

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีสามสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

RGB LED COLOR CONTROL BY MICROCONTROLLER



T119543

โดย

นายภารดา พรมมากุล

นายภิญโญ สงคัลักษณ์

นายภูดิท อินไทย

นายภูมินทร์ สุทธิแย้ม

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

119543

- 8 S.ค. 2554

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีสามสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

RGB LED COLOR CONTROL BY MICROCONTROLLER



โดย

นายภรดา พรหมมากุล

นายภิญโญ สงคลักษณ์

นายภูดิท อินไทย

นายภูมินทร์ สุทธิแย้ม

12361513  
b.....  
i.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

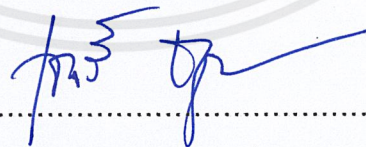
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีสามสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้จัดทำ

- 
1. ภารดา พรหมากุล
  2. ภิญโญ สงคัลักษณ์
  3. ภูติท อินไทย
  4. ภูมินทร์ สุทธิแย้ม



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เซาว์ ชมภูอินไหว)

## การควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีสามสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

นายภาวดา พรหมมากุล  
 นายภิญโญ สงคลักษณ์  
 นายภูติท อินไทย  
 นายภูมินทร์ สุทธิแย้ม  
 ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2553

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลออกคิสเพลย์ขนาด 8x8 พิกเซล ออกแบบให้ใน 1 พิกเซล มีหลอดแอลอีดี 3 หลอดคือ หลอดสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ควบคุมโดยใช้ TLC5921 เป็นไดรฟ์เวอร์ในการขับหลอด มีหลักการการทำงานโดยรวมคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลขาเข้า เมื่อรับข้อมูลเข้ามาจะทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการผสมสี จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมการผสมสีไปยังวงจรของตัวขับหลอดเพื่อให้ตัวขับหลอดส่งสัญญาณไปควบคุมสีและความสว่างของหลอดแอลอีดี โดยใช้วิธีควบคุมการผสมสีด้วยการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลและใช้การขับแบบสแตติก เพื่อให้สามารถที่จะควบคุมการผสมสีให้แยกอิสระต่อกันได้ นอกจากนั้นสามารถควบคุมการผสมสีภายในพิกเซลด้วยความเข้มสีหลายระดับได้ นำไปสู่การพัฒนาประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายอย่างและสามารถตกแต่งสถานที่ให้มีสีสันสวยงามได้ตามต้องการ

## RGB LED COLOR CONTROL BY MICROCONTROLLER

Parada	Phommakul
Bhinyo	Songkhaluck
Phudit	Inthai
Phumin	Suttiyam
Asst.Prof.Dr.Chow	Chompoo-inwai Supervisor

### Abstract

This paper presents the RGB LED color control by Microcontroller. Show at display board size 8x8 pixels. Controls the drive by TLC5921. The principle function is Microcontroller to receive input. When the input to be processed to control signals for color mixing. Then, Microcontroller will send a signal to control the color mixing to be drivers for drivers send signal to control the color and brightness of the LED. The control method of mixing colors by modifying the duty cycle and driving a static. To be able to control the mixing of colors independent of each other. In addition, control of color mixing in multi-color pixels with intensity levels. Bring to the development of applications and places to be decorated with colorful, if desired.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่านที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่คอยดูแลและเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด คอยช่วยชี้แนะให้คำปรึกษารวมถึงวิชาการความรู้ต่างๆ ที่ได้สอนแก่ผู้จัดทำโครงการอันเป็นประโยชน์แก่การศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงการโดยมิเห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้จนถึงความช่วยเหลือในด้านต่างๆต่อผู้จัดทำโครงการ ซึ่งเป็นการเอื้อประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการจัดทำโครงการและขอขอบพระคุณห้องวิศวกรรมการส่องสว่าง (ESIRC) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ใช้เป็นสถานที่ในการทำการทดสอบและเป็นที่ยึดทำปริญญาานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงที่ให้การสนับสนุนทางด้านการเรียนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งทุกกำลังใจดีใจในทุกๆเรื่อง ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จไปด้วยดี จึงขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการทำงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	3
2.1 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode - LED) .....	3
2.1.1 นิยามของแอลอีดี.....	3
2.1.2 คุณสมบัติและหลักการทำงานไฟฟ้า.....	4
2.1.3 ข้อดีของหลอดแอลอีดี.....	7
2.1.4 การขับหลอดแอลอีดี.....	9
2.1.5 คุณสมบัติของหลอดแอลอีดีที่เราใช้ในโครงการ.....	11
2.2 ทฤษฎีการผสมสี.....	13
2.2.1 แสงและแหล่งกำเนิดแสง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

2.2.2 การผสมกันของสี.....	15
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3.....	17
2.3.1 โปรเซสเซอร์ Cortex-M3 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3.....	18
2.3.2 พัฒนาการสถาปัตยกรรมของ ARM โปรเซสเซอร์.....	19
2.3.3 ชุดคำสั่ง Thumb.....	21
2.3.4 ไปป์ไลน์ของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์.....	22
2.3.5 ไดอะแกรมการทำงานของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์.....	23
2.3.6 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3.....	27
2.3.7 ระบบรีเซ็ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3.....	28
2.4 LED driver TLC5921.....	29
2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ LED driver TLC5921.....	29
2.4.2 หน้าที่ของขาต่างๆ.....	31
2.4.3 การทำงานของไอซี TLC5921.....	32
2.4.4 ฟังก์ชันการทำงานของไอซี TLC5921.....	33
<b>บทที่ 3 การออกแบบ.....</b>	<b>37</b>
3.1 การออกแบบในส่วนอินพุต.....	37
3.1.1 ขั้นตอนการใช้งาน VB ในส่วนของ Customized.....	42
3.1.2 ขั้นตอนการใช้งาน VB ในส่วนของ Programmed.....	42
3.2 การออกแบบในส่วนวงจรควบคุม.....	43
3.2.1 การออกแบบในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์.....	43
3.2.2 การออกแบบในส่วนวงจรขับหลอดแอลอีดี (ไดร์ฟเวอร์) .....	45

## สารบัญ (ต่อ)

3.3 การออกแบบในส่วนจอแสดงผล.....	47
3.4 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง.....	49
3.5 การออกแบบวงจรทั้งหมดในโครงงาน.....	52
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>53</b>
4.1 การควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไซเคิล 8 ระดับ.....	54
4.2 การศึกษาผลของดิวิตีไซเคิลที่มีผลต่อความเข้มแสงของหลอดแอลอีดี.....	59
4.3 การจำลองการผสมสีจากรางสีมาตรฐาน RGB.....	60
4.4 การเปรียบเทียบผลของการผสมสี.....	64
4.5 การปรับแต่งการแสดงผลรูปแบบต่างๆ.....	67
4.6 การประยุกต์ใช้งาน.....	69
<b>บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>73</b>
5.1 สรุป.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>75</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>76</b>
<b>ประวัติผู้แต่ง.....</b>	<b>77</b>

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลอดแอลอีดีที่ใช้ในการทำโครงการงาน.....	4
รูปที่ 2.2 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P.....	5
รูปที่ 2.3 เมื่อต่อขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P.....	6
รูปที่ 2.4 เมื่อต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P.....	6
รูปที่ 2.5 การขับแบบสแตติก.....	9
รูปที่ 2.6 การขับแบบมัลติเฟลิกซ์.....	10
รูปที่ 2.7 การกระจายของแสงสีขาวเมื่อเดินทางผ่านปริซึม.....	14
รูปที่ 2.8 กราฟแสงการกระจายของพลังงานของแสงเดย์ไลท์.....	14
รูปที่ 2.9 การผสมสีแบบบวก.....	15
รูปที่ 2.10 การผสมสีแบบลบ.....	16
รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมแสดงความเกี่ยวข้องระหว่างโปรเซสเซอร์ Cortex-M3 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3.....	18
รูปที่ 2.12 เส้นทางการพัฒนาสถาปัตยกรรม ARM โปรเซสเซอร์.....	19
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์และการรองรับชุดคำสั่ง Thumb ของ Cortex-M3.....	22
รูปที่ 2.14 กระบวนการไปป์ไลน์ของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์.....	22
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมการทำงานของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์.....	24
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างไดอะแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนา ต่อจาก Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ที่มีการใช้งานจริง.....	27
รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมของกระบวนการรีเซ็ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3.....	28

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.18 ลักษณะรูปร่างของไอซี TLC5921.....	29
รูปที่ 2.19 TLC5921.....	31
รูปที่ 2.20 ฟังก์ชันการทำงานของไอซี TLC5921.....	32
รูปที่ 2.21 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสเอาต์พุตคงที่และค่าความต้านทานที่ขา IREF.....	33
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง shift register และ latch.....	34
รูปที่ 2.23 การทำงานของฟังก์ชัน TSD และ LOD.....	36
รูปที่ 2.24 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของการติดต่อส่งข้อมูลแบบอนุกรม.....	36
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบโดยรวมทั้งหมดของโครงการ.....	37
รูปที่ 3.2 แผนผังลำดับงานในส่วนโปรแกรมหลัก.....	38
รูปที่ 3.3 แผนผังลำดับงานของฟังก์ชันโปรแกรม.....	39
รูปที่ 3.4 แผนผังลำดับงานในส่วนของฟังก์ชันการปรับแต่ง.....	40
รูปที่ 3.5 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการส่งถ่าย.....	41
รูปที่ 3.6 หน้าต่าง Visual Basic .....	41
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	44
รูปที่ 3.8 วงจรในการต่อวงจรของหลอดแอลอีดีแต่ละหลอด.....	45
รูปที่ 3.9 วิธีการจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดี.....	46

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการเลือกขนาดตัวต้านทานที่ปริมาณกระแสเอาท์พุทคงที่ 20 mA.....	46
รูปที่ 3.11 การต่อวงจรของบอร์ดแอลอีดีแต่ละบอร์ดย่อย (4x4 พิกเซล) .....	47
รูปที่ 3.12 บอร์ดแสดงผลหลอดแอลอีดีขนาด 4x4 พิกเซล.....	48
รูปที่ 3.13 บอร์ดจอแสดงผลขนาด 8x8 พิกเซล.....	48
รูปที่ 3.14 บอร์ดแสดงผลหลอดแอลอีดีจริงที่ออกแบบในโครงการนี้.....	49
รูปที่ 3.15 วงจรไฟเลี้ยง.....	50
รูปที่ 3.16 วงจรไฟเลี้ยงจริงในโครงการนี้.....	51
รูปที่ 3.17 วงจรจริงทั้งหมดในโครงการนี้.....	52
รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อวงจรระหว่างบอร์ดแสดงผล และ ออสซิลโลสโคป.....	54
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 1 (D=12.5%).....	54
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 2 (D=25.0%).....	55
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 3 (D=37.5%).....	55
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 4 (D=50.0%).....	56
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 5 (D=67.5%).....	56
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 6 (D=75.0%).....	57
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไฮเซล ที่ระดับ 7 (D=87.5%).....	57

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิฟฟิเคิล ที่ระดับ 8 (D=100.0%)....	58
รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการวัดค่าความเข้มแสง.....	59
รูปที่ 4.11 การผสมสีโดยแม่สี สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ด้วยระดับความเข้มสีที่เท่ากัน ที่ระดับต่างๆ.....	60
รูปที่ 4.12 การผสมสีระหว่าง สีแดง กับ สีเขียว ที่ระดับต่างๆ.....	60
รูปที่ 4.13 การผสมสีระหว่าง สีน้ำเงิน กับ สีแดง ที่ระดับต่างๆ.....	61
รูปที่ 4.14 การผสมสีระหว่าง สีเขียว กับ สีน้ำเงิน ที่ระดับต่างๆ.....	61
รูปที่ 4.15 การผสมสีระหว่าง สีแดง กับ สีฟ้า ที่ระดับต่างๆ.....	62
รูปที่ 4.16 การผสมสีระหว่าง สีเขียว กับ สีม่วง ที่ระดับต่างๆ.....	62
รูปที่ 4.17 การผสมสีระหว่าง สีน้ำเงิน กับ สีเหลือง ที่ระดับต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.18 การเก็บค่าสีที่ได้จากบอร์ดแสดงผล.....	64
รูปที่ 4.19 การปรับแต่งบอร์ดแสดงผล.....	67
รูปที่ 4.20 การปรับแต่งบอร์ดแสดงผลเป็นรูปแบบรูปภาพ.....	67
รูปที่ 4.21 การแสดงผลเป็นรูปแบบตัวอักษร.....	68
รูปที่ 4.22 การจำลองการสร้างตัวอักษร KMITL.....	69
รูปที่ 4.23 โปรแกรมแสดงตัวอักษร K M I T L .....	70
รูปที่ 4.24 การจำลองการสร้างตัวอักษร ESIRC.....	71
รูปที่ 4.25 โปรแกรมแสดงตัวอักษร E S I R C.....	71
รูปที่ 4.26 การจำลองการทำโปรแกรมภาพสีเคลื่อนไหว.....	72

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.27 การประยุกต์ใช้งาน.....	72
------------------------------------	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 Absolute Maximum Rating ของสีน้ำเงิน.....	11
ตารางที่ 2.2 Initial Electrical/Optical Characteristics ของสีน้ำเงิน.....	11
ตารางที่ 2.3 Absolute Maximum Rating ของเขียว.....	11
ตารางที่ 2.4 Initial Electrical/Optical Characteristics ของสีเขียว.....	12
ตารางที่ 2.5 Absolute Maximum Rating ของสีแดง.....	12
ตารางที่ 2.6 Initial Electrical/Optical Characteristics ของสีแดง.....	12
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าตัวชี้วัดและค่าความเข้มแสงของแม่สี สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน.....	59
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบสีระหว่างสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ กับสีจากตารางสี.....	65

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันหลอดแอลอีดีได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้สามารถประยุกต์หลอดแอลอีดีไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย หลอดแอลอีดีมีคุณสมบัติเด่นคือ ทนทานต่อการสั่นสะเทือน เป็นหลอดไฟที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่มีการเปิด-ปิดบ่อยครั้งโดยไม่มีปัญหาใดๆ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง และมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สูงถึง 70 ลูเมนต์/วัตต์ นอกจากนี้หลอดแอลอีดียังมีมุมมองทางแสง (View Angle) ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางแสงที่ส่องสว่าง แตกต่างกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่แสงจะแพร่ไปทุกทิศทาง ทำให้หลอดแอลอีดีรักษาพลังงานที่สูญเสียไปได้จำนวนมาก แม้ว่าหลอดแอลอีดีจะถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและใช้ได้สะดวก แต่การจะทำให้ได้สีตรงความต้องการนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมระดับความเข้มแสงในการผสมสี

ในการควบคุมระดับความเข้มแสงจากหลอดแอลอีดี สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- การควบคุมจากระดับแรงดันไฟฟ้า
- การควบคุมจากระดับกระแส
- การควบคุมจากความถี่โดยควบคุมเวลาในการจ่ายกระแส

โครงการนี้ได้เลือกวิธีการควบคุมระดับความเข้มแสงโดยการควบคุมจากความถี่ เพราะหลอดแอลอีดี มีช่วงเวลาการทำงานของแรงดันไฟฟ้า และกระแสที่แคบ ส่งผลทำให้การควบคุมที่ระดับความเข้มแสงที่ละเอียดสูงๆนั้นทำได้ยาก ส่วนการควบคุมจากความถี่โดยควบคุมเวลาในการจ่ายกระแส สามารถทำได้โดยกำหนดความกว้างของสัญญาณที่จะนำมาขับแอลอีดี ในลักษณะของการควบคุมแบบดิวตีไซเคิลของแต่ละสีในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กัน นั้นจะทำให้เราสามารถผสมสีได้หลายสี จากระดับระดับความเข้มแสงหลายๆระดับ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการของการผสมสีทางแสงของแม่สี (RGB) ที่ใช้ผสมสีของแอลอีดี
2. เพื่อควบคุมสีของแอลอีดีให้ได้สีที่ออกมาตามต้องการ
3. เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานให้แก่ผู้ที่สนใจ สามารถนำไปศึกษาเพื่อพัฒนาและต่อยอดในการคิดค้น ประดิษฐ์นวัตกรรมใหม่ๆ
4. เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตกแต่งสถานที่ต่างๆ เช่น ร้านอาหาร หรือ โรงแรมเนื่องจากสีที่ต่างกันจะให้ความรู้สึกที่ต่างกัน
5. เพื่อนำไปประยุกต์พัฒนาเป็นการทำจอแอลอีดี
6. เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนที่จะได้ออกไปทำงานทางด้านวิศวกรรมและฝึกทักษะการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าในการทำงานจริง

## 1.3 ขอบเขตของการทำงาน

ศึกษาและทดลองการปรับระดับความเข้มแสง 8 ระดับของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน โดยควบคุมการผสมสีระหว่างแม่สี RGB เข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดสีใหม่ขึ้นมา สามารถควบคุมการผสมสีได้ทั้งหมด 512 สี แสดงผลออกทางจอแสดงผล ( LED display 8x8 pixel )

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถพัฒนาความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานจริงในการประดิษฐ์บอร์ดแสดงผลแอลอีดี
2. สามารถใช้งานบอร์ดแสดงผลแอลอีดี ในการตกแต่งสถานที่ได้จริง
3. เข้าใจหลักการการออกแบบแผ่น PCB ( print circuit board ) เพื่อที่จะให้วงจรที่ออกแบบมีสัญญาณรบกวนน้อยลง
4. เข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้น การสร้างจอภาพแอลอีดี
5. เข้าใจหลักการการทำงานร่วมกับผู้อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐาน

ในโครงการนี้ประกอบด้วยการทำงานอยู่ 4 ส่วนหลักๆ คือ อินพุต ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนไดรฟ์เวอร์ และส่วนจอแสดงผล การทำงานของวงจรโดยรวมคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลอินพุต เมื่อรับข้อมูลเข้ามาจะทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการผสมสี จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมการผสมสีไปยังวงจรของตัวไดรฟ์เวอร์ เพื่อให้ตัวไดรฟ์เวอร์ส่งสัญญาณไปควบคุมสีและความสว่างของหลอดแอลอีดี โดยการควบคุมการประมวลผลเป็นสิ่งสำคัญ โครงการนี้ใช้ ARM Cortex-M3 ในการประมวลผล และใช้ TLC 5921 เป็นตัวไดรฟ์เวอร์ รวมถึงวิธีในการขับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติและการทำงานต่างๆดังนี้

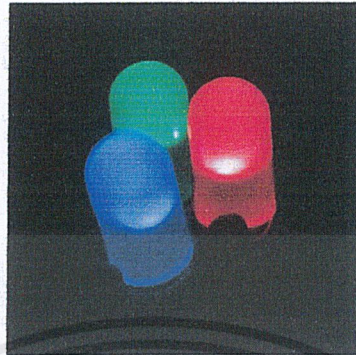
#### 2.1 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode - LED)

มนุษย์ได้ประดิษฐ์ตะเกียงเพื่อให้แสงสว่างมาตั้งแต่สมัยโบราณ ต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยีไปสู่การให้แสงสว่างในรูปแบบเทียนไข จากนั้นมีความก้าวหน้าครั้งสำคัญเมื่อมีการประดิษฐ์หลอดไฟฟ้าแบบใช้ขดลวด หลอดนีออน และหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับในยุคปัจจุบัน โลกกำลังก้าวสู่เทคโนโลยีใหม่ คือ ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode - LED)

##### 2.1.1 นิยามของหลอดแอลอีดี

ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode) เรียกย่อ ๆ ว่า LED L : Light(แสง) E : Emitting (เปล่ง) D : Diode(ไดโอด) คือ ไดโอดซึ่งสามารถเปล่งแสง ออกมาได้แสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างกับ แสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็น อันประกอบด้วยคลื่นซึ่งมีเฟสและความถี่ต่างๆ มารวมกัน มิให้เห็นได้ทั่วไปในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บางครั้งคุณเห็นได้ในนาฬิกาดิจิตอล รีโมทคอนโทรล หน้าปัดอุปกรณ์ไฟฟ้า โทรทัศน์จัมโบ้ หรือแม้แต่ไฟจราจรตามสี่แยกเป็นต้น ที่จริงแล้วหลอดแอลอีดีคือหลอดไฟขนาดเล็ก แต่มีหลักการทำงานแตกต่างจากหลอดไฟมีไส้ เพราะที่ไม่มีไส้หลอด ดังนั้น หลอดแอลอีดีจึงไม่เกิดความ

ร้อน แสงสว่างเกิดขึ้นจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัว ซึ่งเป็นวัสดุแบบเดียวกับที่ใช้ในการทำทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.1 หลอดแอลอีดีที่ใช้ในการทำโครงการ

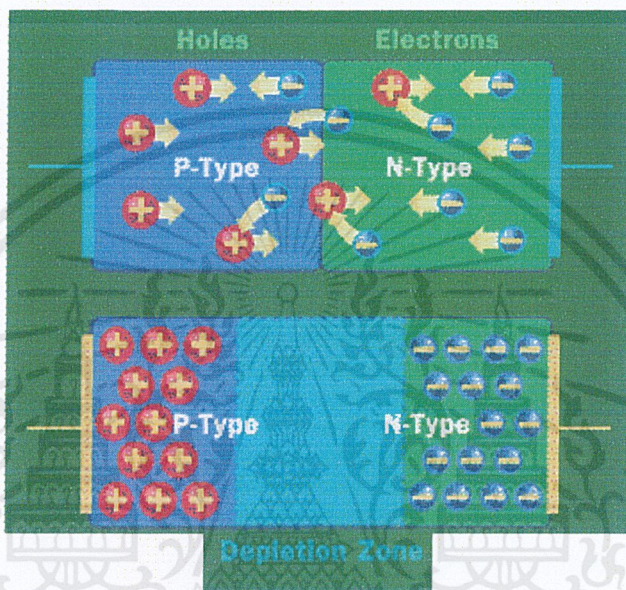
### 2.1.2 คุณสมบัติและหลักการนำไฟฟ้า

ไดโอดเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำ ที่เราสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของมันได้ปกติวัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว ถ้าเราใส่สารเจือปนเข้าไป เราสามารถควบคุมการนำไฟฟ้าให้มากหรือน้อยได้ เราเรียกวิธีนี้ว่า การโด๊ป (doping)

ส่วนใหญ่หลอดแอลอีดีใช้สาร อะลูมิเนียมแกลเลียม อาร์เซไนด์ (aluminium-gallium-arsenide) ย่อเป็น AlGaAs เป็นสารกึ่งตัวนำ ถ้ายังไม่ได้ใส่สารเจือปน พันธะในอะตอมจะเกาะกันอย่างแข็งแรง ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ (ประจุไฟฟ้าลบ) หรือมีอยู่น้อย ดังนั้นมันจึงไม่ค่อยจะนำกระแส แต่เมื่อทำการโด๊ป โดยการเติมสารเจือปน ทำให้ความสมดุลของวัสดุเปลี่ยนไป

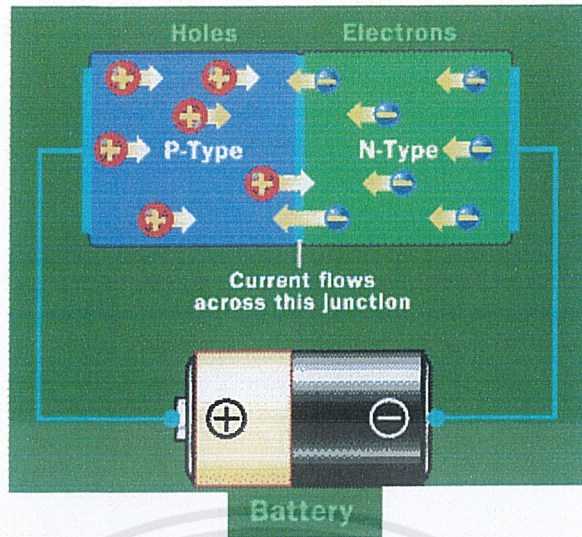
เมื่อเราใส่สารเจือปนแล้วทำให้อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้น เรียกว่า สารประกอบชนิด N ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ใส่สารเจือปนแล้ว มีประจุไฟฟ้าบวกหรือมีหลุมและโฮลเพิ่มขึ้น เรียกว่าสารประกอบชนิด P โฮล (hole) ในภาษาอังกฤษมีความหมายว่าหลุม โดยเปรียบอิเล็กตรอนอิสระได้กับลูกหิน และประจุบวกเป็นหลุมหรือโฮล ที่ลูกหินจะไหลมาตกนั่นเอง

ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด N ติดเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เชื่อมสายไฟเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อยังไม่มีการให้แรงดันไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระจาก N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปที่ P เกิดโซนดีพลีชัน (depletion) ขึ้น โซนนี้เปรียบเทียบกับกำแพงป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ถ้าโซนนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจะยากขึ้น และอาจทำให้อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าควบคุมให้โซนนี้เล็กลง การเคลื่อนที่ก็จะง่ายขึ้น



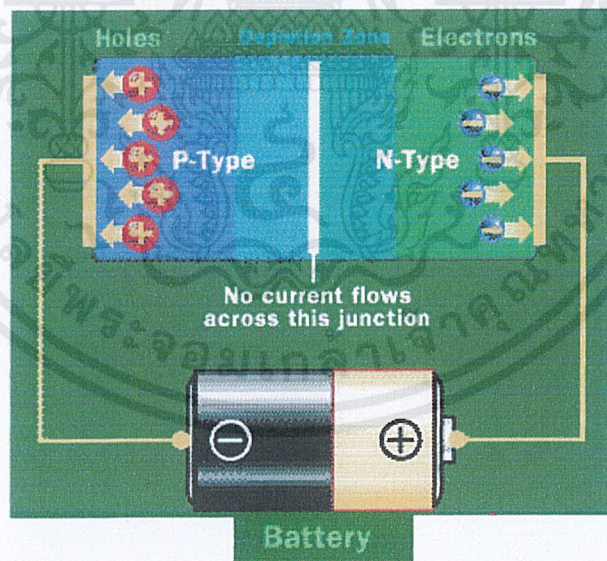
รูปที่ 2.2 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิดโซนดีพลีชัน เป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน

เพื่อจะให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านโซนนี้ได้ง่ายขึ้น เราต้องทำให้โซนนี้แคบลง โดยการต่อขั้ว N ของไดโอดเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ และขั้วบวกเข้ากับขั้ว P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน N ถูกดันด้วยแรงดันทางไฟฟ้า ส่วนโฮลขั้ว P จะถูกดันด้วยแรงทางไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ถ้าเราให้แรงดันทางไฟฟ้ามักพอ โซนนี้จะแคบจนหายไป และอิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้อย่างง่ายดาย เหมือนกับไม่มีแรงเสียดทาน หรือความต้านทาน



**รูปที่ 2.3** เมื่อต่อขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เหมือนกับไม่มีความต้านทาน

ในทางกลับกัน ถ้าคุณต่อขั้วลบเข้ากับ P และขั้วบวกเข้ากับ N การไหลของอิเล็กตรอนจะเป็นไปได้ยาก เพราะการเคลื่อนที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โชนดีพลีชันจะหนาขึ้น เป็นกำแพงกั้นการไหลของกระแสไฟฟ้า



**รูปที่ 2.4** เมื่อต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โชนดีพลีชันมีขนาดกว้างขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงเกิดขึ้นจากพลังงานที่ปลดปล่อยจากอะตอม แสงเป็นโฟตรอนที่มีพลังงานและโมเมนตัม ดังนั้นจึงเป็นอนุภาคชนิดหนึ่ง แต่นำแปลกที่นักวิทยาศาสตร์บอกว่าไม่มีมวลภายในอะตอม อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส และมีวงโคจรหลายวง แต่ละวงมีพลังงานแตกต่างกัน วงนอกมีพลังงานมากกว่าวงใน ถ้าอะตอมได้รับพลังงานจากภายนอก อิเล็กตรอนจะกระโดดจากวงโคจรในออกสู่วงโคจรนอก ในทางกลับกัน ถ้าอิเล็กตรอนกระโดดจากวงโคจรนอกเข้าสู่วงโคจรใน มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมา และพลังงานนี้ก็คือแสงนั่นเอง

ขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปที่โฮลของสาร P อิเล็กตรอนจะตกจากวงโคจรสูง หรือแถบนำไฟฟ้า ไปสู่วงโคจรต่ำหรือแถบวาเลนซ์ มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตรอน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับไดโอดทุกชนิด แต่คุณสามารถเห็นแสงได้ก็ต่อเมื่อความถี่ของพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ ดังเช่นไดโอดที่ทำจากซิลิคอน ซึ่งมีช่วงของแถบพลังงานแคบ ทำให้ได้โฟตรอนความถี่ต่ำ เป็นความถี่ที่ตามองเห็นได้ อย่างไรก็ตาม ความถี่ที่ตามองไม่เห็นก็มีประโยชน์ไม่น้อย ยกตัวอย่างเช่น ช่วงอินฟราเรด สามารถนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรล เป็นต้น

### 2.1.3 ข้อดีของหลอดแอลอีดี

1. แอลอีดีมีประสิทธิภาพการให้พลังงานแสงสว่างที่ระดับสูงถึง 70 ลูเมน/วัตต์ สูงกว่าหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดที่มีประสิทธิภาพที่ระดับ 15 ลูเมน/วัตต์ แม้ประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างของหลอดแอลอีดีในปัจจุบันจะต่ำกว่าหลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึง 80 — 100 ลูเมน/วัตต์ อย่างไรก็ตาม แสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จะแพร่ออกไปทุกทิศทาง ทำให้สูญเสียเปล่งจำนวนมาก ขณะที่แสงสว่างของแอลอีดีจะส่องไป เฉพาะด้านหน้าเท่านั้น
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากภายในบรรจุไอของปรอท ขณะที่หลอดไฟแอลอีดีมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า
3. สามารถควบคุมคุณภาพของแสงให้ปล่อยออกมาได้ ดังนั้น จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการให้แสงสว่างในสถานที่สำคัญ เป็นต้นว่า พิพิธภัณฑ์ลูฟฟองกรุงปารีส ได้ใช้แสงจากแอลอีดีในการให้แสงสว่างต่อภาพเขียนโมนาลิซ่า เนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่าง

จากแอลอีดีไม่ให้มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียน เช่น แสงอินฟราเรด แสงอุลตราไวโอเลต ฯลฯ

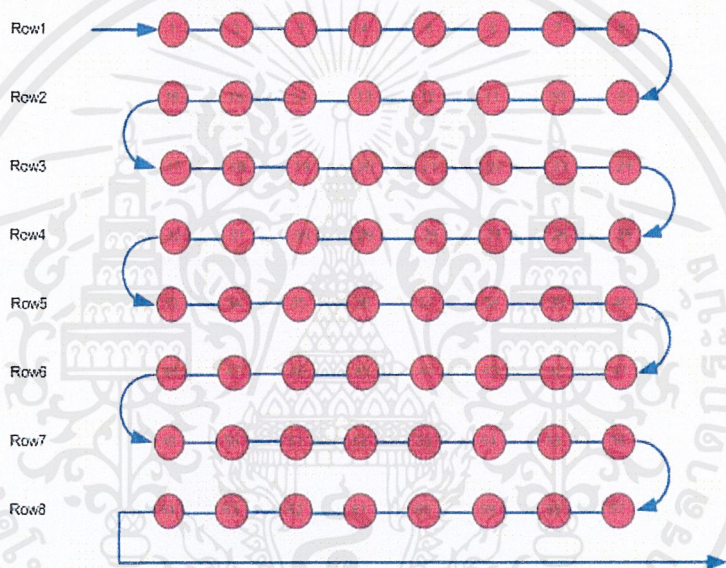
4. จากการที่แอลอีดีปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้อาคารลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้นไปอีก
5. อายุการใช้งานของหลอดแอลอีดียาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง หรือ 11 ปี เปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอายุใช้งาน 30,000 ชั่วโมง หรือหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดที่มีอายุใช้งานเพียง 1,000 — 2,000 ชั่วโมงเท่านั้น
6. หลอดแอลอีดียังมีความทนทานต่อการสั่นสะเทือนมากกว่า จึงเหมาะสมสำหรับติดตั้งในเครื่องบินหรือรถยนต์ นอกจากนี้ หลอดแอลอีดีไม่เปราะบางเหมือนกับหลอดไฟฟ้าแบบขดลวดหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ บางครั้งแม้ถูกทุบตีอย่างแรง ก็ยังสามารถใช้งานได้
7. หลอดแอลอีดีเหมาะสำหรับหลอดไฟที่ต้องการให้เปิดปิดบ่อยครั้ง เนื่องจากสามารถเปิดปิดบ่อยๆ โดยไม่มีปัญหาแต่อย่างใด และเมื่อเปิดหลอดไฟ จะให้ความสว่างโดยทันที นับว่าแตกต่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่หากเปิดปิดบ่อยครั้งจะเสียง่าย หรือหลอด HID ซึ่งเมื่อเปิดสวิตช์แล้ว จะใช้เวลาช่วงหนึ่งกว่าจะให้แสงสว่างออกมา

## 2.1.4 การขับหลอดแอลอีดี

ในการขับแอลอีดีพร้อมกันหลายๆตัว อย่างเช่น โมดูลแอลอีดี มี 2 แบบ คือ

### 1. การขับแบบสแตติก (Static drive)

เป็นวิธีที่ง่ายโดยการขับแอลอีดีแต่ละดวงจะแยกอิสระจากกัน โดยการต่อตัวต้านทานตัวหนึ่งเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันหรือแหล่งจ่ายกระแสคงที่ มาทำการป้อนฟอร์เวิร์ดไบแอสให้กับแอลอีดีหลอดแอลอีดีก็จะติดสว่างได้ตามต้องการ เราเรียกว่า Static เพราะว่ามีกระแสไหลผ่านแอลอีดีอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เหมาะสำหรับการขับหลอดแอลอีดีที่ต้องการความสว่างสูง สำหรับงานที่ใช้ในงานกลางแจ้ง(outdoor) แต่ใช้ต้นทุนสูงเพราะต้องใช้ตัวขับหลอดแอลอีดีจำนวนมากตามจำนวนหลอดที่เพิ่มขึ้น



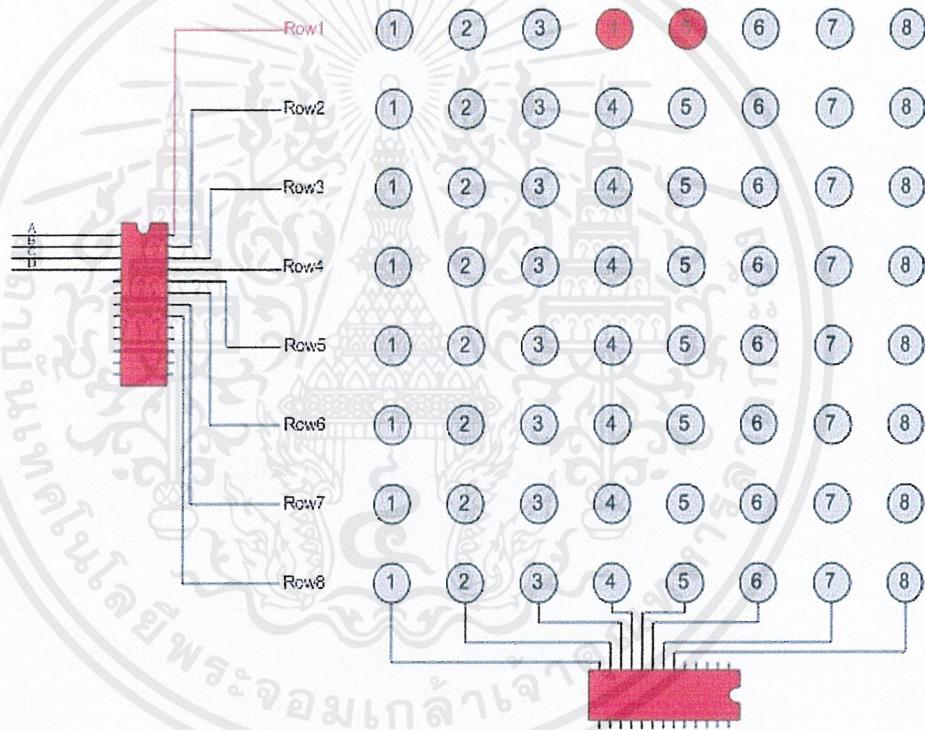
รูปที่ 2.5 การขับแบบสแตติก

### 2. การขับแบบมัลติเพล็กซ์

แบบมัลติเพล็กซ์ (Multiplex drive) หรือการขับแบบพัลส์ (pulse drive) เป็นการลดความยุ่งยากของวงจรโดยทำการป้อนกระแสไฟไบแอสให้กับแอลอีดี ในแต่ละเซกเมนต์เพียงกลุ่มหนึ่ง (เพื่อให้แสดงผลสมบูรณ์ในหน่วยนั้นๆ) ในแต่ละช่วงเวลาสั้นๆ แล้วจึงค่อยเลื่อนไปไบแอสให้กับแอลอีดีเซกเมนต์ในกลุ่มต่อไป อย่างไรก็ตามการไบแอสแบบให้ดวงไฟติดสว่างในระยะเวลาดังกล่าวต้องมีคาบในการติดสว่างซ้ำ (repetition rate) ที่รวดเร็วเพียงพอจนสายตามนุษย์มองเห็นเหมือน

แสงสว่างนั้นตลอดเวลา เนื่องจากตาคนเรานั้นไม่สามารถแยกแยะการกระพริบของไฟที่รวดเร็ว  
 มากๆได้ อีกประการหนึ่ง คือตาคนเรามักจะอ่านและจำในตำแหน่งที่หลอดไฟนั้นติดสว่างมากที่สุด  
 ดังนั้นถ้ามีการกระพริบที่เร็วพอเราจะเห็นความสว่างของหลอดไฟติดต่อเนื่อง โดยมาจาก การเฉลี่ย  
 ค่าความสว่าง นั้นหมายความว่าถ้าเราป้อนพัลส์ที่มีค่าดีวีไซเคิล (duty cycle) ต่ำ แต่มีความเข้ม  
 แสงสูงเมื่อทำการมองเห็นหลอดไฟติดสว่างมากกว่า เมื่อเทียบกับการป้อนกระแสตรงดังนั้น  
 ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการขับแอลอีดีแบบมัลติเพล็กซ์ คือ การปรับปรุงเรื่องความเข้มแสงในการ  
 แสดงผลของจอแสดงผลในขณะที่สิ้นเปลืองพลังงาน โดยเฉลี่ยต่ำกว่าหรือเทียบเท่ากัน

ในโครงการนี้เราได้เลือกใช้การขับแอลอีดีแบบสแตติก เนื่องจากสมารถที่จะขับหลอด  
 แอลอีดีให้แยกอิสระต่อกันได้ง่าย และได้ความสว่างสูงเหมาะสมใช้งานกลางแจ้ง



รูปที่ 2.6 การขับแบบมัลติเพล็กซ์

## 2.1.5 คุณสมบัติของหลอดแอลอีดีที่เราใช้ในโครงการ

หลอดที่เราใช้ในโครงการนี้เป็นของบริษัทนิเชีย (NICHIA) ซึ่งมีคุณสมบัติแต่ละสี ดังนี้

### 1. สีน้ำเงิน

ตารางที่ 2.1 Absolute Maximum Rating ของสีน้ำเงิน

ชื่อ	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
Forward Current	$I_F$	35	$mA$
Reverse Voltage	$V_R$	5	$V$
Power Dissipation	$P_D$	123	$mw$
Operating Temperature	$T_{opr}$	-30 ~+85	$^{\circ}C$

ตารางที่ 2.2 Initial Electrical/Optical Characteristics ของสีน้ำเงิน

ชื่อ	สัญลักษณ์	เงื่อนไข	Typ.	ค่าสูงสุด	หน่วย
Forward Voltage	$V_F$	$I_R = 20[mA]$	(3.2)	3.5	$V$
Reverse Current	$I_R$	$V_R = 5[V]$	-	50	$\mu A$
Luminous Intensity	$I_V$	$I_R = 20[mA]$	(640)	-	$mcd$
Chromaticity Coordinate	x	-	$I_R = 20[mA]$	0.133	-
	y	-	$I_R = 20[mA]$	0.075	-

### 2. สีเขียว

ตารางที่ 2.3 Absolute Maximum Rating ของสีเขียว

ชื่อ	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
Forward Current	$I_F$	35	$mA$
Reverse Voltage	$V_R$	5	$V$
Power Dissipation	$P_D$	126	$mw$
Operating Temperature	$T_{opr}$	-30 ~+85	$^{\circ}C$

ตารางที่ 2.4 Initial Electrical/Optical Characteristics ของสีเขียว

ชื่อ	สัญลักษณ์	เงื่อนไข	Typ.	ค่าสูงสุด	หน่วย	
Forward Voltage	$V_F$	$I_R = 20[mA]$	(3.2)	3.6	$V$	
Reverse Current	$I_R$	$V_R = 5[V]$	-	50	$\mu A$	
Luminous Intensity	$I_V$	$I_R = 20[mA]$	(2700)	-	$mcd$	
Chromaticity Coordinate	x	-	$I_R = 20[mA]$	0.189	-	-
	y	-	$I_R = 20[mA]$	0.718	-	-

### 3. สีแดง

ตารางที่ 2.5 Absolute Maximum Rating ของสีแดง

ชื่อ	สัญลักษณ์	ค่าสูงสุด	หน่วย
Forward Current	$I_F$	50	$mA$
Reverse Voltage	$V_R$	5	$V$
Power Dissipation	$P_D$	125	$mw$
Operating Temperature	$T_{opr}$	-30 ~ +85	$^{\circ}C$

ตารางที่ 2.6 Initial Electrical/Optical Characteristics ของสีแดง

ชื่อ	สัญลักษณ์	เงื่อนไข	Typ.	ค่าสูงสุด	หน่วย	
Forward Voltage	$V_F$	$I_R = 20[mA]$	(2.1)	2.5	$V$	
Reverse Current	$I_R$	$V_R = 5[V]$	-	50	$\mu A$	
Chromaticity Coordinate	x	-	$I_R = 20[mA]$	0.700	-	-
	y	-	$I_R = 20[mA]$	0.299	-	-

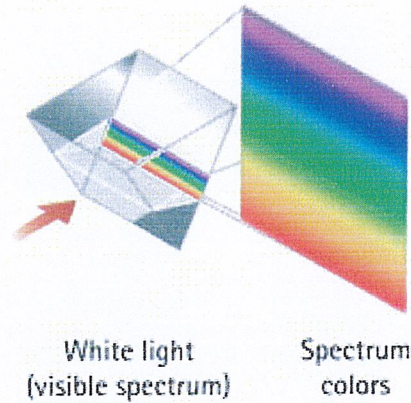
## 2.2 ทฤษฎีการผสมสี

สีเป็นปรากฏการณ์ของการรับรู้เกี่ยวกับการมองเห็นอย่างหนึ่งของมนุษย์ เช่นการรับรู้ว่า ดอกกุหลาบเป็นสีแดง ใบไม้เป็นสีเขียว เป็นต้น และจากคำนิยามว่าสีเป็นการรับรู้ ดังนั้นจึงไม่มีตัวตนอยู่เป็นสสารในทางฟิสิกส์ คือไม่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สีจะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อย 2 ประการคือ แสง และผู้สังเกต ลองนึกดูว่า ถ้าเราเดินเข้าไปในห้องที่ไม่มีแสงใดๆ เลย เราก็ไม่สามารถมองเห็นวัตถุและสีใดๆ ได้ และหากเราเดินเข้าไปในห้องที่สว่างไสว แต่ปิดตาเสีย เราก็จะไม่เห็นสีใดๆ ได้เช่นกัน การรับรู้สีเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีแสงเดินทางเข้าไปสู่ตา โดยตาของมนุษย์จะทำหน้าที่เป็นส่วนรับแสงและส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อแปลสัญญาณดังกล่าวเป็นการรับรู้สีต่างๆ

ภายในตาจะมีส่วนที่เรียกว่า เรตินา มีหน้าที่รับแสง และเปลี่ยนแสงเป็นกระแสประสาท โดยมีเซลล์รับแสงอยู่สองประเภทคือเซลล์รับแสงรูปแท่งและเซลล์รับแสงรูปกรวย เซลล์รับแสงรูปแท่งจะทำงานเมื่อแสงน้อย ส่วนเซลล์รับแสงรูปกรวยจะทำงานเมื่อมีแสงมากและเป็นเซลล์ที่ทำให้เกิดการรับรู้สี โดยแสงเซลล์รับแสงรูปกรวยมี 3 ชนิด คือเซลล์ที่ไวต่อแสงสีแดง (เรียกว่า L ) สีเขียว (เรียกว่า M) และสีน้ำเงิน (เรียกว่า S) เมื่อได้รับแสง เซลล์รับแสงทั้งสามจะถูกกระตุ้นในอัตราส่วนที่ต่างกันขึ้นกับสีและความเข้มของแสงที่ตกกระทบ และสมองก็จะแปลสัญญาณที่แตกต่างกันนั้นเป็นสีต่างๆ อีกที

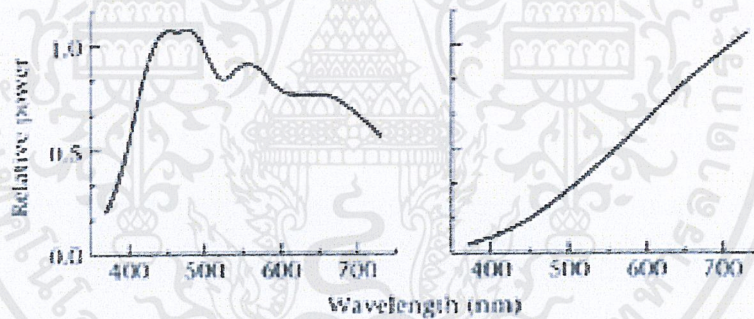
### 2.2.1 แสงและแหล่งกำเนิดแสง

แสงถือได้ว่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 380-780 นาโนเมตร แต่อาจประมาณได้ว่า 400-700 นาโนเมตร



**รูปที่ 2.7** การกระจายของแสงสีขาวเมื่อเดินทางผ่านปริซึม

แสงสีขาว เมื่อเดินทางผ่านปริซึมจะกระจายออกเป็นแสงสีต่าง ๆ คือม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง เหตุการณ์นี้ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ ไอแซค นิวตัน ซึ่งเขาเรียกแสงสีต่าง ๆ นี้ว่าสเปกตรัม (Spectrum) ความแตกต่างระหว่างสีของแสงแต่ละชนิด สามารถพิจารณาจากการกระจายของพลังงาน (energy distribution) ในแต่ละความยาวคลื่น ดังรูปที่ 2.8



**รูปที่ 2.8** กราฟแสดงการกระจายของพลังงานของแสงเดย์ไลท์(daylight) แสงจากหลอดไฟทังสแตน โดยเขียนแกนตั้งเป็นความเข้มแสงสัมพัทธ์และแกนนอนเป็นความยาวคลื่น

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าพลังงานของแสงไฟทังสแตนในช่วงความยาวคลื่นสีแดงมีค่าสูงสุด และลดลงมาในช่วงแสงสีเขียว ส่วนในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำสุด ดังนั้นเมื่อแสงไฟทังสแตนนี้เดินทางเข้าสู่ตาจึงทำให้เราเห็นว่าแสงไปเป็นสีส้มๆ สำหรับไฟเดย์ไลท์ซึ่งจะมีการกระจายพลังงานในแต่ละความยาวคลื่นไม่แตกต่างกันมากนัก เราจึงเห็นเป็นแสงสีขาว

## 2.2.2 การผสมกันของสี

สีต่างๆ ที่เราเห็นสามารถเกิดจากการผสมกันของแม่สีเพียง 3 สีเท่านั้น โดยการผสมกันของสีนี้มีได้ 2 แบบคือ การผสมสีแบบบวก(additive color mixing) และการผสมสีแบบลบ(subtractive color mixing)

James Clark Maxwell เป็นคนเสนอทฤษฎีการผสมสีแบบบวกโดยได้ฉายภาพจากฟิล์มโพสิทีฟขาวดำ 3 แผ่น ที่ได้จากการถ่ายภาพโดยใช้แผ่นกรองแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน บังหน้ากล้องถ่ายภาพ การถ่ายภาพดังกล่าวทำให้ฟิล์มแต่ละแผ่นบันทึกเฉพาะแม่สีของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเป็นน้ำหนักสี ต่างๆ บนฟิล์มตามความเข้มแสงที่สะท้อนจากวัตถุ จากนั้นนำฟิล์มแต่ละแผ่นไปฉายด้วยเครื่องฉายที่มีแผ่นกรองแสง สีแดง เขียว และน้ำเงิน บังอยู่ เมื่อแสงสามสีนี้ไปรวมกันบนจอภาพจะเกิดเป็นสีต่างๆ ขึ้นมาใหม่อีกมากมาย จากการผสมสีของแสงทั้งสามในความเข้มต่างๆ กัน

การผสมสีแบบบวกนี้เป็นการผสมกันของสีของแสง ซึ่งมีแม่สีหลัก (primary color) คือแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน ซึ่งเราจะพบเห็นการผสมสีแบบบวกได้จากจอโทรทัศน์ หรือจอคอมพิวเตอร์ และเราจะเรียกสีที่เกิดจากการผสมกันของแม่สีบวกว่า แม่สีรอง (secondary color) ซึ่งได้แก่สีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีม่วงแดง (magenta) และสีเหลือง (yellow) จากรูปที่ 2.9 เราจะเห็นว่า



รูปที่ 2.9 การผสมสีแบบบวก

สีน้ำเงิน รวมกับ สีเขียว ได้ สีน้ำเงินเขียว

สีน้ำเงิน รวมกับสี แดง ได้ สีม่วงแดง

สีแดง รวมกับ สีเขียว ได้ สีเหลือง

สีน้ำเงิน รวมกับ สีเขียว รวมกับ สีแดง ได้ สีขาว

สำหรับการผสมสีแบบลบเป็นการผสมกันของแม่สี สีน้ำเงินเขียว ม่วงแดงและเหลือง เรา จะพบเห็นการผสมสีแบบลบได้จากสิ่งพิมพ์ต่างๆ สีทาบาน เป็นต้น จากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่า



เมื่อพิจารณาวงกลมการผสมสีทั้งแบบบวกและแบบลบ เราจะสังเกตเห็นว่าการผสมกันของ แม่สีบวกคู่หนึ่ง จะให้แม่สีลบ และการผสมของแม่สีลบคู่หนึ่งจะให้แม่สีบวก ซึ่งแม่สีบวกสีแดง อยู่ ตรงข้ามกับสีน้ำเงินเขียว สีเขียวอยู่ตรงข้ามกับสีม่วงแดง และสีน้ำเงินอยู่ตรงข้ามกับสีเหลือง เรา เรียกคู่สีที่อยู่ตรงข้ามกันนี้ว่า สีเติมเต็ม (complementary color) กล่าวคือการผสมกันของสีที่เติม เต็มกัน ของแม่สีบวก จะทำให้ได้สีขาว แต่สำหรับการผสมสีแบบลบจะให้สีดำ หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่า การผสมกันของสีเติมเต็มคู่ใดคู่หนึ่ง เปรียบเสมือนการผสมสีของแม่สีทั้งสาม นั่นเอง

## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3

ARM Cortex-M3 เป็นชื่อของโปรเซสเซอร์ 32 บิตที่พัฒนาภายใต้สถาปัตยกรรม ARMv7-M ซึ่งต่างจาก LPC2xxx ของ NXP ที่ใช้โปรเซสเซอร์ ARM7TDMI พัฒนาภายใต้สถาปัตยกรรม ARMv4T มีคุณสมบัติที่น่าสนใจ ดังนี้

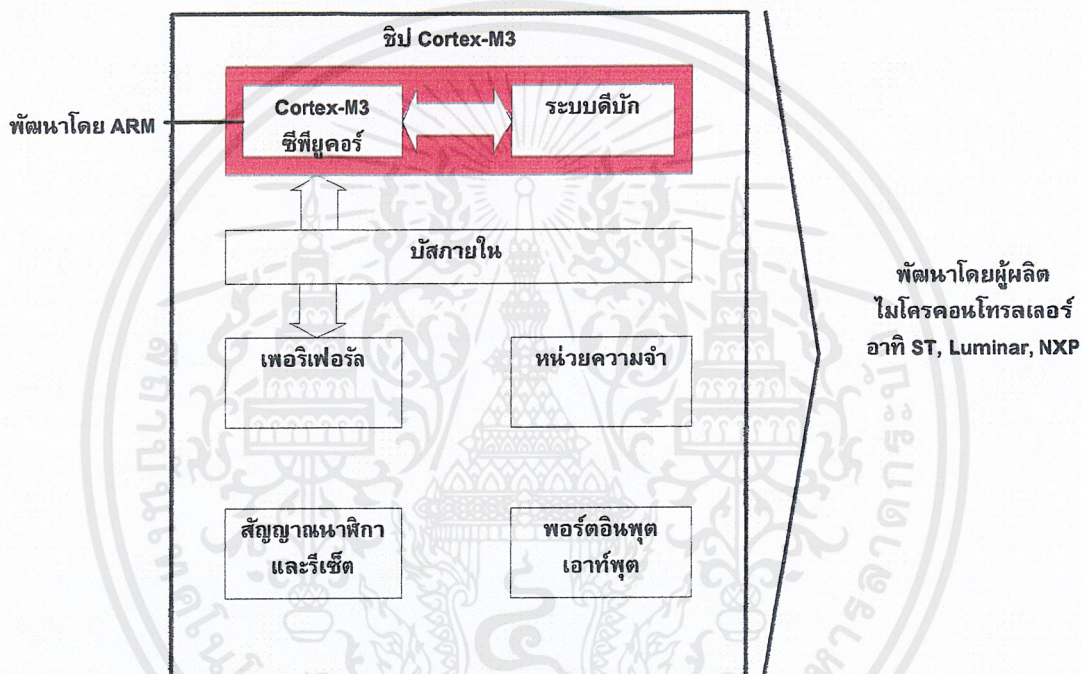
- เป็นโปรเซสเซอร์แบบไฮเออราซิคอล (Hierarchical) ที่รวมเอาซีพียูคอร์เข้ากับระบบเพอริเฟอรัลชั้นสูง
- ซีพียูคอร์เป็นสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) ไปถึงไบนารี 3 ระดับ พร้อมรองรับการกระโดดไปทำงานแบบทันทีทันใด รองรับคำสั่ง Thumb และ Thumb-2
- หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU) มีโมดูลหารแบบฮาร์ดแวร์ (Hardware divider)
- สามารถคูณเลข 16 และ 32 บิตได้อย่างรวดเร็วเพียงหนึ่งไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา
- มีตัวควบคุมการอินเทอร์รัปต์แบบกำหนดค่าได้ รองรับการเกิดอินเทอร์รัปต์ได้ถึง 240 อินเทอร์รัปต์
- มีตัวควบคุมเวกเตอร์อินเทอร์รัปต์ซ้อน (NVIC : Nested Vectored Interrupt Controller) สามารถกำหนดนัยสำคัญได้ถึง 256 ระดับ
- ใช้ระบบบัสแบบเมตริกซ์
- มีไทมเมอร์ของระบบที่ชื่อ SysTick สำหรับรองรับการทำงานกับระบบปฏิบัติการเวลาจริง หรือ RTOS (Real-Time OS)
- ใช้จำนวนขาในการตีบักทางฮาร์ดแวร์น้อย จากปกติ 9 ขาเหลือเพียง 2 ถึง 3 ขา
- ประสิทธิภาพความเร็วในการประมวลผล 1.2 DMIPS/MHz ซึ่งดีกว่า ARM7TDMI-S 70% เมื่อกระทำคำสั่ง Thumb โปรเซสเซอร์ และ ดีกว่า 35% เมื่อกระทำคำสั่ง ARM โปรเซสเซอร์

