก่หลอด ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ดังกล่าวสามารถเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับทั้งหมดเพียงไม่ถึงหนึ่งในสี่เท่านั้นเป็นแสงสว่างที่ตามองเห็น

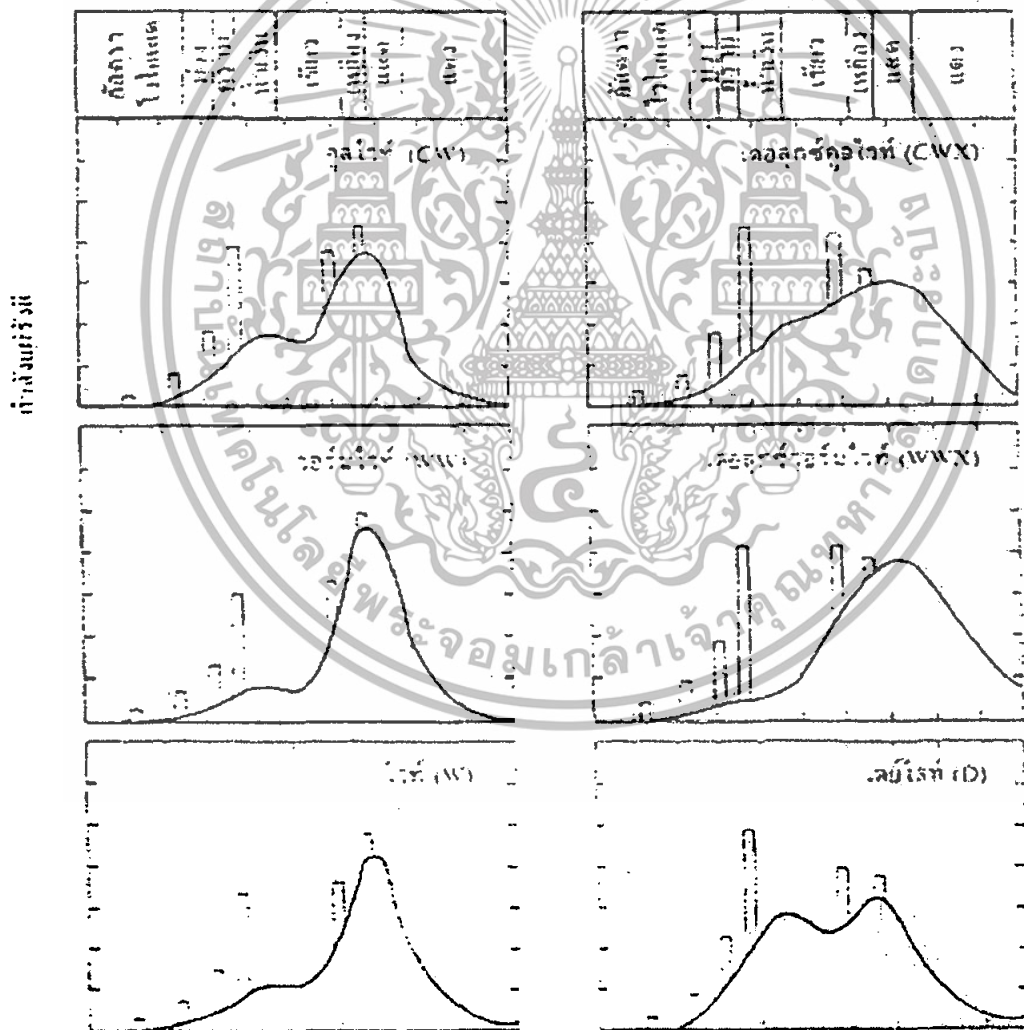
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การกระจายกำลังเชิงสเปกตรัม (Spectral Power Distribution : SPD)

เป็นค่าการกระจายของความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งค่า SPD ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขึ้นอยู่กับสารฟอสเฟอร์ที่เคลือบผนังหลอด โดยทั่วไปแล้วกราฟของ SPD จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ราบเรียบและต่อเนื่อง กับส่วนที่เป็นไลน์สเปกตรัม

ส่วนที่เป็นไลน์สเปกตรัม จะแสดงความหมายถึงแสงที่มองเห็นได้และกำเนิดโดยตรงจากเมอคิวรีอาร์ค (Mercury Arc) ส่วนที่ราบเรียบและต่อเนื่องจะเกิดจากการกระทำของพลังงานอัลตราไวโอเลตบนสารฟอสเฟอร์

ค่า SPD ของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะสามารถเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนชนิดหรือส่วนผสมของฟอสเฟอร์ที่ใช้เสียใหม่ แต่โดยปกติจะพบ SPD ทั่วๆ ไป ดังรูปที่ 2.4



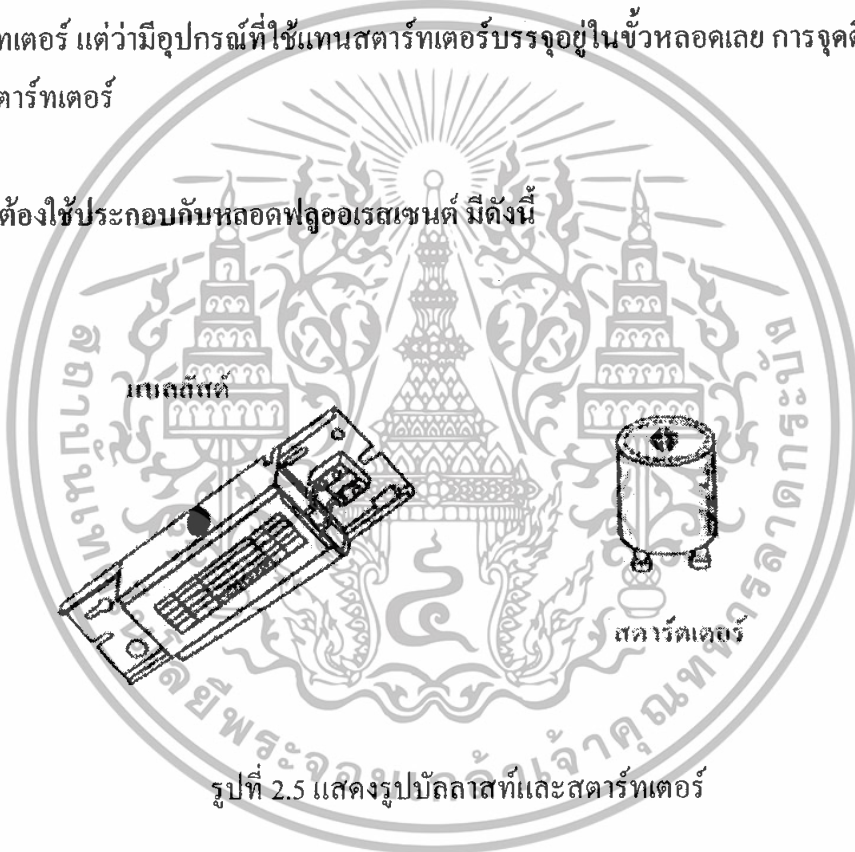
รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายกำลังเชิงสเปกตรัมของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์

สามารถจำแนกหลอดฟลูออเรสเซนต์ตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ (Starter) และชนิดที่ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ ชนิดที่ใช้สตาร์ทเตอร์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Preheat start จะใช้สตาร์ทเตอร์ทำหน้าที่อุ่นขั้วหลอดให้ร้อนประมาณ 2-3 วินาที แล้วจึงเปิดวงจร ซึ่งทำให้มีความต่างศักย์สูงที่ขั้วหลอด ทำให้ก๊าซที่บรรจุภายใน Discharge เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งทำให้ผงหรือฝุ่นฟลูออเรสเซนต์ที่เคลือบอยู่เรืองแสงขึ้นมา เมื่อไฟสว่างแล้วตัวบัลลาสต์จะเป็นตัวควบคุมความต่างศักย์ภายในให้สม่ำเสมอ ส่วนหลอดอีกชนิดเป็นชนิดที่ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ซึ่งมี 2 แบบ เรียกว่าชนิด Rapid start และชนิด Instant Start ซึ่งขบวนการก็คล้ายกับแบบใช้สตาร์ทเตอร์ แต่ไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้แทนสตาร์ทเตอร์บรรจุอยู่ในขั้วหลอดเลย การจุดติดจะเร็วกว่าแบบใช้สตาร์ทเตอร์

## 2.6 อุปกรณ์ที่ต้องใช้ประกอบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงรูปบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์

สตาร์ทเตอร์ (starter) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อัตโนมัติในขณะหลอดฟลูออเรสเซนต์ยังไม่ติด และหยุดทำงานเมื่อหลอดติดแล้ว

บัลลาสต์ (ballast) ทำหน้าที่เพิ่มความต่างศักย์ เพื่อให้หลอดฟลูออเรสเซนต์ติดในตอนแรก และทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟลดลงเมื่อหลอดติดแล้ว พร้อมทั้งควบคุมให้กระแสไฟฟ้าคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ไอจีบีทีเบื้องต้น (Introduction IGBT)

คุณสมบัติที่ดีของไอจีบีที

1. ให้ค่า  $V_{CE}$  (SAT) ที่ต่ำกว่ามอสเฟต
2. ให้ค่า อินพุตอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ ) ที่มีค่าสูงพอ ๆ กับมอสเฟต
3. อินพุตคาปาซิแตนซ์ ต่ำกว่า มอสเฟต
4. ความเร็วในการสวิตช์ทำงานในขณะที่นำกระแสและหยุดนำกระแสทำได้เร็วกว่าทรานซิสเตอร์
5. เหมาะสมที่ใช้ในงานใน อินเวอร์เตอร์, ยูพีเอส
6. ถ้าไม่มีไดโอดที่ภาคเอาต์พุตใช้ไดโอดแบบฟาสรีคัฟเวอรี (Fast Recovery) ต่อภายนอกได้

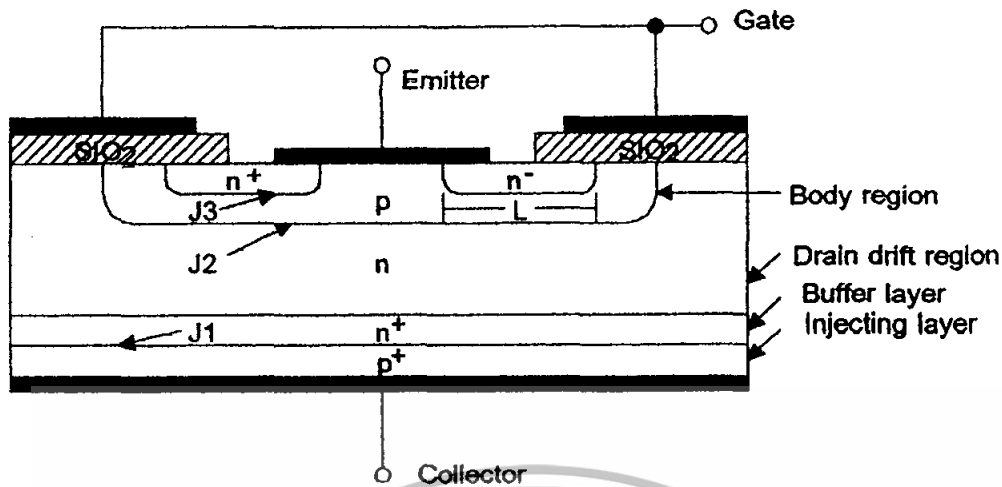
### 2.7.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์

มีสัญลักษณ์แทนตัวไอจีบีทีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นสัญลักษณ์และชื่อเรียกขาต่าง ๆ ของ ไอจีบีที ชนิดเอ็นชาแนล



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์และการเรียกชื่อขาของไอจีบีที

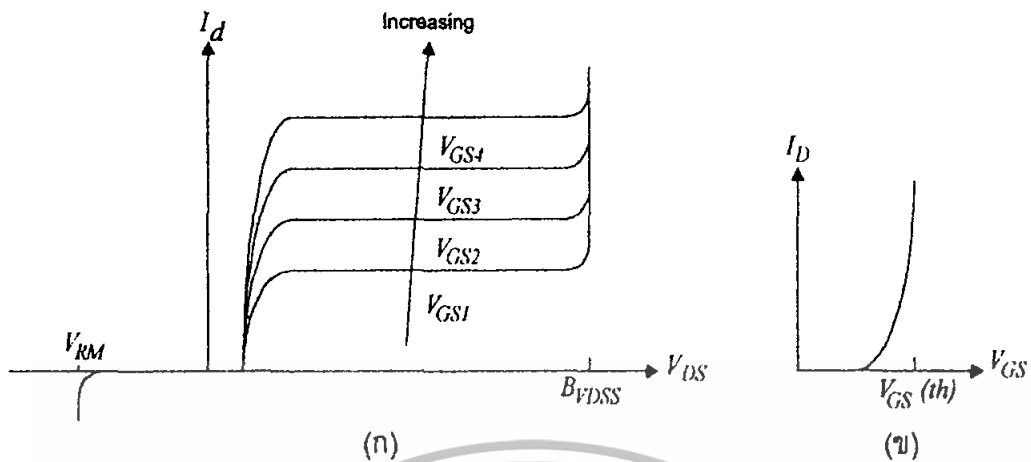
จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า มีลักษณะคล้ายกับสัญลักษณ์ของมอสเฟตมาก เพียงแต่ว่าสัญลักษณ์ของ ไอจีบีที นั้น จะมีลูกศรเพิ่มขึ้นมาตรงขาคอลเลกเตอร์ ซึ่งชี้เข้าหาตัว ซึ่งในการกล่าวถึงไอจีบีทีในที่นี้ จะใช้สัญลักษณ์ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพตัดขวาง โครงสร้างพื้นฐานไอจีบีที

โครงสร้างของ ไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนแนลแสดงเป็นภาพตัดขวาง ได้ดังรูป 2.7 โครงสร้างโดยทั่วไปส่วนใหญ่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับมอสเฟตมาก จะแตกต่างกันตรงที่ไอจีบีที จะมีชั้น  $p^+$  หรือชั้นอินเจกต์ตั้ง ต่ออยู่ระหว่างขาคอลเลกเตอร์ ซึ่งในมอสเฟตนั้นไม่มี จากการที่ ขาเกตถูกกั้นด้วยชั้นของซิลิกอน ไดออกไซด์  $SiO_2$  เป็นผลให้ความต้านทานอินพุตที่ขาเกตมีค่าสูง มากเหมือนกับเพาเวอร์มอสเฟต โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 10 โอห์ม จากผลดังกล่าวทำให้ ลักษณะของกราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของ ไอจีบีทีมีลักษณะคล้ายกับกราฟของ ทหรานซิสเตอร์ การควบคุมกระแสที่ขาบีที่เหมือนกับทหรานซิสเตอร์ ซึ่งกราฟแสดงคุณสมบัติของ กระแสและแรงดันของ ไอจีบีที แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 ก) และสำหรับรูปที่ 2.8 ข) เป็นกราฟแสดง คุณสมบัติการถ่ายโอนกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ก) ลักษณะคุณสมบัติกระแสและแรงดันของไอจีบีที  
 ข) ลักษณะคุณสมบัติการถ่ายโอนของไอจีบีที

รูปกราฟแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ของเส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและจะเริ่มโค้งที่กระแสคอลเลคเตอร์มีค่าต่ำ ๆ นั่นก็คือจุดที่แรงดันระหว่างขาเกตและขาอิมิตเตอร์ต่ำลงให้แรงดันจุดเริ่มเปลี่ยนสถานะการทำงาน ( จุด Threshold Voltage :  $V_{GS(th)}$  ) โดยถ้าแรงดันระหว่างเกตและอิมิตเตอร์ต่ำกว่าแรงดันที่จุด  $V_{GS(th)}$  แล้ว ไอจีบีทีจะอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแสหรือคัทออฟกรณีของไอจีบีทีชนิดพีเชนแนลนั้น คุณสมบัติจะคล้ายกับเอ็นเชนแนล แต่โครงสร้างและสัญลักษณ์จะมีลักษณะตรงข้ามกับเอ็นเชนแนล เช่น ชนิดของสารที่ใช้โด๊ป และหัวลูกศรก็จะมีทิศตรงกันข้าม

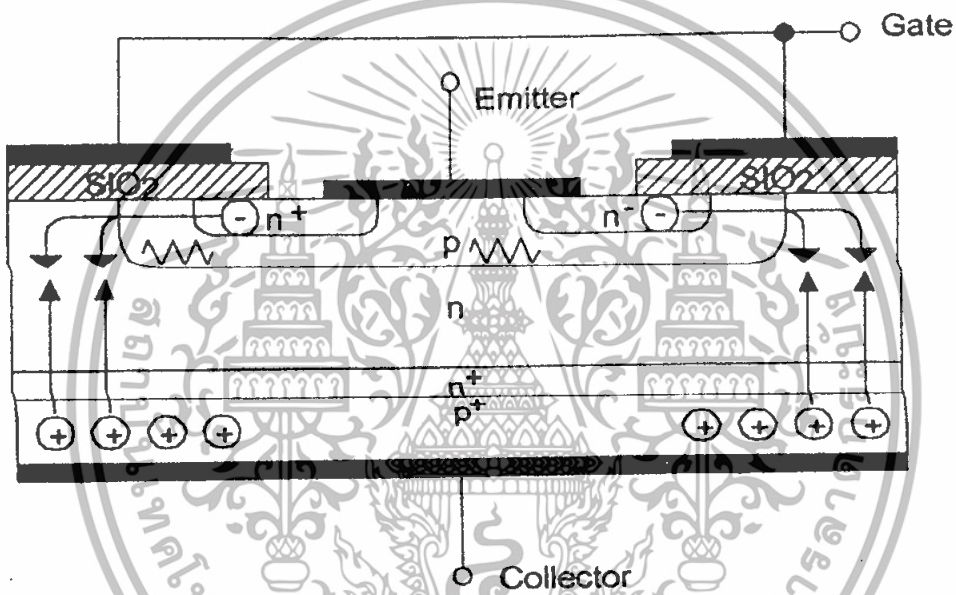
### 2.7.2 สภาวะนำกระแส

เมื่อขอลเลคเตอร์ได้รับไบอัสตรงคือเป็นบวกเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ และแรงดันระหว่างเกตกับอิมิตเตอร์นั้นมีค่าเกิน  $V_{GS(th)}$  ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกตจะดึงเอาอิเล็กตรอนให้มารวมกันอยู่ในบริเวณภายใต้เกต ทำให้ชั้นบอดี้ (Body layer) ตรงส่วนใต้เกตแปรสภาพเป็น n ทำให้เกิดการต่อกันของบริเวณ n (Drift Region) เข้ากับบริเวณอิมิตเตอร์  $n^+$  (Source Region) ซึ่งลักษณะนี้เหมือนกับการทำงานของมอสเฟต กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลของขาอิมิตเตอร์ผ่านบริเวณใต้เกตมายังบริเวณลอยเลื่อน  $n^+$  จะรวมกับ โฮลที่เป็นพาหะส่วนน้อยที่ถูกฉีดมาจากชั้นอินเจกต์ติ้ง  $p^+$  เพราะรอยต่อ J1 ได้รับแรงดันไบอัสตรง ทำให้ไอจีบีทีอยู่ในสภาวะนำกระแส เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของกระแสไฟฟ้าจากคอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้การรวมตัวกันของโฮลและอิเล็กตรอนภายในบริเวณ n<sup>-</sup> ที่เรียกว่าการมอดูเลตสภาพนำ (Conductivity Modulation)

ผลของการมอดูเลตนั้นจะทำให้ความต้านทานของบริเวณ n<sup>-</sup> มีค่าต่ำลง เป็นการเพิ่มความสามารถในการขับผ่านกระแสได้สูงขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์กำลัง ผลของความต้านทานที่ลดลง ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมที่สภาวะนำกระแสลดต่ำลง การสูญเสียกำลังงาน ขณะนำกระแสจึงลดลงด้วยทิศทาง การไหลของอิเล็กตรอนและโฮล ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.9 แสดงการไหลของอิเล็กตรอนและโฮล

เมื่อแรงดันระหว่างเกตและอิมิตเตอร์ต่ำกว่าแรงดัน  $V_{GS(th)}$  จะทำให้แรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นชนิด p เป็น n ได้ ทำให้บริเวณ n<sup>-</sup> ไม่ต่อกับบริเวณอิมิตเตอร์ n<sup>+</sup> ไอจีบีทีจึงหยุดนำกระแส ในสภาวะนี้รอยต่อ J2 ที่ได้รับแรงดันไบแอสกลับจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (depletion region) ขึ้นที่รอยต่อ บริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้น จนเกิดเข้ามาบริเวณ n<sup>-</sup> มากกว่าที่จะขยายไปยังบริเวณชั้นชนิด p ทั้งนี้เพราะชั้นชนิด p มีความหนาแน่นในการได้ปสาร มากกว่าถ้าความหนาแน่นของสารที่ได้ปในบริเวณลอยเลื่อน n<sup>-</sup> มากเพียงพอ ก็จะทำให้การขยายของบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจ็คติง p<sup>+</sup> ได้ ชั้นบัฟเฟอร์ n<sup>+</sup> (buffer layer) ก็ไม่จำเป็นต้องได้ปสาร ทั้งนี้เพราะการแตะกันของบริเวณทั้งสองจะทำให้เกิดการพังทลายทางด้านไบแอสตรงสำหรับ ไอจีบีที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่มีกริดโปลาไรซ์ในชั้นบัฟเฟอร์  $n^+$  นี้จะเรียกว่า ไอจีบีที แบบสมมาตร ซึ่งจะมีอัตราทนแรงดันย้อนกลับ

( $V_{MAX}$  หรือ  $BV_{DSS}$ ) สูงพอๆกับค่าอัตราทนแรงดันไหลตรง ( $BV_{DSS}$ ) เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้วงจรไฟฟ้ากระแสสลับการลดความหนาของบริเวณ  $n^+$  ลงแต่ยังคงความสามารถของอัตราทนแรงดันไหลตรงไว้สามารถทำได้โดยเพิ่มบัฟเฟอร์  $n^+$  เข้าไปเพื่อป้องกันการแตกกันของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับการลดความหนา

ของบริเวณ  $n^+$  ลงแต่บังคับความสามารถของอัตราทนแรงดันไหลตรงไว้สามารถทำได้โดยเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์  $n^+$  เข้าไปเพื่อป้องกันการแตกกันของบริเวณปกคพาหะกับบริเวณอินเจ็คติง  $p^+$  ซึ่งจะเรียกชั้นบัฟเฟอร์ไอจีบีที ชนิดนี้ว่า ไอจีบีทีแบบไม่สมมาตรและจากการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน  $n^+$  ลงจะช่วยส่งผลให้เกิดข้อดีสองประการคือ

1. ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำลงทำให้การสูญเสียกำลังงานลดน้อยลงด้วย
2. ช่วยลดช่วงเวลาหยุดนำกระแสให้สั้นลงได้

แต่ข้อเสียของการเพิ่มชั้นบัฟเฟอร์  $n^+$  ก็มีคือ จะลดความสามารถทนอัตราแรงดันย้อนกลับให้เหลือเพียงไม่กี่สิบ โวลต์ ทั้งนี้เพราะเมื่อ ไอจีบีที ได้รับไบแอสที่ขาคอลเลกเตอร์รอยต่อ J1 ซึ่งทั้งสองข้างมีความหนาแน่นในการ โด๊ปของสามาก จะไม่สามารถอัตราทนแรงดันย้อนกลับ ดังนั้น ไอจีบีทีชนิดนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

### 2.7.3 การแลตซ์ในไอจีบีที

นอกจากโหนดส่วนใหญ่ที่ร่วมกับอิเล็กตรอนภายในบริเวณ  $n^+$  แล้วยังมีกระแส โหนดบางส่วนที่ไหลข้าง

บริเวณ  $n^+$  เข้าสู่บริเวณชั้นบอดี้  $p$  โดยตรง ผลของกระแส โหนดนี้ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม ความต้านทานข้างเคียง ถ้าแรงดันนี้ค่ามากพอคือประมาณ 0.7 โวลต์ จำทำให้รอยต่อ J3 ได้รับไบแอสโดยตรง เป็นผลให้อิเล็กตรอนจากบริเวณอิมิตเตอร์  $n^+$  ถูกฉีดเข้าไปในชั้นบอดี้  $p$

ถ้าดูจากวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 2.7 จะหมายถึงขาเกตและขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นได้รับแรงดันไบแอสตรงส่งผลให้ทรินสเตอร์ซึ่งแฝงอยู่ใน โครงสร้างของไอจีบีทีอยู่ในสภาวะแลตซ์การนำกระแส ทำให้ที่ขาเกตไม่สามารถควบคุมปริมาณของกระแสคอลเลกเตอร์ได้อีกต่อไป แต่การควบคุมกระแสคอลเลกเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับตั้งต้านทานที่นำมาต่อในวงจรภายนอก ถ้าหากที่การแลตซ์การขึ้นเป็นเวลานาน อาจทำให้ไอจีบีทีเสียหายได้ เพราะมีการสูญเสียกำลังงานเกินพิกัดที่ทนได้ ส่วนใหญ่หรือเป็นมาตรฐานคู่มือของผู้ผลิต

มักมีการบอกค่ากระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดที่สามารถไหลผ่าน ไอจีบีที โดยที่ยังไม่เกิดการแลตซ์ขึ้น ( $I_{DM}$ ) แต่เนื่องจากกระแสคอลเลกเตอร์ถูกกำหนดหรือควบคุมโดยตรงกับแรงดันระหว่างขาเกตกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมิตเตอร์ บางครั้งคู่มือจะบอกค่าแรงดันระหว่างเกตและอิมิตเตอร์สูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดการแลตซ์ แทนการบอกค่ากระแสคอลเลกเตอร์สูงสุด

การแลตซ์ที่กล่าวถึงข้างต้นเรียกว่าการแลตซ์ในโหมดสแตติก เพราะเกิดขึ้นเมื่อกระแสที่ไหลในสถานะนำกระแสมีค่าเกิน  $I_{DM}$  แต่ลักษณะการแลตซ์นี้ก็สามารถเกิดขึ้นได้ เรียกว่า โหมดไดนามิก ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานจากสถานะนำกระแสเข้าสู่สภาวะหยุดนำกระแสได้ด้วย บางครั้งการแลตซ์อาจเกิดขึ้นได้ แม้ว่ากระแสคอลเลกเตอร์ขณะนำกระแสยังมีค่าต่ำกว่าค่า  $I_{DM}$  ก็ตาม ทั้งนี้เพราะเมื่อ ไอจีบีทีเริ่มหยุดนำกระแส กระแสคอลเลกเตอร์จะตกลงอย่างรวดเร็วรอยต่อ J2 จะต้องรับแรงดันย้อนกลับอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้บริเวณปลดพาหะขยายบริเวณชั้นบอดี้ p โดยเฉพาะจะขยายบริเวณปลดพาหะอย่างรวดเร็ว

การขีดขวางของบริเวณปลดพาหะเข้าไปสะสมอยู่ในบริเวณรอยต่อ J2 เป็นการเพิ่มกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานข้างเคียงให้สูงขึ้น ทำให้ไทรสเตอร์ภายใน ไอจีบีทีเกิดการแลตซ์ขึ้นได้ เมื่อเกิดการแลตซ์ขึ้นแรงดันคร่อมขาอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์ขณะนำกระแสจะมีค่าต่ำกว่าระดับปกติ นอกจากนี้การแลตซ์ยังสามารถเกิดขึ้นได้อีก เนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิที่รอยต่อ ในขณะที่กระแสคอลเลกเตอร์ยังมีค่าต่ำกว่า  $I_{DM}$  อยู่ได้เช่นกัน

#### 2.7.4 การป้องกันการแลตซ์

การหลีกเลี่ยงการแลตซ์ของ ไอจีบีทีสามารถทำได้ทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้งานเอง ผู้ผลิตอาจจะออกแบบโครงสร้างในส่วนบริเวณบอดี้ p ให้มีความต้านทานข้างเคียงต่ำที่สุด เพื่อจะได้เพิ่มค่าของ  $I_{DM}$  ให้มากที่สุด ซึ่งเป็นการลดโอกาสที่จะเกิดการแลตซ์ลงได้

วิธีแรกอาจทำได้โดยลดความกว้างของบริเวณอิมิตเตอร์  $n^+$  ลง นั่นคือลดค่า  $L_s$  ลงนั่นเอง

