

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ

3D Robot Explorer



ร.พ.
2/468 รร
2550

เลขหมู่.....
83159
เลขทะเบียน.....
- 6 ส.ค. 2551
วัน,เดือน,ปี.....

b. 119 61624
i.....

**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D Robot Explorer



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

หุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ

3D Robot Explorer

รายชื่อนักศึกษา

นายปรีชา สมสุข

รหัสประจำตัว 47010442

นายปณยวีร์ พิริยะนันท์ชัย

รหัสประจำตัว 47010463

นายพงษ์ระพี จตุรทัศน์ย์

รหัสประจำตัว 47010477

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

อาจารย์ชมพูนุท จินจาคาม

ผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์

ระดับการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

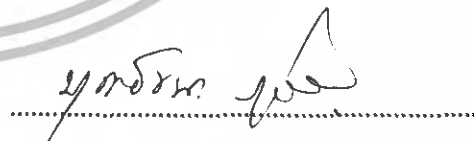
2550

หัวข้อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ชมพูนุท จินจาคาม

(อาจารย์ชมพูนุท จินจาคาม)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ผศ.บุญยชนะ ภูระหงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท

หุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ

ชื่อนักศึกษา

นายปรีชา สมสุข รหัสประจำตัว 47010442

นายปณวิวีร์ พิริยะนันท์ชัย รหัสประจำตัว 47010463

นายพงษ์ระพี จตุรทัศน์ย์ รหัสประจำตัว 47010477

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ชมพูนุท จินจาคาม

ผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์

ระดับการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

2550

บทคัดย่อ

โครงการหุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิตินี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างความสะดวก และเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ ในการสำรวจพื้นที่ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ และในเขตพื้นที่ที่อาจมีอันตราย ซึ่งหุ่นสำรวจนี้จะประกอบไปด้วยสองส่วนใหญ่ๆ คือ ระบบกล้องถ่ายภาพวิดีโอสองตัว และตัวหุ่นยนต์สำรวจที่ควบคุมการทำงานแบบไร้สายผ่านคอมพิวเตอร์ ในที่นี้หุ่นยนต์จะสำรวจไปตามทิศทางที่ผู้บังคับต้องการ และถ่ายภาพวิดีโอสองมุมมองจากกล้องสองตัวส่งกลับมายังผู้ใช้เป็นข้อมูลสองชุดที่มีความถี่ต่างกัน ซึ่งผู้ใช้จะแยกแสดงข้อมูลภาพวิดีโอทั้งสองชุดบนฉากรับภาพ และผู้ดูภาพจะมองภาพผ่านแว่นตาสามมิติที่มีการทำงานสัมพันธ์กับภาพสามมิติที่แสดง เพื่อที่ผู้ดูจะมองภาพเป็นมิติความลึกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	3D Robot Explorer	
Students	Mr. Preecha Somsuk	ID. 47010442
	Mr. Punyawee Piriyantachai	ID. 47010463
	Mr. Pongrapee Jaturatudsanai	ID. 47010477
Advisors	Ms. Chompoonuch Jinjakam	
	Asst. Prof. Boonchana Poorahong	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2007	

Abstract

A Goal of 3D robot explorer is convenient and increase safety for user to survey the human can't going and dangerous places . 3D robot explorer has two main components that are a 3D video camera system and wireless robot controlled by computer , where the 3D camera setting on robot like human's eyes. The robot will survey for desire direction , capture two view video from two cameras and send data back with different frequency. Then the viewer must to see the separate data alternately display on the screen with special glasses for seeing the stereoscopic depth.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชมพูนุท จินจาคาม และผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และให้ความสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ขอบคุณ น้องป่าน ประธานชุมนุมโรบอท และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดมา และขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ได้ให้ความสนับสนุน ทางด้านกำลังใจ และปัจจัย 4 จนกระทั่ง โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการชิ้นนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยจุดประกายความคิด และเป็น ประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาต่อจนสำเร็จได้

นายปรีชา สมสุข

นายบุญยวีร์ พิริยะนันท์ชัย

นายพงษ์ระพี จตุรทัศน์ย์

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ขอบเขตโครงการ	2
1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ	3
1.6.1 ฮาร์ดแวร์	3
1.6.2 ซอฟต์แวร์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	4
2.1.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8951	4
2.1.2 รายละเอียดทั่วไปของขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8951	5
2.2 ทฤษฎีภาพสเตอริโอ (Stereo Vision)	6
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการตั้งกล้อง	8
2.3.1 ทฤษฎีเรขาคณิต (Stereo Geometry)	8
2.3.1.1 ค่าความแตกต่าง	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 งานวิจัยเรื่อง การปรับค่าระยะห่างของกล้องสำหรับการถ่ายภาพ แบบรวมจุดเป็นจุดเดียว	9
2.3.2.1 คำแนะนำ	10
2.3.2.2 การปรับค่าระยะห่างของกล้อง	11
2.4 การสื่อสารแบบอนุกรมตาม มาตรฐาน RS-232-C	12
2.4.1 การทำงานของขาสัญญาณ DB9	13
2.4.2 สัญญาณทางไฟฟ้าของ RS-232-C	14
2.5 กล้องรับภาพแบบ CMOS	15
2.6 เซอร์ไวมอเตอร์	17
บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน	
3.1 การออกแบบวงจรหุ่นยนต์	20
3.1.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051	20
3.1.2 วงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม	21
3.1.3 วงจร Regulator	22
3.1.4 วงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ	22
3.1.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	23
3.1.6 วงจรรวม	25
3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน	27
3.2.1 โครงสร้างการทำงานโดยรวมของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์	27
3.2.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้	28
3.3 การออกแบบส่วนการรับและส่งข้อมูลภาพ	28
3.3.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์	29
3.3.1.1 กล้อง CMOS	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1.2 เครื่องรับส่งภาพและเสียง Room to Room	29
3.3.1.3 การ์ดบันทึกวีดิโอดิจิทัล	30
3.3.1.4 สายเอวี	30
3.3.2 ซอฟต์แวร์	31
3.4 การออกแบบส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ	31
3.4.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์	32
3.4.1.1 จอภาพ 120 เฮิรตซ์	32
3.4.1.2 ชุดแว่นตาตัดเดอรักลาสและอิมิตเตอร์	32
3.4.1.3 ชุดปรับความเข้ากันของสัญญาณ	33
3.4.2 ซอฟต์แวร์	33
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลองวงจรหุ่นยนต์และฐานกล้อง	35
4.1.1 การทดลองควบคุมหุ่นยนต์และฐานกล้อง	36
4.1.1.1 วิธีการทดลอง	36
4.1.1.2 ผลการทดลอง	36
4.1.2 การทดลองระบบการควบคุมหุ่นยนต์และฐานกล้อง	37
4.1.2.1 วิธีการทดลอง	37
4.1.2.2 ผลการทดลอง	36
4.2 การทดลองส่วนการรับและส่งข้อมูลภาพ	38
4.2.1 ทดลองการรับและการส่งในที่โล่งแจ้ง	40
4.2.1.1 วิธีการทดลอง	40
4.2.1.2 ผลการทดลอง	40
4.2.2 ทดลองการรับและการส่งในที่ปิด	41
4.2.2.1 วิธีการทดลอง	41
4.2.2.2 ผลการทดลอง	41
4.3 การทดลองส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ	41
4.3.1 ทดลองประมวลผลภาพ 3 มิติด้วยการวางกล้องแบบขนาน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1.1	วิธีการทดลอง	42
4.3.1.2	ผลการทดลอง	43
4.3.1.2.1	กล้องห่างกัน 4 cm.	43
4.3.1.2.2	กล้องห่างกัน 5 cm.	43
4.3.1.2.3	กล้องห่างกัน 6 cm.	44
4.3.1.2.4	กล้องห่างกัน 7 cm.	44
4.3.1.2.5	กล้องห่างกัน 8 cm.	45
4.3.2	ทดลองประมวลผลภาพ 3 มิติด้วยการวางกล้องแบบรวมจุด	46
4.3.2.1	วิธีการทดลอง	46
4.3.2.2	ผลการทดลอง	47
4.3.2.2.1	ระยะห่างกล้อง 4 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m	47
4.3.2.2.2	ระยะห่างกล้อง 4 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m	48
4.3.2.2.3	ระยะห่างกล้อง 4 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m	48
4.3.2.2.4	ระยะห่างกล้อง 5 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m	49
4.3.2.2.5	ระยะห่างกล้อง 5 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m	49
4.3.2.2.6	ระยะห่างกล้อง 5 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m	50
4.3.2.2.7	ระยะห่างกล้อง 6 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m	50
4.3.2.2.8	ระยะห่างกล้อง 6 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2.2.9 ระยะห่างกล้อง 6 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปปัญหาจากการทดลอง	53
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง	53
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อเสนอแนะ	54

บรรณานุกรม



สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051	5
รูปที่ 2.2 หลักการโดยทั่วไปของภาพสเตอริโอ	7
รูปที่ 2.3 การใช้ภาพสองภาพถ่ายความเข้มซ้อนกันแล้วหาความสูงของพื้นที่นั้น	7
รูปที่ 2.4 Stereo Geometry	8
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าความแตกต่าง	9
รูปที่ 2.6 การถ่ายภาพสเตอริโอทางเรขาคณิต	10
รูปที่ 2.7 การแบ่งระยะห่างของกล้อง	11
รูปที่ 2.8 การใช้ RS-232-C เชื่อมต่ออุปกรณ์ DTE และ DCE	12
รูปที่ 2.9 พอร์ตอนุกรมประเภท DB9	14
รูปที่ 2.10 กล้อง CMOS	16
รูปที่ 2.11 เซอร์โมเตอร์	18
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานส่วนของหุ่นยนต์	19
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานส่วนของการฉายภาพ 3 มิติ	19
รูปที่ 3.3 การต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051	20
รูปที่ 3.4 ขาไอซี MAX-232	21
รูปที่ 3.5 การต่อวงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม	21
รูปที่ 3.6 วงจร Regulator	22
รูปที่ 3.7 ขาดั้วรับส่งความถี่ LWM-433H	23
รูปที่ 3.8 การต่อวงจรรับส่งคลื่นวิทยุ	23
รูปที่ 3.9 ขาไอซี L298	24
รูปที่ 3.10 การต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	24
รูปที่ 3.11 PCB วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์และรับข้อมูล	25
รูปที่ 3.12 PCB วงจรส่งข้อมูล	26
รูปที่ 3.13 กระบวนการทำงานทางด้านซอฟต์แวร์	27
รูปที่ 3.14 ส่วนติดต่อของผู้ควบคุมโปรแกรม	28
รูปที่ 3.15 อุปกรณ์รับและส่งข้อมูลภาพ	28
รูปที่ 3.16 กล้อง CMOS ขนาดเล็กที่ใช้ในโครงการ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.17 เครื่องรับส่งภาพและเสียง Room to Room	29
รูปที่ 3.18 การ์ดบันทึกวีดิโอดิจิทัล	30
รูปที่ 3.19 สายเอวี	30
รูปที่ 3.20 โปรแกรม Dignet Center	31
รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ	31
รูปที่ 3.22 จอภาพ 120 เฮิรตซ์	32
รูปที่ 3.23 ชุดแว่นชดเชยเรขาคณิตและอิมิตเตอร์	32
รูปที่ 3.24 ชุดปรับค่าความเข้ากันของสัญญาณ	33
รูปที่ 3.25 โปรแกรมประมวลผลภาพสเตอริโอ StereoMovie Maker	33
รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ	34
รูปที่ 4.2 มุมมองบุคคลบังคับรถผ่านหน้าจอ Interface	35
รูปที่ 4.3 การรับและส่งภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน	38
รูปที่ 4.4 การรับและส่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ	39
รูปที่ 4.5 การรับและส่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนปานกลาง	39
รูปที่ 4.6 การรับและส่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก	39
รูปที่ 4.7 การวางกล้องแบบขนาน	42
รูปที่ 4.8 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 4 cm.	43
รูปที่ 4.9 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 5 cm.	43
รูปที่ 4.10 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 6 cm.	44
รูปที่ 4.11 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 7 cm.	44
รูปที่ 4.12 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 8 cm.	45
รูปที่ 4.13 การวางกล้องแบบรวมจุด	46
รูปที่ 4.14 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 4 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m.	47
รูปที่ 4.15 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 4 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m.	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.16 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 4 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m.	48
รูปที่ 4.17 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 5 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m.	49
รูปที่ 4.18 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 5 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m.	49
รูปที่ 4.19 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 5 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m.	50
รูปที่ 4.20 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m.	50
รูปที่ 4.21 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m.	51
รูปที่ 4.22 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m.	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจัดขาของคอนกรีตเสริมเหล็ก อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ	15
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระยะการบังคับหุ่นยนต์	37
ตารางที่ 4.2 การทดลองการรับและการส่งภาพวิดีโอในที่โล่งแจ้ง	40
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการรับและการส่งภาพวิดีโอในที่ปิด	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้ก้าวไกลไปอย่างมาก โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในตอนนี้ เพราะเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์นั้นมีประโยชน์อย่างมากต่อมนุษย์ในหลายๆ ด้าน ทั้งในเรื่องของการช่วยเหลือการผลิตสิ่งต่างๆ ซึ่งทำให้ช่วยลดเวลา และต้นทุนในการผลิตได้ นอกจากนี้แล้วหุ่นยนต์สามารถช่วยในเรื่องของการสำรวจพื้นที่ต่างๆ อย่างเช่นพื้นที่อันตรายต่างๆ พื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ เป็นต้น ประกอบกับประโยชน์ของภาพ 3 มิติที่สามารถใช้ช่วยในการวิเคราะห์ต่างๆ ได้ เช่น สามารถใช้วิเคราะห์ระยะห่างของวัตถุที่ฉายจากตัวกล้อง ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญของหุ่นยนต์ และภาพสามมิติในด้านนี้ ในส่วนของโครงการที่คณะผู้จัดทำได้ทำสร้างขึ้นมาสามารถบังคับหุ่นยนต์ให้วิ่งสำรวจตามพื้นที่ต่างๆ ตามต้องการได้ โดยที่ตัวหุ่นยนต์นั้นจะมีกล้องเพื่อแสดงพื้นที่ที่ตัวหุ่นยนต์นั้นได้วิ่งสำรวจ แล้วส่งภาพแบบไร้สาย มาแสดงออกเป็นภาพ 3 มิติเพื่อที่จะได้สามารถสังเกตสภาพแวดล้อมได้เสมือนกับผู้บังคับได้เข้าไปสำรวจเอง เพื่อที่จะได้ไม่พลาดรายละเอียดต่างๆ ของสถานที่ที่เข้าไปสำรวจ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อให้นำความรู้ทางทฤษฎีนำมาใช้การปฏิบัติได้จริง
2. เพื่อนำเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ และการแสดงภาพ 3 มิติมาพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น
3. สามารถออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์ออกมาได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้
4. สามารถนำแสดงภาพที่สำรวจออกมาเป็นภาพ 3 มิติได้
5. เพื่อให้บุคคลที่สนใจนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ และความชำนาญจากการทำงาน โครงการนี้
2. สามารถนำความรู้ที่ได้จากโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ได้
3. สามารถนำหุ่นยนต์ไปใช้ประโยชน์ได้จริง
4. สามารถนำภาพ 3 มิติ ไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลความรู้เกี่ยวกับการทำโครงการนี้ จากแหล่งความรู้ต่างๆ
2. กำหนดจุดประสงค์ และขอบเขตของการทำงาน โครงการ
3. วางแผน และจัดทำตารางเวลาของการทำงาน โครงการ
4. ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ และ โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ
5. ศึกษา และออกแบบ โครงสร้าง และวงจรต่างๆ ที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์
6. ศึกษาการแสดงผลภาพให้ออกมาเป็นภาพ 3 มิติ
7. ทำการจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ
8. นำอุปกรณ์ที่ได้ชื่อมาประกอบเป็นตัวหุ่นยนต์ตามที่ได้ออกแบบไว้
9. นำหุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จแล้วมาทดลองการทำงานว่าทำงานได้ตามที่ต้องการไหม
10. แก้ไขปัญหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับการทดลอง
11. บันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

1.5 ขอบเขตของโครงการ

1. หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยการบังคับจากผู้ใช้งานระยะไกล
2. สามารถฉายภาพตามหลักสเตอริโอได้
3. สามารถควบคุมการหันมุมมองของกล้องบนตัวรถผ่านคอมพิวเตอร์ได้
4. สร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ที่คอยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานเพื่อทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และควบคุมการหันมุมมองของกล้องได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

1.6.1 ฮาร์ดแวร์

1. ตัวโครงสร้างหุ่นยนต์พร้อมมอเตอร์
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์
4. ตัวรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ LWM-433H
5. การ์ดรับวิดีโอดิจิตอล 100 เฟรม
6. กล้อง CMOS 2 ตัว
7. Video Sender ROOM TO ROOM
8. การ์ดบันทึกวิดีโอดิจิตอลขนาด 100 เฟรม
9. สายเอวี

1.6.2 ซอฟต์แวร์

1. Protel99
2. Pmcs51
3. Microsoft Visual Studio
4. โปรแกรมรับ และบันทึกภาพ DvrNet
5. โปรแกรมประมวลผลภาพสเตอริโอ StereoMovie Maker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

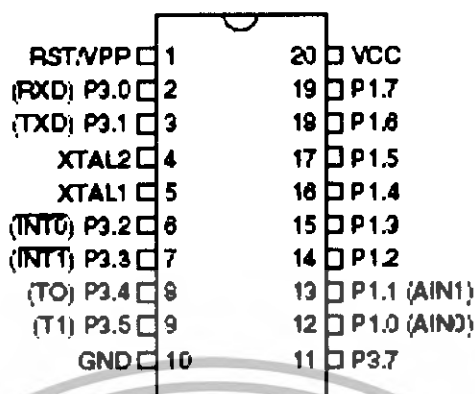
ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นองค์ประกอบในการทำโครงการ เช่น ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทฤษฎีภาพสเตอริโอ (Stereo Vision) ทฤษฎีเกี่ยวกับการตั้งกล้อง หลักการส่งสัญญาณวิทยุ ทฤษฎีของกล้อง CMOS และทฤษฎีอื่นๆ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบ

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในหลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา ตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในนี้เอง ทำให้การใช้งานง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากเหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์ นอกจากนี้หากเราต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์เพิ่มเติมอย่างอื่น เช่น IC8255 หรือหน่วยความจำภายนอก เรายังสามารถนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย

2.1.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8951 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. หน่วยความจำภายในสำหรับข้อมูลขนาด 128 ไบต์
2. หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมขนาด 2 กิโลไบต์
3. อุปกรณ์ควบคุมอินเตอร์รัพต์
4. ตัวตั้งเวลา และตัวนับขนาด 16 บิต 2 ชุด
5. วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน



รูปที่ 2.1 รูปขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051

2.1.2 รายละเอียดทั่วไปของขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8951

1. **Port 1** เป็นพอร์ตอินพุต เอาท์พุตแบบ 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต ที่มีพุลลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาท์พุตจะต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูล LS ได้ 4 ตัว เมื่อต้องการใช้เป็นอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตนี้ก่อน เพื่อทำให้เกิดพุลลอัพภายใน เมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็น 0 เข้ามาจะทำให้พอร์ตจ่าย กระแสออกเนื่องจากการพุลลอัพอยู่ภายใน นอกจากนี้พอร์ต P1 ยังทำหน้าที่รับตำแหน่งตำแหน่งด้านต่ำ ในช่วงของการโปรแกรม EPROM และช่วงการตรวจสอบโปรแกรมใน ROM หรือ EPROM

2. **Port 3** เป็นพอร์ตอินพุต/ เอาท์พุต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต ที่มีพุลลอัพอยู่ภายใน ในกรณีเอาท์พุตสามารถต่อกับอินพุตของ TTL ตระกูลได้ 4 ตัว เมื่อต้องการทำงานเป็นอินพุตต้องเริ่มต้นด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปที่พอร์ตก่อนเพื่อให้เกิดการพุลลอัพภายในเมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาเป็น 0 จะทำให้พอร์ต P3 จ่ายกระแสออกเนื่องจากการพุลลอัพภายใน นอกจากนี้พอร์ต P3 ยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณอื่นๆ เมื่อต้องการใช้งานพอร์ต P3 ให้ทำหน้าที่เป็นสัญญาณต่างๆ จะต้องเริ่มด้วยการส่งค่าลอจิก 1 ออกไปแลทซ์ที่พอร์ต P3 ก่อนเพื่อให้เกิดการพุลลอัพภายใน หากเรากำหนดให้มีค่าลอจิก 0 จะทำให้สัญญาณที่ขาต่างๆ มีค่าเป็น 0 ตลอดเวลา

3. **ขาสัญญาณรีเซท (RST)** เมื่อเปิดเครื่องครั้งแรกเราต้องทำให้ขาสัญญาณนี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อยประมาณ 2 เมกเฮิรตซ์ หรือ 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา จากนั้น CPU จึงจะเริ่มทำงานได้ และวงจรจะตรวจสอบสัญญาณรีเซททุกๆ คาบเวลาที่ 5 ของแต่ละเมกเฮิรตซ์ เมื่อยังอยู่ในระหว่างการทำงานขาเรซีทนี้ภายในจะมีวงจร Schmitt trigger เพื่อขจัดสัญญาณรบกวน

4. ขาสัญญาณนาฬิกาของระบบ

- XTAL1 เป็นอินพุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา
- XTAL2 เป็นเอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแบบอินเวอร์สของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

5. V_{cc} สำหรับต่อกราวด์

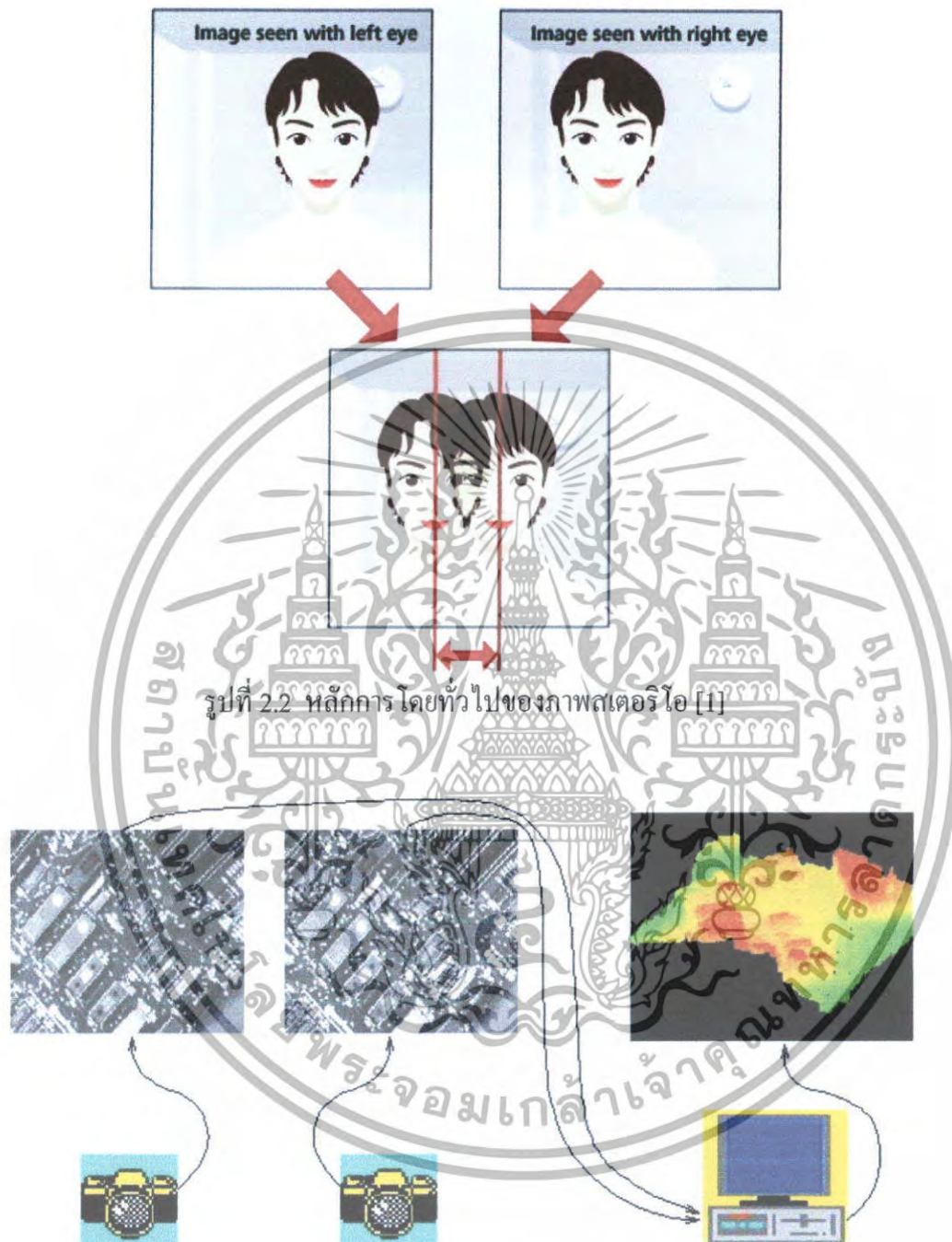
6. V_{cc} สำหรับต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์

2.2 ทฤษฎีภาพสเตอริโอ (Stereo Vision)

หลักการของ stereo vision คือหลักการเดียวกับภาพ 3 มิติ การมองภาพใดๆ โดยใช้กล้องส่องมองภาพจากตำแหน่งในระนาบเดียวกัน 2 ตำแหน่ง เหมือนกับตาของมนุษย์ หรือการใช้กล้อง 2 ตัว มองภาพใดๆ 2 ภาพ ภาพที่ได้ออกมา เมื่อนำมาซ้อนกัน จะมีความลึกเป็น 3 มิติ จากหลักการนี้ เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายสาขา เช่น ภาพการ์ตูน เป็นการนำภาพ 2 ภาพมาซ้อนกัน โดยใช้สีของลายเส้นที่ต่างกัน เมื่อใส่แว่นตาสำหรับมองภาพ ที่แบ่งสีเป็นสีน้ำเงิน แดง บังคับให้ตามนุษย์ด้านขวา มองไปที่ภาพด้านขวา ตาด้านซ้ายมองไปที่ภาพด้านซ้าย ทำให้เกิดความลึกขึ้น หรือรถสำรวจดาวอังคาร เราอาจใช้หลัก stereo vision จับภาพมองไปที่พื้น และประมวลผลหาระยะไกลของสิ่งกีดขวางที่อยู่ข้างหน้า ทำให้หลบหลีกได้แม่นยำมากขึ้น [1]

ภาพสเตอริโอ มีวิธีการทำอยู่ 2 แบบ คือ

1. ภาพสเตอริโอแบบพาสซีฟ เป็นวิธีการทำภาพสเตอริโอที่ต้องทำการจัด โปรเจคเตอร์มาจัดซ้อนกันเองบนฉากรับภาพแบบโค้งในการมองต้องอาศัยแว่นตาที่ทำจากฟิล์มโพลารไรซ์
2. ภาพสเตอริโอแบบแอคทีฟ เป็นวิธีการทำภาพสเตอริโอที่อาศัยการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ในการมองยังต้องอาศัยแว่นตารูปพิเศษ



รูปที่ 2.3 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสองภาพซ้อนกันแล้วหาความสูงของพื้นที่นั้น [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตั้งกล้อง

2.3.1 ทฤษฎีเรขาคณิต (Stereo Geometry)

สเตอริโออัลกอริทึม ที่ใช้คำนวณข้อมูลระยะทางของวัตถุโดยการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยม (Triangulation) ภาพ 2 ภาพที่มุมมองต่างกันจะเห็นวัตถุที่ตำแหน่งต่างกัน ความแตกต่างของภาพจะถูกเรียกว่า ค่าความแตกต่าง ในส่วนนี้จะพูดถึงสมการเบื้องต้นที่ความคุมความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง และระยะทาง

2.3.1.1 ค่าความแตกต่าง

รูปที่ 2.4 แสดงเรขาคณิตของสเตอริโอของวัตถุชนิดเดียวกัน 2 ชนิด ที่ถูกนำมาจากมุมมองที่แตกต่างกัน ระยะทางระหว่างมุมมองเรียกว่า “baseline” (หรือ b) ความยาวโฟกัสของเลนส์คือ f ระยะทางแนวราบจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังวัตถุคือ d_l สำหรับภาพซ้าย และสำหรับภาพขวาคือ d_r



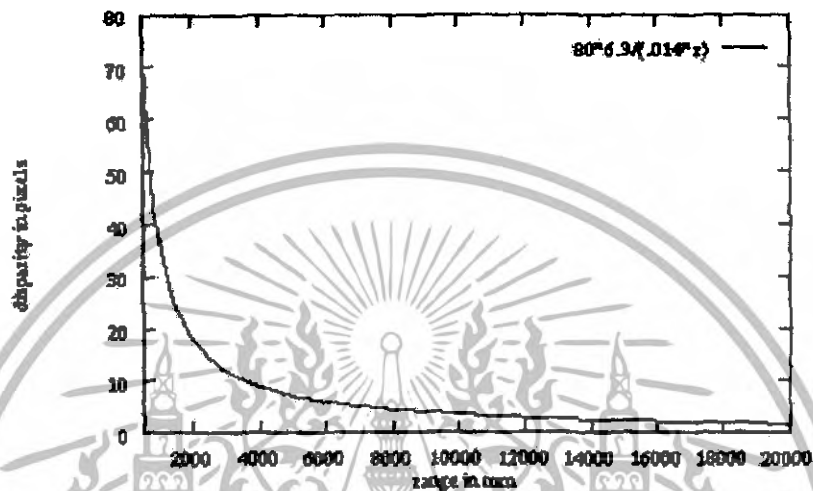
รูปที่ 2.4 Stereo Geometry

โดยปกติเราจะติดตั้งกล้องให้อยู่ในแนวแกนเดียวกัน เพื่อให้ภาพออกมาในแนวเดียวกัน ภายใต้เงื่อนไขนี้ ค่าความแตกต่างระหว่าง d_l และ d_r เรียกว่า ค่าความแตกต่าง และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะทาง r ของวัตถุ ความสัมพันธ์นั้นคือ

$$r = bf / d, \text{ เมื่อ } d = d_l - d_r \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้สมการที่ (1) เราสามารถเขียนกราฟระยะทาง เช่น พังก์ชันของค่าความแตกต่างที่ระยะห่างของกล้องที่น้อยที่สุดที่ 8 เซนติเมตร ความกว้างของพิกเซล คือ 14 ไมโครเมตร และมี ความยาวโฟกัสเลนส์ที่ 6.3 มิลลิเมตร การใช้รูปเหล่านี้เราสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางกับค่าความแตกต่างได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าความแตกต่างของเรขาคณิตสำหรับการตั้งกล้อง

ระยะทางที่น้อยที่สุดในกราฟนี้คือ $\frac{1}{2}$ เมตร และที่จุดนี้มีค่าความแตกต่างมากกว่า 70 พิกเซล ระยะทางสูงที่สุดคือประมาณ 35 เมตร เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ผกผันการเปลี่ยนแปลง ส่วนมากในค่าความแตกต่างจะเกิดขึ้นในช่วงหลายเมตรแรก

2.3.2 งานวิจัยเรื่อง การปรับค่าระยะห่างของกล้องสำหรับการถ่ายภาพแบบรวมจุดเป็นจุดเดียว (Adaptive Variable Baseline Stereo for Vergence Control)

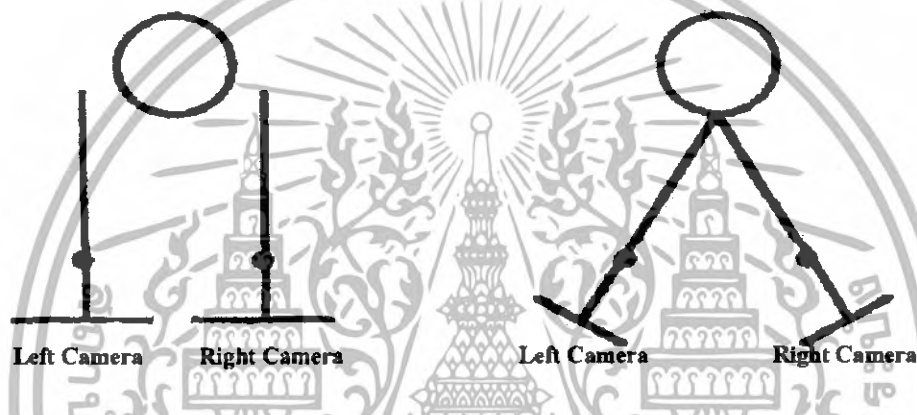
บทนำ : การควบคุมตำแหน่งของกล้องอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นเครื่องมือสำคัญในการรวม รายละเอียดของภาพต่างๆเข้าไว้ด้วยกัน (recover) นวัตกรรมใหม่ที่น่าสนใจในเอกสารฉบับนี้คือการใช้ความถี่ของช่องว่างภายในรูปที่ได้มา (local spatial frequency content) เพื่อปรับการควบคุมระยะห่างของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ (stereo baseline) ให้เหมาะสม โดยจะเป็นการปรับปรุงทั้งความน่าเชื่อถือ (ความแม่นยำ) และความเร็ว ของกระบวนการรวมรายละเอียดภาพเพื่อนำมาสร้างภาพ 3 มิติ (depth recovery process) เทคนิคนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อสนับสนุน กระบวนการของระบบกระบวนการสเตอริโอ (active vergent stereo imagining) โดยการจัดรูปแบบคร่าวๆ ของความละเอียด สำหรับกล้องที่ใช้ตามเงื่อนไขของรูปแบบเริ่มต้นของความละเอียดพื้นผิว (surface depth) เพื่อการรวมจุด (vergence) ที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 คำแนะนำ

ในเทคนิคการถ่ายภาพสเตอริโอ การควบคุมตำแหน่ง และทิศทางของกล้องเหมือนกัน ระหว่างจุดต่างๆ ในภาพจากกล้องที่ต่างกันเพื่อได้ความลึก และรูปร่างของพื้นผิว (surface depth and shape) รูปแบบทั่วไป 2 แบบของเรขาคณิต (Geometry) เพื่อนำมาประมวลผล คือ

1. การถ่ายแบบรวมจุดเป็นจุดเดียว (vergent imaging) คือ การนำกล้องตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาถ่ายภาพวัตถุ โดยให้วิถีของกล้องตัดกันเพื่อรวมจุดที่ถ่ายเป็นจุดเดียว
2. การถ่ายแบบขนาน (parallel baseline imaging) เป็นการนำกล้องมาถ่ายไปที่วัตถุ โดยการเรียงกล้องเป็นแนวเดียวกัน ดังนั้น วิถีของกล้องแต่ละตัวจะขนานกัน



(ก) การถ่ายแบบขนาน (ข) การถ่ายแบบรวมจุดเป็นจุดเดียว

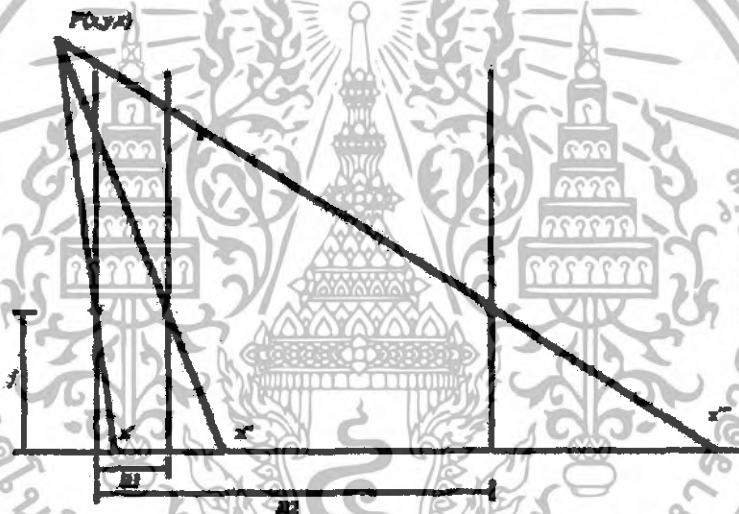
รูปที่ 2.6 การถ่ายภาพสเตอริโอทางเรขาคณิต

รูปแบบทั้ง 2 นี้จะมีข้อดีที่แตกต่างกัน การถ่ายแบบขนานจะให้ส่วนที่เหมือนกันของภาพระหว่าง 2 มุมมอง อย่างไรก็ตามรายละเอียดของภาพที่ได้จะน้อยกว่าแบบรวมจุดเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วการถ่ายแบบรวมจุดจะได้ภาพที่ซ้อนกัน ในขอบเขตของการมองวัตถุ ภายใต้เงื่อนไขการรวมจุดของการมองเห็นตามธรรมชาติ การทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดของการถ่ายภาพแบบรวมจุด กล้องจำเป็นที่จะต้องถูกกำหนดขอบเขต เพื่อการตัดกันของการถ่ายภาพที่พื้นผิวของวัตถุ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำคัญในการบังคับกระบวนการถ่ายภาพให้ได้จุดที่เหมาะสม

การกำหนดขอบเขตการถ่ายภาพไม่ว่าที่ด้านหน้าหรือด้านหลังของพื้นผิว(วัตถุ) เป็นการทำให้จำนวนของภาพเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องหาจุดที่เหมาะสมระหว่างมุมมองจากกล้องทุกๆตัว วิธีการที่มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะมาจัดการกับปัญหานี้คือ การใช้การถ่ายภาพแบบขนาน เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งคร่าวๆของการวางตำแหน่งของกล้องที่เหมาะสม [9]

2.3.2.2 การปรับค่าระยะห่างของกล้อง

ในการที่จะทำให้ได้ความละเอียดของภาพตามที่ต้องการ จะต้องรวมจุดที่วิถีของกล้องตัดกันให้ถูกต้อง การแบ่งระยะห่างระหว่างกล้องให้พอดี เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการถ่ายภาพ จากรูปที่ 2 ที่จุดใดๆในโลก (world point) นั่นคือจุด $P(X, Y, Z)$ ได้บอกถึงความแตกต่างระหว่าง ระยะกล้อง (baseline) ในการถ่ายภาพ 2 แบบ แบบที่ระยะห่างของกล้องแคบ (B1) ความแตกต่างของการถ่ายภาพระหว่างจุด x' และ x'' 1 จะน้อย การหาขอบเขตของจุดพิกเซล ที่จะต้องนำมารวมกัน ก็จะแคบ การรวมภาพโดยใช้ระยะห่างระหว่างกล้องกว้าง (B2) คือ ใช้ระยะห่างของกล้องให้มาก เท่าที่จะสามารถเลื่อนไปได้ ดังนั้น ขอบเขตจุดพิกเซลที่ต้องนำมารวมกันก็就会有ความแตกต่างกันมาก ระหว่างจุด x' และ x'' แต่จะได้รายละเอียดของภาพมากกว่า



รูปที่ 2.7 การแบ่งระยะห่างของกล้อง

ระยะห่างของกล้องที่ไม่คงที่ จะมีความขัดแย้งกันของการรวมภาพแบบธรรมดา และการรวมแบบเน้นรายละเอียด เราจะใช้ลำดับของการถ่ายภาพบังคับกระบวนการรวมภาพ การเริ่มกระบวนการรวมภาพโดยใช้ระยะห่างของกล้องแคบ (narrow) จะทำได้ง่าย แต่จะยังได้รายละเอียดของภาพน้อย การประมาณค่ารายละเอียดของภาพที่เกิดขึ้นก่อน จะเป็นตัวกำหนดกรอบของภาพต่อไป

ในการใช้เทคนิคนี้ต้องมีประสิทธิภาพ จำเป็นที่จะต้องตอบคำถาม 3 ข้อนี้ให้ได้

- ตำแหน่งเริ่มต้นของกล้องควรวางไว้ที่ไหน เพื่อให้ได้ตามรูปแบบของการถ่ายภาพที่กล่าวมาแล้ว
- การปรับระยะห่างของกล้องในการถ่ายภาพ 3 มิติ (variable baseline stereo process)

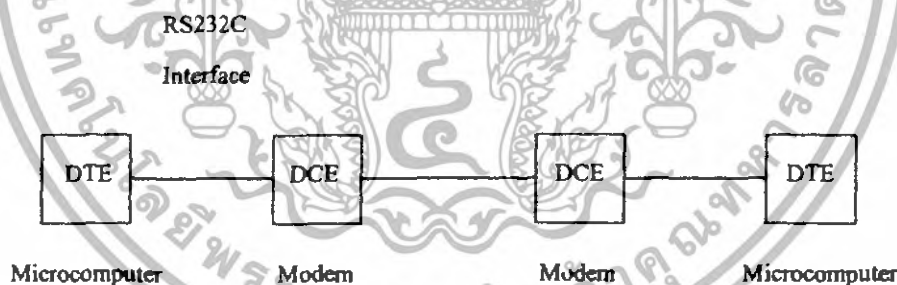
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดไหนคือจุดที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำการรวมจุด
จากการวิเคราะห์ค่าตามเหล่านี้ ส่งเสริมให้เกิดโครงร่างของเทคนิคใหม่สำหรับการหาจุดเริ่มต้น และการขยายระยะห่างของกล้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการปรับค่าระยะห่างของกล้องในการถ่ายภาพ 3 มิติ (variable baseline stereo process)

2.4 การสื่อสารแบบอนุกรมตาม มาตรฐาน RS-232-C

การสื่อสารแบบอนุกรมนับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะใช้ในการเชื่อมต่อระหว่าง PC และไมโครคอนโทรลเลอร์ และอื่นๆ