119543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 โปรเซสเซอร์ Cortex-M3 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3

โปรเซสเซอร์ Cortex-M3 เป็นซีพียูที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาจาก ARM Limited ในประเทศอังกฤษ ผู้ผลิตชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ซื้อลิขสิทธิ์ในส่วนของคอร์ซีพียู Cortex-M3 มาพัฒนาต่อ โดยเพิ่มเติมหน่วยความจำ, อุปกรณ์เพริเฟอรัล, ระบบสัญญาณนาฬิกา และโมดูลพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ทำให้กลายเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3 ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.11

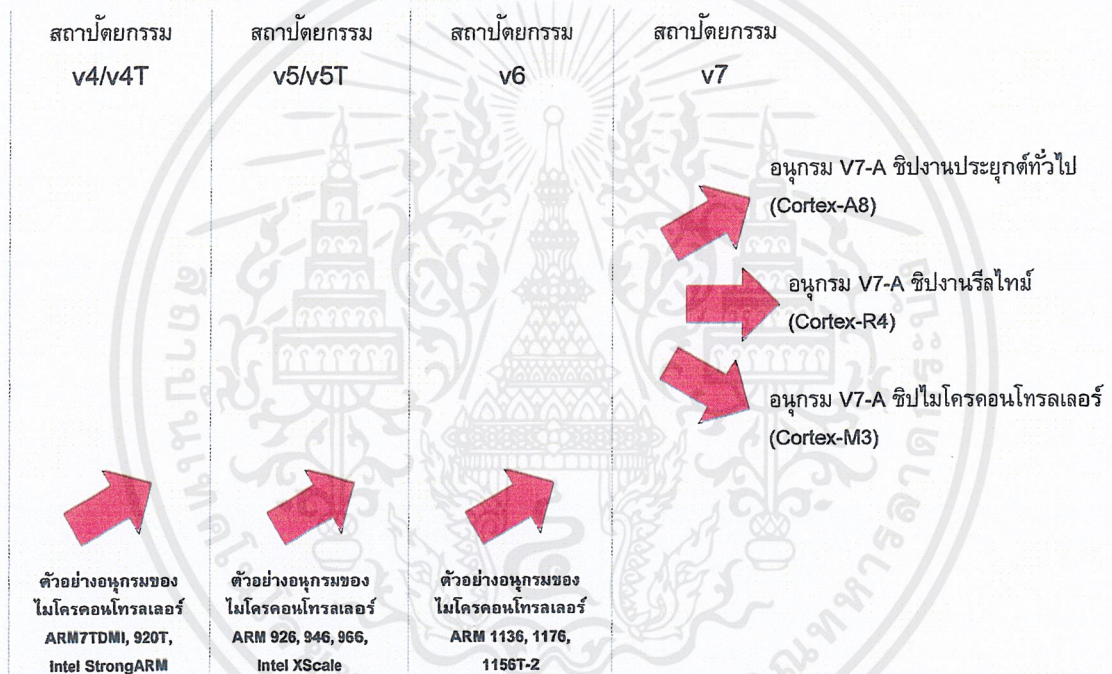


รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมแสดงความเกี่ยวข้องระหว่างโปรเซสเซอร์ Cortex-M3 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3

### 2.3.2 พัฒนาการสถาปัตยกรรมของ ARM โปรเซสเซอร์

ในรูปที่ 2.12 แสดงเส้นทางพัฒนาการของสถาปัตยกรรมของ ARM โปรเซสเซอร์ โดยโปรเซสเซอร์ของ ARM ที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในการเปิดตัวในอุปกรณ์สวมใส่คือ ARM7TDMI ซึ่งเป็นหนึ่งในอนุกรมของ ARMv4T โปรเซสเซอร์ โดยตัวอักษร T ที่ต่อท้ายมีความหมายว่า ซีพียูเวอร์ชันหรือรุ่นนี้รองรับชุดคำสั่ง Thumb โปรเซสเซอร์ด้วย

สถาปัตยกรรมรุ่นถัดมาที่ได้รับการพัฒนาขึ้นคือ ARMv5/v5E ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมที่เริ่มต้นบรรจุความสามารถในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลหรือ DSP (Digital Signal Processing) ทำให้ชิป ARM ได้ถูกนำไปพัฒนาเป็นตัวควบคุมหลักในอุปกรณ์มัลติมีเดีย



รูปที่ 2.12 เส้นทางพัฒนาสถาปัตยกรรม ARM โปรเซสเซอร์

จากนั้น มีการเพิ่มเติมความสามารถในการจัดการระบบหน่วยความจำและคำสั่งจัดการข้อมูลจำนวนมากด้วยคำสั่งเพียงคำสั่งเดียวหรือ SIMD (Single Instruction-Multiple Data) เกิดเป็น ARMv6 ขึ้น ซึ่งได้รับการพัฒนามาเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM11

กระทั่งปี 2006 ARM ได้พัฒนาคอร์ของซีพียู 32 บิตใหม่อีกครั้ง ด้วยการรองรับชุดคำสั่ง Thumb-2 ให้แก่ซีพียูคอร์ตัวใหม่ ทำให้สามารถบริหารจัดการคำสั่งได้ดีขึ้น ลดจำนวนอุปกรณ์ลง ลดพลังงานที่ใช้ลงแต่ความเร็วในการทำงานสูงขึ้น ทั้งยังมีการจัดกลุ่มซีพียูคอร์ใหม่เพื่อให้สามารถรองรับกับการประยุกต์ใช้งานที่ตรงจุดมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายคือ ซีพียูที่มีความสามารถสูงในราคาต่ำที่สุด นั่นคือที่มาของซีพียูคอร์รุ่นใหม่ ARMv7 โดยมีการแบ่งออกเป็น 3 แบบหลักๆ ดังนี้

1. แบบ A หรือโปรไฟล์ A เป็นซีพียูที่เน้นให้ไปใช้เป็นแอปพลิเคชัน โปรเซสเซอร์สำหรับงานที่มีความซับซ้อนสูงมาก เช่น ระบบปฏิบัติการ (OS : Operating System) เช่น Symbian, Linux หรือ Windows Embedded โดยซีพียูสำหรับงานลักษณะนี้ต้องมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสูงสุด ระบบหน่วยความจำเสมือนหรือ Virtual memory system ต้องสามารถรองรับหน่วยบริหารหน่วยความจำหรือ MMU (Memory management Unit) ได้เป็นอย่างดี รองรับการทำงานกับภาษาจาวา ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซีพียูระดับนี้คือ โทรศัพท์เคลื่อนที่สมาร์ตโฟน และพ็อกเก็ตพีซี เป็นต้น
2. แบบ R หรือโปรไฟล์ R เป็นซีพียูที่รองรับการทำงานแบบเรียลไทม์ความเร็วสูง ซีพียูต้องมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือในการทำงานในระดับสูง ตัวอย่างการพัฒนาชิปไปสู่การใช้งานจริงของซีพียูในรุ่นนี้คือชิปควบคุมฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันมีความจุสูง ดังนั้นการควบคุมระบบหยุดและเคลื่อนที่ของหัวอ่านต้องมีความเร็วและแม่นยำสูง เพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว
3. แบบ M หรือโปรไฟล์ M เป็นซีพียูที่ออกแบบมาเพื่อต้องการให้นำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสามารถในการประมวลผลสูง งบประมาณต่ำ กินกำลังงานต่ำ มีวัตถุประสงค์ในแต่ละแอปพลิเคชันที่เจาะจงอย่างชัดเจน ซึ่งนั่นก็คือ วัตถุประสงค์ในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นั่นเอง ดังนั้นจากชื่อรุ่นของซีพียู ARMv7-M ตัวอักษร M จึงอาจตีความได้ว่า ซีพียูนี้เหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ความสามารถสูงต่อไป

Cortex คือโปรเซสเซอร์รุ่นแรกที่พัฒนาขึ้นภายใต้สถาปัตยกรรม ARMv7-M และดังนั้น Cortex-M3 โปรเซสเซอร์จึงเป็นโปรเซสเซอร์ Cortex ในรุ่นที่ 3 และเป็นที่ยอมรับว่า จะเป็นมาตรฐานใหม่ของการพัฒนาชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ดังเช่นที่ ARM7TDMI เคยประสบความสำเร็จ

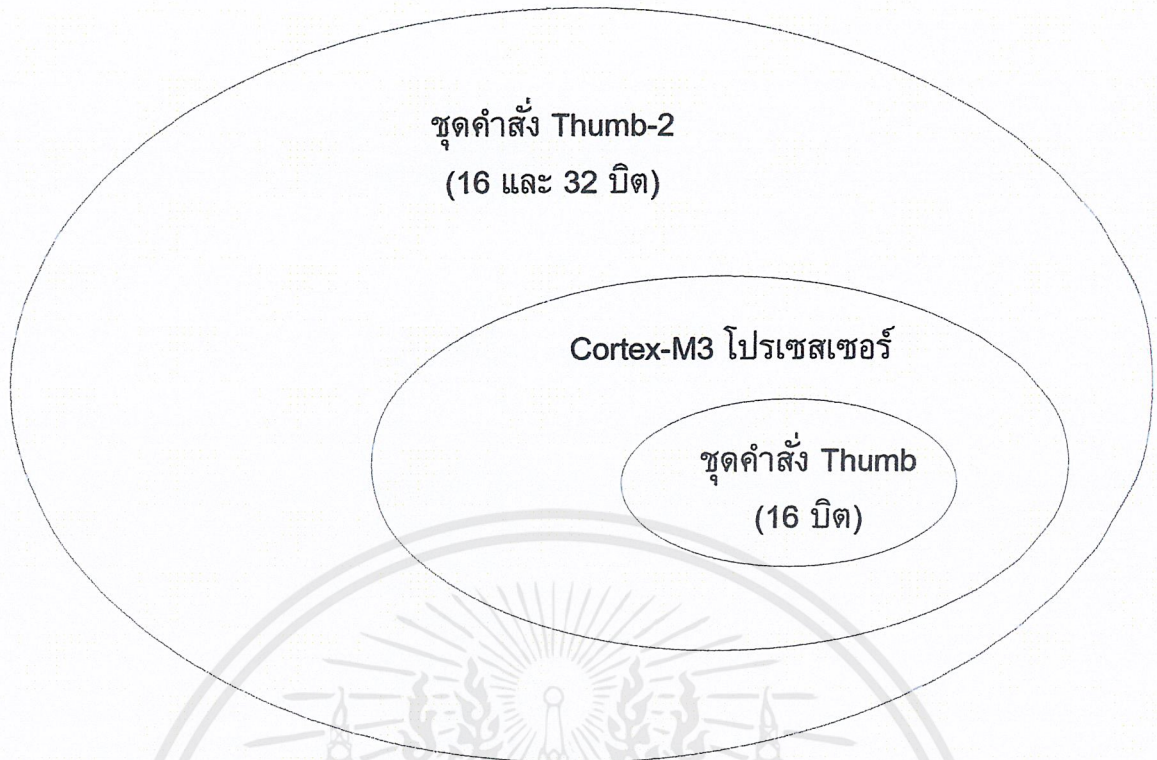
### 2.3.3 ชุดคำสั่ง Thumb-2 : จุดเปลี่ยนสำคัญของการพัฒนา Cortex-M3

ARM ได้พัฒนาชุดคำสั่ง Thumb-2 ขึ้นมาตั้งแต่ปี 2003 ซึ่งเป็นชุดคำสั่งที่สามารถรองรับการทำงานกับคำสั่ง Thumb ทั้งแบบ 16 และ 32 บิต เนื่องจากปกติแล้วคำสั่งของ Thumb จะเป็นคำสั่ง 16 บิต จุดมุ่งหมายสำคัญของการพัฒนาชุดคำสั่งนี้คือ เป็นคำสั่งที่ใช้งานง่าย มีความต้องการหน่วยความจำน้อย และเป็นคำสั่งที่มีประสิทธิภาพสูง

เหตุผลหลักประการหนึ่งของการพัฒนาชุดคำสั่ง Thumb-2 คือ ต้องการให้ชิพ ARMv7-M สามารถทำงานกับคำสั่ง 32 บิตได้ โดยใช้หน่วยความจำที่น้อยและคล่องตัวกว่า หากไม่มีการพัฒนาชุดคำสั่ง Thumb-2 การที่โปรเซสเซอร์ ARMv7-M จะทำงานกับคำสั่ง 32 บิตก็ต้องพัฒนาไปใช้คำสั่ง ARM ซึ่งทำให้ต้องการหน่วยความจำในการประมวลผลกลาง ต้นทุนในการพัฒนาชิปสูง ทำให้ไม่ตอบโจทย์ที่ต้องการให้ ARMv7-M รองรับแอปพลิเคชันราคาประหยัดที่ต้องการประสิทธิภาพสูง

Cortex-M3 โปรเซสเซอร์จึงเป็นโปรเซสเซอร์ที่มีความพร้อมในการรองรับชุดคำสั่ง Thumb-2 ได้อย่างสมบูรณ์ นั่นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์มีความแตกต่างจาก ARM โปรเซสเซอร์ดั้งเดิม เนื่องจากชุดคำสั่ง Thumb-2 รองรับการทำงานทั้งคำสั่ง 16 และ 32 บิต ทำให้ Cortex-M3 ไม่ต้องสลับการประมวลผลคำสั่งไปมาระหว่างชุดคำสั่ง Thumb มาตรฐาน (16 บิต) กับ ARM (32 บิต) ดังที่พบในรุ่น ARMv4T (ซึ่งก็คือ ARM7TDMI) ส่งผลให้การทำงานเร็วขึ้น มีค่าเวลาหน่วยสำหรับการประมวลผลลดลง สามารถสร้างโปรแกรมที่ซับซ้อนด้วยขนาดของหน่วยความจำที่น้อย

อย่างไรก็ตาม Cortex-M3 โปรเซสเซอร์สามารถรองรับชุดคำสั่ง Thumb-2 ได้ไม่ครบทั้งหมด เนื่องจากข้อจำกัดด้านขนาดของหน่วยความจำ สามารถแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Cortex-M3 โปรเซสเซอร์กับชุดคำสั่ง Thumb และ Thumb-2 ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์และการรองรับชุดคำสั่ง Thumb ของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์



รูปที่ 2.14 กระบวนการไปป์ไลน์ของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์

### 2.3.4 ไปป์ไลน์ของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์

Cortex-M3 โปรเซสเซอร์มีไปป์ไลน์ 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงอ่านหรือเฟตช์ (fetch) คำสั่ง, ช่วงถอดรหัสคำสั่ง (decode) และช่วงเอ็กซีคิวต์ (execute) หรือกระทำคำสั่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในขณะที่กำลังเอ็กซีคิวต์คำสั่งที่ 1 ซีพียูก็กำลังถอดรหัสคำสั่งที่ 2 พร้อมกันนั้นยังทำการเฟตช์คำสั่งที่ 3 ด้วย

อย่างไรก็ตาม หาก Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ทำงานกับคำสั่ง 16 บิต ซีพียูไม่มีความจำเป็นต้องเฟตช์หรืออ่านคำสั่งทุก ๆ ไชเกิล เนื่องจากซีพียูสามารถรองรับคำสั่งขนาด 32 บิตได้ ดังนั้นจึงสามารถอ่านคำสั่ง 16 บิตได้ 2 คำสั่งในคราวเดียว โดยคำสั่ง 16 บิตอีกคำสั่งหนึ่งจะถูกพักไว้ในบัฟเฟอร์เพื่อรอการประมวลผลต่อไป ทำให้ซีพียูสามารถกระทำคำสั่งได้เร็วขึ้น

### 2.3.5 ไดอะแกรมการทำงานของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์

ระบบของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์มีได้มีเพียงโปรเซสเซอร์ ARMv7-M เท่านั้น ยังประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการระบบจำนวนมาก รวมถึงการรองรับกระบวนการดีบั๊กด้วย ดังแสดงไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 2.13 สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของระบบโปรเซสเซอร์, ส่วนของระบบดีบั๊ก และบัสเชื่อมต่อของระบบ

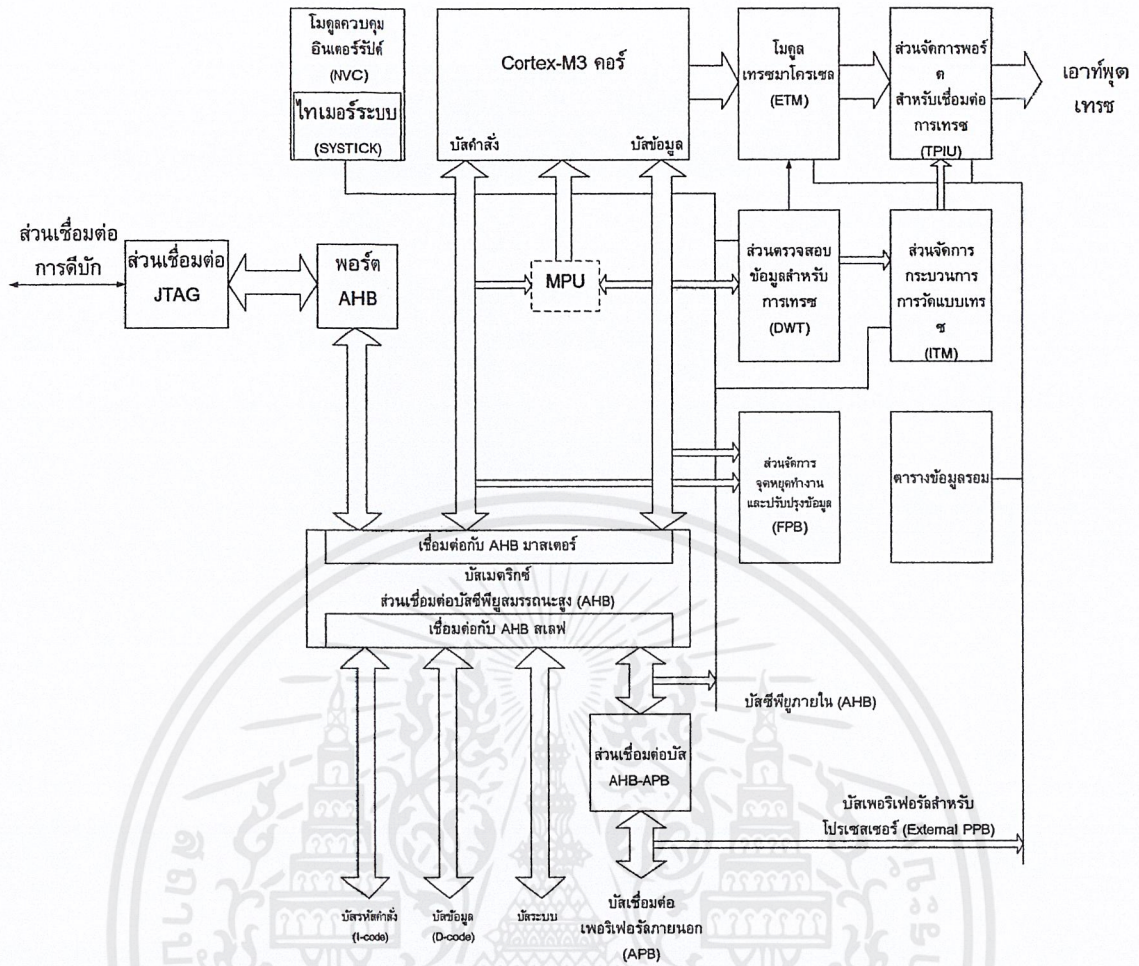
#### ส่วนประกอบในระบบโปรเซสเซอร์ของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์มีดังนี้

Cortex-M3 คอร์ : ประกอบด้วยรีจิสเตอร์, หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก, บัสข้อมูล, บัสคำสั่ง และส่วนเชื่อมต่อระบบบัส

ส่วนควบคุมอินเตอร์รัปต์ (NVIC : Nested Vectored Interrupt Controller) : เป็นส่วนจัดการอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในไมโครคอนโทรลเลอร์จากแต่ละผู้ผลิต

SYSTICK ไทเมอร์ระบบ : เป็นไทเมอร์นับถอยหลังใช้ในการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ตามช่วงเวลาที่กำหนด มีลักษณะคล้ายกับการทำงานของ วอตช์ด็อก ไทเมอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต โดยไทเมอร์ SYSTICK เป็นส่วนหนึ่งของ NVIC

ส่วนป้องกันหน่วยความจำ (MPU : Memory Protection Unit) : ใช้ในการป้องกันข้อมูลในหน่วยความจำภายในที่สำคัญของซีพียู เป็นส่วนเสริมที่อาจไม่ได้มีในไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3 ทุกรุ่นทุกเบอร์



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมการทำงานของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์

**บัสเมตริกซ์ (BusMatrix) :** เป็นหัวใจของระบบบัสภายในของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ เนื่องจากเป็นส่วนจัดการเชื่อมต่อทั้งหมดของบัสซีพียู (AHB : Advanced High-performance Bus) ในการถ่ายทอดข้อมูลจากส่วนต่างๆ ของโปรเซสเซอร์

**ส่วนเชื่อมต่อบัสซีพียูกับบัสเพริเฟอรัล (AHB-to-APB bus bridge) :** ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพริเฟอรัลเข้ากับบัสซีพียู

## ส่วนประกอบในระบบดีบั๊กและเทรซของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์มีดังนี้

ส่วนเชื่อมต่อ JTAG : เป็นส่วนจัดการสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดีบั๊กเกอร์ภายนอก ซึ่ง Cortex-M3 สามารถรองรับการดีบั๊กได้หลายแบบ อาทิ SW-DP (Serial Wire Debug Port), SWJ-DP (Serial Wire JTAG Debug Port)

พอร์ต AHB (AHB Access Port) : เป็นช่องทางที่ให้เข้าถึงหน่วยความจำของ Cortex-M3 พอร์ตนี้ได้รับการควบคุมจากส่วนเชื่อมต่อ JTAG ผ่านทางส่วนเชื่อมต่อการดีบั๊กที่เรียกว่า DAP (Debug Access Port)

โมดูลเทรซมาโครเซล (ETM : Embedded Trace Macrocell) : เป็นส่วนแสดงข้อมูลของการเทรซ โดยข้อมูลของการเทรซจะถูกส่งออกไปทางพอร์ตเทรซผ่านส่วนเชื่อมต่อ TPIU ใช้ในการรองรับการเทรซแบบเรียลไทม์ เนื่องจากใน Cortex-M3 ในบางเบอร์ไม่มีความสามารถในการเทรซแบบเรียลไทม์ โมดูล ETM จะเข้ามาช่วยจัดการในส่วนนี้แทน ดังนั้นโมดูล ETM จึงไม่มีในทุกๆ เบอร์ของ Cortex-M3 รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุม ETM จะถูกจัดสรรไว้ในระบบหน่วยความจำของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์และถูกควบคุมด้วยดีบั๊กเกอร์ผ่านทางส่วนเชื่อมต่อการดีบั๊กหรือ DAP

ส่วนตรวจสอบข้อมูลสำหรับการเทรซ (DWT : Data Watchpoint and Trace) : ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลที่ปรากฏกับข้อมูลที่กำหนดไว้ หากพบว่าตรงกัน จะส่งสัญญาณไปกระตุ้นดีบั๊กเกอร์เพื่อสร้างข้อมูลเทรซหรือกระตุ้นการทำงานของโมดูล ETM

ส่วนจัดการกระบวนการวัดแบบเทรซ (ITM : Instrumentation Trace Macrocell) : เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการเทรซของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ ผู้พัฒนาสามารถเขียนโปรแกรมมายังโมดูลนี้โดยตรงเพื่อส่งข้อมูลเอาต์พุตออกไปยังส่วนเชื่อมต่อ TPIU หรือรับสัญญาณการตรวจสอบข้อมูลจากโมดูล DWT ก็ได้

ส่วนจัดการพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อการเทรซ (TPIU : Trace Port Interface Unit) : เป็นโมดูลที่ใช้ในการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์สำหรับการเทรซภายนอก อาทิ เทรซพอร์ตอะนาไลเซอร์ โดยปกติแล้วข้อมูลของการเทรซภายในโปรเซสเซอร์จะมีรูปแบบเป็น แพ็กเก็ต ATB (Advanced Trace Bus) โมดูล TPIU จะทำการปรับรูปแบบข้อมูลให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์เทรซภายนอกได้

ส่วนจัดการจุดหยุดทำงานและปรับปรุงข้อมูล (FPB : Flash Patch and Breakpoint unit) : เป็นส่วนที่ทำงานเกี่ยวกับการกำหนดจุดหยุดทำงานในกระบวนการดีบั๊กและเทรซ มีประโยชน์อย่างมากในการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของโปรเซสเซอร์

ตารางข้อมูลหน่วยความจำรวม (ROM table) : เป็นส่วนจัดการหน่วยความจำขนาดเล็กที่ใช้ในการจัดสรรข้อมูลและเปลี่ยนแปลงแอดเดรสของการตีบัก โดยปกติแล้วการจัดสรรหน่วยความจำจะถูกกำหนดมาคงที่ตายตัว แต่สำหรับ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้ แต่ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตีบักด้วย

### บัสเชื่อมต่อของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ ประกอบด้วย

บัสรหัสคำสั่ง (I-Code Bus) : เป็นบัส 32 บิต สำหรับเชื่อมต่อกับหน่วยความจำในช่วง 0x00000000 ถึง 0x1FFFFFFF เพื่อทำการอ่านคำสั่ง

บัสข้อมูล (D-Code Bus) : เป็นบัส 32 บิต สำหรับเชื่อมต่อกับหน่วยความจำในช่วง 0X00000000 ถึง 0x1FFFFFFF เพื่อทำการอ่านข้อมูล

บัสระบบ (System Bus) : เป็นบัส 32 บิต สำหรับเชื่อมต่อกับหน่วยความจำในช่วง 0X20000000 ถึง 0xDFFFFFFF และช่วง 0XE0100000 ถึง 0xFFFFFFFF เพื่อทำการอ่านคำสั่งและข้อมูล

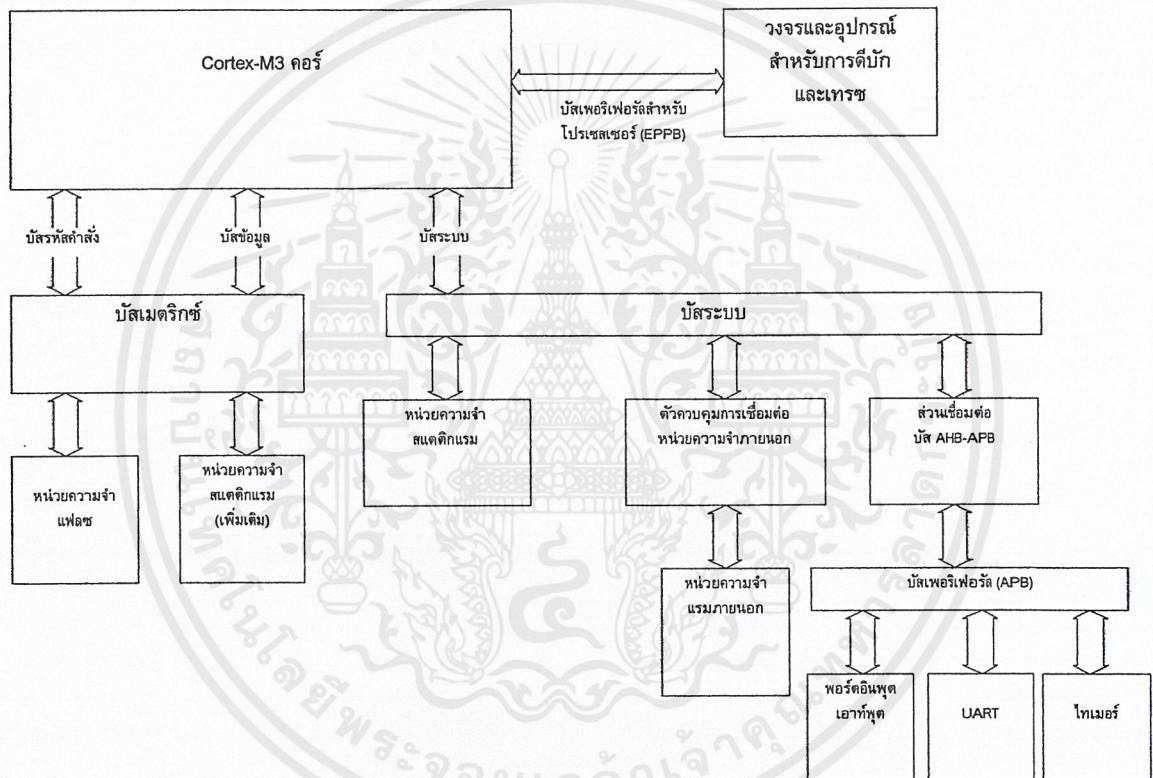
บัสเชื่อมต่ออุปกรณ์เพอริเฟอรัลภายนอก (External Private Peripheral bus : External PPB) : เป็นบัส 32 บิตที่ทำงานด้วยโปรโตคอลของบัส APB (Advanced peripheral bus) สำหรับเข้าถึงหน่วยความจำในช่วง 0xE0040000 ถึง 0xE00FFFFFFF นอกจากนี้ยังมีการใช้งานบัสนี้ร่วมกับโมดูล TPIU, ETM และตารางข้อมูล ROM นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเติมอุปกรณ์พิเศษเข้าไปบนบัสนี้ได้ โดยกำหนดพื้นที่ไว้ในช่วงแอดเดรส 0xE0043000 ถึง 0xE00FF000 เท่านั้น

บัสตีบัก (Debug Access Port Bus) : เป็นบัส 32 บิตที่ใช้เป็นเส้นทางเพื่อเข้าถึงพอร์ตตีบักของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์

### 2.3.6 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3

ในรูปที่ 2.14 แสดงไดอะแกรมของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาต่อจาก Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ที่มีการใช้งานจริง โดยมีการต่ออุปกรณ์เพอร์ิเฟอรัลจำนวนมากเข้ากับระบบบัสของ Cortex-M3 โปรเซสเซอร์

หน่วยความจำแฟลชและสแตติกแรมจะถูกต่อเข้ากับบัสซีพียู (AHB) และบัสระบบ ในขณะที่โมดูลเชื่อมต่ออื่นๆ อาทิ พอร์ตอินพุตเอาต์พุต โมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART หรือไทเมอร์จะถูกต่อเข้ากับบัสเพอร์ิเฟอรัล (APB) และเชื่อมต่อเข้ากับบัสซีพียูผ่านทางวงจรถูกเชื่อมต่อ AHB-APB กับบัสระบบ



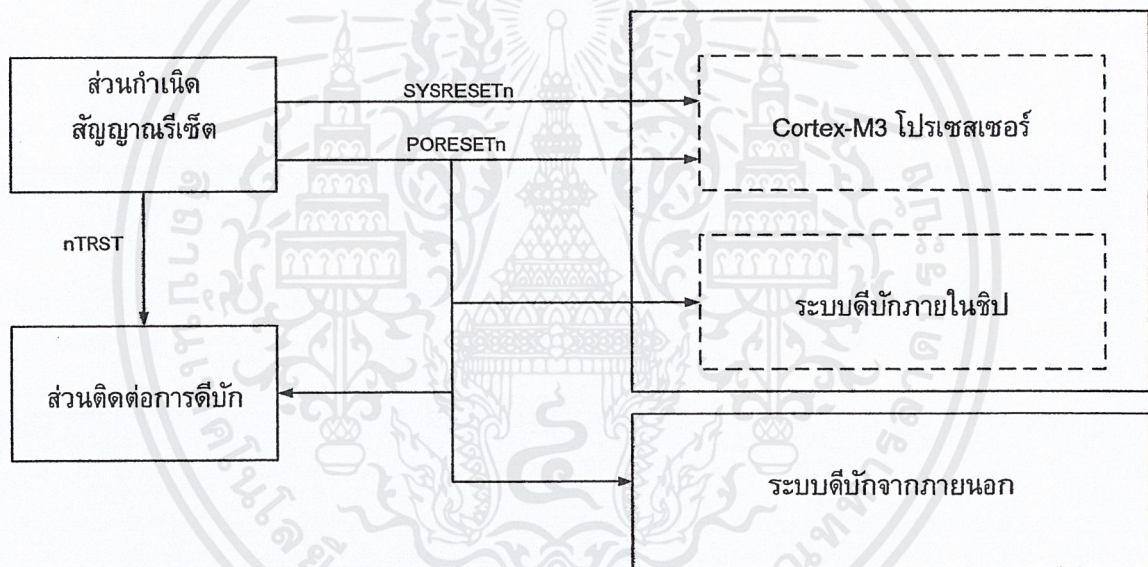
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างไดอะแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาต่อจาก Cortex-M3 โปรเซสเซอร์ที่มีการใช้งานจริง

### 2.3.7 ระบบรีเซ็ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ของ Cortex-M3 มีการรีเซ็ต 3 ชนิดหลักๆ ประกอบด้วย

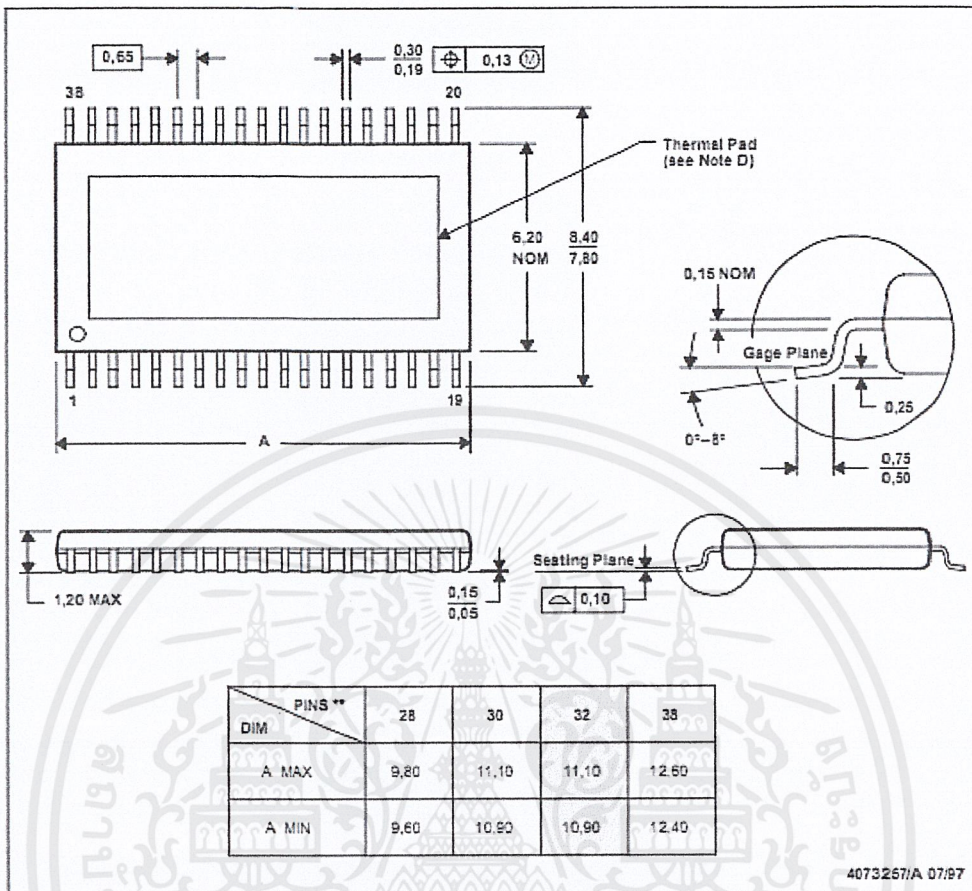
- การรีเซ็ตจากเพาเวอร์ออนรีเซ็ต (Power on reset : PORESETn) เป็นการรีเซ็ตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงเข้าสู่ระบบ การรีเซ็ตจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งโปรเซสเซอร์และระบบดีบั๊ก
- การรีเซ็ตระบบ (System reset : SYSRESETn) เป็นการรีเซ็ตที่เกิดขึ้นเฉพาะในส่วนของโปรเซสเซอร์
- การรีเซ็ตทดสอบ (Test reset : nTRST) เป็นการรีเซ็ตที่เกิดขึ้นที่ระบบดีบั๊กเท่านั้น

ในรูปที่ 2.15 แสดงไดอะแกรมของการเกิดรีเซ็ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3



รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมของกระบวนการรีเซ็ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ Cortex-M3

## 2.4 LED driver TLC5921



รูปที่ 2.18 ลักษณะรูปร่างของไอซี TLC5921

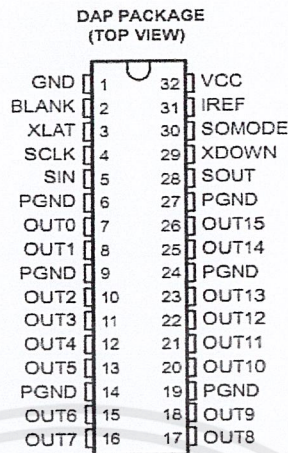
### 2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ LED driver TLC5921

ลักษณะโดยทั่วไปของ LED driver TLC5921 สามารถทำการส่งจ่ายกระแสได้คงที่และบันทึกข้อมูลภายในตัวไอซีไปพร้อมๆกัน ขนาดของกระแสที่จ่ายคงที่นั้นสามารถกำหนดได้จาก register จากภายนอก สามารถตัดจรงจรและหยุดจ่ายกระแสคงที่ได้เมื่อตัวไอซี TLC5921 เมื่อความร้อนสูงมากกว่าขีดจำกัดเนื่องจากกระแสเกิน เพื่อป้องกันหลอดแอลอีดี

มีความสามารถในการทำงาน ดังนี้

1. สามารถจ่ายกระแสได้มากที่สุด 80 mA x 16 บิต
2. จ่ายกระแสเอาต์พุตคงที่ในย่าน 1mA ถึง 80 mA (ขนาดของกระแสขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจาก register จากภายนอก)
3. ความแม่นยำในการจ่ายกระแส  
 $\pm 1\%$  (Typical)  
 $\pm 4\%$  (Max) (Maximum Error Between Bits, All Bits On)
4. แรงดันที่ขั้วเพื่อจ่ายกระแสคงที่  
 Minimum 0.6 V (Output Current 40 mA)  
 Minimum 1 V (Output Current 80 mA)
5. การรับข้อมูลขาเข้า รับการถ่ายโอนข้อมูลอนุกรมขาเข้า 16 บิต
6. การส่งข้อมูลขาออก ถ่ายโอนข้อมูลขนานขาออกจำนวน 16 บิต (ขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกา)
7. ต้องการแรงดันไฟเลี้ยง 4.5V ถึง 5.5V
8. แรงดันเอาต์พุตสูงสุด 17 V
9. ความเร็วสูงสุดของการส่งข้อมูล 20 MHz
10. ช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้  $-20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $85^{\circ}\text{C}$
11. LOD Function (LED Open Detection) มีการตรวจสอบ error signal ในกรณีที่เอาต์พุตไม่มีการเชื่อมต่อ
12. TSD Function จะทำการตัดวงจรให้อาต์พุต off เมื่อมีความร้อนเกินขีดจำกัด

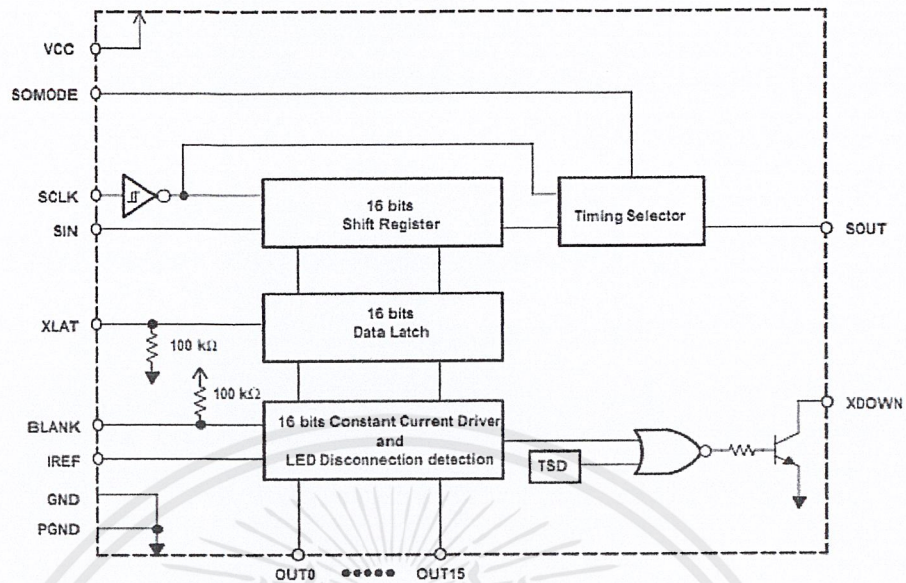
## 2.4.2 หน้าที่ของขาต่าง ๆ



รูปที่ 2.19 TLC 5921

1. GND ทำหน้าที่ต่อลงกราวด์
2. BLANK ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการจ่ายกระแสเอาท์พุทให้เป็นไปตามข้อมูลที่ส่งมา
3. XLAT ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการวิเคราะห์ข้อมูลและส่งต่อข้อมูลไปยังเอาท์พุท
4. SCLK เป็นขาที่รับสัญญาณนาฬิกามาเพื่อควบคุมจังหวะการทำงานของตัวไอซี TLC5912
5. SIN เป็นขาที่รับข้อมูลขาเข้าแบบอนุกรม (Serial)
6. PGND เป็นขาที่ต่อกราวด์สำหรับหลอดแอลอีดี
7. VCC เป็นขาสำหรับรับไฟเลี้ยงให้ตัวไอซี TLC5921
8. IREF เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสเพื่อป้องกันหลอดแอลอีดีจากกระแสเกิน
9. SOMODE เป็นขาที่ตัวเลือกจังหวะเวลาการทำงานของขา SOUT เมื่อ SOMODE เป็น low ขา SOUT จะทำงานตามขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา เมื่อ SOMODE เป็น high ขา SOUT จะทำงานตามขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา
10. XDOWN เป็นขาที่ใช้สำหรับตัดวงจรด้านเอาท์พุทที่ต่อกับหลอดแอลอีดีเมื่อเกิดความผิดพลาดดังนี้ เมื่อเกิดความร้อนเกินขีดจำกัดและเกิด error signal output
11. SOUT เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลขาออกแบบอนุกรม (Serial)

### 2.4.3 การทำงานของไอซี TLC 5921



รูปที่ 2.20 ฟังก์ชันการทำงานของไอซี TLC 5921

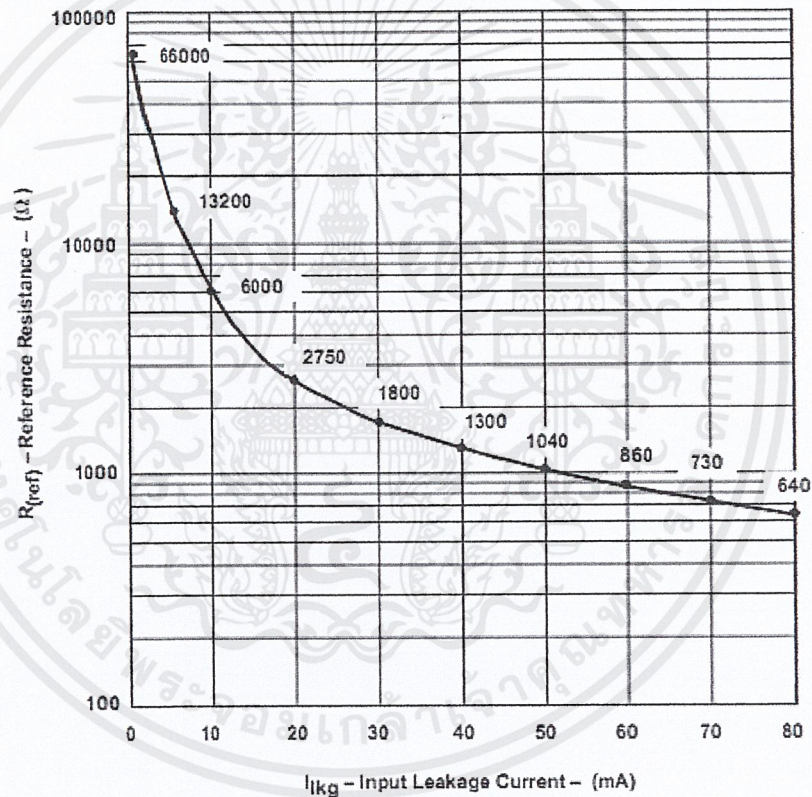
จากรูปลำดับการทำงานของไอซี TLC5921 เป็นดังนี้ ตัวไอซี TLC5921 จะรับสัญญาณนาฬิกาเพื่อเข้ามาเป็นจังหวะการทำงานจากทางขา SCLK และจะรับข้อมูลอนุกรมเซตละ 16 บิตเข้ามาทางขา SIN เพื่อมาเก็บไว้ที่ shift register ภายในตัว TLC5921 และจะรอจนกว่าขาสัญญาณ XLAT เป็น low เพื่อวิเคราะห์ค่าข้อมูล และเมื่อสัญญาณเป็น high จะทำการส่งข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์แล้วทั้ง 16 บิตเคลื่อนย้ายไปยังเอาต์พุตและจะทำการรับข้อมูลชุดใหม่ 16 บิตมาเก็บไว้ที่ shift register ในการทำงานของเขาเอาต์พุตทั้ง 16 ขานั้นจะถูกควบคุมโดยขา BLANK โดยเมื่อ BLANK เป็น high แอลอีดีทั้งหมดจะดับ เมื่อขา BLANK เป็น low แอลอีดีจะสว่างดังข้อมูลที่ส่งมา ส่วนขา IREF นั้นเป็นขาที่ใช้สำหรับต่อความต้านทานเพื่อจำกัดกระแสเพื่อป้องกันหลอดจากการเกิดกระแสเกิน ในส่วน GND และ PGND นั้นทำหน้าที่ต่อลงกราวด์ SOUT ทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลอนุกรมและ XDOWN ทำหน้าที่ตัดวงจรเอาต์พุตเมื่อเกิดความผิดพลาดโดยอาศัยการทำงานของฟังก์ชัน TSD หรือ LOD

## 2.4.4 ฟังก์ชันการทำงานของไอซี TLC 5921

ตัวไดรฟ์เวอร์ที่เราใช้ในการขับหลอดแอลอีดีนั้นเราใช้ไอซี TLC 5921 ซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานได้เป็นดังนี้

### 2.4.4.1 การตั้งค่ากระแสเอาต์พุตคงที่

การตั้งค่ากระแสเอาต์พุตจะสามารถกำหนดได้โดยการต่อตัวต้านทานภายนอกและการต่อค่าความต้านทานที่ระหว่างขา IREF กับที่ GND ดังได้แสดงในรูปที่ 2.19 และจะมีกระแสไหลมากขึ้นถ้าต่อขา IREF เข้ากับกราวด์โดยตรง



รูปที่ 2.21 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสเอาต์พุตคงที่และค่าความต้านทานที่ขา IREF

#### 2.4.4.2 การทำงานของกระแสเอาต์พุตคงที่

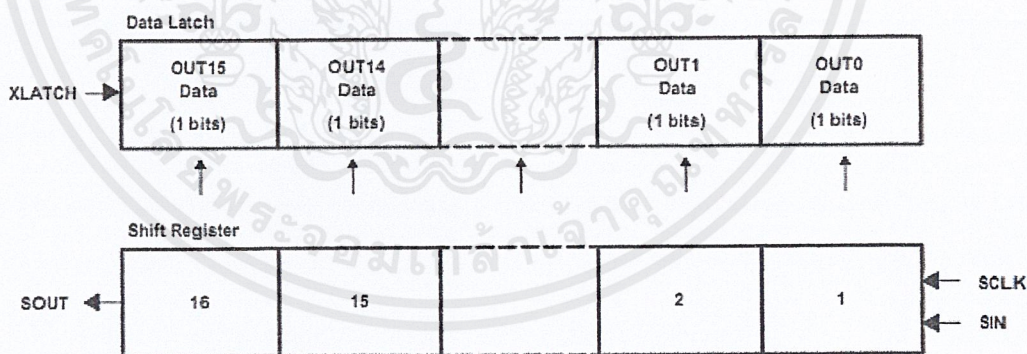
การทำงานของกระแสเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยสัญญาณ BLANK ดังนี้

1. เมื่อสัญญาณ BLANK มีสถานะเป็น low เอาต์พุตจะ turn on เมื่อสัญญาณ XLAT มีสถานะเป็น high และเอาต์พุตจะ turn off เมื่อสัญญาณ XLAT มีสถานะเป็น low
2. เมื่อสัญญาณ BLANK มีสถานะเป็น high เอาต์พุตทุกตัวจะ turn off

เมื่อเอาต์พุตไม่มีการเชื่อมต่อหรือเกิดความผิดพลาดของการเชื่อมต่อเช่น หลอดแอลอีดีไม่ได้เชื่อมต่อกับเอาต์พุต เมื่อไอซีทำการอ่านค่าข้อมูลขาเข้าที่ส่งมาแล้ว ไอซีทำการส่งค่ากระแสเอาต์พุตเพื่อไปจ่ายให้หลอดแอลอีดี แต่กลับไม่ได้เชื่อมต่อกับหลอดแอลอีดี ความผิดพลาดประเภทนี้จะทำให้กระแสเอาต์พุตที่ส่งไปมีค่าสูงมากขึ้น

#### 2.4.4.3 Shift register latch

สำหรับการส่งค่าและการวิเคราะห์ค่าข้อมูลจะเป็นดังนี้ เมื่อข้อมูลอนุกรมถูกส่งมาครบ 16 บิต สัญญาณ XLAT จะทำการเปลี่ยนสถานะเป็น low เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อ XLAT มีสถานะเป็น high ข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์แล้วจะถูกส่งต่อผ่านไป



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง shift register และ latch

#### 2.4.4.4 SOUT output timing selection

เป็นการเลือกกระดัดของสัญญาณ SOMODE เพื่อไปกำหนดการทำงานของสัญญาณ SOUT ในการส่งข้อมูลอนุกรมขาออก ดังนี้ เมื่อ SOMODE มีสถานะเป็น low สัญญาณ SOUT จะทำงานตามขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา และเมื่อ SOMODE มีสถานะเป็น high สัญญาณ SOUT จะทำงานตามขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา

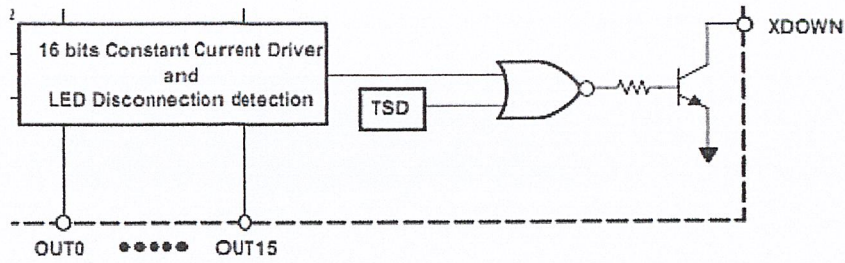
เมื่อ SOMODE ถูกตั้งค่าให้มีสถานะเป็น high และทำการเลื่อนข้อมูลแล้ว ความผิดพลาดในการเลื่อนข้อมูลจะถูกป้องกันได้ และความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลสูงสุดในการทำงานแบบควาเสถียรจะลดลงเมื่อ SOMODE ถูกตั้งค่าให้มีสถานะเป็น low

#### 2.4.4.5 TSD (thermal shutdown)

เมื่ออุณหภูมิในตัวไอซี TLC5921 เกินขีดจำกัด ฟังก์ชัน TSD จะเริ่มการทำงานเพื่อทำการ turn off เอาท์พุททั้งหมด โดย TSD จะส่งสัญญาณออกไปเพื่อ open-collector ให้สัญญาณ XDOWN เปลี่ยนสถานะเป็น low เพื่อให้กระแสเอาท์พุททั้งหมดไหลลงกราวด์ เป็นการป้องกันตัวไอซี TLC5921 จากความร้อนเกิน

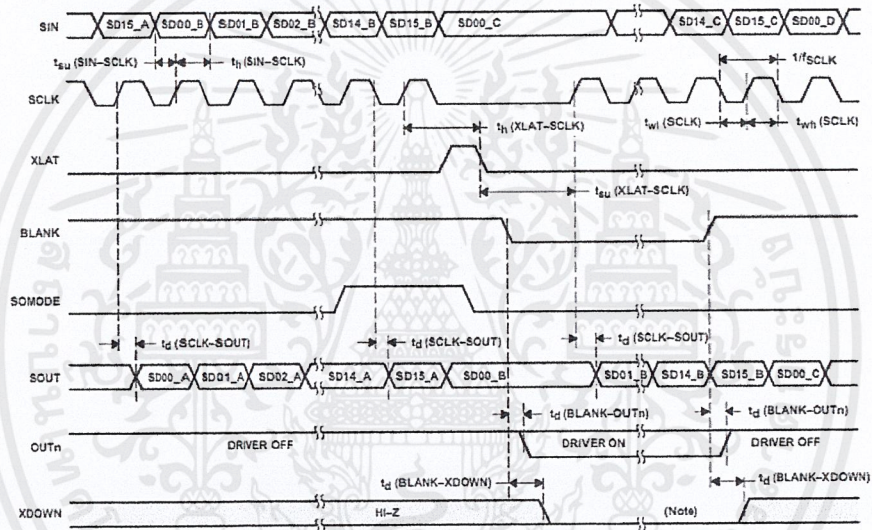
#### 2.4.4.6 LOD function (LED open detection)

