



การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการมองผ่านทางวิดีโอเฟรมแกรมเบิล  
VISION OF MOBILE ROBOT VIA VIDEO FRAME GRAMBLE

โดย

นายชนม์รัฐ

คล้ายนิล

นายวิชาดา

โรจนวิภาค

นายอนุชา

นิรัตน์พงษ์

นายอุกฤษฏ์

ตันทสุทธานนท์

วัน เดือน ปี.....-5.ค.ค.2541  
เลขทะเบียน.....038536  
เลขเรียกหนังสือ.....T 40059 รุ 116

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038536

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการมองผ่านทางวิดีโอเฟรมแกรมเบิล  
VISION OF MOBILE ROBOT VIA VIDEO FRAME GRAMBLE

จัดทำโดย

นายชนมร์รัฐ	คล้ายนิล	เลขประจำตัว 38012090
นายวิชาดา	โรจนวิภาค	เลขประจำตัว 38012117
นายอนุชา	นิรัตน์พงษ์	เลขประจำตัว 38012130
นายอุกฤษฏ์	คันทสุทธานนท์	เลขประจำตัว 38012132

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการมองผ่านทางวิดีโอเฟรมแกรมเบล

ผู้จัดทำ

- |                |               |             |          |
|----------------|---------------|-------------|----------|
| 1. นาย ชนม์รัฐ | คล้ายนิล      | เลขประจำตัว | 38012090 |
| 2. นาย วิธาดา  | โรจนวิภาต     | เลขประจำตัว | 38012117 |
| 3. นาย อนุชา   | นิรัตน์พงษ์   | เลขประจำตัว | 38012130 |
| 4. นาย อุกฤษฏ์ | ตันทสุทธานนท์ | เลขประจำตัว | 38012132 |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยมองผ่านทางวิดีโอเฟรมแกรมเบล		
นักศึกษา	1. นาย ชนม์รัฐ	คล้ายนิล	เลขประจำตัว 38012090
	2. นาย วิธาดา	โรจนวิภาต	เลขประจำตัว 38012117
	3. นาย อนุชา	นิรัตน์พงษ์	เลขประจำตัว 38012130
	4. นาย อุกฤษฏ์	ตันทสุทธานนท์	เลขประจำตัว 38012132
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวสุวิทย์	
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม		

### บทคัดย่อ

จากปัจจุบันการใช้งานรถยนต์ขนถ่ายอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมรวมถึงงานอื่น ๆ มีมากขึ้น รถยนต์ขนถ่ายแบบที่ใช้กันอยู่ใช้การเคลื่อนที่ของรถตามแถบสีที่กำหนดเป็นเส้นทางเอาไว้ การตรวจสอบเส้นทางของรถจะใช้เซนเซอร์คอยตรวจสอบแถบสีที่กำหนดนั้น จากข้อจำกัดของการใช้เซนเซอร์ที่ต้องใช้กับแถบสีที่มีความแตกต่างกับสีพื้นอย่างชัดเจน รวมถึงถ้าต้องมีการตัดสินใจในการทำงาน รถยนต์ขนถ่ายแบบเก่าจะไม่เหมาะสมกับกรณีข้างต้น แนวความคิดของการใช้การประมวลผลภาพแทนการใช้เซนเซอร์จึงเป็นอีกแนวความคิดหนึ่งที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ทั้งความยืดหยุ่นในการใช้สีแถบเส้นทางกับสีพื้นรวมถึงกรณีที่ต้องมีการตัดสินใจในการทำงาน รวมถึงการประยุกต์ใช้การควบคุมระยะไกล

Thesis .Title	Vision of mobile robot via video frame gramble	
Student	1. Mr. Chonrat klaynin	Code No. 38012090
	2. Mr. Vithada Rojanavipate	Code No. 38012117
	3. Mr. Anucha Niratpong	Code No. 38012130
	4. Mr. Ukrit Tantasutanon	Code No. 38012132
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr Fusak Cheevasuvit	
Level of study	Bachelor of Engineering	
Department	Industrial instrumentation technology	

### Abstract

Nowaday,the automatic guidance vehicles are widely used in line product industries. Most of them use dark line for control the direction and use infrared sensors for sensing the dark line.However, for some lighting condition,the infrared sensors can not perform the process therefore,this project is tried to make the vehicle more flexible by replacing the infrared sensors with an image processing system.This image processing system can be used to recognize many symbols in the line and then the vehicle will be accomplished the process by the symbols.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ร.ศ.พุศักดิ์ี ชื่อสุวิทย์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้คำปรึกษาในด้านการศึกษา ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ที่ช่วยมอบทุนในการทำโครงการครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคุณบัณฑิต สุนนวัฒน์เดช ที่ช่วยให้คำปรึกษาด้านการวัดประมวลผลภาพ คุณอาโมทย์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาด้านการประมวลผลภาพ รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆและผู้ที่มีส่วนทำให้ปริญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่2 ทฤษฎี	3
2.1 หลักการทำงานของวงจรที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล	3
2.1.1 ภาค FSK MODULATOR	4
2.1.2 วงจรเครื่องส่ง	6
2.1.3 ภาครับสัญญาณวิทยุ	8
2.1.4 ภาค FSK DEMODULATOR	11
2.1.5 หน้าที่การทำงานของภาคต่างๆ	12
2.1.6 สถานะการทำงานของเฟสล็อกกลุ๊ป	12
2.1.7 การออกแบบ FSK DEMODULATOR โดยใช้ XR2211	13
2.2 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ UHF	15
2.3 วงจรวิทยุไอทีทีเคเตอร์	19
2.4 มาตรฐาน RS232	20
2.4.1 ลักษณะวงจรของ RS232	24
2.4.2 ขั้นตอนการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE	26
2.4.3 มาตรฐาน RS232C	29
2.4.4 ลักษณะของสัญญาณ RS232C	30
2.5 การ์ดประมวลผลภาพ	33
2.5.1 กล้องโทรทัศน์	33
2.5.2 A/D CONVERTOR	40
2.5.3 MEMORY	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
2.6 ทฤษฎีและหลักการของระบบการประมวลผลภาพ	42
2.6.1 ทฤษฎีการแปลงและปรับปรุงภาพ	42
2.7 การตรวจสอบหาเส้นขอบภาพ	46
2.7.1 หลักพื้นฐาน	46
2.7.2 GRADIENT OPERATION	46
2.7.3 SOBEL OPERATION	48
2.7.4 LAPLACIAN	49
2.8 การตรวจสอบหาชนิดของวัตถุ โดยอาศัยการเปรียบเทียบแกนหลัก	51
2.8.1 การเปรียบเทียบแกนหลัก	51
2.8.2 การนำการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบหลักมาใช้ในการเปรียบเทียบแกนหลัก	53
2.9 ANT-32	53
2.9.1 คุณสมบัติของบอร์ด	54
2.9.2 การทำงาน	54
2.9.3 การจัดหน่วยความจำ	57
2.10 การรักษาแรงดันให้คงที่	58
2.10.1 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซี	59
2.10.2 การรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา	60
2.10.3 เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าแรงดันเอาท์พุท	62
2.10.4 วงจรรักษาระดับแรงดันที่จ่ายกระแสได้สูง	64
2.10.5 วงจรจ่ายแรงดันกระแสคงที่	67
บทที่3 การออกแบบ	68
3.1 การออกแบบชุดรับส่งข้อมูลแบบดิจิทัล	68
3.2 ส่วนควบคุมการเลี้ยง	69
3.2.1 วงจร SENSOR	69
3.2.2 วงจรควบคุมการเลี้ยง	71
3.3 วงจรขับมอเตอร์	73
3.4 การทำงานของระบบควบคุมการเลี้ยง	75
3.5 วงจรเปลี่ยนระดับแรงดัน	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่4 การทดลอง	78
4.1 การทำงานของโครงการ	78
4.2 ข้อมูลของรถเคลื่อนที่	80
4.3 การควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ	81
4.3.1 การรถตามแถบเส้น	81
4.3.2 การจดจำสัญลักษณ์	82
4.4 การทดลอง	87
4.4.1 ส่วนประกอบของโครงการ	87
4.4.2 สภาพห้องที่ใช้ทดลอง	87
4.4.3 ขั้นตอนและผลการทดลอง	87
บทที่5 สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผล	91
5.2 ปัญหา	91
5.3 ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม	93
ภาคผนวก	94
ภาคผนวก ก	95

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหลักการทำงาน	3
2.2 แสดงระดับสัญญาณ	3
2.3 แสดงวงจร FSK MODULATION	5
2.4 FM Transmittin Circuit	7
2.5 FM Reciever Circuit	10
2.6 แสดงพื้นฐานเฟสล็อกถูปล	11
2.7 แสดงโครงสร้างของ XR2211 FSK Demodulator	13
2.8 วงจรใช้งานจริง XR2211 FSK Demodulator	13
2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงในระบบ UHF	15
2.10 แสดงวงจรระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงในระบบ UHF	17
2.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมวีดีโอดีเทคเตอร์	20
2.12 การกำหนดของข้อต่อ RS232	23
2.13 แสดงการใช้ RS232C เชื่อมต่ออุปกรณ์	30
2.14 ย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS232C	30
2.15 Line Reciever	32
2.16 Line Driver	32
2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการวัดประมวลผล	33
2.18 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วไป	34
2.19 แสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปคลื่นของแต่ละเฟสที่มีความสัมพันธ์กันและลักษณะของ ประจุเมื่อมีการถ่ายเท	35
2.20 แสดงถึงลักษณะและขนาดของ CCD	35
2.21 แสดงส่วนประกอบหลักของ CCD	36
2.22 แสดงให้เห็นถึงการติดตั้ง CCD แบบแสงโดยตรง	37
2.23 แสดงให้เห็นถึงภาพที่ถ่ายจาก CCD แต่ใช้ฟิลเตอร์ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	38
2.24 แสดงภาพถ่ายด้วยเทคนิคพิเศษ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของเครื่องสเปกโตรกราฟที่ใช้ CCD ต่อรวม	39
2.26 แสดงการจัดหน่วยความจำของการวัดประมวลผลภาพ	41
2.27 แสดงภาพแถบสีที่ใช้ตรวจหาขอบภาพ	47
2.28 แสดง mask ที่ใช้ในการคำนวณ Sobel Operation	49
2.29 แสดง mask ที่ใช้คำนวณค่าของสมการ 2.19	50
2.30 แสดงกราฟค่า $\nabla^2 h$	50
2.31 แสดงแกนหลักและแกนรองที่มีอีเจนแวลูเป็นความยาวจากจุดตัดของแกนทั้งสอง	52
2.32 แสดงวงจรมอนิเตอร์ ANT-32 Version 2.0	55
2.33 แสดงการจัดหน่วยความจำของมอนิเตอร์ ANT-32 Version 2.0	57
2.34 แสดงค่าความต้านทานภายใน(RS)	58
2.35 แสดงถึงรูปร่างของตัวถังประเภทต่างๆ	60
2.36 แสดงวงจรรักษาาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา	61
2.37 แสดงถึงการเปลี่ยนระดับแรงดัน $V_o$ โดยใช้ไอซีรักษาาระดับแรงดันแบบค่าคงที่	62
2.38 วงจรรักษาาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338	63
2.39 แสดงวงจรรักษาาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้แบบใช้ไอซีเบอร์ LAS-39	64
2.40 แสดงวงจรรักษาาระดับแรงดันในการขับทรานซิสเตอร์ 1 ตัว	64
2.41 แสดงวงจรรักษาาระดับแรงดันโดยการต่อทรานซิสเตอร์ขนานกันหลายตัว	65
2.42 แสดงวงจรรักษาาระดับแรงดันที่สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 20 แอมแปร์	66
2.43 แสดงถึงไอซีรักษาาระดับแรงดันแบบ 3 ขา ที่ต่อเป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่	67
3.1 การต่อวงจรเพื่อพิจารณาเลือกความถี่	68
3.2 แสดงวงจร SENSOR	69
3.3 แสดงการจัดวาง SENSOR ทั้ง 11 ชุดบนแผง SENSOR	70
3.4 แสดงวงจรควบคุมการเลี้ยง	72

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แสดงวงจรขั้วมอเตอร์	74
3.6 แสดงชุดควบคุมมอเตอร์	76
3.7 แสดงวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันจาก 24 โวลต์เป็น 5 โวลต์	76
3.8 แสดงวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันจาก 24 โวลต์เป็น 12 โวลต์	77
4.1 แสดงการทำงานของรถยนต์เคลื่อนที่	79
4.2 แสดงขนาดของรถและตำแหน่งกล้อง	80
4.3 แสดงการจัดวางกล้องมุม 35 องศาและระยะมุมกล้อง	80
4.4 แสดงวิธีการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถตามแถบเส้น	81
4.5(ก) แสดงสัญลักษณ์คำสั่งตรงมีจุดสี 240 จุดสี	82
4.5(ข) แสดงสัญลักษณ์คำสั่งตรงที่มีการวางเอียงมีจุดสี 260 จุดสี	83
4.6 แสดงรูปด้านหน้าของรถเคลื่อนที่	83
4.7 แสดงรูปด้านข้างของรถเคลื่อนที่	84
4.8 แสดง Software ที่ใช้ควบคุมรถ	84
4.9 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ควบคุมให้รถเคลื่อนที่ตรง	85
4.10 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ควบคุมให้รถเลี้ยวซ้าย	85
4.11 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ควบคุมให้รถเลี้ยวขวา	86
4.12 แสดงตัวอย่างเส้นทางการเดินรถ	86
4.13 แสดงแถบเส้นทางที่ใช้ในการทดลองการเคลื่อนที่ของรถ	88
4.14 แสดงแถบเส้นทางและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลองการตัดสินใจของรถ	89
4.15 แสดงการเพิ่มระยะการเก็บภาพของกล้อง CCD	90

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อมูลโดยรวมของไอซี TA8122AN	8
2.2 แสดงข้อมูลในการรับแบบเอฟเอ็ม	9
2.3 แสดงข้อมูลในการพันคอยล์ที่ต้องการใช้งาน	9
2.4 แสดงรายละเอียดสำหรับการอินเตอร์เฟส RS232 โดยใช้คอนเนคเตอร์แบบ DB25	22
2.5 แสดงรายละเอียดของขาสัญญาณที่ต่อจาก DTE ไปยัง DCE โดยใช้ DB25	23
2.6 แสดงรายละเอียดการต่อคอนเนคเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS232	28
2.7 แสดงย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS232C	30
2.8 แสดงคุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS232C	31
2.9 แสดงสัญญาณควบคุมการตีประมวลผล	41
3.1 แสดงการทำงานของไอซี 74LS85	71
4.1 แสดงชุดคำสั่งควบคุม	78
4.2 ข้อมูลของตัวรถเคลื่อนที่	80
4.3 แสดงสัญลักษณ์และคำสั่ง	82

## บทที่ 1

### บทนำ

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) คือหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยตัวเองไปยังที่ต่าง ๆ ได้ตามความต้องการของการใช้งาน โดยแบ่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามลักษณะการทำงานได้ 2 แบบคือ

1. หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้อย่างอิสระ สามารถตัดสินใจคำนวณหาเส้นทางใหม่ในการเคลื่อนที่ได้เมื่อมีอุปสรรคขัดขวาง
2. หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ไปยังเส้นทางที่กำหนดไว้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้บ้างแต่จะต้องกลับมาเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้เท่านั้น

จะเห็นว่า หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไม่ว่าเป็นแบบใด ๆ ก็ต้องมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งการทำงานอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าผู้ควบคุมต้องการติดตามการทำงานของหุ่นยนต์นั้น ก็ไม่สามารถติดตามได้ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ควบคุมหุ่นยนต์สามารถติดตาม ใฝ่ดูการทำงานทั้งพิกัด ตำแหน่งที่อยู่และลักษณะการเคลื่อนที่ได้อย่างใกล้ชิด จึงออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ที่มีระบบติดตามการทำงานด้วยคลื่นวิทยุร่วมกับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งภาพของหุ่นยนต์ที่ปรากฏอยู่บนจอภาพจะแสดงตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของหุ่นยนต์บนพื้นที่ปฏิบัติงานจริง เมื่อหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ภาพของหุ่นยนต์บนจอภาพก็จะเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ลักษณะของภาพที่ปรากฏบนจอจึงเหมือนกับแผนผังของพื้นที่ปฏิบัติงาน และตัวหุ่นยนต์

จากหลักการดังกล่าวข้างต้น เราสามารถที่จะควบคุมหุ่นยนต์ไปตามเส้นทางที่กำหนดได้ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม

#### 1.1 ที่มาและปัญหา

จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ใช้ตัวเซนเซอร์ จะพบปัญหามากมายดังนี้

1. ถ้ามีการตัดสินใจเกิดขึ้น หุ่นยนต์แบบเก่าไม่สามารถตัดสินใจได้ ดังนั้นจึงใช้เทคนิคการประมวลผลภาพมาช่วยในการตัดสินใจ
2. ถ้าเส้นและพื้นมีความเข้มแตกต่างกันน้อย การใช้หุ่นยนต์แบบเก่าซึ่งใช้เซนเซอร์จะมีข้อผิดพลาดมาก
3. การควบคุมให้หยุดหรือเริ่มเคลื่อนที่ในหุ่นยนต์แบบเก่าไม่สามารถทำได้
4. ไม่สามารถควบคุมมุมการเลี้ยวของรถได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

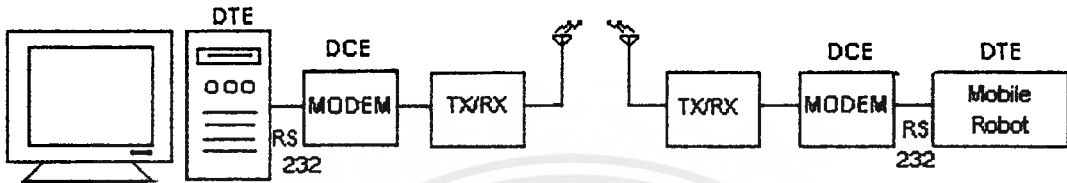
1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบการควบคุมการทำงานของรถโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการส่งข้อมูลระบบดิจิทัลและอะนาลอก
3. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ
4. เพื่อทำเป็นรถต้นแบบเพื่อศึกษาและพัฒนาต่อไป
5. เพื่อนำไปใช้ในการขนถ่ายวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรม

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถตามเส้นทางที่ต้องการได้ โดยอาศัยข้อมูลภาพ ผ่านการส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุ
2. รับส่งข้อมูลระบบดิจิทัลผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยใช้การมอดูเลตแบบ FSK (Frequency Shift Keying) อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที
3. ใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ

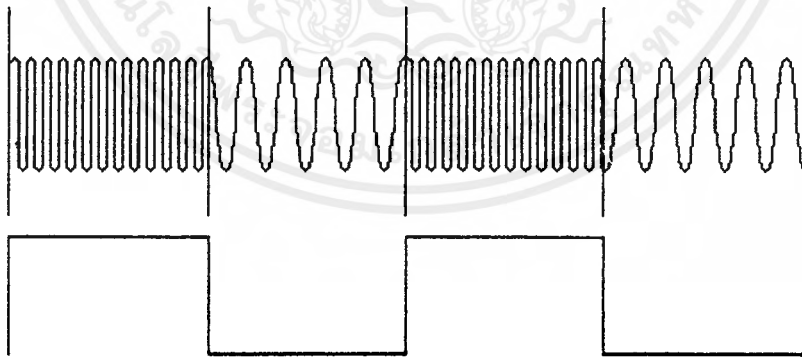
## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 หลักการทำงานและวงจรที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงาน

การติดต่อสื่อสารข้อมูลกันระหว่าง Computer และตัว Mobile Robot นั้นแสดงภาพโดยรวมตาม Block Diagram ที่แสดงไว้ด้านบนโดยจะเป็นการสื่อสารข้อมูลทางอากาศหรือ Wireless ในการสื่อสารนี้ได้เลือกวิธีการส่งเป็นแบบ FM และใช้วิธีการส่งที่เรียกว่า FSK(Frequency Shift Keying) การมอดูเลตสัญญาณด้วยวิธีนี้เราทราบกันดีว่าใช้กับโมเด็มที่มีความเร็วไม่สูงมากนัก โดยการแทน " 0 " และ " 1 " ด้วยความถี่ของสัญญาณที่แตกต่างกันโดยทางผู้ส่งจะใช้ความถี่เพียง 2 ความถี่เท่านั้นเพื่อใช้สำหรับแทนข้อมูล " 0 " และ " 1 " ของทางด้านส่ง ส่วนทางด้านรับจะทำหน้าที่รับความถี่ที่ส่งมาจากภาคส่งแล้วแปลงสัญญาณกลับให้มีค่าลอจิก " 0 " และ " 1 " ตามความถี่ที่เรากำหนดไว้



รูปที่ 2.2 แสดงระดับสัญญาณ

สำหรับอัตราการรับส่งข้อมูล หรือ Baud rate นั้นในที่นี้สามารถสื่อสารกันที่ 9600 บิตต่อวินาที (bps) และความถี่ที่ใช้สำหรับแทนระดับสัญญาณระดับดิจิตอล "0" และ "1" คือ

LOGIC "0"	แทนด้วยความถี่	60 kHz
LOGIC "1"	แทนด้วยความถี่	65 kHz

### 2.1.1 ภาค FSK Modulation

ในการออกแบบ FSK Modulation ได้นำเอาไอซีเบอร์ XR2206 ซึ่งเป็นโมโนลิธิคฟังก์ชันเนอเรียเตอร์ สามารถกำหนดลูกคลื่นได้ทั้งคลื่นซายน์ คลื่นสามเหลี่ยม คลื่นสี่เหลี่ยม หรือแรมป์ (Ramp) โดยมีย่านความถี่ที่สามารถผลิตได้คือ 0.01 Hz ถึง 1.0 MHz

ในกรณีนี้เราใช้ XR2206 เป็นตัวกำเนิดคลื่นรูปซายน์ในลักษณะ FSK Generator โดยใช้โหม้มิ่งรีซิสเตอร์  $R_1$  และ  $R_2$  ที่ต่อระหว่างขา 7 และขา 8 กับกราวด์ตามลำดับ โดยใช้สัญญาณดิจิตอลจะถูกป้อนเข้ามายังขา 9 ของไอซี ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความถี่ทางเอาต์พุตที่ขา 2 โดยถ้าหากขา 9 อยู่ในสภาวะเปิดวงจรหรือมี  $V_{in} \geq 2V$  แล้ว  $R_1$  จะเป็นตัวกำหนดโหม้มิ่งร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อคร่อมระหว่างขา 5 กับขา 6 และในทำนองกลับกัน ถ้าอินพุต (ขา 9) มี  $V_{in} < 1V$  แล้ว  $R_2$  จะเป็นตัวกำหนดโหม้มิ่งร่วมกับตัวเก็บประจุระหว่างขา 5 กับขา 6 เช่นเดียวกัน จึงทำให้ความถี่ที่ได้ออกมาทางเอาต์พุตจะอยู่ในช่วงระหว่าง  $F_1$  กับ  $F_2$  โดยทั้ง  $F_1$  และ  $F_2$  จะอิสระต่อกัน และเราสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงความถี่ได้โดยการเลือกค่า  $R_1$  และ  $R_2$  ตามสมการข้างล่าง

$$F_1 = 1 / R_1 C \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$F_2 = 1 / R_2 C \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

ตัวเก็บประจุระหว่างขา 5 กับขา 6 ควรอยู่ในช่วง 1,000 pF - 100 uF และตัวต้านทาน  $R_1, R_2$  ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 4 k $\Omega$  - 200 k $\Omega$

จากสมการเพื่อให้ง่ายในทางปฏิบัติจึงกำหนดให้  $C = 0.001 \mu F$  และสามารถที่จะหาค่า  $R_1$  และ  $R_2$  ตามค่าความถี่ที่กำหนดได้คือ

ที่  $F_1 = 60 \text{ kHz}$  สำหรับแทนระดับลอจิก "0" จะได้ว่า

$$\begin{aligned} R_1 &= 1 / F_1 C \\ &= 1 / (60 \times 10^3)(0.001 \times 10^{-6}) \\ &= 16.667 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

