สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถควบคุมด้วยกล้องเคลื่อนที่อัตโนมัติ

AUTOMATIC CAMERA CAR

โดย

นายกฤษณ์ ทองเรืองกิตติ

นายเกียรติพันธุ์ ใหม่จันดี

เลขหมู่ 61730
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549
b 11603017
i

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็คทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถควบคุมด้วยกล้องเคลื่อนที่อัตโนมัติ

AUTOMATIC CAMERA CAR

โดย

นาย กฤษณ์ ทองเรืองกิตติ รหัส 44010013

นาย เกียรติพันธุ์ ใหม่จันดี รหัส 44010039

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถควบคุมด้วยกล้องเคลื่อนที่อัตโนมัติ

AUTOMATIC CAMERA CAR

นาย กฤษณ์ ทองเรืองกิตติ รหัส 44010013

นาย เกียรติพันธ์ ใหม่จันดี รหัส 44010039

โครงงานนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบ

.....

(ผศ.ดร. สรุพันธุ์ เอื้อไพบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถควบคุมด้วยกล้องเคลื่อนที่อัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

นาย กฤษณ์ ทองเรืองกิตติ รหัส 44010013

นาย เกียรติพันธ์ ใหม่จันดี รหัส 44010039

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. สรุพันธุ์ เอื้อไพบูลย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถควบคุมด้วยกล้องเคลื่อนที่อัตโนมัติ

นาย กฤษณ์ ทองเรืองกิตติ
นาย เกียรติพันธ์ ใหม่จันดี
ผศ.ดร สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงงานชิ้นนี้เป็นโครงงานเกี่ยวกับการทดลองสร้างรถ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งในการเคลื่อนที่นี้จะใช้การตรวจจับเส้นทางโดยกล้องวิดีโอ แล้วจะส่งภาพเป็นสัญญาณมาประมวลผลยังคอมพิวเตอร์ ที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้แล้ว โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ การเคลื่อนที่ของรถนั้นเราใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน แต่เนื่องจากที่จะทำให้รถสามารถเดินในสิ่งแวดล้อมจริงได้นั้นมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเราจึงต้องจำกัดสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองไม่ให้มีความซับซ้อนจนเกินไปนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Camera Car

Krit Tongreungkitti
Kiattipan Mhaijandee
Assoc. Prof. Dr. Surapan Airphaiboon

Abstract

This project is aimed to invent a car which drives itself automatically. In order to make the car move in the planned route, a video camera is used as a means to watch the direction, transform the visual results to electrical signals, and send them to the programmed computer to interpret. The car movement is controlled by the micro controller. The driving motor of this car is the DC motor. However, using this experimental car in the real conditions would now be too complicated to do. Therefore, the project team has to condition the experimental area to be rather simplified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ใช้เวลาในการศึกษาหาข้อมูลรวบรวมข้อมูลและเก็บรายละเอียดต่างๆ ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานประมาณหนึ่งเทอม ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการทำงานได้พบกับอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ก็สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้เพราะอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน และผู้จัดทำหวังว่าความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่ได้จากการทำงานในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานครั้งต่อๆ ไป

ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ท่านอื่นๆ และเพื่อนๆ ร่วมคณะทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนผู้จัดทำเป็นอย่างดี ตลอดจนบิดา มารดาและญาติพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนผู้จัดทำมาโดยตลอดจนงานนี้บรรลุจุดประสงค์ที่ได้ตั้งใจไว้

ทั้งนี้ทางผู้จัดทำได้ขอขอบคุณผู้ร่วมงาน และบุคคลอื่นๆ ที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญยิ่งที่ทำให้ผู้จัดทำสามารถทำงานได้อย่างที่ตั้งใจไว้

.....

(นายกฤษณ์ ทองเรืองกิตติ)

.....

(นายเกียรติพันธ์ ใหม่จันดี)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่1	บทนำ	1
บทที่2	หลักทฤษฎี	
	2.1 พอร์ต RS 232C	3
	2.2 Microcontroller MCS-51	7
	2.3 มอเตอร์กระแสไฟตรง (Direct Current Motors)	20
	2.4 ทฤษฎีการรับส่งคลื่นวิทยุ	24
	2.5 เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitters)	29
	2.6 วิดีโอเซ็นเดอร์ (VIDEO SENDER)	36
	2.7 Digital Image Processing	38
บทที่ 3	การออกแบบวงจร	
	3.1 การแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณ TTL	51
	3.2 การต่อ MAX 232C เข้ากับส่วนส่งวิทยุ	52
	3.3 การต่อส่วนรับวิทยุ เข้ากับ MCS 51	52
	3.4 การต่อ MCS 51 เข้ากับ L 298	53
บทที่ 4	การติดกล้องวิดีโอ และ Capture Card	54
บทที่ 5	โปรแกรมประมวลผลภาพ	56
บทที่ 6	การทดลองและผลการทดลอง	
	6.1 การทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS 232C เป็นสัญญาณ TTL	57
	6.2 การทดลองวัดสัญญาณที่ได้ทางโมดูลรับวิทยุ (RLP434)	58
	6.3 การทดลองควบคุมการทำงานของรถโดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 สรุป 64
ภาคผนวก
Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ชื่อรูป **หน้าที่**

รูปที่ 1.1 บล๊อกไดอะแกรม ของโครงงาน

รูปที่ 1.1)ก ส่วนรับ-ส่งสัญญาณควบคุม 1

รูปที่ 1.1)ข ส่วนรับ-ส่งสัญญาณภาพ 1

รูปที่ 2.1 การใช้ RS 232C เชื่อมต่ออุปกรณ์ 4

ตารางที่ 2.1 การกำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณตามมาตรฐาน RS 232c 4

รูปที่ 2.2 ย่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS 232C 4

รูปที่ 2.3 การกำหนดข้อต่อของ RS 232C 5

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS 232C 6-7

รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งขาของชิปMicrocontroller ตระกูล MCS-51เบอร์ 8051 8

รูปที่ 2.4 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51 11

รูปที่ 2.5หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม 12

รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51 13

รูปที่ 2.7 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน 13

รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51 16

รูปที่ 2.9 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE 16

รูปที่ 2.10 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP 17

รูปที่ 2.11 หลักการของมอร์เตอร์ 20

รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อวงจรขับมอเตอร์ 22

รูปที่ 2.13 วงจรขับมอเตอร์ 22

รูปที่ 2.14 การจัดเรียงขาของไอซี 23

รูปที่ 2.15 การมอดูเลตสัญญาณแบบ AM 25

รูปที่ 2.16 การมอดูเลตสัญญาณแบบ FM 26

รูปที่ 2.17 การมอดูเลตสัญญาณแบบ AM 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อรูป **หน้าที่**

รูปที่ 2.18 การแปลงสัญญาณ D/A แบบ ASK 28

รูปที่ 2.19 การแปลงสัญญาณ D/A แบบ FSK 28

รูปที่ 2.20 การแปลงสัญญาณ D/A แบบ PSK 29

รูปที่ 2.21 วงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ 33

รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อวิดีโอเซ็นเดอร์ 36

รูปที่ 2.23 แสดงบล็อกไดอะแกรมการแพร่ภาพโทรทัศน์ 37

รูปที่ 2.24 การกรองข้อมูลภาพ 41

รูปที่ 2.25 การกรองโดยใช้หน้าต่าง 45

รูปที่ 2.26 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้หน้าต่าง 46

(ก) ใช้การเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (แสดงผลลัพธ์หลังการปิดเศษ)

(ข) ใช้มัธยฐาน

(ค) ใช้ฐานนิยม (ใช้มัธยฐานแทนสำหรับจุดที่มีปัญหา)

(ง) ใช้ k-closest averaging (แสดงผลลัพธ์หลังการปิดเศษ)

รูปที่ 2.27 ผลของการเติมค่าศูนย์รอบภาพเริ่มต้นก่อนทำการคอนโวลูชัน 48

รูปที่ 2.28 การกรองภาพด้วยเทมเพลต 50

รูปที่ 3.1 วงจร MAX-232 51

รูปที่ 3.2 วงจรรับส่งวิทยุ 52

รูปที่ 3.3 ส่วนรับวิทยุ เข้ากับ MCS 51 52

รูปที่ 3.4 การต่อ L298 เข้ากับ MCS51 53

รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งกล้องวิดีโอ 54

รูปที่ 4.2 Capture Card 54

รูปที่ 5.1 ภาพตัวอย่างก่อนเข้ากระบวนการทำ adge detection 56

รูปที่ 5.2 ภาพจากการทำ Edge Detection 56

รูปที่ 5.3 ภาพจากการลดสัญญาณรบกวน 56

รูปที่ 6.1 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 57

รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL(ch2)เทียบกับ สัญญาณทางด้านเอาท์พุตวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL (ch1)ซึ่งเป็นสัญญาณ *61H* 58

รูปที่ 6.3 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อรูป **หน้าที่**

รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของ โมดุลส่งวิทยุ (TLP434) (ch2)
เทียบกับ สัญญาณทางด้านเอาท์พุตของโมดุลรับวิทยุ (TLP434) (ch1)
ซึ่งเป็นสัญญาณ 61H 60

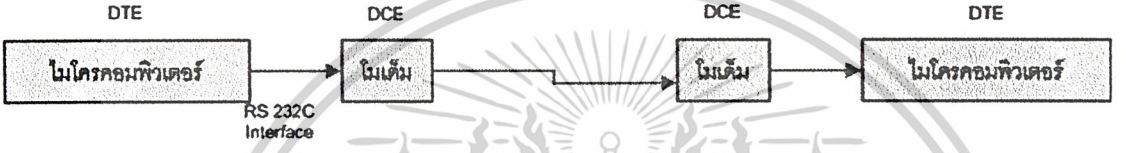
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

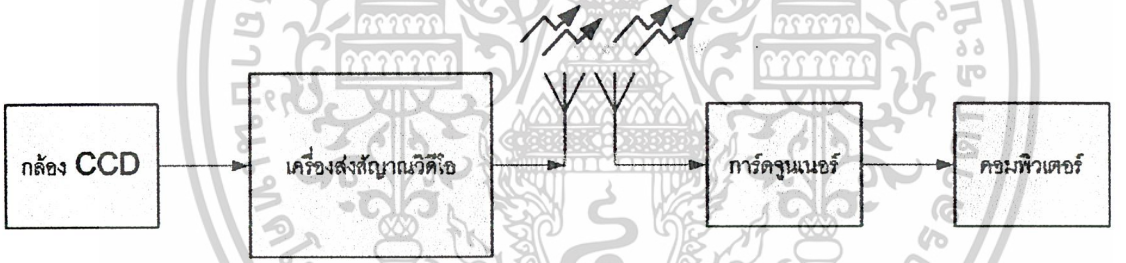
บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบัน มนุษย์จำเป็นต้องค้นหาทรัพยากรให้มากขึ้น เพื่อทดแทนทรัพยากรที่กำลังจะหมดไป โดยที่แนวโน้มการใช้ทรัพยากรก็มีแต่จะเพิ่มขึ้น การสำรวจพื้นที่ต่างๆ จำเป็นต้องกระทำอย่างระมัดระวังและเพื่อที่จะทำให้เกิดความปลอดภัย และสะดวกสบายมากที่สุด จึงต้องใช้เครื่องทุ่นแรงเข้ามาช่วยในการสำรวจ

รถสำรวจ เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่มนุษย์นำมาใช้ในการทำงาน เนื่องจากสามารถบังคับ และควบคุมได้โดยง่าย โดยโครงงานนี้เป็นการสร้างรถที่ควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย โดยมีกล้องวีดีโอติดอยู่ที่ตัวรถ และส่งข้อมูลภาพกลับมายังคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป



ก) ส่วนรับ-ส่งสัญญาณควบคุม



ข) ส่วนรับ-ส่งสัญญาณภาพ

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรม ของโครงงาน

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของรถสำรวจซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ และส่วนของตัวรถสำรวจ โดยส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมและส่งสัญญาณต่างๆออกไปยังตัวรถสำรวจที่ตัวรถสำรวจจะมีไมโครอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการตัดสินใจว่าสัญญาณควบคุมที่ได้รับได้นั้นเป็นสัญญาณที่ต้องการให้รถสำรวจทำงานอย่างไร เช่น เดินหน้าหรือถอยหลัง เลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา หรือควบคุมตำแหน่งของกล้อง และกล้องที่ติดอยู่กับตัวรถสำรวจก็จะส่งสัญญาณภาพกลับมายังส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมเพิ่มแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการส่งสัญญาณภาพนั้นเราเลือกใช้กล้อง CCD และเครื่องส่งสัญญาณภาพที่เป็นแบบสำเร็จรูป โดยที่ตัวคอมพิวเตอร์จะมีการ์ดสำเร็จรูปในการรับสัญญาณ TV/VDO อยู่เพื่อทำหน้าที่ในการรับสัญญาณภาพที่ส่งมาจากกล้อง CCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักทฤษฎี

2.1 พอร์ต RS 232C

พอร์ต RS 232C นี้ทำหน้าที่รับและส่งขอมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adaptor สาเหตุที่เรียกชื่อว่า RS 232C เนื่องมาจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์แห่งอเมริกา หรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้ชื่อ RS 232C ความจริงมาตรฐานการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์คือ RS 232C

หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสก็คือ

รับสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณเข้ามาแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนาน
2. ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับ
3. ตัดสต็อปบิตและพาริตี้บิตออก
4. ส่งสัญญาณให้ซีพียูรู้ว่ารับสัญญาณไว้แล้ว

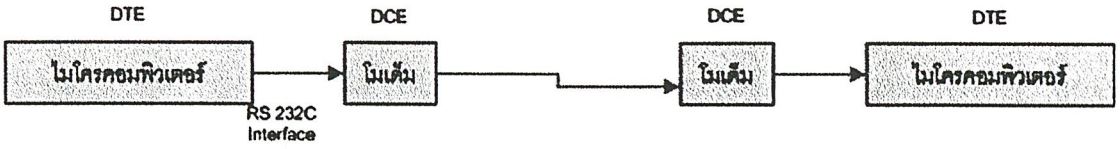
ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูค่อยทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่มสต็อปบิตและพาริตี้
3. เพิ่มสัญญาณควบคุม โมเด็มที่ต่อเชื่อม (ถ้ามี)

มาตรฐาน RS 232C

ได้จัดพิมพ์ขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1969 โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา RS ย่อมาจาก Recommend Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขของฉบับท้ายสุดของมาตรฐานตัวนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐานตัวนี้ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment, DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment,DEC) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็หมายถึงตัวไมโครคอมพิวเตอร์ และ DCE ก็หมายถึงโมเด็ม อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรมอาจจะเป็นได้ทั้ง DTE และ DEC ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ข้อแตกต่างของ DTE และ DCE จะเห็นได้จากรูปที่ 2.1 จากรูปนี้เราจะเห็นได้ว่า RS 232C มีส่วนสำคัญอย่างใหญ่หลวงสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การใช้ RS 232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

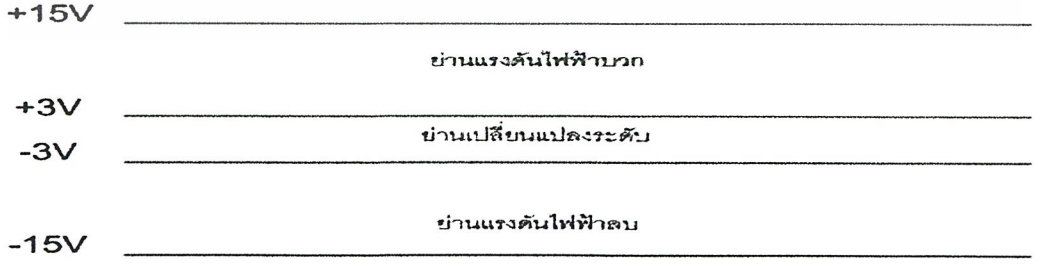
ความจริงอีกประการหนึ่งของ RS 232C ก็คือ ความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS 232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิต ต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110 ถึง 9600 บอด ความยาวของสายเชื่อมต่อ โดยสัญญาณตามมาตรฐานของ RS 232C จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

ลักษณะของสัญญาณ RS 232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้มาตรฐาน RS 232C กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ข้างบน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.2

มาตรฐานของการใช้แรงดันไฟฟ้า			
แรงดันไฟฟ้า	สถานภาพลอจิก	สถานภาพของสัญญาณ	ฟังก์ชันในการควบคุม
บวก	0	สเปซ	ON
ลบ	1	มาร์ค	OFF

ตารางที่ 2.1 การกำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณตามมาตรฐาน RS 232c

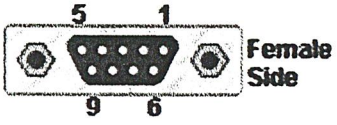


รูปที่ 2.2 ย่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS 232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดจุดข้อต่อของ RS 232C

ในทางฟิสิกส์แล้ว มาตรฐาน RS 232C กำหนดข้อต่อแบบ DB-9 แต่ละขาของข้อต่อกำหนดไว้ ดังในรูปที่ 2.3



Cannon 9			
Pin	Name	Direction	Description
1	CD	<--	Carrier Detect
2	RXD	<--	Receive Data
3	TXD	-->	Transmit Data
4	DTR	-->	Data Terminal Ready
5	GND	---	System Ground
6	DSR	<--	Data Set Ready
7	RTS	-->	Request to Send
8	CTS	<--	Clear to Send
9	RI	<--	Ring Indicator

รูปที่ 2.3 การกำหนดข้อต่อของ RS 232C

สัญญาณต่างๆ มีหน้าที่ดังนี้

Transmit Data

เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE (หรือตัวไมโครคอมพิวเตอร์) ไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่นหรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานภาพขอลอจิกที่ขานี้จะมีค่ากับ "1" หรือเทียบเท่ากับสต๊อปบิต

Receive Data

เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE หรือไมโครคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามาขานี้จะมีสถานภาพทางลอจิกเป็น "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Request To Sent

ใช้สำหรับส่งสัญญาณไปยังโมเด็มหรือเครื่องพิมพ์เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณมาทาง ขา 2 สัญญาณนี้ใช้คู่กับ CTS หรือ Clear To Send อุปกรณ์รับหากได้รับสัญญาณ RTS จะตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมจะรับสัญญาณได้หรือยัง หากพร้อมที่จะรับก็ส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

Clear To Send

ดังอธิบายไว้ใน RTS เมื่อสัญญาณนี้อยู่ในสถานะออฟ (negative voltage หรือลอจิก "1") หมายความว่า อุปกรณ์รับกำลังบอกว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

Data Set Ready

เมื่อสัญญาณสายนี้อยู่ในสถานะออน (positive voltage หรือลอจิก "0") เป็นการบอกไมโครคอมพิวเตอร์หรือฝ่ายส่งว่า โมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่งได้แล้ว โมเด็มที่มีการหมุนหมายเลขอัตโนมัติจะส่งสัญญาณสายนี้ไปบอกให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าต่อโทรศัพท์ได้สำเร็จแล้ว

Signal Ground

SG ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุกๆ สายของสัญญาณ จะมีแรงดันเป็น "0" เมื่อเทียบกับสัญญาณตัวอื่น

Carrier Detect

โมเด็มจะส่งสัญญาณที่อยู่ในสถานะออน (ลอจิก "0") ไปบอกไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณจากโมเด็มของอีกฝ่ายหนึ่ง สัญญาณนี้จะนำไปจุด LED บอกว่าได้รับสัญญาณจากโมเด็มอีกฝ่ายหนึ่งแล้ว ไฟ LED จะอยู่บนหน้าปัดของโมเด็มเอง

Data Terminal Ready

คอมพิวเตอร์เปิดสัญญาณสายนี้ให้ออน (ลอจิก "0") เมื่อพร้อมที่จะติดต่อกับโมเด็ม โมเด็มส่วนมากจะไม่รายงานสถานภาพของตัวเอง (CD,DSR และ CTS) ให้คอมพิวเตอร์รู้ หากคอมพิวเตอร์ไม่เปิดสัญญาณ DTR

Ring Indicator

สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มที่เป็นระบบตอบได้อัตโนมัติ (Auto-answer) สัญญาณนี้จะออนเมื่อมีกระดิ่งมา และออฟระหว่างเสียงของกระดิ่ง

Driver output logic levels with 3k to 7k load	15V > Oh > 5V -5V > Ol >-15V
Driver output voltage when open Circuit	Vo < 25V
Driver output impedance with Power off	Ro > 300 ohms
Output short circuit current	Io < 0.5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reciever input impedance	7k > Rin > 3k
Reciever input voltage	+15 compatible with driver
Reciever output with open circuit input	MARK
Reciever output with +3V input	SPACE
Reciever output with –3V input	MARK
+15 +5	Logic 0 = Space = Control ON
+5 +3	Noise Margin
+3 -3	Transition Region
-3 -5	Noise Margin
-5 -15	Logic 1 = Mark = Control OFF

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS 232C

2.2 Microcontroller MCS-51

คุณสมบัติของ MCS-51

1. ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 Volt เพียงชุดเดียว

2. มีหน่วยความจำสำหรับการเก็บโประแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์

3. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป(RAM) อยู่ภายในชิปจำนวน 128 ไบต์

4.สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ64กิโลไบต์แยกจากกัน

5. คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาการทำงาน 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้ คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮริตซ์

6.มีพอร์ตที่สามารถรับส่งข้อมูลได้2ทิศทางจำนวน4พอร์ตๆละ8บิต หรือสามารถใช้งานเป็น พอร์ต ขนาด1บิตแยกออกจากกัน

7.รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล (Baud rate) ได้ตั้งแต่ 300-375 กิโลบิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณ Interrupt ได้ 2 ระดับ

9. มี Register สำหรับใช้งานเป็น Timer หรือ Counter เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิปหรือนับการเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอกขนาด16บิตจำนวน2ตัวเพื่อใช้สำหรับนับจำนวนPulseวัดความกว้างของ Pulse หรือใช้วัดช่วงเวลา

10.หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามาถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับไบต์และระดับบิต เพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและการควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น

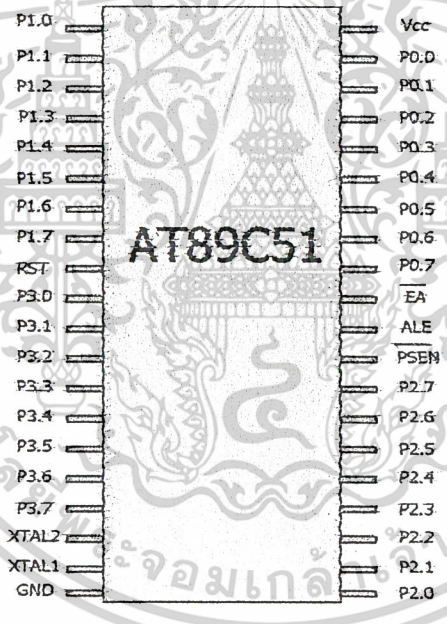
11. มีคำสั่ง คูณและหาร เลขขนาด 8 บิตในตัวเอง

12. สามารถประมวลผลแบบบูลีนเพื่อใช้ในงานควบคุมโดยเฉพาะ

13. ใช้โปรแกรมของ Microcontroller ตระกูล MCS-48(Upwardly compatible) ได้

โครงสร้างภายนอกของMCS-51

Microcontroller ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งขาของชิปMicrocontroller ตระกูล MCS-51เบอร์ 8051

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิป Microcontroller ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

* ขา Vss (ขา20)สำหรับต่อลงกราวด์

* ขา Vcc (ขา40)สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงขนาด 5 Volt

* ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี8ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0-P0.7) แบบ Open Drain Bidirectionalพอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็น Input Output พอร์ต ทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็น Input พอร์ตต้องโหลดค่า1ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอย (มีสถานะ High impedance) นอกจากใช้งานเป็น Input Output พอร์ต แล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่า แอดเดรสบัสไบต์ต่ำ (A0-A7)และมัลติเพล็กกับการับส่งข้อมูล(D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอก ในระหว่างการอ่านหรือเขียนข้อมูลโดยมีวงจรพูลอัพภายใน

* ขาพอร์ต1(ขา1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อให้มีสถานะ High impedance โดยมีวงจงพูลอัพภายใน

* ขาพอร์ต2(ขา21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2(P2.0-P2.7) ขนาด8บิต แบบ Open Drain Bidirectionalสามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งาน เป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อให้มีสถานะ High impedance นอกจากจะใช้งานเป็นอินพุตเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปแล้ว พอร์ต 2ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บ โปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยใช้สำหรับส่งค่าแอดเดรสบัสไบต์สูง(A8-A15) และมีวงจงพูลอัพภายใน

* ขาพอร์ต3(ขา10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งาน เป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อให้มีสถานะ High impedance โดยใช้วงจงพูลอัพภายใน

นอกจากนี้ยังใช้งาน ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆอีกหลายอย่างดังนี้

ขา P3.0 ใช้รับส่งข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม

ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0

ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1

ขา P3.4 สัญญาณอินพุต ให้เคาเตอร์ของไทม์เมอร์ 0

ขา P3.5 สัญญาณอินพุต ให้เคาเตอร์ของไทม์เมอร์ 1

ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูล ไปยังหน่วยความจำสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภายนอกชิป

ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูล จากหน่วยความจำสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งาน 3 พอร์ตในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้ จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้งานก่อนทุกครั้ง

* ขา RST(ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซตวงจงทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดการทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซตชิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCS-51 ขานี้ต้องมีสถานะ1 อย่างน้อย 2 Machine cycle ระหว่าง ที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยต้องต่อตัวต้านทานค่า 8.2 กิโลโอห์มเพื่อทำหน้าที่พูลดาวน์ (รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RSTกับ Vcc

* ขา ALE/PROG (ขา30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (address latch enable)จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่ง pulseออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปนอกจากนี้ ขา ALE สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 เบอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกมภายในชิปเป็น EPROM

* ขา PSEN (ขา29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบ เพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (Program strobe enable)เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณสโรบ2ครั้งในแต่ละแมชชีน-ไซเคิล แต่ในช่วงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกหรือเมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณออกมาจากขานี้

* ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมจากภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป สามารถเลือกให้ทำงานได้ทั้งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป ด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือ กราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บโปรแกรมภายในชิป ให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ

* ขา XTAL 1(ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์

* ขา XTAL 1(ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาท์พุตออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์

โครงสร้างภายในของ MCS-51

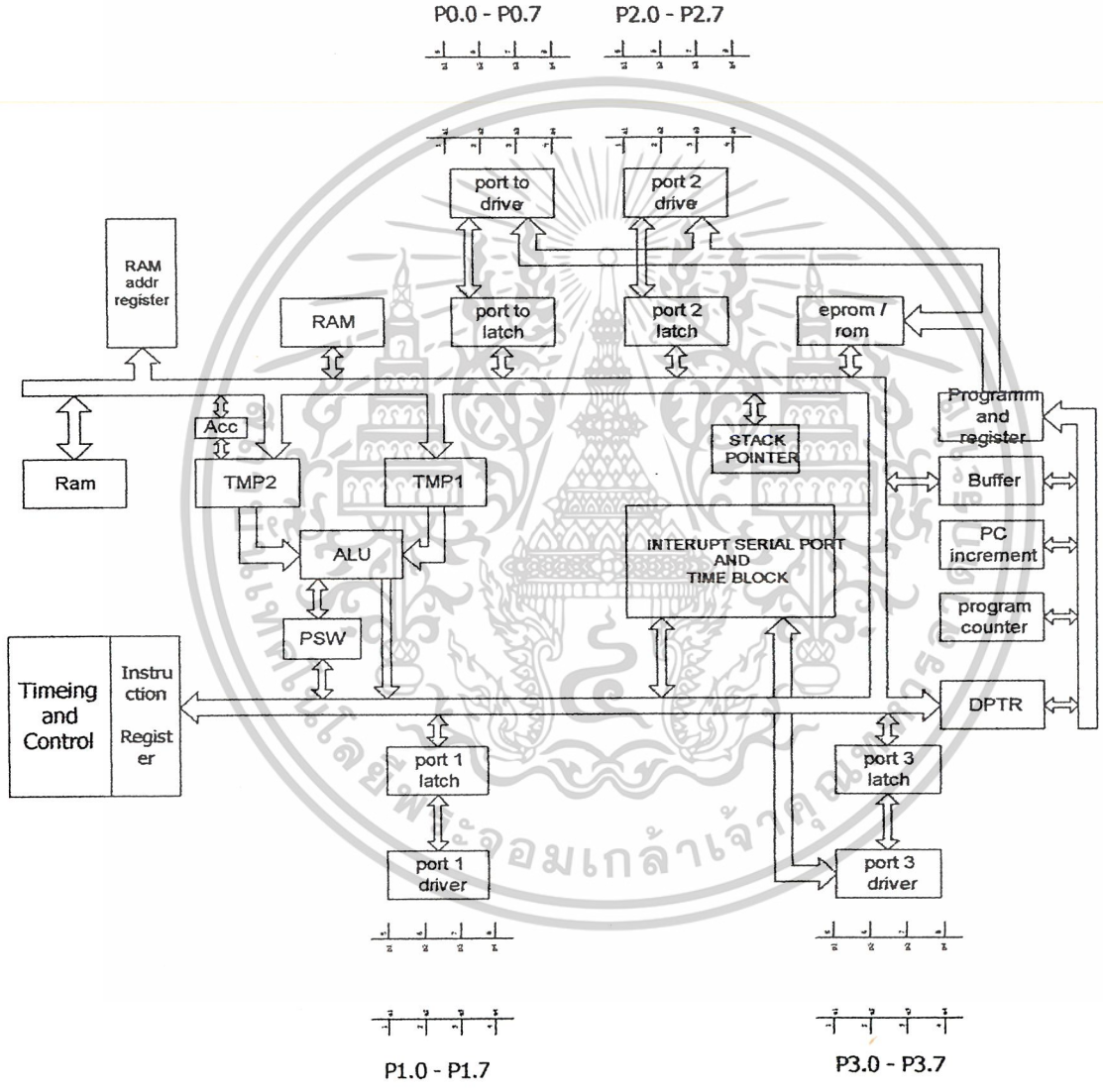
โครงสร้างภายในของ Microcontroller MCS-51 Series แสดงดังรูป 2.4

ในไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น2ส่วนคือ

- หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)
- หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

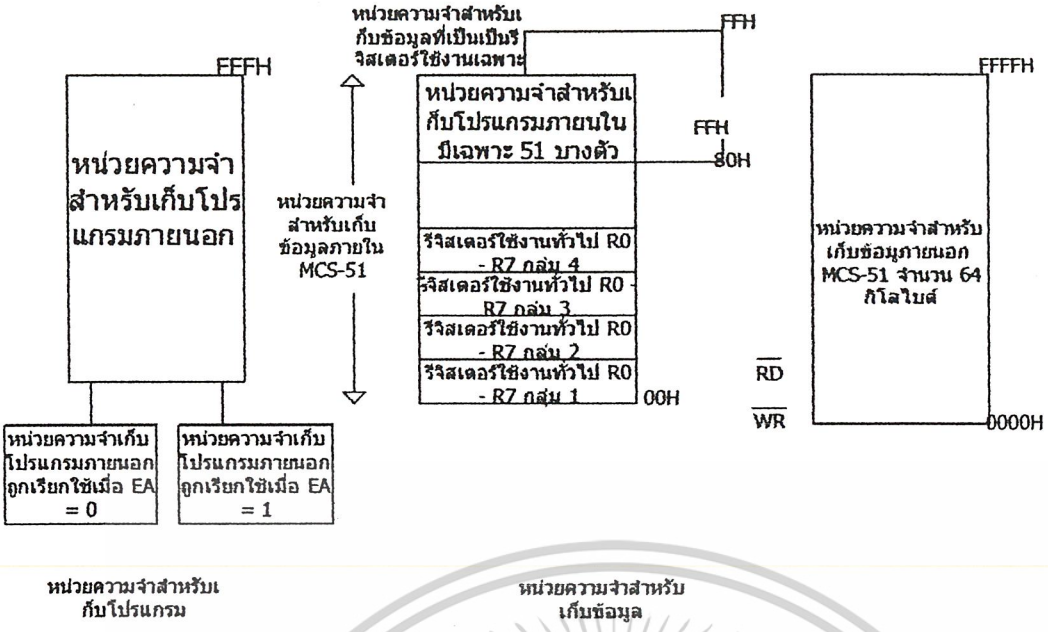
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มี ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สอง คือหน่วยความ จำสำหรับเก็บข้อมูลซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 จะมีหน่วยความจำส่วนนี้ อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่ง แต่จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป โครงสร้างของหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51 มักดังแสดงในรูปที่2.5



