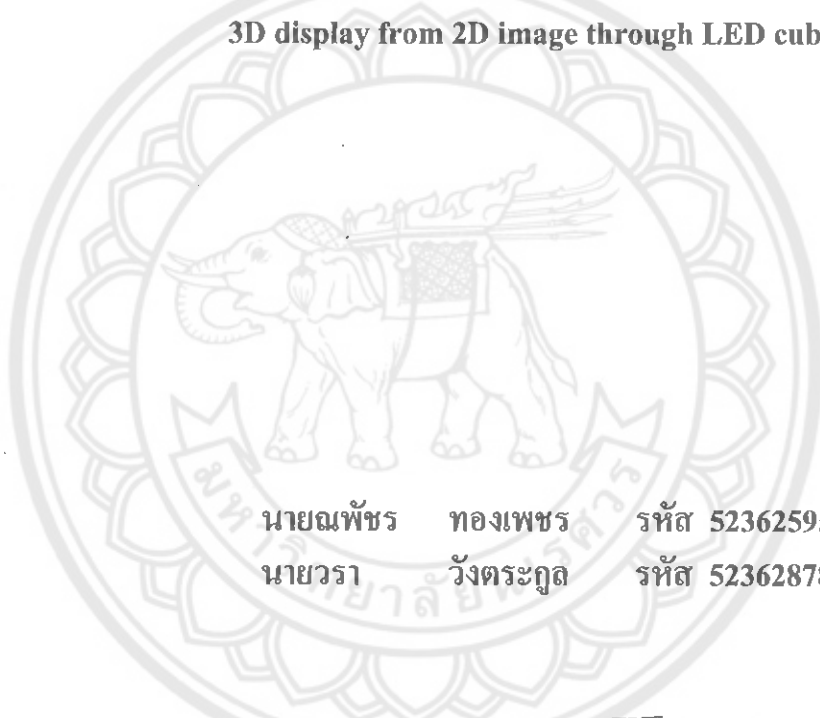


การแสดงผลภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ
ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์
3D display from 2D image through LED cube



นายณพัชร ทองเพชร รหัส 52362595
นายวรา วังตระกูล รหัส 52362878

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ธ.ค. 2556

เลขทะเบียน..... ๒๕๖๖๖๖๖

เลขเรียกหนังสือ..... ๗๖

มหาวิทยาลัยนเรศวร ๘๓161 ๙

๒๕๕๕

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การแสดงภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์
ผู้ดำเนินโครงการ นายณพัชร ทองเพชร รหัส 52362595
 นายวรา วังตระกูล รหัส 52362878
ที่ปรึกษาโครงการ ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

Sunit Kiravittaya ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา)

[Signature] กรรมการ
(ดร. พันธุ์ นัถฤทธิ์)

[Signature] กรรมการ
(อ. รัฐภูมิ วรรณสาสน์)

[Signature] กรรมการ
(อ. เศรษฐา ตั้งถวานิช)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การแสดงภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์
ผู้ดำเนินโครงการ	นายณพัชร ทองเพชร รหัส 52362595
	นายวรา วัังตระกูล รหัส 52362878
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและนำเสนอวิธีการแสดงรูปภาพในแบบ 3 มิติ โดยเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อควบคุมการทำงานการส่งจ่ายกระแสไฟให้ไดโอดเปล่งแสงติดตามตำแหน่งที่ต้องการ และไดโอดเปล่งแสงที่สร้างขึ้นเป็นทรงลูกบาศก์จึงเป็นจอภาพที่สามารถแสดงผลภาพ 3 มิติ ได้ในทุกด้าน โดยได้ทำการศึกษาหลักการประมวลผลภาพพื้นฐานในการแปรผลรูปภาพ 2 มิติ ให้เป็นภาพ 3 มิติ จากระดับสีเทาของแต่ละจุดของรูปภาพ เพื่อกำหนดเป็นความลึกหรือชั้นของภาพที่จะแสดงบนไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

Project title 3D display from 2D image through LED cube
Name Mr. Naphat Thongphet ID. 52362595
Mr. Wara Wangtrakoon ID. 52362878
Project advisor Dr. Suwit Kiravittaya
Major Computer Engineering
Department Electrical and Computer Engineering
Academic year 2012

Abstract

This project is to study a method to present three-dimensional (3D) image by using computer program, which controls the state of individual light-emitting diode (LED). The constructed LED array has cube shape and thus can display on all sides. Principle of 2D to 3D image processing has been applied. By mapping the gray level of each pixel on the input 2D image, one can represent the depth of image as 3D image on a LED cube.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนิทรรศการคอมพิวเตอร์เรื่องการถ่ายภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องมาจากทางคณะผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการทำงาน พร้อมทั้งแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ และคอยกระตุ้นให้คณะผู้จัดทำทำงานอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนสละเวลาอันมีค่าเพื่อตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ คณะผู้จัดทำรู้สึกเป็นเกียรติอย่างมากที่ได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์

ในโอกาสนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน บิดา มารดา ที่คอยสั่งสอนให้ความรู้จนคณะผู้จัดทำสำเร็จการศึกษา ทั้งนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ได้ช่วยในการทดสอบโปรแกรมและคอยให้กำลังใจ ช่วยให้คำปรึกษาทั้งในเรื่องเรียนและในเรื่องส่วนตัวจนสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี



นายณพัชร
นายวรา

ทองเพชร
วังตระกูล

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ภาพจิตตอล	4
2.2 ระบบสี RGB	5
2.3 Matrix Operations	6
2.4 ระบบสมองกลฝังตัว	6
2.5 หลักการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้	13
3.2 วัสดุที่ใช้	14
3.3 วิธีการดำเนินโครงการ	14
บทที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมและอุปกรณ์	
4.1 การแสดงภาพรูปเรขาคณิต 3 มิติ	28
4.2 การแสดงภาพรูปเรขาคณิต 2 มิติ	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 บทสรุปการดำเนินงาน	52
5.2 ปัญหาที่พบ	52
5.3 ข้อเสนอแนะ	53
5.4 แนวทางในการประยุกต์และพัฒนาต่อไป	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	55
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	128



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
2.1 แสดงถึงอาเรย์ที่เก็บข้อมูลภาพดิจิทัลแบบขาว-ดำขนาด $M \times N$ Pixel	4
2.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณ Matrix B ด้วยค่าคงที่ c	6
3.1 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 1	23
3.2 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 2	24
3.3 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 3	24
3.4 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 4	24
3.5 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 5	24
3.6 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 6	25
3.7 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 7	25
3.8 แสดงการส่งข้อมูลของชั้นที่ 8	25
4.1 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 1 ของรูปทรงกลม	31
4.2 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 2 ของรูปทรงกลม	31
4.3 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 3 ของรูปทรงกลม	31
4.4 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 4 ของรูปทรงกลม	31
4.5 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 5 ของรูปทรงกลม	32
4.6 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 6 ของรูปทรงกลม	32
4.7 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 7 ของรูปทรงกลม	32
4.8 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 8 ของรูปทรงกลม	32
4.9 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 1 ของรูปทรงกระบอก	37
4.10 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 2 ของรูปทรงกระบอก	37
4.11 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 3 ของรูปทรงกระบอก	37
4.12 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 4 ของรูปทรงกระบอก	37
4.13 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 5 ของรูปทรงกระบอก	38
4.14 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 6 ของรูปทรงกระบอก	38
4.15 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 7 ของรูปทรงกระบอก	38
4.16 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 8 ของรูปทรงกระบอก	38
4.17 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 1 ของรูปพีระมิด	43
4.18 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 2 ของรูปพีระมิด	43
4.19 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 3 ของรูปพีระมิด	43
4.20 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 4 ของรูปพีระมิด	43
4.21 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 5 ของรูปพีระมิด	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.22 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 6 ของรูปพีระมิด	44
4.23 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 7 ของรูปพีระมิด	44
4.24 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 8 ของรูปพีระมิด	44
4.25 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 1 ของรูปสี่เหลี่ยม	49
4.26 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 2 ของรูปสี่เหลี่ยม	49
4.27 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 3 ของรูปสี่เหลี่ยม	49
4.28 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 4 ของรูปสี่เหลี่ยม	49
4.29 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 5 ของรูปสี่เหลี่ยม	50
4.30 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 6 ของรูปสี่เหลี่ยม	50
4.31 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 7 ของรูปสี่เหลี่ยม	50
4.32 แสดงการส่งข้อมูลชั้นที่ 8 ของรูปสี่เหลี่ยม	50



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงระบบสี RGB	5
2.2 แสดง RGB Model	5
2.3 แสดงการรองขาขั้วบวกรวม	8
2.4 แสดงการรองขาขั้วลบของแต่ละสี	8
2.5 แสดงการนำไดโอดเปล่งแสงมาเรียงต่อกัน	8
2.6 แสดงการสร้างสคริปต์ของ ไดโอดเปล่งแสง	9
2.7 (1)แสดงการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	9
2.8 (2)แสดงการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	10
2.9 (3)แสดงการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	10
2.10 แสดงการสร้างบอร์ดควบคุมไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	11
2.11 แสดงข้อมูลตามเวลาของการควบคุมของบอร์ดควบคุม	11
2.12 แสดงแหล่งจ่ายไฟ	12
2.13 แสดงการต่อสายไฟควบคุมหลอด ไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	12
3.1 แสดงการคัดขีไดโอดเปล่งแสง	14
3.2 แสดงลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.626 mm. (16 swg)	15
3.3 (1)แสดงการบัดกรีเชื่อมไดโอดเปล่งแสงกับลวดทองแดง	15
3.4 (2)แสดงการบัดกรีเชื่อมไดโอดเปล่งแสงกับลวดทองแดง	16
3.5 (3)แสดงการบัดกรีเชื่อมไดโอดเปล่งแสงกับลวดทองแดง	16
3.6 แสดงไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์	17
3.7 แสดงการแบ่งความเข้มของสีออกเป็น 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน	18
3.8 แสดงภาพที่ถูกแบ่งความเข้มของสีออกเป็น 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน	18
3.9 แสดงการลดขนาดของภาพให้เหลือ 8x8 pixel	19
3.10 แสดงภาพที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel	19
3.11 แสดงการแปลงภาพเป็นแบบ Gray scale	20
3.12 แสดงภาพที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale	20
3.13 แสดงภาพการประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale	22
3.14 (1)แสดงการส่งข้อมูลไปยัง LED cube	22
3.15 (2)แสดงการส่งข้อมูลไปยัง LED cube	23
3.16 (3)แสดงการส่งข้อมูลไปยัง LED cube	23
3.17 แสดงการรับและส่งค่าออกไปยัง IC	26
3.18 แสดงการ latch ข้อมูลออกไปยังไดโอดเปล่งแสง	26
3.19 แสดงการส่งข้อมูลแต่ละรอบ	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงรูปทรงกลม	28
4.2 แสดงภาพรูปทรงกลมที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel	29
4.3 แสดงภาพรูปทรงกลมที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale	29
4.4 แสดงภาพรูปทรงกลมที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale	30
4.5 แสดงภาพรูปทรงกลมด้าน Top	33
4.6 แสดงภาพรูปทรงกลมด้าน Front	33
4.7 แสดงภาพรูปทรงกลมด้าน Side	33
4.8 แสดงรูปทรงกระบอก	34
4.9 แสดงรูปทรงกระบอกที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel	35
4.10 แสดงภาพรูปทรงกระบอกที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale	35
4.11 แสดงภาพรูปทรงกระบอกที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale	36
4.12 แสดงภาพรูปทรงกระบอกด้าน Top	39
4.13 แสดงภาพรูปทรงกระบอกด้าน Front	39
4.14 แสดงภาพรูปทรงกระบอกด้าน Side	39
4.15 แสดงรูปพีระมิด	40
4.16 แสดงภาพรูปพีระมิดที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel	41
4.17 แสดงภาพรูปพีระมิดที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale	41
4.18 แสดงภาพรูปพีระมิดที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale	42
4.19 แสดงภาพรูปพีระมิดด้าน Top	45
4.20 แสดงภาพรูปพีระมิดด้าน Front	45
4.21 แสดงภาพรูปพีระมิดด้าน Side	45
4.22 แสดงรูปสี่เหลี่ยม	46
4.23 แสดงรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel	47
4.24 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale	47
4.25 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale	48
4.26 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมด้าน Top	51
4.27 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมด้าน Front	51
4.28 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมด้าน Side	51
ผ.1 (1)แสดงขั้นตอนการตัดตั้ง โปรแกรม	55
ผ.2 (2)แสดงขั้นตอนการตัดตั้ง โปรแกรม	56
ผ.3 (3)แสดงขั้นตอนการตัดตั้ง โปรแกรม	56
ผ.4 (4)แสดงขั้นตอนการตัดตั้ง โปรแกรม	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ผ.5 (5)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	57
ผ.6 (6)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	57
ผ.7 (7)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	58
ผ.8 (8)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	58
ผ.9 (9)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	58
ผ.10 (10)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	59
ผ.11 (11)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม	59
ผ.12 แสดง Schematic LED driver	60



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

swg = Standard Wire Gauge



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการแสดงผลแบบรูปภาพมีความก้าวหน้าไปอย่างมากจากในอดีต และรูปแบบที่ใช้ในการแสดงผลก็มีรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ การแสดงผลแบบ 3 มิติ ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยการแสดงผลแบบ 3 มิติในปัจจุบันจะเป็นไปในลักษณะของการแสดงผลบนจอภาพแบบแบน ซึ่งทำให้ไม่เกิดการรับรู้จริงจากการมองเห็นเพราะไม่สามารถมองจากมุมมองอื่นได้ แต่จะให้การหมุนของรูปภาพไปในมุมต่างๆ แทนซึ่งถ้าหากใช้รูปแบบการแสดงผลแบบเดิมจะทำให้เกิดความยากลำบากต่อการสร้างแบบจำลอง และการทำความเข้าใจในรูปทรงของวัตถุ

โครงการที่ทำการศึกษานี้จะเป็นการพัฒนาในรูปแบบการแสดงผลแบบ 3 มิติ ให้สามารถมองเห็นรูปทรงของวัตถุได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยใช้โปรแกรมที่สามารถจำลองการแสดงผลภาพ 3 มิติ และสามารถแสดงผลออกมาเป็นรูปทรงได้ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ ซึ่งใช้ความรู้ทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลในการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถแสดงผลภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ ได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อแสดงผลภาพ 3 มิติ ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์จากรูปภาพ 2 มิติ
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมผ่านไลบรารี (Library) ของโปรแกรม MATLAB
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมฝังตัวควบคุมการทำงานของไดโอดเปล่งแสงด้วยอุปกรณ์บอร์ด FIO

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ภาพ 3 มิติ ที่แสดงเป็นภาพที่ได้จากการแปรผลภาพ 2 มิติ โดยใช้ระดับความเข้มสีเทาและระดับความเข้มสีในระบบ RGB ที่แตกต่างกันเป็นตัวแปรในการประมวลผล
2. รูปภาพที่ใช้จะต้องเป็นรูปภาพที่มีแสงและเงาชัดเจน
3. ภาพ 3 มิติ ที่แสดงอยู่ภายใต้การแสดงผลของไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ขนาด 8x8x8 ดวง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการแปรผลภาพ 2 มิติ ให้กลายเป็นภาพ 3 มิติ
2. สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ทางไฟฟ้าในการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ได้
3. ได้อุปกรณ์แสดงภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ และโปรแกรมฝังตัวควบคุมการทำงานของไดโอดเปล่งแสงลงบนอุปกรณ์บอร์ด FiO

1.6 งบประมาณ

1. ค่าวัสดุสำนักงาน	เป็นเงิน	<u>300</u>	บาท
2. ค่าวัสดุอุปกรณ์	เป็นเงิน	<u>1,400</u>	บาท
3. ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์	เป็นเงิน	<u>300</u>	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น		<u>2,000</u>	บาท
(สองพันบาทถ้วน)			

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

เนื้อหาในบทนี้ได้แบ่งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการพัฒนาโครงการออกเป็นส่วนต่างๆ หลายส่วนได้แก่ เรื่องของการแสดงผลแบบรูปภาพ เรื่องของภาพและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรม เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโครงการซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัล[1] คือรูปภาพที่เกิดจากจุด (Pixel) มาเรียงต่อกันแบบ 2 มิติ ซึ่งสามารถนิยามได้เป็นฟังก์ชัน $f(x,y)$ ที่มี x และ y เป็นตำแหน่งของจุด โดยค่า f คือแอมพลิจูด (ค่าระดับสี) ของพิกัด (x,y) บนภาพ และในทางคอมพิวเตอร์นั้นจะเก็บอยู่ในรูปแบบอาร์เรย์ (Array) ขนาด 2 มิติ (ในภาพขาว-ดำ) และขนาด 3 มิติ (ในภาพสีระบบ RGB)

2.1.1 ภาพดิจิทัลแบบขาวดำ

ภาพดิจิทัลแบบขาวดำ โดยทั่วไปจะใช้จำนวนบิตในการเก็บข้อมูลของแต่ละจุด (Pixel) ขนาด 8 บิต ทำให้สามารถเก็บความเข้มของสีได้ 256 ระดับ (0-255)

2.1.2 ภาพดิจิทัลแบบสี RGB

ภาพดิจิทัลแบบสี RGB โดยทั่วไปจะใช้จำนวนบิตในการเก็บข้อมูลของแต่ละจุด (Pixel) ขนาด 24 บิต ซึ่งเกิดจากภาพ 3 ภาพที่มีโครงสร้างเหมือนกันแต่มีสีพื้นที่แตกต่างกันคือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยในแต่ละสีมีการเก็บข้อมูลขนาด 8 บิต ทำให้มีระดับความเข้มของสีได้ 256 ระดับ (0-255)

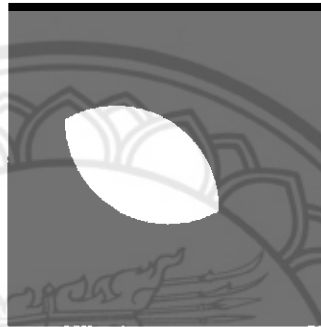
ตารางที่ 2.1 แสดงถึงอาร์เรย์ที่ใช้เก็บข้อมูลภาพดิจิทัลแบบขาว-ดำขนาด $M \times N$ Pixel

$f(0,0)$	$f(0,1)$	$f(0,2)$	$f(0,3)$	...	$f(0,N-1)$
$f(1,0)$	$f(1,1)$	$f(1,2)$	$f(1,3)$	...	$f(1,N-1)$
$f(2,0)$	$f(2,1)$	$f(2,2)$	$f(2,3)$	...	$f(1,N-1)$
$f(3,0)$	$f(3,1)$	$f(3,2)$	$f(3,3)$	...	$f(1,N-1)$
...
$f(M-1,0)$	$f(M-1,1)$	$f(M-1,2)$	$f(M-1,3)$	...	$f(M-1,N-1)$

2.2 ระบบสี RGB

ระบบสีแบบ RGB คือระบบสีพื้นฐานที่ใช้ในการแสดงผลภาพสีทางคอมพิวเตอร์ และยังเป็นสีพื้นฐานที่ใช้ในการเก็บภาพแบบดิจิทัล ซึ่งระบบสีแบบ RGB นี้ประกอบด้วยสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) โดยทั่วไปแล้วในแต่ละสีจะถูกควบคุมด้วยจำนวนบิต 8 บิต โดยมีค่าต่ำสุดของสีคือ 0 (00 ในฐานสิบหก) และค่าสูงสุดคือ 255 (FF ในฐานสิบหก)

ภาพสีแบบ RGB ในแต่ละจุดจะถูกควบคุมด้วยจำนวนบิตทั้งหมด 24 บิต โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 000000-FFFFFF ในเลขฐานสิบหก โดยบิตที่ 0-7 ใช้ควบคุมระดับสีแดง บิตที่ 8-15 ใช้ควบคุมระดับสีเขียว และบิตที่ 16-23 ใช้ในการควบคุมระดับสีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.1 แสดงระบบสี RGB[4]



ภาพที่ 2.2 แสดง RGB Model[5]

2.3 Matrix Operations

การคูณ Matrix[6] ด้วยค่าคงตัวสามารถเขียนในรูป $A = cB$ โดยที่ A และ B คือ Matrix ขนาด $M \times N$ และ c คือค่าคงตัวที่เป็นจำนวนจริง โดยค่าของแต่ละตำแหน่งใน A จะเกิดจากค่าในแต่ละตำแหน่งของ B คูณกับ c

ตารางที่ 2.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณ Matrix B ด้วยค่าคงที่ c

$B(0,0)*c$	$B(0,1)*c$	$B(0,2)*c$
$B(1,0)*c$	$B(1,1)*c$	$B(1,2)*c$
$B(2,0)*c$	$B(2,1)*c$	$B(2,2)*c$
$B(3,0)*c$	$B(3,1)*c$	$B(3,2)*c$

การทำค่าทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็มนั้นมี 3 วิธีคือ การปัดเศษขึ้น (ceil) การปัดเศษลง (floor) และการปัดเศษโดยทั่วไป (round)

- การปัดเศษขึ้น คือถ้าตัวเลขเป็นจุดทศนิยมจะทำการปัดเศษขึ้นให้เป็นจำนวนเต็ม เช่น 12.1 จะเป็น 13

- การปัดเศษลง คือถ้าตัวเลขเป็นจุดทศนิยมจะทำการปัดเศษลงให้เป็นจำนวนเต็ม เช่น 12.9 จะเป็น 12

- การปัดเศษโดยทั่วไป คือถ้าตัวเลขเป็นจุดทศนิยมที่มีค่ามากกว่า 0.5 จะปัดเศษขึ้น แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.5 จะปัดเศษลง เช่น 12.4 จะเป็น 12 และ 12.5 จะเป็น 13

2.4 ระบบสมองกลฝังตัว

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)[7] เปรียบได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ซ่อนตัวอยู่ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ให้ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ แต่อาจมีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่าเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปเนื่องจากการถูกจำกัดด้วยขนาดที่เล็กกว่านั่นเอง โดยโครงการนี้ได้เลือกใช้ FiO Board และ RapidSTM32 blockset ในการพัฒนาโครงการ

2.4.1 FiO Boards

อุปกรณ์บอร์ด FiO[8] คือชุดปฏิบัติการทดลองระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32 (สถาปัตยกรรม 32-bits ARM Cortex-M3) ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อการใช้งานร่วมกับ RapidSTM32 blockset

2.4.2 RapidSTM32 blockset

เป็นชุดกล่องคำสั่งแบบรูปภาพที่สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม[9] Matlab/Simulink และกลไกของ Code Generation ได้ทำให้สามารถแปลคำสั่งโปรแกรมแบบกราฟิกให้เป็นคำสั่งของระบบสมองกลฝังตัวได้ง่าย

2.5 หลักการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

2.5.1 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงเป็นไดโอดชนิดหนึ่ง ซึ่งภายในไดโอดเปล่งแสงจะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำ โดยจะมีการจ่ายไฟบวกไปยังขั้วบวก (แอนโนด) และจ่ายไฟลบไปยังขั้วลบ (แคโทด) จะทำให้เกิดการวิ่งของอิเล็กตรอนส่งผลให้เกิดการคลายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง โดยความสว่างของแต่ละสีขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ของขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งไดโอดเปล่งแสงแบบ 3 สี (RGB) มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด ได้แก่

- ไดโอดเปล่งแสง 3 สีชนิดขั้วบวกร่วม ไดโอดชนิดนี้จะใช้ขาไฟบวกร่วมกัน โดยจะควบคุมความสว่างของแต่ละสีด้วยการจ่ายไฟลบเข้าไปที่ขาลบของแต่ละสี
- ไดโอดเปล่งแสง 3 สีชนิดขั้วลบร่วม ไดโอดชนิดนี้จะใช้ขาไฟลบร่วมกัน โดยจะควบคุมความสว่างของแต่ละสีด้วยการจ่ายไฟบวกเข้าไปที่ขาบวกของแต่ละสี

2.5.2 ระบาย

ระบายมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ ระบายแนวตั้งและระบายแนวนอน

- ระบายแนวตั้ง คือระบายที่ตั้งฉากกับพื้น โดยระบายแนวนี้จะเรียงตัวต่อกันในแนวตั้ง ซึ่งจะซ้อนต่อกันจากข้างหน้าไปข้างหลัง

- ระบายแนวนอน คือระบายที่ขนานกับพื้น โดยระบายแนวนี้จะเรียงตัวซ้อนทับกันในแนวนอน ซึ่งจะซ้อนทับกันจากข้างบนลงข้างล่าง

ซึ่งระบายทั้งสองแบบนี้สามารถแสดงภาพได้เช่นเดียวกัน โดยระบายแนวนอนจะต้องต่อสายเข้าไปตั้งฉากกับแนวแกนที่จะแสดงคือต่อในแนวตั้ง ส่วนระบายแนวตั้งจะต้องต่อสายควบคุมเข้าไปในแกนนอน

2.5.3 หลักการสร้าง[10]

2.5.3.1 อุปกรณ์

- 512 x 10mm. ไดโอดเปล่งแสงแบบขั้วบวกร่วม ขนาด 10 มิลลิเมตร
- 12 x STP16 ไอซีในการควบคุมหลอดไดโอดเปล่งแสง
- 8 x 2N5195 ทรานซิสเตอร์แบบ PNP
- 1 x ChipKIT UNO32 บอร์ดควบคุม
- 1 x 5V แหล่งจ่ายไฟแบบ switched
- 1 x 5v-3.3v ตัวแปลงค่าความตามศักย์แบบกระแสตรงจาก 5V เป็น 3.3V
- 12 x 10uF 16V ตัวเก็บประจุ
- 20 x 100R ตัวต้านทาน (สำหรับควบคุมกระแสของ STP16 และทรานซิสเตอร์)
- 8 x 1.5K resistor (สำหรับเป็นตัวป้อนกระแสเพิ่มสำหรับทรานซิสเตอร์)
- 14 x สายไฟแบบขนาน
- 1 x สายลวดทองแดง
- 14 x หัวต่อขนาด 16 หัวแบบสองแถว
- ไชควง
- ตะกั่ว
- บั๊กกรี

2.5.3.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์

- งอขาข้าวบวกร่วมตามภาพ ดังรูป



ภาพที่ 2.3 แสดงการงอขาข้าวบวกร่วม

- งอขาข้าวลบของแต่ละสีตามภาพ ดังรูป



ภาพที่ 2.4 แสดงการงอขาข้าวลบของแต่ละสี

- นำไค โอดเปล่งแสงที่งอขาเสร็จแล้วนำมาเรียงต่อกันบนแผงไม้ เพื่อที่จะสร้างแถวของไค โอดเปล่งแสง ดังรูป



ภาพที่ 2.5 แสดงการนำไคโอดเปล่งแสงมาเรียงต่อกัน

- สร้างสคมภ์ของไดโอดเปล่งแสง ด้วยการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาต่อกันดังรูป
แล้วบัดกรีขาขั้วลบของแต่ละสีในแต่ละหลอดเข้าด้วยกัน



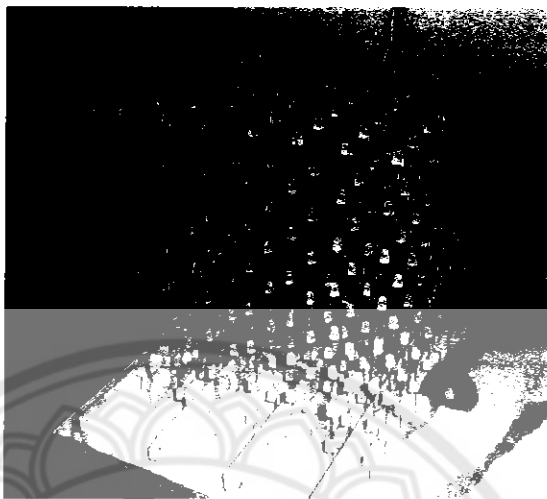
ภาพที่ 2.6 แสดงการสร้างสคมภ์ของไดโอดเปล่งแสง

- เมื่อได้สคมภ์ทั้งแปดแล้วจึงนำสคมภ์ทั้งแปดมาต่อเรียงกัน เพื่อที่จะสร้างระนาบของ
ไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์



ภาพที่ 2.7 (1)แสดงการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

- เมื่อได้ระนาบทั้งแปดของไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์แล้ว นำระนาบทั้งหมดมาต่อ
รวมกันเป็นไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ ดังรูป

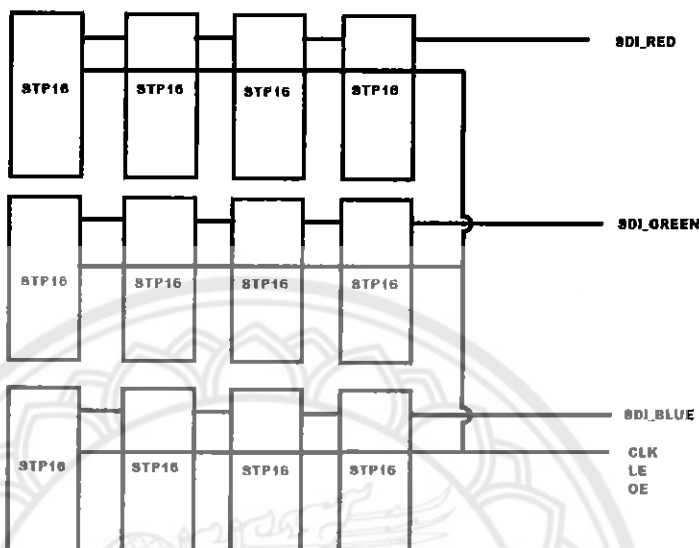


ภาพที่ 2.8 (2)แสดงการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์



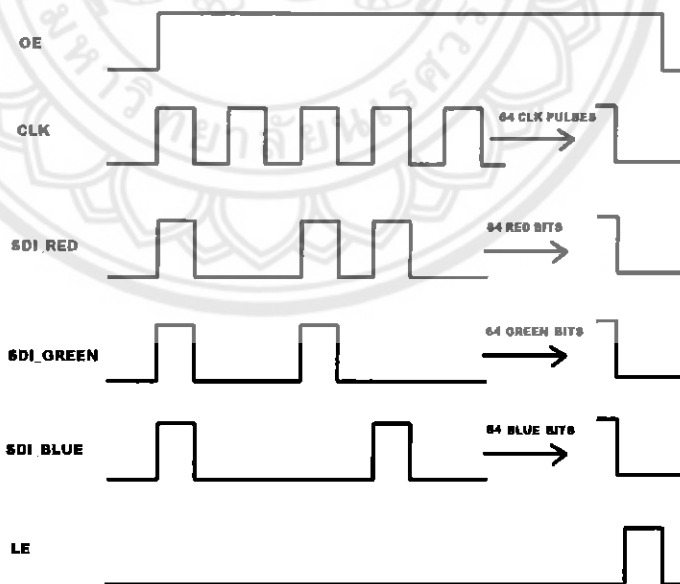
ภาพที่ 2.9 (3)แสดงการสร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

- สร้างบอร์ดควบคุมไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ โดยใช้ IC STP16 LED Driver นำมาต่อเรียงกันโดยจะใช้ IC 4 ตัวต่อการควบคุมสี 1 สี ของไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ โดยมีโครงร่างของบอร์ดควบคุม ดังรูป



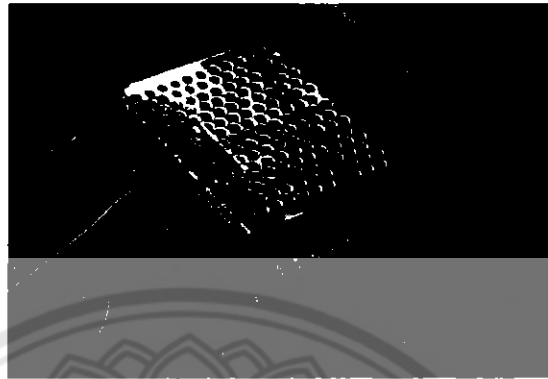
ภาพที่ 2.10 แสดงการสร้างบอร์ดควบคุมไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

- รูปแสดงข้อมูลตามเวลาของการควบคุมของบอร์ดควบคุม



ภาพที่ 2.11 แสดงข้อมูลตามเวลาของการควบคุมของบอร์ดควบคุม

- แหล่งจ่ายไฟที่ใช้จะเป็นการแปลงไฟจาก 220V กระแสสลับ มาเป็นไฟ 5V กระแสตรง แล้วแปลงค่าความต่างศักย์ให้เหลือเพียง 3.3V เพื่อที่จะใช้กับไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์



ภาพที่ 2.12 แสดงแหล่งจ่ายไฟ

- การต่อสายไฟควบคุมหลอดไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ จะต่อลงจากข้างล่างของกล่อง เพราะการต่อไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์นี้ต่อเป็นระนาบแบบแนวนอน โดยต่อสายไฟเข้ากับบอร์ดควบคุม



ภาพที่ 2.13 แสดงการต่อสายไฟควบคุมหลอดไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

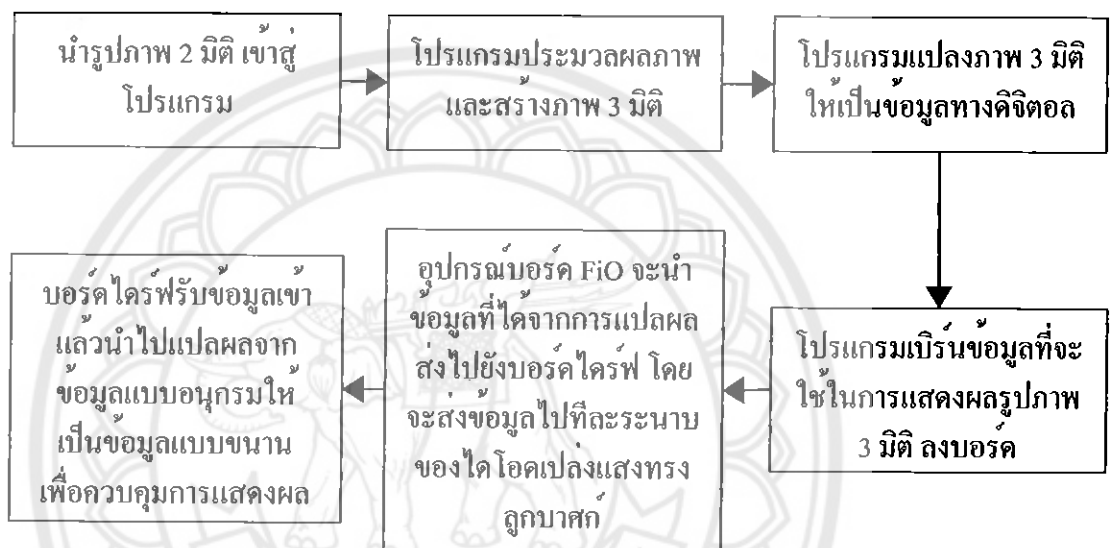
- การเขียนโปรแกรมควบคุมไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์จะใช้โปรแกรมภาษา C ในการควบคุม โดยเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อคอมไพล์ไปเป็นภาษา Assembly แล้วส่งไปยังบอร์ด โดยให้บอร์ด Arduino UNO32 ส่งข้อมูลไปควบคุมบอร์ดไคร์ฟอีกที

- ในการเขียนโปรแกรมควบคุมนั้น จะควบคุมการติดของไฟเป็นแบบระนาบในแนวนอนแล้วจะส่งข้อมูลใหม่เรื่อยๆ ในแต่ละระนาบ โดยจะใช้เวลาที่ 1 kHz ของทุกระนาบ โดยแต่ละระนาบจะใช้เวลาทั้งหมด 125 Hz

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

เนื้อหาในบทนี้ได้อธิบายถึงขั้นตอนการลงมือดำเนินการ โครงการ โดยเริ่มตั้งแต่รายละเอียดการออกแบบ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการจัดทำโครงการ ทั้งเครื่องมือที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ตลอดจนการลงมือสร้างชิ้นงานอย่างละเอียด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ภาพรวมของโครงการ



3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

- หน่วยประมวลผล Intel Core 2 Duo 2.26 GHz
- หน่วยความจำ DDR3 ขนาด 8 GB
- การ์ดจอ NVIDIA GeForce 9400M ขนาด 256 MB
- ระบบปฏิบัติการ Windows 7 แบบ 32-bits

3.1.2 อุปกรณ์บอร์ด FIO

3.1.2.1 คุณสมบัติ

- ผนวกรวมกับ RapidSTM32 และรองรับการโปรแกรมด้วยตัวเองได้
- หน่วยประมวลผล ARM 32-bits CortexTM- M3 Processor (STM32F103RET6)
- สามารถให้กำเนิด clock ได้ 2 ความถี่
- ให้แรงดันไฟฟ้าขนาด 3.3 V และกระแสไฟฟ้าขนาด 800 mA
- หน่วยความจำแบบแฟลชขนาด 496 Kbytes
- Compile และ Download โปรแกรมอัตโนมัติเมื่อใช้ควบคู่กับ RapidSTM32 blockset
- มีไฟแสดงสถานะการทำงาน 3 สี คือ สีแดง สีเหลือง และสีเขียว

3.1.2.2 ความสามารถ

- รองรับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C สำหรับตัว STM32 จาก Simulink model
- รองรับการสร้างแบบจำลองจากค่าที่กำหนดได้
- สามารถเก็บข้อมูลและเรียกใช้จากหน่วยความจำภายนอกได้ (Micro SD)

3.1.3 โปรแกรม

- Blender 2.64a
- Matlab
- Simulink
- Computer Vision System toolbox
- RapidSTM32 blockset

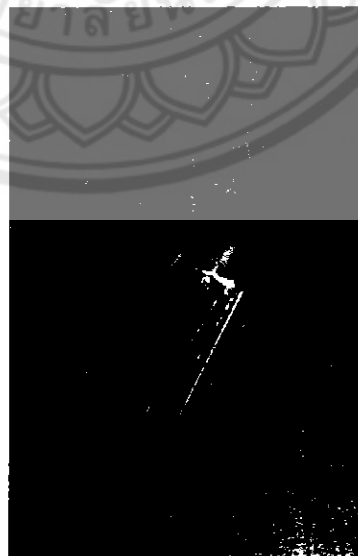
3.2 วัสดุที่ใช้

- หลอด LED แบบ RGB common anode ขนาด 10 mm.
- ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.626 mm. (16 swg)
- ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.711 mm. (22 swg)
- ตะกั่วบัดกรี
- วงจรโครว์
- แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 Volt

3.3 วิธีการดำเนินโครงการ

3.3.1 สร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ขนาด 8x8x8 ดวง (LED cube)

- ขั้นที่ 1 นำไดโอดเปล่งแสงมาตัดขา ดังรูป



ภาพที่ 3.1 แสดงการตัดขาไดโอดเปล่งแสง

- ขั้นที่ 2 ตัดลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.626 mm. (16 swg) ยาว 12 นิ้ว เพื่อนำมาทำเป็นเสาโครงยึด ดังรูป



ภาพที่ 3.2 แสดงลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.626 mm. (16 swg)

- ขั้นที่ 3 นำไดโอดเปล่งแสงมาบัดกรีเชื่อมต่อกับลวดทองแดงที่เตรียมไว้ โดยวัดให้ระยะห่างแต่ละหลอดเท่ากับ 1.5 นิ้ว



ภาพที่ 3.3 (1) แสดงการบัดกรีเชื่อมไดโอดเปล่งแสงกับลวดทองแดง

- ชั้นที่ 4 นำลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.711 mm. (22 swg) มาบัดกรีเชื่อมเข้ากับสองขาไฟที่เหลือของไดโอดเปล่งแสง



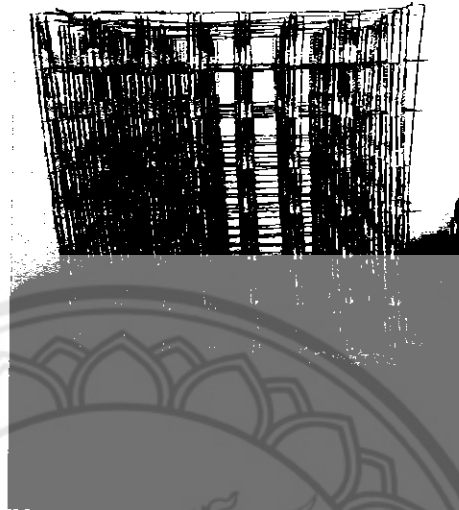
ภาพที่ 3.4 (2)แสดงการบัดกรีเชื่อมไดโอดเปล่งแสงกับลวดทองแดง