เนื่องจากเราต้องสามารถปรับความถี่ให้มีค่าตามที่กำหนดจึงเลือกใช้โปเทนมิเตอร์ 20 kΩ ต่อระหว่างขา 7 กับกราวด์

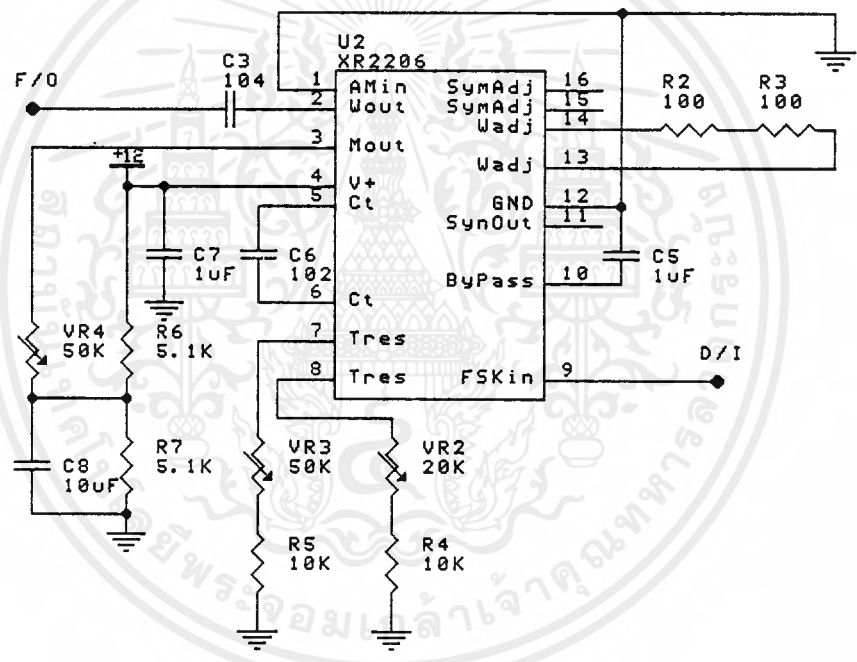
และที่  $F_2 = 65 \text{ kHz}$  สำหรับแทนระดับลอจิก "1" จะได้ว่า

$$R_2 = 1 / F_2 C$$

$$= 1 / (65 \times 10^3)(0.001 \times 10^{-6})$$

$$= 15.384 \text{ k}\Omega$$

และเนื่องจากเราต้องสามารถปรับความถี่ให้มีค่าตามความถี่ที่กำหนดจึงเลือกใช้โปเทนทิโอมิเตอร์ 20 kΩ ต่อระหว่างขา 8 กับกราวด์ และได้แสดงวงจรดังรูปที่ 2.3



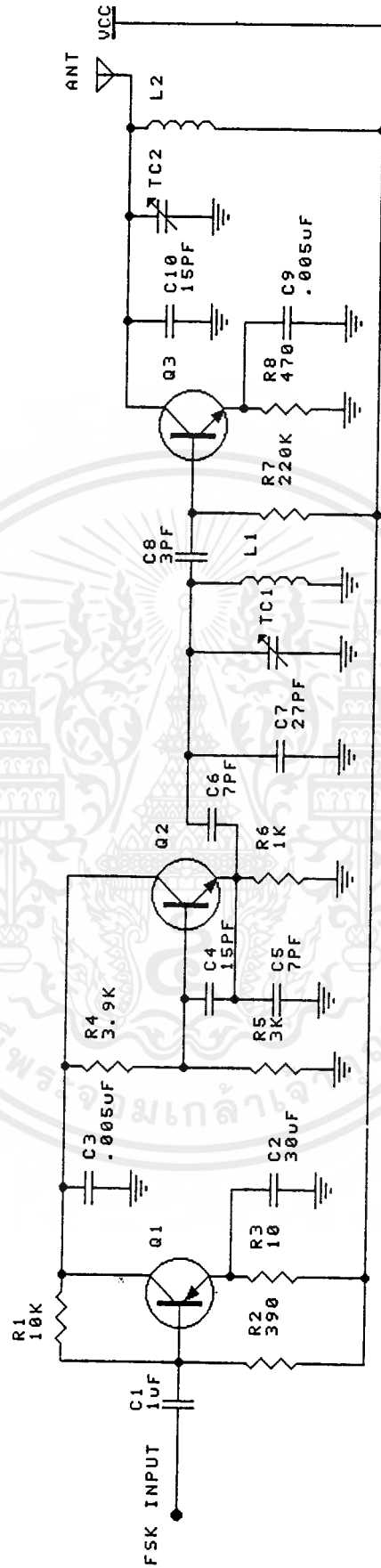
รูปที่ 2.3 แสดงวงจร FSK MODULATION

จากรูปวงจรจะพบว่านอกจากเราสามารถปรับความถี่ให้มีค่าตามที่ต้องการเพื่อให้มีค่าที่สอดคล้องกับระดับลอจิก "0" และ "1" แล้วจะเห็นว่ายังมีตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออยู่ที่ขา 3 ของไอซี โดยได้รับแรงดันมาจากการแบ่งแรงดันระหว่าง  $R_3$  และ  $R_4$  โดยตัวต้านทานปรับค่านี้จะทำหน้าที่ปรับขนาดของสัญญาณ (Amplitude) ทางด้านเอาต์พุต(ขา 2)

การปรับความผิดเพี้ยนรูปคลื่นของสัญญาณเอาท์พุทที่ขา 13 และขา 14 มีไว้สำหรับแต่งรูปคลื่นเพื่อปรับการผิดเพี้ยน (Distortion) ของรูปสัญญาณ อันเนื่องจากการผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิค โดยการต่อค่าความต้านทานเข้าไประหว่างขา 13 และ 14 แต่ในคู่มือไอซี XR 2206 แนะนำให้ใช้ค่า  $200 \Omega$  โดยไม่มีการปรับแต่งแต่อย่างใด

### 2.1.2 วงจรเครื่องส่ง

สำหรับวงจรเครื่องส่งนี้ก็จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณมาจากภาค FSK Modulator ซึ่งมีสัญญาณอยู่ 2 ความถี่คือ  $F_1 = 60 \text{ kHz}$  และ  $F_2 = 65 \text{ kHz}$  โดยรับสัญญาณเข้ามาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_1$  โดยนำไปมอดูเลทกับสัญญาณคลื่นพาหะที่ผลิตโดยทรานซิสเตอร์  $Q_2$  โดยความถี่ของคลื่นพาหะนี้สามารถที่จะทำการปรับได้ ปรับที่  $TC_1$  และสัญญาณที่มอดูเลทแล้วจะได้ออกมาที่ขา E ของ  $Q_2$  ส่งต่อไปยัง  $Q_3$  เพื่อขยายให้มีความแรงของสัญญาณสูงขึ้นก่อนที่จะส่งให้เสาอากาศสำหรับ  $TC_2$  นั้นใช้สำหรับปรับเพื่อให้ความถี่เรโซแนนท์ที่เกิดขึ้นที่  $Q_3$  ตรงกับความถี่ของคลื่นพาหะที่ผลิตโดย  $Q_2$  เพื่อที่จะให้เกิดกำลังในการส่งสูงสุดดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 FM Transmitter Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ภาครับสัญญาณคลื่นวิทยุ (FM Receiver)

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณวิทยุที่ส่งมาจากทางภาคส่ง แล้วทำการตีมอดูเลทเพื่อเอาสัญญาณข้อมูลที่เป็นความถี่ซึ่งแทนระดับของลอจิก " 0 " และ " 1 " คือ  $F = 60 \text{ kHz}$  และ  $F = 65 \text{ kHz}$  ออกจากคลื่นพาหะก่อนที่จะส่งต่อไปยังภาค FM Demodulator เพื่อเปลี่ยนจากความถี่ให้กลับมาเป็นระดับลอจิกเหมือนกับที่ทางภาคส่งโดยได้เลือกใช้ไอซี TA8122AN ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถใช้งานเป็นเครื่องรับวิทยุ AM/FM และนอกจากนี้ยังใช้แรงดันไฟเลี้ยงในย่านแรงดันที่ต่ำ ตลอดจนได้นำเอาวงจรที่จำเป็นต่าง ๆ รวมไว้ภายในไอซีตัวเดียว และมีคุณสมบัติที่เด่น ๆ ดังนี้

- ภายในไอซีประกอบด้วยภาคการทำงานต่าง ๆ เช่น ภาค AM/FM IF, ภาค FM Multiplex , ภาค FM Oscillator Output
  - ไม่ต้องการตัวเก็บประจุในการคัปปลิ่ง ในส่วนของ AM Detector Coil , IF Transformer และภาคขยาย IF
  - ไม่มีการปรับแต่งเมื่อมีการนำไปใช้งานจริง ในส่วนของภาค FM Quaddetector , และส่วนของ VCO Multiplex
  - ใช้งานได้ ในย่านแรงดันไฟแรงต่ำตั้งแต่ 1.8 V ถึง 8 V
- สำหรับรายละเอียดทางเทคนิคต่าง ๆ มีดังนี้

ข้อมูล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันซัพพลาย	Vcc	1.8-8	V
กระแสซัพพลาย	Icc	FM=18.5 AM= 3.3	mA
กระแสหลอด LED	I <sub>led</sub>	10	mA
อัตราการสูญเสียกำลังงาน	P <sub>D</sub>	สูงสุด 1,200	mW
อุณหภูมิทำงานปกติ	T <sub>opr</sub>	-25 ถึง 75	°C

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลโดยรวมของไอซี TA8122AN

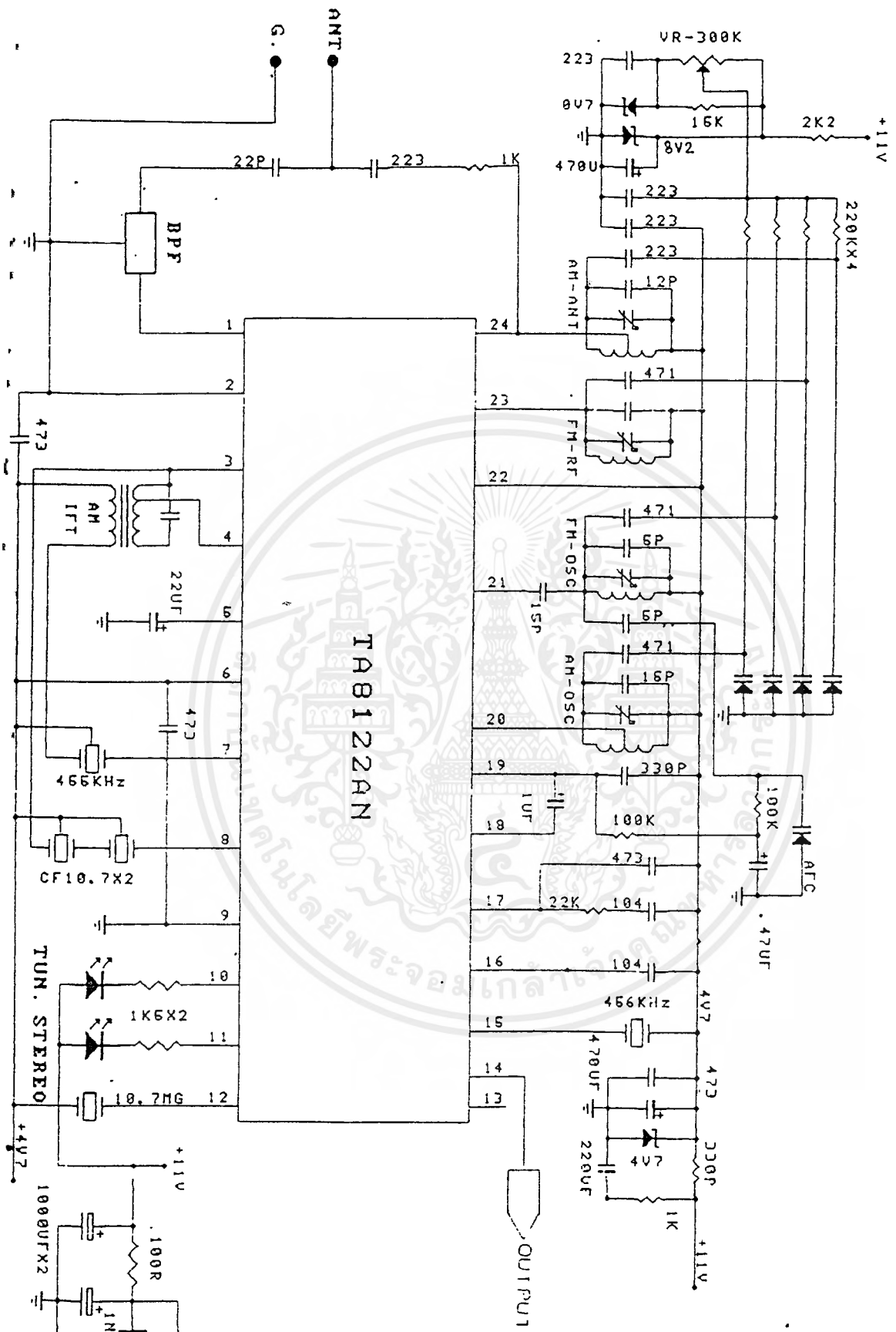
ข้อมูล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
อัตราขยายแรงดัน	$G_v$	40	$mV_{rms}$
แรงดันเอาต์พุต	$V_{od}$	60	$mV_{rms}$
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	S/N	44	dB
ความเพี้ยนรวม	THD	1.0	%
ความไวของสัญญาณไฟจูนนิ่ง	$V_L$	24	$^{\circ}C$
ความต้านทานที่ขา 19	$R_{19}$	FM=0.75 AM=12.5	$K\Omega$

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลในการรับในแบบเอเอ็ม

ข้อมูล	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันเอาต์พุต	$V_{od}$	80	$mV_{rms}$
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	S/N	70	$dB\mu$
ความเพี้ยนรวม	THD	0.4	%
ความไวของสัญญาณไฟจูนนิ่ง	$V_L$	48	$dB\mu$
ส่วนของข้อมูลทางมัลติเพล็กซ์	-	-	-
ความต้านทานทางอินพุต	$R_{in}$	24	$K\Omega$
ความต้านทานทางเอาต์พุต	$R_{out}$	5	$K\Omega$
แรงดันสัญญาณอินพุตรวม(สเตอริโอ)	$V_{in}$	350	$mV_{rms}$
ความเพี้ยนรวม(สเตอริโอ)	THD	0.2	%
อัตราขยายแรงดันมัลติเพล็กซ์	$G_v(MPX)$	-3	dB
อัตราการรบกวนข้ามช่อง	-	0	dB
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	S/N	70	dB

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลในการพันคอยล์ที่ต้องใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 FM Receiver Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9U-12V AC  
 1000uF x 2  
 1N4001  
 100R  
 22uF

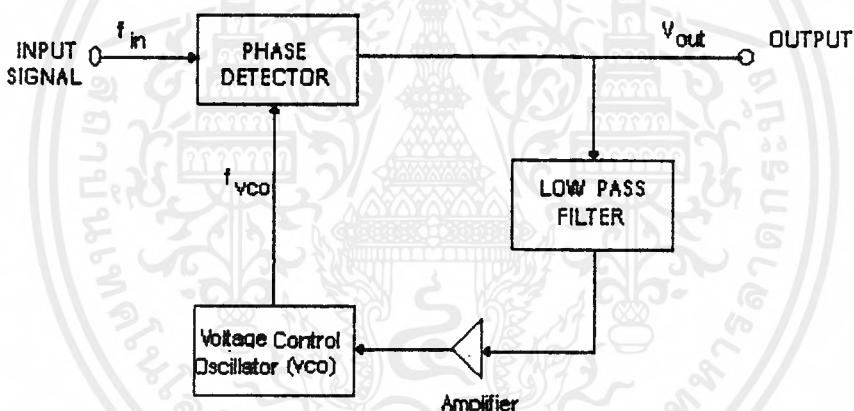
### 2.1.4 ภาค FSK Demodulation

ในการออกแบบ FSK Demodulation ได้นำเอาไอซี XR 2211 ซึ่งเป็นโมโนลิธิคเฟสล็อกกลูป โดยมีย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 0.01 Hz จนถึง 300 kHz

เฟสล็อกกลูปมีใช้งานมากในระบบการสื่อสารเนื่องมาจากเป็นไอซีที่มีราคาไม่แพง ตัวอย่างการ ใช้งานของเฟสล็อกกลูป ที่มีใช้งานเช่น

- AM และ FM Demodulator
- Frequency Shift Keying(FSK) Decoders
- Frequency Synthesizers
- Television Synchronize
- Motor Speed Controls

พื้นฐานของเฟสล็อกกลูปแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงพื้นฐานของเฟสล็อกกลูป

ตามรูปเฟสพื้นฐานประกอบด้วย

1. ภาคเปรียบเทียบเฟส (Phase Detector หรือ Phase Comparison)
2. ภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน (lowpass Filter)
3. ภาคขยาย (Amplifier)
4. ภาคกำเนิดความถี่ที่ควบคุมได้ด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator , VCO)

วงจรการทำงานนี้ เป็นแบบหนึ่งอินพุท และ หนึ่งเอาต์พุท และมีการนำเอาส่วนของเอาต์พุท บ้อนกลับมายังภาค Phase Detector จุดประสงค์ของเฟสล็อกคือ ทำให้แรงดันเอาต์พุท ( $V_{out}$ ) มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างทางเฟสระหว่าง VCO ( $f_{vco}$ ) กับสัญญาณทาง อินพุท(Signal) และจะให้  $f_{vco}$  มีค่าเท่ากับ  $f_{in}$

### 2.1.5 หน้าที่การทำงานของภาคต่าง ๆ

1. Phase Detector : ทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสระหว่างสัญญาณอินพุท กับสัญญาณที่ได้ จาก VCO และเอาต์พุท ที่ได้ออกมาจะเป็นแรงดัน DC ที่เป็นสัดส่วนที่สอดคล้องกับความต่างเฟสระหว่างสองสัญญาณ
2. Lowpass Filter : กรองเอาความถี่ที่เกินกว่าช่วงความถี่ (Frequency range) ออก และ อีกสิ่งหนึ่งคือทำให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ทางด้านอินพุทดีขึ้น
3. Amplifier : ขยายแรงดัน DC เพื่อเพิ่มความไวของเฟสล็อก
4. VCO (Voltage Controlled Oscillator) : เป็น Oscillator ซึ่งความถี่ทางด้านเอาต์พุท สามารถควบคุมโดยค่าของแรงดัน DC

### 2.1.6 สถานะการทำงานของเฟสล็อก

#### 1. Free-running

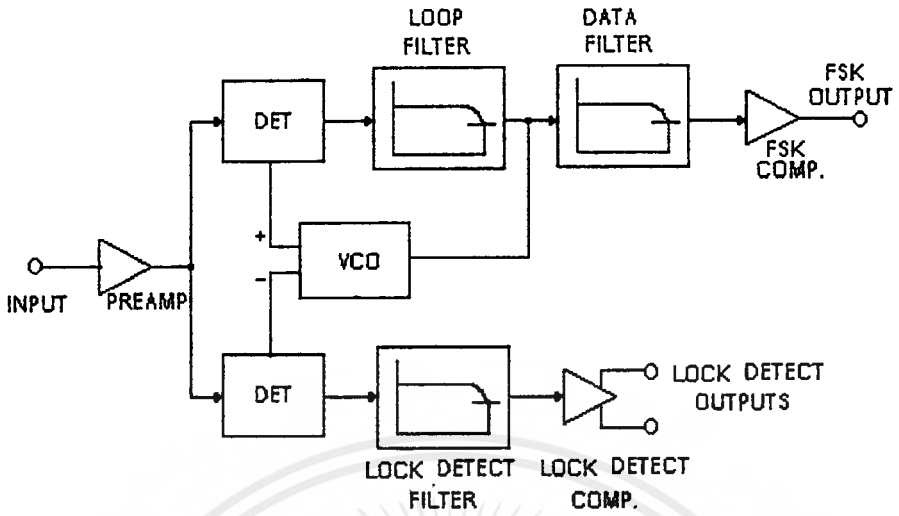
สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณที่รับเข้ามาแตกต่างไปจากสัญญาณที่ได้จาก VCO โดย Phase Detector จะให้ค่าแรงดัน DC ออกมา ซึ่งเรียกว่า Error Voltage บ้อนกลับให้ VCO และเป็นสาเหตุให้ความถี่ของ VCO เปลี่ยนแปลง

#### 2. Capture

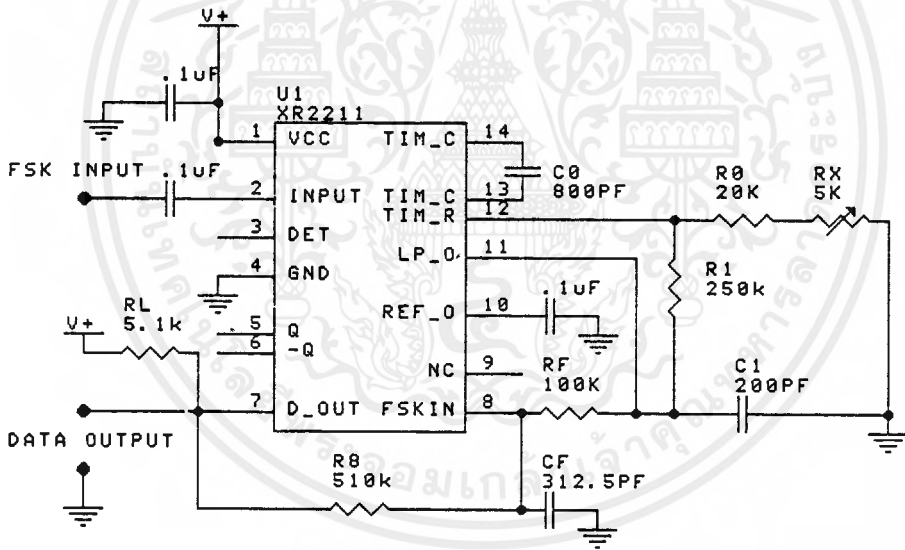
สถานะนี้เริ่มต้นเมื่อ VCO เริ่มเปลี่ยนแปลงความถี่ เพื่อลดความแตกต่างระหว่างความถี่ที่สร้างขึ้นโดย VCO และความถี่ที่รับเข้ามา

#### 3. Phase-Lock

เมื่อความถี่ของ VCO เหมือนกับความถี่ทางอินพุท จะเรียกว่า Phase Locked และสำหรับ โครงสร้างภายในไอซีเบอร์ XR 2211 สามารถประยุกต์วงจรเป็น FSK Demodulator ได้ดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ XR 2211 FSK Demodulator



รูปที่ 2.8 วงจรใช้งานจริง XR 2211 FSK Decoder

2.1.7 การออกแบบ FSK Demodulator โดยใช้ XR 2211

ข้อกำหนดในการออกแบบคือ

$$F_1 = 60 \text{ kHz}$$

$$F_2 = 65 \text{ kHz}$$

$$\text{Baud Rate} = 9,600 \text{ bps}$$

1. คำนวณหาความถี่กลาง (Center Frequency) ,fo

$$\begin{aligned} f_o &= (f_1+f_2) / 2 && \dots\dots\dots(2.3) \\ &= (60+65) / 2 \\ &= 62.5 \text{ kHz} \end{aligned}$$

2. ค่าที่ควรจะใช้สำหรับโหมมิ่งรีซิสเตอร์ ( $R_o$ ) ควรจะอยู่ในช่วง 10 kHz ถึง 100 kHz ในกรณีนี้เลือกใช้  $R_o = 20 \text{ kHz}$

3. คำนวณค่าของ  $C_o$  จาก

$$\begin{aligned} C_o &= 1 / R_o f_o && \dots\dots\dots(2.4) \\ &= 1 / (20 \times 10^3)(62.5 \times 10^3) \\ &= 800 \text{ pF} \end{aligned}$$

4. คำนวณค่า  $R_1$  โดย

$$\begin{aligned} R_1 &= R_o [f_o / (f_1 - f_2)] && \dots\dots\dots(2.5) \\ &= 20 \times 10^3 [62.5 / (65-60)] \\ &= 250 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