รูปที่2.4 โครงสร้างหน่วยความจำภายใน MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม

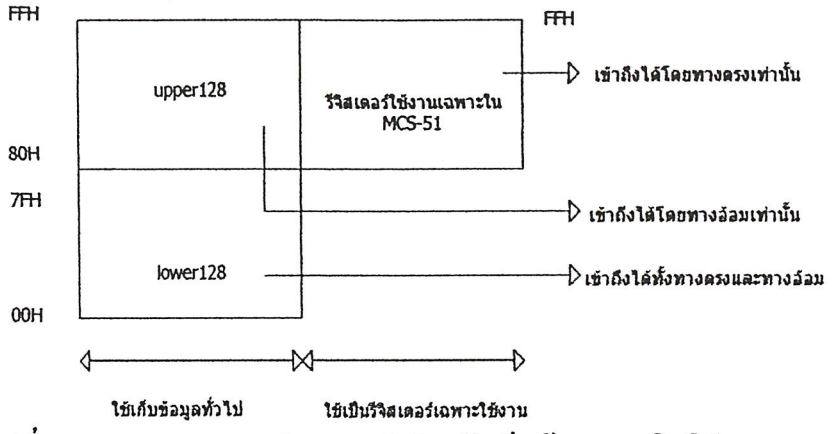
หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป(Internal program memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป(External program memory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0,4,8,16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิบของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป(Internal ram)
- ส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ(Special function register)

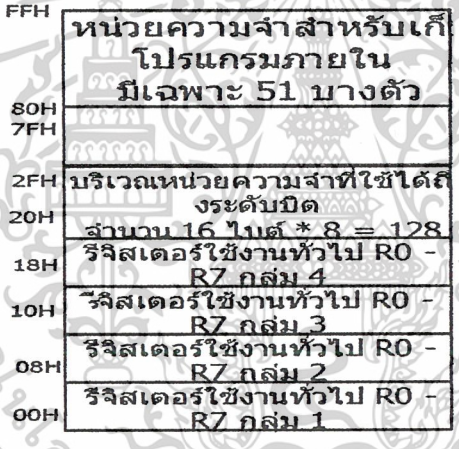
หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิป เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51 หน่วยความจำนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลขณะทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่มีอยู่ภายใน MCS-51ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของซีพียู แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปทั้งสองบริเวณมีดังในรูปที่2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6 แผนภาพแสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูลทั่วไป ภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบต์ ไปจนถึง256 ไบต์ ทั้งนี้ขึ้นกับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรกมีชื่อเรียกว่า lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า upper 128 ดังแสดงในรูป 2.7



รูปที่2.7 แสดงหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปทั้งสองส่วน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์หลัง(ตำแหน่ง 80 H ขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80 H ขึ้นไปเช่นกัน)โดยมีวิธีเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่างซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้นจากไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ละเอียด รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปบริเวณที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ

ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำที่อยู่ภายนอกชิป MCS-51 ที่ผู้ผลิตต้องคิดติดตั้งเพิ่มเอง การติดต่อระหว่างหน่วยความจำทั้งสอง กับ MCS-51 จะใช้ขา 32- 39 (พอร์ต 0) เป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย(ใช้เป็นดาต้าบัส) ส่วนค่าแอดเดรสไบต์สูง(A8-A15) จะใช้ขา 21-28 (พอร์ต2) ดังนั้น เมื่อพอร์ต0 และพอร์ต2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก (ทั้งหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูล) จะทำให้เหลือพอร์ตสำหรับใช้ทำงานอย่างอื่นน้อยลง

รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไป มีไว้สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำข้อมูลไปพักไว้ชั่วคราวหรือใช้งานทั่วไปได้ตามที่ต้องการ ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีอยู่ 8 ตัว คือ R0-R7 โดยรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัวถูกจัดให้อยู่รวมกันและมีให้เลือกใช้ถึง 4 แบงค์ (bank) นั่นคือ รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 32 ตัวให้ใช้งาน เพียงแต่การเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ใดแบงค์หนึ่งจะถูกกำหนดจากบิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ PSW ดังนั้นการเลือกใช้จึงเลือกใช้ได้เพียงแบงค์เดียวในขณะใดขณะหนึ่ง อย่างไรก็ตามค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์แบงค์ใดก็ตามที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละแบงค์ จะไม่มีผลซึ่งกันและกันเลย ทำให้ผู้เขียนโปรแกรม ใช้งานรีจิสเตอร์ทั่วไปนี้ ได้ทั้ง 32 ตัว อย่างเต็มที่และไม่ยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

โครงสร้างพอร์ต MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต(P0,P1,P2,P3) โดยสามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นแบบขนาด 1 บิต 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาท์พุตพอร์ตอย่างใดอย่างหนึ่งได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอก ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับโปรแกรม พอร์ต 0 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งค่าแอดเดรสไบต์สูงและบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุม หรือคอนโทรลบัส (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือการเขียนข้อมูล) แต่หากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสไบต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้ทั้งหมดแต่พอร์ต 0
จะถูกใช้ทั้งหมด 8 เส้นเพราะต้องใช้เป็นดาต้าบัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกันหน่วยความจำด้วยหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับหน่วยความจำภายนอกว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลด้วยหรือไม่นั่นเอง) ดังนั้นในการออกแบบระบบหากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใด ก็จะยิ่งทำให้เหลือจำนวนพอร์ตที่นำมาใช้งานน้อยลง ในการออกแบบจริงจึงต้องพยายามลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิท นอกจากจะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือการเขียนข้อมูลในการติดต่อกันหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว มันยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณอินเตอรัปต์ (INT0,INT1) สัญญาณอินพุตที่ต้องการนับสำหรับเคาน์เตอร์(T0,T1) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD,TXD) อีกด้วย

ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาท์พุตพอร์ต ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุตหรือเอาท์พุตพอร์ตโดยอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่งและเป็นเอาท์พุตในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้

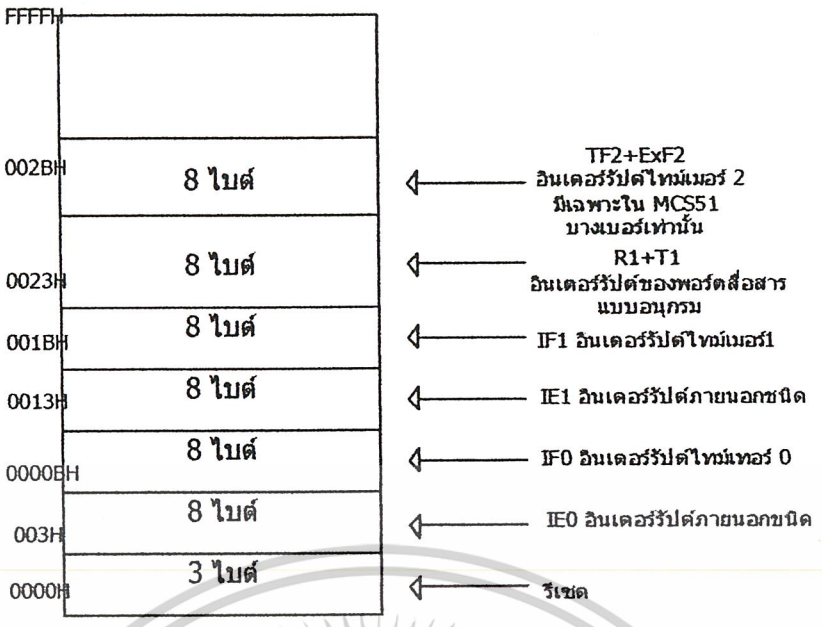
ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ ใน MCS-51 มีรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่สามารถนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาหรือแมชชีนไซเคิลของวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน (ทำงานเป็นไทม์เมอร์) หรือนับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนสัญญาณภายนอก (นับจำนวนพัลส์ภายนอก) ที่ขา T0,T1 ของพอร์ต 3 ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ รีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิท จำนวน 2 ตัว คือ รีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ (ในเบอร์ 8052 มีรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 2 ตัว เพิ่มให้อีก 1 ตัว) เมื่อต้องการใช้ไทม์เมอร์ 0 หรือไทม์เมอร์ 1 จะต้องโหลดค่าที่ต้องการนับไปไว้ในรีจิเตอร์ไทม์เมอร์ 0 หรือรีจิสเตอร์ไทม์เมอร์ 1 และเมื่อนับได้ครบจำนวนที่ตั้งไว้ จะมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เพื่อบอกให้ซีพียูทราบ

การควบคุมการทำงาน ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ สามารถควบคุมได้จากวงจรภายนอก (ควบคุมด้วยสัญญาณขา INT0,INT1) หรือควบคุมจากคำสั่งในโปรแกรม ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ใน MCS-51 จะสามารถวัดช่วงห่างของเวลา วัดความกว้างของพัลส์ หรือนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายนอกที่เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแล้ว รวมทั้งใช้กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่มีคาบเวลาแน่นอน

พอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกแบบอื่นๆแต่อย่างใด ในด้านอัตราร็วของการรับและส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้โดยสามารถเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล(band rate)มาตราฐานได้ตั้งแต่ 110 , 1.2K , 2.4K
4.8K , 9.6K , 19.2K , 375K ตามมาตราฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 รูปแบบ ตามความเหมาะสมในแต่ละงาน

โครงสร้างการอินเตอร์รัปต์ MCS-51 สามารถรับส่งสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และทีเกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานของโปรแกรมที่กำลังทำอยู่และข้ามไปทำงานโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์
(interrupt service routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

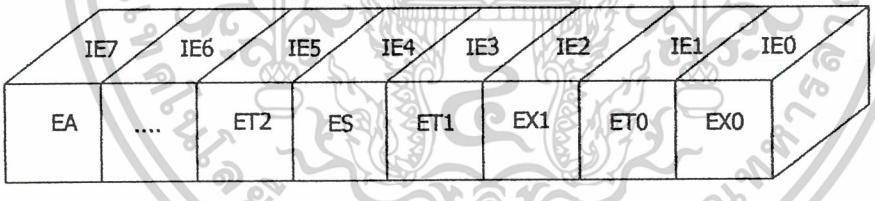
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิดใน MCS-51

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS-51 ถูกอินเตอร์รัปต์โดยสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดค่ารีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interupt Enable - Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิท รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE

บิต	ชื่อบิต	
IE1	EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอิตเตอร์รัปต์ทั้งหมด 0 : MCS-51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ใดๆทั้งสิ้น 1 : การตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด จะถูกควบคุมโดยตรงจากบิทที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์เช่นกัน
IE6	--	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน(สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 ใหม่ๆในอนาคต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

IE5 ET2 ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิด overflow (มีเฉพาะ MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์ 2 เช่น 8052)

IE4 ES ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

IE3 ET1 ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิด overflow

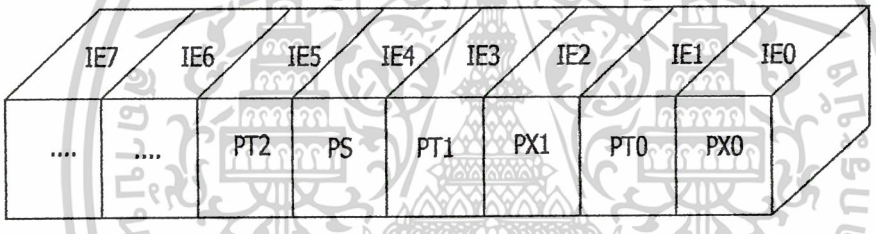
IE2 EX1 ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1

IE1 ET0 ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0 เมื่อเกิด overflow

IE0 EX0 ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

หมายเหตุ ถ้าบิตที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละบิตมค่าเป็น 1 หมายถึงอนุญาตให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ หากมีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่อนุญาตให้ MCS-51 ตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP (Interupt Priority Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

บิต	ชื่อบิต	
IP7	--	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน(สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 ใหม่ๆในอนาคต)
IP6	--	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน(สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 ใหม่ๆในอนาคต)
IP5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2
IP4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IP3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1

61730
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IP2 PX1 กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1

IP1 PT0 กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0

IP0 PX0 กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 0

หมายเหตุ ค่าในบิตที่กำหนดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์แต่ละชนิด หากเป็น 1 หมายถึงกำหนดให้มีลำดับความสำคัญสูง หากเป็น 0 กำหนดให้มีความสำคัญต่ำ

กลุ่มคำสั่งใน MCS-51 คำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 มี 2 ประเภทคือ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลมาดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ และคำสั่งที่ไม่ต้องการข้อมูลดำเนินการ คำสั่งที่ต้องการข้อมูลจะต้องมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลได้หลายวิธีดังนี้

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในคำสั่ง

- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง(Direct addressing)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยอ้อม(Indirect addressing)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป(Register instruction)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของตัวคำสั่ง(Register-specific instruction)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง(Immediate constant)
- วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง(Indexed addressing)

คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการข้อมูลหรือโอเปอร์แรนด์(operand) อาจมีวิธีในการเข้าถึงข้อมูลในโอเปอร์แรนด์ได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นกับคำสั่งแต่ละคำสั่ง รายละเอียดของวิธีการเข้าถึงข้อมูลของโอเปอร์แรนด์แต่ละวิธีมีดังนี้

วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรง(Direct addressing) เป็นวิธีกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่งบริเวณหน่วยความจำที่สามารถอ้างอิงได้ โดยวิธีนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก และหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ

วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยอ้อม(Indirect addressing) เป็นวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม โดยค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะอยู่ในรีจิสเตอร์เฉพาะบางตัว นั่นคือวิธีนี้จะใช้ค่าในรีจิสเตอร์เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงแบบนี้ได้คือ หน่วยความจำสำหรับใช้เก็บข้อมูลทั่วไปบริเวณ 128 ไบต์ล่าง และ 128 ไบต์บน และทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป รีจิสเตอร์ที่สามารถนำเอามาใช้เป็นตัวชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0,R1 ของแต่ละกลุ่ม
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP (Stack pointer)
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR (Data pointer)

การใช้วิธีเข้าถึงข้อมูลโดยอ้อมนี้ รีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งหน่วยความจำ จะต้องระบุเครื่องหมาย @ ไว้ข้างหน้า ดังตัวอย่าง

MOV A,@R0

MOV X@DPTR,A

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป(Register instruction) ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ของแต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานในขณะนั้น โดยในการทำงานจริงๆ ซีพียูจะตรวจสอบกลุ่มรีจิสเตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจากบิต RS0,RS1

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของตัวคำสั่ง(Register-specific instruction) คำสั่งบางคำของ MCS-51 จะระบุไว้แล้วว่าต้องดำเนินการกับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใด เช่น ACCUMULATOR

DPSR , SP ดังนั้นในรหัสคำสั่ง(opcode) ของคำสั่งประเภทนี้ MCS-51 จะรู้เองได้ว่าต้องประมวลผลกับรีจิสเตอร์ตัวใด ด้วยเหตุนี้คำสั่งในกลุ่มนี้จึงไม่ต้องบอกตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะคำสั่งนี้แต่อย่างใด เช่น

MOV A,#data

MOVE DPTR,#data

จากตัวอย่างนี้ เราไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งขาของรีจิสเตอร์ A,DPTR ในรหัสคำสั่งของคำสั่งทั้งสองแต่อย่างใด เพราะ MCS-51 จะทราบเองว่าเป็นรีจิสเตอร์ทั้งสองจากรหัสของคำสั่ง

วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง(Immediate constant) เป็นการกำหนดค่าข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ข้อมูลที่นำมาประมวลผลในคำสั่ง จะอยู่หลังรหัสคำสั่ง ทั้งนี้จะต้องใช้เครื่องหมาย # ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น

MOV A,#100

วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง(Indexed addressing) ข้อมูลที่วิธีการอ้างแบบนี้จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรมภายใน หรือภายนอกชิปเท่านั้น จุดประสงค์ของการอ้างข้อมูลแบบนี้ มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม ซึ่งข้อมูลจะไม่สูญหาย แม้จะไม่มีหลังงาน ในการทำงานของคำสั่งที่ใช้ในการอ้างวิธีนี้ จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งาเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งเก็บข้อมูลไงว้ ดังนั้นค่ารีจิสเตอร์ในการใช้งานเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DPTR,PC จะต้องมีค่าเท่ากับตำแหน่งต้นของหน่วยความจำส่วนที่เก็บข้อมูลที่ต้องการ ส่วนค่าของรีจิสเตอร์ A จะเป็นตัวเลือกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ เช่น

MOVC A,@A+DPTR

MOVC A,@A+PC

ความจริงการอ้างอิงข้อมูลวิธีนี้ยังมีใช้ในกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม โดยการบังคับให้โปรแกรมกระโดดข้ามไปทำงานที่ตำแหน่งใดๆ ในหน่วยความจำซึ่งมีค่าตำแหน่งเท่ากับผมรวมของค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR กับรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่างต่อไปนี้

JMP @A+DPTR

2.3 มอเตอร์กระแสไฟตรง (Direct Current Motors)

หลักการของมอเตอร์

มอเตอร์ก็คือตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่างๆตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้นนี้ ก็อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อกระแสไหลในตัวนำ ซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้น ย่อมทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่หาได้จากกฎซ้ายมือของเฟลมมิ่ง ขนาดของแรงที่เกิดนี้ หาได้จาก

$$F=BiI$$

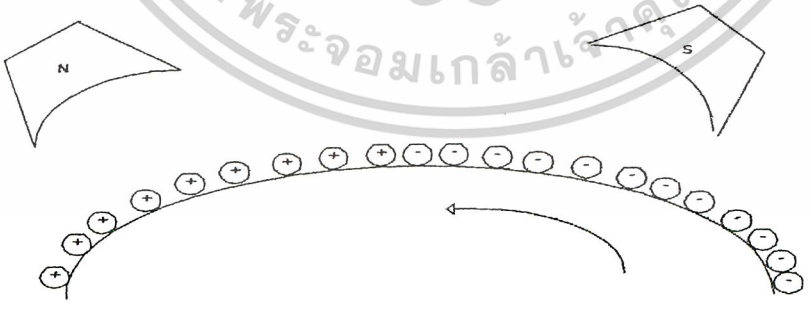
เมื่อ F = แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว (นิวตัน)

B = ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (เวเบอร์/ตารางเมตร)

I = กระแสที่ไหลในตัวนำ (แอมป์)

L = ความยาวของตัวนำ(เมตร)

แรง F ที่เกิดขึ้นนี้ จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และกระแสที่ไหลผ่านในตัวนำนั้นๆ



รูปที่ 2.11 หลักการของมอร์เตอร์

ตามรูป แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์กระแสไฟตรง ที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อใส่ไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้น ย่อมทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วแม่เหล็ก และเมื่อป้อนกระแสให้ไหลผ่านในตัวนำที่อาร์มาเจอร์ ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก นั่นคือ ทำให้อาร์มาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหลในตัวนำอาร์มาเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ N มีทิศทางของกระแสพุ่งเข้าไปข้างในดังหางลูกศรที่เป็นกากะบาด ส่วนตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้นั้น ให้กระแสพุ่งออกมาข้างนอกดังหัวลูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้จึงหาทิศทางจึงหาทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำทุกตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง N และ S ได้ โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง วิธีหาก็คือ กางมือซ้ายออก โดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลาง ตั้งฉากซึ่งกันและกัน (ทำแบบเดียวกับกฎมือขวาที่ใช้หาทิศการเคลื่อนที่ของกระแส) จากนั้นให้ใช้นิ้วชี้ ชี้ไปทางทิศทางของสนามแม่เหล็ก คือชี้จากขั้ว N ไป S ให้นิ้วกลาง ชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแส ณ ที่ตัวนำที่ต้องการหาทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสนั้นๆ นั่นคือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศการเคลื่อนที่ของตัวกลางนั้นๆ จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุกๆตัวภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางไปทางเดียวกัน และจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์มาเจอร์นั้นๆ และพบว่า แรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุกขั้ว ที่สลับที่ไปนั้น จะมีทิศทางไปทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละแรงจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบ วงของอาร์มาเจอร์ นั่นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะเกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็มีหลายแรง และทุกๆแรงต่างรวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้นนี้

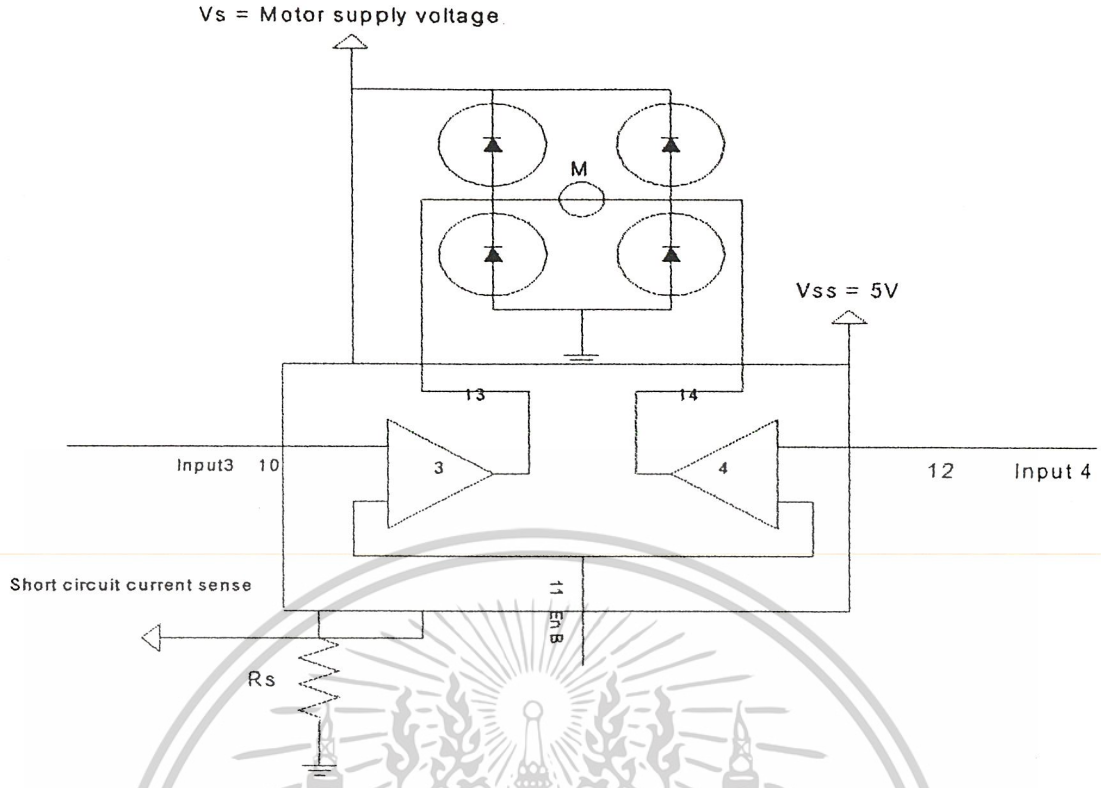
ทิศทางการหมุนของมอเตอร์

มอเตอร์ต้องการให้หมุนในทิศทางใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของทิศทางแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือกับขั้วใต้ และทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านลวดอาร์เมเจอร์ ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ดังนั้นถ้าต้องการให้มอเตอร์กลับทางหมุนต้องกลับทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือกลับทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่

วงจรภาคขับมอเตอร์

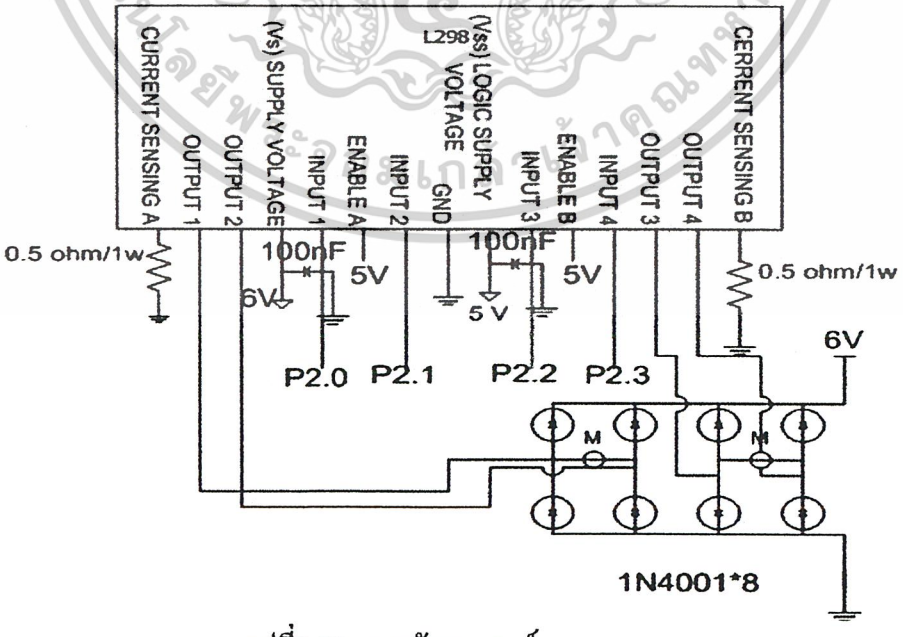
เราใช้ IC L298 ซึ่ง L298 เป็นไอซีที่ใช้ในการไดร์ฟกระแสให้กับมอเตอร์ โดยปกติแล้วที่พอร์ตเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงต้องมีไอซีตัวนี้เป็นตัวช่วยในการขับกระแสให้เพียงพอต่อความต้องการของมอเตอร์ ดังรูป 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อวงจรขับมอเตอร์

ในการต่อมอเตอร์ 2 ตัวเข้ากับ L298 ก็สามารถต่อในลักษณะเดียวกัน โดยใช้ขาเอาท์พุทที่เหลือจะต่อกับมอเตอร์ ส่วนขาอินพุทจะต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้ โดยการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ P0.0 – P0.5

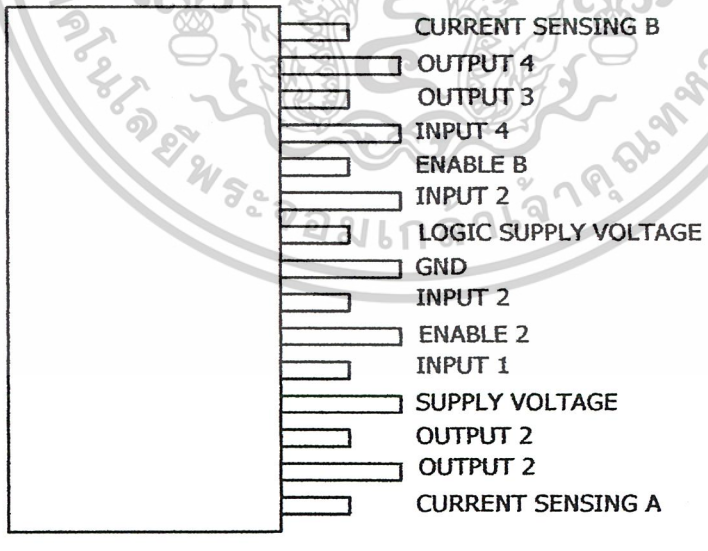


รูปที่2.13 วงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ L298 เป็นดังนี้

ลักษณะการเดินทาง	P2.4 (34) ENA	P2.0 (35) IN1	P2.1 (36) IN2	P2.5 (37) ENB	P2.2 (38) IN3	P2.3 (39) IN4
เดินหน้า	H	H	L	H	H	L
ถอยหลัง	H	L	H	H	L	H
เลี้ยวซ้ายหน้า	H	H	L	L	L	L
เลี้ยวซ้ายหลัง	H	L	H	L	L	L
เลี้ยวขวาหน้า	L	L	L	H	H	L
เลี้ยวขวาหลัง	L	L	L	H	L	H



รูปที่ 2.14 การจัดเรียงขาของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีการรับส่งคลื่นวิทยุ

ในการส่งสัญญาณข้อมูลหรือข่าวสารใด ๆ ก็ตาม เราสามารถส่งได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. ส่งสัญญาณแบบอนาล็อก เช่น การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์อนาล็อก ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกไปนั้นมีความต่อเนื่องกันตลอดเวลา เช่น สัญญาณเสียง
2. การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลคือการส่งสัญญาณข้อมูลที่มีแต่ "ON/OFF" หรือเป็นแบบเลขไบนารี (Binary)

การส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก

เป็นการส่งโดยไม่สนใจในสิ่งที่บรรจุรวมอยู่ในสัญญาณเลย สัญญาณอนาล็อกที่ทำการส่งออกไป พลังงานจะอ่อนลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการส่งสัญญาณอนาล็อกไประยะไกล ๆ จึงต้องอาศัยเครื่องขยายสัญญาณหรือ Amplifier เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับสัญญาณ แต่ในการใช้เครื่องขยายสัญญาณจะมีการสร้างสัญญาณรบกวนขึ้น (Noise) จึงต้องการวงจรกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อกรองเอาสัญญาณรบกวนออกอีก

การส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอล

จะสนใจทุกสิ่งทุกอย่างที่บรรจุมาในสัญญาณ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สัญญาณดิจิตอลจางหายไปได้ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทบทวนสัญญาณหรือ Repeater เสียก่อน แล้วจึงส่งสัญญาณที่กู้มาใหม่ออกไปต่อไปเราจะเลือกใช้วิธีการส่งสัญญาณข้อมูลเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบดิจิตอลดี ขึ้นอยู่กับว่าระยะทางในการส่งข้อมูลนั้นใกล้หรือไกล ถ้าเป็นระยะทางไกล ๆ ควรเลือกใช้วิธีการส่งสัญญาณข้อมูลเป็นแบบอนาล็อก

การมอดูเลตสัญญาณ (Signal Modulation)

เมื่อต้องการจะส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสาร ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณเหล่านั้นให้เคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ขั้นตอนในการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าดังกล่าว เรียกว่า การมอดูเลต (Modulation) พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูงและคงที่ รวมทั้งมีแอมปลิจูด (ขนาด) สูงด้วยนั้นเราเรียกว่า สัญญาณคลื่นพาห์ (Signal Carrier) อุปกรณ์สำหรับมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปได้ และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออกให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูล เราเรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่า การดีมอดูเลต (Demodulation)