- ชั้นที่ 5 บัดกรีเชื่อมขากราวด์ของไดโอดเปล่งแสงที่ต่อเป็นแท่งแล้วเข้าด้วยกัน ด้วยลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.626 mm. (16 swg) โดยให้เป็นขากราวด์ร่วม ดังรูป



ภาพที่ 3.5 (3)แสดงการบัดกรีเชื่อมไดโอดเปล่งแสงกับลวดทองแดง

- ชั้นที่ 6 นำระนาบของไดโอดเปล่งแสงที่เชื่อมบัดกรีแล้วทั้ง 8 ระนาบมาต่อเป็นทรง
ลูกบาศก์บนกล่อง ดังรูป



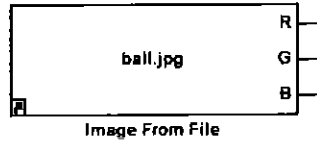
ภาพที่ 3.6 แสดงไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์

- ชั้นที่ 7 ต่อดวงจรถบคุมเขากับขาแต่ละขาของไดโอดเปล่งแสงในแต่ละแถวให้ครบ

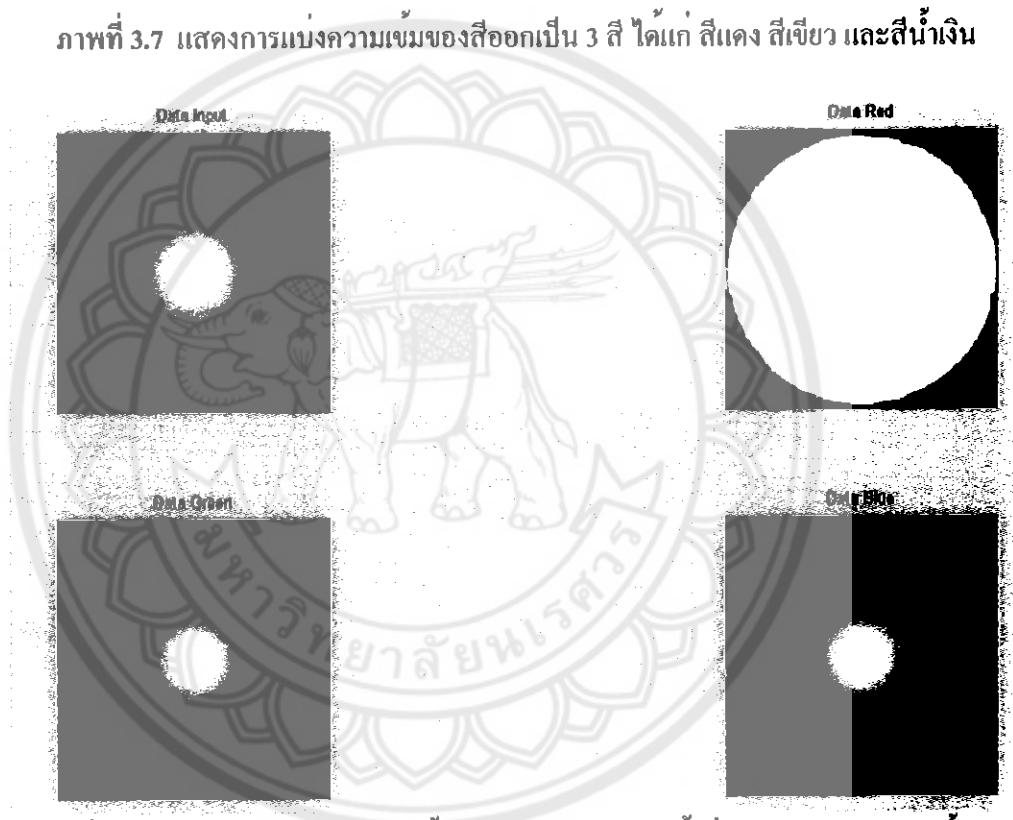


3.3.2 พัฒนาโปรแกรมฝังตัวควบคุมการทำงานของไดโอดเปล่งแสงลงบนอุปกรณ์บอร์ด F10
ในส่วนของโปรแกรม ได้ใช้หลักการทางด้านการประมวลผลภาพทางดิจิทัลพื้นฐาน
มาช่วยในการทำดังนี้

- ขั้นที่ 1 รับภาพ 2 มิติ ที่มีแสงและเงาชัดเจนเข้ามายังโปรแกรม โดยโปรแกรมจะแบ่ง
ความเข้มของสีต่างๆ ออกมาเป็น 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

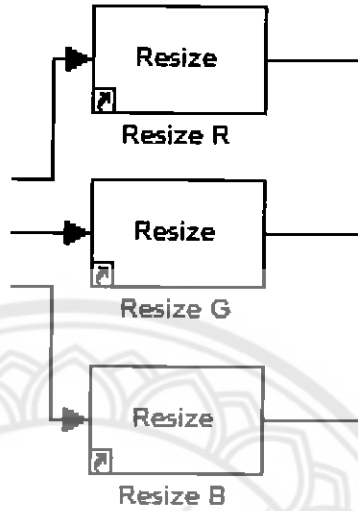


ภาพที่ 3.7 แสดงการแบ่งความเข้มของสีออกเป็น 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

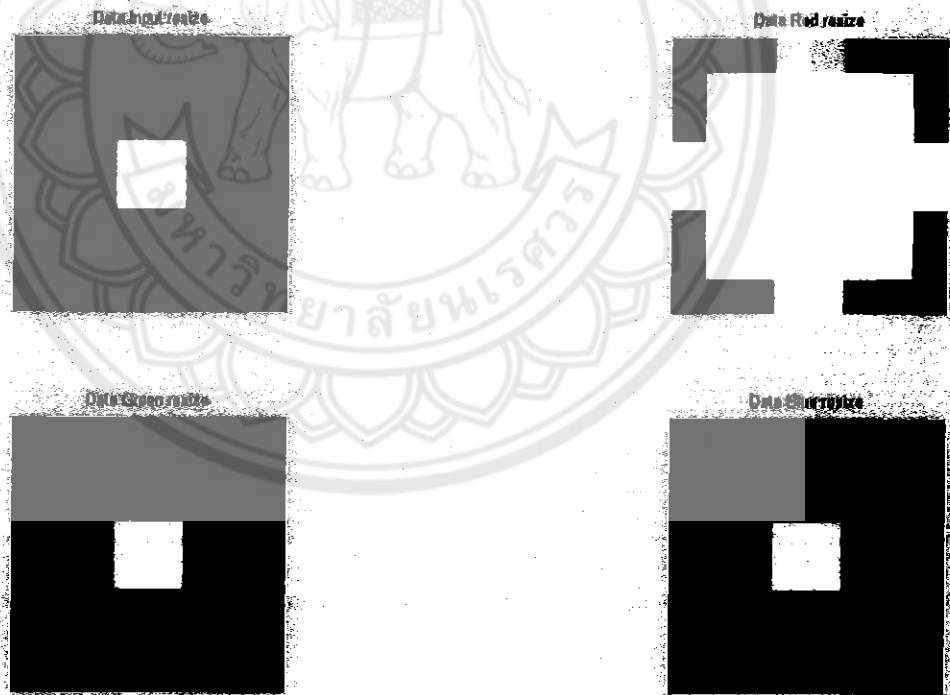


ภาพที่ 3.8 แสดงภาพที่ถูกแบ่งความเข้มของสีออกเป็น 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

- ขั้นที่ 2 จากภาพที่รับเข้ามานั้นจะถูกนำไปลดขนาดของภาพให้เหลือ 8x8 pixel (ตามขนาดของ LED cube)

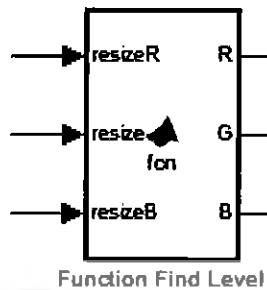


ภาพที่ 3.9 แสดงการลดขนาดของภาพให้เหลือ 8x8 pixel



ภาพที่ 3.10 แสดงภาพที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel

- ขั้นที่ 3 ทำการแปลงภาพที่ถูกย่อส่วนแล้วให้ค่าของแต่ละจุด (Pixel) เป็นแบบ Gray scale เพื่อที่จะหาระดับความลึกหรือต้นของตำแหน่งนั้น



ภาพที่ 3.11 แสดงการแปลงภาพเป็นแบบ Gray scale



ภาพที่ 3.12 แสดงภาพที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale

- ขั้นที่ 4 เมื่อได้ค่า Gray scale มาแล้ว จึงทำการแบ่งช่วงของระดับสีทั้งหมดเป็น 9 ระดับ (ตามขนาดของ LED cube (0-8))

```
function [R,G,B] = fcn(resizeR,resizeG,resizeB)
%%codegen
dataOutR = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64];
dataOutG = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64];
dataOutB = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22
23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45
46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64];

for i = 1:8;
    for j = 1:8;
        dataOutIndex = ((i-1)*8)+j;
        dataR = int16(resizeR(i,j));
        dataG = int16(resizeG(i,j));
        dataB = int16(resizeB(i,j));
        dataOut = floor(((dataR+dataG+dataB)/3)/29);
```

```

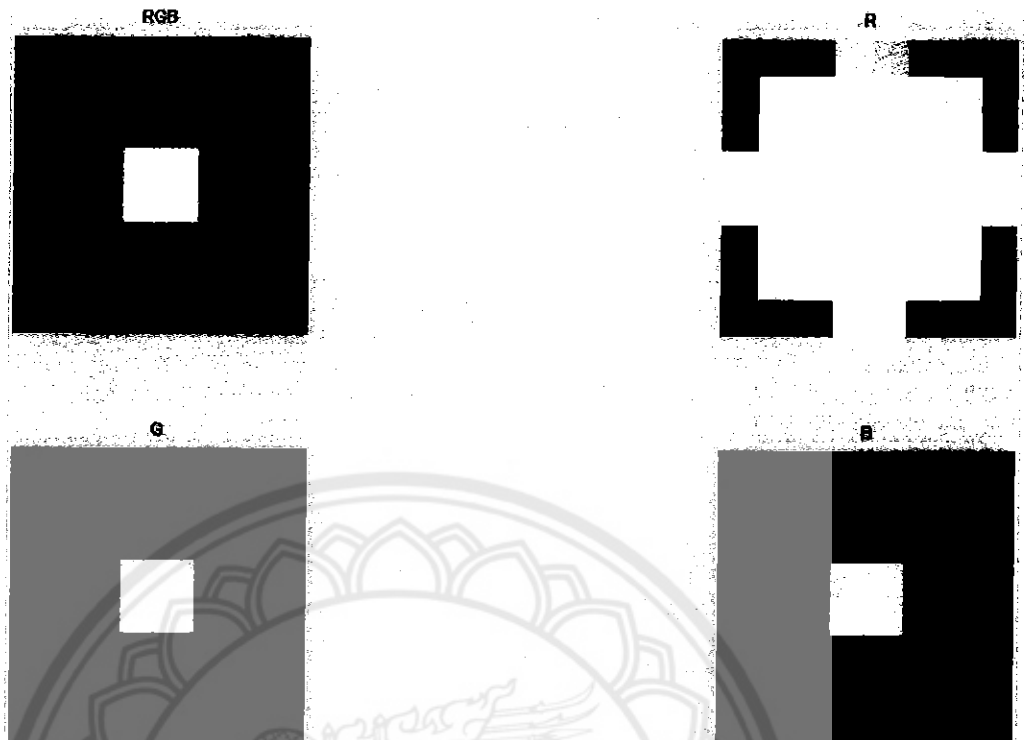
        if (dataR == max(dataR, max(dataG, dataB)) && dataG ==
max(dataR, max(dataG, dataB)) && dataB == max(dataR, max(dataG, dataB)))
            dataOutR(dataOutIndex) = 0;
            dataOutG(dataOutIndex) = 0;
            dataOutB(dataOutIndex) = 0;
        elseif (dataR == max(dataR, max(dataG, dataB)))
            dataOutR(dataOutIndex) = dataOut;
            dataOutG(dataOutIndex) = 0;
            dataOutB(dataOutIndex) = 0;
        elseif (dataG == max(dataR, max(dataG, dataB)))
            dataOutR(dataOutIndex) = 0;
            dataOutG(dataOutIndex) = dataOut;
            dataOutB(dataOutIndex) = 0;
        elseif (dataB == max(dataR, max(dataG, dataB)))
            dataOutR(dataOutIndex) = 0;
            dataOutG(dataOutIndex) = 0;
            dataOutB(dataOutIndex) = dataOut;
        else
            dataOutR(dataOutIndex) = 0;
            dataOutG(dataOutIndex) = 0;
            dataOutB(dataOutIndex) = 0;
        end
    end
end

R = dataOutR;
G = dataOutG;
B = dataOutB;

```

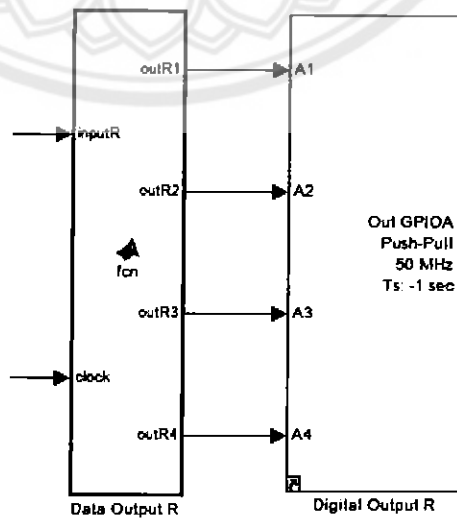
- ขั้นที่ 5 นำระดับสีในแต่ละสีมารวมกันแล้วนำไปหารด้วย 3 เพราะว่าในแต่ละสีจะมีความเข้มสูงสุดคือ 255 เมื่อนำมารวมกันจะต้องทำให้แต่ละจุดมีความเข้มสูงสุดเท่ากับ 255 เช่นกัน แล้วจึงหาค่าความเข้มสีสูงสุดในแต่ละจุดเพื่อที่จะใช้ในการเลือกสีที่จะแสดง โดยค่าที่ส่งออกไปของแต่ละสีจะมีขนาด 64 บิต ซึ่งเกิดมาจากขนาดระนาบของไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ (8x8)

0	0	2	2	2	2	0	0
0	3	4	4	4	4	3	0
2	4	5	6	6	5	4	2
3	4	6	7	7	6	4	3
3	4	6	7	7	6	4	3
2	4	5	6	6	5	4	2
0	3	4	4	4	4	3	0
0	0	2	3	3	2	0	0



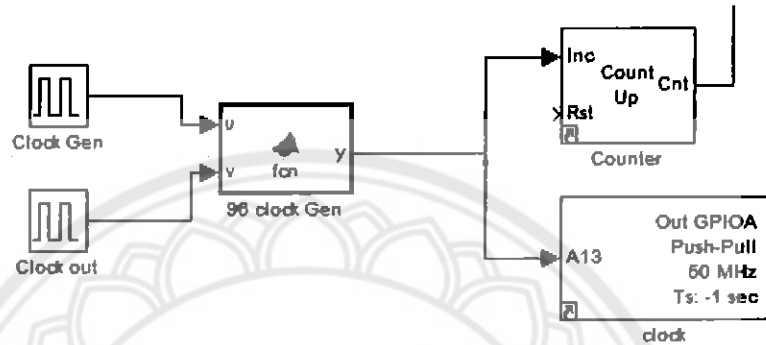
ภาพที่ 3.13 แสดงภาพการประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale

- ขั้นที่ 6 เมื่อได้ค่าระดับความลึกหรือค่านของจุด และค่าของสีที่จะนำไปแสดงผลแล้ว จึงทำการส่งข้อมูลที่เป็น Array ไปยังบอร์ดไคร์ฟ เพื่อที่จะแสดงผลด้วย LED cube
- ขั้นที่ 7 เมื่อได้ค่าจากระดับสี Gray scale ที่แบ่งเป็นทั้งหมด 9 ระดับ แล้ว จะได้ Array ขนาด 8x8 ที่มีค่าความลึกหรือค่านของจุด
- ขั้นที่ 8 โดยในการส่งข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปที่ละชั้นของ LED cube โดยจะเริ่มจากชั้นบนก่อนแล้วไล่ลงมาเป็นชั้นอื่นๆ จัดไปตามลำดับ โดยจะมีการตรวจสอบค่าดังนี้



ภาพที่ 3.14 (1)แสดงการส่งข้อมูลไปยัง LED cube

- ขั้นที่ 9 ค่าในแต่ละบิตของแต่ละสิ่งจะถูกส่งออกมาตามค่า clock ที่เข้ามา โดยจะแบ่งให้แต่ละ output ออกไปยัง IC แต่ละตัว โดยแต่ละตัวจะรับข้อมูลได้ 16 บิต ซึ่งจะใช้ clock ทั้งหมด 96 (16x6) ลูก โดยโปรแกรมจะสร้าง clock ขึ้นมาด้วยวิธีการสร้าง clock ที่มีความถี่ 100 Hz ขึ้นมาแล้วนำมาตรวจสอบกับ pulse ที่สร้างขึ้นเพื่อที่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลูกของ clock ที่ต้องการ จากนั้นนำ clock เข้าไปสู่ตัวนับเพื่อที่จะนำค่าในแต่ละจุดส่งออกไปยัง IC โดยจะทำงานควบคู่ไปพร้อมกับ clock ของระบบ



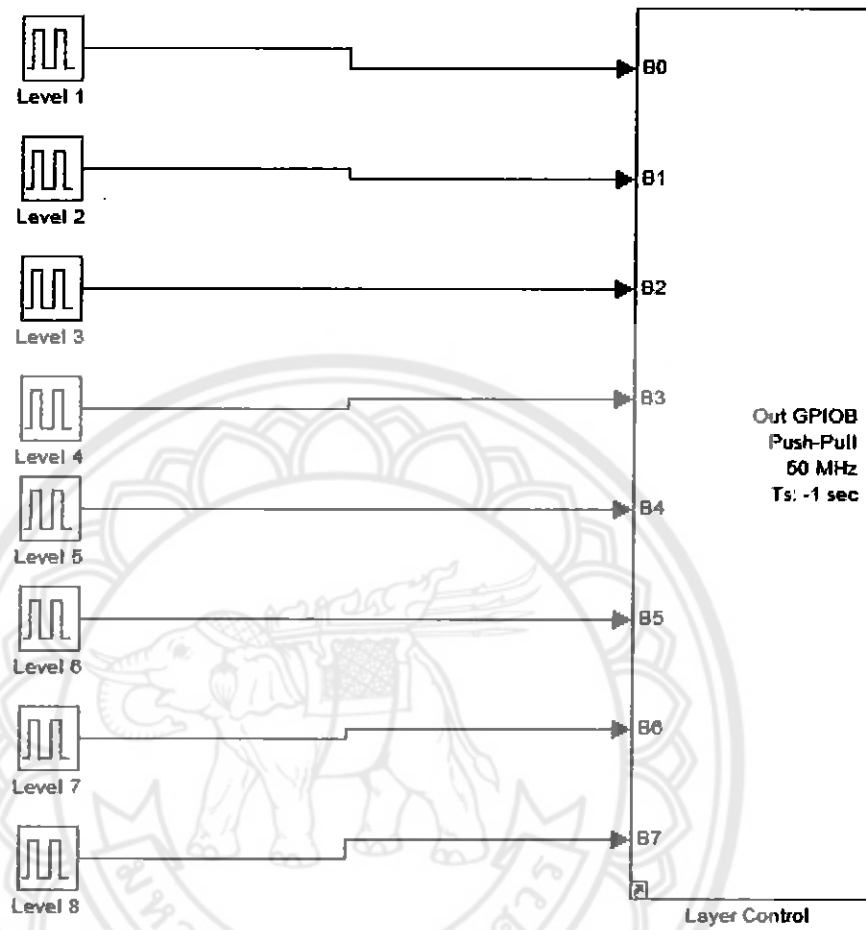
ภาพที่ 3.17 แสดงการรับและส่งค่าออกไปยัง IC

- ขั้นที่ 10 เมื่อได้ส่งข้อมูลเข้าไปยัง IC ครบแล้ว จึงทำการ latch ข้อมูลออกไปยังหลอดไดโอด



ภาพที่ 3.18 แสดงการ latch ข้อมูลออกไปยังไดโอดเปล่งแสง

- ชั้นที่ 11 ในการส่งข้อมูลแต่ละรอบนั้นจะสามารถแสดงได้ครั้งละ 1 ระบายเท่านั้น จึงส่งสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมแต่ละระนาบตามข้อมูลที่ส่งออกไป



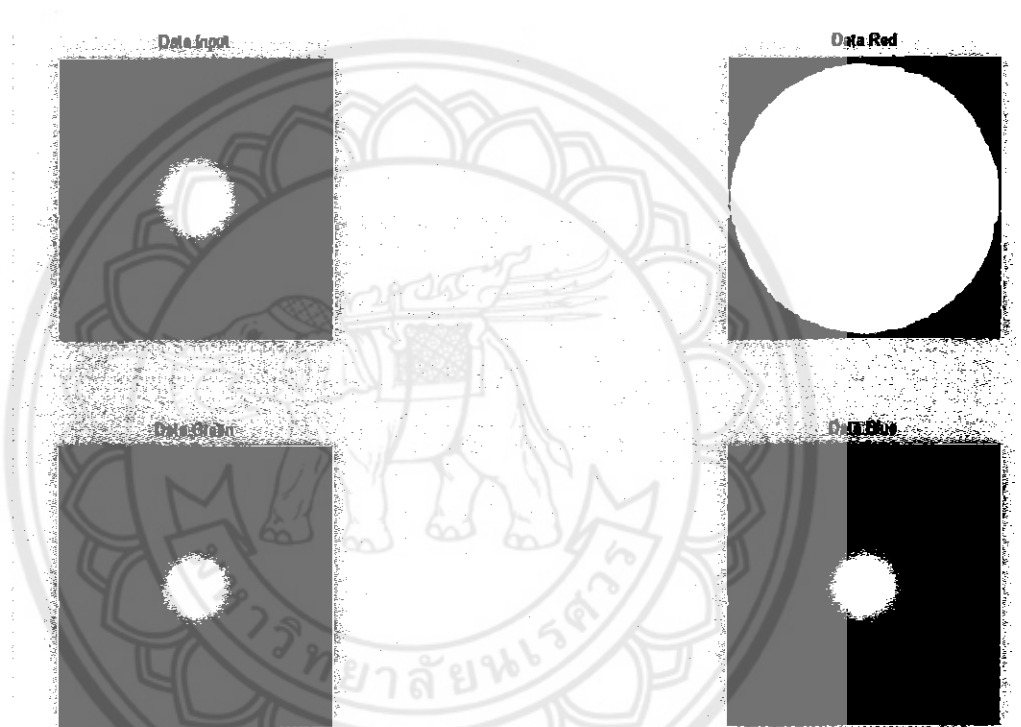
ภาพที่ 3.19 แสดงการส่งข้อมูลแต่ละรอบ

บทที่ 4 ผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้ได้รวบรวมผลการทดลองการแสดงผลภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ แบบต่างๆ ผ่านไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การแสดงผลภาพรูปเรขาคณิต 3 มิติ

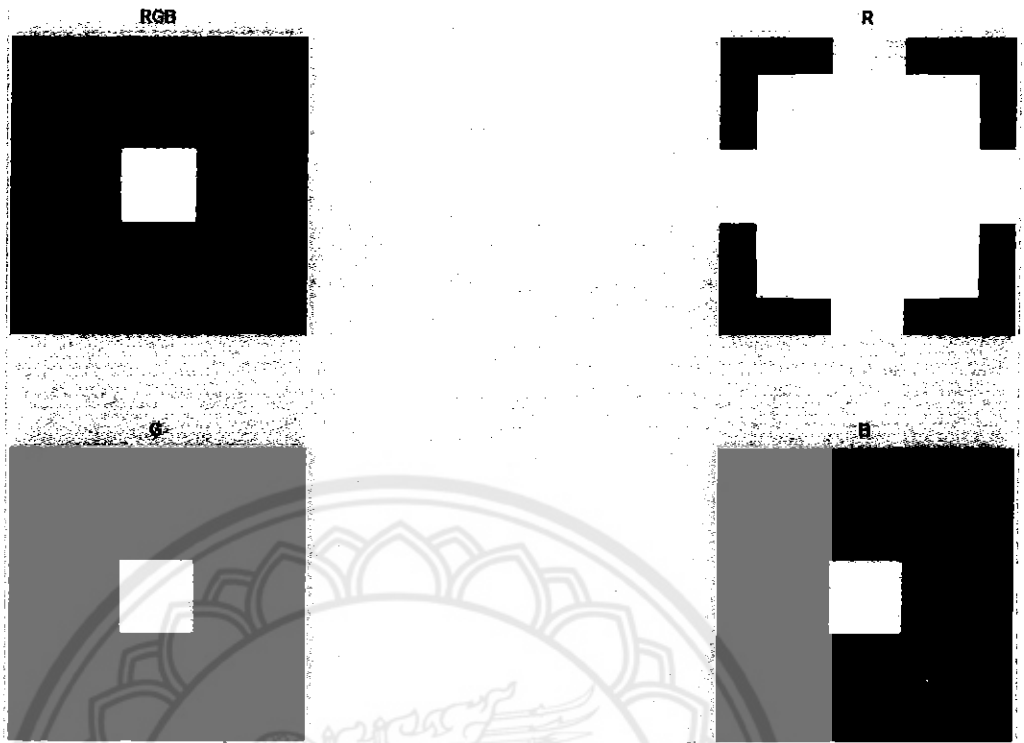
4.1.1 รูปทรงกลม



ภาพที่ 4.1 แสดงรูปทรงกลม

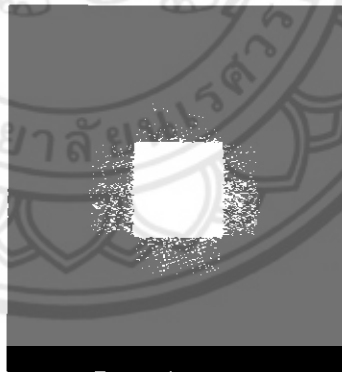
- นำภาพที่ได้มาแยกตามความเข้มสีของแต่ละสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน
- นำภาพที่แยกสีแล้วแต่ละสีมาลดขนาดของภาพให้เหลือ 8x8 pixel (ตามขนาดของ

LED cube)



ภาพที่ 4.2 แสดงภาพรูปทรงกลมที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel

- ทำการแปลงภาพที่ถูกย่อส่วนแล้วให้ค่าของแต่ละจุด (Pixel) เป็นแบบ Gray scale เพื่อที่จะหาระดับความลึกหรือต้นของตำแหน่งนั้น

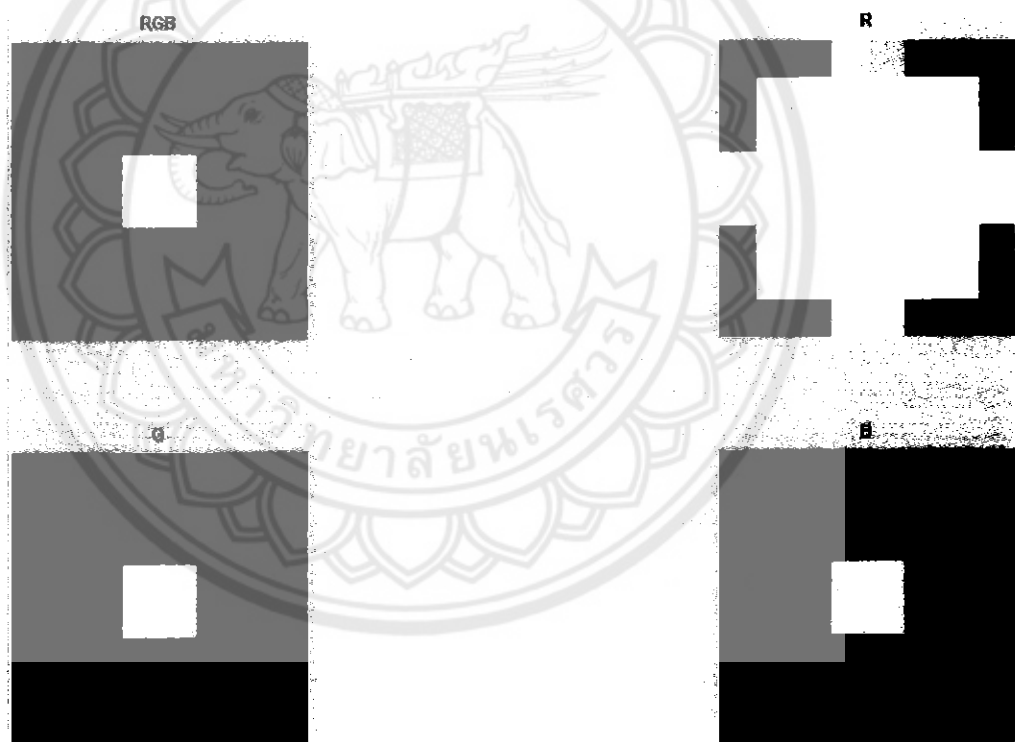


ภาพที่ 4.3 แสดงภาพรูปทรงกลมที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่า Gray scale มาแล้ว จึงทำการแบ่งช่วงของระดับสีทั้งหมดเป็น 9 ระดับ (ตามขนาดของ LED cube (0-8))

0	0	2	3	2	2	0	0
0	3	4	5	5	4	3	0
2	4	5	6	6	5	4	2
3	5	6	8	8	6	5	3
3	5	6	8	8	6	5	3
2	4	5	6	6	5	4	2
0	3	4	5	5	4	3	0
0	0	2	3	3	2	0	0

- เมื่อได้ค่าความลึกหรือคี่นของรูปแล้ว จึงทำการประมวลผลเรื่องสีของภาพจากรูปที่ได้ทำการย่อส่วน ก่อนที่จะทำการแปลงโครงสร้างของสีเป็น Gray scale



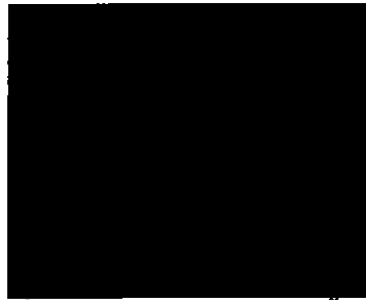
ภาพที่ 4.4 แสดงภาพรูปทรงกลมที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่าระดับความลึกหรือคี่นของจุด และค่าของสีที่จะนำไปแสดงผลแล้ว จึงทำการส่งข้อมูลที่เป็น Array ไปยังบอร์ดไมโคร เพื่อที่จะแสดงผลด้วย LED cube

- เมื่อได้ค่าจากระดับสี Gray scale ที่แบ่งเป็นทั้งหมด 9 ระดับ แล้วจะได้ Array ขนาด 8x8 ที่มีค่าความลึกหรือคี่นของจุด

- โดยในการส่งข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปที่ละชั้นของ LED cube โดยจะเริ่มจากชั้นบนก่อนแล้วไล่ลงมาเป็นชั้นอื่นๆ ถัดไปตามลำดับ โดยจะมีการตรวจสอบค่าดังนี้

- เมื่อส่งข้อมูลครบทุกชั้นแล้วทำการรันโปรแกรมจะได้ภาพออกมาดังนี้



ภาพที่ 4.5 แสดงภาพรูปทรงกลมด้าน Top

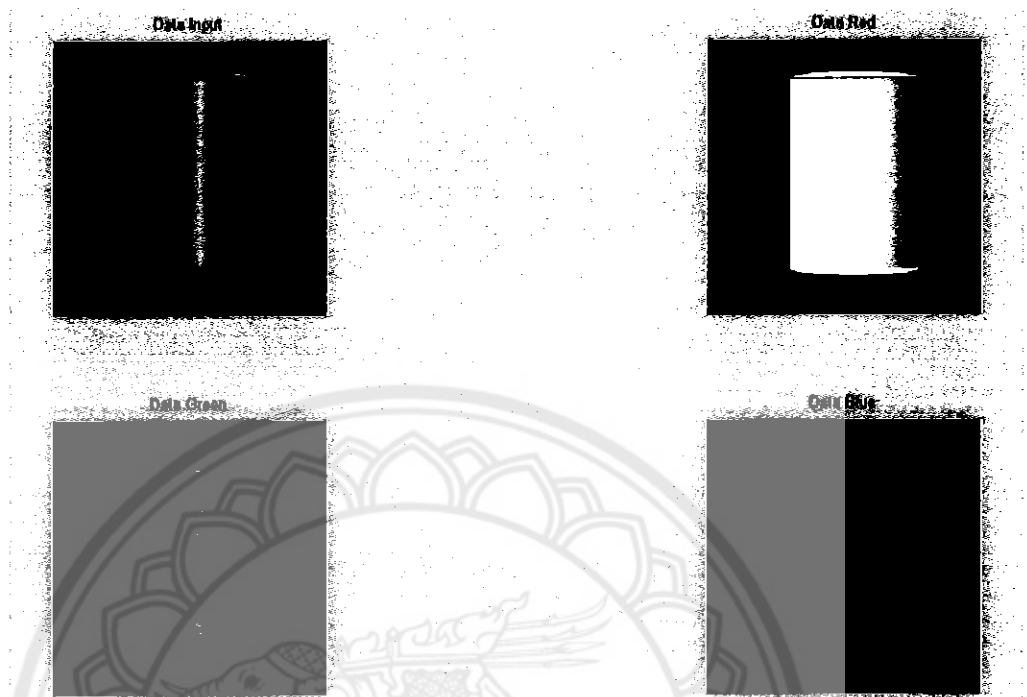


ภาพที่ 4.6 แสดงภาพรูปทรงกลมด้าน Front



ภาพที่ 4.7 แสดงภาพรูปทรงกลมด้าน Side

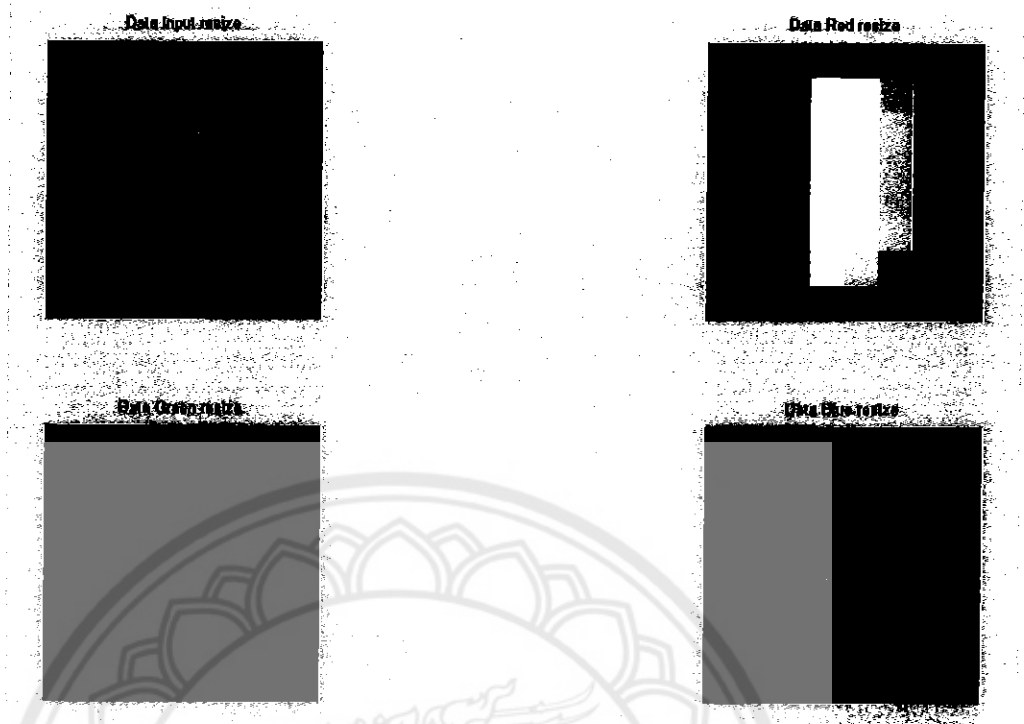
4.1.2 รูปทรงกระบอก



ภาพที่ 4.8 แสดงรูปทรงกระบอก

- นำภาพที่ได้มาแยกตามความเข้มสีของแต่ละสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน
- นำภาพที่แยกสีแล้วแต่ละสีมาลดขนาดของภาพให้เหลือ 8x8 pixel (ตามขนาดของ

LED cube)



ภาพที่ 4.9 แสดงรูปทรงกระบอกที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel

- ทำการแปลงภาพที่ถูกย่อส่วนแล้วให้ค่าของแต่ละจุด (Pixel) เป็นแบบ Gray scale เพื่อที่จะหาระดับความลึกหรือต้นของตำแหน่งนั้น

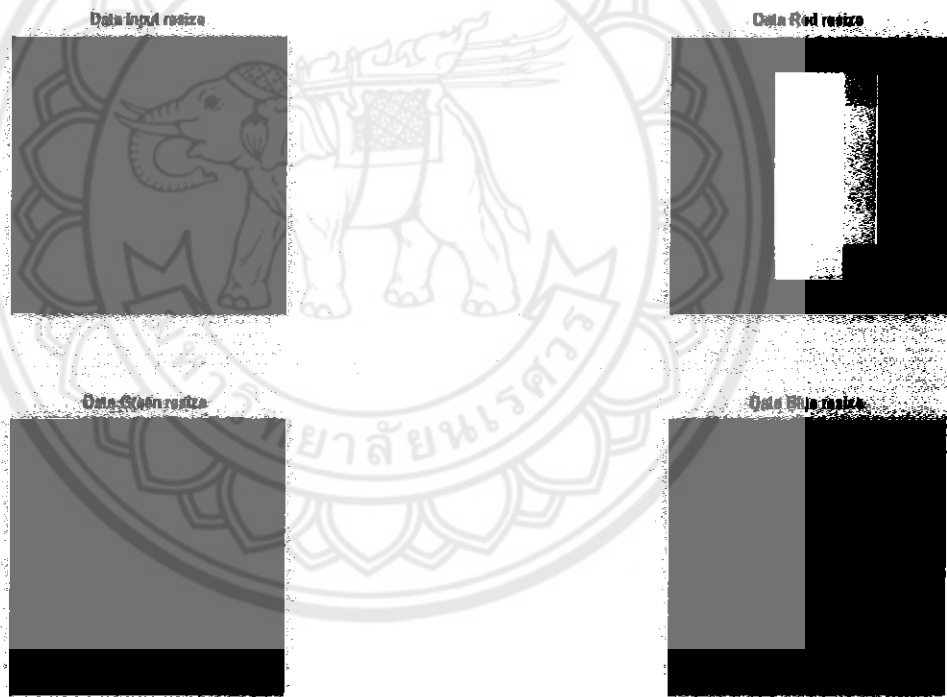


ภาพที่ 4.10 แสดงภาพรูปทรงกระบอกที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่า Gray scale มาแล้ว จึงทำการแบ่งช่วงของระดับสีทั้งหมดเป็น 9 ระดับ (ตามขนาดของ LED cube (0-8))

0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	3	7	7	5	1	0
0	0	4	7	8	5	1	0
0	0	4	7	7	5	1	0
0	0	4	7	7	5	1	0
0	0	4	7	8	5	1	0
0	0	3	6	6	4	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

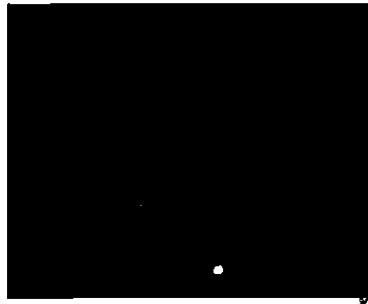
- เมื่อได้ค่าความลึกหรือค่านี้นของรูปแล้ว จึงทำการประมวลผลเรื่องสีของภาพจากรูปที่ได้ทำการย่อส่วน ก่อนที่จะทำการแปลง โครงสร้างของสีเป็น Gray scale