5. คำนวณค่า  $C_1$  โดยทั่ว ๆ ไปกำหนดให้ Damping factor ( $\zeta$ )=1 / 2

$$\begin{aligned} C_1 &= C_o / 4 \quad \text{สำหรับ } \zeta = 1 / 2 && \dots\dots\dots(2.6) \\ &= 800 / 4 \\ &= 200 \text{ pF} \end{aligned}$$

6. คำนวณค่า Filter Capacitance ,  $C_f$

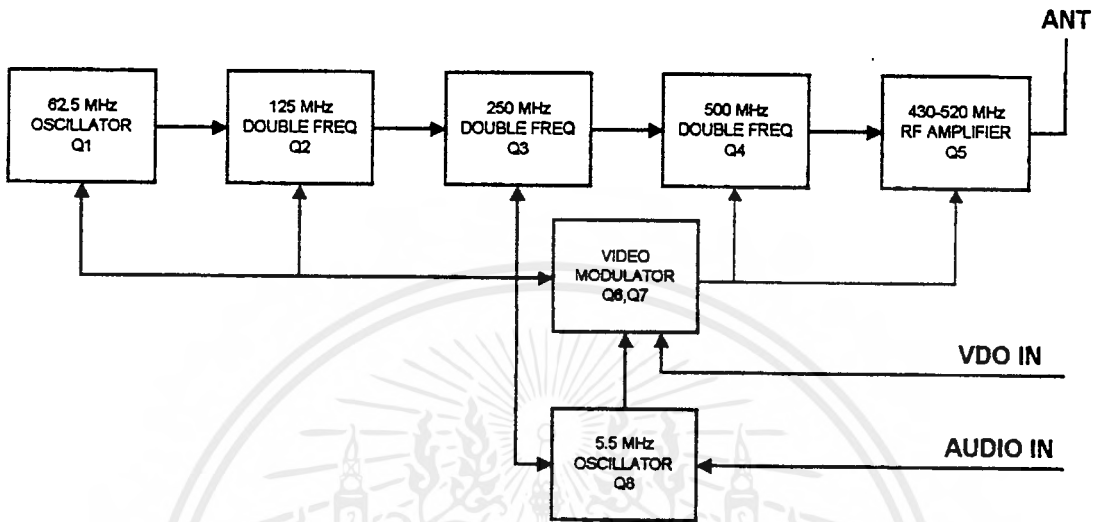
สำหรับ  $R_f = 100 \text{ k}\Omega$  ,  $R_g = 510 \text{ k}\Omega$

$$\begin{aligned} C_f &= 3 / \text{Baud Rate} \quad \mu\text{F} && \dots\dots\dots(2.7) \\ &= 3 / 9,600 \\ &= 312.5 \text{ pF} \end{aligned}$$

สัญญาณเอาต์พุทของไอซี XR2211 นั้นจะได้ออกมาเป็นระดับลอจิก "0" หรือ "1" ตามที่ทางเครื่องส่งได้ส่งมาให้ และระดับของสัญญาณนี้ จะมีค่าอยู่ในระดับของสัญญาณดิจิตอลมาตรฐานแล้ว นั่นคือ 0V สำหรับลอจิก "0" และ 5V สำหรับลอจิก "1"

## 2.2 เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ UHF

การทำงานของวงจร ได้แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.9 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกในระบบ UHF (Ultra high frequency)



รูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงออกในระบบ UHF

ส่วนประกอบของวงจรจะถูกจัดแบ่งเป็นบล็อก เพื่อแยกการทำงานของแต่ละส่วนออกอย่างเห็นได้ชัดเจนและรวมไปถึงการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานจริงต่อไปด้วย จากรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยออสซิลเลเตอร์ความถี่ 62.5 MHz ทำหน้าที่โดยทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตขึ้นนี้จะถูกนำไปทำการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นด้วยภาคทวีคูณความถี่เป็นสองเท่า (Frequency double circuit) ประกอบด้วย  $Q_2$ - $Q_4$  ซึ่งจะทำการเพิ่มความถี่ขึ้นเป็นสองเท่าจากความถี่ที่ได้ในแต่ละบล็อก

ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะถูกทวีคูณความถี่ขึ้นมาจนมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 430-520 MHz จะถูกใช้ เป็นความถี่คลื่นพาหะของสัญญาณภาพ (Video carrier frequency) ในย่านความถี่ยูเอชเอฟของระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบ PAL บล็อกของภาคออสซิลเลเตอร์อีกบล็อกหนึ่งคือภาคออสซิลเลเตอร์ความถี่ 5.5 MHz เป็นความถี่คลื่นพาหะของเสียง (Sound carrier) ในบล็อกนี้จะรวมเอาสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ 5.5 MHz ก่อน เอาท์พุทของบล็อกนี้จะส่งไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณภาพ ที่ภาควิดีโอโมดูเลเตอร์ประกอบด้วย  $Q_6$  และ  $Q_7$

การกระจายสัญญาณออกสู่อากาศจะทำให้ภาคขยายความถี่วิทยุ (Radio frequency amplifier, RF Amp) ประกอบด้วย  $Q_5$  จะทำการมอดูเลตสัญญาณจาก  $Q_6$  และ  $Q_7$  เข้ากับคลื่นพาหะ

ความถี่วิทยุ เพื่อขยายสัญญาณและส่งกระจายสัญญาณออกอากาศ การมอดูเลตสัญญาณในภาคขยายความถี่วิทยุ นั้นจะมอดูเลตสัญญาณแบบเอเอ็ม (amplitude modulate , AM)

### การทำงานของวงจร

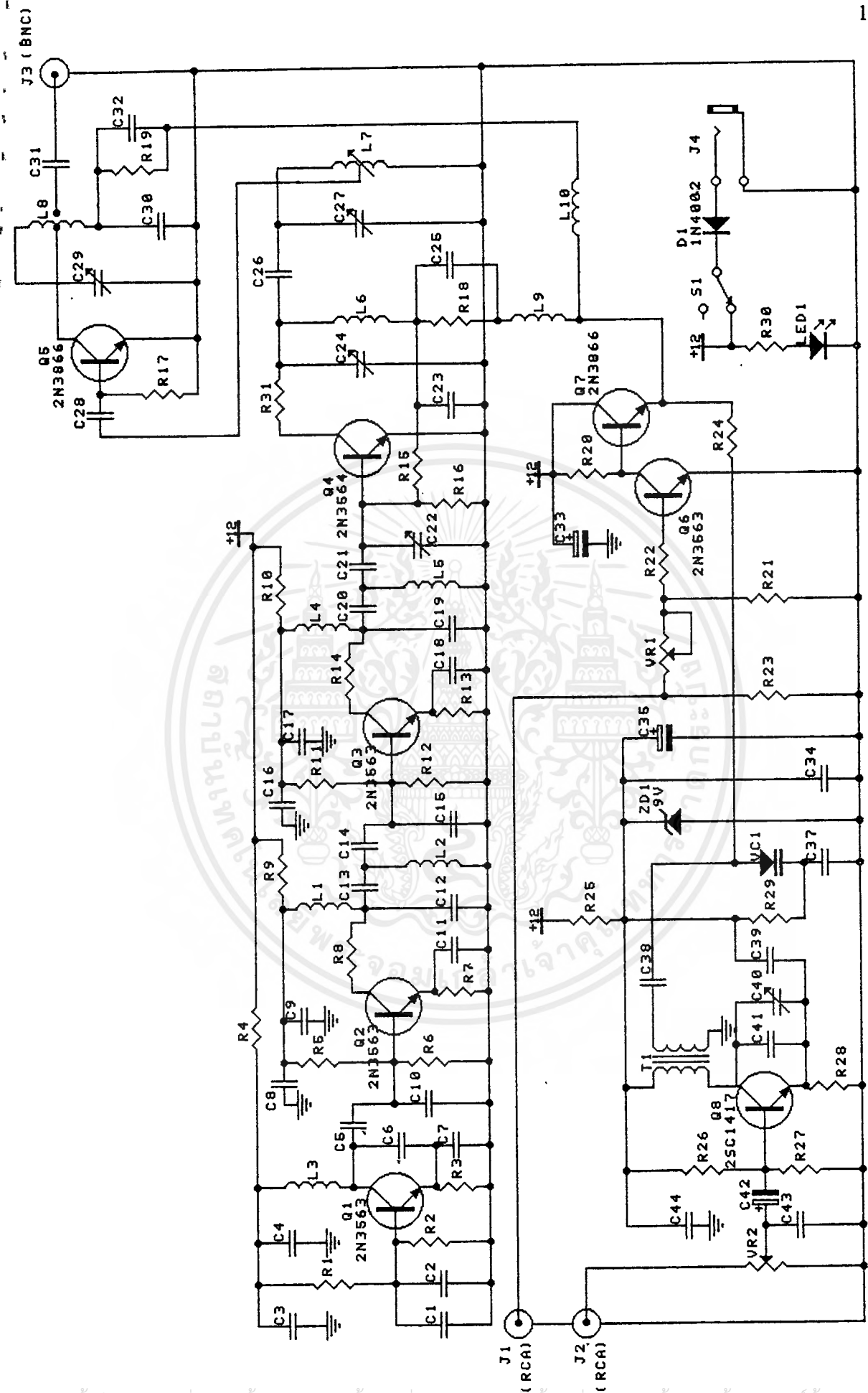
วงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุไอทีสมบูรณในรูปที่ 2.10 การทำงานก็จะจัดเรียงส่วนประกอบของวงจรดังแสดงการจัดแบ่งตามบล็อกไดอะแกรม เริ่มจากทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ถูกจัดวงจรในลักษณะ common base เพื่อทำหน้าที่กำเนิดความถี่ออสซิลเลเตอร์ร่วมกับ  $C_1, C_2, C_6$  และ  $L_3$  ประกอบเป็นวงจรจูนเพื่อผลิตความถี่ให้ได้เท่ากับ 62.5 MHz โดยมี  $R_1, R_2$  และ  $R_3$  เป็นตัวต้านทานไบอัสให้กับ  $Q_1$  ความสามารถที่จะทำการขยายความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้มีประสิทธิภาพพอนั้น ก็อาศัยอัตราส่วนการขยายแรงดันระหว่าง  $C_6$  กับ  $C_7$  ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการขยายของ  $Q_1$  ทางขาคอลเลคเตอร์มีมากกว่าหนึ่ง

ตัวเก็บประจุ  $C_5$  และ  $C_{10}$  ก็ประกอบเป็นวงจรจูนเช่นเดียวกัน นอกจากจะคัปปลิงวงจรด้านความถี่แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (voltage divider) เพื่อจ่ายให้กับขาเบสของ  $Q_2$  มีขนาดแรงดันประมาณ 1 โวลต์ ของสัญญาณความถี่จากขาคอลเลคเตอร์  $Q_1$  ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณเกินขอบเขต (overdrive amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางด้านอินพุตออกมาให้มีความถี่เกิดขึ้น และนั่นก็คือการทำให้เกิดความถี่ฮาร์โมนิกของสัญญาณอินพุต ขึ้นอย่างมากมาย แต่สำหรับในตอนนี้ต้องการเพียงความถี่ฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณอินพุตเท่านั้น ซึ่งจะมีความถี่เป็นสองเท่า

$L_1$  และ  $C_{12}$  ทำหน้าที่เป็นวงจรจูน เพื่อจูนให้ความถี่ที่ออกมาทางขาคอลเลคเตอร์ของ  $Q_2$  มีค่าความถี่เท่ากับ 125 MHz ที่ขาเบส  $Q_2$  จะสังเกตเห็นตัวเก็บประจุ  $C_{10}$  ต่อในลักษณะรีโซแนนซ์แบบอนุกรม (series resonance) ที่ความมูลฐาน โดยมีตัวเก็บประจุ  $C_{10}$  นี้จะจ่ายกระแสให้กับขาเบส  $Q_2$  เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขยายสัญญาณความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้สูงขึ้น

$C_{13}, C_{14}, C_{15}$  และตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  ประกอบกันเป็นวงจรจูนสองชั้น (double tune) ทำหน้าที่กรองความถี่ฮาร์โมนิกที่สูงกว่าฮาร์โมนิกที่สองออกไป ในส่วนนี้ความถี่มูลฐานเท่ากับ 62.5 MHz

ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  ทำหน้าที่เหมือนกับ  $Q_2$  ทุกประการคือขยายสัญญาณเกินขอบเขต ต่างกันที่ค่าความถี่รีโซแนนซ์ของวงจรจูนทางด้านอินพุตขาเบสของ  $Q_3$  นั้น จะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ 125 MHz ซึ่งเอาท์พุทฮาร์โมนิกที่สองของ  $Q_3$  จะมีความถี่ประมาณ 250 MHz โดยมี  $C_{19}$  และ  $L_4$  ทำหน้าที่เป็นวงจรจูนในขณะที่  $C_{20}, C_{21}, C_{22}$  และ  $L_5$  ทำหน้าที่กรองความถี่ฮาร์โมนิกที่สูงกว่า ความถี่ 250 MHz ออกไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.10 แสดงวงจรระบบการส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกในระบบ UHF

ทรานซิสเตอร์  $Q_4$  ก็ทำหน้าที่เป็นวงจรมอดูเลเตอร์เช่นเดียวกับ  $Q_3$  โดยมี  $C_{21}$  และ  $C_{22}$  เป็นชุดแบ่งแรงดันไบอัสให้กับ  $Q_4$  วงจรมอดูเลเตอร์ประกอบด้วย  $C_{24}$  และ  $L_6$  ในส่วนของวงจรมอดูเลเตอร์  $Q_4$  จะสังเกตเห็นว่าที่ขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_4$  ไม่มีตัวเก็บประจุหรือตัวต้านทานบายพาสเลย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเป็นเรื่องยากที่จะหาค่าตัวความต้านทานหรือตัวเก็บประจุบายพาส มาไบอัสให้กับขาอิมิตเตอร์ที่ใช้ในงานในย่านที่สูงประมาณ 430-520 MHz และที่ความถี่สูงๆ นั้นค่าความต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ควรมีค่าน้อยมาก เพราะมันมีผลต่ออัตราขยายกำลังของ  $Q_4$  ถ้าหากค่าความต้านทานมาก จะทำให้อัตราขยาย  $Q_4$  ลดลง ดังนั้นทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุดคือต่อขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_4$  ลงกราวด์แทน

ภาคขยายความถี่วิทยุออกสายอากาศ ประกอบด้วย  $Q_5$  ทำหน้าที่ขยายกำลังโดยมี  $Q_4$  เป็นตัวขับและทำหน้าที่เป็นวงจรมอดูเลเตอร์ให้กับ  $Q_5$  ไปในตัวด้วยวงจรมอดูเลเตอร์ประกอบด้วย  $C_{24}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{27}$  และ  $L_6$ ,  $L_7$  ทรานซิสเตอร์  $Q_4$ ,  $Q_5$  จะสามารถทำงานได้ก็ต่อเมื่ออาศัยแรงดันที่ผ่านทางสวิตช์ทำงานจากทรานซิสเตอร์  $Q_7$  ซึ่งจะผ่านแรงดัน +4.5-6.5 โวลต์ผ่าน  $L_9$  และ  $L_{10}$  ไปไบอัสให้กับ  $Q_4$ ,  $Q_5$  โดยในขณะที่ไม่มีสัญญาณเสียงและสัญญาณวิดีโอป้อนเข้ามาที่อินพุทของวงจร จะทำให้ที่ขา อิมิตเตอร์ของ  $Q_7$  ที่แรงดันตกคร่อมอยู่ที่ประมาณ +4.5-6.5 โวลต์ซึ่งเป็นแรงดันจุดทำงานของ  $Q_7$  ขณะทำงานปกติ

ทรานซิสเตอร์  $Q_7$  ทำหน้าที่เป็นภาคมอดูเลเตอร์สัญญาณภาพด้วย โดยมีทรานซิสเตอร์  $Q_6$  เป็นตัวขยายสัญญาณก่อน และอัตราขยายสัญญาณก็กำหนดได้ที่  $Q_6$  ซึ่งมีค่าประมาณ 8 เท่า มีแบนด์วิดธ์มากกว่า 10 MHz สามารถขับโหลดได้เต็มที่  $75 \Omega$  ที่ระดับความแรง 10 Vp-p สัญญาณภาพที่เข้ามาทางอินพุทไม่ว่ามาจากกล้องถ่ายวิดีโอหรือจากเครื่องเล่นวิดีโอ จะถูกขับปลั่งโดยตรงมาเข้าสู่จุดต่อ  $R_{22}$ ,  $R_{21}$  โดยผ่าน  $VR_1$  เป็นตัวปรับอัตราขยายภาพ ตัวต้านทาน  $R_{24}$  เป็นตัวช่วยในการกำหนดอัตราขยายและกำหนดจุดทำงานของ  $Q_6$  ส่วนตัวต้านทาน  $R_{23}$  เป็นตัวรักษาระดับความต้านทานทางอินพุทให้มีค่าเท่ากับ  $75 \Omega$

ส่วนการมอดูเลตสัญญาณเสียงทำงานโดย  $Q_8$  จะต่อวงจรร่วมกับ  $C_{37}$ ,  $C_{41}$ ,  $R_{29}$ ,  $VC_1$  และ  $T_1$  ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการกำเนิดความถี่ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเป็นคลื่นพาห้ของเสียงความถี่ 5.5 MHz โดยมีลักษณะการทำงานในแบบควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (voltage control oscillator, VCO) มีตัวต้านทาน  $R_{26}$ ,  $R_{27}$ ,  $R_{28}$  เป็นตัวไบอัสให้  $Q_8$  ชุดตัวเก็บประจุจูนความถี่  $C_{40}$  ใช้ปรับความถี่ออสซิลเลเตอร์ให้มีความถี่แน่นอน ขณะเดียวกัน  $Q_8$  ก็ทำหน้าที่เป็นตัวออสซิลเลเตอร์ของสัญญาณเสียงด้วย เมื่อมีความถี่เสียงเข้ามาทางอินพุท มี  $VR_2$  เป็นตัวปรับระดับแรงดันของสัญญาณ สัญญาณที่ถูกขยายด้วย  $Q_8$  จะทำให้วาริแคป  $VC_1$  เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุตามสัญญาณความถี่เสียง



ทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการมอดูเลตแบบ เอฟเอ็ม (frequency modulator, FM)

วาริแคป VC<sub>1</sub> จะถูกไบอัสด้วยความดัน +9 โวลท์ ซึ่งได้จากซินเนอริไดโอด ZD<sub>1</sub> ,ตัวต้านทาน R<sub>25</sub> , R<sub>29</sub> แรงแดันนี้ยังใช้เป็นแรงดันไบอัสแก่ Q<sub>8</sub> ด้วย สัญญาณคลื่นพาหะของเสียงจะไปรวมตัวกับ สัญญาณภาพที่ขาเบสของ Q<sub>6</sub>

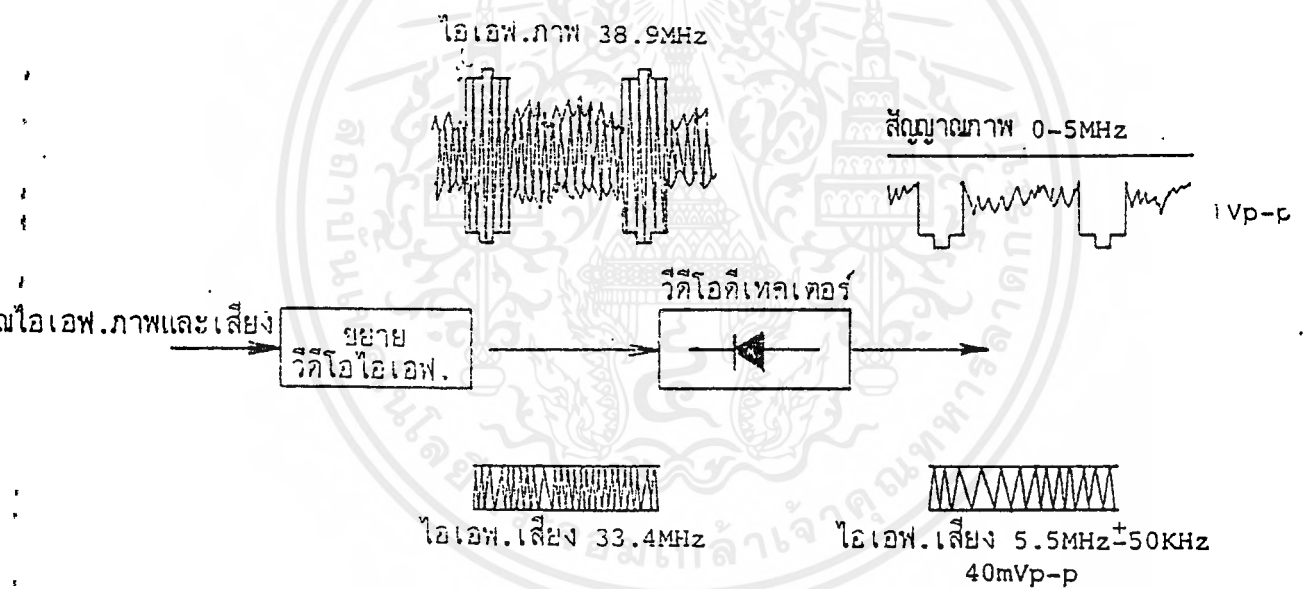
การรักษาเสถียรภาพของแบนด์วิดท์ของสัญญาณภาพ ทำได้โดยการต่อตัวกับประจุน้อยๆ ครอบมตัวต้านทาน R<sub>24</sub> เพื่อรักษาค่าความต้านทาน เมื่อความถี่สัญญาณภาพสูงๆ จะทำให้ความต้านทานของตัวเก็บประจุนั้นค่าเท่ากับค่าความต้านทาน R<sub>24</sub>

### 2.3 วงจรวิดีโอเทคเตอร์ (VIDEO DETECTOR CIRCUIT)

วงจรวิดีโอเทคเตอร์ คือวงจรเอเอ็ม.ดีเทคเตอร์ (AM. DETECTOR) ที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณ ภาพออกจากสัญญาณความถี่ปานกลางภาพ (VIDEO IF. SIGNAL) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าสัญญาณไอเอฟ ภาพ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผสมกันอยู่ระหว่างสัญญาณภาพ (VIDEO SIGNAL) กับคลื่นพาหะที่ถูก เปลี่ยนความถี่ให้เป็นความถี่ปานกลางแล้วในแบบเอ.เอ็ม. ลักษณะการทำงานจะเหมือนกับวงจรเทค เตอร์ของเครื่องรับวิทยุเอ.เอ็ม. นั่นเอง คือใช้ไดโอดซึ่งอาจจะเป็นหลอดไดโอดในเครื่องรับโทรทัศน์แบบ ใช้หลอด และใช้เจอร์มาเนียมไดโอดหรือทรานซิสเตอร์ในเครื่องรับโทรทัศน์แบบใช้ทรานซิสเตอร์หรือไอ ซี มาเป็นตัวตัดส่วนของสัญญาณไอเอฟ.ภาพเฉพาะช่วงลบออกมาทางเอาต์พุท จากนั้นจะกรองเอา คลื่นพาหะลงกราวด์เหลือแต่เพียงสัญญาณภาพช่วงลบ ซึ่งมีความแรงแมตราฐาน 1 โวลต์พีคทูพีค (1 Vp-p) เท่านั้นปรากฏที่ด้านเอาต์พุท ที่วงจรนี้จะต้องมีระดับขดเชยความถี่สูงของสัญญาณภาพเพื่อ หารายละเอียดของภาพส่วนที่เล็ก(ส่วนที่เกิดจากความถี่สูง) มีความชัดเจนเท่ากับส่วนอื่นๆ เพื่อให้ หารายละเอียดเฉลี่ยของภาพมีความชัดเจนเท่ากัน โดยการใช้วงจรขดเชยความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วยขด ลวดและขดลวดที่ต่อขนานกับตัวต้านทาน ซึ่งเรียกว่าฟีดกิ้งคอยล์ มาต่อไว้ทางด้านเอาต์พุท