มาตรฐาน RS-232-C ถูกประกาศใช้ในปี ค.ศ.1969 โดย Electronic Industries Association (EIA) เพื่อกำหนดการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment : DCE ในปัจจุบันเรียก DCE ว่า Data Circuit Terminating Equipment) RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบอกถึงมาตรฐานตัวนี้ C แสดงถึงฉบับสุดท้ายของมาตรฐานโดยปกติฟอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับ ชนิดของ สายสัญญาณ, ระยะทาง, และ ปริมาณ สัญญาณ รบกวน



รูปที่ 2.8 การใช้ RS-232-C เชื่อมต่ออุปกรณ์ DTE และ DCE

DCE : (Data Circuit Terminating Equipment) อุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อ ทำให้การเชื่อมต่อยังคงดำเนินต่อไป และยุติการเชื่อมต่อ นอกจากนี้ยังใช้เปลี่ยนลักษณะของสัญญาณ และสร้างรหัสสัญญาณต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง DTE (data terminal equipment) และ data circuit โดย DCE อาจเป็นส่วนใดส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์หรือไม่ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DTE : (Data Terminal Equipment) เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยตัวส่งข้อมูล (data source) หรือ ตัวรับข้อมูล(data sink) หรือเป็นทั้งตัวส่ง และตัวรับข้อมูลก็ได้ มี function unit ต่อไปนี้ control logic, bufferstore และอุปกรณ์อินพุตหรือเอาต์พุตจำนวนหนึ่งตัวหรือมากกว่าก็ได้ หรือรวมเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าไปด้วยก็ได้ DTE อาจจะรวมส่วน error control, synchronization และความสามารถในการบ่งหรือระบุความต้องการเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตัวใด (station identification capability) เข้าไปด้วยก็ได้

DTE จะแทนแหล่งกำเนิดข้อมูลแหล่งแรก และ/หรือ อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งรับข้อมูลแหล่งสุดท้าย เช่นเครื่องพิมพ์ หรือ จอภาพ (CRT) เป็นอุปกรณ์ที่รับข้อมูลได้เพียงอย่างเดียว จะเป็น DTE เพราะเป็นอุปกรณ์ที่รับข้อมูลเป็นตัวสุดท้าย คุยบอร์คเป็นทั้งตัวรับ และตัวกำเนิดข้อมูล ส่วน DCE เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้การสื่อสารข้อมูลระหว่างแหล่งกำเนิดกับตัวรับข้อมูลที่ปลายทาง ทำให้สะดวกขึ้น ตัวอย่างหนึ่งของ DCE ก็คือ โมเด็ม ขอให้ดูตัวอย่างประกอบ

ตารางที่ 2.1 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์ อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ

P _{in}	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input

2.4.1 การทำงานของขาสัญญาณ DB9

Transmitted Data (TXD) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล

Received Data (RXD) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

Data Terminal Ready (DTR) แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน DSR ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วย เปิดอยู่หรือไม่

- เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบว่า DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่

Request To Send (RTS) แสดงสถานะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อยู่ ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่

- เมื่อต้องการส่งข้อมูลว่า RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF

- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบว่า CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

Signal Ground (GND) ขา ground

แต่การใช้งานในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้งานอย่างน้อยเพียง 3 เส้น คือ

- สายส่งสัญญาณ TX - สายรับสัญญาณ RX - สาย GND

โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของ สายสัญญาณ ระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน



(ก) พอร์ตอนุกรมของ PC จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวผู้ (Male)

(ข) พอร์ตอนุกรม ของอุปกรณ์ภายนอก จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย (Female)

รูปที่ 2.9 พอร์ตอนุกรมประเภท DB9

2.4.2 สัญญาณทางไฟฟ้าของ RS-232-C

ในการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์มักจะกำหนดการใช้การเชื่อมต่อมาตรฐาน RS-232-C ทั้งนี้เพื่อให้การใช้งานสัญญาณหรือรูปแบบของตัวเชื่อมต่อที่สอดคล้องกัน จะได้ลดปัญหาการเข้ากันไม่ได้ระหว่างสัญญาณของอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อกัน ทั้งสองด้านให้น้อยลง เนื่องจากระดับโวลเตจที่ใช้ และการแทนความหมายของระดับลอจิกตามมาตรฐานนี้ แตกต่างไปจากที่ใช้งานในระบบดิจิทัลทั่วไปโดยระดับสัญญาณ RS-232-C เป็นแบบไบโพลาร์ (Bipolar) ระดับโวลเตจทางด้านลบในช่วง -3 โวลต์ ถึง -20 โวลต์แทนค่าลอจิก 1 และโวลเตจทางด้านช่วง +3 โวลต์ ถึง +20 โวลต์ แทนค่าลอจิก 0 ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีความจำเป็นต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์หรือวงจรพิเศษเข้าไป เพื่อเปลี่ยนระดับโวลเตจจากระบบ 0 โวลต์ถึง +5 โวลต์ จากขาสัญญาณของ 8051 เป็นระดับโวลเตจที่สูงกว่าค่า +3.0 โวลต์ หรือ ต่ำกว่า -3.0 โวลต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับสัญญาณแบบ TTL จากขาสัญญาณ TxD และ RxD ของ 8051 จะต้องถูกปรับให้เป็นระดับสัญญาณ RS-232-C ก่อนจะทำการส่งออกไปในสายนำสัญญาณต่อไป ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูลแบบ RS-232-C มีการใช้เส้นสัญญาณติดต่อพื้นฐานระหว่างกันเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ เส้นสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูล (Tx) ให้กับอุปกรณ์อื่น เส้นสัญญาณสำหรับการรับข้อมูล (Rx) ที่ส่งมาจากอุปกรณ์อื่นๆ ไอซีวงจรรวมที่ประกอบด้วยวงจรรับและส่งแบบ RS-232-C อยู่ภายในตัว และต้องการเพียงไฟเลี้ยงขนาด +5 โวลต์ เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากมีวงจรเปลี่ยนระดับโวลเตจ (DC to DC Converter) อยู่ภายในไอซีโดยครบถ้วน ซึ่งทำให้การสร้างวงจรรับ/ส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232-C กระทำได้ง่าย และสะดวกมากยิ่งขึ้น[3]

2.5 กล้องรับภาพแบบ CMOS

คำว่า CMOS นั้น ย่อมาจากคำว่า Complementary Metal Oxide Semiconductor ซึ่งมีพื้นฐานมาจาก เทคโนโลยีการผลิตสารกึ่งตัวนำ มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของการบริโภคพลังงานต่ำ และมีความร้อนสะสมต่ำ โดยการทำงานอาศัยทรานซิสเตอร์พื้นฐานหลายๆ ตัว นิยมมากในการนำมาใช้งานกับอุปกรณ์ประเภท Microprocessor, Microcontroller และ Static RAM

กล้องที่ใช้เทคโนโลยี CMOS นั้นเป็นกล้องที่จัดอยู่ในระดับ Low end หรือกล้องราคาต่ำสำหรับมือใหม่ อีกทั้งยังพบมากในกล้องเก่าๆ ที่ตกทุนไปแล้ว ส่วนกล้องเทคโนโลยี CCD นั้นจะเป็นกล้องที่ออกมาสู่ตลาดในช่วงปัจจุบัน และเป็นกล้องที่มีคุณภาพของภาพถ่ายที่ดีกว่า แต่มีราคาที่สูงขึ้น

ทั้ง CCD และ CMOS นั้นเริ่มต้นจากจุดเดียวกัน นั่นคือ อาศัยหลักการทำงานในการอาศัย Photosite ให้เปลี่ยนแสงที่ตกกระทบให้กลายเป็นอิเล็กตรอน เพื่อบ่งบอกค่าของแสงสีนั้นๆ ภายในตัว Sensor ทั้งสองชนิดนี้จึงประกอบไปด้วย Photosite ขนาดเล็กๆ นับล้านชิ้น เพื่อทำหน้าที่ในการรับแสง ข้อแตกต่างของทั้งสองเทคโนโลยีเกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่ขั้นตอนของการคำนวณค่าของแสงนั้นๆ จากแต่ละ Photosite ในอุปกรณ์ที่ใช้ CCD นั้นจะทำการประจุนั้นๆ โดยตรงในแต่ละ Photosite จากนั้นจะแปลงค่าอนุบาลของแสงที่ตกกระทบให้กลายเป็นค่าดิจิทัล กระบวนการทั้งหมดนี้สามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แตกต่างจาก CMOS ที่ถึงแม้ว่าแต่ละ Photosite จะสามารถประจุนั้นๆ ได้โดยตรงเช่นกัน แต่กระบวนการส่งผ่านข้อมูลเหล่านั้นยังต้องอาศัยสายขนาดเล็กมากๆ เพื่อให้การส่งผ่านข้อมูลเหล่านั้นประมวลผลอีกต่อหนึ่ง

ในกระบวนการนั้น CCD จะใช้กรรมวิธีพิเศษในการสร้าง ความสามารถในการส่งผ่านประจุโดยตรงไปยังตัว chip โดยไม่มีปัญหาในการคัดทอนสัญญาณ ซึ่งด้วยวิธีการนี้จึงต้องอาศัยขบวนการผลิตที่มีคุณภาพที่สูงมากเป็นพิเศษ เพื่อให้ได้ตัวเซนเซอร์ที่มีคุณภาพ และมีความไวต่อแสงอย่างยิ่งยวด ในขณะที่ CMOS นั้นยังอาศัยเทคโนโลยีการผลิตรูปแบบเดิมๆ ที่ผ่านมา และแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก ซึ่งอาศัยเทคนิค เช่นเดียวกับ การผลิต Microprocessor ดังนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยความแตกต่างในเทคโนโลยี และกระบวนการผลิตนี้เอง ทำให้ทั้ง CCD และ CMOS นี้มีต้นทุนในการผลิต และมีคุณภาพของการประมวลผลที่แตกต่างกันไปด้วย



รูปที่ 2.10 กล้อง CMOS

เปรียบเทียบ CCD กับ CMOS

- CCD Sensor ถูกสร้างด้วยเทคโนโลยี และกรรมวิธีการผลิตขั้นสูง ทำให้ไม่มีปัญหาในการรบกวนของสัญญาณภาพ ในขณะที่ CMOS นั้นอาศัยกระบวนการเก่าๆ ในการผลิต อีกทั้งยังเต็มไปด้วยสัญญาณรบกวนที่จะลดทอนคุณภาพของภาพได้

- แต่ละ Photosite ของ CMOS นั้นจะประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์จำนวนมากที่วางเรียงติดกันอยู่ ทำให้ปัญหาในการส่งผ่านข้อมูลมีความผิดพลาดสูง อีกทั้งที่ cell รับแสงนั้นยังมีความไวต่อแสงน้อยกว่า เทคโนโลยี CCD

- อุปกรณ์ CCD นั้นมีอัตราบริโภคพลังงานสูงกว่า CMOS นั้นเพราะว่า มันต้องอาศัยการประจุอิเล็กตรอนโดยตรง เพื่อทำให้เกิดสัญญาณ และค่าดิจิตอลถ่ายทอดออกไปได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วมีอัตราสูงกว่า 100 เท่าทีเดียวเมื่อเทียบกับ CMOS

- การผลิต CMOS sensor นั้นสามารถพิมพ์ลายวงจรลงบนแผ่นเวเฟอร์ ซิลิคอน มาตรฐานแทบทุกชนิดได้ ในขณะที่ CCD นั้นจะต้องอาศัยแผ่นซิลิคอนที่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษ เพื่อทำการผลิต และเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตแตกต่างกัน

- อายุการใช้งาน แม้ว่ากล้อง CMOS จะมีการสะสมความร้อนที่ต่ำกว่า แต่ด้วยมาตรฐานการผลิตที่สูงกว่า ของ CCD ทำให้อายุการใช้งานของกล้อง CCD ที่ผลิตจากโรงงานที่น่าเชื่อถือสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าเช่นกัน [7]

ด้วยความแตกต่างกันในหลายๆ ด้านนี้เองทำให้คุณจะได้เห็น CCD Sensor นี้อยู่ในเฉพาะกล้องที่เป็นเอกสารที่สูงๆ ใต้อายุการใช้งานที่ถือการศึกษานานๆ ในอนาคตให้เข้าไปประโยชน์ด้านการค้า กล้องดิจิตอลรุ่นใหม่ ๆ ระดับมืออาชีพ ซึ่งให้ความสมจริงของภาพ และมีความละเอียดสูง ในขณะที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ CMOS Sensor นั้นส่วนใหญ่ มักพบในกล้องดิจิทัลมือสมัครเล่นหรือในระดับ Low end ซึ่งมีราคาไม่แพงนัก แต่ไม่อาจคาดหวังถึงความละเอียด และคุณภาพของภาพถ่ายในระดับมืออาชีพได้ อย่างไรก็ตามตอนนี้ผู้ผลิต CMOS Sensor รายใหญ่กำลังพัฒนา และปรับปรุงเพื่อให้คุณภาพของ CMOS ก้าวขึ้นเทียบเคียงกับ CCD ได้[4]

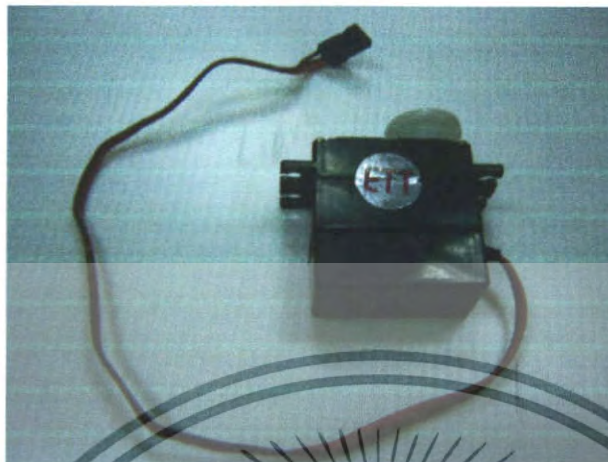
2.6 เซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ ก็คือ มอเตอร์ไฟตรงธรรมดาที่สามารถปรับองศาของแกนได้โดยอาศัยการส่งความกว้างพัลส์ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ ถ้าความกว้างพัลส์ยิ่งกว้างมอเตอร์ก็ยิ่งหมุนไปมากทำให้องศาเพิ่มขึ้น เมื่อความกว้างพัลส์เปลี่ยนองศาของมอเตอร์ก็จะเปลี่ยน เซอร์โวมอเตอร์ใช้มากในงานควบคุม เช่น ในรถบังคับวิทยุ และหุ่นยนต์ เป็นต้น

เซอร์โวมอเตอร์จะใช้การป้อนกลับจากค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ติด(หรือทดเฟือง) กับแกนมอเตอร์ ผ่านวงจรควบคุม เซอร์โวมอเตอร์บางตัวจะมีภาคไคร์ฟอยอยู่ในตัวด้วย ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน โดยใช้สาย 3 เส้น คือ ไฟเลี้ยงบวก ไฟเลี้ยงลบ สายสัญญาณควบคุม

การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์จะใช้การตรวจจับค่าความเปลี่ยนแปลงโดยผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนได้มุมที่ต้องการ มันจะหยุดหมุนเนื่องจากค่าความต้านทานได้เปลี่ยนไปจนกระทั่งค่าความต่างระหว่างสัญญาณภายในที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นศูนย์ นั่นก็คือ เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหยุดหมุน และ จะหมุนอีกครั้งเมื่อเราส่งสัญญาณควบคุมค่าใหม่เข้าไป โดยปกติเซอร์โวมอเตอร์มักจะหมุนในช่วง 180 องศาแต่มีบางรุ่นที่หมุนได้ถึง 210 องศา

การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จำเป็นต้องจ่ายสัญญาณควบคุมเข้าไปที่ขาควบคุมของเซอร์โวมอเตอร์ โดยเราจะควบคุมแบบใช้ความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) ซึ่งจะพบว่ายิ่งความกว้างพัลส์มีมากก็ทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปมากตามด้วย โดยปกติเซอร์โวมอเตอร์ทั่วไปจะใช้ค่าความกว้างพัลส์เท่ากับ 1.5 ms เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนไปในตำแหน่ง 0-90 องศา แต่ถ้าจ่ายค่าความกว้างพัลส์มากกว่า 1.5 ms เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนไปในตำแหน่งที่มากกว่า 90 องศา นั่นก็คือ 90-180 องศา แต่อย่างไรก็ตามเซอร์โวมอเตอร์บางตัวอาจจะใช้ค่าความกว้างพัลส์ในการควบคุมต่างไปจากนี้ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิต[5]



รูปที่ 2.11 เซอร์โวมอเตอร์

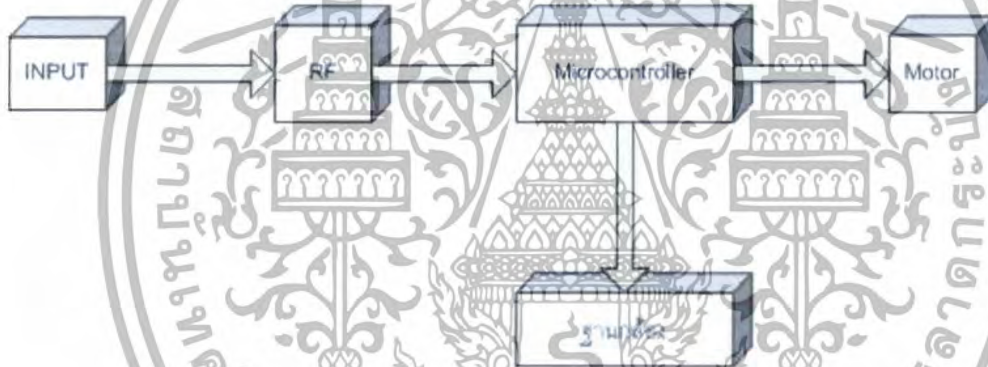


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบโครงงานในส่วนต่างๆ เช่น การออกแบบวงจรของหุ่นยนต์พร้อมการออกแบบอินเตอร์เฟซที่ใช้ในการควบคุมตัวหุ่นยนต์, การออกแบบส่วนการรับ และส่งภาพ, การออกแบบส่วนประมวลผลภาพ 3 มิติ บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบวงจรควบคุมหุ่นยนต์แสดงดังรูปที่ 3.1 และบล็อกไดอะแกรมส่วนการทำงานของการฉายภาพ 3 มิติแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานส่วนของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานส่วนของการฉายภาพ 3 มิติ

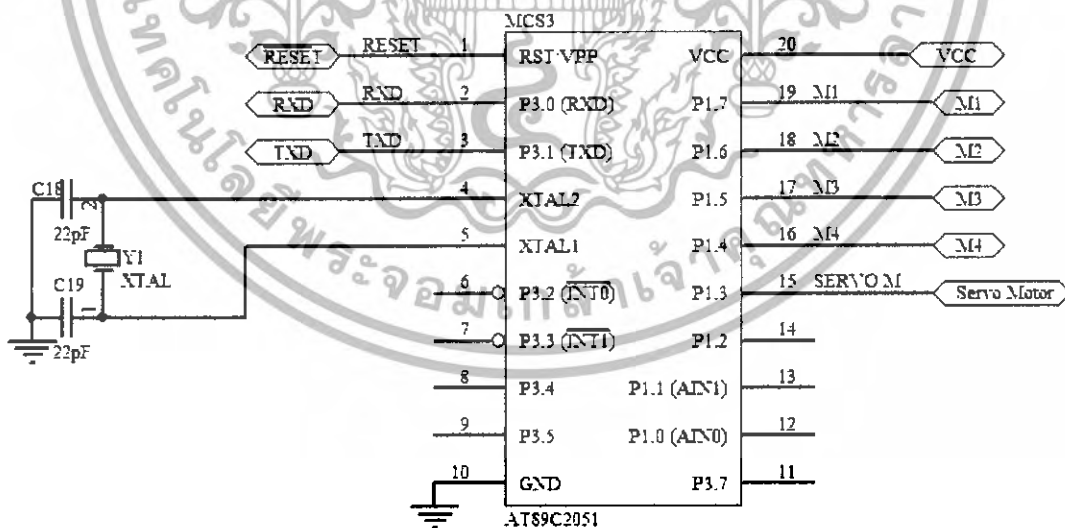
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบวงจรหุ่นยนต์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของตัวหุ่นยนต์ทั้งแบบวงจรรวม และแยกวงจร โดยจะกล่าวถึงการต่อวงจร และการทำงานอย่างคร่าวๆ ไว้

3.1.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051

ไอซี AT89C2051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผล และส่งค่าเพื่อไปที่ไอซี L298 เพื่อทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หมุนตามคำสั่งที่ต้องการ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้ จะมี หน่วยความจำโปรแกรม 2 กิโลไบต์ และมีหน่วยความจำข้อมูล 128 ไบต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้มีทั้งหมด 20 ขา โดยขาที่ 1 เป็นขา รีเซ็ต ขาที่ 2 เป็นขา RXD ขาที่ 3 จะเป็นขาที่รับข้อมูลจากเครื่องรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุเข้ามาเพื่อประมวลผล ขาที่ 4 จะเป็นขา TXD ขาที่ 5 จะเป็นขา XTAL2, XTAL1 ตามลำดับ ขาทั้งสองนี้ใช้ต่อกับวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาที่ 10 จะต่อลงกราวด์ ขาที่ 20 จะต่อกับไฟ 5 โวลต์เพื่อจ่ายกระแสไฟให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาที่ 16-19 เป็นขาที่ใช้ควบคุมการวิ่งของมอเตอร์ ในที่นี้จะเป็ค่าที่ส่งออกมาจะมีค่า 0 โวลต์หรือ 5 โวลต์ ตามที่เราเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

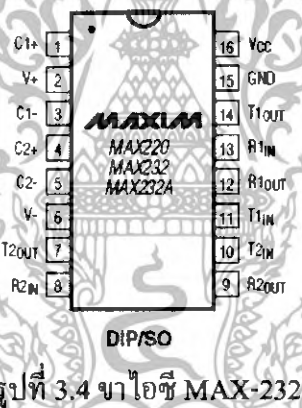


รูปที่ 3.3 การต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C2051

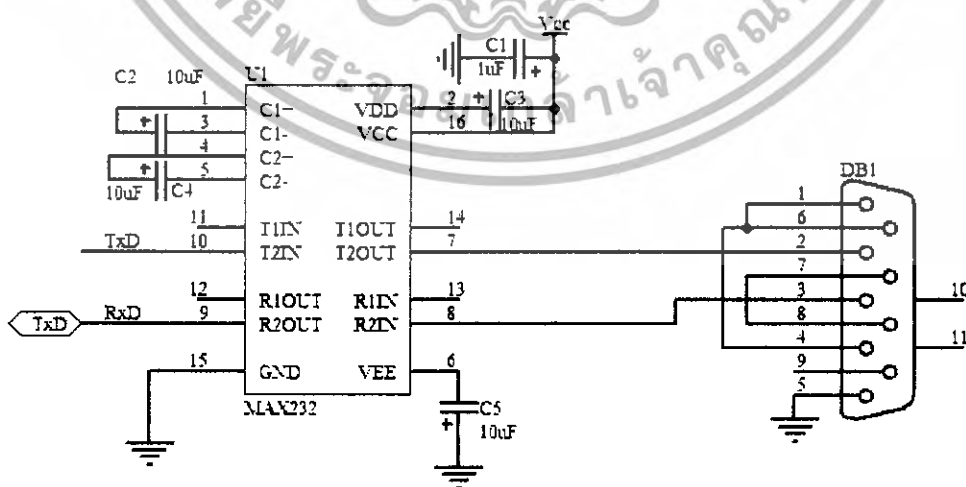
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายในส่วนอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำวงจรถูกเชื่อมต่อสัญญาณมาตรฐานแบบ RS-232-C ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ สำหรับโครงการนี้ได้เลือกใช้ไอซี MAX232 ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณมาตรฐาน RS-232-C จากที่ได้กล่าวไว้ว่าการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานแบบ RS-232-C จะกำหนดให้ระดับแรงดันไฟ เป็น +3 โวลต์ ถึง +20 โวลต์ แทนสัญลักษณ์ลอจิก 0 และ -3 โวลต์ ถึง -20 โวลต์ แทนสัญลักษณ์ลอจิก 1 แต่แหล่งจ่ายแรงดันในวงจรมีแรงดันสูงสุดเพียง +5 โวลต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอซี MAX232 เนื่องจากไอซีชนิดนี้ต้องการไฟเลี้ยงเพียง +5 โวลต์เท่านั้นแต่สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตออกมา +10 โวลต์ และ -10 โวลต์ได้ โดยใช้หลักการของวงจรทวีแรงดันขนาด 2 เท่า โดยมีลักษณะของวงจรถังนี้ รูปไอซี MAX-232แสดงดังรูปที่ 3.4 รูปการต่อวงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมโดยใช้ไอซี MAX-232-C โดยแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ขา ไอซี MAX-232

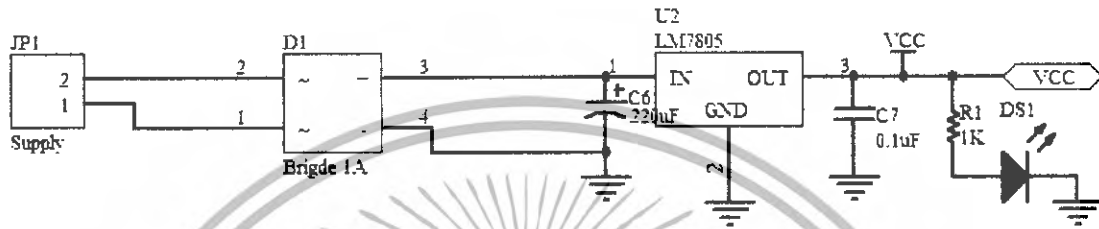


รูปที่ 3.5 การต่อวงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วงจร Regulator

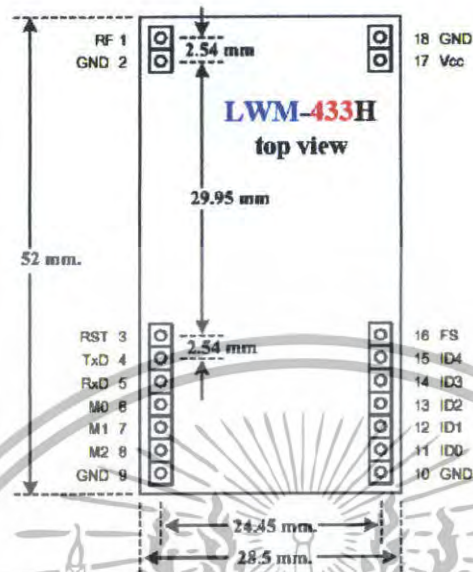
เป็นวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมแรงดันให้คงที่หรือที่เรียกว่าวงจรกรองแรงดันโดยจะตัดแรงดันที่เหลือเพียง 5 โวลต์ เพื่อที่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไอซีที่ใช้ทำหน้าที่ดังกล่าวคือ ไอซี LM7805 ทั้งนี้ยังได้มีการเพิ่มบริดจ์ไดโอดเข้าไปเพื่อป้องกันการต่อไฟเลี้ยงสลับขั้วอีกด้วย รูปการต่อวงจร Regulator แสดงดังรูปที่ 3.6



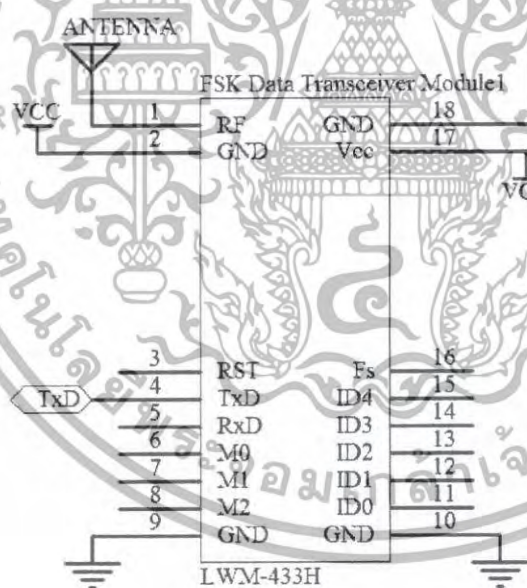
รูปที่ 3.6 วงจร Regulator

3.1.4 วงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ

เป็นวงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นคลื่นวิทยุส่งออกไป ทำการมอดูเลชันกับตัวกลาง โดยใช้ หลักการมอดูเลชันเชิงความถี่ (Frequency Modulation) โดยภายในโครงงานได้เลือกใช้ เครื่องรับส่งความถี่ LWM-433H ซึ่งส่งไปในย่านความถี่ 433 เมกกะเฮิรตซ์ ต้องใช้ ตัวรับส่งความถี่ 2 ตัว ตัวหนึ่งทำหน้าที่ส่ง อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่รับ โดยแต่ละตัวสามารถใช้งานได้ทั้งภาคส่ง และภาครับขึ้นอยู่กับการใช้งาน การทำงานของ LWM-433H นั้นเริ่มด้วยจ่ายไฟให้ขา 18 ขา V_{CC} เมื่อทำการส่งข้อมูลที่จะส่งจะส่งมายังขา 5 และผ่านการเข้ารหัสแบบ Manchester จากนั้นผ่านออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) และแอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) จึงจะส่งออกเป็นสัญญาณคลื่นวิทยุที่สายอากาศขาที่ 1 กรณีรับสัญญาณ จะรับสัญญาณคลื่นวิทยุเข้ามาทางสายอากาศที่ขา 1 แล้วผ่านมิกเซอร์ (Mixer) กับ IF Filter แล้วทำการถอดรหัสแบบ Manchester ส่งเข้าวงจรทางขา 4 รูปขาตัวรับส่งความถี่ LWM-433H แสดงดังรูปที่ 3.7 และรูปการต่อวงจรรับส่งสัญญาณวิทยุ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ขาดั้วรับส่งความถี่ LWM-433H

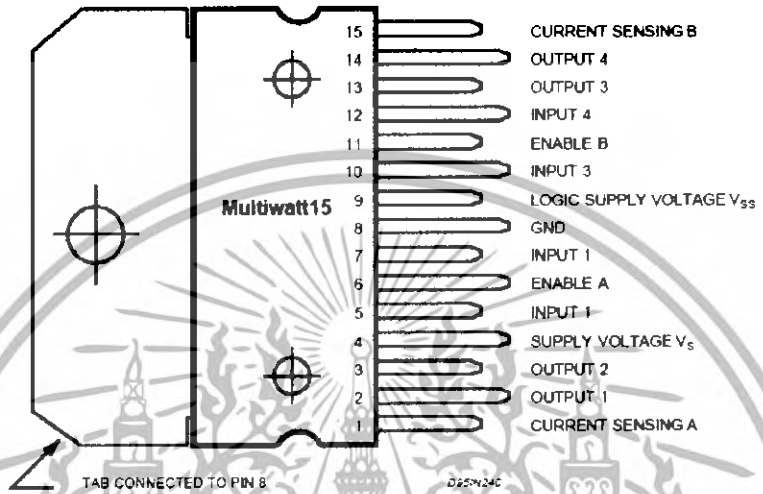


รูปที่ 3.8 การต่อวงจรรับส่งคลื่นวิทยุ

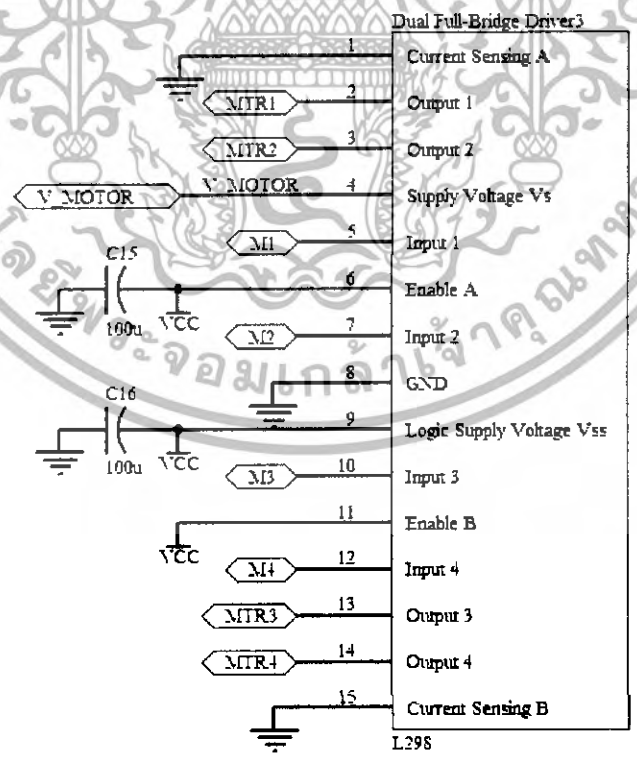
3.1.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เป็นวงจรที่ไว้ใช้ควบคุมมอเตอร์โดยจะใช้ ขาเอาต์พุตที่มีอยู่ 4 ช่อง ควบคุมมอเตอร์ได้ 2 ตัว สามารถควบคุมมอเตอร์ให้หมุนย้อนกลับได้โดยกลับขั้วไฟ ในส่วนของโครงการนี้เลือกใช้ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์เป็นไอซีเบอร์ L298 ไอซี L298-Dual-Full-Bridge-Driver เป็นไอซีที่มีหน้าที่สำหรับขับมอเตอร์โดยจะมีการต่อขา 5, 7, 10, 12 กับ Microcontroller ซึ่งในที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ชื่อว่า ATmega328P โดยจะนำเอาขา 5, 7, 10, 12 ไปใช้เพื่อขับมอเตอร์ตามการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AT89C2051 เพื่อควบคุมการทำงานของ L298 และต่อขา 2, 3, 13, 14 กับ มอเตอร์เพื่อจ่ายไฟให้มอเตอร์ ซึ่งจะมีขา 9 ต่อไฟ 5 V. เพื่อจ่ายไฟให้ Logics Blocks และขา 4 ต่อไฟ 12 V. สำหรับจ่ายไฟให้มอเตอร์ รูปไอซี L298 แสดงดังรูปที่ 3.9 และการต่อวงจรขับมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 ขาไอซี L298



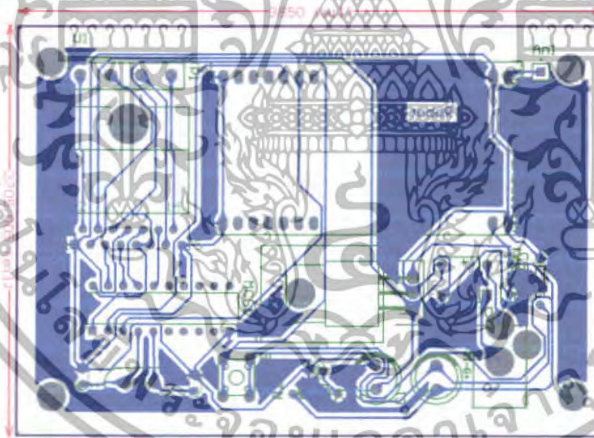
รูปที่ 3.10 การต่อวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจรรวม

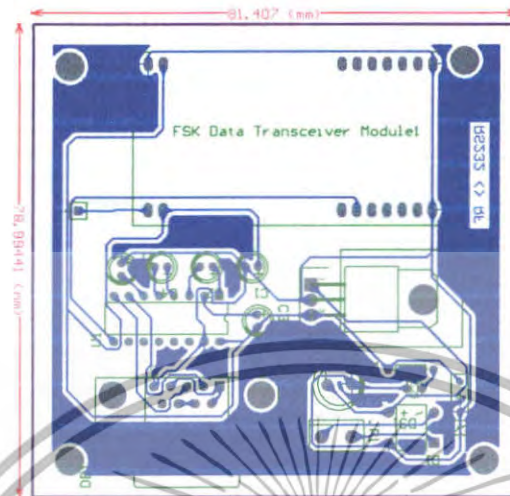
เริ่มต้นโดยการอินพุตค่าทาง PC แล้วค่าจะถูกส่งมายังวงจรส่งข้อมูลโดยอาศัยการเชื่อมต่อของ วงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม ในการแปลงแรงดันไฟ จาก -3 โวลต์ ถึง -20 โวลต์ที่ใช้กันในการสื่อสารแบบพอร์ตอนุกรมให้เป็น 0 โวลต์ ถึง +5 โวลต์ ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป มีวงจร Regulator ช่วยกรองแรงดันอีกไม่ให้เป็น +5 โวลต์ ไม่เช่นนั้นจะทำให้วงจรเกิดความเสียหาย จากนั้นจะส่งไปที่วงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในภาคส่ง ส่งผ่านอากาศ มาถึงวงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในภาครับ ซึ่งอยู่บนตัวหุ่นยนต์ วงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในภาครับจะทำการถอดรหัสสัญญาณคลื่นวิทยุที่ได้ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลตามที่ได้โปรแกรมร่วมกับอินพุตที่ป้อนเข้ามาอาศัยวงจรจับมอดูเลเตอร์ช่วยจับมอดูเลเตอร์ให้หมุนตามที่อินพุตค่ามาบวกกับที่ได้โปรแกรมไว้ ยังคงมีวงจร Regulator ช่วยกรองแรงดันอีก

นำวงจรรวมมาทำเป็นลายแผ่น PCB โดยใช้โปรแกรม Protel99 SE จะ ได้ผลตามรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 PCB วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์และรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



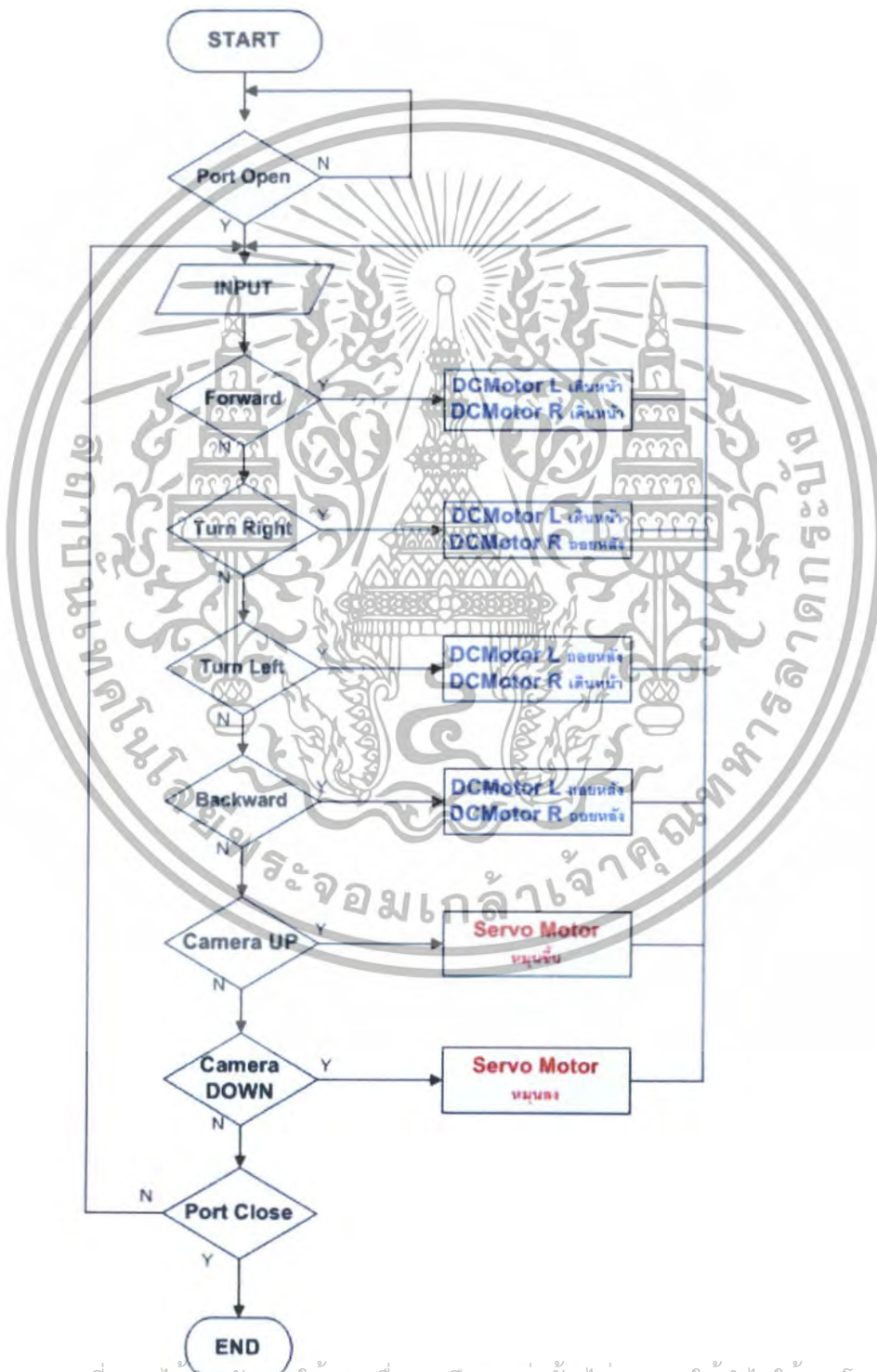
รูปที่ 3.12 ภาย PCB วงจรส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

3.2.1 โครงสร้างการทำงานโดยรวมของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