ภาพที่ 4.11 แสดงภาพรูปทรงกระบอกที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่าระดับความลึกหรือค่านี้นของจุด และค่าของสีที่จะนำไปแสดงผลแล้ว จึงทำการส่งข้อมูลที่เป็น Array ไปยังบอร์ดไมโคร เพื่อที่จะแสดงผลด้วย LED cube
- เมื่อได้ค่าจากระดับสี Gray scale ที่แบ่งเป็นทั้งหมด 9 ระดับ แล้วจะได้ Array ขนาด 8x8 ที่มีค่าความลึกหรือค่านี้นของจุด
- โดยในการส่งข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปที่ละชั้นของ LED cube โดยจะเริ่มจากชั้นบนก่อนแล้วไล่ลงมาเป็นชั้นอื่นๆ ถัดไปตามลำดับ โดยจะมีการตรวจสอบค่าดังนี้

- เมื่อส่งข้อมูลครบทุกชั้นแล้วทำการรัน โปรแกรมจะได้ภาพออกมาดังนี้



ภาพที่ 4.12 แสดงภาพรูปทรงกระบอกคาน Top

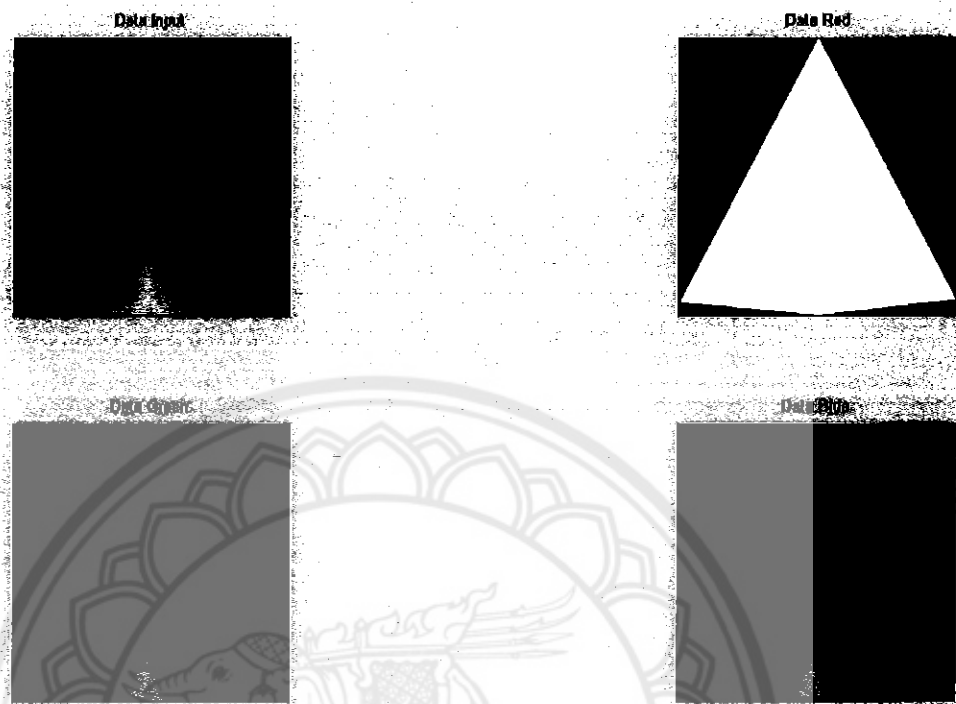


ภาพที่ 4.13 แสดงภาพรูปทรงกระบอกคาน Front



ภาพที่ 4.14 แสดงภาพรูปทรงกระบอกคาน Side

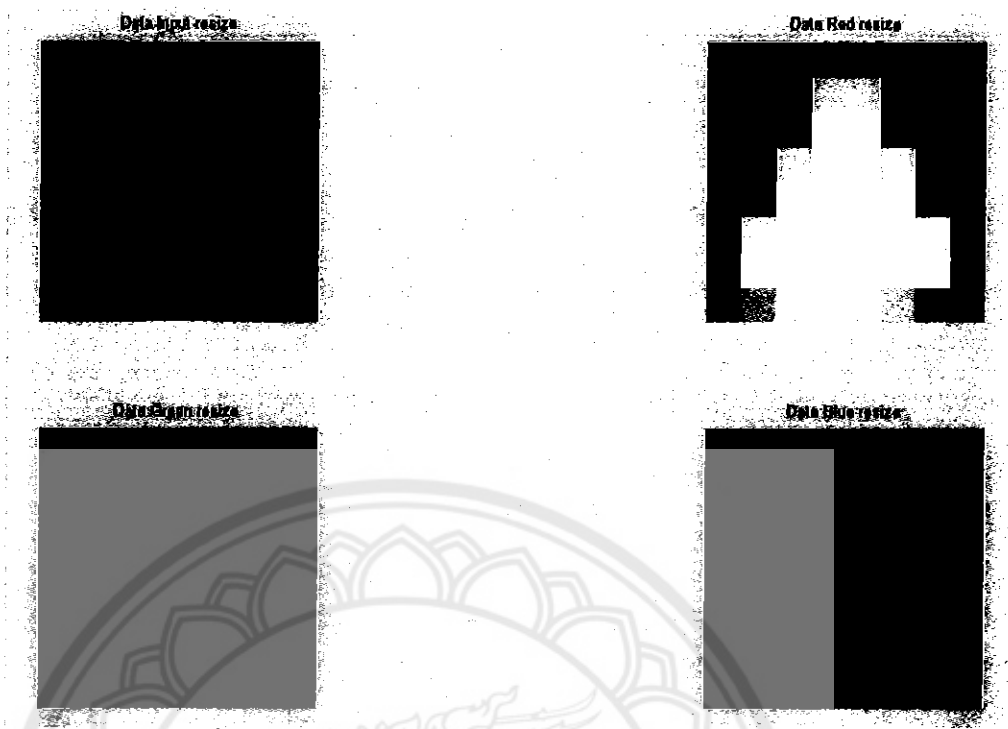
4.1.3 รูปพีระมิด



ภาพที่ 4.15 แสดงรูปพีระมิด

- นำภาพที่ได้มาแยกตามความเข้มสีของแต่ละสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน
- นำภาพที่แยกสีแล้วแต่ละสีมาลดขนาดของภาพใหม่เหลือ 8x8 pixel (ตามขนาดของ

LED cube)



ภาพที่ 4.16 แสดงภาพรูปพีระมิดที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel

- ทำการแปลงภาพที่ถูกย่อส่วนแล้วให้ค่าของแต่ละจุด (Pixel) เป็นแบบ Gray scale เพื่อที่จะหาระดับความลึกหรือต้นของตำแหน่งนั้น

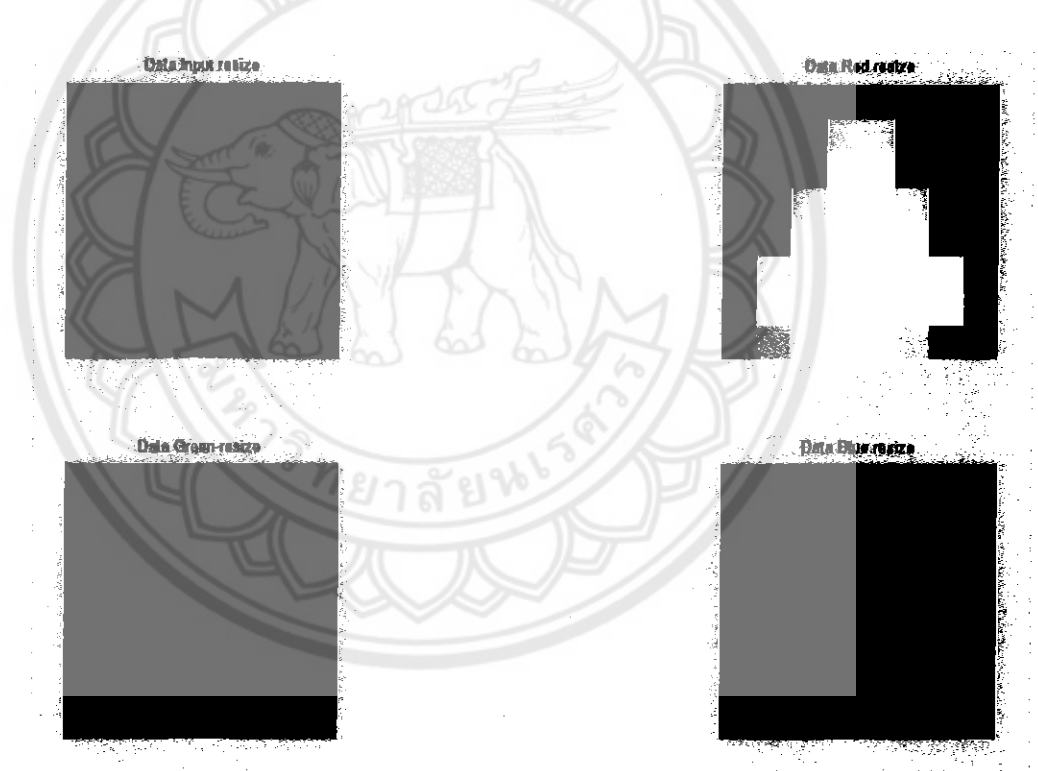


ภาพที่ 4.17 แสดงภาพรูปพีระมิดที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่า Gray scale มาแล้ว จึงทำการแบ่งช่วงของระดับสีทั้งหมดเป็น 9 ระดับ (ตามขนาดของ LED cube (0-8))

0	0	0	3	2	0	0	0
0	0	0	3	3	0	0	0
0	0	1	5	5	1	0	0
0	0	3	5	5	4	0	0
0	1	5	6	6	5	2	0
0	3	5	6	6	5	4	0
2	5	6	7	7	6	5	2
2	4	5	6	6	5	4	2

- เมื่อได้ค่าความลึกหรือคี่นของรูปแล้ว จึงทำการประมวลผลเรื่องสีของภาพจากรูปที่ได้ทำการย่อส่วน ก่อนที่จะทำการแปลง โครงสร้างของสีเป็น Gray scale



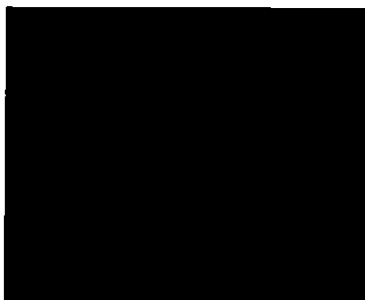
ภาพที่ 4.18 แสดงภาพรูปที่ระมัดที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่าระดับความลึกหรือคี่นของจุด และค่าของสีที่จะนำไปแสดงผลแล้ว จึงทำการส่งข้อมูลที่เป็น Array ไปยังบอร์ดไมโคร เพื่อที่จะแสดงผลด้วย LED cube

- เมื่อได้ค่าจากระดับสี Gray scale ที่แบ่งเป็นทั้งหมด 9 ระดับ แล้วจะได้ Array ขนาด 8x8 ที่มีค่าความลึกหรือคี่นของจุด

- โดยในการส่งข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปที่ละชั้นของ LED cube โดยจะเริ่มจากชั้นบนก่อน แล้วไล่ลงมาเป็นชั้นอื่นๆ ถัดไปตามลำดับ โดยจะมีการตรวจสอบค่าดังนี้

- เมื่อส่งข้อมูลครบทุกชั้นแล้วทำการรันโปรแกรมจะได้ภาพออกมาดังนี้



ภาพที่ 4.19 แสดงภาพรูปที่ระมิดคาน Top



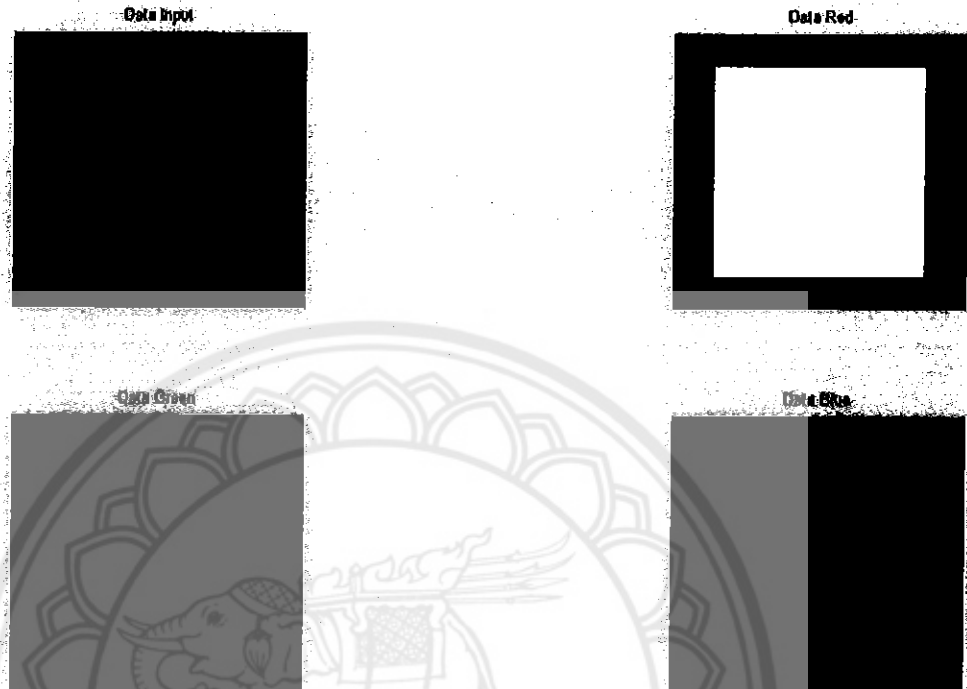
ภาพที่ 4.20 แสดงภาพรูปที่ระมิดคาน Front



ภาพที่ 4.21 แสดงภาพรูปที่ระมิดคาน Side

4.2 การแสดงภาพรูปเรขาคณิต 2 มิติ

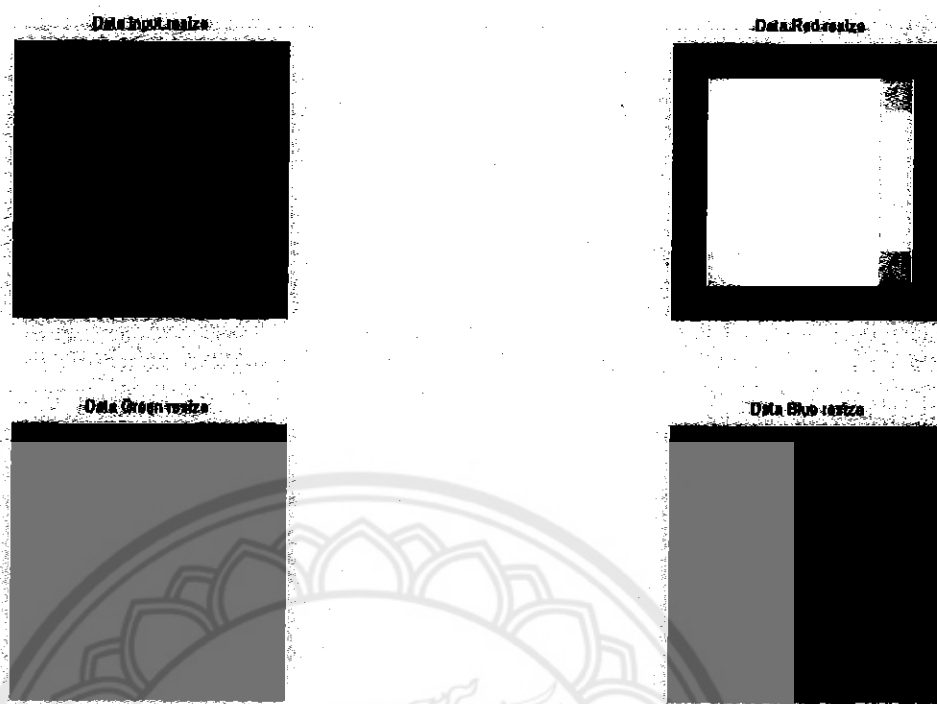
4.2.1 รูปสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 4.22 แสดงรูปสี่เหลี่ยม

- นำภาพที่ได้มาแยกตามความเข้มสีของแต่ละสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน
- นำภาพที่แยกสีแล้วแต่ละสีมาลดขนาดของภาพให้เหลือ 8x8 pixel (ตามขนาดของ

LED cube)



ภาพที่ 4.23 แสดงรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกลดขนาดให้เหลือ 8x8 pixel

- ทำการแปลงภาพที่ถูกย่อส่วนแล้วให้ค่าของแต่ละจุด (Pixel) เป็นแบบ Gray scale เพื่อที่จะหาระดับความลึกหรือค่านของตำแหน่งนั้น

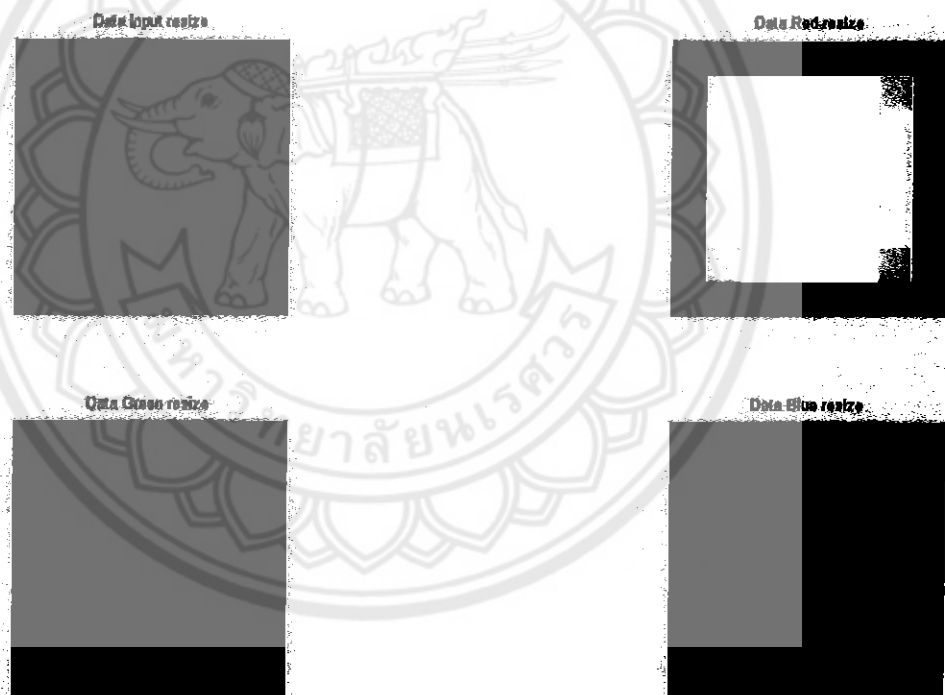


ภาพที่ 4.24 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกแปลงเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่า Gray scale มาแล้ว จึงทำการแบ่งช่วงของระดับสีทั้งหมดเป็น 9 ระดับ (ตามขนาดของ LED cube (0-8))

0	1	1	1	1	1	1	0
0	6	7	7	6	6	5	0
0	7	8	7	6	6	5	0
0	7	8	7	6	6	5	0
0	7	8	7	6	6	5	0
0	7	8	7	6	6	5	0
0	6	7	6	6	6	5	0
0	1	1	1	1	1	0	0

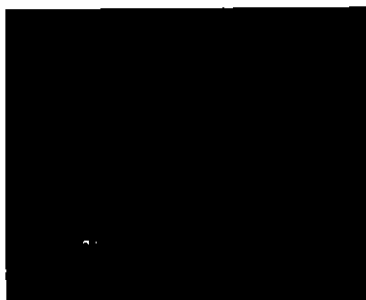
- เมื่อได้ค่าความลึกหรือต้นของรูปแล้ว จึงทำการประมวลผลเรื่องสีของภาพจากรูปที่ได้ทำการย่อส่วน ก่อนที่จะทำการแปลง โครงสร้างของสีเป็น Gray scale



ภาพที่ 4.25 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลจากภาพสีเป็นแบบ Gray scale

- เมื่อได้ค่าระดับความลึกหรือต้นของจุด และค่าของสีที่จะนำไปแสดงผลแล้ว จึงทำการส่งข้อมูลที่เป็น Array ไปยังบอร์ดไมโคร เพื่อที่จะแสดงผลด้วย LED cube
- เมื่อได้ค่าจากระดับสี Gray scale ที่แบ่งเป็นทั้งหมด 9 ระดับ แล้วจะได้ Array ขนาด 8x8 ที่มีค่าความลึกหรือต้นของจุด
- โดยในการส่งข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปที่ละชั้นของ LED cube โดยจะเริ่มจากชั้นบนก่อน แล้วไล่ลงมาเป็นชั้นอื่นๆ ไล่ไปตามลำดับ โดยจะมีการตรวจสอบค่าดังนี้

- เมื่อส่งข้อมูลครบทุกชั้นแล้วทำการรันโปรแกรมจะได้ภาพออกมาดังนี้



ภาพที่ 4.26 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมคาง Top



ภาพที่ 4.27 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมคาง Front



ภาพที่ 4.28 แสดงภาพรูปสี่เหลี่ยมคาง Side

บทที่ 5 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้เป็นส่วนที่สรุปผลการดำเนินงานทั้งหมด ได้แก่ ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะในการทำโครงการ และแนวทางในการประยุกต์พัฒนาโครงการต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุปการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานทางคณะผู้จัดทำได้สร้างไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ขนาด 8x8x8 ดวง เพื่อที่จะใช้เป็นอุปกรณ์ในการแสดงผลการแปลงภาพ 2 มิติ ให้กลายเป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งในการแสดงผลนั้นจะสามารถแสดงได้เพียงครั้งละ 1 ชั้น ของไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ภายในเวลา 1 วินาที โดยสามารถแสดงทั้งรูปได้ภายในเวลา 8 วินาที ซึ่งใช้เวลานานเกินไปสำหรับการแสดงผลให้เกิดเป็นภาพนิ่ง 3 มิติ และไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์นี้สามารถเลือกสีที่จะแสดงได้เพียงครั้งละ 1 สี เท่านั้นต่อการแสดงรูปภาพ 1 รูป แต่ในส่วนของโปรแกรมสามารถสร้างรูปภาพ 3 มิติ จากรูปภาพ 2 มิติ ได้ โดยสามารถทำงานได้ในระบบสีแบบ RGB และสามารถเลือกสีที่จะใช้ในการแสดงผลครั้งละหลายสีได้แต่ยังไม่สามารถผสมสีกันได้ในหลอดไดโอดเปล่งแสง

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์

- บอร์ดควบคุม มีความเร็วในการตอบสนองต่อการส่งออกค่า Digital I/O เพียง 200 Hz แต่ระบบที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีความต้องการขั้นต่ำ 18,432 Hz ซึ่งต่ำเกินไปสำหรับการแสดงผลภาพต่อเนื่อง

- IC ที่ใช้ในการควบคุม โดยคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ IC เบอร์ TLC5940 ซึ่งจะใช้จำนวน clock ในการควบคุมหลอด LED 1 หลอดมากถึง 6 clock ซึ่งแต่ละครั้งจะใช้ควบคุมทั้งหมด 96 clock (16 หลอด) ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากความเร็วในการตอบสนองของบอร์ดควบคุมจึงทำให้เกิดภาพที่ไม่ต่อเนื่อง

5.2.2 ปัญหาทางด้านซอฟต์แวร์

- ซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพง และสามารถใช้ได้เฉพาะบนระบบปฏิบัติการ Windows เท่านั้น (ต้องการ .Net) ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการพัฒนา

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรนำไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีสัญญาณรบกวน เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้าและไม่ได้มีการป้องกันการรบกวนเอาไว้ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาในการแสดงผลได้ และควรตรวจสอบสายไฟของไดโอดให้เรียบร้อย เพราะถ้าหลุดหรือขาดจะทำให้การแสดงผลเกิดความผิดพลาดได้เช่นกัน และควรศึกษาความสามารถของอุปกรณ์บอร์ด FiO เพิ่มเติมเพื่อที่จะได้ใช้ความสามารถของอุปกรณ์บอร์ดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ควรเขียนแผ่นปริ้นท์และต่อวงจรไครฟ์ไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์ใหม่เพื่อให้สามารถแสดงผลได้หลายสีในครั้งเดียวกัน และสามารถแก้ไขในส่วนของโปรแกรมเพื่อที่จะให้เกิดการผสมสีของแต่ละหลอดไดโอดเปล่งแสงได้

5.4 แนวทางการประยุกต์และพัฒนาต่อไป

5.4.1 แนวทางการประยุกต์

- นำไดโอดเปล่งแสงทรงลูกบาศก์นี้ไปเป็นจอภาพแบบ 3 มิติ เพื่อที่จะใช้ในการแสดงผลข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการได้ถึง 3 แกน (x, y, z) และยังสามารถแสดงสีที่แตกต่างกันจึงนับได้ว่าเป็นการรับรู้เพิ่มเติมอีก 1 มิติ ยกตัวอย่างเช่นในการแสดงถึงกราฟแบบ 3 มิติ โดยให้ในแต่ละแกนของกราฟมีความหมายที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ข้อมูลที่ต้องการจะแสดง เช่น ในแกน x กำหนดให้เป็นปริมาณงานที่ต้องทำ แกน y กำหนดให้เป็นความหนาแน่นของการจราจร แกน z กำหนดให้เป็นปริมาณสิ่งของที่ต้องการจะซื้อ และการรับรู้ด้วยสีอีก 1 มิติ ที่เหลือสามารถกำหนดให้เป็นการแสดงถึงอุณหภูมิโดยรอบได้

5.4.2 แนวทางการพัฒนาต่อไป

- ในกรณีที่จะใช้ในการแสดงผลรูปภาพ สามารถกำหนดสีที่จะใช้แสดงให้สมจริงได้ด้วยการใช้หลักการอื่นเพิ่มเติม เช่น PWM หรือ BAM

- เปลี่ยน IC โดยเลือก IC ที่ใช้จำนวน clock ในการควบคุมไดโอดเปล่งแสงต่อ 1 หลอดให้น้อยลง และอาจจะเปลี่ยนเป็น IC ที่สามารถรับค่าเป็น Digital แล้วแปลงผลออกมาเป็นแบบ Analog ได้ ซึ่งจะสามารถแสดงผลภาพได้สมจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gonzalez, Woods and Eddins. (2009). **Digital image processing using MATLAB**. Gatesmark Publishing.
- [2] S. Annadurai and R. Shanmugalakshmi. (2007). **Fundamentals of digital Image Processing**. India : Dorling Kindersley Pvt. Ltd.
- [3] Jonathan Sachs. (1996). **Digital Image Basics**. USA : Digital Light & Color.
- [4] **Introduction To The RGB Color System**. Retrieved September 8, 2012, from http://www.web-colors-explained.com/rgb_01.php
- [5] ColoRotate. (2002). **Color Models**. Retrieved September 8, 2012, from <http://learn.colorotate.org/color-models.html>
- [6] **Arithmetic Operators + - * / \ ^**. Retrieved September 22, 2012, from <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/arithmeticoperators.html>
- [7] Seksun Sartsatit. **Embedded System Technology Laboratory**. Retrieved September 28, 2012, from <http://www.nectec.or.th/index.php/2011-07-12-03-00-06/2011-07-12-03-01-25/-research-unit-ru/2011-05-18-02-45-04/2011-07-01-12-33-39.html>
- [8] Sranonio. (2012). **FIO Std**. Retrieved September 28, 2012, from <https://www.aimagin.com/fio-std.html>
- [9] **Rapid Prototyping and Model-based Design**. Retrieved September 28, 2012, from https://www.aimagin.com/learn/index.php/Learn_RapidSTM32_Home
- [10] Nick Schulze. (2012). **RGB LED Cube**. Australia : Instructables. Retrieved October 12, 2012, from <http://www.hownottoengineer.com/projects/rgb-led-cube.html>

ภาคผนวก

1. การติดตั้งโปรแกรม RapidSTM32 blockset ใน Matlab (32 bit)

1.1 โปรแกรมที่ต้องการก่อนการใช้งาน

- RapidSTM32 Blockset (version 0.3.6.1) หรือสูงกว่า
- Matlab 32-bits 2009a (version 7.8) หรือสูงกว่า
- Simulink 2009 (version 7.3) หรือสูงกว่า
- Real-Time Workshop 2009 (version 7.3) หรือสูงกว่า
- Real-Time Workshop Embedded Coder 2009 (version 5.3) หรือสูงกว่า
- RealView MDK for ARM (version 4.13a) หรือสูงกว่า
- Microsoft Windows XP SP2 หรือสูงกว่า
- Microsoft .Net Framework version 3.5 หรือสูงกว่า

1.2 แหล่งดาวน์โหลดโปรแกรม

- rapidSTM32Blockset :

https://www.aimagin.com/index.php/downloads/dl/file/id/94/rapidstm32_12p5a.7z

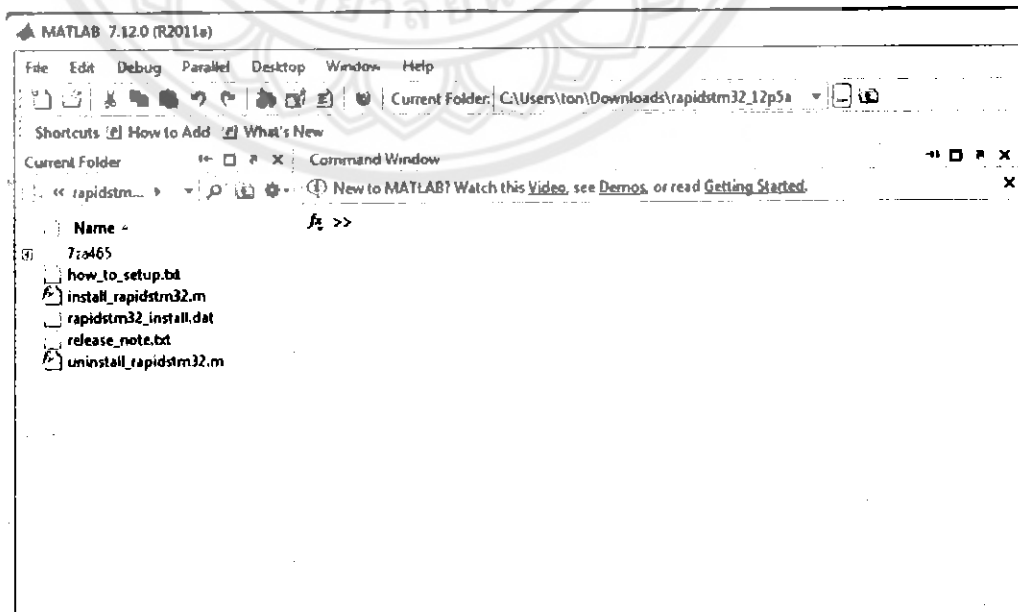
- Keil : <https://www.keil.com/demo/eval/arm.htm>

โดยในการดาวน์โหลด Keil นั้นจะต้องใส่ข้อมูลให้ครบและถูกต้องก่อนถึงจะสามารถ
โหลดโปรแกรมได้

- .Net Version3.5 : <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=25150>

1.3 ขั้นตอนการติดตั้ง

- เปิดโปรแกรม Matlab (ในกรณีที่ใช้ Windows 7 ให้เลือก Run as administrator)
- เลือก directory ไปยังตำแหน่งที่ได้ทำการแตกไฟล์ไว้



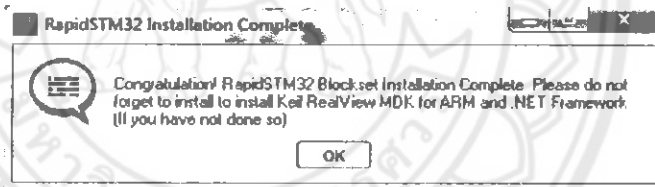
ภาพที่ ผ.1 (1)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

- เปิดไฟล์ install_rapidstm32.m ขึ้นมาแล้วทำการรันไฟล์

```
1 function install_rapidstm32
2
3 %% Check Matlab and other tools release/version.
4
5 %% Install RapidSTM32 tool suite if the minimum requirements are met.
6
7 %% Minimum Requirements
8
9 %% - Matlab Release 2009a
10 %% - Simulink
11 %% - Real-Time Workshop or Simulink Coder
12 %% - Real-Time Workshop Embedded Coder or Embedded Coder
13
14 %% RapidSTM32 will be installed in the root directory of the same drive as
15 %% Matlab root.
16
17 %% Installation confirmation
18 choice = questdlg('Do you want to proceed with RapidSTM32 Blockset Installation?',...
```

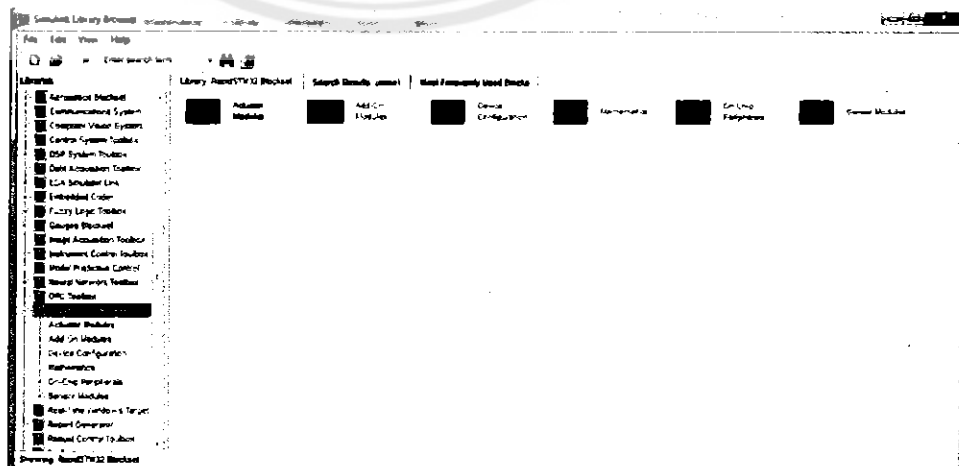
ภาพที่ ผ.2 (2)แสดงขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรม

- เมื่อทำการลงเสร็จสมบูรณ์แล้วโปรแกรมจะแสดงผลตามรูป



ภาพที่ ผ.3 (3)แสดงขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรม

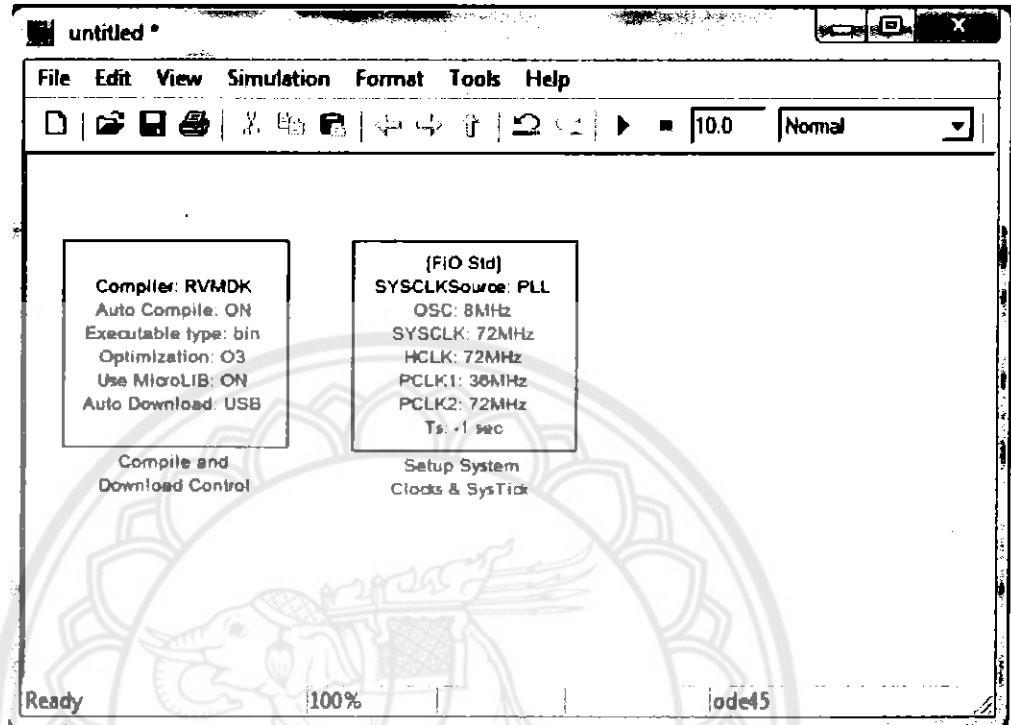
- หลังจากลง โปรแกรมสำเร็จแล้วจะต้องมี rapidSTM32 blockset ขึ้นมาใน Simulink



ภาพที่ ผ.4 (4)แสดงขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรม

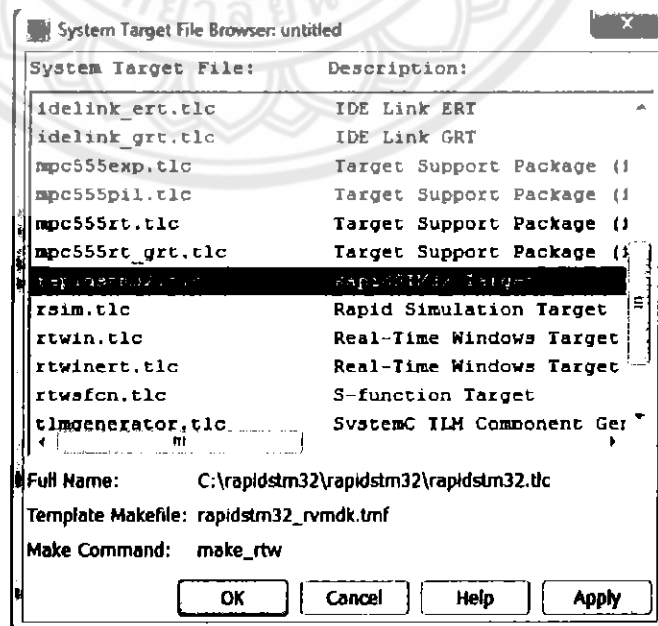
1.4 ขั้นตอนการโมเดลให้สามารถใช้งานได้

- ลาก block ที่ใช้ในการ config FiO board ลงในโมเดลที่ต้องการใช้งานกับ FiO board



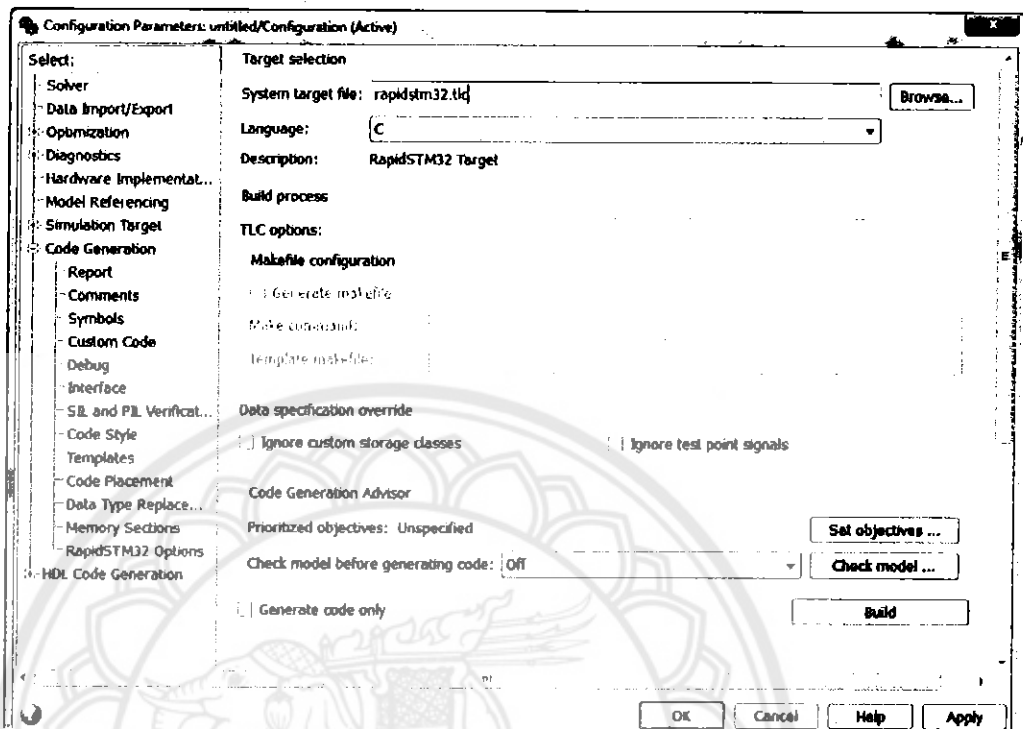
ภาพที่ ผ.5 (5)แสดงขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรม

- เข้าไปแกไขข้อมูลใน view -> configuration parameter (Ctrl + E) แล้วเข้าไปที่รายการ Code Generation แล้วเปลี่ยนข้อมูลของ System target file ไปเป็น RapidSTM32