วิธีที่สองเป็นการแบ่งระดับความหนาแน่นในการโด๊ปสารของบริเวณบอดี้ p ดังในรูป

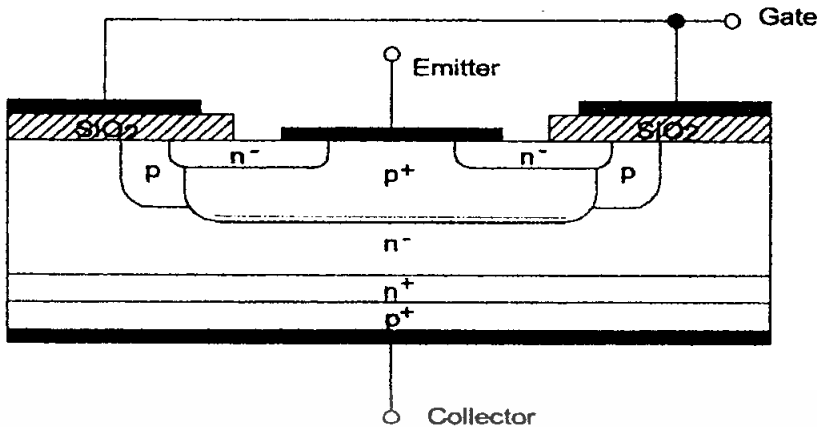
55555

จะเห็นว่าบริเวณบอดี้ p ภายใต้อิมิตเตอร์โด๊ปด้วยความหนาแน่นระดับปกติ  $10^{16} \text{ Cm}^{-3}$  รวมถึงความหนาแน่นจะมากกว่าด้วย การทำเช่นนี้จะทำให้ความสามารถในการนำกระแสให้สูงขึ้นเป็นการลดความต้านทานข้างเคียงให้น้อยลงได้

สำหรับผู้ใช้งานก็สามารถป้องกันการแลตซ์ในโหมดสแตติกได้ โดยออกแบบไม่ให้กระแสที่ไหลในโหลดไหลเกินค่ากระแส  $I_{DM}$  และป้องกันการแลตซ์ในโหมดไดนามิกได้ โดยห้วงเวลาขณะหยุดนำกระแสให้ยาวนานขึ้น เพื่อโฮลที่ยังค้างอยู่ในบริเวณ  $n^-$  มีเวลาพอที่จะรวมอิเล็กตรอนเป็นการลดกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานข้างเคียงให้น้อยลงได้ การห้วงเวลาขณะหยุดนำกระแสให้ยาวนานขึ้นทำได้โดยเพิ่มความต้านทานภายนอกอนุกรมเข้ากับขาเกตของ ไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ด้านิกหอสุมคณาง พระจอมเกล้าธคกรบรโด



รูปที่ 2.10 โครงสร้างที่ปรับปรุงเพื่อป้องกันการแลคซ์ใน ไอจีบีที

### 2.7.5 วงจรสมมูลของไอจีบีที

วงจรสมมูลของ ไอจีบีทีแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งในรูปที่ 2.11(ก) นั้นจะเห็นว่าในบอดี้ p ชั้นบริเวณ n<sup>-</sup> และชั้นอินเจกต์ดิ่ง p<sup>+</sup> จะคล้ายกับทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี โดยแทนด้วยขาคอลเลกเตอร์ เกต และอิมิตเตอร์ตามลำดับ และบริเวณ ได้เกิดจะแทน ได้ด้วยมอสเฟต ซึ่งจะมีความต้านทานบริเวณ n<sup>-</sup> เชื่อมขาเบสของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีเข้ากับขาคอลเลกเตอร์ของมอสเฟตซึ่งเมื่อเขียนวงจรสมมูลออกมาจะได้วงจรดังรูปที่ 2.11(ข)

จากรูป 2.11(ข) จะเห็นว่าวงจรดาร์ลิ่งตัน โดยมีมอสเฟตเป็นตัวจับทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี แต่มีจุดพิเศษที่แตกต่างจากวงจรทั่วไป คือ กระแสคอลเลกเตอร์ส่วนใหญ่จะไหลจากอิมิตเตอร์มายังเกต ผ่านความต้านทานบริเวณลอยเลื่อน และผ่านขาคอลเลกเตอร์ของมอสเฟตมาจบลงที่ขาอิมิตเตอร์ จะมีกระแสส่วนน้อยเท่านั้นที่ไหลจากอิมิตเตอร์มายังคอลเลกเตอร์และขาคอลเลกเตอร์ สำหรับวงจรสมมูลในรูป 2.11(ค) จะแสดงให้เห็นว่าภายในไอจีบีทีมีไทรสเตอร์แฝงอยู่ด้วย โดยดูได้จากทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น และพีเอ็นพีต่อเข้าด้วยกันในลักษณะที่มีการป้อนกลับทำให้ได้ชัดถึงเหตุที่ทำให้เกิดการแลคซ์ของไอจีบีที โดยถ้ากระแสส่วนน้อยที่ไหลผ่านจากอิมิตเตอร์มายังคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี ผ่านความต้านทานข้างเคียงแล้วทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความต้านทานสูงกว่า 0.7 โวลต์ ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นจะนำกระแสส่งผลให้เกิดการแลคซ์ขึ้นใน ไอจีบีที สำหรับแรงดันที่ตกคร่อมขาคอลเลกเตอร์อิมิตเตอร์ของไอจีบีที ขณะนำกระแส ( $V_{DS(on)}$ ) สามารถเปลี่ยนสมการดังนี้

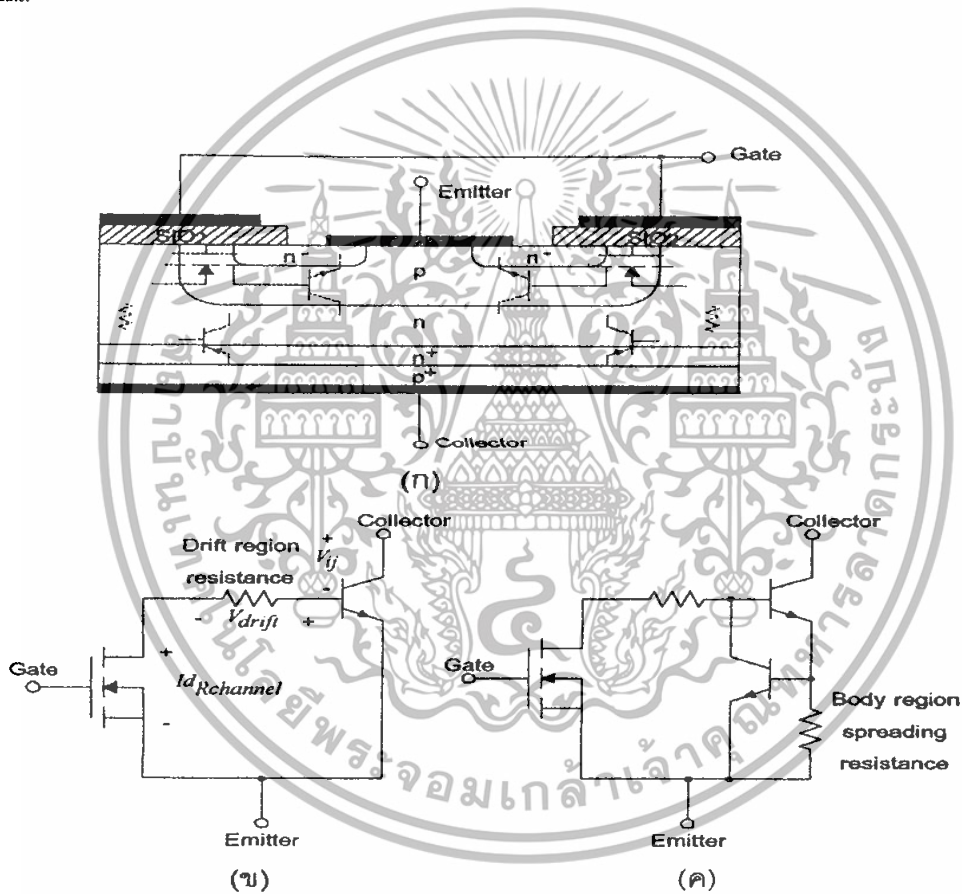
$$V_{DS(on)} = V_{CE} + V_{CE(sat)} + I_D R_{channel} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V$  เป็นแรงดันไบแอสตรงที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็น จึงมีค่าค่อนข้างจะคงที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างก็เพียงเล็กน้อย เพราะมีความสัมพันธ์โดยตรงในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียลกัน กระแสทำให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71 - 1 โวลต์

$V_{drift}$  + เป็นแรงดันตกคร่อมความต้านทานบริเวณลอยเลื่อน ซึ่งความต้านทานนี้มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเทียบกับแรงดันในมอสเฟตแล้วจะมีค่าน้อยกว่าเพราะว่าผลของการมอดูเลตสภาพนำที่ทำให้เกิดขึ้นในไอจีบีที

$R_{channel}$  เป็นค่าความต้านทานในย่าน 1-1000 โอห์ม มีค่าค่อนข้างจะคงที่ ( $I_{d_{Rchannel}}$ ) เป็นแรงดันตกคร่อมมอสเฟต



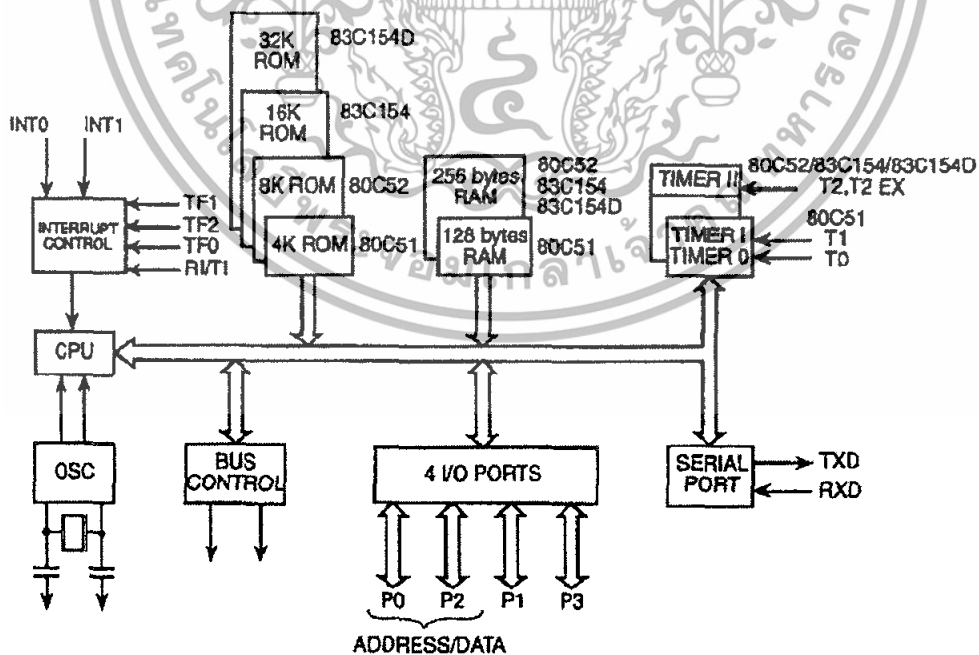
- รูปที่ 2.11 (ก) โครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์และมอสเฟตแฝงอยู่ใน  
 (ข) วงจรสมมูลสำหรับการทำงานสภาพปกติของไอจีบีที  
 (ค) วงจรสมมูลที่แสดงส่วนของไทรซิสเตอร์ที่แฝงอยู่ในไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ( $V_{DS(on)}$ ) จะมีค่าสูงมากขึ้นตามกระแสคอลเล็กเตอร์ที่สูงขึ้น โดยทั่วไป ไอจีบีทีจะสามารถทำงานได้ในอุณหภูมิรอยต่อสูงสุดถึง 150 องศาเซลเซียส และผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องไปจนถึงค่าสูงสุดนี้ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า  $V_{DS(on)}$  เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะ ไอจีบีทีมีค่า  $V_{DS(on)}$  เป็นผลรวมระหว่างแรงดันตกคร่อม MOSFET ที่มีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิเป็นบวก (หมายถึงอุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันตกคร่อมก็จะสูงตาม) กับแรงดันตกคร่อมความต้านทานบริเวณรอยเลื่อนที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิลบ

## 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ในระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสำหรับบรรจุคำสั่งหรือโปรแกรมที่ผู้ใช้พัฒนาขึ้นเพื่อจัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำ ที่เรียกว่า หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) โดยอาจจะประกอบอยู่ภายในตัวไอซีของ 8051 เอง หรือเป็นไอซีหน่วยความจำ EPROM หรือ ROM แยกออกต่างหากได้ ในกรณีหลังนี้จำเป็นต้องมีการใช้พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ทำหน้าที่เป็นบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมต่อเข้ากับไอซีหน่วยความจำมาตรฐานทั่วไปได้ ดังนั้นในบทนี้นอกจากจะได้มีการอธิบายเกี่ยวกับเรื่องหน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 แล้ว ยังจะได้อธิบายรวมไปถึงพื้นฐานการใช้งานของไอซีหน่วยความจำมาตรฐานแบบต่าง ๆ ด้วย เพื่อให้มีความเข้าใจการเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับขาสัญญาณควบคุมและบัสของ 8051 ที่ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเบื้องต้นของ Microcontroller ในตระกูล MCS-51 จะมีดังนี้

- มี Core CPU ที่เป็น 8-Bit และชุดคำสั่งที่เหมาะสมในงานควบคุม และสามารถประมวลผลทาง Logic กับข้อมูลในระดับ BIT ได้
- มีหน่วยความจำ โปรแกรม 4K ภายใน และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำ โปรแกรมได้ถึง 64K
- มีหน่วยความจำ ข้อมูล (RAM) 128 Bytes ภายใน และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำ ข้อมูล ได้ถึง 64K
- มี Port ที่เป็นได้ทั้ง I / O ทั้งหมด 4 port และสามารถใช้งานได้ในระดับ BIT
- มีส่วน Timer / Counter ขนาด 16 Bit สองชุด สำหรับใช้ในการจับเวลา หรือนับจำนวน
- มี Full duplex UART สำหรับใช้ รับ/ส่ง ข้อมูลแบบอนุกรม
- รับ Interrupt ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยมี 5 ตำแหน่งของ ISR และการ Interrupt โดยสามารถจัดระดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีตัวกำเนิดความถี่ Clock ภายใน

### หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 เป็นบริเวณหน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่าง ๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหาย โครงสร้างของหน่วยความจำ โปรแกรม มีลักษณะเช่นเดียวกับหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ใน ไอซี หน่วยความจำประเภทต่าง ๆ เช่น หน่วยความจำแบบ ROM

( Read Only Memory ) หรือ EPROM ( Erasable Programmable Read Only Memory ) เป็นต้น

8051 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำภายใน ( Internal Program Memory ) ซึ่งเป็นหน่วยความจำ ROM หรือ EPROM ที่อยู่ภายในตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ( External Program Memory ) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำมาทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำ โปรแกรมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่าง ๆ ที่จัดอยู่ในตระกูล 8051 นี้ มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนี้