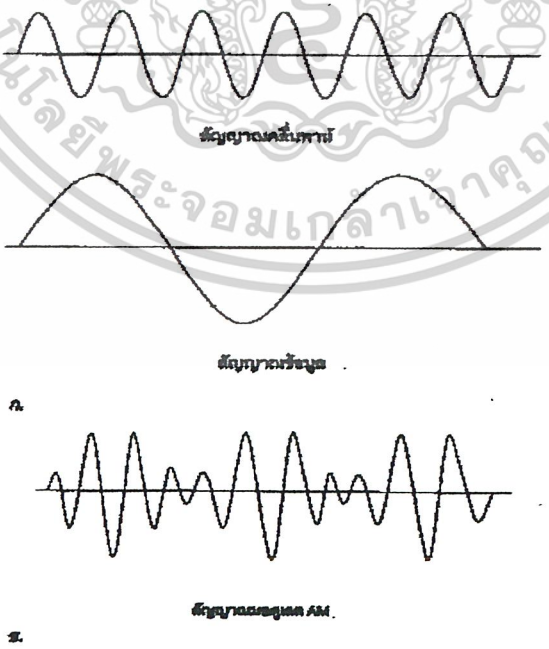
การมอดูเลตสัญญาณอนาล็อก

วิธีการมอดูเลตสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งผ่านไปในช่องทางสื่อสารอนาล็อกนั้นมี 3 วิธีด้วยกันคือ

1. การมอดูเลตทางแอมปลิจูด (Amplitude Modulation, AM)
2. การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation, FM)
3. การมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation, PM)

การมอดูเลตทางแอมปลิจูด (AM)

การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีการที่ดั้งเดิมที่สุดและสะดวกที่สุด จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์จะคงที่และสูงกว่าความถี่ของสัญญาณข้อมูล เพื่อให้สามารถพาสัญญาณข้อมูลไปได้ระยะทางไกล ๆ จะเห็นว่าสัญญาณ AM ที่มอดูเลตแล้วจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ โดยมีขนาดหรือแอมปลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลข้อเสียของการมอดูเลตแบบ AM คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM เป็นย่านความถี่ที่ไม่สูงนัก ทำให้สัญญาณรบกวน (Noise) จากภายนอกสามารถเข้ามารบกวนได้ง่าย

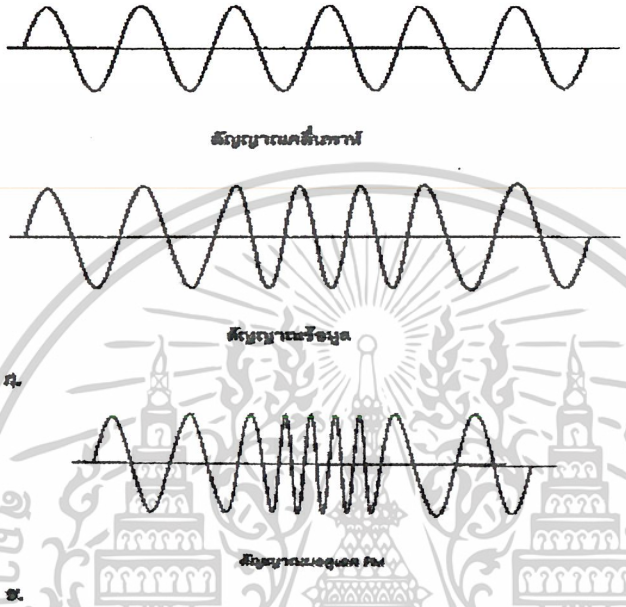


รูปที่ 2.15 การมอดูเลตสัญญาณแบบ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลตทางความถี่ (FM)

สัญญาณมอดูเลตแบบ FM (ดูรูป 2.16) จะมีแอมปลิจูดคงที่ แต่ความถี่ของสัญญาณจะไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของสัญญาณข้อมูล ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ FM คือต้องการแบนด์วิดท์ที่มีขนาดกว้างเนื่องจากสัญญาณข้อมูลมีหลายความถี่ ดังนั้นจึงต้องหาวัสดุที่เป็นสายสื่อสารที่มีขนาดของแบนด์วิดท์กว้าง ทำให้ราคาของสายสื่อสารสูงขึ้นตามไปด้วย

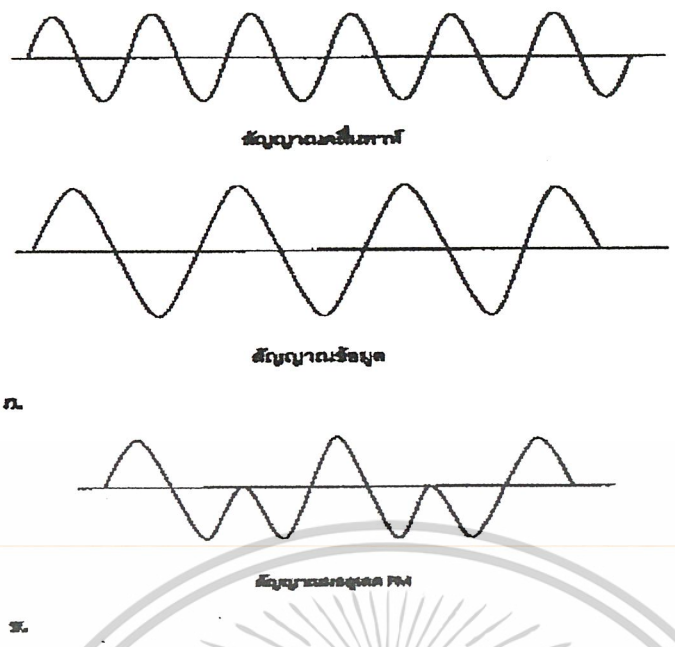


รูปที่ 2.16 การมอดูเลตสัญญาณแบบ FM

การมอดูเลตทางเฟส (PM)

เป็นวิธีที่ดีในการส่งสัญญาณข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความเร็ว นิยมส่งผ่านระบบโทรศัพท์ ในการมอดูเลตแบบ PM ครึ่งรอบของสัญญาณเราคิดเป็นมุมเฟสเท่ากับ 180 องศา และเมื่อครบรอบจะคิดเป็น 360 องศา สัญญาณมอดูเลตจะมีการเปลี่ยน (กลับ) มุมเฟสทุกครั้งที่มุมเฟสของสัญญาณข้อมูลต่างจากมุมเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์เท่ากับ 180 องศา ดูรูป 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การมอดูเลตสัญญาณแบบ PM

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกย่านความถี่เสียง เราเรียกว่า *โมเด็ม* (*MODEM* หรือ *MO*dulator-*DEM*odulator)

เทคนิคการแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

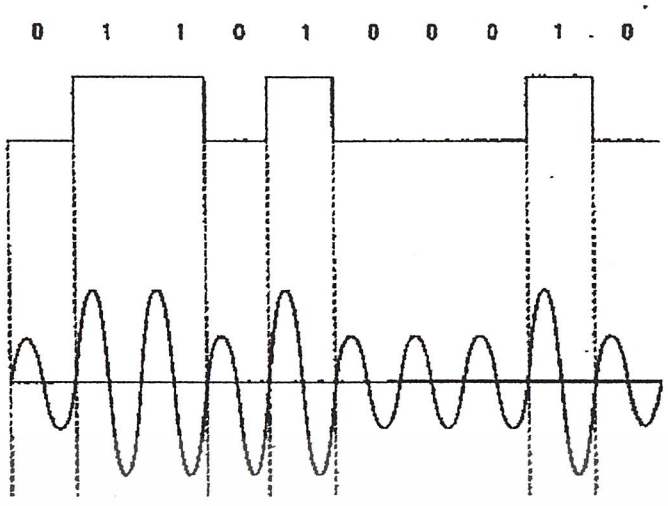
1. การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude-Shift Keying หรือ ASK)
2. การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency-Shift Keying หรือ FSK)
3. การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase-Shift Keying หรือ PSK)

การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (ASK)

ตามรูป 2.18 ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้น จะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลต เมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีค่าเป็น "1" ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น "0" ขนาดของคลื่นพาห์จะตกลงกว่าปกติ

การมอดูเลต ASK มักไม่ค่อยได้รับความนิยม เพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

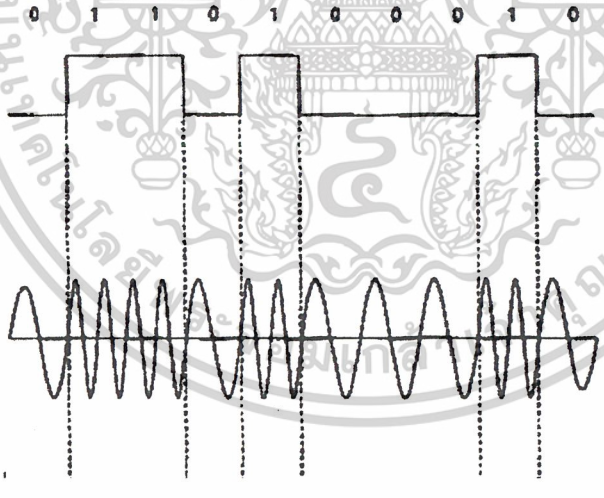
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การแปลงสัญญาณ D/A แบบ ASK

การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

ในการมอดูเลตแบบ FSK ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลง ที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์ นั่นคือเมื่อบิตมีค่าเป็น "1" ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น "0" ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ (ดูรูป 2.19)



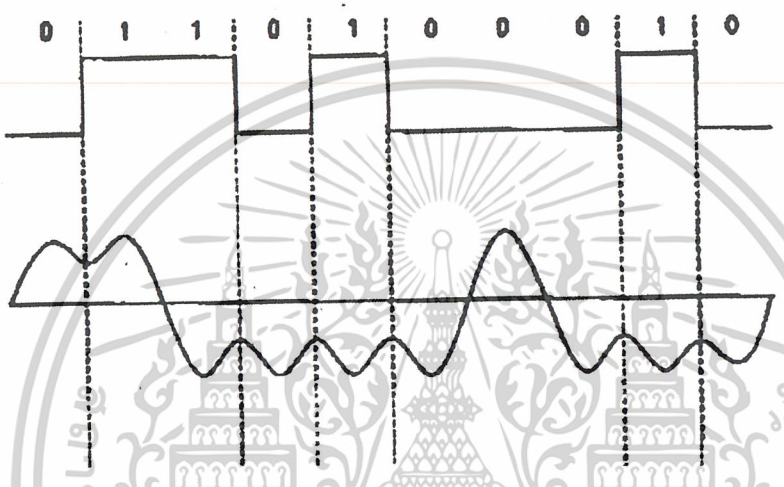
รูปที่ 2.19 การแปลงสัญญาณ D/A แบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)

หลักการของ PSK คือค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่จะเปลี่ยนคือเฟสของสัญญาณ กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก "1" ไปเป็น "0" หรือเปลี่ยนจาก "0" ไปเป็น "1" เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย

วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุด แต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.20 การแปลงสัญญาณ D/A แบบ PSK

2.5 เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitters)

จุดเริ่มต้นของการส่งคลื่นวิทยุนั้นประกอบด้วยการสร้างสัญญาณที่เป็นสื่อ หรือพาหนะที่เรียกว่า Carrier Generator นำสัญญาณมามอดูเลตกับสัญญาณข้อมูล แล้วจึงทำการขยายสัญญาณเพื่อส่งออกไปยังสายอากาศหรือตัวนำคลื่นเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) ส่วนประกอบของเครื่องส่งสัญญาณคือ

1. วงจรสร้างสัญญาณพาหนะ (Carrier Generator) โดยส่วนมากจะเป็นวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์(Crystal Oscillator) ซึ่งจะให้สัญญาณความถี่ที่ต้องการได้เที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพ โดยส่วนมากมักมีการต่อวงจรขยายแบบบัฟเฟอร์เข้าไปเพื่อแยกวงจรออสซิลเลเตอร์ออกจากโหลด เป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงความถี่เนื่องจากค่าโหลดของวงจรออสซิลเลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรมอดูแลตสัญญาณ(Modulator) ทำการแปลงคุณสมบัติของสัญญานพาหะให้มีลักษณะตามการเปลี่ยนของข้อมูลหรือเสียงพูดที่ต้องการส่ง
3. วงจรขยาย(Amplifier)เป็นการขยายในรูปแบบต่างๆในขั้นตอนที่ต่างกัน เช่น ขยายสุดท้ายก่อนที่จะออกไปที่สายอากาศ สำหรับวงจรขยายมีการจัดออกเป็นหลายแบบมีการเรียกเป็นคลาส(class)ตามวิธีการไบอัสวงจรขยายต่อไปนี้

3.1 วงจรขยายคลาสเอ (Class A)เป็นวงจรที่ต่อทรานซิสเตอร์แบบที่มีการไบอัสให้วงจรทรานซิสเตอร์ มีกระแสไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์(Collector) หรือที่เรียกว่ากระแสเดรน(Drain Current)ตลอดเวลาเป็นวงจรแบบเชิงเส้น(Linere Amplifier) เนื่องจากสัญญานนี้ได้ในขาออกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณขาเข้า แต่วงจรคลาสเอเป็นวงจรขยายที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเนื่องจากวงจรมีการขยายสัญญานโดยทำงานตลอดลูกคลื่นหรือที่เรียกว่าครบ 360 องศาดังนั้นวงจรขยายคลาสเอจึงไม่เหมาะที่จะเป็นวงจรขยายกำลัง(Power Amplifier)เพราะโดยปรกติมักใช้ในวงจรขยายกำลังต่ำ(Low Power Amplifier) เช่น วงจรขยายแบบบัฟเฟอร์(Buffer Amplifier)

3.2 วงจรขยายคลาสบี (Class B) เป็นวงจรขยายที่ต่อทรานซิสเตอร์แบบที่มีการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงคัทออฟ(Cut Off)เป็นภาวะที่ไม่มีกระแสไหล โดยปรกติเมื่อไม่มีสัญญาณขาเข้าก็จะไม่มีกระแสไหลที่ขาคอลเลคเตอร์ ตัวทรานซิสเตอร์จะทำงานนำกระแสเพียงช่วงครึ่งลูกของสัญญาณไซน์คือ จะทำงานเพียง 180 องศาของสัญญาณขาเข้า มีเพียงสัญญาณครึ่งลูกเท่านั้นที่ถูกขยาย ดังนั้นในเวลาที่ต้องการขยายสัญญาณเต็มลูกคลื่นจึงมีการต่อวงจรที่เรียกว่า Push-Pull โดยใช้วงจรขยายคลาสบีสองชุดทำงานในช่วงสัญญาณบวกและสัญญาณลบสลับต่อเนื่องกันไปวงจรขยายคลาสบีมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาสเอ เนื่องจากการไหลของกระแสไฟจะเกิดเพียงช่วงหนึ่งของสัญญาณเท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับวงจรขยายกำลง แต่สัญญาณที่ได้ก็ยังมีความเพี้ยนผิดรูปแบบ(Distortion)อยู่

3.3 วงจรขยายคลาสเอบี(Class AB) เป็นวงจรขยายที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ให้อยู่ในช่วงที่เกือบจะคัทออฟจึงมีกระแสไหลที่ขาคอลเลคเตอร์น้อย ทำให้เมื่อมีสัญญาณเข้ามาก็จะทำงานในช่วงของสัญญาณที่มากกว่า180 องศาแต่ไม่ถึง 360 องศาของลูกคลื่นไซน์และก็มักมีการต่อใช้ในรูปแบบของวงจรขยายแบบ Push-Pull เช่นเดียวกับคลาสบี มีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าแต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า

วงจรขยายในแบบคลาสเอ คลาสบี คลาสเอบี เช่นวงจรขยายAM แบบกำลังต่ำหรือซิงเกิลไซด์แบนด์ (Single Side Band : SSB) วงจรขยายแบบไม่เชิงเส้น เช่น วงจรขยายคลาสซี (Class C) ที่เป็นวงจรซึ่งมักใช้มากในเครื่องส่งแบบ AM และ FM สำหรับการขยายกำลัง(Power Amplifier)ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปของวงจรขับ วงจรคูณความถี่(Frequency Multiplier) และวงจรขยายภาคสุดท้าย(Final Multiplier)

3.4 วงจรขยายคลาสซี(Class C) เป็นวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำให้มีการนำสัญญาณเพียงส่วนที่น้อยกว่า 180 องศาของลูกคลื่นไซน์ขาเข้า วิธีการไบอัสทรานซิสเตอร์สำหรับคลาสซีมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือไบอัสด้วยสัญญาณ (Signal Bias) ไบอัสด้วยวงจรภายนอก (External Bias) ไบอัสด้วยตนเอง (Self Bias) และปรกติมีมุมช่วงทำงานของวงจรอยู่ในช่วง 90 องศาถึง 150 องศา นั่นหมายถึงมีเพียงสัญญาณพัลส์เล็ก ๆ เท่านั้นที่ออกมาดังนั้นการทำให้มีสัญญาณขยายเต็มลูกคลื่นจะต้องมีการนำวงจรจูนเรโซแนนท์(Resonant Tuned Circuit) มาต่อเข้าที่ขาออกเพื่อที่จะได้สัญญาณลูกคลื่นรูปไซน์เต็มลูกคลื่น เช่น การทำงานแบบคู่ขนาน (Parallel Tuned Circuit) ที่จะทำให้เกิดสัญญาณความถี่ที่ความถี่เรโซแนนท์เมื่อใดก็ตามที่ได้รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยาย วงจรจูนแบบคู่ขนานประกอบด้วยคาปาซิเตอร์(Capacitor) และลวดตัวนำ (Inductor) เมื่อได้รับสัญญาณพัลส์ก็จะเกิดการถ่ายทอดพลังระหว่างคาปาซิเตอร์และลวดตัวนำ ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์ฟลายวีล (Fly Wheel Fffect) ซึ่งจะสร้างสัญญาณลูกคลื่นไซน์ที่ความถี่เรโซแนนท์ ขณะเดียวกันวงจรจูนดังกล่าวก็ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกด้วย วงจรขยายคลาสซีสามารถใช้เป็นวงจรจูนความถี่ได้ โดยการต่อเข้ากับวงจรเรโซแนนท์ที่สร้างความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของสัญญาณความถี่เข้า และที่เหนือกว่าคลาสอื่น ๆ ก็คือคลาสซีมีการขยายสัญญาณขาเข้าเพียงช่างเวลาสั้น ๆ เท่านั้น ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

4. วงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง (Impedance Matching Circuit) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างวงจรขยายความถี่วิทยุ (RF Amplifier) ในแต่ละภาคเพื่อให้ได้กำลังส่งที่มากที่สุด การที่จะทำให้มีการถ่ายพลังงานมากที่สุดจากวงจรขยายชุดหนึ่งไปยังอีกชุดหนึ่ง จะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรแรกเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรถัดไป วงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่งโดยทั่วไปเป็นวงจรของตัวนำและตัวเก็บประจุ LC (Inductor and Capacitor) ที่มีรูปแบบการต่อต่าง ๆ กัน เช่น โครงข่ายรูป L และโครงข่ายรูป T หรืออาจจะเป็นหม้อแปลงรูปโดนัทที่แกนผงเหล็กเรียกว่า Toroid

5. วงจรกระบวนการเสียง (Speech Processing Circuit) เป็นวงจรอีกส่วนหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับเสียงในระบบของเครื่องส่ง เช่น ในเครื่องส่งอาจมีวงจรที่ใช้สำหรับป้องกันการมอดูเลชั่นมากเกินไป (Over Modulation) หรือตัวอย่างของวงจรกระบวนการเสียง เช่น วงจรจำกัดขนาดของเสียง (Voice Clipper) ซึ่งใช้ไดโอดในการลดแอมปริจูดของสัญญาณในการมอดูเลตสัญญาณเสียงเครื่องรับสัญญาณ (Communication Receivers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของเครื่องรับสัญญาณคือ ทำการเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการออกมาจากสัญญาณอื่น ๆ ที่ถูกส่งออกมาในอากาศ และขยายสัญญาณกลับไปเป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาได้โดยปรกติเครื่องรับจะมีปัจจัย 2 ประการที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

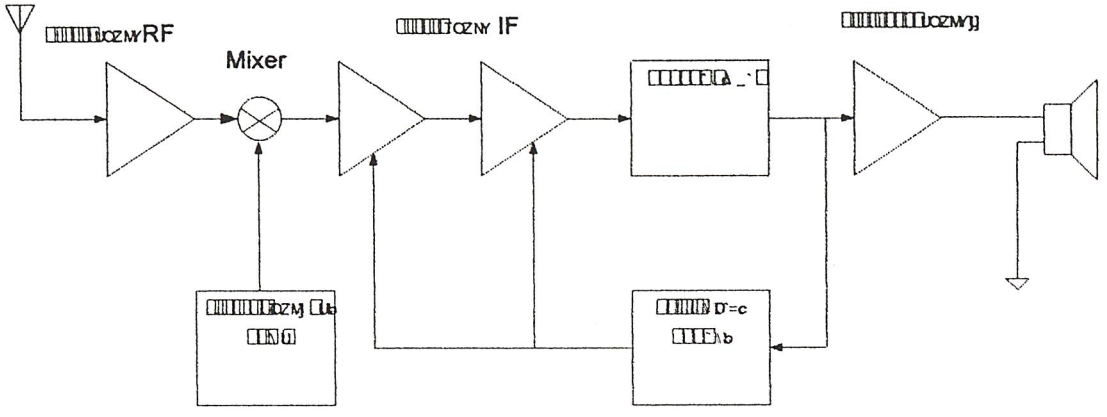
1. ค่าซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) หมายถึงความสามารถในการรับสัญญาณที่ต้องการเข้ามาเท่านั้นหากเครื่องรับสัญญาณมีค่าซีเล็กติวิตี้(Selectivity) ที่ดีก็จะสามารถรับสัญญาณที่ต้องการเข้ามาเท่านั้นและกำจัดช่องสัญญาณข้างเคียงที่ไม่ต้องการออกไปได้

2. ค่าเซ็นซิติวิตี้ (Sensitivity) หมายถึงความสามารถในการรับสัญญาณที่ต้องการที่มีขนาดเล็กหรือสัญญาณอ่อน แล้วนำมาขยายให้ได้สัญญาณที่มีความแรงมากขึ้น โดยปรกติค่าเซ็นติวิตี้จะแสดงถึงการขยายสัญญาณด้วย นั่นก็คือยิ่งมีกำลังขยายมากค่าเซ็นติวิตี้ยิ่งดี และจะแสดงอยู่ในรูปของค่าแรงดันของสัญญาณขาเข้าที่มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งสามารถขยายสัญญาณได้มากกว่า 10 เท่าของสัญญาณรบกวน

สำหรับเครื่องรับที่มีรูปแบบง่ายได้แก่เครื่องจูนความถี่วิทยุ TRF (Tuned Radio Frequency Receiver) ซึ่งมีการทำงานดังนี้ สัญญาณที่รับเข้ามาทางสายอากาศจะถูกต่อเข้ากับวงจรจูน ซึ่งมีการต่อกับวงจรขยายที่เป็นวงจรสำหรับภาคความถี่คลื่นวิทยุ วงจรจูนอาจมีการต่อขนานกันหลายขั้น ซึ่งอาจช่วยเพิ่มค่าซีเล็กติวิตี้ให้กับเครื่องรับ ส่วนวงจรขยายสัญญาณภาคความถี่ย่านคลื่นวิทยุ (RF Radio Frequency Amplifier) ก็ได้ช่วยให้เครื่องรับมีค่าเซ็นติวิตี้ดีขึ้น เป็นการขยายสัญญาณที่รับเข้ามาก่อนที่จะนำไปเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector) ผลที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณข้อมูลหรือสัญญาณเสียงที่สามารถนำมาขยายต่อในวงจรขยายภาคสัญญาณความถี่เสียง (AF Audio Frequency Amplifier) ให้ได้สัญญาณออกมาที่ลำโพง วงจรเครื่องรับในแบบ TRF นั้นยังมีความยุ่งยากในการปรับความถี่อยู่มากเนื่องจากการปรับวงจรจูนที่มีหลานชุดต่อ ๆ กันจะต้องทำการปรับหลายครั้งต่อมาในภายหลังจึงมีการต่อวงจรหลาย ๆ ชุดเข้าด้วยกันทำให้การปรับเครื่องรับสัญญาณง่ายขึ้น ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างของเครื่องรับสัญญาณแบบ TRF ก็คือค่า ซีเล็กติวิตี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความถี่สัญญาณที่สูงขึ้น โดยค่าซีเล็กติวิตี้จะมีค่าที่ดีที่ความถี่ต่ำ

เครื่องรับที่มีการแก้ไขปัญหาข้างต้นได้อย่างดีก็คือ เครื่องรับในแบบที่เรียกว่า ซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์
(Superheterodyne) หลักการของวงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ก็คือ การแปลงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาให้เป็นความถี่ค่ากลางค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความถี่ไอเอฟ (IF Intermediate Frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 วงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์

วงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์สามารถใช้วงจรขยายเพียงชุดเดียวก็สามารถให้ค่าซีเล็กติวิตี้และค่าเซ็นซิติวิตี่ที่ดีได้ วงจรหลักในเครื่องรับซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ คือ วงจรมิกเซอร์ ซึ่งจะทำการแปลงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุให้ค่ากำลังขยายและค่าซีเล็กติวิตี้ในช่วงแรกที่เรียกว่าปรีซีเล็กเตอร์ (Pre selector) ถัดมาในภาคที่สองเป็นวงจรจูน (Tuned Circuit) สำหรับช่วยในการเลือกสัญญาณที่ต้องการหรือช่วงสัญญาณที่ต้องการ วงจรจูนอาจสร้างให้มีค่า Q สูง ๆ ทำให้มีค่าซีเล็กติวิตี้ดีขึ้นแต่โดยปกติแล้ววงจรจูนในภาคนี้มักต้องทำงานในช่วงความถี่กว้าง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้หลายช่อง ในเครื่องรับบางเครื่องอาจไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุในชุดแรก เนื่องจากไม่มีความจำเป็น เพราะความแรงของสัญญาณที่ได้รับอาจมีมากอยู่แล้ว เช่น ในสัญญาณความถี่ต่ำ แต่จะไปขยายสัญญาณอีกครั้งในภาคความถี่ตัวกลาง (IF Amplifier) แต่โดยทั่วไปจะเป็นการดีกว่าที่จะมีวงจรขยายความถี่วิทยุอยู่เพื่อเพิ่มค่าเซ็นซิติวิตี้ เนื่องจากว่าจะได้กำลังขยายมากขึ้นและเพิ่มค่าซีเล็กติวิตี้ เพราะเป็นวงจรจูนอยู่ด้วยส่วนหนึ่ง และทำให้อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้นด้วย (Signal to Noise Ratio) อีกเหตุผลหนึ่งที่ควรจะมีวงจรขยายความถี่วิทยุ เพราะจะช่วยแยกสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องรับข้างเคียงที่เป็นผลมาจากการแพร่กระจายของสัญญาณจากวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) ที่ผ่านไปทางสายอากาศได้สัญญาณจาก LO มีความแรงมากอาจจะรั่วไหลและไปเข้าที่ขาของวงจรมิกเซอร์ได้ในการสร้างวงจรขยายและวงจรมิกเซอร์ หากใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (Bipolar Transistor)

สัญญาณที่ได้ออกมาจากมิกเซอร์จะเป็นผลรวม และผลต่างของความถี่ของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณความถี่คงที่จาก LO และจะมีวงจรจูนซึ่งเป็นวงจรกรองเพื่อเลือกเอาสัญญาณผลต่างของความถี่ที่ต้องการออกมา นั่นคือค่า ความถี่กลาง (Intermediate Frequency) วงจรของมิกเซอร์อาจสร้างจากไดโอดหรือบาลานซ์มอดูเลเตอร์ (Balance Modulator) สำหรับเครื่องรับที่สามารถรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณได้ในความถี่หนึ่ง ๆ วงจร LO จะต้องสามารถจูนได้ ความถี่ของวงจรต้องสามารถเปลี่ยนได้ในช่วงความถี่ค่อนข้างกว้างเพื่อที่จะทำให้วงจรมิกเซอร์สามารถแปลงความถี่เข้ามาให้เป็นความถี่กลาง IF ได้ ในวงจรทั่วไปมิกเซอร์และ LO จะเป็นวงจรแยกกัน แต่สำหรับวงจรความถี่ต่ำมิกเซอร์อาจจะรวมกับ LO ได้ซึ่งเรียกว่าวงจรแปลง (Converter)

สัญญาณขาออกของมิกเซอร์เป็นสัญญาณที่ความถี่กลางซึ่งมีคุณสมบัติของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตจากด้านเครื่องส่งเช่นเดียวกับสัญญาณที่ถูกส่งมาจะถูกขยายโดยวงจรขยายความถี่กลางอีกหลายชุด และในเครื่องรับส่วนใหญ่จะมีวงจรขยายอยู่ในภาคความถี่กลางเมื่อ IF มักอยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่าสัญญาณขาเข้า วงจรขยายความถี่กลางก็จะถูกออกแบบได้ง่ายกว่า และมีค่าซีเล็กติวิตี้ดีกว่า พร้อมกันนี้ก็จะมีการสร้างวงจรจูนในภาคนี้ด้วยซึ่งก็จะให้ค่าซีเล็กติวิตี้ที่ดีขึ้นอีกระดับหนึ่ง วงจรจูนในที่นี้ก็คือวงจรกรองแบบคริสตอล (Crystal) แมคคานิคอล (Mechanicak) เซรามิค (Ceramic)

สัญญาณ IF จะถูกส่งต่อไปเข้าวงจรตรวจจับหรือดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่เข้ามาให้กลับคืนเป็นสัญญาณข้อมูลเดิมหรือเสียงพูดจากต้นทาง ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายสัญญาณคลื่นเสียง (Audio Amplifier) เพื่อให้ได้ค่าความแรงของสัญญาณที่เพียงพอจะออกไปที่ลำโพง วงจรที่สำคัญอีกชุดหนึ่งในเครื่องรับแบบซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ก็คือ วงจรควบคุมกำลังขยายอัตโนมัติ AGC (Automatic Gain Control) ขนาดของสัญญาณที่ออกมาจากวงจรดีมอดูเลเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสัญญาณขาเข้าที่รับเข้ามา สัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นสัญญาณในแบบไฟสลับจะถูกปรับและกรองให้เป็นสัญญาณไฟ ซึ่งไฟตรงนี้จะถูกป้อนกลับ (Feedback) ไปยังวงจรขยายความถี่กลาง หรือในบางครั้งอาจเป็นวงจรขยายความถี่วิทยุ เพื่อควบคุมกำลังขยายของเครื่องรับวัตถุประสงค์ของ AGC ก็เพื่อช่วยควบคุมค่าผลลัพธ์ของสัญญาณขาออกให้คงที่ตลอดช่วงระดับของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุที่เข้ามา

ค่าแอมปริจูดของสัญญาณคลื่นวิทยุที่สายอากาศของเครื่องรับสามารถมีค่าตั้งแต่ระดับไมโครโวลท์ไปจนถึงระดับหลายโวลท์ ซึ่งแสดงถึงช่วงกว้างของสัญญาณที่เรียกว่าช่วงไดนามิก (Dynamic Range) โดยปรกติเครื่องรับมักมีกำลังขยาย (Gain) เพื่อที่จะรับสัญญาณที่มีระดับได้ดี แต่ถ้าหาสัญญาณขาเข้ามีแอมปริจูดสูงมาก ก็จะทำให้ไม่สามารถเข้าใจข้อความที่ส่งมาได้ โดยการใช้วงจรควบคุมกำลังขยายอัตโนมัติ กำลังขยายโดยรวมของเครื่องรับสามารถปรับโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณขาเข้าหากสัญญาณที่ออกมาหลังวงจรตรวจจับมีค่าสูงมาก วงจร AGC จะกำเนิดสัญญาณไฟตรงที่มีค่าความต่างศักย์ค่าสูงค่าหนึ่งซึ่งจะถูกป้อนกลับไปลดกำลังขยายของวงจรขยายความถี่กลาง