ภาพที่ ผ.6 (6)แสดงขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรม

- จะได้ผลดังรูป



ภาพที่ ผ.7 (7)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

- ทำการทดลองด้วยการกดปุ่ม Incremental build

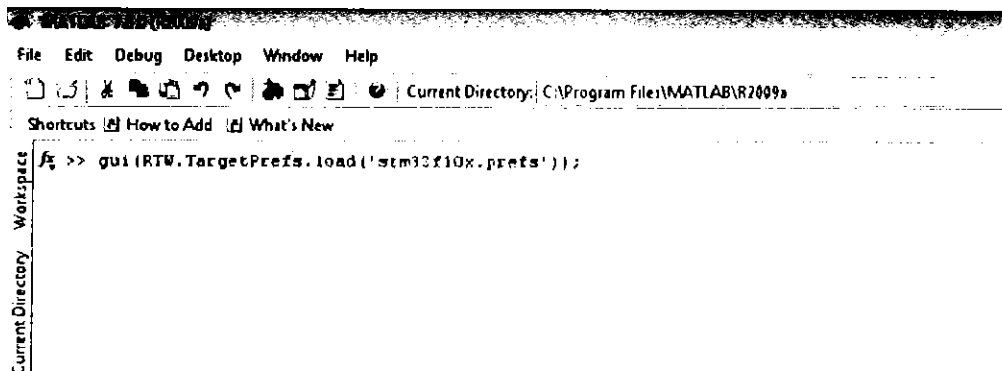


ภาพที่ ผ.8 (8)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

- การแก้ปัญหาสำหรับ Keil เมื่อสั่ง build ข้อมูลลงบอร์ด

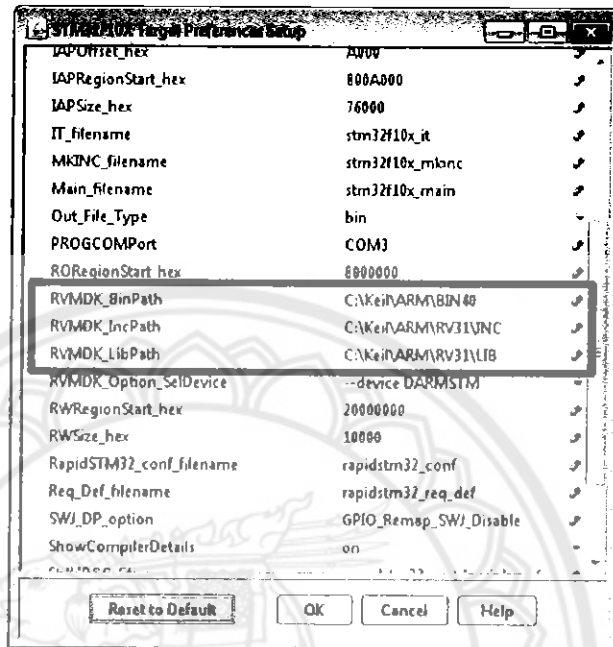
- พิมพ์คำสั่ง `gui(RTW.TargetPrefs.load('stm32f10x.prefs'))`; ลงในหน้า command line

ของโปรแกรม Matlab



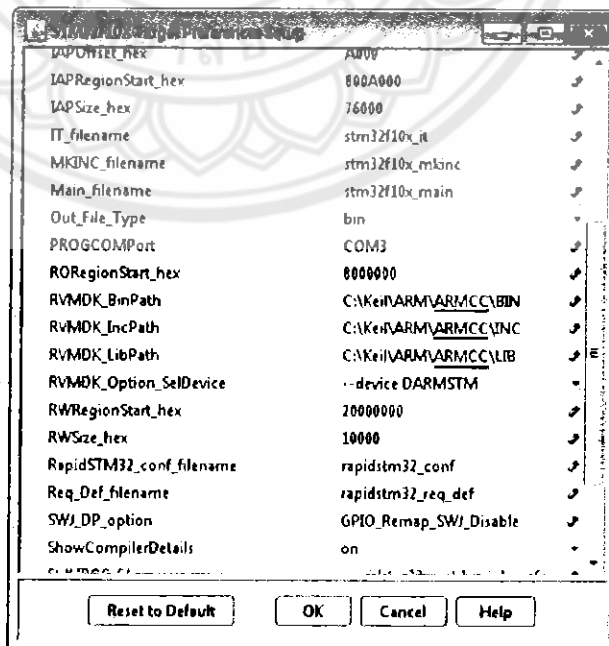
ภาพที่ ผ.9 (9)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

- เมื่อพิมพ์เสร็จโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังนี้ โดยจะพบว่าตำแหน่งของไฟล์ Keil ในโปรแกรมนั้นผิดพลาด ต้องแก้ไขไปยังตำแหน่งของไฟล์จริงในเครื่องเพื่อที่จะสามารถคอมไพล์โปรแกรมและเบิร์นลงบอร์ดได้



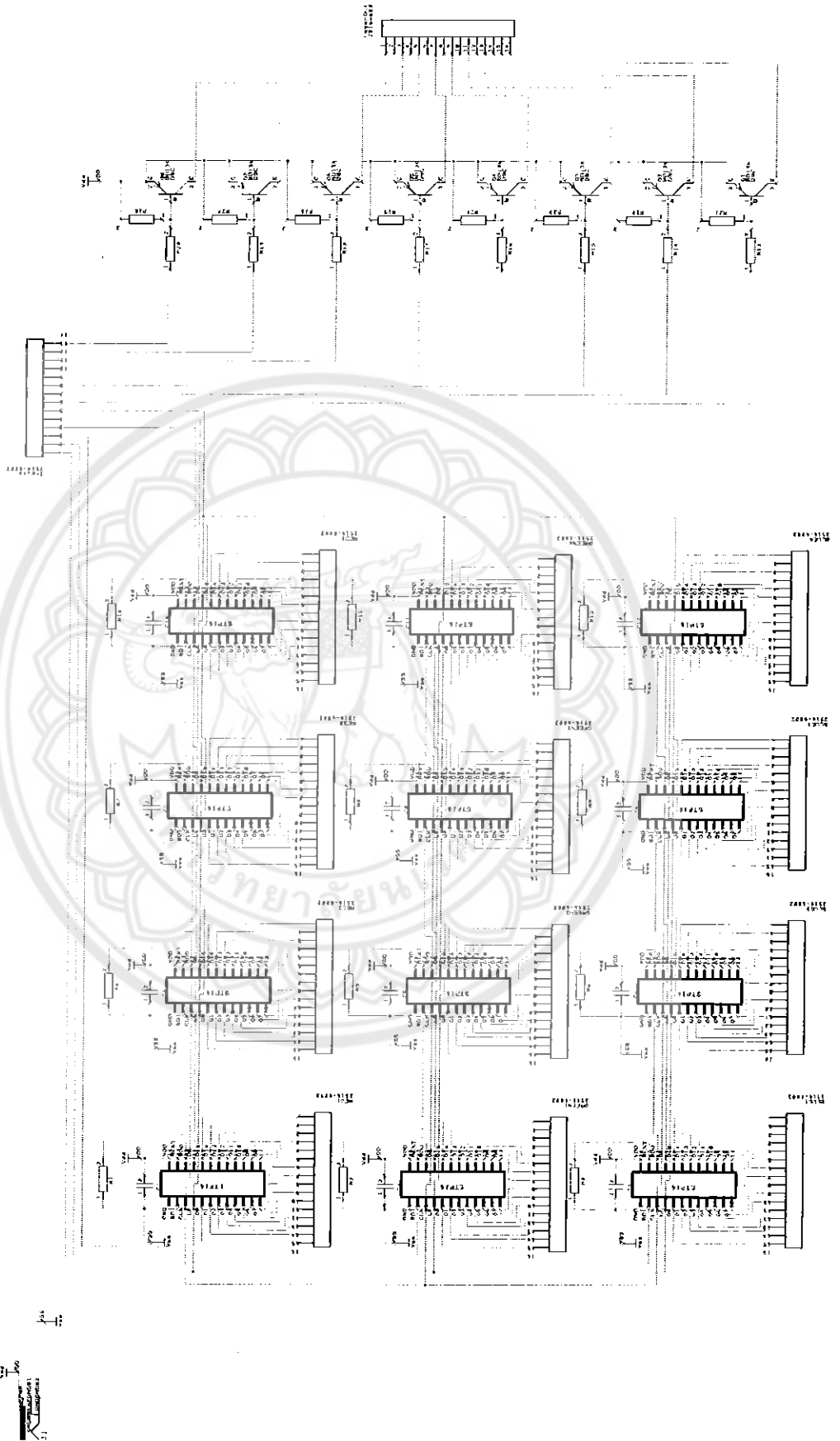
ภาพที่ ผ.10 (10)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

- โดยแก้ไขตำแหน่งของ RVMDK_BinPath, RVMDK_IncPath และ RVMDK_LibPath ตามตำแหน่งของไฟล์ที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ ผ.11 (11)แสดงขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

2. Schematic LED driver



ภาพที่ ผ.12 แสดง Schematic LED driver

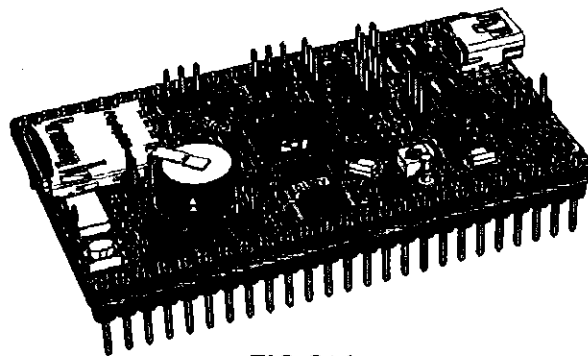
FiO Std Datasheet

FEATURES

- Built-in RapidSTM32 native-support bootloader.
- ARM 32-bits Cortex™ – M3 Processor (STM32F103RET6)
 - 90MIPS maximum speed
 - 64 KBytes SRAM
 - 51 GPIO
 - 16 channels 12-bit, 1 μ s ADC
 - 5 USART, 3 SPI, 2 I²C, 1 CAN
 - On-chip temperature sensor
 - 4 General purpose 16-bits timers with 4 IC/OC/PWM per timer
 - 2 16-bits Advanced control timers
 - 2 Watchdog timer
 - 2 channels 12-bit DAC
 - USB 2.0 full speed interface
- Two onboard crystals
 - 32 kHz (for real-time clock)
 - 8 MHz (for MCU clock)
- Power supply management
 - Reverse supply voltage protection
 - USB or External (up to 15VDC) supply input selection via jumper settings
 - 3.3V (up to 800mA) LDO regulator for internal and external circuitries
- Flash programming
 - 496Kbytes available flash memory
 - In-Application Programming via either USB HID or serial (RS232) interfaces directly from Matlab™ or MS Windows™.
 - Automatic compile and download directly from Matlab™.
- Other onboard peripherals
 - 3 user LED (red, yellow, green)
 - 2 user logic (H/L) input jumpers
 - 10K potentiometer
- High capacitance (0.33F) capacitor as RTC backup battery
- RS232 (3232-series) level converter
- Micro SD card socket
- Four built-in operating modes selectable via jumper settings
 - USB Mass Storage Device (micro SD card reader)
 - In-application programming via USB HID interface
 - In-application programming via serial (RS232/USART) interface
 - Stand-alone custom user application
- RoSH compliant

SAMPLE APPLICATIONS

- Affordable Rapid Prototyping training tools (especially for Automatic Control and Digital Signal Processing studies) when used together with RapidSTM32 blockset, example features include:
 - Support C code generation of a custom user program for STM32 from a Simulink™ model (see minimum requirements).
 - Support various Hardware-in-the-Loop (HIL) simulation configurations, e.g. data acquisition in to, signal generation from Matlab™/Simulink™, and closed-loop control HIL simulation design and analysis.
- Create a data logger to micro SD card (FAT32) program directly from a Simulink model.
- Use in a laboratory as embedded system training kits or in-the-field for any student projects.
- Generic microcontroller evaluation board.



FiO Std

INTRODUCTION

FiO Std is an evaluation board (EVB) from FiO family of evaluation boards that are based on STMicroelectronics STM32™ ARM 32-bits Cortex™ – M3 processors.

FiO EVBs have been primarily designed as affordable embedded system training boards for used by instructors and students to supplement such courses and curriculums as design and analysis of automatic or embedded control systems and digital signal processing (DSP) systems. It is hoped that the introduction of FiO and RapidSTM32 Blockset will help lower the barrier and open up opportunities for more users to play around with Rapid Prototyping technology.

FiO family of evaluation boards have been specifically designed to be applicable both as LAB kits for uses in laboratories as well as a stand-alone system for used in-the-field in any student's science and engineering projects.

When used together with RapidSTM32 Blockset, FiO Std offers several capabilities, for examples:

- Real-Time Hardware in the Loop Simulations via USB HID.

Real-Time Hardware in the Loop (HIL) Simulation via USB HID interface		Maximum Update Rate ¹ (Hz)
Open-Loop	Target → Host (Data Acquisition)	450
	Host → Target (Signal Generation)	200
Closed-Loop	Target ↔ Host (Control System)	200

- Higher HIL update rate available via other specially designed interfaces.
- Create working stand-alone embedded systems from Simulink™ models with just one click.

¹ The actual update rate depends on several factors such as the host PC speed and other USB hardware in the communication loop; for example, communication speed is faster when the target is connected directly to host USB controller than via a USB hub.

- Generated source code compatible with Realview MDK™ for ARM with options for automatic compile and download option.
- Data logger to micro SD card (FAT32).
- Support simulation and code generation for typical peripherals such as push/toggle button or character LCD.
- Supported on-chip peripherals include Digital IO, ADC, DAC, RTC, PWM, USART, USB (Virtual COM) and more.
- Support integration with Finite State Machine simulation and code generation via Stateflow™ and Stateflow Coder™.

MINIMUM REQUIREMENTS

Minimum requirements for FiO Std to fully function with RapidSTM32 Blockset.

- Matlab™ 2009a (v7.8)
- Simulink™ (v7.3)
- Real-Time Workshop™ (v7.3)
- Real-Time Workshop Embedded Coder™ (v7.3)
- Realview MDK™ for ARM (v4.0)
- Microsoft .NET Framework (v3.5)

CAUTIONS!!

All FiO EVBs are pre-installed with proprietary bootloader. FiO EVBs are solely intended to be programmed using FiO own Flash programmer which can program any FiO EVBs directly from Matlab and MS Windows via USB or RS232 interfaces. **DO NOT** use STMicroelectronics Flash Loader Program to program FiO EVBs because this will erase the pre-installed bootloader and void your warranty totally. Therefore, jumper J8 should not be tampered with in any circumstances.

FURTHER INFORMATION

For further information and tutorials please visit: <http://www.aimagin.com/learningresources>

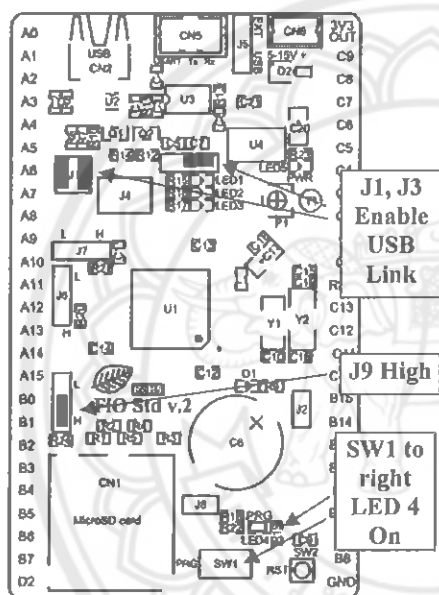
OPERATING MODES

FIO Std supports 4 operating modes

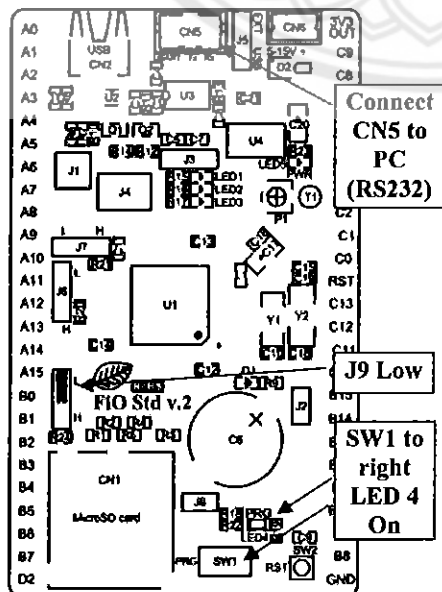
1. In-Application Programming via USB HID
2. In-Application Programming via RS232
3. Mass Storage Device (microSD card reader)
4. Run Custom User Program

The following figures show required jumper(s) and program switch (SW1) settings for each operating mode. Each operating mode can be activated by pressing the reset switch (SW2).

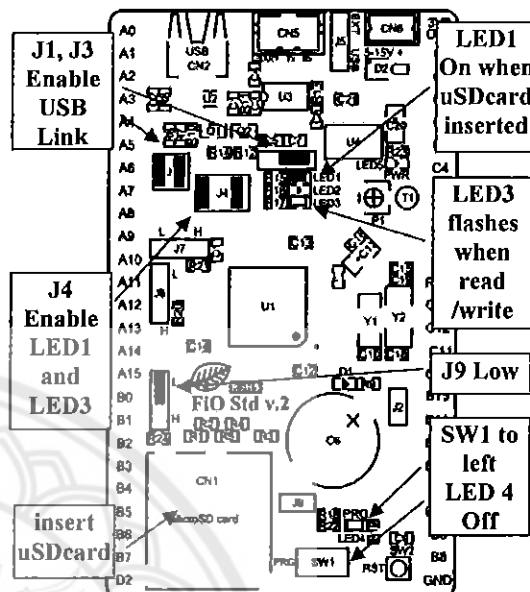
1.1 USB IAP



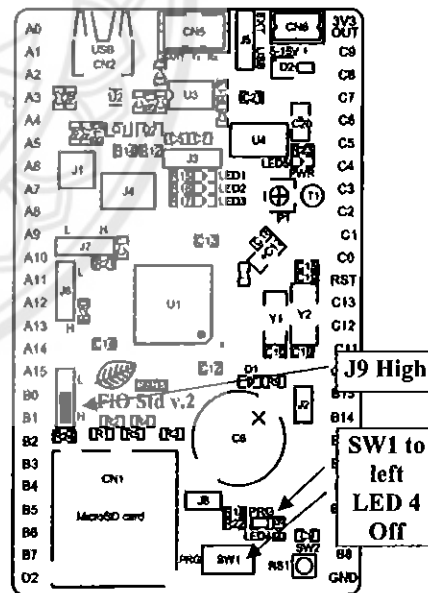
1.2 RS232 IAP



1.3 Mass Storage Device

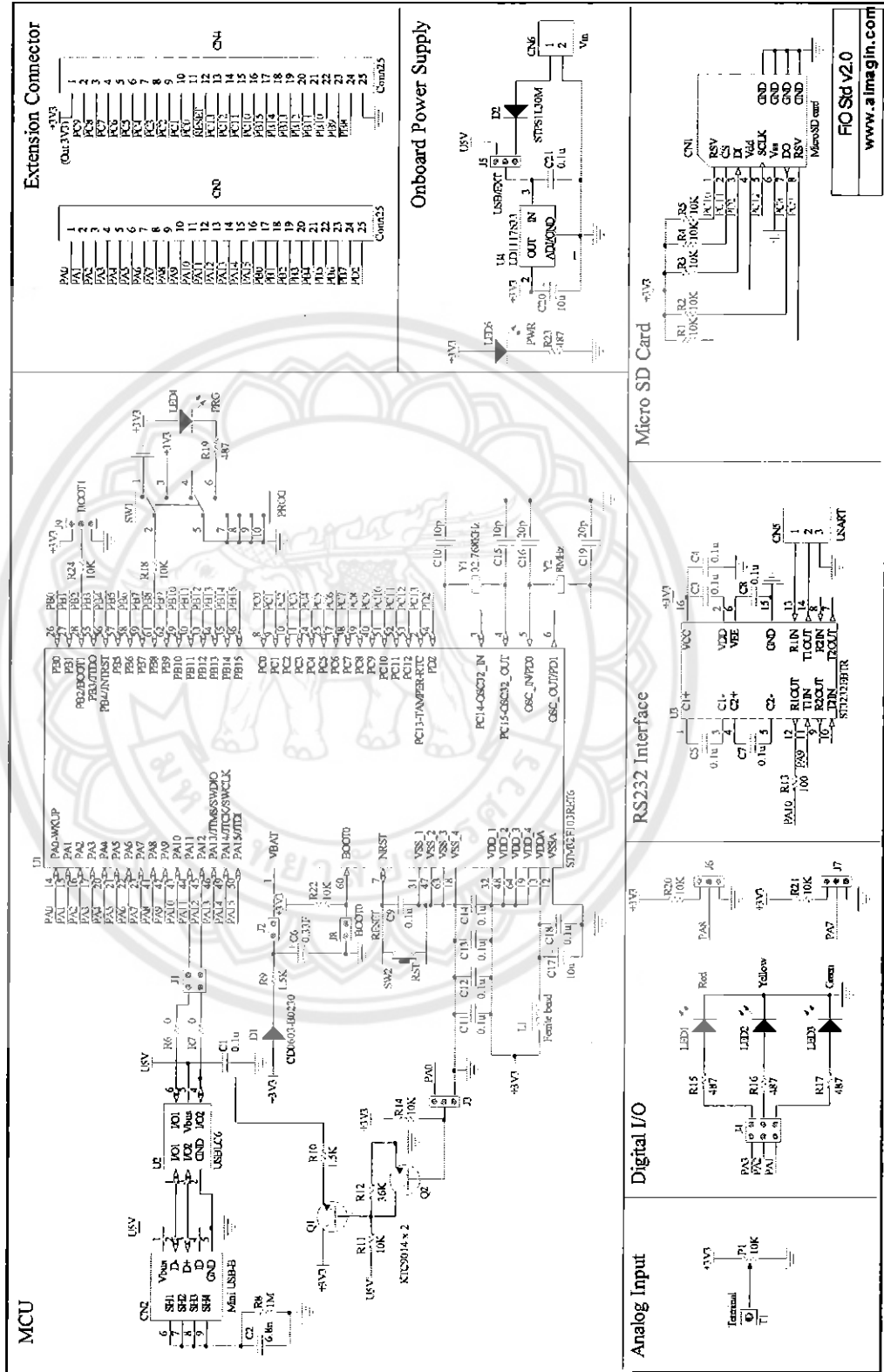


1.4 Run Custom User Program

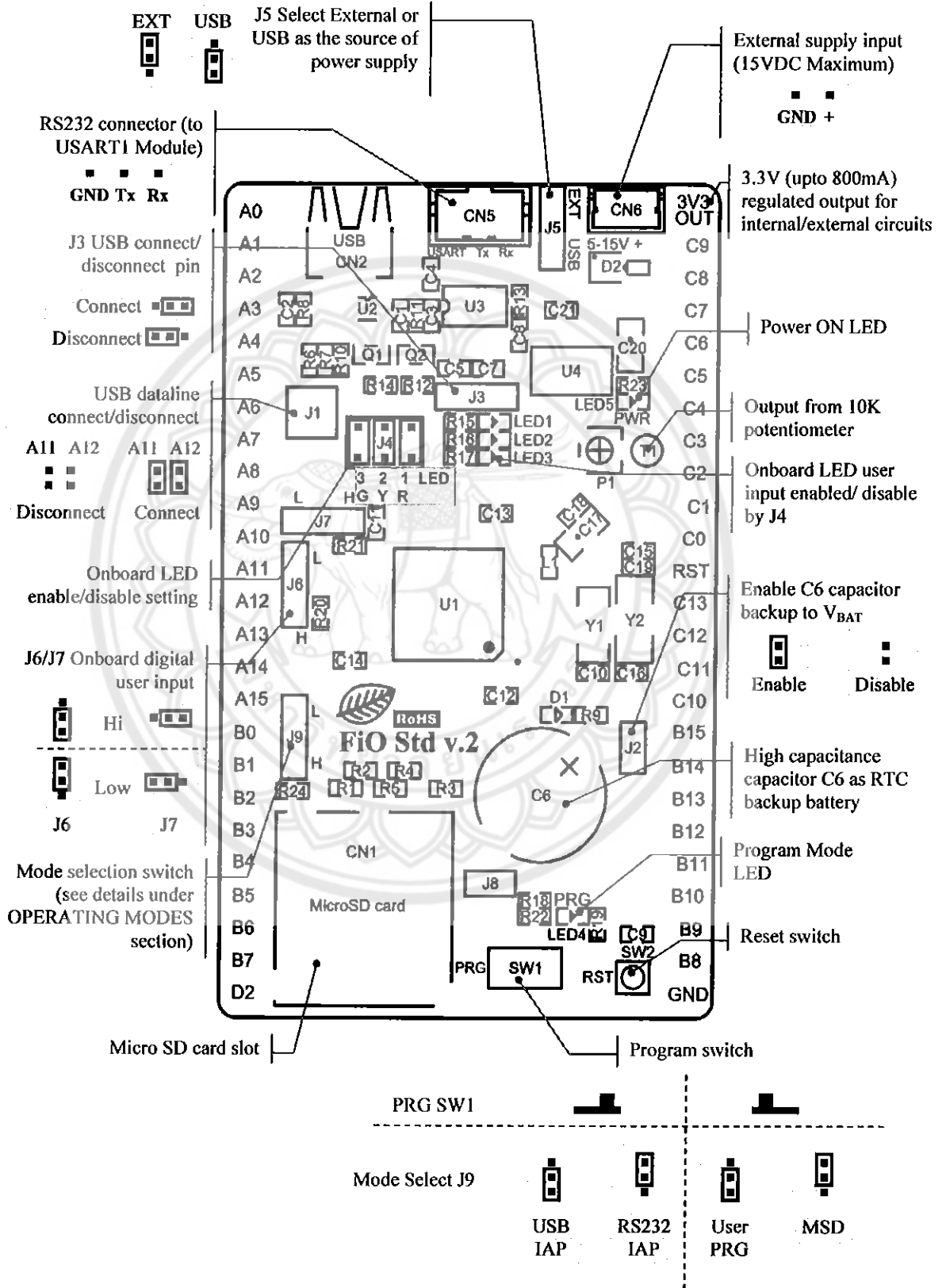


Warning: J8 should not be tampered with at all. Warranty is void if J8 is tampered.
Note: Other jumpers, e.g. J2, J6, J7 not mentioned in the above figures may be set or not, depending upon required functionalities.

SCHEMATIC DIAGRAM



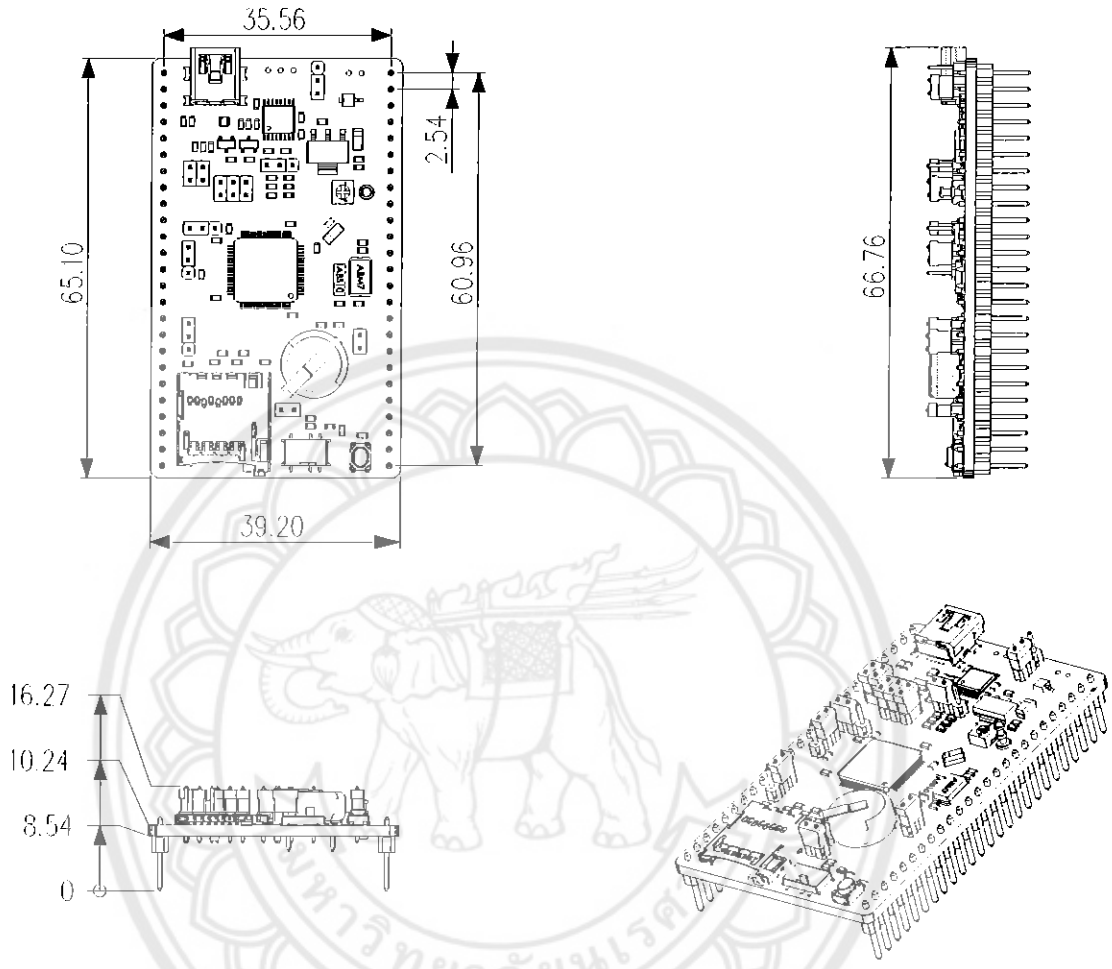
FIO Std PCB LAYOUT



BILL OF MATERIALS

[Manufacture Part No.] Name	Designator	Source
[0603B682K500CT] 6.8nF	C2	www.es.co.th
[0603ZC104KAT2A] 0.1uF	C1, C3, C4, C5, C7, C8, C9, C11, C12, C13, C14, C18, C21	www.mouser.com
[C1608C0G1H100C] 10pF	C10, C15	www.mouser.com
[C1608C0G1H200J] 20pF	C16, C19	www.mouser.com
[293D106X0010A2TE3] 10uF	C17, C20	www.mouser.com
[EECS0HD334H] 0.33F	C6	www.mouser.com
[2908-05WB-MG] MicroSD socket	CN1	www.mouser.com
[67503-1020] USB Mini-B female	CN2	www.mouser.com
[CD0603-B0230] CD0603-B0230	D1	www.mouser.com
[STPS1L30M] STPS1L30M	D2	www.mouser.com
[MMZ1608S601A] Ferrite Beads	L1	www.mouser.com
[APT1608EC] LED Red	LED1	www.mouser.com
[APT1608YC] LED Yellow	LED2	www.mouser.com
[APT1608SGC] LED Green	LED3, LED4, LED5	www.mouser.com
[PVG3A103C01R00] 10K	P1	www.mouser.com
[KTC9014S-C-RTK/P] KTC9014	Q1,Q2	www.es.co.th
[0603WAJ0103T5E] 10K	R1, R2, R3, R4, R5, R11, R14, R18, R20, R21, R22, R24	www.es.co.th
[RC0603FR-0736KL] 36k	R12	www.mouser.com
[0603WAJ0101T5E] 100	R13	www.mouser.com
[CR0603-FX-4870ELF] 487	R15, R16, R17, R19, R23	www.mouser.com
[WR06X000PTL] 0	R6, R7	www.es.co.th
[RC0603JR-071ML] 1M	R8	www.mouser.com
[CRCW06031K50JNEB] 1.5k	R9, R10	www.mouser.com
[SSSS820201] Switch	SW1	www.mouser.com
[SKRSPACE010] Switch	SW2	www.mouser.com
[534-1593-2] Terminal	T1	www.mouser.com
[STM32F103RET6TR] STM32F103RET6	U1	www.mouser.com
[USBLC6-2P6] USBLC6	U2	www.mouser.com
[ST3232EBTR] ST3232EBTR	U3	www.mouser.com
[LD1117S33TR] LD1117S33	U4	www.mouser.com
[ABS10-32.768KHZ-9-T] Xtal 32.768kHz	Y1	www.mouser.com
[ABM7-8.000MHZ-D2Y-T] Xtal 8MHz	Y2	www.mouser.com

ENGINEERING DRAWINGS (Units: mm)



Patent Pending
PCT/TH2010/000010, PCT/TH2010/000020, and PCT/TH2010/000037

Information in this document is provided solely in connection with Almagin products. Almagin reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

www.aimagin.com

Copyright 2010 Almagin - All rights reserved



AS1110

Constant-Current, 16-Channel LED Driver with Diagnostics

1 General Description

The AS1110 is designed to drive up to 16 LEDs through a fast serial interface and features 16 output constant current drivers and an on-chip diagnostic read-back function.

The high clock-frequency (up to 50MHz), adjustable output current, and flexible serial interface makes the device perfectly suited for high-volume transmission applications.

Output current is adjustable (up to 100mA/channel) using an external resistor (REXT).

The serial interface with Schmitt trigger inputs includes an integrated shift register. Additionally, an internal data register stores the currently displayed data.

The device features integrated diagnostics for over-temperature, open-LED, and shorted-LED conditions. Integrated registers store global fault status information during load as well as the detailed temperature/open-LED/shorted-LED diagnostics results.

The AS1110 also features a low-current diagnostic mode to minimize display flicker during fault testing.

The AS1110 is available in a 24-pin SSOP and the 28-pin QFN (5x5mm) package.

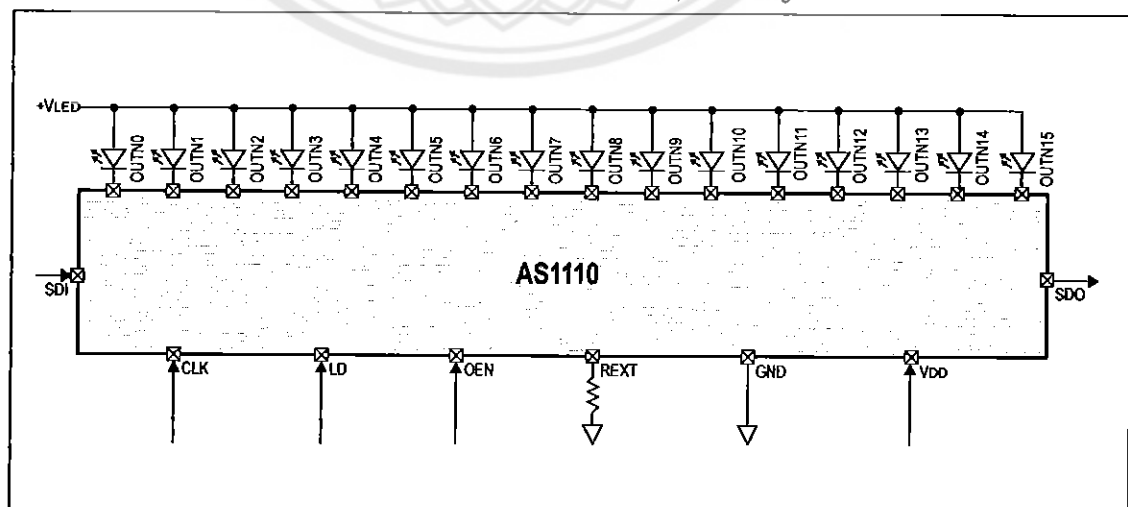
2 Key Features

- 16 Constant-current output channels
- Excellent output current accuracy
 - Between channels: $<\pm 3\%$
 - Between devices: $<\pm 3\%$
- Output current per channel: 0.5mA to 100mA
- Controlled In-rush current
- Over-Temperature, Open-LED, Shorted-LED Diagnostic functions
- Low-current test mode
- Global fault monitoring
- Low shutdown mode current: 10 μ A
- Fast serial interface: 50MHz
- Cascaded configuration
- Extremely fast output drivers suitable for PWM
- 24-pin SSOP and 28-pin QFN (5x5mm) Package

3 Applications

The device is ideal for fixed- or slow-rolling displays using static or multiplexed LED matrix and dimming functions, large LED matrix displays, mixed LED display and switch monitoring, displays in elevators, public transports (underground, trains, buses, taxis, airplanes, etc.), large displays in stadiums and public areas, price indicators in retail stores, promotional panels, bar-graph displays, industrial controller displays, white good panels, emergency light indicators, and traffic signs.

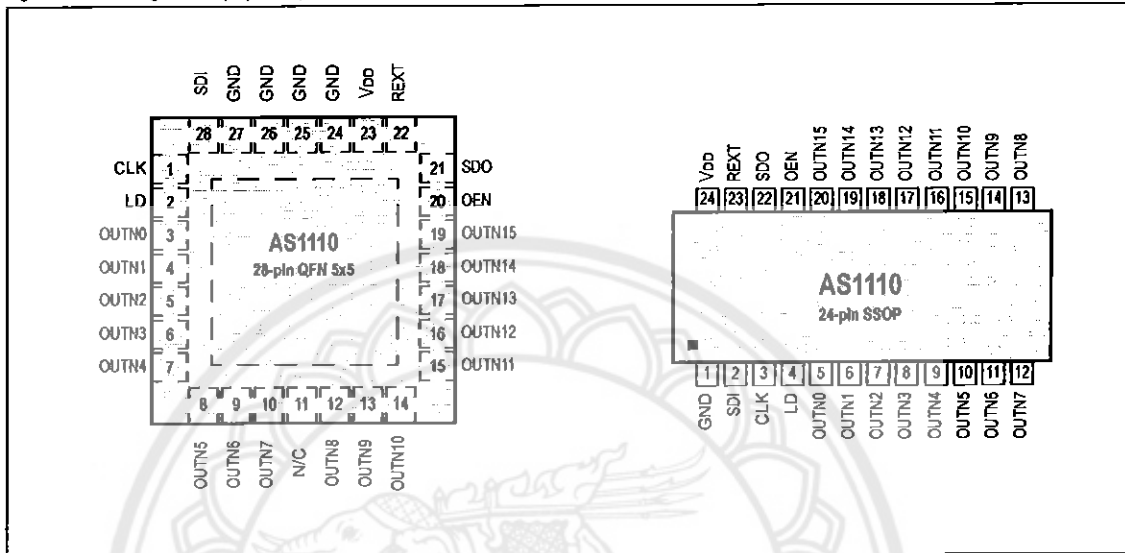
Figure 1. Main Diagram and Pin Assignments





4 Pin Assignments

Figure 2. Pin Assignments (Top View)



4.1 Pin Descriptions

Table 1. Pin Descriptions

Pin Number		Pin Name	Description
SSOP	QFN		
1	24:27	GND	Ground
2	28	SDI	Serial Data Input
3	1	CLK	Serial Data Clock. The rising edge of the CLK signal is used to clock data into and out of the AS1110 shift register. In error mode, the rising edge of the CLK signal is used to switch error modes.
4	2	LD	Serial Data Load
5:20	3:10 12:19	OUTN0:15	Output Current Drivers. These pins are used as LED drivers or for input sense for diagnostic modes. Data is transferred to the data register at the rising edge of these pins.
21	20	OEN	Output Enable. The active-low pin OEN signal can always enable output drivers to sink current independent of the AS1110 mode. 0 = Output drivers are enabled. 1 = Output drivers are disabled.
22	21	SDO	Serial Data Output. In normal mode SDO is latched out 8.5 clock cycles after SDI is latched in. In global error detection mode this pin indicates the occurrence of a global error. 0 = Global error mode returned an error. 1 = No errors.
23	22	REXT	External Resistor Connection. This pin connects through the external resistor (REXT) to GND, to setup the load current.
24	23	VDD	Positive Supply Voltage
-	11	N/C	Not connected

AS1110

Datasheet - Absolute Maximum Ratings



5 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond those listed in Table 2 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 in Electrical Characteristics on page 4 is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Table 2. Absolute Maximum Ratings

Parameter	Min	Max	Units	Comments
VDD to GND	0	7	V	
Input Voltage	-0.4	VDD +0.4	V	
Output Voltage	-0.4	15	V	
GND Pin Current		2000	mA	24-pin SSOP package
		2800	mA	28-pin QFN (5x5mm) package
Thermal Resistance Θ_{JA}		88	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	on PCB, 24-pin SSOP package
		23	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	on PCB, 28-pin QFN (5x5mm) package
Ambient Temperature	-40	+85	$^{\circ}\text{C}$	
Storage Temperature	-55	150	$^{\circ}\text{C}$	
Humidity	5	86	%	Non-condensing
Electrostatic Discharge	Digital Outputs	2	kV	Norm: MIL 833 E method 3015
	All Other Pins	2		
Latch-Up Immunity	-100 - (INOM x 0.5)	+100 + INOM	mA	EIA/JESD78
Package Body Temperature		+260	$^{\circ}\text{C}$	The reflow peak soldering temperature (body temperature) specified is in accordance with IPC/JEDEC J-STD-020D "Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Non-Hermetic Solid State Surface Mount Devices". The lead finish for Pb-free leaded packages is matte tin (100% Sn).
Moisture Sensitivity Level	SOIC	3		Represents a maximum floor life of 168h
	QFN	1		Represents an infinite floor lifetime

AS1110

Datasheet - Electrical Characteristics



6 Electrical Characteristics

$V_{DD} = +3.0V$ to $+5.5V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$ (unless otherwise specified).