8051 และ 8052 มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ ตามลำดับประกอบอยู่ในไอซี และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในวงจรทางอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตมาก เนื่องจากจะมีผลทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยลดลงได้มาก

8751 มีหน่วยความจำแบบ EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ในไอซี ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในนี้สามารถใช้แสงอัลตราไวโอเลตลบ และนำกลับไปบรรจุโปรแกรมใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง คล้ายคลึงกับไอซีหน่วยความจำ EPROM ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้เหมาะสมกับงานด้านอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตคราวละไม่มากนัก หรืออาจจะเห็นงานประเภทต้นแบบภายในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น

8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ในตัวไอซีเลย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเสมอ ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้จะมีผลทำให้ต้องเสียความสามารถบางประการ เกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ไป เนื่องจากต้องนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุม เกี่ยวกับการจัดการติดต่อหน่วยความจำภายนอกแทน

## หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำภายนอกเป็นการใช้หน่วยความจำ EPROM (หรือ ROM) เชื่อมต่อเข้ากับระบบของ 8051 โดยอาจจะมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น เป็นกรทดลองทำระบบต้นแบบจำนวนน้อย หรืออาจต้องการลดต้นทุนการผลิต เพราะราคาของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบที่ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในราคาจะต่ำกว่าแบบที่มีความจำโปรแกรมภายในมาก ในบางครั้งอาจจะมีสาเหตุจากความจำเป็นอื่น ๆ ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น การที่หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดความจุไม่เพียงพอกับการเก็บโปรแกรม หรืออาจจะเป็นว่าการที่ไอซีหน่วยความจำจะทำให้สามารถจัดหาเครื่องมือ (Tools) ช่วยการพัฒนาที่ใช้งานกันโดยแพร่หลายและราคาถูกได้ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการพัฒนาระบบลงได้มาก

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่าง ๆ ของตระกูล 8051 นี้ สามารถขยายให้ใช้งานหน่วยความจำภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยกรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้น จะต้องทำการพิจารณาระดับลอจิกของสัญญาณ EA(EA=External Access???) ในขณะนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

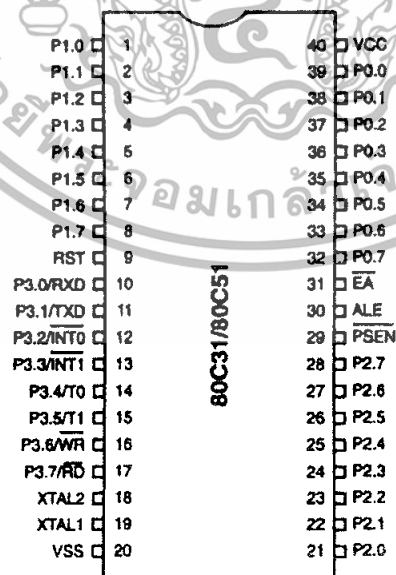
## MCS-51 Family

MCS-51 นั้น ได้มีการออกแบบและผลิตออกมาในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งมีความสามารถและส่วนประกอบภายในที่เพิ่มขึ้นมา แต่อย่างไรก็ดีคำสั่งต่างๆ ยังคงเหมือนกัน

Device Name	ROMLESS Version	ROM Bytes	RAM Bytes	16-Bit Timers	Speed Up to	Process
80C51	80C31	4K	128	2	20MHz	CMOS
80C52	80C32	8K	256	3	20MHz	CMOS
83C154	83C154	16K	256	3	20MHz	CMOS
83C154D	-	32K	256	3	16MHz	CMOS
80C51 $\mu$	80C31 $\mu$	4K	128	2	42MHz	SCMOS
80C52 $\mu$	80C32 $\mu$	8K	256	3	42MHz	SCMOS
83C154 $\mu$	80C154 $\mu$	16K	256	3	42MHz	SCMOS
83C154D $\mu$	-	32K	256	3	36MHz	SCMOS
80C51PX	-	-	128/256	2/3	12MHz	CMOS

ตารางที่ 2.2 แสดงความแตกต่างของ MCS-51 Family

## MCS-51 Pin & Timing Diagram



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะต่างของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	I/O/Z	หน้าที่ / การทำงาน
P0.0-P0.7	I/O/Z	<p>Port 0 เป็น Open drain bidirectional I/O Port 8 Bit</p> <p>เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ (Sink) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 8 ตัว</p> <p>สำหรับ Port 0 Bit ที่ถูกส่งค่า '1' ออกมา จะทำให้ขาเป็น Float ซึ่งสามารถใช้งานเป็น High impedance Input ได้</p> <p>นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็น Addr. Bus ส่วนของ Low byte (PCL) สลับกับ Data Bus ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ในกรณี Logic '1' จะถูกสร้างจาก Strong Internal pull-up</p> <p>และท้ายสุด Port 0 จะใช้ส่งค่าที่มีอยู่ใน Internal program memory ออกมาเพื่อการตรวจสอบ (Program verification) แต่จะต้องต่อ External pull-up ให้ด้วย</p>
P1.0-P1.7	I/O	<p>Port 1 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up</p> <p>เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ/จ่าย (Sink/Source) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 4 ตัว</p> <p>สำหรับ Port 1 Bit ที่ถูกส่งค่า '1' ออกมา จะทำให้ขาเป็น High จาก Internal pull-up ซึ่งสามารถใช้งานเป็น Input ได้ และเมื่อถูกป้อนด้วย Logic '0' นั้น มันจะให้กระแสออกมาได้ ซึ่งกระแสจะไหลมาจาก Internal pull-up นั้นเอง (IIL, on data sheet)</p> <p>นอกจากนี้ สำหรับ 80C52, 83C154 and 83C154D ขา Port 1.0 และ P1.1 จะสามารถใช้งานเป็น T2, T2EX (T2: Timer 2 input, T2EX: Timer 2 "Capture" input)</p>
P2.0-P2.7	I/O	<p>Port 2 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up</p> <p>เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ/จ่าย (Sink/Source) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 4 ตัว</p> <p>นอกจากนี้ Port 2 ยังทำหน้าที่เป็น Address Bus ในส่วนของ High byte (PCH) ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ที่ใช้การอ้าง Address แบบ 16 Bit ในกรณี Logic '1' จะถูกสร้างจาก Strong Internal pull-up</p>
P3.0-P3.7	I/O	<p>Port 3 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up</p> <p>นอกจากนี้แล้ว ขา ต่างๆ ของ Port 3 จะมีการใช้งานเป็น Special feature ของ MCS-51 ดังต่อไปนี้</p>
	I	P3.0: RXD (Serial input port)
	O	P3.1: TXD (Serial output port)
	I	P3.2: INT0 (External interrupt 0)
	I	P3.3: INT1 (External interrupt 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	I	P3.4: T0 (Timer 0 external input)
	I	P3.5: T1 (Timer 1 external input)
	O	P3.6: WR (External data memory write strobe)
	O	P3.7: RD (External data memory read strobe)
RST	I	Reset เป็นสัญญาณป้อนให้กับ MCS เพื่อเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ การทำ Reset นี้จะต้องทำทุกครั้งที่ย้ายไฟให้กับวงจร ในการ Reset สัญญาณ RST ต้องมีอยู่อย่างน้อย 2 Machine cycles จึงจะทำการ Reset ได้
ALE	O	Address Latch Enable เป็นสัญญาณ จะไป ทำให้ค่าของ PCL ถูกเก็บเข้าที่ LATCH ในระหว่างที่ ค่าของ PCL ออกมาที่ P0 สัญญาณ ALE นี้ จะมีออกมาตลอดเวลา (ไม่ว่าจะมีการใช้ External memory หรือไม่) เป็นความถี่ 1/6 ของสัญญาณ Clock ซึ่งสามารถนำไปใช้พื้นฐานเวลาให้กับวงจรรภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีที่เป็นการติดต่อกับ External data memory สัญญาณ ALE จะเข้ามาหนึ่ง ลูก
$\overline{\text{PSEN}}$	O	Program Store Enable สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการ Fetch คำสั่งจาก External program memory นั้น จะไม่ทำงานเมื่อเป็นการ Fetch คำสั่งจาก Internal program memory สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ นี้จะมีเกิดขึ้น สองครั้ง ต่อหนึ่ง Machine cycle ยกเว้นในกรณีที่เป็นการติดต่อกับ External data memory สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ จะเข้ามา
$\overline{\text{EA}}$	I	External Access โดยการต่อขาสัญญาณ $\overline{\text{EA}}$ เป็น 'High' การ Fetch คำสั่งที่ Address น้อยกว่า 0FFFh (4K สำหรับ 80C51) จะได้จาก Internal program memory และถ้าเป็น Address ตั้งแต่ 1000h ก็ จะเป็นการอ่านจาก External program memory ถ้าต่อขา $\overline{\text{EA}}$ เข้ากับ 'Low' การ Fetch คำสั่งทั้งหมดจะกระทำกับ External program memory
XTAL1	I	Input to inverting oscillator amplifier และใช้สำหรับการป้อน External clock
XTAL2	O	Output to inverting oscillator amplifier

ตารางที่ 2.3 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆใน MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### หลักการในการออกแบบวงจร

โครงสร้างของฮาร์ดแวร์ประกอบไปด้วย

- ส่วนของวงจรควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
- วงจรขับ IGBT โดยใช้ฮอปได้
- ชุดสวิตช์ 2 ทิศทาง

#### 3.1 หลักการทำงานของระบบ

สามารถอธิบายเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ในระบบนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่สร้างพัลส์ในการจ่ายให้กับฮอปได้เพื่อใช้สร้างสัญญาณขับ IGBT โดยพัลส์ที่สร้างจาก MCS-51 จะมีทั้งหมด 2 ชุดสัญญาณ ซึ่งมีเฟสต่างกัน 180 องศา ความถี่เท่ากันทั้ง 2 ชุดสัญญาณคือ 2.5 kHz มี Dead Time ที่แอกทีฟโลวเท่ากับ 1.08  $\mu$ Sec และมี Delay ในช่วงเริ่มสัญญาณ 7 Sec โดยที่เราสามารถเปลี่ยนแปลงค่า %Duty ได้

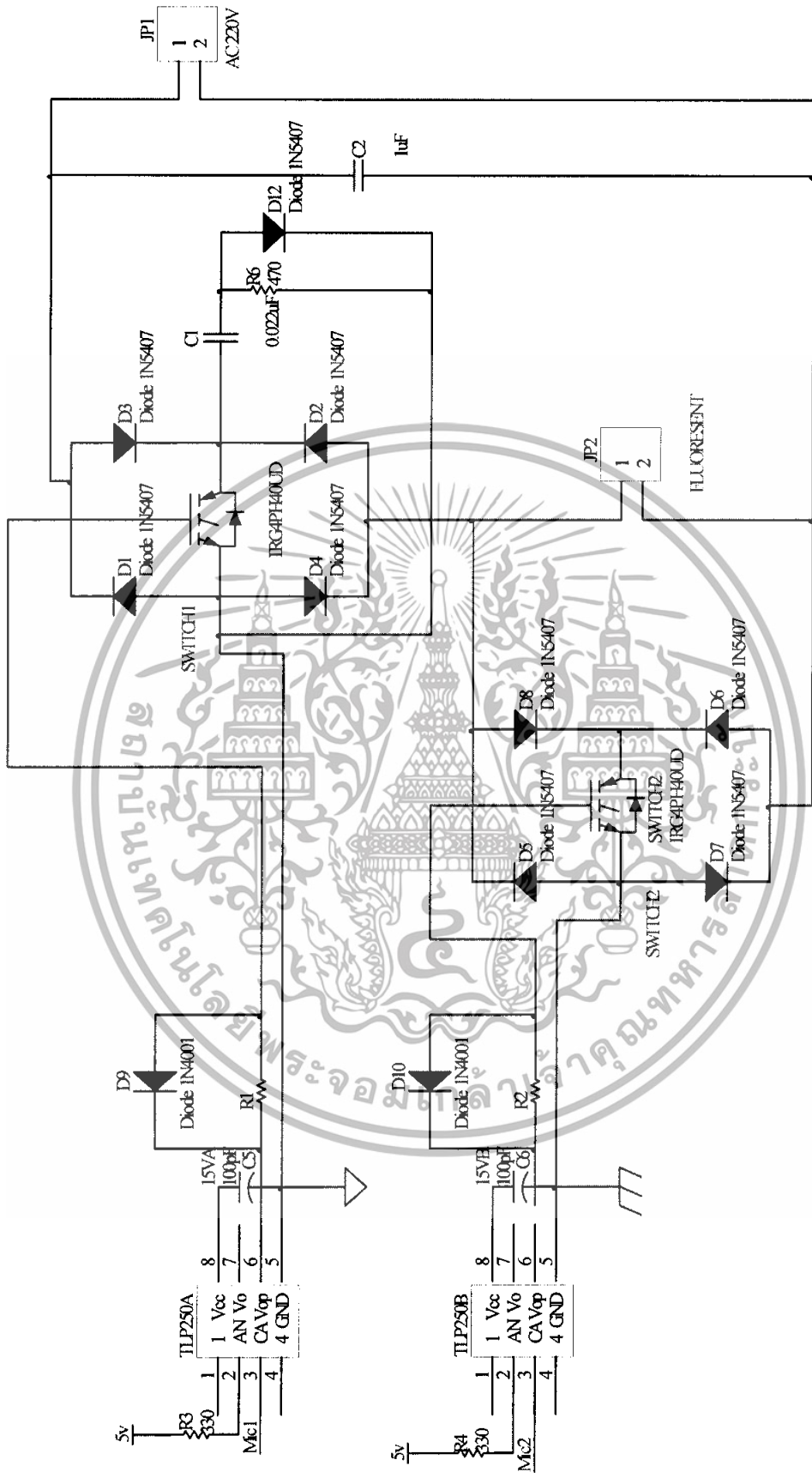
โดยการสร้างสัญญาณทั้ง 2 ชุดเพื่อนำสัญญาณพัลส์ชุดแรกไปขับสวิตช์ตัวหลัก (Q1) ในการ Chop สัญญาณ AC 220V ส่วนสัญญาณพัลส์ชุดที่ 2 ที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา จะถูกนำไปขับสวิตช์ตัวรอง (Q2) เพื่อให้กระแสต่อเนื่องในช่วงที่สวิตช์ตัวหลัก Off อยู่ เพื่อไม่ให้เกิดกระแสย้อนกลับเนื่องจากผลของ L ในบัลลาสต์ไปทำลายสวิตช์ตัวหลัก การกำหนดค่าค่า Dead time ที่แอกทีฟโลว นั้น เพราะวงจรขับ IGBT โดยใช้ฮอปได้จะทำการขับฮอปได้ที่แอกทีฟโลวค่า Dead Time ที่กำหนดขึ้นจึงเป็นการป้องกันการช็อตกึ่งของ IGBT ทั้ง 2 ตัว ส่วน Delay ในช่วงเริ่มสัญญาณ 7 Sec เพื่อให้ช่วงแรกในการติดของโหลดฟลูออเรสเซนต์มีสัญญาณ Ac 220V เข้า โดยที่ยังไม่มีการ Chop สัญญาณสวิตช์ตัวหลัก จะ ON ส่วนสวิตช์ตัวรองจะ Off เพื่อให้โหลดฟลูออเรสเซนต์สามารถติดได้ การดำเนินการนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับIGBTโดยใช้ออปโตไดโอดสัญญาณทั้ง2ชุดที่จ่ายมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่สามารถนำไปขับIGBTตรงๆได้จะต้องนำสัญญาณไปผ่านออปโตไดโอดก่อนเนื่องจากขา Gate ของ IGBT เสมือนเป็นC ซึ่ง C นั้นต้องขับด้วยกระแส ดังนั้นเราจึงไม่ควรนำศักย์ค่าที่จ่ายจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปขับตรงๆต้องทำให้เป็นกระแสก่อน โดยผ่านออปโตไดโอดและตัวต้านทาน10โอห์ม เหตุที่ใช้เพื่อทำให้ค่า Output Resistant มีค่าต่ำลงจะได้ชาร์ต C ที่ขา Gate ได้เร็วขึ้น ชุดสวิตช์2ทิศทาง ประกอบด้วย IGBT ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์และไดโอดอีก4ตัวในการเรียงกระแสในไหลผ่าน IGBT ได้2ทิศทาง นอกจากนั้นยังได้ออกแบบวงจรป้องกันการช้อตกึ่งเนื่องจากIGBTทั้งสองตัวonพร้อมกันโดยใช้ Logic Gate