สัญญาณอินพุทที่ป้อนให้กับวงจรวิดีโอเทคเตอร์นั้น คือสัญญาณไอเอฟ.ภาพและเสียง ที่ได้ มาจากวงจรขยายวิดีโอเอฟ. โดยความแรงของสัญญาณไอเอฟ.ภาพจะมีค่าประมาณ 2 โวลต์พีคทู พีค (2Vp-p) และสัญญาณเสียงจะมีความแรงแมตราฐาน 1/5 เท่าของสัญญาณภาพคือประมาณ 400 มิลลิ โวลต์พีคทูพีค (400 mVp-p) ในเครื่องรับโทรทัศน์แบบอินเตอร์แคเรียซาวด์ สัญญาณไอเอฟ.ภาพและ เสียงจะถูกขยายผ่านมาทางวงจรขยายวิดีโอเอฟ.ร่วมกันแล้วจึงส่งเข้าวงจรวิดีโอเทคเตอร์โดย สัญญาณภาพซึ่งเป็นสัญญาณเอเอ็มเท่านั้นจะถูกแยกออกมาโดยเปลี่ยนจากสัญญาณไอเอฟ.ความถี่

38.9 MHz มาเป็นสัญญาณความถี่ระหว่าง 25Hz-5MHz (มาตรฐาน CCIR.) ส่วนสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผสมมาในแบบ FM จะไม่ถูกแยกที่วงจรนี้ แต่ผลจากการบีบกันระหว่างสัญญาณเสียงและภาพ ( $38.9 \text{ MHz} - 33.4 \text{ MHz} = 5.5 \text{ MHz}$ ) จะทำให้ความถี่ของสัญญาณไอเอฟ.ของสัญญาณภาพเปลี่ยนจาก 33.4 MHz เป็นความถี่ 5.5 MHz ซึ่งเรียกว่าสัญญาณไอเอฟ.เสียง 5.5 MHz ซึ่งสัญญาณนี้ภายหลังจากขยายอีกครั้งหนึ่งโดยวงจรขยายสัญญาณภาพภาคที่ 1 (1<sup>st</sup> VIDEO AMPLIFIER CIRCUIT) แล้วจึงแยกเข้าไปภาคเสียงส่วนสัญญาณภาพช่วงลบที่ได้ออกมานั้นเนื่องจากมีความแรงเพียง 1Vp-p ซึ่งไม่พอที่จะไปป้อนเป็นไบอัสให้กับหลอดภาพ เพื่อสร้างภาพให้ปรากฏที่หน้าจอได้ ดังนั้นจึงต้องส่งให้ภาคขยายสัญญาณภาพ (VIDEO AMPLIFIER SECTION) ทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงเพียงพอเสียก่อน ซึ่งความแรงของสัญญาณภาพที่หลอดภาพต้องการนั้นจะอยู่ในระหว่างประมาณ 50-100 โวลต์พีคทูพีค (1 Vp-p) แล้วแต่ขนาดของจอภาพ



รูปที่ 2.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมวีดีโอดีเทคเตอร์

#### 2.4 มาตรฐาน RS 232

พอร์ต RS 232 ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS 232C ก็เนื่องจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกาหรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้ชื่อว่า RS232C ความจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์คือ RS232C

หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสคือ

### รับสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณเข้ามาแบบอนุกรมมาให้เป็นแบบขนาน
2. ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับ
3. ตัด Stop bit และ Priority bit ออก
4. ส่งสัญญาณให้ซีพียูรู้ว่ารับสัญญาณไว้แล้ว

### ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูค่อยทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่ม Stop bit และ Priority bit
3. เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่ต่อเชื่อม (ถ้ามี)

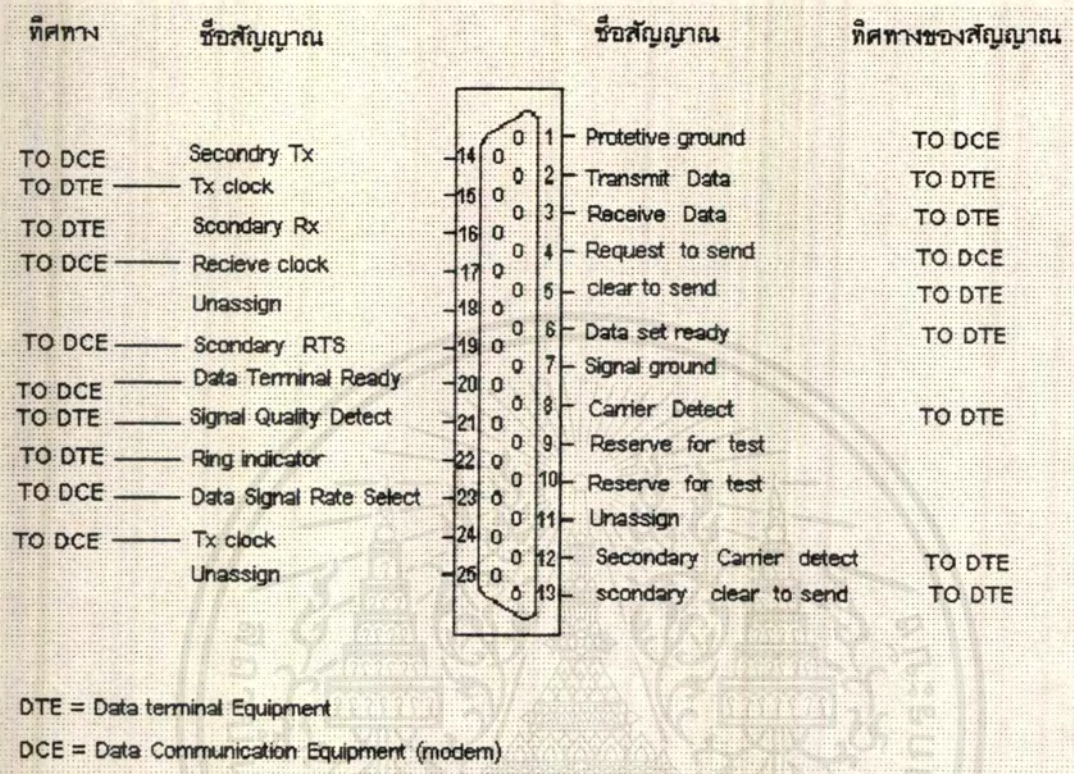
ข้อเสนองของ RS-232 ได้กำหนดการอินเทอร์เฟสทั้งทางลอจิกและทางกายภาพระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์กับโมเด็ม โดยพื้นฐานแล้วจำเป็นต้องมีการอินเทอร์เฟส 2 ชุด เพื่อให้ได้การสื่อสารแบบดิจิทัลที่สมบูรณ์ ระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง และ/หรือเครื่องเทอร์มินัล การอินเทอร์เฟสชุดแรกคือพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องเทอร์มินัลจะเป็นการอินเทอร์เฟสทั้งทางลอจิกและทางกายภาพกับโมเด็ม และประกอบด้วยสายนำสัญญาณหลายๆ เส้น สำหรับควบคุม , ส่งและรับข้อมูล และเป็นตัวกำหนดจังหวะเวลา กล่าวโดยสรุปก็คือการอินเทอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็มจะมีมาตรฐานอยู่ชุดหนึ่ง และเรียกว่าการอินเทอร์เฟสแบบ EIA RS-232 การอินเทอร์เฟสชุดที่สองจะเชื่อมต่อโมเด็มเข้ากับช่องทางการสื่อสาร(สายโทรศัพท์ ,เส้นใยนำแสง ,ดาวเทียม และอื่นๆ) สำหรับผู้ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่แล้ว ช่องทางการสื่อสารนี้ก็คื สาย 2 เส้นของโทรศัพท์แบบอะนาล็อก วงจร RS-232 ส่วนมากไม่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องเทอร์มินัล 2 เครื่องหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องโดยตรง ซึ่งตารางที่ 2.4 และ 2.5 ได้บรรยาย ถึงจุดประสงค์ของข้อต่อในการอินเทอร์เฟสข้อมูลโดยใช้มาตรฐาน RS-232 ที่พบได้บ่อยที่สุด

หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Protective Ground
2	Transmitted Data
3	Received Data
4	Request Data
5	Clear To Send
6	Data Set Ready
7	Signal Common
8	Received Line Signal Defect
9	Reserved For Testing
10	Reserved For Testing
11	Unassigned
12	Secondary Received Line Signal Defect
13	Secondary Clear To Send
14	Secondary Transmitted Data
15	Transmission Signal Element Timing
16	Secondary Received Data
17	Received Signal Element Timing
18	Unassigned
19	Secondary Request To Send
20	Data Terminal Ready
21	Signal Quality Detector
22	Ring Indicator
23	Data Signal Late Detector
24	Transmitter Signal Element Timing
25	Unassigned

ตารางที่ 2.4 แสดงรายละเอียดสำหรับการอินเทอร์เฟซ RS-232 โดยใช้คอนเนกเตอร์แบบ DB25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานของ RS 232 กำหนดขั้วต่อแบบ DB-25 แต่ละขาของขั้วต่อกำหนดไว้ดังในรูป



รูปที่ 2.12 การกำหนดของขั้วต่อ RS-232

หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Protective Ground
2	Transmitted Data
3	Received Data
4	Request To Send
5	Clear To Send
6	Data Set Ready
7	Signal Common
8	Data Carrier Detect

ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของขาสัญญาณที่ต่อจาก DTE ไปยัง DCE โดยใช้ DB-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขขาสัญญาน	ชื่อของสายสัญญาณ
20	Data Terminal Ready
22	Ring Indicator
23	Data Signal Rate Detector

ตารางที่ 2.5(ต่อ) แสดงรายละเอียดของขาสัญญานที่ต่อจาก DTE ไปยัง DCE โดยใช้ DB-25

#### 2.4.1 ลักษณะวงจรของ RS-232

จากตารางที่ 2.5 จะแสดงสายสัญญาณเพียง 11 เส้น จาก 25 เส้น ที่เป็นไปได้ของระบบ RS-232 ที่ต้องการใช้ในการทำการสื่อสารระหว่าง DTE ไปยัง DCE ให้สมบูรณ์ส่วนมากสามารถละทิ้งสายวงจรตัวตรวจจับอัตราสัญญาณข้อมูล (Data Signal Rate Detector) และสายวงจร กราวด์ (protective Ground) ออกไปได้ทำให้เหลือสายสัญญาณที่ต้องต่อเพียง 9 เส้น

RS-232 เป็นข้อกำหนดการอินเทอร์เฟซมาตรฐาน และสามารถใช้เพื่อจุดประสงค์อื่นๆ ต่างๆกันไปเช่น การสื่อสารแบบซิงโครนัส (synchronous communication) และรูปแบบการสื่อสารที่ต้องการสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณกำหนดจังหวะเวลาเพิ่มเติมขึ้นมา ในความเป็นจริงแล้วสามารถทำให้มีการสนทนากันจาก DTE ไปยัง DCE โดยใช้สายเพียง 3 เส้นจากจำนวน 11 เส้นที่แสดงในตารางที่ 2.5 ถ้าอุปกรณ์ DTE และ DCE ใช้ซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้นตามความต้องการของลูกค้า (custom written software) ก็จะใช้เพียงสาย TD, RD และสายกราวด์สัญญาณเท่านั้นในการย้ายข้อมูลไปตามสายตัวนำ 3 เส้นนี้

ต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดของขาสัญญาน 11 ขา ที่นำไปใช้งาน

ขา 1 (Protective Ground Circuit , AA) ขานี้จะต่อเข้ากับตัวถังของอุปกรณ์ และสามารถต่อเข้ากับกราวด์ภายนอกถ้าอุปกรณ์อื่นๆ จะต้องใช้ขานี้

ขา 2 (Transmitted Data Circuit BA , TD ) เป็นขาสัญญารข้อมูลที่ออกมาจากอุปกรณ์ DTE กระแสบิตข้อมูลอนุกรมจากขานี้ คือข้อมูลที่จะถูกถ่ายทอดไปโดยโมเด็มหรือถูกถอดรหัสโดยอุปกรณ์ DCE ที่มี

ขา 3 (Received Data Circuit BB ,RD ) สัญญาณที่ขานี้จะถูกสร้างจากอุปกรณ์ DCE กระแสบิตข้อมูลอนุกรมนี้จะเกิดขึ้นที่อุปกรณ์ DTE ปลายทาง และเป็นผลผลิตของวงจรรับข้อมูลทาง อุปกรณ์ DCE สัญญาณนี้มักจะเป็นข้อมูลดิจิทัลที่ถูกสร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ DCE ที่มีความฉลาดหรือ จากวงจรถอดสัญญาณ (demodulation) ของโมเด็ม

ขา 4 (Request to send Circuit CA ,RTS ) สัญญาณนี้จะเตรียมพร้อมอุปกรณ์ DCE สำหรับการทำการส่งข้อมูล เมื่อสัญญาณ RTS นี้อยู่ในสถานะ " ON " จะทำให้อุปกรณ์ DCE อยู่ในโหมดส่งข้อมูล (transmit mode) ในขณะที่สัญญาณนี้อยู่ในสถานะ " OFF " จะทำให้อุปกรณ์ DCE อยู่ในโหมดรับข้อมูล(receive mode) อุปกรณ์ DCE ควรจะตอบสนองต่อสัญญาณ RTS ON โดยการทำให้ สัญญาณ Clear to Send (CTS) อยู่ในสถานะ " ON " ด้วยเมื่อสัญญาณ RTS อยู่ในสถานะ " OFF " สัญญาณนี้ไม่ควรจะ " ON " ขึ้นอีกจนกว่าสัญญาณ CTS จะอยู่ในสถานะ"OFF" เสียก่อน สัญญาณนี้ จะถูกใช้ร่วมกับสัญญาณ DTR,DSR และDCD ขาสัญญาณ RTS จะถูกใช้อย่างมากในการควบคุม การไหลของข้อมูล

ขา 5 (Clear To Send Circuit CB , CTS) สัญญาณนี้จะตอบรับกลับไปยังอุปกรณ์ DTE เมื่อ ได้รับสัญญาณ RTS และข้อมูลสามารถส่งออกไปได้ ข้อมูลจะถูกส่งออกไปตามตัวกลางที่ใช้สื่อสารได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณ CTS นี้อยู่ในสถานะ " ON " เท่านั้น สัญญาณนี้จะใช้ร่วมกับขา DTR,DSR และDCD ขาสัญญาณ CTS นี้จะใช้ร่วมกับขา RTS สำหรับควบคุมการไหลของข้อมูล

ขา 6 (Data Set Ready Circuit CC , DSR ) สัญญาณ DSR จะบอกต่ออุปกรณ์ DTE ว่า อุปกรณ์ DCE ได้ต่อกับตัวกลางการสื่อสารที่ถูกต้องแล้ว และในบางกรณีจะบ่งชี้ว่าสายโทรศัพท์อยู่ในสถานะ"OFF HOOK " สภาวะ " OFF HOOK " นี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าอุปกรณ์ DCE กำลังอยู่ในโหมด dialing หรือกำลังติดต่อกับอุปกรณ์ DCE อีกตัวหนึ่งอยู่ เมื่อสัญญาณ DSR นี้อยู่ในสถานะ" OFF " อุปกรณ์ DTE ก็ควรจะถูกกำหนดให้ไม่สนใจสัญญาณอื่นๆ ทั้งหมดจากอุปกรณ์ DCE ถ้าสัญญาณนี้ ถูกทำให้อยู่ในสถานะ" OFF " ก่อนอุปกรณ์ DTR แล้วอุปกรณ์ DTE ก็สรุปว่าการสื่อสารกันนั้นสิ้นสุด ลง

ขา 7 (Signal common Circuit , AB) สายตัวนี้จะให้สัญญาณอ้างอิงของกราวด์ร่วมกัน สำหรับวงจรการแลกเปลี่ยนข้อมูลทั้งหมด ยกเว้นวงจร AA หรือ protective ground ข้อกำหนด RS-232B จะอนุญาตให้วงจรนี้ถูกต่อเพิ่มเติมเข้ากับ potective ground ภายในอุปกรณ์ DCE ได้ถ้าจำเป็น

ขา 8 (Data Carrier Detect Circuit CF , DCD) ขานี้รู้จักกันในนาม Received Line Signal Detect (RLSD) หรือขา Carrier Detect (CD) สัญญาณนี้จะแอกทีฟ เมื่อสัญญาณพาหะที่เหมาะสมระหว่างอุปกรณ์ DCE ที่สถานีกับที่อยู่ในระยะไกลเมื่อสัญญาณนี้อยู่ในสภาวะ " OFF " สัญญาณที่ขา RD ควรจะถูกทำให้ค้างอยู่ในสภาวะ " Mark " (สถานะ " 1 " ในเลขฐานสอง )

ขา 20 (Data Terminal Ready Circuit CD , DTR ) สัญญาณ DTR ถูกใช้ในการควบคุมการสวิตช์อุปกรณ์ DCE เข้ากับตัวกลางในการสื่อสาร DTR ON บ่งชี้ว่าอุปกรณ์ DCE ที่กำลังต่อเชื่อมกันอยู่ ก็ยังคงต่อเชื่อมกัน และถ้าไม่มีการต่อเชื่อมกันก็สามารถทำการต่อเชื่อมกันครั้งใหม่ได้ ปกติแล้วสัญญาณ DTR จะอยู่ในสภาวะ " OFF " เพื่อกระตุ้นให้เกิดภาวะ ON HOOK (วางสาย)(hang up) อุปกรณ์ DCE โดยปกติแล้วจะตอบสนองต่อการกระตุ้นจากสัญญาณ DTR โดยการทำให้สัญญาณ DSR แอกทีฟ

ขา 22 (Ring Indicator Circuit CE , RI )สภาวะ " ON " ของสัญญาณนี้จะบ่งชี้ว่าสัญญาณได้รับสัญญาณเรียกสายโทรศัพท์จากตัวกลางในการสื่อสาร (สายโทรศัพท์) ปกติแล้วจะขึ้นอยู่กับโปรแกรมควบคุม ในการที่จะทำให้เกิดสัญญาณนี้ขึ้นหรือไม่

ขา 23 (Data Signal Rate Detector Circuit CH/CI , DSRD ) วงจร CH เป็นส่วนประกอบของ DTE และวงจร CI เป็นส่วนประกอบของ DCE สัญญาณที่ขานี้ถูกใช้ในการเลือกค่าอัตราการส่งสัญญาณข้อมูลค่าใดค่าหนึ่งในสองค่า ในกรณีที่ใช้โมเด็มที่มีการใช้อัตราการส่งข้อมูลได้ 2 ค่า(dual-rate modems) ถ้าสัญญาณที่ขานี้เป็น " ON " ก็จะเป็นการเลือกอัตราการส่งข้อมูลที่มีค่าสูงที่สุดใน 2 ค่านั้น

#### 2.4.2 ขั้นตอนการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE

1. เมื่อจ่ายกำลังงานให้อุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์นี้ส่งสัญญาณ DTR ออกมา
2. อุปกรณ์ DCE ถูกเปิดขึ้น และรับรู้ถึงสัญญาณ DTR ที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ DTE
3. อุปกรณ์ DCE ส่งสัญญาณ DSR ออกมา และโมเด็มก็กระทำกระบวนการ OFF-HOOK
4. ถ้าปลายสัญญาณโทรศัพท์อยู่ในสภาวะดีและปลายทางอีกด้านหนึ่งก็พร้อมจะรับข้อมูลแล้ว โดยจะตรวจจับพบสัญญาณพาหะ แล้วอุปกรณ์ DCE จะส่งสัญญาณ DCD ออกมา
5. อุปกรณ์ DTE ยกกระดับสัญญาณ RTS ขึ้นสูง
6. อุปกรณ์ DCE จะตอบสนองด้วยการส่งสัญญาณ CTS ออกมา
7. การติดต่อสื่อสารก็เริ่มขึ้น โปรแกรมควบคุมก็จะทำการส่งหรือรับข้อมูล

ส่วนลำดับขั้นในการตอบรับก็จะเป็นในทำนองนี้

1. อุปกรณ์ DTE จะส่งสัญญาณ DTR ออกมา
2. อุปกรณ์ DCE จะอยู่ในโหมดตอบรับอัตโนมัติ (auto-answer mode) โดยมีสัญญาณ DSR ออกมา
3. สถานีปลายทางส่งสัญญาณเรียกอุปกรณ์ DCE และอุปกรณ์ DCE ส่งสัญญาณ RI ออกมา
4. อุปกรณ์ DTE รับรู้ถึงสัญญาณ RI ที่ส่งมาจากเครื่องปลายทางและอุปกรณ์ DCE ก็เข้าสู่สถานะ OFF-HOOK
5. อุปกรณ์ DCE ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ DCE ที่อีกปลายทางหนึ่ง และมีการส่งสัญญาณ DCD ออกมา
6. อุปกรณ์ DTE จะส่งสัญญาณ RTS ออกมาหรืออาจจะรับข้อมูลก็ขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่ควบคุม
7. อุปกรณ์ DCE จะตอบสนองด้วยการส่งสัญญาณ CTS กลับออกมา
8. การติดต่อสื่อสารจะเริ่มขึ้น

ในยุคต้นๆ การสื่อสารมักจะเป็นแบบ half-duplex อาจจะเป็นเพราะข้อจำกัดของข้อกำหนด(protocol) และฮาร์ดแวร์ ในการสื่อสารที่มีอยู่ในเวลานั้น ในการสื่อสาร half-duplex ข้อมูลจะสามารถเดินทางได้เพียงทิศทางเดียวในช่วงเวลาหนึ่งๆ ยกตัวอย่างเช่น ในสายโทรศัพท์แบบมีสาย 2 เส้น เมื่อคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งส่งข้อมูลออกมา อีกเครื่องหนึ่งจะทำการรับข้อมูล หรือกับกันซอฟต์แวร์ที่ควบคุมการสื่อสารแบบ half-duplex จะทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์ในการกำหนดว่าปลายทางด้านไหนจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งหรือเป็นตัวรับข้อมูล

ข้อกำหนดการสื่อสารแบบ full-duplex อนุญาตให้มีการส่งรับข้อมูลโดยไม่สนใจว่าด้านไหนกำลังส่งและด้านไหนกำลังรับในช่วงเวลาหนึ่งๆ เพื่อที่จะทำให้สามารถติดต่อสื่อสารแบบ full-duplex ได้ จำเป็นต้องใช้สายโทรศัพท์แบบมีสายสัญญาณ 2 คู่ โดยที่สายสัญญาณคู่ที่ใช้ส่งข้อมูลจากด้านต้นทางจะต่อเข้ากับสายสัญญาณที่ใช้รับข้อมูลที่อยู่ด้านปลายทางและสายสัญญาณคู่ที่ใช้รับข้อมูลที่ด้านต้นทางจะต่อเข้ากับสายสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูลที่ด้านปลายทาง

วิธีการส่งสัญญาณแบบ half-duplex ที่ใช้สายตัวนำ 2 เส้น และแบบ full-duplex ที่ใช้สายตัวนำ 4 เส้น แต่ปัจจุบันการสื่อสารแบบ full-duplex โดยใช้สายนำสัญญาณเพียง 2 เส้น จะใช้เทคนิคการรวมสัญญาณทั้งด้านความถี่และเฟส (frequency-and phase modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของขาสัญญาณ
1	Data Carrier Detector
2	Received Data
3	Transmitted Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Common
6	Data Set Ready
7	Request To Send
8	Clear To Send
9	Ring Indicator

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดการต่อคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS-232