Table 3. Electrical Characteristics

Symbol	Parameter		Condition	Min	Typ	Max	Unit
VDD	Supply Voltage			3.0		5.5	V
VDS	Output Voltage		OUTN0:15	0		15.0	V
IOUT	Output Current		OUTN0:15, $V_{DD} = 5V$ (see Figure 7)	0.5		100	mA
IOH			SDO	-1.0			
IOL			SDO	1.0			
VIH	Input Voltage	High Level	CLK, OEN, LD, SDI	0.7 x VDD		VDD + 0.3	V
VIL		Low Level		-0.3		0.3 x VDD	
IDS(OFF)	Output Leakage Current		OEN = 1, VDS = 15.0V			0.5	μA
VOL	Output Voltage	SDO	IOL = +1.0mA			0.4	V
VOH			IOH = -1.0mA	VDD - 0.4V			
I _{AV} (LC1)	Device-to-Device Average Output Current from OUTN0 to OUTN15		VDS = 0.5V, VDD = Const., REXT = 744 Ω	24.5		26	mA
ΔI_{AV} (LC1)	Current Skew (Between Channels)		VDS \geq 0.5V, VDD = Const., REXT = 744 Ω		± 1	± 3	%
I _{AV} (LC2)	Device-to-Device Average Output Current from OUTN0 to OUTN15		VDS = 0.6V, VDD > 3.3V, REXT = 372 Ω	49.50		51.55	mA
ΔI_{AV} (LC2)	Current Skew (Between Channels)		VDS \geq 0.6V, VDD = Const., REXT = 372 Ω		± 1	± 2	%
I _{AV} (LC3)	Device-to-Device Average Output Current from OUTN0 to OUTN15		VDS = 0.8V, VDD = 5.0V, REXT = 186 Ω	98		104	mA
ΔI_{AV} (LC3)	Current Skew (Between Channels)		VDS \geq 0.8V, VDD = Const., REXT = 186 Ω		± 1	± 2	%
ILC	Low-Current Diagnosis Mode		VDS = 0.8V, VDD = 5.0V	0.4	0.6	0.8	mA
IPD	Power Down Supply Current		VDS = 0.8V, VDD = 5.0V, REXT = 372 Ω , OUTN0:15 = On		10	20	μA
% ΔV_{DS}	Output Current vs. Output Voltage Regulation		VDS within 1.0 and 3.0V		± 0.1		%V
% ΔV_{DD}	Output Current vs. Supply Voltage Regulation		VDD within 3.0 and 5.0V		± 1		%V
RIN(UP)	Pullup Resistance		OEN	250	500	800	k Ω
RIN(DOWN)	Pulldown Resistance		LD	250	500	800	k Ω
VTHL	Error Detection Threshold Voltage			0.25	0.3	0.45	V
VTHH	Error Detection Threshold Voltage		VDD = 3.0V	1.2	1.3	1.4	V
			VDD = 5.0V	2.0	2.2	2.4	
TOV1	Overtemperature Threshold Flag				150		$^{\circ}C$

AS1110

Datasheet - Electrical Characteristics



Table 3. Electrical Characteristics (Continued)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Unit
IDD(OFF)0	Supply Current	OFF	REXT = Open, OUTN0:15 = Off	2.7	6	mA
IDD(OFF)1			REXT = 744Ω, OUTN0:15 = Off	4.3	8	
IDD(OFF)2			REXT = 372Ω, OUTN0:15 = Off	5.4	9	
IDD(OFF)3		REXT = 186Ω, OUTN0:15 = Off	9.3	13		
IDD(ON)1		ON	REXT = 744Ω, OUTN0:15 = On	6.2	11	
IDD(ON)2			REXT = 372Ω, OUTN0:15 = On	10.5	15	
IDD(ON)3	REXT = 186Ω, OUTN0:15 = On		19.5	26		

6.1 Switching Characteristics

VDD = 3.0 to 5.5V, VDS = 0.8V, VIH = VDD, VIL = GND, REXT = 372Ω, VLOAD = 4.0V, RLOAD = 64Ω, CLOAD = 10pF; guaranteed by design.

Table 4. Switching Characteristics for VDD = 5V

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
tP1	Propagation Delay Time (Without Slaggered Output Delay)	CLK - SDO		5	10	ns
tP2		LD - OUTNn		100	200	
tP3		OEN - OUTNn		100	200	
tP4	Propagation Delay Time				10	ns
tw(CLK)	Pulse Width	CLK	15			ns
tw(L)		LD	15			
tw(OE)		OEN (@IOUT < 60mA)	200			
tR	CLK Rise Time				500	ns
tF	CLK Fall Time				500	ns
tOR	Output Rise Time of VOUT (Turn Off)			100	200	ns
tOF	Output Fall Time of VOUT (Turn On)			100	300	ns
tSU(D)	Setup Time for SDI		5			ns
tH(D)	Hold Time for SDI		5			ns
tSU(L)	Setup Time for LD		5			ns
tH(L)	Hold Time for LD		5			ns
tTESTING	OEN Time for Error Detection		2000			ns
tSTAG	Slaggered Output Delay			20	40	ns
tSU(OE)	Output Enable Setup Time		20			ns
tGSW(ERROR)	Global Error Switching Setup Time		10			ns
tSU(ERROR)	Global Error Detection Setup Time		10			ns
tP(I/O)	Propagation Delay Global Error Flag				5	ns
tSW(ERROR)	Switching Time Global Error Flag				10	ns
fCLK	Maximum Clock Frequency (Cascade Operation)		30	50		MHz
tP3,ON	Low-Current Test Mode Propagation Delay Time	Turn ON		3	5	μs
tP3,OFF		Turn OFF		0.05	0.1	μs

AS1110

Datasheet - Electrical Characteristics



Table 4. Switching Characteristics for VDD = 5V

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
tREXT2,1	External Resistor Reaction Time	Change from REXT1 = 372Ω, IOUT1 = 50.52mA to REXT2 = 37.2kΩ, IOUT2 < 1mA		0.5	1	μs
tREXT2,1	External Resistor Reaction Time	Change from REXT1 = 37.2kΩ, IOUT1 = 0.5mA to REXT2 = 372Ω, IOUT2 > 25mA		0.5	1	μs

* If multiple AS1110 devices are cascaded and tr or tr is large, it may be critical to achieve the timing required for data transfer between two cascaded LED drivers.





7 Typical Operating Characteristics

Figure 3. Output Current vs. R_{EXT} , $V_{DD} = 5V$, $V_{DS} = 0.8V$, $T_{AMB} = 25^{\circ}C$

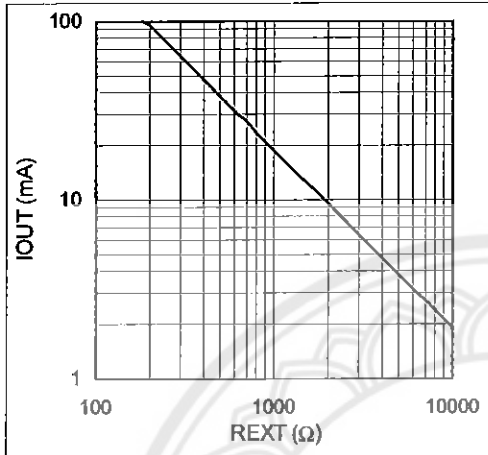


Figure 4. Relative Output Current Error vs. V_{DD} , $I_{OUT}/I_{OUT}@V_{DD}=5V - 1$, $T_{AMB} = 25^{\circ}C$

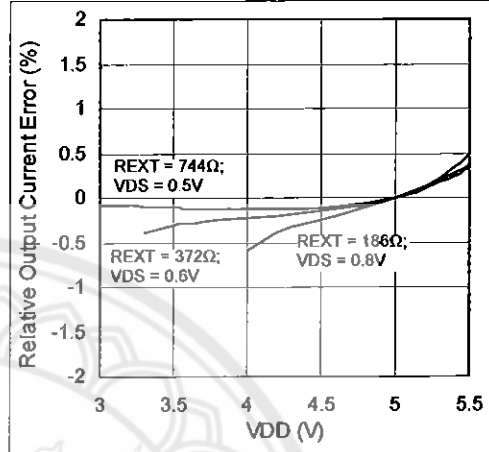


Figure 5. Output Current vs. V_{DS} , $V_{DD} = 5V$, $T_{AMB} = 25^{\circ}C$

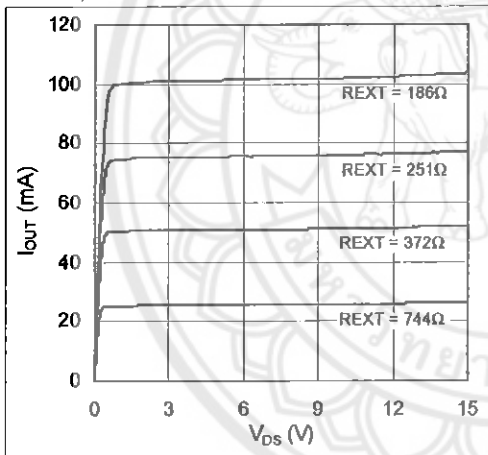


Figure 6. Output Current vs. V_{DS} , $V_{DD} = 5V$, $T_{AMB} = 25^{\circ}C$

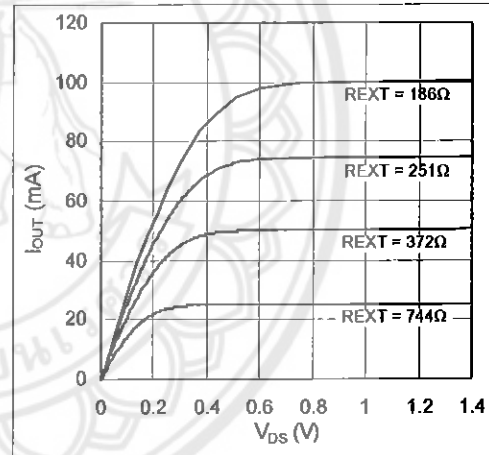
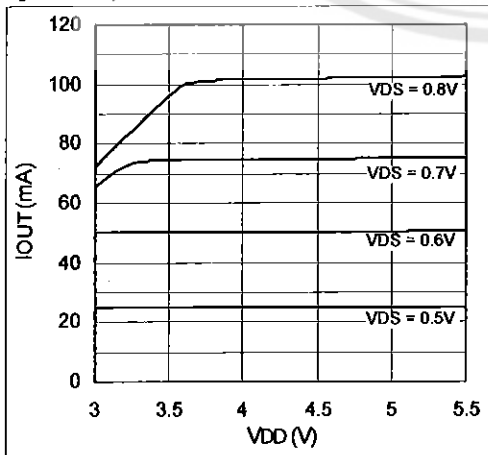


Figure 7. Output Current vs. V_{DD}



AS1110

Datasheet - Detailed Description



8 Detailed Description

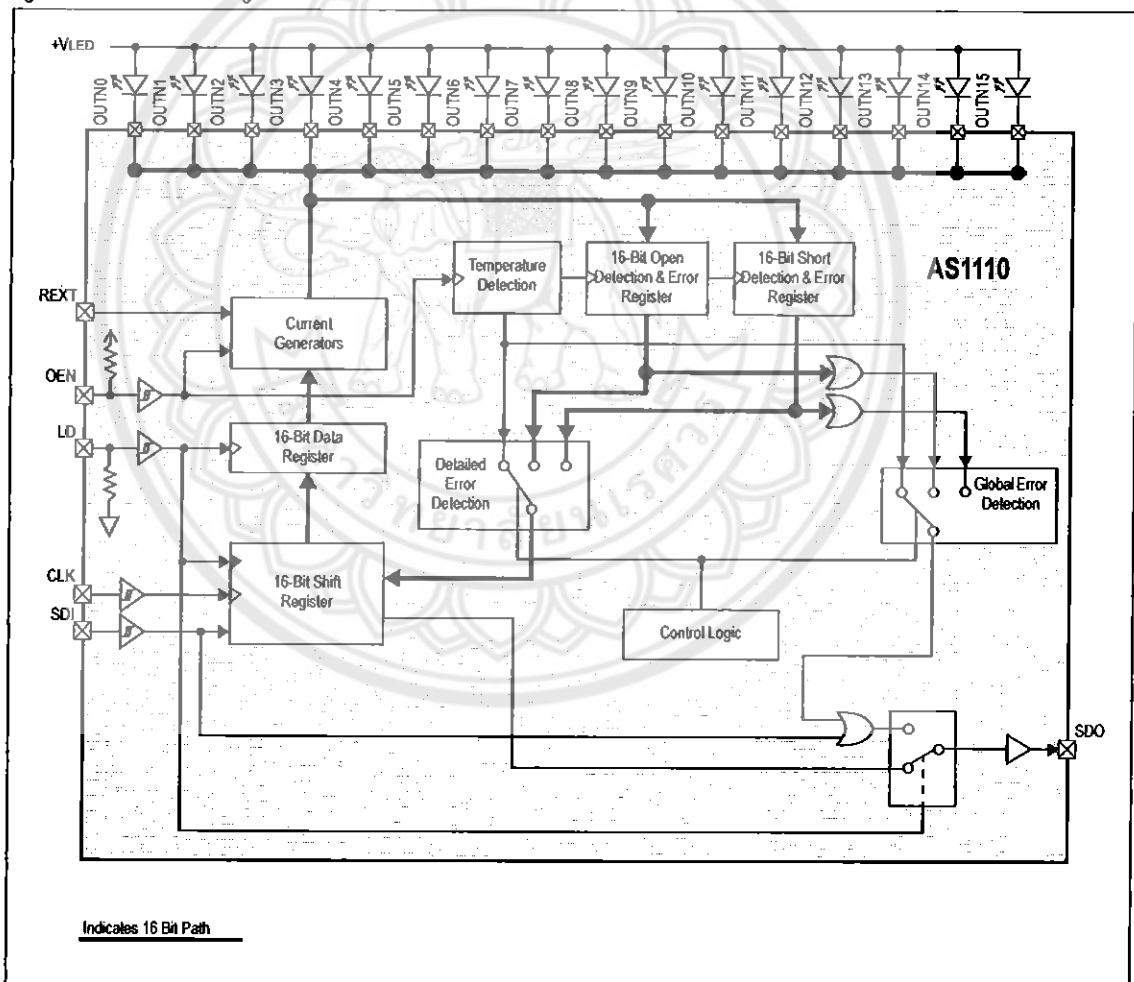
The AS1110 is designed to drive up to 16 LEDs through a fast serial interface and 16 constant-current output drivers. Furthermore, the AS1110 provides diagnostics for detecting open- or shorted-LEDs, as well as over-temperature conditions for LED display systems, especially LED traffic sign applications.

The AS1110 contains an 16-bit shift register and an 16-bit data register, which convert serial input data into parallel output format. At AS1110 output stages, sixteen regulated current sinks are designed to provide uniform and constant current with excellent matching between ports for driving LEDs within a wide range of forward voltage variations. External output current is adjustable from 0.5 to 100mA using an external resistor for flexibility in controlling the brightness intensity of LEDs. The AS1110 guarantees to endure 15V maximum at the outputs.

The serial interface is capable of operating at a minimum of 30 MHz, satisfying the requirements of high-volume data transmission.

Using a multiplexed input/output technique, the AS1110 adds additional functionality to pins SDO, LD and OEN. These pins provide highly useful functions (open- and shorted-LED detection, over-temperature detection), thus reducing pin count. Over-temperature detection will work on-the-run, whereas the open- and shorted-LED detection can be used on-the-run or in low-current diagnostic mode (see page 15).

Figure 8. AS1110 - Block Diagram



8.1 Serial Interface

Data accesses are made serially via pins SDI and SDO. At each CLK rising edge, the signal present at pin SDI is shifted into the first bit of the internal shift register and the other bits are shifted ahead of the first bit. The MSB is the first bit to be clocked in. In error-detection mode the shift register will latch-in the corresponding error data of temperature-, open-, and short-error register with each falling edge of LD.

AS1110

Datasheet - Detailed Description



The 16-bit data register will latch the data of the shift register at each rising edge of LD. This data is then used to drive the current generator output drivers to switch on the corresponding LEDs as OEN goes low.

8.2 Timing Diagrams

This section contains timing diagrams referenced in other sections of this data sheet.

Figure 9. Normal Mode Timing Diagram

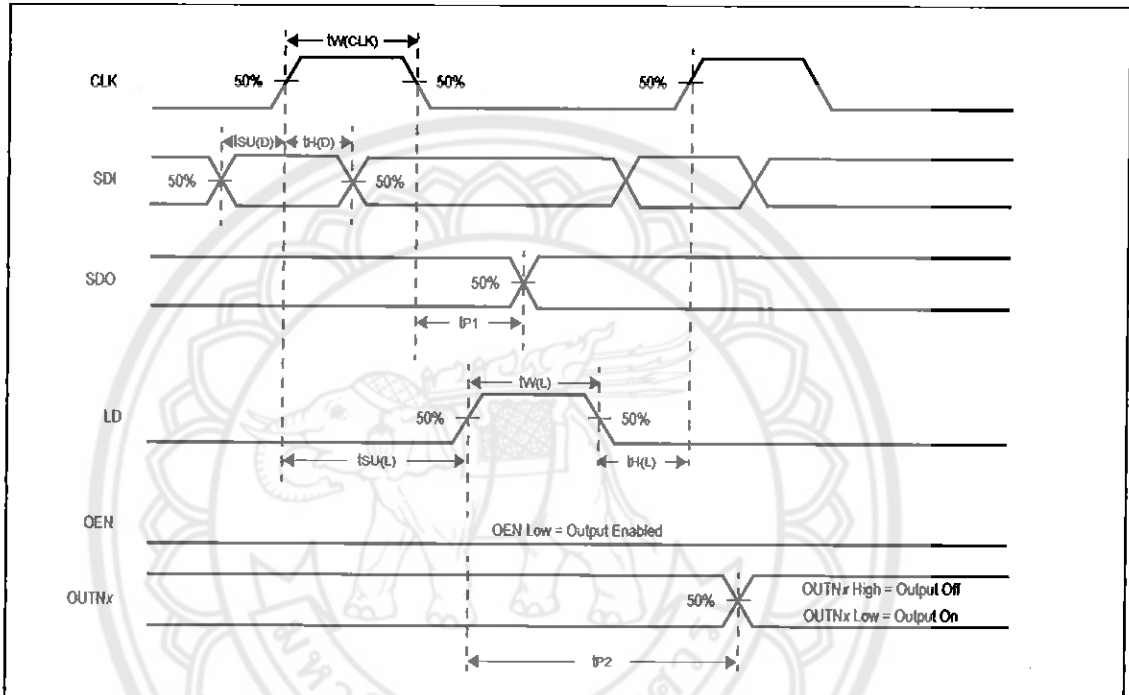
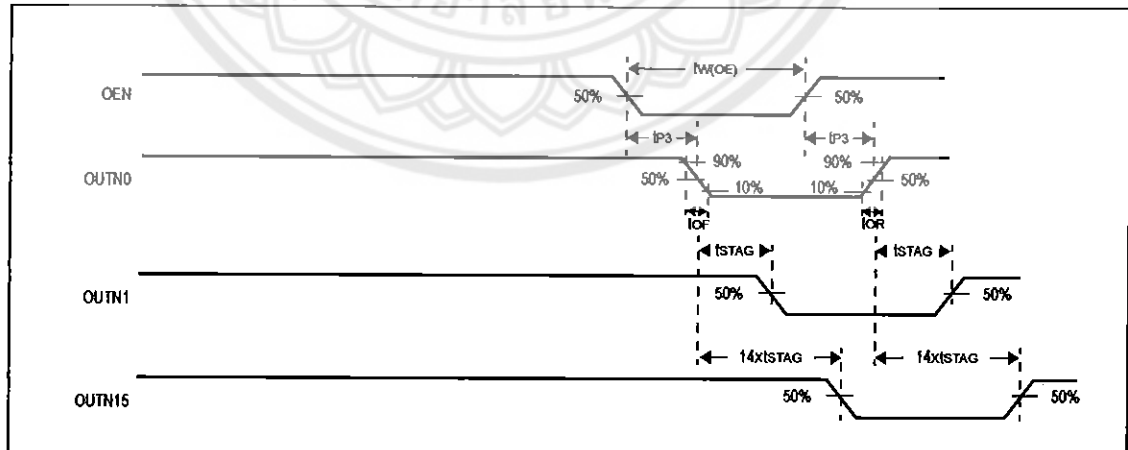


Figure 10. Output Delay Timing Diagram



AS1110

Datasheet - Detailed Description



Figure 11. Data Input Timing Diagram

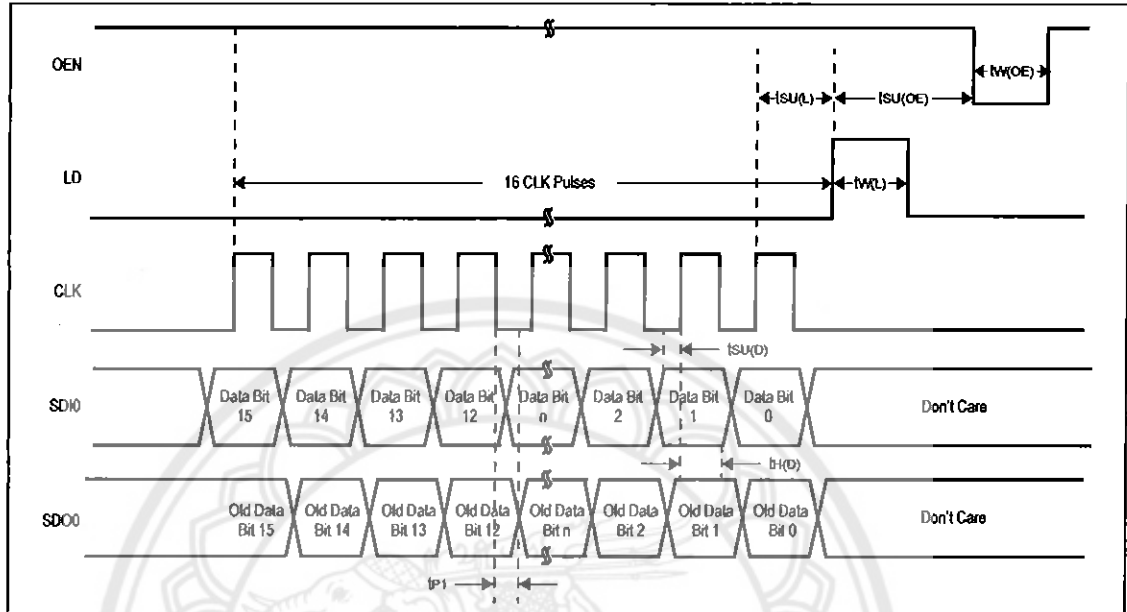
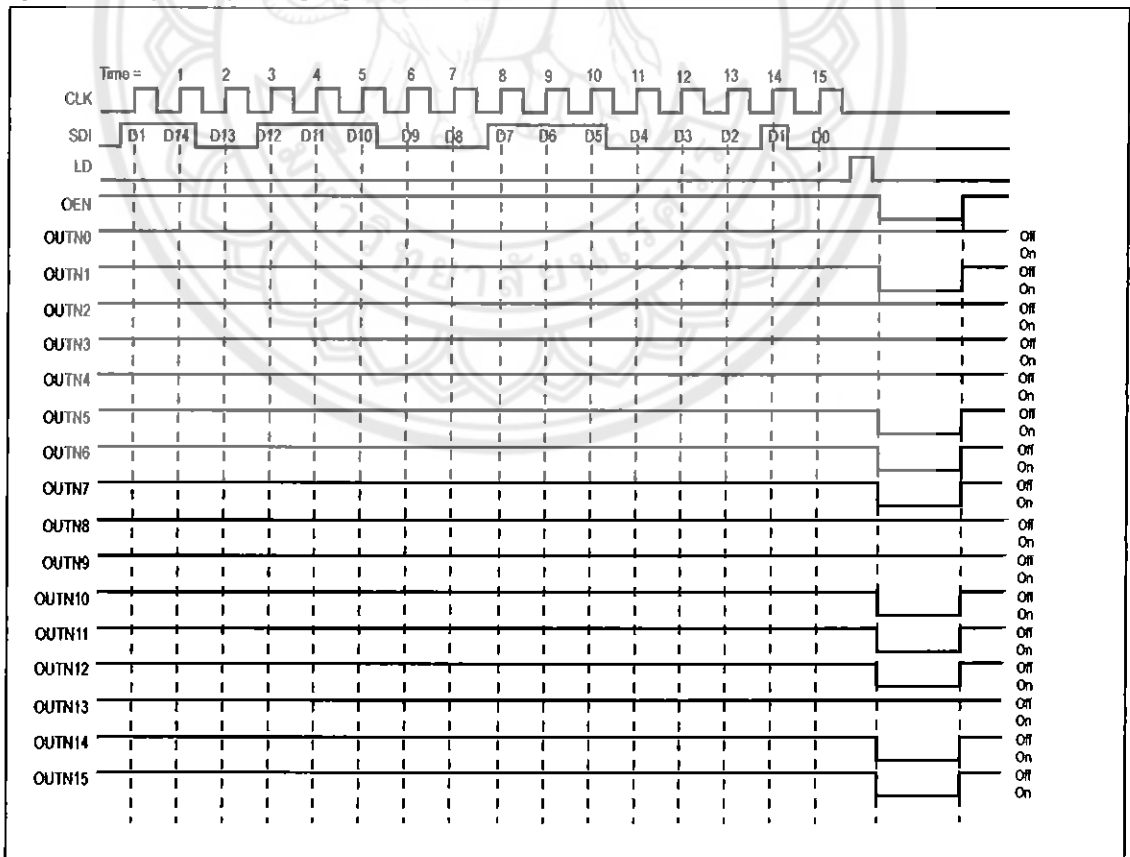


Figure 12. Data Input Example Timing Diagram

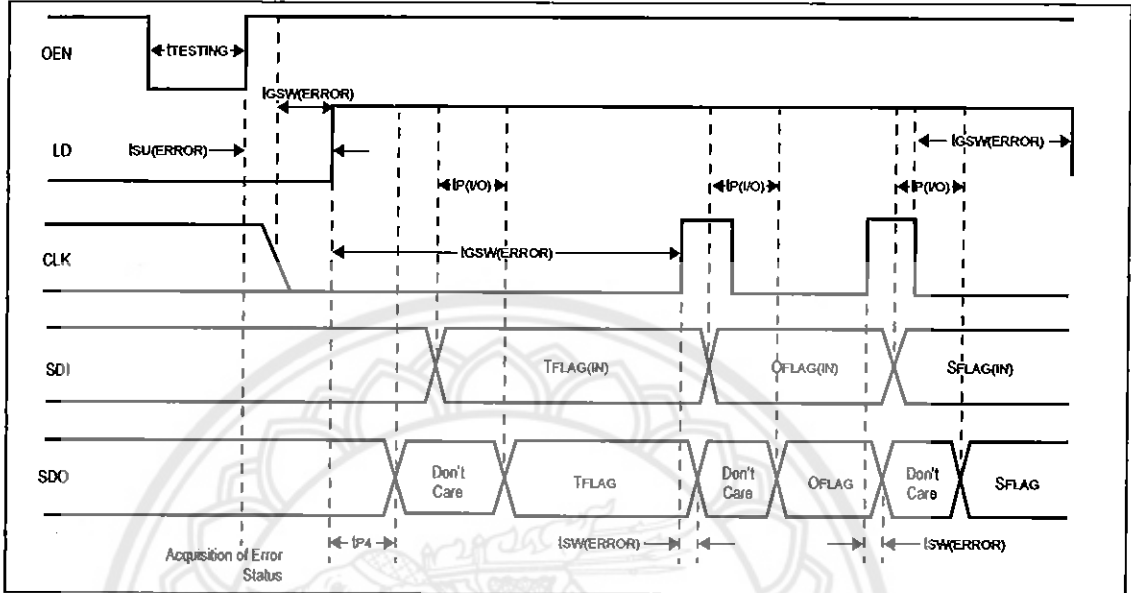


AS1110

Datasheet - Detailed Description



Figure 13. Switching Global Error Mode Timing Diagram



8.3 Error-Detection Mode

Acquisition of the error status occurs at the rising edge of OEN. Error-detection mode is started on the rising edge of LD when OEN is high. The CLK signal must be low when entering error detection mode. Error detection for open- and shorted-LEDs can only be performed for LEDs that are switched on during test time. To switch between error-detection modes clock pulses are needed (see Table 5).

Note: To test all LEDs, a test pattern that turns on all LEDs must be input to the AS1110.

8.4 Global Error Mode

Global error mode is entered when error-detection mode is started. Clock pulses during this period are used to select between temperature, open-LED, and shorted-LED tests, as well as low-current diagnostic mode and shutdown mode (see Table 5). In global error mode, an error flag (TFLAG, OFLAG, SFLAG) is delivered to pin SDO if any errors are encountered.

Table 5. Global Error Mode Selections

Clock Pulse	Output Pin	Error-Detection Mode	Global Error Flag/Shutdown Condition
0	Don't Care	Over-Temperature Detection	TFLAG = SDO = 1: No over-temperature warning. TFLAG = SDO = 0: Over-temperature warning.
1	Enabled	Open-LED Detection	OFLAG = SDO = 1: No open-LED error. OFLAG = SDO = 0: Open-LED error.
2	Enabled	Shorted-LED Detection	SFLAG = SDO = 1: No shorted-LED error. SFLAG = SDO = 0: Shorted-LED error.
3	Don't Care	Low-Current Diagnostic Mode	
4	Don't Care	Shutdown Mode	SDI = 1: Wakeup SDI = 0: Shutdown

Note: For a valid result SDI must be 1 for the first device.

If there are multiple AS1110s in a chain, the error flag will be gated through all devices. To get a valid result at the end of the chain, a logic 1 must be applied to the SDI input of the first device of the chain. If one device produces an error this error will show up after $n \cdot t_{P(V_O)} + t_{SW(ERROR)}$ at pin SDO of the last device in the chain. This means it is not possible to identify which device in the chain produced the error. Therefore, if a global error occurs, the detailed error report can be run to identify which AS1110, or LED produced the error.

Note: When no error has occurred, the detailed error report can be skipped, setting LD and subsequently OEN low.

AS1110

Datasheet - Detailed Description



8.5 Error Detection Functions

8.5.1 Open-LED Detection

The AS1110 open-LED detection is based on the comparison between V_{DS} and V_{THL} . The open LED status is acquired at the rising edge of OEN and stored internally. While detecting open-LEDs the output port must be turned on. Open LED detection can be started with 1 clock pulse during error detection mode while the output port is turned on.

Note: LEDs which are turned off at test time cannot be tested and will be shown as a logic 1 in the detailed error report.

Table 6. Open LED Detection Modes

Output Port State	Effective Output Point Conditions	Detected Open-LED Error Status Code	Meaning
On	$V_{DS} < V_{THL}$	0	Open Circuit
On	$V_{DS} > V_{THL}$	1	Normal

8.5.2 Shorted-LED

The AS1110 shorted-LED detection is based on the comparison between V_{DS} and V_{THH} . The shorted LED status is acquired at the rising edge of OEN and stored internally. While detecting shorted-LEDs the output port must be turned on. Shorted-LED detection can be started with 2 clock pulses during error detection mode while the output port is turned on.

For valid results, the voltage at OUTN0:OUTN15 must be lower than V_{THH} under low-current diagnostic mode operating conditions. This can be achieved by reducing the V_{LED} voltage or by adding additional diodes, resistors or LED's.

Note: LEDs which are turned off at test time cannot be tested and will be shown as a logic 1 in the detailed error report.

Table 7. Shorted LED Detection Modes

Output Port State	Effective Output Point Conditions	Detected Shorted-LED Error Status Code	Meaning
On	$V_{DS} > V_{THH}$	0	Short Circuit
On	$V_{DS} < V_{THH}$	1	Normal

8.5.3 Overtemperature

Thermal protection for the AS1110 is provided by continuously monitoring the device's core temperature. The overtemperature status is acquired at the rising edge of OEN and stored internally.

Table 8. Overtemperature Modes

Output Port State	Effective Output Point Conditions	Detected Overtemperature Status Code	Meaning
Don't Care	Temperature $> T_{OV1}$	0	Overtemperature Condition
Don't Care	Temperature $< T_{OV1}$	1	Normal



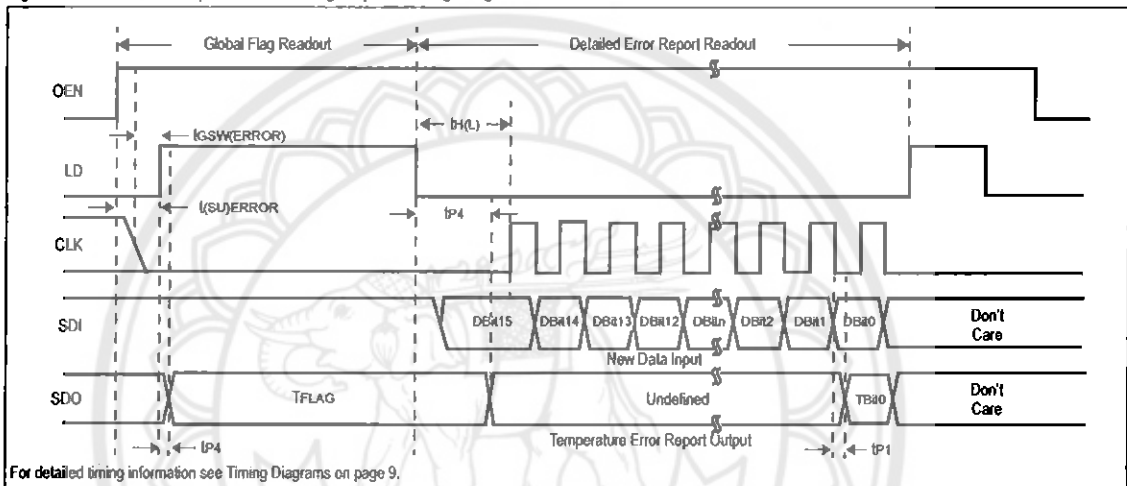
8.6 Detailed Error Reports

The detailed error report can be read out after global error mode has been run. At the falling edge of LD, the detailed error report of the selected test is latched into the shift register and can be clocked out with $n \cdot 16$ clock cycles (n is the number of AS1110s in a chain) via pin SDO. At the same time new data can be written into the shift register, which is loaded on the next rising edge of pin LD. This pattern is shown at the output drivers, at the falling edge of OEN.

8.6.1 Detailed Temperature Warning Report

The detailed temperature warning report can be read out immediately after global error mode has been run. SDI must be 1 for the first device. Bit0 of the 16bit data word represents the temperature flag of the chip.

Figure 14. Detailed Temperature Warning Report Timing Diagram



Detailed Temperature Warning Report Example

Consider a case where four AS1110s are cascaded in one chain. The detailed error report lists the temperatures for each device in the chain:

IC1:[70°] IC2:[85°] IC3:[170°] IC4:[60°]

In this case, IC3 is overheated and will generate a global error, and therefore $4 \cdot 16$ clock cycles are needed to write out the detailed temperature warning report, and optionally read in new data. The detailed temperature warning report would look like this:

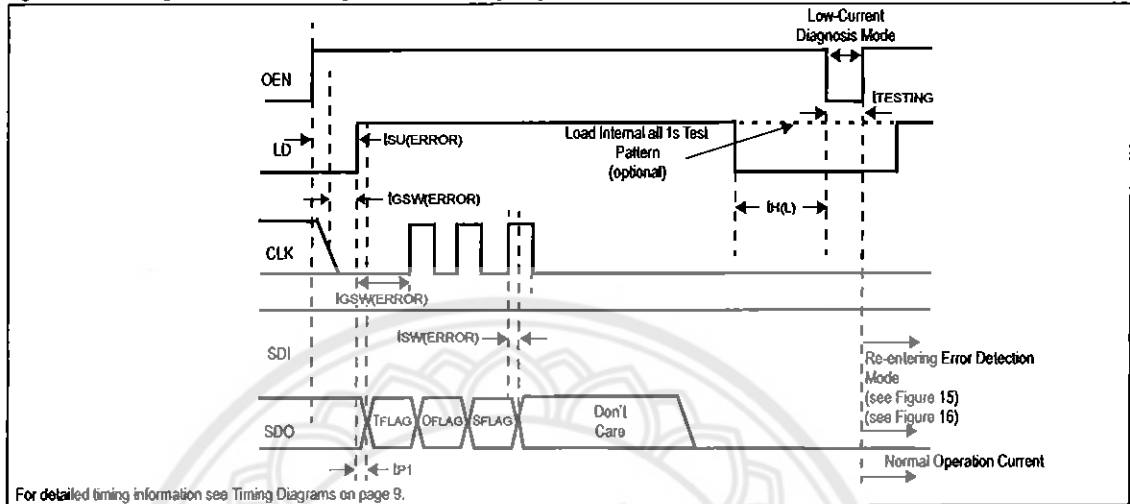
XXXXXXXXXXXXXXXX1 XXXXXXXXXXXXXXXXXXX1 XXXXXXXXXXXXXXXXXXX0 XXXXXXXXXXXXXXXXXXX1

The 0 in the detailed temperature warning report indicates that IC3 is the device with the over-temperature condition.

Note: In an actual report there are no spaces in the output.



Figure 17. Switching into Low-Current Diagnostic Mode Timing Diagram



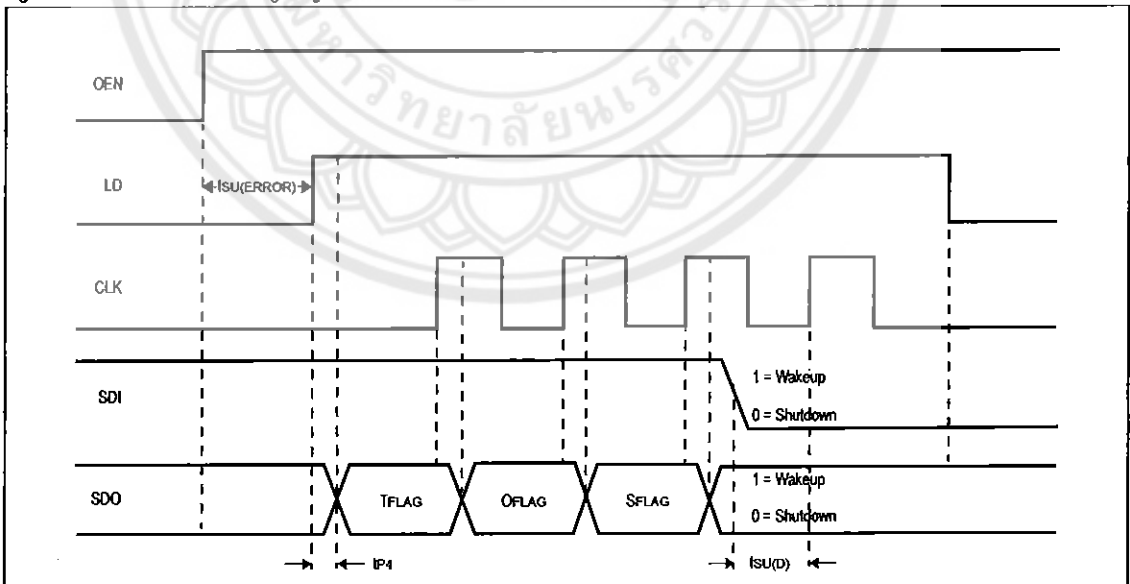
8.7 Shutdown Mode

The AS1110 features a shutdown mode which can be entered via 4 clock pulses during error-detection mode. To enable the shutdown mode a 0 must be placed at SDI after the rising edge of the 3rd clock pulse.