ถ้าแรงดันที่ขั้วเอาท์พุทใดมีค่าน้อยกว่า 0.3 V (Out0 to Out15) หรือที่กำหนดไว้ตัวตรวจจับ LED Disconnection detection ส่งสัญญาณเพื่อ open-collector ให้สัญญาณ XDOWN เปลี่ยนสถานะเป็น low เพื่อให้กระแสไหลลงกราวด์ เนื่องจากมีหลอดแอลอีดีที่ยังขาดการเชื่อมต่อกับเอาท์พุท ถ้าให้กระแสยังไหลไปที่เอาท์พุทจะทำให้กระแสมีปริมาณมากซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อตัวไอซี ซึ่งฟังก์ชัน LOD นี้จะทำการตรวจสอบเอาท์พุททั้ง 16 เอาท์พุท ซึ่งหมายความว่า จะทำการเช็คทั้งหมด 16 ครั้ง จาก out0 ถึง out15 เพื่อป้องกันความผิดพลาดของการเชื่อมต่อเอาท์พุทและหลอดแอลอีดี



รูปที่ 2.23 การทำงานของฟังก์ชัน TSD และ LOD

2.4.4.7 การติดต่อส่งข้อมูลอนุกรม



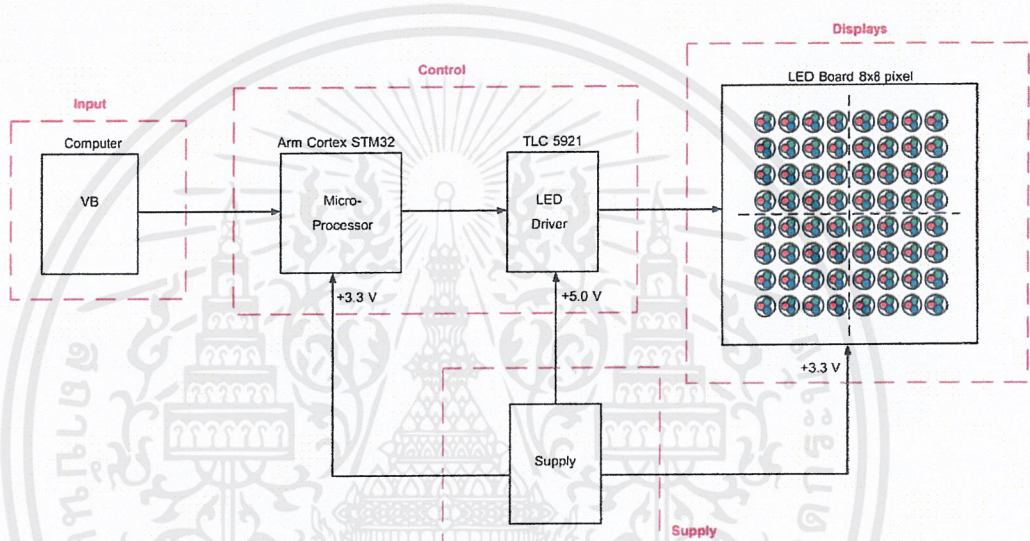
รูปที่ 2.24 ไทม์มิงไต่อะแกรมของการติดต่อส่งข้อมูลแบบอนุกรม

โดยการติดต่อส่งข้อมูลตัวไอซี TLC5921 รับสัญญาณนาฬิกาจากขา SCLK เพื่อควบคุมจังหวะการทำงาน สำหรับการติดต่อส่งข้อมูลสัญญาณ XLAT มีสถานะเป็น low เพื่อจะทำการรับข้อมูลขาเข้าจากขา SIN และสัญญาณ BLANK มีสถานะเป็น high เพื่อให้เอาท์พุต turn off เมื่อไอซี TLC5921 อ่านค่าข้อมูลอนุกรมครบทั้ง 16 บิตแล้วสัญญาณ XLAT จะเปลี่ยนสถานะเป็น high เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังเอาท์พุตและไอซีจะรับข้อมูลอนุกรมใหม่เข้ามาเพื่ออ่านค่า ในจังหวะนี้เองสัญญาณ BLANK มีสถานะเป็น low เอาท์พุตจะทำงานตามข้อมูลที่ถูกส่งมา สำหรับสัญญาณ XDOWN จะทำการ low เมื่อฟังก์ชัน TSD หรือ LOD สั่งให้ทำงาน เพื่อทำการ turn off การทำงานของเอาท์พุต

## บทที่ 3

### การออกแบบ

จากหลักการพื้นฐานที่ได้กล่าวมาในภาคทฤษฎี เราจะนำเอาองค์ความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ นำมาประยุกต์และออกแบบชุดควบคุมการผสมสีหลอดแอลอีดี 8 ระดับ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ARM Cortex-M3) โดยจะทำการแยกการออกแบบทีละส่วนเพื่อให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ปรับปรุงในส่วนต่างๆได้สะดวก พร้อมทั้งรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละส่วน

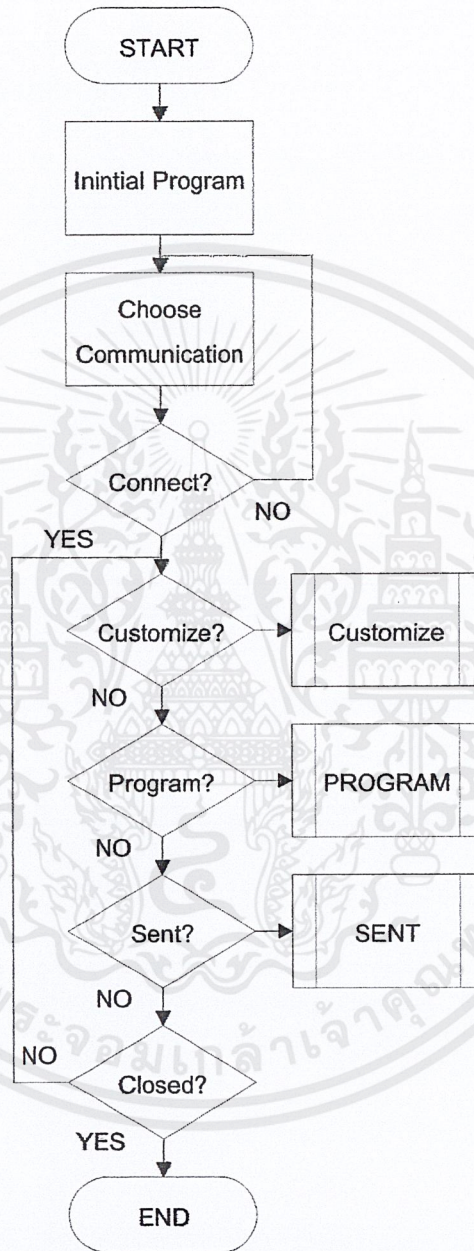


รูปที่ 3.1 องค์ประกอบโดยรวมทั้งหมดของโครงการ

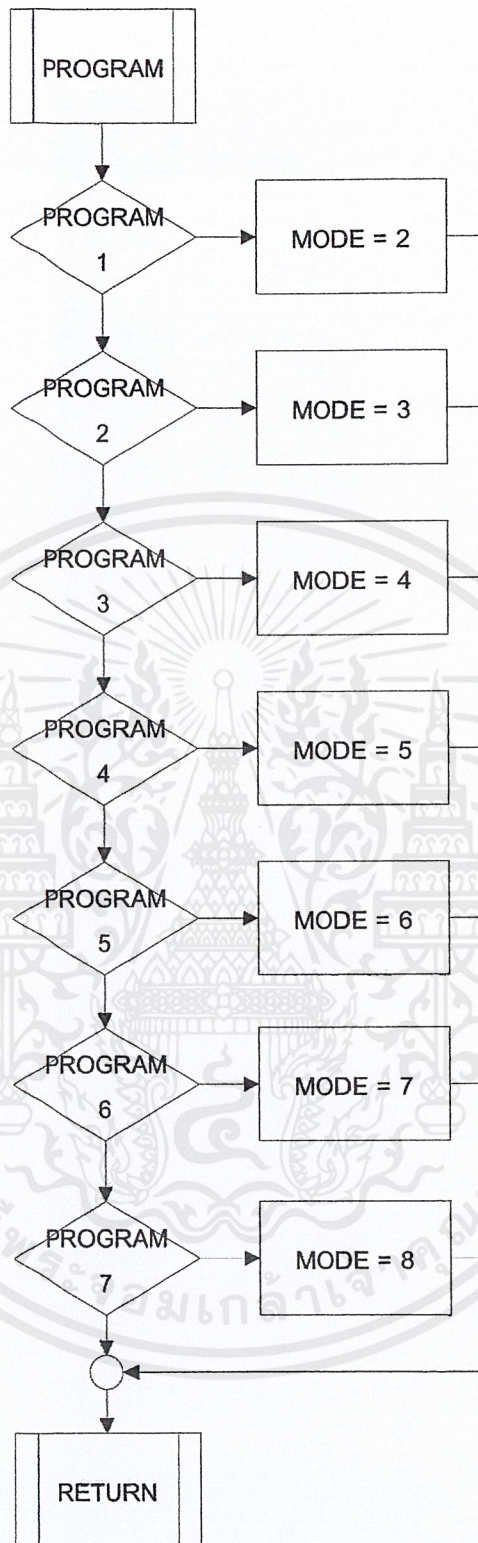
#### 3.1 การออกแบบในส่วนอินพุต

ในส่วนการออกแบบอินพุตนี้ เราจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ออกแบบให้มีฟังก์ชันการทำงานอยู่ 2 รูปแบบ คือ ฟังก์ชัน Programmed และฟังก์ชัน Customize ดังรูปที่ 3.2 โดยที่ในฟังก์ชัน Programmed นั้น จะทำการแสดงตัวอย่างของรูปแบบที่ทำการออกแบบไว้แล้วมาแสดงผลได้ มีการทำงานของโปรแกรกดังรูปที่ 3.3 ส่วนฟังก์ชัน Customize นั้นสามารถประยุกต์การแสดงผลได้ตามที่เราทำการออกแบบมีขั้นตอนการทำงานในส่วนโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 ทำให้เราสามารถออกแบบการแสดงผลได้ตรงกับความต้องการมากยิ่งขึ้น หลักการในส่วนนี้คือทำการป้อน

คำอินพุตเข้าทางโปรแกรม Visual Basic หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลออกมาเป็น 192 ข้อมูล (ประกอบด้วย ข้อมูลระดับความสว่างและตำแหน่งของพิกเซล)โดยมีลำดับการส่งตำแหน่งของข้อมูลดังรูปที่ 3.5 เพื่อส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการผสมสีต่อไป

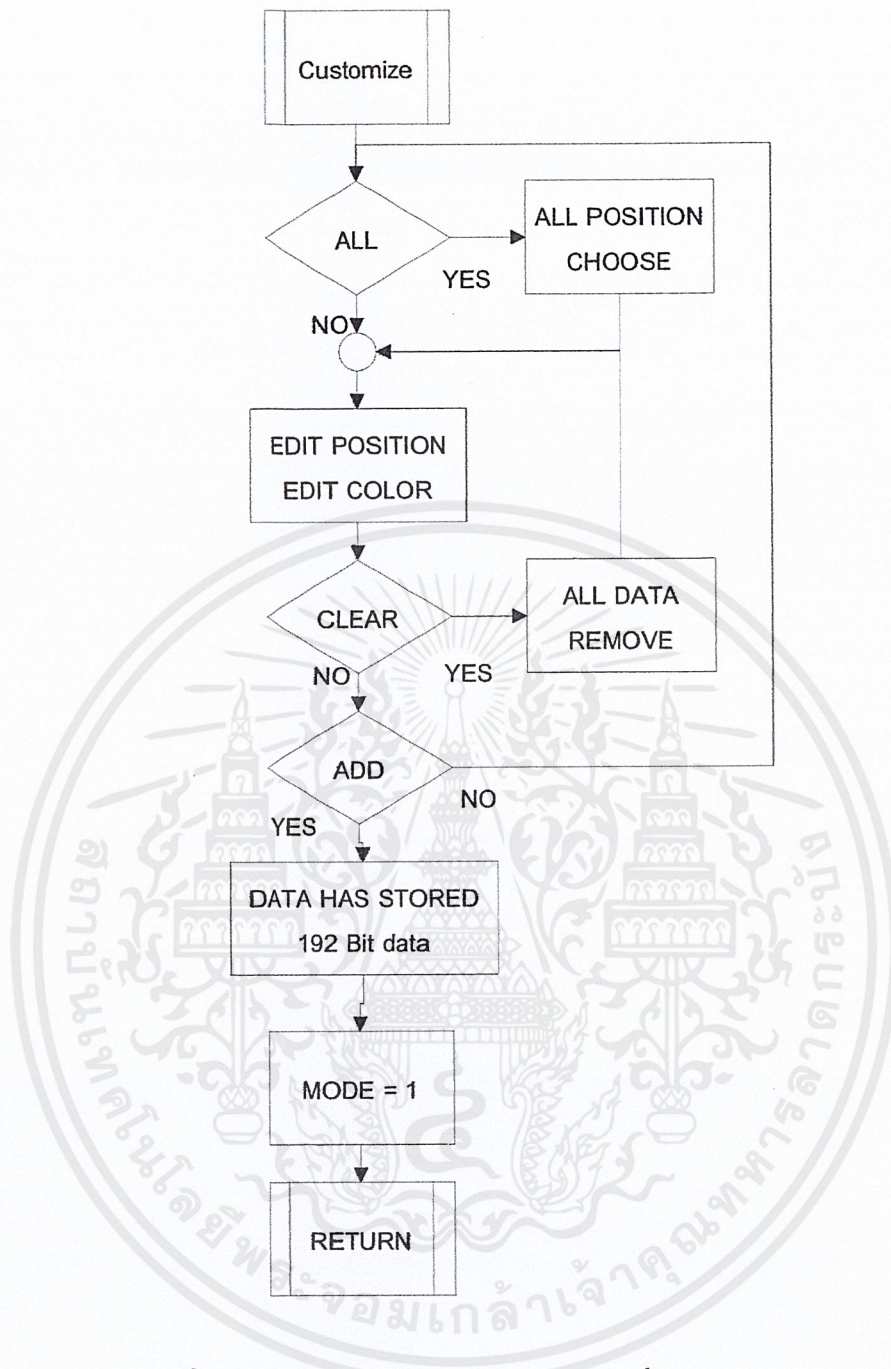


รูปที่ 3.2 แผนผังลำดับงานในส่วนโปรแกรมหลัก



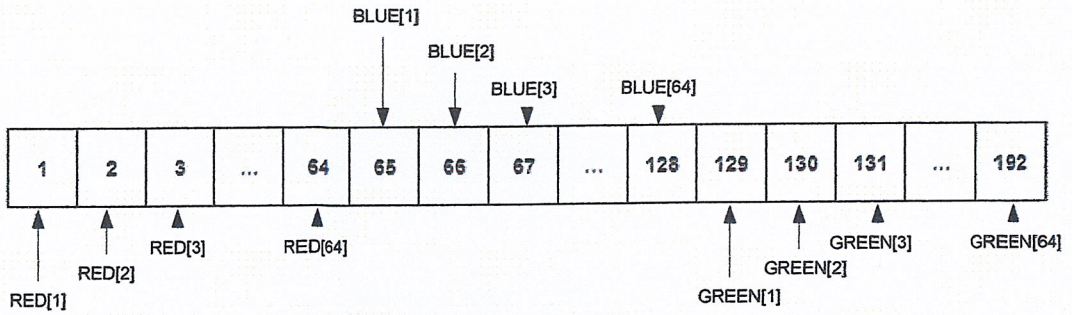
รูปที่ 3.3 แผนผังลำดับงานของฟังก์ชันโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

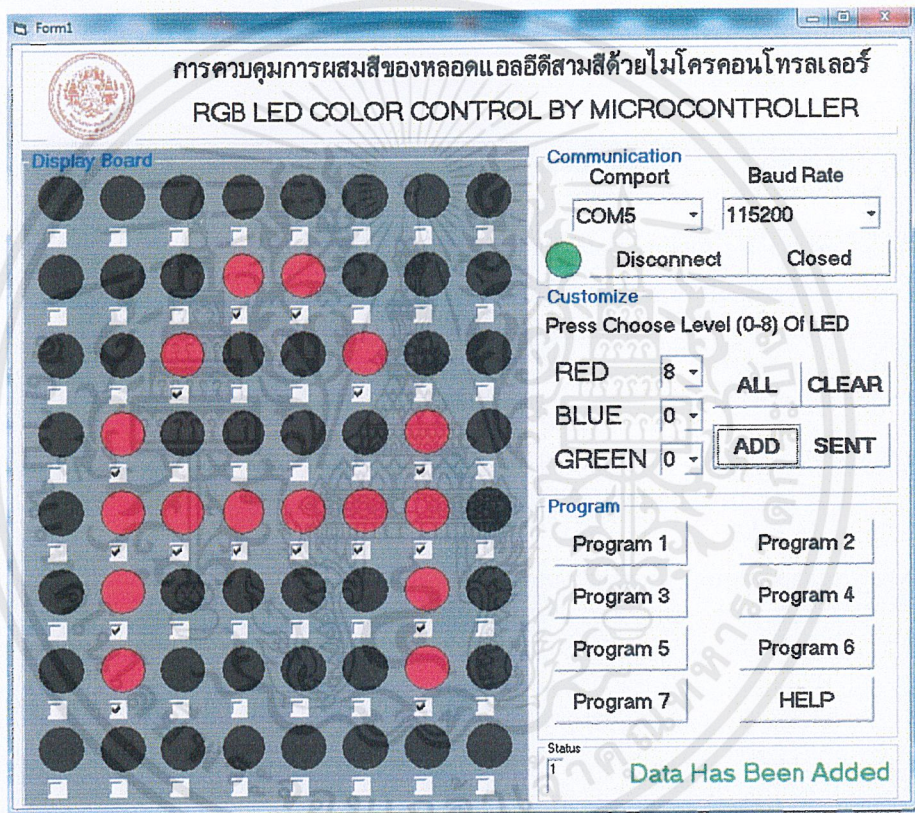


รูปที่ 3.4 แผนผังลำดับงานในส่วนของฟังก์ชันการปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการส่งถ่าย



รูปที่ 3.6 หน้าต่าง visual basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ขั้นตอนการใช้งาน Visual Basic ในส่วนของ Customized

1. การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะอยู่ในส่วน communication ให้เลือก comport ที่ com5 และเลือก Baud rate ที่ 115200 แล้วกด connect เพื่อเชื่อมต่อทั้งสอง
2. เลือกตำแหน่งที่จะแสดงผลได้อย่างอิสระ โดยการคลิกที่ตำแหน่งที่เราต้องการ
3. เลือกสีที่เราต้องการให้แสดงผล โดยสามารถค่าความเข้มสีของแต่ละสีที่เป็นองค์ประกอบหลัก 8 ระดับ
4. เมื่อเลือกสีและตำแหน่งของการแสดงผลได้ตามต้องการแล้ว คลิกที่ปุ่ม ADD หน้าจอของโปรแกรมจะแสดงตัวอย่างผลที่จะแสดงออกทางจอแอลอีดี
5. กดคลิกปุ่ม SENT เพื่อส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ รูปแบบดังกล่าวจะแสดงผลออกทางจอแอลอีดี

### 3.1.2 ขั้นตอนการใช้งาน Visual Basic ในส่วนของ Programmed

1. การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะอยู่ในส่วน communication ให้เลือก comport และเลือก Baud rate ที่ 115200 แล้วกด connect เพื่อเชื่อมต่อทั้งสอง
2. คลิกเลือกรูปแบบแสดงผลที่ได้ออกแบบไว้
  - Program 1 แสดงการปรับระดับความเข้มสีของแต่ละสี (แดง,เขียวและน้ำเงิน) 8 ระดับ ด้วยค่าตัวเลข 8 ระดับ
  - Program 2 แสดงการผสมแสงสีด้วยวิธี Duty Control 8ระดับ ซึ่งจะสามารถได้สีต่างๆมากถึง 512 เฉดสี
  - Program 3 แสดงผลการประยุกต์ใช้งานการผสมสีให้เป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมขยายออก
  - Program 4 แสดงการผสมสีและการควบคุมทุกตำแหน่งได้อย่างอิสระ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของสี

- Program 5 การประยุกต์การผสมสีและการควบคุมทุกตำแหน่งได้อย่างอิสระ แสดงคำว่า “ KMITL ”
- Program 6 การประยุกต์การผสมสีและการควบคุมทุกตำแหน่งได้อย่างอิสระ แสดงคำว่า “ ESIRC ”
- Program 7 การประยุกต์ใช้งานเพื่อการตกแต่งสถานที่

### 3. คลิปปุ่ม SENT เพื่อแสดงผลออกทางจอแอลอีดี

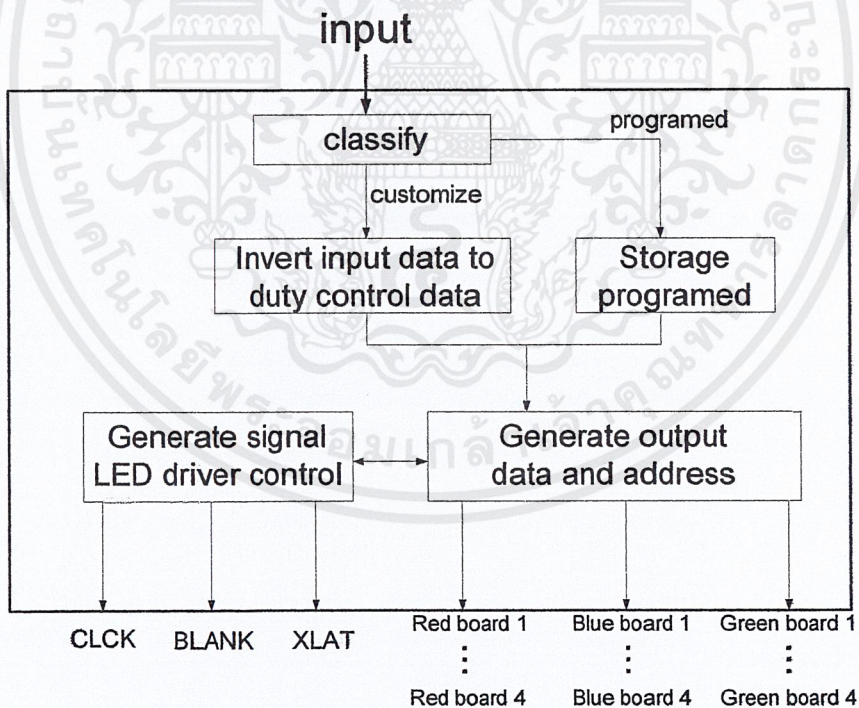
## 3.2 การออกแบบในส่วนวงจรควบคุม

แบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และในส่วนของการออกแบบในส่วนของไทรฟ์เวอร์

### 3.2.1 การออกแบบในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์มีฟังก์ชันโมดูล usart และใน Visual Basic 6.0 มีฟังก์ชันโมดูล MSCOM ซึ่งทั้งคู่เป็นโมดูลสำเร็จรูปที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ดังนั้นจึงใช้การรับส่งข้อมูลโดยให้ Visual Basic 6.0 ส่งข้อมูลจากโมดูล MSCOM หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลเข้ามาทางโมดูล usart เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผล ในส่วนของไฟเลี้ยงที่ใช้สำหรับจ่ายให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์คือ 3.3 V หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์คือ จะให้อินพุตที่ส่งมาจากโปรแกรม Visual Basic 6.0 เป็นตัวกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น ถ้าเราเลือกใช้ฟังก์ชันการแสดงผลแบบ Programmed ในหน้าต่างของโปรแกรม Visual Basic 6.0 ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะใช้โปรแกรมต่างๆที่เก็บไว้ใน memory ออกมาแสดงผล หรือถ้าเราเลือกใช้ฟังก์ชันการแสดงผลแบบ Customize ในหน้าต่างของโปรแกรม Visual Basic 6.0 ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเปลี่ยนข้อมูลอินพุตให้เป็นการควบคุมโดยผู้ใช้งานโปรแกรม Visual Basic 6.0 โดยสามารถกำหนดสีของหลอด ความสว่าง รวมไปถึงตำแหน่งที่หลอดแสดงผล โดยการป้อนค่าในหน้าต่างโปรแกรม Visual Basic 6.0 จากนั้นข้อมูลทั้งคู่จะถูกส่งมาจัดเรียงข้อมูล เพื่อนำไปใช้สร้างตำแหน่งและระดับความสว่างของหลอด โดยทำงานสัมพันธ์กันกับสัญญาณควบคุมการทำงานของตัวไทรฟ์เวอร์

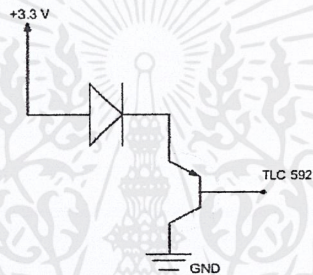
- CLCK เป็นสัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกไปจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นจังหวะการทำงานของตัวไดร์เวอร์
- BLANK เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งไปยังไดร์เวอร์ เพื่อควบคุมการทำงานในโหมดกระแสเอาต์พุตคงที่ เมื่อ BLANK เป็น 0 ไดร์เวอร์จะทำงานในโหมดกระแสคงที่
- XLAT เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งออกไปควบคุมการรับ-ส่งในตัวไดร์เวอร์ TLC5921
- Red1 ถึง Red4 เป็นสัญญาณข้อมูลระดับความเข้มแสงของสีแดง ที่ถูกส่งออกไปยังตัวไดร์ฟเวอร์ในแต่ละบอร์ด
- Blue1 ถึง Blue4 เป็นสัญญาณข้อมูลระดับความเข้มแสงของสีน้ำเงิน ที่ถูกส่งออกไปยังตัวไดร์ฟเวอร์ในแต่ละบอร์ด
- Green1 ถึง Green4 เป็นสัญญาณข้อมูลระดับความเข้มแสงของสีเขียว ที่ถูกส่งออกไปยังตัวไดร์ฟเวอร์ในแต่ละบอร์ด



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

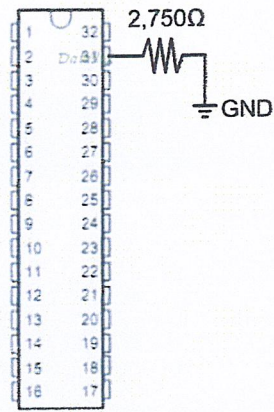
### 3.2.2 การออกแบบในส่วนวงจรขับหลอดแอลอีดี (ไดร์ฟเวอร์)

ในส่วนวงจรขับหลอดแอลอีดีเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เสมือนวงจรกำลังที่ขับหลอดแอลอีดี (วงจรที่จ่ายกำลังไฟฟ้าคือวงจรไฟเลี้ยง) ให้ได้ตามต้องการแทนวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถขับหลอดแอลอีดีหลายๆหลอดได้เอง จึงจำเป็นต้องมีวงจรในส่วนนี้ วงจรขับหลอดแอลอีดีที่ใช้ในโครงการนี้คือ ไอซี TLC 5921 จากบริษัท Texas Instruments ซึ่งมีคุณสมบัติหลายๆอย่างที่เหมาะสม (ที่ได้กล่าวมาในบทที่2) TLC5921 นี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน (ติด-ดับ) ของหลอดแอลอีดีตามข้อมูลที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะทำหน้าที่เหมือนประตูเปิด-ปิดกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดีทางขาลบของหลอดดังรูปที่ 3.8

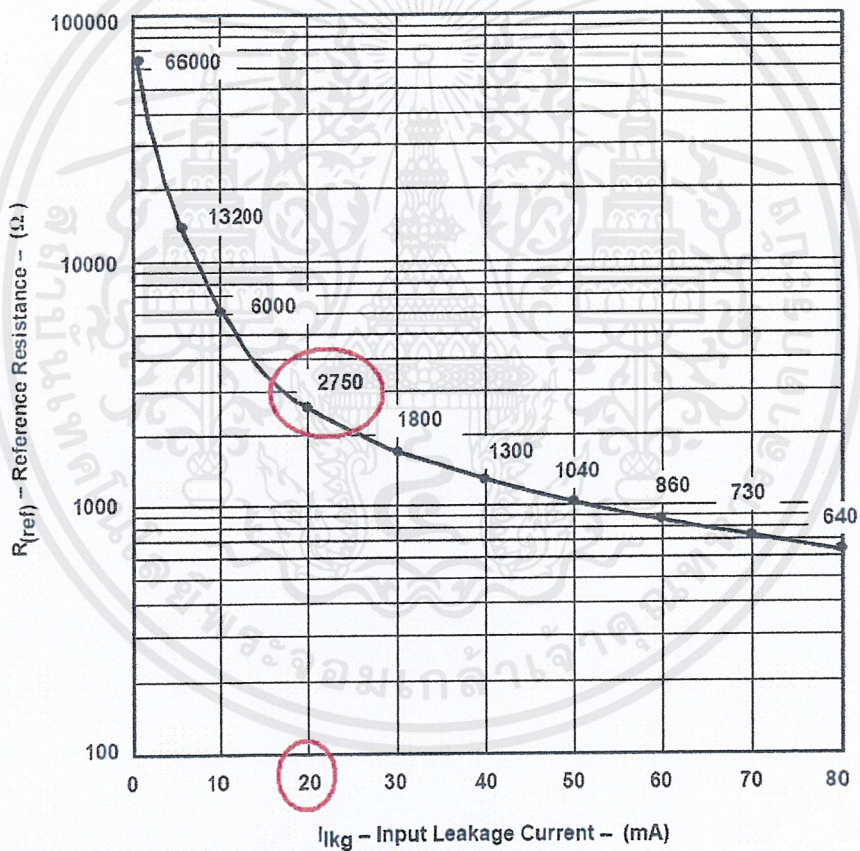


รูปที่ 3.8 วงจรในการต่อวงจรของหลอดแอลอีดีแต่ละหลอด

หลอดแอลอีดีที่ใช้ในโครงการนี้ตั้งการปริมาณกระแสใช้งานที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 mA ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดีไม่ให้เกินปริมาณดังกล่าว เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหลอดแอลอีดีและเพิ่มอายุการใช้งานของหลอดแอลอีดี ซึ่ง TLC5921 นี้สามารถทำการจำกัดกระแสที่ไหลผ่านช่องเอาต์พุตได้ โดยการต่อตัวต้านทานเข้าที่ขา IREF ของตัวไอซี TLC5921 ดังรูปที่ 3.9 และสามารถเลือกขนาดตัวต้านทานกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดีได้ดังรูป 3.10



รูปที่ 3.9 วิธีการจำกัดกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดี

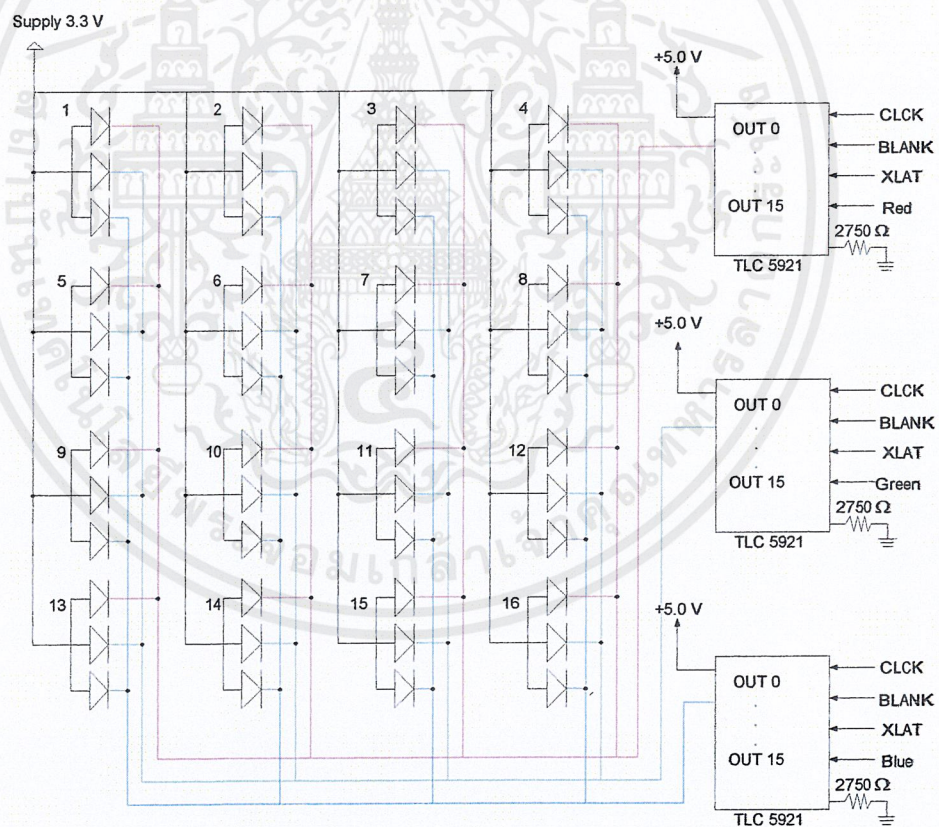


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการเลือกขนาดตัวต้านทานที่ปริมาณกระแสเอาต์พุตอยู่ที่ 20 mA

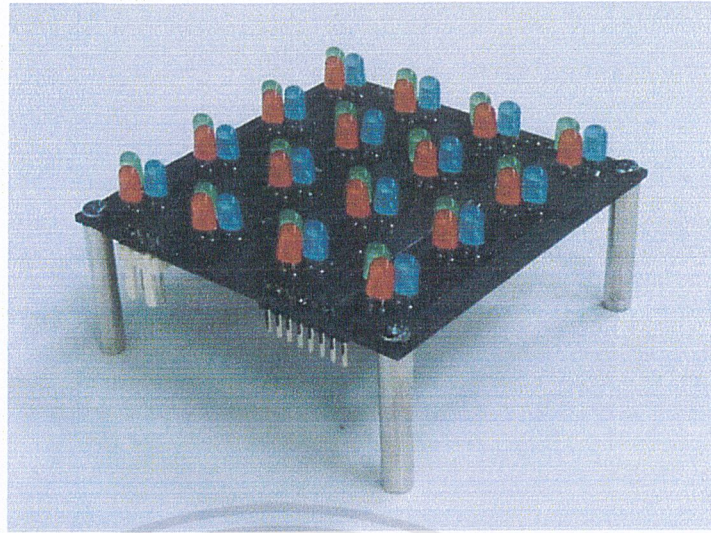
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบในส่วนจอแสดงผล

การออกแบบในส่วนของจอแสดงผล ในแต่ละพิกเซลนั้นจะประกอบด้วยหลอดแอลอีดีสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินสีละ 1 หลอด เพื่อให้แต่ละพิกเซลสามารถเกิดการผสมสีกันและแสดงสีได้หลากหลายสี ซึ่งจากการออกแบบนั้นในแต่ละพิกเซลจะมีระยะห่างต่อกัน 2 เซนติเมตร ทำให้มีระยะการมองที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 20 เมตรขึ้นไป ในส่วนของการต่อหลอดแอลอีดีจะต่อแบบ Common Anode ซึ่งขาบวกจะรับไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์จากแหล่งจ่ายตลอดเวลา ส่วนขาลบจะเชื่อมต่อกับไอซีTLC5921เพื่อควบคุมการติดดับของหลอด และตำแหน่งของหลอดด้วย พร้อมทั้งควบคุมกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดีให้คงที่ ซึ่งในแต่ละโมดูลของตัวTLC5921 จะมีเอาท์พุท 16 ช่อง จึงทำการออกแบบวงจรแสดงผลของหลอดแอลอีดีออกเป็นบอร์ดย่อย ขนาด 4x4 พิกเซล โดยในแต่ละบอร์ดย่อยจะมีไอซีTLC5921 อยู่ 3ตัว เพื่อควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีแต่ละสีในแต่ละบอร์ด



รูปที่ 3.11 การต่อวงจรของบอร์ดแอลอีดีแต่ละบอร์ดย่อย(4X4 พิกเซล)

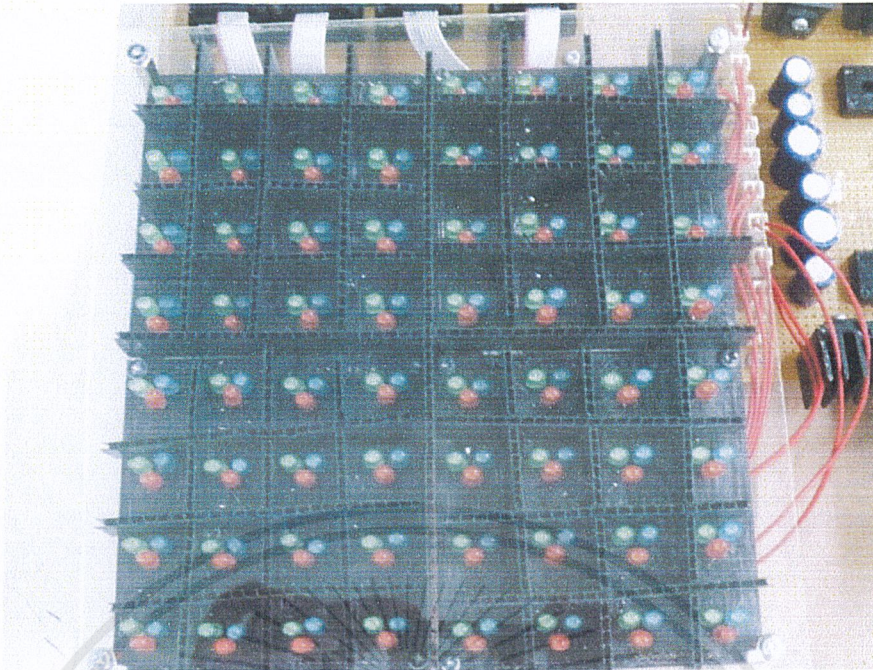


รูปที่ 3.12 บอร์ดแสดงผลหลอดแอลอีดีขนาด 4x4 พิกเซล



รูปที่ 3.13 บอร์ดจอแสดงผลขนาด 8 x 8 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 บอร์ดแสดงผลหลอดแอลอีดีจริงที่ออกแบบในโครงการนี้

### 3.4 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง

วงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง +3.3 V ให้กับหลอดแอลอีดีทั้งหมดในโครงการนี้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนไอซี TLC5921 จะใช้ไฟเลี้ยง +5.0 V การออกแบบวงจรในส่วนนี้จะทำการออกแบบวงจรไฟเลี้ยงทั้งสองไว้บนบอร์ดเดียวกัน โดยเราจะใช้ Voltage Regulator ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ด้วยไอซี KIA278R05PI เป็นไอซีที่ใช้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ +5.0 V สามารถจ่ายกระแสสูงสุด 2 A และไอซี KIA278R33PI เป็นไอซีที่ใช้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ +3.3 V สามารถจ่ายกระแสสูงสุด 2 A เช่นกัน

โครงการนี้ได้ออกแบบส่วนแสดงผลไว้ที่ขนาด 8 x 8 พิกเซล ซึ่งในแต่ละพิกเซลเองนั้นจะประกอบไปด้วยหลอดแอลอีดี 3 หลอด (แดง, เขียวและน้ำเงิน) โดยในแต่ละหลอดแอลอีดีจะใช้กระแส 20 mA ดังนั้นในส่วนของหลอดแอลอีดีจะใช้กระแสสูงสุด

$$\begin{aligned}
 I_{total} &= \sum I_{IKG} & (3.1) \\
 &= (8 \times 8 \times 3) \times 20 \times 10^{-3} \\
 &= 3.84 A
 \end{aligned}$$

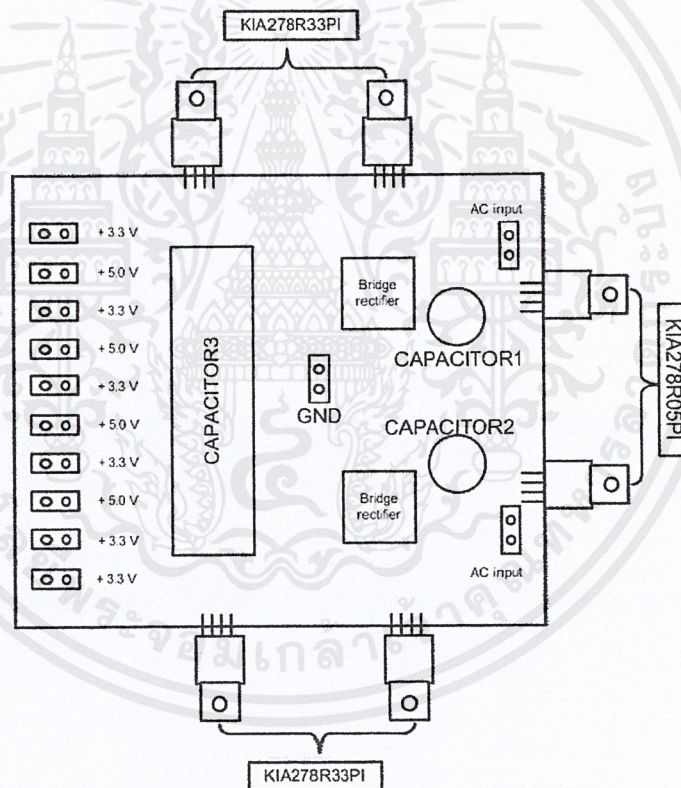
เมื่อ  $I_{total}$  คือ ปริมาณกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดีขณะทำงานทุกดวง

$\sum I_{IKG}$  คือ ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านหลอดแอลอีดีอย่างเหมาะสม

และไม่โครคอนโทรลเลอร์จะใช้กระแสประมาณ 200 mA ดังนั้นผลรวมของกระแสสูงสุดของแหล่งจ่ายไฟ +3.3 V จะได้อคือ

$$\begin{aligned} I_{3.3} &= 3.84 + 0.2 \\ &= 4.04A \end{aligned}$$

แต่ในการโครงการนี้ เราได้ทำการออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้มีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณไว้ เพื่อรองรับการขยายบอร์ดแสดงผล โดยได้ออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 8 A

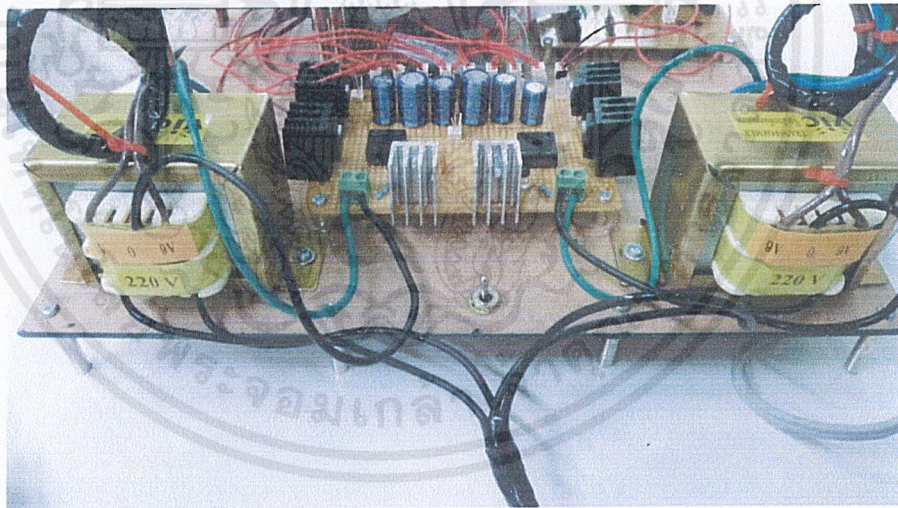


รูปที่ 3.15 วงจรไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่สำคัญในส่วนต่างๆของวงจรไฟเลี้ยงมีดังนี้

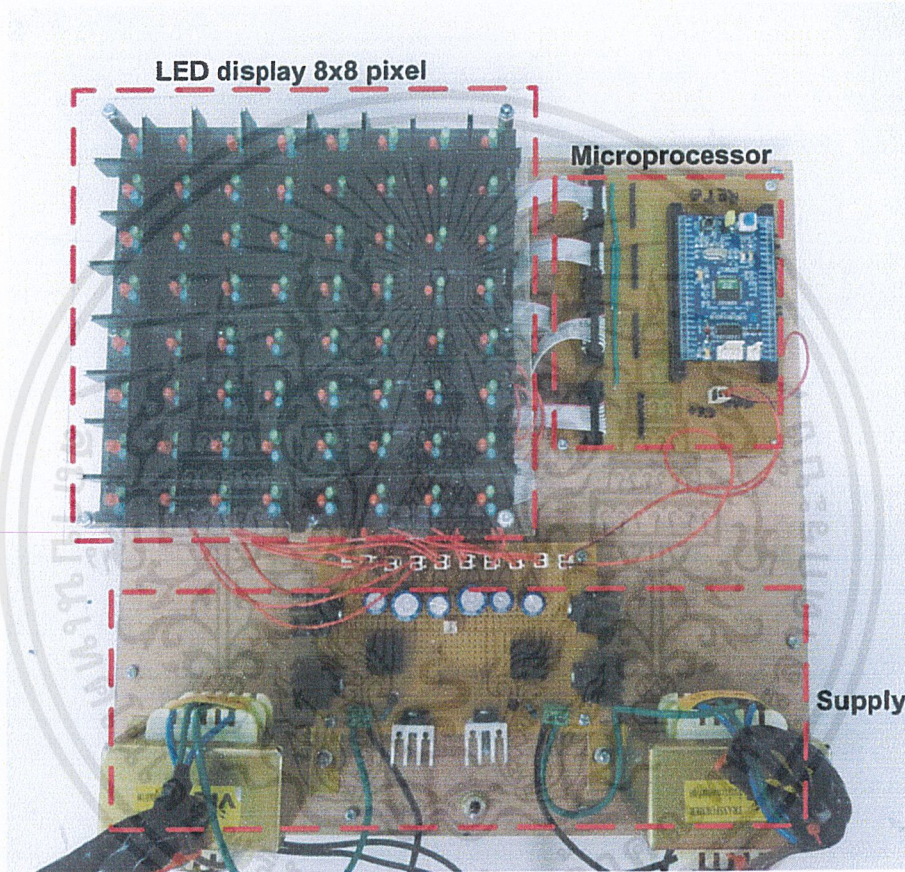
1. ไอซีเบอร์ KIA278R33PIทำหน้าที่จ่ายแรงดันและรักษาระดับแรงดันให้คงที่ +3.3 V เพื่อป้องกันกับหลอดแอลอีดีและไมโครคอนโทรลเลอร์ มีพิกัดกระแสสูงสุด 2 A สามารถรับแรงดันอินพุตได้ 4.0 V ถึง 10 V
2. ไอซีเบอร์ KIA278R05PI ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ +5 V เพื่อป้องกันแรงดันให้กับไอซี TLC5921 (LED Driver) มีพิกัดกระแสสูงสุด 2 A สามารถรับแรงดันอินพุตได้ 6.0 V ถึง 12 V
3. Capacitor จะมีอยู่สองส่วนคือ
  - 3.1) Capacitor 1 และ Capacitor 2 เป็นตัวเก็บประจุแบบเซรามิก (ไม่มีขั้ว) ขนาด 0.33  $\mu\text{F}$  ทำหน้าที่กรองแรงดันก่อนเข้าไอซีเบอร์ KIA278R33PI และ KIA278R05PI
  - 3.2) Capacitor 3 เป็นตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่กรองแรงดันหลังออกจากไอซีเบอร์ KIA278R33PIและ KIA278R05PI
4. GND จุดต่อกราวด์ของระบบทำหน้าที่เชื่อมต่อกับระบบอื่นเพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.16 วงจรไฟเลี้ยงจริงในโครงการนี้

### 3.5 การออกแบบวงจรจริงทั้งหมดในโครงการ

การออกแบบวงจรทั้งหมด มีรูปแบบการทำงานดังนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวรับสัญญาณอินพุตจากโปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อทำการประมวลผล แล้วจึงส่งสัญญาณไปยังตัวไดร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการขับหลอด (TLC5921) โดยที่ตัวไดร์ฟเวอร์ขับหลอดจะแยกออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่ใช้ขับแสงสีแดง ส่วนที่ใช้ขับแสงสีเขียว ส่วนที่ใช้ขับแสงสีน้ำเงิน โดยที่แต่ละส่วนจะรับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงทำการแสดงผลออกทางจอแสดงผล



รูปที่ 3.17 วงจรจริงทั้งหมดในโครงการนี้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ทำการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex STM32 แสดงผลออกทางจอแสดงผลขนาด 8 x 8 พิกเซล โดยการควบคุมที่ใช้จะเป็นการควบคุมแบบดิวิตีไซเคิลและการควบคุมแบบสแตติก ทำให้สามารถที่จะควบคุมหลอดแอลอีดีให้ได้ความเข้มแสงหลายระดับ (ในโครงการนี้ได้ใช้การควบคุม 8 ระดับ) ทั้งยังเป็นการควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีให้เป็นอิสระต่อกันได้อีกด้วย ส่งผลให้สามารถแสดงผลได้หลากหลายรูปแบบ แบ่งการทดลองออกได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 การควบคุมความเข้มสีด้วยดิวิตีไซเคิล 8 ระดับ

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของดิวิตีไซเคิลที่มีต่อความเข้มแสงของหลอดแอลอีดี

การทดลองที่ 3 การจำลองการผสมสีจากตารางสีมาตรฐาน RGB

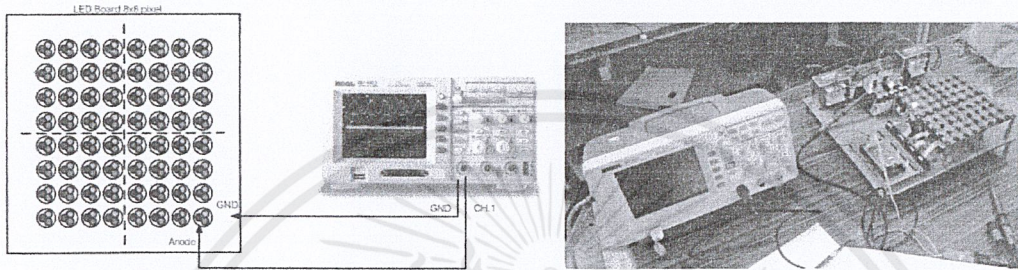
การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการผสมสี

การทดลองที่ 5 การปรับแต่งการแสดงผลรูปแบบต่างๆ

การทดลองที่ 6 การประยุกต์การใช้งาน

### การทดลองที่ 1 การควบคุมความเข้มสีด้วยดิวตี้ไซเคิล 8 ระดับ

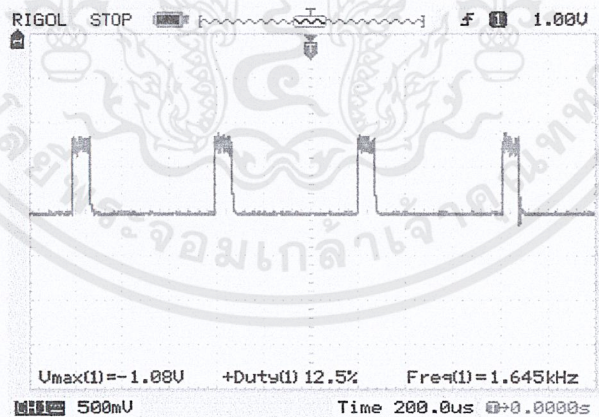
จากทฤษฎีการควบคุมความสว่างของแสงด้วยดิวตี้ไซเคิล เมื่อสั่งให้บอร์ดแสดงผลเริ่มทำงานที่ระดับต่างๆและทำการวัดรูปคลื่นของการทำงาน โดยทำการวัดที่ขา Anode ของหลอดแอลอีดีหลอดใดหลอดหนึ่ง เทียบกับ กราวด์ของวงจร ดังรูปการทดลองที่ 4.1



**รูปที่ 4.1** การเชื่อมต่อวงจรระหว่างบอร์ดแสดงผล และ ออสซิลโลสโคป

จากการทดลองดังกล่าว ได้ผลการทดลองดังนี้

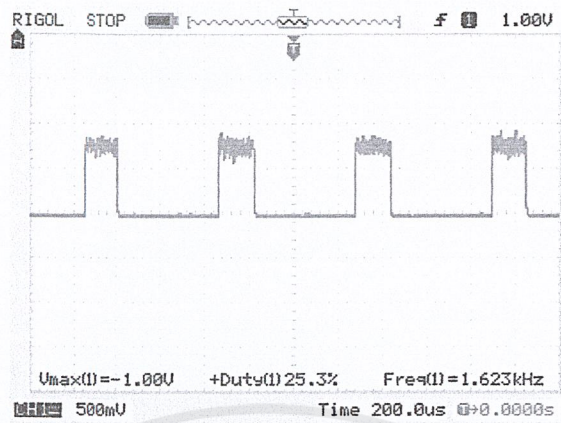
#### การควบคุมที่ระดับที่ 1



**รูปที่ 4.2** กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวตี้ไซเคิล ที่ ระดับ 1 ( $D = 12.5\%$ )

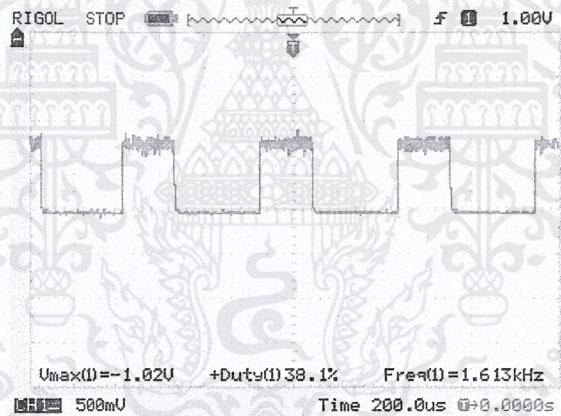
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมที่ระดับที่ 2



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวตี้ไซเคิล ที่ ระดับ 2 ( $D = 25.0\%$ )

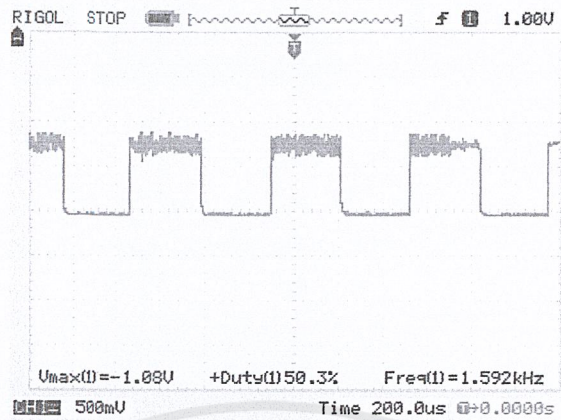
## การควบคุมที่ระดับที่ 3



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวตี้ไซเคิล ที่ ระดับ 3 ( $D = 37.5\%$ )