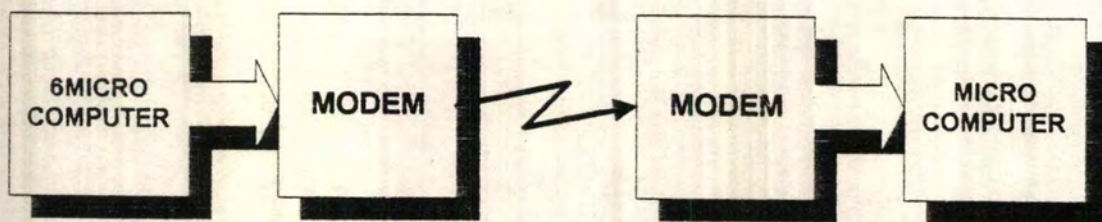
สมมติว่าอุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐาน RS-232 จะมีตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัว จะทำให้สามารถทำการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสได้สำเร็จซึ่งก็คือ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (baud rate) , จำนวนของบิตข้อมูล จำนวนของบิตสิ้นสุด และบิตตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (parity bit) แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อแบบอะซิงโครนัสส่วนใหญ่จะไม่ใช้งานพาริตีบิต เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ในตอนเริ่มแรกแล้ว พาริตีถูกใช้เพื่อช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในการเชื่อมข้อมูลที่สำคัญๆ ข้อเสียของพาริตีก็คือ ถ้าชุดข้อมูลเสียหายใช้การไม่ได้ ก็จะไม่สามารถเรียกชื่อข้อมูลกลับคืนมาได้ไม่ว่าจะใช้เทคนิคพาริตีแบบไหนก็ตาม

ชุดข้อมูลที่ใช้ส่งในแบบอะซิงโครนัสโดยทั่วไปแล้ว จะประกอบด้วย บิตเริ่มต้น,บิตข้อมูล จำนวน 8 บิตและบิตสิ้นสุด ชุดข้อมูลแบบอื่นๆ พบได้ทั่วไปจะมีบิตข้อมูล 7 บิต , พาริตีคู่และบิตสิ้นสุด ความกว้างของแต่ละบิตถูกกำหนดด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น ในการเชื่อมโยงที่อัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ 9,600 bps ความกว้างของแต่ละบิตข้อมูลจะเท่ากับ 104 ไมโครวินาทีเป็นคาบเวลา ตามสูตร  $P = 1/F$  เมื่อ P คือคาบเวลามีหน่วยเป็นวินาที และ F คือความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ ในกระบวนการที่กำหนดหน้ามากขึ้นค่า baud rate ยังสามารถวัดได้จากจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้อีกด้วย

ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส บิตแรกที่ถูกส่งออกไป คือบิตเริ่มต้น บิตนี้จะทำให้ อุปกรณ์ DTE ภาครับ สามารถกำหนดช่วงจังหวะการรับบิตข้อมูลให้สัมพันธ์กับอุปกรณ์ DTE ภาคที่ส่งข้อมูลออกมา บิตเริ่มต้นก็คือลอจิก " 0 " (space) ที่จะคงค่านี้อยู่เป็นเวลา 1 คาบเวลาที่มีความกว้างเท่ากับ 1 บิตปกติแล้วสายสัญญาณเชื่อมต่อนี้ ควรจะอยู่ในสภาวะลอจิก " 1 " (mark) ก่อนที่จะมีการส่งบิตเริ่มต้นออกมา เมื่อ DTE ด้านรับตรวจพบบิตเริ่มต้นมันก็จะรอคอยเป็นเวลานาน 1.5 เท่าของความกว้างของบิตข้อมูล หรือนาน 156 ไมโครวินาที สำหรับอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ 9,600 bps ก่อนที่จะทำการอ่านค่าสถานะของสายสัญญาณเชื่อมต่อนั้น แนวความคิดในการทำเช่นนี้ก็เพื่อให้ อุปกรณ์ DTE ด้านรับข้อมูล ทำการสุ่มค่าสถานะของบิตข้อมูลในจังหวะที่ใกล้กับตรงกลางของบิตข้อมูลให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หลังจากรอคอยเป็นเวลานานเท่ากับ 1.5 เท่าของความกว้างของบิตข้อมูลในครั้งแรกแล้ว อุปกรณ์ DTE ภาครับก็จะเปลี่ยนกลับไปอ่านค่าสถานะของบิตข้อมูลที่ส่งเข้ามา ทุกๆ 104 ไมโครวินาทีถ้าทุกอย่างเป็นไปตามที่วางแผนไว้แล้ว ข้อมูลส่วนที่เหลือจะถูกอ่านเข้ามา ณ จุดใกล้ๆ ตรงกลางของแต่ละบิตข้อมูล บิตสิ้นสุดข้อมูลจะบอกถึงจุดสิ้นสุดของการส่งตัวอักขระ ปกติแล้วจะใช้บิตสิ้นสุดข้อมูล 1 หรือ 2 บิต ในการบอกถึงการสิ้นสุดการส่งตัวอักขระ กระบวนการทั้งหมดนี้ ซึ่งประกอบด้วยบิตเริ่มต้น , บิตข้อมูล , บิตสิ้นสุด จะกระทำซ้ำแล้วซ้ำอีกสำหรับการส่งตัวอักขระแต่ละตัวเพื่อขจัดความเพี้ยนของจังหวะเวลาที่อาจค่อยๆ สะสมเพิ่มขึ้นได้

### 2..4.3 มาตรฐาน RS 232C

มาตรฐาน RS 232C ได้จัดพิมพ์ขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1969 โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขของฉบับท้ายสุดของมาตรฐานตัวนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐานตัวนี้ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment DCE) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็หมายถึงตัวไมโครคอมพิวเตอร์และ DCE ก็หมายถึง โมเด็ม อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรมอาจจะเป็นได้ทั้ง DTE และ DCE ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ข้อแตกต่างของ DTE และ DCE จะเห็นได้จาก รูปที่ 2.13 จากรูปนี้จะเห็นว่า RS 232C มีส่วนสำคัญอย่างใหญ่หลวง สำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.13 แสดงการใช้ RS232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

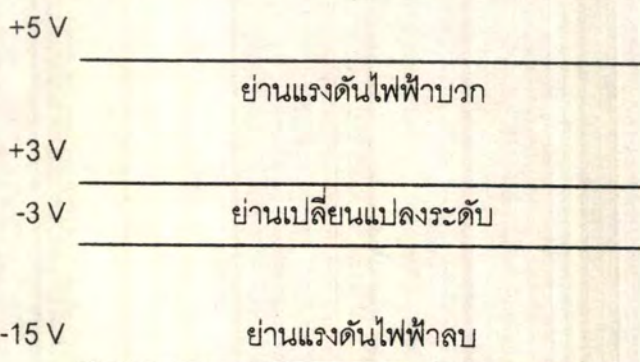
ความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110 ถึง 9600 บิตต่อวินาที ความยาวของสายเชื่อมต่อโดยสัญญาณตามมาตรฐานของ RS 232C จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

#### 2.4.4 ลักษณะของสัญญาณ RS 232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS 232C กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ข้างบน ดังแสดงในตาราง 2.7 และรูปที่ 2.14

มาตรฐานของการใช้แรงดันไฟฟ้า			
แรงดันไฟฟ้า	สถานะภาพลอจิก	สถานะภาพของสัญญาณ	ฟังก์ชันในการควบคุม
บวก	0	SPACE	ON
ลบ	2	MARK	OFF

ตารางที่ 2.7 ย่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS232C



รูปที่ 2.14 ย่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

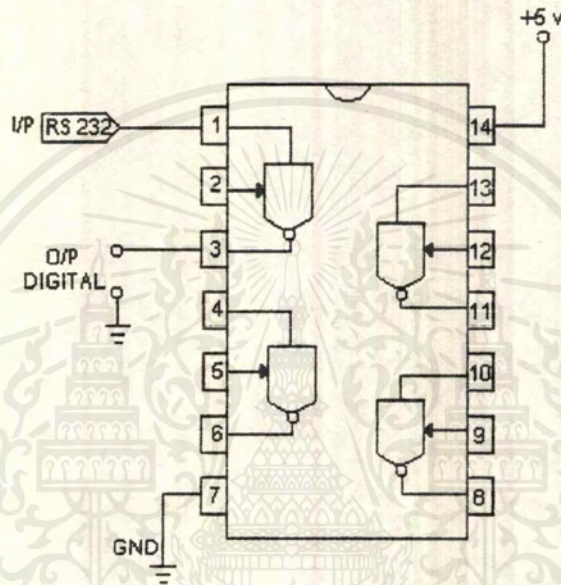
สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มเป็นระบบตอบรับอัตโนมัติ (Auto-Answer) สัญญาณนี้จะ ON เมื่อมีสัญญาณกระดิ่งมา และ OFF ระหว่างเสียงดังของกระดิ่ง

output logic levels with	$15V > 0_n > 5V$
3k to 7k load	$-5 > 0_{\geq 15}$ โวลต์
Driver output voltage when open circuit	$V_o < 25$ โวลต์
Driver output impedance with Power off	$R_o > 300$ Ohms
Output short circuit current	$I_o < 0.5$ A
Driver slew rate	$dv/dt < 30$ V/s
Receiver input impedance	$7k > R_{in} > 3k$
Receiver input voltage	+15 compatible with driver
Receiver output with open circuit input	MARK
Receiver output with +3V input	SPACE
Receiver output with -3V input	MARK
+15	LOGIC 0 = SPACE =
+5	CONTROL ON
+5	Noise Margin
+3	
+3	Transition Region
-3	
-3	Noise Margin
-5	
-5	LOGIC 1 = MARK =
-15	CONTROL OFF

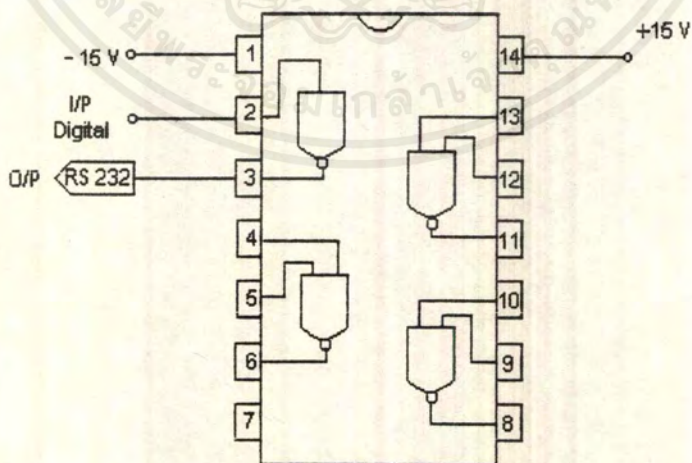
ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS 232C

จากมาตรฐานของ RS 232 ซึ่งจะติดต่อสื่อสารกันโดยใช้ระดับแรงดันคือ  $\pm 15$  V แต่ในวงจรการทำงานของเรานี้ซึ่งทำงานเป็นดิจิทัลจะใช้ระดับสัญญาณอยู่ในช่วง 0-5 V ดังนั้นจึงต้องแปลงสัญญาณดังกล่าวให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลมาตรฐานเสียก่อน

ไอซีที่ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันตามมาตรฐาน RS 232 ( $\pm 15$  V) ให้เป็นระดับแรงดันดิจิทัลหรือที่เรียกว่า Line Receiver ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ MC 1489 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างและการใช้งานดังนี้



รูปที่ 2.15 Line Receiver



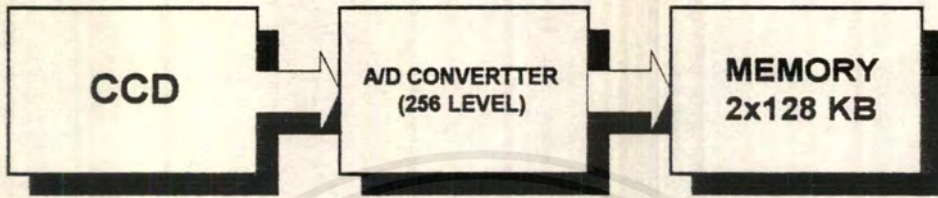
รูปที่ 2.16 Line Driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไอซี ที่ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณดิจิทัล ให้กลับไปเป็นระดับสัญญาณที่อยู่ในมาตรฐานของ RS 232 ในที่นี้ไอซีเบอร์ MC 1488 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างและการใช้งานดังรูปที่ 2.16

## 2.5 การวัดประมวลผลภาพ

การวัดประมวลผลภาพประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆดังรูป



รูปที่ 2.17 แสดง Block Diagram ของการวัดประมวลผลภาพ

### 2.5.1 กล้องโทรทัศน์

เป็นอุปกรณ์อินพุทของหน่วยประมวลผลภาพ โดยกล้องทำการถ่ายภาพแล้วแปลงเป็นสัญญาณโทรทัศน์ จากนั้นทำการส่งสัญญาณภาพต่อไปให้กับวงจร A/D CONVERTER ขนาด 8 บิต (256 ระดับ) ตามปกติกล้องจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ กล้องที่เป็นหลอดสุญญากาศ และประเภท Solid-State แต่ที่นิยมใช้กันมากในด้านการประมวลผลภาพจะเป็นชนิด Solid-State หรือที่รู้จักกันดีว่ากล้อง CCD กล้องดังกล่าวในตัวของมันจะใช้ซีพียูทรานซิสเตอร์ทางอะนาล็อกชนิดพิเศษหรือที่เรียกว่า Charge Coupled Devices (CCDs) CCDs เหล่านี้จะทำการแปลงประจุไฟฟ้าจากแสงของตัวทรานสดิวเซอร์ที่อยู่ด้านหน้าของกล้องให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และเข้ารหัสเป็นสัญญาณมาตรฐานทางระบบโทรทัศน์

#### กล้อง CCD (Charge-Coupled Device)

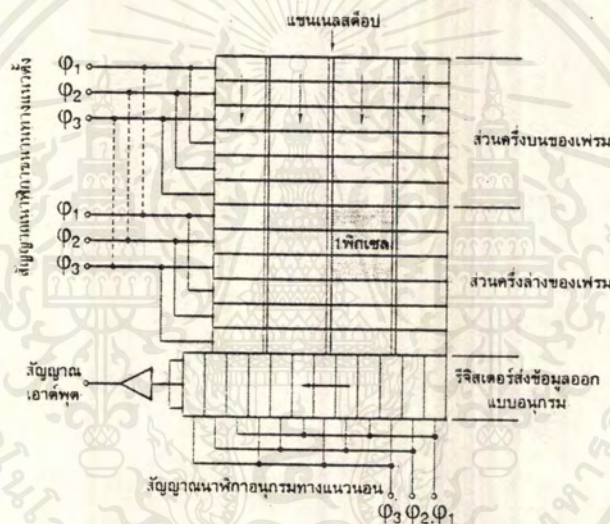
ทำหน้าที่เป็นตัวทำการเปลี่ยนพลังงานแสงไปสู่พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปเข้าสู่ระบบอิมเมจโปรเซสซิ่ง ซึ่งถ้าพิจารณาดูแล้วอุปกรณ์จำพวกนี้มีอยู่มากมายหลายชนิดด้วยกันแต่ CCD มีคุณสมบัติที่ไม่ธรรมดา รวมถึงการทำงานก็ไม่ธรรมดาไม่มีการใช้ป็นอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบ แต่กลับใช้การเปลี่ยนเฟสควบคุมการทำงานแทน

อุปกรณ์ CCD ถือกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้วซึ่งขณะนั้นยังอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์หน่วยความจำรวม(random access memory) แต่ CCD มีประโยชน์นำไปใช้งานมากกว่านั้น ซึ่งเป็น

ได้ทั้งดีเลย์ไลน์ , ส่วนประมวลผลของสัญญาณ,และที่สำคัญที่สุดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงคุณภาพสูง CCD มีหลักการทำงานต่อไปนี้

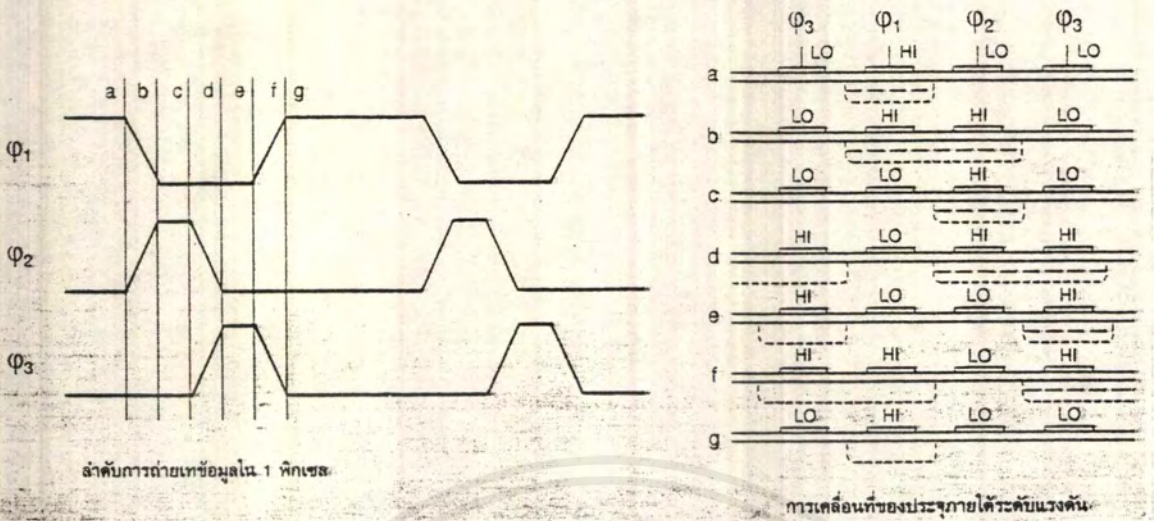
จากรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วไป และการคับปลิ่งสัญญาณของอุปกรณ์ตัวนี้ จะเห็นได้ทันทีว่ามีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนเล็กๆมากมาย ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนนั้นเรียกว่า พิกเซล (pixel)

และถ้าสังเกตดูโครงสร้างแล้วจะเห็นได้ว่า CCD ไม่มีการแบ่งแต่ละพิกเซลออกเป็นตำแหน่ง แอดเดสเหมือนหน่วยความจำชนิดอื่น แต่มีการแบ่งออกเป็นแถว(row) และหลัก(column) โดยมีส่วนชั้นกลางที่เรียกว่า แชนเนลสโตป(channal stop) กั้นระหว่างแต่ละหลักอยู่ ภายในแต่ละพิกเซลจะมี ประจ隅อยู่ตัวหนึ่งตัวที่ทำให้เกิดภาพ และจะมีการถ่ายเทเมื่อมีแสงมาตกกระทบ การถ่ายเทก็ยอมมีตัว



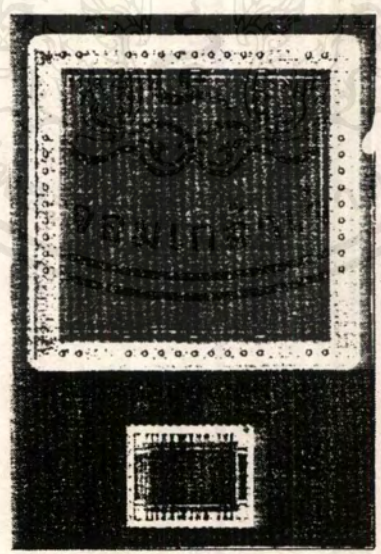
จากรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วไป

พาหรือยึดเหนี่ยวซึ่ง CCD ใช้หลักการหมุนเฟส(phase clock voltage) มาใช้ แต่ละแถวจะมีการกำหนดสถานะทางไฟฟ้าด้วยการหมุนเฟส 3 เฟส ที่มีความสัมพันธ์กันของช่วงเวลาและแรงดันและด้วยการทำงานเช่นนี้ประจ隅แต่ละพิกเซลจึงมีการถ่ายเทจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งได้ เมื่อประจ隅เคลื่อนมาจนถึงสุดขอบของแถวก็จะมีการส่งผ่านให้กับรีจิสเตอร์รับข้อมูลต่อไป เพื่อนำส่งผ่านข้อมูลสู่ภายนอก โดยการทยอยข้อมูลแบบอนุกรมของรีจิสเตอร์ และถูกควบคุมด้วยการหมุนเฟสเช่นเดียวกัน ดังนั้นผลรวมของการหมุนเฟสทั้งด้านแนวอนและแนวตั้ง จึงสามารถนำประจ隅ออกสู่ภายนอกได้เพื่อใช้ในการประมวลผลและสร้างภาพต่อไป



รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปคลื่นของแต่ละเฟสที่มีความสัมพันธ์กันและลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุเมื่อมีการถ่ายเท

สำหรับรายละเอียดของภาพและความไวต่อแสงสว่างน้อยๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลบนตัว CCD ซึ่งมีให้เลือกหลายขนาดตามความต้องการตั้งแต่ 385x578 , 1500x1500 , 2048x2048 พิกเซล เป็นต้น และราคาของแต่ละขนาดต่างกัน ยังมีจำนวนพิกเซลมากเท่าใด ประสิทธิภาพก็ยิ่งสูงเท่านั้น และที่สำคัญราคาก็ยิ่งสูงตามไปด้วย

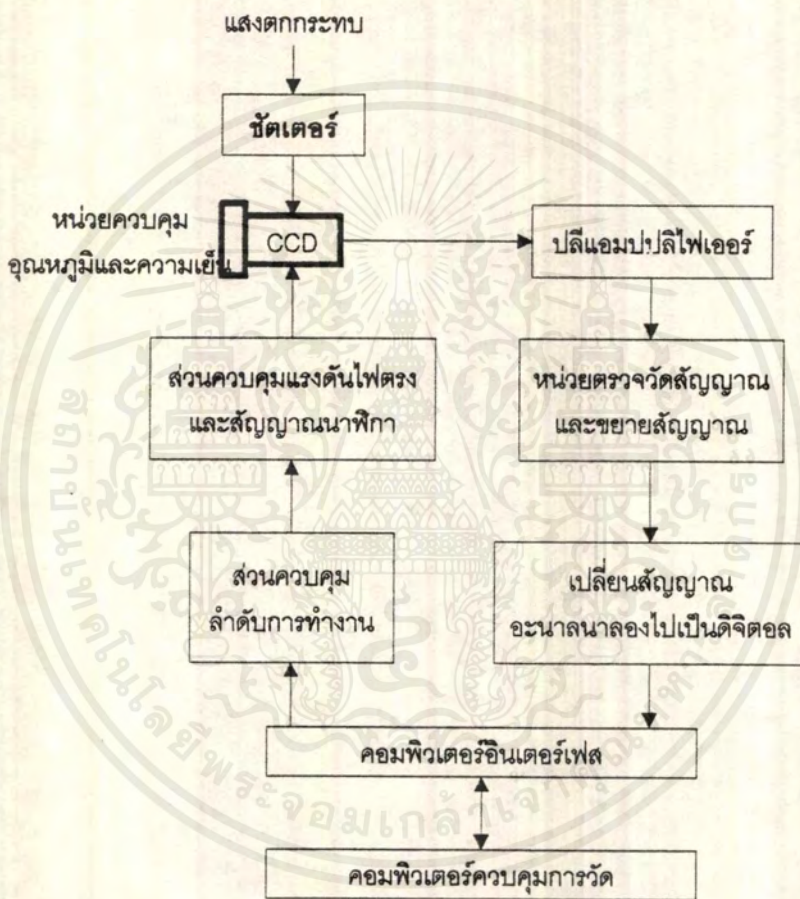


รูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นถึงลักษณะและขนาดของอุปกรณ์ CCD ในขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การนำภาพ CCD ไปใช้ในงานถ่ายภาพ

โดยปกติอุปกรณ์ CCD สามารถทำงานได้ด้วยอุณหภูมิห้องปกติ(room temperature) สำหรับใช้ในงานถ่ายภาพที่มีแสงพอประมาณ เช่น การถ่ายภาพด้วยกล้องโทรทัศน์ กล้องถ่ายรูป และกล้องวิดีโอ ซึ่งก็ทำงานได้เป็นอย่างดี แต่โดยทั่วไปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกชนิดโดยเฉพาะจำพวกสารกึ่งตัวนำ มักมีการรบกวนของกระแสส่วนน้อยๆเกิดขึ้น CCD ก็มีเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.21 แสดงส่วนประกอบหลักของระบบ CCD