สัญญาณที่ผ่านหลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูก Chop จากสัญญาณ AC 220V ที่เคยจ่ายให้หลอดฟลูออเรสเซนต์โดยตรง กำลังของสัญญาณจะถูกลดลงในขณะที่ความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก็จะถูกลดลงด้วยแต่น้อยมากจนตาของเราไม่สามารถแยกออกได้



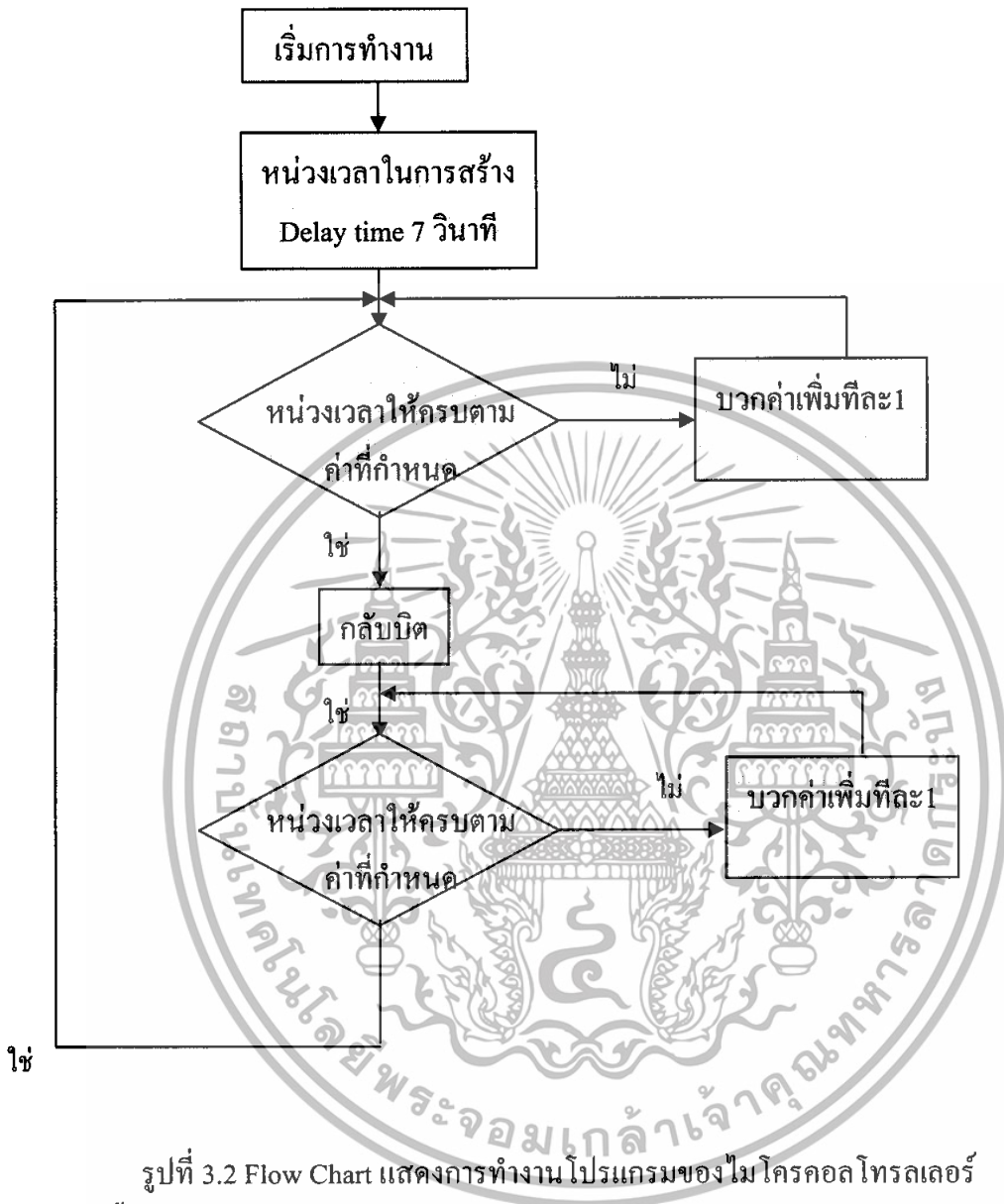
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 วงจรรวมทั้งหมดนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ส่วนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

สามารถอธิบายเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

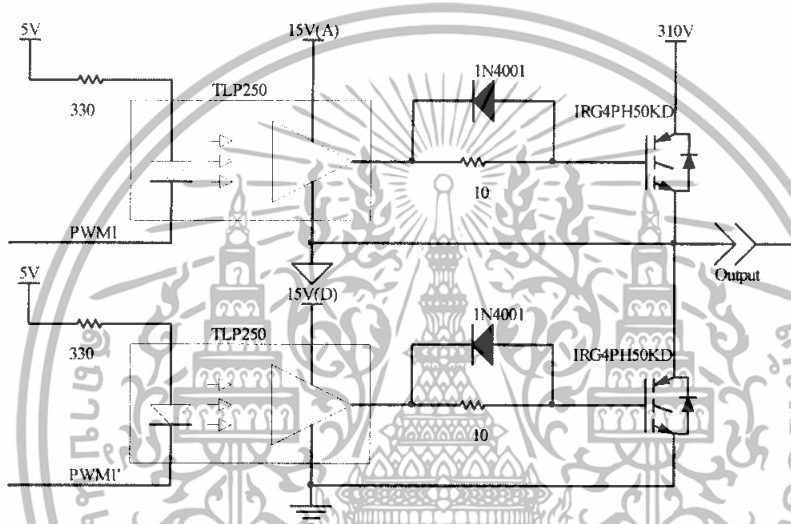
นอกจากนี้ในส่วนของโปรแกรมยังสามารถปรับค่า  $V_{rms}$  ได้โดยการปรับค่า Duty Ratio ด้วยสมการ

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{k\pi}{25} \times \frac{1}{\pi} \sum_{n=0}^{24} \left[ V_s \sin\left(\frac{2n+1}{50}\pi\right) \right]^2}; n = 1, 2, 3, \dots, 24 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรขับ IGBT โดยใช้ ออปโตไดโอด

วงจรขับ IGBT โดยใช้ ออปโตไดโอด จะทำการขับออปโตไดโอดที่แอกทีฟโวล และจะมี ไดโอดกับตัวต้านทานอยู่ระหว่างขาออกของออปโตไดโอดกับขาเกตของ IGBT โดยไดโอดทำหน้าที่ช่วยในการคายประจุของตัวเก็บประจุที่ขาเกตของ IGBT ขณะสั่งให้ IGBT เป็นสภาวะ Turn Off โดยดึงประจุผ่านไดโอดผ่าน Opto Isolate ลง Ground ของวงจร ทำให้ IGBT สามารถหยุดทำงานได้เร็วขึ้น ส่วนตัวต้านทานใช้เพื่อทำหน้าที่ลดความเหนียวน่าของลายวงจร ป้องกันการออสซิลเลต



รูปที่ 3.3 รูปวงจรถับ IGBT โดยใช้ ออปโตไดโอด

การออกแบบความต้านทานที่ทำให้ไดโอดในตัว TLP250 สามารถ on ได้ ให้ I ผ่านไดโอดเท่ากับ 10mA ,  $V_D$  เท่ากับ 1.6V โดยที่  $V_{cc}$  เท่ากับ 5V จะได้ว่า

$$R = \frac{V_{cc} - V_D}{I}$$

$$R = \frac{5V - 1.6V}{10mA}$$

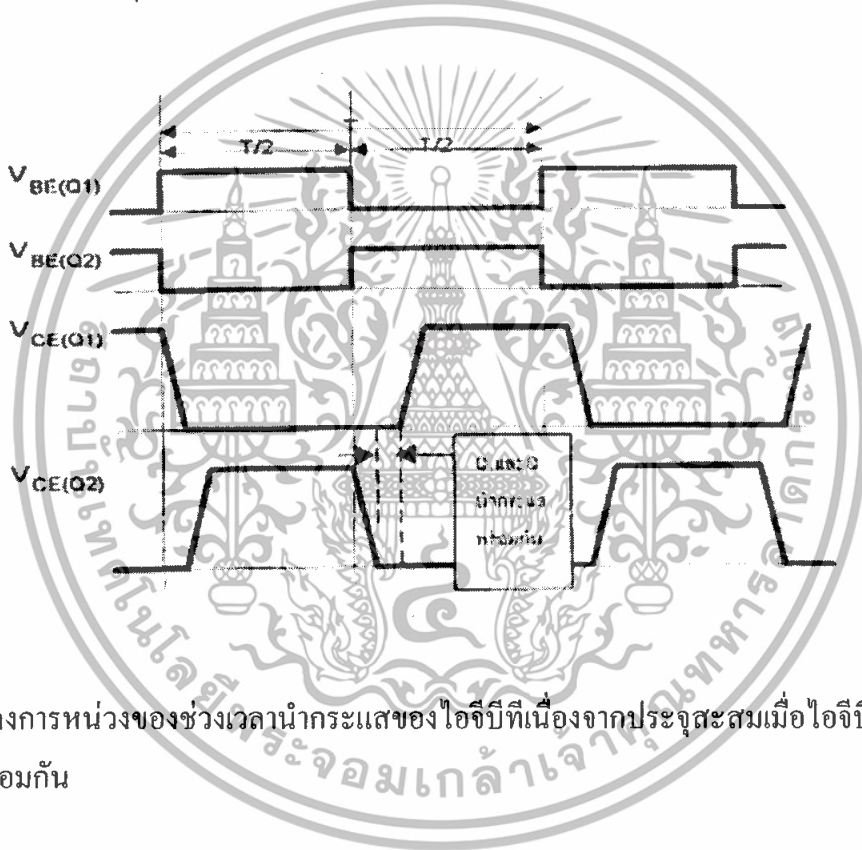
$$R = 340\Omega$$

จึงเลือกใช้ค่า 330 โอห์มซึ่งจะได้กระแสประมาณ 10.3mA ซึ่งไดโอดยังสามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

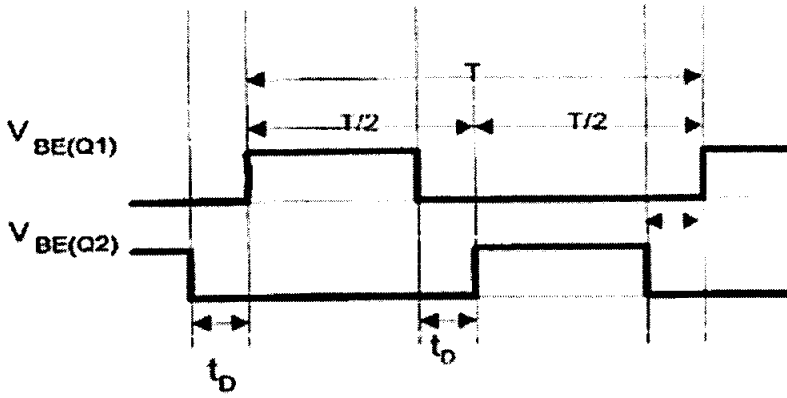
### 3.4 ค่าเวลาเพื่อ (Dead Time) สำหรับการสวิตชิงใน Light Saver

การกำหนดเวลาเพื่อไว้เพื่อไม่ให้ไอจีบีทีที่มีช่วงนำกระแสมากเกินไปมีเหตุผลหลักคือ ถึงแม้ว่าจะกำหนดให้วงจรควบคุมสั่งงาน ไอจีบีทีที่ครั้งหนึ่งของคาบเวลาเท่ากันแล้วก็ตาม ไอจีบีทีก็ยังไม่ปลอดภัยเพียงพอ เพราะการตอบสนองของ ไอจีบีทีอาจเป็นไปได้ช้า เนื่องจากการเกิดประจุสะสมขึ้นในไอจีบีทีขณะนำกระแส เมื่อหยุดจ่ายกระแสไบแอสให้กับ ไอจีบีทีที่เวลา  $t=T/2$  ประจุสะสมจะทำให้ไอจีบีทีนำกระแสต่อไปอีกช่วงหนึ่งก่อนที่กระแสจะมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่เดียวกันกับ ไอจีบีทีตัวที่เหลือเริ่มได้รับกระแสไบแอสที่เวลา  $t=T/2$  เช่นเดียวกันทำให้ ไอจีบีทีทั้งสองตัวเกิดนำกระแสพร้อมกัน ในกรณีที่แรงดันตกคร่อม ไอจีบีทีทั้งสองตัวขณะนำกระแสจะเท่ากับค่าของแรงดันอินพุต และทำให้เกิดการเสียหายอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.4 แสดงการหน่วงของช่วงเวลานำกระแสของไอจีบีทีเนื่องจากประจุสะสมเมื่อไอจีบีทีนำกระแสพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  ให้กับไอจีบีที