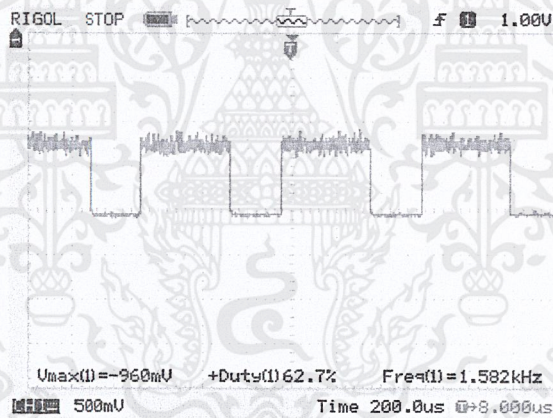
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การควบคุมที่ระดับที่ 4



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดีวีทีไซเคิล ที่ ระดับ 4 (D = 50.0%)

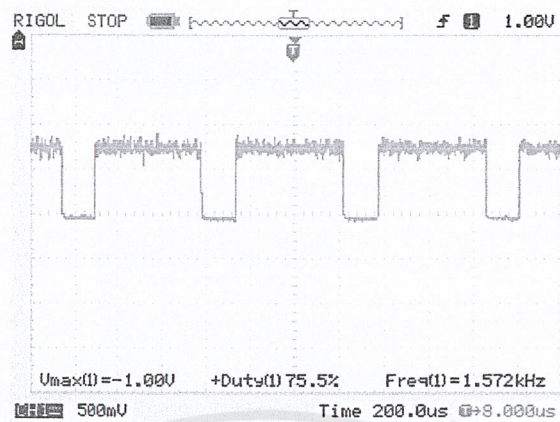
### การควบคุมที่ระดับที่ 5



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดีวีทีไซเคิล ที่ ระดับ 5 (D = 67.5%)

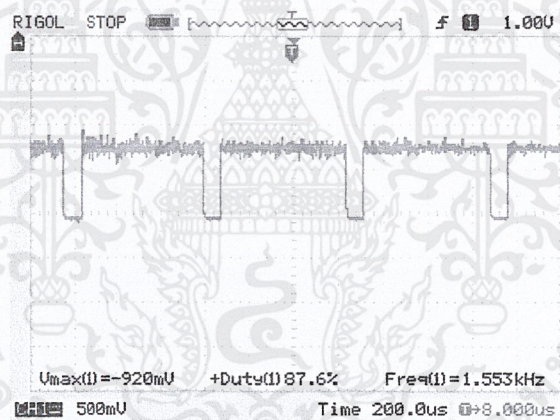
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมที่ระดับที่ 6



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวตี้ไซเคิล ที่ ระดับ 6 (D = 75.0%)

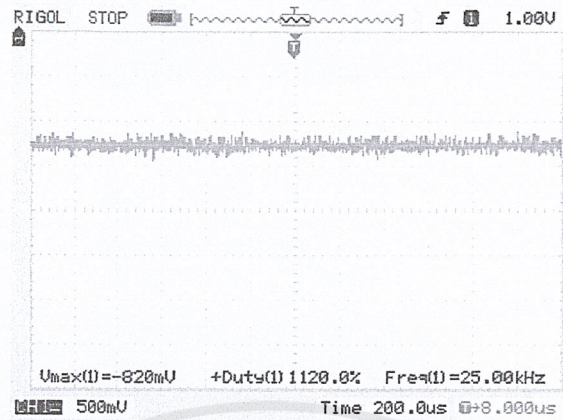
## การควบคุมที่ระดับที่ 7



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยดิวตี้ไซเคิล ที่ ระดับ 7 (D = 87.5%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมที่ระดับที่ 8

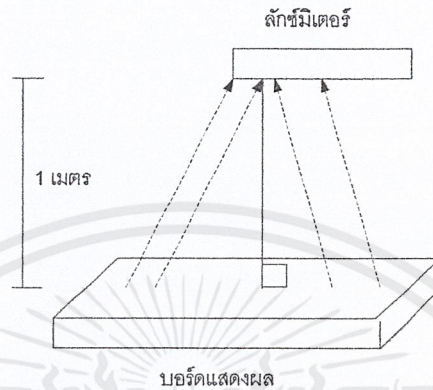


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการควบคุมความเข้มสีด้วยตัวตีไซเคิล ที่ ระดับ 8 ( $D = 100.0\%$ )

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การควบคุมที่ระดับเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีการทำงานของ ตัวตีไซเคิลที่มากขึ้น เห็นได้จากบอร์ดแสดงผลที่จะมีความสว่างมากขึ้นตามไปด้วย

## การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของดิวตี้ไซเคิลที่มีต่อความเข้มแสงของหลอดแอลอีดี

ทำการทดลองวัดค่าความสว่างของหลอดแอลอีดีที่ละสี ทั้ง 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยการทดลองดังกล่าวได้ทำการใช้ ลักซ์มิเตอร์วัดค่าแสงที่ระยะห่างห่าง 1 เมตร ตั้งฉากกับบอร์ด



รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการวัดค่าความเข้มแสง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าดิวตี้ไซเคิลและความเข้มแสงของแม่สี สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

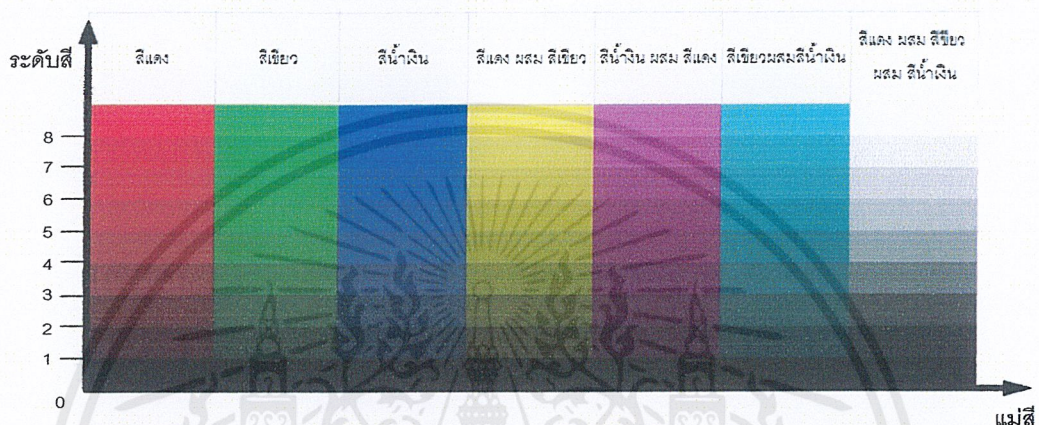
ดิวตี้	ความเข้มแสง ( lux )		
	สีแดง	สีเขียว	สีน้ำเงิน
$\frac{1}{8}$	8	10	1
$\frac{2}{8}$	13	18	2
$\frac{3}{8}$	18	27	3
$\frac{4}{8}$	24	31	4
$\frac{5}{8}$	27	36	5
$\frac{6}{8}$	33	41	6
$\frac{7}{8}$	35	47	7
1	40	56	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 3 การจำลองการผสมสีจากตารางสีมาตรฐาน RGB

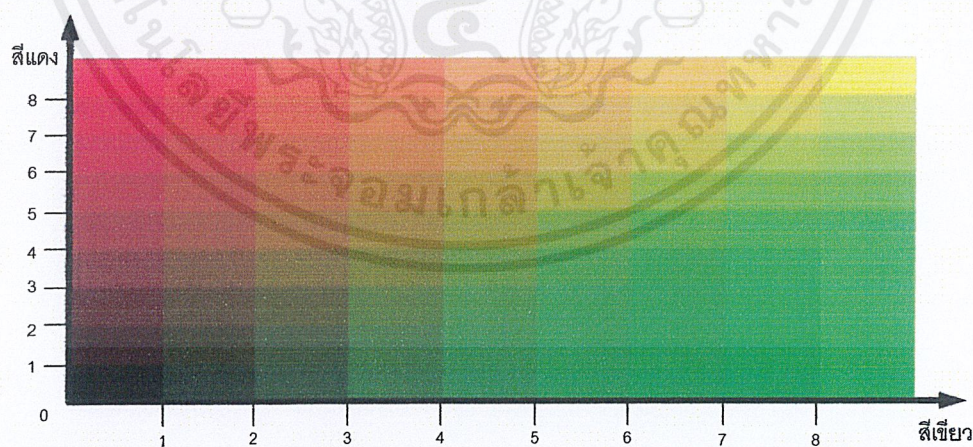
การปรับระดับความเข้มสีที่ 8 ระดับ จะทำให้เกิด สี และการผสมสี ได้มากถึง 512 เฉดสี ที่มีค่าต่างกัน ซึ่งค่าสีต่างๆมีผลช่วยให้การปรับแต่งของผู้ใช้งานโปรแกรมมีการใช้งานได้ง่ายขึ้น จึงได้ทำการจำลองการผสมสีโดยอ้างอิงตารางสี มาตรฐาน RGB

#### 3.1 การจำลองสีของสีแม่สี ในระดับความเข้มที่มีอัตราส่วนเท่าๆกัน



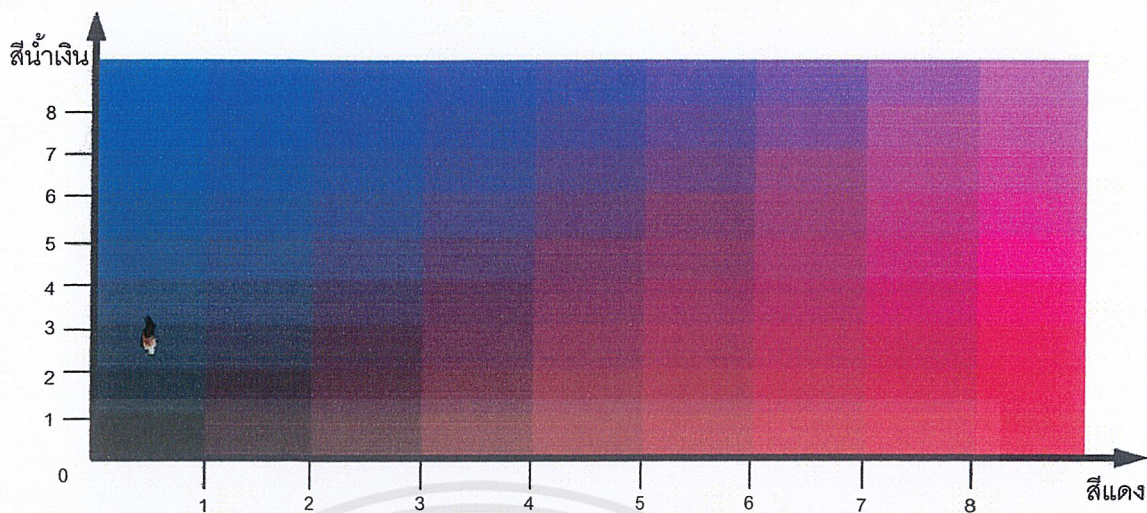
รูปที่ 4.11 การผสมสีโดยแม่สี สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ด้วยระดับความเข้มสีที่เท่ากันที่ระดับต่างๆ

#### 3.2 การจำลองด้วยการผสมสีระหว่างแม่สี 2 สี ที่ระดับความเข้มต่างกัน

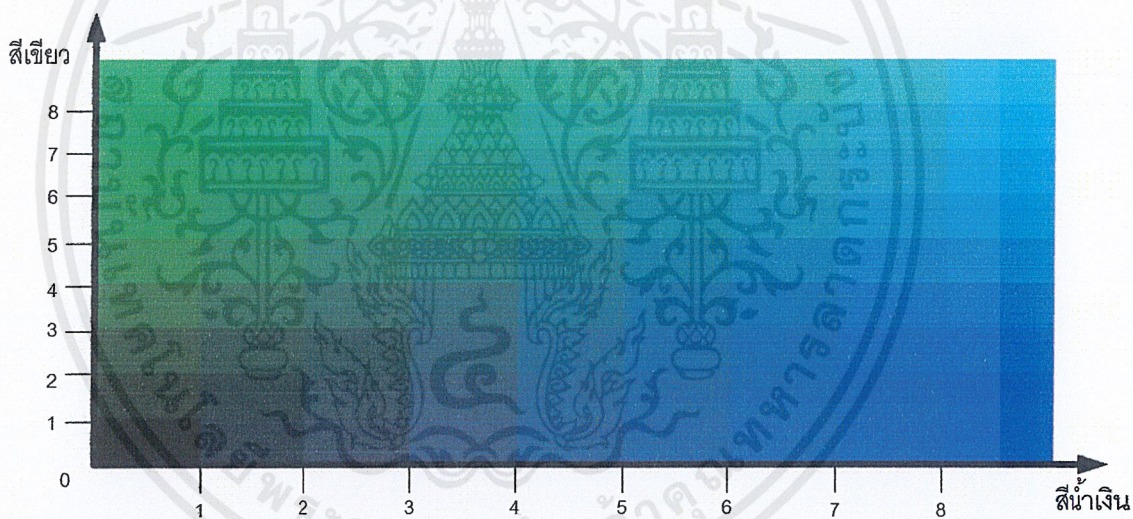


รูปที่ 4.12 การผสมสีระหว่าง สีแดง กับ สีเขียว ที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

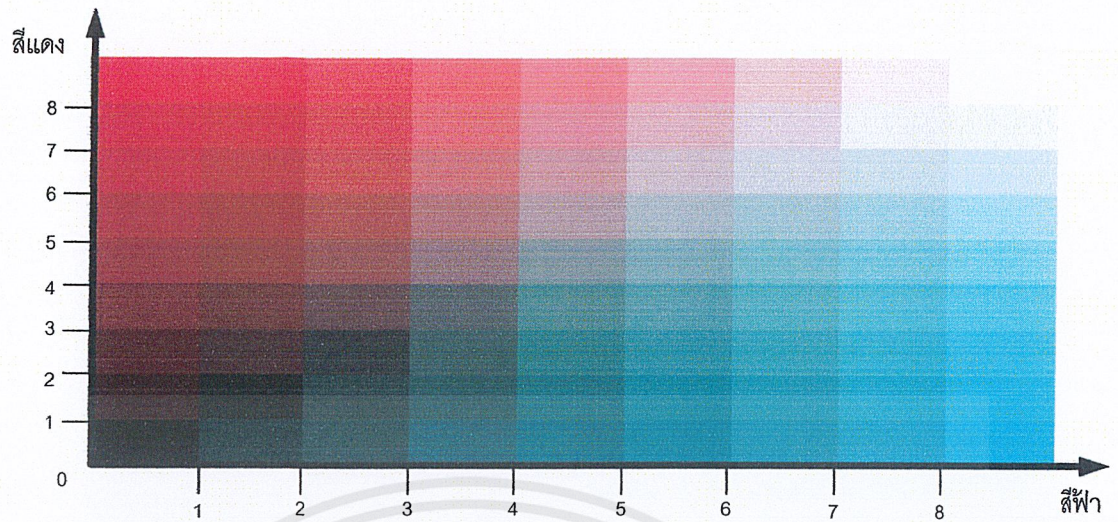


รูปที่ 4.13 การผสมสีระหว่าง สีน้ำเงิน กับ สีแดง ที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 4.14 การผสมสีระหว่าง สีเขียว กับ สีน้ำเงิน ที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

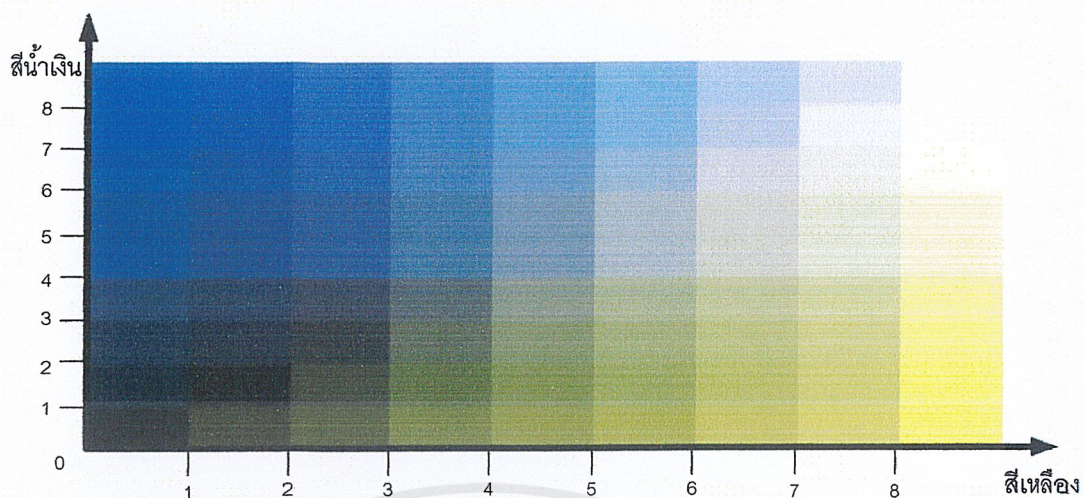


รูปที่ 4.15 การผสมสีระหว่าง สีแดง กับ สีฟ้า ที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 4.16 การผสมสีระหว่าง สีเขียว กับ สีม่วง ที่ระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

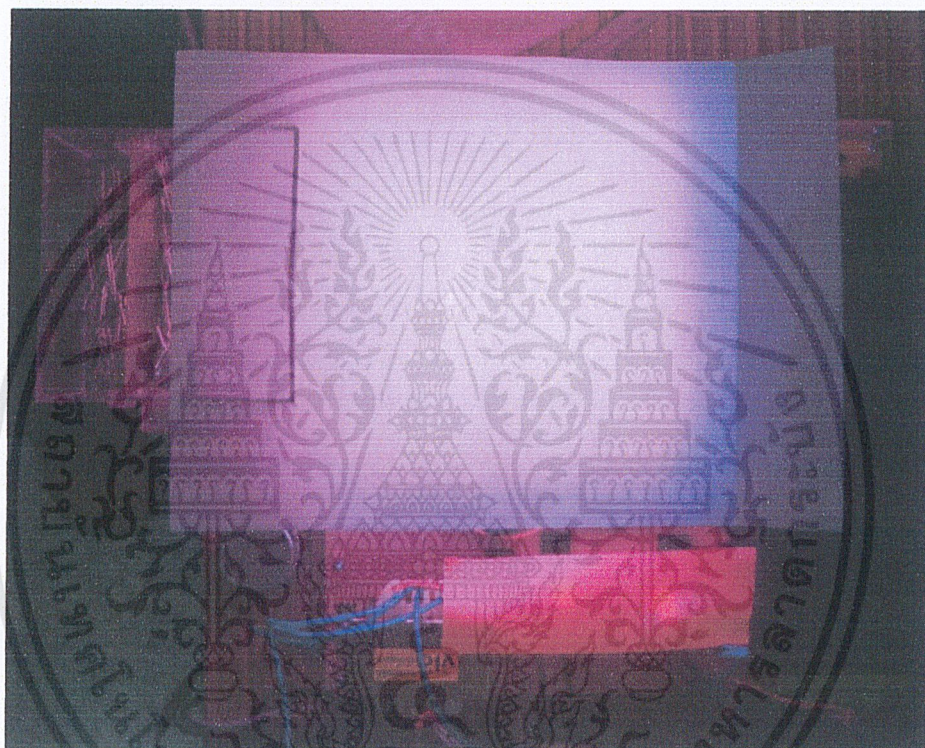


**รูปที่ 4.17** การผสมสีระหว่าง สีน้ำเงิน กับ สีเหลือง ที่ระดับต่างๆ

จะเห็นได้ว่า ความเข้มที่ต่างกันสามารถผสมให้เกิดสีได้มากมาย การจำลองสีด้วยตารางสี จะทำให้ผู้ที่ต้องการควบคุมการผสมสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากสามารถเทียบหาค่าสีที่ต้องการจากค่าในตารางสีดังกล่าวได้

#### การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการผสมสี






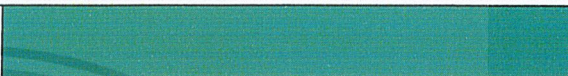














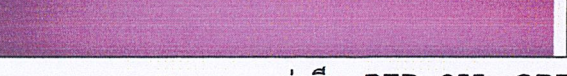
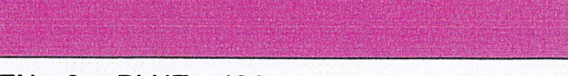
เพื่อให้การควบคุมการผสมสีของบอร์ดแสดงผลมีความแม่นยำ และถูกต้องสวยงาม จึงได้ทำการทดสอบว่า การผสมสีจากชุดทดลองนั้นมีความผิดเพี้ยนจากค่าสีที่ได้ทำการจำลองจากตารางสี มากน้อยเพียงใด ซึ่งการทดลองทำโดยการใช้ ฉากสีขาวเป็นตัวรับแสง จากบอร์ดแสดงผล ดังรูปที่ 4.18 โดยทำการสุ่มตัวอย่างค่าสีมาทั้งหมด 20 ตัวอย่างสี



**รูปที่ 4.18** การเก็บค่าสีที่ได้จากบอร์ดแสดงผล





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบสีระหว่างสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ กับสีจากตารางสี

การผสมสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์	การผสมสีจากตารางสี
	
ค่าสี : RED 255 : GREEN 0 : BLUE 0	
	
ค่าสี : RED 0 : GREEN 0 : BLUE 255	
	
ค่าสี : RED 0 : GREEN 255 : BLUE 0	
	
ค่าสี : RED 255 : GREEN 0 : BLUE 255	
	
ค่าสี : RED 0 : GREEN 255 : BLUE 255	
	
ค่าสี : RED 63 : GREEN 127 : BLUE 191	
	
ค่าสี : RED 191 : GREEN 127 : BLUE 191	
	
ค่าสี : RED 255 : GREEN 63 : BLUE 255	
	
ค่าสี : RED 191 : GREEN 63 : BLUE 191	
	
ค่าสี : RED 255 : GREEN 0 : BLUE 127	
	
ค่าสี : RED 255 : GREEN 0 : BLUE 191	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

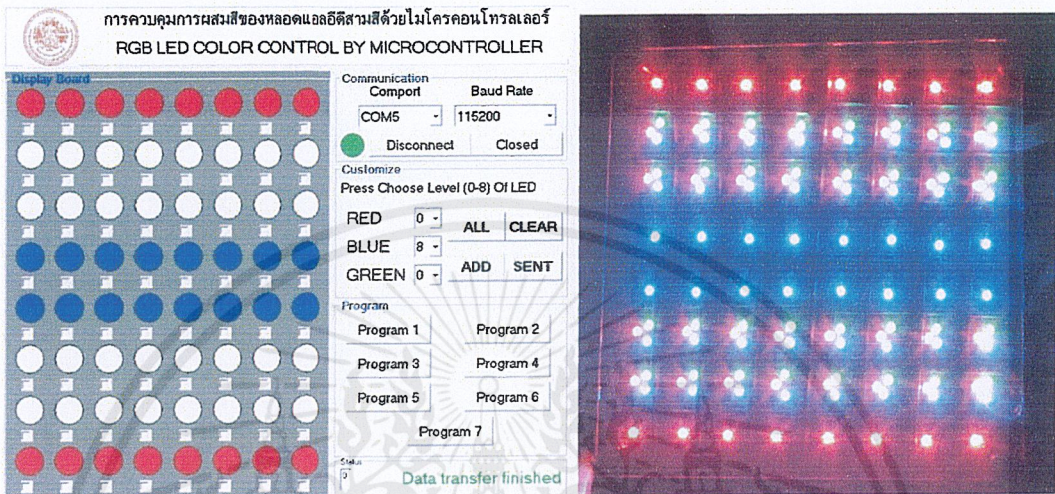
**ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ตารางแสดงการเปรียบเทียบสีระหว่างสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ กับสีจากตารางสี**

การผสมสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์	การผสมสีจากตารางสี
	
ค่าสี : RED 127 : GREEN 191 : BLUE 63	
	
ค่าสี : RED 159 : GREEN 127 : BLUE 95	
	
ค่าสี : RED 191 : GREEN 63 : BLUE 0	
	
ค่าสี : RED 63 : GREEN 191 : BLUE 0	
	
ค่าสี : RED 0 : GREEN 63 : BLUE 191	
	
ค่าสี : RED 63 : GREEN 127 : BLUE 127	

จากผลการทดลองในตาราง จะเห็นได้ว่า สีที่เราได้จากการผสมสีไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น มีความใกล้เคียงกับค่าสีจริง แต่ก็มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง อาจเนื่องมาจาก คุณสมบัติทางแสงของหลอดแอลอีดี ที่เรานำมาผสมนั้นไม่ได้ทำให้มีความเข้มแสงที่เท่ากัน ดังนั้นหากต้องการให้ได้ค่าสีที่ใกล้เคียงมากกว่านี้ จำเป็นอย่างยิ่งต้องทำการคำนวณหาความเข้มแสงให้เท่ากัน แล้วค่อยนำมาผสมกัน

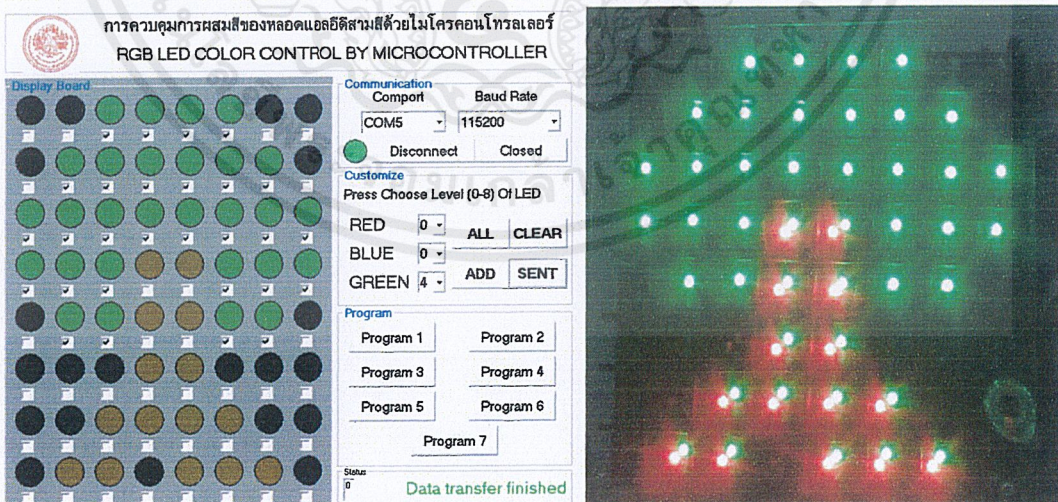
## การทดลองที่ 5 การปรับแต่งการแสดงผลรูปแบบต่างๆ

จากการออกแบบบอร์ดแสดงผลดังกล่าว สามารถปรับแต่งค่าความเข้มแสงหรือตำแหน่งของหลอดที่ต้องการได้อย่างมีอิสระต่อกัน โดยควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรม Viasl Basic 6.0 ซึ่งสามารถปรับแต่งรูปแบบได้หลากหลาย



รูปที่ 4.19 การปรับแต่งบอร์ดแสดงผล

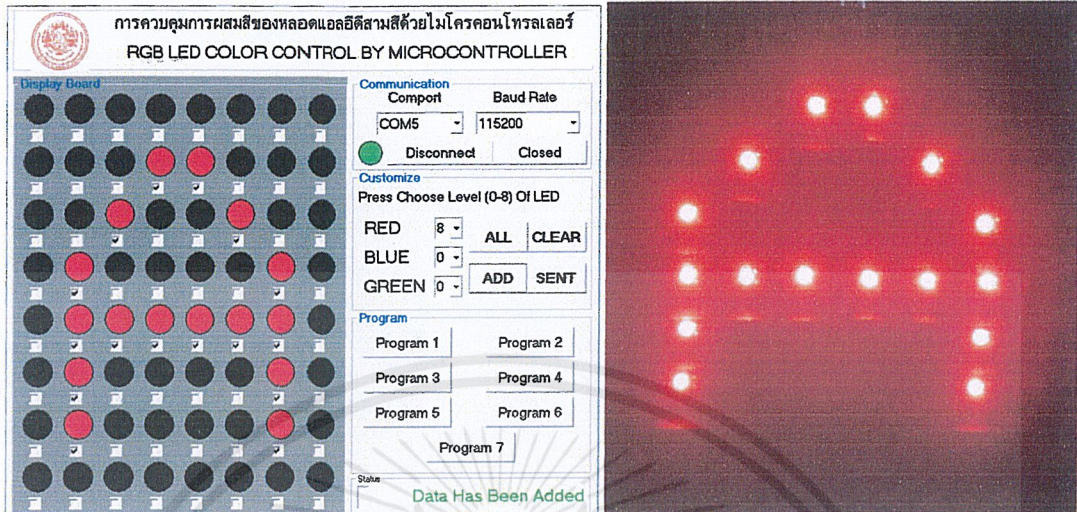
จากรูปที่ 4.19 เป็นตัวอย่างการปรับแต่งบอร์ดแสดงผลเป็นรูปแบบการแสดงผลทั้งบอร์ดสามารถปรับแต่งในรูปแบบของแถวหรือคอลัมน์ได้ เป็นไปตามที่ออกแบบในขนาด 64 พิกเซล (8 \* 8 จุด)



รูปที่ 4.20 การปรับแต่งบอร์ดแสดงผลเป็นรูปแบบรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 เป็นการแสดงตัวอย่างการปรับแต่งบอร์ดแสดงผลแสดงเป็นรูปภาพ ซึ่งสามารถปรับแต่งตำแหน่ง และสีสีนได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.21 การแสดงผลเป็นรูปแบบตัวอักษร

การแสดงผล เป็นรูปแบบตัวอักษรโดยการสร้างจากการใช้ พิกเซลตำแหน่งที่ต้องการสร้างเป็นตัวอักษรขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.21

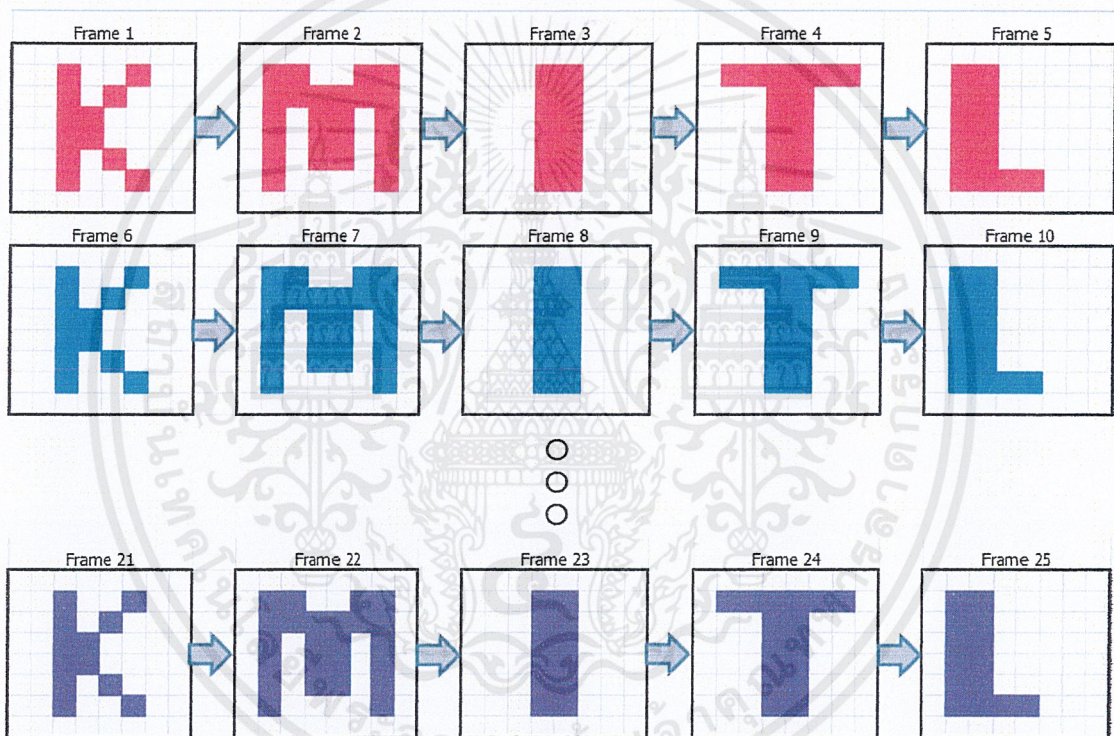
โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยผ่านโปรแกรม Visual Basic ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานโดยเป็นทั้งโปรแกรมที่ได้มีการจัดเก็บไว้ หรือสามารถควบคุมแบบระบุตำแหน่งของหลอดแอลอีดีที่ต้องการได้ รวมทั้งสามารถ ระบุหรือควบคุมการผสมสี ในตำแหน่งนั้นๆได้อีกด้วย

## การทดลองที่ 6 การประยุกต์การใช้งาน

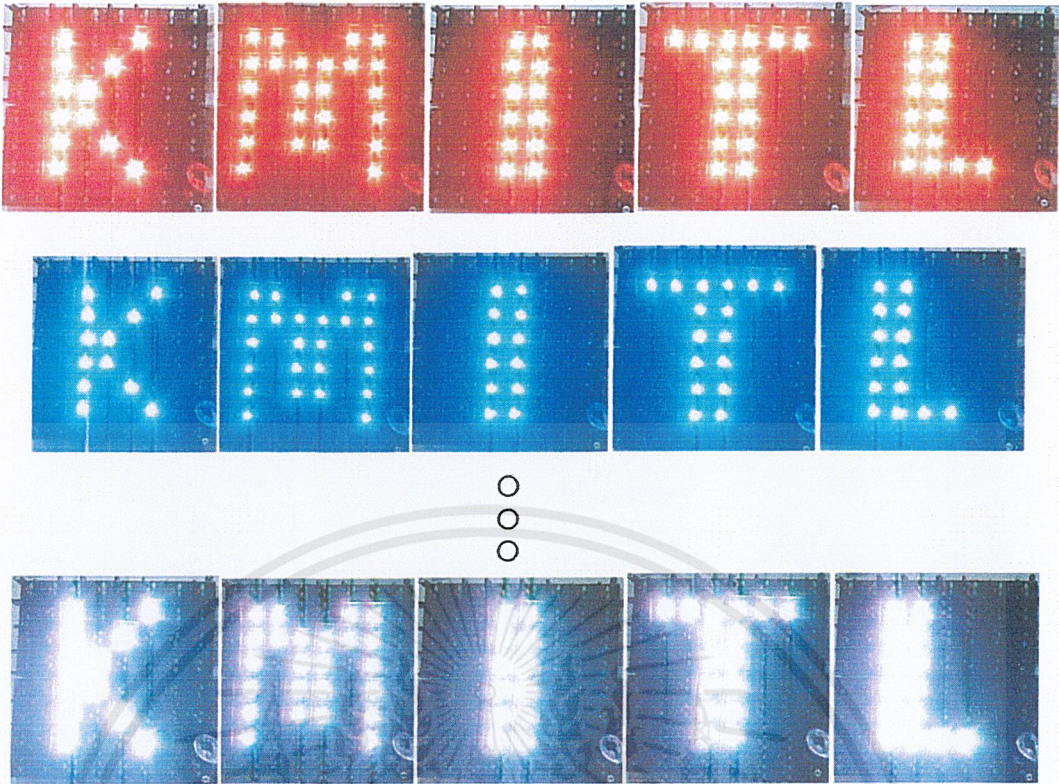
เราสามารถประยุกต์การใช้งานบอร์ดแสดงผลดังกล่าวเป็นรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวหรือเป็นตัวอักษรวิ่ง หรือรูปแบบอื่นๆได้ ตามที่ต้องการ

### การทดลองที่ 6.1 ประยุกต์สร้างตัวอักษร

ตัวอักษร K M I T L: แบบเปลี่ยนสีไปเรื่อยๆ โดยวนสีเริ่มที่ สีแดง สีนํ้าเงิน สีเหลือง สีเขียว สีม่วง ซึ่งถูกบรรจุไว้ในโปรแกรมที่ 4

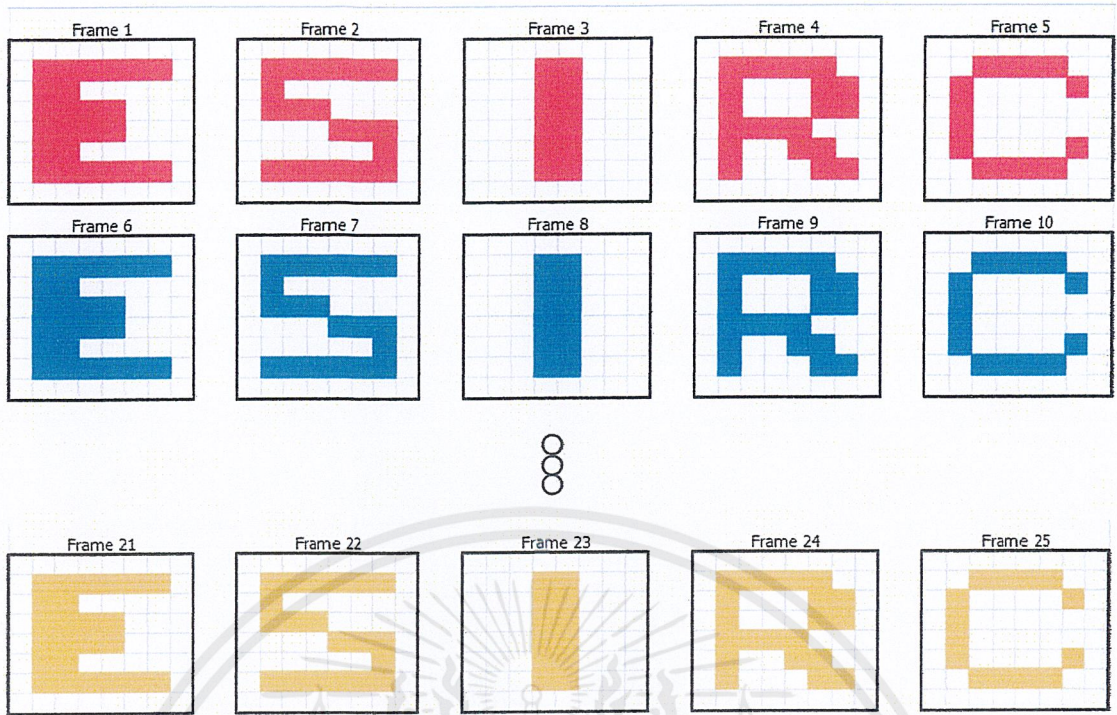


รูปที่ 4.22 การจำลองการสร้างตัวอักษร KMITL



รูปที่ 4.23 โปรแกรมแสดงตัวอักษร KMITL

ตัวอักษร E S I R C: แบบเปลี่ยนสีไปเรื่อยๆ โดยวนสีเริ่มที่ สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว สีม่วง ซึ่งถูกบรรจุไว้ในโปรแกรมที่ 5



รูปที่ 4.24 การจำลองการสร้างตัวอักษร ESIRC

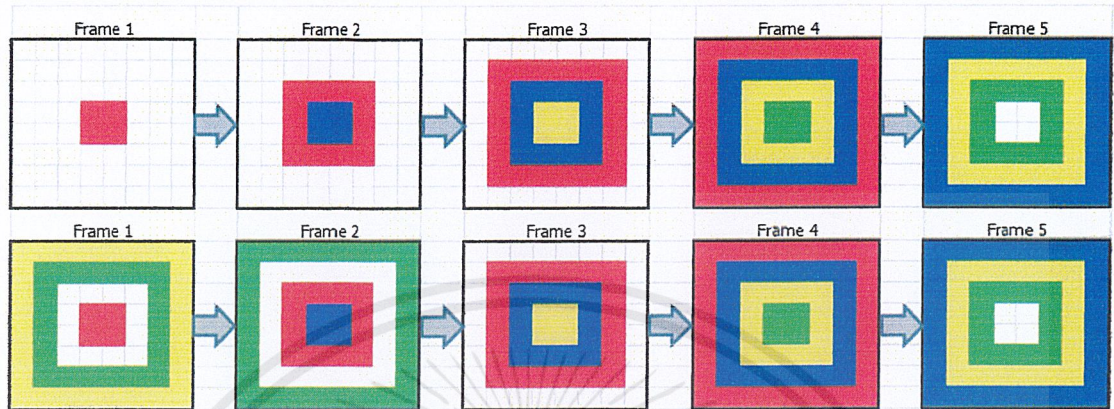


รูปที่ 4.25 โปรแกรมแสดงตัวอักษร ESIRC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การจำลองภาพสีเคลื่อนไหว

โปรแกรมนี้เป็นการประยุกต์การใช้บอร์ดแสดงผลเพื่อเป็นตัวอย่างในการแสดง การใช้ในการประดับตกแต่ง



รูปที่ 4.26 แสดงการจำลองการทำโปรแกรมภาพสีเคลื่อนไหว



รูปที่ 4.27 การประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

ในงานวิจัยนี้ เราได้ทำการศึกษาถึงการทดลองการควบคุมการผสมสีหลอดแอลอีดีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้วิธีการควบคุมค่าตัวดีไซเคิล ซึ่งทำการควบคุมโดยการใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เป็นตัวกำหนดการแสดงผลของบอร์ดแอลอีดีขนาด 8x8 พิกเซล ซึ่งมีหลักการทำงานคือ เลือกการแสดงผลที่ต้องการจากหน้าต่างโปรแกรม Visual Basic 6.0 จากนั้นโปรแกรมจะส่งข้อมูลไปที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและส่งข้อมูลไปยังตัวขับหลอด หลังจากในตัวขับหลอดรับข้อมูลมาแล้วก็จะทำการอ่านข้อมูลหลังจากนั้นจะจ่ายกระแสไปยังบอร์ดแอลอีดีเพื่อให้บอร์ดแสดงผลให้ได้ตามที่ต้องการ

จากผลการทดลองที่ได้คือสีที่ออกมามีความใกล้เคียงกับสีที่ต้องการเมื่อเทียบสีจากตารางสี แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากการที่จะให้ได้สีที่ตรงกับตารางสีนั้นต้องให้ความเข้มสีแต่ละสีที่นำมาผสมกันมีความเข้มมีความเข้มตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ แต่จากการทดลองนั้นหลอดแอลอีดีแต่ละสีเมื่อจ่ายค่ากระแสที่เท่ากันปรากฏว่ามีความเข้มของสีแต่ละสีที่ไม่เท่ากันทำให้จำเป็นต้องมีการขับหลอดแอลอีดีที่นำมาผสมกันในแต่ละสีด้วยค่าตัวดีไซเคิลไม่เท่ากันเพื่อที่จะให้สีที่ออกมานั้นได้ตรงกับสีที่เทียบจากตารางสีแต่การทดลองออกมายังมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย และจากผลการทดลองที่ได้นั้น สามารถที่จะควบคุมการผสมสีให้แยกอิสระต่อกันได้ในแต่ละพิกเซลทำให้สามารถสร้างรูปแบบการแสดงผลได้ตามความต้องการ และรูปแบบการนำเสนอได้หลากหลาย นอกจากนั้นสามารถควบคุมการผสมสีภายในพิกเซลด้วยความเข้มสีหลายระดับได้ทำให้สามารถผสมสีได้หลากหลายสี นำไปสู่การพัฒนาประยุกต์ใช้งานให้ดีขึ้นได้อีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การผสมสีของหลอดแอลอีดีตั้งนั้นสิ่งที่ควรศึกษาต่อไปคือ ควรหาค่าความถี่ให้พอเหมาะเพื่อให้ลด Switching loss เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการสวิตชิงที่ความถี่สูงเกินไป รวมไปถึงการออกแบบปรับปรุงแหล่งจ่ายไฟให้ส่วนต่างๆของวงจรมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และควรหาปริมาณกระแสที่พอเหมาะที่จะทำให้ความเข้มสีของแต่ละสีที่นำมาผสมกันมีความเข้มสีที่เท่ากัน เพื่อให้สีที่ผสมออกมามีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสีต้นแบบจากตารางสี



## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิไล แม้นถาวรสิริ, ศักดิ์ชัย เลปนะวัฒน์ และ สรณชนม์ นิชพรกุล, “บอร์ดแสดงผลโดย LED,”  
ปริญญาณิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์)),สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง, 2541.
- [2] นคร ภัคดีชาติ และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3 กับ  
STM32,” บริษัท อินโนเวตีฟ แอิกเพอริเม้นต์ จำกัด, กรุงเทพ, 2552



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีสามสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

## RGB LED COLOR CONTROL BY MICROCONTROLLER

การดา พรหมมากุล ภิญโญ สงกัลกษณ์ ภูคิท อินไทย และภูมินทร์ สุทธิชัย  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลออกคิสเพลย์ขนาด 8x8 พิกเซล ออกแบบให้ใน 1 พิกเซล มีหลอดแอลอีดี 3 หลอดคือ หลอดสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ควบคุมโดยใช้ TLC5921 เป็น ไดรฟ์เวอร์ในการขับหลอด มีหลักการทำงานโดยรวมคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลขาเข้า เมื่อรับข้อมูลเข้ามาจะทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการผสมสี จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมการผสมสีไปยังวงจรของตัวขับหลอดเพื่อให้ตัวขับหลอดส่งสัญญาณไปควบคุมสีและความสว่างของหลอดแอลอีดี โดยใช้วิธีควบคุมการผสมสีด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความถี่พัลส์และใช้การขับแบบสแตติกเพื่อให้สามารถที่จะควบคุมการผสมสีให้แยกอิสระต่อกันได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการผสมสีภายในพิกเซลด้วยความเข้มสีหลายระดับได้ นำไปสู่การพัฒนาประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายอย่างและสามารถตกแต่งสถานที่ให้มีสีสันสวยงามได้ตามต้องการ

คำสำคัญ: การขับแบบสแตติก, คิสเพลย์, พิกเซล

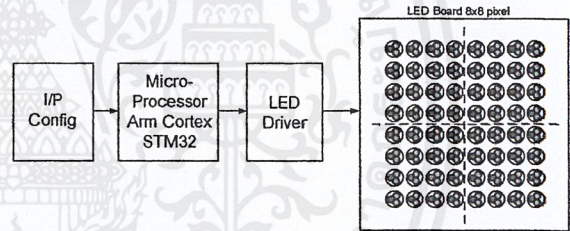
### Abstract

This paper presents the RGB LED color control by Microcontroller. Show at display board size 8x8 pixels. Controls the drive by TLC5921. The principle function is Microcontroller to receive input. When the input to be processed to control signals for color mixing. Then, Microcontroller will send a signal to control the color mixing to be drivers for drivers send signal to control the color and brightness of the LED. The control method of mixing colors by modifying the duty cycle and driving a static. To be able to control the mixing of colors independent of each other. In addition, control of color mixing in multi-color pixels with intensity levels. Bring to the development of applications and places to be decorated with colorful, if desired.