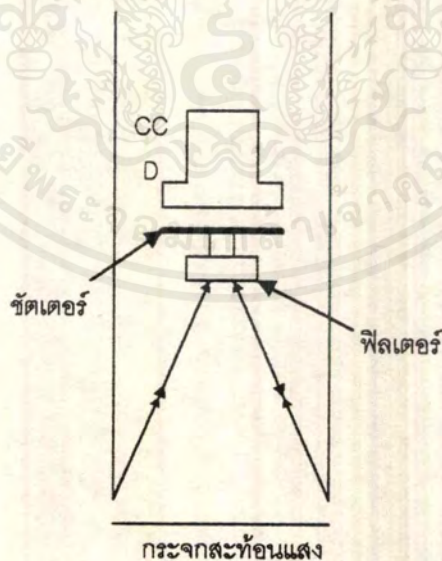
การถ่ายภาพที่มีแสงสว่างน้อยๆนั้น จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงกระแสรบกวนส่วนนี้ เพื่อให้ CCD สามารถเก็บแสงได้ดีที่สุด วิธีแก้ไขก็คือพยายามลดอุณหภูมิให้ต่ำมากๆ ประมาณ -120 องศาเซลเซียส โดยใช้ไนโตรเจนเหลวให้ความเย็นอย่างรุนแรงกับ CCD กระแสรบกวนจะลดการสูญเสียเหลือเพียง 1 อิเล็กตรอน/ชั่วโมง/พิกเซล ในขณะที่มีความจุอิเล็กตรอนสูงถึง 100,000 อิเล็กตรอน/พิกเซล นอกจากการแก้ปัญหาเนื่องจากกระแสรบกวนแล้ว ยังต้องมีส่วนอื่นอีกมากมายประกอบอยู่ด้วยดังรูปที่ 2.21

ระบบชัตเตอร์ที่ใช้ทำงานด้วยเครื่องกลไฟฟ้าควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งควบคุมการตั้งเวลาเปิดหน้ากล้อง ความไวในการถ่ายภาพเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญ ดังนั้นการตรวจวัดแสงจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีสัญญาณรบกวนต่ำและมีระบบป้องกันที่ดี โดยเฉพาะในส่วนของวงจรรายนอก ซึ่งต้องมีการออกแบบวงจรถ่ายให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและที่สำคัญต้องทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ำสุด อาทิ วงจรปรีแอมพลิไฟร์ และวงจรแซมปลิง

จากรูปที่ 2.21 เห็นได้ว่านอกจากวงจรถ่ายที่กล่าวมาแล้ว ยังมีส่วนอื่นที่รวมอยู่ในกระบวนการอีกหลายส่วน เช่น ส่วนของวงจรรายและวัดสัญญาณ , วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกไปสู่ดิจิทัล เพื่ออินเทอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ และวงจรถ่ายกำเนิดแรงดันไบแอสไฟตรงและสัญญาณนาฬิกา เพื่อควบคุมการทำงานของ CCD ซึ่งก็ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

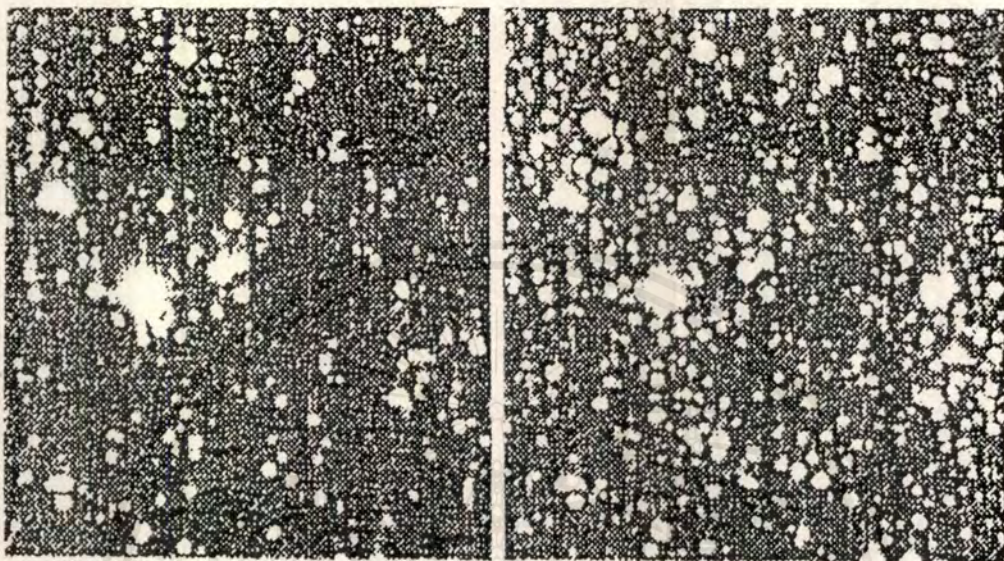
### การติดตั้งและใช้งาน

โดยปกติเราสามารถนำอุปกรณ์ CCD มาติดตั้ง และใช้งานแบบง่ายๆ ก็ได้เช่นกัน แต่ทั้งประสิทธิภาพความละเอียด และความไวต่อแสงนั้นจะดีกว่าเมื่อติดตั้งแบบเต็มระบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การติดตั้งแบบง่ายๆ นี้คือ ออกแบบติดตั้งให้ CCD รับแสงโดยตรงเลย แต่ต้องมีการปรับโฟกัสของกล้องโทรทัศน์ให้ดี เพื่อให้ได้ภาพที่คมชัดและมีรายละเอียดชัดเจนที่สุด



รูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงการติดตั้ง CCD แบบแสงโดยตรง

รูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงการติดตั้ง CCD แบบง่าย ๆ ชัตเตอร์ที่อาจควบคุมด้วยมือหรือเครื่องกลก็ได้ ซึ่งต้องมีการจับเวลาเปิดหน้ากล้องที่เหมาะสมด้วยสำหรับฟิลเตอร์เป็นตัวทำหน้าที่กรองความถี่ของคลื่นแสงที่ไม่ต้องการทิ้งไป หรือเป็นตัวกำหนดความยาวคลื่นที่ต้องการนั่นเอง



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นถึงภาพที่ถ่ายจากอุปกรณ์ CCD แต่ใช้ฟิลเตอร์ช่วงความยาวคลื่นต่างๆ รูปที่ 2.23 (ก) ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์ย่านสีแดง(R-band) และจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์ย่านอินฟราเรด

รูปที่ 2.23 (ข) จะสังเกตเห็นจำนวนดวงดาวที่มีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดมากกว่า แดง และนี่คือประโยชน์ของฟิลเตอร์ที่นำมาใช้งาน

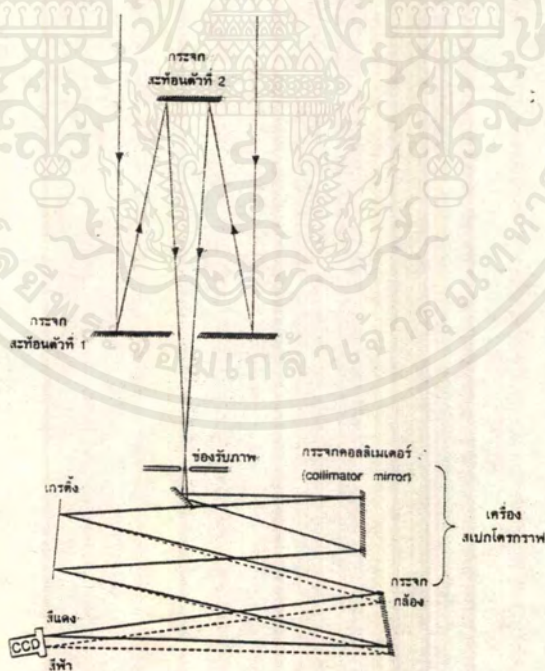
จากที่กล่าวมาแล้วว่า CCD มีช่วงไดนามิกเรนจ์ที่กว้างประโยชน์อีกอย่างหนึ่งที่นำมาใช้คือการถ่ายภาพของกลุ่มดาวที่เรียกว่า แกลแลคซี(galaxy)ซึ่งมีลักษณะเป็นกระจุกดาวหนาแน่นอยู่ระหว่างใจกลางด้วยเทคนิคการถ่ายภาพของ CCD อีกแบบหนึ่ง คือสามารถทำให้ CCD เก็บรายละเอียดในส่วนที่มีแสงน้อยๆของกลุ่มดาวทั้งหมดหรือถ่ายเฉพาะโครงสร้างของใจกลาง โดยลดความไวในการรับแสงของ CCD ลงซึ่งให้เห็นถึงความแตกต่างด้วยเทคนิคพิเศษนี้ดังรูปที่ 2.24

CCD ยังถูกนำมาใช้ในเครื่องมือวัดที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งนั่นคือเครื่องวัดและบันทึกสเปกตรัม(spectroscopic)



รูปที่ 2.24 แสดงภาพถ่ายด้วยเทคนิคพิเศษ

รูปที่ 2.25 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบเบื้องต้นของเครื่องนี้ เครื่องบันทึกสเปกตรัมมีประโยชน์ในการวัดความแรงของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดขึ้นบนดวงดาวแกแลคซี หรือท้องฟ้าในยามค่ำคืน



รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างเบื้องต้นของเครื่องสเปกโตรกราฟที่ใช้ CCD ต่อรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการประยุกต์ใช้งานทั้งหมดที่กล่าวมา CCD ยังถูกนำมาใช้งานในด้านอื่นๆอีกมากมาย ตั้งแต่เครื่องมือวัดจนถึงเครื่องถ่ายภาพ จนในปัจจุบันอุปกรณ์ถ่ายภาพเกือบทุกชนิดต้องมี CCD ประกอบด้วย

### ขีดจำกัดของ CCD

CCD ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอน ซึ่งในขณะนี้ไม่สามารถผลิตอุปกรณ์ CCD ที่มีขนาดใหญ่ได้ อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตซิลิกอนนั่นเอง ทำให้การออกแบบจึงจำเป็นต้องนำ CCD หลายๆตัวมาต่อแบบเมตริกซ์กันเพื่อให้ได้ขนาดใหญ่ขึ้น

แต่ทั้งนี้ผลที่ได้ตามมาก็คือเกิดการสูญเสียขึ้นระหว่าง CCD แต่ละตัว ทำให้ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ การตอบสนองต่อความยาวคลื่นของ CCD เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญ คือ CCD ตอบสนองต่อความยาวคลื่นย่านสีน้ำเงินได้ไม่ดีนัก แต่สำหรับช่วงความยาวอื่นไม่เป็นปัญหาเท่าไร

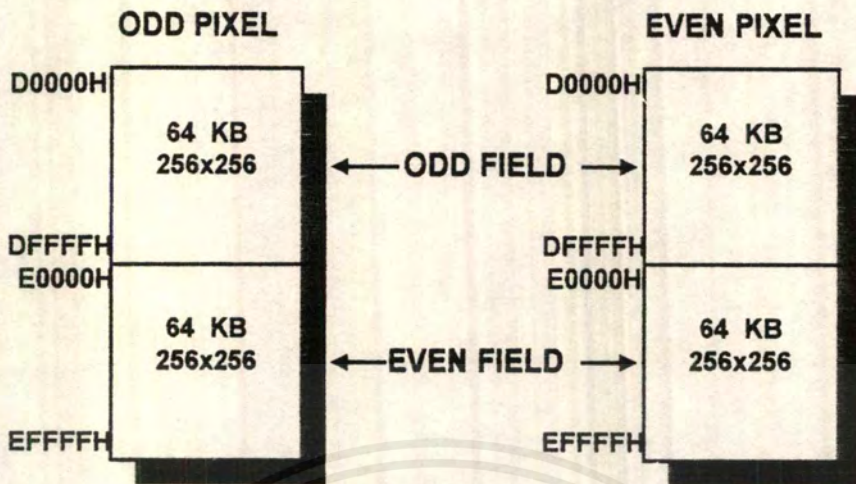
ต่อไป CCD จะมีการพัฒนาทั้งด้านขนาดอุปกรณ์ซึ่งจะเหลือเพียง 15 ไมครอน และสามารถตรวจจับแสงได้ทั้งด้านหน้าและหลัง ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มความไวต่อความยาวคลื่นสีน้ำเงินและแสงที่มีความสว่างน้อย ตลอดจนการถ่ายเทประจุจนกระทั่งส่งข้อมูลออกจากตัว CCD ต้องมีการสูญเสียอิเล็กตรอนน้อยที่สุด และต้องออกแบบระบบป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดีจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ การทำงานของ CCD ต้องมีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) ตลอดย่านวัด ซึ่งในจุดนี้ต้องพัฒนาไปถึงกระบวนการผลิต รวมถึงการออกแบบโครงสร้างบน CCD

### 2.5.2 A/D CONVERTER

ประกอบด้วย A/D CONVERTER 2 ชุด ทำงานร่วมกัน โดยทำงานสลับกัน เพื่อให้ได้จำนวนจุดภาพเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แต่ใช้ความถี่เท่าเดิม โดยจะแยกเก็บเป็นจุดคู่-จุดคี่, ฟิลล์คู่-ฟิลล์คี่ โดย A/D CONVERTER แต่ละตัวจะเก็บภาพขนาด 256x256 จุด ซึ่งสัญญาณดิจิทัลที่ผ่านการแปลงจะถูกส่งไปเก็บยังใน Memory

### 2.5.3 MEMORY

เป็นส่วนเก็บข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้รับการแปลงจาก A/D CONVERTER แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 64 กิโลไบต์ ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงการจัดหน่วยความจำของการ์ดประมวลผลภาพ

การควบคุมการทำงานของการ์ดประมวลผลภาพ จะมีการส่งคำสั่งออกไปควบคุมผ่านทาง PORT 0310H โดยมีคำสั่งที่ใช้ควบคุม 3 บิต ดังนี้

OD/EV บิตที่ใช้เลือกอ่านข้อมูลฟิลด์คู่ หรือฟิลด์คี่

SELECT บิตที่ใช้เลือกการเก็บภาพหรืออ่านข้อมูลภาพ

P\_CON บิตที่ใช้เลือกการติดต่อกับหน่วยความจำว่าติดต่อกับแอดเดรสที่มาจากส่วนของการ์ดประมวลผลภาพหรือแอดเดรสที่มาจาก Micro computer

เมื่อรวมบิตคำสั่งทั้ง 3 เข้าด้วยกัน จะสามารถควบคุมการทำงานของการ์ดประมวลผลภาพได้โดยแยกออกเป็น 2 คำสั่ง ดังตาราง

สัญญาณควบคุม			ค่าที่ส่งออกเฮกซ์	การทำงาน
OD/EV	SELECT	P_CON		
X	0	0	00H หรือ 04H	การเก็บข้อมูลภาพ
0	1	1	03H	อ่านข้อมูลฟิลด์คู่

ตารางที่ 2.9 แสดงสัญญาณควบคุมการ์ดประมวลผลภาพ

## 2.6 ทฤษฎีและหลักการของระบบการประมวลผลภาพ

### 2.6.1 ทฤษฎีการแปลงภาพและการปรับปรุงภาพ

โดยปกติแล้วข้อมูลภาพที่ได้มานั้นอาจไม่ได้เป็นไปตามความต้องการเช่น อาจจะได้ภาพที่มีความแตกต่างไม่เพียงพอบ้าง ความสว่างไม่เพียงพอบ้าง เป็นต้น ในกรณีนี้ต้องใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมเกี่ยวกับการปรับปรุงภาพมาใช้เพื่อที่จะให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น

#### 2.6.1.1 ชนิดของข้อมูลภาพ

โดยทั่วไปวิธีการที่ใช้สำหรับการปรับปรุงภาพปกติแล้วมีอยู่สองชนิดคือ ข้อมูลภาพชนิดสเกลาร์อิมเมจ (Scalar Image) ซึ่งแต่ละจุดภาพจะเป็นตัวบ่งบอกค่าของความสว่างหรือระดับสีของภาพด้วยตัวมันเองเพียงค่าเดียว ตัวอย่างเช่น ข้อมูลภาพขาวดำ ส่วนข้อมูลภาพชนิดที่สองนี้เรียกว่า เวกเตอร์อิมเมจ (Vector Image) ข้อมูลแต่ละจุดภาพจะเป็น เวกเตอร์ของค่าความสว่างที่เป็นองค์ประกอบของสีทั้งสาม คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ในกรณีที่ต้องการให้ได้สีของจุดภาพนั้นๆ ก็ต้องนำค่าเวกเตอร์หรือองค์ประกอบทั้งสามสีที่ตำแหน่งนั้นมาประมวลผลเพื่อรวมกัน แต่สำหรับการปรับปรุงภาพทั่วไปแล้วจะทำกับข้อมูลภาพที่เป็นสเกลาร์ส่วนในกรณีที่ต้องการทำกับข้อมูลภาพที่เป็นเวกเตอร์ ก็จะแยกการประมวลผลเป็นสามสีอย่างอิสระ การประมวลผลแต่ละสีจะทำแบบสเกลาร์

#### 2.6.1.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพเพื่อการปรับปรุงภาพที่เป็นข้อมูลภาพทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยสามารถทำได้ทั้งทางด้านสเปซโดเมน (Spatial Domain) หรือโดเมนอื่นๆ เช่น ฟูเรียร์โดเมน เป็นต้น ในสเปซโดเมน ค่าของจุดภาพใหม่จะเปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัยข้อมูลของจุดภาพเดิมเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่าเป็นการประมวลผล และโลคอล(Local) หรือการประมวลผลแบบจุด ส่วนอีกวิธีการหนึ่ง คือการประมวลผลภาพด้วยจุดข้างเคียงหรือการใช้ ฟิลเตอร์ที่เป็นหน้ากาก โดยนำมาทำคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพต้นแบบ เพื่อให้ได้ค่าตามต้องการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนดในหน้ากานั้นๆ เช่น การเพิ่มความคมของภาพ การทำการกำจัดสัญญาณรบกวน ด้วยการใช่วิธีการเฉลี่ยของจุดภาพ การหาค่ากลาง เป็นต้น การประมวลผลสำหรับวิธีการนี้ต้องใช้หน่วยความจำในการประมวลผลมาก เพราะต้องใช้การเก็บค่าของจุดภาพข้างเคียงหลายจุดภาพ เพื่อใช้มาก เพื่อให้ได้ความเร็วในการประมวลผลแล้ว ในทางปฏิบัติ ต้องทำการใช้ซีพียูและอาร์เรย์โปรเซสเซอร์ในการประมวลผล แต่ในที่นี้จะขอ กล่าวถึงเฉพาะการประมวลผลแบบจุดเท่านั้น

สำหรับวิธีการแปลงภาพและปรับภาพโดยวิธีการประมวลผลแบบจุดนั้นมีมากมายหลายวิธี แต่ในที่นี้จะอธิบายเพียงบางวิธีที่เหมาะสม

### 2.6.1.3 การแปลงภาพเป็นสองระดับ (Binary Image)

การแปลงภาพสองระดับนั้นเพื่อให้ข้อมูลภาพที่เป็นวัตถุกับพื้นของภาพ แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงทำให้สามารถแยกแยะวัตถุในภาพได้ง่ายยิ่งขึ้น อีกทั้งเมื่อทำภาพเป็นสองระดับแล้วจะช่วยให้สามารถลดข้อมูลภาพลงได้อย่างมาก เพราะข้อมูลภาพสองระดับในหนึ่งจุดภาพสามารถแทนที่บิตข้อมูลเพียงหนึ่งบิตเท่านั้น ช่วยให้สามารถบีบอัดข้อมูลภาพได้สูงและช่วยลดหน่วยความจำที่ใช้ลงได้มาก ข้อมูลภาพสองระดับนี้ โดยมากมักจะนำไปใช้ในการรู้จำวัตถุหรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ของภาพ

การแปลงภาพด้วยวิธีการนี้สามารถทำได้ด้วยการตั้งค่าตัดสินใจ (Threshold) เพื่อแยกข้อมูลภาพออกเป็นสองกลุ่ม โดยค่าของจุดภาพที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าตัดสินใจก็ให้มีค่าอยู่ที่ระดับสูง ส่วนค่าของจุดภาพที่ต่ำกว่าค่าตัดสินใจนั้นจะถูกจัดให้อยู่ในระดับต่ำ ในการตั้งค่าตัดสินใจนั้น อาจทำได้หลายวิธี

การหาค่าตัดสินใจที่เหมาะสมของภาพโดยคำนวณจากฮิสโตแกรมระดับเทา (Gray Scale Histogram) ซึ่งค่าตัดสินใจที่ได้จะเป็นการแบ่งระดับเทาของภาพออกเป็น 2 คลาส อย่างเหมาะสมซึ่งมีหลักการดังนี้

ทำการอนุมานว่าได้ ทำการแบ่งพิทเซลออกเป็น 2 คลาสคือ  $C_0, C_1$  โดยค่าตัดสินใจค่าหนึ่งที่ระดับเทา  $k$  ซึ่ง  $C_0$  แสดงถึงพิทเซลที่อยู่ระดับเทา  $[1, 2, \dots, k]$  และ  $C_1$  แสดงถึงพิทเซลที่อยู่ในระดับเทา  $[k+1, \dots, L]$  และให้  $\sigma_w^2$  (Within class variance) คือ ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในคลาส,  $\sigma_b^2$  (Between-class variance) คือความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างคลาส,  $\sigma_T^2$  (Total variance of levels) คือความแปรปรวนของระดับเทาทั้งหมด ส่วนการประเมินความเหมาะสมของค่าตัดสินใจ (ที่ระดับเทา  $k$ ) จะให้บรรทัดฐานในการประเมินดังนี้

$$\lambda = \sigma_b^2 / \sigma_w^2$$

$$\beta = \sigma_T^2 / \sigma_w^2$$

$$\eta = \sigma_b^2 / \sigma_T^2$$

จากสมการข้างต้นพบว่าค่า  $\sigma_w^2$  และ  $\sigma_b^2$  เป็นฟังก์ชันของค่าตัดสินใจ  $k$  แต่ค่า  $\sigma_T^2$  จะไม่ขึ้นกับค่า  $k$  เพราะฉะนั้นค่า  $\eta$  จึงเป็นเครื่องมือในการประเมินผลที่ง่ายที่สุดที่ขึ้นกับค่า  $k$  ดังนั้นจึงนำค่า

$\eta$  มาเป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินความเหมาะสมของค่าตัดสินใจที่ระดับเทา  $k$  ซึ่งค่าตัดสินใจที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับค่า  $\eta$  หรือ  $\sigma_B^2$  ที่มากที่สุด โดยทำการตรวจสอบจากสมการ

$$\eta(k) = \sigma_B^2(k) / \sigma_T^2 \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\sigma_B^2(k) = [(\mu_T w(k) - \mu(k))^2] / w(k)(1 - w(k)) \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

ดังนั้นค่าตัดสินใจที่เหมาะสมคือ ค่าระดับเทา ( $k$ ) ที่

$$\sigma_B^2(k) = \text{Max}(\sigma_B^2(k)); 1 < k < L \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

โดย

$$W_0 = \sum_{i=1}^k P_i = W(k)$$

$$W_1 = 1 - W(k)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k \frac{iP_i}{W_0}$$

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^k \frac{iP_i}{W_1}$$

$$\mu_T = \sum_{i=1}^k iP_i$$

#### 2.6.1.4 การปรับปรุงภาพ

ดิจิตอลอิมเมจ (Digital image) นี้จะเป็นข้อมูลของภาพวัตถุที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้ในการจดจำรูปร่างวัตถุต่อไป แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว ข้อมูลภาพที่รับเข้ามานี้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปประมวลผลได้ทันทีอาจจะมีสัญญาณรบกวน (noise) อยู่ถ้านำข้อมูลดิบไปประมวลผลทันที อาจจะทำให้เกิดการตีความที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการประมวลผลภาพขั้นต้น (Preprocessing) เสียก่อน โดยกระบวนการประมวลผลภาพขั้นต้นที่ได้คือ การปรับเรียบภาพ (Smoothing)

### 2.6.1.5 การปรับเรียบภาพ (Smoothing)

การปรับเรียบภาพ (Smoothing) เป็นกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยจะเป็นการลดสัญญาณรบกวนและความผิดพลาดอื่นๆ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นกับข้อมูลภาพ อันอาจจะเป็นผลมาจากกระบวนการเก็บภาพ (Sampling, Quantization) การส่งถ่ายข้อมูลหรือการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมขณะทำการรับภาพ ซึ่งกระบวนการในการปรับเรียบภาพนี้ สามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่ในปริปัญหานี้จะเลือกมาทดสอบเพียง 2 วิธีคือ