To disable shutdown mode a 1 must be placed at SDI after the 3rd clock pulse. The shutdown/wakeup information will be latched through if multiple AS1110 devices are in a chain. At the rising edge of the 4th clock pulse the shutdown bit will be read out and the AS1110 will shutdown or wakeup.

Note: In shutdown mode the supply current drops down to <math><10\mu A</math>.

Figure 18. Shutdown Mode Timing Diagram





9 Application Information

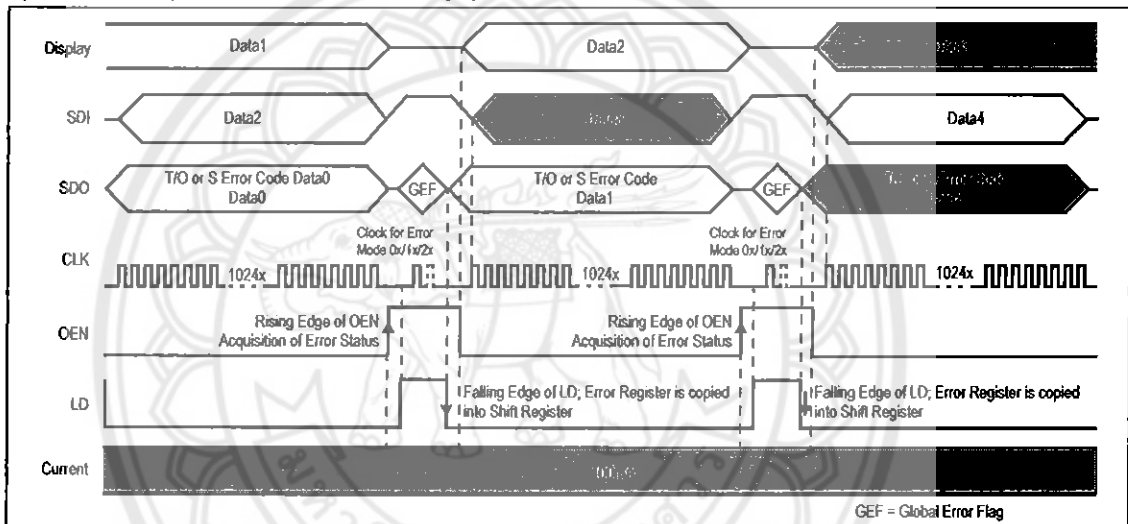
9.1 Error Detection

The AS1110 features two types of error detection. The error detection can be used on-the-fly, for active LEDs, without any delay, or by entering into low-current diagnosis mode.

9.1.1 Error Detection On-The-Fly

Error detection on-the-fly will output the status of active LEDs during operation. Without choosing an error mode this will output the temperature flag at every input/output cycle. Triggering one clock pulse for open or two clock pulses for short detection during error detection mode outputs the detailed open- or short-error report with the next input/output cycle (see Figure 19). LEDs turned off at test time are not tested and will show a logic "1" at the detailed error report.

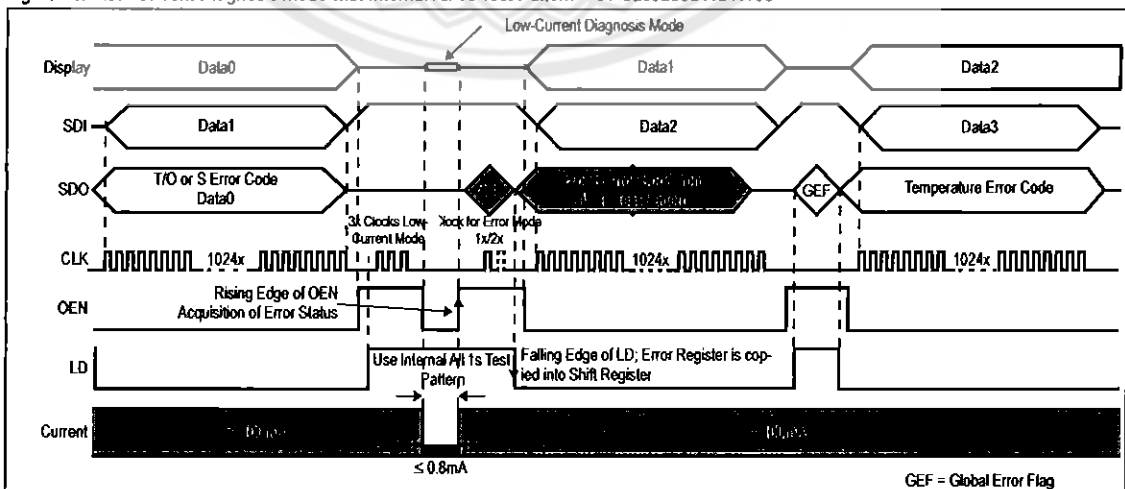
Figure 19. Normal Operation with Error Detection During Operation – 64 Cascaded AS1110s



9.1.2 Error Detection with Low-Current Diagnosis Mode

This unique feature of the AS1110 uses an internal all 1s test pattern for a flicker free diagnosis of all LEDs. This error detection mode can be started at the end of each input cycle (see Figure 20).

Figure 20. Low-Current Diagnosis Mode with Internal All 1s Test Pattern – 64 Cascaded AS1110s





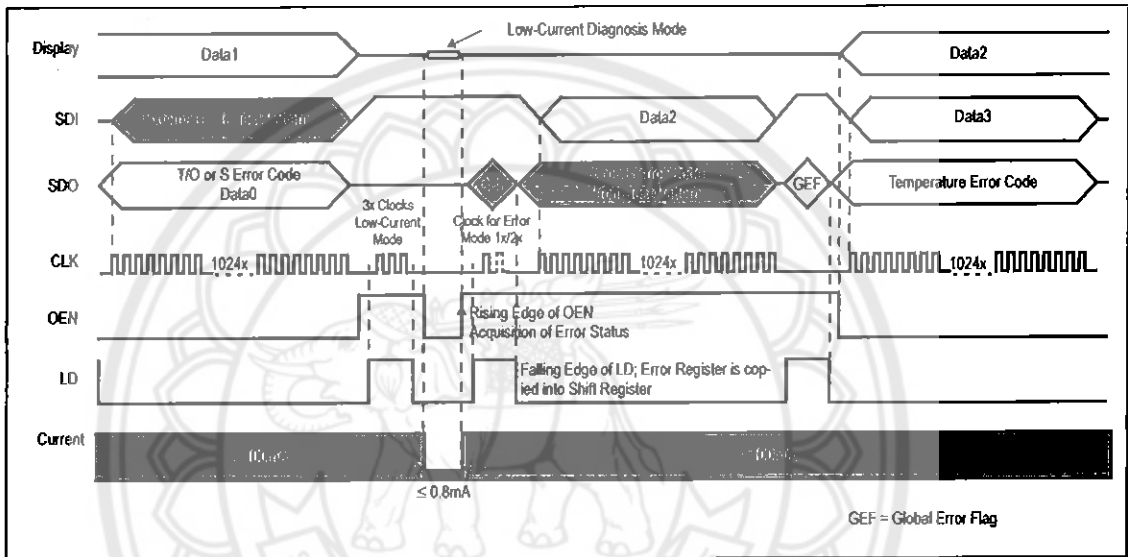
The last pattern written into the shift register will be saved before starting low-current diagnosis mode and can be displayed immediately after the test has been performed.

Low-current diagnostic mode is started with 3 clock pulses during error detection mode. Then OEN should be enabled for $\geq 2\mu\text{s}$ for testing. With the rising edge of OEN the LED test is stopped, and while LD is high the desired error mode can be selected with the corresponding clock pulses. After LD and OEN go low again the previously saved pattern can be displayed at the outputs.

With the next data input the detailed error code will be clocked out at pin SDO.

Note: See Figure 21 for use of an external test pattern.

Figure 21. Low-Current Diagnosis Mode with External Test Pattern – 64 Cascaded AS1110s

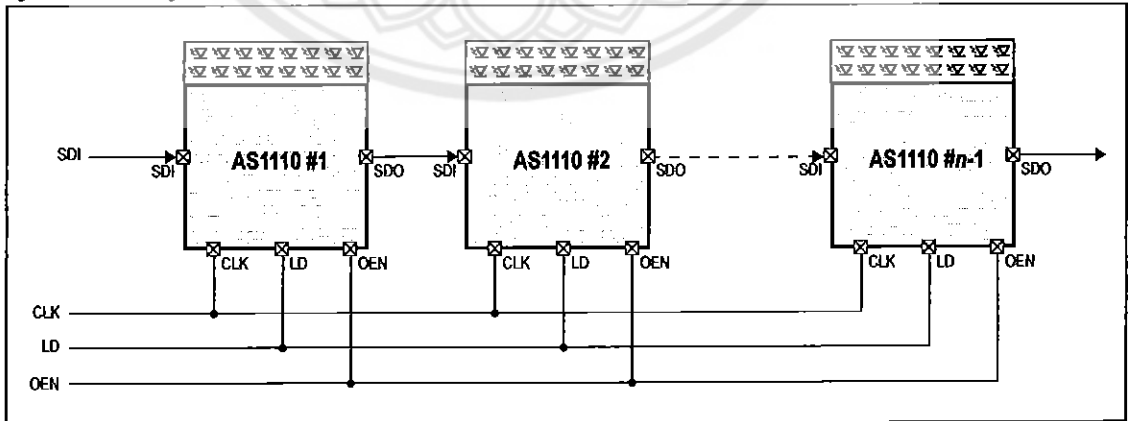


9.2 Cascading Devices

To cascade multiple AS1110 devices, pin SDO must be connected to pin SDI of the next AS1110 (see Figure 22). At each rising edge of CLK the LSB of the shift register will be written into the shift register SDI of the next AS1110 in the chain.

Note: When n AS1110 devices are in one chain, $n \cdot 16$ clock pulses are needed to latch-in the input data.

Figure 22. Cascading AS1110 Devices



AS1110

Datasheet - Application Information



9.3 Constant Current

In LED display applications, the AS1110 provides virtually no current variations from channel-to-channel and from AS1110-to-AS1110. This is mostly due to 2 factors:

- While $I_{OUT} \geq 10\text{mA}$, the maximum current skew is less than $\pm 3\%$ between channels and less than $\pm 6\%$ between AS1110 devices.
- In the saturation region, the characteristic curve of the output stage is flat (see Figure 5 on page 7). Thus, the output current can be kept constant regardless of the variations of LED forward voltages (V_F).

9.4 Adjusting Output Current

The AS1110 scales up the reference current (I_{REF}) set by external resistor (R_{EXT}) to sink a current (I_{OUT}) at each output port. As shown in Figure 3 on page 7 the output current in the saturation region is extremely flat so that it is possible to define it as target current ($I_{OUT\ TARGET}$). $I_{OUT\ TARGET}$ can be calculated by:

$$V_{REXT} = 1.253V \quad (EQ\ 1)$$

$$I_{REF} = V_{REXT}/R_{EXT} \text{ (if the other end of } R_{EXT} \text{ is connected to ground)} \quad (EQ\ 2)$$

$$I_{OUT\ TARGET} = I_{REF} * 15 = (1.253V/R_{EXT}) * 15 \quad (EQ\ 3)$$

Where:

R_{EXT} is the resistance of the external resistor connected to pin R_{EXT} .

V_{REXT} is the voltage on pin R_{EXT} .

The magnitude of current (as a function of R_{EXT}) is around 50.52mA at 372 Ω and 25.26mA at 744 Ω . Figure 3 on page 7 shows the relationship curve between the $I_{OUT\ TARGET}$ of each channel and the corresponding external resistor (R_{EXT}).

9.5 Package Power Dissipation

The maximum allowable package power dissipation (P_D) is determined as:

$$P_{D(MAX)} = (T_J - T_{AMB})/R_{TH(J-A)} \quad (EQ\ 4)$$

When 16 output channels are turned on simultaneously, the actual package power dissipation is:

$$P_{D(ACT)} = (I_{DD} * V_{DD}) + (I_{OUT} * \text{Duty} * V_{DS} * 16) \quad (EQ\ 5)$$

Therefore, to keep $P_{D(ACT)} \leq P_{D(MAX)}$, the maximum allowed output current as a function of duty cycle is:

$$I_{OUT} = \{[(T_J - T_{AMB})/R_{TH(J-A)}] - (I_{DD} * V_{DD})\} / V_{DS} / \text{Duty} / 16 \quad (EQ\ 6)$$

Where:

$T_J = 150^\circ\text{C}$

9.6 Delayed Outputs

The AS1110 has graduated delay circuits between outputs. These delay circuits can be found between $OUTN_n$ and constant current block.

The fixed delay time is 20 ns (typ) where $OUTN_0$ has no delay, $OUTN_1$ has 20ns delay, $OUTN_2$ has 40ns delay ... $OUTN_{15}$ has 300ns delay. This delay prevents large inrush currents, which reduce power supply bypass capacitor requirements when the outputs turn on (see Figure 11 on page 10)

9.7 Switching-Noise Reduction

LED drivers are frequently used in switch-mode applications which normally exhibit switching noise due to parasitic inductance on the PCB.

9.8 Load Supply Voltage

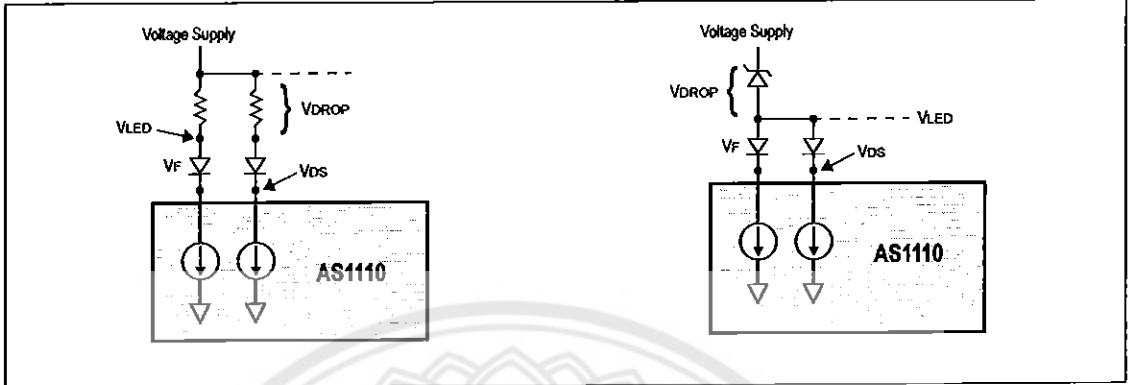
Considering the package power dissipation limits (see EQ 4:6), the AS1110 should be operated within the range of $V_{DS} = 0.4$ to 1.0V.

For example, if V_{LED} is higher than 5V, V_{DS} may be so high that $P_{D(ACT)} > P_{D(MAX)}$ where $V_{DS} = V_{LED} - V_F$. In this case, the lowest possible supply voltage or a voltage reducer (V_{DROP}) should be used. The voltage reducer allows $V_{DS} = (V_{LED} - V_F) - V_{DROP}$.

Note: Resistors or zener diodes can be used as a voltage reducer as shown in Figure 23.



Figure 23. Voltage Reducer using Resistor (Left) and Zener Diode (Right)

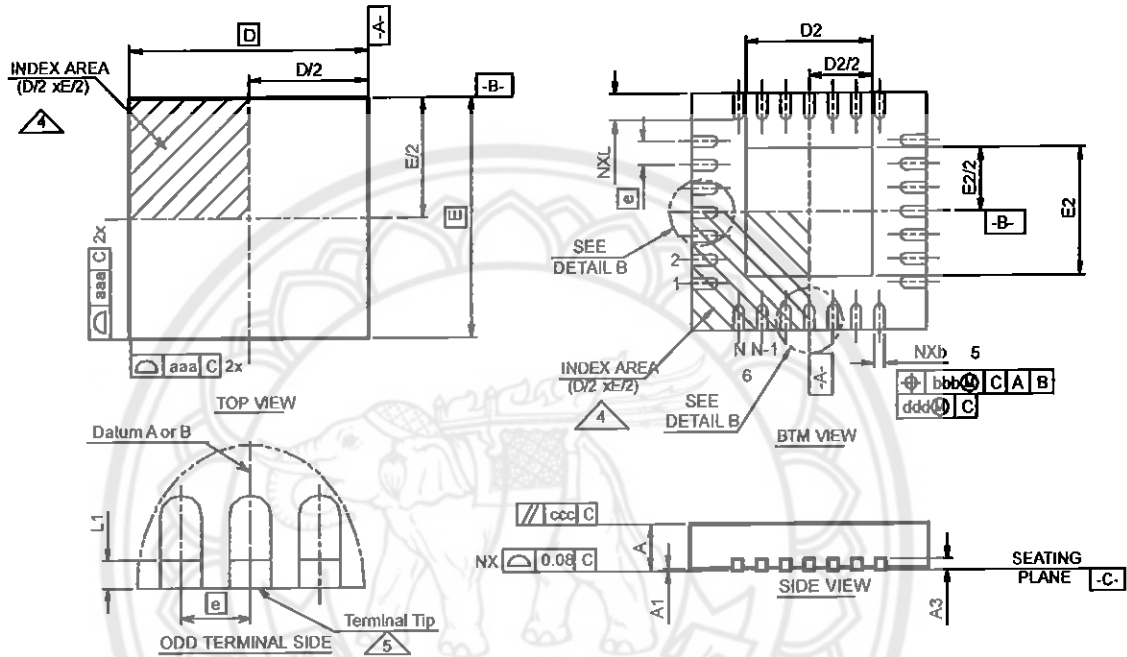




10 Package Drawings and Markings

The AS1110 is available in a 28-pin QFN (5x5mm) package and a 24-pin SSOP package.

Figure 24. 28-pin QFN (5x5mm) Package



Symbol	Min	Typ	Max	Notes
A	0.70	0.75	0.80	1, 2
A1	0.00	0.02	0.05	1, 2
A3		0.20 REF		1, 2
L	0.45	0.55	0.65	1, 2
L1	0.03		0.15	1, 2
aaa		0.15		1, 2
bbb		0.10		1, 2
ccc		0.10		1, 2
ddd		0.05		1, 2
eee		0.08		1, 2
ggg		0.10		1, 2

Symbol	Min	Typ	Max	Notes
D BSC		5.00		1, 2
E BSC		5.00		1, 2
D2	3.00	3.15	3.25	1, 2
E2	3.00	3.15	3.25	1, 2
K	0.20			1, 2
b	0.18	0.25	0.30	1, 2, 5
e		0.50		
N		28		1, 2
ND		7		1, 2, 5
NE		7		1, 2, 5

Notes: Unilateral coplanarity zone applies to the exposed heat sink slug as well as the terminals.

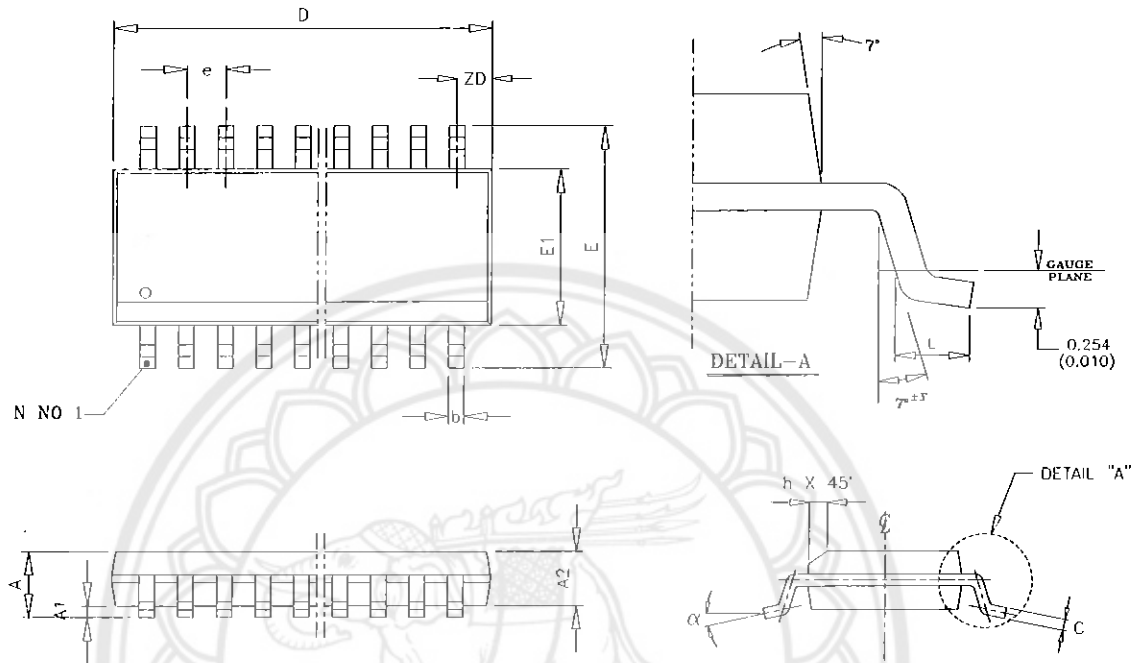
1. Dimensioning and tolerancing conform to ASME Y14.5M-1994.
2. All dimensions are in millimeters; angles in degrees.
3. N is the total number of terminals.
4. The terminal #1 identifier and terminal numbering convention shall conform to JEDEC 95 SPP-012. Details of terminal #1 identifier are optional but must be located within the zone indicated. The terminal #1 identifier may be either a mold or marked feature.
5. Dimension b applies to metallized terminal and is measured between 0.15 and 0.30mm from terminal tip. If one end of the terminal has the optional radius, the b dimension should not be measured in that radius area.
6. Dimensions ND and NE refer to the number of terminals on each D and E side, respectively.

AS1110

Datasheet - Package Drawings and Markings



Figure 25. 24-pin SSOP Package



Symbol	Min	Max
A	1.35	1.75
A1	0.10	0.25
A2	1.37	1.57
b	0.20	0.30
C	0.19	0.25
D	8.55	8.74
E	5.79	6.20
E1	3.81	3.99
e	0.635 BSC	
h	0.22	0.49
L	0.40	1.27
θ	0°	8°

AS1110

Datasheet - Ordering Information



11 Ordering Information

The device is available as the standard products shown in Table 9.

Table 9. Ordering Information

Ordering Code	Description	Delivery Form	Package
AS1110-BSSU	Constant-Current, 16-Channel LED Driver with Diagnostics	Tubes	24-pin SSOP
AS1110-BSST	Constant-Current, 16-Channel LED Driver with Diagnostics	Tape and Reel	24-pin SSOP
AS1110-BQFR	Constant-Current, 16-Channel LED Driver with Diagnostics	Tray	28-pin QFN (5x5mm)
AS1110-BQFT	Constant-Current, 16-Channel LED Driver with Diagnostics	Tape and Reel	28-pin QFN (5x5mm)

Note: All products are RoHS compliant and Pb-free.
Buy our products or get free samples online at www.ams.com/ICdirect

Technical Support is available at www.ams.com/Technical-Support

For further information and requests, email us at sales@ams.com
(or) find your local distributor at www.ams.com/distributor



AS1110
Datasheet



Copyrights

Copyright © 1997-2012, ams AG, Tobelbaderstrasse 30, 8141 Unterpremstaetten, Austria-Europe. Trademarks Registered ®. All rights reserved. The material herein may not be reproduced, adapted, merged, translated, stored, or used without the prior written consent of the copyright owner.

All products and companies mentioned are trademarks or registered trademarks of their respective companies.

Disclaimer

Devices sold by ams AG are covered by the warranty and patent indemnification provisions appearing in its Term of Sale. ams AG makes no warranty, express, statutory, implied, or by description regarding the information set forth herein or regarding the freedom of the described devices from patent infringement. ams AG reserves the right to change specifications and prices at any time and without notice. Therefore, prior to designing this product into a system, it is necessary to check with ams AG for current information. This product is intended for use in normal commercial applications. Applications requiring extended temperature range, unusual environmental requirements, or high reliability applications, such as military, medical life-support or life-sustaining equipment are specifically not recommended without additional processing by ams AG for each application. For shipments of less than 100 parts the manufacturing flow might show deviations from the standard production flow, such as test flow or test location.

The information furnished here by ams AG is believed to be correct and accurate. However, ams AG shall not be liable to recipient or any third party for any damages, including but not limited to personal injury, property damage, loss of profits, loss of use, interruption of business or indirect, special, incidental or consequential damages, of any kind, in connection with or arising out of the furnishing, performance or use of the technical data herein. No obligation or liability to recipient or any third party shall arise or flow out of ams AG rendering of technical or other services.



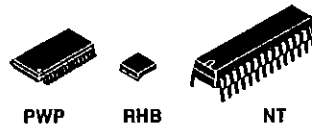
Contact Information

Headquarters

ams AG
Tobelbaderstrasse 30
A-8141 Unterpremstaetten, Austria

Tel : +43 (0) 3136 500 0
Fax : +43 (0) 3136 525 01

For Sales Offices, Distributors and Representatives, please visit:
<http://www.ams.com/contact>



16 CHANNEL LED DRIVER WITH DOT CORRECTION AND GRAYSCALE PWM CONTROL

FEATURES

- 16 Channels
- 12 bit (4096 Steps) Grayscale PWM Control
- Dot Correction
 - 6 bit (64 Steps)
 - Storable in Integrated EEPROM
- Drive Capability (Constant-Current Sink)
 - 0 mA to 60 mA ($V_{CC} < 3.6 V$)
 - 0 mA to 120 mA ($V_{CC} > 3.6 V$)
- LED Power Supply Voltage up to 17 V
- $V_{CC} = 3 V$ to 5.5 V
- Serial Data Interface
- Controlled In-Rush Current
- 30MHz Data Transfer Rate
- CMOS Level I/O
- Error Information
 - LOD: LED Open Detection
 - TEF: Thermal Error Flag

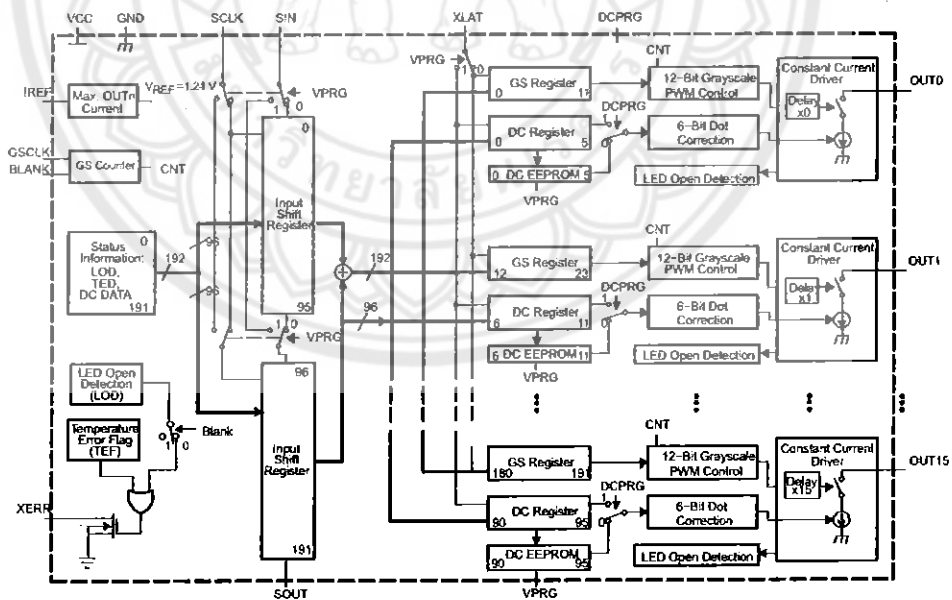
APPLICATIONS

- Monocolor, Multicolor, Full-Color LED Displays
- LED Signboards
- Display Backlighting
- General, High-Current LED Drive

DESCRIPTION

The TLC5940 is a 16-channel, constant-current sink LED driver. Each channel has an individually adjustable 4096-step grayscale PWM brightness control and a 64-step, constant-current sink (dot correction). The dot correction adjusts the brightness variations between LED channels and other LED drivers. The dot correction data is stored in an integrated EEPROM. Both grayscale control and dot correction are accessible via a serial interface. A single external resistor sets the maximum current value of all 16 channels.

The TLC5940 features two error information circuits. The LED open detection (LOD) indicates a broken or disconnected LED at an output terminal. The thermal error flag (TEF) indicates an overtemperature condition.



⚠ 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.
PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

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

Copyright © 2004–2007, Texas Instruments Incorporated

TLC5940



SLVS515C–DECEMBER 2004–REVISED OCTOBER 2007



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE ⁽¹⁾	PART NUMBER
–40°C to 85°C	28-pin HTSSOP PowerPAD™	TLC5940PWP
	32-pin 5mm x 5mm QFN	TLC5940RHB
	28-pin PDIP	TLC5940NT

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI website at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS.

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		UNIT
V _I	Input voltage range ⁽²⁾	V _{CC}
		–0.3V to 6V
I _O	Output current (dc)	
		130mA
V _I	Input voltage range	V _(BLANK) , V _(DCPRG) , V _(SCLK) , V _(XLAT) , V _(SIN) , V _(GSCLK) , V _(IREF)
		–0.3V to V _{CC} +0.3V
V _O	Output voltage range	V _(SOUT) , V _(XERR)
		–0.3V to V _{CC} +0.3V
	EEPROM program range	V _(OUT0) to V _(OUT15)
		–0.3V to 18V
	EEPROM write cycles	V _(VPRG)
		–0.3V to 24V
	EEPROM write cycles	
		50
	ESD rating	HBM (JEDEC JESD22-A114, Human Body Model)
		2kV
		CBM (JEDEC JESD22-C101, Charged Device Model)
		500V
T _{stg}	Storage temperature range	
		–55°C to 150°C
T _A	Operating ambient temperature range	
		–40°C to 85°C
	Package thermal impedance ⁽³⁾	HTSSOP (PWP) ⁽⁴⁾
		31.58°C/W
		QFN (RHB)
		35.9°C/W
		PDIP (NP)
		48°C/W

- (1) 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.
- (2) All voltage values are with respect to network ground terminal.
- (3) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
- (4) With PowerPAD soldered on PCB with 2 oz. (56.7 grams) trace of copper. See SLMA002 for further information.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

		MIN	NOM	MAX	UNIT
DC CHARACTERISTICS					
V _{CC}	Supply Voltage	3		5.5	V
V _O	Voltage applied to output (OUT0–OUT15)			17	V
V _{IH}	High-level input voltage	0.8 V _{CC}		V _{CC}	V
V _{IL}	Low-level input voltage	GND		0.2 V _{CC}	V
I _{OH}	High-level output current	V _{CC} = 5V at SOUT		-1	mA
I _{OL}	Low-level output current	V _{CC} = 5V at SOUT, XERR		1	mA
I _{OLC}	Constant output current	OUT0 to OUT15, V _{CC} < 3.6V		60	mA
		OUT0 to OUT15, V _{CC} > 3.6V		120	mA
V _(VPRG)	EEPROM program voltage	20	22	23	V
T _A	Operating free-air temperature range	-40		85	°C
AC CHARACTERISTICS					
V _{CC} = 3 V to 5.5 V, T _A = -40°C to 85°C (unless otherwise noted)					
f _(SCLK)	Data shift clock frequency	SCLK		30	MHz
f _(GSCLK)	Grayscale clock frequency	GSCLK		30	MHz
t _{WH0/t_{WL0}}	SCLK pulse duration	SCLK = H/L (see Figure 11)		16	ns
t _{WH1/t_{WL1}}	GSCLK pulse duration	GSCLK = H/L (see Figure 11)		16	ns
t _{WH2}	XLAT pulse duration	XLAT = H (see Figure 11)		20	ns
t _{WH3}	BLANK pulse duration	BLANK = H (see Figure 11)		20	ns
t _{SU0}	Setup time	SIN to SCLK ↑ ⁽¹⁾ (see Figure 11)		5	ns
t _{SU1}		SCLK ↓ to XLAT ↑ (see Figure 11)		10	ns
t _{SU2}		VPRG ↑ ↓ to SCLK ↑ (see Figure 11)		10	ns
t _{SU3}		VPRG ↑ ↓ XLAT ↑ (see Figure 11)		10	ns
t _{SU4}		BLANK ↓ to GSCLK ↑ (see Figure 11)		10	ns
t _{SU5}		XLAT ↑ to GSCLK ↑ (see Figure 11)		30	ns
t _{SU6}		VPRG ↑ to DCPRG ↑ (see Figure 16)		1	ms
t _{H0}	Hold Time	SCLK ↑ to SIN (see Figure 11)		3	ns
t _{H1}		XLAT ↓ to SCLK ↑ (see Figure 11)		10	ns
t _{H2}		SCLK ↑ to VPRG ↑ ↓ (see Figure 11)		10	ns
t _{H3}		XLAT ↓ to VPRG ↑ ↓ (see Figure 11)		10	ns
t _{H4}		GSCLK ↑ to BLANK ↑ (see Figure 11)		10	ns
t _{H5}		DCPRG ↓ to VPRG ↓ (see Figure 11)		1	ms
t _{prog}		Programming time for EEPROM (see Figure 16)		20	ms

(1) ↑ and ↓ indicates a rising edge, and a falling edge respectively.

DISSIPATION RATINGS

PACKAGE	POWER RATING T _A < 25°C	DERATING FACTOR ABOVE T _A = 25°C	POWER RATING T _A = 70°C	POWER RATING T _A = 85°C
28-pin HTSSOP with PowerPAD™ ⁽¹⁾ soldered	3958mW	31.67mW/°C	2533mW	2058mW
28-pin HTSSOP with PowerPAD™ unsoldered	2026mW	16.21mW/°C	1296mW	1053mW
32-pin QFN ⁽¹⁾	3482mW	27.86mW/°C	2228mW	1811mW
28-pin PDIP	2456mW	19.65mW/°C	1572mW	1277mW

(1) The PowerPAD is soldered to the PCB with a 2 oz. (56.7 grams) copper trace. See SLMA002 for further information.

TLC5940



SLVS515C–DECEMBER 2004–REVISED OCTOBER 2007

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = 3\text{ V to }5.5\text{ V}$, $T_A = -40^\circ\text{C to }85^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OH} High-level output voltage	$I_{OH} = -1\text{ mA}$, SOUT	$V_{CC} - 0.5$			V
V_{OL} Low-level output voltage	$I_{OL} = 1\text{ mA}$, SOUT			0.5	V
I_I Input current	$V_I = V_{CC}$ or GND; BLANK, DCPRG, GSCLK, SCLK, SIN, XLAT	-1		1	μA
	$V_I = \text{GND}$; VPRG	-1		1	
	$V_I = V_{CC}$; VPRG			50	mA
	$V_I = 22\text{ V}$; VPRG; DCPRG = V_{CC}		4	10	
I_{CC} Supply current	No data transfer, all output OFF, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 10\text{ k}\Omega$		0.9	6	mA
	No data transfer, all output OFF, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 1.3\text{ k}\Omega$		5.2	12	
	Data transfer 30MHz, all output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 1.3\text{ k}\Omega$		16	25	
	Data transfer 30MHz, all output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$		30	60	
$I_{O(LC)}$ Constant sink current (see Figure 2)	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$	54	61	69	mA
I_{kg} Leakage output current	All output OFF, $V_O = 15\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$, OUT0 to OUT15			0.1	μA
$\Delta I_{O(LC0)}$ Constant sink current error (see Figure 2)	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$, OUT0 to OUT15, $-20^\circ\text{C to }85^\circ\text{C}$		1	± 4	%
	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$, OUT0 to OUT15 ⁽¹⁾		1	8	
	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 320\Omega$, OUT0 to OUT15, $-20^\circ\text{C to }85^\circ\text{C}$		1	6	
	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 320\Omega$, $V_{CC} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$, OUT0 to OUT15 ⁽¹⁾		± 1	± 8	
$\Delta I_{O(LC1)}$ Constant sink current error (see Figure 2)	Device to device, Averaged current from OUT0 to OUT15, $R_{(REF)} = 1920\Omega$ (20mA) ⁽²⁾		-2 +0.4	4	%
$\Delta I_{O(LC2)}$ Constant sink current error (see Figure 2)	Device to device, Averaged current from OUT0 to OUT15, $R_{(REF)} = 480\Omega$ (80mA) ⁽²⁾		-2.7 +2	± 4	%
$\Delta I_{O(LC3)}$ Line regulation (see Figure 2)	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$, OUT0 to OUT15, $V_{CC} = 3\text{ V to }5.5\text{ V}$ ⁽³⁾		1	± 4	%/V
	All output ON, $V_O = 1\text{ V}$, $R_{(REF)} = 320\Omega$, OUT0 to OUT15, $V_{CC} = 3\text{ V to }5.5\text{ V}$ ⁽³⁾		± 1	± 6	%/V
$\Delta I_{O(LC4)}$ Load regulation (see Figure 2)	All output ON, $V_O = 1\text{ V to }3\text{ V}$, $R_{(REF)} = 640\Omega$, OUT0 to OUT15 ⁽⁴⁾		± 2	± 6	%/V
	All output ON, $V_O = 1\text{ V to }3\text{ V}$, $R_{(REF)} = 320\Omega$, OUT0 to OUT15 ⁽⁴⁾		2	8	%/V
$T_{(TEF)}$ Thermal error flag threshold	Junction temperature ⁽⁵⁾	150		170	C
$V_{(LED)}$ LED open detection threshold			0.3	0.4	V
$V_{(IREF)}$ Reference voltage output	$R_{(IREF)} = 640\Omega$	1.20	1.24	1.28	V

- (1) The deviation of each output from the average of OUT0-15 constant current. It is calculated by Equation 1 in Table 1.
(2) The deviation of average of OUT1-15 constant current from the ideal constant-current value. It is calculated by Equation 2 in Table 1. The ideal current is calculated by Equation 3 in Table 1.
(3) The line regulation is calculated by Equation 4 in Table 1.
(4) The load regulation is calculated by Equation 5 in Table 1.
(5) Not tested. Specified by design

Table 1. Test Parameter Equations

$\Delta(\%) = \frac{I_{OUTn} - I_{OUTavg_0-15}}{I_{OUTavg_0-15}} \times 100$	(1)
$\Delta(\%) = \frac{I_{OUTavg} - I_{OUT(IDEAL)}}{I_{OUT(IDEAL)}} \times 100$	(2)
$I_{OUT(IDEAL)} = 31.5 \times \left(\frac{1.24V}{R_{REF}} \right)$	(3)
$\Delta(\%/V) = \frac{(I_{OUTn} \text{ at } V_{CC} = 5.5V) - (I_{OUTn} \text{ at } V_{CC} = 3.0V)}{(I_{OUTn} \text{ at } V_{CC} = 3.0V)} \times \frac{100}{2.5}$	(4)
$\Delta(\%/V) = \frac{(I_{OUTn} \text{ at } V_{OUTn} = 3.0V) - (I_{OUTn} \text{ at } V_{OUTn} = 1.0V)}{(I_{OUTn} \text{ at } V_{OUTn} = 1.0V)} \times \frac{100}{2.0}$	(5)

SWITCHING CHARACTERISTICS

$V_{CC} = 3V$ to $5.5V$, $T_A = -40^\circ C$ to $85^\circ C$ (unless otherwise noted)