Keyword: Static, Display, Pixel

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันหลอดแอลอีดีได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้สามารถประยุกต์หลอดแอลอีดีไปใช้งานได้หลากหลาย หลอดแอลอีดีมีคุณสมบัติเด่นคือ ทนทานต่อการสั่นสะเทือน เป็นหลอดไฟที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่มีการเปิด-ปิดบ่อยครั้งโดยไม่มีปัญหาใดๆ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง และมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สูงถึง 70 ลูเมนต์/วัตต์ นอกจากนี้หลอดแอลอีดียังมีมุมมองทางแสง (View Angle) ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางแสงที่ส่องสว่างแตกต่างกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่แสงจะแพร่ไปทุกทิศทาง ทำให้หลอดแอลอีดีรักษาพลังงานที่สูญเปล่าได้จำนวนมาก แม้ว่าหลอดแอลอีดีจะถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและใช้ได้ง่ายสะดวก แต่การทำให้ได้สีตรงตามต้องการนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมการผสมสี



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานโดยรวมของวงจร

การทำงานของวงจรโดยรวมคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลขาเข้า ในที่นี้ข้อมูลขาเข้าของเราจะใช้โปรแกรม Visual Basic รับข้อมูล เมื่อรับข้อมูลเข้ามาจะทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการผสมสี จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมการผสมสีไปยังวงจรของตัวขับหลอดเพื่อให้ตัวขับหลอดส่งสัญญาณไปควบคุมสีและความสว่างของหลอดแอลอีดี

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีการผสมสี

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อนำสีเหล่านี้มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆจะทำให้เกิดสีขึ้นมาใหม่ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การผสมสีแบบบวก และการผสมสีแบบลบ โดยที่การผสมสีแบบบวกนั้นจะเป็นการผสมสีของแสง ส่วนการ

ผสมสีแบบนี้นั้นก็จะเป็นการผสมสีของสี ดังนั้นโครงการนี้เราจึงเลือกใช้การผสมสีแบบบวก ซึ่งสีที่เกิดจากการผสมแบบบวกนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มสีของแม่สีทั้งสาม โดยถ้าทั้งสามสีมีสีที่เข้มมากเท่าๆกัน เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดเป็นสีขาว แต่ถ้าไม่มีสีจากทั้งสามสีนี้เลยจะได้สีดำออกมา



(ก)



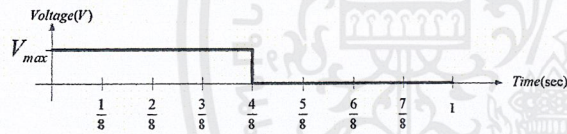
(ข)

รูปที่ 2 (ก) การผสมสีแบบบวก (ข) การผสมสีแบบลบ

## 2.2 ทฤษฎีการควบคุมการผสมสีของหลอดแอลอีดี

เราเลือกใช้การควบคุมการผสมสี โดยปรับระดับความสว่างด้วยคิวตี้ (Duty) วิธีการนี้คือการควบคุมช่วงเวลาการติด-ดับ ของหลอดแอลอีดีในแต่ละคาบการทำงาน โดยแบ่งการควบคุมเป็น 8 คาบ ทำการปรับค่าคิวตี้การสว่างของหลอด ซึ่งส่งผลให้หลอดมีความเข้มแสงตามที่ต้องการได้ เช่นที่ คิวตี้ เท่ากับ 0.5 (หรือ 4/8) คือการควบคุมให้หลอดสว่างเพียงครึ่งหนึ่งของคาบการทำงาน ดังนั้นความเข้มแสงที่ได้จะมีค่า 50% ของค่าสูงสุด ตามสมการที่ (1)

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_{on}}{T} \quad (1)$$



รูปที่ 3 Duty cycle = 0.5

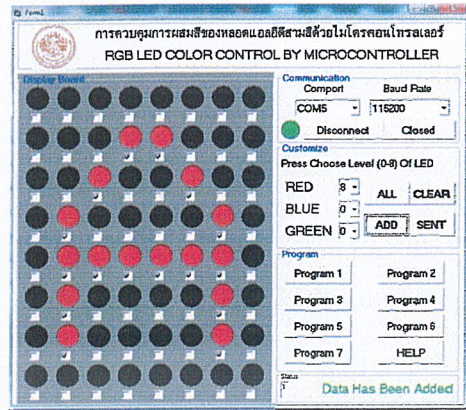
ด้วยวิธีการนี้ทำให้เราสามารถทำการผสมสีหลอดแอลอีดีสามสีได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งสามารถป้องกันหลอดแอลอีดีได้ไปพร้อมกัน เพราะในการทำงานจะควบคุมแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ตลอดการทำงาน

## 3. การออกแบบ

### 3.1 การออกแบบอินพุต

ในส่วนการออกแบบอินพุตนี้ เราจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ออกแบบให้มีฟังก์ชันการทำงานอยู่ 2 รูปแบบ คือ ฟังก์ชัน Programed และฟังก์ชัน Customize โดยที่ในฟังก์ชัน Programed นั้น จะทำการแสดงตัวอย่างของรูปแบบที่สามารถแสดงผลได้ ส่วนฟังก์ชัน Customize จะสามารถประยุกต์การแสดงผลได้ ทำให้เราสามารถออกแบบการแสดงผลได้ตรงกับความต้องการมากยิ่งขึ้น หลักการในส่วนนี้คือทำการป้อนค่าอินพุตเข้ามาจากโปรแกรม Visual Basic โดยจะส่งข้อมูลออกมาเป็น 192 ข้อมูล (ประกอบด้วย คิวตี้ ข้อมูลระดับความสว่างและตำแหน่งของพิกเซล)

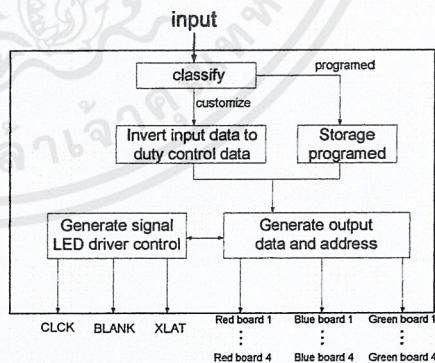
แล้วทำการส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการผสมสีต่อไป



รูปที่ 4 หน้าต่าง Visual Basic

### 3.2 การออกแบบในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์มีฟังก์ชัน โมดูล usart และใน Visual Basic 6.0 มีฟังก์ชัน โมดูล MSCOM ซึ่งทั้งคู่เป็นโมดูลสำเร็จรูปที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ 3.3 V หลักการทำงานคือ อินพุตของเราจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น เราเลือกใช้ฟังก์ชันการแสดงผลแบบ Programed ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะใช้โปรแกรมที่เก็บไว้ใน memory แสดงผล หรือถ้าเราเลือกใช้ฟังก์ชันการแสดงผลแบบ Customize ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเปลี่ยนข้อมูลอินพุตที่ออกแบบไว้ให้เป็นข้อมูลการควบคุมแบบคิวตี้ จากนั้นข้อมูลทั้งคู่อจะถูกส่งมาจัดเรียงข้อมูล เพื่อนำไปใช้สร้างตำแหน่งและระดับความสว่างของหลอดทั้ง 4 บอร์ด โดยแยกข้อมูลแต่ละสี การส่งข้อมูลไปยังตัวไคร้ฟเวอร์จะต้องทำงานสัมพันธ์กับสัญญาณควบคุมที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์

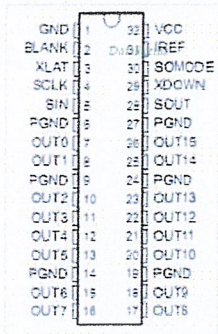


รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.3 การออกแบบไคร้ฟเวอร์

การออกแบบส่วนไคร้ฟเวอร์ที่ใช้ขับหลอดแอลอีดีจะใช้ไอซีเบอร์ TLC5921 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้สำหรับขับหลอดแอลอีดีโดยเฉพาะ ซึ่งไอซีเบอร์ TLC5921 หนึ่งตัว มีเอาต์พุต 16 ขา ดังนั้นจึงสามารถขับหลอด

แอลอีดีได้ถึง 16 หลอด ใน LED Display มีหลอดแอลอีดีสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินอย่างละ 64 หลอด ดังนั้นจึงใช้ไอซีเบอร์ TLC5921 ขับหลอด สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน สีละ 4 ตัว ซึ่งแต่ละขาที่ใช้ทำหน้าที่ต่างๆกัน ดังนี้



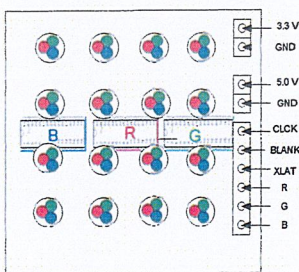
รูปที่ 6 TLC5921

**Terminal Function**

1. SIN คือขาที่ใช้รับข้อมูลอนุกรมขนาด 16 บิต ที่ใช้ควบคุมความเข้มของสีและการติดดับของหลอด ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์
2. SCLK คือขาที่ใช้รับสัญญาณนาฬิกาเพื่อใช้เป็นจังหวะในการทำงาน
3. XLAT คือขาที่ใช้ควบคุมการบันทึกข้อมูลในตัวไอซี
4. BLANK คือขาสัญญาณที่ควบคุมการลบและการแสดงผลข้อมูล
5. OUT0 – OUT15 เป็นเอาต์พุตทั้ง 16 ขาที่ใช้เชื่อมต่อกับหลอดแอลอีดี

**3.4 การออกแบบในส่วนจอแสดงผล**

การออกแบบในส่วนของจอแสดงผล เราออกแบบให้เป็นแผงเล็กขนาด 4x4 พิกเซล โดยใช้เป็น 4 แผง นำมาต่อกันเป็นแผงใหญ่ขนาด 8x8 พิกเซล ในแต่ละพิกเซลนั้นจะประกอบด้วยหลอดแอลอีดีสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินสีละ 1 หลอด เพื่อให้แต่ละพิกเซลสามารถเกิดการผสมสีกันและแสดงสีได้หลากหลายสี ซึ่งจากการออกแบบนั้นในแต่ละพิกเซลจะมีระยะห่างต่อกัน 2 เซนติเมตร ทำให้มีระยะการมองที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 เมตรขึ้นไป ในส่วนของการต่อหลอดแอลอีดีจะต่อแบบ Common Anode ซึ่งขาวอกจะรับไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์จากแหล่งจ่ายตลอดเวลา ส่วนขาลบจะเชื่อมต่อกับวงจรขับหลอดเพื่อควบคุมการติดดับของหลอด



รูปที่ 7 การออกแบบส่วนของจอแสดงผล

**3.5 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง**

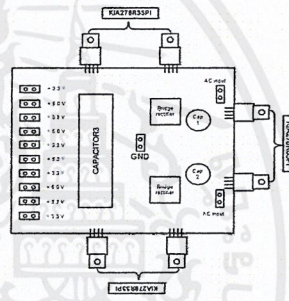
ส่วนประกอบของวงจรไฟเลี้ยงที่สำคัญ

1. ไอซีเบอร์ KIA278R33PIทำหน้าที่จ่ายแรงดันและรักษาระดับแรงดันให้คงที่ +3.3 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับหลอดแอลอีดีและไมโครคอนโทรลเลอร์ มีพิกัดกระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ สามารถรับแรงดันอินพุตได้ 4.0 โวลต์ ถึง 10 โวลต์
2. ไอซีเบอร์ KIA278R05PI ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ +5 โวลต์เพื่อป้อนแรงดันให้กับไอซี TLC5921 (LED Driver)มีพิกัดกระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ สามารถรับแรงดันอินพุตได้ 6.0 โวลต์ ถึง 12 โวลต์
3. Capacitor จะมีอยู่สองตัวคือ

3.1) Cap1 และ Cap2 เป็นตัวเก็บประจุแบบเซรามิก(ไม่มีขั้ว)ขนาด 0.33  $\mu$ F ทำหน้าที่กรองแรงดันก่อนเข้าไอซีเบอร์ KIA278R33PIและ KIA278R05PI

3.2) Capacitor 3 เป็นตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่กรองแรงดันหลังจาก ไอซีเบอร์ KIA278R33PIและ KIA278R05PI

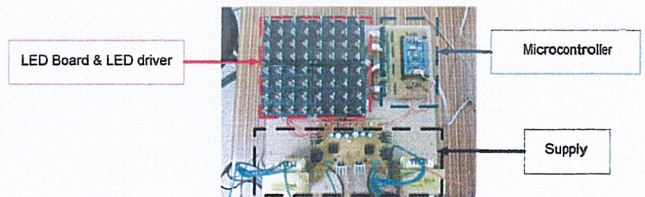
4. GND จุดต่อกราวด์ของระบบทำหน้าที่เชื่อมต่อกับกราวด์กับระบบอื่นเพื่อป้องกันการรบกวนการทำงานผิดพลาดของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 8 วงจรไฟเลี้ยง

**3.6 ผังการออกแบบวงจรทั้งหมด**

ผังการออกแบบวงจรทั้งหมด มีรูปแบบการทำงานดังนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวรับสัญญาณอินพุตเพื่อทำการประมวลผลแล้วจึงส่งสัญญาณไปยังตัวไดรฟ์เวอร์ (TLC5921) โดยที่ตัวขับหลอดจะแยกออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่ใช้ขับแสงสีแดง ส่วนที่ใช้ขับแสงสีเขียว ส่วนที่ใช้ขับแสงสีน้ำเงิน โดยที่แต่ละส่วนจะรับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจึงทำการแสดงผลออกทางจอแสดงผล



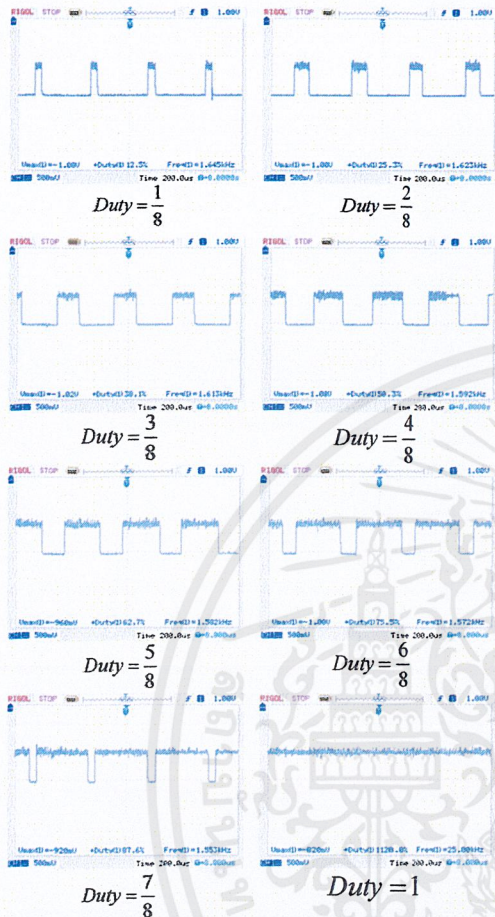
รูปที่ 9 วงจรที่ใช้ทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ผลการทดลอง

##### การทดลองที่ 1

ควบคุมความเข้มสีด้วยตัวชี้วัด (8 ระดับ) แล้ววัดค่าความเข้มแสงของแต่ละองค์ประกอบของแสงที่ระยะตั้งฉากห่างจากบอร์ดหลอดแอลอีดี 1 เมตร



รูปที่ 10 สัญญาณแรงดันที่หลอดแอลอีดีที่ค่าตัวชี้วัดเกิดต่าง

ตารางที่ 1 ข้อมูลความเข้มแสงของแต่ละองค์ประกอบของแสง

Duty	ความเข้มแสง ( lux )			
	Red	Blue	Green	White
1/8	8	1	10	13
2/8	13	2	18	29
3/8	18	3	27	41
4/8	24	4	31	46
5/8	27	5	36	53
6/8	33	6	41	61
7/8	35	7	47	68
8/8	40	8	56	77

##### การทดลองที่ 2

การทดสอบการผสมสีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับค่าสีจากตารางสี โดยการสุ่มเทียบที่ค่าสีต่างๆกัน ในส่วนของการผสมสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ได้ใช้พื้นหลังสีขาวเป็นฉากรับแสงสี

ตารางที่ 2 ผลการเทียบสีที่เกิดจากการผสมสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์

กับสีจริงจากตารางสี

การผสมสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์	การผสมสีจากตารางสี	การผสมสีจากไมโครคอนโทรลเลอร์	การผสมสีจากตารางสี
ค่าสี: RED 255:GREEN 0:BLUE 0		ค่าสี: RED 128:GREEN 64:BLUE 192	
ค่าสี: RED 0:GREEN 0:BLUE 255		ค่าสี: RED 0:GREEN 192:BLUE 64	
ค่าสี: RED 0:GREEN 255:BLUE 0		ค่าสี: RED 255:GREEN 0:BLUE 0	

##### การทดลองที่ 3

การควบคุมได้อย่างอิสระทุกตำแหน่ง แสดงผลเป็นคำว่า "KMUTT"



รูปที่ 11 ผลการควบคุมหลอดแอลอีดีแบบอิสระ

#### 5. สรุป

จากผลการทดลองควบคุมการผสมสี หลอดแอลอีดีด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้วิธีการควบคุมค่าตัวชี้วัด เพื่อให้หลอดแอลอีดีผสมแสงสีให้ได้ตามที่ต้องการ ผลการทดลองที่ได้คือสีที่ออกมามีความใกล้เคียงกับสีที่ต้องการ แต่ยังมี ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย และจากผลการทดลองที่ได้ นั้น สามารถที่จะควบคุมการผสมสีให้แยกอิสระต่อกันได้ ทำให้สามารถสร้างรูปแบบการแสดงผล รูปแบบการนำเสนอได้มากมาย นอกจากนั้นสามารถควบคุมการผสมสีภายในพิกเซลด้วยความเข้มสีหลายระดับได้ นำไปสู่การพัฒนาประยุกต์ใช้งานให้ดีขึ้นอีกด้วย

##### เอกสารอ้างอิง

- [1] วิไล แม่นถาวรศิริ, ศักดิ์ชัย เลปะนะวัฒน์ และ สรพชนม์ นิษพรกุล, "บอร์ดแสดงผลโดย LED," ปริชญานิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)),สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [2] นคร ภัคดีชาติ และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3 กับ STM32," บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเซอร์ซิเมนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลทางเทคนิคของหลอดแอลอีดีที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**SPECIFICATIONS FOR NICHIA RED LED**

**MODEL : NSPR546JS**

**NICHIA CORPORATION**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.SPECIFICATIONS

### (1) Absolute Maximum Ratings

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	IF	50	mA
Pulse Forward Current	IFP	200	mA
Reverse Voltage	VR	5	V
Power Dissipation	PD	125	mW
Operating Temperature	Topr	-30 ~ + 85	°C
Storage Temperature	Tstg	-40 ~ +100	°C
Soldering Temperature	Tsld	265°C for 10sec.	

IFP Conditions : Pulse Width ≤ 10msec. and Duty ≤ 1/10

### (2) Initial Electrical/Optical Characteristics

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Condition	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	VF	IF=20[mA]	(2.1)	2.5	V
Reverse Current	IR	VR= 5[V]	-	50	μA
Chromaticity Coordinate	x	IF=20[mA]	0.700	-	-
	y	IF=20[mA]	0.299	-	-

\* Forward Voltage Measurement allowance is ± 0.05V.

\* Please refer to CIE 1931 chromaticity diagram.

### (3) Ranking

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Condition	Min.	Max.	Unit
Luminous Intensity	Rank V	IF=20[mA]	1410	2000	mcd
	Rank U		1000	1410	
	Rank T		710	1000	

\* Luminous intensity value is traceable to the CIE 127:2007-compliant national standards.

\* Luminous Intensity Measurement allowance is ± 10%.

### Color Rank (IF=20mA, Ta=25°C)

	Rank R			
x	0.67	0.67	0.73	0.73
y	0.27	0.33	0.33	0.27

\* Color Coordinates Measurement allowance is ± 0.01.

\* Basically, a shipment shall consist of the LEDs of a combination of the above ranks.

The percentage of each rank in the shipment shall be determined by Nichia.

## 2.INITIAL OPTICAL/ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Please refer to “CHARACTERISTICS” on the following pages.

## 3.OUTLINE DIMENSIONS AND MATERIALS

Please refer to “OUTLINE DIMENSIONS” on the following page.

#### 4.PACKAGING

- The LEDs are packed in cardboard boxes after packaging in anti-electrostatic bags. Please refer to “PACKING” on the following pages.  
The label on the minimum packing unit shows ; Part Number, Lot Number, Ranking, Quantity
- In order to protect the LEDs from mechanical shock, we pack them in cardboard boxes for transportation.
- The LEDs may be damaged if the boxes are dropped or receive a strong impact against them, so precautions must be taken to prevent any damage.
- The boxes are not water resistant and therefore must be kept away from water and moisture.
- When the LEDs are transported, we recommend that you use the same packing method as Nichia.

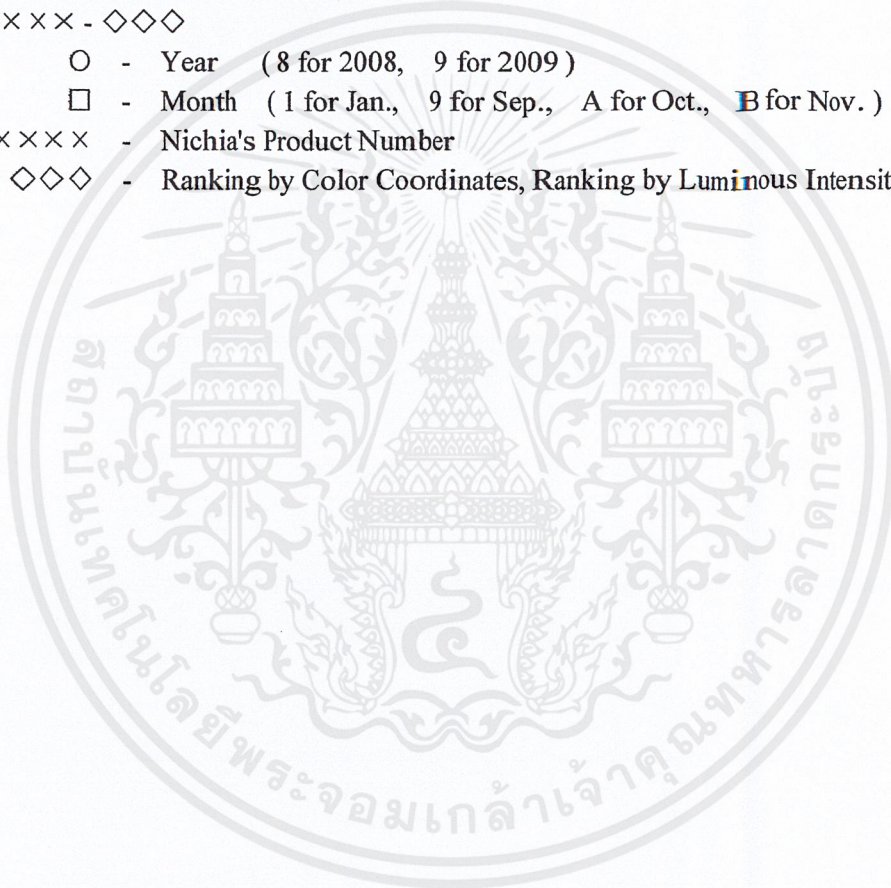
#### 5.LOT NUMBER

The first six digits number shows **lot number**.

The lot number is composed of the following characters;

○□×××× - ◇◇◇

- - Year ( 8 for 2008, 9 for 2009 )
- - Month ( 1 for Jan., 9 for Sep., A for Oct., B for Nov. )
- ×××× - Nichia's Product Number
- ◇◇◇ - Ranking by Color Coordinates, Ranking by Luminous Intensity



## 6.RELIABILITY

### (1) TEST ITEMS AND RESULTS

Test Item	Standard Test Method	Test Conditions	Note	Number of Damaged
Resistance to Soldering Heat	JEITA ED-4701 300 302	Tsld=260 ± 5°C, 10sec. 3mm from the base of the epoxy bulb	1 time	0/50
Temperature Cycle	JEITA ED-4701 100 105	-40°C ~ 25°C ~ 100°C ~ 25°C 30min. 5min. 30min. 5min.	100 cycles	0/50
Moisture Resistance Cyclic	JEITA ED-4701 200 203	25°C ~ 65°C ~ -10°C 90%RH 24hrs./1cycle	10 cycles	0/50
Terminal Strength (bending test)	JEITA ED-4701 400 401	Load 5N (0.5kgf) 0° ~ 90° ~ 0° bend 2 times	No noticeable damage	0/50
Terminal Strength (pull test)	JEITA ED-4701 400 401	Load 10N (1kgf) 10 ± 1 sec.	No noticeable damage	0/50
High Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 201	Ta=100°C	1000hrs.	0/50
Temperature Humidity Storage	JEITA ED-4701 100 103	Ta=60°C, RH=90%	1000hrs.	0/50
Low Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 202	Ta=-40°C	1000hrs.	0/50
Steady State Operating Life		Ta=25°C, If=50mA	1000hrs.	0/50
Steady State Operating Life of High Humidity Heat		60°C, RH=90%, If=20mA	500hrs.	0/50
Steady State Operating Life of Low Temperature		Ta=-30°C, If=20mA	1000hrs.	0/50

### (2) CRITERIA FOR JUDGING DAMAGE

Item	Symbol	Test Conditions	Criteria for Judgement	
			Min.	Max.
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	-	U.S.L.*) × 1.1
Reverse Current	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> =5V	-	U.S.L.*) × 2.0
Luminous Intensity	I <sub>V</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	L.S.L.**)	× 0.7

\*) U.S.L. : Upper Standard Level

\*\*) L.S.L. : Lower Standard Level

## 7.CAUTIONS

### (1) Lead Forming

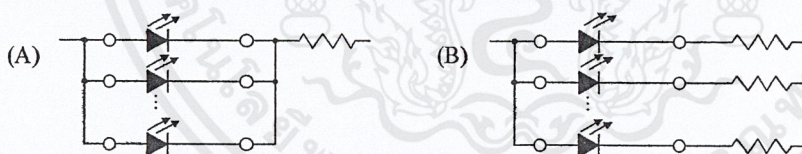
- When forming leads, the leads should be bent at a point at least 3mm from the base of the epoxy bulb. Do not use the base of the leadframe as a fulcrum during lead forming.
- Lead forming should be done before soldering.
- Do not apply any bending stress to the base of the lead. The stress to the base may damage the LED's characteristics or it may break the LEDs.
- When mounting the LEDs onto a printed circuit board, the holes on the circuit board should be exactly aligned with the leads of the LEDs. If the LEDs are mounted with stress at the leads, it causes deterioration of the epoxy resin and this will degrade the LEDs.

### (2) Storage

- The LEDs should be stored at 30°C or less and 70%RH or less after being shipped from Nichia and the storage life limits are 3 months. If the LEDs are stored for 3 months or more, they can be stored for a year in a sealed container with a nitrogen atmosphere and moisture absorbent material.
- The lead part may be affected by environments which contain corrosive substances. Please avoid conditions which may cause the LED to corrode, tarnish or discolor. This corrosion or discoloration may cause difficulty during soldering operations. It is recommended that the LEDs be used as soon as possible.
- Please avoid rapid transitions in ambient temperature, especially, in high humidity environments where condensation can occur.

### (3) Recommended circuit

- In designing a circuit, the current through each LED must not exceed the absolute maximum rating specified for each LED. It is recommended to use Circuit B which regulates the current flowing through each LED. In the meanwhile, when driving LEDs with a constant voltage in Circuit A, the current through the LEDs may vary due to the variation in forward voltage ( $V_F$ ) of the LEDs. In the worst case, some LED may be subjected to stresses in excess of the absolute maximum rating.



- This product should be operated in forward bias. A driving circuit must be designed so that the product is not subjected to either forward or reverse voltage while it is off. In particular, if a reverse voltage is continuously applied to the product, such operation can cause migration resulting in LED damage.

(4) Soldering Conditions

- Solder the LED no closer than 3mm from the base of the epoxy bulb. Soldering beyond the base of the tie bar is recommended.
- Recommended soldering conditions

Dip Soldering		Hand Soldering	
Pre-Heat	120°C Max.	Temperature	350°C Max.
Pre-Heat Time	60 seconds Max.	Soldering Time	3 seconds Max.
Solder Bath Temperature	260°C Max.	Position	No closer than 3 mm from the base of the epoxy bulb.
Dipping Time	10 seconds Max.		
Dipping Position	No lower than 3 mm from the base of the epoxy bulb.		

- Although the recommended soldering conditions are specified in the above table, dip or hand soldering at the lowest possible temperature is desirable for the LEDs.
- A rapid-rate process is not recommended for cooling the LEDs down from the peak temperature.
- Dip soldering should not be done more than one time.
- Hand soldering should not be done more than one time.
- Do not apply any stress to the lead particularly when heated.
- The LEDs must not be repositioned after soldering.
- After soldering the LEDs, the epoxy bulb should be protected from mechanical shock or vibration until the LEDs return to room temperature.
- Direct soldering onto a PC board should be avoided. Mechanical stress to the resin may be caused from warping of the PC board or from the clinching and cutting of the leadframes. When it is absolutely necessary, the LEDs may be mounted in this fashion but the customer will assume responsibility for any problems. Direct soldering should only be done after testing has confirmed that no damage, such as wire bond failure or resin deterioration, will occur. Nichia's LEDs should not be soldered directly to double sided PC boards because the heat will deteriorate the epoxy resin.
- When it is necessary to clamp the LEDs to prevent soldering failure, it is important to minimize the mechanical stress on the LEDs.
- Cut the LED leadframes at room temperature. Cutting the leadframes at high temperatures may cause failure of the LEDs.

(5) Heat Generation

- Thermal design of the end product is of paramount importance. Please consider the heat generation of the LED when making the system design. The coefficient of temperature increase per input electric power is affected by the thermal resistance of the circuit board and density of LED placement on the board, as well as other components. It is necessary to avoid intense heat generation and operate within the maximum ratings given in this specification.
- The operating current should be decided after considering the ambient maximum temperature of LEDs.

(6) Cleaning

- It is recommended that isopropyl alcohol be used as a solvent for cleaning the LEDs. When using other solvents, it should be confirmed beforehand whether the solvents will dissolve the resin or not. Freon solvents should not be used to clean the LEDs because of worldwide regulations.
- Do not clean the LEDs by the ultrasonic. When it is absolutely necessary, the influence of ultrasonic cleaning on the LEDs depends on factors such as ultrasonic power and the assembled condition. Before cleaning, a pre-test should be done to confirm whether any damage to the LEDs will occur.

(7) Safety Guideline for Human Eyes

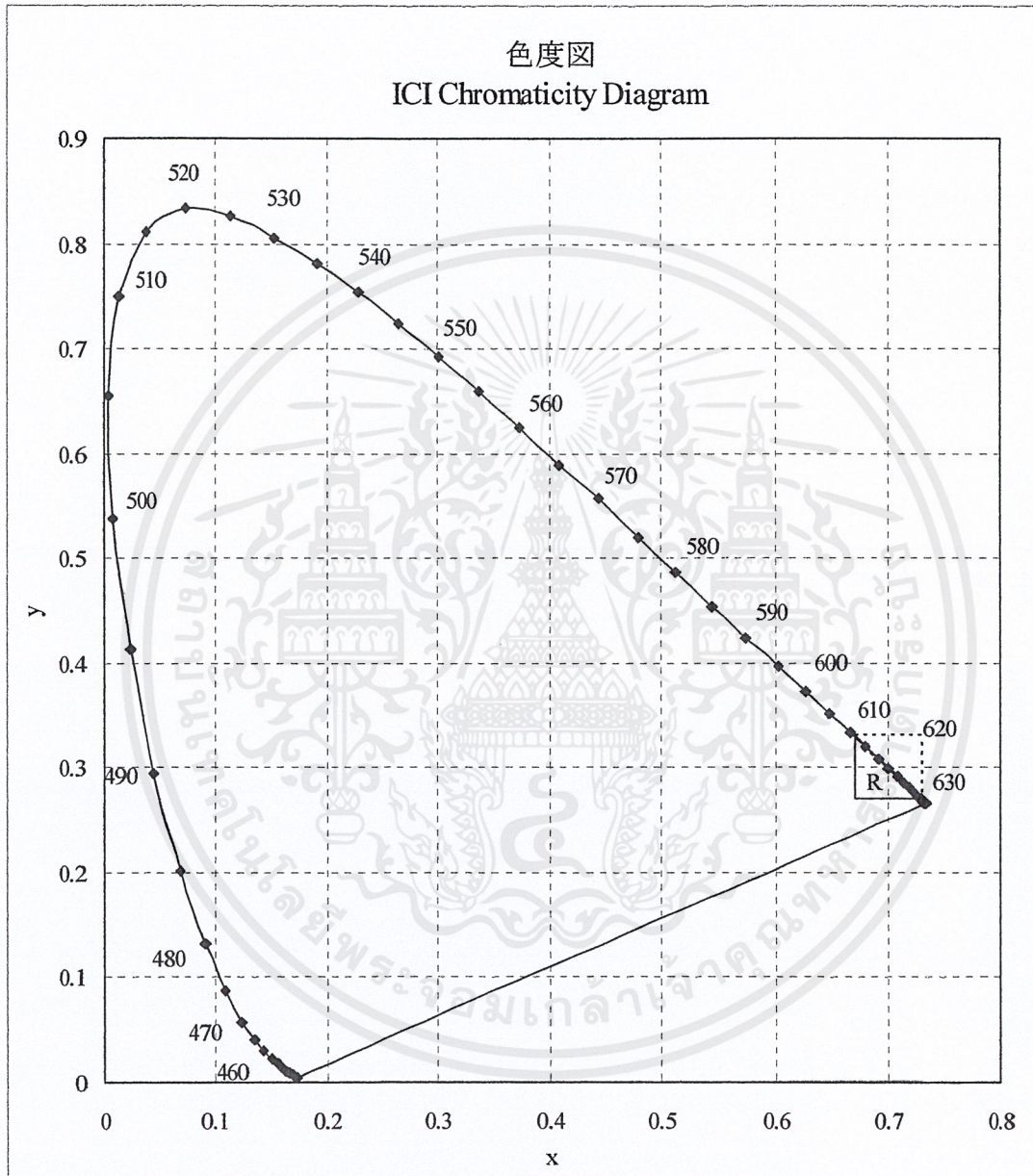
- The International Electrical Commission (IEC) published in 2006 IEC 62471:2006 *Photobiological safety of lamps and lamp systems* which includes LEDs within its scope. Meanwhile LEDs were removed from the scope of the IEC 60825-1:2007 laser safety standard, the 2001 edition of which included LED sources within its scope. However, keep in mind that some countries and regions have adopted standards based on the IEC laser safety standard IEC 60825-1:2001 which includes LEDs within its scope.

Following IEC 62471:2006, most of Nichia LEDs can be classified as belonging to either Exempt Group or Risk Group 1. Optical characteristics of a LED such as radiant flux, spectrum and light distribution are factors that affect the risk group determination of the LED. Especially a high-power LED, that emits light containing blue wavelengths, may be in Risk Group 2.

Great care should be taken when viewing directly the LED driven at high current or the LED with optical instruments, which may greatly increase the hazard to your eyes.

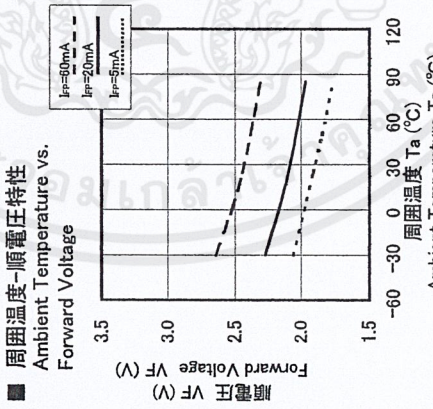
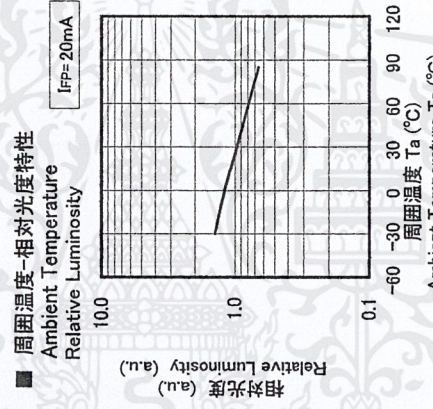
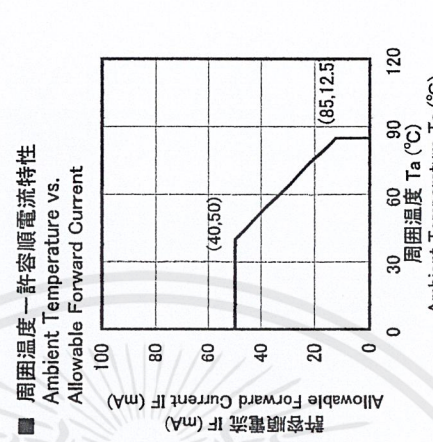
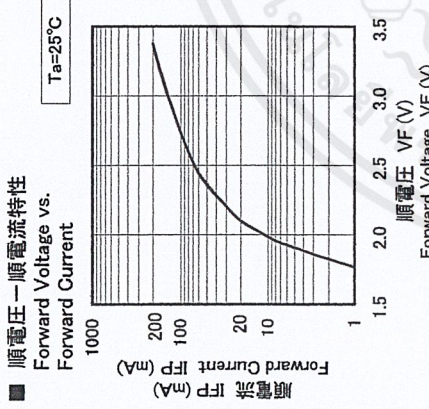
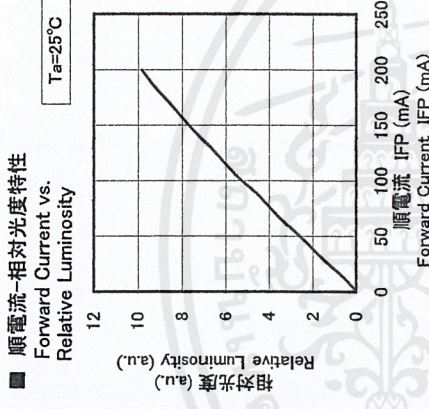
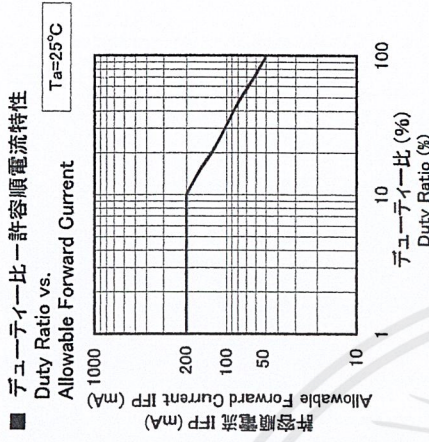
(8) Others

- NSPR546JS complies with RoHS Directive.
- Care must be taken to ensure that the reverse voltage will not exceed the absolute maximum rating when using the LEDs with matrix drive.
- Flashing lights have been known to cause discomfort in people; you can prevent this by taking precautions during use. Also, people should be cautious when using equipment that has had LEDs incorporated into it.
- The LEDs described in this brochure are intended to be used for ordinary electronic equipment (such as office equipment, communications equipment, measurement instruments and household appliances). Consult Nichia's sales staff in advance for information on the applications in which exceptional quality and reliability are required, particularly when the failure or malfunction of the LEDs may directly jeopardize life or health (such as for airplanes, aerospace, submersible repeaters, nuclear reactor control systems, automobiles, traffic control equipment, life support systems and safety devices).
- The customer shall not reverse engineer by disassembling or analysis of the LEDs without having prior written consent from Nichia. When defective LEDs are found, the customer shall inform Nichia directly before disassembling or analysis.
- The formal specifications must be exchanged and signed by both parties before large volume purchase begins.
- The appearance and specifications of the product may be modified for improvement without notice.



\* Color Coordinates Measurement allowance is  $\pm 0.01$ .

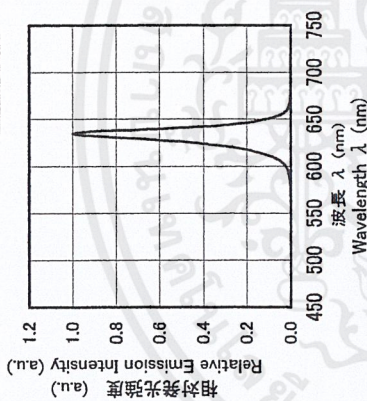
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



型名 Model	NSPRXXXX
名称 Title	初期電気/光学特性 CHARACTERISTICS
管理番号 No.	081217833431
	日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION

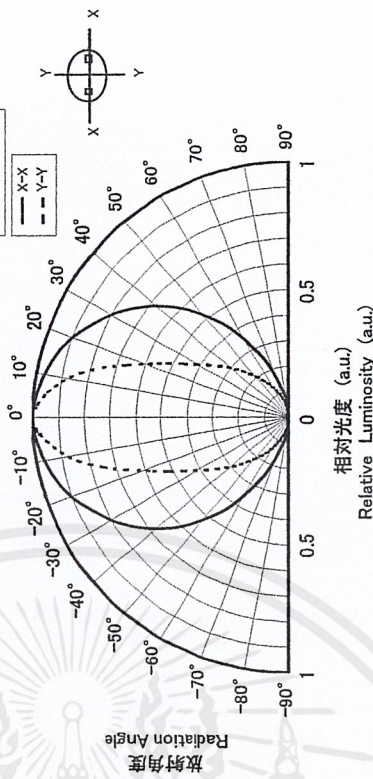
■ 発光スペクトル  
Spectrum

Ta=25°C  
If= 20mA



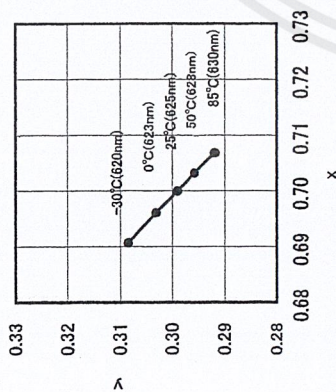
■ 指向特性  
Directivity

Ta=25°C  
If= 20mA



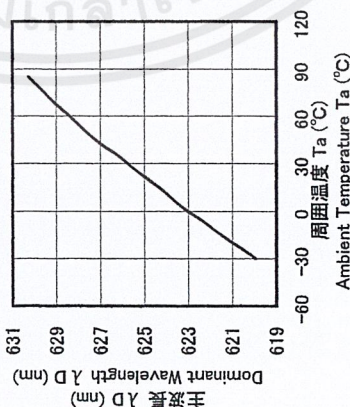
■ 周囲温度-色度(主波長)特性  
Ambient Temperature vs.  
Chromaticity Coordinate (λ D)

If= 20mA



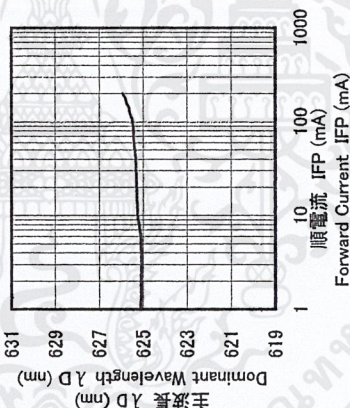
■ 周囲温度-主波長特性  
Ambient Temperature vs.  
Dominant Wavelength

If= 20mA



■ 順電流-主波長特性  
Forward Current vs.  
Dominant Wavelength

Ta=25°C



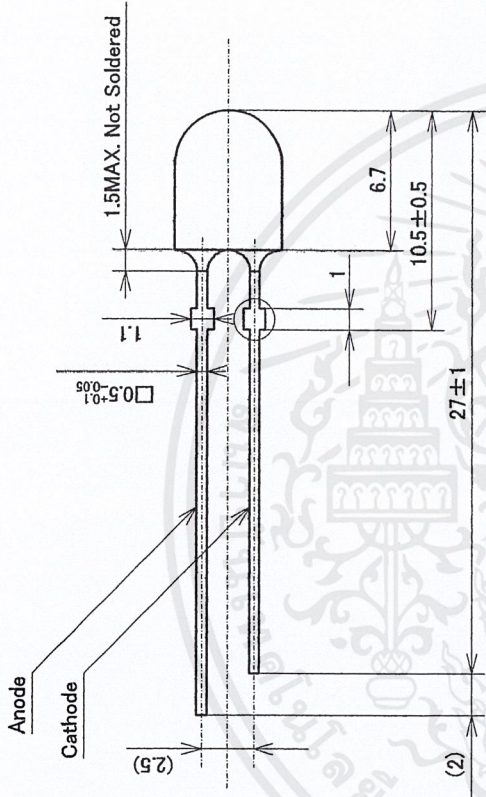
型名 Model

NSPR546JS

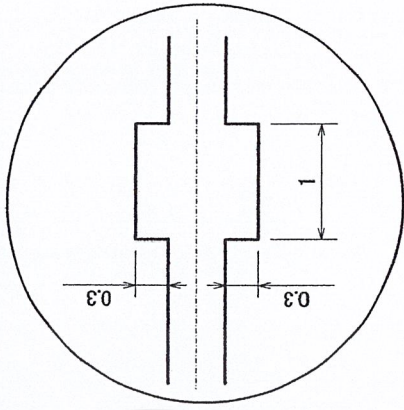
日亜化学工業 (株)  
NICHIA CORPORATION

名称 Title  
初期電気/光学特性  
CHARACTERISTICS

管理番号 No.  
090901940171



ストップパ一部分詳細図  
Detail of stopper



項目 Item	材質 Materials
樹脂 Resin	エポキシ樹脂 Epoxy Resin
レンズ色 Lens color	赤色 (拡散剤入り) Red (Diffusion type)
リードフレーム Leadframe	鉄+銀メッキ+鉛フリー(はんだメッキ) Ag plating Iron Solder-dipped leads (Lead-free)

- (注1) タイバーを切り取った部分は鉄が露出しております。またLEDには鋭利な部分があります。特にリード部分は、人体を傷つけることがありますので、取り扱いに際しては十分注意して下さい。
- (NOTE1) Please note that the bare iron showing at the cut end of the lead frame may be corroded under certain conditions. LEDs have some sharp edges and points, particularly lead frames. Please handle with care so as to avoid injuries.
- (注2) レンズ樹脂部の形状は、同じ546シリーズにおいても製品型番毎にそれぞれ異なります。製品外形に関係する部品、治具等設計の際は十分注意して下さい。
- (NOTE2) The lens design of the product line (546 series) varies depending on part number. Proper considerations should be made in designing the equipment or tools dependent on the lens design.
- (注3) はんだメッキ部に素地の着しい露出はないこととします。
- (NOTE3) No noticeable exposure of base coat for the leads with solder-dipped finishes.

型名 Model	NSPR546JS	名称 Title	外形寸法図 OUTLINE DIMENSIONS	単位 Unit	mm
	日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No.	090909940181	公差 Allow	±0.2

袋の表示 Print

ダンボール Cardboard

帯電防止袋 Anti-electrostatic bag

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

ダンボール本体 Cardboard box 360×135×215×4t

ラベル Label

\* 1箱は最大8袋とします。  
One box contains 8 bags at maximum.

型名 Model NxPxxxxxx	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833712

袋の表示 Print

ダンボール Cardboard

帯電防止袋 Anti-electrostatic bag

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

内箱 Cardboard box A

ダンボール Cardboard

ダンボール本体 Cardboard box B 360×135×215×4t

ラベル Label

\* 内箱の個数は最大2箱までとします。  
The cardboard box B contains 2 cardboard box A at maximum.

\* 外箱に本ラベルを貼り付ける。  
This label is placed on the cardboard box B.

型名 Model NxPxxxxxx	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833722

ダンボール Cardboard

帯電防止袋 Anti-electrostatic bag

ダンボール Cardboard

ダンボール本体 Cardboard box 425 × 135 × 355 × 4t

袋の表示 Print

ラベル Label

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

\* 1箱は最大20袋とします。  
One box contains 20 bags at maximum.

型名 Model <b>NxPxxxxxx</b>	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090413833733

ダンボール Cardboard

帯電防止袋 Anti-electrostatic bag

内箱 Cardboard box A

ダンボール Cardboard

ダンボール本体 Cardboard box B 425 × 135 × 355 × 4t

袋の表示 Print


ラベル Label

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

\* 外箱に本ラベルを貼り付ける。  
This label is placed on the cardboard box B.

\* 内箱の個数は最大4箱までとします。  
The cardboard box B contains  
4 cardboard box A at maximum.

型名 Model <b>NxPxxxxxx</b>	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833742



**SPECIFICATIONS FOR NICHIA GREEN LED**  
**MODEL : NSPG546HS**

**NICHIA CORPORATION**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.SPECIFICATIONS

### (1) Absolute Maximum Ratings

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	IF	35	mA
Pulse Forward Current	IFP	110	mA
Reverse Voltage	VR	5	V
Power Dissipation	PD	126	mW
Operating Temperature	Topr	-30 ~ + 85	°C
Storage Temperature	Tstg	-40 ~ +100	°C
Soldering Temperature	Tsld	265°C for 10sec.	

IFP Conditions : Pulse Width ≤ 10msec. and Duty ≤ 1/10

### (2) Initial Electrical/Optical Characteristics

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Condition	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	VF	IF=20[mA]	(3.2)	3.6	V
Reverse Current	IR	VR= 5[V]	-	50	μA
Luminous Intensity	Iv	IF=20[mA]	(2700)	-	mcd
Chromaticity Coordinate	x	IF=20[mA]	0.189	-	-
	y	IF=20[mA]	0.718	-	-

\* Forward Voltage Measurement allowance is ± 0.05V.

\* Luminous intensity value is traceable to the CIE 127:2007-compliant national standards.

\* Please refer to CIE 1931 chromaticity diagram.

### (3) Ranking

(Ta=25°C)

Item	Symbol	Condition	Min.	Max.	Unit
Luminous Intensity	Rank V	IF=20[mA]	3420	4760	mcd
	Rank U		2380	3420	
	Rank T		1710	2380	

\* Luminous Intensity Measurement allowance is ± 10%.

### Color Ranks

(IF=20mA, Ta=25°C)

Rank G0e						
x	0.156	0.127	0.159	0.203	0.222	0.184
y	0.676	0.733	0.750	0.750	0.688	0.690

Rank Hc					
x	0.222	0.203	0.249	0.266	0.274
y	0.688	0.750	0.738	0.724	0.677

\* Color Coordinates Measurement allowance is ± 0.01.

\* Basically, a shipment shall consist of the LEDs of a combination of the above ranks.

The percentage of each rank in the shipment shall be determined by Nichia.

## 2.INITIAL OPTICAL/ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Please refer to "CHARACTERISTICS" on the following pages.

### 3.OUTLINE DIMENSIONS AND MATERIALS

Please refer to “OUTLINE DIMENSIONS” on the following page.

### 4.PACKAGING

- The LEDs are packed in cardboard boxes after packaging in anti-electrostatic bags.  
Please refer to “PACKING” on the following pages.  
The label on the minimum packing unit shows ; Part Number, Lot Number, Ranking, Quantity
- In order to protect the LEDs from mechanical shock, we pack them in cardboard boxes for transportation.
- The LEDs may be damaged if the boxes are dropped or receive a strong impact against them, so precautions must be taken to prevent any damage.
- The boxes are not water resistant and therefore must be kept away from water and moisture.
- When the LEDs are transported, we recommend that you use the same packing method as Nichia.

### 5.LOT NUMBER

The first six digits number shows **lot number**.

The lot number is composed of the following characters;

○□×××× - ◇◇◇

○ - Year ( 8 for 2008, 9 for 2009 )

□ - Month ( 1 for Jan., 9 for Sep., A for Oct., B for Nov. )

×××× - Nichia's Product Number

◇◇◇ - Ranking by Color Coordinates, Ranking by Luminous Intensity

## 6.RELIABILITY

### (1) TEST ITEMS AND RESULTS

Test Item	Standard Test Method	Test Conditions	Note	Number of Damaged
Resistance to Soldering Heat	JEITA ED-4701 300 302	Tsld=260 ± 5°C, 10sec. 3mm from the base of the epoxy bulb	1 time	0/50
Temperature Cycle	JEITA ED-4701 100 105	-40°C ~ 25°C ~ 100°C ~ 25°C 30min. 5min. 30min. 5min.	100 cycles	0/50
Moisture Resistance Cyclic	JEITA ED-4701 200 203	25°C ~ 65°C ~ -10°C 90%RH 24hrs./1cycle	10 cycles	0/50
Terminal Strength (bending test)	JEITA ED-4701 400 401	Load 5N (0.5kgf) 0° ~ 90° ~ 0° bend 2 times	Nonnoticeable damage	0/50
Terminal Strength (pull test)	JEITA ED-4701 400 401	Load 10N (1kgf) 10 ± 1 sec.	Nonnoticeable damage	0/50
High Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 201	Ta=100°C	1000hrs.	0/50
Temperature Humidity Storage	JEITA ED-4701 100 103	Ta=60°C, RH=90%	1000hrs.	0/50
Low Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 202	Ta=-40°C	1000hrs.	0/50
Steady State Operating Life		Ta=25°C, If=35mA	1000hrs.	0/50
Steady State Operating Life of High Humidity Heat		60°C, RH=90%, If=20mA	500hrs.	0/50
Steady State Operating Life of Low Temperature		Ta=-30°C, If=20mA	1000hrs.	0/50

### (2) CRITERIA FOR JUDGING DAMAGE

Item	Symbol	Test Conditions	Criteria for Judgement	
			Min.	Max.
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	-	U.S.L.*) × 1.1
Reverse Current	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> =5V	-	U.S.L.*) × 2.0
Luminous Intensity	I <sub>V</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	L.S.L.**)	× 0.7

\*) U.S.L. : Upper Standard Level

\*\*) L.S.L. : Lower Standard Level

## 7. CAUTIONS

### (1) Lead Forming

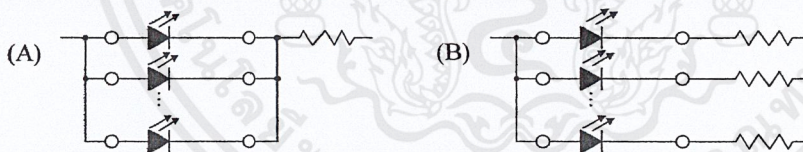
- When forming leads, the leads should be bent at a point at least 3mm from the base of the epoxy bulb. Do not use the base of the leadframe as a fulcrum during lead forming.
- Lead forming should be done before soldering.
- Do not apply any bending stress to the base of the lead. The stress to the base may damage the LED's characteristics or it may break the LEDs.
- When mounting the LEDs onto a printed circuit board, the holes on the circuit board should be exactly aligned with the leads of the LEDs. If the LEDs are mounted with stress at the leads, it causes deterioration of the epoxy resin and this will degrade the LEDs.

### (2) Storage

- The LEDs should be stored at 30°C or less and 70%RH or less after being shipped from Nichia and the storage life limits are 3 months. If the LEDs are stored for 3 months or more, they can be stored for a year in a sealed container with a nitrogen atmosphere and moisture absorbent material.
- The lead part may be affected by environments which contain corrosive substances. Please avoid conditions which may cause the LED to corrode, tarnish or discolor. This corrosion or discoloration may cause difficulty during soldering operations. It is recommended that the LEDs be used as soon as possible.
- Please avoid rapid transitions in ambient temperature, especially, in high humidity environments where condensation can occur.

### (3) Recommended circuit

- In designing a circuit, the current through each LED must not exceed the absolute maximum rating specified for each LED. It is recommended to use Circuit B which regulates the current flowing through each LED. In the meanwhile, when driving LEDs with a constant voltage in Circuit A, the current through the LEDs may vary due to the variation in forward voltage ( $V_F$ ) of the LEDs. In the worst case, some LED may be subjected to stresses in excess of the absolute maximum rating.



- This product should be operated in forward bias. A driving circuit must be designed so that the product is not subjected to either forward or reverse voltage while it is off. In particular, if a reverse voltage is continuously applied to the product, such operation can cause migration resulting in LED damage.

#### (4) Static Electricity

- Static electricity or surge voltage damages the LEDs.  
It is recommended that a wrist band or an anti-electrostatic glove be used when handling the LEDs.
- All devices, equipment and machinery must be properly grounded. It is recommended that precautions be taken against surge voltage to the equipment that mounts the LEDs.
- When inspecting the final products in which LEDs were assembled, it is recommended to check whether the assembled LEDs are damaged by static electricity or not. It is easy to find static-damaged LEDs by a light-on test or a VF test at a lower current (below 1mA is recommended).
- Damaged LEDs will show some unusual characteristics such as the leak current remarkably increases, the forward voltage becomes lower, or the LEDs do not light at the low current.

Criteria : (VF > 2.0V at IF=0.5mA)

#### (5) Soldering Conditions

- Solder the LED no closer than 3mm from the base of the epoxy bulb. Soldering beyond the base of the tie bar is recommended.
- Recommended soldering conditions

Dip Soldering		Hand Soldering	
Pre-Heat	120°C Max.	Temperature	350°C Max.
Pre-Heat Time	60 seconds Max.	Soldering Time	3 seconds Max.
Solder Bath	260°C Max.	Position	No closer than 3 mm from the base of the epoxy bulb.
Temperature			
Dipping Time	10 seconds Max.		
Dipping Position	No lower than 3 mm from the base of the epoxy bulb.		

- Although the recommended soldering conditions are specified in the above table, dip or hand soldering at the lowest possible temperature is desirable for the LEDs.
- A rapid-rate process is not recommended for cooling the LEDs down from the peak temperature.
- Dip soldering should not be done more than one time.
- Hand soldering should not be done more than one time.
- Do not apply any stress to the lead particularly when heated.
- The LEDs must not be repositioned after soldering.
- After soldering the LEDs, the epoxy bulb should be protected from mechanical shock or vibration until the LEDs return to room temperature.
- Direct soldering onto a PC board should be avoided. Mechanical stress to the resin may be caused from warping of the PC board or from the clinching and cutting of the leadframes. When it is absolutely necessary, the LEDs may be mounted in this fashion but the customer will assume responsibility for any problems. Direct soldering should only be done after testing has confirmed that no damage, such as wire bond failure or resin deterioration, will occur. Nichia's LEDs should not be soldered directly to double sided PC boards because the heat will deteriorate the epoxy resin.
- When it is necessary to clamp the LEDs to prevent soldering failure, it is important to minimize the mechanical stress on the LEDs.
- Cut the LED leadframes at room temperature. Cutting the leadframes at high temperatures may cause failure of the LEDs.

(6) Heat Generation

- Thermal design of the end product is of paramount importance. Please consider the heat generation of the LED when making the system design. The coefficient of temperature increase per input electric power is affected by the thermal resistance of the circuit board and density of LED placement on the board, as well as other components. It is necessary to avoid intense heat generation and operate within the maximum ratings given in this specification.
- The operating current should be decided after considering the ambient maximum temperature of LEDs.

(7) Cleaning

- It is recommended that isopropyl alcohol be used as a solvent for cleaning the LEDs. When using other solvents, it should be confirmed beforehand whether the solvents will dissolve the resin or not. Freon solvents should not be used to clean the LEDs because of worldwide regulations.
- Do not clean the LEDs by the ultrasonic. When it is absolutely necessary, the influence of ultrasonic cleaning on the LEDs depends on factors such as ultrasonic power and the assembled condition. Before cleaning, a pre-test should be done to confirm whether any damage to the LEDs will occur.

(8) Safety Guideline for Human Eyes

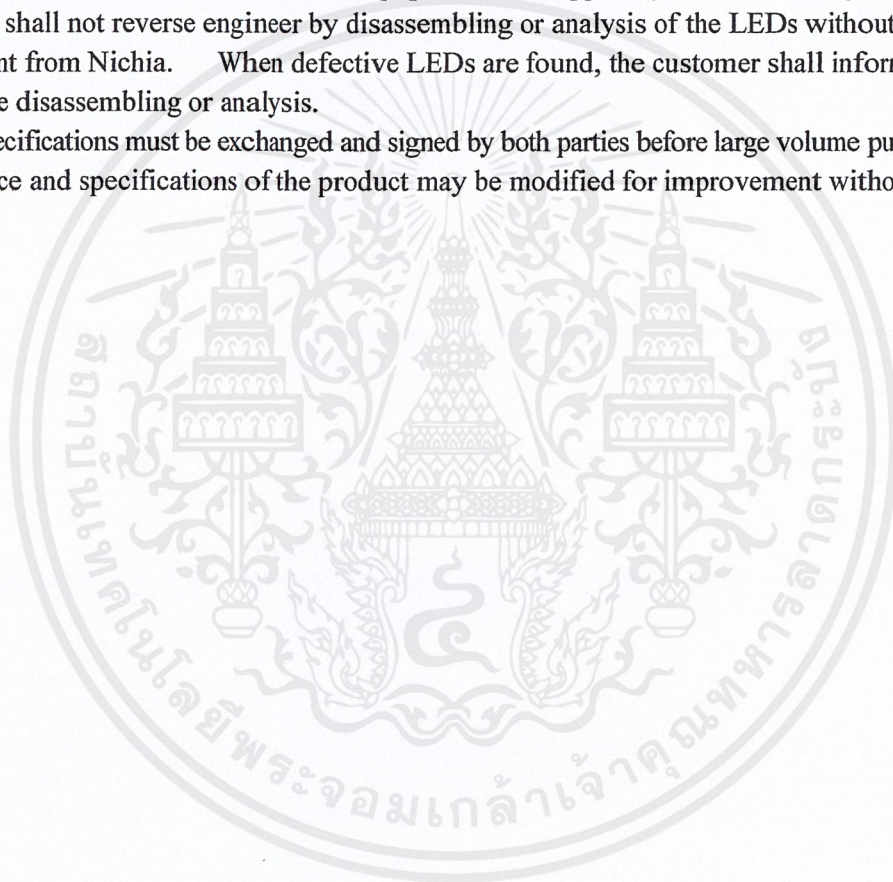
- The International Electrical Commission (IEC) published in 2006 IEC 62471:2006 *Photobiological safety of lamps and lamp systems* which includes LEDs within its scope. Meanwhile LEDs were removed from the scope of the IEC 60825-1:2007 laser safety standard, the 2001 edition of which included LED sources within its scope. However, keep in mind that some countries and regions have adopted standards based on the IEC laser safety standard IEC 60825-1:2001 which includes LEDs within its scope.