#### 1. ค่าเฉลี่ยรอบจุด (Neighborhood Average)

วิธีการนี้เป็นเทคนิคแบบสไปเชียลโดเมนอย่างง่ายสำหรับการปรับเรียบภาพ โดยกำหนดให้ค่าความสว่างของภาพ ณ จุดภาพ  $(x,y)$  ของข้อมูลภาพถูกแทนด้วยฟังก์ชัน  $f(x,y)$  และเมื่อผ่านกระบวนการปรับเรียบภาพแล้วจะได้ภาพใหม่ซึ่งมีฟังก์ชัน  $g(x,y)$  ที่ใช้แทนข้อมูลภาพที่ขจัดสัญญาณรบกวนออกไปแล้ว ซึ่งค่าความเข้มของแต่ละจุดภาพ  $(x,y)$  ของภาพใหม่นี้ ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยค่าความเข้มของจุดภาพซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุด  $(x,y)$  สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$g(x) = \frac{1}{P} \sum_{(n,m) \in S} f(n,m) \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

สำหรับพิกัด  $x$  และ  $y$  ทุกๆ ค่าของข้อมูลภาพ

โดยที่  $S$  เป็นเซตของตำแหน่งของจุดภาพ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับจุด  $(x,y)$  รวมทั้งจุด  $(x,y)$  นั้นเองและ  $P$  คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่อยู่ในเซต  $S$  เช่น ถ้าให้บริเวณใกล้เคียงเป็นหน้าต่างขนาด  $3 \times 3$  ก็จะได้  $P$  เท่ากับ 9 จุด

#### 2. การกรองภาพด้วยวิธีมัธยฐาน (Median Filtering)

เนื่องจากการปรับเรียบภาพด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยรอบจุดนั้น มีข้อเสียอยู่อย่างหนึ่งคือ จะทำให้ภาพบริเวณขอบวัตถุและข้อมูลที่สำคัญอื่นๆ มัว เราสามารถลดความมัวนี้ได้ โดยใช้วิธีการกรองภาพด้วยวิธีมัธยฐาน (Median Filtering) ซึ่งค่าความเข้มของภาพแต่ละจุดภาพ  $(x,y)$  ของภาพใหม่ จะได้มาจากการหาค่ามัธยฐานของค่าความเข้มของจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงกับจุด  $(x,y)$  แทนที่การใช้ค่าเฉลี่ยตามวิธีการค่าเฉลี่ยรอบจุด เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยกระบวนการปรับเรียบภาพแล้ว เนื่องจากภาพที่รับเข้ามาเป็นภาพของวัตถุหลายชิ้นดังนั้นการแยกแยะรูปร่างของวัตถุแต่ละชิ้น จำเป็นจะต้องรู้ขอบเขตของวัตถุแต่ละชิ้นนั้นเสียก่อน จึงต้องทำการตรวจหาขอบของภาพวัตถุด้วยกระบวนการ การตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection)

## 2.7 การตรวจสอบหาเส้นขอบภาพ( Edge Detection )

### 2.7.1 หลักพื้นฐาน( Basic Formulation )

เส้นขอบภาพ คือ ขอบระหว่างแถบพื้นที่ระดับสีเทา 2 แถบ แนวคิดในการตรวจสอบเส้นขอบภาพใช้วิธีการคำนวณค่าความเบี่ยงเบน(Derivative) ดังแสดงในรูปที่ 2.27รูปที่ 2.27(a) แสดงภาพ Image ของแถบแสงที่ส่องลงบนพื้นสีดำจะทำให้เกิดเป็นแถบสีขาวและดำขึ้นตามเส้นสแกนแนวนอน ( Horizontal Scan Line ) และเกิดค่าความถี่เบี่ยงเบนอันดับที่หนึ่งและสองขึ้นตามแถบ รูปที่ 2.27(a) แสดงค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่หนึ่ง ( 1<sup>st</sup> Derivative ) ของแถบสีที่เกิดขึ้น ที่เส้นขอบแถบสี(จุดที่เปลี่ยนระหว่างสีดำและสีขาว) อันแรกซึ่งมีค่าเป็นบวกและค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่หนึ่งของเส้นขอบแถบสีที่สองจะมีค่าเป็นลบ และค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่หนึ่งเป็นศูนย์ที่พื้นที่ที่ไม่ใช่เส้นขอบ แถบสีที่ไม่ใช่ที่จุดที่เปลี่ยนสีดำและขาว ค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สอง( 2<sup>nd</sup> Derivative) จะเป็นบวกที่เส้นขอบแถบสีที่เป็นด้านสีดำ ส่วนค่าเบี่ยงเบนอันดับที่สองที่ขอบเส้นแถบสีจะมีค่าเป็นลบ ในส่วนที่เป็นสีขาวและเป็นศูนย์ที่พื้นที่ไม่ใช่เส้นขอบแถบสีซึ่งขนาดของค่าที่เบี่ยงเบนอันดับที่หนึ่ง( 1<sup>st</sup> Derivative) ใช้ในการตรวจหาขอบของภาพและเครื่องหมายของค่าเบี่ยงเบนอันดับที่สอง( 2<sup>nd</sup> Derivative) ใช้เป็นตัวกำหนดว่าขอบของภาพนั้นเป็นขอบภาพด้านสีขาวหรือดำ ส่วนช่วงที่เป็นเส้นขอบแถบสีค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สองจะมีค่าเป็นศูนย์

ค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่หนึ่ง ( 1<sup>st</sup>Derivative) สามารถหาได้โดยใช้วิธี Gradient Operator ส่วนค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สอง(2<sup>nd</sup> Derivative) สามารถหาได้โดยวิธี Laplacian

### 2.7.2 Gradient Operator

ค่า Gradient ของฟังก์ชันภาพ( Image )  $f(x,y)$  ที่จุด  $(x,y)$  เป็นตัวแปรเวกเตอร์

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix}$$

และขนาดของเวกเตอร์จะมีค่าเท่ากับ

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$$

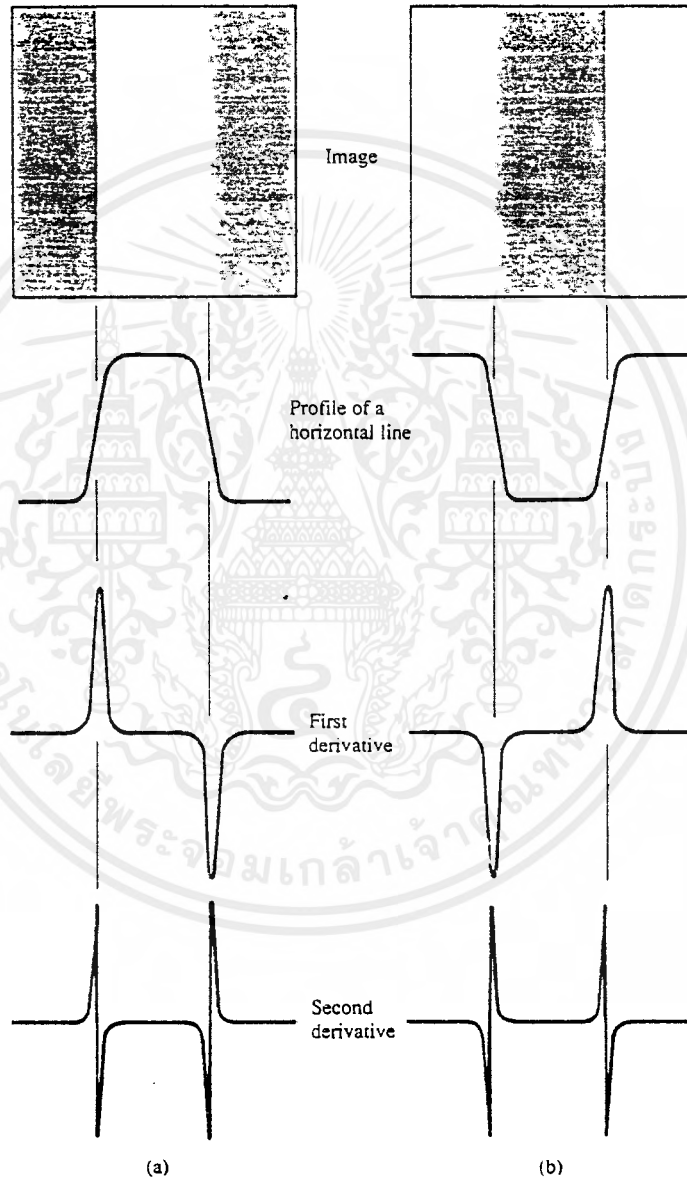
$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = [(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2]^{1/2} \dots\dots\dots(2.12)$$

ในทางปฏิบัติจะมีค่าประมาณ

$$|\nabla f| \approx |G_x| + |G_y| \dots\dots\dots(2.13)$$

ทิศทางของ Gradient Vector แสดงด้วยค่ามุม  $\alpha(x,y)$  ซึ่งเป็นมุมเวกเตอร์  $\nabla f$  ที่จุด  $(x,y)$  เมื่อวัดจากแกน x ซึ่ง  $\alpha(x,y)$  หาได้จาก

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1} (Gy/Gx) \dots\dots\dots(2.14)$$



รูปที่ 2.27 แสดงภาพแถบสีที่ใช้ตรวจหาขอบภาพ

### 2.7.3 Sobel Operator

จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 ใช้คำนวณค่า Gradient Vector โดยใช้การคำนวณค่า Partial Derivative  $\partial f/\partial x$  และ  $\partial f/\partial y$  แต่ค่าเบี่ยงเบนแบบดิจิตอลสามารถหาได้จากวิธีการอื่นๆ ได้แก่วิธี Sobel Operator ซึ่งได้เปรียบในด้านความแตกต่างของข้อมูล(Differencing) และความเรียบของข้อมูล(Smooth) เพราะการคำนวณโดยวิธี Derivative เป็นการเพิ่มสิ่งรบกวน(Noise) แต่ข้อเด่นของวิธี Sobel operator คือจะได้ข้อมูลที่เรียบ

จากรูปที่ 2.28 ค่าเบี่ยงเบนที่หาโดยวิธี Sobel Operator มีค่า

$$G_x = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

และ

$$G_y = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

เมื่อ Z คือค่าระดับความเข้ม(Gray Level)ของจุดกลางภาพ (Pixel) ของ mask ภาพการคำนวณค่า Gradient ที่จุดกลางแต่ละMask แล้วใช้คำนวณตามสมการ

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

หรือ

$$\nabla f = |G_x| + |G_y|$$

จะได้ค่า Gradient ของจุดแรกแล้วเลื่อนไปยังพิกเซลต่อไปทำตามขั้นตอนเดิมจนครบทั้งภาพ จะได้ค่า Gradient ของภาพเท่ากับขนาดภาพเดิมที่ขอบภาพบริเวณจากขอบ Mask ถึงจุดกลางMask จะใช้การประมาณค่าความเข้ม(Gray Level)ของจุดข้างเดียว

$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$

(a) แสดง mask ขนาด 3X3

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(b) แสดง mask สำหรับคำนวณค่า Gx

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(c) แสดง mask สำหรับคำนวณค่า Gy

รูปที่ 2.28 แสดง mask ที่ใช้ในวิธี Sobel Operation

#### 2.7.4 Laplacian

ค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สอง ( $2^{\text{nd}}$  Derivative) สามารถหาได้จาก

$$\nabla^2 f = (\partial^2 f / \partial x^2) + (\partial^2 f / \partial y^2) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

ในกรณี Gradient สมการ 2.15 สามารถหาได้จากวิธีแบบดิฟเฟอเรนเชียล สำหรับ Region ขนาด 3X3 จะสามารถหาค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สองได้จาก

$$\nabla^2 f = 4Z_5 - (Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_8) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

การใช้ Laplacian จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ ( $\nabla^2 f$ ) ที่จุดศูนย์กลางจุดภาพ (pixel) มีค่าเป็นบวกและให้ค่าสัมประสิทธิ์ ( $\nabla^2 f$ ) ที่บริเวณนอกจุดศูนย์กลางภาพ (pixel) มีค่าเป็นลบ ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดจะมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนบริเวณที่ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับศูนย์คือบริเวณที่มีค่าความเข้ม (gray level) เท่ากัน

วิธี Laplacian จะมีผลต่อบริเวณที่มีค่าความเข้มแตกต่างกัน หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างสีขาวและสีดำ วิธี Laplacian จะไม่มีผลต่อ noise ยิ่งไปกว่านั้นการตรวจหาขอบภาพมีลักษณะเป็นแถบโดยวิธี Laplacian จะแสดงถึงจุดภาพ (pixel) อยู่ในส่วนสีดำหรือสีขาว รูปที่ 2.29 แสดง mask ที่ใช้คำนวณค่าของสมการ 2.19

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

รูปที่ 2.29 แสดง mask ที่ใช้คำนวณค่าของสมการ 2.19

อีกวิธีหนึ่งของการตรวจหาขอบภาพแบบ Laplacian โดยใช้วิธีหาค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สองแบบ Gaussian function โดยมีรูปแบบ

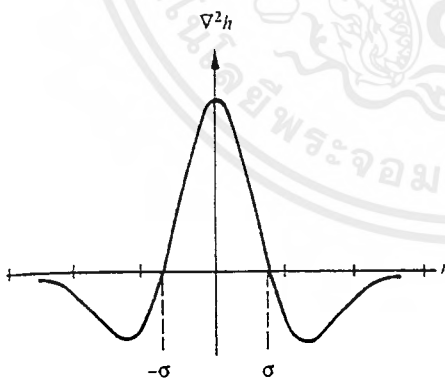
$$h(x,y) = \exp[-(x^2 + y^2) / 2\sigma^2] \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

เมื่อ  $\sigma$  เป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

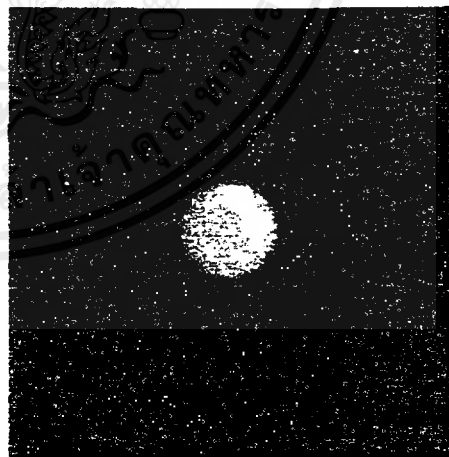
เมื่อ  $r^2 = x^2 + y^2$  ค่า Laplacian ของ  $h$  (ค่าความเบี่ยงเบนของ  $h$  เทียบกับ  $r$ ) จะได้

$$\nabla^2 h = [(r^2 - \sigma^2) / \sigma^4] \exp(-r^2 / 2\sigma^2) \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

จากรูปที่ 2.30 จะได้รูปกราฟที่สมมาตรกัน ค่า  $\nabla^2 h$  จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อ  $r = \sigma, r = -\sigma$  และมีค่าเป็นบวกเมื่อ  $r < \sigma, r < -\sigma$  ค่าเฉลี่ยของค่าความเบี่ยงเบนอันดับที่สอง ( $\nabla^2 h$ ) จะมีค่าเท่ากับ ศูนย์



(a)



(b)

รูปที่ 2.30 แสดงกราฟค่า  $\nabla^2 h$

## 2.8 การตรวจสอบหาชนิดของวัตถุ โดยอาศัยการเปรียบเทียบแกนหลัก

### 2.8.1 การเปรียบเทียบแกนหลัก (Principle Axis comparison)

การเปรียบเทียบแกนหลักเป็นการนำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมาใช้ประโยชน์เพื่อแยกความแตกต่างของวัตถุความแตกต่างของวัตถุแต่ละชนิด การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเหล่านี้เป็นวิธีวิเคราะห์แบบการรวมแบบเชิงเส้น (Linear Combination) ของข้อมูลภาพที่จะรักษาไว้ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงหรือความแปรปรวน (variance) ของแกนเดิม (Original axis) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคทางสถิติ ที่อยู่บนพื้นฐานของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของเซตของข้อมูล ค่าความแปรปรวนนี้เป็นการวัดการแตกกระจาย (Scatter) ที่อยู่ภายในหนึ่งตัวแปรของเซตข้อมูล ส่วนความแปรปรวนร่วมเป็นการวัดการแตกกระจาย ในระหว่างสองตัวแปร การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของตัวแปร  $x$  ตัว เป็นการกำหนดการแปลงเชิงเส้นของทุกๆ การแปรเปลี่ยนในข้อมูลเดิมสู่ตัวแปรตัวใหม่  $y$  ตัว เมื่อจำนวนตัวแปร  $y$  มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนตัวแปร  $x$  ในการแปลงนี้ถูกกำหนดให้ตัวแปรแรก (หรือองค์ประกอบแรก) ของกลุ่มตัวแปร  $y$  ที่มีค่าความแปรปรวนสูงสุดจากความแปรปรวนทั้งหมด ส่วนตัวที่สองของกลุ่มตัวแปร  $y$  จะมีความแปรปรวนสูงสุดจากความแปรปรวนที่เหลือ และลดลงไปเรื่อยๆ สำหรับตัวแปรถัดไป การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นการแปลงเชิงเส้นที่อยู่ในรูปของ

$$Y = CX + R \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_q \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_p \end{bmatrix}$$

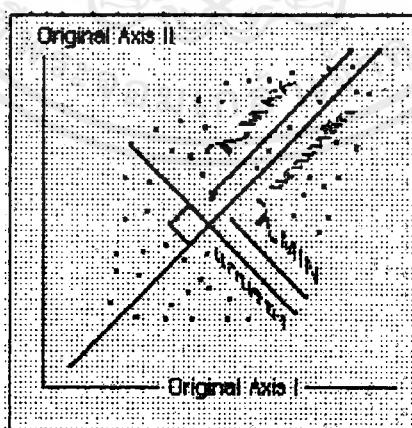
$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{q1} & c_{q2} & \dots & c_{qp} \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_q \end{bmatrix}$$

โดยที่  $q < p$  เงื่อนไขที่กำหนดว่าการแปลงนั้นต้องได้  $CC^t = I$  โดย  $C^t$  เป็นทรานสโพส (Transpose) ของ  $C$  และ  $I$  เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ (Identify Matrix) และที่สำคัญขึ้นมาคือ ตัวแปร

หลังการแปลง  $Y$  ต้องตั้งฉากกัน แต่ละตัวของ  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน การกำหนดเงื่อนไขให้พิจารณาจาก [Expected value ของ  $x$ ]  $E(x)=Ux$  เป็นเวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $X$  จะได้ว่า  $E(y)=E(CX+B)=CE(X)+B=Uy$  เนื่องจาก ไม่มีการกำหนดข้อจำกัดในการเปลี่ยนตัวแปร ไปยังจุดตั้งต้นใหม่ ดังนั้นอาจจะเลือกให้  $Uy=0$  ซึ่งจะได้  $CUx+B=0$  หรือ  $-CUx=B$  ดังนั้นจะได้  $Y=CX+(-CUx)$  ซึ่งเราจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$Y=C(X-Ux)$$

จุดประสงค์หลักของทฤษฎีในการแปลงคือ ต้องการได้คืนมาของการแปรปรวนทั้งหมด เพื่อรักษาเอาไว้ซึ่งการแปรปรวนต่างๆ อย่างที่ต้องการ ค่าการแปรปรวนน้อยๆ ในตัวแปรหลังๆ นั้นจะมีค่าน้อยจนอาจจะพิจารณาได้ว่าไม่มีค่าและตัดทิ้งได้ ถ้าหากมีการตัดเอาตัวแปรหลังๆ ดังกว้างทิ้งไป ก็จะเป็นการลดขนาดมิติของภาพ ทำให้ค่าความแปรปรวนของข้อมูลหลังการแปลง มีค่าน้อยกว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลเดิม เมื่อเรานำมาใช้หาแกนหลักและแกนรองของภาพวัตถุใดๆ โดยการลดขนาดกลุ่มของกลุ่มตัวแปร  $Y$  ให้เหลือเพียง 2 ตัวคือ ค่าอีเกนแวลูสูงสุด (Maximum Eigenvalue) และ ค่าอีเกนแวลูต่ำสุด (Minimum Eigenvalue) ความยาวของแกนหลักและแกนรองจากจุดตัดของแกนทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ค่าทั้งสองสามารถใช้เป็นลักษณะเฉพาะวัตถุแทนตัววัตถุใด ๆ ได้เป็นอย่างดี ถึงแม้การขาดหายไปของค่าสหสัมพันธ์ของแกนหลังการแปลงที่เกิดจากผลของการแปลงนั้น ทำให้ตัวแปรหลังการแปลงคือ กลุ่มตัวแปร  $y$  จะไม่ให้ค่าสหสัมพันธ์ ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันของกลุ่มตัวแปร  $x$  ก็สามารถแสดงหรือแทนได้ด้วยกลุ่มของตัวแปรที่ไม่สัมพันธ์กันของกลุ่มตัวแปร  $y$  ได้ อย่างรัดกุมกว่า



รูปที่ 2.31 แสดงแกนหลักและแกนรองที่มีอีเกนแวลูเป็นความยาวจากจุดตัดของแกนทั้งสอง

## 2.8.2 การนำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมาใช้ในการเปรียบเทียบแกนหลัก

ค่าอีเกนแวลูเป็นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นการแปลงเชิงเส้นที่อยู่ในรูปของสมการเวกเตอร์  $Y=CX+B$  ในที่นี้จะเลือกใช้กรณีที่ผลลัพธ์เป็นจำนวนจริง ซึ่งโดยปกติอาจจะเป็นจำนวนจินตภาพก็ได้ จากการเปรียบเทียบแกนหลัก เราอาจทำการเปลี่ยนตัวแปรเสียใหม่ ได้สมการ  $D(\lambda)=\det(A-\lambda I)x$  เนื่องจากไม่มีการกำหนดข้อจำกัดในการเปลี่ยนตัวแปรไปยังจุดตั้งต้นใหม่ ดังนั้นอาจจะเลือกให้  $D(\lambda)=0$  ซึ่งจะได้  $D(\lambda)=\det(A-\lambda I)x=0$  เมื่อ  $a,b,c,d$  คือ สมาชิกของเมตริกซ์  $2 \times 2$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{Matrix } A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

ดังนั้นจะได้

$$\begin{vmatrix} a - \lambda & b \\ c & d - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$(a - \lambda)(d - \lambda) - bc = 0$$

$$ad - a\lambda - d\lambda - \lambda^2 - bc = 0$$

$$\lambda^2 - (a+d)\lambda + (ad - bc) = 0$$

จาก  $ax^2 + bx + c = 0, x = \{-b \pm \sqrt{(b-4ac)}\} / 2a$

เพราะฉะนั้น  $\lambda = \{(a+d) \pm \sqrt{(a+d)^2 - 4(ad - bc)}\} / 2a$

นั่นคือจะได้คำตอบที่เราต้องการคือ

$$\lambda_{\max} = \{(a+d) + \sqrt{(a+d)^2 - 4(ad - bc)}\} / 2 \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

$$\lambda_{\min} = \{(a+d) - \sqrt{(a+d)^2 - 4(ad - bc)}\} / 2 \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

เมื่อ  $\lambda_{\max}$  และ  $\lambda_{\min}$  คือความยาวของแกนหลักและความยาวของแกนรองจากจุดตัดของแกนทั้งสองตามลำดับ

## 2.9 ANT-32

คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมทั่วไปได้ มีขนาดเล็ก พร้อมทั้งวงจรพื้นฐานต่าง ๆ ที่มีให้ครบถ้วน และมีโปรแกรมรองรับในการพัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ โดยมี REM31 และ BASIC32 ให้เลือกใช้ได้สามารถพัฒนาด้วยภาษาแอสเซมบลีหรือภาษาเบสิก