ปัญหาที่พบและสำคัญมากในวงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์เมื่อความถี่กลางมีค่าต่ำก็คือเรื่องของอิมเมจฟรีเควนซี่ (Image Frequency) ซึ่งมีลักษณะเป็นความถี่ที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการมีค่าอยู่สูงขึ้นไปสองเท่าของความถี่กลาง IF และอยู่ต่ำลงมาสองเท่าของความถี่กลาง IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความถี่เอมเมจฟรีเควนซี่เข้ามาในวงจรมิกเซอร์และได้ผลลัพธ์ของสัญญาณความถี่กลางที่มีความถี่เช่นเดียวกันกับสัญญาณจริง ทำให้สัญญาณที่ถูกเลือกมาผิดค่าเกิดเป็นสัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่ต้องการ สัญญาณอิมเมจอาจเกิดได้ในกรณีที่แถบความถี่มีการใช้งานอย่างหนาแน่น สัญญาณอีกช่องหนึ่งอาจเข้ามารบกวนสัญญาณช่องที่ต้องการได้ วิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นที่อาจใช้วงจรจูนเพื่อเลือกเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการเข้ามาในเครื่องรับเท่านั้น และกำจัดสัญญาณอิมเมจออกไป แต่การแก้ไขดังกล่าวไม่สามารถทำได้ในวงจรเครื่องรับที่ต้องการใช้กับความถี่ในช่วงกว้าง วิธีการที่สองที่ใช้ในการแก้ปัญหาก็คือเพิ่มค่าความถี่กลางสูงขึ้น ก็จะทำให้ออกแบบวงจรยากขึ้น ดังนั้นการออกแบบวงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ต้องออกแบบให้มีความถี่กลางมีค่ามากที่สุดเพื่อลดผลของอิมเมจปรีเควนซี่ และในขณะเดียวกันต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุดเพื่อที่จะให้ออกแบบวงจรได้ง่ายขึ้นที่ความถี่ต่ำ วิธีการแก้ปัญหาสัญญาณอิมเมจสุดท้ายที่นิยมก็คือใช้วงจรแปลงความถี่สองครั้งที่เรียกว่า ดูออลคอนเวอร์ชั่นซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ (Dual Conversion Superheterodyne Receiver) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความถี่กลาง 2 ชุด ชุดแรกมี LO ที่สามารถปรับค่าได้ ส่วน LO ชุดที่สองคงที่เพื่อปรับค่าได้เล็กน้อย มิกเซอร์ชุดแรกจะแปลงให้สัญญาณมาอยู่ในความถี่กลางค่าสูงโดยจะช่วยในการลดปรากฏการณ์อิมเมจเควนซี่ ส่วนมิกเซอร์ชุดที่สองจะแปลงสัญญาณ IF ชุดแรกให้ต่ำลงเป็นสัญญาณ IF ความถี่ที่สองที่ให้ค่าซีเล็กติวิตี้ที่ดีกว่า วงจรดูออลคอนเวอร์ชั่น (Dual Conversion) มักใช้ในวงจรเครื่องรับความถี่คลื่นสั้น (Short Wave Receiver) เครื่องรับคลื่น VHF, UHF และไมโครเวฟ

เครื่องรับแบบ AM จะมี IF ที่ 455 kHz, 30 MHz, 33859 MHz

เครื่องรับแบบ FM จะมี IF ที่ 10.7 MHz

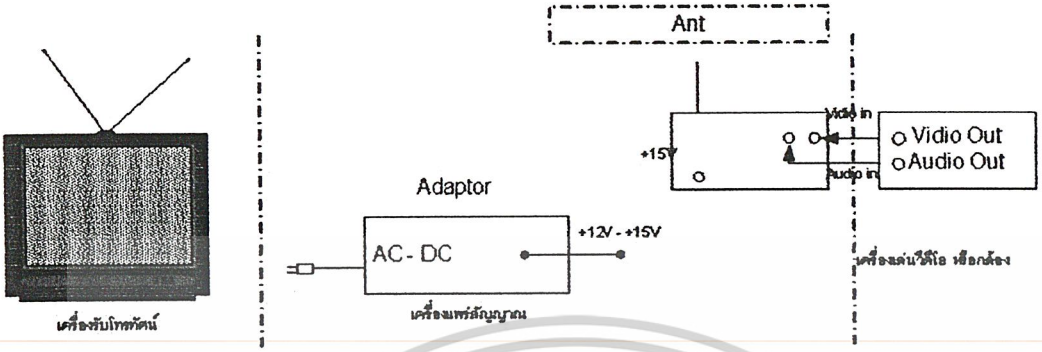
เครื่องรับโทรทัศน์ จะมี IF ที่ 40-50 MHz

เครื่องรับเรดาร์ จะมี IF ที่ 60 MHz

เครื่องรับดาวเทียม จะมี IF ที่ 70 MHz, 140 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิดีโอเซ็นเดอร์ (VIDEO SENDER)



รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อวิดีโอเซ็นเดอร์

จากรูปที่ 2.22 แสดงการต่อวิดีโอเซ็นเดอร์เข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งเป็นระบบ PEL ย่านความถี่ UHF มีช่องสัญญาณ 21-23 ช่องสามารถปรับได้ โดยการจ่ายไฟเข้า +12V หรือ +15V ไฟ DC กระแสสูงสุด 10 mA สัญญาณเสียงเข้า 0.1-1 โวลท์ RMS/600 โอห์ม และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 50 โอห์ม

2.6.1 การต่อเครื่องวิดีโอเซ็นเดอร์

1. ต่อสายสัญญาวิดีโอจากเครื่องเล่นวิดีโอจากเครื่องเล่นวิดีโอที่เขียนว่า VIDEO OUT เข้ามาจุด VIDEO IN ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

2. ต่อสายสัญญาณเสียงจากเครื่องเล่นวิดีโอที่เขียนว่า AUDIO OUT มาเข้าจุด AUDIO IN ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

3. เปิดไฟเข้าเครื่องวิดีโอและเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ แล้วกดปุ่มเพลย์ของเครื่องเล่นวิดีโอเพื่อให้มีสัญญาณส่งออกอากาศไป

4. เปิดเครื่องรับโทรทัศน์แล้วปรับเครื่องรับให้รับช่อง UHF ถ้าเป็นเครื่องรับที่ปรับคลื่นเป็นแบบอัตโนมัติ เพียงกดปุ่มปรับภาพเพียงครั้งเดียวเครื่องจะควานหาความถี่เองจนเจอสัญญาณที่จะรับ ซึ่งได้ทั้งภาพและเสียงที่ชัดเจน

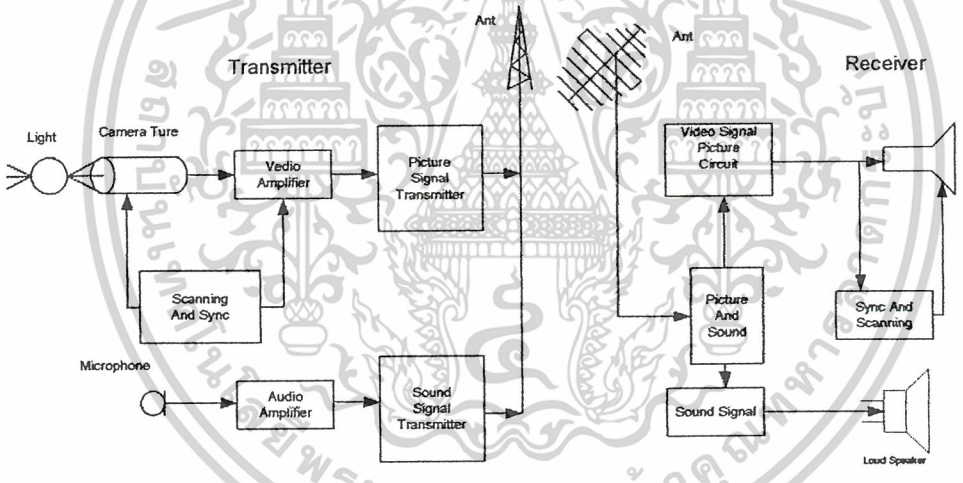
5. ถ้าภาพและเสียงชัดเจนไม่พร้อมกันให้ปรับ FREQUENCY ADJUST ในกล่องของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องปรับประป่อง IF ของเสียงด้วย ปกติจะไม่มีปัญหาเพราะปรับแต่งมาจากโรงงานแล้ว นอกจากปรับแรงดันของภาพและเสียงจนเป็นที่พอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้สายอากาศภายในแบบหูกระต่าย อาจจำเป็นต้องปรับความยาวของหูกระต่ายช่วยด้วยจนกว่าภาพจะชัดเจน ระยะการรับจะยิ่งไกลถ้าเครื่องรับใช้สายอากาศภายนอกแบบ UHF

2.6.2 หลักการแพร่ภาพ

การแพร่ภาพ (Television Broadcasting) หมายถึงการส่งสัญญาณออกไปรอบตัว ซึ่งได้แสดงวิธีการดังรูปที่ 2.63 หลักการเบื้องต้นของการแพร่ภาพโทรศัพท์ คือการส่งกระจายทั้งภาพและเสียงออกไปในรูปสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับได้ทั้งภาพและเสียงอย่างต่อเนื่อง แต่จริง ๆ แล้วภาพที่ต่อเนื่องได้นั้นมาจากการส่งภาพนิ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหลาย ๆ ภาพต่อเนื่องกันในช่วงเวลาสั้น ๆ เหมือนหลักการของภาพยนตร์นั่นเอง เราได้หลักการอยู่อย่างหนึ่งว่าหากภาพนิ่งเหล่านั้นถูกนำมาลำดับตั้งแต่ 16 ภาพต่อวินาทีขึ้นไป สายตาของคนเราจะเห็นเป็นภาพต่อเนื่องหรือภาพเคลื่อนที่ได้เพราะการทำงานของประสาทตามีลักษณะพิเศษที่เรียกว่า Persistence of vision เป็นความรู้สึกเห็นติดตาชั่วขณะจึงจะจางหายไปจากระบบประสาท



รูปที่ 2.23 แสดงบล็อกไดอะแกรมการแพร่ภาพโทรทัศน์

เครื่องส่งโทรทัศน์ต้องประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนที่เป็นสัญญาณภาพและส่วนที่เป็นสัญญาณเสียง โดยสัญญาณภาพ่จะส่งไปในรูปของสัญญาณ AM และสัญญาณเสียงจะส่งไปในรูปของสัญญาณFM การแพร่กระจายคลื่นออกไปในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวสายอากาศ โดยทั่วไปหากเป็นสถานีภาคพื้นดินจะครอบคลุมพื้นที่ทางตรงได้ประมาณ 121 กิโลเมตร กล้องโทรทัศน์จะรับเอาสัญญาณภาพในรูปของพลังงานแสงเข้าไปยังตัวของมันเพื่อเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หลักการเบื้องต้นของกล้องอยู่ที่ว่าแสงจะผ่านเลนส์เข้าไปกระทบแผ่นโฟโต้อิเล็กตริกเพลทของหลอดภาพ ซึ่งหลอดนี้จะทำการสแกนหรือกวาดรับสัญญาณในแนวนอนโดยการบังคับตัวอิเล็กตรอนบีมให้กวาดจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง โดยภาพหนึ่งเฟรมจะใช้เวลา 1/25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ1/30 วินาที รวมการสแกนทั้งหมดด้วยเส้นสแกน 625 เส้น หรือ 525 เส้น สัญญาณที่ออกไปทางเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณไฟที่ต่อเนื่อง สัญญาณภาพดังกล่าวจะถูกส่งไปขยายให้แรงขึ้นแล้วนำไปผสมกับซิงโครไนซิ่งพัลส์ (Synchroizing Pulse) แล้วทำการผสมสัญญาณทางแอมปริจูดกับคลื่นพาห์ภาพเพื่อให้ได้สัญญาณภาพเป็น AMส่วนสัญญาณเสียงจะถูกส่งเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณก่อนที่จะผสมสัญญาณกับคลื่นพาห์เสียงเพื่อให้ได้สัญญาณเสียงเป็น FM

เครื่องรับโทรทัศน์จะรับสัญญาณจากสายอากาศเข้ามาทั้งภาพและเสียง นำสัญญาณนี้ไปทำการดีเทคเตอร์แยกภาพและเสียงออกไปใช้งานโดยสัญญาณภาพ (CRT) ซึ่งมีส่วนคล้ายหลอดออสซิลโลสโคปที่แก้วข้างหน้าเคลือบฉาบฟลูออเรสเซนต์ไว้ ภายในหลอดจะมีปืนอิเล็กตรอนที่มีการบังคับการบีบลำให้ยิงไปหน้าจอทำให้สารฟอสเฟอร์เกิดการเรืองแสงขึ้นที่จอ

2.6.3 ความถี่โทรทัศน์ช่องต่าง ๆ

ตามมาตรฐานของ FCC กำหนดให้ความถี่โทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงมีความกว้างช่องละ 6 MHz ในขณะที่มาตรฐาน CCIR กำหนดให้กว้างถึง 7 MHz โดยแบ่งย่านความถี่ในช่วง VHF เป็น 2 แบนด์ คือแบนด์ด้านต่ำ (Lowband) กับแบนด์ด้านสูง (Highband) อยู่ในช่วง 30-300 MHz แต่ในย่านความถี่นี้มีการส่งกระจายเสียงของสถานีวิทยุ FM ดังนั้นความถี่แบนด์ต่ำในระบบ FCC จึงบรรจุช่องโทรทัศน์ 2-6 เอาไว้ ในขณะที่ระบบ CCIR บรรจุช่อง 2-4 เอาไว้ ความถี่แบนด์กลางเป็นของ FM และทางด้านแบนด์สูงของ FCC บรรจุช่อง 7-13 ในขณะที่ของ CCIR บรรจุช่อง 5-12 เอาไว้

2.7 Digital Image Processing

การประมวลผลสัญญาณภาพดิจิตัล หรือ Digital Image Processing เป็นการนำภาพดิจิตัลมาผ่านการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์แบบใหม่ที่บ่งบอกถึงลักษณะ/คุณสมบัติของภาพ เช่น นำภาพสี RGB แปลงเป็นภาพเฉดขาวดำ (Gray level), การหาขอบภาพ, การแยกชนิดสี, การดูช่วงค่าความกระจายของสี (Histogram), ฯลฯ กระบวนการต่างๆที่ยกตัวอย่างนี้ เรียกว่าการทำตัวกรอง (Filter)

ในการศึกษาเรื่อง DIP นั้นจะต้องอาศัยอุปกรณ์สำคัญคือ อุปกรณ์จับภาพ ซึ่งต้องอาศัยกล้องแบบต่างๆ กัน เช่น กล้องถ่ายภาพแบบฟิล์ม, CCD หรือกล้องดิจิตัล เป็นต้น

ถ้าเป็นกล้องถ่ายภาพแบบฟิล์มจะต้องผ่านกระบวนการอีกหลายขั้นตอนเนื่องจากภาพที่จะต้องนำมาประมวลผลนั้นจะต้องอาศัยภาพแบบดิจิตัล กล้องชนิดนี้จึงไม่เหมาะสมนักกับงานด้าน DIP เพราะอาจจะเกิดความผิดพลาดของข้อมูลได้จากกระบวนการแปลงภาพถ่ายให้เป็นภาพดิจิตัลอันเกิดจากความผิดพลาดของตัว สแกนเนอร์ (scanner) ที่ให้คุณภาพแตกต่างกัน และสามารถเกดสัญญาณรบกวน (noise) ได้หลายลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของการใช้ CCD จะต้องอาศัยอุปกรณ์แปลงสัญญาณ CCD ให้เป็นดิจิตัลโดยใช้การ์ดแปลงสัญญาณที่นิยมเรียกกันว่า เฟรมแกร็บเบอร์ (Frame Grabber) ในการใช้งานจะต้องติดตั้งการ์ดในเครื่องคอมพิวเตอร์และทำการต่อสายสัญญาณจากกล้องผ่านทางการ์ด หลังจากนั้นผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเขียนโปรแกรมติดต่อกับการ์ดเพื่ออ่านข้อมูลภาพ ในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับการ์ดนั้นจะมีหลายระดับ คือ ถ้าเลือกใช้การ์ดจับภาพธรรมดา เช่น การ์ดรับสัญญาณโทรทัศน์ จะสามารถเขียนโปรแกรมผ่านทาง DirectShow หรือใช้ซอฟต์แวร์ที่แถมมากับการ์ด แต่ถ้าเลือกใช้เฟรมแกร็บเบอร์ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับงานด้านแปลงสัญญาณภาพ จะมีไลบรารีสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษาต่างๆให้ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถนำมาใช้งานได้

กรณีที่ใช้กล้องดิจิตัลนั้นจะสะดวกสบายกว่าสองแบบที่กล่าวมาเพราะในการใช้งานภาพจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตัลและสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เพิ่มเติม ถ้าเลือกใช้กล้องดิจิตัลผู้ใช้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่านทางอุปกรณ์โอนข้อมูล แต่ถ้าเลือกใช้ Web Camera ก็สามารถใช้แทนกล้องดิจิตัลได้เช่นกัน ความแตกต่างจะเป็นเรื่องของความคมชัดและขนาดภาพที่มีน้อยกว่ากล้องดิจิตัลแบบทั่วๆไป และต้องใช้ซอฟต์แวร์ในการจับสัญญาณภาพ ซึ่งจะแถมมากับกล้อง แต่ถ้าต้องการเขียนโปรแกรมจัดการข้อมูลด้วยตนเองจะต้องเขียนโปรแกรมติดต่อทาง DirectShow เช่นเดียวกับการใช้ CCD ผ่างทางการ์ดแปลงสัญญาณโทรทัศน์

จากทางเลือกทั้ง 3 แบบ ผู้เขียนพบว่าส่วนมากผู้ศึกษาด้าน DIP จะเลือกใช้กล้อง CCD ผ่านทางเฟรมแกร็บเบอร์มากกว่าใช้กล้องดิจิตัล เพราะราคาถูกกว่าการซื้อกล้องดิจิตัลคุณภาพสูง สามารถปรับเปลี่ยน CCD ได้หลากหลายกว่า (ตามกำลังทรัพย์) ความเร็วในการจับภาพสูงกว่า และสามารถเขียนโปรแกรมอ่านข้อมูลภาพได้โดยตรงจากการ์ด ส่วน Web Camera นั้นสามารถใช้แทน CCD ผ่านทางเฟรมแกร็บเบอร์ได้เช่นกัน แต่จะมีการทำงานที่ช้ากว่า และคุณภาพแตกต่างจากการอ่านข้อมูลผ่านทางการ์ดแปลงสัญญาณ

เมื่อได้ภาพที่เป็นสัญญาณนำเข้าแบบดิจิตอลขั้นตอนต่อไปคือการเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลภาพในแบบต่างๆ โดยในที่นี้ใช้ Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมประมวลผลภาพ

Edge Detection

Edge เป็นลักษณะสมบัติ (Feature) อย่างหนึ่งของภาพต่างๆซึ่งหมายถึงรอยต่อระหว่างส่วนพื้นที่ (Region) ที่แตกต่างกันในรูปภาพ Edge Detection เป็นหนึ่งในวิธีที่จะดึงเอาลักษณะสมบัติ (Feature) ของรูปภาพออกมาได้โดยมีทฤษฎีต่างๆมากมาย แต่ในการทำโครงงานนี้ได้เลือกใช้ Canny Edge Detector

สำหรับขั้นตอนของอัลกอริทึม Canny Edge Detection นั้น ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Canny Edge Detection

1. **ใช้ Gaussian filter ในการที่จะกรอง noise ออกจากรูปภาพ**

$$S[i,j] = G[i,j,\sigma] * I[i,j]$$; I[i,j] คือ รูปภาพ

2. **คำนวณ ขนาด (magnitude) และ ทิศทาง (orientation) ของ Gradient โดย ใช้ finite-difference approximations สำหรับ partial derivatives**

S[i,j] ถูกคำนวณโดยใช้ 2*2 first-difference approximations เพื่อที่จะสร้าง P[i,j] และ Q[i,j]

$$P[i,j] \approx (S[i,j+1] - S[i,j] + S[i+1,j+1] - S[i+1,j])/2$$

$$Q[i,j] \approx (S[i,j] - S[i+1,j] + S[i,j+1] - S[i+1,j+1])/2$$

โดยที่ P[i,j] และ Q[i,j] คือ x partial derivative และ y partial derivative ตามลำดับ

ขนาด (magnitude) ของ gradient $M[i,j] = (P[i,j]^2 + Q[i,j]^2)^{1/2}$

ทิศทาง (orientation) ของ gradient $\theta[i,j] = \arctan(P[i,j], Q[i,j])$

3. **ใช้ nonmaxima suppression กับ gradient magnitude ตามสมการดังต่อไปนี้**

$$\zeta[i,j] = \text{Sector}(\theta[i,j])$$

- ■ □ เริ่มจากแบ่ง ทิศทาง (orientation) ของ gradient ให้อยู่ใน 4 ทิศเท่านั้น คือ
  - ■ □ 0 degrees (in the horizontal direction)

    yellow range (0 to 22.5 & 157.5 to 180 degrees)
  - ■ □ 45 degrees (along the positive diagonal)

    green range (22.5 to 67.5 degrees)
  - ■ □ 90 degrees (in the vertical direction)

    blue range (67.5 to 112.5 degrees)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ □ 135 degrees (along the negative diagonal)

red range (112.5 to 157.5 degrees)

การกรองข้อมูลภาพ

การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering) คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (enhance) หรือลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

การกรองข้อมูลภาพคือการประมวลผลภาพอย่างหนึ่งที่จำเป็นมาก เนื่องจากในการใช้งานจริง ภาพที่ได้มามักมีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย การกรองข้อมูลภาพสามารถปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะแก่การประมวลผลในขั้นต่อไป

การกรองข้อมูลภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1

ภาพต้นฉบับ ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 2.24 การกรองข้อมูลภาพ

องค์ประกอบสำคัญของการกรองข้อมูลภาพคือตัวกรอง หากเปรียบภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ ตัวกรองก็คือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เลือกหรือกรองให้สัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วงที่ต้องการผ่านออกไปได้ คุณสมบัติของตัวกรองคือตัวกำหนดคุณสมบัติของภาพผลลัพธ์

เราอาจมองข้อมูลของภาพๆ หนึ่งให้เป็นสัญญาณๆ หนึ่งได้ ด้วยการกำหนดให้ระดับความเข้มแสงของแต่ละจุดคือขนาด (amplitude) ของสัญญาณ ณ ตำแหน่งนั้นๆ ข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับภาพคือ

1. ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าคือค่าแรงดันหรือกระแส แต่ขนาดของข้อมูลภาพคือระดับความเข้มแสงของจุดภาพ
2. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าถูกกำหนดโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณในหนึ่งช่วงเวลา แต่การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของจุดภาพ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงของจุดที่อยู่ถัดกันไป

3. สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณมิติเดียว (amplitude vs time) แต่ภาพเป็นสัญญาณ 2 มิติ (intensity vs X & Y)

ตัวกรองคือระบบ ๆ หนึ่งซึ่งรับสัญญาณเข้า (input) ประมวลผลสัญญาณ และส่งสัญญาณออก (output) โดยทั่วไปตัวกรองจะถูกสร้างให้เป็นระบบเชิงเส้น (linear system) เนื่องจากออกแบบได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดี ปัจจุบันมีทฤษฎี และเทคนิคมากมายเกี่ยวกับการออกแบบตัวกรองสัญญาณแบบเชิงเส้น

ในการกรองข้อมูลภาพ เรามักพิจารณาว่าภาพคือสัญญาณ 2 มิติที่ประกอบขึ้นจากสัญญาณความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ต่างกัน การออกแบบตัวกรองจึงเป็นการกำหนดว่าเราต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ใดออกไป (หรือต้องการเลือกสัญญาณความถี่ใดบ้าง) หากผู้อ่านมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการกรองสัญญาณไฟฟ้า ก็จะสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับการกรองข้อมูลภาพได้ไม่ยาก เพราะการกรองข้อมูลภาพคือส่วนขยายของความรู้เดิมให้รองรับการประมวลผลสัญญาณ 2 มิติ

ประเภทของตัวกรอง

ตัวกรองแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการเลือกความถี่คือ

1. ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter)
2. ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass Filter)
3. ตัวกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-pass Filter)
4. ตัวกรองหยุดแถบความถี่ (Band-stop Filter)

ค่าพารามิเตอร์หลักในการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองคือ ค่าความถี่คัตออฟ (cut-off frequency) ความถี่คัตออฟคือความถี่ที่ระบุจุดตัดของสัญญาณว่าจะให้ผ่าน หรือไม่ผ่าน ตัวอย่างเช่น ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่าความถี่คัตออฟเท่ากับ 1,000 เฮิรตซ์จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ผ่านไปได้ แต่จะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 1,000 เฮิรตซ์ผ่าน

สำหรับตัวกรองความถี่สูงผ่านจะทำงานตรงข้ามกับตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน คือไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟผ่านไปได้ แต่จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัตออฟผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองแถบความถี่ผ่านยอมให้สัญญาณในช่วงความถี่หนึ่งผ่านไปได้ หากสัญญาณมีความถี่อยู่นอกช่วงจะถูกลดทอนหรือไม่ยอมให้ผ่านไป สำหรับวงจรหยุดแถบความถี่จะมีลักษณะการทำงานที่ตรงข้ามกันคือจะลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ในช่วงที่กำหนดลง และจะผ่านความถี่ที่อยู่นอกช่วง

ในการกรองสัญญาณใดๆ เราจะต้องทราบความถี่ หรือช่วงความถี่ของสัญญาณที่เราต้องการและสัญญาณที่เราไม่ต้องการ จากนั้นเราจะเลือกตัวกรองที่เหมาะสมมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออก และ/หรือเน้นสัญญาณที่ต้องการให้เด่นชัดยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นสัญญาณรบกวน

การกรองโดยการเฉลี่ยจากหลายภาพ

หากเรามีชุดของภาพคุณภาพต่ำหลาย ๆ ภาพซึ่งถ่ายจากมุมกล้องเดียวกัน เราสามารถสร้างภาพใหม่ที่มีคุณภาพสูงกว่าจากชุดภาพนั้นได้ หากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแบบสุ่ม ภาพที่เก็บแต่ละครั้งย่อมมีลักษณะแตกต่างกัน หากความเข้มแสงของจุดในภาพหนึ่งถูกรบกวน เราสามารถนำข้อมูลความเข้มแสงของจุด จากภาพอื่น ณ ตำแหน่งเดียวกันมาแทน แต่ละจุดในภาพผลลัพธ์ที่ได้จะเกิดจากการเฉลี่ย (หรือเลือก) จากจุดที่ตรงกันของภาพต่าง ๆ ในชุดภาพ

การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (mean filtering)

วิธีการนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ของจุดทั้งหมด หากมีภาพขนาด NxM ทั้งหมด K ภาพ เราสามารถคำนวณหาภาพใหม่ได้ดังนี้

$$\hat{I}(x,y)=\frac{1}{K}\sum_{j=1}^{K} I_j(x,y)$$

$\hat{I}(x,y)$ คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง (x,y) ในภาพผลลัพธ์

$\hat{I}(x,y)$ คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง (x,y) ในภาพที่ j

วิธีนี้เป็นการลดทอนสัญญาณรบกวน ภาพที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนลดลง

การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (median filtering)

วิธีการนี้จะนำเอาความเข้มแสงของจุดที่ตรงกันในภาพต่างๆ มาเรียงลำดับ (sort) จากน้อยไปหามาก จากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปใช้ หากจำนวนภาพทั้งหมดเป็นจำนวนคู่ ค่าทั้งสองที่อยู่ตรงกลางจะนำมาหาค่าเฉลี่ย วิธีการนี้จะต้องใช้การเรียงลำดับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง แต่ข้อดีคือไม่สูญเสียความคมชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

ภาพที่ 1					ภาพที่ 2					ภาพที่ 3					ผลลัพธ์			
1	2	1	3		2	3	4	3		3	2	1	4		2	2	1	3
4	2	2	1		5	3	4	1		2	1	4	0		4	2	4	1
0	1	1	3	,	3	2	4	2	,	1	4	2	0	=	1	2	2	2
2	2	1	1		1	3	1	2		2	4	0	2		2	3	1	2

การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าฐานนิยม (modal filtering)

วิธีการนี้คล้ายกับวิธีใช้ค่ามัธยฐาน แต่ไม่ใช้การเรียงลำดับข้อมูล ระดับความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดจะถูกเลือกไปใช้ วิธีนี้เสมือนการโวตลงคะแนนเสียง ผู้ที่ได้คะแนนเสียงสูงที่สุดคือผู้ชนะ วิธีนี้เหมาะสำหรับการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไม่บ่อย

ตัวอย่าง

ภาพที่ 1					ภาพที่ 2					ภาพที่ 3					ผลลัพธ์			
1	2	1	3		2	3	4	3		3	2	1	4		2	2	1	3
4	2	2	1		5	3	4	1		2	1	4	0		4	2	4	1
0	1	1	3	,	3	2	4	2	,	1	4	2	0	=	1	2	2	2
2	2	1	1		1	3	1	2		2	4	0	2		2	3	1	2

การกรองโดยใช้หน้าต่าง

การกรองข้อมูลภาพวิธีนี้จะใช้หน้าต่างในการกำหนดขอบเขตของการพิจารณาเพื่อหาระดับความเข้มแสงของจุดต่างๆ ในภาพผลลัพธ์ ความเข้มแสงของจุดที่อยู่รอบๆ จุดกึ่งกลางของหน้าต่างจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ หน้าต่างจะถูกเลื่อนไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในภาพจนครบทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

รูปที่ 2.25 การกรองโดยใช้หน้าต่าง

จากรูปที่ 2.25 จะเห็นว่ามีหน้าต่างขนาด 3x3 ครอบอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายของภาพเริ่มต้น ความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางของหน้าต่างมีค่าเท่ากับ 1 ความเข้มแสงของจุดภาพในภาพผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของหน้าต่างที่ครอบอยู่บนภาพเริ่มต้น (จุด A) สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของทุกจุดในหน้าต่าง การหาค่าเฉลี่ยสามารถทำได้ 3 แบบคือ การหาค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ การหาค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐาน และการหาค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยม

การหาค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ทำได้โดยการหาผลรวมของค่าความเข้มแสงของจุดทุกจุดในหน้าต่าง แล้วหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมดในหน้าต่าง จากตัวอย่างในรูปที่ 2.25 ความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ (0+0+0+0+1+2+0+2+3) / 9 = 8/9 ค่าความเข้มแสงที่จุดอื่นๆ สามารถคำนวณได้โดยการเลื่อนหน้าต่างให้จุดกึ่งกลางตรงกับจุดที่ต้องการหาค่า

การหาค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐานทำได้โดยการนำค่าทั้งหมดในตารางมาเรียงลำดับ (sort)จากน้อยไปหามาก (หรือจากมากไปหาน้อยก็ได้) จากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางของลำดับเป็นค่าความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ หากจำนวนจุดในหน้าต่างเป็นจำนวนคู่ ผลลัพธ์จะคำนวณได้จากการเฉลี่ยค่าระหว่างจุดกึ่งกลางทั้งสอง จากตัวอย่างในรูปที่ 2.25 เมื่อเรียงลำดับความเข้มแสงจะได้ลำดับดังนี้ (0 0 0 0 ***0*** 1 2 2 3) ค่าที่อยู่ตรงกลางคือ 0 ดังนั้นความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ 0