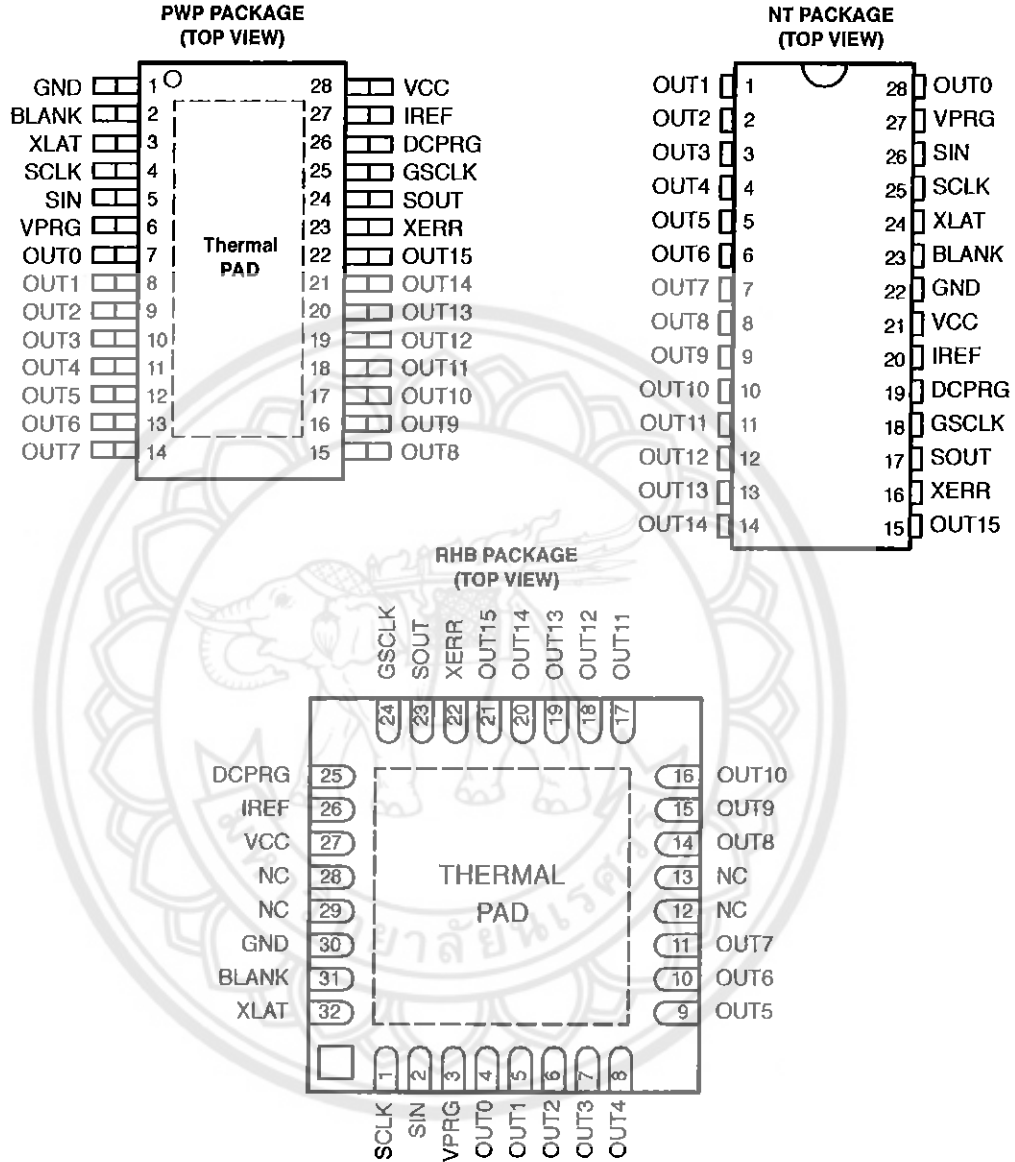
PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{r0}	Rise time	SOUT			16	ns
t_{r1}		OUTn, $V_{CC} = 5V$, $T_A = 60^\circ C$, $DCn = 3Fh$		10	30	
t_{f0}	Fall time	SOUT			16	ns
t_{f1}		OUTn, $V_{CC} = 5V$, $T_A = 60^\circ C$, $DCn = 3Fh$		10	30	
t_{pd0}	Propagation delay time	SCLK to SOUT (see Figure 11)			30	ns
t_{pd1}		BLANK to OUT0			60	ns
t_{pd2}		OUTn to XERR (see Figure 11)			1000	ns
t_{pd3}		GSCLK to OUT0 (see Figure 11)			60	ns
t_{pd4}		XLAT to I_{OUT} (dot correction) (see Figure 11)			60	ns
t_{pd5}		DCPRG to OUT0 (see Figure 11)			30	ns
t_d	Output delay time	OUTn to OUT(n+1) (see Figure 11)		20	30	ns
t_{on-err}	Output on-time error	$t_{outon} - T_{gsclk}$ (see Figure 11), $GSn = 01h$, $GSCLK = 11 MHz$	10	-50	-90	ns

TLC5940



SLVS515C-DECEMBER 2004-REVISED OCTOBER 2007

DEVICE INFORMATION



NC - No internal connection

TERMINAL FUNCTION

NAME	TERMINAL NO.			I/O	DESCRIPTION
	DIP	PWP	RHB		
BLANK	23	2	31	I	Blank all outputs. When BLANK = H, all OUT _n outputs are forced OFF. GS counter is also reset. When BLANK = L, OUT _n are controlled by grayscale PWM control.
DCPRG	19	26	25	I	Switch DC data input. When DCPRG = L, DC is connected to EEPROM. When DCPRG = H, DC is connected to the DC register. DCPRG also controls EEPROM writing, when VPRG = V _(PRG) . EEPROM data = 3Fh (default)
GND	22	1	30	G	Ground
GSCLK	18	25	24	I	Reference clock for grayscale PWM control
IREF	20	27	26	I	Reference current terminal
NC	–	–	12, 13, 28, 29		No connection
OUT0	28	7	4	O	Constant current output
OUT1	1	8	5	O	Constant current output
OUT2	2	9	6	O	Constant current output
OUT3	3	10	7	O	Constant current output
OUT4	4	11	8	O	Constant current output
OUT5	5	12	9	O	Constant current output
OUT6	6	13	10	O	Constant current output
OUT7	7	14	11	O	Constant current output
OUT8	8	15	14	O	Constant current output
OUT9	9	16	15	O	Constant current output
OUT10	10	17	16	O	Constant current output
OUT11	11	18	17	O	Constant current output
OUT12	12	19	18	O	Constant current output
OUT13	13	20	19	O	Constant current output
OUT14	14	21	20	O	Constant current output
OUT15	15	22	21	O	Constant current output
SCLK	25	4	1	I	Serial data shift clock
SIN	26	5	2	I	Serial data input
SOUT	17	24	23	O	Serial data output
VCC	21	28	27	I	Power supply voltage
VPRG	27	6	3	I	Multifunction input pin. When VPRG = GND, the device is in GS mode. When VPRG = V _{CC} , the device is in DC mode. When VPRG = V _(VPRG) , DC register data can programmed into DC EEPROM with DCPRG=HIGH. EEPROM data = 3Fh (default)
XERR	16	23	22	O	Error output. XERR is an open-drain terminal. XERR goes L when LOD or TEF is detected.
XLAT	24	3	32	I	Level triggered latch signal. When XLAT = high, the TLC5940 writes data from the input shift register to either GS register (VPRG = low) or DC register (VPRG = high). When XLAT = low, the data in GS or DC register is held constant.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

PIN EQUIVALENT INPUT AND OUTPUT SCHEMATIC DIAGRAMS

Resistor values are equivalent resistances, and they are not tested.

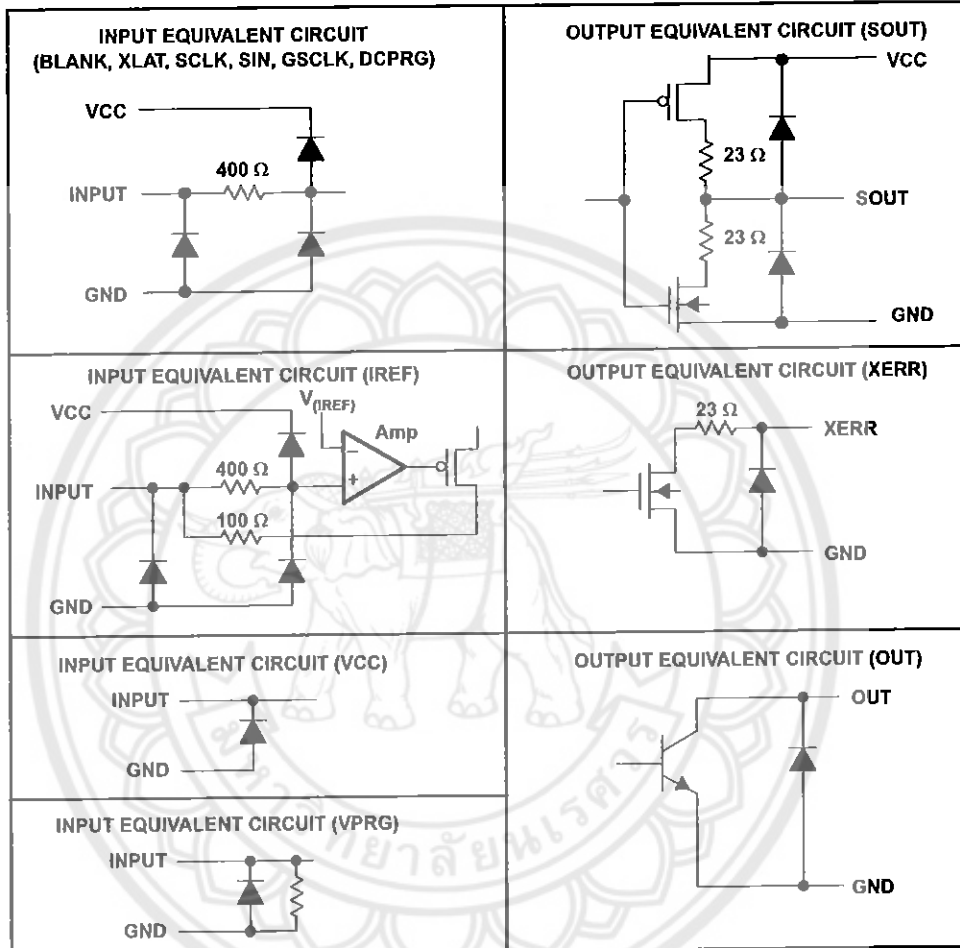


Figure 1. Input and Output Equivalent Circuits

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION (continued)

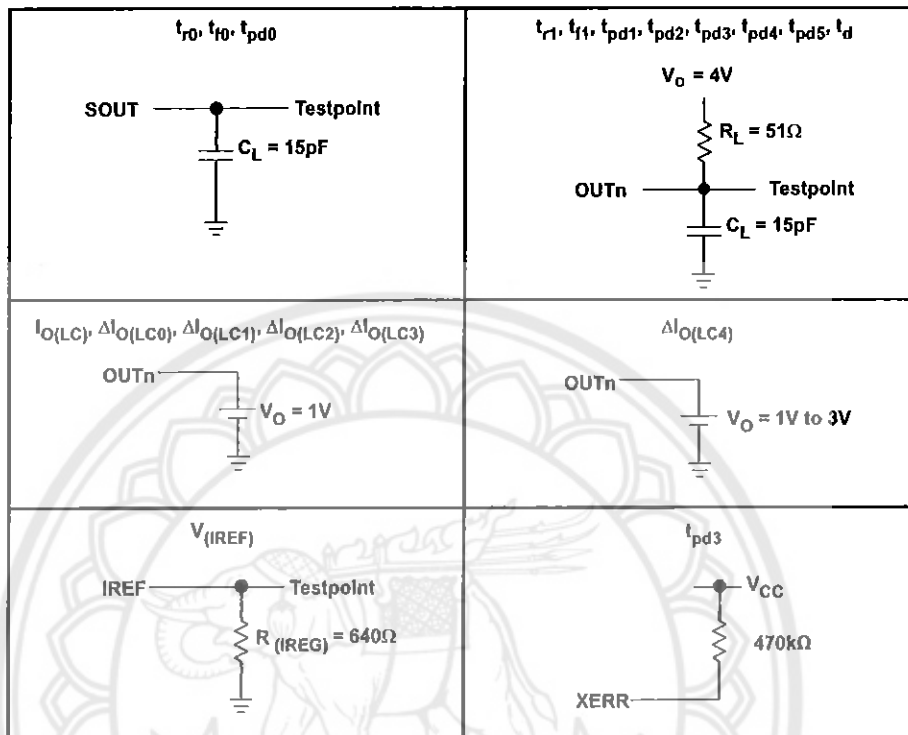


Figure 2. Parameter Measurement Circuits

TLC5940



SLV5515C-DECEMBER 2004-REVISED OCTOBER 2007

TYPICAL CHARACTERISTICS

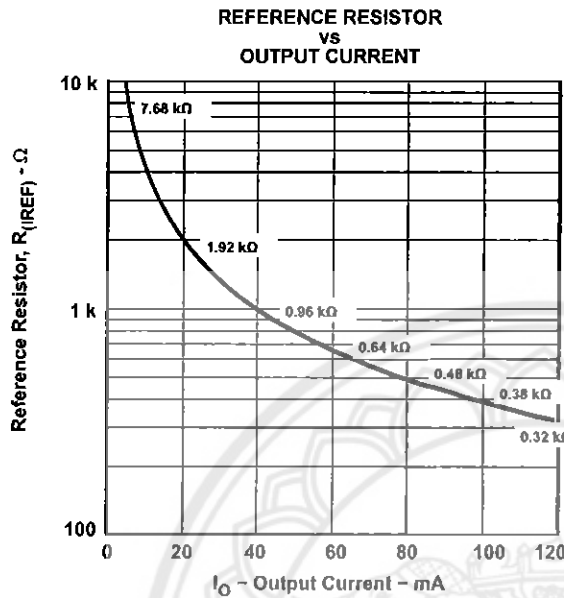


Figure 3.

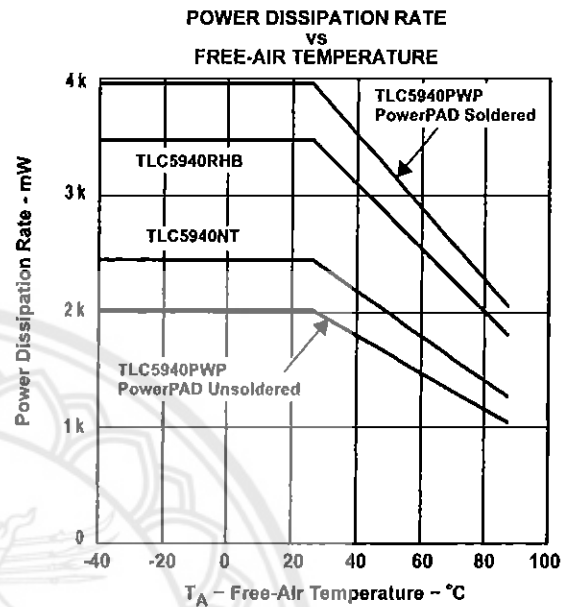


Figure 4.

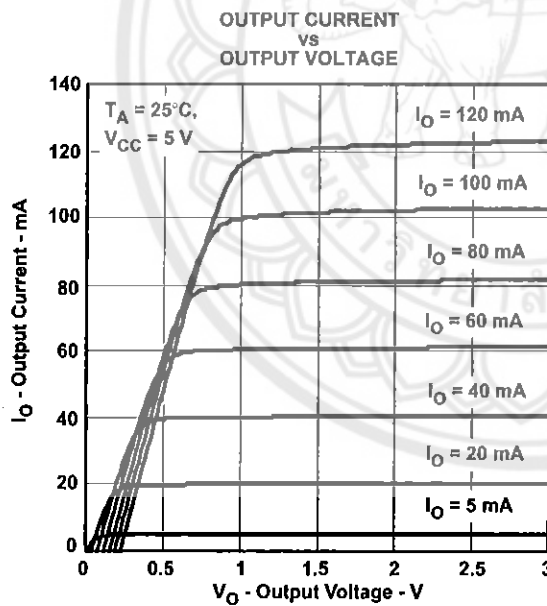


Figure 5.

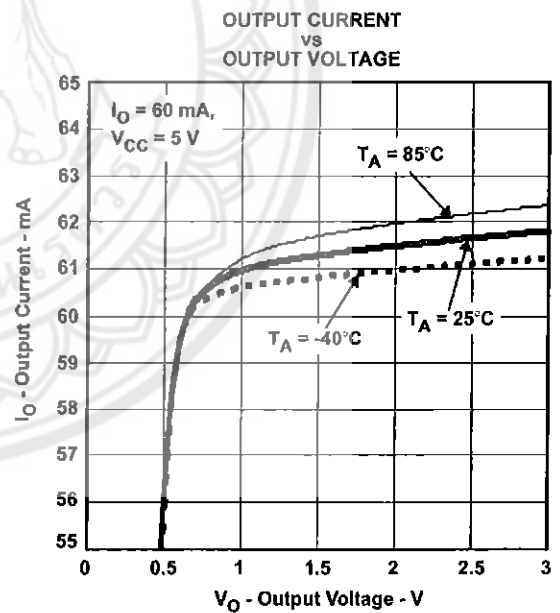


Figure 6.

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)

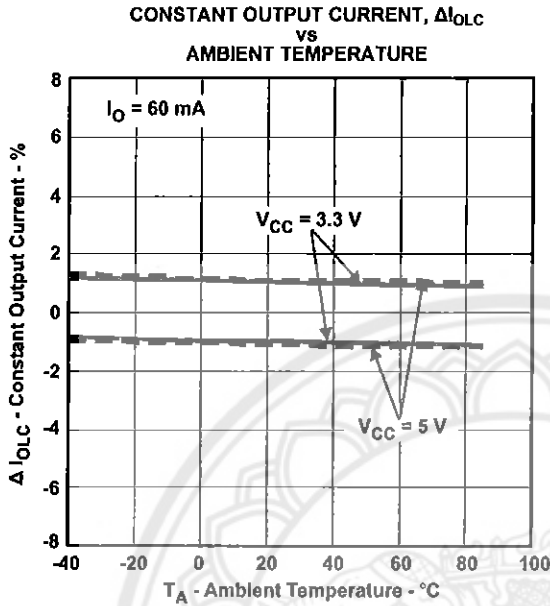


Figure 7.

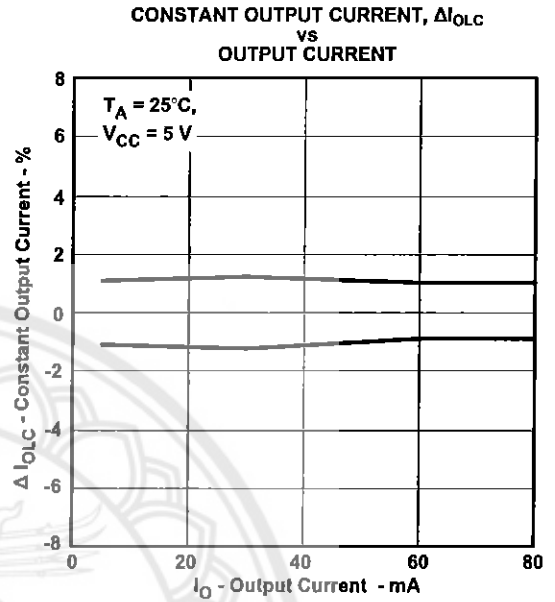


Figure 8.

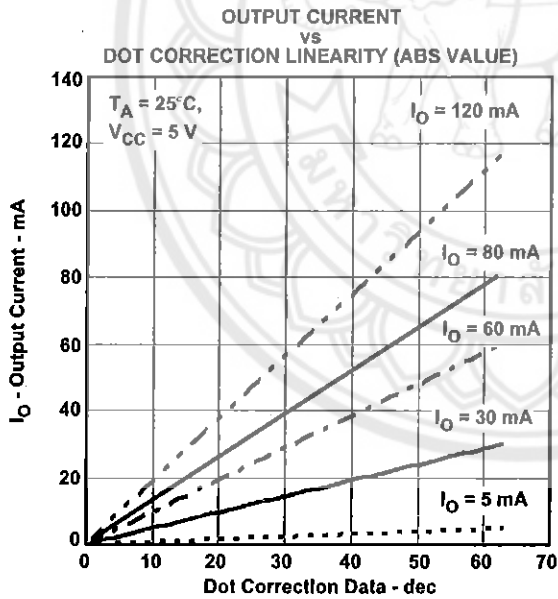


Figure 9.

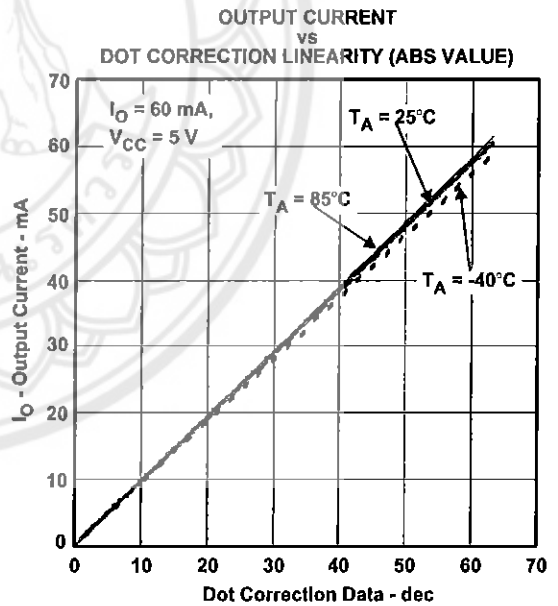


Figure 10.

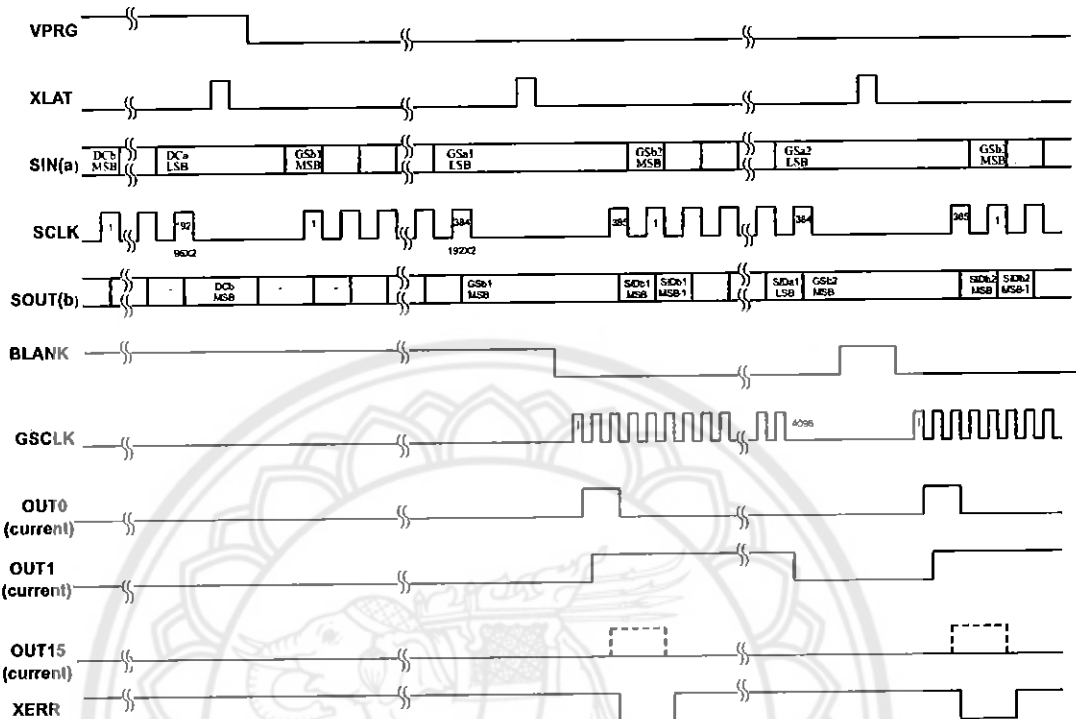


Figure 13. Timing Chart for Two Cascaded TLC5940 Devices

ERROR INFORMATION OUTPUT

The open-drain output XERR is used to report both of the TLC5940 error flags, TEF and LOD. During normal operating conditions, the internal transistor connected to the XERR pin is turned off. The voltage on XERR is pulled up to V_{CC} through an external pullup resistor. If TEF or LOD is detected, the internal transistor is turned on, and XERR is pulled to GND. Since XERR is an open-drain output, multiple ICs can be OR'ed together and pulled up to V_{CC} with a single pullup resistor. This reduces the number of signals needed to report a system error (see Figure 22).

To differentiate LOD and TEF signal from XERR pin, LOD can be masked out with BLANK = HIGH.

Table 2. XERR Truth Table

ERROR CONDITION		ERROR INFORMATION		SIGNALS	
TEMPERATURE	OUTn VOLTAGE	TEF	LOD	BLANK	XERR
T _J < T _(TEF)	Don't Care	L	X	H	H
T _J > T _(TEF)	Don't Care	H	X		L
T _J < T _(TEF)	OUTn > V _(LED)	L	L	L	H
	OUTn < V _(LED)	L	H		L
T _J > T _(TEF)	OUTn > V _(LED)	H	L		L
	OUTn < V _(LED)	H	H		L

TEF: THERMAL ERROR FLAG

The TLC5940 provides a temperature error flag (TEF) circuit to indicate an overtemperature condition of the IC. If the junction temperature exceeds the threshold temperature (160C typical), TEF becomes H and XERR pin goes to low level. When the junction temperature becomes lower than the threshold temperature, TEF becomes L and XERR pin becomes high impedance. TEF status can also be read out from the TLC5940 status register.

TLC5940



SLV5515C-DECEMBER 2004-REVISED OCTOBER 2007

LOD: LED OPEN DETECTION

The TLC5940 has an LED-open detector that detects broken or disconnected LEDs. The LED open detector pulls the XERR pin to GND when an open LED is detected. XERR and the corresponding error bit in the Status Information Data is only active under the following open-LED conditions.

1. OUT_n is on and the time t_{pd2} (1 μs typical) has passed.
2. The voltage of OUT_n is < 0.3V (typical)

The LOD status of each output can be also read out from the SOUT pin. See STATUS INFORMATION OUTPUT section for details. The LOD error bits are latched into the Status Information Data when XLAT returns to a low after a high. Therefore, the XLAT pin must be pulsed high then low while XERR is active in order to latch the LOD error into the Status Information Data for subsequent reading via the serial shift register.

DELAY BETWEEN OUTPUTS

The TLC5940 has graduated delay circuits between outputs. These circuits can be found in the constant current driver block of the device (see the functional block diagram). The fixed-delay time is 20ns (typical), OUT₀ has no delay, OUT₁ has 20ns delay, and OUT₂ has 40ns delay, etc. The maximum delay is 300ns from OUT₀ to OUT₁₅. The delay works during switch on and switch off of each output channel. These delays prevent large inrush currents which reduces the bypass capacitors when the outputs turn on.

OUTPUT ENABLE

All OUT_n channels of the TLC5940 can be switched off with one signal. When BLANK is set high, all OUT_n channels are disabled, regardless of logic operations of the device. The grayscale counter is also reset. When BLANK is set low, all OUT_n channels work under normal conditions. If BLANK goes low and then back high again in less than 300ns, all outputs programmed to turn on still turn on for either the programmed number of grayscale clocks, or the length of time that the BLANK signal was low, which ever is lower. For example, if all outputs are programmed to turn on for 1ms, but the BLANK signal is only low for 200ns, all outputs still turn on for 200ns, even though some outputs are turning on after the BLANK signal has already gone high.

Table 3. BLANK Signal Truth Table

BLANK	OUT ₀ - OUT ₁₅
LOW	Normal condition
HIGH	Disabled

SETTING MAXIMUM CHANNEL CURRENT

The maximum output current per channel is programmed by a single resistor, R_(IREF), which is placed between IREF pin and GND pin. The voltage on IREF is set by an internal band gap V_(IREF) with a typical value of 1.24V. The maximum channel current is equivalent to the current flowing through R_(IREF) multiplied by a factor of 31.5. The maximum output current per channel can be calculated by Equation 6:

$$I_{\max} = \frac{V_{(IREF)}}{R_{(IREF)}} \times 31.5 \quad (6)$$

where:

$$V_{(IREF)} = 1.24 \text{ V}$$

R_(IREF) = User-selected external resistor.

I_{max} must be set between 5 mA and 120 mA. The output current may be unstable if I_{max} is set lower than 5 mA. Output currents lower than 5 mA can be achieved by setting I_{max} to 5 mA or higher and then using dot correction.

Figure 3 shows the maximum output current I_O versus R_(IREF). R_(IREF) is the value of the resistor between IREF terminal to GND, and I_O is the constant output current of OUT₀ to OUT₁₅. A variable power supply may be connected to the IREF pin through a resistor to change the maximum output current per channel. The maximum output current per channel is 31.5 times the current flowing out of the IREF pin.

POWER DISSIPATION CALCULATION

The device power dissipation must be below the power dissipation rating of the device package to ensure correct operation. Equation 7 calculates the power dissipation of device:

$$P_D = (V_{CC} \times I_{CC}) + (V_{OUT} \times I_{MAX} \times \frac{DC_n}{63} \times d_{PWM} \times N) \quad (7)$$

where:

V_{CC} : device supply voltage

I_{CC} : device supply current

V_{OUT} : TLC5940 OUTn voltage when driving LED current

I_{MAX} : LED current adjusted by $R_{(IREF)}$ Resistor

DC_n : maximum dot correction value for OUTn

N : number of OUTn driving LED at the same time

d_{PWM} : duty cycle defined by BLANK pin or GS PWM value

OPERATING MODES

The TLC5940 has operating modes depending on the signals DCPRG and VPRG. Table 4 shows the available operating modes. The TPS5940 GS operating mode (see Figure 11) and shift register values are not defined after power up. One solution to solve this is to set dot correction data after TLC5940 power-up and switch back to GS PWM mode. The other solution is to overflow the input shift register with 193 bits of dummy data and latch it while TLC5940 is in GS PWM mode. The values in the input shift register, DC register and GS register are unknown just after power on. The DC and GS register values should be properly stored through the serial interface before starting the operation.

Table 4. TLC5940 Operating Modes Truth Table

SIGNAL		INPUT SHIFT REGISTER	MODE	DC VALUE
DCPRG	VPRG			
L	GND	192 bit	Grayscale PWM Mode	EEPROM
H				DC Register
L	V_{CC}	96 bit	Dot Correction Data Input Mode	EEPROM
H				DC Register
L	$V_{(VPRG)}$	X	EEPROM Programming Mode	EEPROM
H				Write dc register value to EEPROM. (Default data: 3Fh)

SETTING DOT CORRECTION

The TLC5940 has the capability to fine adjust the output current of each channel OUT0 to OUT15 independently. This is also called dot correction. This feature is used to adjust the brightness deviations of LEDs connected to the output channels OUT0 to OUT15. Each of the 16 channels can be programmed with a 6-bit word. The channel output can be adjusted in 64 steps from 0% to 100% of the maximum output current I_{max} . Dot correction for all channels must be entered at the same time. Equation 8 determines the output current for each output n:

$$I_{OUTn} = I_{max} \times \frac{DC_n}{63} \quad (8)$$

where:

I_{max} = the maximum programmable output current for each output.

DC_n = the programmed dot correction value for output n ($DC_n = 0$ to 63).

$n = 0$ to 15

TLC5940



SLVS515C-DECEMBER 2004-REVISED OCTOBER 2007

Figure 14 shows the dot correction data packet format which consists of 6 bits x 16 channel, total 96 bits. The format is Big-Endian format. This means that the MSB is transmitted first, followed by the MSB-1, etc. The DC 15.5 in Figure 14 stands for the 5th most significant bit for output 15.

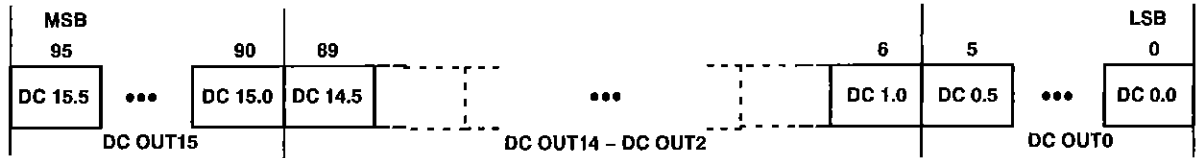


Figure 14. Dot Correction Data Packet Format

When VPRG is set to VCC, the TLC5940 enters the dot correction data input mode. The length of input shift register becomes 96 bits. After all serial data are shifted in, the TLC5940 writes the data in the input shift register to DC register when XLAT is high, and holds the data in the DC register when XLAT is low. The DC register is a level triggered latch of XLAT signal. Since XLAT is a level-triggered signal, SCLK and SIN must not be changed while XLAT is high. After XLAT goes low, data in the DC register is latched and does not change. BLANK signal does not need to be high to latch in new data. XLAT has setup time (t_{su1}) and hold time (t_{h1}) to SCLK as shown in Figure 15.

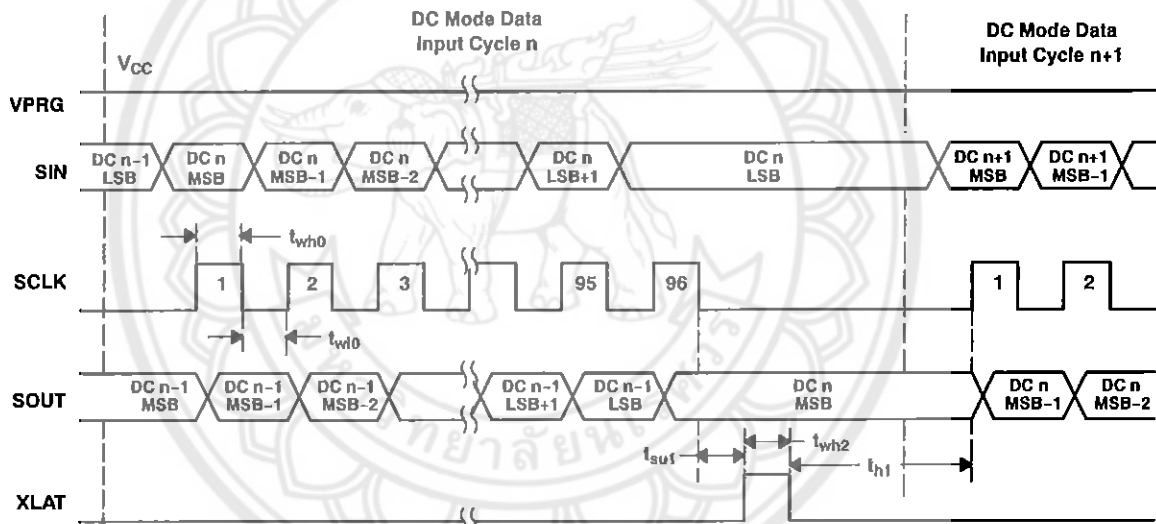


Figure 15. Dot Correction Data Input Timing Chart

The TLC5940 also has an EEPROM to store dot correction data. To store data from the dot correction register to EEPROM, DCPRG is set to high after applying V_{PRG} to the VPRG pin. Figure 16 shows the EEPROM programming timings. The EEPROM has a default value of all 1s.

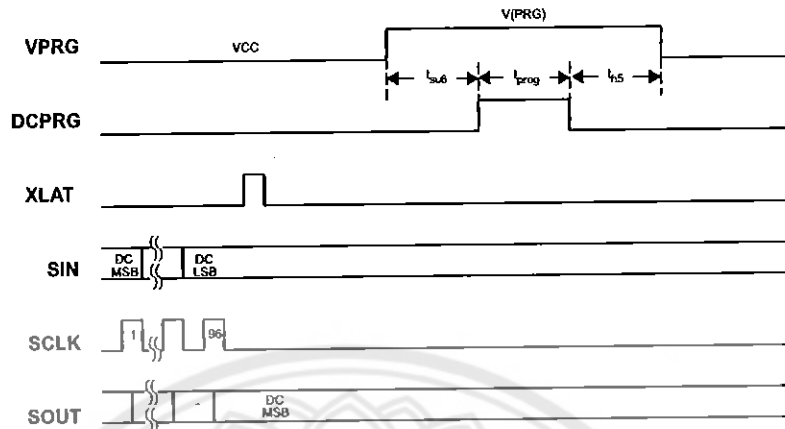


Figure 16. EEPROM Programming Timing Chart

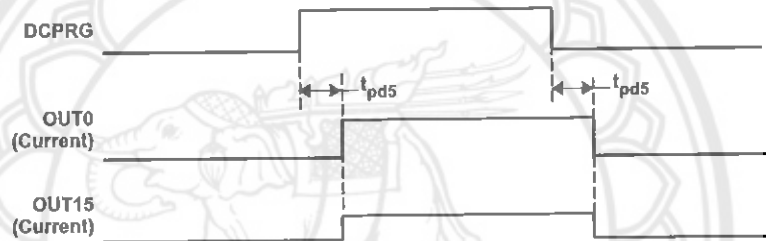


Figure 17. DCPRG and OUTn Timing Diagram

SETTING GRAYSCALE

The TLC5940 can adjust the brightness of each channel OUTn using a PWM control scheme. The use of 12 bits per channel results in 4096 different brightness steps, respective 0% to 100% brightness. Equation 9 determines the brightness level for each output n:

$$\text{Brightness in \%} = \frac{GS_n}{4095} \times 100 \tag{9}$$

where:

GSn = the programmed grayscale value for output n (GSn = 0 to 4095)

n = 0 to 15

Grayscale data for all OUTn

Figure 18 shows the grayscale data packet format which consists of 12 bits x 16 channels, totaling 192 bits. The format is Big-Endian format. This means that the MSB is transmitted first, followed by the MSB-1, etc.

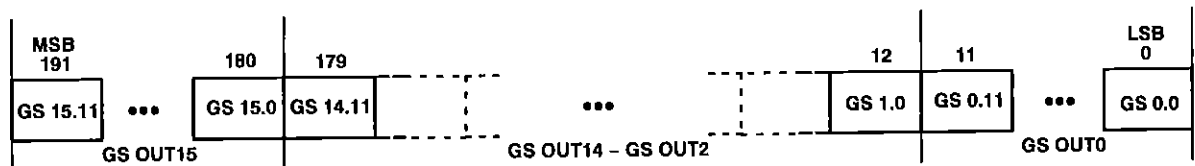


Figure 18. Grayscale Data Packet Format

When VPRG is set to GND, the TLC5940 enters the grayscale data input mode. The device switches the input shift register to 192-bit width. After all data is clocked in, a rising edge of the XLAT signal latches the data into

TLC5940



SLVS515C–DECEMBER 2004–REVISED OCTOBER 2007

the grayscale register (see Figure 11). New grayscale data immediately becomes valid at the rising edge of the XLAT signal; therefore, new grayscale data should be latched at the end of a grayscale cycle when BLANK is high. The first GS data input cycle after dot correction requires an additional SCLK pulse after the XLAT signal to complete the grayscale update cycle. All GS data in the input shift register is replaced with status information data (SID) after updated the grayscale register.

STATUS INFORMATION OUTPUT

The TLC5940 does have a status information register, which can be accessed in grayscale mode (VPRG=GND). After the XLAT signal latches the data into the GS register the input shift register data will be replaced with status information data (SID) of the device (see Figure 18). LOD, TEF, and dot correction EEPROM data (DCPRG=LOW) or dot correction register data (DCPRG=HIGH) can be read out at SOUT pin. The status information data packet is 192 bits wide. Bits 0-15 contain the LOD status of each channel. Bit 16 contains the TEF status. If DCPRG is low, bits 24-119 contain the data of the dot-correction EEPROM. If DCPRG is high, bits 24-119 contain the data of the dot-correction register. The remaining bits are reserved. The complete status information data packet is shown in Figure 19.

SOUT outputs the MSB of the SID at the same time the SID are stored in the SID register, as shown Figure 20. The next SCLK pulse, which will be the clock for receiving the SMB of the next grayscale data, transmits MSB-1 of SID. If output voltage is < 0.3 V (typical) when the output sink current turns on, LOD status flage becomes active. The LOD status flage is an internal signal that pulls XERR pin down to low when the LOD status flage becomes active. The delay time, $tpd2$ (1 μ s maximum), is from the time of turning on the output sink current to the time LOD status flage becomes valid. The timing for each channel's LOD status to become valid is shifted by the 30-ns (maximum) channel-to-channel turn-on time. After the first GSCLK goes high, OUT0 LOD status is valid; $tpd3 + tpd2 = 60$ ns + 1 μ s. OUT1 LOD status is valid; $tpd3 + td + tpd2 = 60$ ns + 30 ns + 1 μ s = 1.09 μ s. OUT2 LOD status is valid; $tpd3 + 2*td + tpd2 = 1.12$ μ s, and so on. It takes 1.51 μ s maximum ($tpd3 + 15*td + tpd2$) from the first GSCLK rising edge until all LOD become valid; $tsuLOD$ must be > 1.51 μ s (see Figure 20) to ensure that all LOD data are valid.