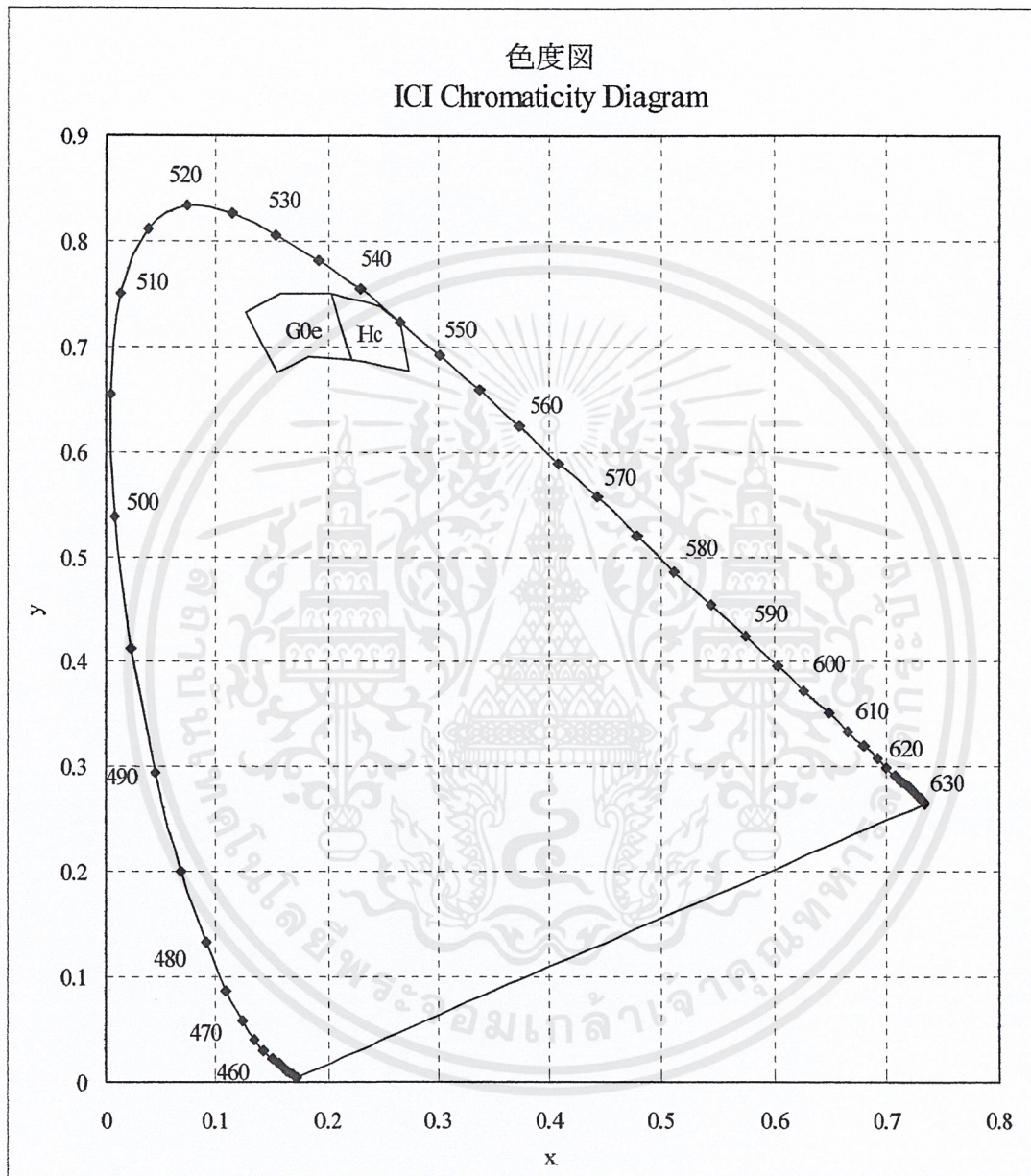
Following IEC 62471:2006, most of Nichia LEDs can be classified as belonging to either Exempt Group or Risk Group 1. Optical characteristics of a LED such as radiant flux, spectrum and light distribution are factors that affect the risk group determination of the LED. Especially a high-power LED, that emits light containing blue wavelengths, may be in Risk Group 2.

Great care should be taken when viewing directly the LED driven at high current or the LED with optical instruments, which may greatly increase the hazard to your eyes.

(9) Others

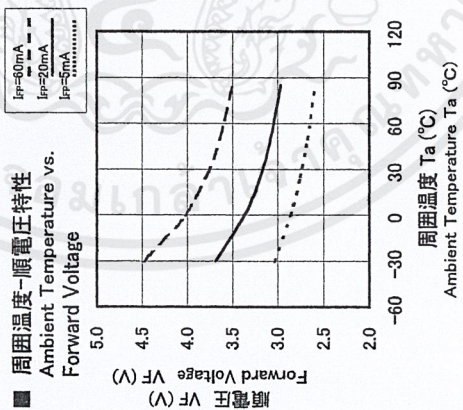
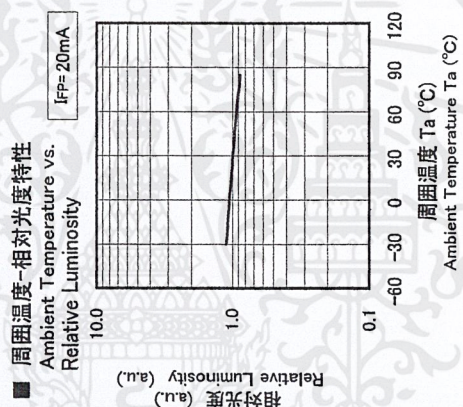
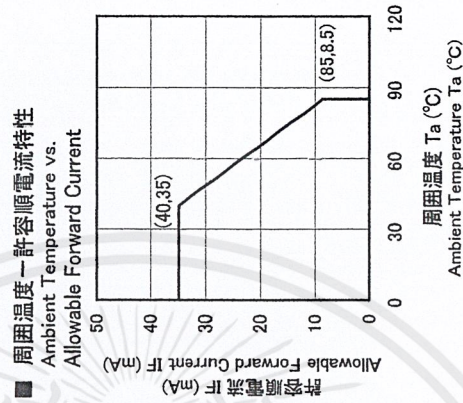
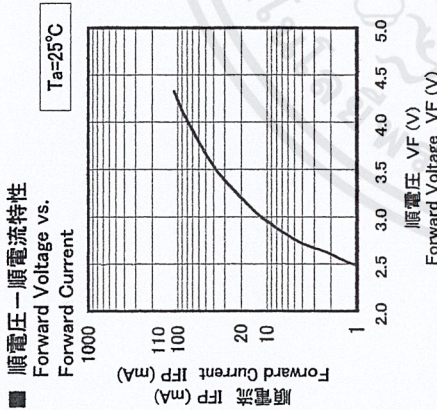
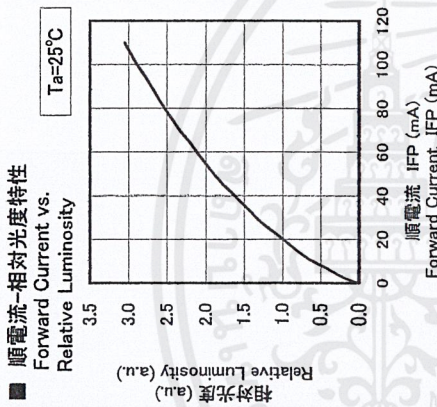
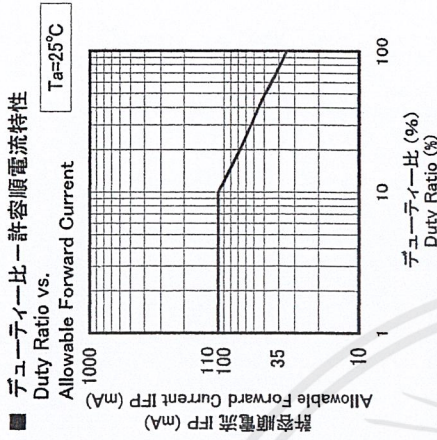
- NSPG546HS complies with RoHS Directive.
- Care must be taken to ensure that the reverse voltage will not exceed the absolute maximum rating when using the LEDs with matrix drive.
- Flashing lights have been known to cause discomfort in people; you can prevent this by taking precautions during use. Also, people should be cautious when using equipment that has had LEDs incorporated into it.
- The LEDs described in this brochure are intended to be used for ordinary electronic equipment (such as office equipment, communications equipment, measurement instruments and household appliances). Consult Nichia's sales staff in advance for information on the applications in which exceptional quality and reliability are required, particularly when the failure or malfunction of the LEDs may directly jeopardize life or health (such as for airplanes, aerospace, submersible repeaters, nuclear reactor control systems, automobiles, traffic control equipment, life support systems and safety devices).
- The customer shall not reverse engineer by disassembling or analysis of the LEDs without having prior written consent from Nichia. When defective LEDs are found, the customer shall inform Nichia directly before disassembling or analysis.
- The formal specifications must be exchanged and signed by both parties before large volume purchase begins.
- The appearance and specifications of the product may be modified for improvement without notice.



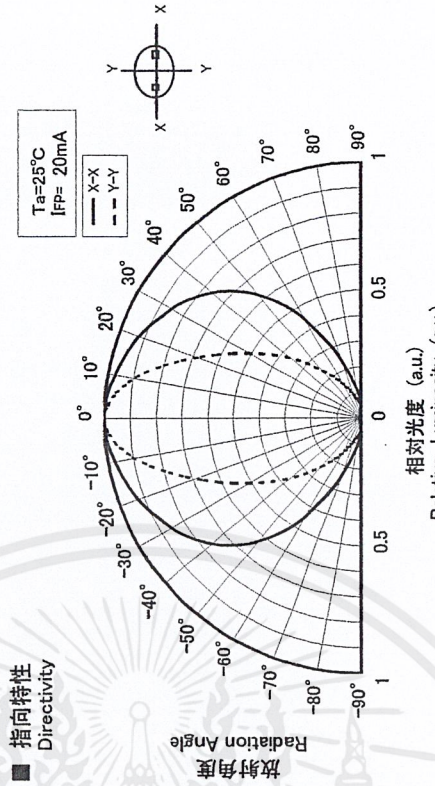
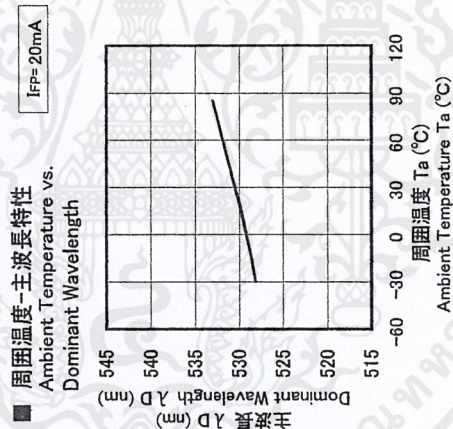
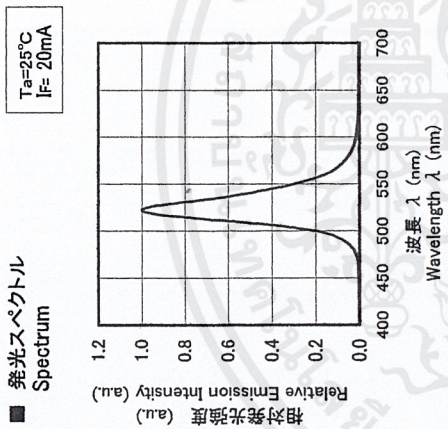
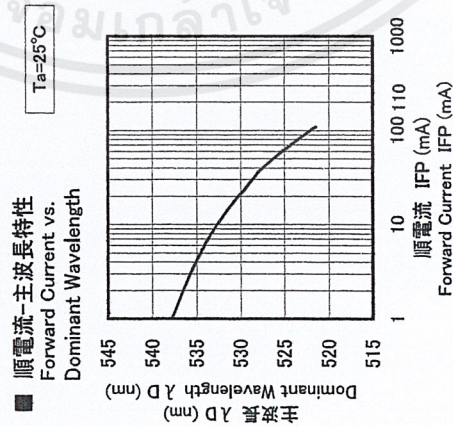
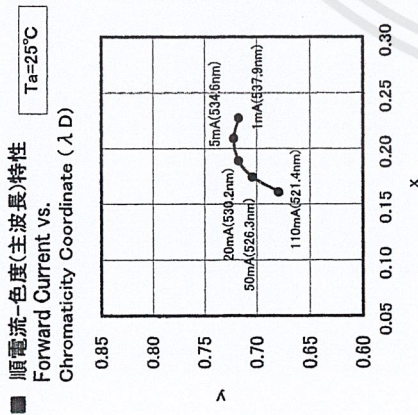


\* Color Coordinates Measurement allowance is  $\pm 0.01$ .

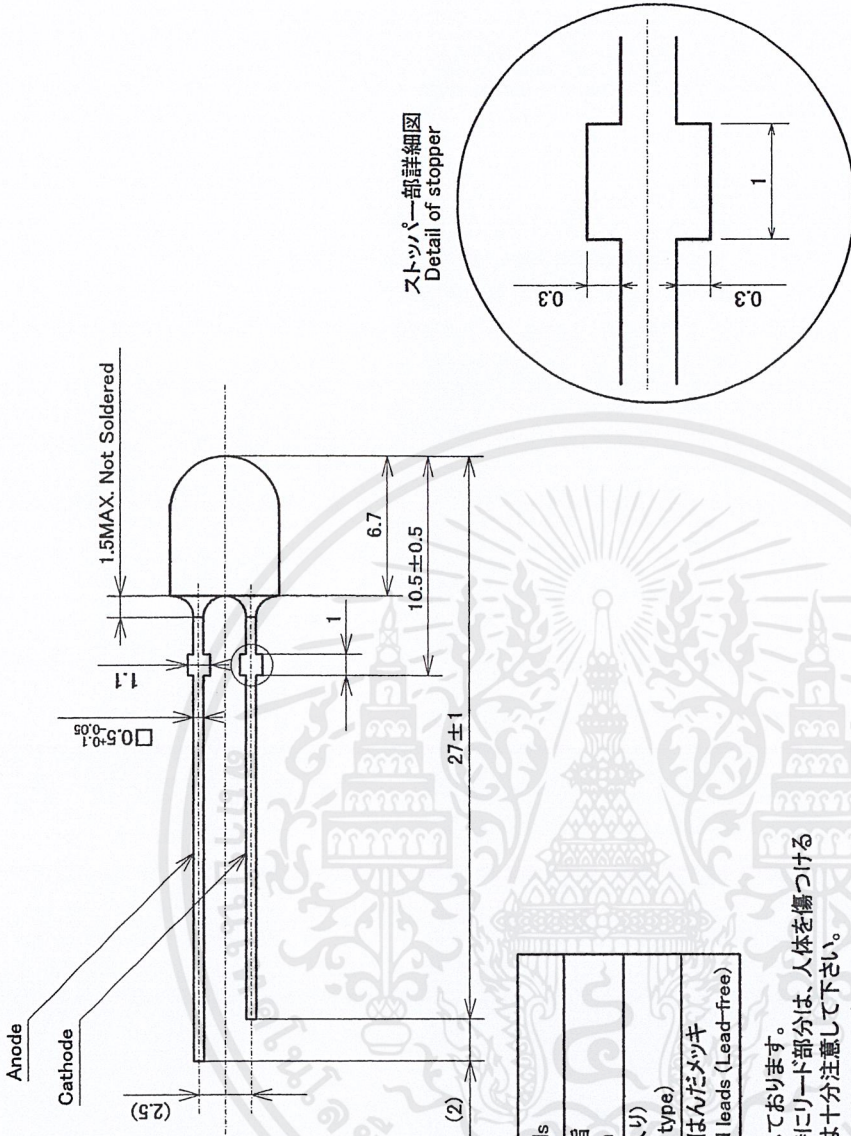
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



型名 Model	NSPGXXXX	名称 Title	初期電気/光学特性 CHARACTERISTICS
		管理番号 No.	090107934381
	日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION		



型名 Model	NSPG546HS	名称 Title	初期電気/光学特性 CHARACTERISTICS
	日亜化学工業 (株)	管理番号 No.	090901 940151
	NICHIA CORPORATION		



ストップパー部詳細図  
Detail of stopper

項目 Item	材質 Materials
樹脂 Resin	エポキシ樹脂 Epoxy Resin
レンズ色 Lens color	緑色 (拡散剤入り) Green (Diffusion type)
リードフレーム Leadframe	鉄+銀メッキ+鉛フリーはんだメッキ Ag plating Iron Solder-dipped leads (Lead-free)

(注1) タイバーを切り取った部分は鉄が露出しております。またLEDには鋭利な部分があります。特にリード部分は、人体を傷つけることがありますので、取り扱いに際しては十分注意して下さい。

(NOTE1) Please note that the bare iron showing at the cut end of the lead frame may be corroded under certain conditions. LEDs have some sharp edges and points, particularly lead frames. Please handle with care so as to avoid injuries.

(注2) レンズ樹脂部の形状は、同じ546シリーズにおいても製品型番毎にそれぞれ異なります。製品外形に関係する部品、治具等設計の際は十分注意して下さい。

(NOTE2) The lens design of the product line (546 series) varies depending on part number. Proper considerations should be made in designing the equipment or tools dependent on the lens design.

(注3) はんだメッキ部に薬地の著しい露出はないこととします。

(NOTE3) No noticeable exposure of base coat for the leads with solder-dipped finishes.

型名 Model

NSPG546HS

日亜化学工業 (株)  
NICHIA CORPORATION

名称 Title

外形寸法図  
OUTLINE DIMENSIONS

管理番号 No.

090909940161

単位 Unit

mm

公差 Allow

±0.2

袋の表示 Print

ラベル Label

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

\*1箱は最大8袋とします。  
One box contains 8 bags at maximum.

型名 Model <b>NxPxxxxxx</b>	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833712

袋の表示 Print

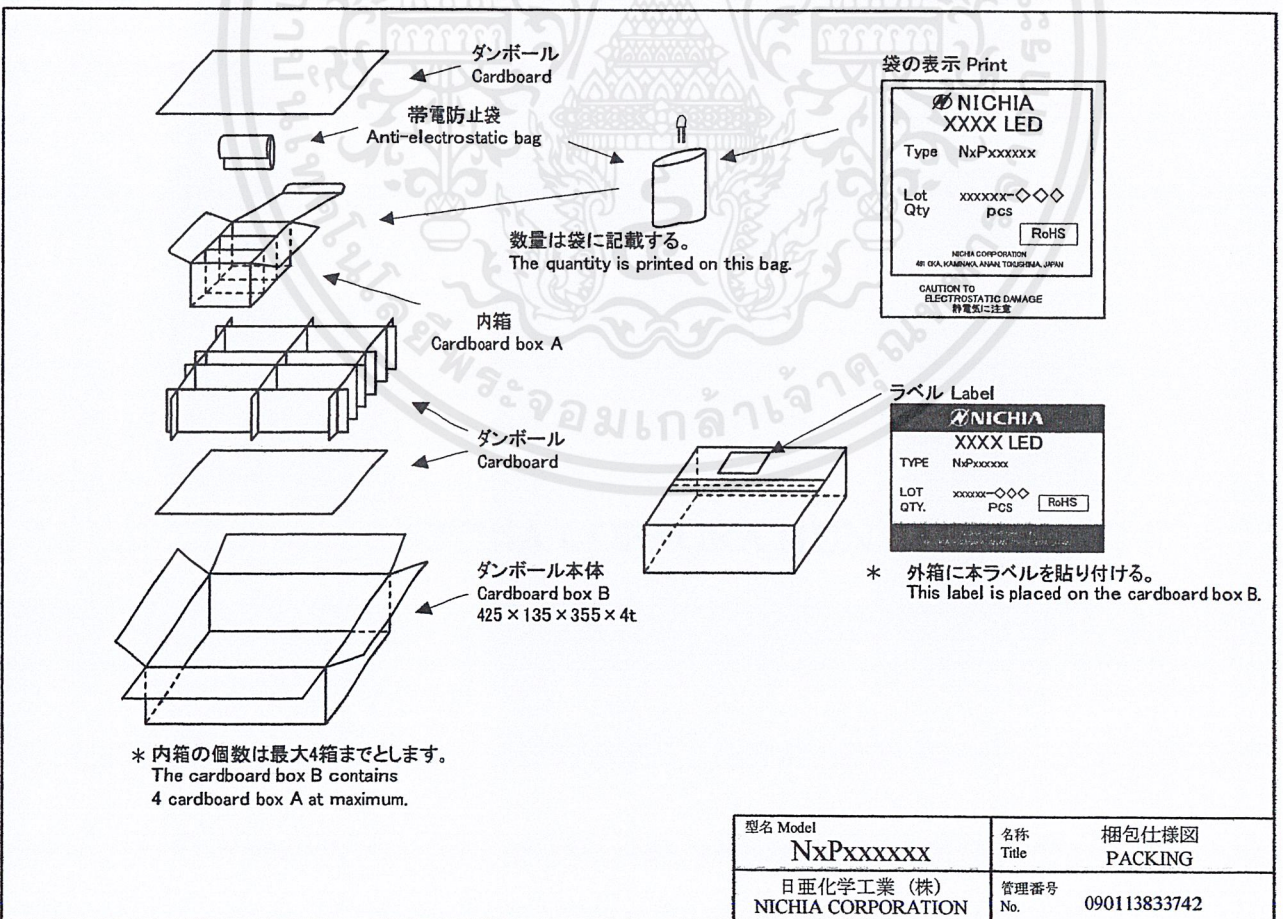
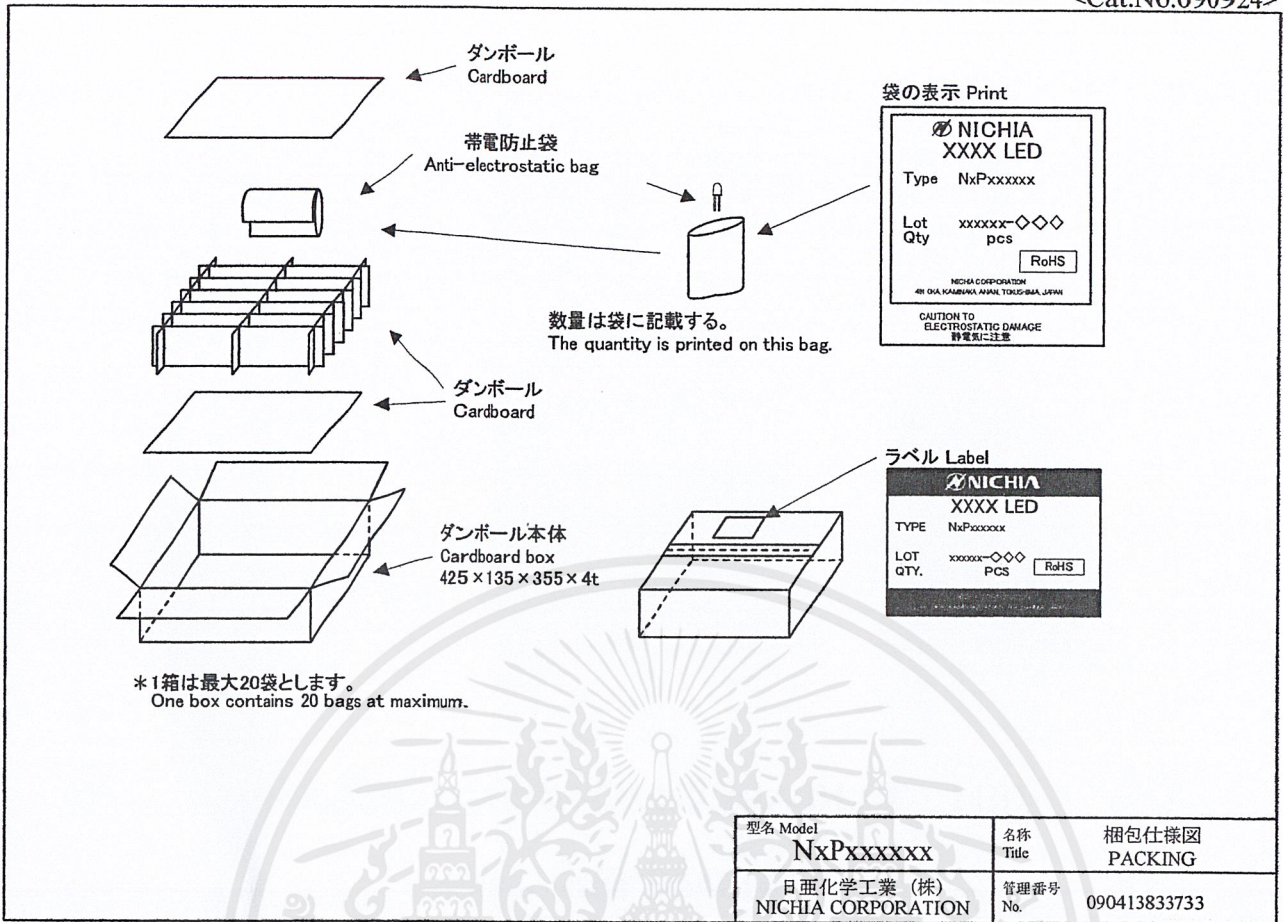
ラベル Label

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

\* 外箱に本ラベルを貼り付ける。  
This label is placed on the cardboard box B.

\* 内箱の個数は最大2箱までとします。  
The cardboard box B contains  
2 cardboard box A at maximum.

型名 Model <b>NxPxxxxxx</b>	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833722



## 1.SPECIFICATIONS

### (1) Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Item	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	I <sub>F</sub>	35	mA
Pulse Forward Current	I <sub>FP</sub>	110	mA
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	5	V
Power Dissipation	P <sub>D</sub>	123	mW
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-30 ~ + 85	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-40 ~ +100	°C
Soldering Temperature	T <sub>slid</sub>	265°C for 10sec.	

I<sub>FP</sub> Conditions : Pulse Width ≤ 10msec. and Duty ≤ 1/10

### (2) Initial Electrical/Optical Characteristics (Ta=25°C)

Item	Symbol	Condition	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =20[mA]	(3.2)	3.5	V
Reverse Current	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> = 5[V]	-	50	μA
Luminous Intensity	I <sub>v</sub>	I <sub>F</sub> =20[mA]	(640)	-	mcd
Chromaticity Coordinate	x	I <sub>F</sub> =20[mA]	0.133	-	-
	y	I <sub>F</sub> =20[mA]	0.075	-	-

\* Forward Voltage Measurement allowance is ± 0.05V.

\* Luminous intensity value is traceable to the CIE 127:2007-compliant national standards.

\* Please refer to CIE 1931 chromaticity diagram.

### (3) Ranking (Ta=25°C)

Item	Symbol	Condition	Min.	Max.	Unit
Luminous Intensity	Rank V	I <sub>F</sub> =20[mA]	980	1390	mcd
	Rank U		690	980	
	Rank T		480	690	

\* Luminous Intensity Measurement allowance is ± 10%.

### Color Rank (I<sub>F</sub>=20mA, Ta=25°C)

Rank W				
x	0.11	0.11	0.15	0.15
y	0.04	0.10	0.10	0.04

\* Color Coordinates Measurement allowance is ± 0.01.

\* Basically, a shipment shall consist of the LEDs of a combination of the above ranks.

The percentage of each rank in the shipment shall be determined by Nichia.

## 2.INITIAL OPTICAL/ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Please refer to "CHARACTERISTICS" on the following pages.

## 3.OUTLINE DIMENSIONS AND MATERIALS

Please refer to "OUTLINE DIMENSIONS" on the following page.

#### 4.PACKAGING

- The LEDs are packed in cardboard boxes after packaging in anti-electrostatic bags.  
Please refer to “PACKING” on the following pages.  
The label on the minimum packing unit shows ; Part Number, Lot Number, Ranking, Quantity
- In order to protect the LEDs from mechanical shock, we pack them in cardboard boxes for transportation.
- The LEDs may be damaged if the boxes are dropped or receive a strong impact against them, so precautions must be taken to prevent any damage.
- The boxes are not water resistant and therefore must be kept away from water and moisture.
- When the LEDs are transported, we recommend that you use the same packing method as Nichia.

#### 5.LOT NUMBER

The first six digits number shows **lot number**.

The lot number is composed of the following characters;

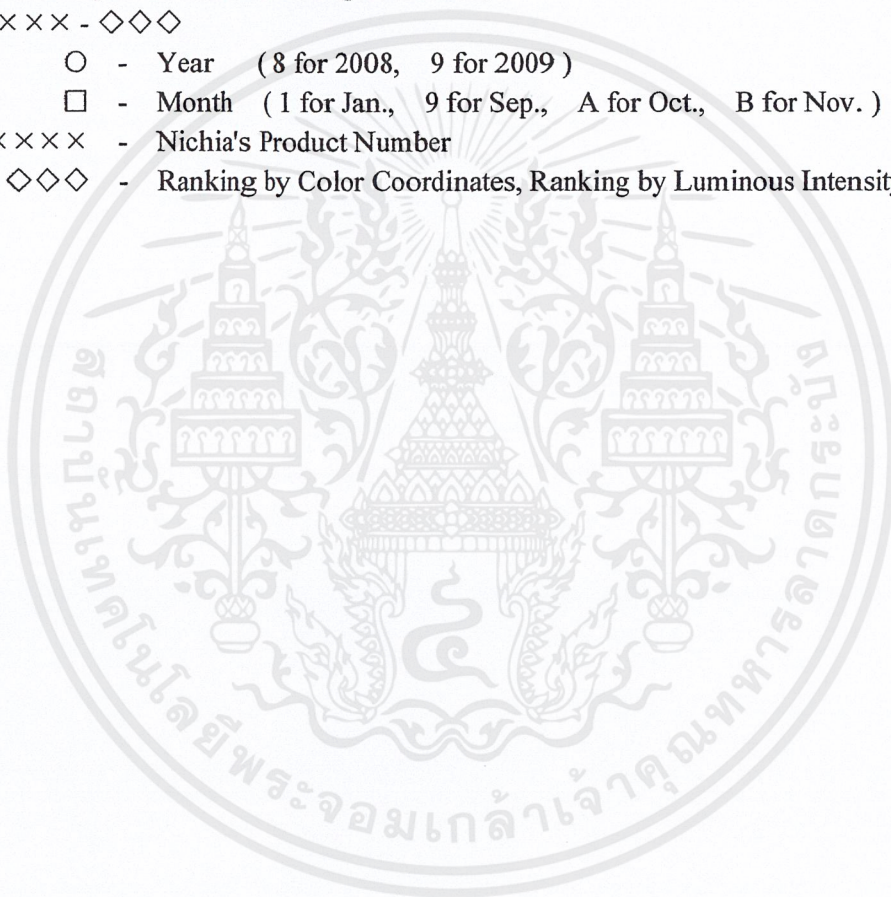
○□×××× - ◇◇◇

○ - Year ( 8 for 2008, 9 for 2009 )

□ - Month ( 1 for Jan., 9 for Sep., A for Oct., B for Nov. )

×××× - Nichia's Product Number

◇◇◇ - Ranking by Color Coordinates, Ranking by Luminous Intensity



## 6.RELIABILITY

### (1) TEST ITEMS AND RESULTS

Test Item	Standard Test Method	Test Conditions	Note	Number of Damaged
Resistance to Soldering Heat	JEITA ED-4701 300 302	Tsld=260 ± 5°C, 10sec. 3mm from the base of the epoxy bulb	1 time	0/50
Temperature Cycle	JEITA ED-4701 100 105	-40°C ~ 25°C ~ 100°C ~ 25°C 30min. 5min. 30min. 5min.	100 cycles	0/50
Moisture Resistance Cyclic	JEITA ED-4701 200 203	25°C ~ 65°C ~ -10°C 90%RH 24hrs./1cycle	10 cycles	0/50
Terminal Strength (bending test)	JEITA ED-4701 400 401	Load 5N (0.5kgf) 0° ~ 90° ~ 0° bend 2 times	No noticeable damage	0/50
Terminal Strength (pull test)	JEITA ED-4701 400 401	Load 10N (1kgf) 10 ± 1 sec.	No noticeable damage	0/50
High Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 201	Ta=100°C	1000hrs.	0/50
Temperature Humidity Storage	JEITA ED-4701 100 103	Ta=60°C, RH=90%	1000hrs.	0/50
Low Temperature Storage	JEITA ED-4701 200 202	Ta=-40°C	1000hrs.	0/50
Steady State Operating Life		Ta=25°C, If=35mA	1000hrs.	0/50
Steady State Operating Life of High Humidity Heat		60°C, RH=90%, If=20mA	500hrs.	0/50
Steady State Operating Life of Low Temperature		Ta=-30°C, If=20mA	1000hrs.	0/50

### (2) CRITERIA FOR JUDGING DAMAGE

Item	Symbol	Test Conditions	Criteria for Judgement	
			Min.	Max.
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	-	U.S.L.*) × 1.1
Reverse Current	I <sub>R</sub>	V <sub>R</sub> =5V	-	U.S.L.*) × 2.0
Luminous Intensity	I <sub>V</sub>	I <sub>F</sub> =20mA	L.S.L.**)) × 0.7	-

\*) U.S.L. : Upper Standard Level

\*\*)) L.S.L. : Lower Standard Level

## 7. CAUTIONS

### (1) Lead Forming

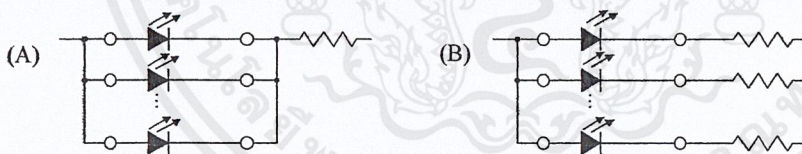
- When forming leads, the leads should be bent at a point at least 3mm from the base of the epoxy bulb. Do not use the base of the leadframe as a fulcrum during lead forming.
- Lead forming should be done before soldering.
- Do not apply any bending stress to the base of the lead. The stress to the base may damage the LED's characteristics or it may break the LEDs.
- When mounting the LEDs onto a printed circuit board, the holes on the circuit board should be exactly aligned with the leads of the LEDs. If the LEDs are mounted with stress at the leads, it causes deterioration of the epoxy resin and this will degrade the LEDs.

### (2) Storage

- The LEDs should be stored at 30°C or less and 70%RH or less after being shipped from Nichia and the storage life limits are 3 months. If the LEDs are stored for 3 months or more, they can be stored for a year in a sealed container with a nitrogen atmosphere and moisture absorbent material.
- The lead part may be affected by environments which contain corrosive substances. Please avoid conditions which may cause the LED to corrode, tarnish or discolor. This corrosion or discoloration may cause difficulty during soldering operations. It is recommended that the LEDs be used as soon as possible.
- Please avoid rapid transitions in ambient temperature, especially, in high humidity environments where condensation can occur.

### (3) Recommended circuit

- In designing a circuit, the current through each LED must not exceed the absolute maximum rating specified for each LED. It is recommended to use Circuit B which regulates the current flowing through each LED. In the meanwhile, when driving LEDs with a constant voltage in Circuit A, the current through the LEDs may vary due to the variation in forward voltage ( $V_F$ ) of the LEDs. In the worst case, some LED may be subjected to stresses in excess of the absolute maximum rating.



- This product should be operated in forward bias. A driving circuit must be designed so that the product is not subjected to either forward or reverse voltage while it is off. In particular, if a reverse voltage is continuously applied to the product, such operation can cause migration resulting in LED damage.

(4) Static Electricity

- Static electricity or surge voltage damages the LEDs.  
It is recommended that a wrist band or an anti-electrostatic glove be used when handling the LEDs.
- All devices, equipment and machinery must be properly grounded. It is recommended that precautions be taken against surge voltage to the equipment that mounts the LEDs.
- When inspecting the final products in which LEDs were assembled, it is recommended to check whether the assembled LEDs are damaged by static electricity or not. It is easy to find static-damaged LEDs by a light-on test or a VF test at a lower current (below 1mA is recommended).
- Damaged LEDs will show some unusual characteristics such as the leak current remarkably increases, the forward voltage becomes lower, or the LEDs do not light at the low current.

Criteria : (VF > 2.0V at IF=0.5mA)

(5) Soldering Conditions

- Solder the LED no closer than 3mm from the base of the epoxy bulb. Soldering beyond the base of the tie bar is recommended.
- Recommended soldering conditions

Dip Soldering		Hand Soldering	
Pre-Heat	120°C Max.	Temperature	350°C Max.
Pre-Heat Time	60 seconds Max.	Soldering Time	3 seconds Max.
Solder Bath	260°C Max.	Position	No closer than 3 mm from the base of the epoxy bulb.
Temperature			
Dipping Time	10 seconds Max.		
Dipping Position	No lower than 3 mm from the base of the epoxy bulb.		

- Although the recommended soldering conditions are specified in the above table, dip or hand soldering at the lowest possible temperature is desirable for the LEDs.
- A rapid-rate process is not recommended for cooling the LEDs down from the peak temperature.
- Dip soldering should not be done more than one time.
- Hand soldering should not be done more than one time.
- Do not apply any stress to the lead particularly when heated.
- The LEDs must not be repositioned after soldering.
- After soldering the LEDs, the epoxy bulb should be protected from mechanical shock or vibration until the LEDs return to room temperature.
- Direct soldering onto a PC board should be avoided. Mechanical stress to the resin may be caused from warping of the PC board or from the clinching and cutting of the leadframes. When it is absolutely necessary, the LEDs may be mounted in this fashion but the customer will assume responsibility for any problems. Direct soldering should only be done after testing has confirmed that no damage, such as wire bond failure or resin deterioration, will occur. Nichia's LEDs should not be soldered directly to double sided PC boards because the heat will deteriorate the epoxy resin.
- When it is necessary to clamp the LEDs to prevent soldering failure, it is important to minimize the mechanical stress on the LEDs.
- Cut the LED leadframes at room temperature. Cutting the leadframes at high temperatures may cause failure of the LEDs.

(6) Heat Generation

- Thermal design of the end product is of paramount importance. Please consider the heat generation of the LED when making the system design. The coefficient of temperature increase per input electric power is affected by the thermal resistance of the circuit board and density of LED placement on the board, as well as other components. It is necessary to avoid intense heat generation and operate within the maximum ratings given in this specification.
- The operating current should be decided after considering the ambient maximum temperature of LEDs.

(7) Cleaning

- It is recommended that isopropyl alcohol be used as a solvent for cleaning the LEDs. When using other solvents, it should be confirmed beforehand whether the solvents will dissolve the resin or not. Freon solvents should not be used to clean the LEDs because of worldwide regulations.
- Do not clean the LEDs by the ultrasonic. When it is absolutely necessary, the influence of ultrasonic cleaning on the LEDs depends on factors such as ultrasonic power and the assembled condition. Before cleaning, a pre-test should be done to confirm whether any damage to the LEDs will occur.

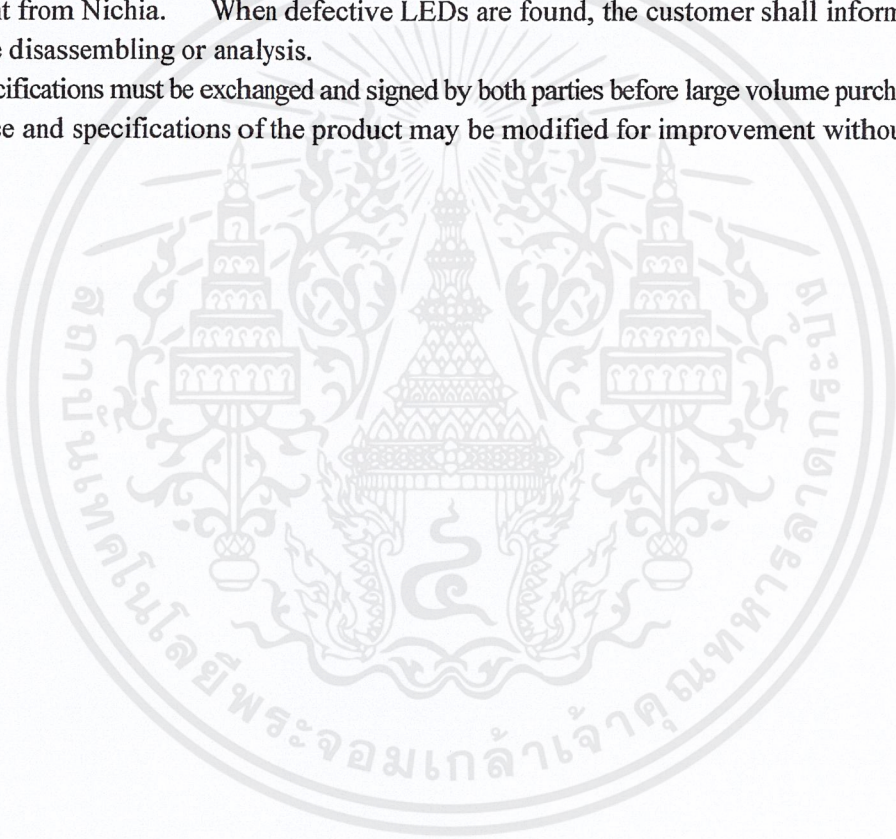
(8) Safety Guideline for Human Eyes

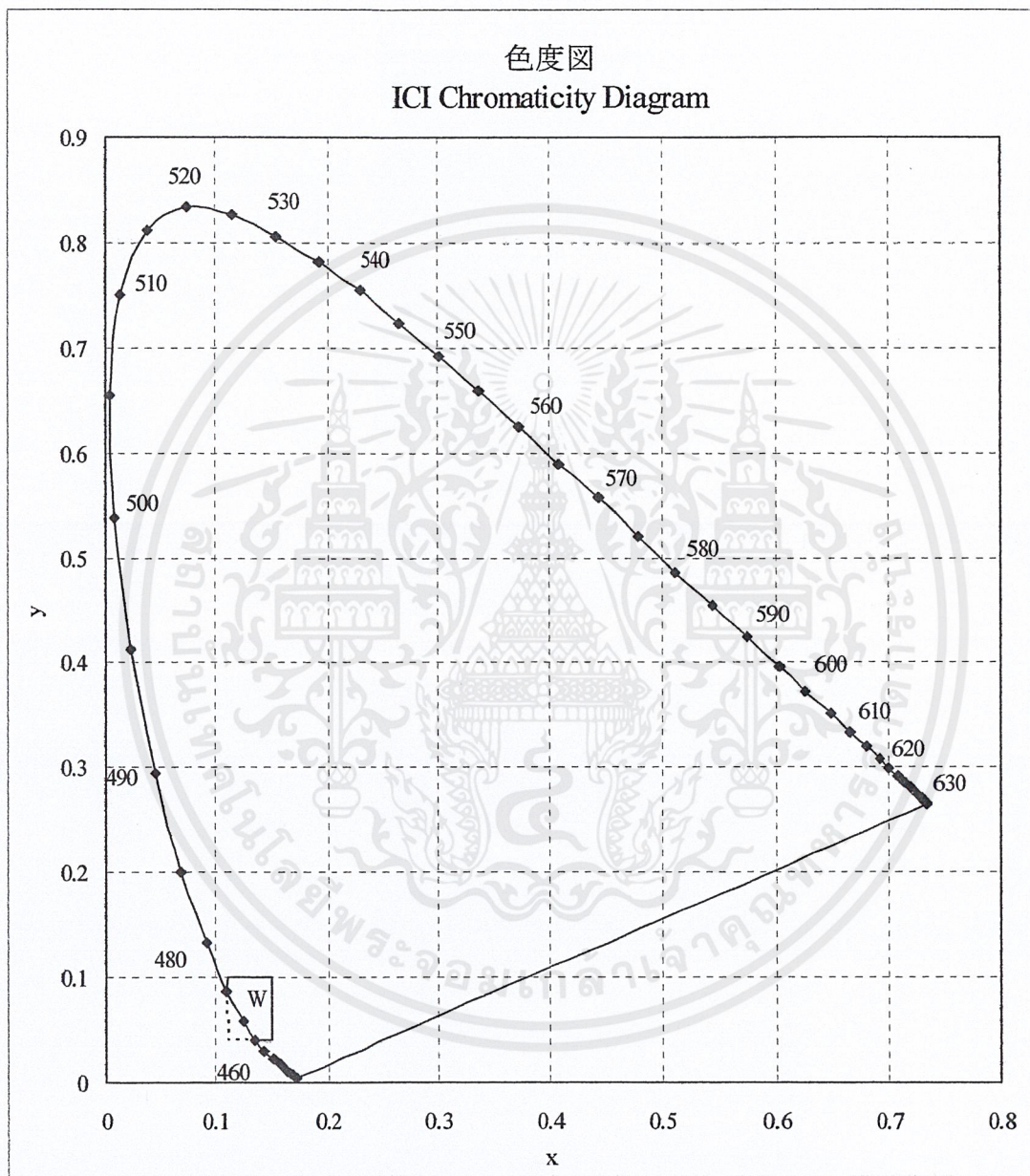
- The International Electrical Commission (IEC) published in 2006 IEC 62471:2006 *Photobiological safety of lamps and lamp systems* which includes LEDs within its scope. Meanwhile LEDs were removed from the scope of the IEC 60825-1:2007 laser safety standard, the 2001 edition of which included LED sources within its scope. However, keep in mind that some countries and regions have adopted standards based on the IEC laser safety standard IEC 60825-1:2001 which includes LEDs within its scope.

Following IEC 62471:2006, most of Nichia LEDs can be classified as belonging to either Exempt Group or Risk Group 1. Optical characteristics of a LED such as radiant flux, spectrum and light distribution are factors that affect the risk group determination of the LED. Especially a high-power LED, that emits light containing blue wavelengths, may be in Risk Group 2. Great care should be taken when viewing directly the LED driven at high current or the LED with optical instruments, which may greatly increase the hazard to your eyes.

(9) Others

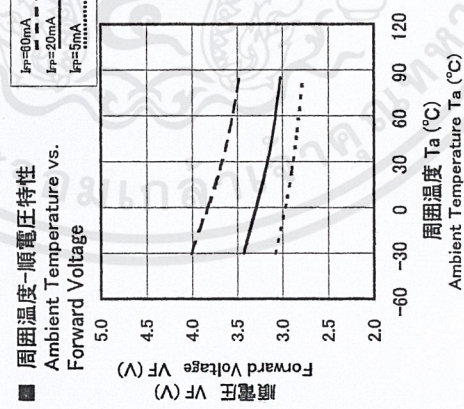
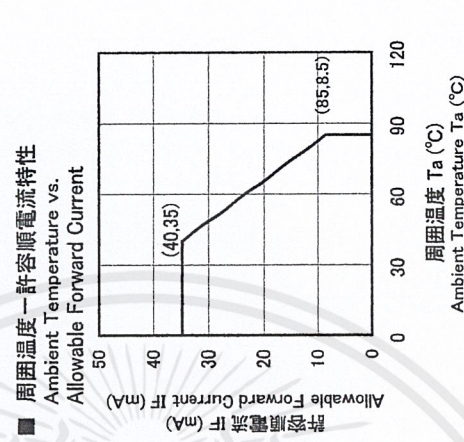
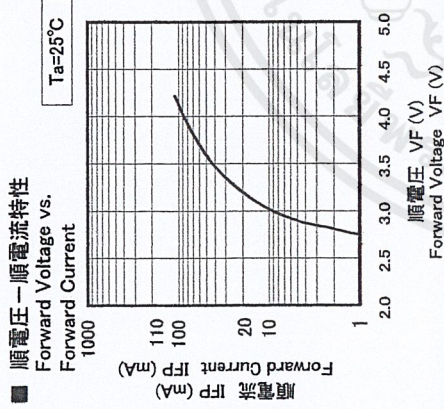
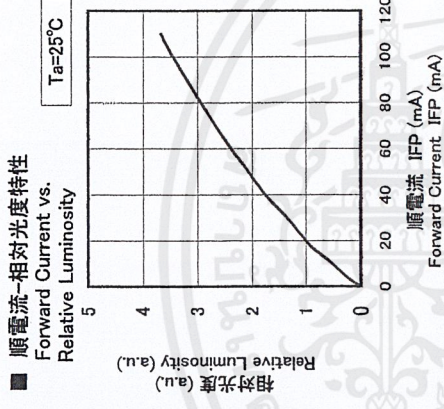
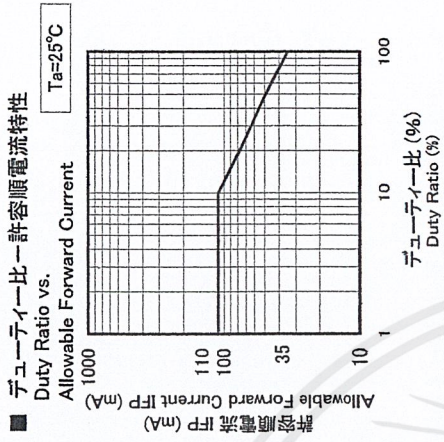
- NSPB546HS complies with RoHS Directive.
- Care must be taken to ensure that the reverse voltage will not exceed the absolute maximum rating when using the LEDs with matrix drive.
- Flashing lights have been known to cause discomfort in people; you can prevent this by taking precautions during use. Also, people should be cautious when using equipment that has had LEDs incorporated into it.
- The LEDs described in this brochure are intended to be used for ordinary electronic equipment (such as office equipment, communications equipment, measurement instruments and household appliances). Consult Nichia's sales staff in advance for information on the applications in which exceptional quality and reliability are required, particularly when the failure or malfunction of the LEDs may directly jeopardize life or health (such as for airplanes, aerospace, submersible repeaters, nuclear reactor control systems, automobiles, traffic control equipment, life support systems and safety devices).
- The customer shall not reverse engineer by disassembling or analysis of the LEDs without having prior written consent from Nichia. When defective LEDs are found, the customer shall inform Nichia directly before disassembling or analysis.
- The formal specifications must be exchanged and signed by both parties before large volume purchase begins.
- The appearance and specifications of the product may be modified for improvement without notice.





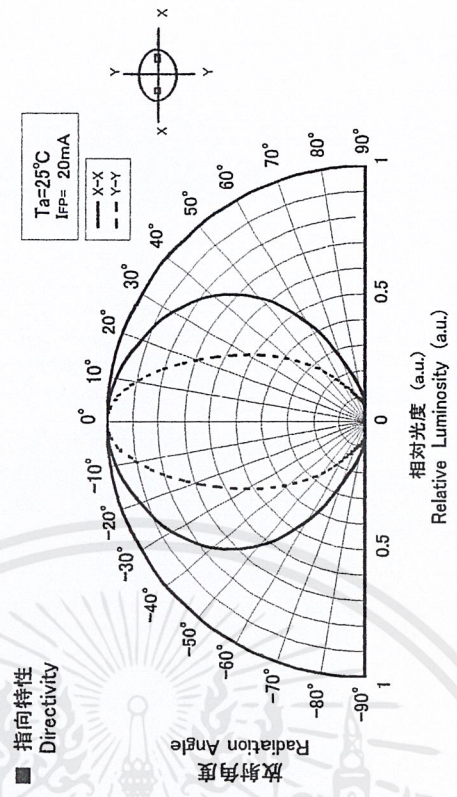
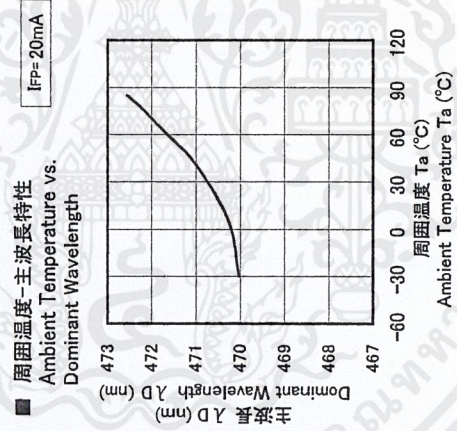
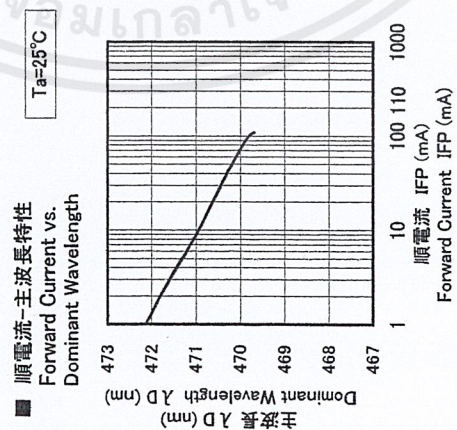
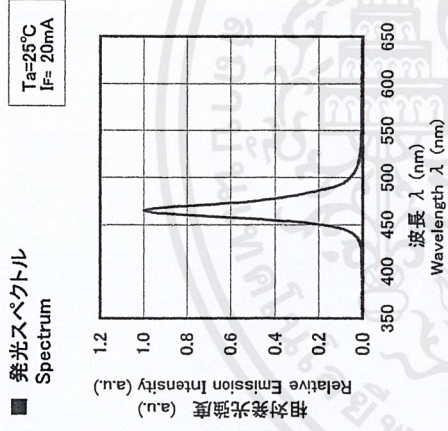
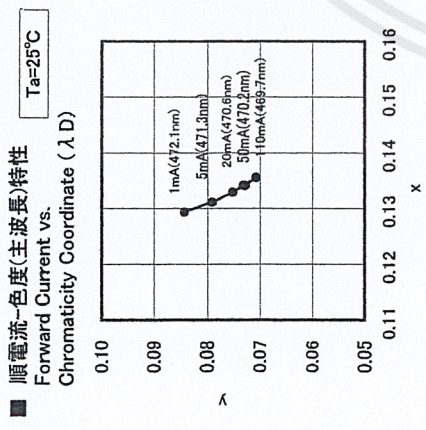
\* Color Coordinates Measurement allowance is  $\pm 0.01$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



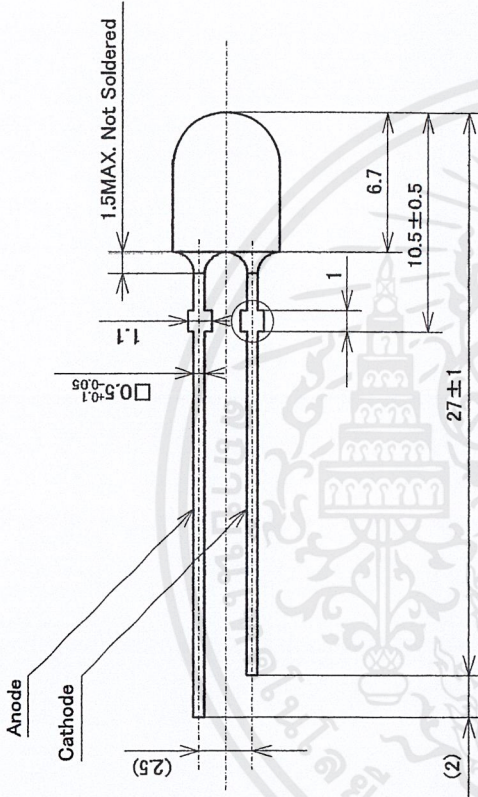
型名 Model	NSPBxxxx
名称 Title	初期電気/光学特性 CHARACTERISTICS
管理番号 No.	090107934361
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

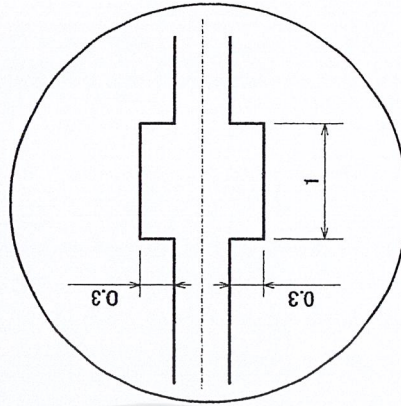


型名 Model	NSPB546HS	名称 Title	初期電気/光学特性 CHARACTERISTICS
	日亜化学工業 (株)	管理番号 No.	090901940131
	NICHIA CORPORATION		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ストップバー部詳細図  
Detail of stopper



項目 Item	材質 Materials
樹脂 Resin	エポキシ樹脂 Epoxy Resin
レンズ色 Lens color	青色 (拡散剤入り) Blue (Diffusion type)
リードフレーム Leadframe	鉄+銀メッキ+鉛フリーはんだメッキ Ag plating Iron Solder-dipped leads (Lead-free)

- (注1) タイバーを切り取った部分は鉄が露出しております。またLEDには鋭利な部分があります。特にリード部分は、人体を傷つけることがありますので、取り扱いに際しては十分注意して下さい。
- (NOTE1) Please note that the bare iron showing at the cut end of the lead frame may be corroded under certain conditions. LEDs have some sharp edges and points, particularly lead frames. Please handle with care so as to avoid injuries.
- (注2) レンズ樹脂部の形状は、同じ546シリーズにおいても製品型番毎にそれぞれ異なります。製品外形に関係する部品、治具等設計の際は十分注意して下さい。
- (NOTE2) The lens design of the product line (546 series) varies depending on part number. Proper considerations should be made in designing the equipment or tools dependent on the lens design.
- (注3) はんだメッキ部に薬地の著しい露出はございません。
- (NOTE3) No noticeable exposure of base coat for the leads with solder-dipped finishes.