การหาค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยมทำได้โดยการเลือกระดับความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดในหน้าต่างมาเป็นคำตอบ ปัญหาที่อาจเกิดจากการใช้วิธีนี้คือ มีระดับความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดมากกว่า (มีหลายคำตอบ) วิธีการแก้ไขคือการหาค่าเฉลี่ย หรือเปลี่ยนไปใช้การหาค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐาน จากตัวอย่างในรูป 2.25 ค่าความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดคือ 0 ดังนั้นความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ 0 นอกจากการหาค่าผลลัพธ์โดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีวิธีการหาผลลัพธ์อีกวิธีหนึ่งคือการหาค่าเฉลี่ยจากจุด k จุดที่มีค่าความเข้มใกล้กับค่าความเข้มแสงของจุดกึ่งกลางของหน้าต่าง วิธีนี้เรียกว่า k-closest averaging การคำนวณหาผลลัพธ์เริ่มจากการนำค่าความเข้มแสงของทุกจุดในหน้าต่างมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จากนั้นค่าที่อยู่รอบๆ ค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดกึ่งกลางหน้าต่างจำนวน k ค่าจะถูกเลือกมาเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยนี้คือความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ ในการหาค่าเฉลี่ย อาจนำค่าของความเข้มสีที่จุดกึ่งกลางมาคิดด้วยก็ได้ จากตัวอย่างในรูปที่ 2.25 เมื่อเรียงลำดับความเข้มแสงจะได้ลำดับดังนี้ (0 0 0 0 0 *1* 2 2 3) หากกำหนดให้ $k=4$ และไม่นำค่าที่จุดกึ่งกลาง (1) มาคิด ค่าความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ (0+0+2+2)/4 = 1 หากนำค่าที่จุดกึ่งกลางมาคิด ค่าความเข้มแสงที่จุด A จะมีค่าเท่ากับ (0+0+1+2+2)/5 =1

1 2 2 1	0 1 1 0	0 0 0 0	1 2 1 3
1 2 2 2	1 2 2 1	0 2 2 1	2 2 3 1
1 2 2 1	0 2 1 0	0 0 0 0	1 4 2 1
(ก)	(ข)	(ค)	(ง)

รูปที่ 2.26 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้หน้าต่าง (ก) ใช้การเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (แสดงผลลัพธ์หลังการปัดเศษ) (ข) ใช้มัธยฐาน (ค) ใช้ฐานนิยม (ใช้มัธยฐานแทนสำหรับจุดที่มีปัญหา) (ง) ใช้ k-closest averaging (แสดงผลลัพธ์หลังการปัดเศษ)

การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน

วิธีการกรองข้อมูลภาพที่กล่าวมาส่วนใหญ่อาศัยหลักของการหาค่าเฉลี่ย โดยอาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยของจุดเดียวกันจากภาพหลายๆ ภาพ หรืออาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยจากจุดต่างๆ ที่อยู่รอบๆ จุดที่เราสนใจ เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล วิธีการที่ผ่านมาจึงใช้ได้ดีกับการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณความถี่สูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การกรองสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อเน้นคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องการในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในขณะที่ลดทอนคุณสมบัติที่ไม่ต้องการลง หากเราต้องการเน้นการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของจุดต่างๆ ภายในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในที่นี้จะเสมือนกับการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน เราจะไม่สามารถใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ วิธีที่สามารถนำมาใช้ได้คือการคอนโวลูชัน (convolution)

การคอนโวลูชัน

ในการประมวลผลภาพ การคอนโวลูชันคือการกระทำกันระหว่างเทมเพลต (template) กับภาพ (image)

เทมเพลตคือเมตริกซ์ขนาด n x m ของชุดตัวเลขที่จะนำไปซ้อนทับภาพที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน ถ้ากำหนดให้เทมเพลต T(x,y) เป็นเทมเพลตขนาด n x m และภาพ I(X,Y) มีขนาด N x M การคอนโวลูชันระหว่างเทมเพลตกับภาพสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I'(X,Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{m-1} T(i,j)\cdot I(X-i,Y-j)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.1)

โดย $I'(X,Y)$ คือภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน

จากสมการที่ 2.1 จะเห็นว่าระดับความเข้มแสง ณ จุด (X,Y) ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณของระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่ จากสมการ ตัวชี้ตำแหน่งจุดในภาพ (X-i,Y-j) แสดงให้เห็นว่ามีการพลิกเทมเพลตทางแกนนอน และแกนตั้ง สมการที่ 5.2 แสดงการคอนโวลูชันที่ไม่ต้องมีการพลิกเทมเพลต ซึ่งวิธีการนี้มีชื่อที่แท้จริงว่า cross-correlation และเป็นที่นิยมใช้ในด้านการประมวลผลภาพ

$$I'(X,Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{m-1} T(i,j)\cdot I(X+i,Y+j) \qquad (2.2)$$

ขั้นตอนของการคอนโวลูชันประกอบด้วยการเลื่อน บวก และคูณ เราสามารถใช้การคอนโวลูชันในการประมวลผลภาพได้ในหลายลักษณะ เช่นกรองสัญญาณภาพ การหาขอบภาพ (edge detection) หรือการหารูปทรงของวัตถุในภาพ เป็นต้น

โดยทั่วไป ในการคอนโวลูชัน เราจะ ไม่ยอมให้มีการเลื่อนเทมเพลตออกนอกของเขตของภาพ ดังนั้นถ้าเทมเพลตมีขนาดใหญ่กว่า 1x1 ภาพผลลัพธ์จะมีขนาดเล็กกว่าภาพเริ่มต้นเสมอ ตัวอย่างเช่น การคอนโวลูชันระหว่างภาพขนาด 4 x 5 กับ เทมเพลตขนาด 2 x 2 ต่อไปนี้

เทมเพลต		ภาพเริ่มต้น		ภาพผลลัพธ์
		1 1 3 3 4		2 5 7 6 *
1 0		1 1 4 4 3		2 4 7 7 *
0 1	*	**2 1** 3 3 3	=	3 2 7 7 *
		1 1 1 4 4		* * * * *

จะให้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาด 3 x 4 จากตัวอย่างข้างต้น ค่าความเข้มสี 3 ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณระหว่างเทมเพลตกับภาพในบริเวณที่แรเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ (1x2) + (0x1) + (0x1) + (1x1) = 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่สามารถประมวลผลภาพเคลื่อนไหวในเวลาจริง (real-time)ได้ เว้นแต่จะมีฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบมาเฉพาะ สำหรับภาพและเทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ (M >= 512 และ N >= 32) การแปลงภาพและเทมเพลตให้อยู่ในรูปของข้อมูลในโดเมนความถี่ (frequency domain) จะช่วยลดการคำนวณลงได้อย่างมาก จากตัวอย่างข้างต้น การคอนโวลูชันในโดเมนความถี่จะลดจำนวนครั้งของการคูณลงเหลือเพียง 256,000 ครั้งเท่านั้น การคอนโวลูชันในโดเมนความถี่จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

เทมเพลตสำหรับกรองความถี่ต่ำผ่าน

เทมเพลตขนาด 3 x 3 ต่อไปนี้สามารถใช้เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของค่าความเข้มแสงในภาพ

1 1 1

1 1 1

1 1 1

ผลของการคอนโวลูชันกับเทมเพลตนี้จะเหมือนกับการหาผลรวมของจุดภาพทั้ง 9 จุดที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่ การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในบริเวณดังกล่าวจะถูกเฉลี่ยให้มีความราบเรียบ ผลที่ได้คือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลง (เช่นสัญญาณรบกวนความถี่สูง) จะถูกลดทอน ภาพที่ได้จะมีความคมลดลง คุณสมบัติเช่นนี้เปรียบได้กับการกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

เทมเพลตการกรองความถี่ต่ำผ่านที่นิยมใช้อีกแบบหนึ่งคือ

1 3 1

3 16 3

1 3 1

เทมเพลตนี้จะเน้นความสำคัญของจุดที่อยู่ตรงกลางเทมเพลตเป็นพิเศษ โดยจะให้จุดกลางมีน้ำหนัก 50% ของทั้งหมด และให้น้ำหนักรวมของจุดทั้ง 4 ที่อยู่ด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้าย และด้านขวาของจุดกลางมีค่าเท่ากับ 40% ส่วนจุดมุมทั้ง 4 มีน้ำหนักเพียง 10% โดยจุดที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางจะมีน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ห่างออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างพบว่าจุดมุมบนซ้ายของเทมเพลตคือจุดอ้างอิงในการกำหนดจุดในภาพผลลัพธ์ ในความเป็นจริงแล้ว เราสามารถเลือกจุดใดๆ ในเทมเพลตให้เป็นจุดอ้างอิงก็ได้ การเลือกเอาจุดกึ่งกลางของเทมเพลตที่มีความกว้างและสูงเป็นจำนวนคี่ (เช่นเทมเพลตขนาด 3x3 3x5 5x5 และ 7x7 เป็นต้น) เป็นจุดอ้างอิงนับว่ามีความเหมาะสมยิ่ง อย่างไรก็ตาม ในแง่ของการเขียนโปรแกรมแล้ว การใช้จุดมุมเป็นจุดอ้างอิงจะลดความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมลง เนื่องจากไม่มีปัญหาสำหรับการคอนโวลูชันโดยใช้เทมเพลตที่มีขนาดไม่คงที่ ดั้งนั้นในหนังสือนี้จะใช้จุดมุมบ้นซ้ายเป็นจุดอ้างอิงในการทำคอนโวลูชันทุกครั้ง เว้นแต่มีการกำหนดให้เป็นอย่างอื่น

การคอนโวลูชันที่ไม่ยอมให้เทมเพลตเลื่อนออกนอกบริเวณขอบภาพเรียกว่าการคอนโวลูชันแบบไม่เป็นรายคาบ (aperiodic convolution) วิธีการนี้จะได้ภาพที่มีขนาดเล็กลง หากต้องการคงขนาดภาพไว้ จะต้องใช้การคอนโวลูชันแบบเป็นรายคาบ (periodic convolution) การคอนโวลูชันแบบนี้เปรียบเสมือนการม้วนภาพให้ขอบซ้ายมาชนกับขอบขวา และม้วนให้ขอบบนมาชนกับขอบล่าง เมื่อเทมเพลตเลื่อนตกขอบข้างใดข้างหนึ่งๆ ส่วนของเทมเพลตที่เลยขอบก็จะไปทาบกับขอบภาพอีกด้านหนึ่ง

วิธีการอย่างง่ายที่ทำให้ภาพผลลัพธ์มีขนาดเท่ากับภาพเริ่มต้นคือการเติมค่าศูนย์บริเวณรอบๆ ภาพเริ่มต้น เพื่อทำให้ภาพเริ่มต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากการคอนโวลูชันจะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาดเท่ากับภาพเริ่มต้นก่อนมีการชดเชย รูปที่ 5.7 แสดงการคอนโวลูชันที่มีการเติมค่าศูนย์ให้กับภาพเริ่มต้น

ภาพเริ่มต้น		ภาพเริ่มต้นหลังจากเติมศูนย์		เทมเพลต		ภาพผลลัพธ์
		0 0 0 0 0				
1 2 3		0 1 2 3 0		1 0 0		6 8 3
4 5 6		0 4 5 6 0	*	0 1 0	=	12 15 8
7 8 9		0 7 8 9 0		0 0 1		7 12 14
		0 0 0 0 0				

รูปที่ 2.27 ผลของการเติมค่าศูนย์รอบภาพเริ่มต้นก่อนทำการคอนโวลูชัน

แม้เป็นกระบวนการประมวลผลภาพที่ง่าย แต่การคอนโวลูชันต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการคอนโวลูชันระหว่างภาพและเทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ หากภาพมีขนาด M x M และเทมเพลตมีขนาด n x n จะต้องมีการคูณถึง M^2n^2 ครั้ง ถ้า M=512 และ n=16 จะต้องมีการคูณประมาณ 32 ล้านครั้ง การคำนวณที่มากขนาดนี้ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทมเพลตสำหรับกรองความถี่สูงผ่าน

สัญญาณความถี่สูงคือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าไปมาอย่างรวดเร็ว ต่างกับสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนค่าอย่างช้าๆ หรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย การกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) ก็คือการกรองสัญญาณที่เพิ่มความแรงของสัญญาณที่มีความถี่สูงและลดความแรงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ เทมเพลตต่อไปนี้ใช้สำหรับการกรองความถี่สูงผ่าน

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

จะเห็นว่าผลรวมของทุกค่าในเทมเพลตมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายความว่า ถ้าวางเทมเพลตนี้ลงบนบริเวณของภาพที่มีค่าความเข้มแสงคงที่ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าที่บริเวณตรงกลางแตกต่างกับค่ารอบๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าความแตกต่างยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการกรองภาพด้วยเทมเพตกรองความถี่สูง และความถี่ต่ำ ภาพหลังจากการกรองความถี่สูงผ่าน หลังจากการกรองความถี่ต่ำผ่าน

0 0 0 0 0		
0 1 1 1 0	2 1 2	4 6 4
0 1 1 1 0	1 0 1	6 9 6
0 1 1 1 0	1 0 1	6 9 6
0 1 1 1 0	1 –5 1	11 14 11
0 1 6 1 0	-4 20 -4	11 14 11
0 1 1 1 0	2 –4 2	9 11 9
0 0 0 0 0		

รูปที่ 2.28 การกรองภาพด้วยเทมเพลต

จากรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าหลังการกรองความถี่สูงผ่านขอบภาพจะเด่นชัด ส่วนที่เป็นค่าคงที่จะกลายเป็นศูนย์ และส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 เป็น 6 ถูกขยายเป็นจาก –4 ไป 20 สำหรับการกรองความถี่ต่ำผ่าน การเปลี่ยนถูกลดทอนลง ภาพผลลัพธ์มีความราบเรียบขึ้น

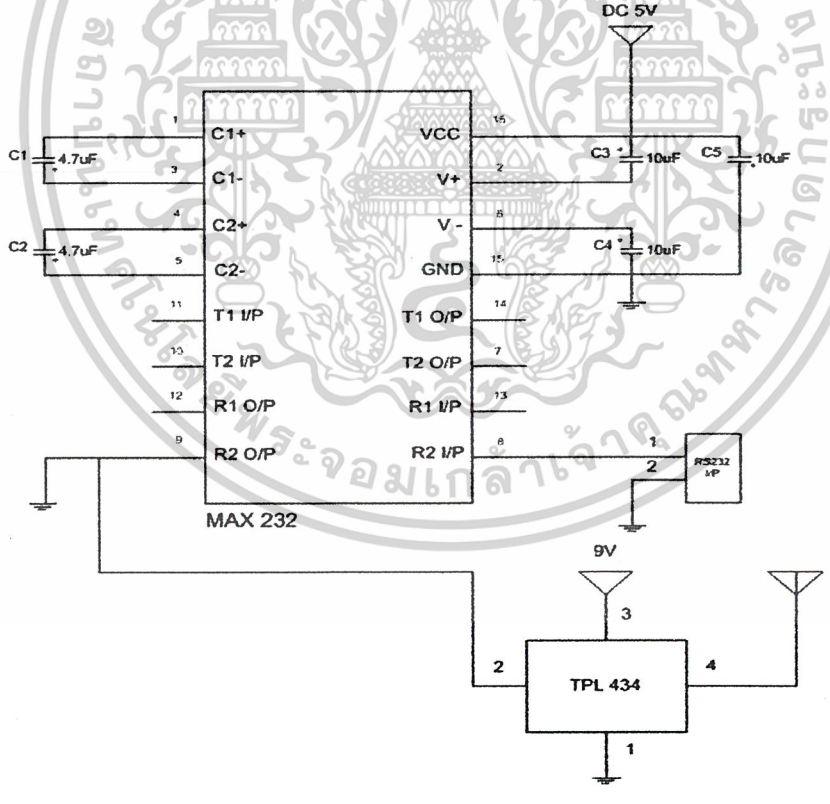
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบวงจร

3.1 การต่อวงจรส่วนส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์

IC MAX-232 มีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันที่ออกจากพอร์ตอนุกรม RS-232 ให้เป็นสัญญาณ TTL โดยเมื่อแรงดันที่ออกจาก RS-232 มีขนาดแรงดันเท่ากับ 12 โวลท์ หรือลอจิก "0" จะทำการเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ TTL ขนาด 0 โวลท์ และเมื่อมีแรงดันที่ออกจาก RS-232 มีขนาดแรงดันเท่ากับ –12 โวลท์หรือลอจิก "1" จะทำการเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ TTL ขนาด 5 โวลท์ ซึ่งค่าต่าง ๆ ในวงจรและรูปวงจรการต่อได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1

การที่เราต้องใช้ MAX-232 นั้นเนื่องจากmcs-51จะทำงานที่แรงดันไฟ 0-5 V ถ้าเราต่อขาส่งข้อมูลของ SERIAL PORT โดยไม่ผ่าน MAX-232 แรงดันของสัญญาณที่ได้จะไม่สามารถสั่งงาน mcs-51ได้ และได้แสดงกราฟของสัญญาณที่เข้าและออกจาก MAX-232เปรียบเทียบกันในส่วนผลการทดลองที่1

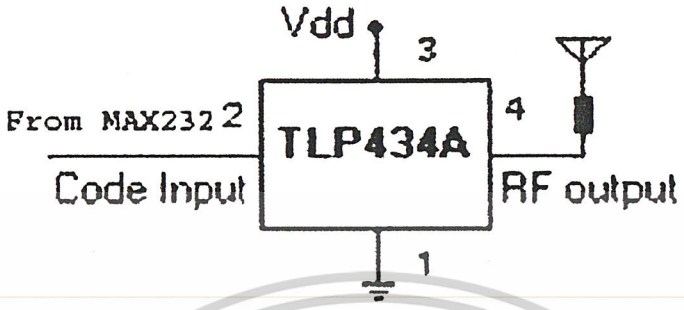


รูป 3.1 วงจรส่วนส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์โดยผ่านสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

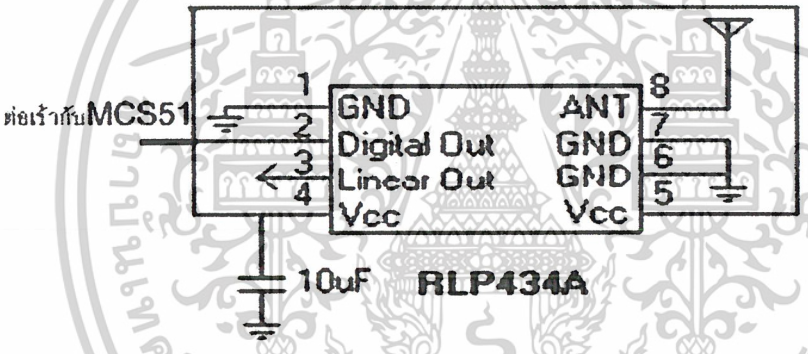
3.2 การต่อ MAX 232C เข้ากับส่วนส่งวิทยุ

โมดุลtlp434นี้มีการmodulationแบบ ASK และจะส่งสัญญาณวิทยุที่ 434 MHz สามารถนำสัญญาณdigitalที่ต้องการจะส่งป้อนให้กับขา Code Input ของโมดุลตัวนี้ได้เลย



รูปที่ 3.2 วงจรส่งวิทยุ

3.3 การต่อส่วนรับวิทยุ เข้ากับ MCS 51



รูปที่ 3.3 ส่วนรับวิทยุ เข้ากับ MCS 51

เราต้องการสัญญาณdigitalไปใช้งานกับmcs51ดังนั้นนำสัญญาณที่ได้จากdigital outป้อนให้กับขา serial port ของ mcs51 ได้เลย

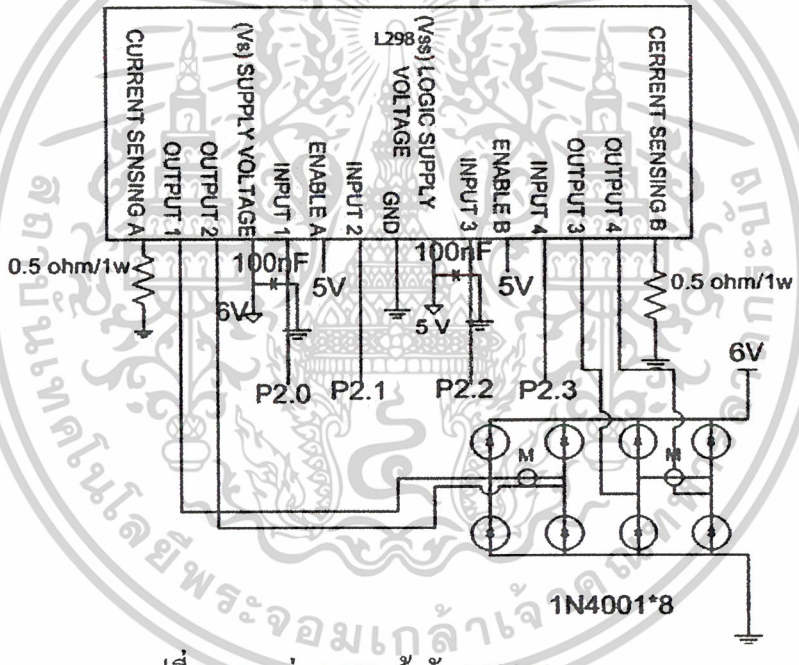
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การต่อ MCS 51 เข้ากับ L 298

การควบคุมการทำงานของ L298 จะใช้ mcs-51 เป็นตัวควบคุม โดยสัญญาณที่เข้าขา SERAIL PORT ของ mcs-51 จะเป็นสัญญาณเดียวกับที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ สามารถดูกราฟได้จากการทดลองที่ 2 ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกกำหนดไว้แล้ว และจะถูกใช้ควบคุมการทำงานของ mcs-51 ตามที่เราได้โปรแกรมไว้ mcs-51 จะแสดง output ที่ p2.0-p2.4

Output ของmcs-51 จะต่อกับinput 1-4 ของ l298 เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของ motor โดยผ่าน output 1-4 แหล่งจ่ายไฟจะใช้ 2 แหล่งจ่าย สำหรับmotor และ ic แยกกัน

การทำงานของ motor จะใช้ o/p1-2 ควบคุม motor ตัวที่ 1 o/p 3-4 ควบคุม motor ตัวที่ 2

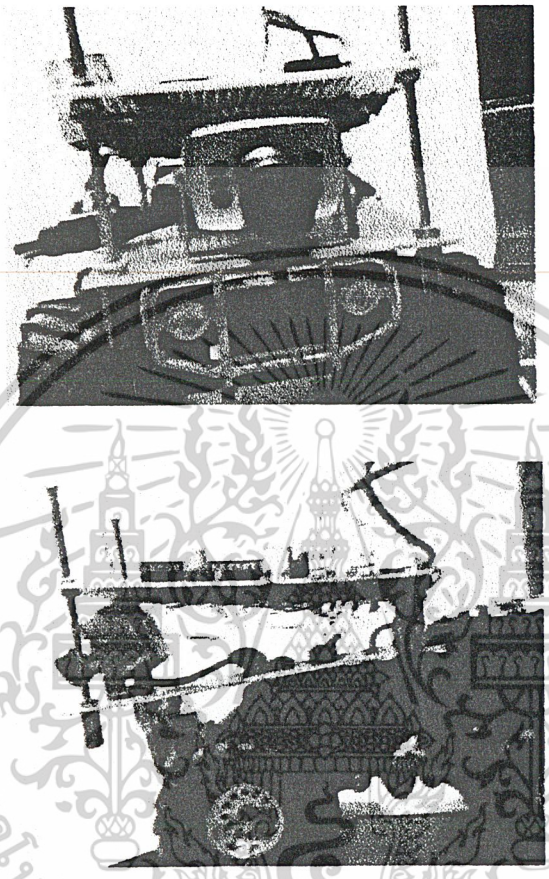


รูปที่ 3.4 การต่อ L298 เข้ากับ MCS51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

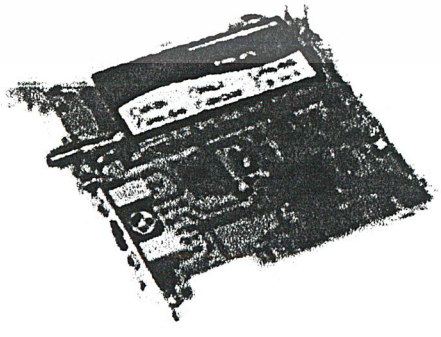
บทที่ 4
การติดกล้องวิดีโอ และ Capture Card

ในโครงงานนี้ได้ใช้กล้องวิดีโอ CCD ในการจับภาพ การติดตั้งกล้องบนรถ จะติดตั้งดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งกล้องวิดีโอ

การที่กล้องจะสามารถรับสัญญาณภาพแล้วส่งเข้าคอมพิวเตอร์ได้ ต้องมี Capture Card เพื่อใช้ในการจับสัญญาณภาพที่ถ่ายได้และนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 Capture Card

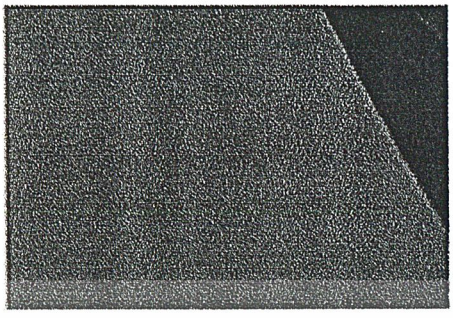
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้อง CCD (Charge-Coupled Drive)

อุปกรณ์ CCD ถือกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้วซึ่งขณะนั้นยังอยู่ในรูปแบบอุปกรณ์หน่วยความจำยอม (random access memory) แต่ CCD มีประโยชน์นำไปใช้งานมากกว่านั้น ซึ่งเป็นได้ทั้งดีเลย์ไลน์ ส่วนประมวลผลของสัญญาณ และ ที่สำคัญที่สุดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงคุณภาพสูง CCD การนำภาพ CCD ไปใช้ในงานถ่ายภาพ โดยปกติอุปกรณ์ CCD สามารถทำงานได้ด้วยอุณหภูมิห้องปกติ สำหรับใช้งานถ่ายภาพที่มีแสงพอประมาณ เช่น การถ่ายภาพด้วยกล้องโทรทัศน์ กล้องถ่ายรูป และกล้องถ่ายวิดีโอ ซึ่งทำงานได้เป็นอย่างดี แต่โดยทั่วไปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกชนิดโดยเฉพาะจำพวกสารกึ่งตัวนำ มักมีการรั่วไหลของกระแสส่วนน้อยๆ เกิดขึ้น CCD ก็มีเช่นเดียวกัน การถ่ายภาพที่มีแสงสว่างน้อยๆนั้น จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงกระแสรั่วไหลส่วนนี้ เพื่อให้ CCD สามารถเก็บแสงได้ดีที่สุด วิธีแก้ไขคือ พยายามลดอุณหภูมิให้ต่ำมากๆ ประมาณ -120 องศาเซลเซียส โดยใช้ในโตรเจนเหลวให้ความเย็นกับ CCD กระแสรั่วไหลจะลดการสูญเสียเหลือเพียง 1 อิเล็กตรอน/ชั่วโมง/พิกเซล ในขณะที่มีความจุอิเล็กตรอนสูงถึง 100,000 อิเล็กตรอน/ชั่วโมง นอกจากการแก้ไขปัญหาเนื่องจากกระแสรั่วไหลแล้วยังต้องมีส่วนอื่นอีกมากมายประกอบอยู่ด้วย ระบบชัตเตอร์ที่ใช้ทำงานด้วยเครื่องกลไฟฟ้าควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งควบคุมการตั้งเวลาเปิดหน้ากล้อง ความไวในการถ่ายภาพเป็นอีกสิ่งที่สำคัญ ดังนั้นการตรวจสอบการวัดแสงจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ และมีระบบป้องกันที่ดีโดยเฉพาะในส่วนของวงจรภายนอก ซึ่งต้องมีการออกแบบวงจรให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและที่สำคัญต้องทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
โปรแกรมประมวลผลภาพ



รูปที่ 5.1 ภาพตัวอย่างก่อนเข้ากระบวนการทำ adge detection

รูปที่ 5.2 ภาพจากการทำ adge detection

รูปที่ 5.3 ภาพจากการลดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

1. การทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS 232C เป็นสัญญาณ TTL

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ทราบลักษณะของสัญญาณที่ออกจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
2. เพื่อให้ทราบลักษณะของสัญญาณที่ออกจากพอร์ตเอาท์พุตของ IC MAX 232

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. DC Power Supply 1 เครื่อง
4. วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 1 เครื่อง

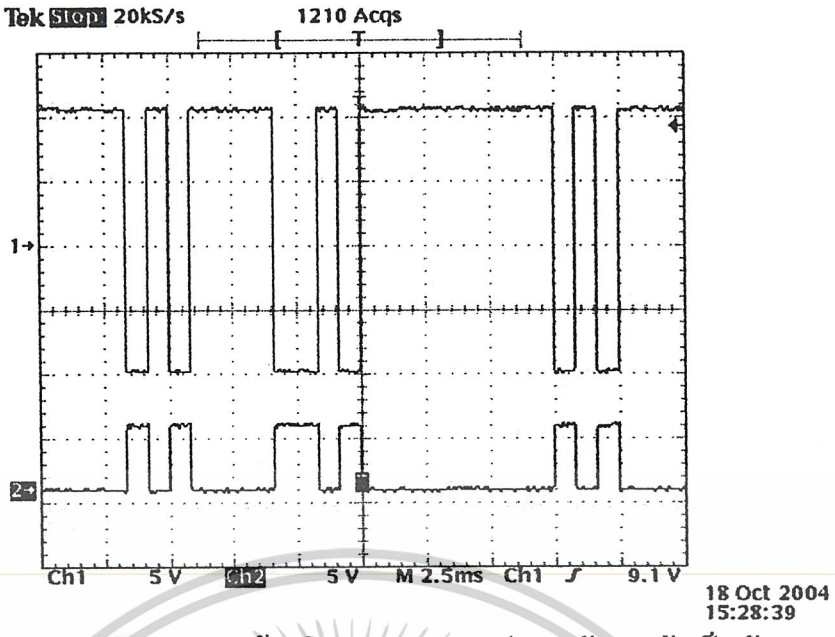
ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆตามรูปที่ 6.1

รูปที่ 6.1 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

2. ป้อนสัญญาณ DC Power Supply +5 V ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL
3. ป้อนข้อมูล 61H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL
4. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTLเทียบกับ สัญญาณทางด้านเอาท์พุตวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL(ch2)เทียบกับ สัญญาณทางด้านเอาท์พุตวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL (ch1)ซึ่งเป็นสัญญาณ 61H

จากการทดลอง วัดความกว้างของของพัลซ์ได้เท่ากับ 820μsec/bit

ดังนั้น อัตราการส่งขอมูลจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 1 bit / 820μsec = 1219.51 บิตต่อวินาที

นำสัญญาณที่ได้จากการทดลองนี้ ไปเข้าโมดุลส่งวิทยุ (TLP434)

<u>สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS232 มีระดับตั้งแต่ -12V - +12V ในขณะที่ระดับแรงดันที่ MCS51 รับได้ อยู่ที่ระดับ TTL จึงไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีที่ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณของ RS232 ไปเป็นระดับสัญญาณ TTL เพื่อให้สามารถส่งผ่านข้อมูลไปยัง MCS51 ได้ ซึ่งจากการทดลองไอซี MAX232 จะเปลี่ยนแรงดัน +12V ที่ออกจาก RS232 ไปเป็นสัญญาณ TTL มีค่า 0 V หรือ Logic “0” และจะเปลี่ยนแรงดัน -12V ที่ออกจาก RS232 ไปเป็นสัญญาณ TTL มีค่า 5 V หรือ Logic “1”