Figure 19. Status Information Data Packet Format

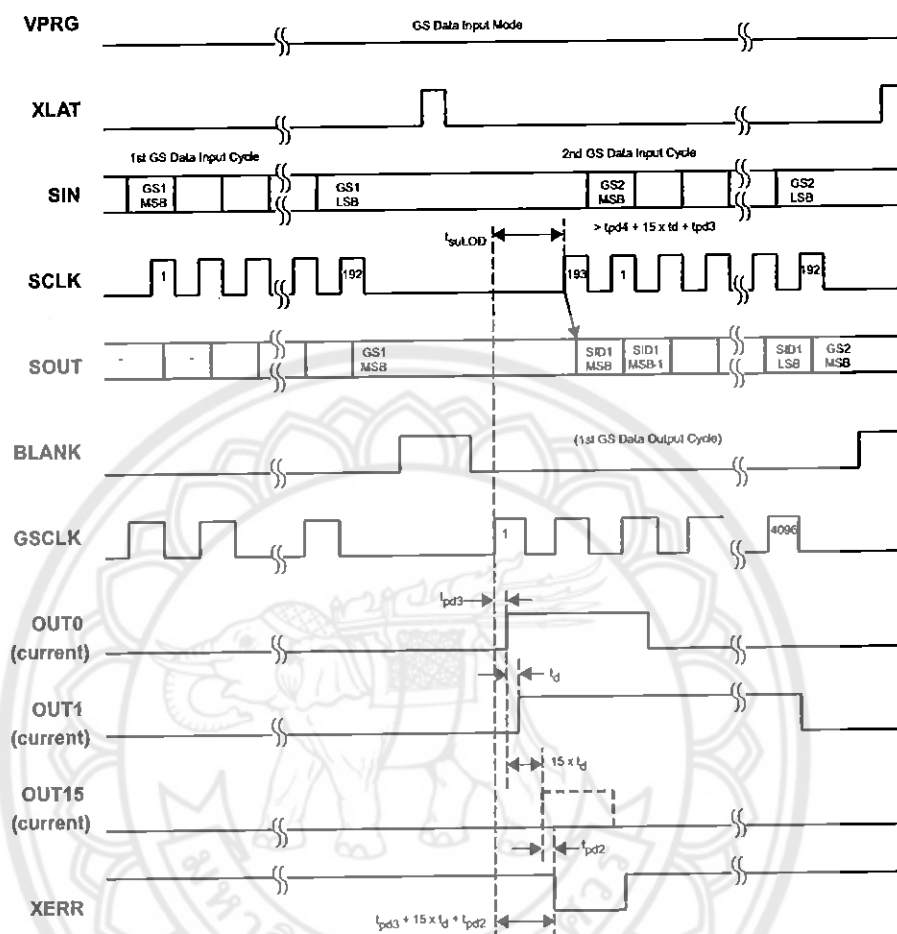


Figure 20. Readout Status Information Data (SID) Timing Chart

GRAYSCALE PWM OPERATION

The grayscale PWM cycle starts with the falling edge of BLANK. The first GSCLK pulse after BLANK goes low increases the grayscale counter by one and switches on all OUTn with grayscale value not zero. Each following rising edge of GSCLK increases the grayscale counter by one. The TLC5940 compares the grayscale value of each output OUTn with the grayscale counter value. All OUTn with grayscale values equal to the counter values are switched off. A BLANK=H signal after 4096 GSCLK pulses resets the grayscale counter to zero and completes the grayscale PWM cycle (see Figure 21). When the counter reaches a count of FFFh, the counter stops counting and all outputs turn off. Pulling BLANK high before the counter reaches FFFh immediately resets the counter to zero.

TLC5940



SLVS515C-DECEMBER 2004-REVISED OCTOBER 2007

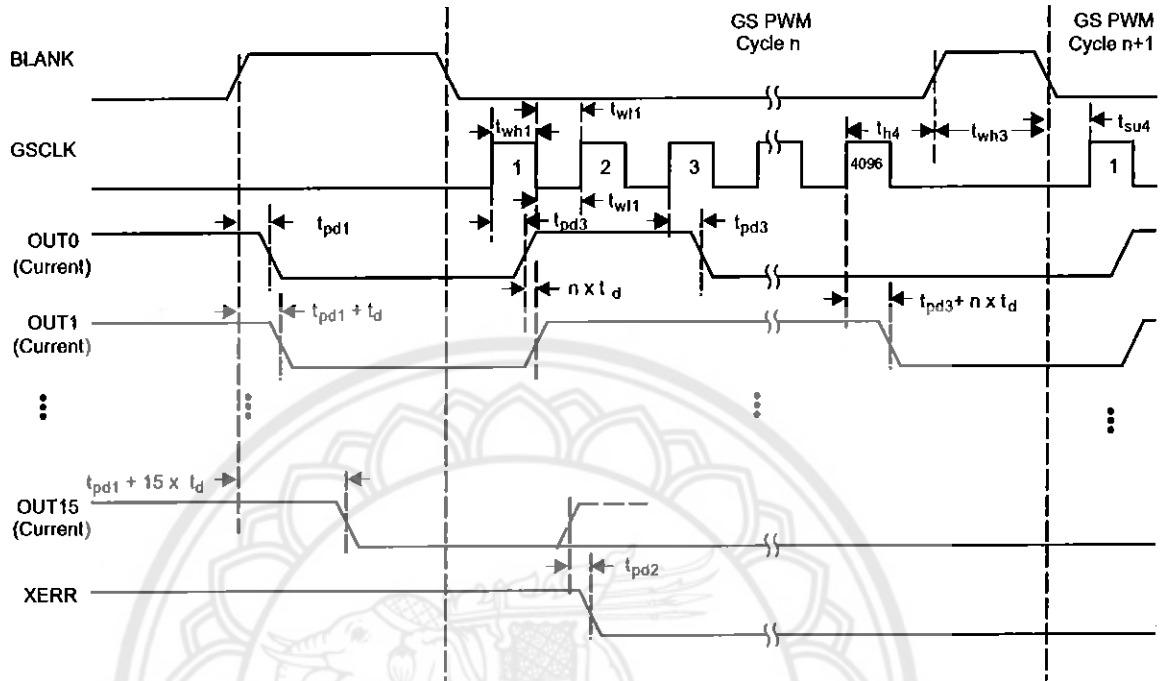


Figure 21. Grayscale PWM Cycle Timing Chart

SERIAL DATA TRANSFER RATE

Figure 22 shows a cascading connection of n TLC5940 devices connected to a controller, building a basic module of an LED display system. The maximum number of cascading TLC5940 devices depends on the application system and is in the range of 40 devices. Equation 10 calculates the minimum frequency needed:

$$\begin{aligned}
 f_{(GSCLK)} &= 4096 \times f_{(update)} \\
 f_{(SCLK)} &= 193 \times f_{(update)} \times n
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

where:

- $f_{(GSCLK)}$: minimum frequency needed for GSCLK
- $f_{(SCLK)}$: minimum frequency needed for SCLK and SIN
- $f_{(update)}$: update rate of whole cascading system
- n : number cascaded of TLC5940 device

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp	Op Temp (°C)	Top-Side Markings	Samples
						(2)					(4)
TLC5940NT	ACTIVE	PDIP	NT	28	13	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	TLC5940NT	Samples
TLC5940NTG4	ACTIVE	PDIP	NT	28	13	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type	-40 to 85	TLC5940NT	Samples
TLC5940PWP	ACTIVE	HTSSOP	PWP	28	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	TLC5940	Samples
TLC5940PWPG4	ACTIVE	HTSSOP	PWP	28	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	TLC5940	Samples
TLC5940PWPR	ACTIVE	HTSSOP	PWP	28	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	TLC5940	Samples
TLC5940PWPRG4	ACTIVE	HTSSOP	PWP	28	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	TLC5940	Samples
TLC5940RHBR	ACTIVE	QFN	RHB	32	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	TLC5940	Samples
TLC5940RHBRG4	ACTIVE	QFN	RHB	32	3000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 85	TLC5940	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

- ACTIVE:** Product device recommended for new designs.
- LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.
- NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.
- PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.
- OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.
Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.
Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.
Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) Only one of markings shown within the brackets will appear on the physical device.

Important Information and Disclaimer:The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF TLC5940 :

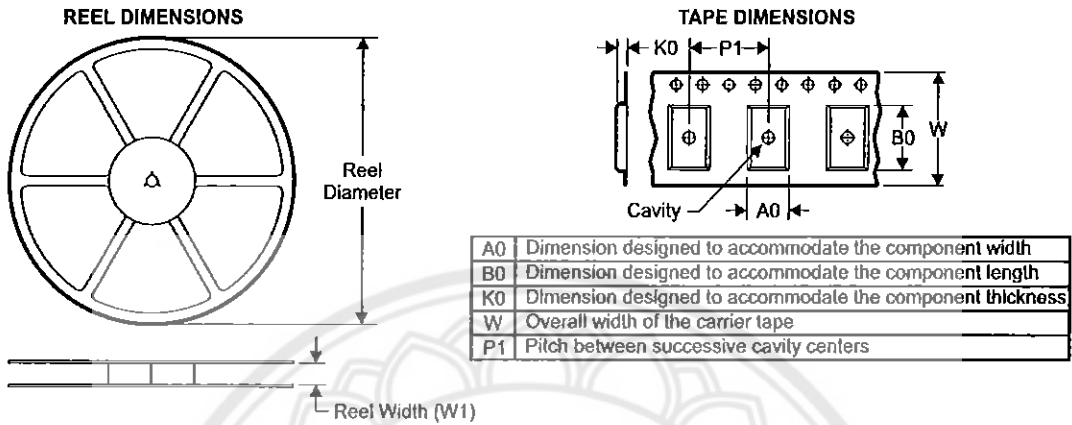
- Enhanced Product: TLC5940-EP

NOTE: Qualified Version Definitions:

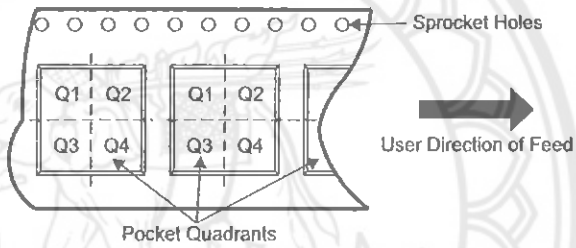
- Enhanced Product - Supports Defense, Aerospace and Medical Applications



TAPE AND REEL INFORMATION

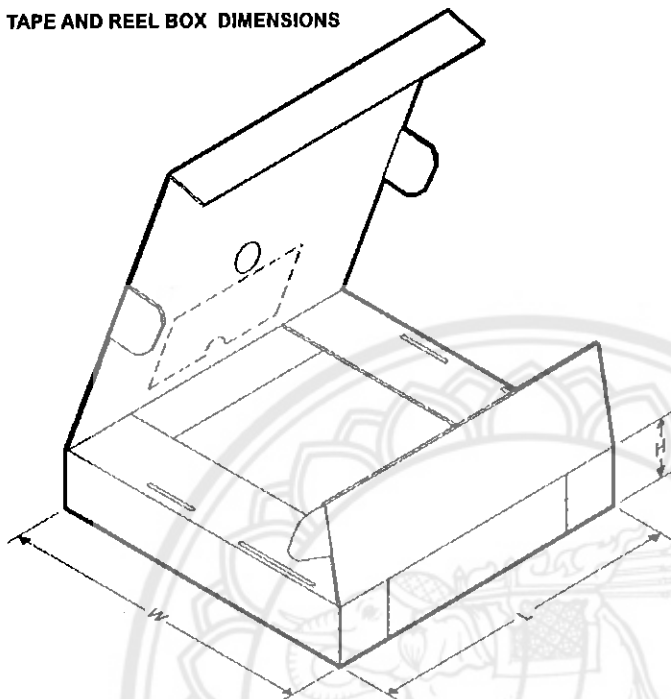


QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TLC5940RHBR	QFN	RHB	32	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.5	8.0	12.0	Q2

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


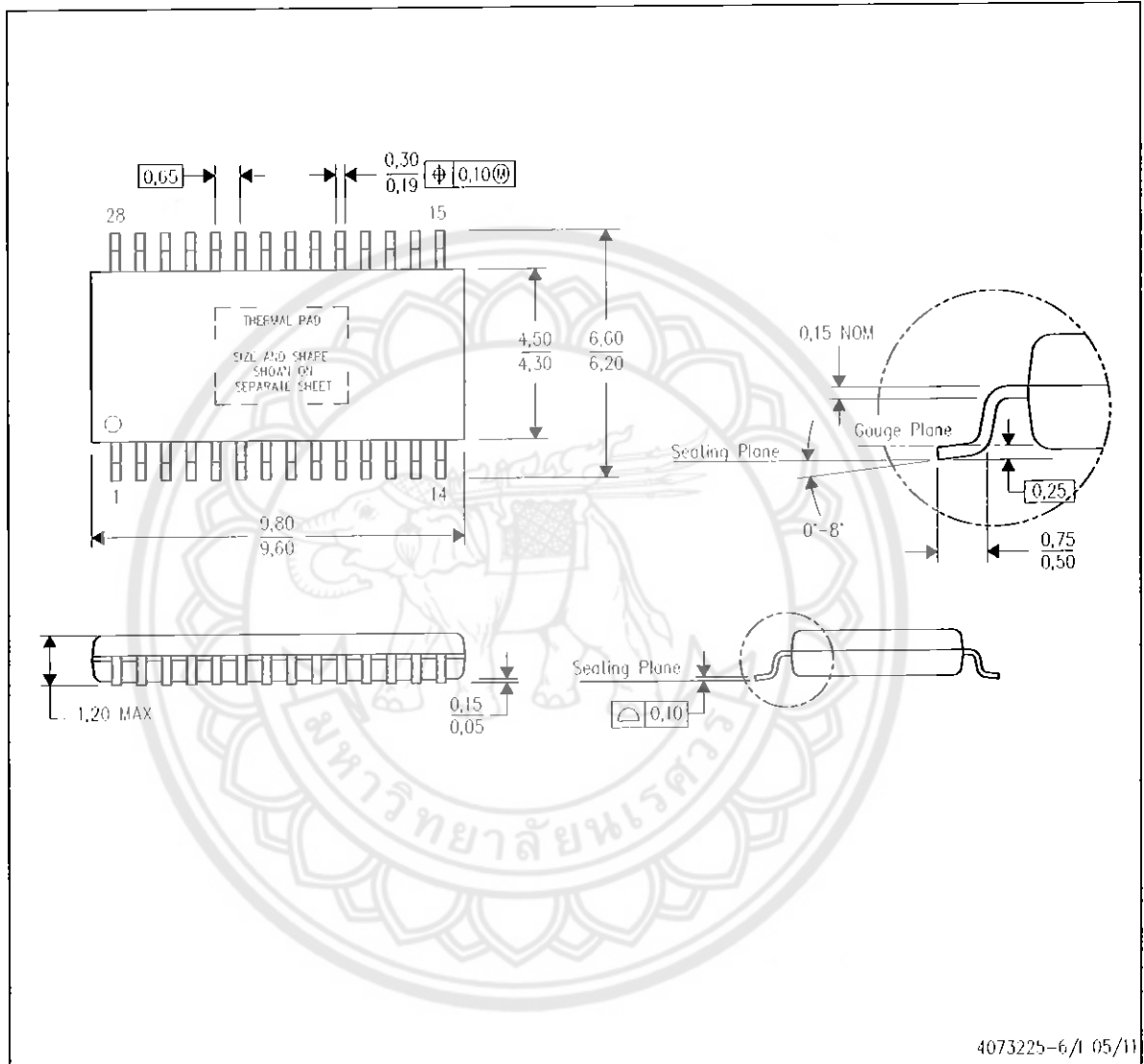
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TLC5940RHBR	QFN	RHB	32	3000	367.0	367.0	35.0

MECHANICAL DATA

PWP (R-PDSO-G28)

PowerPAD™ PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Body dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash and protrusion shall not exceed 0.15 per side.
 - This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Technical Brief, PowerPad Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002 for information regarding recommended board layout. This document is available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>.
 - See the additional figure in the Product Data Sheet for details regarding the exposed thermal pad features and dimensions.
 - Falls within JEDEC MO-153

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

THERMAL PAD MECHANICAL DATA

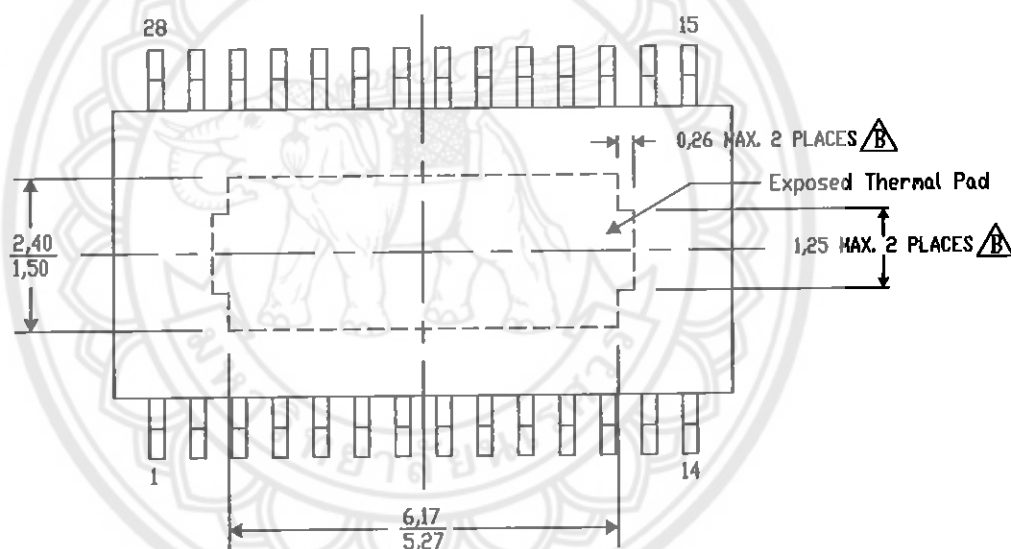
PWP (R-PDSO-G28) PowerPAD™ SMALL PLASTIC OUTLINE

THERMAL INFORMATION

This PowerPAD™ package incorporates an exposed thermal pad that is designed to be attached to a printed circuit board (PCB). The thermal pad must be soldered directly to the PCB. After soldering, the PCB can be used as a heatsink. In addition, through the use of thermal vias, the thermal pad can be attached directly to the appropriate copper plane shown in the electrical schematic for the device, or alternatively, can be attached to a special heatsink structure designed into the PCB. This design optimizes the heat transfer from the integrated circuit (IC).

For additional information on the PowerPAD package and how to take advantage of its heat dissipating abilities, refer to Technical Brief, PowerPAD Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002 and Application Brief, PowerPAD Made Easy, Texas Instruments Literature No. SLMA004. Both documents are available at www.ti.com.

The exposed thermal pad dimensions for this package are shown in the following illustration.



Top View

Exposed Thermal Pad Dimensions

4206332-33/AD 01/13

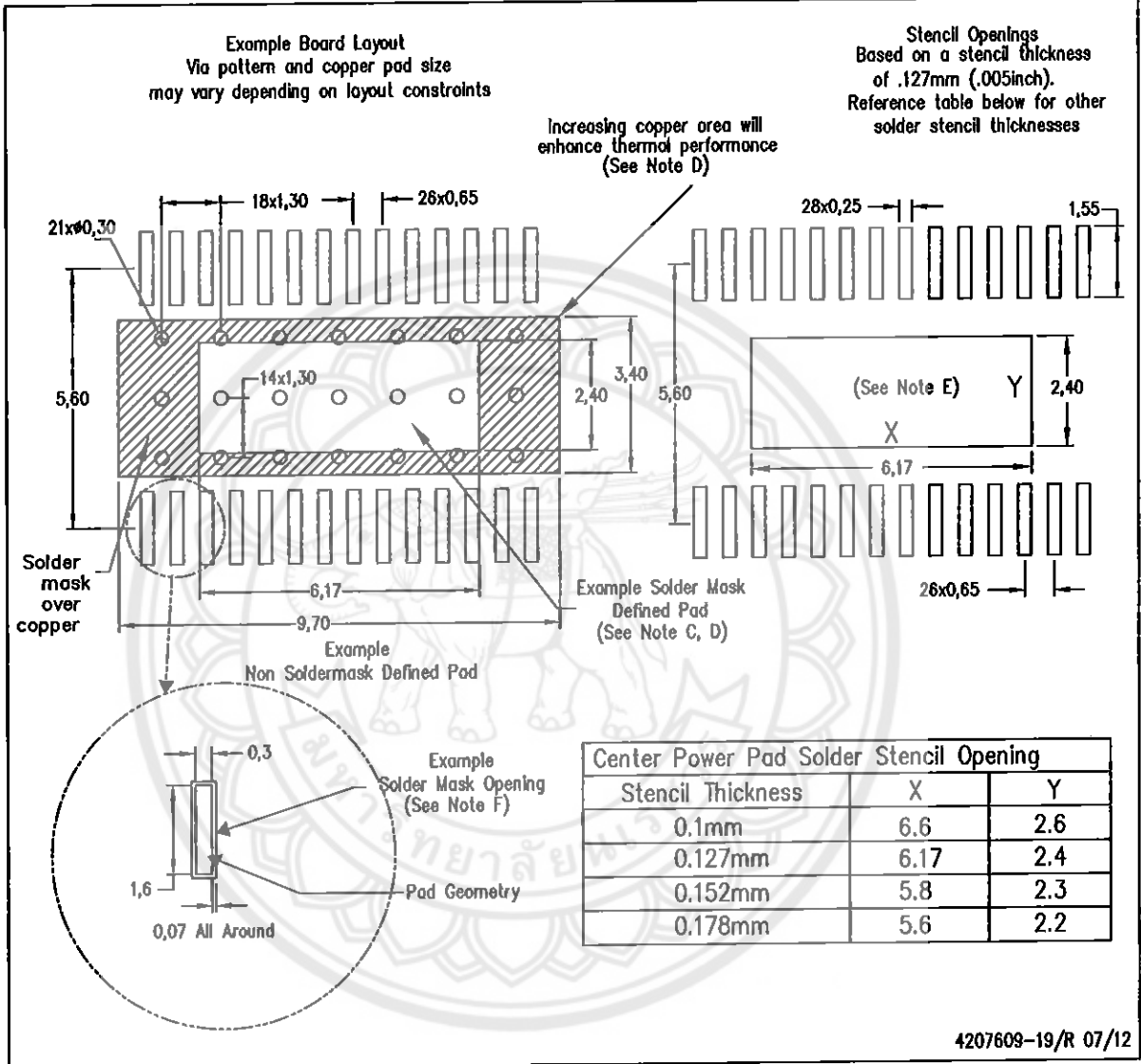
NOTE: A. All linear dimensions are in millimeters
 B. Exposed tie strap features may not be present.

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments

LAND PATTERN DATA

PWP (R-PDSO-G28)

PowerPAD™ PLASTIC SMALL OUTLINE

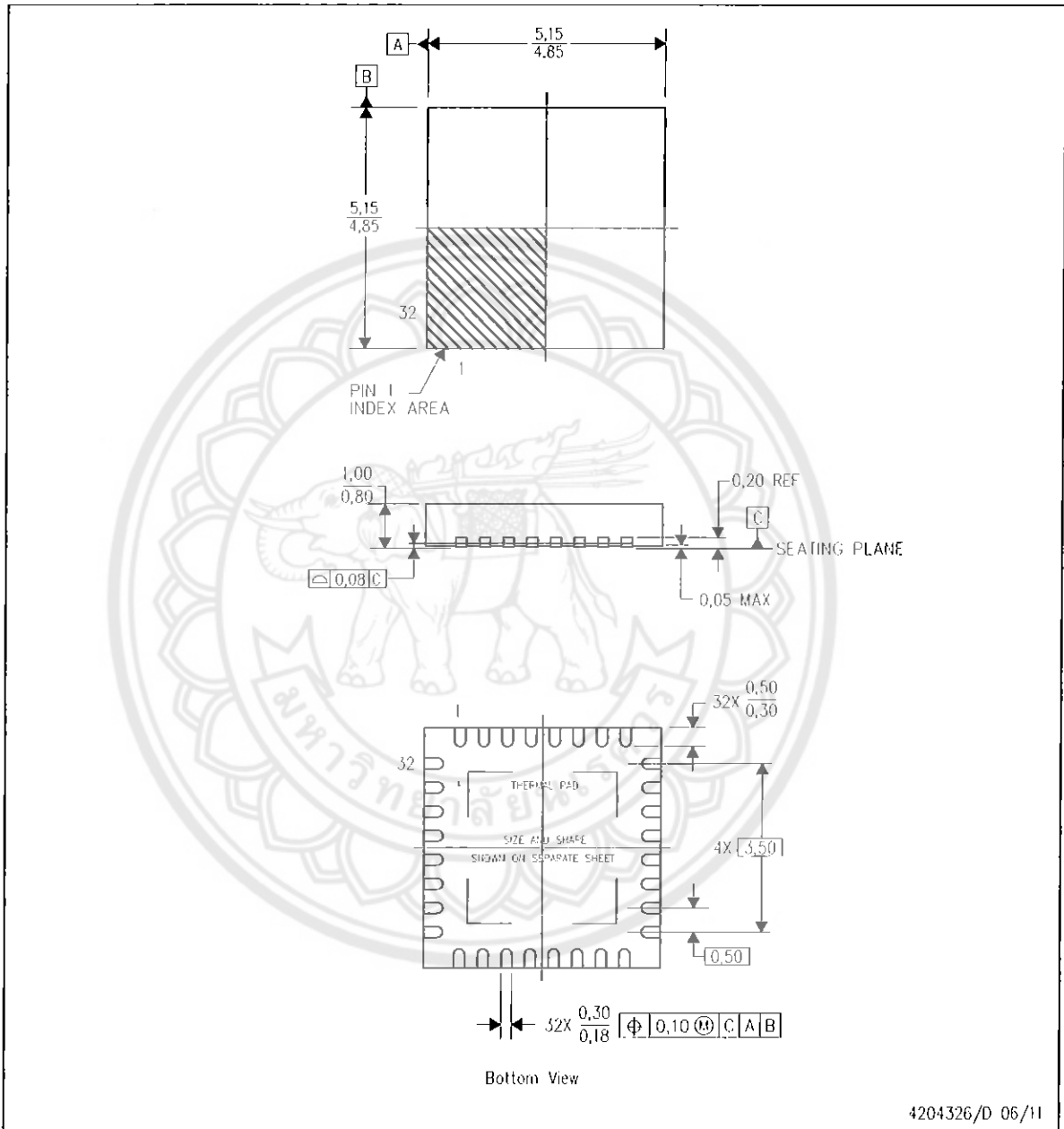


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Customers should place a note on the circuit board fabrication drawing not to alter the center solder mask defined pad.
 - D. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Technical Brief, PowerPad Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002, SLMA004, and also the Product Data Sheets.
 - E. For specific thermal information, via requirements, and recommended board layout. These documents are available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Example stencil design based on a 50% volumetric metal load solder paste. Refer to IPC-7525 for other stencil.
 - F. Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

MECHANICAL DATA

RHB (S-PVQFN-N32)

PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD



4204326/D 06/11

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. QFN (Quad Flatpack No-Lead) Package configuration.
 - D. The package thermal pad must be soldered to the board for thermal and mechanical performance.
 - E. See the additional figure in the Product Data Sheet for details regarding the exposed thermal pad features and dimensions.
 - F. Falls within JEDEC MO-220.

THERMAL PAD MECHANICAL DATA

RHB (S-PVQFN-N32)

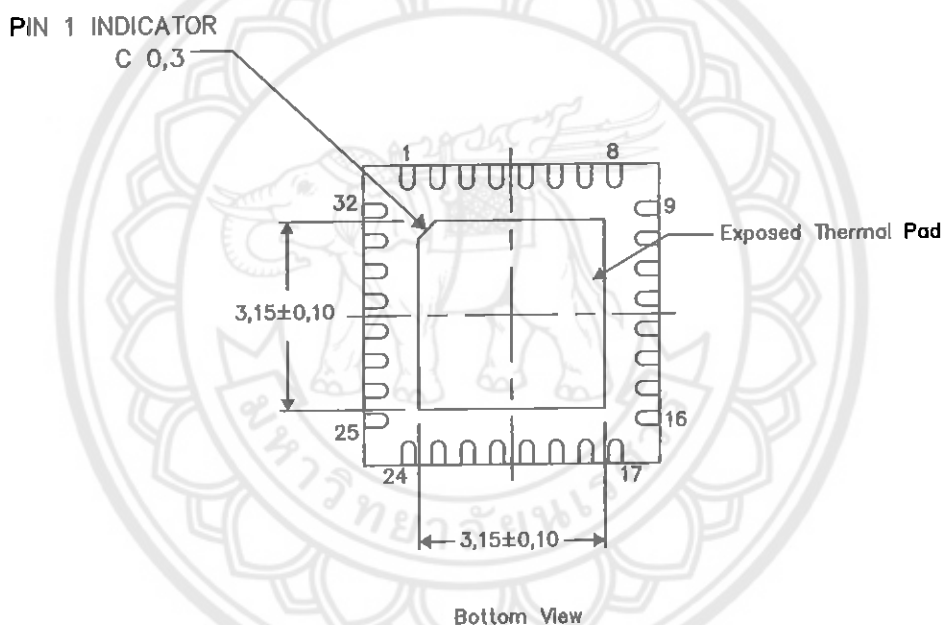
PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD

THERMAL INFORMATION

This package incorporates an exposed thermal pad that is designed to be attached directly to an external heatsink. The thermal pad must be soldered directly to the printed circuit board (PCB). After soldering, the PCB can be used as a heatsink. In addition, through the use of thermal vias, the thermal pad can be attached directly to the appropriate copper plane shown in the electrical schematic for the device, or alternatively, can be attached to a special heatsink structure designed into the PCB. This design optimizes the heat transfer from the integrated circuit (IC).

For information on the Quad Flatpack No-Lead (QFN) package and its advantages, refer to Application Report, QFN/SON PCB Attachment, Texas Instruments Literature No. SLUA271. This document is available at www.ti.com.

The exposed thermal pad dimensions for this package are shown in the following illustration.



Exposed Thermal Pad Dimensions

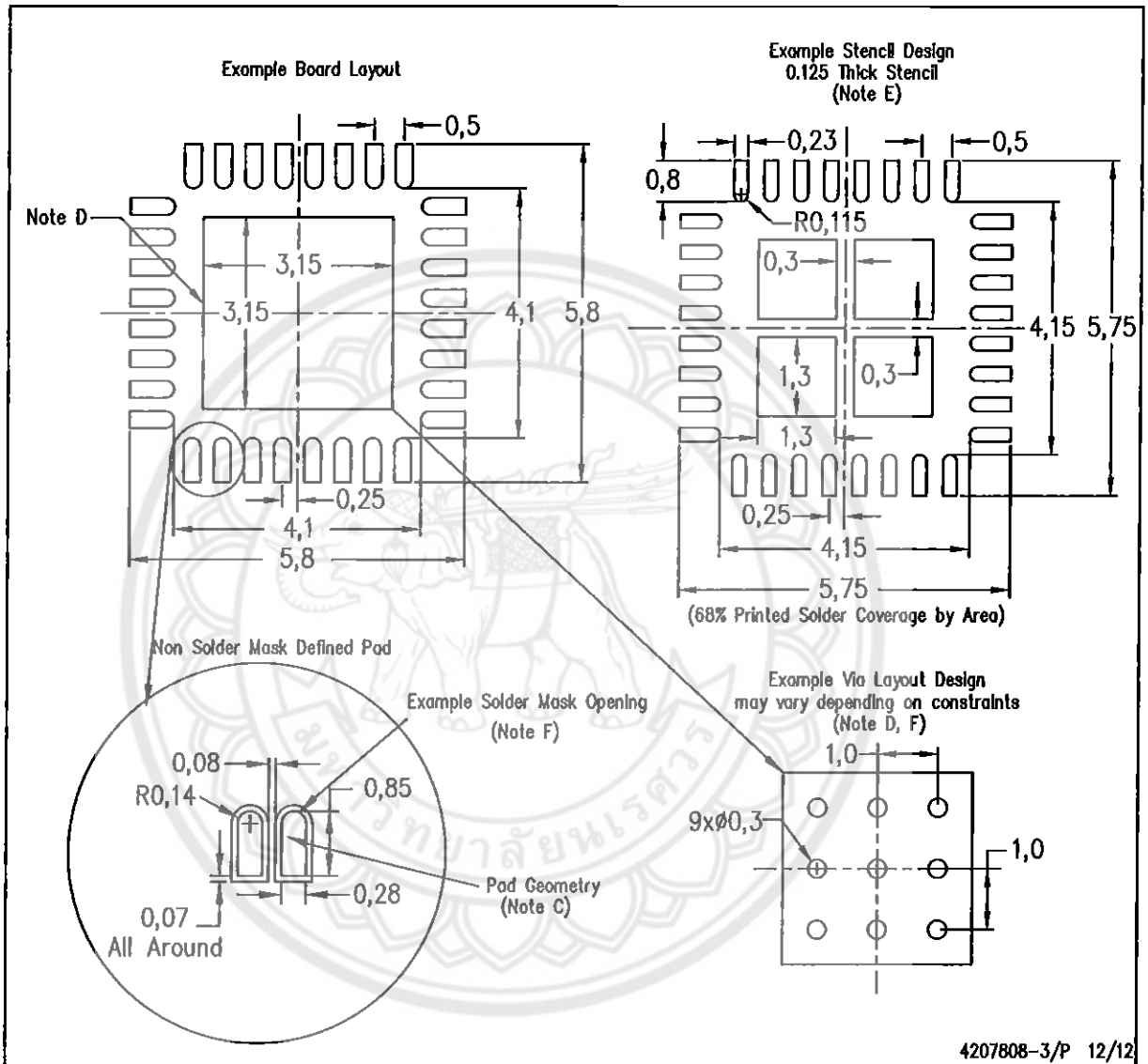
4206356-3/X 12/12

NOTE: A. All linear dimensions are in millimeters

LAND PATTERN DATA

RHB (S-PVQFN-N32)

PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Application Note, Quad Flat-Pack Packages, Texas Instruments Literature No. SLUA271, and also the Product Data Sheets for specific thermal information, via requirements, and recommended board layout. These documents are available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>.
 - Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC 7525 for stencil design considerations.
 - Customers should contact their board fabrication site for recommended solder mask tolerances and via tenting recommendations for vias placed in the thermal pad.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have *not* been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products		Applications	
Audio	www.ti.com/audio	Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Amplifiers	amplifier.ti.com	Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Data Converters	dataconverter.ti.com	Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
DLP® Products	www.dlp.com	Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
DSP	dsp.ti.com	Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks	Industrial	www.ti.com/industrial
Interface	interface.ti.com	Medical	www.ti.com/medical
Logic	logic.ti.com	Security	www.ti.com/security
Power Mgmt	power.ti.com	Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Video and Imaging	www.ti.com/video
RFID	www.ti-rfid.com		
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap	TI E2E Community	e2e.ti.com
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity		

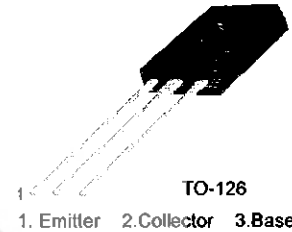
Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

BD135/137/139

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	3.0	A
I_B	Base Current	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD135	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	45			V	
	: BD137		60			V	
	: BD139		80			V	
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}, I_E = 0$			0.1	μA	
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$			10	μA	
h_{FE1}	DC Current Gain : ALL DEVICE	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 5\text{mA}$	25				
h_{FE2}			: ALL DEVICE	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$	25		
h_{FE3}					: BD135	40	250
	: BD137, BD139	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 150\text{mA}$	40	160			
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$			0.5	V	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$			1	V	

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

Typical Characteristics

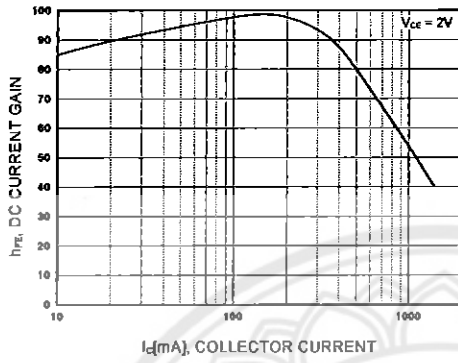


Figure 1. DC current Gain

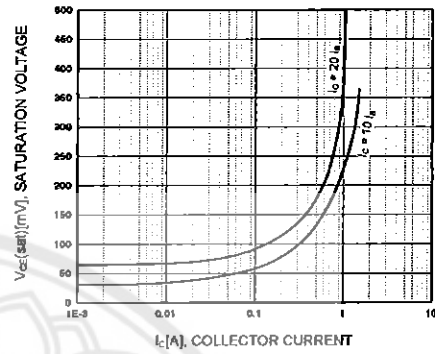


Figure 2. Collector-Emitter Saturation Voltage

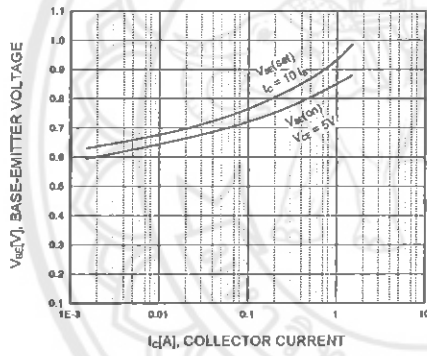


Figure 3. Base-Emitter Voltage

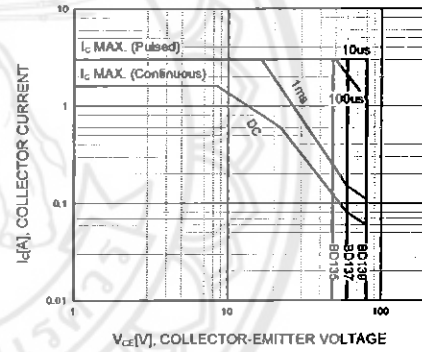


Figure 4. Safe Operating Area

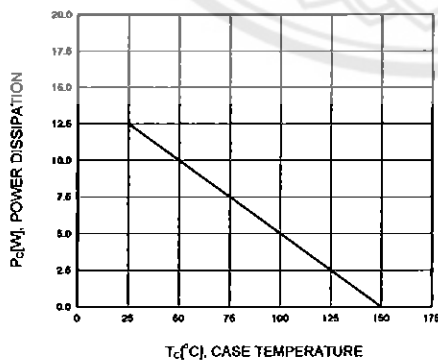
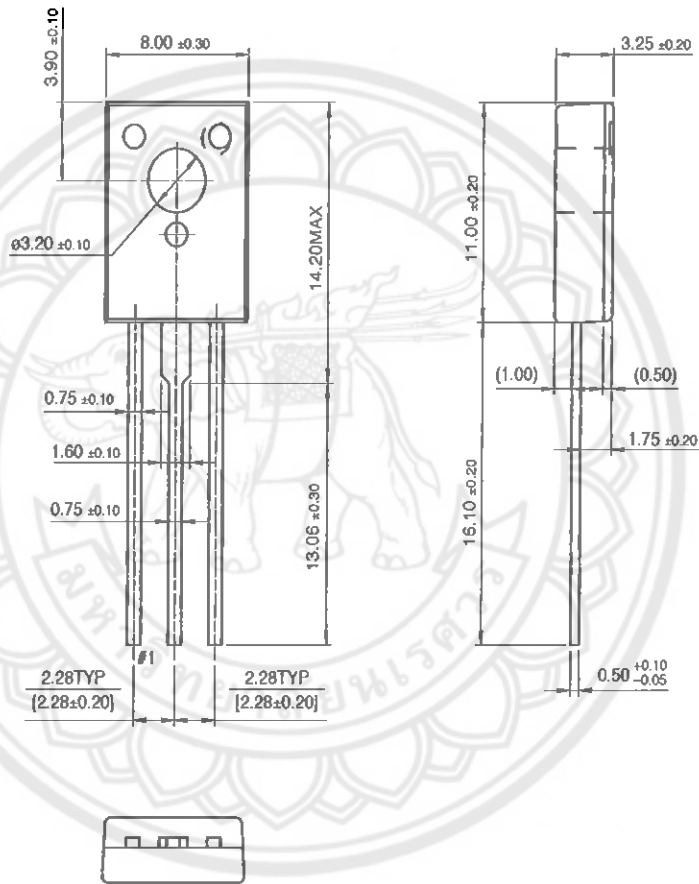


Figure 5. Power Derating

Package Dimensions

TO-126



Dimensions in Millimeters

TRADEMARKS

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

ACEx™	HiSeC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPLANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² CMOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FASTr™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

DISCLAIMER

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

LIFE SUPPORT POLICY

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

As used herein:

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

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

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