### 3.5 การคำนวณตัวเก็บประจุ (Capacitor) สำหรับช่วงค่าเวลาเมื่อ (Dead Time)

ในการเลือกใช้ค่า  $C$  นั้นจะต้องคำนึงค่า ที่ IGBT และ  $C$  จะรับได้

จากสมการ  $C = \frac{Q}{V}$ ,  $i = \frac{Q}{t}$  จะได้  $V = \frac{it}{C}$

ในช่วงเวลา Dead Time เลือกใช้ค่า  $t = 1\mu s$ ,  $C = 0.01\mu F$ ,  $i = 0.4\sqrt{2}A$

แทนค่าจะได้  $V = 40\sqrt{2}$

จาก  $\tau = RC$  และใช้  $R = 470\Omega$

จะได้ค่า  $\tau = 4.7\mu s$

ซึ่งเราจะเห็นว่าค่า  $C$ ,  $R$  ที่ใช้สามารถเปลี่ยนค่าไปได้ขึ้นตามความต้องการ

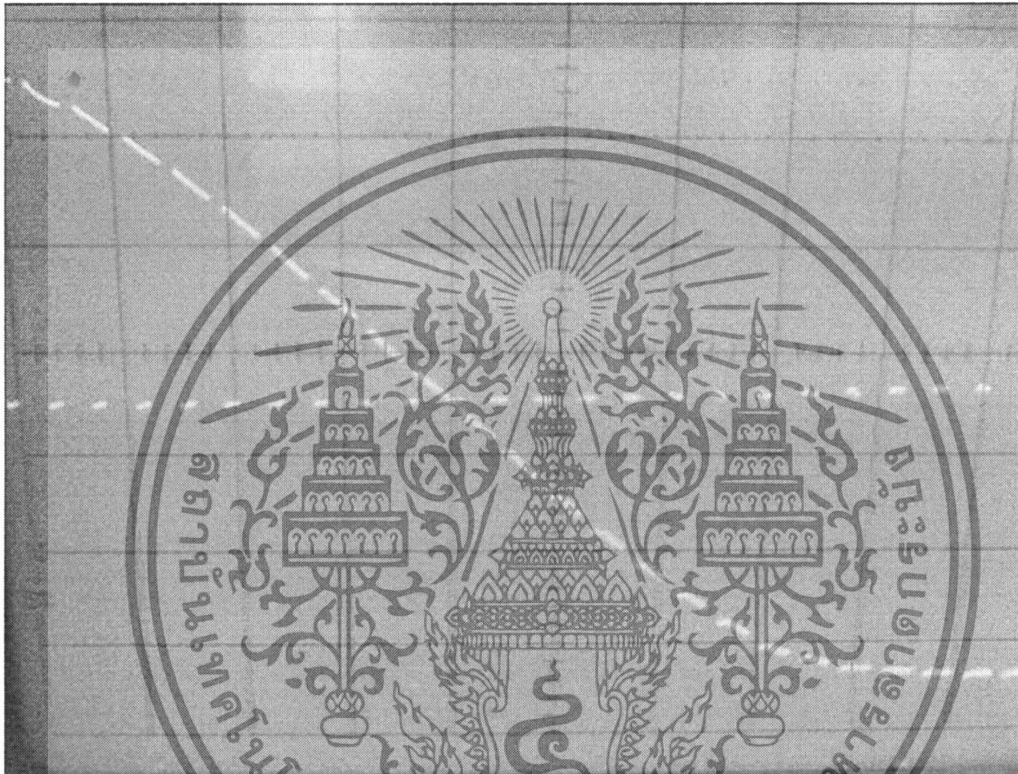
ของเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

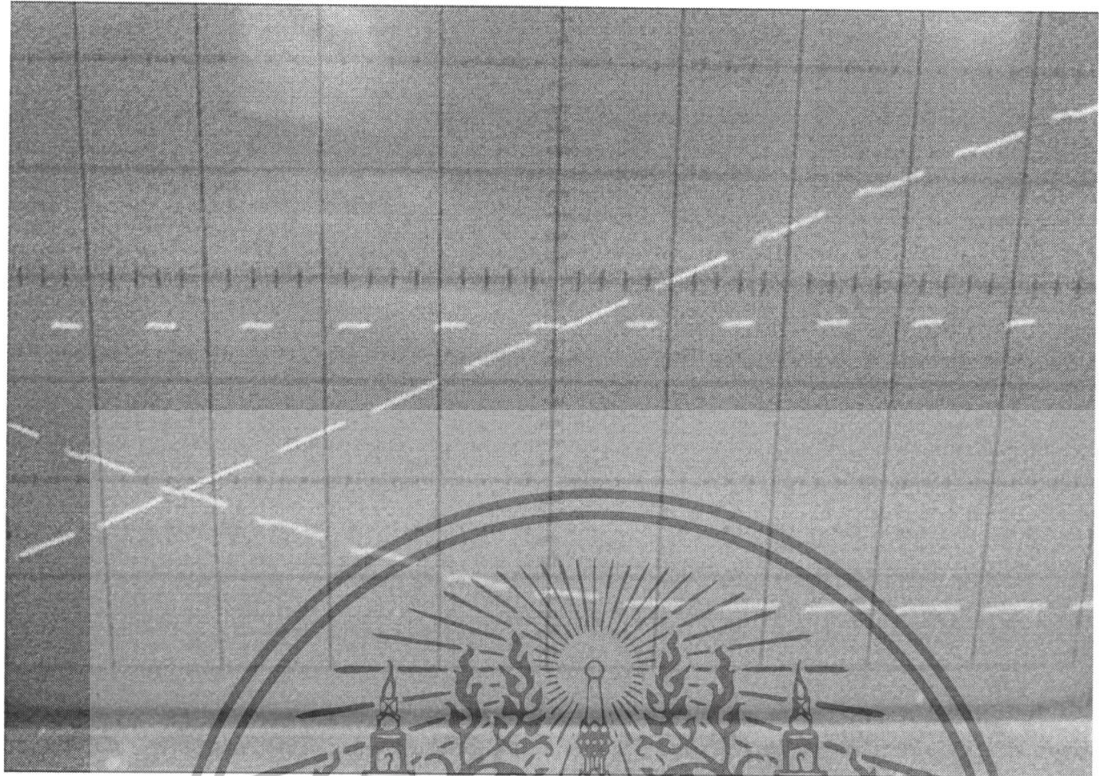
### ผลการทดลอง

ทำการวัดสัญญาณ Sine เพื่อเปรียบเทียบค่า Voltage ที่คร่อมหลอดไฟปกติกับที่ทำการตัดสัญญาณ Sine ที่ Duty Ratio ค่าต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความสว่างของหลอดไฟที่ลดลงอีกที



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

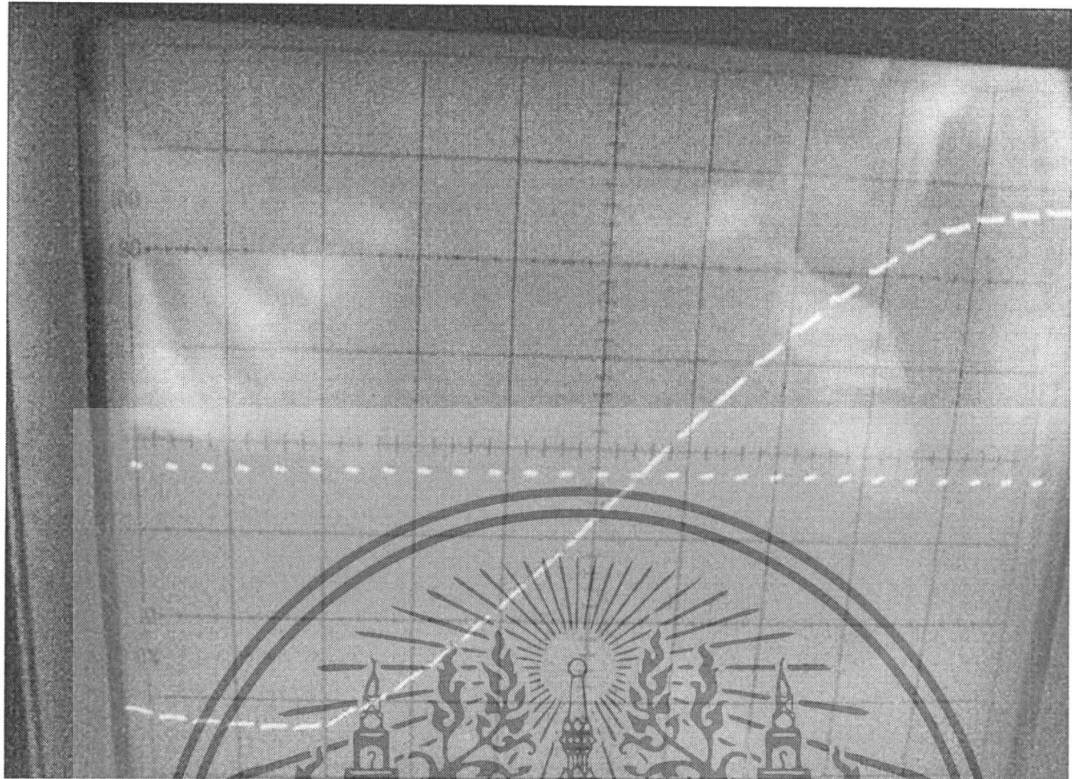


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 70%



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 75%

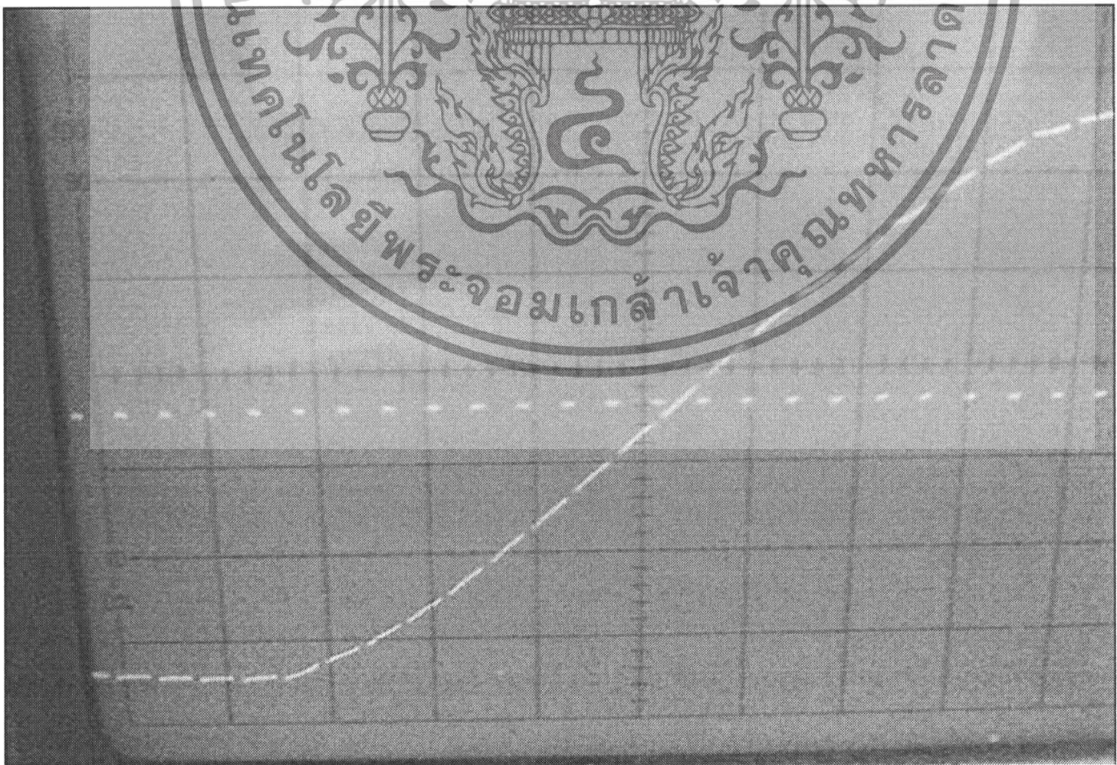


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 75%

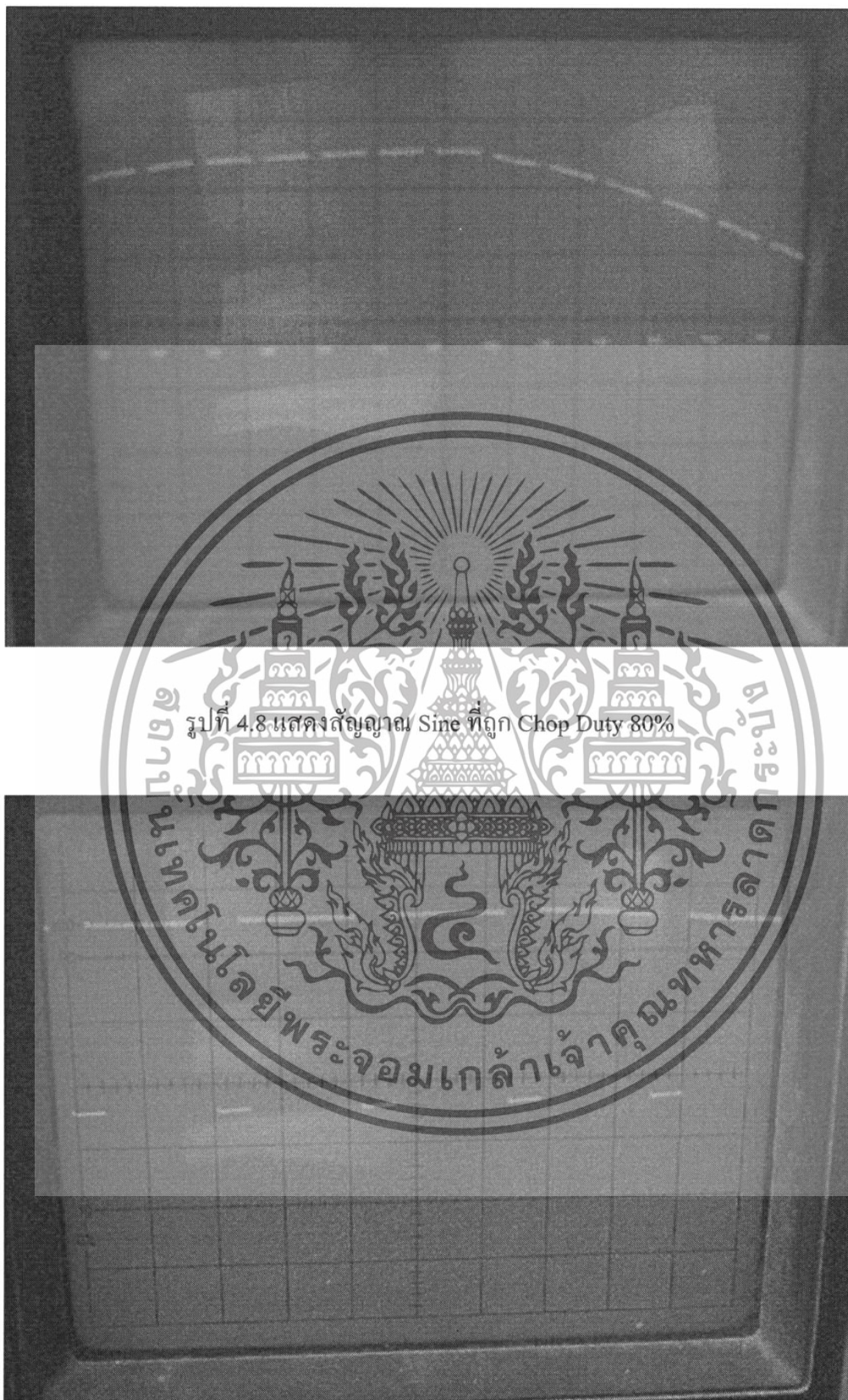
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 75%