2. การทดลองวัดสัญญาณที่ได้ทางโมดุลรับวิทยุ (RLP434)

<u>จุดประสงค์</u>

1. เพื่อให้ทราบลักษณะของสัญญาณที่ออกจากโมดุลรับวิทยุ (RPL434)
2. เพื่อให้ทราบลักษณะของสัญญาณที่เข้าสู่ MCS51

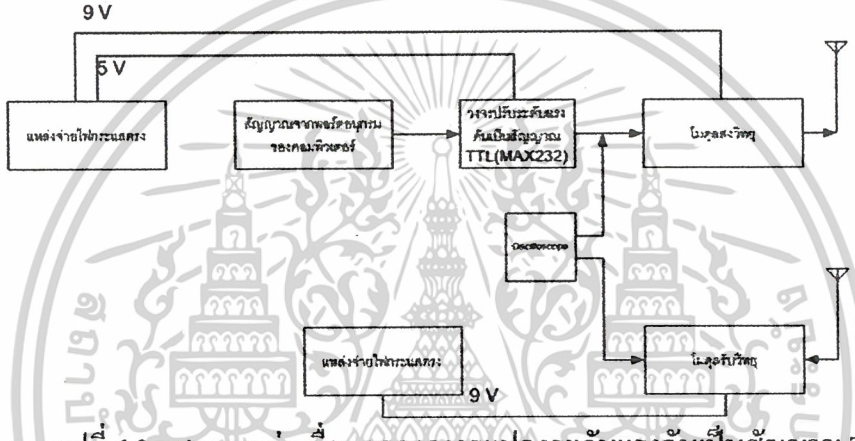
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. DC Power Supply 1 เครื่อง
4. วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 1 เครื่อง
5. โมดุลส่งวิทยุ (TLP434) 1เครื่อง
6. โมดุลรับวิทยุ(RLP434) 1เครื่อง

การทดลอง

1. ประกอบส่วนต่างๆตามรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

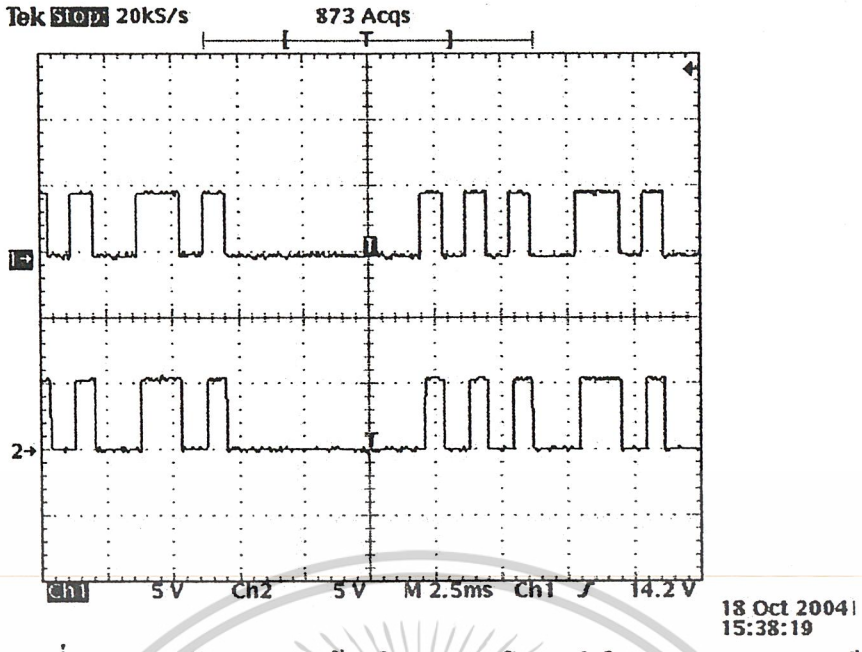
2. ป้อนสัญญาณ DC Power Supply +5 V ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

3. ป้อนข้อมูล 61H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

4. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของโมดุลส่งวิทยุ (TLP434)เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาท์พุตของโมดุลรับวิทยุ (TLP434)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของ โมดูลส่งวิทยุ (TLP434) (ch2)เทียบกับ สัญญาณทางด้านเอาท์พุตของโมดูลรับวิทยุ (TLP434) (ch1)ซึ่งเป็นสัญญาณ 61H

<u>สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

เมื่อวัดสัญญาณที่เข้า TLP 434 (CH1) เทียบกับสัญญาณที่ออกจาก RLP434 (CH2) จะพบว่าสัญญาณที่ได้มีลักษณะตรงกัน ดังนั้นจึงสามารถนำสัญญาณที่ได้นี้ ส่งเข้า MCS51 ได้เลย

3. การทดลองควบคุมการทำงานของรถโดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์

ทดลองส่งคำสั่ง 61h -64h จากคอมพิวเตอร์โดยกำหนดให้

61h ได้ P2.0-P2.7 ที่mcs-51 =00001010 รถเดินหน้า

62h ได้ P2.0-P2.7 ที่mcs-51 =00000010 รถเลี้ยวขวา

63h ได้ P2.0-P2.7 ที่mcs-51 =00001000 รถเลี้ยวซ้าย

64h ได้ P2.0-P2.7 ที่mcs-51 =00000101 รถถอยหลัง

65h ได้ P2.0-P2.7 ที่mcs-51 =00000000 รถหยุด

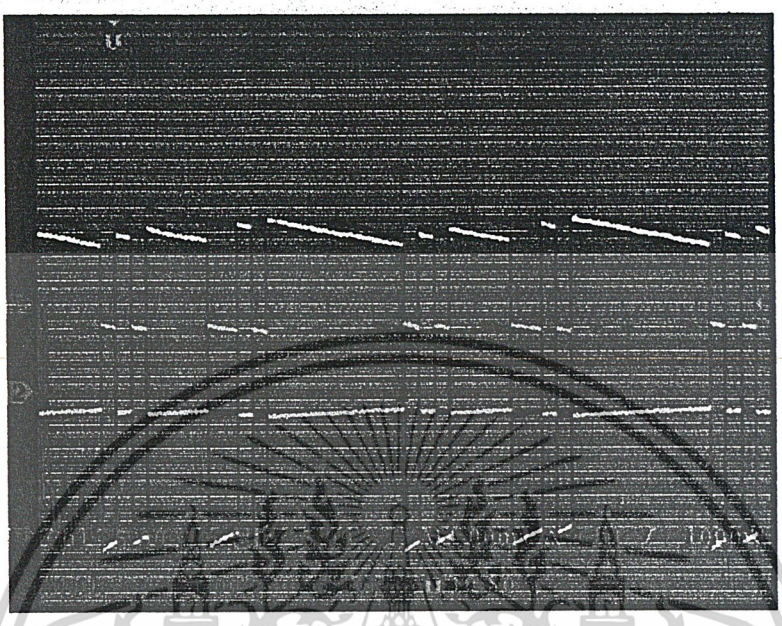
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่1 ส่งคำสั่ง 61h

แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับกราฟที่เข้าmcs-51

กราฟหมายเลข1 แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์

กราฟหมายเลข2 แสดงกราฟคำสั่งที่เข้าmcs-51

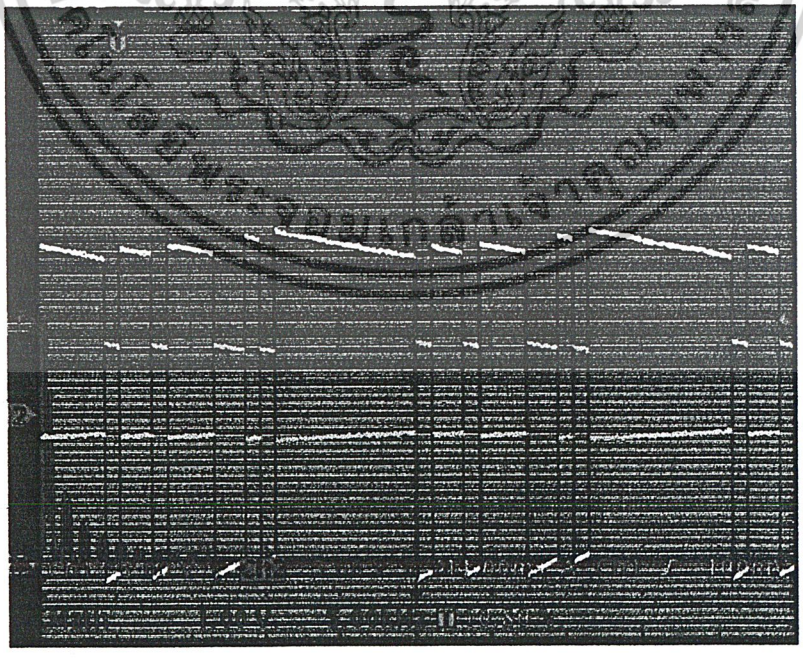


ขั้นตอนที่2 ส่งคำสั่ง 62h

แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับกราฟที่เข้าmcs-51

กราฟหมายเลข1 แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์

กราฟหมายเลข2 แสดงกราฟคำสั่งที่เข้าmcs-51



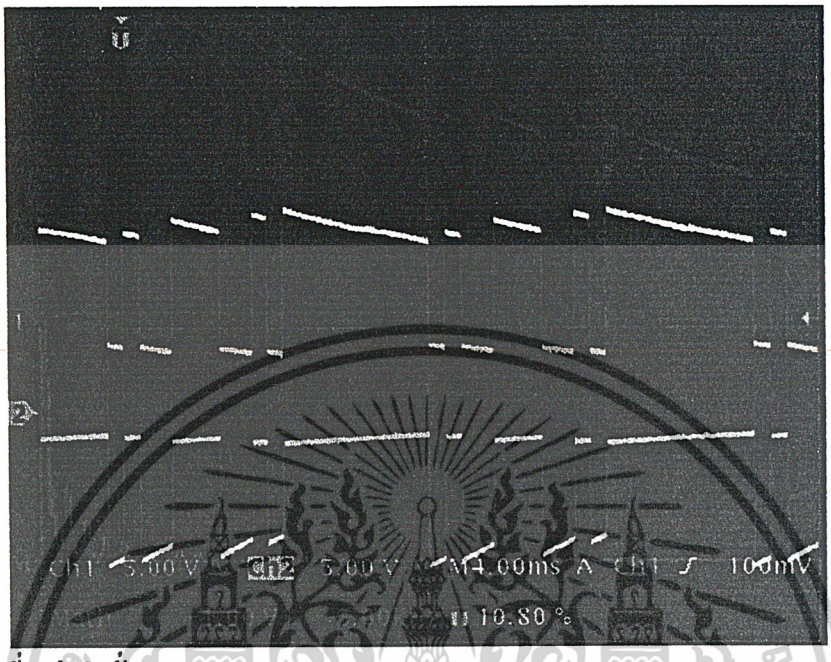
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่3 ส่งคำสั่ง 63h

แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับกราฟที่เข้าmcs-51

กราฟหมายเลข1 แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์

กราฟหมายเลข2 แสดงกราฟคำสั่งที่เข้าmcs-51

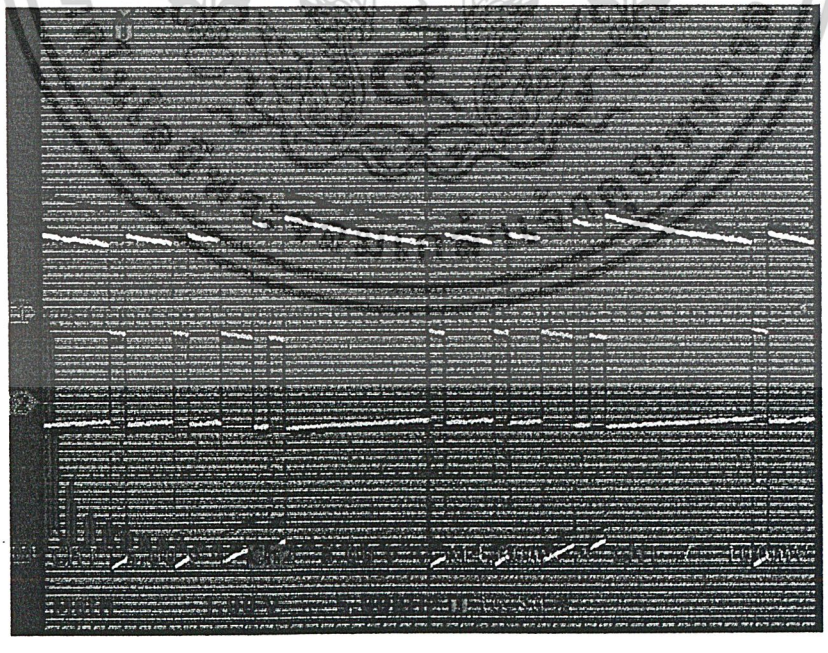


ขั้นตอนที่4 ส่งคำสั่ง 64h

แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับกราฟที่เข้าmcs-51

กราฟหมายเลข1 แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์

กราฟหมายเลข2 แสดงกราฟคำสั่งที่เข้าmcs-51



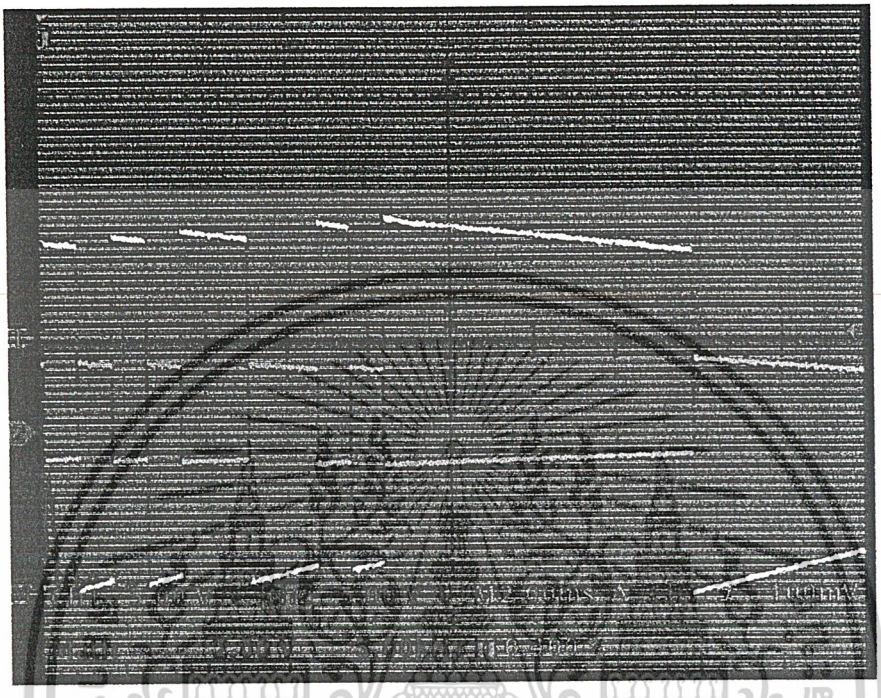
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่5 ส่งคำสั่ง 65h

แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับกราฟที่เข้าmcs-51

กราฟหมายเลข1 แสดงกราฟคำสั่งที่ออกจากคอมพิวเตอร์

กราฟหมายเลข2 แสดงกราฟคำสั่งที่เข้าmcs-51



<u>สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

รถสามารถเคลื่อนที่ได้ตามคำสั่งที่กำหนดไว้ แต่ลักษณะการส่งคำสั่งจะต้องมีการส่งคำสั่งแบบต่อเนื่องคือต้องส่งคำสั่งเดียวกันหลายๆรอบ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของโมดูลรับ-ส่งสัญญาณวิทยุที่ใช้ เช่นต้องการส่งคำสั่ง62h จะต้องเขียนโปรแกรมให้ส่งคำสั่ง 62h สลับกับ 0h จำนวน15 รอบ จะสังเกตได้จากลักษณะของกราฟ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุป

ในการทำสำรวจ ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์จะต้องใช้ความรู้ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทลเลอร์ การรับ-ส่งคลื่นวิทยุ การควบคุมมอเตอร์

รถสามารถวิ่งได้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ เช่น

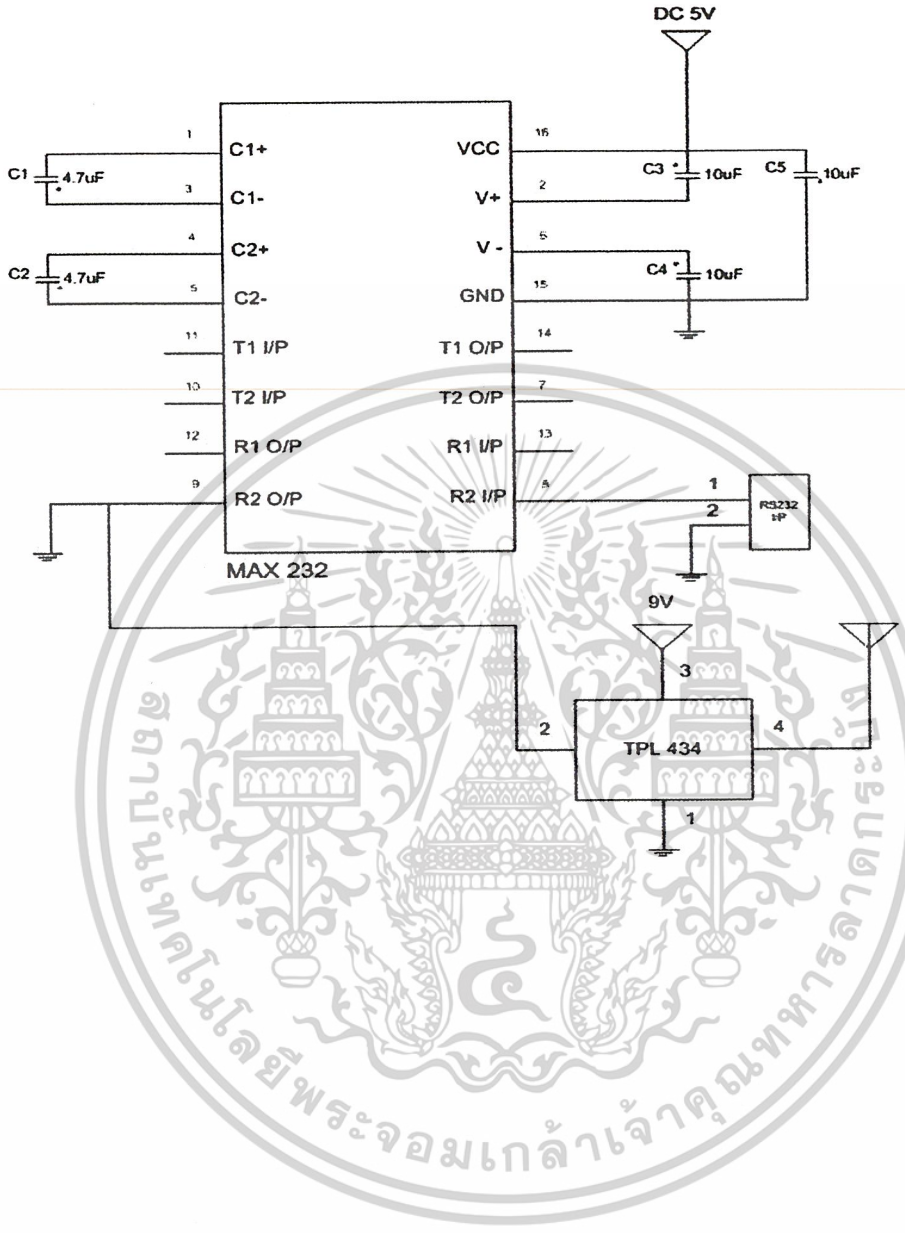
- รถพบเส้นทางเลี้ยวขวา รถจะวิ่งไปตามเส้นทาง
- รถพบเส้นทางเลี้ยวซ้าย รถจะวิ่งไปตามเส้นทาง
- รถไม่พบเส้นทาง รถจะทำการวิ่งหาเส้นทาง

โดยที่รถจะต้องเคลื่อนที่ช้ามากๆ เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ ใช้เวลาในการประมวลผมที่นาน ทำให้โปรแกรมส่งคำสั่งมาควบคุมไม่ทัน ถ้ารถเร็วเกินไปรถจะวิ่งออกนอกเส้นทาง และความสว่างของแสงก็มีความจำเป็นต่อการทดลองมาก เพราะแสงจะทำให้เกิดความแตกต่างของพื้นกับเส้นทางอย่างชัดเจน ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

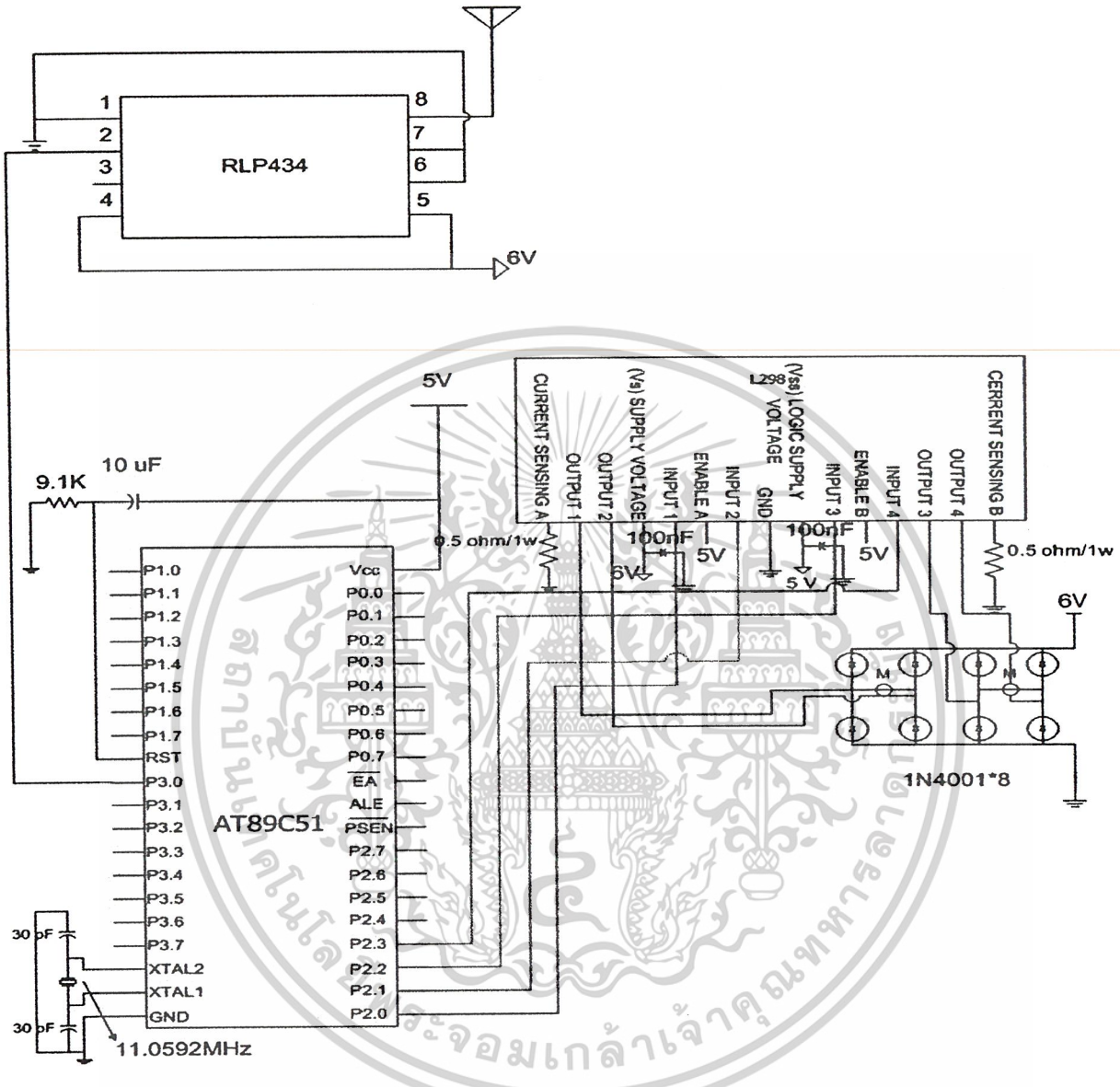
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรส่วนส่งข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรส่วนรับข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Option Explicit
Const MaxLineArray = 24
Dim AveCol As Long ' Holds The Grey Colour Of A Pixel
Private Declare Function GetPixel Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal X As Long, ByVal Y
As Long) As Long
Private Declare Function SetPixel Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal X As Long, ByVal Y
As Long, ByVal crColor As Long) As Long
Dim MaxOfX As Integer, MaxOfY As Integer, ScaleOfX As Double, ScaleOfY As Double,
MaxGrid As Integer
Dim A(1 To 100, 1 To 100) As Integer
Dim L(0 To 25, 0 To 25) As Integer
Dim I As Integer, J As Integer, K As Integer, PX As Integer, PY As Integer
Dim Col As Long, Col2 As Long, TotalTime As Long, StartX As Integer, StartY As Integer,
EndX As Integer, EndY As Integer
Dim RefRX1 As Integer, RefRY1 As Integer, RefRX2 As Integer, RefRY2 As Integer
Dim RefLX1 As Integer, RefLY1 As Integer, RefLX2 As Integer, RefLY2 As Integer
Dim SlopeL As Single, SlopeR As Single, SlopeFound As Single, SlopeChange As Single
Dim SideOfLine As String
Dim FSO As New FileSystemObject
Dim TSO As TextStream
Dim ReceiveNewImage As Boolean, StopCar As Boolean, TurnToFind As Boolean,
TurnDirection As Boolean

Sub SaveDefault()
   Set TSO = FSO.OpenTextFile(App.Path & "\Default.txt", ForWriting, True)
   TSO.WriteLine (Combo1)
   TSO.WriteLine (Text1)
   TSO.WriteLine (Text3)
   TSO.WriteLine (Text4)
   TSO.WriteLine (Text5)
   TSO.WriteLine (RefRX1):  TSO.WriteLine (RefRY1):  TSO.WriteLine (RefRX2):
TSO.WriteLine (RefRY2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  TSO.WriteLine (RefLX1):  TSO.WriteLine (RefLY1):  TSO.WriteLine (RefLX2):
TSO.WriteLine (RefLY2)
  TSO.Close
End Sub

Sub LoadDefault()
  Set TSO = FSO.OpenTextFile(App.Path & "\Default.txt", ForReading, True)
  Combo1 = TSO.ReadLine
  Text1 = TSO.ReadLine
  Text3 = TSO.ReadLine
  Text4 = TSO.ReadLine
  Text5 = TSO.ReadLine
  RefRX1 = TSO.ReadLine:  RefRY1 = TSO.ReadLine:  RefRX2 = TSO.ReadLine:
RefRY2 = TSO.ReadLine
  RefLX1 = TSO.ReadLine:  RefLY1 = TSO.ReadLine:  RefLX2 = TSO.ReadLine:  RefLY2
= TSO.ReadLine
  TSO.Close
  Set FSO = Nothing
End Sub

Sub ClearPicture3()
  SlopeChange = Val(Text5) / 100
  MaxOfX = Int(Picture1.Width / Screen.TwipsPerPixelX)
  MaxOfY = Int(Picture1.Height * (Val(Text3) / 100) / Screen.TwipsPerPixelY)
  MaxGrid = Val(Combo1)          ' maximum grid in line created process
  ScaleOfX = MaxOfX / MaxGrid
  ScaleOfY = MaxOfY / MaxGrid

  For I = 1 To MaxGrid      ' clear all for new number of white dot in picture2
    For J = 1 To MaxGrid
      A(I, J) = 0:
    Next J
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Next I
  For I = 0 To MaxLineArray + 1
    For J = 0 To MaxLineArray + 1
      L(I, J) = 0
    Next J
  Next I
End Sub

Private Sub cbDriver_Click()
  Dim oldDriver As Long
  oldDriver = ezVidCap1.DriverIndex
  On Error Resume Next
  ezVidCap1.DriverIndex = cbDriver.ListIndex
  If Err Then
    'restore old settings
    ezVidCap1.DriverIndex = oldDriver
    cbDriver.ListIndex = oldDriver
  End If
End Sub

Sub CountWhiteDotPicture2ToPicture3()
Dim SumPoint As Integer, X As Integer, Y As Integer
  For I = 1 To MaxGrid
    For J = 1 To MaxGrid
      SumPoint = 0
      For X = I * ScaleOfX To ((I + 1) * ScaleOfX) - 1
        For Y = J * ScaleOfY To ((J + 1) * ScaleOfY) - 1
          If GetPixel(Picture2.hdc, X, Y) = RGB(255, 255, 255) Then SumPoint = SumPoint +
1
        Next Y
      Next X
      If SumPoint > 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            A(I, J) = SumPoint
            If SumPoint >= Val(Text4) Then
              Picture3.Line ((I - 1) * ScaleOfX * Screen.TwipsPerPixelX, (J - 1) * ScaleOfY *
Screen.TwipsPerPixelY)- _
                            ((I) * ScaleOfX * Screen.TwipsPerPixelX - 1, (J) * ScaleOfY *
Screen.TwipsPerPixelY - 1), RGB(255, 255, 255), BF
            Else
              Picture3.Line ((I - 1) * ScaleOfX * Screen.TwipsPerPixelX, (J - 1) * ScaleOfY *
Screen.TwipsPerPixelY)- _
                            ((I) * ScaleOfX * Screen.TwipsPerPixelX - 1, (J) * ScaleOfY *
Screen.TwipsPerPixelY - 1), RGB(128, 128, 128), BF
            End If
          End If
        Next J
      Next I
End Sub

Sub SetWhiteDotInPicture2()
  For I = 1 To MaxOfX       'loop through the x-pixels
    For J = 2 To MaxOfY       'loop through the y-pixels
      Col = Abs(GetPixel(Picture1.hdc, I, J) - GetPixel(Picture1.hdc, I, J - 1))
      If Col > (numedge.Value) ^ 4 Then SetPixel Picture2.hdc, I, J, RGB(255, 255, 255)
    Next J 'loop through the y-pixels
  Next I 'loop through the x-pixels
End Sub

Sub GenReferentLinePicture5()
Dim Ratio As Integer, SumArea As Integer, WidthRatio As Single, HeightRatio As Integer, X As
Integer, Y As Integer
  Picture5.Visible = False:   Picture5.Cls
  Picture5.BackColor = RGB(0, 0, 0)
  Picture5.FillStyle = 0: Picture5.FillColor = RGB(255, 255, 255)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Ratio = MaxGrid / MaxLineArray
  WidthRatio = Picture5.Width / MaxLineArray
  HeightRatio = Picture5.Height * (Val(Text3) / 100) / MaxLineArray
'  HeightRatio = Picture5.Height / MaxLineArray
  For I = 1 To MaxLineArray
    Picture5.Line ((I - 1) * WidthRatio, 0)-((I - 1) * WidthRatio, Picture5.Height), (RGB(128,
128, 128))
    For J = 1 To MaxLineArray
      Picture5.Line (0, (J - 1) * HeightRatio)-(Picture5.Width, (J - 1) * HeightRatio),
(RGB(128, 128, 128))
    Next J
  Next I
  SlopeL = (RefLY2 - RefLY1) / (RefLX2 - RefLX1)
  SlopeR = (RefRY2 - RefRY1) / (RefRX2 - RefRX1)
  Picture5.Line ((RefRX1 - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (RefRY1 - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2))-((RefRX2 - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (RefRY2 - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2)), RGB(0, 255, 0)
  Picture5.Line ((RefLX1 - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (RefLY1 - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2))-((RefLX2 - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (RefLY2 - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2)), RGB(0, 255, 0)
  Picture5.Line (0, Picture5.Height * (Val(Text3) / 100))-(Picture5.Width, Picture5.Height),
RGB(0, 0, 255), BF
  Label1(2) = "Left (" & RefLX1 & "," & RefLY1 & ")-(" & RefLX2 & "," & RefLY2 & ")
Slope = " & Format(SlopeL, "0.00")
  Label1(2) = Label1(2) & " / Right (" & RefRX1 & "," & RefRY1 & ")-(" & RefRX2 & "," &
RefRY2 & ") Slope = " & Format(SlopeR, "0.00")
  Picture5.Visible = True
End Sub