型名 Model	NSPB546HS	名称 Title	外形寸法図 OUTLINE DIMENSIONS	単位Unit	mm
	日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No.	090909940141	公差 Allow	±0.2

袋の表示 Print

ラベル Label

ダンボール Cardboard

帯電防止袋 Anti-electrostatic bag

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

ダンボール本体 Cardboard box  
360 × 135 × 215 × 4t

\*1箱は最大8袋とします。  
One box contains 8 bags at maximum.

型名 Model NxPxxxxxx	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833712

袋の表示 Print

ラベル Label

ダンボール Cardboard

帯電防止袋 Anti-electrostatic bag

数量は袋に記載する。  
The quantity is printed on this bag.

内箱 Cardboard box A

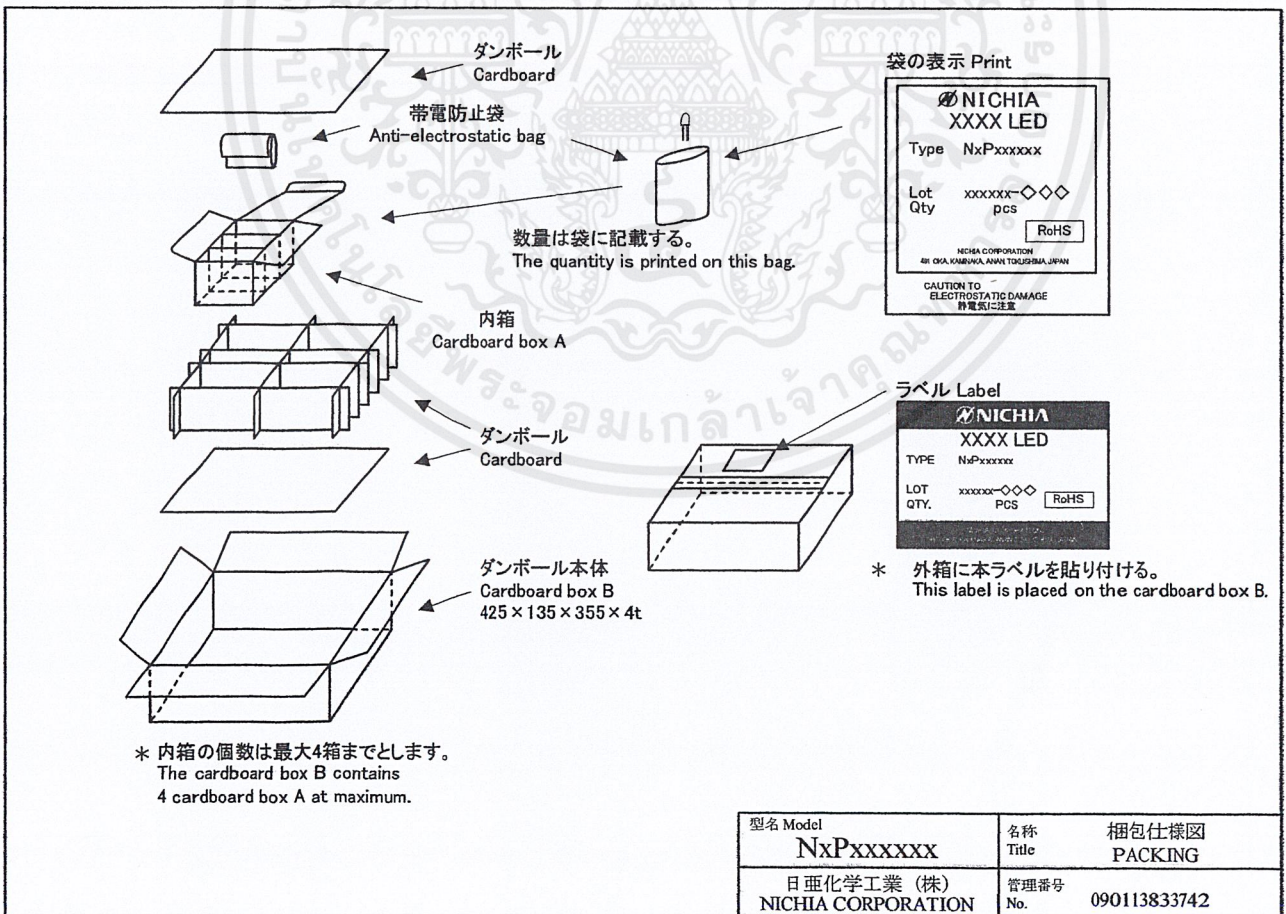
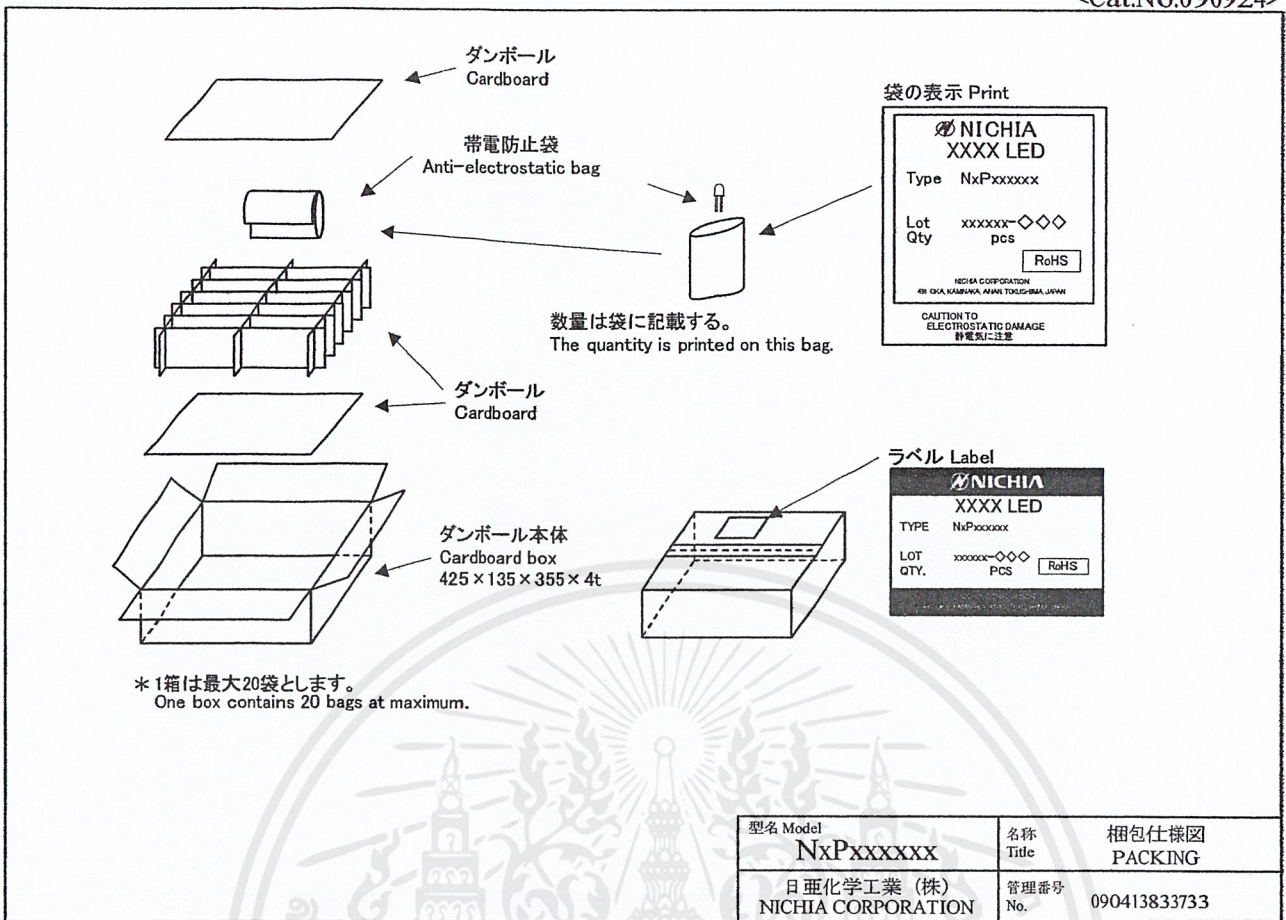
ダンボール Cardboard

ダンボール本体 Cardboard box B  
360 × 135 × 215 × 4t

\* 外箱に本ラベルを貼り付ける。  
This label is placed on the cardboard box B.

\* 内箱の個数は最大2箱までとします。  
The cardboard box B contains 2 cardboard box A at maximum.

型名 Model NxPxxxxxx	名称 Title 梱包仕様図 PACKING
日亜化学工業 (株) NICHIA CORPORATION	管理番号 No. 090113833712





ภาคผนวก ค

ข้อมูลทางเทคนิคของวงจรขับหลอดแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Drive Capability and Output Counts**
  - 80 mA (Current Sink) x 16 Bits
- **Constant Current Output Range**
  - 1 to 80 mA (Current Value Setting for All Output Terminals Using External Resistor)
- **Constant Current Accuracy**
  - ±1% (Typ)
  - ±4% (Max) (Maximum Error Between Bits, All Bits On)
- **Voltage Applied to Constant Current Output Terminal**
  - Minimum 0.6 V (Output Current 40 mA)
  - Minimum 1 V (Output Current 80 mA)
- **Data Input**
  - Clock Synchronized 1 Bit Serial Input
- **Data Output**
  - Clock Synchronized 1 bit Serial Output (With Timing Selection)
- **Input/Output Signal Level . . . CMOS Level**
- **Power Supply Voltage . . . 4.5 V to 5.5V**
- **Maximum Output Voltage . . . 17 V (Max)**
- **Data Transfer Rate . . . 20 MHz (Max)**
- **Operating Free-Air Temperature Range**
  - 20°C to 85°C
- **Available in 32 Pin HTSSOP DAP Package**
  - (P<sub>D</sub>=3.9 W,
  - T<sub>A</sub> = 25°C)
- **LOD Function . . . LED Open Detection (Error Signal Output at LED Disconnection)**
- **TSD Function . . . Thermal Shutdown (Turn Output Off When Junction Temperature Exceeds Limit)**

DAP PACKAGE  
(TOP VIEW)

GND	1	32	VCC
BLANK	2	31	IREF
XLAT	3	30	SOMODE
SCLK	4	29	XDOWN
SIN	5	28	SOUT
PGND	6	27	PGND
OUT0	7	26	OUT15
OUT1	8	25	OUT14
PGND	9	24	PGND
OUT2	10	23	OUT13
OUT3	11	22	OUT12
OUT4	12	21	OUT11
OUT5	13	20	OUT10
PGND	14	19	PGND
OUT6	15	18	OUT9
OUT7	16	17	OUT8


## description

The TLC5921 is a current-sink constant current driver incorporating shift register and data latch. The current value at constant current output can be set by one external register. The device also incorporates thermal shutdown (TSD) circuitry which turns constant current output off when the junction temperature exceeds the limit, and LED open detection (LOD) circuitry to report the LED was disconnected.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

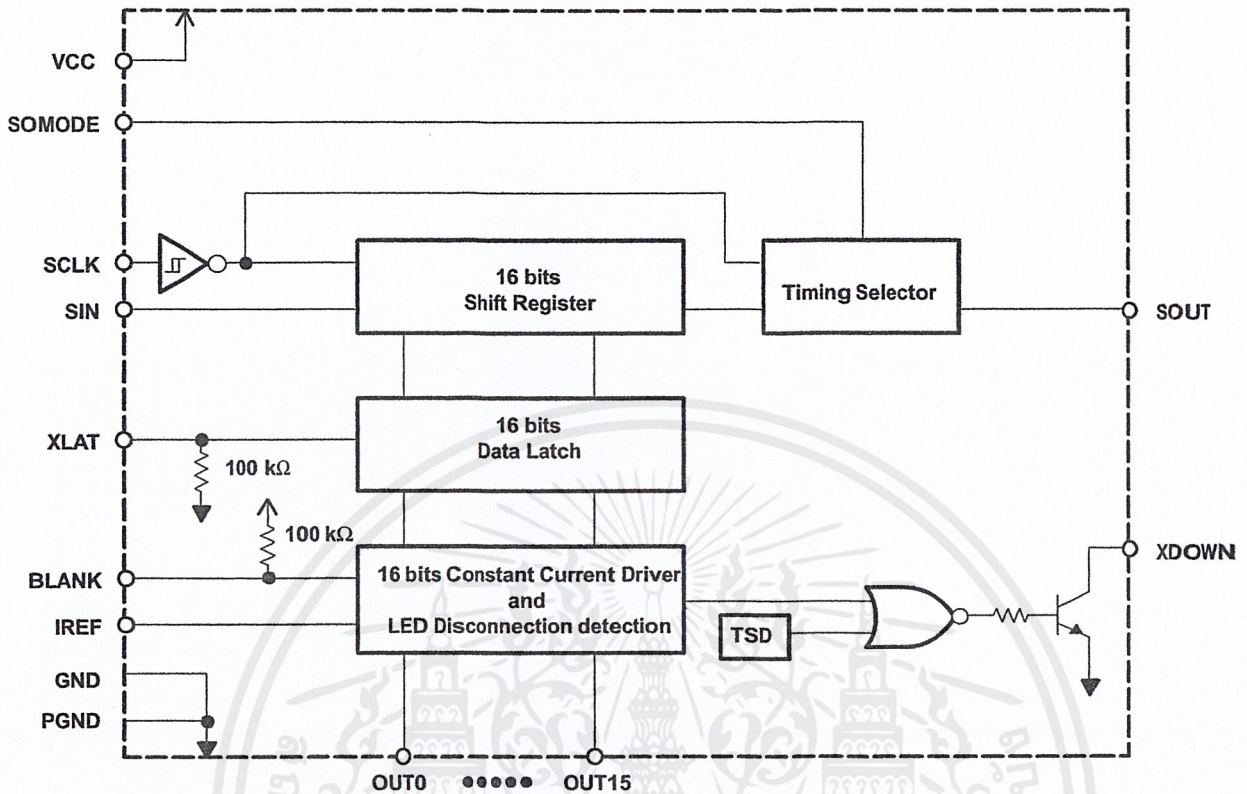
Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLC5921 LED DRIVER

SLLS390 – SEPTEMBER 1999

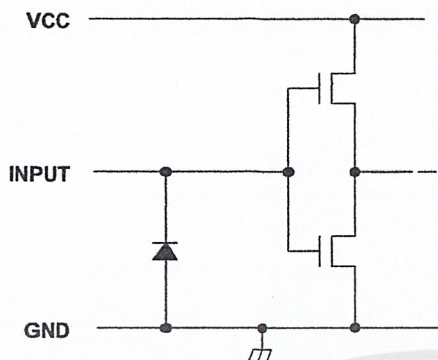
## functional block diagram



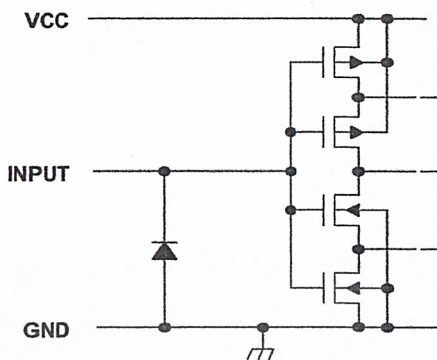
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

equivalent input and output schematic diagrams

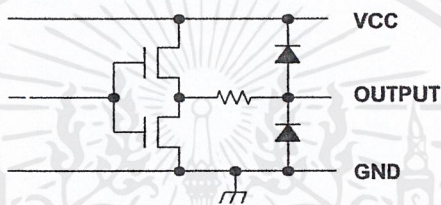
Input (except SCLK)



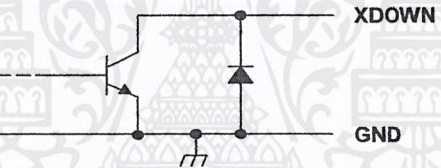
Input (SCLK)



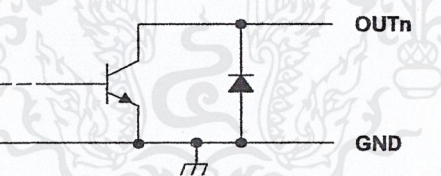
SOUT



XDOWN



OUTn



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Terminal Functions**

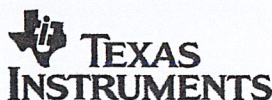
TERMINAL		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
SIN	5	I	1 bit serial data input
SOUT	28	O	1 bit serial data output
SCLK	4	I	Clock input for data transfer. All the data in the shift register is shifted to MSB by 1 bit synchronizing to the rising edge of SCLK, and data at SIN is shifted to LSB at the same time. (Schmitt buffer input)
XLAT	3	I	Latch. When XLAT is high, data on shift register goes through latch. When XLAT is low, data is latched. Accordingly, if data on shift register is changed during XLAT high, this new value is latched (level latch). This terminal is internally pulled down with 100k $\Omega$ .
SOMODE	30	I	Timing select for serial data output. When SOMODE is low, output data on SOUT is changed synchronizing to the rising edge of SCLK. When SOMODE is high, output data on SOUT is changed synchronizing to the falling edge of SCLK.
OUT0 – OUT15	7,8,10,11,12,13, 15,16,17,18,20, 21,22,23,25,26	O	Constant current output.
BLANK	2	I	Blank (Light off). When BLANK is high, all the output of constant current driver is turned off. When BLANK is low and data written to latch is 1, the corresponding constant current output turns on (LED on). This terminal is internally pulled up with 100k $\Omega$ .
IREF	31	I	Constant current value setting. LED current is set to desired value by connecting external resistor between IREF and GND. The 38 times current compared to current across external resistor sink on output terminal.
XDOWN	29	O	Error output. XDOWN is configured as open collector. It goes low when TSD or LOD functions.
VCC	32		Power supply voltage
GND	1		Ground
PGND	6,9,14,19,24,27		Ground for LED driver. (Internally connected to GND)
THERMAL PAD	package bottom		Heat sink pad. This pad is connected to the lowest potential to IC or thermal layer.

**absolute maximum ratings (see Note 1)†**

Supply voltage, $V_{CC}$	– 0.3 V to 7 V
Output current (dc), $I_{O(LC)}$	90 mA
Input voltage range, $V_I$	– 0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Output voltage range, $V_{O(SOUT)}, V_{O(XDOWN)}$	– 0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Output voltage range, $V_{O(OUTn)}$	– 0.3 V to 18 V
Storage temperature range, $T_{stg}$	–40°C to 150°C
Continuous total power dissipation at (or below) $T_A = 25^\circ\text{C}$	3.9 W
Power dissipation rating at (or above) $T_A = 25^\circ\text{C}$	31.4 mW/°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to GND terminal.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

recommended operating conditions

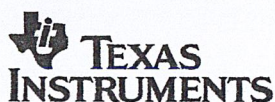
dc characteristics

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$		4.5	5	5.5	V
Voltage applied to constant current output, $V_O$	OUT0 to OUT15 off			17	V
High-level input voltage, $V_{IH}$		0.8 $V_{CC}$		$V_{CC}$	V
Low-level input voltage, $V_{IL}$		GND		0.2 $V_{CC}$	V
High-level output current, $I_{OH}$	$V_{CC} = 4.5$ V, SOUT			-1	mA
Low-level output current, $I_{OL}$	$V_{CC} = 4.5$ V, SOUT, XDOWN			1	
Constant output current, $I_{O(LC)}$	OUT0 to OUT15			80	mA
Operating free-air temperature range, $T_A$		-20		85	°C

ac characteristics, MIN/MAX:  $V_{CC} = 4.5$  V to 5.5 V,  $T_A = -20$  to 85°C

TYP:  $V_{CC} = 5$  V,  $T_A = 25$ °C (unless otherwise noted)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f <sub>SCLK</sub> SCLK clock frequency	At single operation			20	MHz
	At cascade operation (SOMODE = L)			15	
t <sub>wh</sub> /t <sub>wl</sub> SCLK pulse duration		20			ns
t <sub>wh</sub> XLAT pulse duration		10			ns
t <sub>r</sub> /t <sub>f</sub> Rise/fall time				100	ns
t <sub>su</sub> Setup time	SIN – SCLK	5			ns
	XLAT – SCLK	5			
t <sub>h</sub> Hold time	SIN – SCLK	20			ns
	XLAT – SCLK	20			



# TLC5921 LED DRIVER

SLLS390 – SEPTEMBER 1999

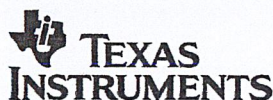
electrical characteristics, MIN/MAX:  $V_{CC} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$ ,  $T_A = -20\text{ to }85^\circ\text{C}$   
TYP:  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{OH}$	High-level output voltage	$I_{OH} = -1\text{ mA}$	$V_{CC}$ $-0.5\text{V}$			V
$V_{OL}$	Low-level output voltage	$I_{OL} = 1\text{ mA}$			0.5	V
$I_I$	Input current	$V_I = V_{CC}$ or GND (except BLANK, XLAT)			$\pm 1$	$\mu\text{A}$
$I_{CC}$	Supply current	Input signal is static, $V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 10\text{ k}\Omega$ , All output bits turn off		3	4.5	mA
		Input signal is static, $V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 1300\ \Omega$ , All output bits turn off		7	9	
		Input signal is static, $V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 640\ \Omega$ , All output bits turn off		11	15	
		Data transfer, $V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 1300\ \Omega$ , All output bits turn on		15	20	
		Data transfer, $V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 640\ \Omega$ , All output bits turn on		35	50	
$I_{OL}(C1)$	Constant output current	$V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 1300\ \Omega$	35	40	45	mA
$I_{OL}(C2)$	Constant output current	$V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 640\ \Omega$	70	80	90	mA
$I_{lk}$	Constant output leakage current	OUT0 to OUT15 ( $V_{(OUTn)} = 15\text{ V}$ )			0.1	$\mu\text{A}$
		XDOWN (5V pullup)			1	$\mu\text{A}$
$\Delta I_{OL}(C)$	Constant output current error between bit	$V_O = 1\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 640\ \Omega$ , All output bits turn on		$\pm 1$	$\pm 4$	%
$\Delta I_{OL}(C1)$	Changes in constant output current depend on supply voltage	$V_{ref} = 1.3\text{ V}$		$\pm 1$	$\pm 4$	%/V
$\Delta I_{OL}(C2)$	Changes in constant output current depend on output voltage	$V_O = 1\text{ V to }3\text{ V}$ , $R_{(IREF)} = 1300\ \Omega$ , $V_{ref} = 1.3\text{ V}$ , 1 bit output turn on		$\pm 2$	$\pm 6$	%/V
$T_{(tsd)}$	TSD detection temperature	Junction temperature	150	160	170	$^\circ\text{C}$
$V_{ref}$	Reference voltage	$R_{(IREF)} = 640\ \Omega$		1.3		V
$V_{(LEDDT)}$	LED disconnection detection voltage			0.3		V

switching characteristics,  $C_L = 15\text{ pF}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_r$	Rise time	SOUT		15	20	ns
		OUTn (see Figure 1)		300		
$t_f$	Fall time	SOUT		5	15	ns
		OUTn		300		
$t_{pd}$	Propagation delay time	BLANK $\uparrow$ – OUTn		400	650	ns
		BLANK $\downarrow$ – OUTn		300	400	
		BLANK $\uparrow$ – XDOWN (see Note 2)		600	1000	
		BLANK $\downarrow$ – XDOWN (see Note 2)		500	1000	
		SCLK – SOUT	10	20	35	

NOTE 2: At external resistor 5 k $\Omega$



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

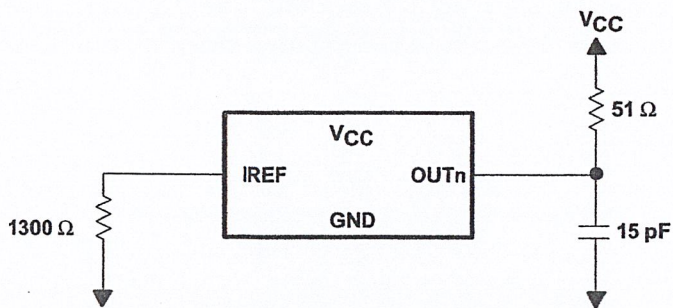


Figure 1. Rise Time and Fall Time Test Circuit for OUTn

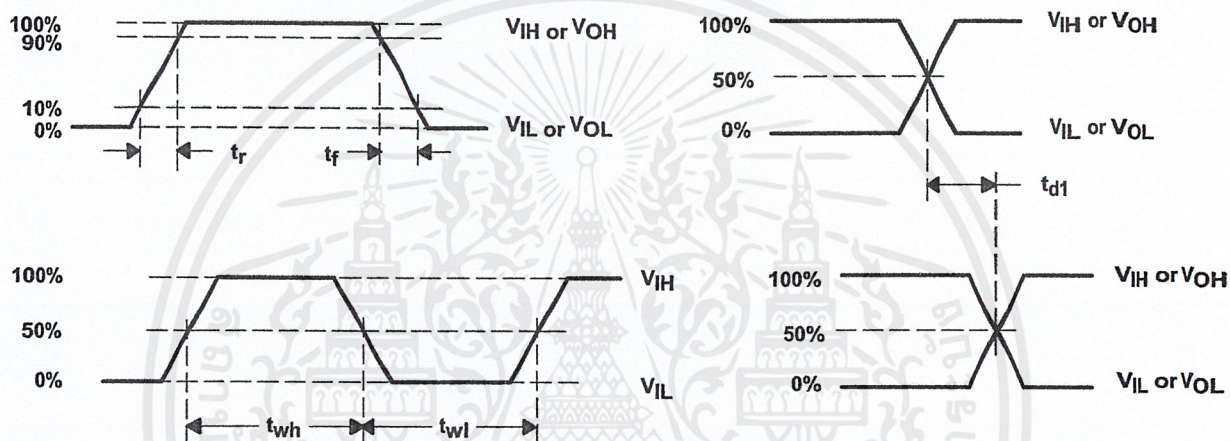


Figure 2. Timing Requirements



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PRINCIPLES OF OPERATION**

**setting for constant output current value**

The constant current value is determined by external resistor,  $R_{(IREF)}$  between IREF and GND. Refer constant output current characteristics shown on Figure 5 for this external resistor value.

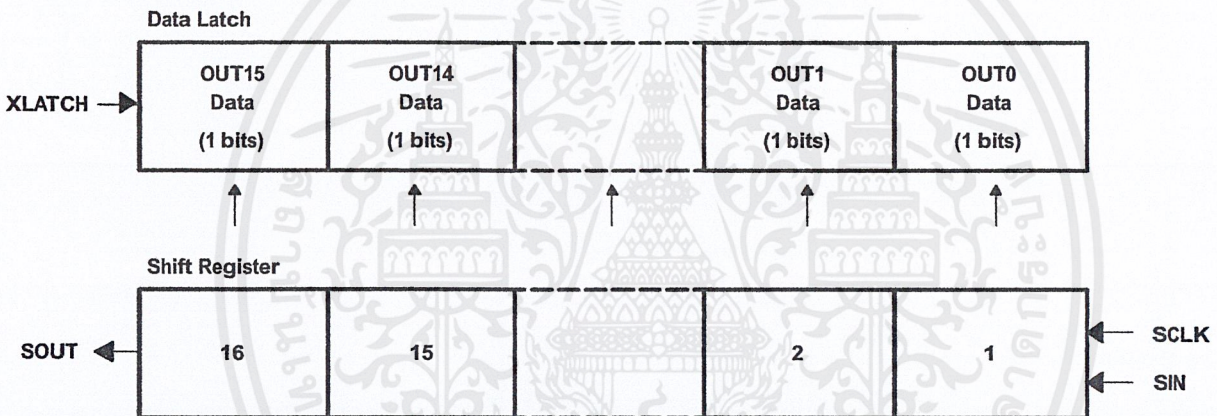
Note that more current flows if connect IREF to GND directly.

**constant output current operation**

When BLANK is low, the corresponding output is turned on if data latch value is 1, and turned off if data latch value is 0. When BLANK is high, all outputs are forced to turn off. If there is constant current output terminal left unconnected (includes LED disconnection), it should be lighted on after writing zero to corresponding data latch to its output. If this operation is not done, supply current through constant current driver will increase.

**shift register latch**

The shift register latch is configured with  $16 \times 1$  bits. The 1 bit for constant current output data represents ON for constant current output if data is 1, or OFF if data is 0. The configuration of shift register latch is shown in below.



**Figure 3. Relationship Between Shift Register and Latch**

**SOUT output timing selection**

By setting level of SOMODE, the SOUT output timing can be changed. When SOMODE is set to low, data is clocked out to SOUT synchronized on the rising edge of SCLK, and when SOMODE is set to high, data is clocked out to SOUT synchronized on the falling edge of SCLK. When SOMODE is set to high and shift operation is done, the data shift error can be prevented even though SCLK signal is externally buffered in serial. Note that the maximum data transfer rate in cascade operation is slower than that when SMODE is set to low.

**TSD (thermal shutdown)**

When the junction temperature exceeds the limit, TSD starts to function and turn constant current output off and XDOWN goes low. Since XDOWN is configured with open-collector output, the outputs of multiple ICs can be concatenated. To recover from constant current output off-state to normal operation, power supply should be turned off and then turned on after several seconds.

PRINCIPLES OF OPERATION

LOD function (LED open detection)

If any terminal voltage of constant current output (OUT0 TO 15) to be turned on is approximately below 0.3 V, XDOWN output goes low during output on by knowing LED disconnection. This function is operational for sixteen OUTn individually. To know which constant current output is disconnected, the level of XDOWN is repeatedly checked 16 times from OUT0 to OUT15 turning one constant current output on. The power supply voltage for LED should be set to that the constant current output is applied to above 0.4 V to prevent from XDOWN low when LED is lighting on normally. Note that on-time should be minimum 1µs after the constant current output is turned on since XDOWN output is required approximately 1 µs.

As discussed earlier, XDOWN is used for both TSD and LOD function. Therefore, BLANK is used to know which one of TSD or LOD worked when XDOWN went low at LED disconnection, that is, in this condition, when set BLANK to high, all the constant current outputs are turned off and LOD disconnection detection is disabled, then, if XDOWN was changed to high, LED disconnection must be occurred.

Table 1 is an example for XDOWN output status using four LEDs.

Table 1. XDOWN Output Example

LED NUMBER	1	2	3	4
LED STATUS	GOOD	NG	GOOD	NG
OUTn	ON	ON	ON	ON
DETECTION RESULT	GOOD	NG	GOOD	NG
XDOWN	LOW (by case 2, 4)			
LED NUMBER	1	2	3	4
LED STATUS	GOOD	NG	GOOD	NG
OUTn	ON	ON	OFF	OFF
DETECTION RESULT	GOOD	NG	GOOD	GOOD
XDOWN	LOW (by case 2)			
LED NUMBER	1	2	3	4
LED STATUS	GOOD	NG	GOOD	NG
OUTn	OFF	OFF	OFF	OFF
DETECTION RESULT	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
XDOWN2	HIGH-IMPEDANCE			

noise reduction : output slope

When output current is 80 mA, the time to change constant current output to turn-on and turn-off is approximately 150 ns and 250 ns respectively. This allows to reduce concurrent switching noise occurred when multiple outputs turn or off at the same time.

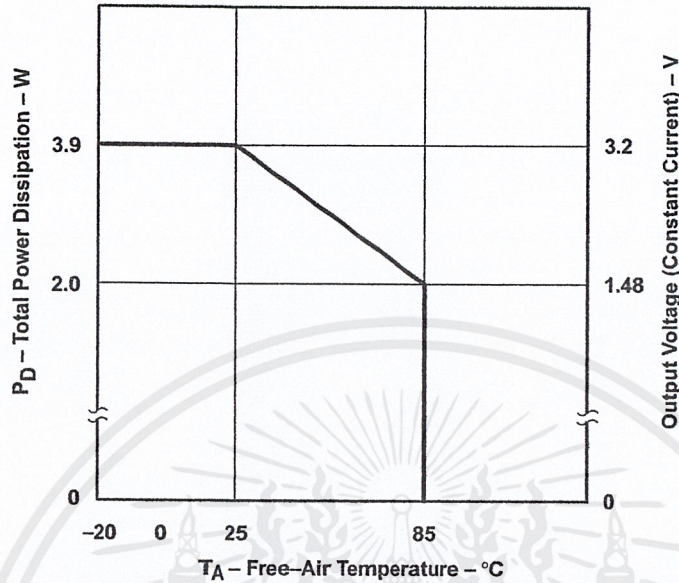
thermal pad

The thermal pad should be connected to GND to eliminate the noise influence since it is connected to the bottom side of IC chip. Also, desired thermal effect will be obtained by connecting this pad to the PCB pattern with better thermal conductivity.



**PRINCIPLES OF OPERATION**

**power rating – free-air temperature**

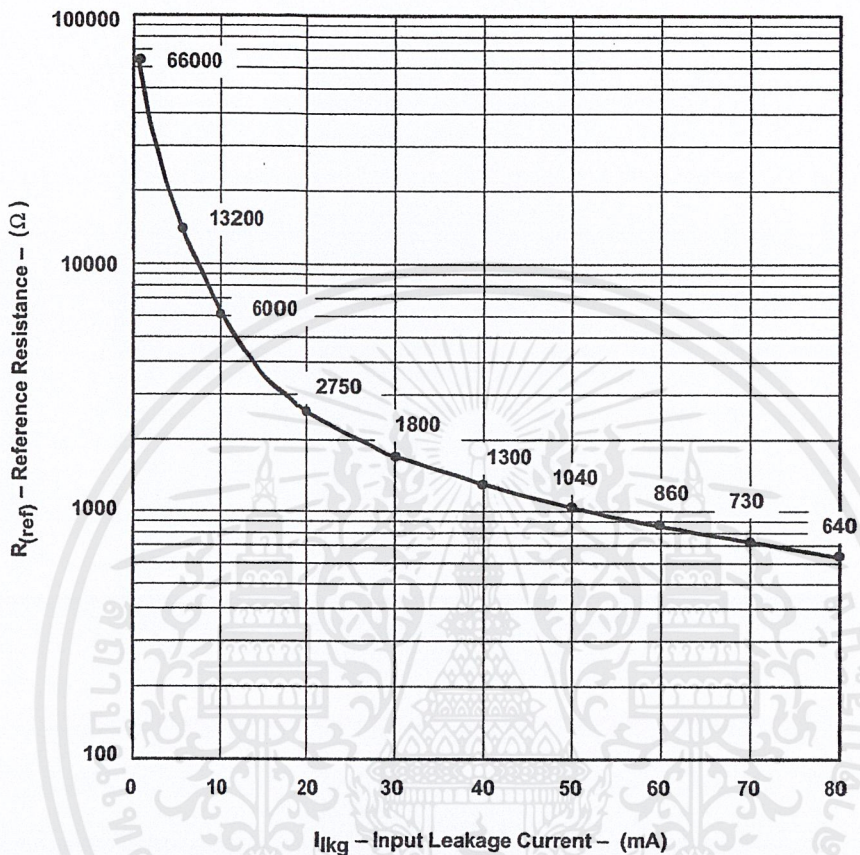


- NOTES:
- A. The data is based on simulation result. When TI recommended print circuit board is used, derate linearly at the rate of 31.4 mW/°C for operation above 25°C free-air temperature. VCC=5 V,  $I_{O(LC)} = 80$  mA,  $I_{CC}$  is typical value.
  - B. The thermal impedance will be varied depend on mounting conditions. Since PZP package established low thermal impedance by radiating heat from thermal pad, the thermal pad should be soldered to pattern with low thermal impedance.
  - C. The material for PCB should be selected considering the thermal characteristics since the temperature will rise around the thermal pad.

**Figure 4. Power Rating**

PRINCIPLES OF OPERATION

constant output current



Conditions :  $V_O = 1\text{ V}$ ,  $V_{ref} = 1.3\text{ V}$

NOTE: The resistor,  $R_{(IREF)}$ , should be located as close to IREF terminal as possible to avoid the noise influence.

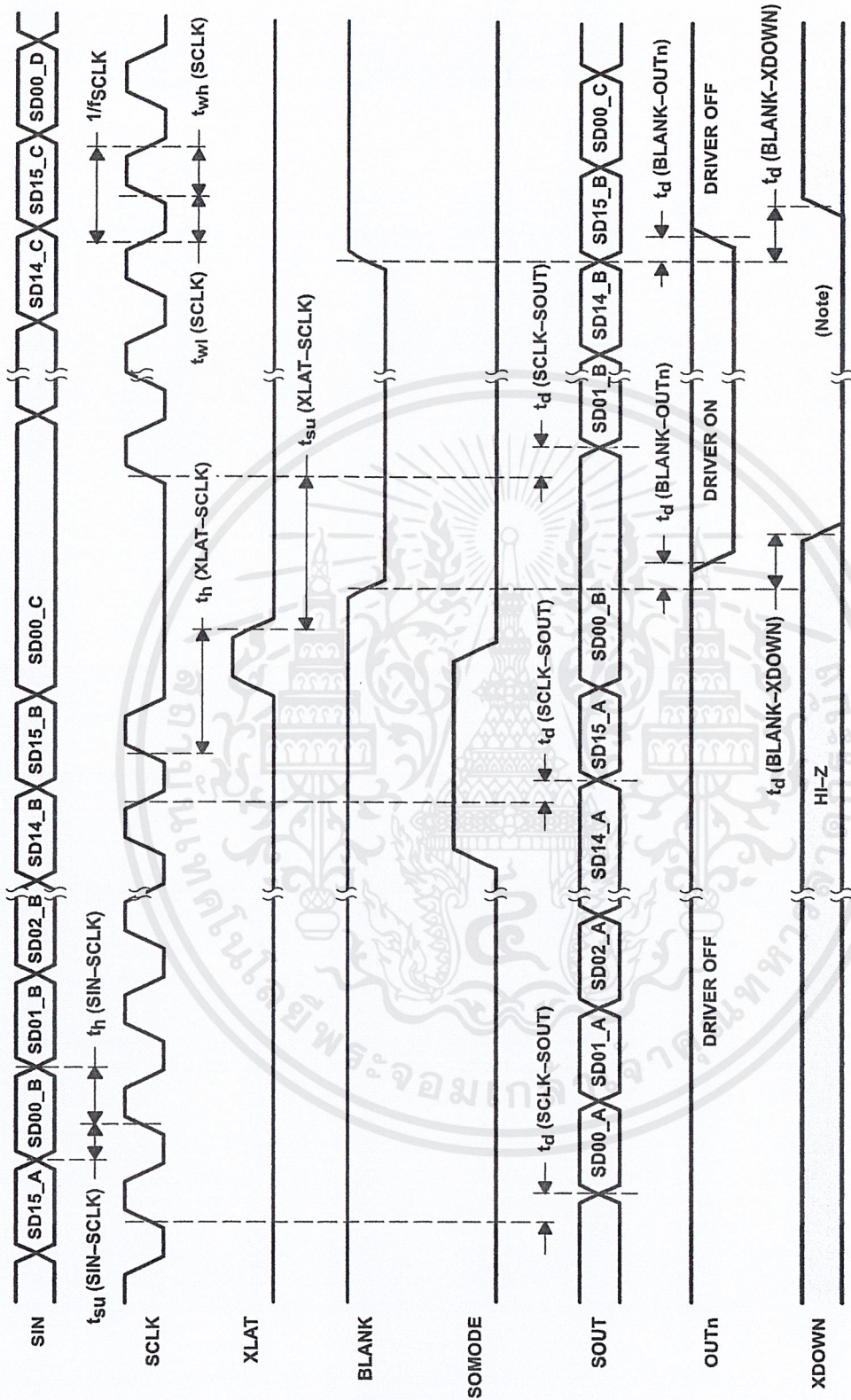
Figure 5. Current on Constant Current Output vs External Resistor



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TLC5921  
LED DRIVER**

SLLS390 – SEPTEMBER 1999



NOTE : LED disconnected

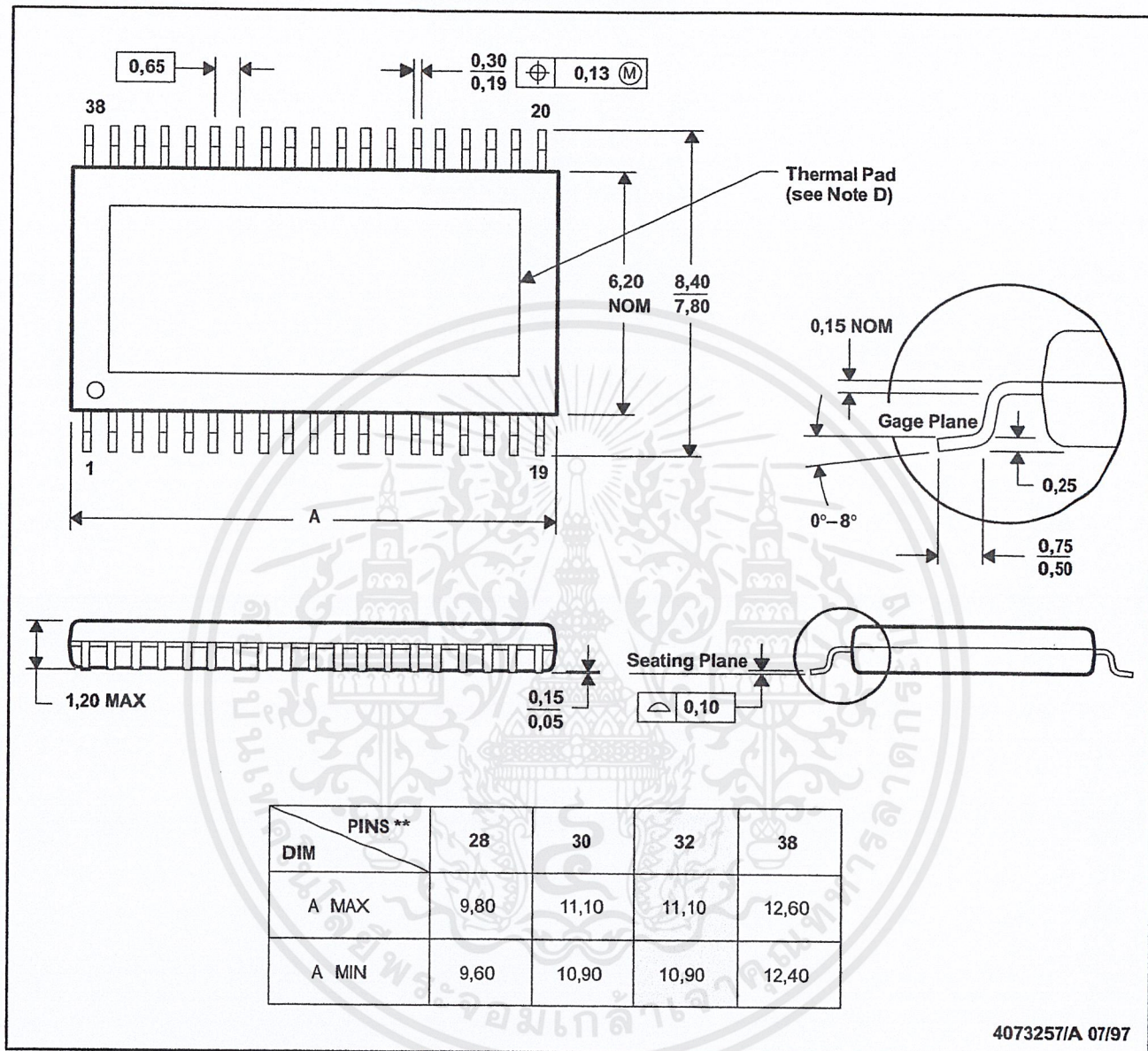
Figure 6. Timing Diagram

MECHANICAL DATA

DAP (R-PDSO-G\*\*)

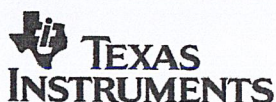
PowerPAD™ PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

38 PINS SHOWN



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Body dimensions do not include mold flash or protrusion.
  - The package thermal performance may be enhanced by bonding the thermal pad to an external thermal plane. This pad is electrically and thermally connected to the backside of the die and possibly selected leads.
  - Falls within JEDEC MO-153

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments Incorporated.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

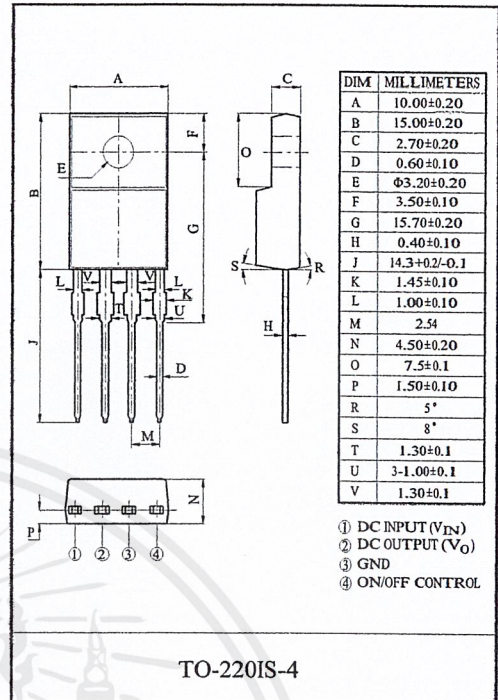
#### 4 TERMINAL 2A OUTPUT LOW DROP VOLTAGE REGULATOR

The KIA278R × × Series are Low Drop Voltage Regulator suitable for various electronic equipments. It provides constant voltage power source with TO-220 4 terminal lead full molded PKG.

The Regulator has multi function such as over current protection, overheat protection and ON/OFF control.

#### FEATURES

- 2.0A Output Low Drop Voltage Regulator.
- Built in ON/OFF Control Terminal.
- Built in Over Current Protection, Over Heat Protection Function.



#### LINE UP

ITEM	OUTPUT VOLTAGE (Typ.)	UNIT
KIA278R25PI	2.5	V
* KIA278R30PI	3.0	
KIA278R33PI	3.3	
* KIA278R35PI	3.5	
* KIA278R37PI	3.7	

\* Note) \* : Under Development.

#### MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT	Remark
Input Voltage	V <sub>IN</sub>	35	V	-
ON/OFF Control Voltage	V <sub>C</sub>	35	V	-
Output Current	I <sub>O</sub>	2	A	-
Power Dissipation 1	P <sub>d1</sub>	1.5	W	No heatsink
Power Dissipation 2	P <sub>d2</sub>	15	W	with heatsink
Junction Temperature	T <sub>j</sub>	125	°C	-
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-20 ~ 80	°C	-
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-30 ~ 125	°C	-
Soldering Temperature (10sec)	T <sub>sol</sub>	260	°C	-

# KIA278R25PI~KIA278R37PI

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Unless otherwise specified,  $I_O=1.0A$ ,  $T_a=25^\circ C$ , Note1.)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	KIA278R25	$V_O$	-	2.438	2.50	2.562	V
	KIA278R30		-	2.925	3.00	3.075	
	KIA278R33		-	3.220	3.30	3.380	
	KIA278R35		-	3.413	3.50	3.587	
	KIA278R37		-	3.608	3.70	3.792	
Load Regulation		Reg Load	$I_O=5mA \sim 2A$	-	0.1	2.0	%
Line Regulation		Reg Line	(Note 2)	-	0.5	2.5	%
Temperature Coefficient of Output Voltage		$T_C V_O$	$T_j=0 \sim 125^\circ C$	-	$\pm 0.02$	$\pm 0.05$	%/ $^\circ C$
Ripple Rejection		$R \cdot R$	-	45	55	-	dB
Drop Out Voltage		$V_D$	$I_O=2A$	-	-	0.5	V
Output ON state for control Voltage		$V_{C(ON)}$	-	2.0	-	-	V
Output ON state for control Current		$I_{C(ON)}$	$V_C=2.7V$	-	-	20	$\mu A$
Output OFF state for control Voltage		$V_{C(OFF)}$	-	-	-	0.8	V
Output OFF state for control Current		$I_{C(OFF)}$	$V_C=0.4V$	-	-	-0.4	mA
Quiescent Current		$I_Q$	$I_O=0$	-	-	10	mA

Note1)  $V_{IN}$  of KIA278R25=4.2V

" KIA278R30=4.7V

" KIA278R33=5.0V

" KIA278R35=5.2V

" KIA278R37=5.4V

Note2)  $V_{IN}$  of KIA278R25=3.2 ~ 10V

" KIA278R30=3.7 ~ 10V

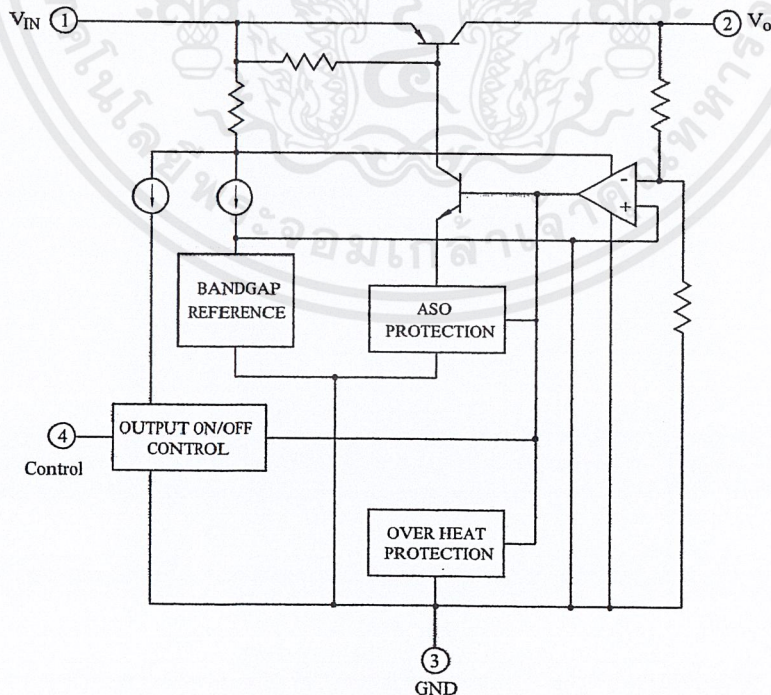
" KIA278R33=4.0 ~ 10V

" KIA278R35=4.2 ~ 10V

" KIA278R37=4.4 ~ 10V

Note3) At  $V_{IN}=0.95V_O$

## BLOCK DIAGRAM



# KIA278R25PI~KIA278R37PI

Fig. 1 Standard Test Circuit

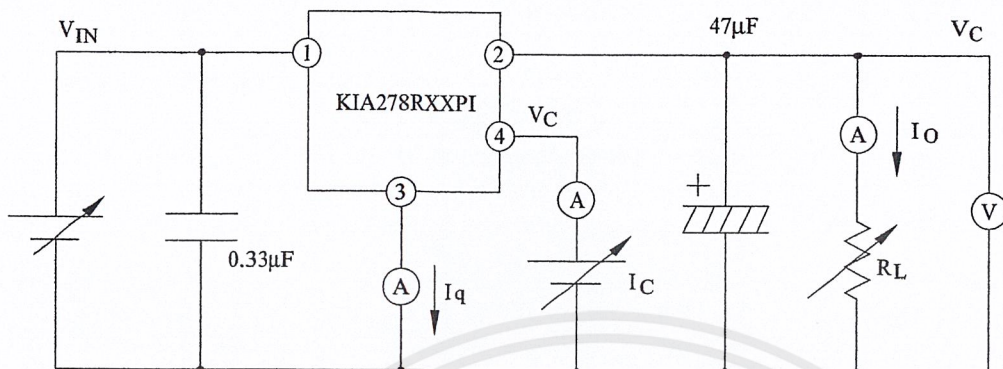


Fig. 1-2 Ripple Rejection Test Circuit

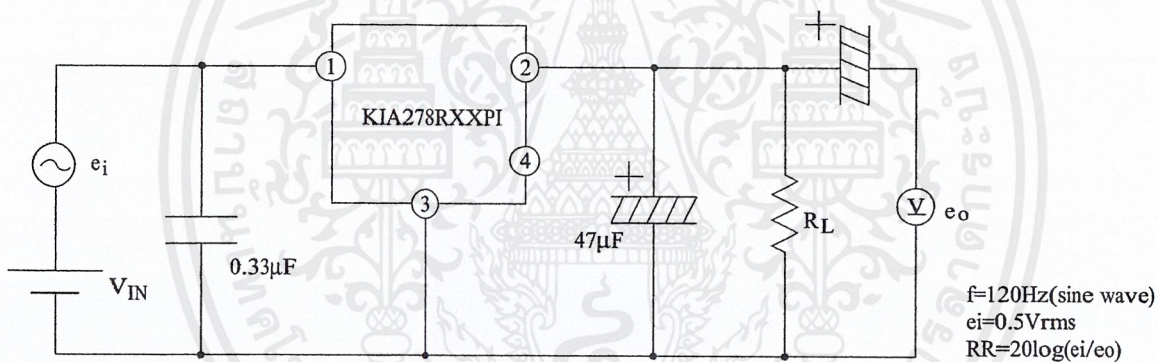
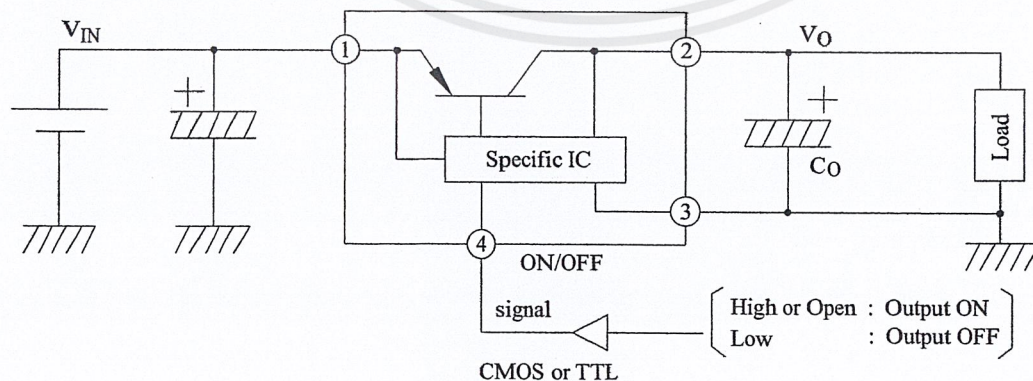
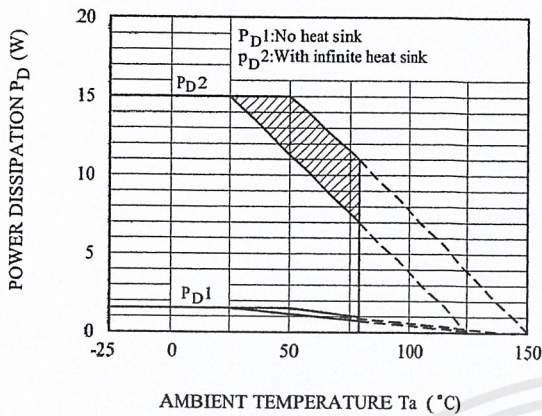


Fig. 2 Application Circuit for Standard



# KIA278R25PI~KIA278R37PI

Fig.3  $T_a - P_D$



AMBIENT TEMPERATURE  $T_a$  ( $^{\circ}C$ )

Note) Oblique line portion : Overheat protection may operate in this area.