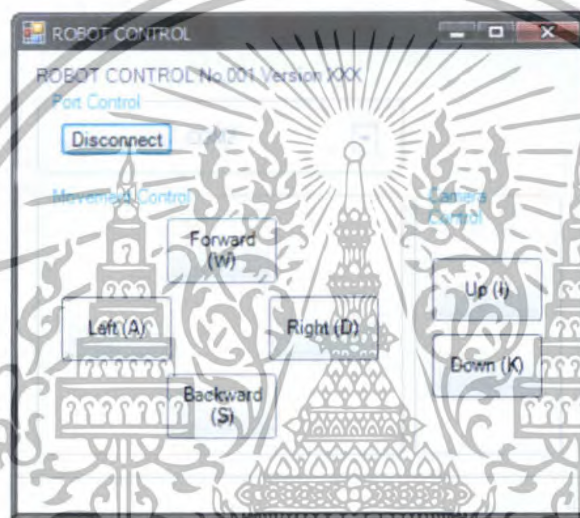
โครงสร้างการทำงานโดยรวมของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.13 กระบวนการทำงานทางด้านซอฟต์แวร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนติดต่อผู้ใช้เป็นส่วนที่คอยรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเคลื่อนที่ของกล้องได้ ซึ่งส่วนติดต่อผู้ใช้ที่พัฒนาขึ้นสามารถป้อนคำสั่งได้ทั้งคลิกผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้ หรือ สามารถใช้เป็นพิมพ์บังคับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเคลื่อนที่ของกล้องได้ทั้งสองแบบ เราได้ใช้ภาษา Visual C# ในการพัฒนาขึ้นซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ส่วนติดต่อของผู้ควบคุมโปรแกรม

3.3 การออกแบบส่วนการรับและส่งข้อมูลภาพ

การออกแบบส่วนการรับ และส่งข้อมูลภาพของโครงการที่ได้ออกแบบไว้เป็นดังรูปที่ 3.15 ประกอบด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์รับและส่งข้อมูลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการรับ และส่งข้อมูลภาพมีดังต่อไปนี้

3.3.1.1 กล้อง CMOS

กล้อง CMOS ที่ใช้เป็นกล้องมีสายที่มีขนาดเล็กมักจะใช้ในระบบกล้องวงจรปิด กินไฟน้อย สามารถต่อเข้ากับโทรทัศน์ผ่านสายเอวีได้ ให้ภาพที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ และไม่มีควมไวต่อแสง



รูปที่ 3.16 กล้อง CMOS ขนาดเล็กที่ใช้ในโครงการ

3.3.1.2 เครื่องรับส่งภาพ Room to Room

อุปกรณ์เครื่องรับส่งภาพ Room to Room เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้กล้องมีสายสามารถส่งข้อมูลภาพแบบไร้สายได้ Room to Room ใช้คลื่นความถี่พาหะขนาด 2.4 GHz มีช่องสัญญาณทั้งหมด 4 ช่องซึ่งทั้ง 4 ช่องสามารถรับ และส่งได้โดยไม่รบกวนกัน ตามรายละเอียดที่ระบุมา ระยะทางการส่งในที่โล่งแจ้งอยู่ระหว่าง 1000-3000 m

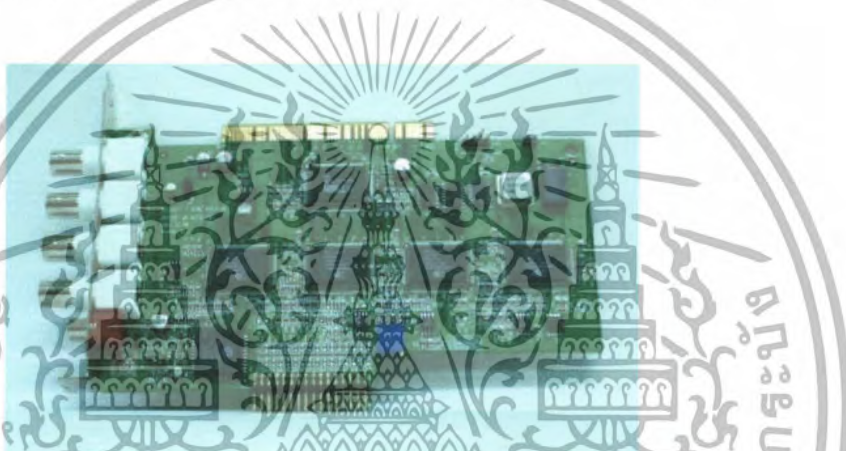


รูปที่ 3.17 เครื่องรับส่งภาพ Room to Room

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 การ์ดบันทึกวีดิโอดิจิทัล

การ์ดบันทึกวีดิโอดิจิทัลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพวีดิโอที่ใช้กันทั่วไปตามร้านค้าที่มีการรักษาความปลอดภัย เช่น ร้านทอง, มินิมาร์ทต่างๆ สามารถบันทึกได้ภาพจากกล้องหลายตัวในเวลาเดียวกัน และยังสามารถรับสัญญาณได้ทั้งจากกล้องสัญญาณอนาล็อก และกล้องสัญญาณดิจิทัลอีกด้วย ตัวการ์ดที่ใช้ เลือกใช้การ์ดขนาด 100 เฟรม หนึ่ง ขนาด 100 เฟรมที่ระบุในการ์ดนั้นเป็นจำนวนเฟรมที่ใช้ร่วมกันทุกกล้อง การ์ดบันทึกวีดิโอดิจิทัลที่ใช้นั้นมีคุณสมบัติที่ต้องใช้งานคู่กับ เมนบอร์ดที่ใช้ชิพอินเทล และต้องมี การ์ดจอด้วย มิฉะนั้นจะ ไม่สามารถทำงานได้



รูปที่ 3.18 การ์ดบันทึกวีดิโอดิจิทัล

3.3.1.4 สายเอวี

สายเอวี เป็นสายที่ใช้รับส่งสัญญาณวีดิโอซึ่งใช้กันทั่วไป สายมาตรฐานจะมี 3 เส้น 3 สี ซึ่ง สีเหลือง ใช้สำหรับส่งสัญญาณภาพ สีขาว และสีแดง ใช้สำหรับส่งสัญญาณเสียง



รูปที่ 3.19 สาย AV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรับภาพนั้นเลือกใช้โปรแกรม Dignet Center ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มาพร้อมกับการ์ดบันทึกวีดิโอ ทั้งนี้เนื่องจากตัวการ์ดบันทึกวีดิโอชนิดจิจิตอลนั้นไม่สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นได้เลยนอกจากโปรแกรมที่ให้มากับเครื่อง



รูปที่ 3.20 โปรแกรม Dignet Center

3.4 การออกแบบส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ

ในส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิตินั้นใช้ภาพที่ได้จากการ์ดบันทึกของส่วนการรับและการส่งภาพ ซึ่งการออกแบบส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติของโครงการได้ออกแบบไว้เป็นดังรูปที่ 3.21 ประกอบด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และใช้ซอฟต์แวร์ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ของเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

3.4.1.1 จอภาพ 120 เฮิรตซ์

การประมวลผลภาพสเตอริโอ 3 มิติ ที่สามารถแสดงผลที่ชัดเจนนั้นต้องอาศัยการสลับภาพด้วยความถี่ 120 เฟรมต่อวินาที ดังนั้นจอภาพที่นำมาแสดงผลจึงจำเป็นต้องสามารถทำงานที่ความถี่ 120 Hz ได้



รูปที่ 3.22 จอภาพ 120 เฮิรตซ์

3.4.1.2 ชุดแว่นชัตเตอร์กลาสและอิมิตเตอร์

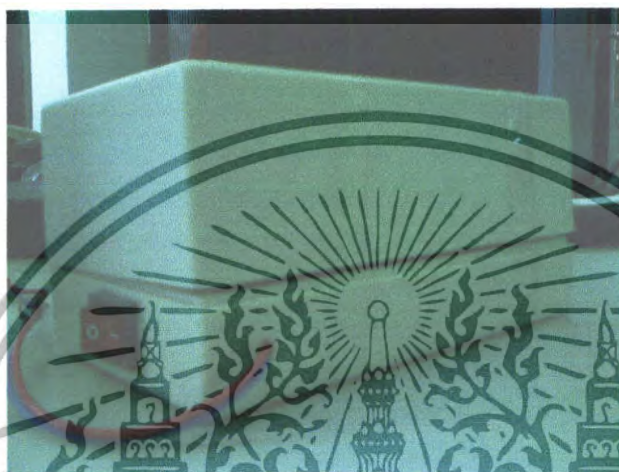
แว่นตาชัตเตอร์กลาสเป็นแว่นที่ใช้ในงานทางด้าน 3 มิติ ทำงานโดยการรับสัญญาณจากตัวอิมิตเตอร์มาแล้วสลับการแสดงผลทางเลนส์ข้างขวา และข้างซ้ายตามสัญญาณที่อิมิตเตอร์ส่งมาให้ สัมพันธ์กับภาพที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ หรือ ฉากรับภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 ชุดปรับความเข้ากันของสัญญาณ

ชุดปรับความเข้ากันของสัญญาณทำหน้าที่ปรับสัญญาณที่ส่งจากการ์ดจอให้เข้ากับรูปแบบการส่งสัญญาณของชุดแว่นซีทีเตอร์กลาสและอิมิตเตอร์



รูปที่ 3.24 ชุดปรับความเข้ากันของสัญญาณ

3.4.2 ซอฟต์แวร์

ในการประมวลผลภาพ 3 มิติ เราได้ทำเลือกที่จะประมวลผลภาพสเตอริโอแบบ พาสซีฟซึ่งเลือกใช้โปรแกรม StereoMovie Maker ในการประมวลผลภาพ โปรแกรมจะให้เลือกไฟล์วิดีโอจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งแล้วประมวลผลแสดงเป็นภาพสเตอริโอ



รูปที่ 3.25 โปรแกรมประมวลผลภาพสเตอริโอ StereoMovie Maker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทำงานของหุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ นั้นมีรูปแบบให้ผู้ใช้สามารถควบคุมหุ่นยนต์วิ่งไปสำรวจ และส่งสัญญาณภาพผ่านเครื่องรับส่งภาพที่ติดตั้งไว้บนหุ่นยนต์ มาบันทึกไว้ที่คอมพิวเตอร์ และนำภาพที่บันทึกได้มาประมวลผลตามหลักของภาพสเตอริโอ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองต่างๆ ในแต่ละส่วนของหุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ นั่นก็คือ การทดลองวงจรหุ่นยนต์, การทดลองส่วนการรับ และส่งข้อมูลภาพ, การทดลองส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ



รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์สำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 มุมมองบุคคลบังคับรถผ่านหน้าจอ Interface

4.1 การทดลองวงจรหุ่นยนต์และฐานกลิ้ง

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับส่วนในวงจรหุ่นยนต์ และฐานกลิ้งซึ่งประกอบด้วยการทดลองควบคุมหุ่นยนต์, ฐานกลิ้ง และการทดลองระบะการควบคุมหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดลองควบคุมหุ่นยนต์และฐานกล้อง

4.1.1.1 วิธีการทดลอง

ใช้ส่วนติดต่อผู้ใช้ที่สร้างขึ้นดังรูปที่ 3.14 ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และฐานกล้องผ่านวงจรควบคุมว่าสามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่โดย

- คลิกปุ่ม Forward หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “W” หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
- คลิกปุ่ม Left หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “A” หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่ไปทางซ้าย
- คลิกปุ่ม Right หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “D” หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่ไปทางขวา
- คลิกปุ่ม Backward หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “S” หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่ถอยหลัง
- คลิกปุ่ม Up หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “I” ฐานกล้องต้องเคลื่อนที่เงยขึ้น
- คลิกปุ่ม Down หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “K” ฐานกล้องต้องเคลื่อนที่ก้มลง

4.1.1.2 ผลการทดลอง

- คลิกปุ่ม Forward หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “W” หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
- คลิกปุ่ม Left หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “A” หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย
- คลิกปุ่ม Right หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “D” หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปทางขวา
- คลิกปุ่ม Backward หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “S” หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ถอยหลัง
- คลิกปุ่ม Up หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “I” ฐานกล้องสามารถเคลื่อนที่เงยขึ้น
- คลิกปุ่ม Down หรือ กดเป็นพิมพ์อักษร “K” ฐานกล้องสามารถเคลื่อนที่ก้มลง

จากการทดลองสามารถควบคุมหุ่นยนต์ และฐานกล้องให้เคลื่อนที่ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองระยะการควบคุมหุ่นยนต์และฐานกล้อง

ในขั้นตอนนี้จะทดลองว่าสามารถควบคุมหุ่นยนต์ และฐานกล้องได้มากที่สุดถึงระยะเท่าใด พร้อมทั้งสังเกตว่าที่ระยะทางที่ต่างกัน การควบคุมจะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างไร

4.1.2.1 วิธีการทดลอง

ทดลองบังคับหุ่นยนต์ และฐานกล้องผ่านวงจรควบคุมโดยผู้ควบคุมอยู่กับที่ และทดลองควบคุมในระยะที่ต่างกัน สังเกตลักษณะการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ และฐานกล้องว่าเป็นเช่นไร

4.1.2.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองระยะการบังคับหุ่นยนต์ เมื่อนำคอมพิวเตอร์ที่จะควบคุมตัวหุ่นยนต์ และตัวหุ่นยนต์ มาลองส่งสัญญาณควบคุมในที่โล่งแจ้งไม่มีอะไรขวางกั้น แล้วทำการบันทึกผลระยะทาง และลักษณะการวิ่งของหุ่นยนต์ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระยะการบังคับหุ่นยนต์

ระยะทาง (เมตร)	ลักษณะการวิ่งของหุ่นยนต์
0-10	เคลื่อนที่ได้ปกติ
10-20	เคลื่อนที่ได้ปกติ
20-30	เริ่มมีอาการชะงักบ้างเล็กน้อย
30-40	เริ่มมีอาการชะงักบ้างเล็กน้อย
40-50	มีอาการชะงัก
50-60	มีอาการชะงัก
60-70	มีอาการชะงัก
70-80	มีอาการชะงักถี่มาก
80-90	มีอาการชะงักถี่มาก
90-100	ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองระยะการควบคุมหุ่นยนต์ และฐานกลิ้งที่ผ่านมาสามารถควบคุมหุ่นยนต์ ได้ดีในระยะประมาณ 20 เมตร เมื่อระยะทางมากขึ้นการควบคุมหุ่นยนต์ และฐานกลิ้งก็จะเริ่มมีอาการชะงักมากขึ้น จนเมื่อถึงระยะประมาณ 100 เมตรจะไม่สามารถควบคุมหุ่นยนต์ และฐานกลิ้งได้

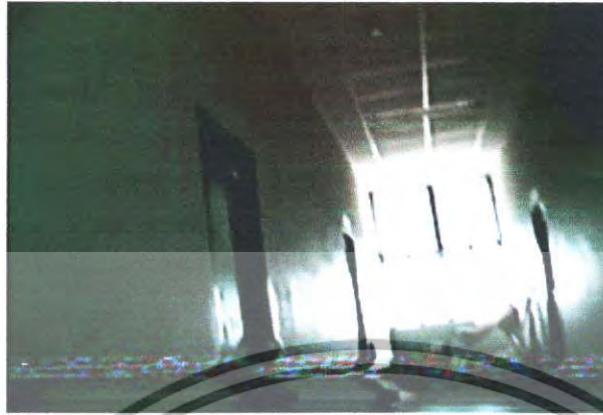
4.2 การทดลองส่วนการรับและส่งข้อมูลภาพ

ในส่วนของการรับ และส่งข้อมูลภาพนั้นสิ่งที่ต้องการทราบจากการทดลองคือ ระยะสูงสุดที่เครื่องรับส่งข้อมูลภาพยังสามารถรับ และส่งกันได้, ภาพที่รับมาในระยะต่างๆมีลักษณะเป็นเช่นไร มีสัญญาณรบกวนหรือไม่ และถ้ามีสัญญาณรบกวนจะมีมากน้อยเท่าไร, ขณะที่หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ภาพที่ส่งมามีลักษณะเป็นเช่นไร โดยจะแบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณี คือ ทดลองในที่โล่งแจ้ง และทดลองในที่ปิด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนั้นสามารถแบ่งสัญญาณรบกวนออกมาได้เป็น ไม่มีสัญญาณรบกวน, มีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย, มีสัญญาณรบกวนปานกลาง และมีสัญญาณรบกวนมาก แสดงดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 การรับ และส่งภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การรับและส่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ



รูปที่ 4.5 การรับและส่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนปานกลาง



รูปที่ 4.6 การรับและส่งภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ทดลองการรับและการส่งภาพวิดีโอในที่โล่งแจ้ง

4.2.1.1 วิธีการทดลอง

1. นำชุดอุปกรณ์การรับสัญญาณภาพมาประกอบเข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วนำมาวางไว้ในที่โล่งแจ้ง
2. นำชุดอุปกรณ์การส่งสัญญาณภาพวางไว้บนรถจักรยานยนต์
3. ขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์แล้วสังเกตภาพวิดีโอที่เปลี่ยนแปลงจากคอมพิวเตอร์
4. บันทึกผลการทดลอง

4.2.1.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 การทดลองการรับและการส่งภาพวิดีโอในที่โล่งแจ้ง

ระยะทาง (เมตร)	ลักษณะภาพวิดีโอบนคอมพิวเตอร์
0-20	มีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย
20-40	มีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย
40-60	มีสัญญาณรบกวนปานกลาง
60-80	มีสัญญาณรบกวนปานกลาง
80-100	มีสัญญาณรบกวนปานกลาง
100-120	มีสัญญาณรบกวนมาก
120-140	มีสัญญาณรบกวนมาก
140-160	มีสัญญาณรบกวนมาก
160-180	มีสัญญาณรบกวนมาก
180-200	มีสัญญาณรบกวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ทดลองการรับและการส่งภาพวิดีโอในที่ปิด

4.2.2.1 วิธีการทดลอง

1. นำชุดอุปกรณ์การรับสัญญาณภาพมาประกอบเข้ากับคอมพิวเตอร์แล้ววางไว้ในห้องปิด
2. นำชุดอุปกรณ์การส่งสัญญาณภาพไว้นอกห้อง
3. เคลื่อนอุปกรณ์การส่งสัญญาณภาพแล้วสังเกตภาพวิดีโอที่เปลี่ยนแปลงจากคอมพิวเตอร์
4. บันทึกผลการทดลอง

4.2.2.2 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการรับและการส่งภาพวิดีโอในสถานที่ปิด

ระยะทาง (เมตร)	ลักษณะภาพวิดีโอบนคอมพิวเตอร์
0-10	มีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย
10-20	มีสัญญาณรบกวนปานกลาง
20-30	มีสัญญาณรบกวนปานกลาง
30-40	มีสัญญาณรบกวนมาก
40-50	มีสัญญาณรบกวนมาก
50-60	มีสัญญาณรบกวนมาก
60-70	มีสัญญาณรบกวนมาก
70-80	มีสัญญาณรบกวนมาก
80-90	มีสัญญาณรบกวนมาก
90-100	มีสัญญาณรบกวนมาก

4.3 การทดลองส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ

ในส่วนการทดลองส่วนการประมวลผลภาพ 3 มิติ จะทดลองโดยการวางกล้องในลักษณะที่ทำให้เกิดภาพสเตอริโอแบบ 3 มิติ ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ การวางกล้องแบบขนาน และการวางกล้องแบบรวมจุด เพื่อศึกษาลักษณะภาพ 3 มิติที่เกิดขึ้นว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ทดลองประมวลผลภาพ 3 มิติด้วยการวางกล้องแบบขนาน

การวางกล้องในแนวขนาน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของการเกิดภาพ 3 มิติที่สามารถแก้ไขได้นั้นก็คือ ระยะห่างระหว่างกล้อง 2 ตัว โดยระยะที่ทำการทดลองนั้นเป็นระยะห่างระหว่างตาทั้ง 2 ข้าง ซึ่งใกล้ที่สุดมีระยะประมาณ 4 เซนติเมตร จนถึง ใกล้ที่สุดมีระยะประมาณ 8 เซนติเมตร



รูปที่ 4.7 การวางกล้องแบบขนาน

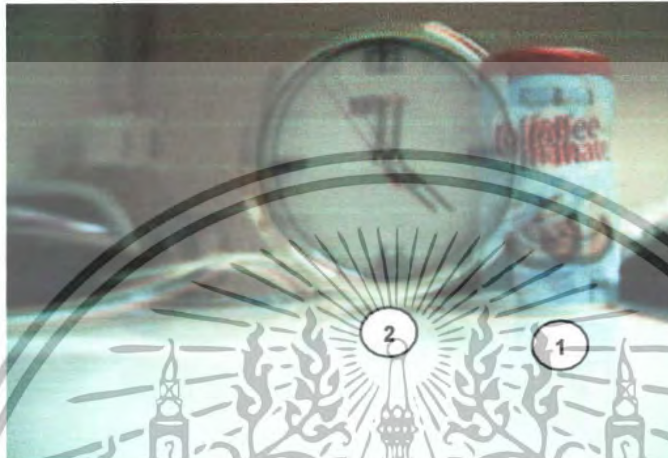
4.3.1.1 วิธีการทดลอง

1. นำกล้อง 2 ตัวที่มีลักษณะเดียวกันมาวางขนานกัน โดยให้อยู่ในระนาบเดียวกันซึ่งมีระยะห่างระหว่างกล้องเท่ากับ 4 เซนติเมตร
2. บันทึกภาพที่ได้จากกล้อง 2 ตัว ในช่วงเวลาเดียวกัน
3. นำภาพที่ได้จากกล้อง 2 ตัวมาซ้อนทับกัน โดยใช้โปรแกรม Stereo Movie Maker
4. สังเกตภาพที่ได้ผ่านแว่นชัตเตอร์กลาส และชุดอิมิตเตอร์
5. ทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 แต่เปลี่ยนระยะห่างระหว่างกล้องเป็น 5, 6, 7 และ 8 เซนติเมตรตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 ผลการทดลอง

4.3.1.2.1 กล้องห่างกัน 4 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 4 เซนติเมตร

จากการทดลอง จะเห็นว่าวัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 เป็นภาพสามมิติที่ดูแล้วสบายตาเพราะระยะทางระหว่างกล้องทั้ง 2 กล้องมีระยะทางที่ใกล้ทำให้วัตถุที่อยู่ในระยะทางใกล้ๆองแล้วรู้สึกสบายตา แสดงดังรูปที่ 4.7

4.3.1.2.2 กล้องห่างกัน 5 เซนติเมตร

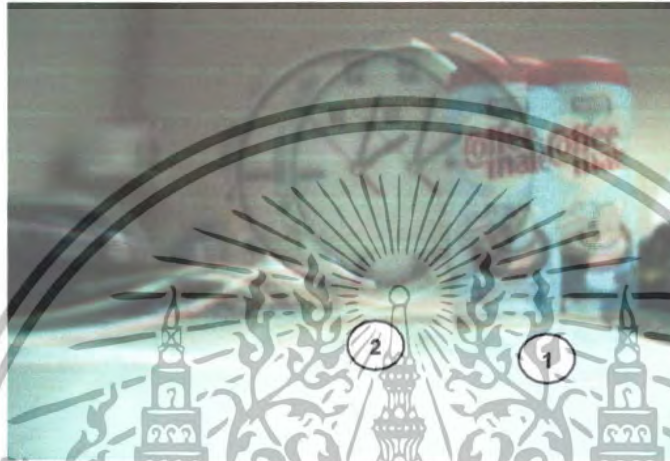


รูปที่ 4.9 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง จะเห็นว่าวัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 เป็นภาพสามมิติที่ดูแล้วค่อนข้างสบายตา เพราะระยะทางระหว่างกล้องทั้ง 2 กล้องมีระยะทางที่ค่อนข้างใกล้ แสดงดังรูปที่ 4.8

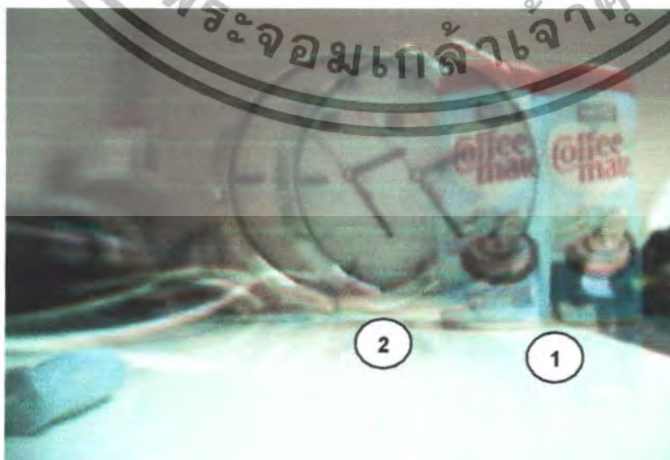
4.3.1.2.3 กล้องห่างกัน 6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.10 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 6 เซนติเมตร

จากการทดลอง จะเห็นว่าวัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 เป็นภาพสามมิติที่มีรายละเอียดของภาพมากกว่ากล้องที่วางห่างกัน 5 และ 6 เซนติเมตรแต่ไม่ค่อยสบายตาเพราะระยะทางระหว่างกล้องทั้ง 2 กล้องมีระยะทางที่ค่อนข้างไกล แสดงดังรูปที่ 4.9

4.3.1.2.4 กล้องห่างกัน 7 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 7 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง วัดดูที่ 2 เป็นภาพสามมิติที่มีรายละเอียดของภาพมากกว่ากล้องที่วางห่างกัน 5, 6 และ 7 เซนติเมตรเพราะระยะทางระหว่างกล้องทั้ง 2 กล้องมีระยะทางที่ไกล แต่วัดดูที่ 1 มองแล้วไม่เป็นสามมิติเพราะระยะทางระหว่างกล้องทั้ง 2 กล้องมีระยะทางที่ไกล แสดงดังรูปที่ 4.10

4.3.1.2.5 กล้องห่างกัน 8 เซนติเมตร



รูปที่ 4.12 ผลที่ได้จากการวางกล้องแบบขนานระยะห่าง 8 เซนติเมตร

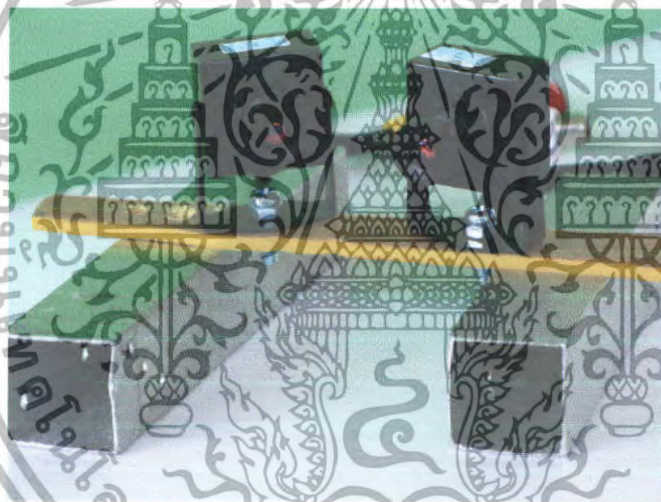
จากการทดลอง จะเห็นว่าวัดดูที่ 1 ไม่เป็นภาพสามมิติเพราะระยะทางระหว่างกล้องทั้ง 2 กล้องมีระยะทางที่ไกลมากทำให้วัดดูที่มีระยะใกล้ๆกล้องมองแล้วไม่สามารถเป็นภาพสามมิติ ส่วนวัดดูที่ 2 นั้นจะเห็นว่า เป็นภาพ 3 มิติที่ลอยออกมาอย่างเห็นได้ชัดแต่ไม่สวยงาม แสดงดังรูปที่ 4.11

สรุปผลการทดลองประมวลผลภาพ 3 มิติด้วยการวางกล้องแบบขนานนั้นจะเห็นได้ว่า ระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์สำรวจซึ่งมีระยะภาพที่อยู่ในระยะใกล้โดยประมาณ จะอยู่ที่ 4, 5 และ 6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ทดลองประมวลผลภาพ 3 มิติด้วยการวางกล้องแบบรวมจุด

ในการวางกล้องแบบรวมจุดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของการเกิดภาพสามมิตินั้นจะมี 2 ตัวแปร ที่สามารถแก้ไขได้นั้น คือ ระยะห่างระหว่างกล้อง 2 ตัว และระยะที่ภาพจากกล้อง 2 ตัวรวมไปที่จุดเดียว ซึ่งระยะระหว่างกล้อง 2 ตัวที่ได้ทดลองมาจากการวางกล้องแบบขนานแล้วเหมาะสมนั้นคือระยะที่กล้องวางห่างกัน 4, 5 และ 6 เซนติเมตร ส่วนระยะที่ภาพทั้ง 2 ตัวรวมไปที่จุดเดียวนั้นจะใช้ระยะ 1, 3 และ 6 เมตร ในการทดลองเพราะหุ่นยนต์สำรวจนั้นเป็นหุ่นที่มีขนาดเล็กทำให้ภาพที่ออกมาอยู่ในระยะใกล้ จึงได้กำหนดขอบเขต เพื่อการตัดกันของการถ่ายภาพที่พื้นผิวของวัตถุอยู่ที่ 1, 3 และ 6 เมตร



รูปที่ 4.13 การวางกล้องแบบรวมจุด

4.3.2.1 วิธีการทดลอง

1. นำกล้อง 2 ตัวที่มีลักษณะเดียวกันมาวางในระนาบเดียวกัน โดยระยะห่างระหว่างกล้องเป็น 4 เซนติเมตร

2. จัดภาพจากทั้ง 2 กล้องให้ระยะที่ภาพซ้อนทับกันพอดีอยู่ที่ระยะ 1 เมตร

3. บันทึกภาพที่ได้จากกล้อง 2 ตัว ณ เวลาเดียวกัน

4. นำภาพที่ได้จากกล้อง 2 ตัวมาซ้อนทับกัน โดยใช้โปรแกรม Stereo Movie Maker

5. สังเกตภาพที่ได้ผ่านแว่นจตเตอร์กลาส และชุดอิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองใหม่จากขั้นตอนที่ 2 แต่เปลี่ยนระยะที่ภาพซ้อนทับกันให้อยู่ที่ระยะ 3 เมตร และ 6 เมตร ตามลำดับ
7. ทวนทดลองใหม่จากขั้นตอนที่ 1 แต่เปลี่ยนระยะห่างระหว่างกล้องให้อยู่ที่ระยะ 5 และ 6 เซนติเมตร ตามลำดับ

4.3.2.2 ผลการทดลอง

4.3.2.2.1 ระยะกล้อง 4 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m.



รูปที่ 4.14 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 4 cm. ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 1 m.

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า วัตถุที่มองเห็นแล้วสลายหายไปอยู่ที่วัตถุที่ 1 และจะมองเห็นวัตถุที่ 2 และ 3 ลึกลงไปในจอภาพ แสดงดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2.2 ระยะกล้อง 4 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m.



รูปที่ 4.15 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 4 cm., ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 3 m.

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า วัตถุที่มองแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 2 จะมองเห็นวัตถุที่ 1 ลอยออกมา และวัตถุที่ 3 ลึกลงไปในจอภาพ แสดงดังรูปที่ 4.14

4.3.2.2.3 ระยะกล้อง 4 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m.

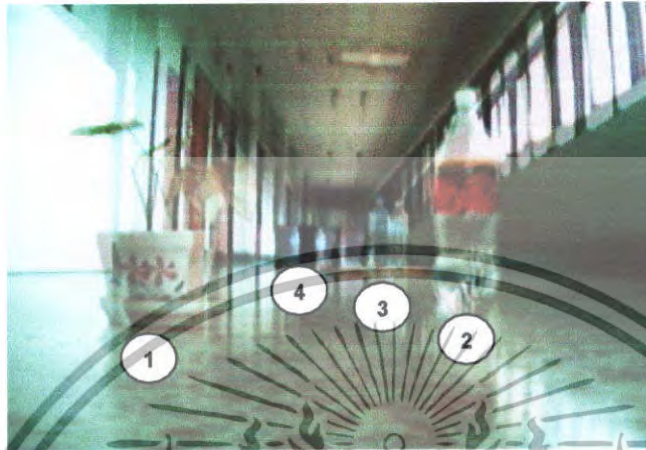


รูปที่ 4.16 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 4 cm., ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 6 m.

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า วัตถุที่มองแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 3 จะมองเห็นวัตถุที่ 1 ลอยออกมา และวัตถุที่ 3 ลึกลงไปในภาพ ซึ่งถ้าเทียบกับระยะกล้อง 4 เซนติเมตร ด้วยกันแต่ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 เมตร นั้น สามารถสังเกตได้ว่า วัตถุที่ 1 จะเป็นภาพ 3 มิติที่มีรายละเอียดมากกว่าการเห็นระยะ 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

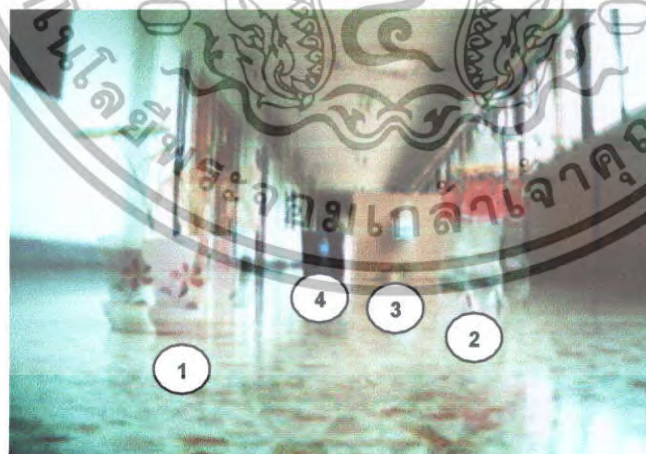
4.3.2.2.4 ระยะกล้อง 5 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m.



รูปที่ 4.17 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 5 cm., ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 1 m.

จากการทดลอง ภาพสามมิติที่มองดูแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 2. ซึ่งวัตถุที่ 1 ที่อยู่หน้าวัตถุที่ 2 จะมองเห็นเหมือนลอยออกมาจากภาพ และวัตถุที่ 3 และ 4 จะเห็นเป็นภาพสามมิติที่มองแล้วลึกเข้าไปในจอภาพ แสดงดังรูปที่ 4.16

4.3.2.2.5 ระยะกล้อง 5 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m

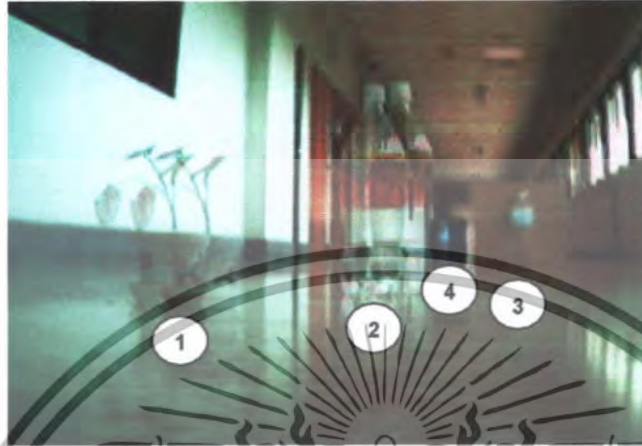


รูปที่ 4.18 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 5 cm., ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 3 m.

จากการทดลอง จะเห็นภาพสามมิติที่มองดูแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 3 และวัตถุที่ 2 จะเห็นเป็นภาพสามมิติที่ลอยออกมาส่วนขววัตถุที่ 4 จะเห็นเป็นภาพสามมิติที่มองแล้วลึกเข้าไปในจอภาพ แสดงดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2.6 ระยะระหว่างกล้อง 5 cm, ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m



รูปที่ 4.19 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 5 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียว 6 m.

จากการทดลอง จะเห็นภาพสามมิติที่มองดูแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 4 วัตถุที่ 1 วัตถุที่ 2 และวัตถุที่ 3 จะเห็นเป็นภาพสามมิติที่ลอยออกมา ซึ่งวัตถุที่ 1 จะเห็นเป็นภาพสามมิติที่ลอยออกมาอย่างชัดเจนแต่มองแล้วไม่สบายตา ซึ่งวัตถุที่ 2 จะเห็นเป็นสามมิติที่มีรายละเอียดน้อยกว่าแต่มองแล้วสบายตากว่า แสดงดังรูปที่ 4.18

4.3.2.2.7 ระยะกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 1 m.

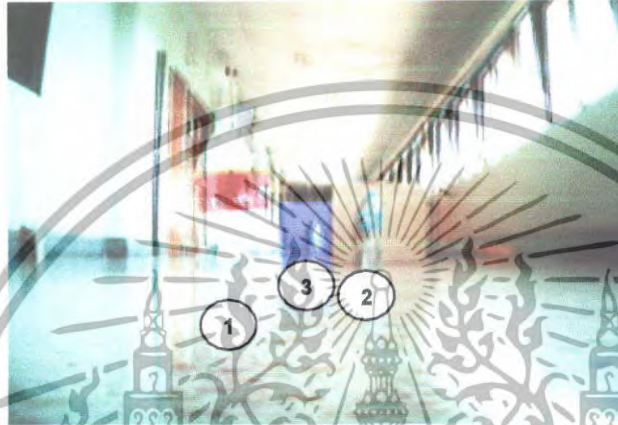


รูปที่ 4.20 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียว 1 m.

จากการทดลอง จะเห็นภาพสามมิติที่มองดูแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 1 ส่วนวัตถุที่ 2 และวัตถุที่ 3 จะเห็นเป็นภาพสามมิติที่มองแล้วลึกลงไปในจอภาพ ซึ่งถ้าเทียบกับกล้องที่วางห่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสาศหรับการเขางานเพื่อกการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่ากล้องที่ห่างกัน 6 เซนติเมตร จะเห็นภาพเป็นสามมิติที่มีรายละเอียดมากกว่าแต่มองแล้วไม่สบายตา แสดงดังรูปที่ 4.19

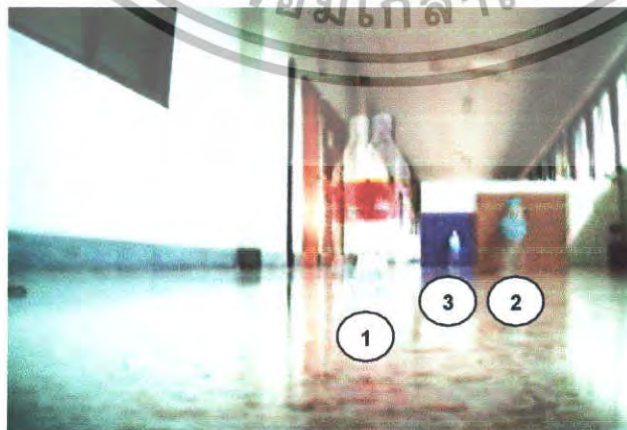
4.3.2.2.8 ระยะกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 3 m.



รูปที่ 4.21 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 6 cm., ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 3 m.

จากการทดลอง จะเห็นภาพสามมิติที่มองดูแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 2 เห็นวัตถุที่ 1 ลอยออกมาเป็นภาพสามมิติ และวัตถุที่ 3 เป็นภาพ 3 มิติที่มองแล้วลึกลงไปในจอภาพ ซึ่งถ้าเทียบกับกล้องที่วางห่างกัน 5 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าวัตถุที่ 1 ที่กล้องวางห่างกัน 6 เซนติเมตร เป็นสามมิติที่มีรายละเอียดมากกว่า 5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.20

4.3.2.2.9 ระยะกล้อง 6 cm., ระยะที่ภาพรวมไปที่จุดเดียวคือ 6 m.



รูปที่ 4.22 ผลจากการวางกล้องแบบรวมจุด ระยะห่างกล้อง 6 cm., ระยะภาพรวมไปที่จุดเดียว 6 m. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง จะเห็นภาพสามมิติที่มองดูแล้วสบายตาที่สุดอยู่ที่วัตถุที่ 3 เห็นวัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 ลอยออกมาเป็นภาพสามมิติ ซึ่งถ้าเทียบกับกล่องที่วางห่างกัน 5 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าวัตถุที่ 1 และ 2 ที่กล่องวางห่างกัน 6 เซนติเมตร เป็นสามมิติที่มีรายละเอียดมากกว่า 5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.21

สรุปการทดลองการประมวลผลภาพ 3 มิติด้วยการวางกล่องแบบรวมจุดนั้นจะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างกล่องที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์สำรวจซึ่งมีระยะภาพที่อยู่ในระยะใกล้จะอยู่ที่ 4 เซนติเมตร และขอบเขตเพื่อการตัดกันของการถ่ายภาพที่พื้นผิวของวัตถุอยู่ที่ 3 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโครงการหุ่นสำรวจแสดงผลภาพ 3 มิติ สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของหุ่นยนต์และส่วนของภาพ 3 มิติ ในส่วนของหุ่นยนต์นั้นสามารถบังคับจากคีย์บอร์ดโดยใช้ปุ่ม W, S, A และ D ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ I และ K ในการควบคุมกล้องหรือใช้ interface ในการควบคุม ซึ่งระยะที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ปกติจะอยู่ที่ระยะ 0-20 เมตร เริ่มเกิดการชะงักจะอยู่ที่ระยะ 20-40 เมตร มีอาการชะงักจะอยู่ที่ระยะ 40-70 เมตร ชะงักถี่มากจะอยู่ที่ระยะ 70-90 เมตร ส่วนถ้าเกิน 90 เมตรจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

ในส่วนของภาพ 3 มิติ สามารถแบ่งการวางกล้องออกเป็น 2 ลักษณะคือ การวางกล้องแบบขนาน และการวางกล้องแบบรวมจุด ซึ่งรูปแบบทั้ง 2 มีข้อดีที่แตกต่างกัน การวางกล้องแบบขนานจะให้ส่วนที่เหมือนกันของภาพระหว่าง 2 มุมมอง แต่การวางกล้องแบบรวมจุดจะได้ภาพที่ซ้อนกันในขอบเขตของการมองวัตถุ ภายใต้เงื่อนไขการรวมจุดของการมองเห็นตามธรรมชาติ ทำให้ได้ภาพ 3 มิติ ที่มีรายละเอียดมากกว่าแบบขนาน จากจุดนี้จึงได้เลือกการวางกล้องแบบรวมจุดมาใช้ในการทำให้เกิดภาพ 3 มิติ จากการทดลองได้ระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์สำรวจซึ่งมีระยะภาพที่อยู่ในระยะใกล้จะอยู่ที่ 4 เซนติเมตร และ ขอบเขตเพื่อการตัดกันของการถ่ายภาพที่พื้นผิวของวัตถุอยู่ที่ 3 เมตร

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

1. ในการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านวงจรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุมีระยะทางสูงสุดประมาณ 100 เมตร ทำให้ไม่สามารถสำรวจในพื้นที่ที่ห่างไกลจากเครื่องส่งสัญญาณมากนัก ฉะนั้นจึงมีปัญหาในเรื่องการบังคับหุ่นยนต์ในระยะทางไกลๆ
2. ในการปฏิบัติงานจริงเนื่องจากกล้องที่ใช้เป็นกล้องที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำ ภาพของกล้องที่ได้นั้นจะมีปัญหาเรื่องแสงมาก กรณีแสงมากไปก็จะทำให้ภาพสว่างเกินไป กรณีแสงน้อยไปก็จะทำให้ภาพมืดเกินไป
3. ในการปฏิบัติงานจริงมีสิ่งกีดขวางมากมาย ซึ่งตัวเครื่องรับส่งภาพแบบไร้สายที่ใช้อยู่นั้นมีความสามารถในการส่งผ่านสิ่งกีดขวางที่ค่อนข้างต่ำ ฉะนั้นจึงมีปัญหาระยะที่เครื่องรับส่งภาพแบบไร้สายส่งภาพโดยไม่มีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. เปลี่ยนจากวงจรรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้อยู่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งสัญญาณได้ในระยะทางที่มากขึ้น
2. เปลี่ยนไปใช้กล้องที่มีคุณภาพมากขึ้น เช่น มีคุณสมบัติของการปรับแสงได้
3. เปลี่ยนไปใช้เครื่องรับส่งภาพแบบไร้สายที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 54
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] stereovisionz s' blog, "stereo vision"

<http://stereovisionz.blogspot.com/>

[2] พิริญา ใจส่องใส, แพรพรรณ แสงจันทร์. 2547. กล้องสองตา. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] ThaiMicron , "การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS232"

<http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/RS232.htm/>

[4] อ้นชัย ทีเลิศ, วิฑูร ศรีวิชัย. 2546. เครื่องควบคุม CMOS IMAGE SENIOR โดย FPGA. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] มุขผล วัฒนะเจริญ, ศุภเดช เจริญอภิญาญ. 2548. รหัสสำรวจคคกล้องไร้สายบังคับผ่านอินเทอร์เน็ต. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS[®]-51 Products
- 2K Bytes of Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Two-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 15 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial UART Channel
- Direct LED Drive Outputs
- On-chip Analog Comparator
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

1. Description

The AT89C2051 is a low-voltage, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 2K bytes of Flash programmable and erasable read-only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C2051 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89C2051 provides the following standard features: 2K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 15 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, a precision analog comparator, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C2051 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The idle mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.