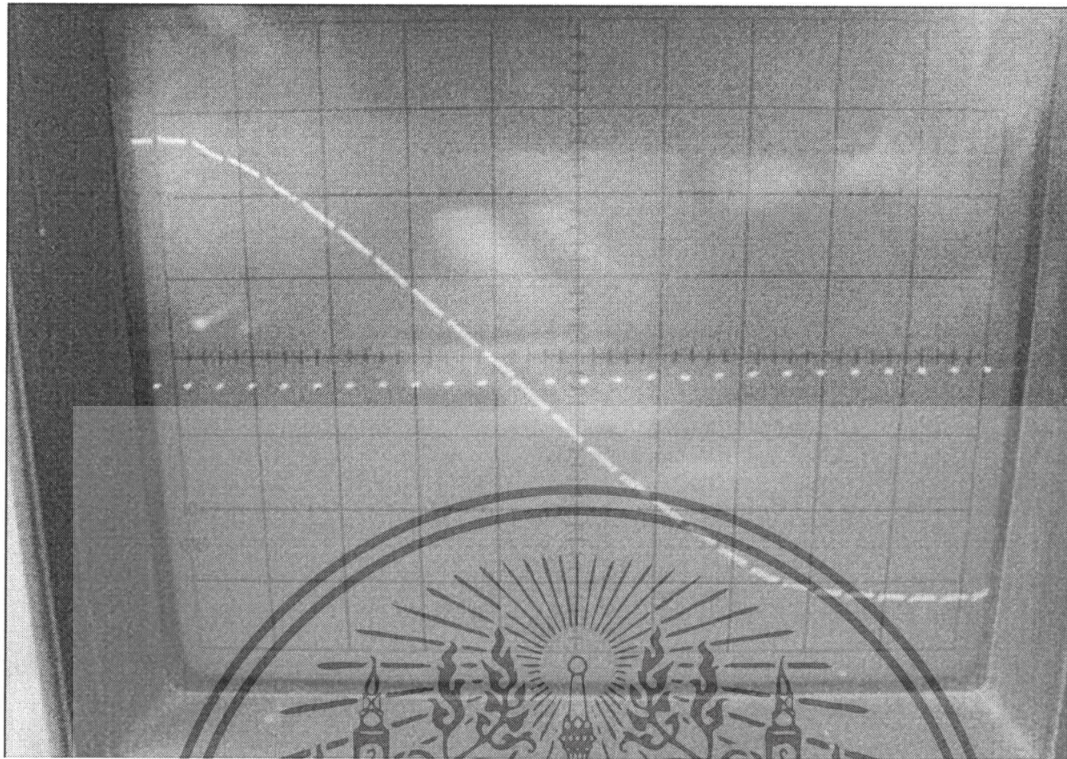
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 4.7 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 80% ตัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 80%

รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

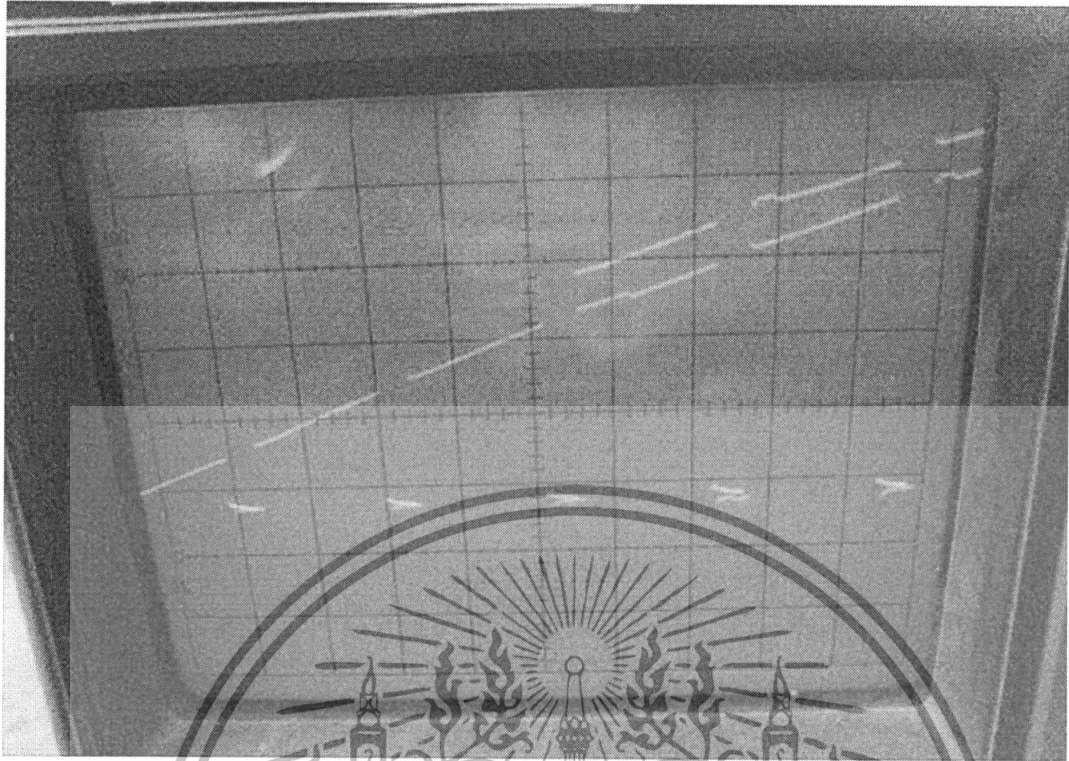


รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 85%

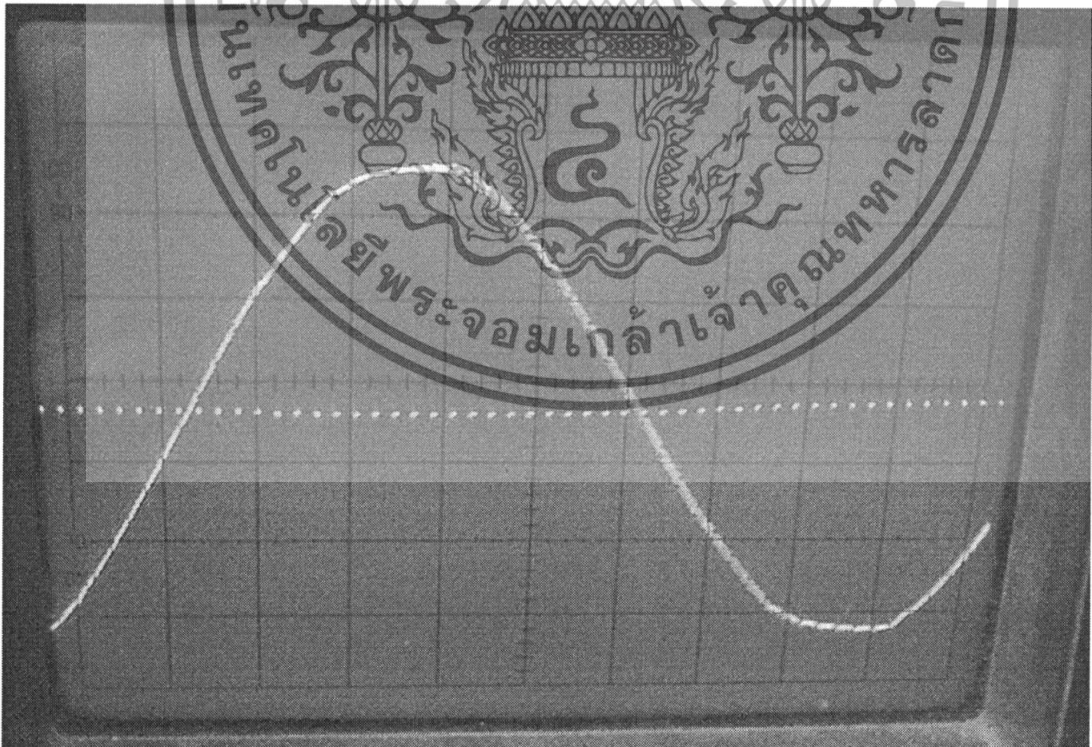


รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

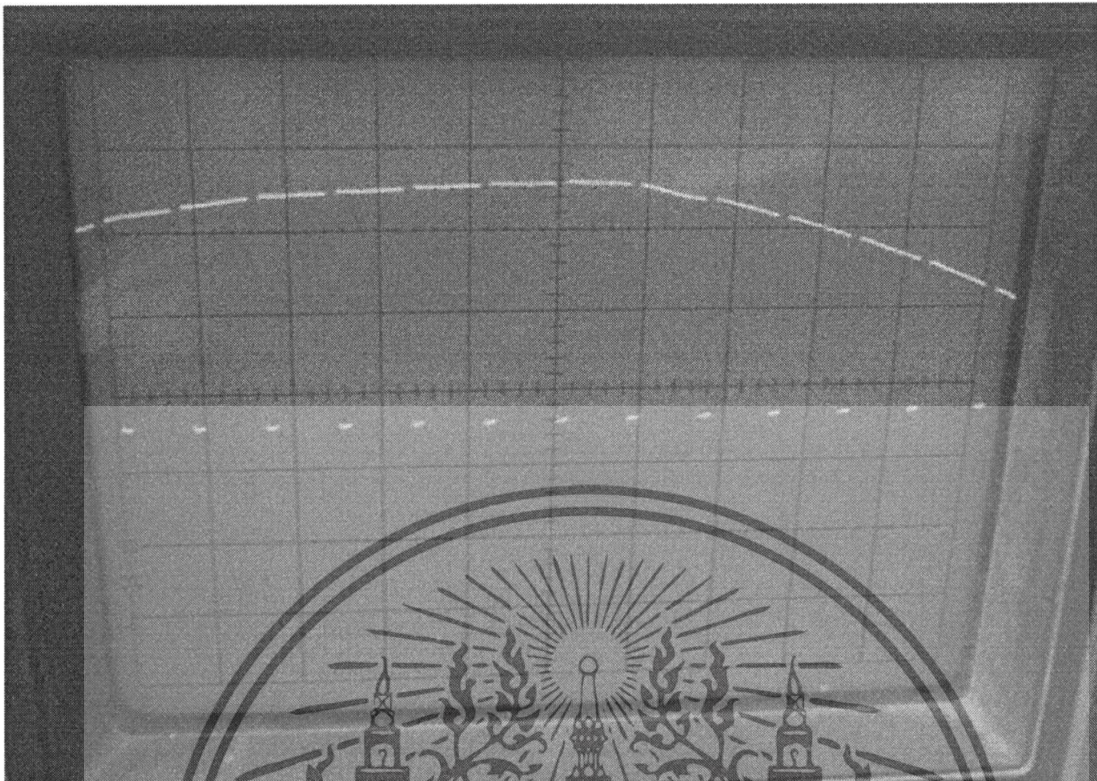


รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 85%



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

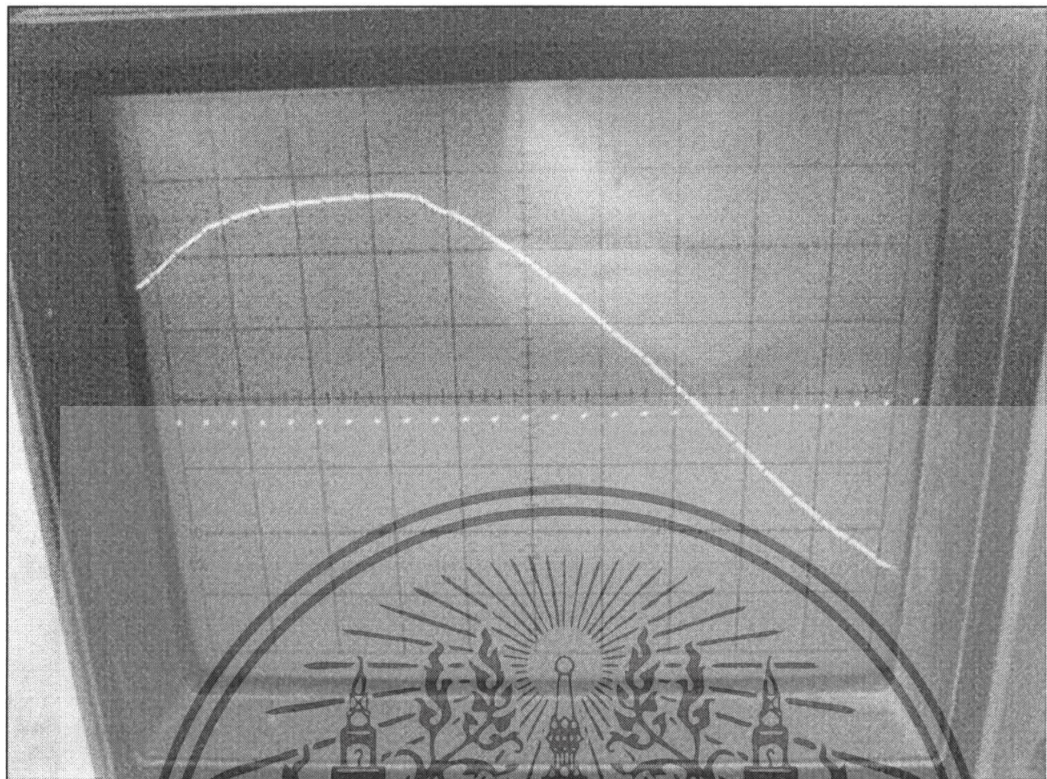


รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 90%



รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 90%

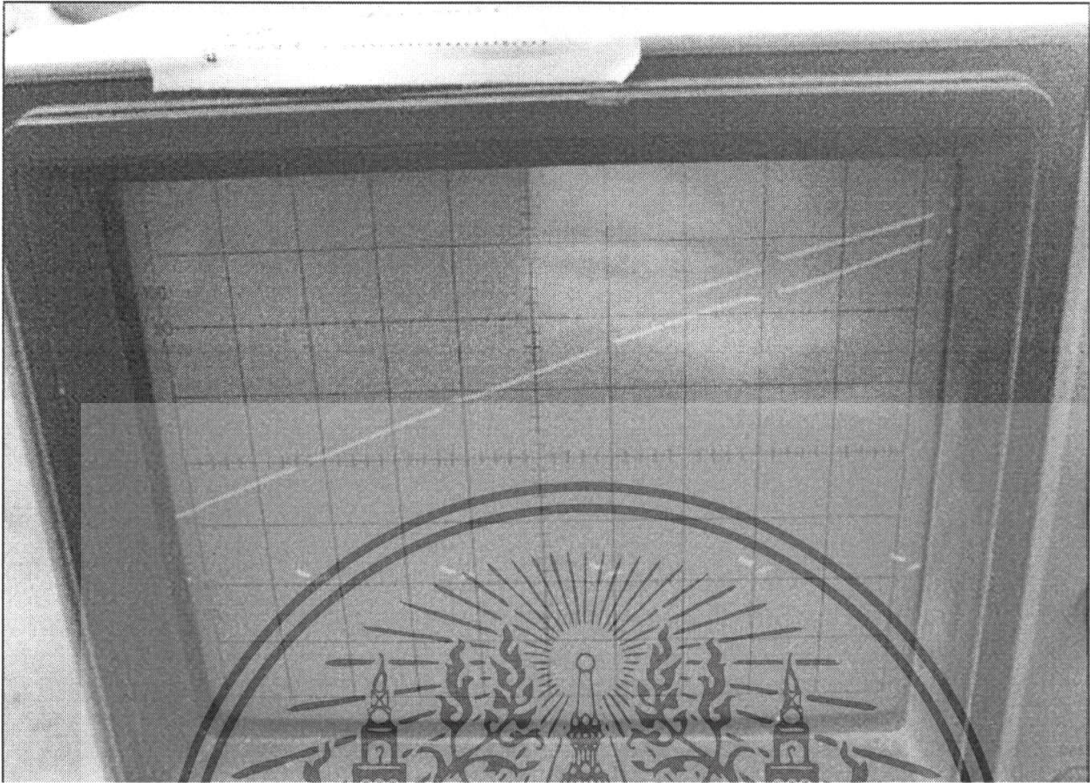
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงรูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 95% ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณ Sine ที่ถูก Chop Duty 95%

หมายเหตุ

รูปที่1 ของ Duty Ratio ทุกค่าใช้

Volts/Div = 1

Times/Div = 0.2ms ยกเว้นรูป Duty 90% = 0.3ms

รูปที่2 ของ Duty Ratio ทุกค่าใช้

Volts/Div = 1

Times/Div = 0.1ms

รูปที่3 ของ Duty Ratio ทุกค่าใช้

Volts/Div = 1

Times/Div = 0.4ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง

% DUTY	ความแรงศักย์คร่อมหลอดไฟ(คำนวณ)	ความแรงศักย์คร่อมหลอดไฟ(วัดจริง)	ความสว่างหลอด (ระยะห่าง 10cm)	%กำลังที่ลดลง	%ความสว่างที่ลดลง
100%	220.00V	223V	4140 LUX	—	----
95%	214.00V	208.40V	3360 LUX	12.66%	18.84%
90%	208.70V	196.23V	2980 LUX	22.57%	28.02%
85%	202.80V	186.42V	2440 LUX	30.12%	41.06%
80%	196.70V	174.74V	2020 LUX	42.28%	51.21%
75%	190.50V	167.18V	1506 LUX	47.17%	63.62%
70%	184.60V	163.61V	850 LUX	49.40%	79.47%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้นำเสนออุปกรณ์ประหยัดพลังงานซึ่งใช้กับหลอดไฟลูออเรสเซนต์โดยการทำงานของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานคือ เราจะทำการตัดสัญญาณชานซ์จากไฟบ้าน(220 โวลต์ 50 เฮิร์ต) โดยสวิตซ์ 2 ทิศทางที่ทำงานร่วมกันระหว่างไดโอดและ IGBT จำนวน 2 ชุด โดยใช้ความถี่ในการสวิตซ์ 2.5 KHZ ซึ่งสวิตซ์ตัวที่ 1 จะทำงานต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้หลอดไฟติดสว่างเต็มที่ หลังจากนั้นสวิตซ์ตัวที่ 2 จะทำให้เกิดความต่อเนื่องของกระแสที่ไหลผ่านบัลลาสต์ และเป็น การลดค่าศักดาเฉลี่ยที่จ่ายให้แก่ชุดหลอดไฟ

การทดลองในภาคเรียนที่ 2 นี้จะมีความแตกต่างจากในภาคเรียนที่ 1 คือจะใช้หลอดไฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดไส้ เมื่อใช้หลอดไฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดไส้แล้วสิ่งที่จะต้องคำนึงอย่างแรกคือ อุปกรณ์ที่จะรับพลังงานจากบัลลาสต์ที่เปรียบเสมือนตัวเหนี่ยวนำ(Inductor) ในช่วงค่าเวลาเพื่อ (Dead Time) โดยในโครงการนี้ได้ใช้ตัวเก็บประจุ(Capacitor)ชดเชยกระแสในตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)ให้ต่อเนื่องในช่วงค่าเวลาเพื่อ(Dead Time) โดยการคำนวณจะต้องคำนึงถึงค่ากระแส, กำลังงาน, Time Constant ด้วย พบว่าในตอนแรกที่ใช้ค่าตัวเก็บประจุ(Capacitor)และค่าความต้านทาน(Resistance)ที่ใช้ไม่เหมาะสมเท่าที่ควรนั้น ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานเป็นความร้อนขึ้นนอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองโดยกำหนดค่า Duty Ratio ไว้ 6 ค่า คือ 70% , 75% , 80% , 85% , 90% , 95% และได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าต่างๆเช่น ศักดา(Voltage)คร่อมหลอดไฟ , กำลังไฟฟ้า (Power) , ความสว่าง(Illumination) ซึ่งผลที่ได้นั้นเป็นไปตามตารางผลการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้น

### ปัญหาและการแก้ไข

วิธีแก้ปัญหที่เกิดขึ้นจากที่ได้กล่าวไปข้างต้นคือคำนวณค่าตัวเก็บประจุ(Capacitor)และค่าความต้านทาน(Resistance)ใหม่ โดยคำนึงถึงค่ากระแส , กำลังงาน , Time Constant อย่างละเอียดทำให้ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. โททม.อารียา. 2544 อิเล็กทรอนิกส์กำลัง1 .กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
2. โททม.อารียา. 2544 อิเล็กทรอนิกส์กำลัง2 .กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
3. Timothy L. Skvarenina, The Power Electronics Handbook, The United States of America : CRC PRESS
4. อ.ขจร อนุดิษฐ์,การเขียน โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษา C : บริษัท เอ-บุค ดิสทริบิวชั่น จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ภาคผนวก -

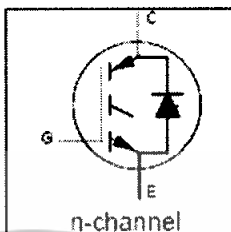
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRG4PH40UD2PbF

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR WITH ULTRAFAST SOFT RECOVERY DIODE UltraFast CoPack IGBT

### Features

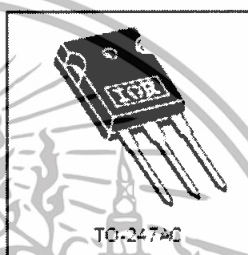
- UltraFast. Optimized for high operating frequencies up to 40 kHz in hard switching, >200 kHz in resonant mode
- New IGBT design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than previous generations
- IGBT co-packaged with HEXFRED™ ultrafast, ultra-soft-recovery anti-parallel diodes for use in bridge configurations
- Industry standard TO-247AC package
- Lead Free



$V_{CES} = 600V$   
 $V_{CE(sat)} \text{ typ.} = 1.72V$   
 @  $V_{GE} = 15V, I_C = 20A$

### Benefits

- Higher switching frequency capability than competitive IGBTs
- Highest efficiency available
- HEXFRED diodes optimized for performance with IGBT's. Minimized recovery characteristics require less/no snubbing.



### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units	
$V_{CE}$	Collector-to-Emitter Voltage	600	V
$I_C$ @ $T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	40	A
$I_C$ @ $T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	20	A
$I_{C(av)}$	Pulse Collector Current (10)	160	A
$I_{CL}$	Clamped Inductive Load current (10)	160	A
$I_F$ @ $T_C = 100^\circ C$	Diode Continuous Forward Current	10	A
$I_{FM}$	Diode Maximum Forward Current	40	A
$V_{GE}$	Gate-to-Emitter Voltage	$\pm 20$	V
$P_D$ @ $T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	160	W
$P_D$ @ $T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	65	W
$T_J$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ C$
	Storage Temperature Range for 10 sec.	300 (0.063 in. (1.6mm) from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 (lb/in (1.1Ncm))	

### Thermal / Mechanical Characteristics

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta(j-c)}$	—	—	0.77	$^\circ C/W$
$R_{\theta(j-d)}$	—	—	2.5	
$R_{\theta(c-s)}$	—	0.24	—	
$R_{\theta(s-a)}$	—	—	40	
$W$	Weight	6 (0.21)	—	g (oz)

www.irf.com

1  
07:19:04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLP250

Transistor Inverter  
 Inverter For Air Conditioner  
 IGBT Gate Drive  
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 5-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

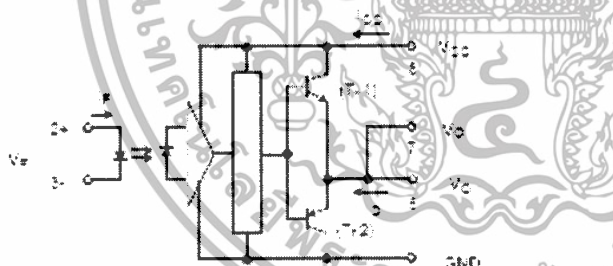
- Input threshold current:  $I_T = 5 \text{ mA (max)}$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11 \text{ mA (max)}$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ):  $10 \sim 35 \text{ V}$
- Output current ( $I_{OL}$ ):  $1.5 \text{ A (max)}$
- Switching time ( $t_{PLH}, t_{PHL}$ ):  $1.3 \mu\text{s (max)}$
- Isolation voltage:  $2500 \text{ V (max/min)}$
- UL recognized: UL1577, file No. E61349
- Option (D4) type  
 VDE approved DIN VDE0884-05-92 certificate No. 75822  
 Maximum operating insulation voltage:  $510 \text{ V (PK)}$   
 Highest permissible over voltage:  $4000 \text{ V (PK)}$

(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)".

- Creepage distance:  $5 \text{ mm (min)}$
- Clearance:  $3.4 \text{ mm (min)}$

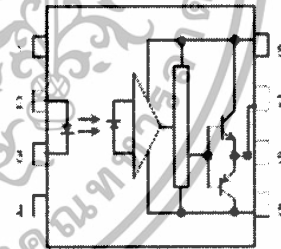


### Schematic



A 0.1  $\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 5 and 6. (See Note 5).

### Pin Configuration (top view)



- 1 N.C.
- 2 Anode
- 3 Cathode
- 4 N.C.
- 5 GND
- 6  $V_O$  (Output)
- 7  $V_O$
- 8  $V_{CC}$

### Truth Table

		$T_1$	$T_2$
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Axial-Lead Standard Recovery Rectifiers

Lead mounted standard recovery rectifiers are designed for use in power supplies and other applications having need of a device with the following features:

- High Current to Small Size
- High Surge Current Capability
- Low Forward Voltage Drop
- Void-Free Economical Plastic Package
- Available in Volume Quantities

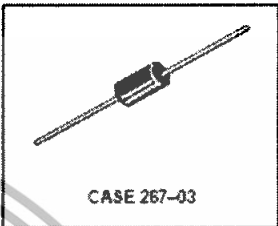
## Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy Molded
- Weight: 1.1 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds; 1:15" from case
- Shipped in plastic bags, 5,000 per bag.
- Available Tape and Reel, 1500 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band
- Marking: 1N5400, 1N5401, 1N5402, 1N5403, 1N5404, 1N5405, 1N5406, 1N5407, 1N5408

**1N5400  
thru  
1N5408**

1N5404 and 1N5405 are  
Motorola Preferred Devices

**STANDARD  
RECOVERY RECTIFIERS**  
50-1000 VOLTS  
3.0 AMPERE



## MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	1N5400	1N5401	1N5402	1N5404	1N5406	1N5407	1N5408	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Non-repetitive Peak Reverse Voltage	$V_{RSM}$	100	200	300	525	800	1000	1200	Volts
Average Rectified Forward Current (Single Phase Resistive Load, 10° Leads, $T_J = 105^\circ\text{C}$ )	$I_O$	3.0							Amp
Non-repetitive Peak Surge Current (Surge Applied at Rated Load Conditions)	$I_{FSM}$	200 (one cycle)							Amp
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J$ $T_{stg}$	-55 to +175 -55 to +175							°C

## THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Typ	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient (PC Board Mount, 10° Leads)	$R_{\theta JA}$	63	°C/W

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Instantaneous Forward Voltage (1) ( $I_F = 9.4$ Amp)	$v_F$	—	—	1.2	Volts
Average Reverse Current (1) DC Reverse Current (Rated dc Voltage, $T_J = 50^\circ\text{C}$ )	$I_{R(AV)}$ $I_R$	—	—	500 500	$\mu\text{A}$

<sup>1</sup> JEDEC Registered Data

(1) Measured in a single phase halfwave circuit such as shown in Figure 2 of EIA RS-282, November 1963. Operated at rated load conditions  
 $T_J = 80^\circ\text{C}$ ,  $I_O = 3.0$  A,  $V_F = V_{RWM}$ .

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

60 Hz resistive or inductive loads.

For capacitive load, derate current by 20%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้