Fig.4  $I_O - V_O$

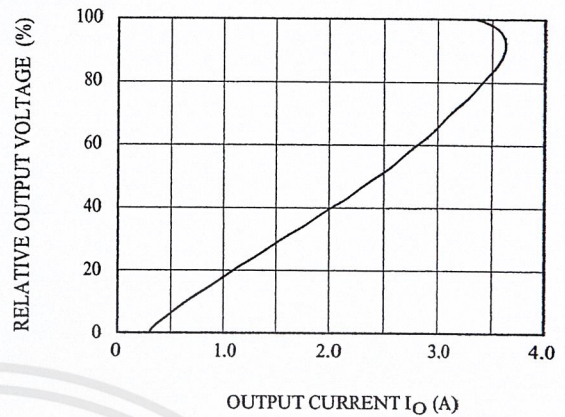


Fig.5-1  $T_j - \Delta V_o$  (KIA278R25)

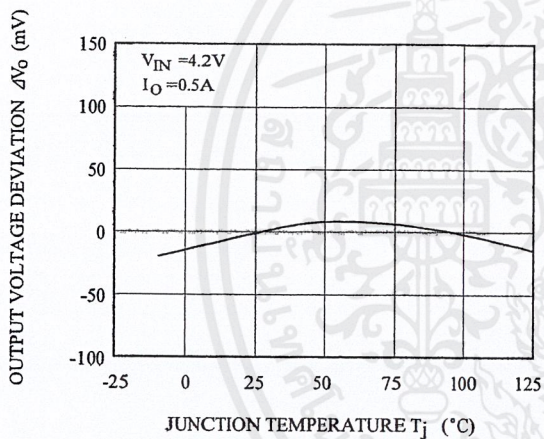


Fig.5-2  $T_j - \Delta V_o$  (KIA278R30)

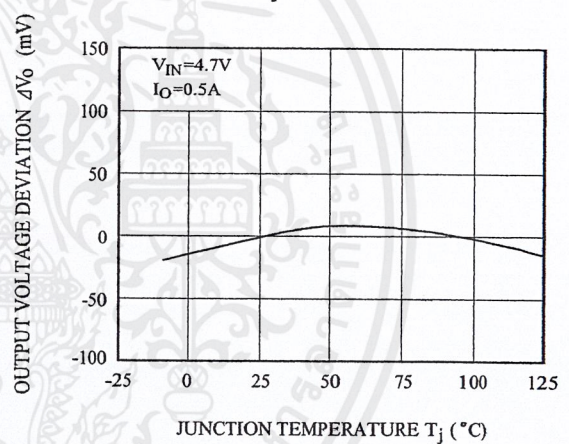


Fig.5-3  $T_j - \Delta V_o$  (KIA278R33)

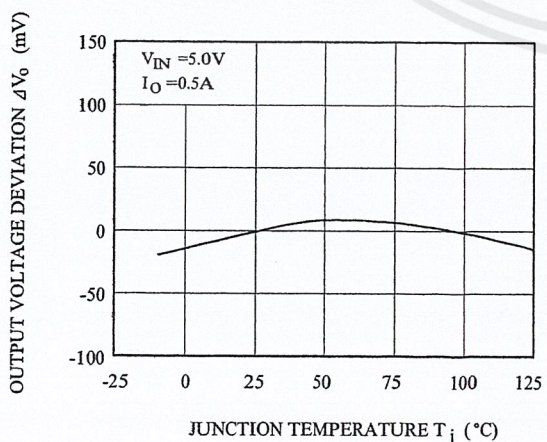
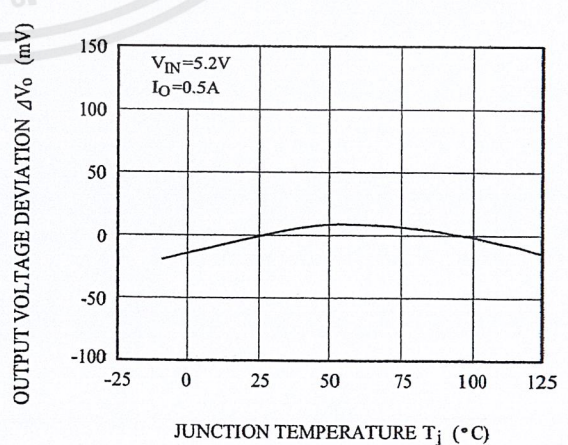


Fig.5-4  $T_j - \Delta V_o$  (KIA278R35)



# KIA278R25PI~KIA278R37PI

Fig.5-1  $T_j - \Delta V_o$  (KIA278R37)

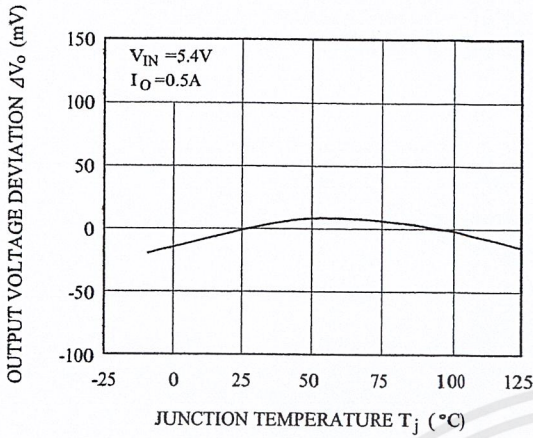


Fig.6  $T_j - V_D$

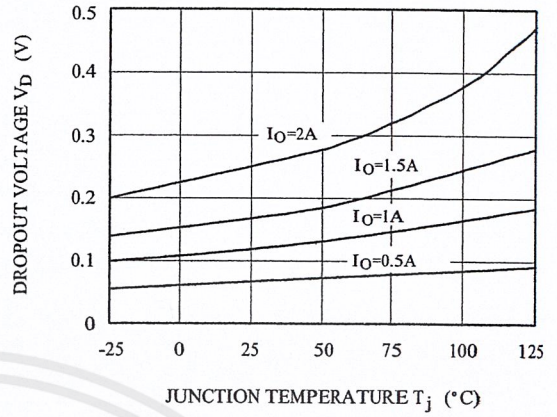


Fig.7  $T_j - I_q$

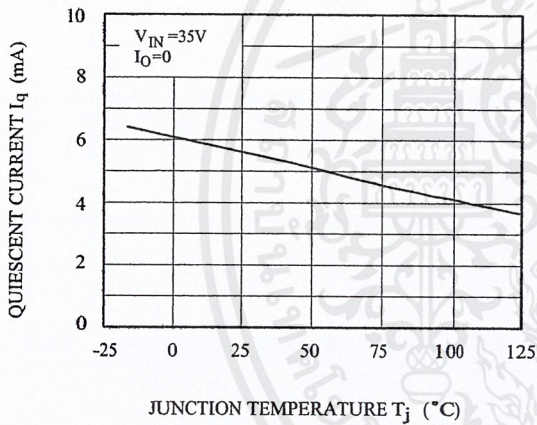


Fig.8-1  $f - \text{RR}$

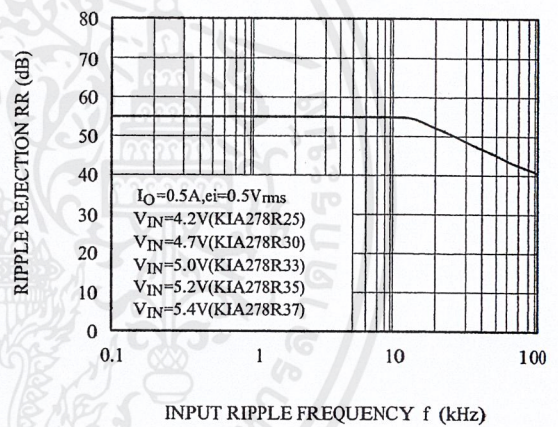
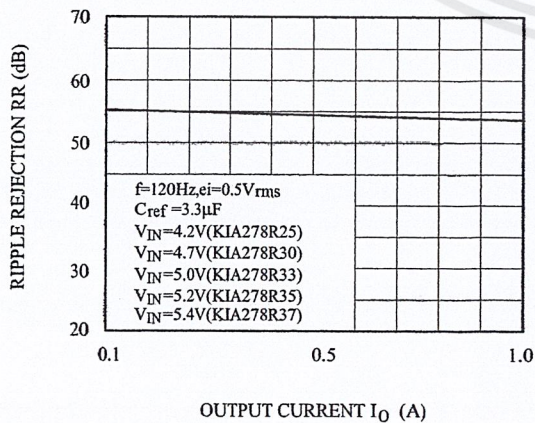


Fig.10-2  $I_O - \text{RR}$



#### 4 TERMINAL 2A OUTPUT LOW DROP VOLTAGE REGULATOR

The KIA278R × × Series are Low Drop Voltage Regulator suitable for various electronic equipments. It provides constant voltage power source with TO-220 4 terminal lead full molded PKG. The Regulator has multi function such as over current protection, overheat protection and ON/OFF control.

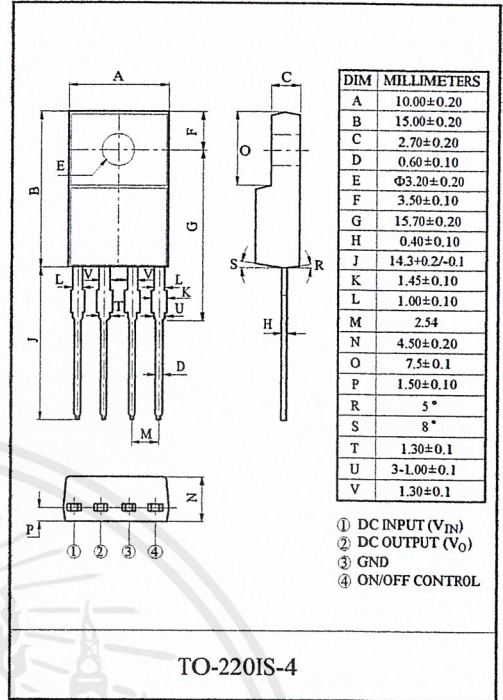
#### FEATURES

- 2.0A Output Low Drop Voltage Regulator.
- Built in ON/OFF Control Terminal.
- Built in Over Current Protection, Over Heat Protection Function.

#### LINE UP

ITEM	OUTPUT VOLTAGE (Typ.)	UNIT
KIA278R05PI	5	V
KIA278R06PI	6	
KIA278R08PI	8	
KIA278R09PI	9	
KIA278R10PI	10	
KIA278R12PI	12	
* KIA278R15PI	15	

\* Note) \*: Under Development.



#### MAXIMUM RATING (Ta=25 °C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT	Remark
Input Voltage	V <sub>IN</sub>	35	V	-
ON/OFF Control Voltage	V <sub>C</sub>	35	V	-
Output Current	I <sub>O</sub>	2	A	-
Power Dissipation 1	P <sub>d1</sub>	1.5	W	No heatsink
Power Dissipation 2	P <sub>d2</sub>	15	W	with heatsink
Junction Temperature	T <sub>j</sub>	125	°C	-
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-20 ~ 80	°C	-
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-30 ~ 125	°C	-
Soldering Temperature (10sec)	T <sub>sol</sub>	260	°C	-

# KIA278R05PI~KIA278R15PI

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25 °C)  
 (Unless otherwise specified, I<sub>O</sub>=1.0A, Ta=25 °C, Note1.)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Output Voltage	KIA278R05	V <sub>O</sub>	-	4.88	5.0	5.12	V
	KIA278R06		-	5.85	6.0	6.15	
	KIA278R08		-	7.80	8.0	8.2	
	KIA278R09		-	8.78	9.0	9.22	
	KIA278R10		-	9.75	10.0	10.25	
	KIA278R12		-	11.70	12.0	12.30	
	KIA278R15		-	14.70	15.0	15.30	
Load Regulation		Reg Load	I <sub>O</sub> =5mA~2A	-	0.1	2.0	%
Line Regulation		Reg Line	(Note 2)	-	0.5	2.5	%
Temperature Coefficient of Output Voltage		T <sub>C</sub> V <sub>O</sub>	T <sub>j</sub> =0~125 °C	-	±0.02	±0.05	%/°C
Ripple Rejection		R · R	-	45	55	-	dB
Drop Out Voltage		V <sub>D</sub>	I <sub>O</sub> =2A	-	-	0.5	V
Output ON state for control Voltage		V <sub>C(ON)</sub>	-	2.0	-	-	V
Output ON state for control Current		I <sub>C(ON)</sub>	V <sub>C</sub> =2.7V	-	-	20	μA
Output OFF state for control Voltage		V <sub>C(OFF)</sub>	-	-	-	0.8	V
Output OFF state for control Current		I <sub>C(OFF)</sub>	V <sub>C</sub> =0.4V <sub>O</sub>	-	-	-0.4	mA
Quiescent Current		I <sub>Q</sub>	I <sub>O</sub> =0	-	-	10	mA

- Note1) V<sub>IN</sub> of KIA278R05=7V      Note2) V<sub>IN</sub> of KIA278R05=6~12V      Note3) At V<sub>IN</sub>=0.95V<sub>O</sub>
- " KIA278R06=8V                      " KIA278R06=7~15V
  - " KIA278R08=10V                    " KIA278R08=9~25V
  - " KIA278R09=15V                    " KIA278R09=10~25V
  - " KIA278R10=16V                    " KIA278R10=11~26V
  - " KIA278R12=18V                    " KIA278R12=13~29V
  - " KIA278R15=21V                    " KIA278R15=16~32V

**BLOCK DIAGRAM**

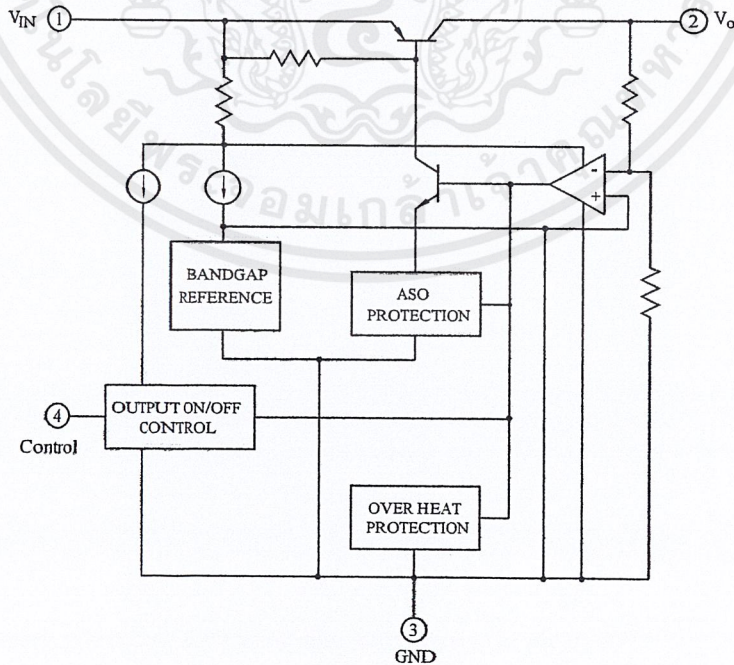


Fig. 1 Standard Test Circuit

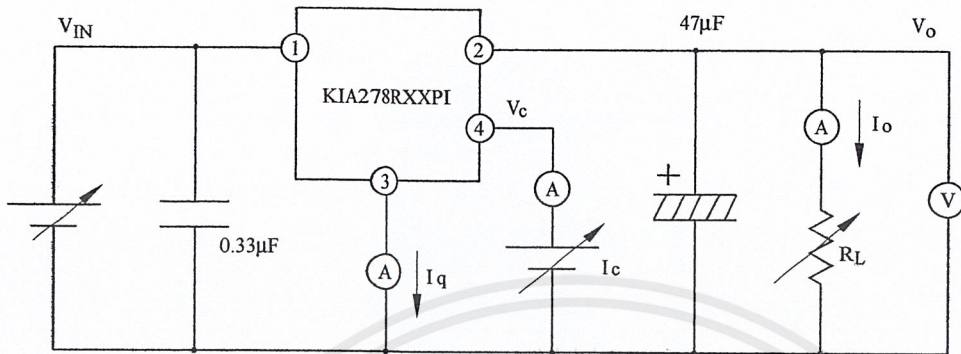


Fig. 1-2 Ripple Rejection Test Circuit

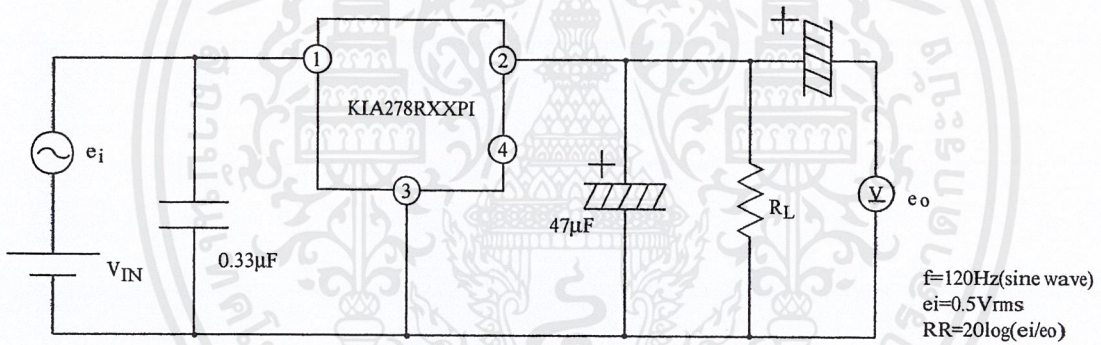
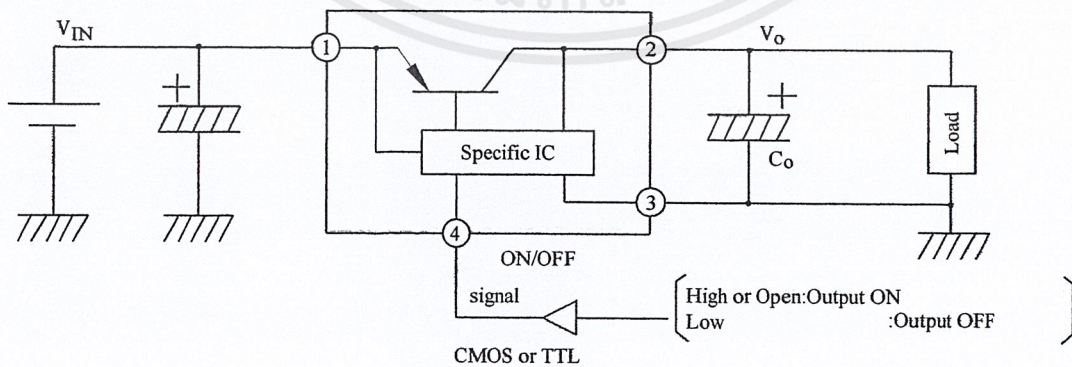
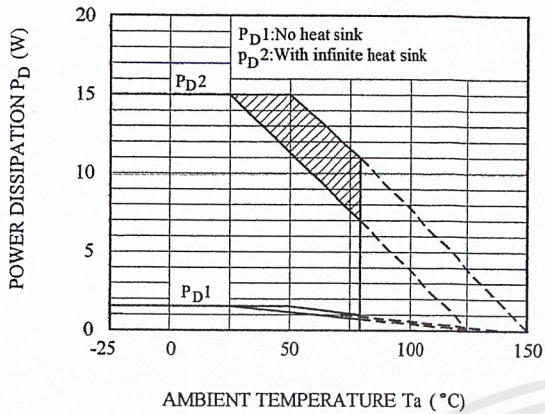


Fig. 2 Application Circuit for Standard



# KIA278R05PI~KIA278R15PI

Fig.3  $T_a - P_D$



Note) Oblique line portion : Overheat protection may operate in this area.

Fig.4  $I_O - V_O$

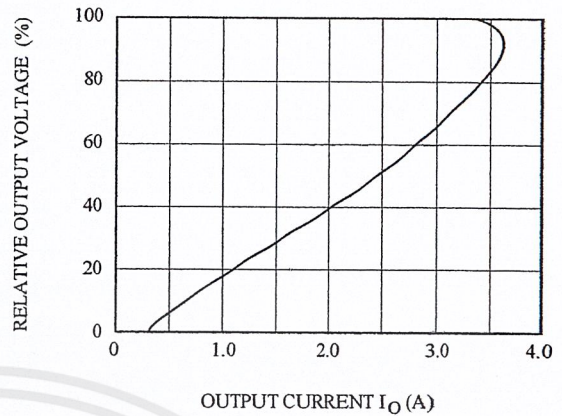


Fig.5-1  $T_j - \Delta V_O$  (KIA278R05)

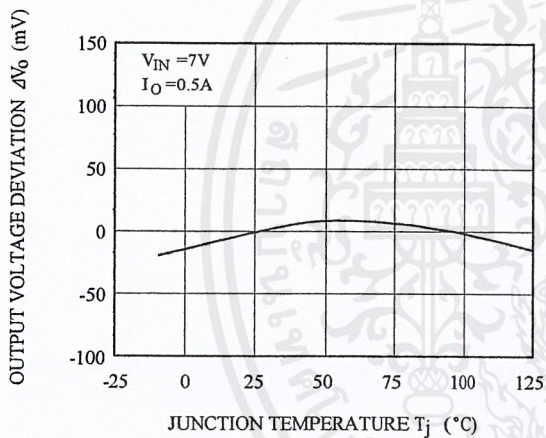


Fig.5-2  $T_j - \Delta V_O$  (KIA278R08)

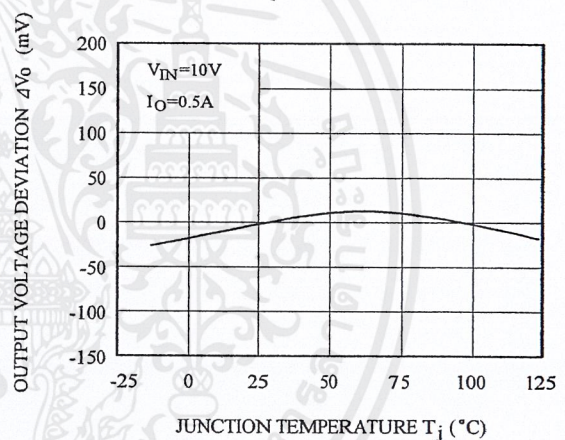


Fig.5-3  $T_j - \Delta V_O$  (KIA278R09)

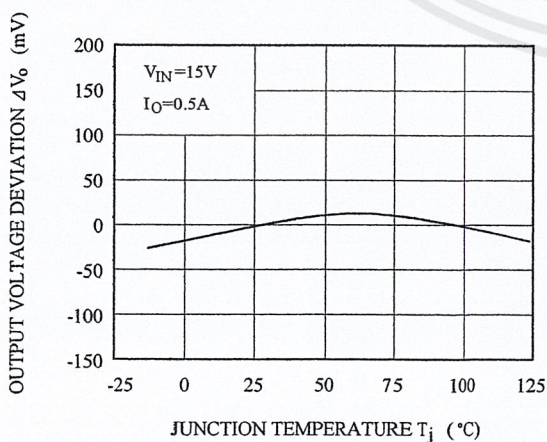
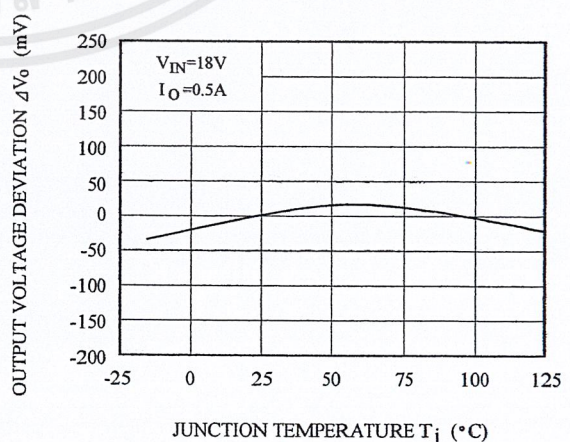


Fig.5-4  $T_j - \Delta V_O$  (KIA278R12)



# KIA278R05PI~KIA278R15PI

Fig.5-5  $T_j - \Delta V_o$  (KIA278R15)

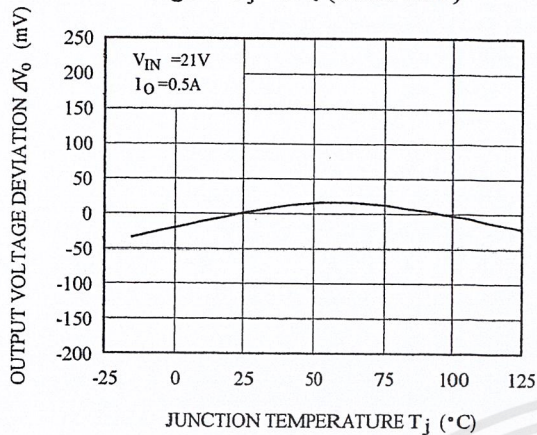


Fig.6-1  $V_{IN} - V_o$  (KIA278R05)

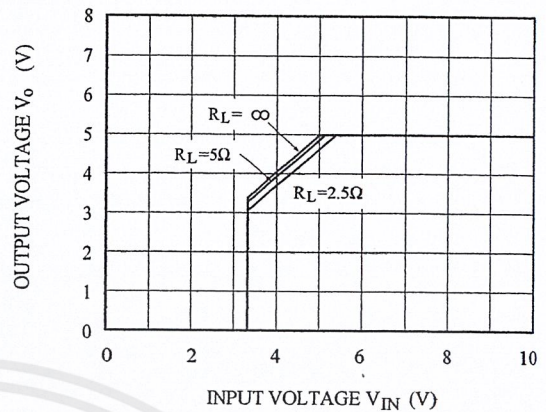


Fig.6-2  $V_{IN} - V_o$  (KIA278R08)

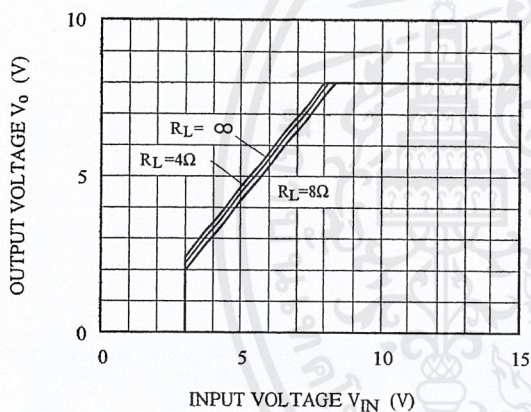


Fig.6-3  $V_{IN} - V_o$  (KIA278R09)

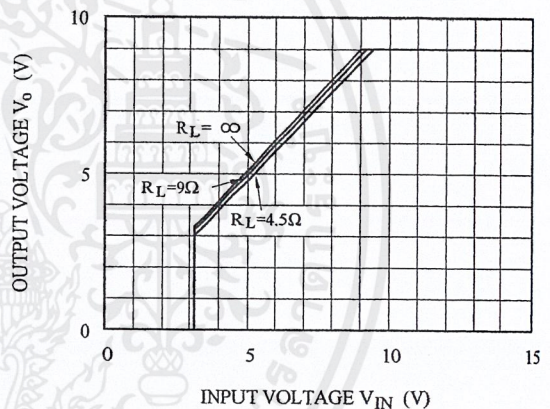


Fig.6-4  $V_{IN} - V_o$  (KIA278R12)

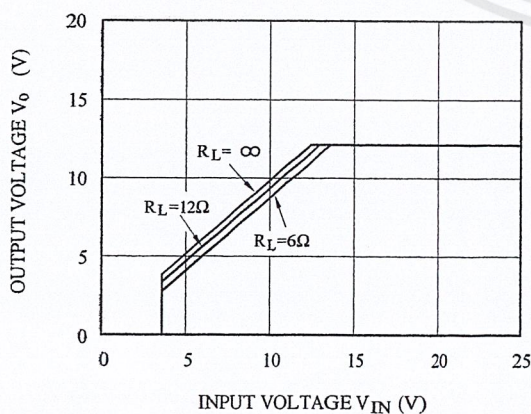
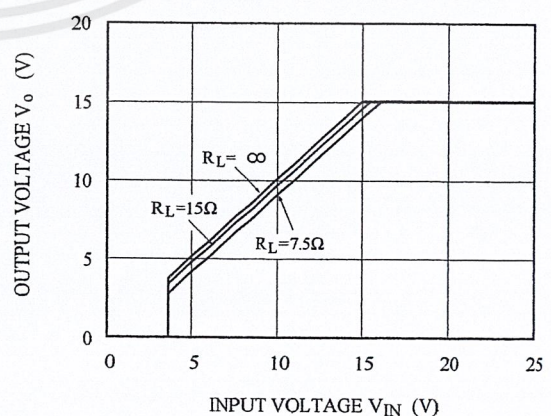
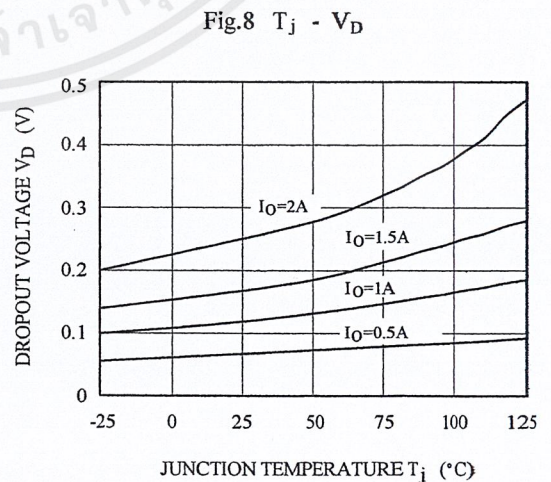
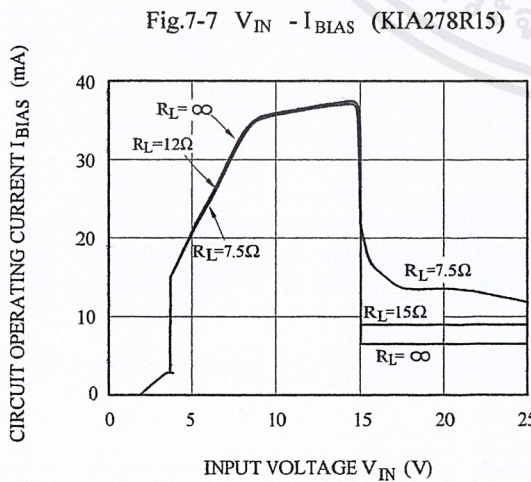
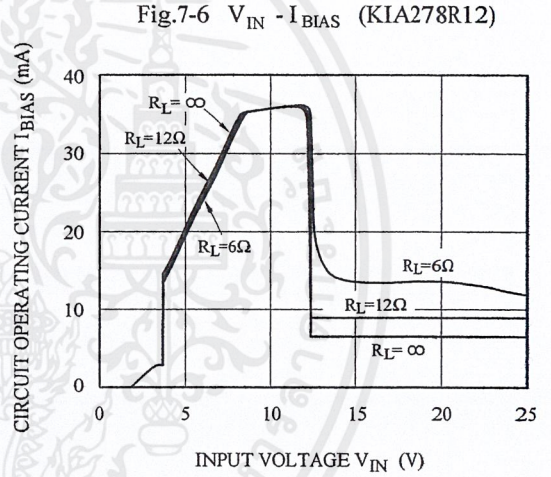
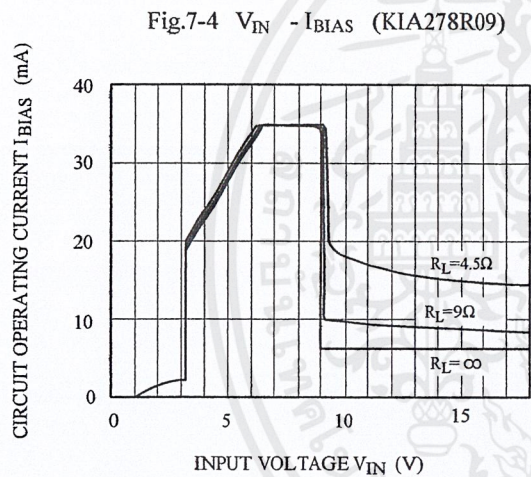
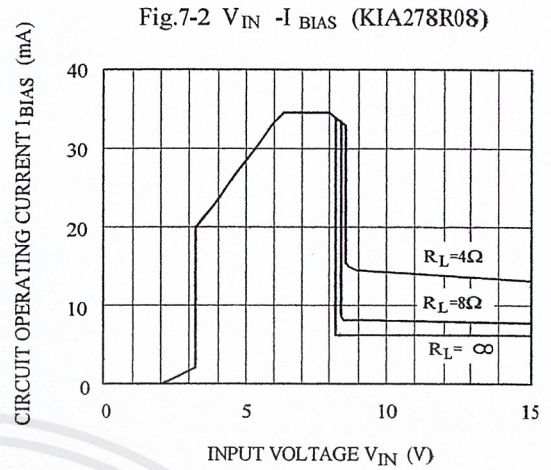
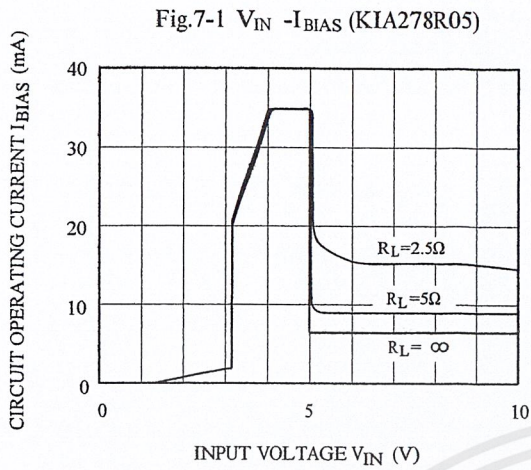


Fig.6-5  $V_{IN} - V_o$  (KIA278R15)



# KIA278R05PI~KIA278R15PI



# KIA278R05PI~KIA278R15PI

Fig.9  $T_j - I_q$

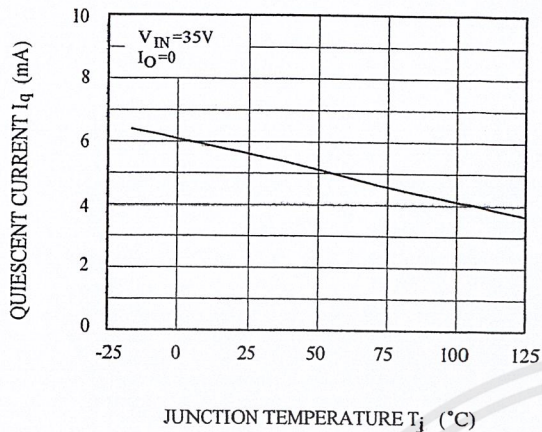


Fig. 10-1  $f - RR$

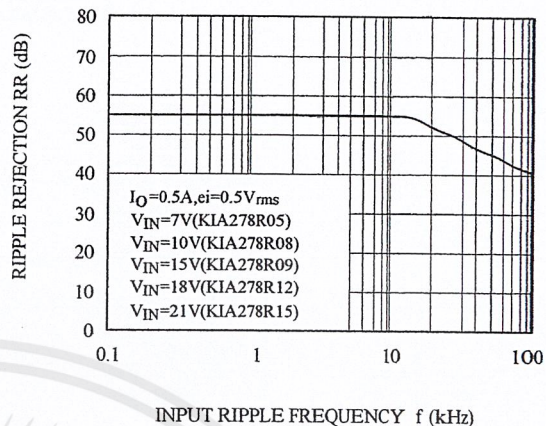
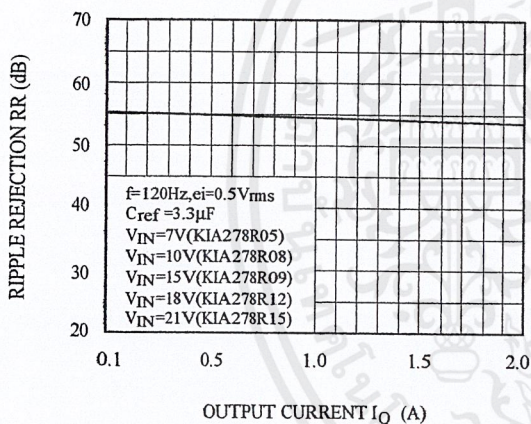


Fig.10-2  $I_O - RR$



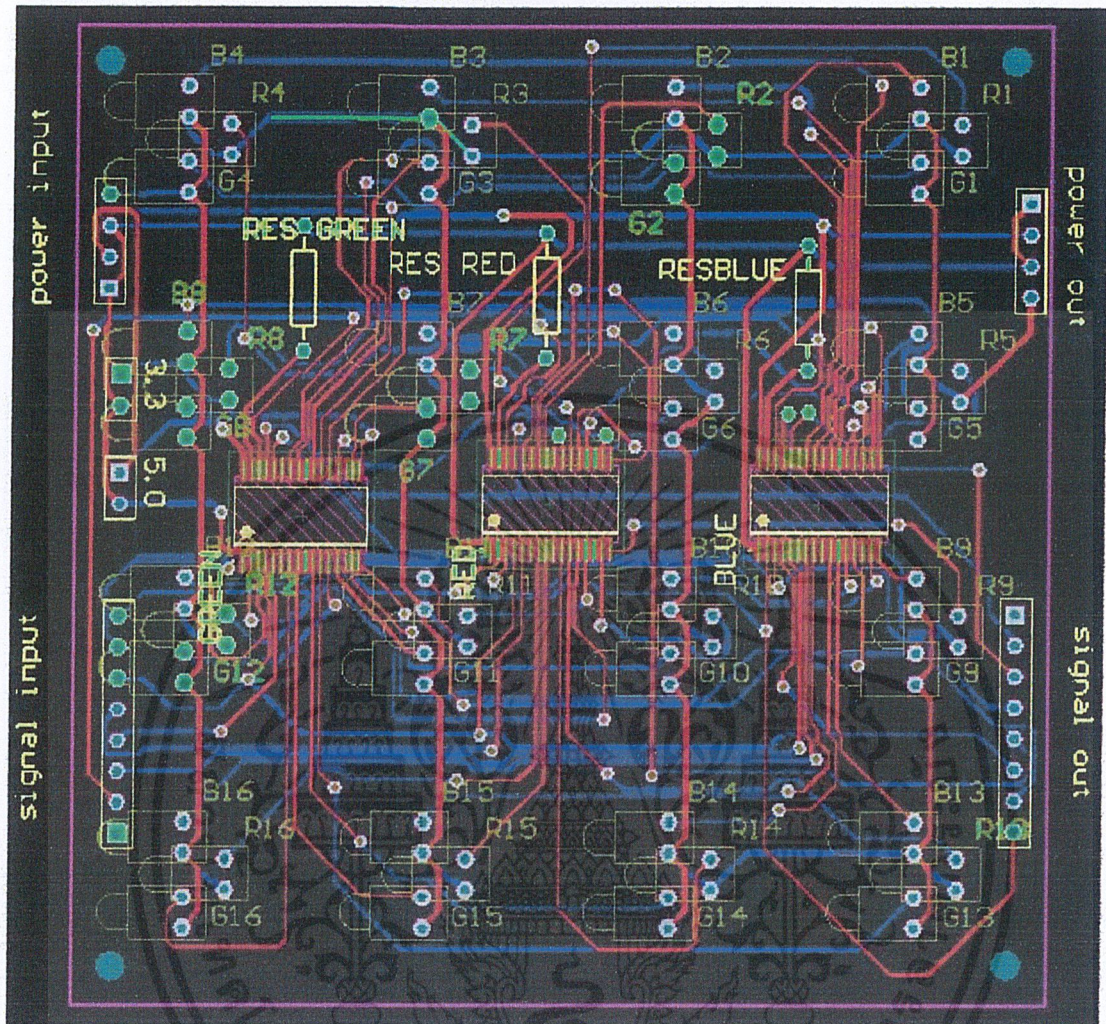


ภาคผนวก จ.

แผ่นลายวงจร LED Displays (2 layers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แผ่นลายวงจร LED Displays ในโปรแกรม Altium



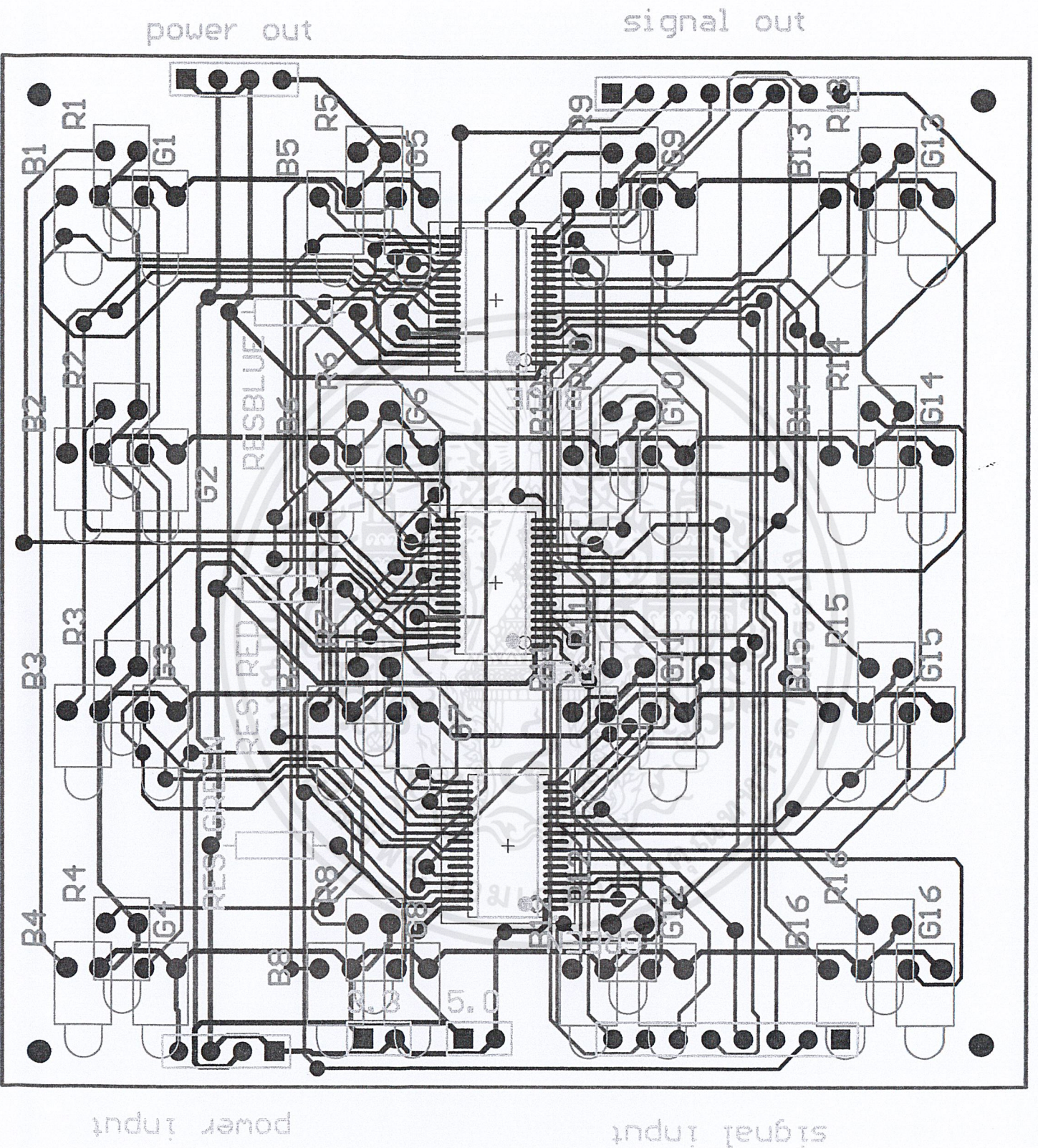
คือ เส้นลายวงจรด้านหน้าของวงจร

คือ เส้นลายวงจรด้านหลังของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



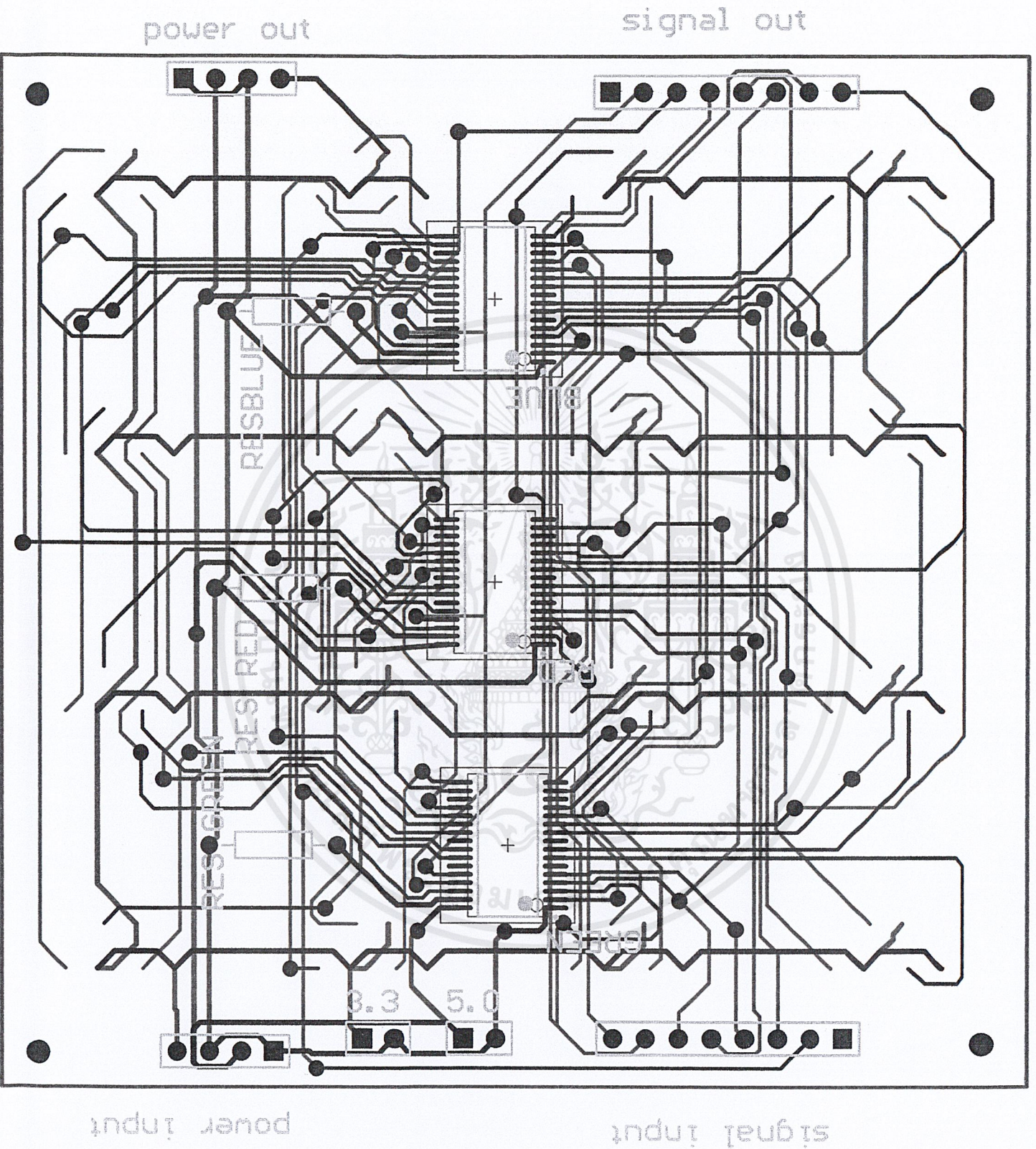
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

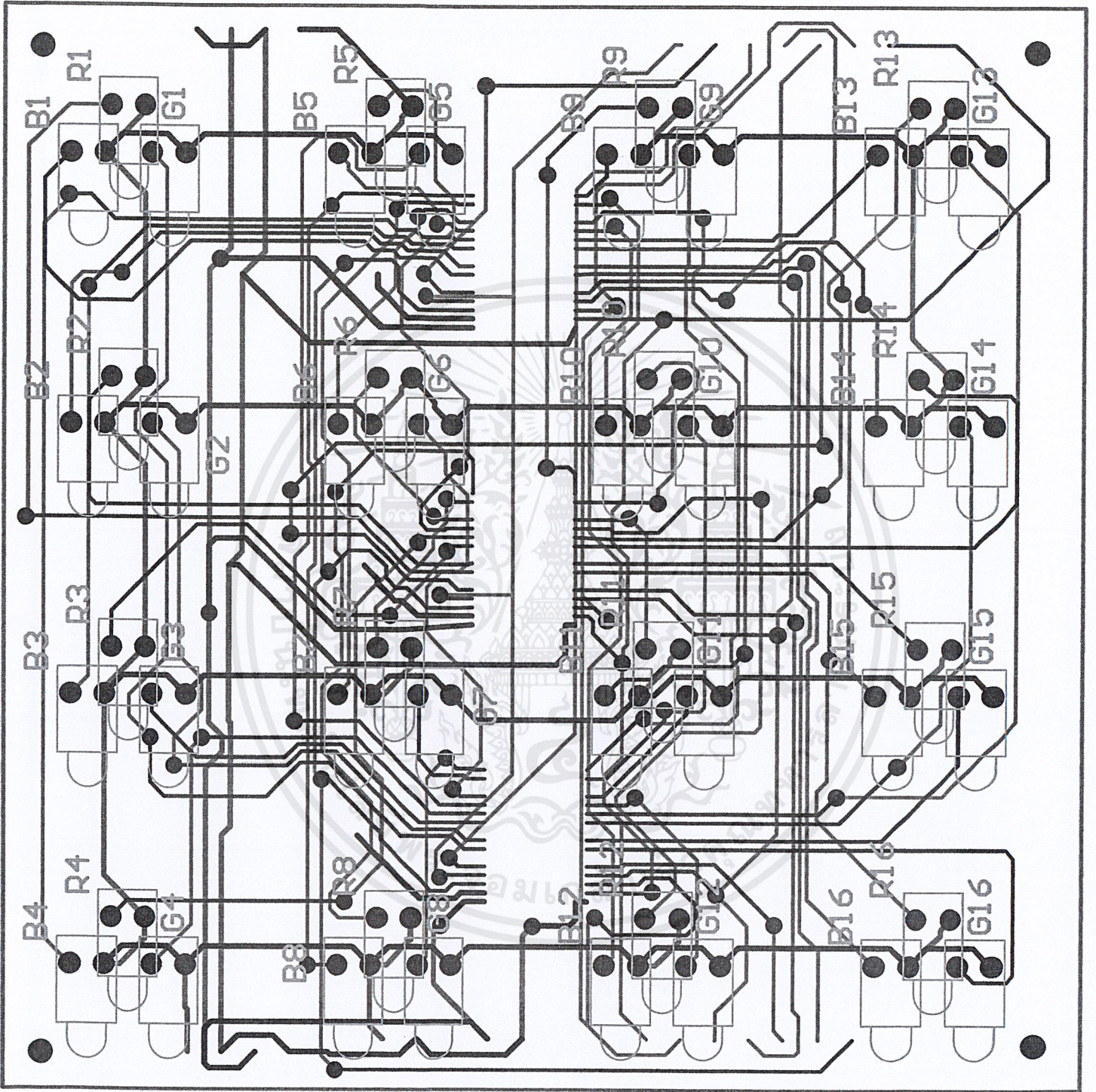


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายวงจรด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



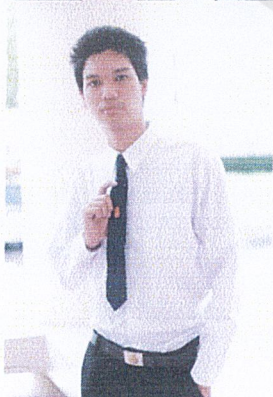
นายภากรดา พรหมมากุล เกิดวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2531  
ที่จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก  
โรงเรียนบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น  
สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail : golfza\_kmitl@hotmail.com



นายภิญโญ สงคดักษณ์ เกิดวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2531  
ที่จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก  
โรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี  
สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail : bhinyo\_333@hotmail.com



นายภูติท อินไทย เกิดวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2531  
ที่จังหวัดน่าน สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก  
โรงเรียนบัว จังหวัดน่าน  
สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail : pro\_of\_assassination@msn.com



นายภูมินทร์ สุทธิแย้ม เกิดวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2532  
ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก  
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
E-mail : phumin555@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้