**8-bit
Microcontroller
with 2K Bytes
Flash**

AT89C2051

0388G-MICRO-6/05

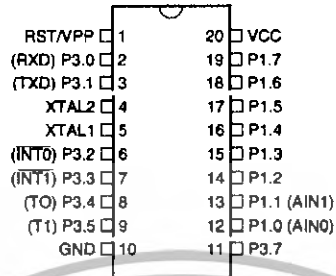


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

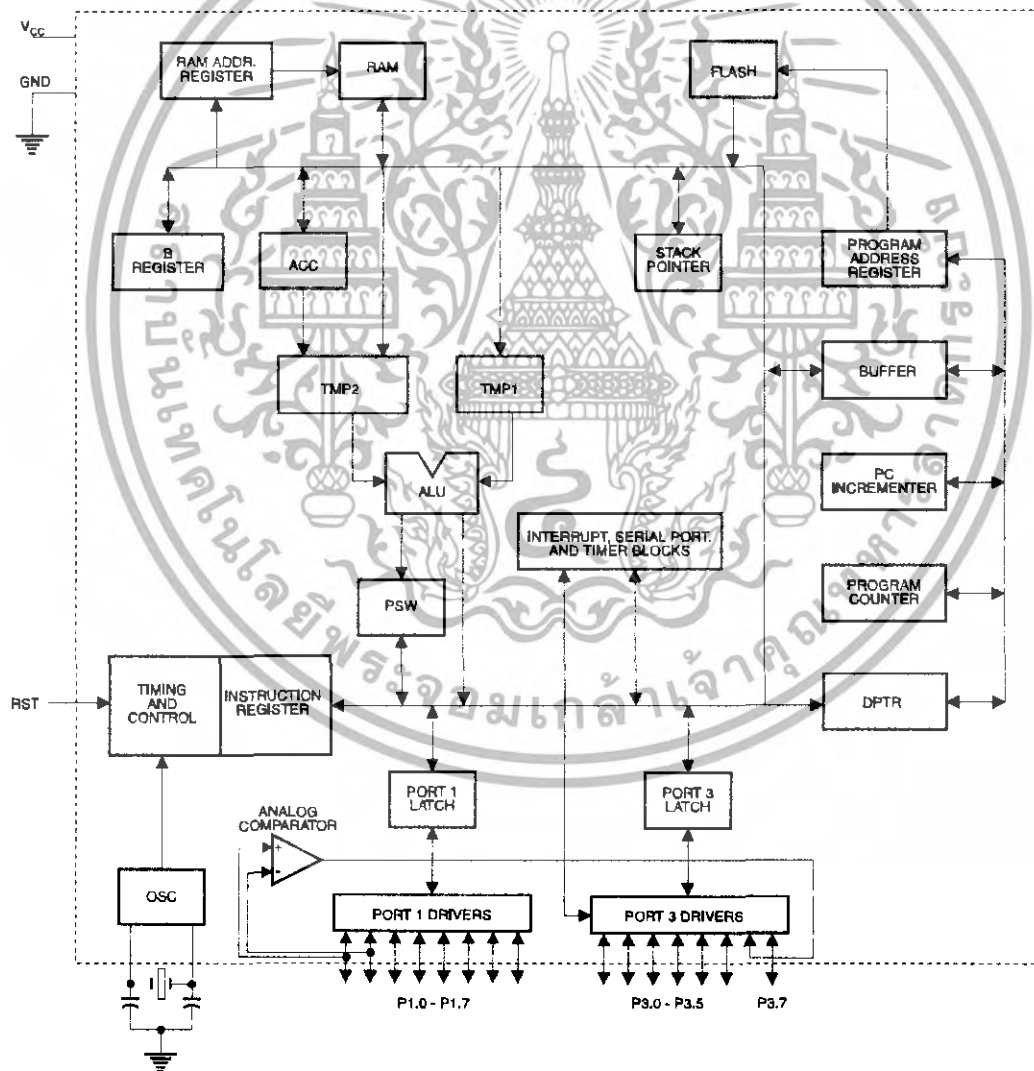


2. Pin Configuration

2.1 20-lead PDIP/SOIC



3. Block Diagram



4. Pin Description

4.1 VCC

Supply voltage.

4.2 GND

Ground.

4.3 Port 1

The Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins P1.2 to P1.7 provide internal pull-ups. P1.0 and P1.1 require external pull-ups. P1.0 and P1.1 also serve as the positive input (AIN0) and the negative input (AIN1), respectively, of the on-chip precision analog comparator. The Port 1 output buffers can sink 20 mA and can drive LED displays directly. When 1s are written to Port 1 pins, they can be used as inputs. When pins P1.2 to P1.7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups.

Port 1 also receives code data during Flash programming and verification.

4.4 Port 3

Port 3 pins P3.0 to P3.5, P3.7 are seven bi-directional I/O pins with internal pull-ups. P3.6 is hard-wired as an input to the output of the on-chip comparator and is not accessible as a general-purpose I/O pin. The Port 3 output buffers can sink 20 mA. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pull-ups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C2051 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

4.5 RST

Reset input. All I/O pins are reset to 1s as soon as RST goes high. Holding the RST pin high for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

4.6 XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.



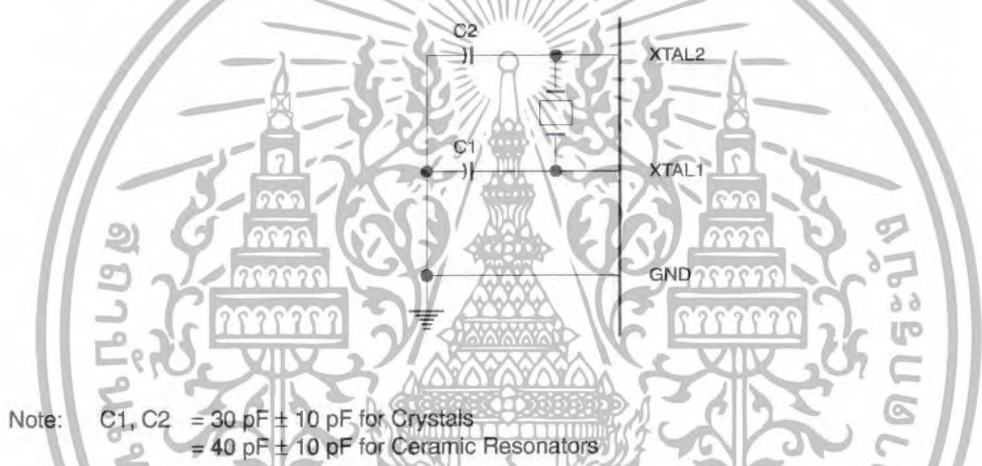
4.7 XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

5. Oscillator Characteristics

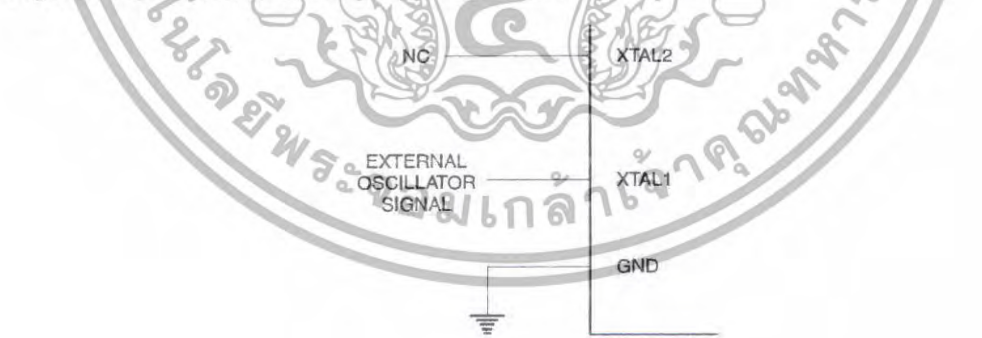
The XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 5-1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 5-2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Figure 5-1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 5-2. External Clock Drive Configuration



6. Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in the table below.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Table 6-1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0E7H
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H								0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XXX00000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0XX00000							0AFH
0A0H								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H		SP 00001111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H





7. Restrictions on Certain Instructions

The AT89C2051 and is an economical and cost-effective member of Atmel's growing family of microcontrollers. It contains 2K bytes of Flash program memory. It is fully compatible with the MCS-51 architecture, and can be programmed using the MCS-51 instruction set. However, there are a few considerations one must keep in mind when utilizing certain instructions to program this device.

All the instructions related to jumping or branching should be restricted such that the destination address falls within the physical program memory space of the device, which is 2K for the AT89C2051. This should be the responsibility of the software programmer. For example, LJMP 7E0H would be a valid instruction for the AT89C2051 (with 2K of memory), whereas LJMP 900H would not.

7.1 Branching Instructions

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR – These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

CJNE [...], DJNZ [...], JB, JNB, JC, JNC, JBC, JZ, JNZ – With these conditional branching instructions the same rule above applies. Again, violating the memory boundaries may cause erratic execution.

For applications involving interrupts the normal interrupt service routine address locations of the 80C51 family architecture have been preserved.

7.2 MOVX-related Instructions, Data Memory

The AT89C2051 contains 128 bytes of internal data memory. Thus, in the AT89C2051 the stack depth is limited to 128 bytes, the amount of available RAM. External DATA memory access is not supported in this device, nor is external PROGRAM memory execution. Therefore, no MOVX [...] instructions should be included in the program.

A typical 80C51 assembler will still assemble instructions, even if they are written in violation of the restrictions mentioned above. It is the responsibility of the controller user to know the physical features and limitations of the device being used and adjust the instructions used correspondingly.

8. Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the Table 8-1.

Table 8-1. Lock Bit Protection Modes⁽¹⁾

Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	
1	U	U	No program lock features
2	P	U	Further programming of the Flash is disabled
3	P	P	Same as mode 2, also verify is disabled

Note: 1. The Lock Bits can only be erased with the Chip Erase operation.

9. Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

The P1.0 and P1.1 should be set to “0” if no external pull-ups are used, or set to “1” if external pull-ups are used.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

10. Power-down Mode

In the power-down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

The P1.0 and P1.1 should be set to “0” if no external pull-ups are used, or set to “1” if external pull-ups are used.

11. Programming The Flash

The AT89C2051 is shipped with the 2K bytes of on-chip PEROM code memory array in the erased state (i.e., contents = FFH) and ready to be programmed. The code memory array is programmed one byte at a time. *Once the array is programmed, to re-program any non-blank byte, the entire memory array needs to be erased electrically.*

Internal Address Counter: The AT89C2051 contains an internal PEROM address counter which is always reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by applying a positive going pulse to pin XTAL1.

Programming Algorithm: To program the AT89C2051, the following sequence is recommended.

1. Power-up sequence:
Apply power between V_{CC} and GND pins
Set RST and XTAL1 to GND
2. Set pin RST to “H”
Set pin P3.2 to “H”
3. Apply the appropriate combination of “H” or “L” logic levels to pins P0.0, P0.4, P0.5, P0.7 to select one of the programming operations shown in the PEROM Programming Modes table.





To Program and Verify the Array:

4. Apply data for Code byte at location 000H to P1.0 to P1.7.
5. Raise RST to 12V to enable programming.
6. Pulse P3.2 once to program a byte in the PEROM array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes 1.2 ms.
7. To verify the programmed data, lower RST from 12V to logic "H" level and set pins P3.3 to P3.7 to the appropriate levels. Output data can be read at the port P1 pins.
8. To program a byte at the next address location, pulse XTAL1 pin once to advance the internal address counter. Apply new data to the port P1 pins.
9. Repeat steps 6 through 8, changing data and advancing the address counter for the entire 2K bytes array or until the end of the object file is reached.
10. Power-off sequence:
 - set XTAL1 to "L"
 - set RST to "L"
 - Turn V_{CC} power off

Data Polling: The AT89C2051 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on P1.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The Progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. Pin P3.1 is pulled low after P3.2 goes High during programming to indicate BUSY. P3.1 is pulled High again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed code data can be read back via the data lines for verification:

1. Reset the internal address counter to 000H by bringing RST from "L" to "H".
2. Apply the appropriate control signals for Read Code data and read the output data at the port P1 pins.
3. Pulse pin XTAL1 once to advance the internal address counter.
4. Read the next code data byte at the port P1 pins.
5. Repeat steps 3 and 4 until the entire array is read.

The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire PEROM array (2K bytes) and the two Lock Bits are erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding P3.2 low for 10 ms. The code array is written with all "1"s in the Chip Erase operation and must be executed before any non-blank memory byte can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 000H, 001H, and 002H, except that P3.5 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.





- (000H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (001H) = 21H indicates 89C2051

12. Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

Most major worldwide programming vendors offer support for the Atmel AT89 microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

13. Flash Programming Modes

Mode	RST/VPP	P3.2/PROG	P3.3	P3.4	P3.5	P3.7
Write Code Data ⁽¹⁾⁽³⁾	12V		L	H	H	H
Read Code Data ⁽¹⁾	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1		H	H	H	H
	Bit - 2		H	H	L	L
Chip Erase	12V		H	L	L	L
Read Signature Byte	H	H	L	L	L	L

- Notes:
1. The internal PEROM address counter is reset to 000H on the rising edge of RST and is advanced by a positive pulse at XTAL1 pin.
 2. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.
 3. P3.1 is pulled Low during programming to indicate RDY/BSY.

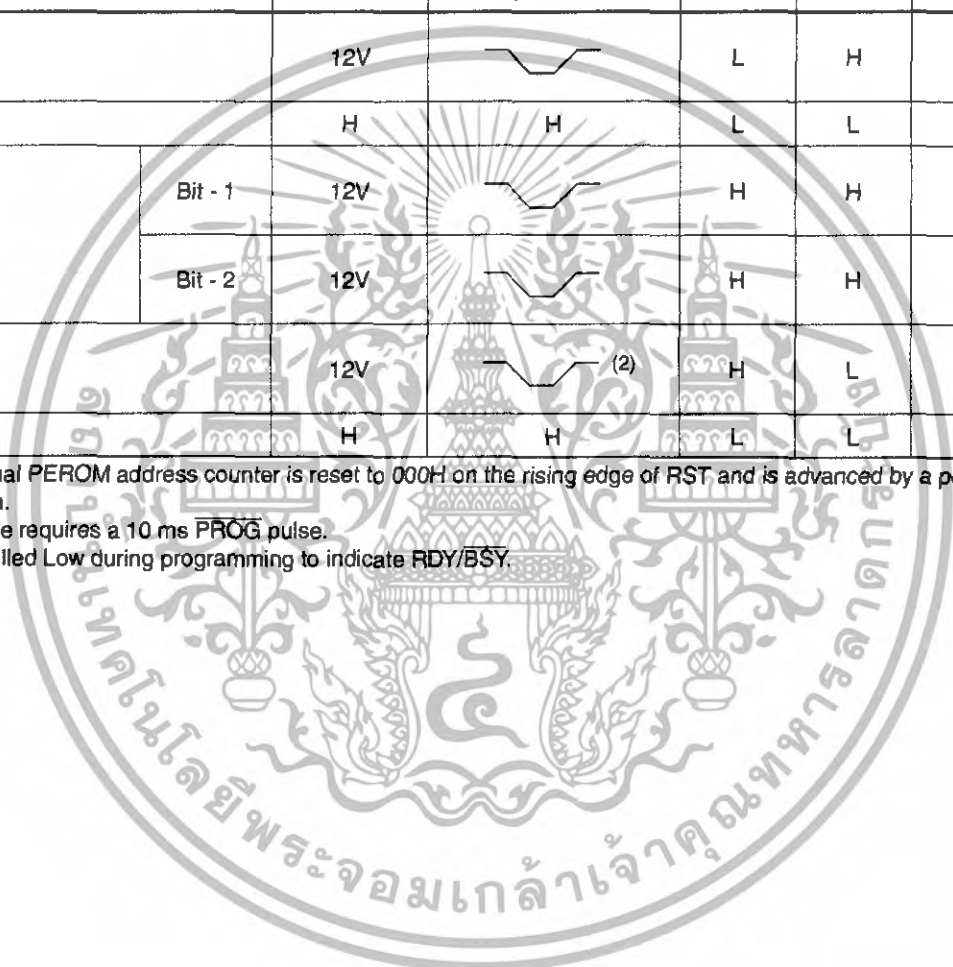


Figure 13-1. Programming the Flash Memory

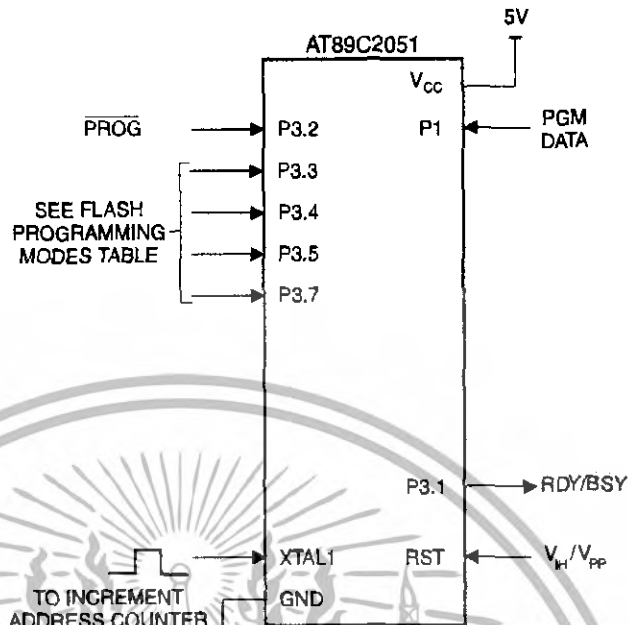
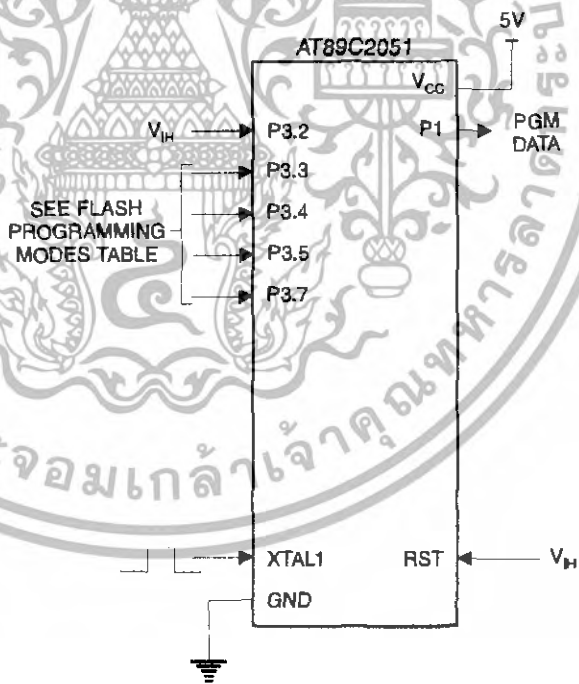


Figure 13-2. Verifying the Flash Memory



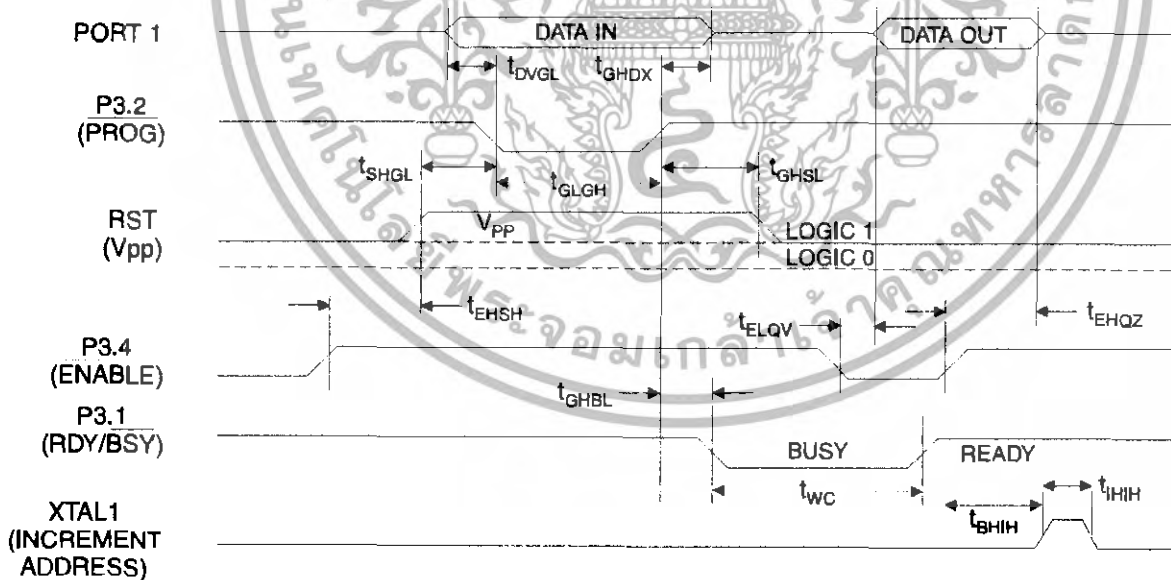
14. Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V_{PP}	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I_{PP}	Programming Enable Current		250	μA
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	1.0		μs
t_{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	1.0		μs
t_{EHS}	P3.4 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	1.0		μs
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t_{GHSL}	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{PROG}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		1.0	μs
t_{EHQZ}	Data Float after $\overline{\text{ENABLE}}$	0	1.0	μs
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		50	ns
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms
t_{BHIH}	$\overline{\text{RDY/BSY}}$ to Increment Clock Delay	1.0		μs
t_{HIL}	Increment Clock High	200		ns

Note: 1 Only used in 12-volt programming mode

15. Flash Programming and Verification Waveforms





16. Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage	6.6V
DC Output Current	25.0 mA

*NOTICE:

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

17. DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 2.7\text{V}$ to 6.0V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1, 3)	$I_{OL} = 20\text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OL} = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 2.7\text{V}$		0.5	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1, 3)	$I_{OH} = -80\ \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -30\ \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -12\ \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1, 3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-750	μA
I_{L1}	Input Leakage Current (Port P1.0, P1.1)	$0 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
V_{OS}	Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} - 3\text{V}$		20	mV
V_{CM}	Comparator Input Common Mode Voltage		0	V_{CC}	V
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	k Ω
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$		15/5.5	mA
		Idle Mode, 12 MHz, $V_{CC} = 6\text{V}/3\text{V}$ P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		5/1	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$, P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$, P1.0 & P1.1 = 0V or V_{CC}		20	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

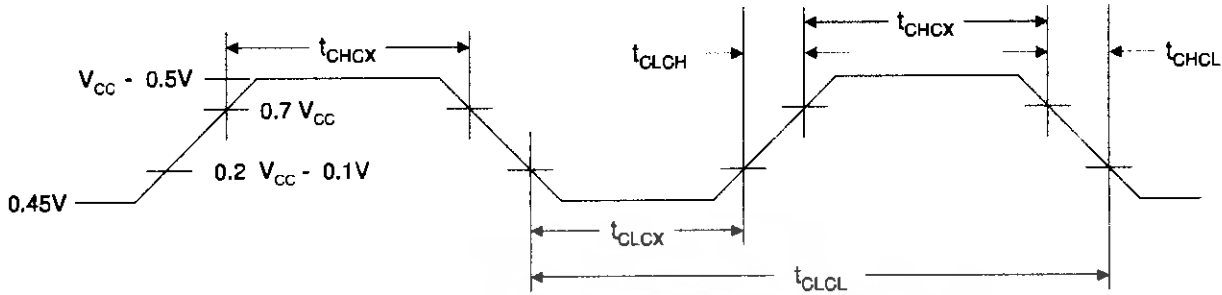
Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA

Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

18. External Clock Drive Waveforms



19. External Clock Drive

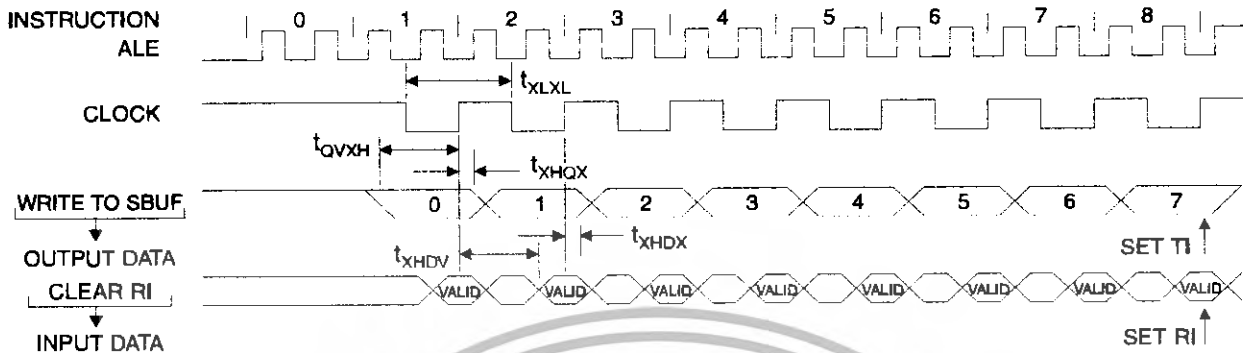
Symbol	Parameter	$V_{CC} = 2.7V \text{ to } 6.0V$		$V_{CC} = 4.0V \text{ to } 6.0V$		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	30		15		ns
t_{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20		20	ns

20. Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

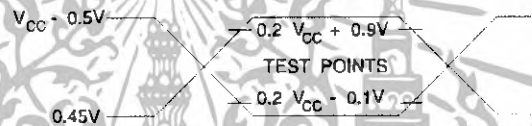
$V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12 t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	70n		$10 t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHDX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2 t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10 t_{CLCL}-133$	ns

21. Shift Register Mode Timing Waveforms



22. AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



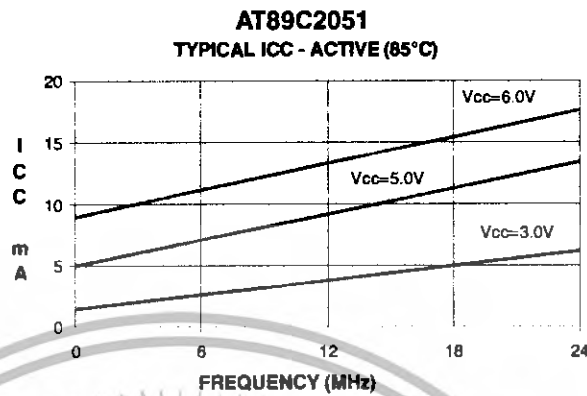
Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5V$ for a logic 1 and $0.45V$ for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

23. Float Waveforms⁽¹⁾

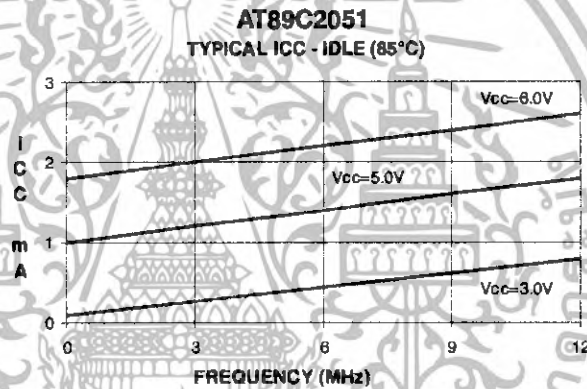


Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

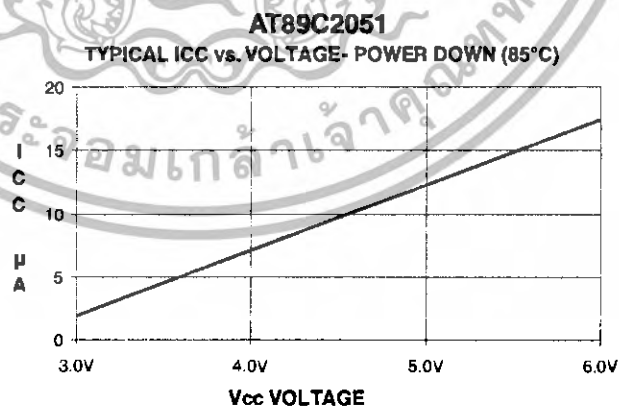
24. I_{CC} (Active Mode) Measurements



25. I_{CC} (Idle Mode) Measurements



26. I_{CC} (Power Down Mode) Measurements



- Notes:
1. XTAL1 tied to GND
 2. P1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND
 3. Lock bits programmed



27. Ordering Information

27.1 Standard Package

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-12SC	20S	
		AT89C2051-12PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SI	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PC	20P3	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C2051-24SC	20S	
		AT89C2051-24PI	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SI	20S	

27.2 Green Package Option (Pb/Halide-free)

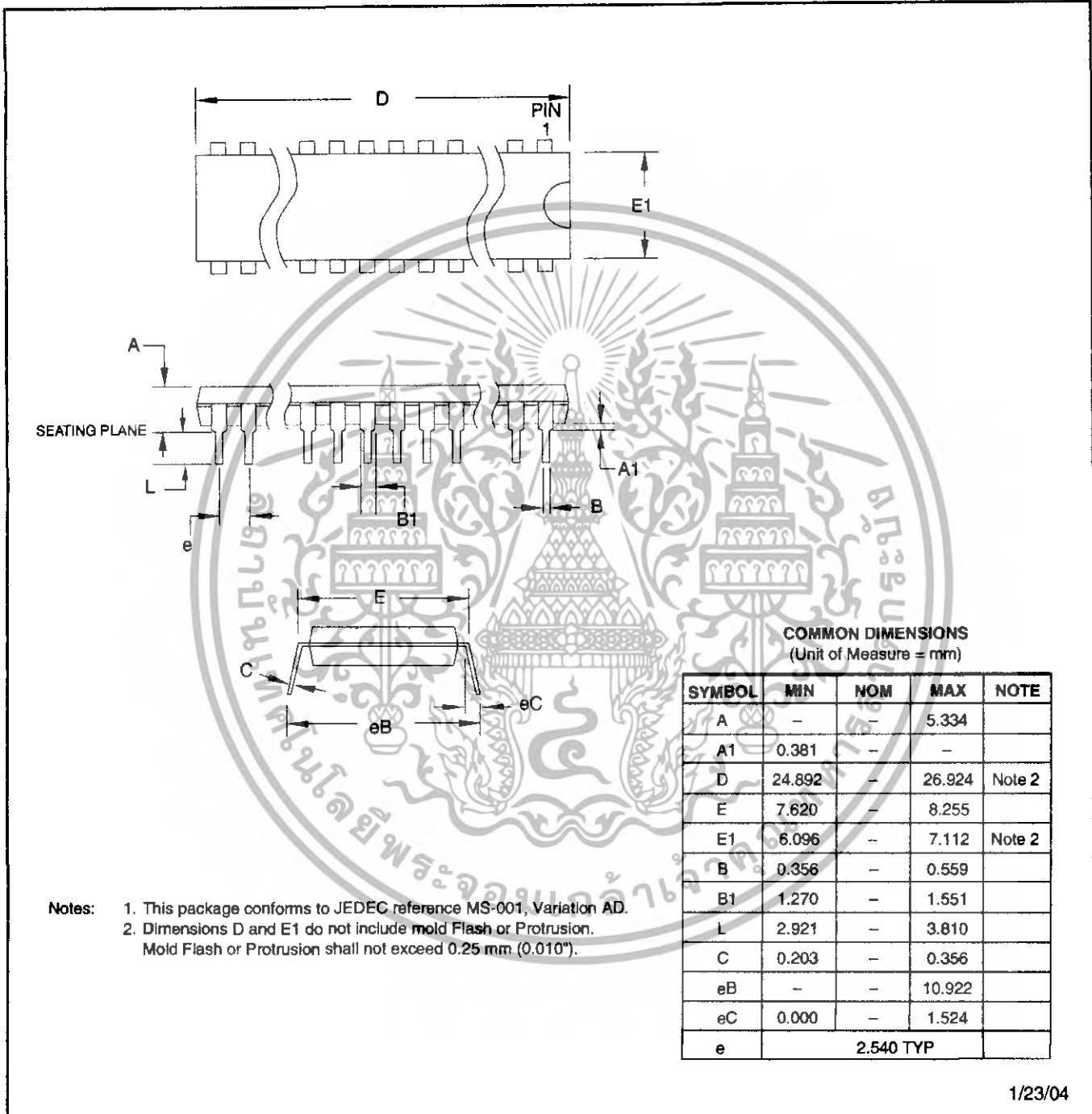
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	2.7V to 6.0V	AT89C2051-12PU	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-12SU	20S	
24	4.0V to 6.0V	AT89C2051-24PU	20P3	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C2051-24SU	20S	

Package Type

20P3	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)

28. Package Information

28.1 20P3 – PDIP



Notes: 1. This package conforms to JEDEC reference MS-001, Variation AD.
2. Dimensions D and E1 do not include mold Flash or Protrusion. Mold Flash or Protrusion shall not exceed 0.25 mm (0.010").

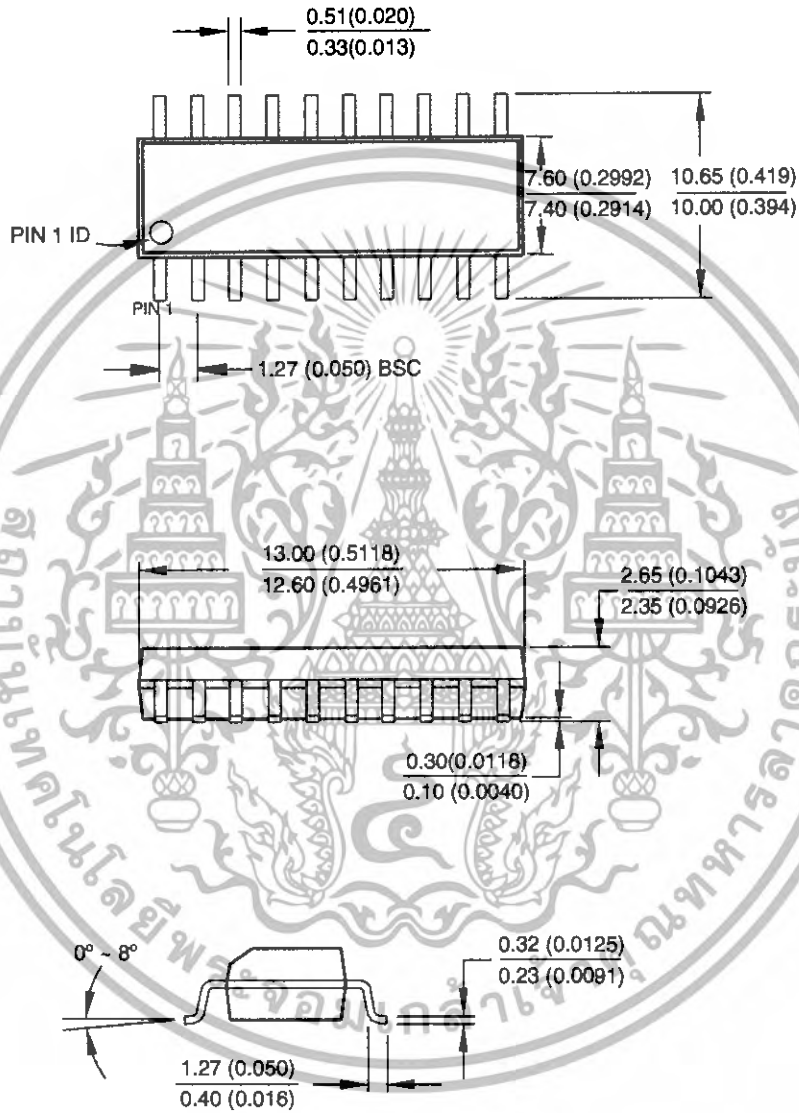
1/23/04

2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	TITLE 20P3, 20-lead (0.300"/7.62 mm Wide) Plastic Dual Inline Package (PDIP)	DRAWING NO.	REV.
		20P3	D




28.2 20S – SOIC

Dimensions in Millimeters and (Inches).
Controlling dimension: Inches.
JEDEC Standard MS-013



10/23/03

 2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131

TITLE
20S, 20-lead, 0.300" Body, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)

DRAWING NO.
20S

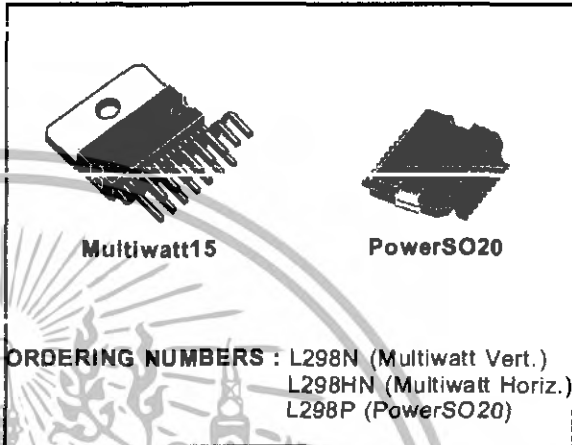
REV.
B

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

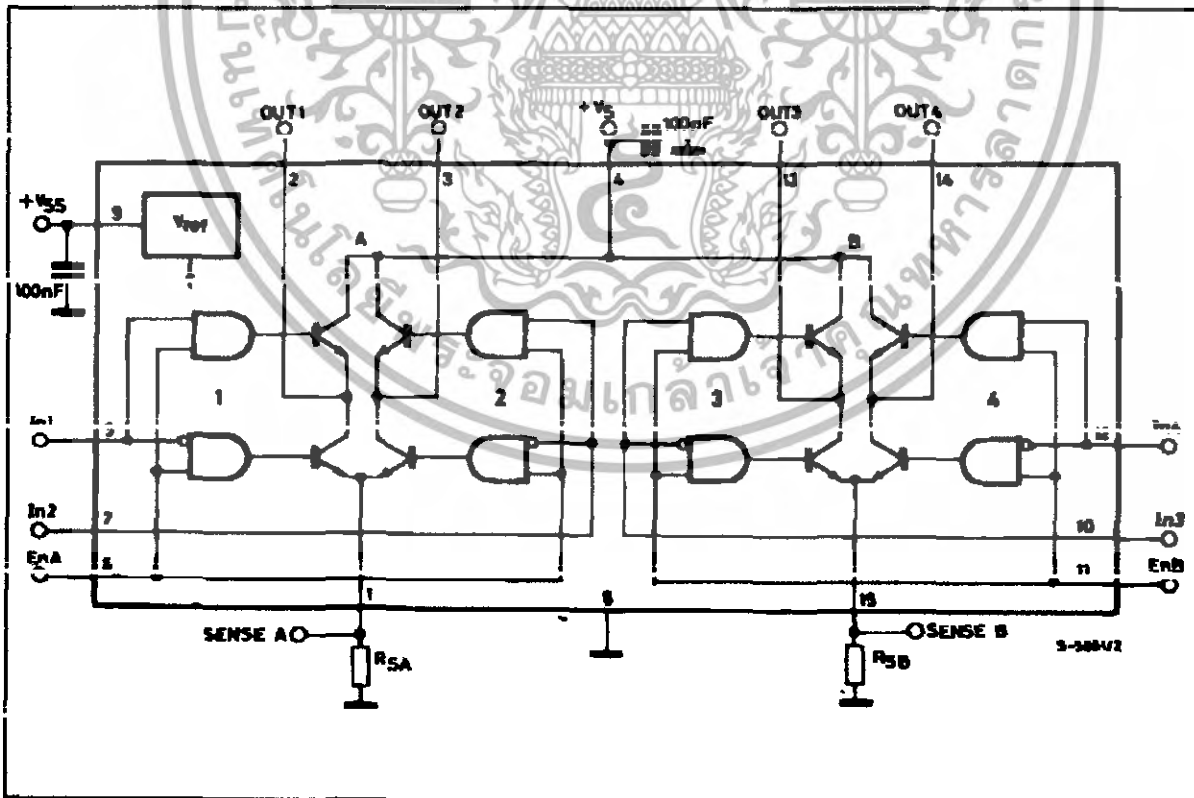
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