Sub ShowResult()
  Text2(0) = SideOfLine
  If SlopeFound <> 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Text2(1) = Format(SlopeFound, "0.00")
  Else
    Text2(1) = "N/A"
    Text2(0) = "-"
    Text2(2) = "N/A"
  End If
End Sub

Sub CountMaxDensityAreaPicture3ToPicture4()
Dim Ratio As Integer, SumArea As Integer, WidthRatio As Single, HeightRatio As Integer, X As
Integer, Y As Integer
  Picture4.Cls
  Picture4.BackColor = RGB(0, 0, 0)
  Picture4.FillStyle = 0: Picture4.FillColor = RGB(255, 255, 255)
  Ratio = MaxGrid / MaxLineArray
  WidthRatio = Picture4.Width / MaxLineArray
  HeightRatio = Picture4.Height * (Val(Text3) / 100) / MaxLineArray
'  HeightRatio = Picture4.Height / MaxLineArray
  For I = 1 To MaxLineArray
    Picture4.Line ((I - 1) * WidthRatio, 0)-((I - 1) * WidthRatio, Picture4.Height), (RGB(128,
128, 128))
    For J = 1 To MaxLineArray
      Picture4.Line (0, (J - 1) * HeightRatio)-(Picture4.Width, (J - 1) * HeightRatio),
(RGB(128, 128, 128))
      SumArea = 0
      For X = (I - 1) * Ratio + 1 To I * Ratio
        For Y = (J - 1) * Ratio + 1 To J * Ratio
          If A(X, Y) >= Val(Text4) Then SumArea = SumArea + 1
        Next Y
      Next X
      If SumArea > 1 Then
        L(I, J) = SumArea
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Picture4.Circle ((I - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (J - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2)), 5, RGB(128, 128, 128)
          End If
        Next J
      Next I
      Picture4.Line (0, Picture4.Height * (Val(Text3) / 100))-(Picture4.Width, Picture4.Height),
RGB(0, 0, 255), BF
End Sub

Sub FindingStartPoint()
Dim X As Integer, Y As Integer
    X = 0: J = MaxLineArray
    While J > 0 And X = 0
      I = 1
      While I <= MaxLineArray / 2 And X = 0
        If L(I, J) <> 0 Then
          X = I: Y = J
        End If
        I = I + 1
      Wend
      I = MaxLineArray
      While I > MaxLineArray / 2 And X = 0
        If L(I, J) <> 0 Then
          X = I: Y = J
        End If
        I = I - 1
      Wend
      J = J - 1
    Wend
    StartX = X: StartY = Y
    EndX = X: EndY = Y
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Sub TravelAndDrawLine()
Dim Finished As Boolean, WidthRatio As Single, HeightRatio As Single, IsLeftSide As Boolean
  Finished = False
  WidthRatio = Picture4.Width / MaxLineArray
  HeightRatio = Picture4.Height * (Val(Text3) / 100) / MaxLineArray
  Picture4.Line ((StartX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (StartY - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2))- _
              ((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
  I = StartX: J = StartY
  IsLeftSide = I < MaxLineArray / 2
  If IsLeftSide Then
    SideOfLine = "Left side"
  Else
    SideOfLine = "Right side"
  End If
  While Not Finished
    If IsLeftSide Then
      If L(I + 1, J) > 0 Then
        EndX = I + 1: EndY = J
        Picture4.Line -((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) * HeightRatio
+ (HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
        I = EndX: J = EndY
      Else
        If L(I + 1, J - 1) > 0 Then
          EndX = I + 1: EndY = J - 1
          Picture4.Line -((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) *
HeightRatio + (HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
          I = EndX: J = EndY
        Else
          If L(I, J - 1) > 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            EndX = I: EndY = J - 1
            Picture4.Line -((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) *
HeightRatio + (HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
            I = EndX: J = EndY
          Else
            Finished = True
          End If
        End If
      End If
    Else
      If L(I - 1, J) > 0 Then
        EndX = I - 1: EndY = J
        Picture4.Line -((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) * HeightRatio
+ (HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
        I = EndX: J = EndY
      Else
        If L(I - 1, J - 1) > 0 Then
          EndX = I - 1: EndY = J - 1
          Picture4.Line -((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) *
HeightRatio + (HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
          I = EndX: J = EndY
        Else
          If L(I, J - 1) > 0 Then
            EndX = I: EndY = J - 1
            Picture4.Line -((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) *
HeightRatio + (HeightRatio / 2)), RGB(128, 128, 128)
            I = EndX: J = EndY
          Else
            Finished = True
          End If
        End If
      End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
  Wend
  I = StartX: J = StartY
  StartX = EndX: StartY = EndY
  EndX = I: EndY = J
  Picture4.Line ((StartX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (StartY - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2))- _
                ((EndX - 1) * WidthRatio + (WidthRatio / 2), (EndY - 1) * HeightRatio +
(HeightRatio / 2)), RGB(0, 255, 0)
  If EndX <> StartX Then
    SlopeFound = (EndY - StartY) / (EndX - StartX)
  Else
    SlopeFound = 0
  End If
End Sub

Sub DrawDirectionPicture6()
Dim SlopeRatio As Single
  Picture6.Cls: Picture6.BackColor = RGB(255, 255, 255)
  If SlopeFound = 0 Then Exit Sub
  If SlopeFound < 0 Then
    Picture6.Line (0, 0)-(100, Picture6.Height), RGB(0, 255, 255), BF
    SlopeRatio = Abs(Abs(SlopeFound) - Abs(SlopeL)) / Abs(SlopeL)
    If SlopeFound > SlopeR Then
      Picture6.Line (Picture6.Width / 2, Picture6.Height - 50)-(Picture6.Width / 2 + 400 *
SlopeRatio, 50), RGB(255, 0, 0)
    Else
      Picture6.Line (Picture6.Width / 2, Picture6.Height - 50)-(Picture6.Width / 2 - 400 *
SlopeRatio, 50), RGB(255, 0, 0)
    End If
  Else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Picture6.Line (Picture6.Width - 100, 0)-(Picture6.Width, Picture6.Height), RGB(0, 255,
255), BF
    SlopeRatio = Abs(Abs(SlopeFound) - Abs(SlopeR)) / Abs(SlopeR)
    If SlopeFound < SlopeR Then
      Picture6.Line (Picture6.Width / 2, Picture6.Height - 50)-(Picture6.Width / 2 + 400 *
SlopeRatio, 50), RGB(255, 0, 0)
    Else
      Picture6.Line (Picture6.Width / 2, Picture6.Height - 50)-(Picture6.Width / 2 - 400 *
SlopeRatio, 50), RGB(255, 0, 0)
    End If
  End If
  Text2(2) = Format(SlopeRatio * 100, "0")
End Sub

Sub SendingCommand()
  If Text2(0) = "-" Then
    If Not TurnToFind Then
      Command2_Click 0
    Else
      If TurnDirection Then
        Command2_Click 1
      Else
        Command2_Click 3
      End If
    End If
    Exit Sub
  End If
  If StopCar Then
    Command2_Click 4
    Exit Sub
  End If
  If SlopeFound < 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If StartX > RefLX1 Or EndX > RefLX2 Then
      Command2_Click 1
      TurnDirection = True
      TurnToFind = False
    Else
      If StartX < RefLX1 And EndX < RefLX2 Then
        Command2_Click 3
        TurnDirection = False
        TurnToFind = False
      Else
        Command2_Click 0
        TurnToFind = True
      End If
    End If
  Else
    If StartX < RefRX1 Or EndX < RefRX2 Then
      Command2_Click 3
      TurnDirection = False
      TurnToFind = False
    Else
      If StartX > RefRX1 And EndX > RefRX2 Then
        Command2_Click 1
        TurnDirection = True
        TurnToFind = False
      Else
        Command2_Click 0
        TurnToFind = True
      End If
    End If
  End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Combo1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
   KeyAscii = 0
End Sub

Private Sub Command1_Click()
   ReceiveNewImage = False
   ezVidCap1.SaveDIB "C:\Get1stPicture.dib"
   Picture1.Picture = LoadPicture("C:\Get1stPicture.dib")
   ezVidCap1.Visible = False: Picture4.Visible = False
   Picture2.Cls: Picture2.BackColor = RGB(0, 0, 0)
   Picture3.Cls: Picture3.BackColor = RGB(0, 0, 0)
   Picture2.Line (0, Picture2.Height * (Val(Text3) / 100))-(Picture2.Width, Picture2.Height),
RGB(0, 0, 255), BF
   Picture3.Line (0, Picture3.Height * (Val(Text3) / 100))-(Picture3.Width, Picture3.Height),
RGB(0, 0, 255), BF
   ClearPicture3
   SetWhiteDotInPicture2
   CountWhiteDotPicture2ToPicture3
   CountMaxDensityAreaPicture3ToPicture4
   FindingStartPoint
   If StartX <> 0 Then
      TravelAndDrawLine
   Else
      SideOfLine = "-"
      SlopeFound = 0
   End If
   ShowResult
   DrawDirectionPicture6
   ezVidCap1.Visible = True
   Picture4.Visible = True
   ReceiveNewImage = True
   SendingCommand
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Command2_Click(Index As Integer)
  Select Case Index
    Case 0  ' forward
      For I = 0 To 15
        MSComm1.Output = Chr$(&H61)
        MSComm1.Output = Chr$(0)
      Next I
      Label2 = "FORWARD"
    Case 1  ' right
      For I = 0 To 15
        MSComm1.Output = Chr$(&H62)
        MSComm1.Output = Chr$(0)
      Next I
      Label2 = "RIGHT"
    Case 2 ' back
      For I = 0 To 15
        MSComm1.Output = Chr$(&H64)
        MSComm1.Output = Chr$(0)
      Next I
      Label2 = "BACKWARD"
    Case 3  'left
      For I = 0 To 15
        MSComm1.Output = Chr$(&H63)
        MSComm1.Output = Chr$(0)
      Next I
      Label2 = "LEFT"
    Case 4  ' stop
      For I = 0 To 10
        MSComm1.Output = Chr$(&H65)
        MSComm1.Output = Chr$(0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Next I
        Label2 = "STOP"
    End Select
End Sub

Private Sub Command3_Click()
    If Text2(0) = "-" Then Exit Sub
    If MsgBox("Replace with this new setting ?  ", vbYesNo + vbQuestion, "Confirm replace.") =
vbNo Then Exit Sub
    If InStr(Text2(0), "Right") <> 0 Then
        RefRX2 = StartX: RefRY2 = StartY
        RefRX1 = EndX: RefRY1 = EndY
    Else
        RefLX2 = StartX: RefLY2 = StartY
        RefLX1 = EndX: RefLY1 = EndY
    End If
    GenReferentLinePicture5
    MsgBox "Setting referent line is complete.  ", vbOKOnly + vbInformation, "Set as Referent
Line "
End Sub

Private Sub Command4_Click()
    If Timer2.Interval > 0 Then
        Timer2.Interval = 0: Timer3.Interval = 0
        Command4.Caption = "START (F5)"
        Shape2.FillColor = RGB(255, 0, 0)
        Shape3.FillColor = RGB(255, 0, 0)
        StopCar = True: Command2_Click 4
    Else
        Timer2.Interval = 500
        Command4.Caption = "STOP (F5)"
        Shape2.FillColor = RGB(0, 255, 0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape3.FillColor = RGB(0, 255, 0)
    ReceiveNewImage = True: StopCar = False: TurnToFind = True: Timer3.Interval = 1000 *
Val(Text6)
  End If
End Sub

Private Sub Command5_Click()
  If MsgBox("Are you sure ? ", vbYesNo + vbQuestion, "Question") = vbNo Then Exit Sub
  SaveDefault
  Command2_Click 4
  End
End Sub

Private Sub Form_KeyDown(KeyCode As Integer, Shift As Integer)
  Select Case KeyCode

    Case vbKeyF5
      Command4_Click
  End Select
End Sub

Private Sub Form_Load()
  Picture1.Visible = False:  Picture2.Visible = False: Picture3.Visible = False
  Picture2.Width = Picture1.Width:  Picture2.Height = Picture1.Height
  Picture3.Width = Picture1.Width:  Picture3.Height = Picture1.Height
  Picture4.Width = Picture1.Width:  Picture4.Height = Picture1.Height
  MSComm1.Settings = "1200,N,8,1"
  MSComm1.CommPort = 1
  MSComm1.InputLen = 1
  MSComm1.PortOpen = True
  MSComm1.RThreshold = 1
  Command2_Click 4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TotalTime = 0: Timer1.Interval = 100
numedge.Value = Val(Text1)
I = 0
While I + MaxLineArray < 100
   I = I + MaxLineArray
   Combo1.AddItem I
Wend
Combo1.ListIndex = Int(Combo1.ListCount / 2)
If 0 < ezVidCap1.NumCapDevs Then
   For I = 0 To ezVidCap1.NumCapDevs - 1
      cbDriver.AddItem (ezVidCap1.GetDriverName(I))
   Next I
   cbDriver.ListIndex = ezVidCap1.DriverIndex
Else
   cbDriver.AddItem ("<none>")
   cbDriver.ListIndex = 0
   MsgBox "No Video Capture Device!", vbInformation, App.Title
End If
LoadDefault
Frame3.Top = 5640: Frame3.Left = 240
GenReferentLinePicture5
TurnToFind = True: TurnDirection = True: Timer3.Interval = 0
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
   If MsgBox("Are you sure ? ", vbYesNo + vbQuestion, "Question") = vbNo Then
      Cancel = 1
   Else
      SaveDefault
      Command2_Click 4
   End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