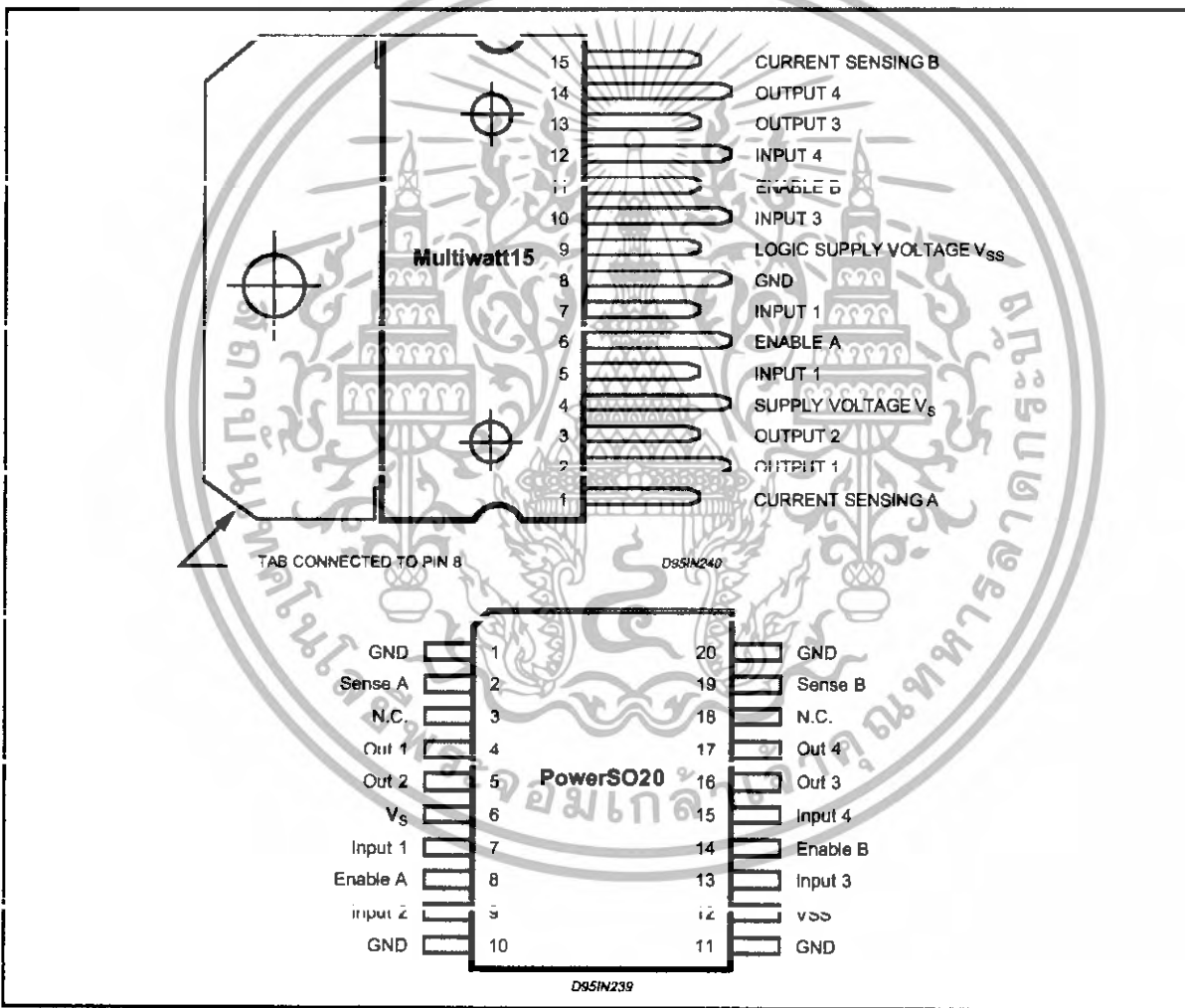
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Power Supply	50	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V _I , V _{En}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I _o	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive (t = 100µs)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; t _{on} = 10ms)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V _{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P _{tot}	Total Power Dissipation (T _{amb} = 75°C)	25	W
T _{stg} , T _J	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
R _{th(j-case)}	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	°C/W
R _{th(j-amb)}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	ENABLE A; ENABLE B	TTL Compatible ENABLE Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0	V _I = L V _I = H	13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L	V _I = X		4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0	V _I = L V _I = H	24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L	V _I = X		6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{CEsat (H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A		1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat (L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)		1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)			3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _I)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _I to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _I)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _I)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _I to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _I)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _I)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _I to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _I)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _I)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _I to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _I)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _I)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs
f _c (V _{en})	Commutation Frequency	I _L = 2A		1		KHz

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sense} min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.
- 5) PIN 1 and PIN 15 connected to GND.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

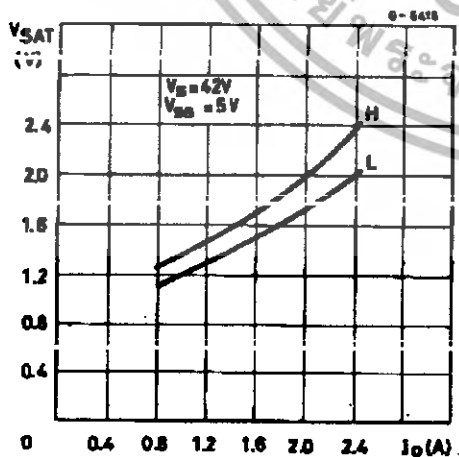
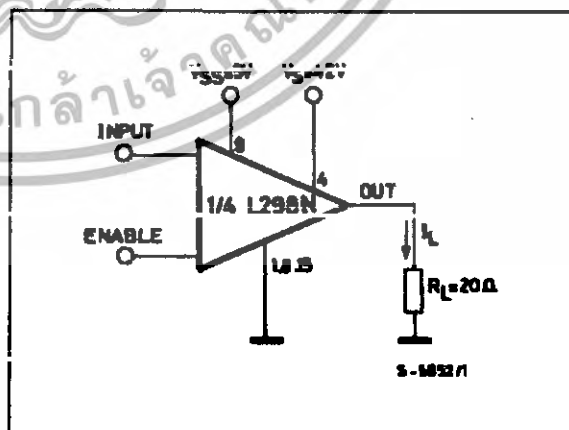


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

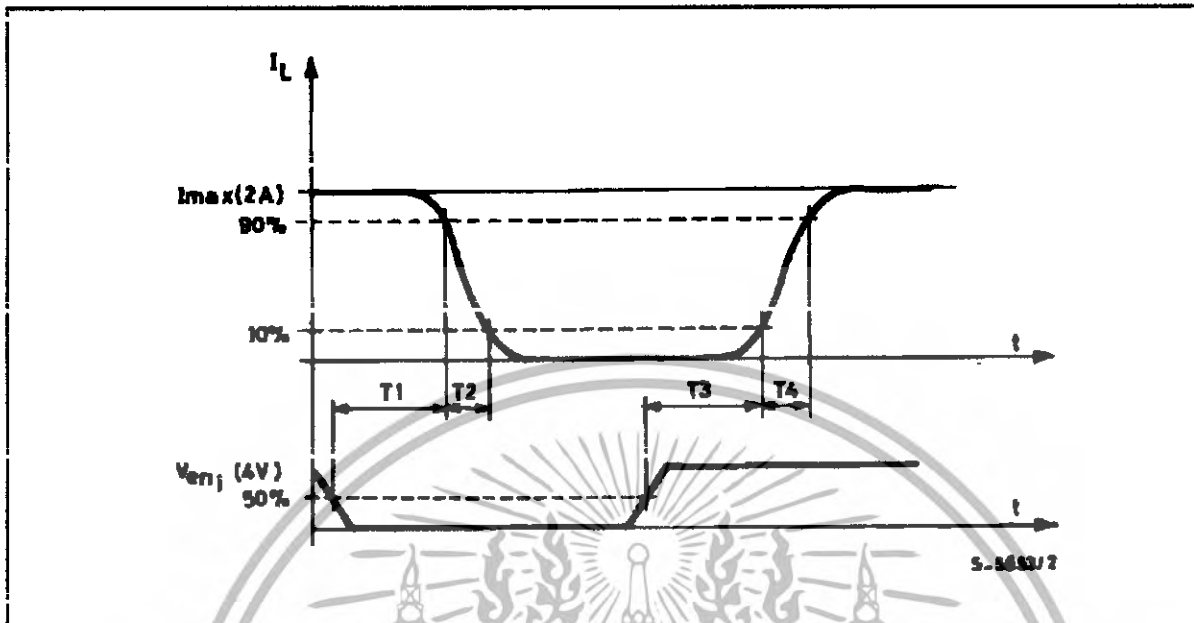
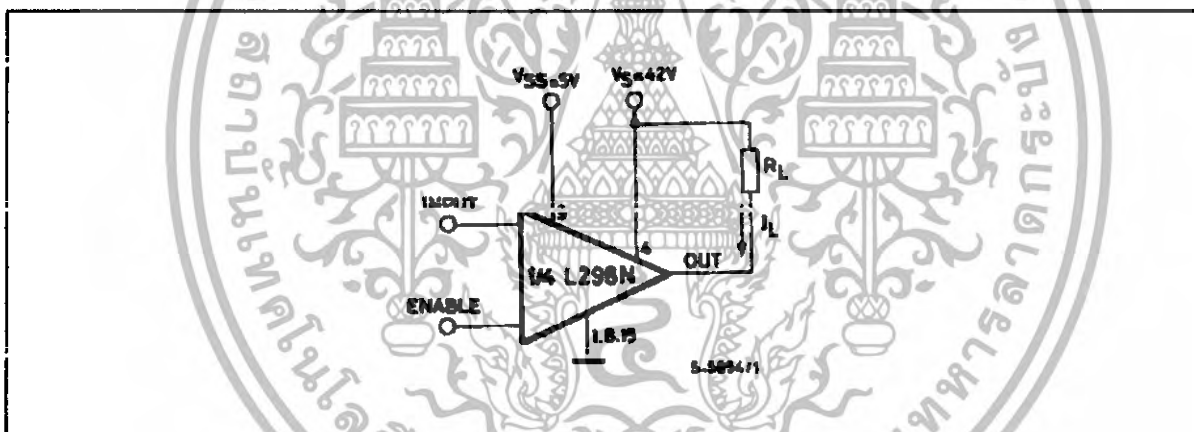


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0V Enable Switching.

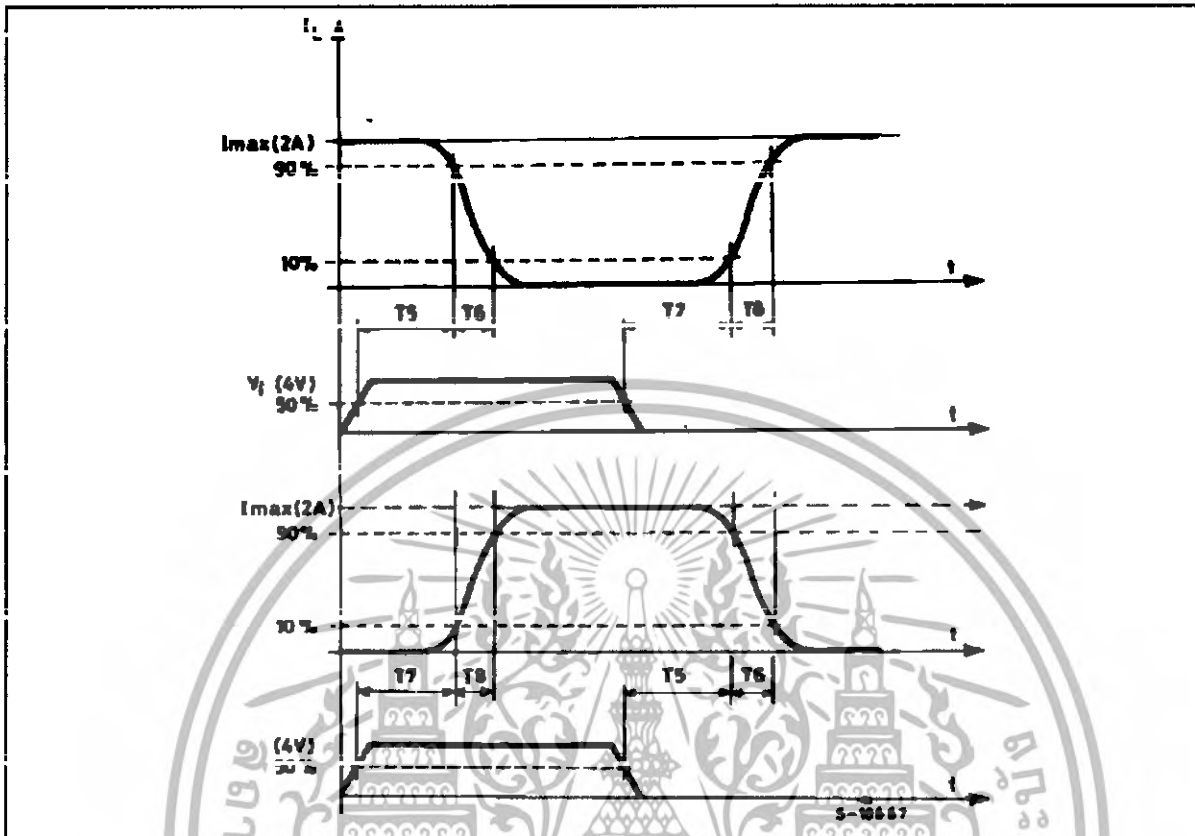


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

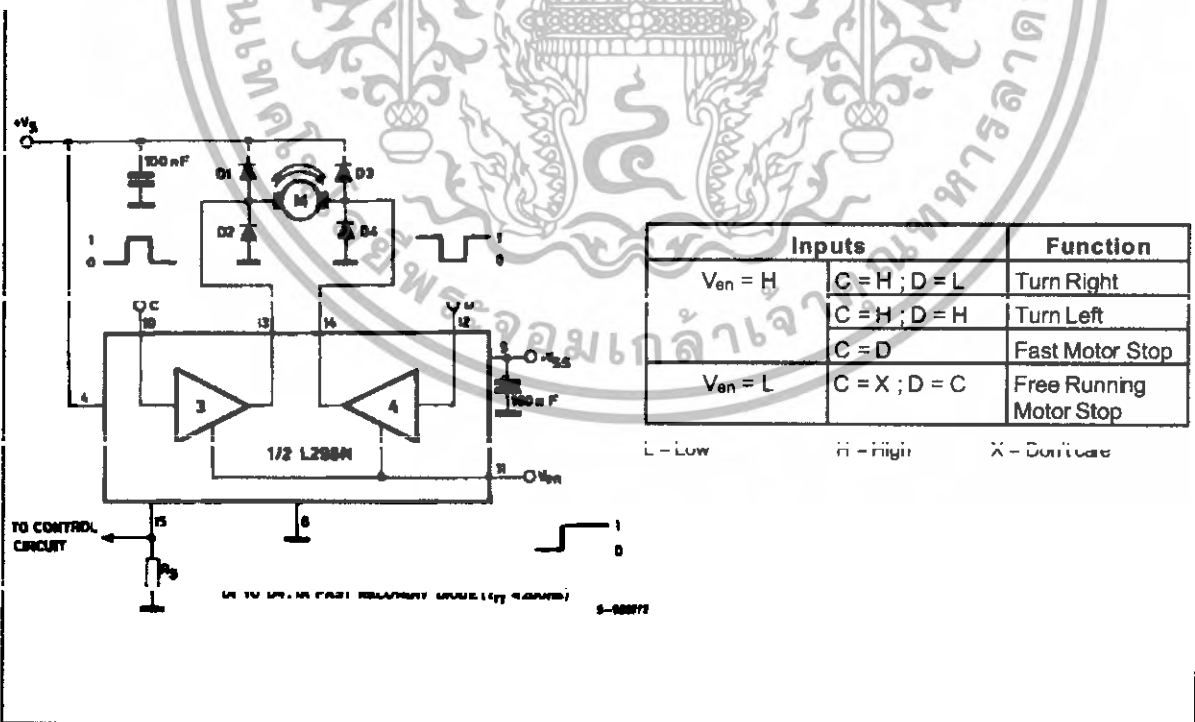
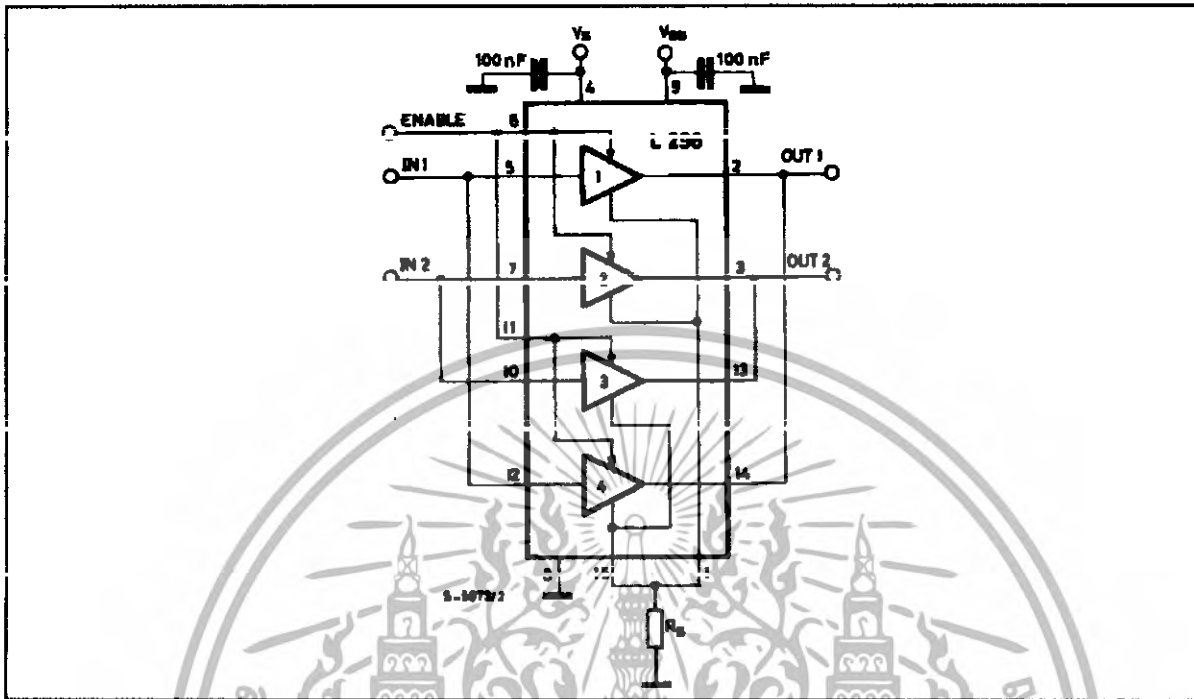


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor ($R_{SA} ; R_{SB}$) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are $IN1 ; IN2 ; ENA$ and $IN3 ; IN4 ; ENB$. The IN inputs set the bridge state when The EN input is high ; a low state of the EN input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Schottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC 1 297

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

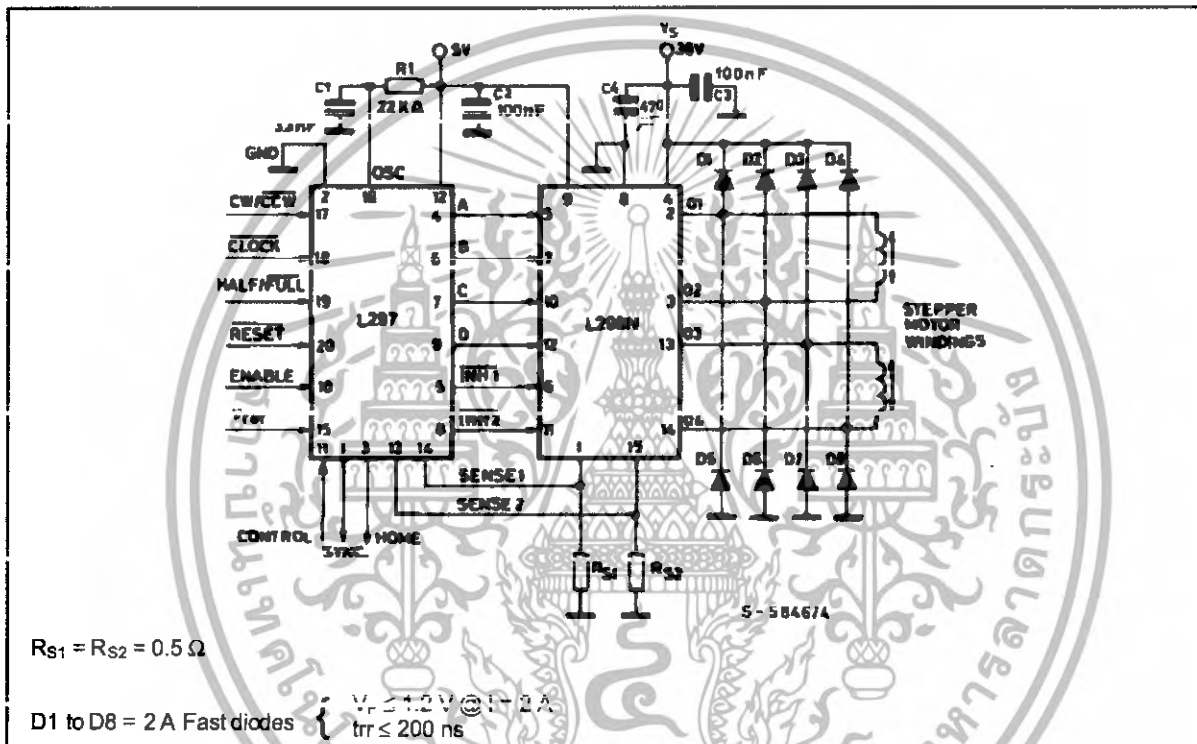


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

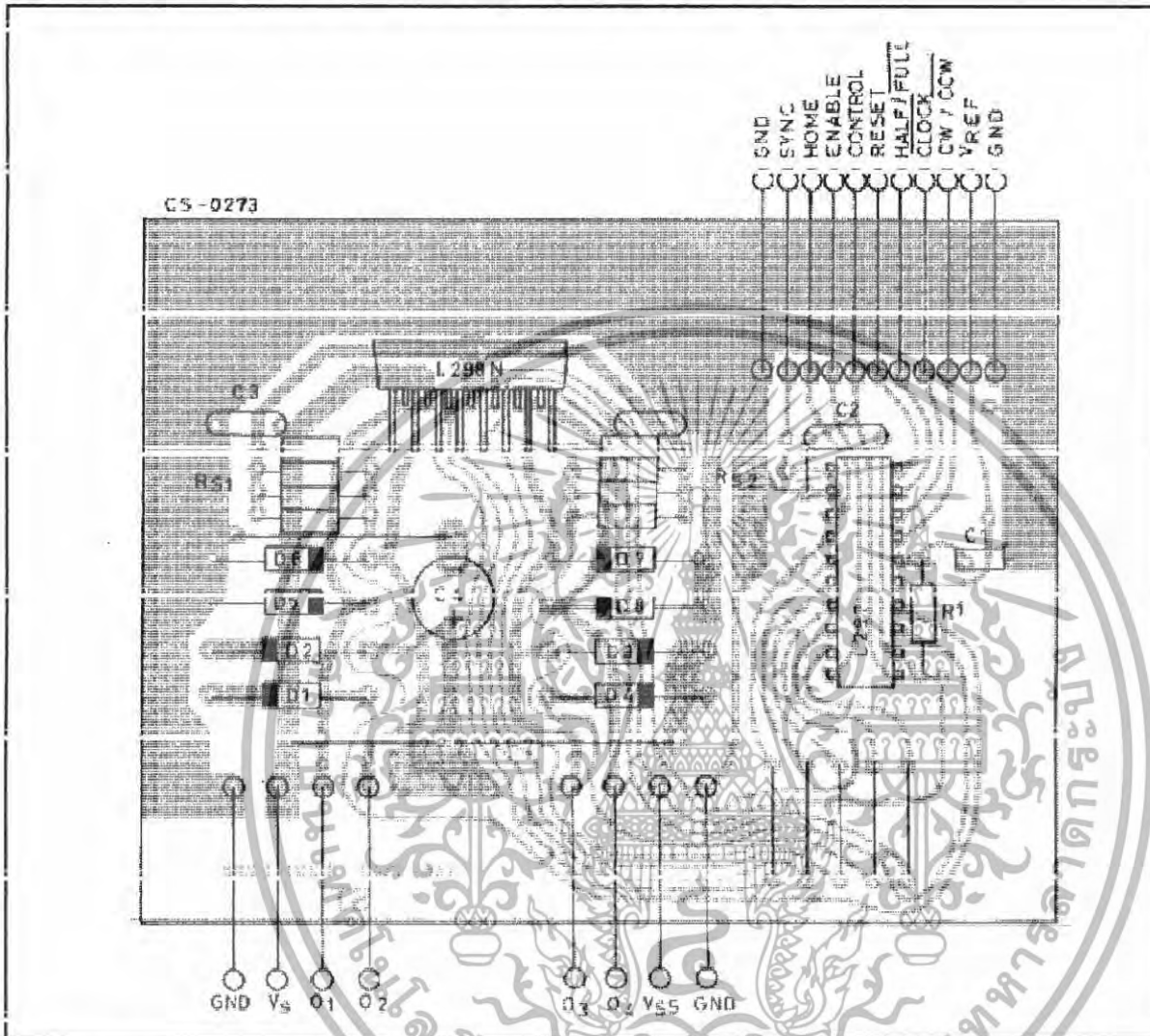
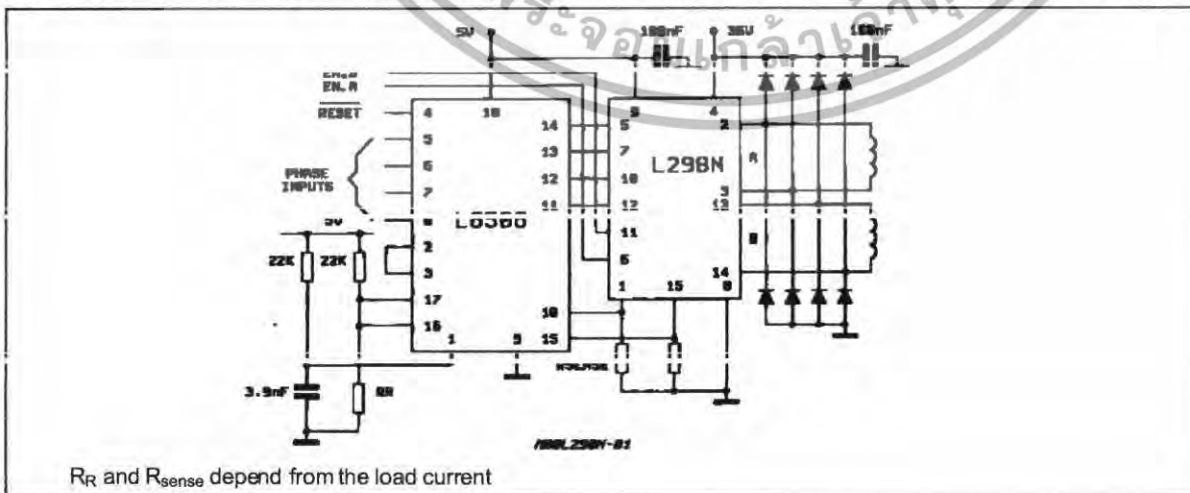
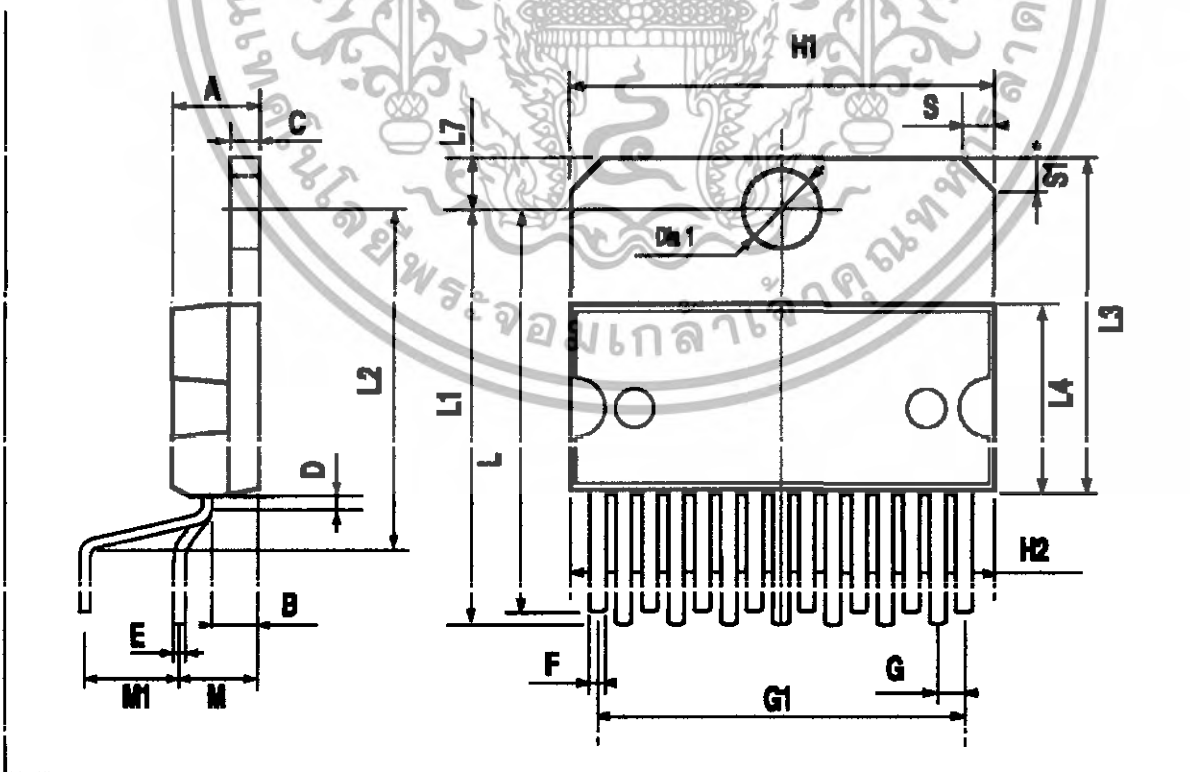


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



MULTIWATT15 (VERTICAL) PACKAGE MECHANICAL DATA

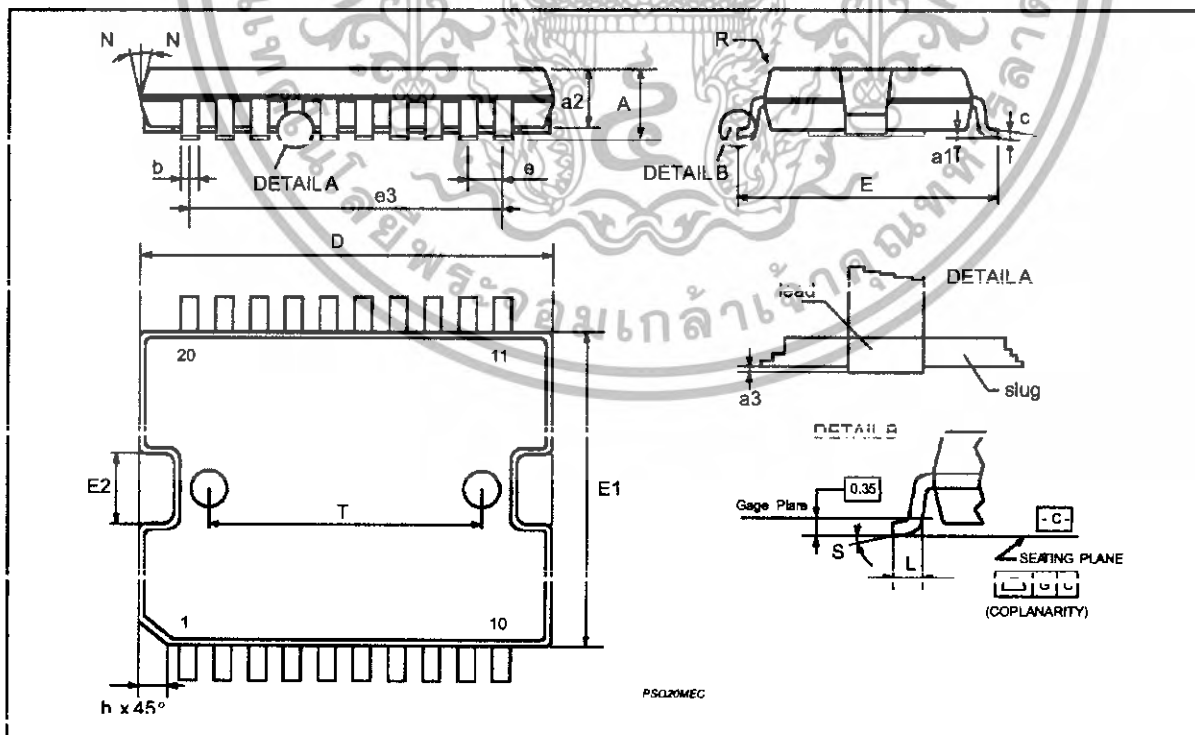
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.0			0.039
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	22.1		22.6	0.870		0.890
L1	22		22.5	0.866		0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.2	4.3	4.6	0.165	0.169	0.181
M1	4.5	5.08	5.3	0.177	0.200	0.209
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152



PowerSO20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.60			0.1417
a1	0.10		0.30	0.0039		0.0118
a2			3.30			0.1299
a3	0		0.10	0		0.0039
b	0.40		0.53	0.0157		0.0209
c	0.23		0.32	0.0091		0.0126
D (1)	15.80		16.00	0.6220		0.6299
E	13.90		14.50	0.5472		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.90		11.10	0.4291		0.437
E2			2.90			0.1141
G	0		0.10	0		0.0039
h			1.10			
L	0.80		1.10	0.0314		0.0433
N			10° (max.)			
S			8° (max.)			
T		10.0			0.3937	

(1) *D and E1* do not include mold flash or protrusions
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (0.006")





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1995 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malla - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

DATA SHEET



LWM-433H 433.93/434.33 Dual Channel FSK Data Transceiver Module

Specifications and information are subject to change without notice.

November 2006 rev 3.0

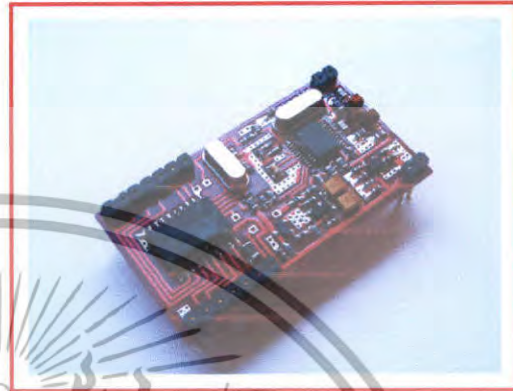


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ PHZ Communications Co., Ltd. เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
9/204 Moo 1, Buatongkeha Bangbuatong Nonthaburi 11110 THAILAND
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่ ณ วันที่มีการนำใบใช้
Tel: +66-0-2925-8563, +66-0-2925-8565 Fax: 66-0-2925-8564 E-mail: phz@p-hz.com

LWM-433H
433.93/434.33 MHz Dual Channel
FSK Data Transceiver Module



The LWM-433H is a miniature PCB mounting FSK data transceiver module. The LWM-433H is a dual channel data transceiver module designed to operate in 433 MHz ISM frequency band. The module enables the simple implementation of a data link at 5 mW transmitted power and data rate of 4800 or 9600 bit/s. LWM-434H module enables half-duplex directional wireless connectivity using 5V battery powered or handheld applications.



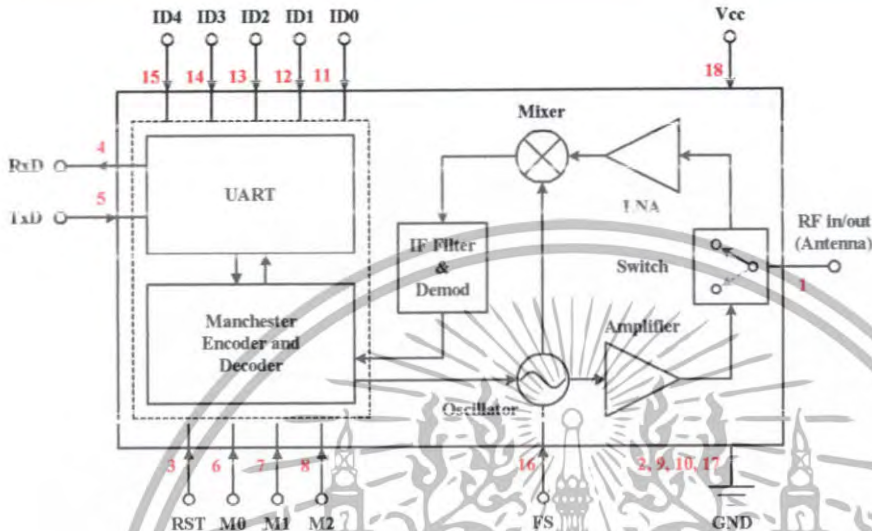
Features:

- 433.93 or 434.33 MHz version
- Frequency Shift Keying (FSK) transceiver for digital data transmission
- Operate with 5 VDC supply (Vcc)
- 5 mW (+7 dBm) output power @ 5 VDC supply
- Low current consumption < 25 mA @ 5 VDC supply
- -105 dBm receiver's sensitivity @ supply = 5 VDC, BR = 9600 bit/s and BER < 10⁻³
- Standard UART data connectivity
- Data rate 4800 or 9600 bit/s in radio packet mode
- Continues data up to 4000 bytes per packet in radio package mode
- Usable range up to 500 meters in open ground (used with AMB-434UM)
- Crystal based oscillator in phase lock loop - frequency synthesizer
- High frequency stability with frequency error < 100 ppm
- Small size and very low cost
- Enable facility

The LWM-433H module is a high performance data transceiver module. With high efficiency and high data rate, the modules will suit one-to-one and multi-node wireless links. Because of their small size, high performance and low voltage requirement a module is ideal for use in portable, battery-powered applications such as alarm and security system, automatic meter reading (AMR), home automation, remote control, surveillance, wireless communication, EPOS and inventory tracking, remote industrial process monitoring and computer networking.



LWM-433H
433.93/434.33 MHz Dual Channel
FSK Data Transceiver Module



Block diagram

Pin description:

- Vcc (pin 17)** DC power supply input at 5.0V (Input pin)
- ID4 – ID0 (pin 11-15)** 5 bits identify codes (ID) (Input pin)
- TxD (pin 4)** Transmitted data input (UART-RxD) (Input pin)
- RxD (pin 5)** Received data output (UART-TxD) (Output pin)
- RST (pin 3)** Master reset of on-board μ -controller (active HIGH) (Input pin)
- M0 (pin 6)** Bit rate selector, HIGH ("1") for 9600 bit/s and LOW ("0") for 4800 bit/s. (Input pin)
- M1 (pin 7)** Carrier detect (CD) output pin (release HIGH level when received data ID match as on-board receiver ID) (Output pin)
- M2 (pin 8)** Watchdog signal (used for connect to watch dog IC, a square wave signal have been generated when on-board microcontroller working normally) (Output pin)



LWM-433H
433.93/434.33 MHz Dual Channel
FSK Data Transceiver Module

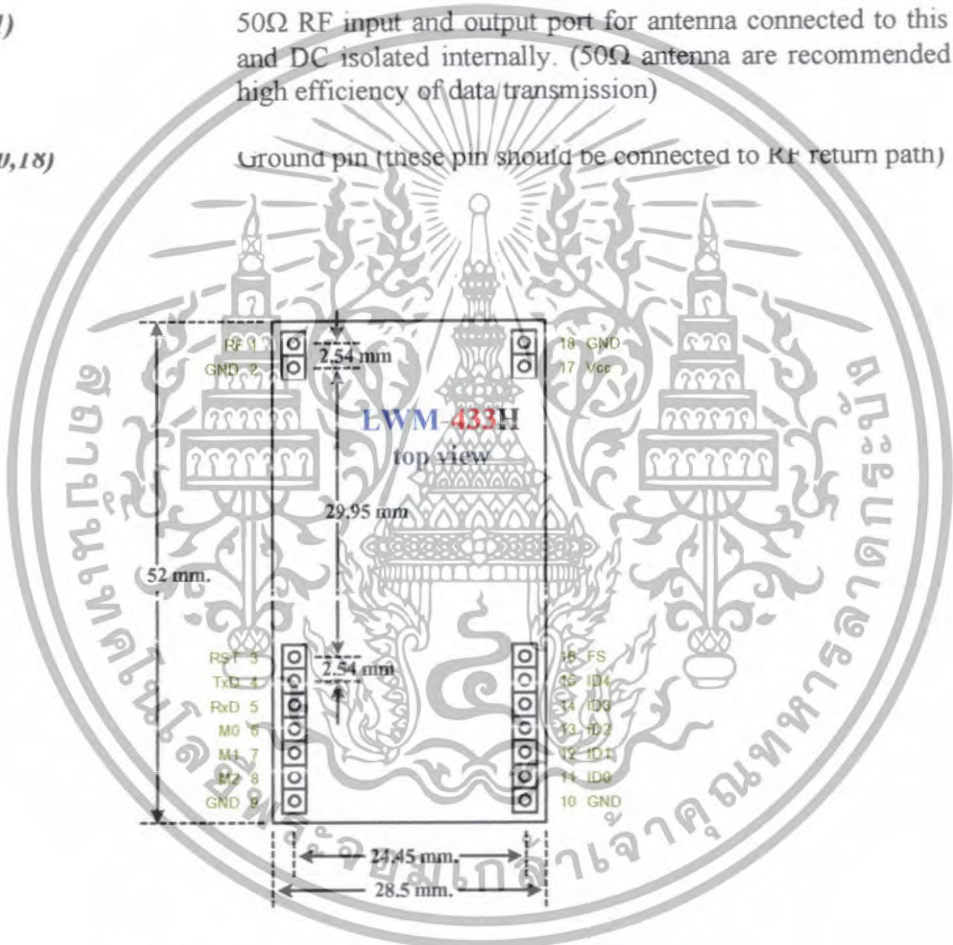


Pin description: (continue)

FS (pin 16) Frequency selector, LOW (“0”) for 433.93 MHz and HIGH (“1”) for 434.33 MHz frequency operation

RF in/out (pin 1) 50Ω RF input and output port for antenna connected to this pin and DC isolated internally. (50Ω antenna are recommended for high efficiency of data transmission)

GND (pin 2,9,10,18) Ground pin (these pin should be connected to RF return path)



Physical dimension



LWM-433H
433.93/434.33 MHz Dual Channel
FSK Data Transceiver Module



Absolute Maximum Rating:

Operating temperature: 0 °C to +55°C
Storage temperature: -30 °C to +85°C
Operating supply voltage: 6 VDC
Antenna (pin 5): ± 50 VDC

Electrical Specifications:

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vcc	Main supply voltage	Vcc at pin 17	4.5	5.0	5.5	V
Icc	Main supply current	Icc at pin 17 @ Vcc = 5V		25		mA
ID4-ID0	Identify code	HIGH ("1") at pin 15-11	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 15-11	-0.1	0	0.8	V
RST	Master reset (active HIGH)	normal operation	-0.1	0	1.2	V
		reset operation	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
RxD	UART received data	HIGH ("1") at pin 4	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 4	-0.1	0	0.8	V
TxD	UART transmitted data	HIGH ("1") at pin 5	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 5	-0.1	0	0.8	V
M0	Bit rate selector ("0" for 4800 bit/s) ("1" for 9600 bit/s)	HIGH ("1") at pin 6	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 6	-0.1	0	0.8	V
M1	Data carrier detect signal	HIGH ("1") at pin 7	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 7	-0.1	0	0.8	V
D _{max}	Maximum data / package	in package mode		4000		byte
M2	Watchdog Signal	HIGH ("1") at pin 8	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 8	-0.1	0	0.8	V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่จำกัดสิทธิ์ใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์ทั้งหมดเป็นของ pHz Communications Co., Ltd. จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9/204 Moo 1 Buatongkeha Banghuatong Nonthaburi 11110 THAILAND

Tel: +66-0-2925-8563, +66-0-2925-8565 Fax: 66-0-2925-8564 E-mail: phz@p-hz.com

LWM-433H
433.93/434.33 MHz Dual Channel
FSK Data Transceiver Module

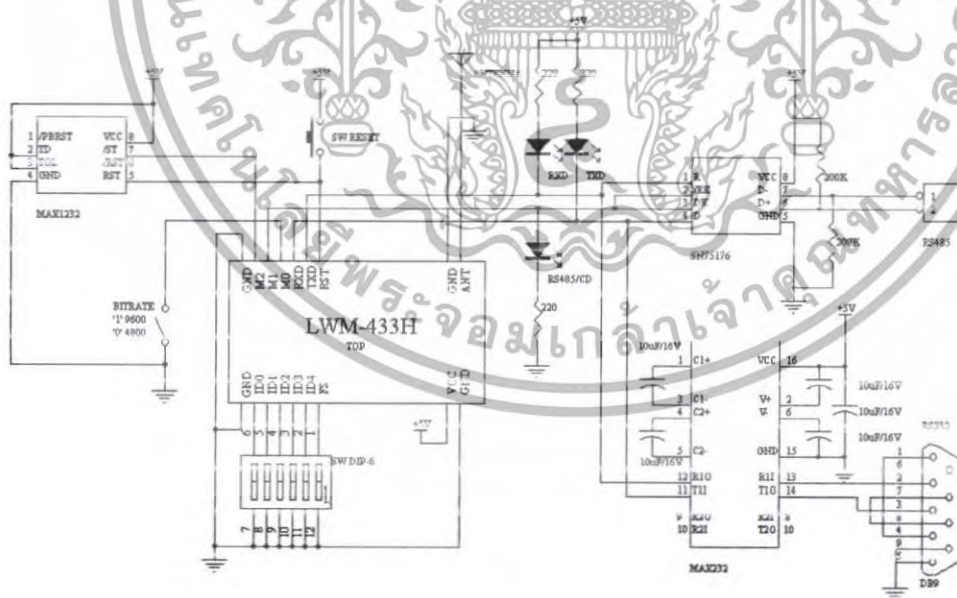


Electrical Specifications: (continue)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
FS	Frequency selector (HIGH for 433.93 MHz) (LOW for 434.33 MHz)	HIGH ("1") at pin 16	Vcc-0.1	Vcc	Vcc+0.6	V
		LOW ("0") at pin 16	-0.1	0	0.8	V
F _o	Output frequency	433.93 MHz operation	433.88	433.93	433.98	MHz
		434.33 MHz operation	434.28	434.33	434.38	MHz
F _{error}	Frequency error	433.93 and 434.33 MHz	50	70	100	ppm
P _o	Output power	Output power @ pin 1	+4	+5	+6	mW
2 nd	Second harmonic	VCC=5V, T=25°C		-30	-20	dBc

Note: Case temperature = 25°C, Test source impedance = 50 ohms.

General Application Schematic



MAXIM**+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers****General Description****Features**

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5 μ W. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Applications**Ordering Information**

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSF	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.
*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μ F)	SHDN & Three-State	Fix Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-lc.com.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX220-MAX249

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V _{CC})	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C) ... 440mW	
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C) ... 696mW	
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) ... 762mW	
R _{IIN} (Except MAX220)	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C) ... 762mW	
R _{IIN} (MAX220)	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C) ... 800mW	
T _{OUT} (Except MAX220) (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C) ... 640mW	
T _{OUT} (MAX220)	±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C) ... 800mW	
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C) ... 842mW	
T _{OUT}	±15V	Operating Temperature Ranges	
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2_AC, MAX2_C	0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AE, MAX2_E	-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2_AM, MAX2_M	-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high impedance state, SHDN or V_{CC} = 0V.

Note 2: For the MAX220, V+ and V- can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2-C4 = 0.33µF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS					
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND	±5	±8		V
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220	2	1.4		V
	MAX220: V _{CC} = 5.0V	2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation		5	40	µA
	SHDN = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220		±0.01	±1	
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242		±0.01	±10	µA
	V _{CC} = SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V		±0.01	±10	
Data Rate			200	116	kb/s
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V+ = V- = 0V, V _{OUT} = ±2V	300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V	±7	±22		mA
RS-232 RECEIVERS					
RS-232 Input Voltage Operating Range				±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R2 _{IN}	0.8	1.3	V
		MAX243 R2 _{IN} (Note 2)	-3		
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R2 _{IN}		1.8	2.4
		MAX243 R2 _{IN} (Note 2)		-0.5	-0.1
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.	0.2	0.5	1	V
	MAX243		1		
RS-232 Input Resistance		3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA		0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA	3.5	V _{CC} - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND	-2	-10		mA
	Shrinking V _{OUT} = V _{CC}	10	30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V_{CC} = +5V ±10%, C1–C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2–C4 = 0.33µF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V _{CC} or EN = V _{CC} (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}			±0.05	±10	µA
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current (SHDN = V _{CC}), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T _A = +25°C		0.1	10	µA
		T _A = 0°C to +70°C		2	50	
		T _A = -40°C to +85°C		2	50	
		T _A = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	µA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C _L = 50pF to 2500pF, R _L = 3kΩ to 7kΩ, V _{CC} = 5V, T _A = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/µs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	µs
		MAX220		4	10	
		MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	µs
		MAX220		0.6	3	
		MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t _{PHLS}	MAX242		0.5	10	µs
		MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t _{ET}	MAX222/242, 0.1µF caps (includes charge-pump start-up)		250		µs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t _{DT}	MAX222/242, 0.1µF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLI} - t _{PLHI}	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PLHR} - t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

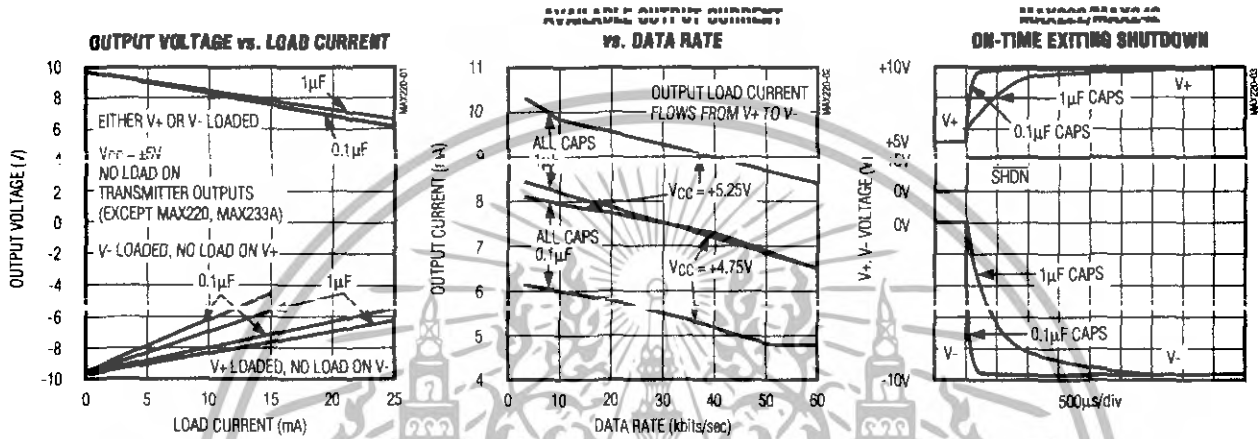
Note 3: MAX243 R_{2OUT} is guaranteed to be low when R_{2IN} is ≥ 0V or is floating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230-MAX241

V _{CC}-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....800mW
V ₊(V _{CC} - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....941mW
V ₋+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....1W
Input Voltages	44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....889mW
T _{IN}-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....727mW
R _{IN}±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....800mW
Output Voltages	20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....889mW
T _{OUT}(V ₊ + 0.3V) to (V ₋ - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP
R _{OUT}-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	(derate 12.50mW/°C above +70°C).....1W
Short-Circuit Duration, T _{OUT}Continuous	24-Pin Sidebraze (derate 20.0mW/°C above +70°C).....1.6W
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....762mW
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....800mW	Operating Temperature Ranges
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....842mW	MAX2__C.....0°C to +70°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....889mW	MAX2__E.....-40°C to +85°C
24-Pin Narrow Plastic DIP	MAX2__M.....-55°C to +125°C
(derate 13.33mW/°C above +70°C).....1.07W	Storage Temperature Range.....-65°C to +160°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....500mW	Lead Temperature (soldering, 10sec).....+300°C
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....762mW	

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230-MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V_{CC} = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V_{CC} = 5V ±5%, C₁-C₄ = 1.0μF, MAX231/MAX239, V_{CC} = 5V ±10%; V₊ = 7.5V to 13.2V; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground		±5.0	±7.3		V
V _{CC} Power-Supply Current	No load, T _A = +25°C	MAX232/233		5	10	mA
		MAX223/230/234-238/240/241		7	15	
V ₊ Power-Supply Current		MAX231/239		0.4	1	mA
		MAX231		1.8	5	
Shutdown Supply Current	T _A = +25°C	MAX239		5	15	μA
		MAX223		15	50	
Input Logic Threshold Low	T _{IN} ; EN, SHDN (MAX233); EN, SHDN (MAX230/235-241)				0.8	V
Input Logic Threshold High	T _{IN}		2.0			V
		EN, SHDN (MAX223); EN, SHDN (MAX230/235/236/240/241)		2.4		
Logic Pull-In Current	T _{IN} = 0V			1.5	200	μA
Receiver Input Voltage Operating Range			-30		30	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230—MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$; MAX233/MAX235, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, $C_1-C_4 = 1.0\mu F$; MAX231/MAX239, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $V_+ = 7.5V$ to $13.2V$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V EN = 5V (R_{4IN} , R_{5IN})	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V EN = 5V (R_{4IN} , R_{5IN})		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$, no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k Ω
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} \approx 1.6mA$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2mA$)				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} \approx -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$; EN = 0V (MAX223); EN = V_{CC} (MAX235-241)			0.05	± 10	μA
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150pF$	Normal operation SHDN = 0V (MAX223)				μs
		t_{PHLS}		4	40	
		t_{PLHS}		6	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234-241, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ μs
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$		300			Ω
Transmitter Output Short-Circuit Current			± 10			mA

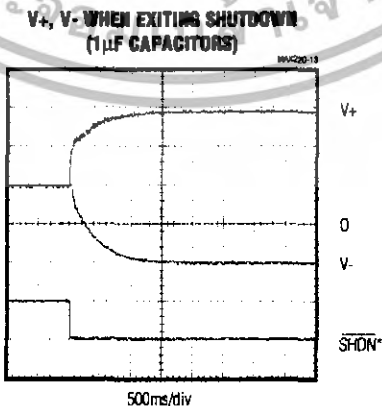
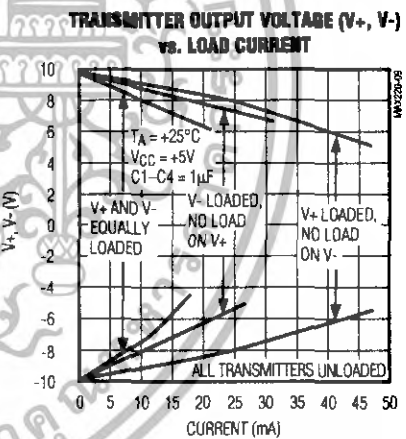
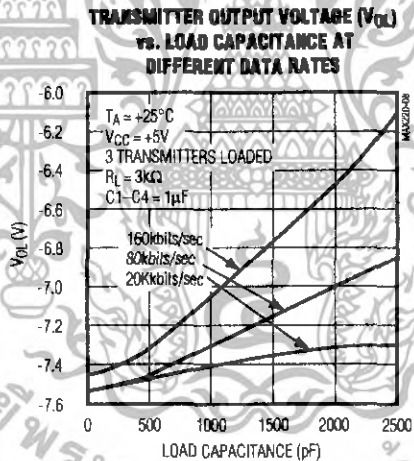
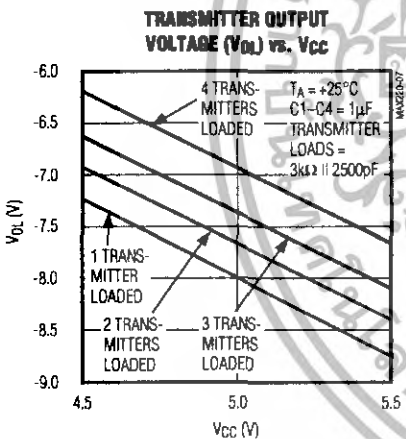
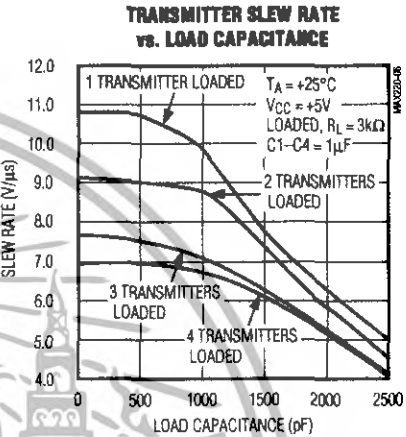
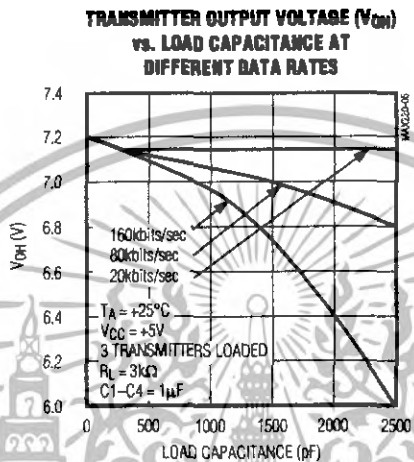
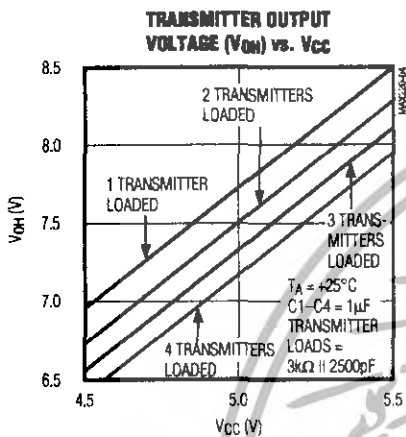
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

Typical Operating Characteristics

MAX223/MAX230-MAX241



*SHUTDOWN POLARITY IS REVERSED FOR NON MAX241 PARTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX225/MAX244-MAX249

Supply Voltage (V _{CC})	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	
Input Voltages		28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C)	1W
T _{IN} , ENA, ENB, ENR, ENT, ENRA,		40-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	811mW
ENRB, ENTA, ENTB	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	44-Pin PLCC (derate 13.33mW/°C above +70°C)	1.07W
R _{IN}	±25V	Operating Temperature Ranges	
T _{OUT} (Note 3)	±15V	MAX225C_-, MAX24_C_-	0°C to +70°C
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX225E_-, MAX24_E_-	-40°C to +85°C
Short Circuit (one output at a time)		Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
T _{OUT} to GND	Continuous	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C
R _{OUT} to GND	Continuous		

Note 4: Input voltage measured with transmitter output in a high-impedance state, shutdown, or V_{CC} = 0V.

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244-MAX249

(MAX225, V_{CC} = 5.0V ±5%; MAX244-MAX249, V_{CC} = +5.0V ±10%, external capacitors C1-C4 = 1μF; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS					
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High		2	1.4		V
Logic Pull-Up/Input Current	Tables 1a-1d	Normal operation	10	50	μA
		Shutdown	±0.01	±1	
Data Rate	Tables 1a-1d, normal operation		120	64	kbits/sec
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND	±5	±7.5		V
Output Leakage Current (shutdown)	Tables 1a-1d	ENA, ENB, ENT, ENTA, ENTB = V _{CC} , V _{OUT} = ±15V	±0.01	±25	μA
		V _{CC} = 0V, V _{OUT} = ±15V	±0.01	±25	
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V ₊ = V ₋ = 0V, V _{OUT} = ±2V (Note 4)	300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V	±7	±30		mA
RS-232 RECEIVERS					
RS-232 Input Voltage Operating Range				±25	V
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	0.8	1.3		V
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V		1.8	2.4	V
RS-232 Input Hysteresis	V _{CC} = 5V	0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance		3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA		0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA	3.5	V _{CC} - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND	-2	-10		mA
	Shrinking V _{OUT} = V _{CC}	10	30		
TTL/CMOS Output Leakage Current	Normal operation, outputs disabled, Tables 1a-1d, 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC} , ENR ₋ = V _{CC}		±0.05	±0.10	μA

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244-MAX249 (continued)

(MAX225, $V_{CC} = 5.0V \pm 5\%$; MAX244-MAX249, $V_{CC} = +5.0V \pm 10\%$, external capacitors C1-C4 = 1 μ F; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY AND CONTROL LOGIC					
Operating Supply Voltage	MAX225	4.75		5.25	V
	MAX244-MAX249	4.5		5.5	
V_{CC} Supply Current (normal operation)	No load	MAX225	10	20	mA
		MAX244-MAX249	11	30	
	3k Ω loads on all outputs	MAX225	40		
		MAX244-MAX249	57		
Shutdown Supply Current	$T_A = +25^\circ\text{C}$		8	25	μ A
	$T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}			50	
Control Input	Leakage current			± 1	μ A
	Threshold low		1.4	0.8	V
	Threshold high	2.4	1.4		
AC CHARACTERISTICS					
Transition Slew Rate	$C_L = 50\text{pF}$ to 2500pF , $R_L = 3\text{k}\Omega$ to $7\text{k}\Omega$, $V_{CC} = 5\text{V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	5	10	30	V/ μ s
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t_{PHLT}		1.3	3.5	μ s
	t_{PLHT}		1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 2	t_{PHLR}		0.6	1.5	μ s
	t_{PLHR}		0.6	1.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (low-power mode), Figure 2	t_{PHLS}		0.6	10	μ s
	t_{PLHS}		3.0	10	
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLT} - t_{PLHT}$		350		ns
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLR} - t_{PLHR}$		350		ns
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t_{ER}		100	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t_{DR}		100	500	ns
Transmitter Enable Time	t_{ET}	MAX246-MAX249 (excludes charge-pump start-up)	5		μ s
		MAX225/MAX245-MAX249 (includes charge-pump start-up)	10		ms
Transmitter Disable Time, Figure 4	t_{DT}		100		ns

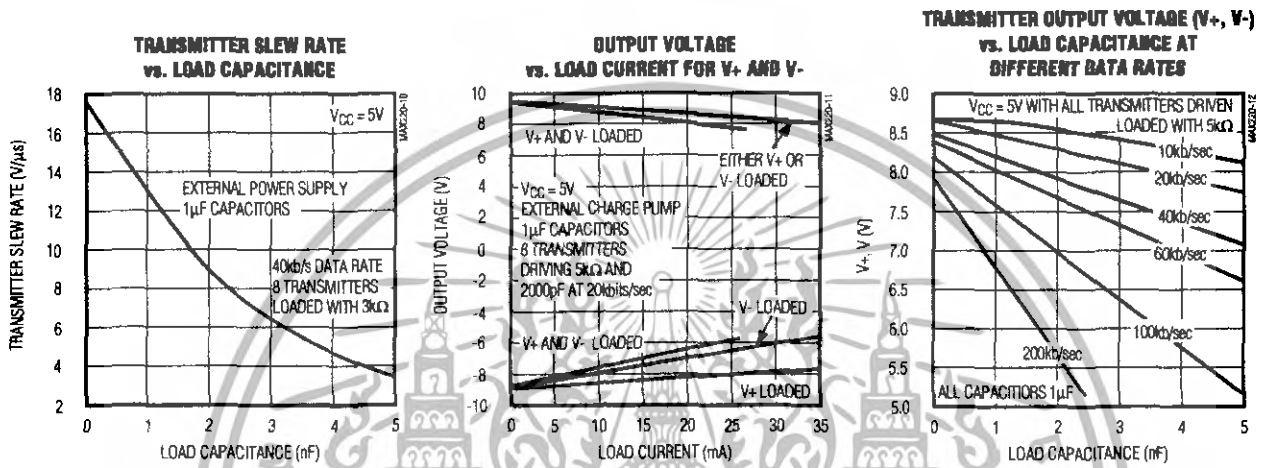
Note 5: The 300 Ω minimum specification complies with EIA/TIA-232E, but the actual resistance when in shutdown mode or $V_{CC} = 0\text{V}$ is 10M Ω as is implied by the leakage specification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

MAX225/MAX244-MAX249



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

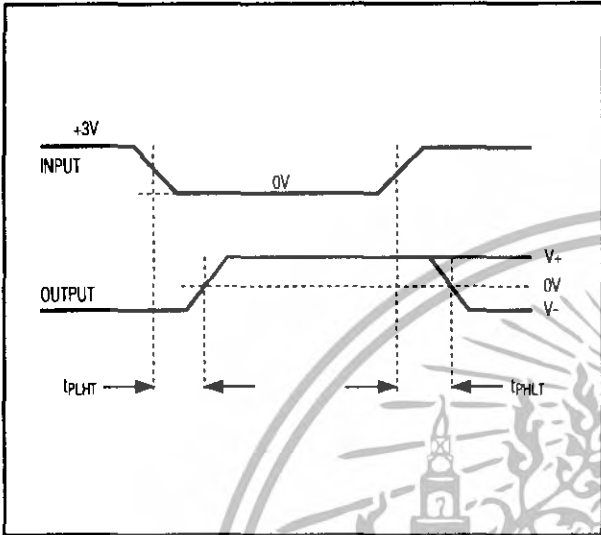


Figure 1. Transmitter Propagation-Delay Timing

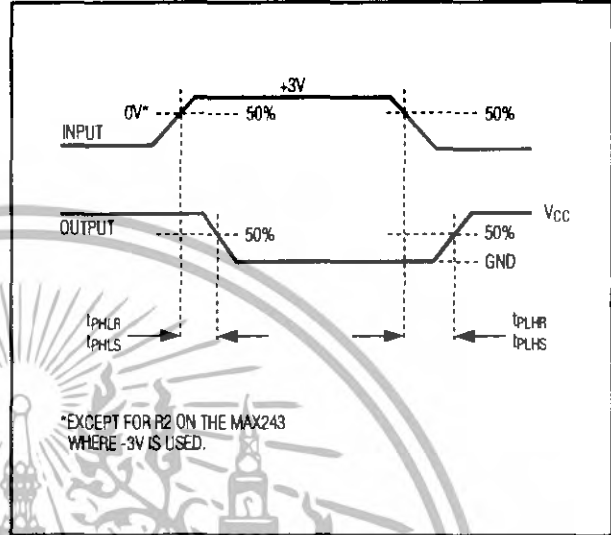


Figure 2. Receiver Propagation-Delay Timing

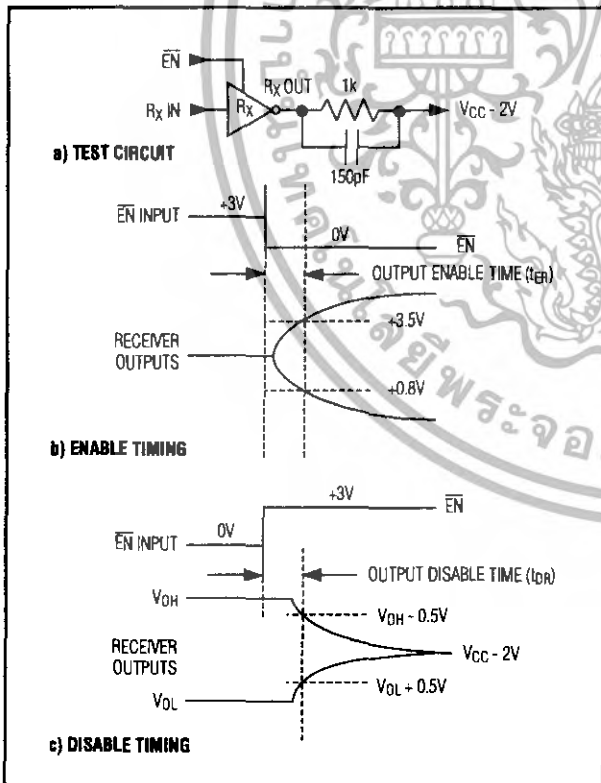


Figure 3. Receiver-Output Enable and Disable Timing

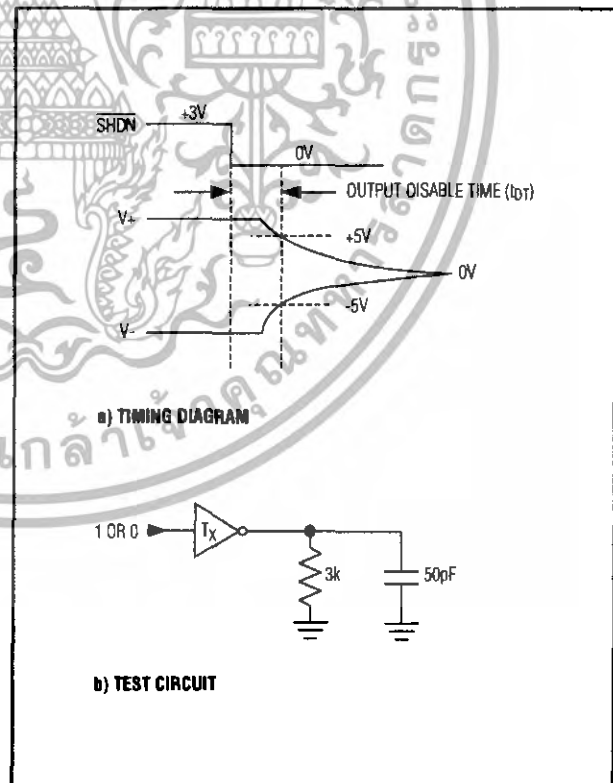


Figure 4. Transmitter-Output Disable Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Table 1a. MAX245 Control Pin Configurations

$\overline{\text{ENT}}$	$\overline{\text{ENR}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS	RECEIVERS
0	0	Normal Operation	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State
1	0	Shutdown	All 3-State	All Low-Power Receive Mode
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State

Table 1b. MAX245 Control Pin Configurations

$\overline{\text{ENT}}$	$\overline{\text{ENR}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS	
			TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All Active	RA1-RA4 3-State, RA5 Active	RB1-RB4 3-State, RB5 Active
1	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All Low-Power Receive Mode	All Low-Power Receive Mode
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	RA1-RA4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode	RB1-RB4 3-State, RB5 Low-Power Receive Mode

Table 1c. MAX246 Control Pin Configurations

$\overline{\text{ENA}}$	$\overline{\text{ENB}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS	
			TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	RB1-RB4 3-State, RB5 Active
1	0	Shutdown	All 3-State	All Active	RA1-RA4 3-State, RA5 Active	All Active
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	RA1-RA4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode	RB1-RB4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

Table 1d. MAX247/MAX248/MAX249 Control Pin Configurations

ENT _A	ENT _B	ENR _A	ENR _B	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS		
					MAX247	TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA4	RB1-RB5
					MAX248	TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA4	RB1-RB4
					MAX249	TA1-TA3	TB1-TB3	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active	
0	0	0	1	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
0	0	1	0	Normal Operation	All Active	All Active	All 3-State	All Active	
0	0	1	1	Normal Operation	All Active	All Active	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
0	1	0	0	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	All Active	
0	1	0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
0	1	1	0	Normal Operation	All Active	All 3-State	All 3-State	All Active	
0	1	1	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	0	0	0	Normal Operation	All 3-State	All Active	All Active	All Active	
1	0	0	1	Normal Operation	All 3-State	All Active	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	0	1	0	Normal Operation	All 3-State	All Active	All 3-State	All Active	
1	0	1	1	Normal Operation	All 3-State	All Active	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	1	0	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	Low-Power Receive Mode	
1	1	0	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	
1	1	1	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	
1	1	1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Detailed Description

The MAX220-MAX249 contain four sections: dual charge-pump DC-DC voltage converters, RS-232 drivers, RS-232 receivers, and receiver and transmitter enable control inputs.

Dual Charge-Pump Voltage Converter

The MAX220-MAX249 have two internal charge-pumps that convert +5V to $\pm 10V$ (unloaded) for RS-232 driver operation. The first converter uses capacitor C1 to double the +5V input to +10V on C3 at the V+ output. The second converter uses capacitor C2 to invert +10V to -10V on C4 at the V- output.

A small amount of power may be drawn from the +10V (V+) and -10V (V-) outputs to power external circuitry (see the *Typical Operating Characteristics* section), except on the MAX225 and MAX245-MAX247, where these pins are not available. V+ and V- are not regulated, so the output voltage drops with increasing load current. Do not load V+ and V- to a point that violates the minimum $\pm 5V$ EIA/TIA-232E driver output voltage when sourcing current from V+ and V- to external circuitry.

When using the shutdown feature in the MAX222, MAX225, MAX230, MAX235, MAX236, MAX240, MAX241, and MAX245-MAX249, avoid using V+ and V- to power external circuitry. When these parts are shut down, V- falls to 0V, and V+ falls to +5V. For applications where a +10V external supply is applied to the V+ pin (instead of using the internal charge pump to generate +10V), the C1 capacitor must not be installed and the SHDN pin must be tied to VCC. This is because V+ is internally connected to VCC in shutdown mode.

RS-232 Drivers

The typical driver output voltage swing is $\pm 8V$ when loaded with a nominal 5k Ω RS-232 receiver and VCC = +5V. Output swing is guaranteed to meet the EIA/TIA-232E and V.28 specification, which calls for $\pm 5V$ minimum driver output levels under worst-case conditions. These include a minimum 3k Ω load, VCC = +4.5V, and maximum operating temperature. Unloaded driver output voltage ranges from (V+ -1.3V) to (V- +0.5V).

Input thresholds are both TTL and CMOS compatible. The inputs of unused drivers can be left unconnected since 400k Ω input pull-up resistors to VCC are built in (except for the MAX220). The pull-up resistors force the outputs of unused drivers low because all drivers invert. The internal input pull-up resistors typically source 12 μA , except in shutdown mode where the pull-ups are disabled. Driver outputs turn off and enter a high-impedance state—where leakage current is typically microamperes (maximum 25 μA)—when in shutdown

mode, in three-state mode, or when device power is removed. Outputs can be driven to $\pm 15V$. The power-supply current typically drops to 8 μA in shutdown mode. The MAX220 does not have pull-up resistors to force the outputs of the unused drivers low. Connect unused inputs to GND or VCC.

The MAX239 has a receiver three-state control line, and the MAX223, MAX225, MAX235, MAX236, MAX240, and MAX241 have both a receiver three-state control line and a low-power shutdown control. Table 2 shows the effects of the shutdown control and receiver three-state control on the receiver outputs.

The receiver TTL/CMOS outputs are in a high-impedance, three-state mode whenever the three-state enable line is high (for the MAX225/MAX235/MAX236/MAX239-MAX241), and are also high-impedance whenever the shutdown control line is high.

When in low-power shutdown mode, the driver outputs are turned off and their leakage current is less than 1 μA with the driver output pulled to ground. The driver output leakage remains less than 1 μA , even if the transmitter output is backdriven between 0V and (VCC + 6V). Below -0.5V, the transmitter is diode clamped to ground with 1k Ω series impedance. The transmitter is also zener clamped to approximately VCC + 6V, with a series impedance of 1k Ω .

The driver output slew rate is limited to less than 30V/ μs as required by the EIA/TIA-232E and V.28 specifications. Typical slew rates are 24V/ μs unloaded and 10V/ μs loaded with 3 Ω and 2500pF.

RS-232 Receivers

EIA/TIA-232E and V.28 specifications define a voltage level greater than 3V as a logic 0, so all receivers invert. Input thresholds are set at 0.8V and 2.4V, so receivers respond to TTL level inputs as well as EIA/TIA-232E and V.28 levels.

The receiver inputs withstand an input overvoltage up to $\pm 25V$ and provide input terminating resistors with

Table 2. Three-State Control of Receivers

PART	SHDN	SHDN	EN	EN(R)	RECEIVERS
MAX223	—	Low High High	X Low High	—	High Impedance Active High Impedance
MAX225	—	—	—	Low High	High Impedance Active
MAX235 MAX236 MAX240	Low Low High	—	—	Low High X	High Impedance Active High Impedance

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

nominal $5k\Omega$ values. The receivers implement Type 1 interpretation of the fault conditions of V.28 and EIA/TIA-232E.

The receiver input hysteresis is typically 0.5V with a guaranteed minimum of 0.2V. This produces clear output transitions with slow-moving input signals, even with moderate amounts of noise and ringing. The receiver propagation delay is typically 600ns and is independent of input swing direction.

Low-Power Receive Mode

The low-power receive-mode feature of the MAX223, MAX242, and MAX245-MAX249 puts the IC into shutdown mode but still allows it to receive information. This is important for applications where systems are periodically awakened to look for activity. Using low-power receive mode, the system can still receive a signal that will activate it on command and prepare it for communication at faster data rates. This operation conserves system power.

Negative Threshold—MAX243

The MAX243 is pin compatible with the MAX232A, differing only in that RS-232 cable fault protection is removed on one of the two receiver inputs. This means that control lines such as CTS and RTS can either be driven or left floating without interrupting communication. Different cables are not needed to interface with different pieces of equipment.

The input threshold of the receiver without cable fault protection is -0.8V rather than +1.4V. Its output goes positive only if the input is connected to a control line that is actively driven negative. If not driven, it defaults to the 0 or "OK to send" state. Normally, the MAX243's other receiver (+1.4V threshold) is used for the data line (TD or RD), while the negative threshold receiver is connected to the control line (DTR, DTS, CTS, RTS, etc.).

Other members of the RS-232 family implement the optional cable fault protection as specified by EIA/TIA-232E specifications. This means a receiver output goes high whenever its input is driven negative, left floating, or shorted to ground. The high output tells the serial communications IC to stop sending data. To avoid this, the control lines must either be driven or connected with jumpers to an appropriate positive voltage level.

Shutdown—MAX222-MAX242

On the MAX222, MAX235, MAX236, MAX240, and MAX241, all receivers are disabled during shutdown. On the MAX223 and MAX242, two receivers continue to operate in a reduced power mode when the chip is in shutdown. Under these conditions, the propagation delay increases to about 2.5 μ s for a high-to-low input transition. When in shutdown, the receiver acts as a CMOS inverter with no hysteresis. The MAX223 and MAX242 also have a receiver output enable input (EN for the MAX242 and EN for the MAX223) that allows receiver output control independent of SHDN (SHDN for MAX241). With all other devices, SHDN (SHDN for MAX241) also disables the receiver outputs.

The MAX225 provides five transmitters and five receivers, while the MAX245 provides ten receivers and eight transmitters. Both devices have separate receiver and transmitter-enable controls. The charge pumps turn off and the devices shut down when a logic high is applied to the ENT input. In this state, the supply current drops to less than 25 μ A and the receivers continue to operate in a low-power receive mode. Driver outputs enter a high-impedance state (three-state mode). On the MAX225, all five receivers are controlled by the ENR input. On the MAX245, eight of the receiver outputs are controlled by the ENR input, while the remaining two receivers (RA5 and RB5) are always active. RA1-RA4 and RB1-RB4 are put in a three-state mode when ENR is a logic high.

Receiver and Transmitter Enable Control Inputs

The MAX225 and MAX245-MAX249 feature transmitter and receiver enable controls.

The receivers have three modes of operation: full-speed receive (normal active), three-state (disabled), and low-power receive (enabled receivers continue to function at lower data rates). The receiver enable inputs control the full-speed receive and three-state modes. The transmitters have two modes of operation: full-speed transmit (normal active) and three-state (disabled). The transmitter enable inputs also control the shutdown mode. The device enters shutdown mode when all transmitters are disabled. Enabled receivers function in the low-power receive mode when in shutdown.

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Tables 1a–1d define the control states. The MAX244 has no control pins and is not included in these tables.

The MAX246 has ten receivers and eight drivers with two control pins, each controlling one side of the device. A logic high at the A-side control input (\overline{FNA}) causes the four A-side receivers and drivers to go into a three-state mode. Similarly, the B-side control input (\overline{ENB}) causes the four B-side drivers and receivers to go into a three-state mode. As in the MAX245, one A-side and one B-side receiver (RA5 and RB5) remain active at all times. The entire device is put into shutdown mode when both the A and B sides are disabled ($\overline{ENA} = \overline{ENB} = +5V$).

The MAX247 provides nine receivers and eight drivers with four control pins. The \overline{ENRA} and \overline{ENRB} receiver enable inputs each control four receiver outputs. The \overline{ENTA} and \overline{ENTB} transmitter enable inputs each control four drivers. The ninth receiver (RB5) is always active. The device enters shutdown mode with a logic high on both \overline{ENTA} and \overline{ENTB} .

The MAX248 provides eight receivers and eight drivers with four control pins. The \overline{ENRA} and \overline{ENRB} receiver enable inputs each control four receiver outputs. The \overline{ENTA} and \overline{ENTB} transmitter enable inputs control four drivers each. This part does not have an always-active receiver. The device enters shutdown mode and transmitters go into a three-state mode with a logic high on both \overline{ENTA} and \overline{ENTB} .

The MAX249 provides ten receivers and six drivers with four control pins. The \overline{ENRA} and \overline{ENRB} receiver enable inputs each control five receiver outputs. The \overline{ENTA} and \overline{ENTB} transmitter enable inputs control three drivers each. There is no always-active receiver. The device enters shutdown mode and transmitters go into a three-state mode with a logic high on both \overline{ENTA} and \overline{ENTB} . In shutdown mode, active receivers operate in a low-power receive mode at data rates up to 20kbits/sec.

Applications Information

Figures 5 through 25 show pin configurations and typical operating circuits. In applications that are sensitive to power-supply noise, VCC should be decoupled to ground with a capacitor of the same value as C1 and C2 connected as close as possible to the device.