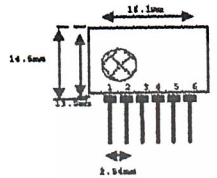
```
Private Sub numedge_Change()
   Text1 = numedge.Value
End Sub

Private Sub Picture4_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
   If ScaleOfX = 0 Or ScaleOfY = 0 Then Exit Sub
   If Y >= Picture4.Height * (Val(Text3) / 100) Then Exit Sub
   PX = Int(X / (Picture4.Width / MaxLineArray)) + 1
   PY = Int(Y / ((Picture4.Height / MaxLineArray) * (Val(Text3) / 100))) + 1
'  PY = Int(Y / (Picture4.Height / MaxLineArray)) + 1
  ' Label1(15) = "( " & PX & " , " & PY & " )"
   Label1(15) = "( " & PX & " , " & PY & " ) Total point found is " & L(PX, PY) & " ."
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
   TotalTime = TotalTime + 1
   Label1(10) = Format(Now, "HH:MM:SS:") & TotalTime Mod 10
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
   If ReceiveNewImage Then Command1_Click
End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
   TurnToFind = False
   Timer3.Interval = 0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP/RLP434 RF ASK Low Cost Hybrid Modules for Radio Control and Telemetry applications

Easy-Link Wireless

TLP-434 Transmitter



pin 1 : Vcc
pin 2 : Vcc
pin 3 : Gnd
pin 4 : Gnd
pin 5 : RF Output
pin 6 : Digital Data Input

Frequency 315, 418 and 433.92MHz

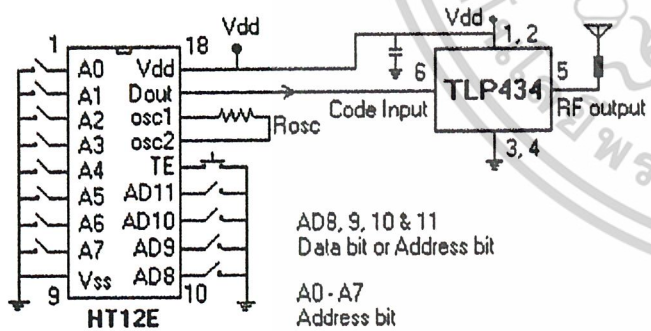
Modulation : ASK
Operation Voltage : 2 - 12 VDC
RF Output Power : 8mW @3.6V

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vcc	Operating supply voltage		2.0	-	12.0	V
Icc	Peak Current		-	5	-	mA
Vh	Input High Voltage	Idata= 100uA (High)	Vcc-0.5	Vcc	Vcc+0.5	V
Vl	Input Low Voltage	Idata= 0 uA (Low)	-	-	0.3	V
FO	Absolute Frequency	315Mhz module	314.8	315	315.2	MHz
	Relative To 433.92MHz			+/-150	+/-200	KHz
PO	RF Output Power- 50ohm	Vcc = 9V to 12V	-	16	-	dBm
		Vcc = 5V to 6V	-	14	-	dBm
DR	Data Rate	External Encoding	-	2.4K	3K	bps

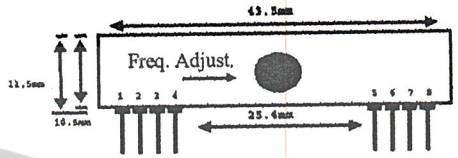
Notes : (Case Temperature = 25°C +- 2°C , Test Load Impedance = 50 ohm)

Application Circuit I:

Typical Key-chain Transmitter using HT12E-18DIP, a Binary 12 bit Encoder from Holtek Semiconductor Inc.



RLP-434 Receiver



pin 1 : Gnd
pin 2 : Digital Data Output
pin 3 : Linear Output
pin 4 : Vcc
pin 5 : Vcc
pin 6 : Gnd
pin 7 : Gnd
pin 8 : Antenna (About 30 - 35 cm)

Frequency 315, 418 and 433.92MHz

Modulation : ASK
Supply Voltage : 4.5 - 5.5 VDC
Output : Digital & Linear
Sensitivity : 3uVrms

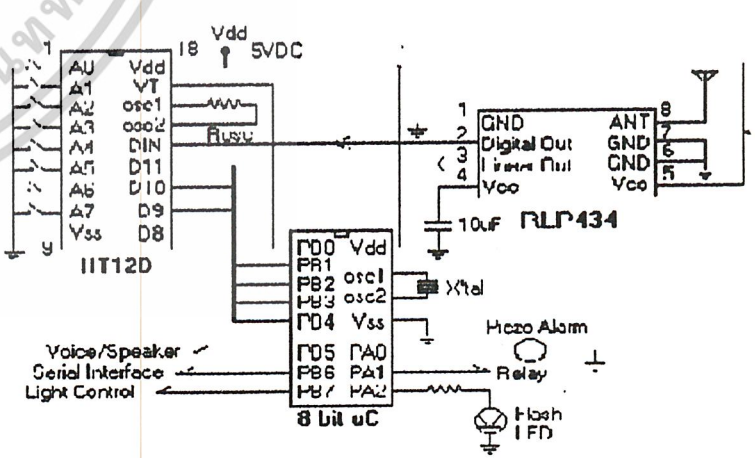
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	
Vcc	Operating supply voltage		4.5	5	5.5	V
Itot	Operating Current		-	3.5	4.5	mA
Vdata	Data Out	Idata = +200 uA (High)	Vcc-0.5	-	Vcc	V
		Idata = -10 uA (Low)	-	-	0.3	V

Electrical Characteristics

Characteristics	SYM	Min	Typ	Max	Unit
Operation Radio Frequency	FC		315, 418 and 434		MHz
Sensitivity	Pref	-100	-103	-106	dBm
Channel Width			+-1.5		Khz
Receiver Turn On Time			5		ms
Noise equivalent BW	NEB		4		Khz
Baseboard Data Rate			3	5	Khz

Application Circuit II:

Typical RF Receiver using HT12D-18DIP, a Binary 12 bit Decoder with 8 bit uC HT48RXX from Holtek Semiconductor Inc.



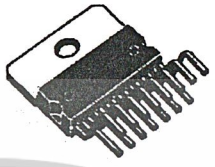
Laipac Technology, Inc.
105 West Beaver Creek Rd. Unit 207 Richmond Hill Ontario L4B 1C6 Canada
Tel: (905)762-1228 Fax: (905)770-6143 e-mail: info@laipac.com

LAIPAC TECH

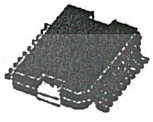
L298

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)



Multiwatt15



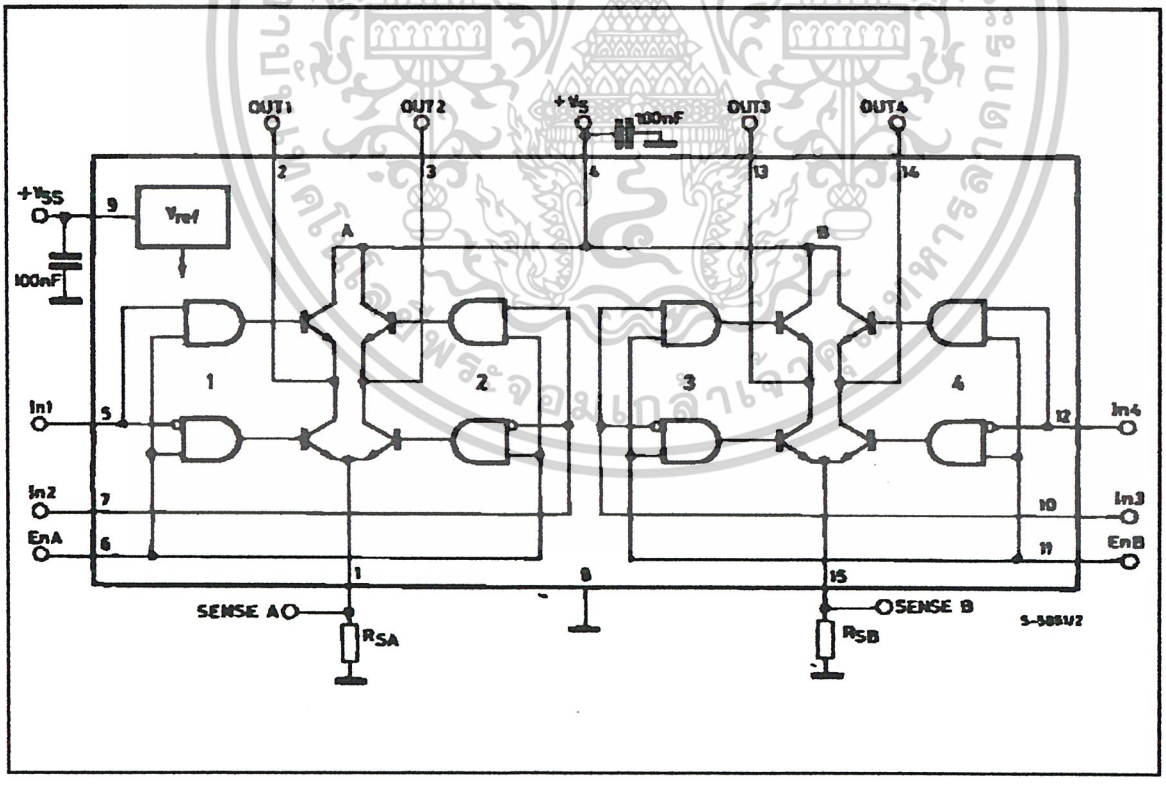
PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

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

BLOCK DIAGRAM

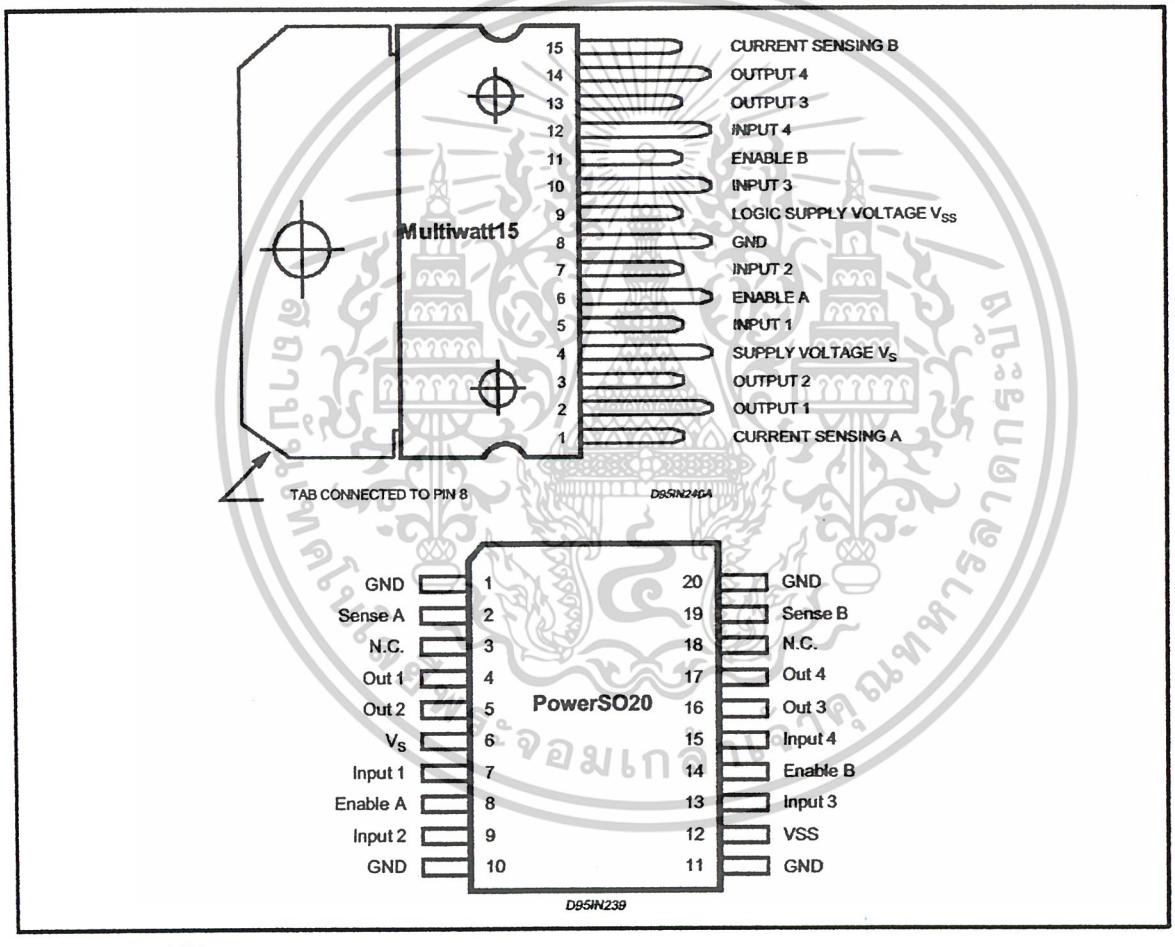


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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		13	22	mA
			V_i = H		50	70	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		24	36	mA
			V_i = H		7	12	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		VSS	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)	Vi = 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		0.95	1.35	1.7	V
		I_L = 2A			2	2.7	V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5)		0.85	1.2	1.6	V
		I_L = 2A (5)			1.7	2.3	V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5)		1.80		3.2	V
		I_L = 2A (5)				4.9	V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)			–1 (1)		2	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
fc (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

1) 1)Sensing voltage can be –1 V for t ≤ 50 µsec; in steady state V_{sens} min ≥ –0.5 V.
2) See fig. 2.
3) See fig. 4.
4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

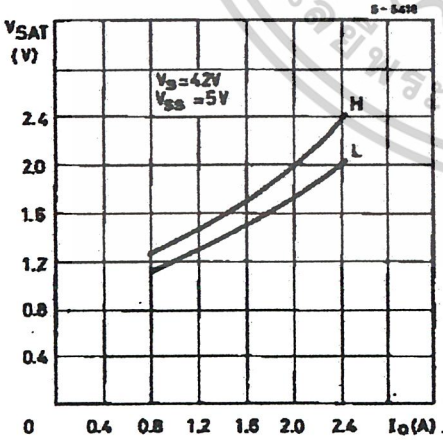
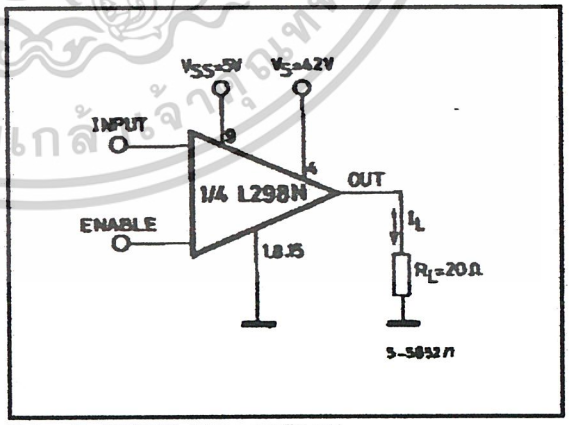


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

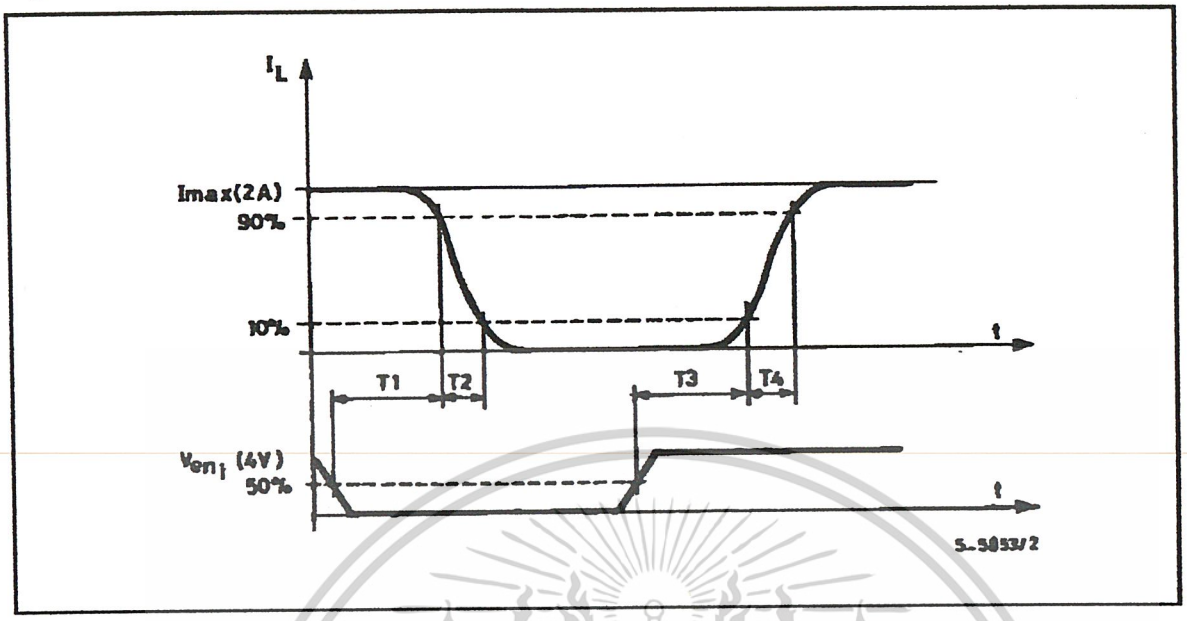
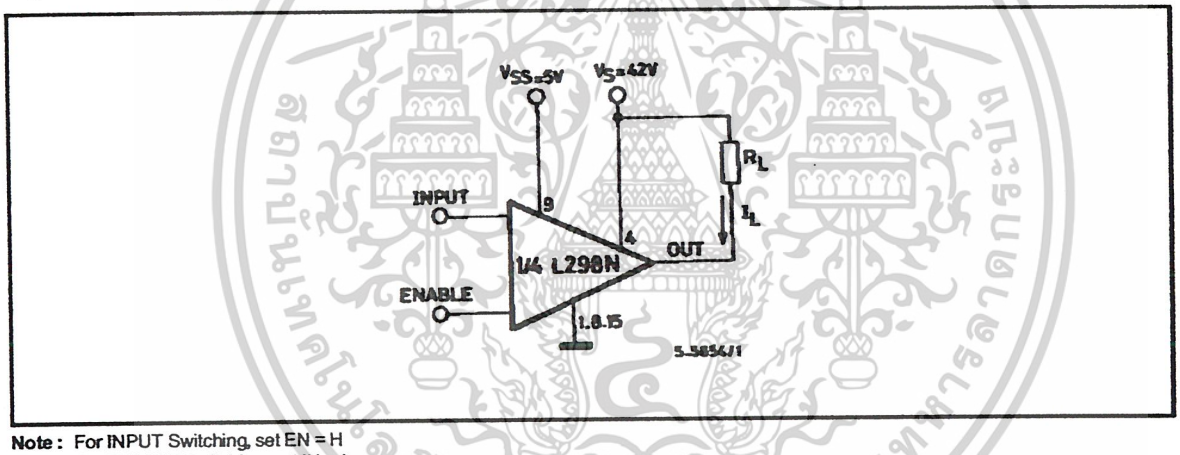


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

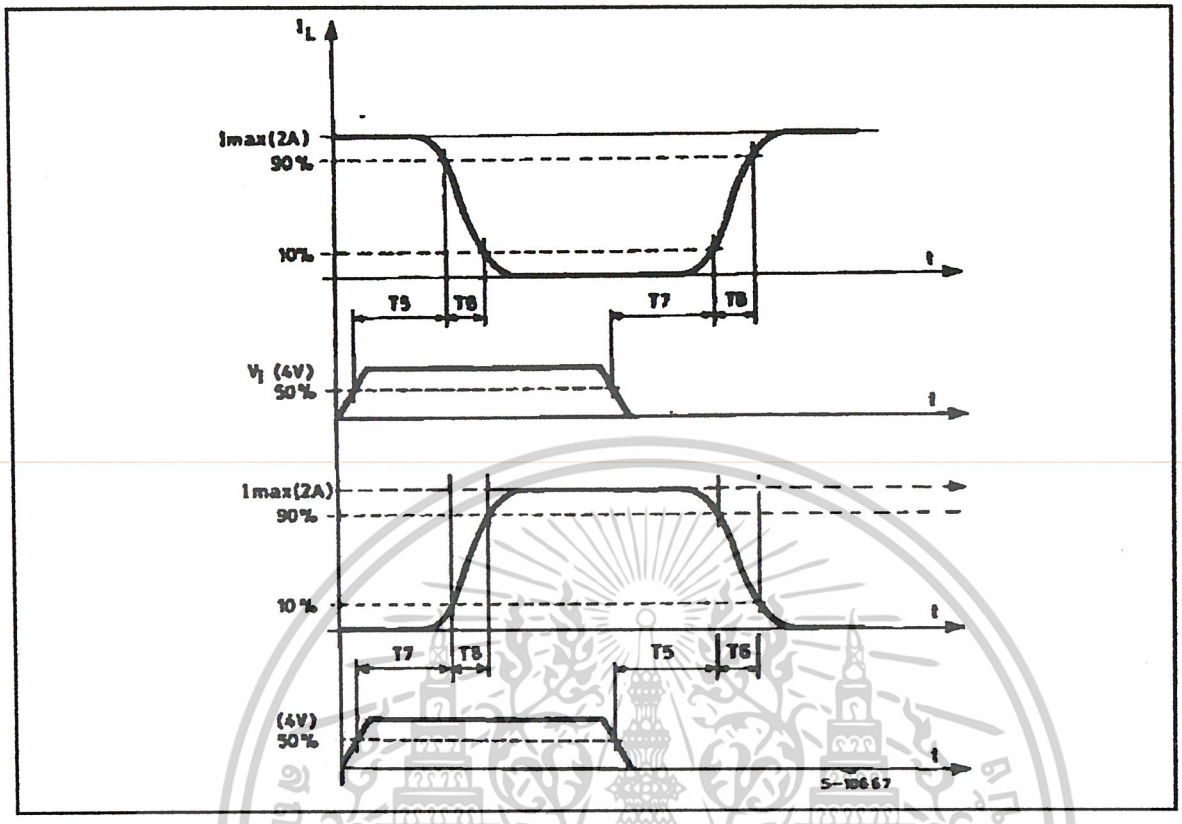
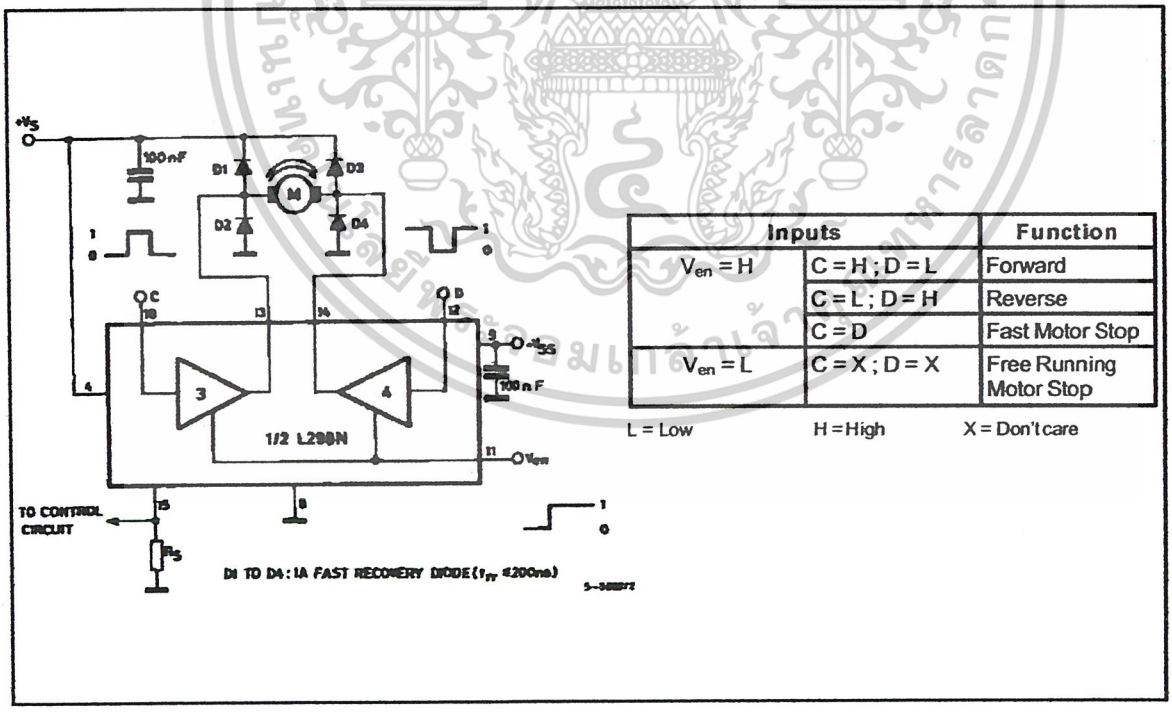


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

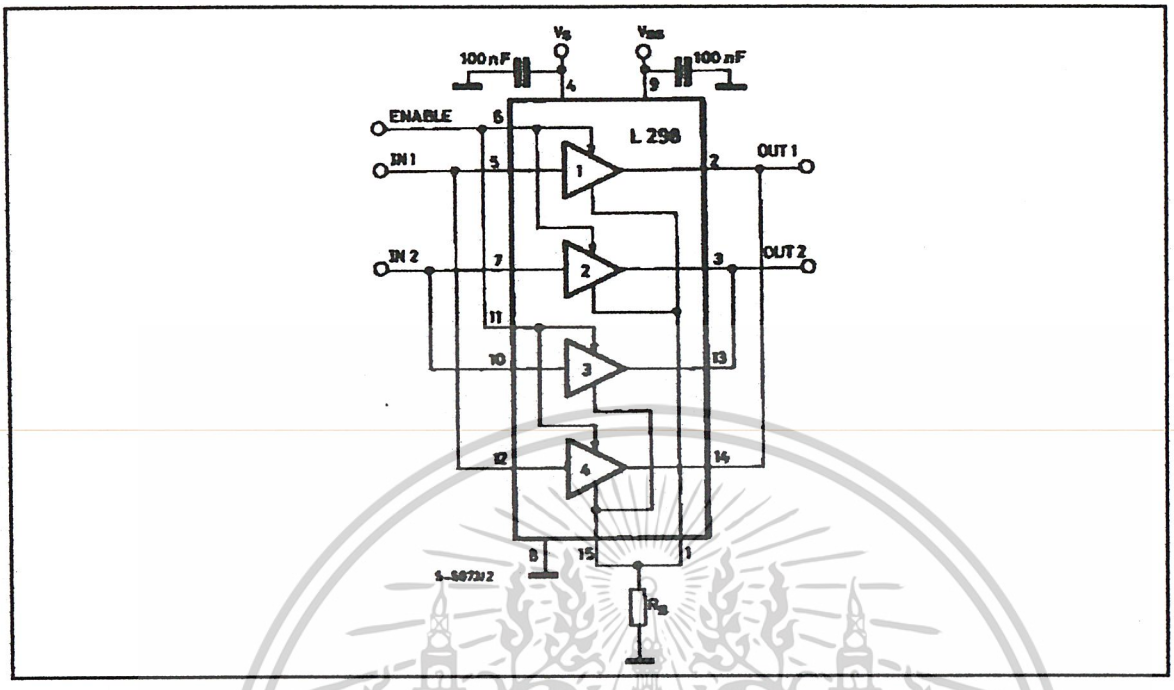


Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Forward
	C = L ; D = H	Reverse
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 differenzial 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 Vs and Vss, 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 Vs 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 VF 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; Shottky diodes would be preferred.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

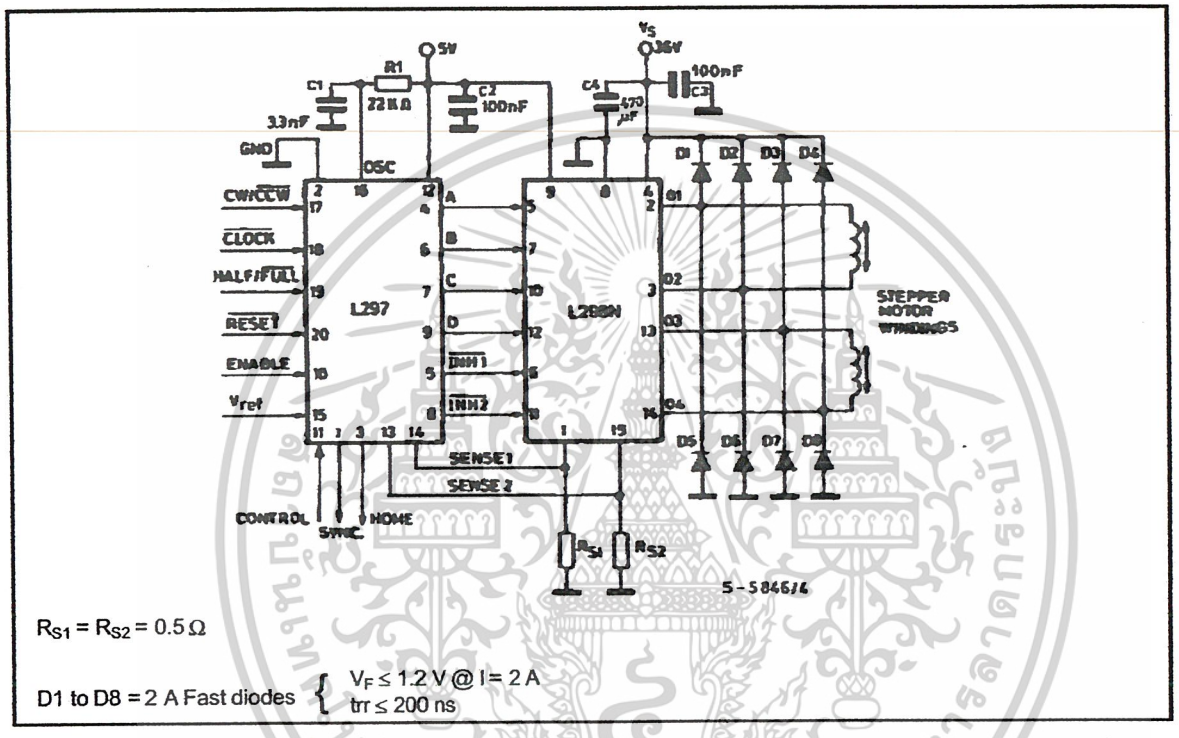
On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

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

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

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.



$R_{S1} = R_{S2} = 0.5\,\Omega$

D1 to D8 = 2 A Fast diodes { $V_F \leq 1.2$ V @ I = 2 A ; $t_{rr} \leq 200$ ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

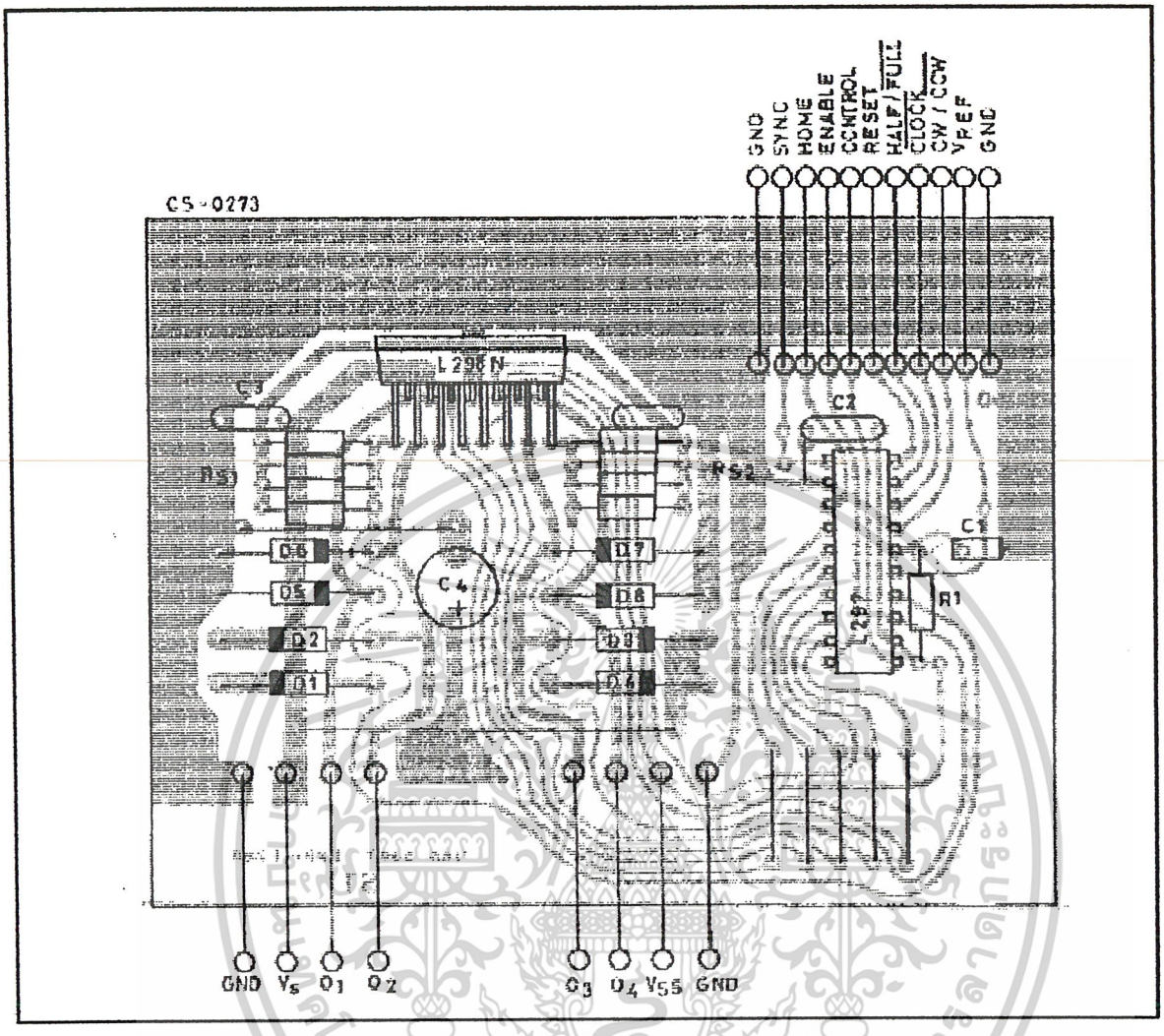
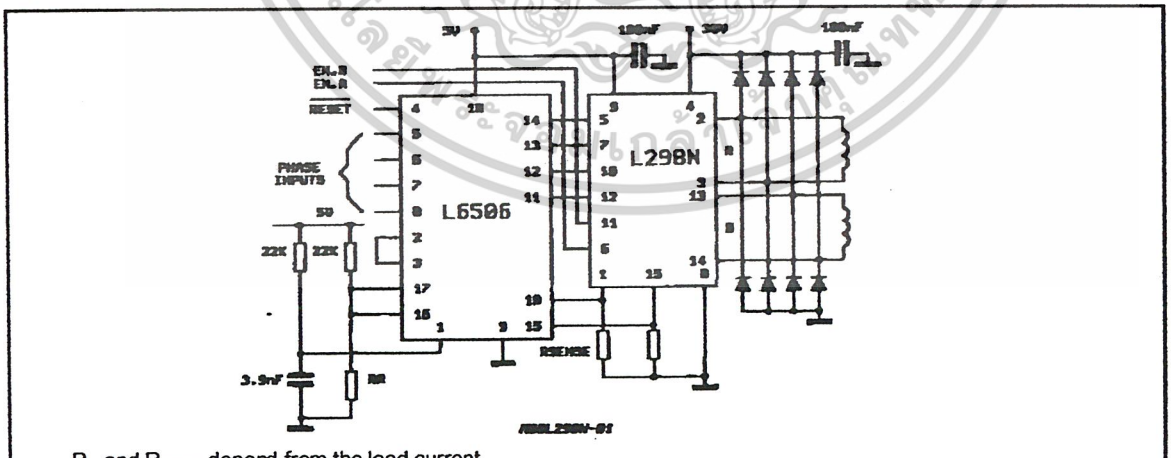


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

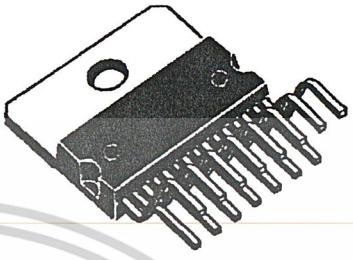


R_R and R_{sense} depend from the load current

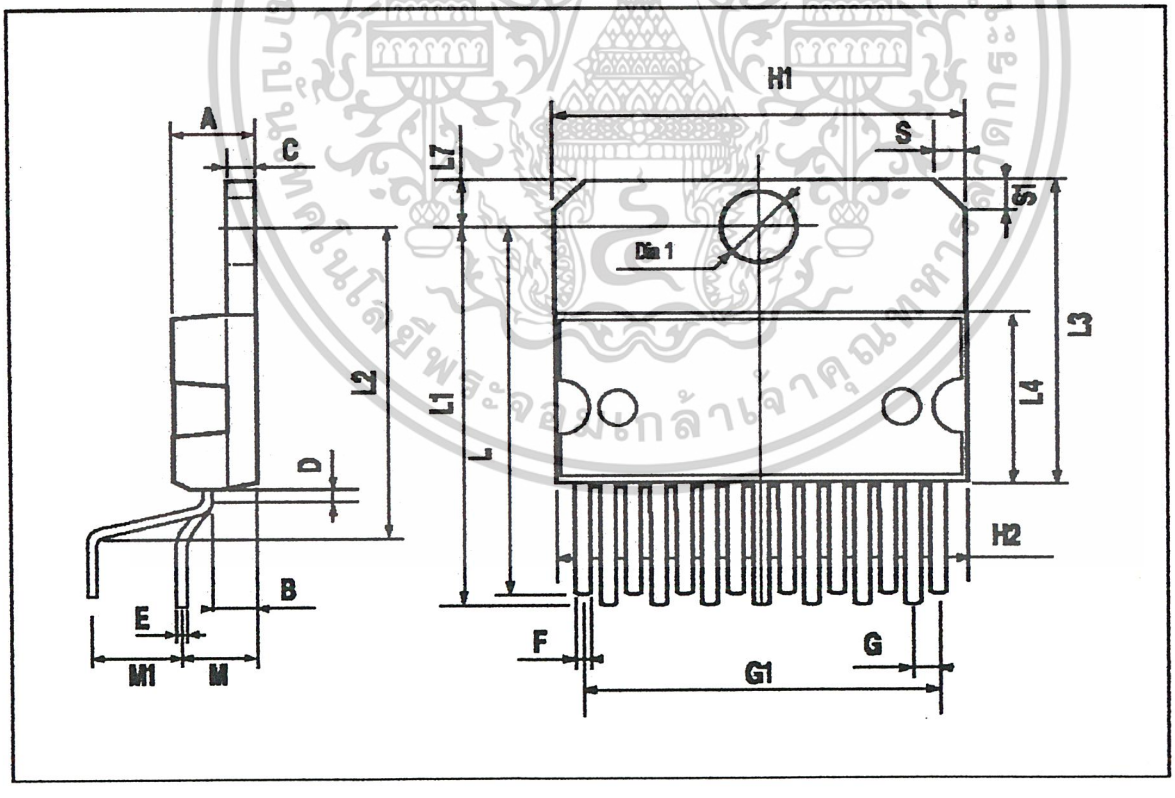
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	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	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
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

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



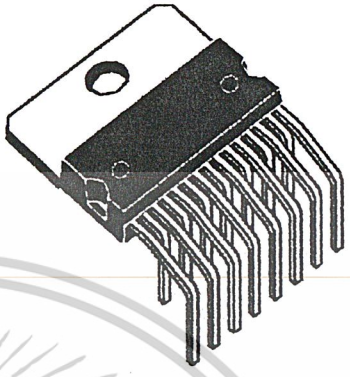
Multiwatt15 V



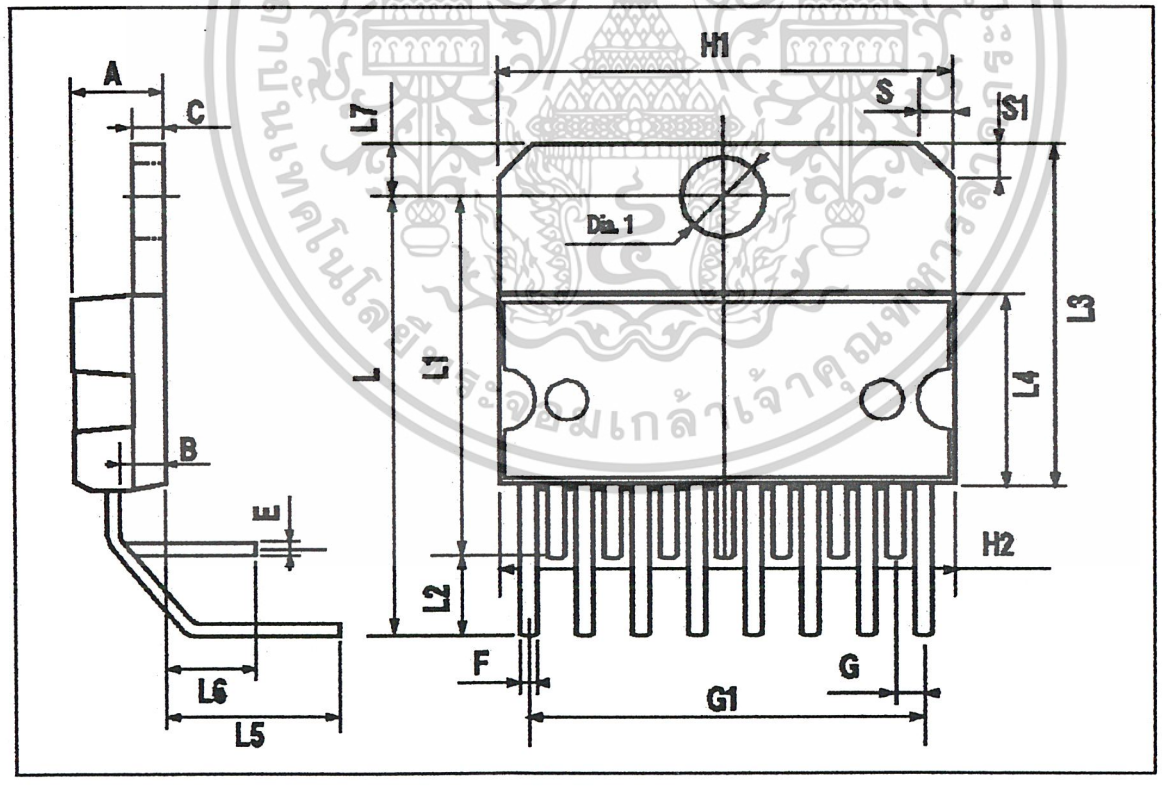
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
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		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
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
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
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

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 H

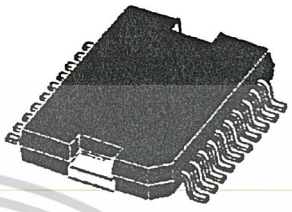


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

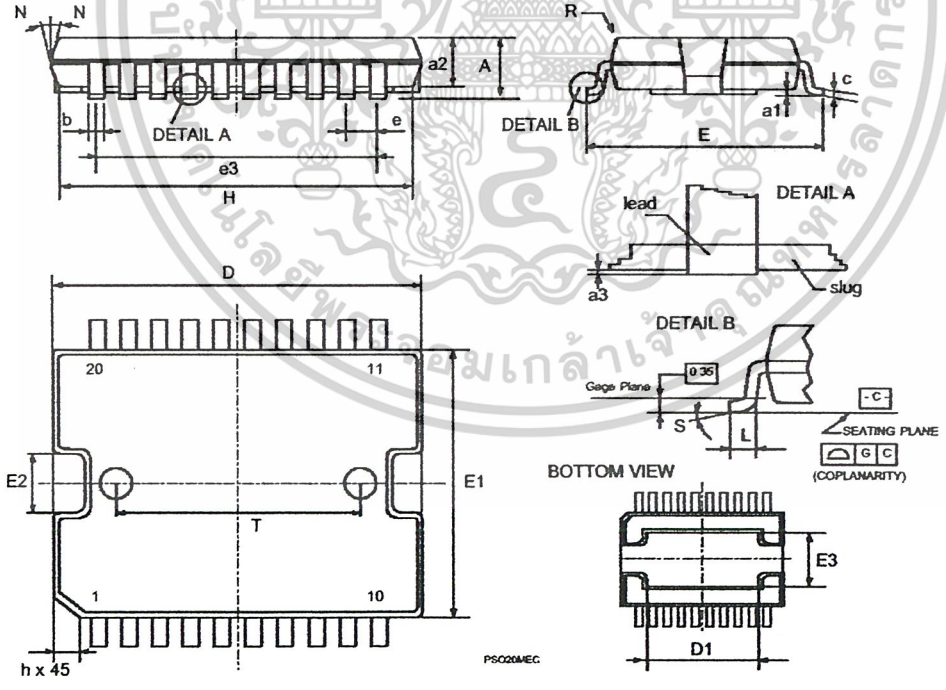
(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
- Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
- Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



JEDEC MO-166

PowerSO20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics 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 STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

http://www.st.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

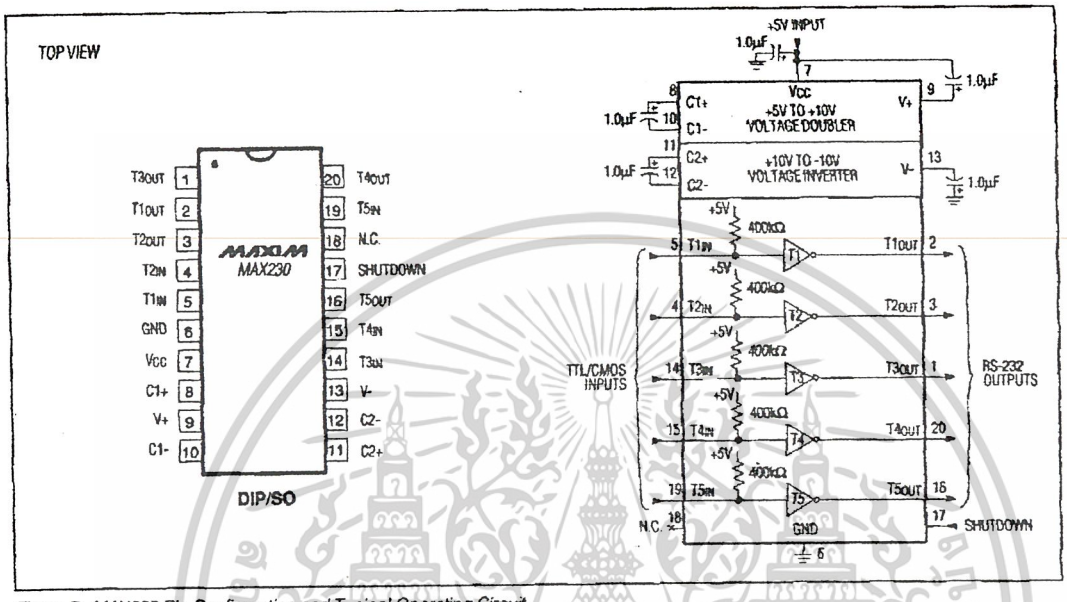


Figure 7. MAX230 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

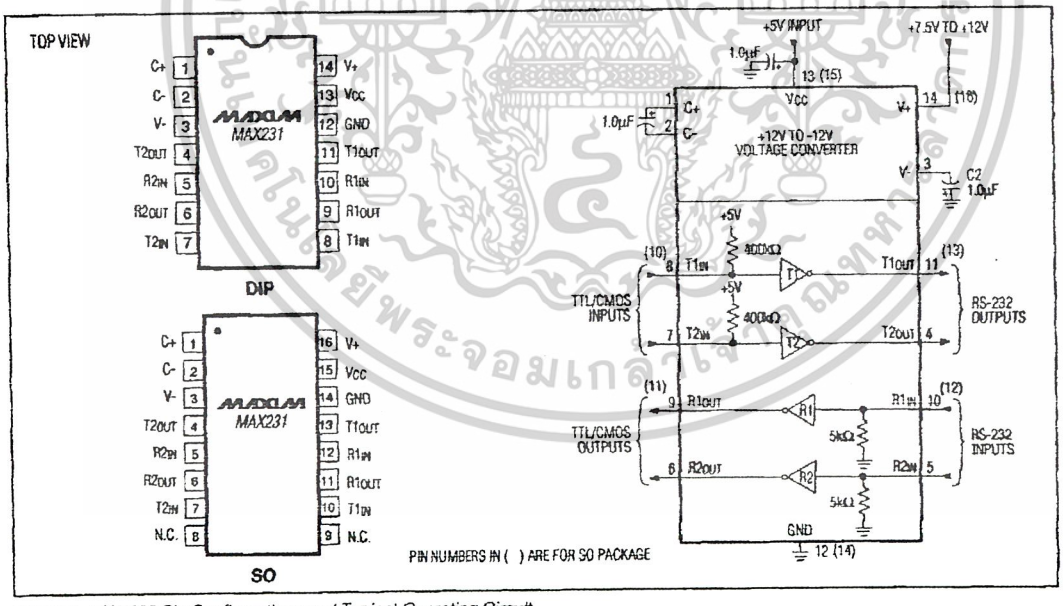


Figure 8. MAX230 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้