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

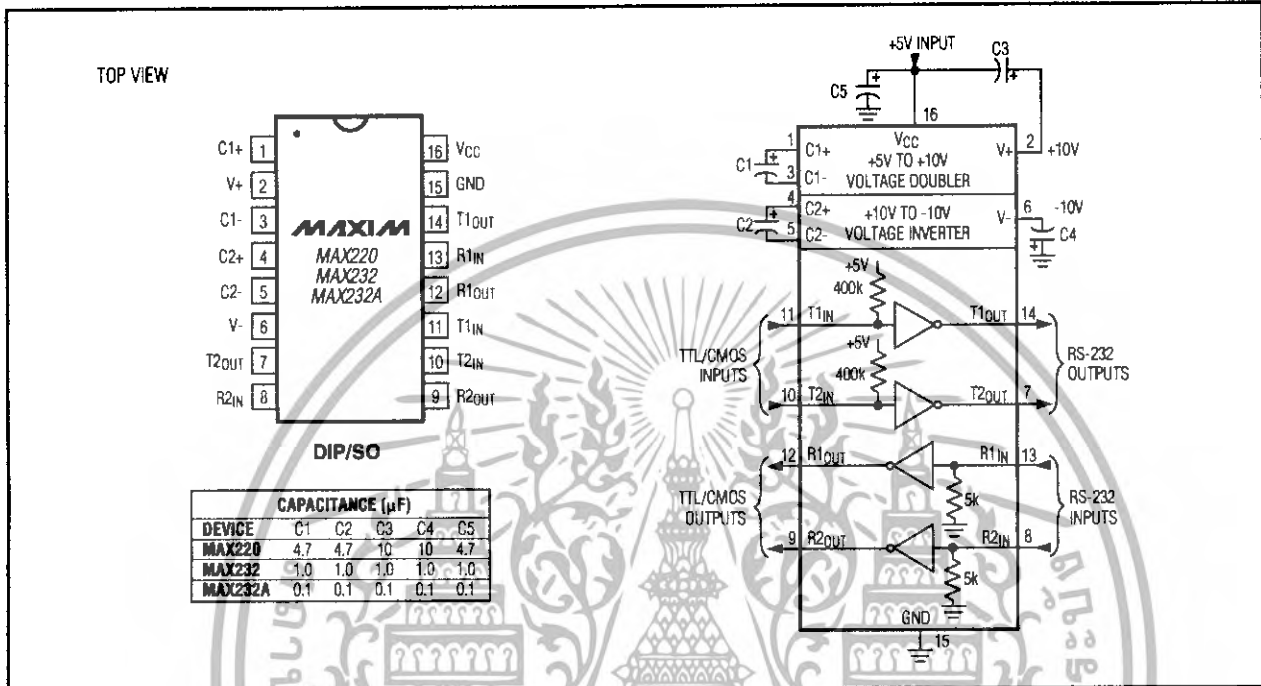


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

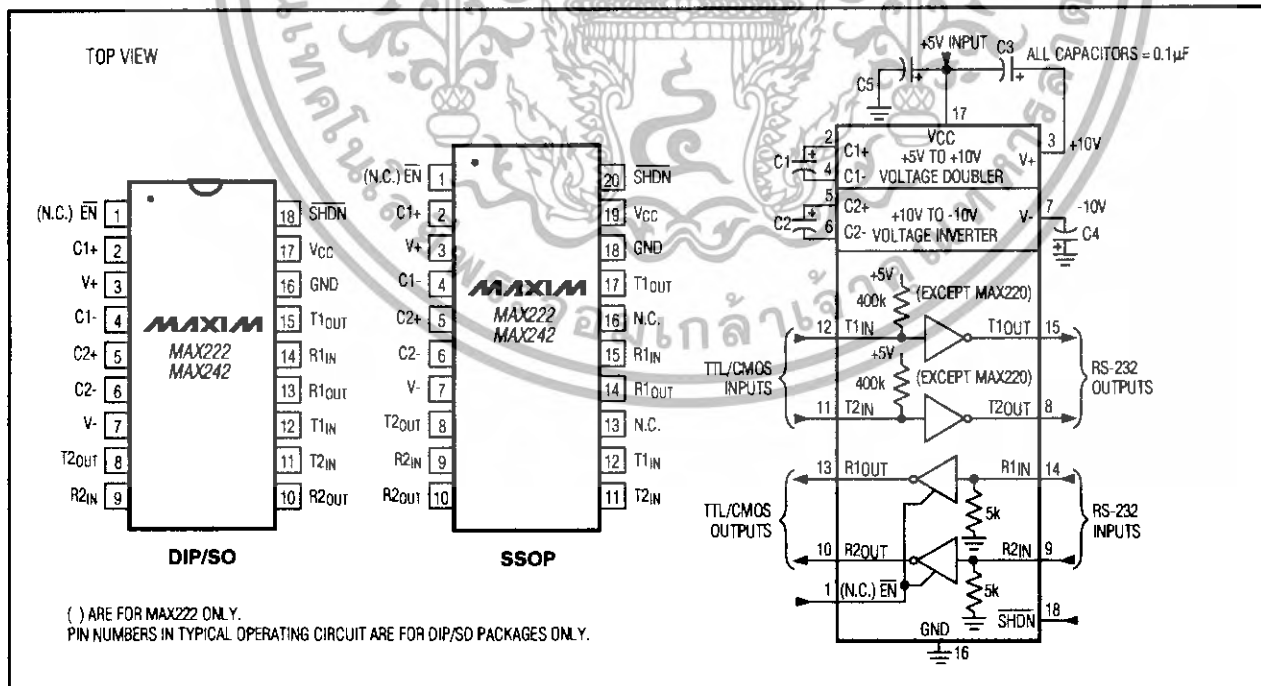


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

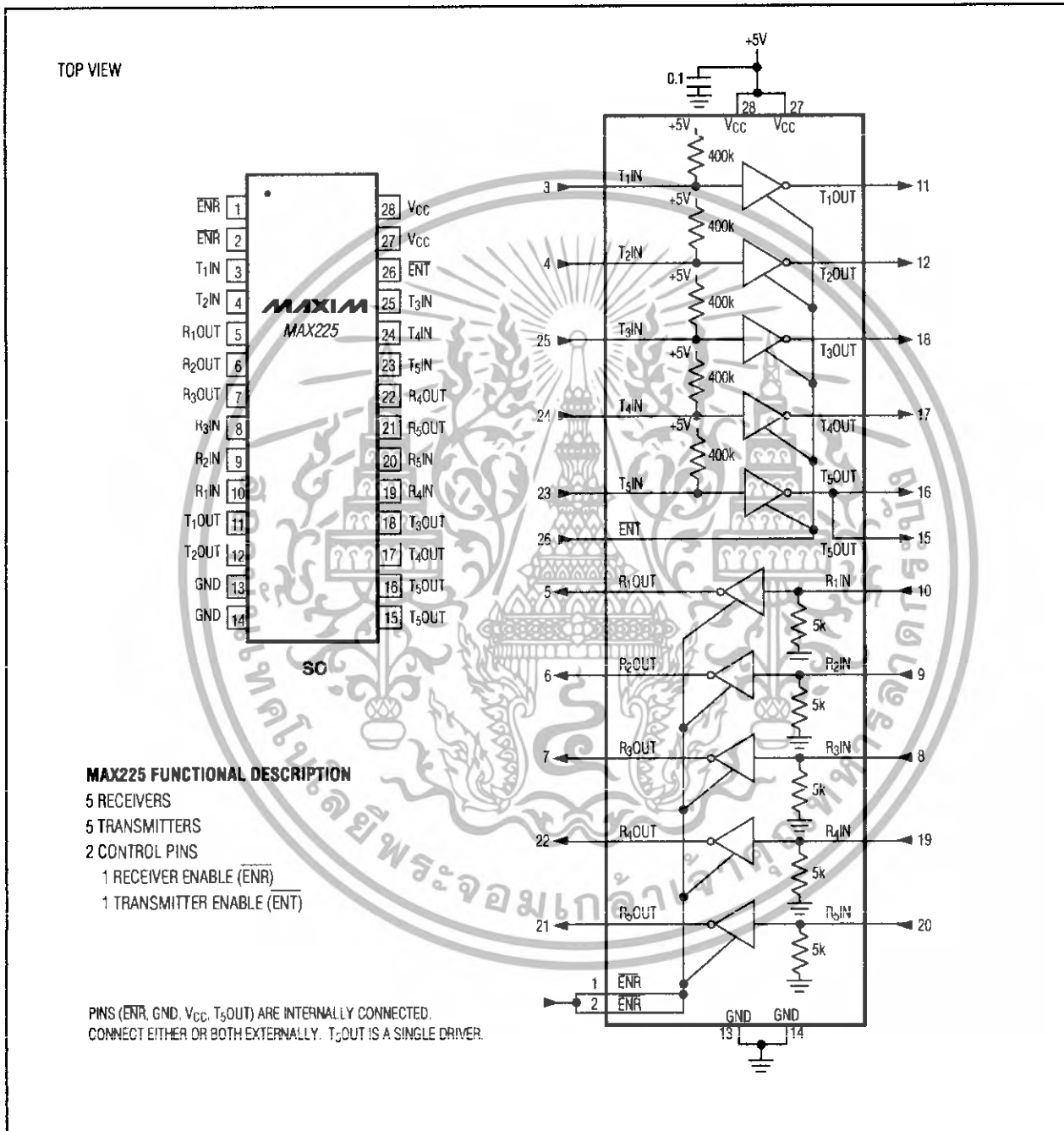


Figure 7 MAX225 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

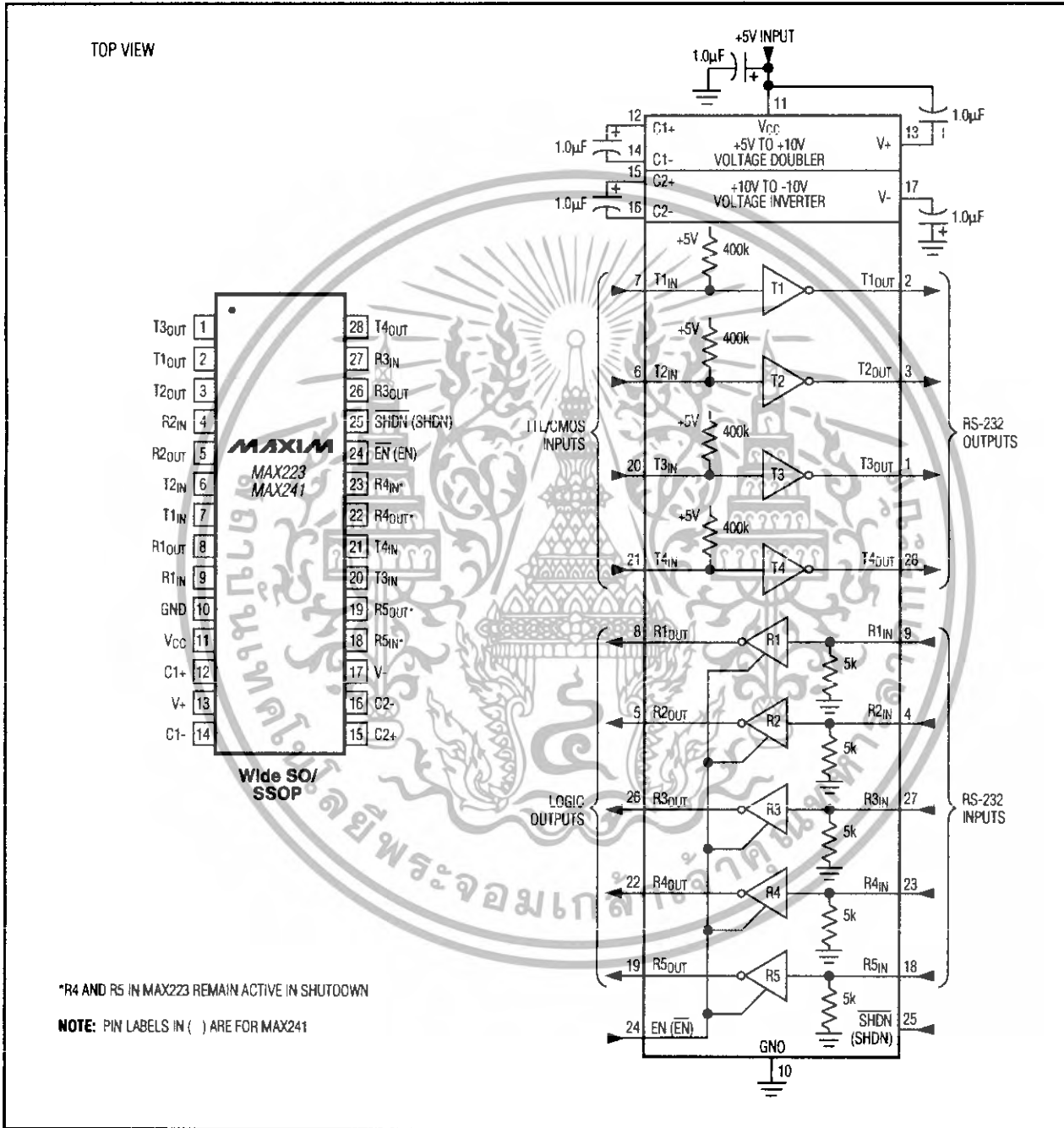


Figure 8. MAX223/MAX241 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

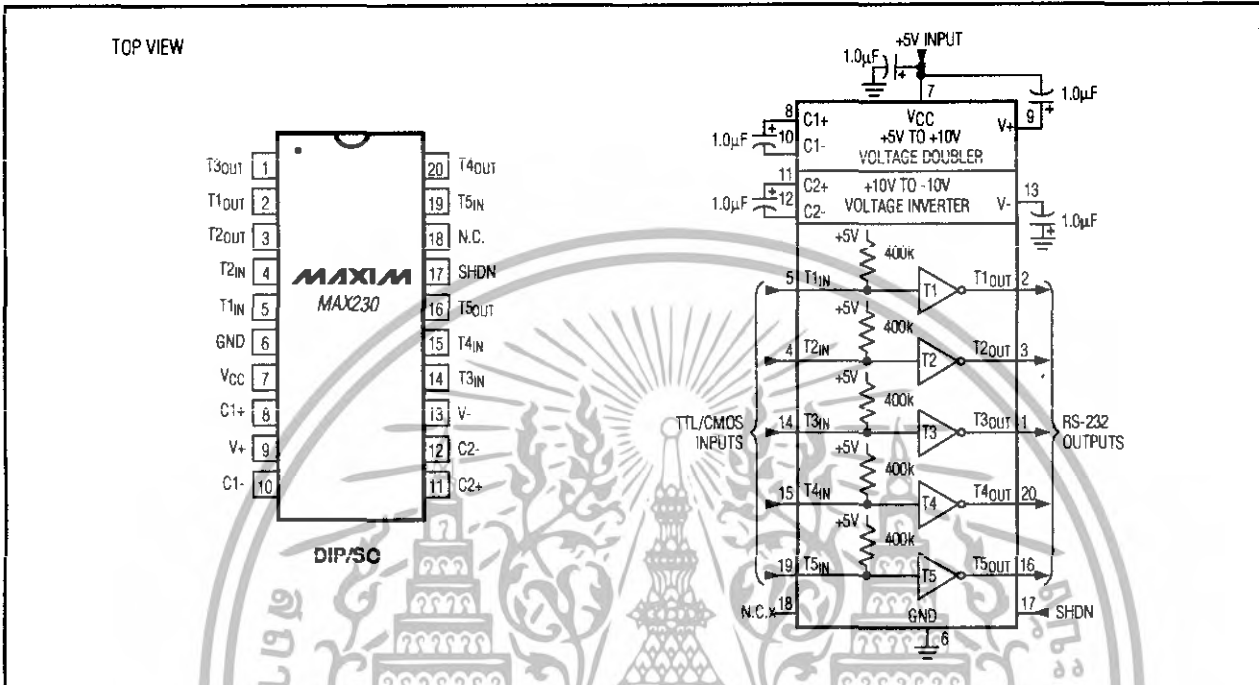


Figure 9. MAX230 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

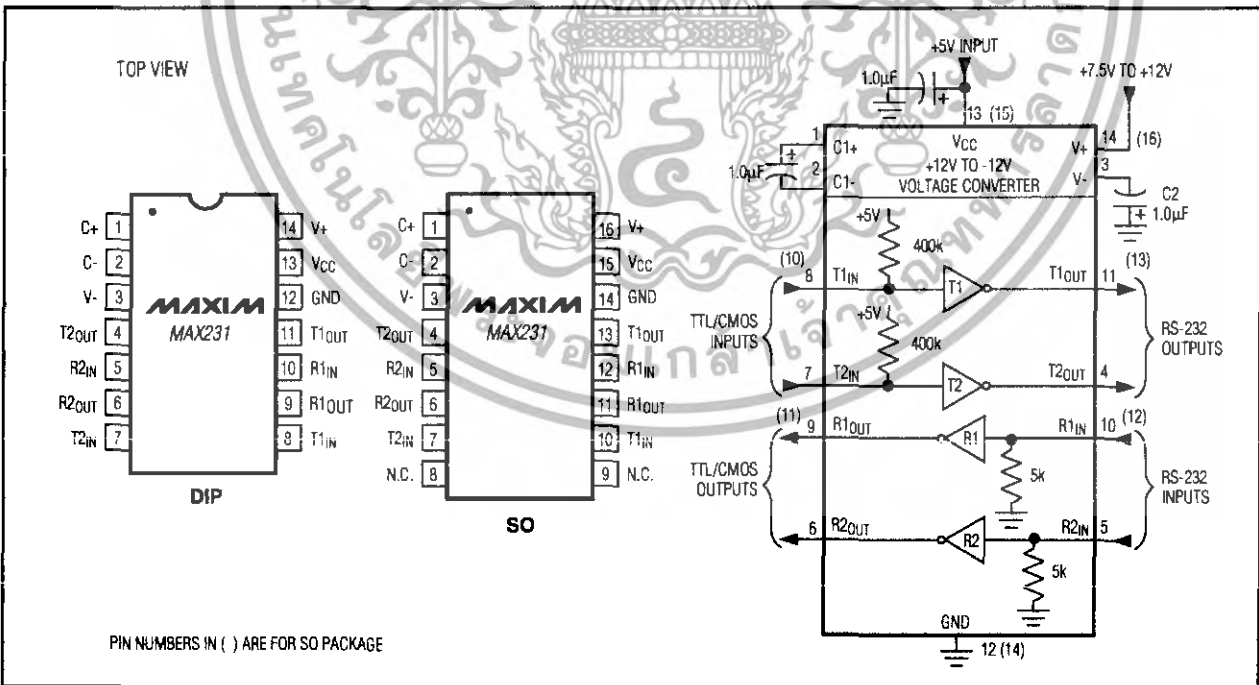


Figure 10. MAX231 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

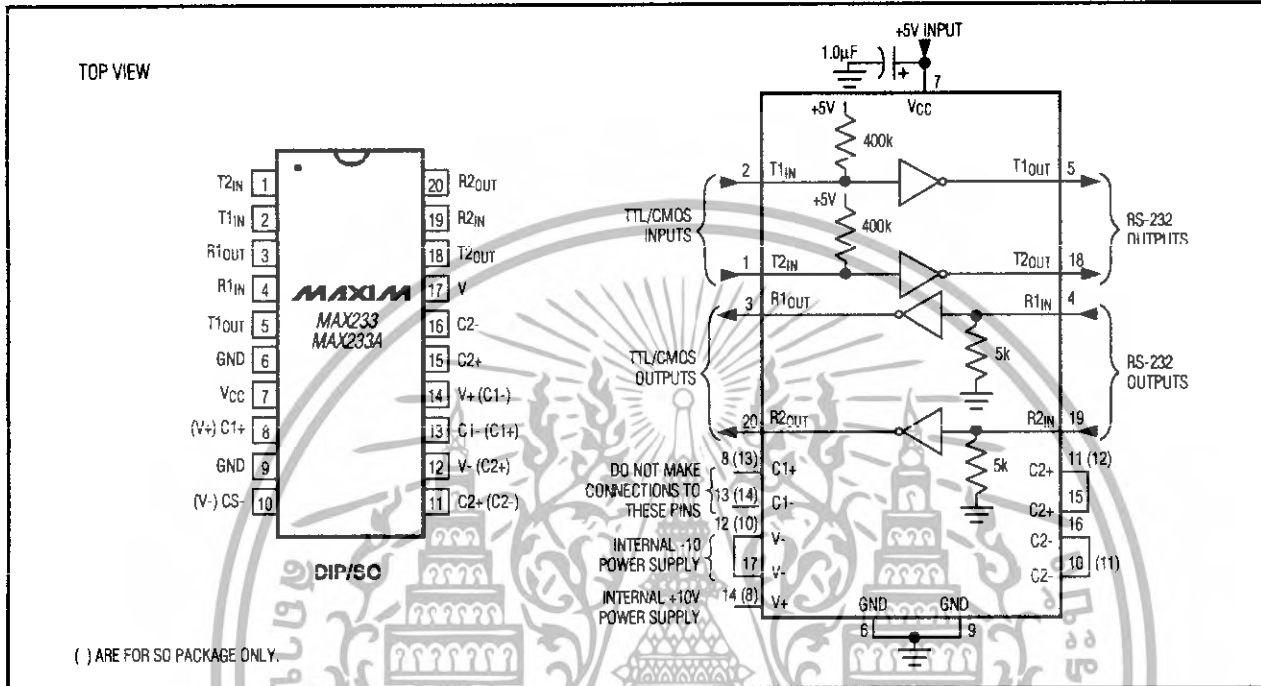


Figure 11. MAX233/MAX233A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

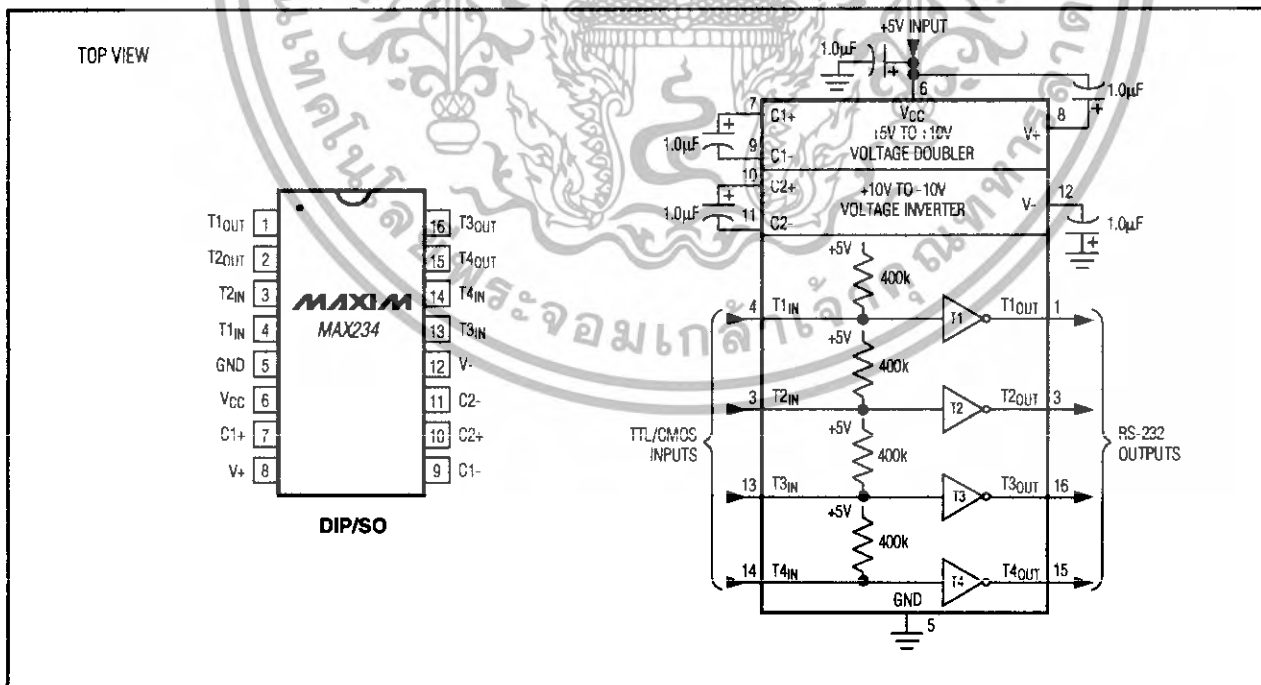


Figure 12. MAX234 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

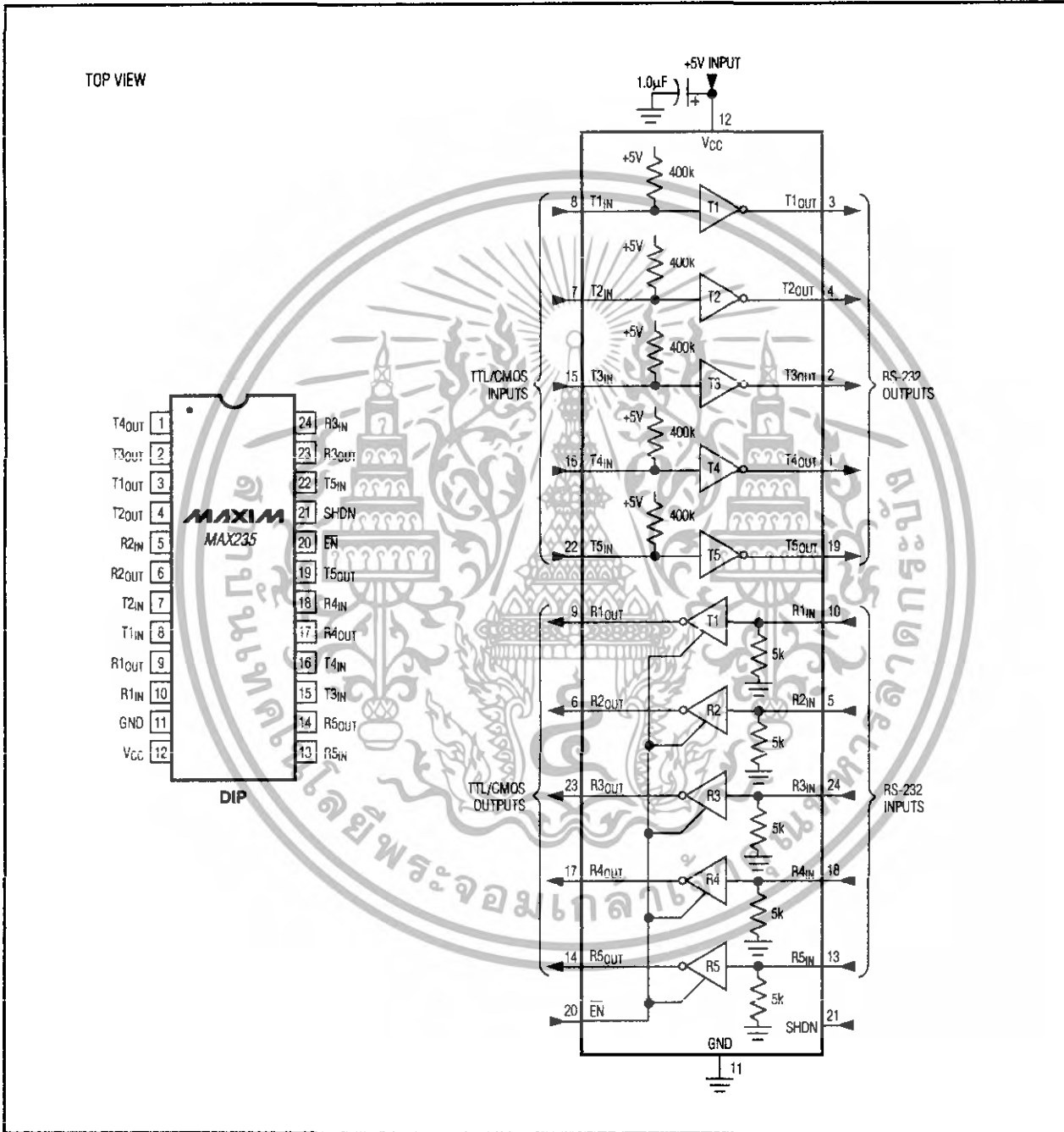
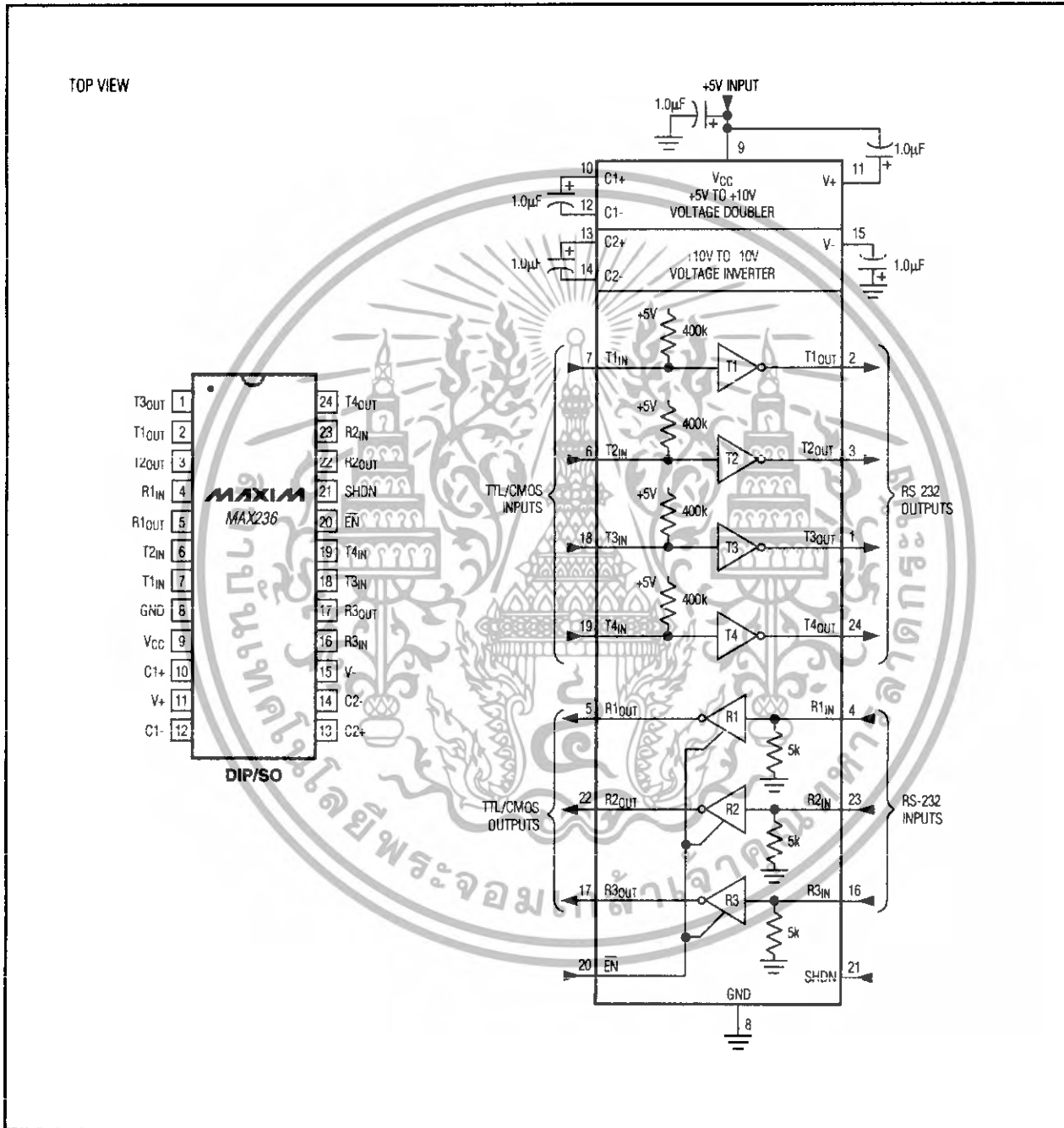


Figure 13. MAX235 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

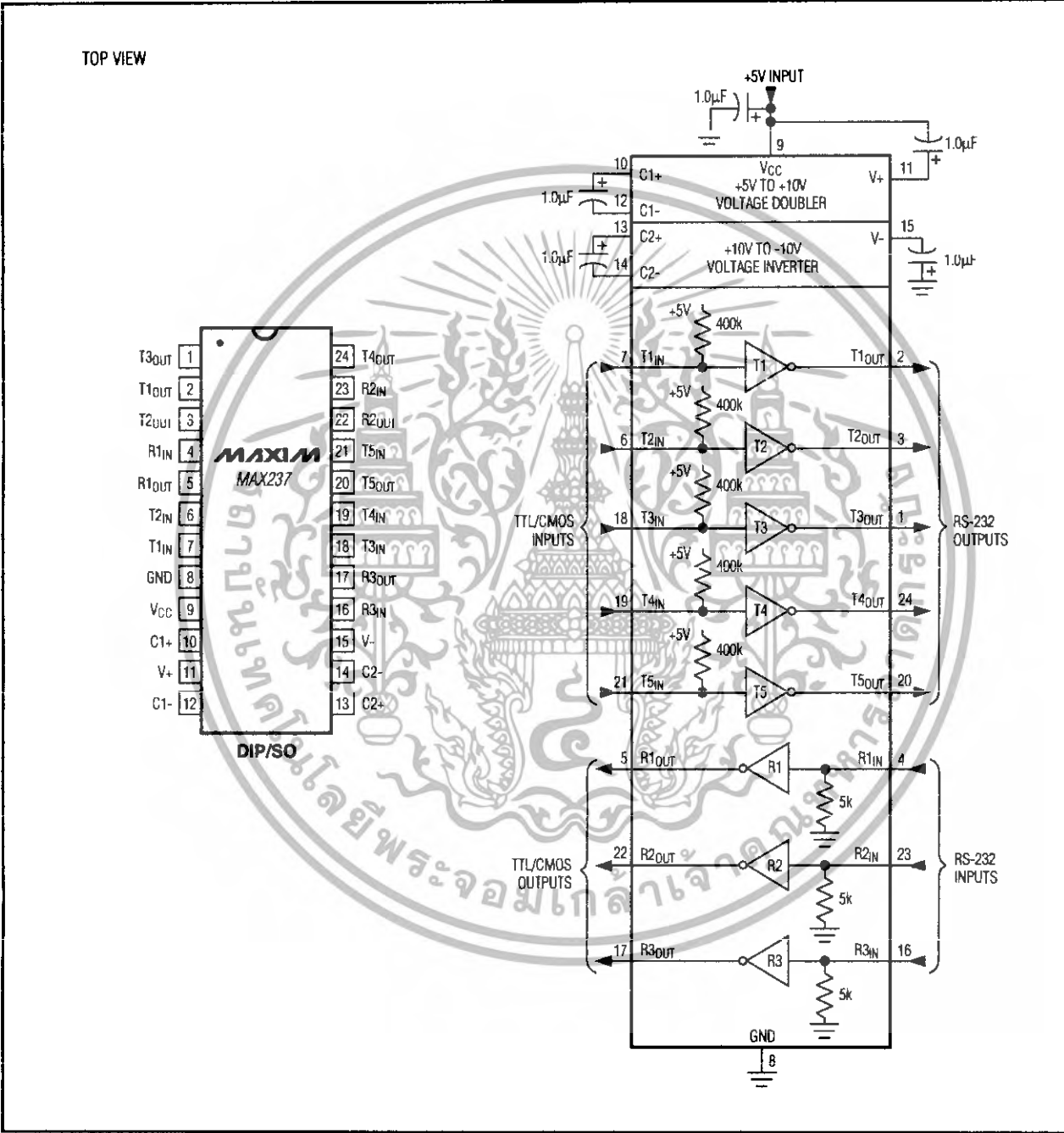
+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

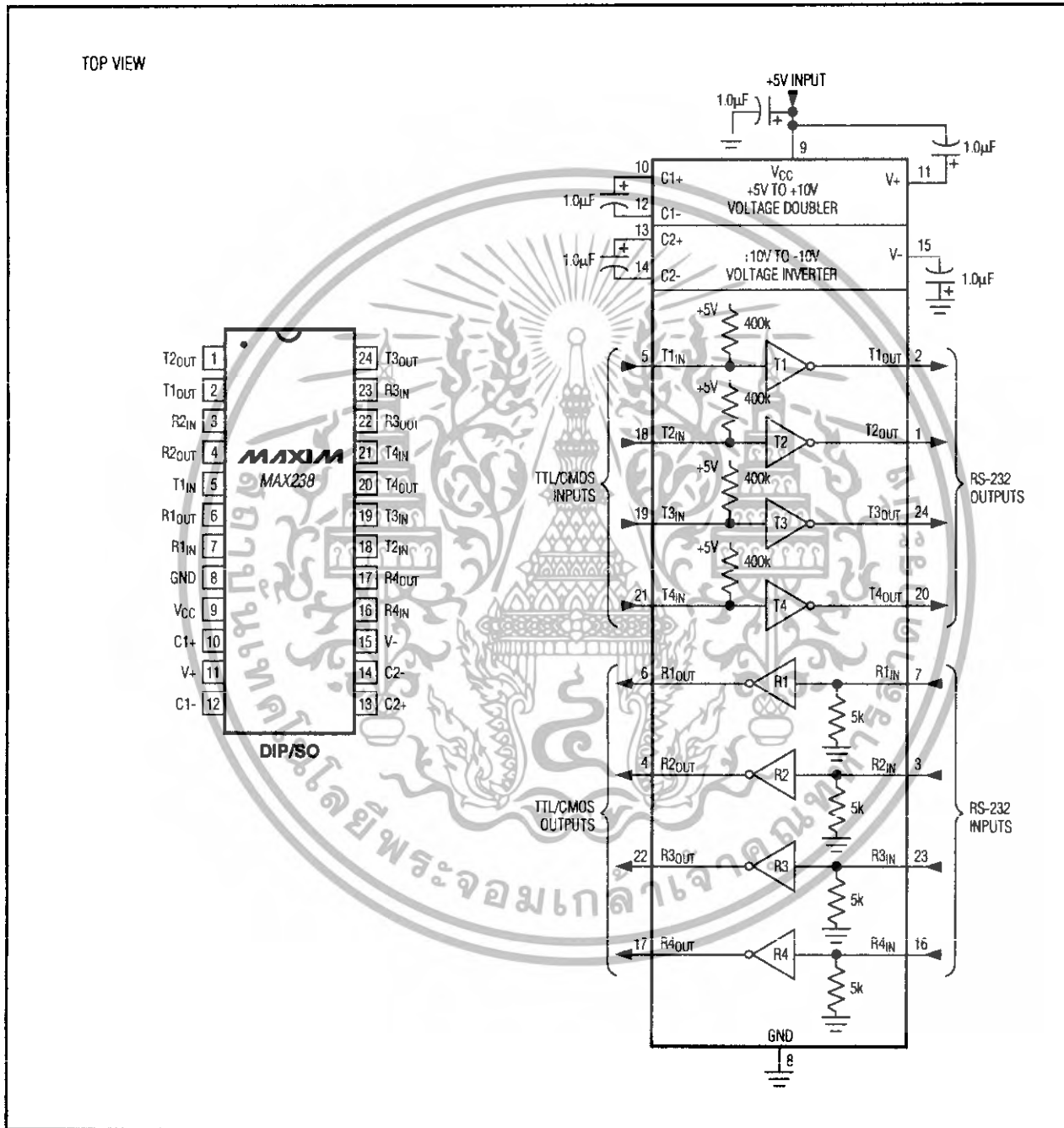


Figure 16. MAX238 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

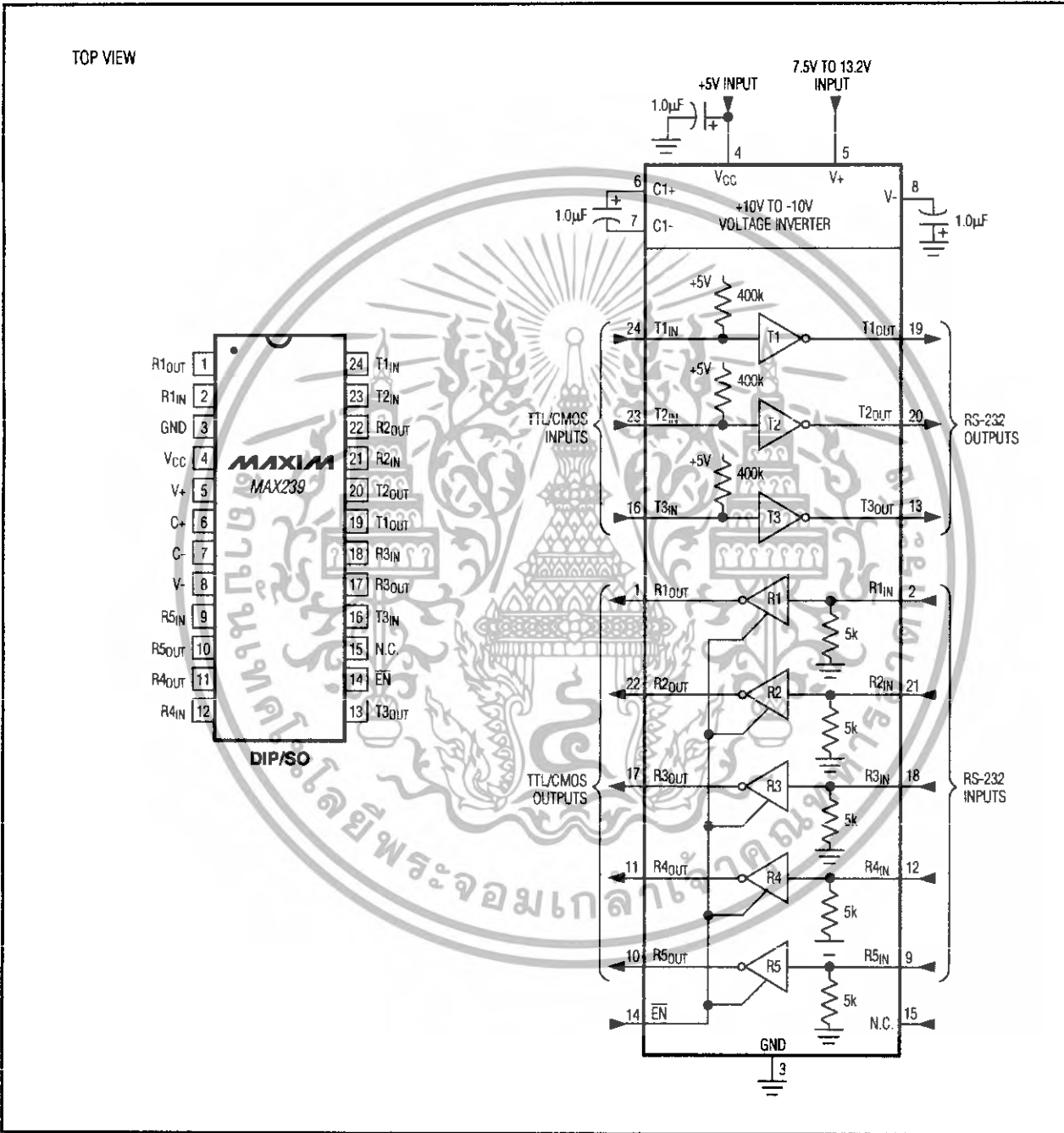


Figure 17. MAX239 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

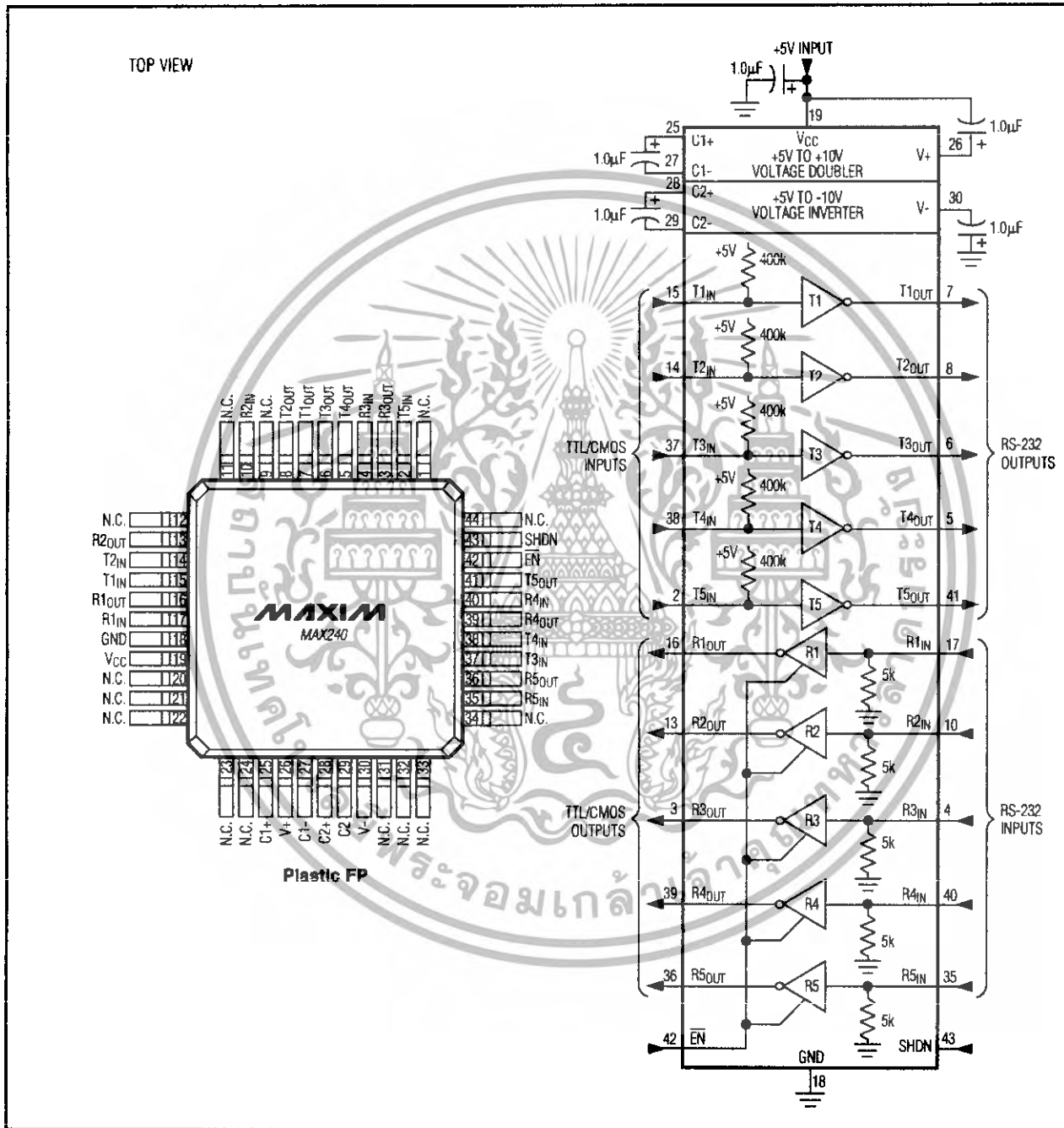


Figure 18. MAX240 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

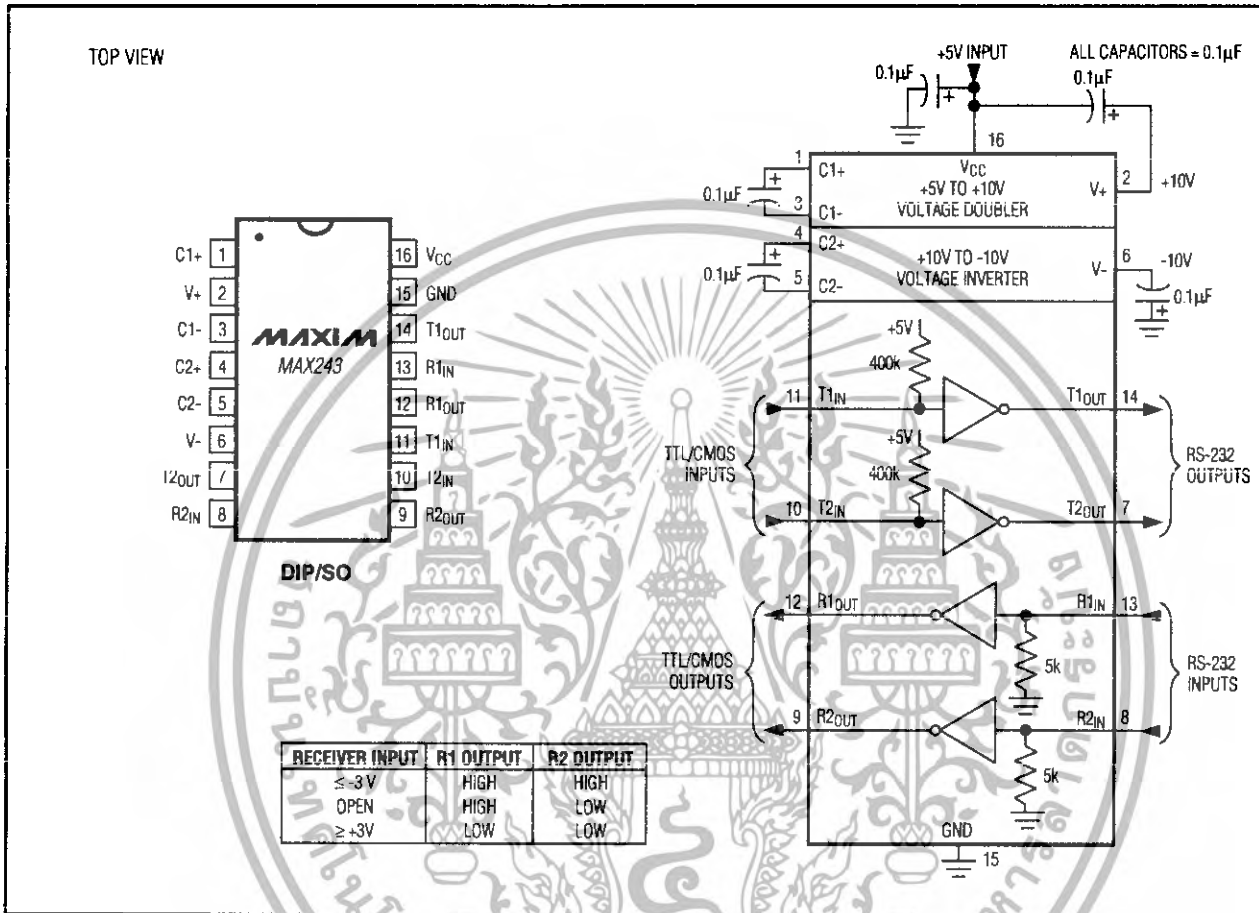


Figure 19. MAX243 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

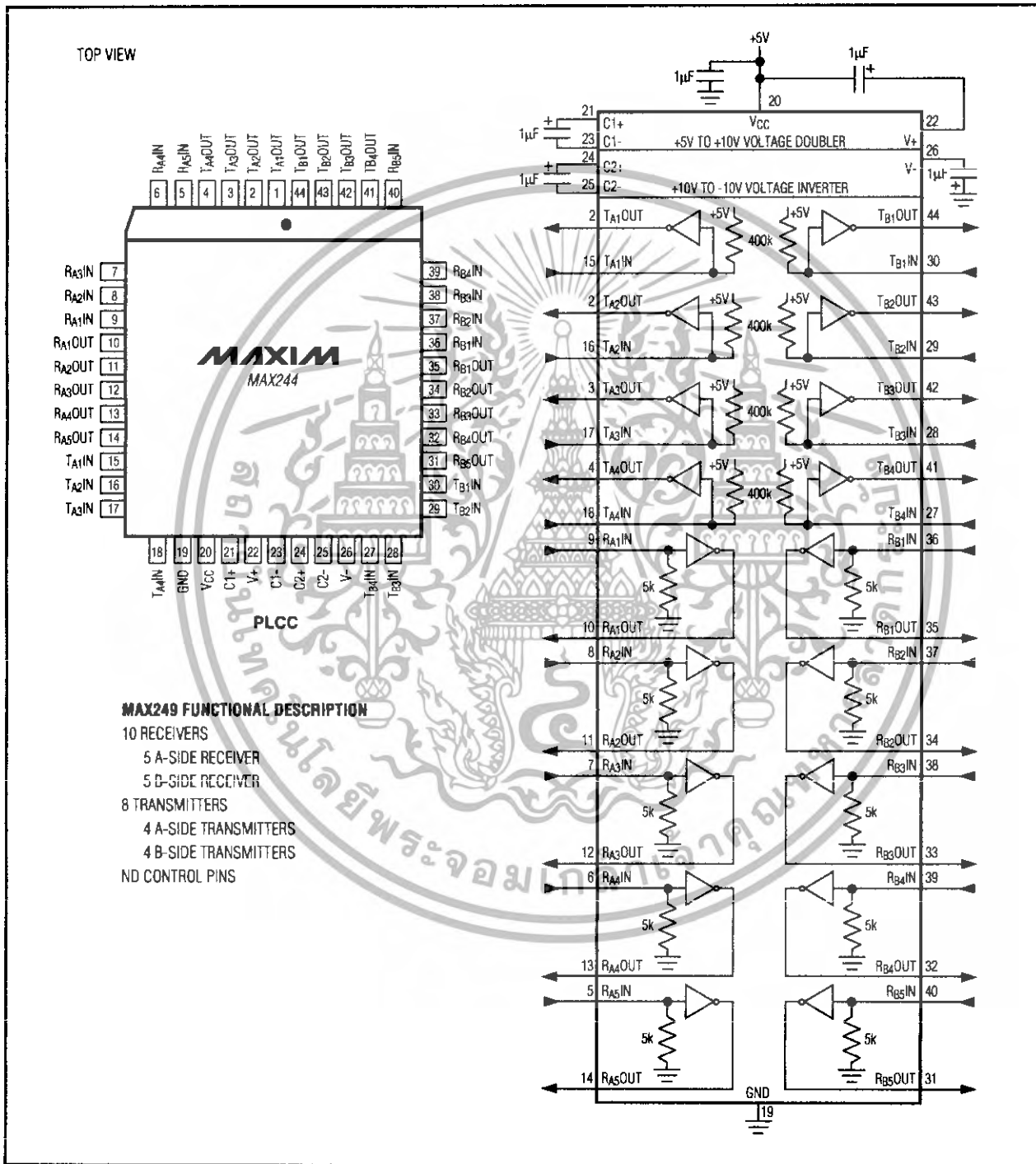


Figure 20. MAX244 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

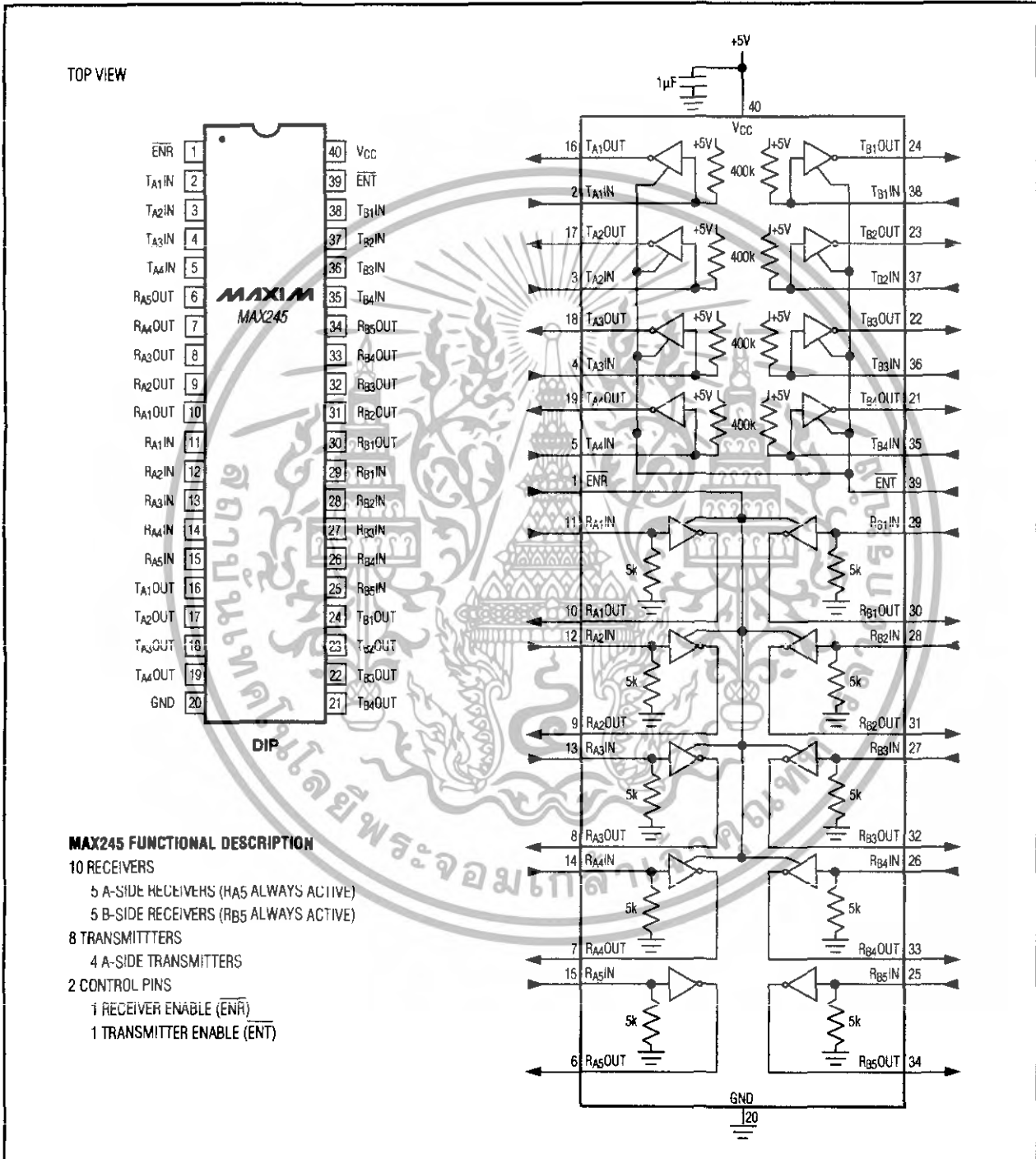


Figure 21. MAX245 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

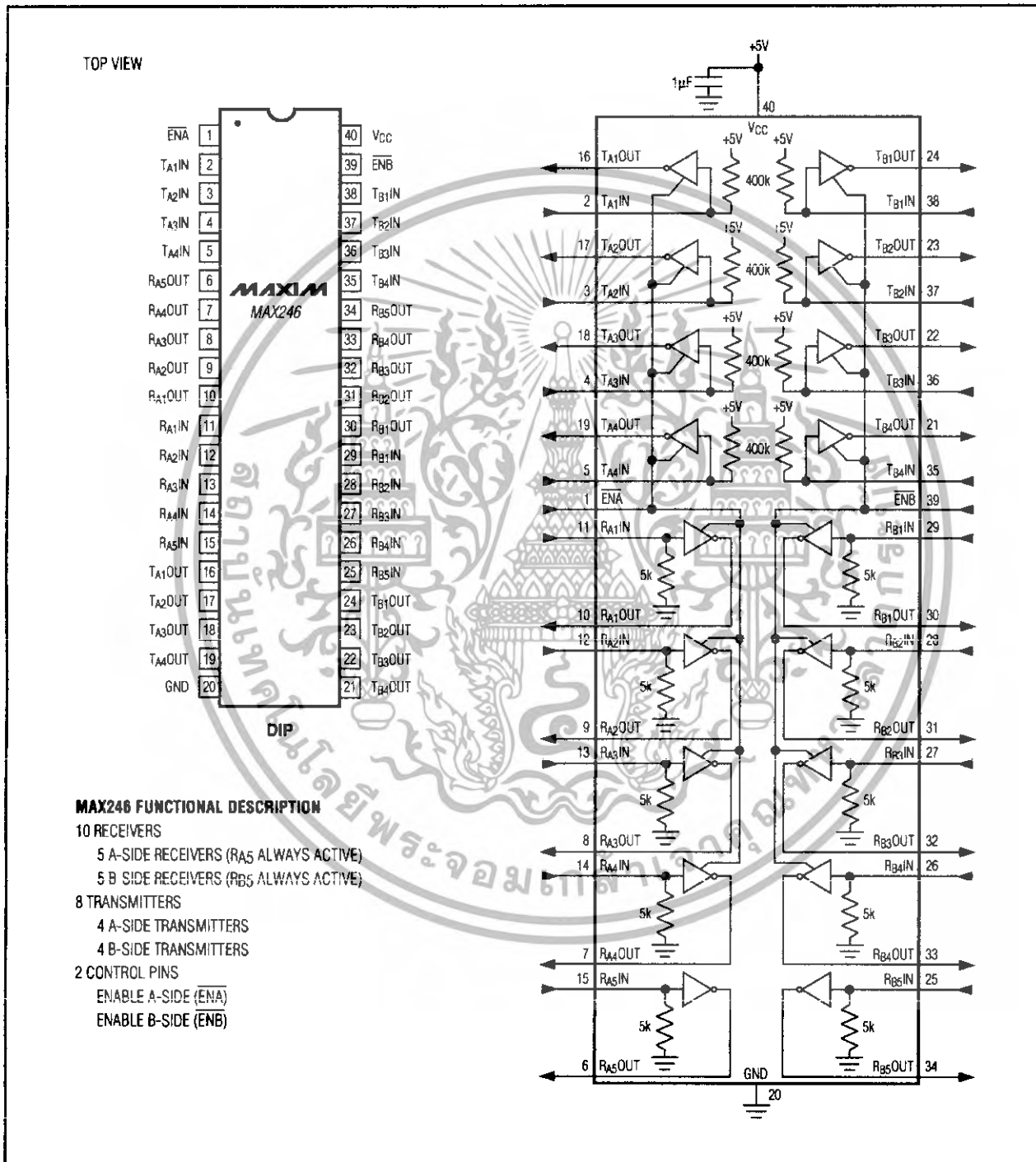


Figure 22. MAX246 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

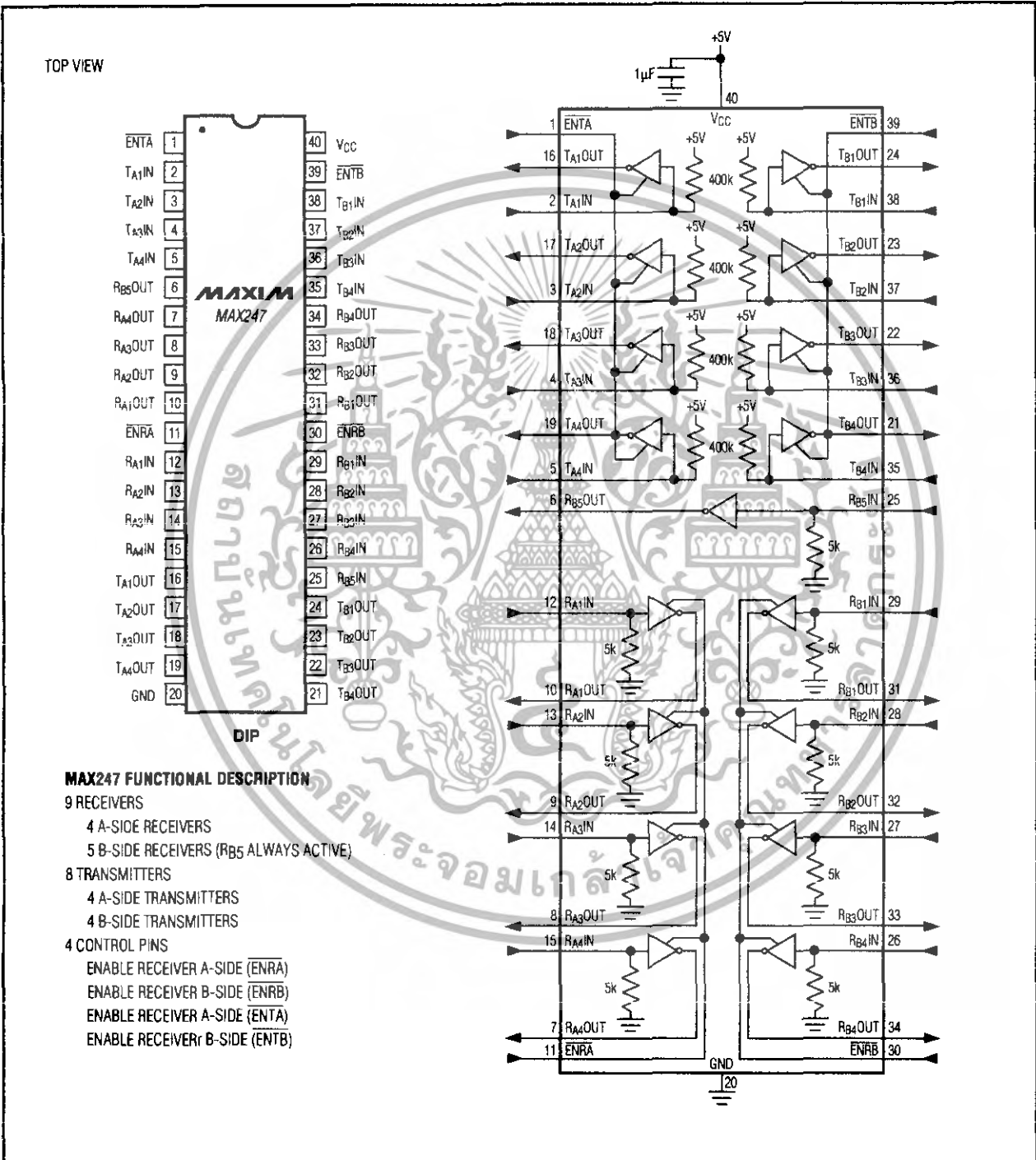


Figure 23. MAX247 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

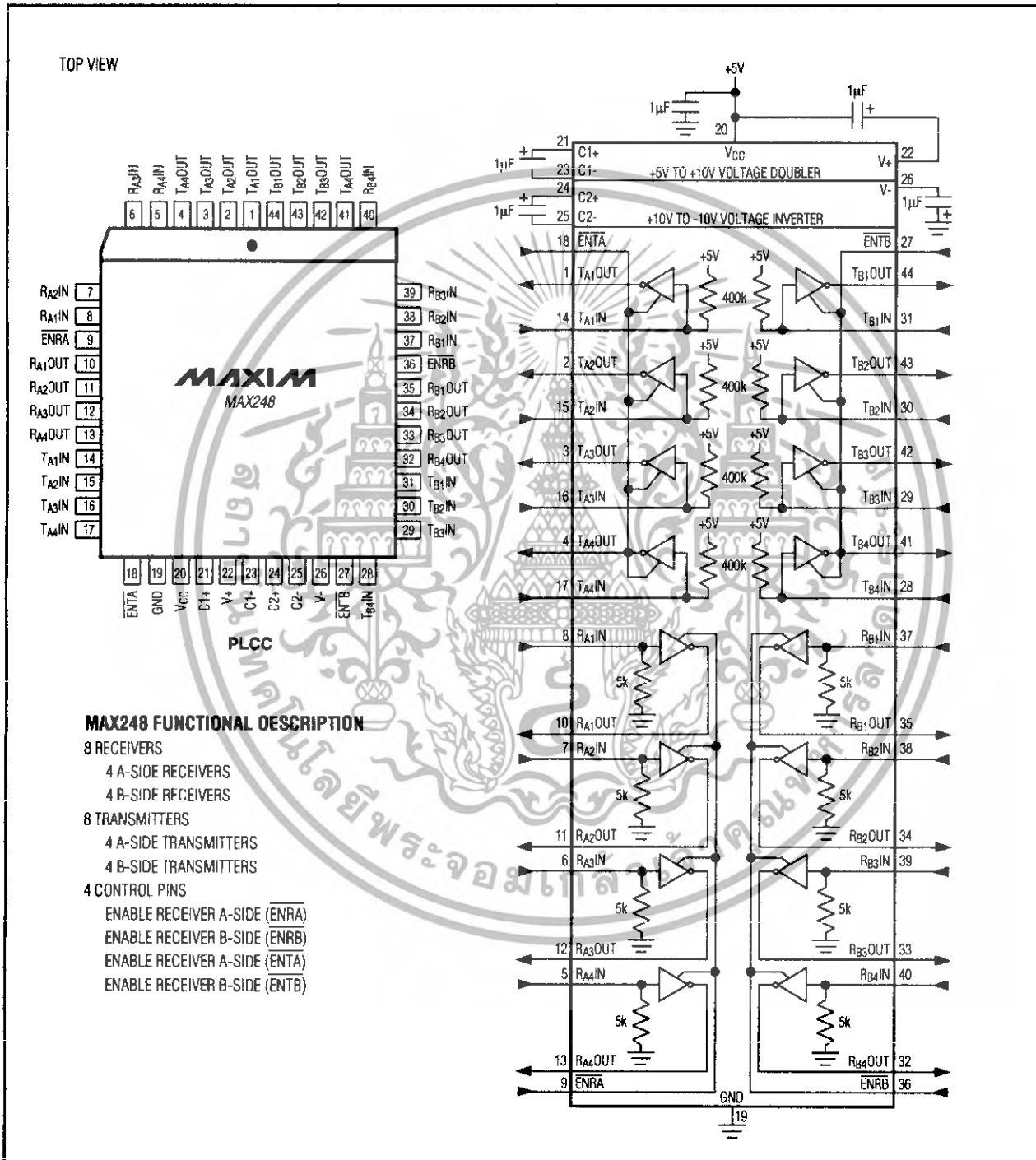


Figure 24. MAX248 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

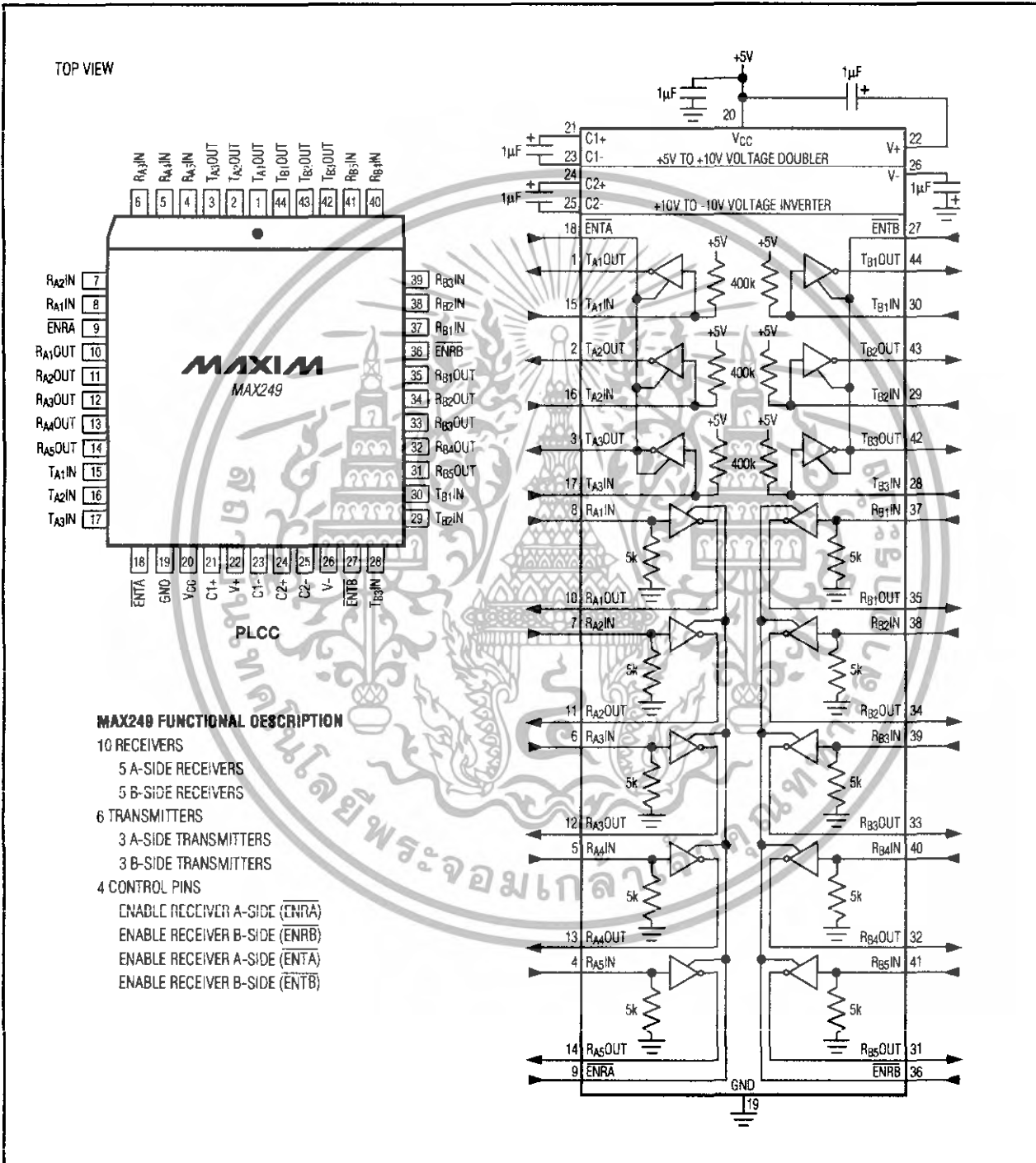


Figure 25. MAX249 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Ordering Information (continued)

MAX220-MAX249

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX222CPN	0°C to +70°C	18 Plastic DIP
MAX222CWN	0°C to +70°C	18 Wide SO
MAX222C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX222EPN	-40°C to +85°C	18 Plastic DIP
MAX222EWN	-40°C to +85°C	18 Wide SO
MAX222EJN	-40°C to +85°C	18 CERDIP
MAX222MJN	-55°C to +125°C	18 CERDIP
MAX223CAI	0°C to +70°C	28 SSOP
MAX223CWI	0°C to +70°C	28 Wide SO
MAX223C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX223EAI	-40°C to +85°C	28 SSOP
MAX223EWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO
MAX225CWI	0°C to +70°C	28 Wide SO
MAX225EWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO
MAX230CPP	0°C to +70°C	20 Plastic DIP
MAX230CWP	0°C to +70°C	20 Wide SO
MAX230C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX230EPP	-40°C to +85°C	20 Plastic DIP
MAX230EWP	-40°C to +85°C	20 Wide SO
MAX230EJP	-40°C to +85°C	20 CERDIP
MAX230MJP	-55°C to +125°C	20 CERDIP
MAX231CPD	0°C to +70°C	14 Plastic DIP
MAX231CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX231CJD	0°C to +70°C	14 CERDIP
MAX231C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX231EPD	-40°C to +85°C	14 Plastic DIP
MAX231EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX231EJD	-40°C to +85°C	14 CERDIP
MAX231MJD	-55°C to +125°C	14 CERDIP
MAX232CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX232CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX232CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX232C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX232EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX232ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX232EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX232EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX232MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP
MAX232MLP	-55°C to +125°C	20 LCC
MAX232ACPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX232ACSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX232ACWE	0°C to +70°C	16 Wide SO

MAX232AC/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX232AEPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX232AESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX232AEWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX232AEJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX232AMJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP
MAX232AML	-55°C to +125°C	20 LCC
MAX233CPP	0°C to +70°C	20 Plastic DIP
MAX233EPP	-40°C to +85°C	20 Plastic DIP
MAX233ACPP	0°C to +70°C	20 Plastic DIP
MAX233ACWP	0°C to +70°C	20 Wide SO
MAX233AEPP	-40°C to +85°C	20 Plastic DIP
MAX233AEWP	-40°C to +85°C	20 Wide SO
MAX234CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX234CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX234C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX234EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX234EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX234EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX234MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP
MAX235CPG	0°C to +70°C	24 Wide Plastic DIP
MAX235EPG	-40°C to +85°C	24 Wide Plastic DIP
MAX235EDG	-40°C to +85°C	24 Ceramic SB
MAX235MDG	-55°C to +125°C	24 Ceramic SB
MAX236CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX236CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX236C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX236ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX236EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX236EHG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP
MAX236MRG	-55°C to +125°C	24 Narrow CERDIP
MAX237CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX237CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX237C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX237ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX237EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX237ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP
MAX237MRG	-55°C to +125°C	24 Narrow CERDIP
MAX238CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX238CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX238C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX238ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP

* Contact factory for dice specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Ordering Information (continued)

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE	PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX238EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO	MAX243CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX238ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP	MAX243CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX238MRG	-55°C to +125°C	24 Narrow CERDIP	MAX243CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX239CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP	MAX243C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX239CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO	MAX243EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX239C/D	0°C to +70°C	Dice*	MAX243ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX239ENG	40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP	MAX243EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX239EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO	MAX243EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX239ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow CERDIP	MAX243MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP
MAX239MRG	-55°C to +125°C	24 Narrow CERDIP	MAX244CQH	0°C to +70°C	44 PLCC
MAX240CMH	0°C to +70°C	44 Plastic FP	MAX244C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX240C/D	0°C to +70°C	Dice*	MAX244EQH	-40°C to +85°C	44 PLCC
MAX241CAI	0°C to +70°C	28 SSOP	MAX245CPL	0°C to +70°C	40 Plastic DIP
MAX241CWI	0°C to +70°C	28 Wide SO	MAX245C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX241C/D	0°C to +70°C	Dice*	MAX245EPL	-40°C to +85°C	40 Plastic DIP
MAX241EAI	-40°C to +85°C	28 SSOP	MAX246CPL	0°C to +70°C	40 Plastic DIP
MAX241EWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO	MAX246C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX242CAP	0°C to +70°C	20 SSOP	MAX246EPL	-40°C to +85°C	40 Plastic DIP
MAX242CPN	0°C to +70°C	18 Plastic DIP	MAX247CPL	0°C to +70°C	40 Plastic DIP
MAX242CWN	0°C to +70°C	18 Wide SO	MAX247C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX242C/D	0°C to +70°C	Dice*	MAX247EPL	-40°C to +85°C	40 Plastic DIP
MAX242EPN	-40°C to +85°C	18 Plastic DIP	MAX248CQH	0°C to +70°C	44 PLCC
MAX242EWN	-40°C to +85°C	18 Wide SO	MAX248C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX242EJN	-40°C to +85°C	18 CERDIP	MAX248EQH	-40°C to +85°C	44 PLCC
MAX242MJN	-55°C to +125°C	18 CERDIP	MAX249CQH	0°C to +70°C	44 PLCC
			MAX249EQH	-40°C to +85°C	44 PLCC

* Contact factory for dice specifications.

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

36 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 (408) 737-7800

© 2001 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Cert. No. 01-01561

Certificate Number: 017296

WL005 - WL10

SILICON BRIDGE RECTIFIERS

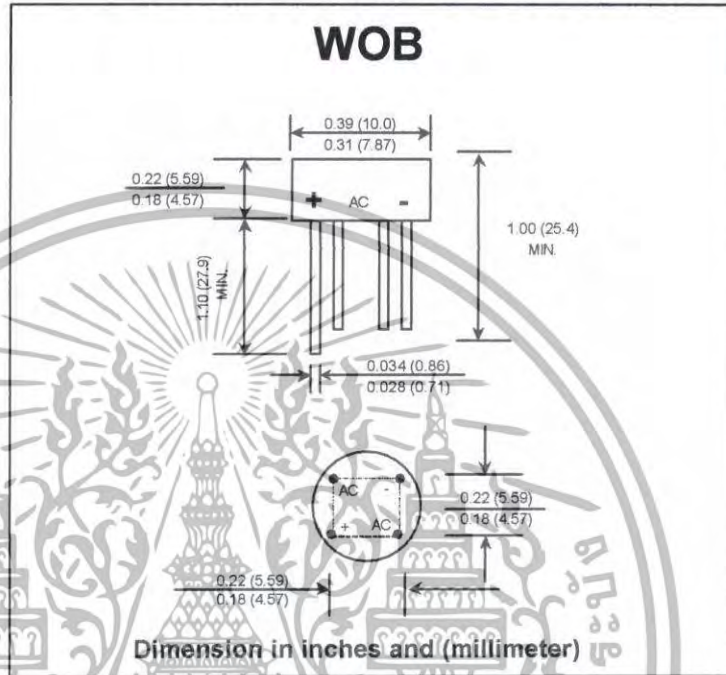
PRV : 50 - 1000 Volts
Io : 1.0 Ampere

FEATURES :

- * High case dielectric strength
- * High surge current capability
- * High reliability
- * Low reverse current
- * Low forward voltage drop
- * Ideal for printed circuit board

MECHANICAL DATA :

- * Case : Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique
- * Epoxy : UL94V-0 rate flame retardant
- * Terminals : Plated leads solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- * Polarity : Polarity symbols marked on case
- * Mounting position : Any
- * Weight : 1.29 grams



Dimension in inches and (millimeter)

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
 Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
 For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	WL005	WL01	WL02	WL04	WL06	WL08	WL10	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Current 0.375" (9.5 mm) lead length $T_c = 50^\circ C$	$I_{F(AV)}$				1.0				Amps.
Peak Forward Surge Current Single half sine wave Superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}				30				Amps.
Rating for fusing ($t < 8.3$ ms.)	$I^2 t$				10				A ² S
Maximum Forward Voltage per Diode at $I_F = 1.0$ Amp.	V_F				1.2				Volts
Maximum DC Reverse Current $T_a = 25^\circ C$ at Rated DC Blocking Voltage $T_a = 100^\circ C$	I_R $I_{R(H)}$				10 1.0				μA mA
Typical Junction Capacitance per Diode (Note 1)	C_J				24				pf
Typical Thermal Resistance (Note 2)	$R_{\theta JA}$				36				$^\circ C/W$
Operating Junction Temperature Range	T_J				- 50 to + 150				$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{STG}				- 50 to + 150				$^\circ C$

Notes :

- 1) Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0 Volts
- 2) Thermal resistance from Junction to Ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length P.C. Board mounting.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร UPDATE: APRIL 23, 1998

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (WL005 - WL10)

FIG.1 - DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT

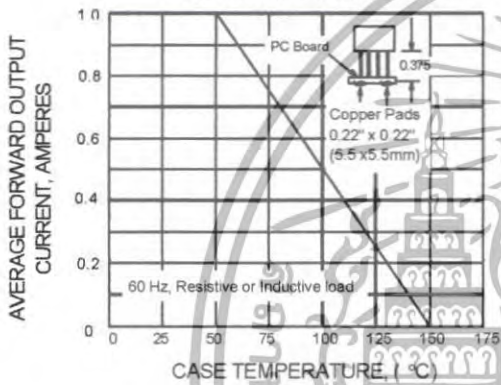


FIG.2 - MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

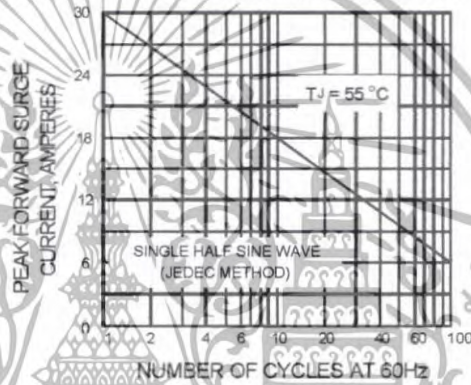


FIG.3 - TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

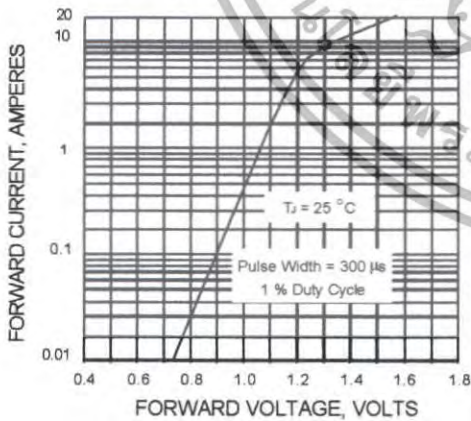
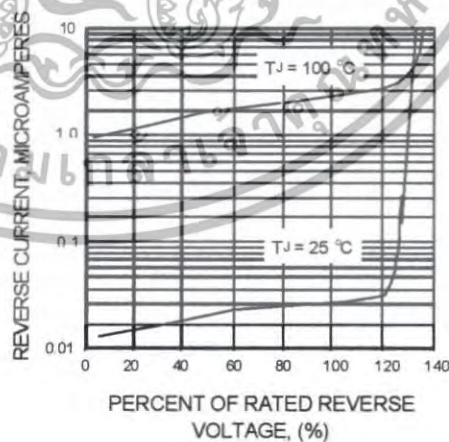


FIG.4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้