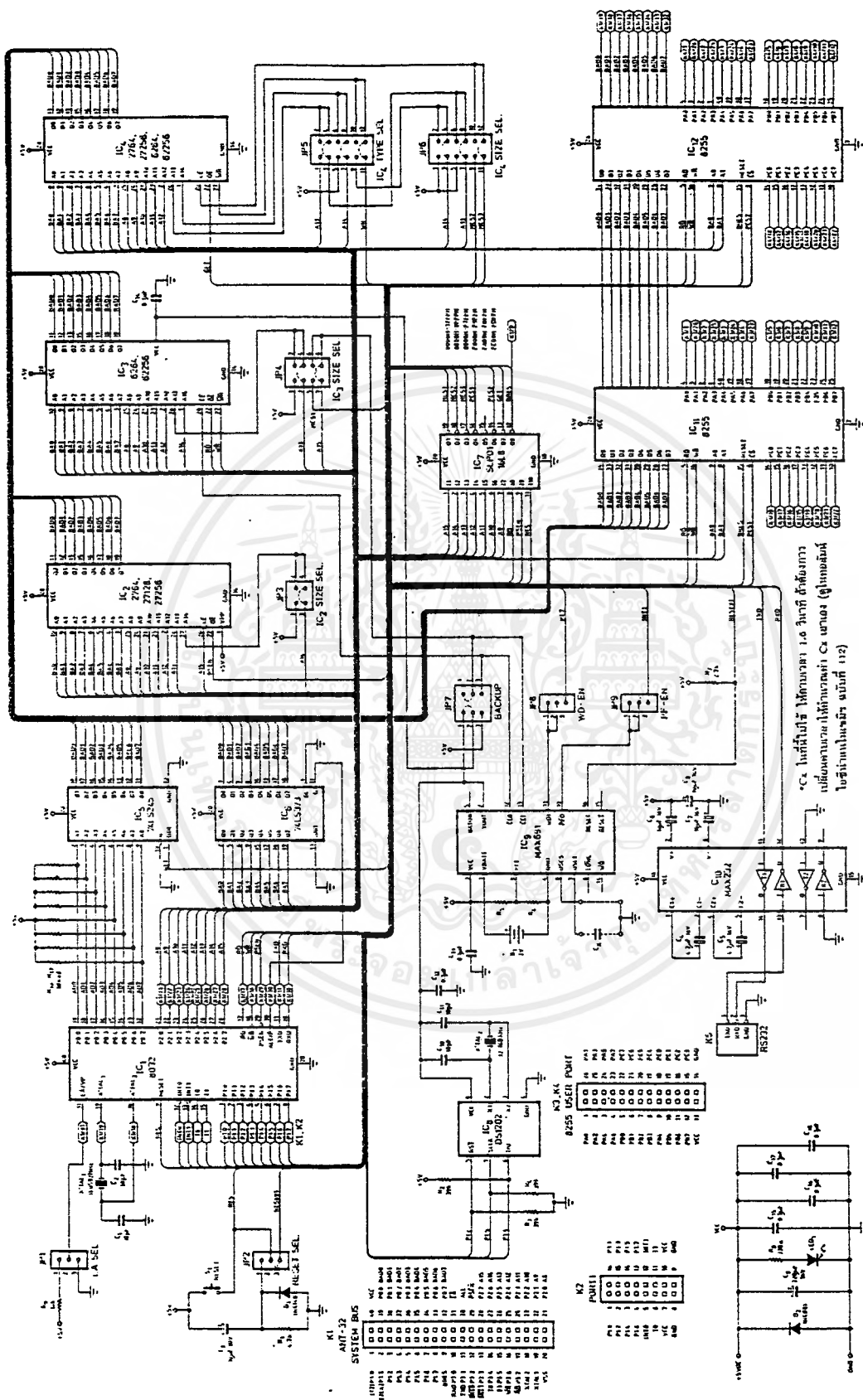
### 2.9.1 คุณสมบัติของบอร์ด

- ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 (8031/8032)
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 11.0592 เมกะเฮิรตซ์
- หน่วยความจำอีพรอม 8 ถึง 32 กิโลไบต์ สำหรับโปรแกรม
- หน่วยความจำแรม 8 ถึง 32 กิโลไบต์ สำหรับเก็บข้อมูลสามารถแบคอัพข้อมูลโดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียม
- ใช้กับหน่วยความจำชนิด EEPROM ขนาด 8 ถึง 32 กิโลไบต์ได้
- มีพอร์ตเบอร์ 8255 จำนวน 2 พอร์ต สำหรับการใช้งานภายนอก
- มีวงจรถอดอนุกรม (RS-232) สำหรับการต่อเข้าเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
- มีวงจรถอดรหัสดีคอกและเพาเวอร์อัป/ดาวน ด้วยชิพเบอร์ MAX 691
- มีวงจรร TC (Real Time Clock) ใช้ชิพเบอร์ DS 1202
- มีขั้วต่อสำหรับ PORT 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเฉพาะ
- มีขั้วต่อ SYSTEM BUS ทำให้ขยายระบบได้ง่าย และสามารถเข้ากับบอร์ดขยายต่างๆ ที่จะมีขึ้นในอนาคต
- สามารถเลือกเบอร์หน่วยความจำหรือกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของบอร์ดได้ด้วยจัมเปอร์
- ขนาดของบอร์ด 10.2 ซม. x 14.2 ซม.

### 2.9.2 การทำงาน

วงจรมุมรณของ ANT-32 V 2.0 แสดงดังรูปที่ 2.32 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8032, หน่วยความจำ (ROM/RAM), พอร์ตอินพุท/เอาต์พุท, ส่วนถอดรหัสแอสเดสของหน่วยความจำและพอร์ต, ส่วนนาฬิกาเวลาจริง (RTC), วงจรส่วนถอดรหัสดีคอกไทมเมอร์ (Watch Dog Timer) และแบตเตอรี่สำรองสำหรับ RTC และ RAM, ส่วนแปลงแรงดันสำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232

IC<sub>1</sub> เป็นชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ของ INTEL เบอร์ 8032 ทำงานที่ควมถี่ 11.0592 เมกะเฮิรตซ์ ทำการติดต่อกับหน่วยความจำ 3 ส่วนคือ IC<sub>2</sub> เป็นหน่วยความจำภายนอกที่ใช้เก็บโปรแกรม (external program memory) ใช้กับอีพรอมขนาด 8-32 กิโลไบต์ เบอร์ 2764, 27128 หรือ 27256 โดยใช้จัมเปอร์ JP<sub>3</sub> ส่วนที่สองคือ IC<sub>3</sub> เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูล (data memory) ใช้กับแรม 8 ถึง 32 กิโลไบต์ เบอร์ 6264 หรือ 62256 เลือกขนาดด้วยจัมเปอร์ JP<sub>4</sub> ซึ่ง IC<sub>3</sub> นี้เป็นแบตเตอรี่แบคอัพสำหรับเก็บข้อมูลเมื่อไฟดับด้วย และส่วนที่สามคือ IC<sub>4</sub> เป็นหน่วยความจำที่ใช้



รูปที่ 3.32 แสดงวงจรบอร์ด ANT 32 version 2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บทั้งโปรแกรมและเก็บข้อมูล (program and data memory) ใช้กับอีพรอมหรือ EEPROM และแรมขนาด 8 ถึง 32 กิโลไบต์ โดยใช้อีพรอมเบอร์ 2764 ,27256 หรือ EEPROM เบอร์ 2864(A) ,28256(A) และแรมเบอร์ 6264, 62256 ซึ่งเลือกชนิดและขนาดของ IC<sub>4</sub> ด้วยจัมป์เปอร์ JP<sub>5</sub> และ JP<sub>6</sub> ในกรณีต้องการใช้หน่วยความจำภายในที่ใช้เก็บโปรแกรม (internal program memory) ภายใน IC<sub>1</sub> สำหรับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051,8052,8751 และ 8752 สามารถเลือกได้โดยจัมป์เปอร์ JP<sub>1</sub>

ส่วนของพอร์ตนอกจากพอร์ตภายใน(internal port) ของชิพคือ PORT1 รวมทั้งขา INTO , INT1 ,T0 และ T1 แล้วยังมีพอร์ตภายนอกคือ IC<sub>11</sub> และ IC<sub>12</sub> เบอร์ 8255 ให้ใช้งานเพิ่มเติมอีกถึง 48 บิต

ส่วนถอดรหัสแอดเดรสของหน่วยความจำสำหรับ IC<sub>2</sub> ใช้สัญญาณแอดเดรส A<sub>15</sub> เพื่อกำหนดให้ IC<sub>2</sub> อยู่ที่แอดเดรส 0000H-7FFFH ส่วน IC<sub>3</sub> และ IC<sub>4</sub> ใช้สัญญาณแอดเดรส A<sub>13</sub>-A<sub>15</sub> ร่วมกับ IC<sub>7</sub> จัดให้ IC<sub>3</sub> อยู่ที่แอดเดรส 0000H-7FFFH ส่วน IC<sub>4</sub> อยู่ที่แอดเดรส 8000H-F7FFFH ส่วนพอร์ต IC<sub>11</sub> จัดให้อยู่ที่แอดเดรส F800H-F9FFFH และ IC<sub>12</sub> อยู่ที่แอดเดรส FC00H-FDFFFH IC<sub>7</sub> นอกจากใช้ถอดรหัสแอดเดรสแล้วยังใช้สร้างสัญญาณอ่านข้อมูลสำหรับสร้างหน่วยความจำ IC<sub>4</sub> และเป็นบัฟเฟอร์สัญญาณรีเซตชิพอีกด้วย

วงจรมหาเวลาจริง(real time clock) คือ IC<sub>8</sub> ใช้ชิพเบอร์ DS1202(serial timekeeper chip) อินเทอร์เฟสกับชิพแบบอนุกรม โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้นเท่านั้นคือ RST (reset) , SCLK (serial clock) และ I/O (data input/output) IC<sub>9</sub> เป็นส่วนของวงจรวอตซ์ดีกไทเมอร์และวงจรมอเตอร์สำรองข้อมูล ใช้ไอซีเบอร์ MAX691 (Microprocessor Supervisory Circuits) วงจรส่วนนี้จะคอยกระตุ้น (รีเซต) ให้ชิพเริ่มทำงานใหม่ เมื่อระบบแฮงก์ (hang) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถกำหนดค่า time-out period ได้โดยค่า C<sub>1</sub> และวงจรวอตซ์ดีกไทเมอร์นี้ยังสามารถกำหนดให้อินาเบลหรือดิสเอนเบลได้ด้วยจัมป์เปอร์ JP<sub>8</sub> สำหรับวงจรมอเตอร์สำรองข้อมูล ใช้สำหรับเก็บค่าเวลาของ IC<sub>8</sub> และเก็บข้อมูลของแรม IC<sub>3</sub> ในขณะที่ไฟดับ (power fail) โดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียม ซึ่งข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ จัดวงจรง่ายโดยไม่ต้องมีวงจรชาร์จ และมีอายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล แคดเมียม วงจรนี้สามารถสำรองทั้ง RTC และแรมได้นานนับปี การกำหนดสถานะการแบคอัพข้อมูลใน IC<sub>2</sub> กระทำได้ด้วยจัมป์เปอร์ JP<sub>7</sub> นอกจากนั้นแล้ว IC<sub>9</sub> ยังมีวงจรตรวจจับแรงดัน V<sub>cc</sub> เมื่อไฟตก วงจรในส่วนนี้จะถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการเก็บค่าสถานะหรือข้อมูลบางอย่างของระบบลงแรมก่อนไฟดับระดับแรงดันที่ตรวจจับกำหนดได้จากค่า R<sub>5</sub> และ R<sub>6</sub> และกำหนดให้อินา

เบิล หรือดิสเอเบิลได้ด้วยจัมป์เปอร์ JP<sub>9</sub> ส่วนสัญญาณรีเซตซีพียูสามารถเลือกได้ว่าจะใช้วงจร R, C รีเซตหรือจาก IC<sub>9</sub> โดยจัมป์เปอร์ JP<sub>2</sub>

IC<sub>10</sub> ทำหน้าที่ปรับแรงดันสำหรับสัญญาณอนุกรมจากขา TXD,RXD ของ IC<sub>1</sub> ให้เป็นไปตามระดับแรงดันตามมาตรฐาน RS-232 ซึ่งจะใช้กับการสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ด ANT-32 กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

### 2.9.3 การจัดหน่วยความจำ

0000H	<b>IC2 (0000H -7FFFH)</b> <b>EPROM</b> <b>2764</b> <b>27128</b> <b>27256</b> <b>CODE MEMORY</b>		<b>IC3 (0000H -7FFFH)</b> <b>RAM(backup)</b> <b>6284</b>  <b>62256</b> <b>DATA MEMORY</b>										
8000H	<b>IC4(8000H -F7FFH)</b> <table border="1"> <tr> <td>EPROM</td> <td>EEPROM</td> <td>RAM</td> </tr> <tr> <td>2764</td> <td>2864</td> <td>6264</td> </tr> <tr> <td>27256</td> <td>28256</td> <td>62256</td> </tr> </table> <b>CODE&amp;DATA MEMORY</b>				EPROM	EEPROM	RAM	2764	2864	6264	27256	28256	62256
EPROM	EEPROM	RAM											
2764	2864	6264											
27256	28256	62256											
F800H	<b>IC11(F800H -F9FFH)</b> <b>USER PORT 1</b>												
FA00H	<b>งานให้</b>												
FC00H	<b>IC12(FC00H -FDFFH)</b> <b>USER PORT 2</b>												
FE00H	<b>งานให้</b>												
FFFFH													

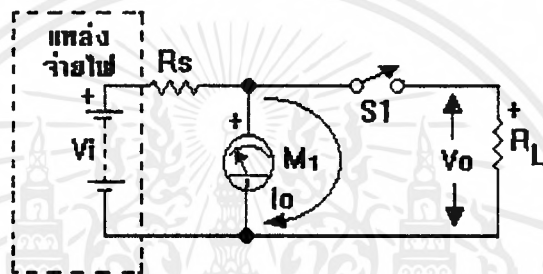
รูปที่ 2.33 แสดงการจัดหน่วยความจำของบอร์ด ANT 32 version 2.0

รูปที่ 2.33 แสดงถึงการจัดหน่วยความจำของบอร์ด ANT-32 V 2.0 ซึ่ง IC<sub>2</sub> เป็นส่วนของรอมมอนิเตอร์ และ IC<sub>3</sub> เป็นแรมแบคอัพ ทั้ง IC<sub>2</sub> และ IC<sub>3</sub> ถูกถอดรหัสที่แอดเดรสเดียวกันคือ 0000H-7FFFH สำหรับ IC<sub>4</sub> สามารถใช้ได้ทั้งอีพรอม , EEPROM และแรมอยู่ในตำแหน่งแอดเดรส 8000H-7FFFH และแอดเดรสช่วง F800H-FFFFH ถูกใช้สำหรับเป็นแอดเดรสพอร์ต โดย IC<sub>11</sub> อยู่ที่แอดเดรส F800H-F9FFH และ IC<sub>12</sub> ที่แอดเดรส FC00H-FDFFH

## 2.10 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่ (Voltage Regulators)

จุดมุ่งหมายการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ก็คือการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่แม้ว่ากระแสของโหลดเอาต์พุตระดับแรงดันอินพุต หรือทั้งสองอย่างมีการเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ปัญหาเบื้องต้นของการรักษาระดับแรงดัน

สาเหตุแรกการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ จากสายไฟตามบ้านซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโดยปกติจะเปลี่ยนแปลง 20-25 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงแรงดันของแบตเตอรี่ จะก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์



รูปที่ 2.34 แสดงค่าความต้านทานภายใน ( $R_s$ )

สาเหตุที่สองของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเอาต์พุต ได้แก่การเปลี่ยนกระแสโหลด หากแก้ของปัญหาได้แก่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟใดที่มีคุณสมบัติเหมือนกับในอุดมคติเลย เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟทุกชนิดจะมีค่าความต้านทานภายใน บางครั้งเรียกว่าความต้านทานแหล่งจ่ายไฟ (source resistance :  $R_s$ ) ปัญหาในเรื่องค่าความต้านทานภายในนี้ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.34 โดย  $R_s$  จะต่ออนุกรมอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน  $V_i$

เมื่อไม่มีกระแสเอาต์พุตไหล ระดับแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_i$  แต่เมื่อเกิดการไหลของกระแสเอาต์พุตก็จะเกิดแรงดัน (เท่ากับ  $I_o \cdot R_s$ ) ตกคร่อมค่าความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟ ภายใต้สภาวะเช่นนี้ค่าความต่างศักย์ที่เป็นจริงของเอาต์พุต  $V_o = V_i - (I_o \cdot R_s)$  สามารถสรุปได้ว่าการรักษาให้ระดับแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดก็โดย

1. พยายามรักษาค่า  $I_o$  ให้คงที่(ซึ่งเป็นไปได้ไม่เสมอไป)
2. ลดค่าความต้านทาน  $R_s$  ให้น้อยที่สุด(ซึ่งเป็นวิธีการที่แพงมากและส่วนใหญ่จะเป็นไปไม่ได้)

3. จัดหาวงจรรักษาระดับแรงดันซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสม ค่าเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน (percentage of regulation : %REG) เป็นวิธีการวัดค่าการรักษาระดับแรงดันและหาได้จากสมการดังนี้

$$\%REG = (100)(V_o - V_{lmax})/V_o \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

เมื่อ  $V_o$  เป็นระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อไม่มีโหลด และ  $V_{lmax}$  เป็นระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อแหล่งจ่ายไฟจ่ายกระแสออกไปสูงที่สุดเต็มขีดจำกัด

### 2.10.1 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซี

ปัจจุบันมีวงจรรักษาระดับแรงดันที่นำมาจากวงจรรวม หรือวงจรไฮบริด (hybrid regulator) ที่มีความเชื่อถือสูง อุปกรณ์เหล่านี้บางตัวก็เป็นแบบง่าย ๆ ในขณะที่บางชนิดก็มีความสลับซับซ้อนมาก ซึ่งมีในย่านกระแสจาก 100 มิลลิแอมป์ ถึง 35 แอมป์ และระดับแรงดันไฟตรงจาก 2 โวลต์ ถึง 24 โวลต์ อุปกรณ์บางตัวจะมีขั้วต่อเพียง 3 ขั้ว (อินพุต เอาต์พุต และขากราวด์) และมันจะทำงานให้ระดับแรงดันค่ามาตรฐานออกมาคงที่ ในขณะที่บางตัวจะมีขาต่อมากกว่านี้ และสามารถปรับค่าแรงดันได้ การบรรจุอุปกรณ์ลงในตัวถังจะเริ่มจากตัวถังของทรานซิสเตอร์แบบ 3 ขา (ประกอบด้วยตัวถังแบบ TO-5, TO-3, และแบบ TO-220) จนกระทั่งถึงตัวถังแบบตีนตะขาบ (DIP) และตัวถังโลหะ ตัวถังแบบไอซี จนกระทั่งถึงตัวถังแบบพิเศษที่ทำมาโดยเฉพาะ

โดยทั่วไปไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขาจะทำงานกับระดับแรงดันอินพุตจาก ( $V_o + 3$  โวลต์) จนถึง 35 หรือ 40 โวลต์ (ขึ้นอยู่กับแต่ละรุ่น) บางรุ่นต้องการเพียงความแตกต่างระหว่างแรงดันอินพุตกับเอาต์พุตแค่ 2 โวลต์ ( $V_o + 2$  โวลต์) สำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันขนาด 5 โวลต์ จะต้องการระดับแรงดันด้านอินพุตเท่ากับ 7 ถึง 8 โวลต์ สำหรับไอซีที่ใช้รักษาระดับแรงดันแบบตัวถัง 3 ขา ส่วนใหญ่แล้วตัวเลขที่บอกชนิดจะบอกถึงบางสิ่งบางอย่างที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของมัน ยกตัวอย่างเช่น อัตราการทนแรงดัน อัตราการทนกระแสโดยประมาณ และให้ระดับแรงดันบวกหรือลบ ตัวเลขที่พิมพ์อยู่บนตัวถังแต่ละตัวนั้น จะบอกถึงขั้วของแรงดันที่ไอซีนั่นจะให้ มีอยู่ 2 กลุ่มหลักๆ คือแบบไฟบวกและไฟลบโดยกำหนดเป็นตัวเลขอยู่ 4 แบบคือ

แบบให้แรงดันบวก : 78XX และ LM340NXX

แบบให้แรงดันลบ : 79XX และ LM320NXX

สำหรับทั้งกรณี ค่า XX จะระบุถึงแรงดันเอาต์พุต ส่วนตัวอักษร N นั้น จะระบุถึงแบบของตัวถังที่บรรจุอยู่ และจะบอกถึงโดยย่อถึงอัตราการทนกระแสโดยประมาณ โดยชื่อตัวถังที่ตั้งขึ้นมาได้แก่

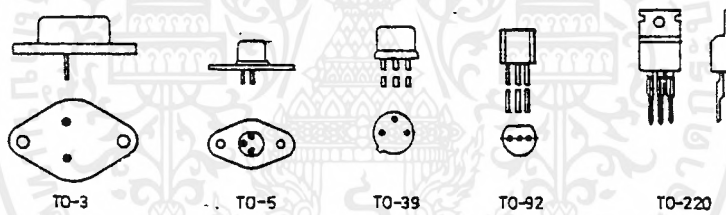
H หมายถึง ตัวถังแบบ TO-5 จะจ่ายกระแสได้ประมาณ 100 MA

K หมายถึง ตัวถังแบบ TO-3 จะจ่ายกระแสได้ประมาณ 1 A ถ้าใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่เป็นอากาศ ซึ่งจะจ่ายกระแสได้สูงกว่านี้ โดยใช้แผ่นระบายความร้อนที่เหมาะสม

T หมายถึง ตัวถังแบบ TO-220 จะจ่ายกระแสได้ประมาณ 750 MA

## 2.10.2 การรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา (Three-Terminal Regulators)

วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีแบบ 3 ขานี้เป็นกลุ่มของอุปกรณ์ซึ่งให้ค่าระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่ บรรจุอยู่ในตัวถังของทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐาน(แบบ TO-3 ,TO-39 ,TO-92 ,TO-5 และ TO-220) กระแสเอาต์พุตสูงสุดที่จ่ายได้อยู่ในย่านจาก 100 มิลลิแอมป์ ในตัวถังแบบ TO-5 (และ TO-39 ,TO-92) ไปจนถึง 10 แอมแปร์ ในตัวถังแบบ TO-3 สำหรับตัวถังแบบ TO-3 และ TO-220 นั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในอัตรา 750 มิลลิแอมป์ จนถึง 1 แอมป์

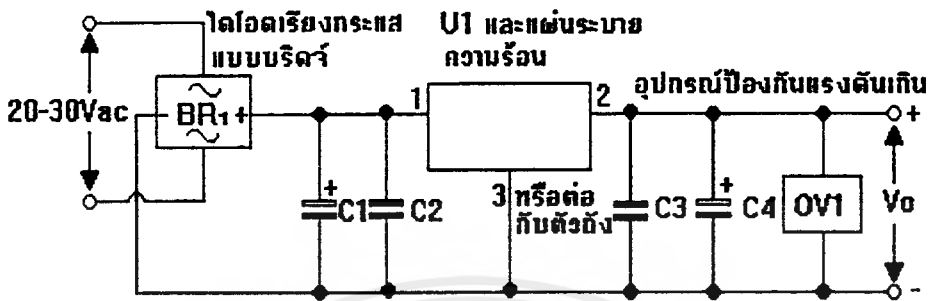


รูปที่ 2.35 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของตัวถังประเภทต่างๆ

ในรูปที่ 2.35 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของตัวถังประเภทต่างๆ ที่นิยมใช้บรรจุวงจรไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขาเป็นส่วนใหญ่ จะสังเกตว่าทุกตัวเป็นตัวถังทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐาน แต่ก็มีบางแบบที่ใช้ตัวถังต่างจากนี้ไป ซึ่งก็ใช้ในอุปกรณ์ชนิดพิเศษ วงจรมาตรฐานทั่วไปที่นิยมใช้ไอซีรักษาระดับแรงดัน 3 ขานี้ดังแสดงในรูปที่ 2.36 อุปกรณ์บางตัวในวงจรก็เป็นแบบเพิ่มเติมเป็นพิเศษ (optional) แต่บางตัวก็พบว่าใช้อยู่ใช้อยู่เสมอๆทุกวงจร ในรูปที่ 2.36 นี้ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงหม้อแปลงไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟกระแสกลับซึ่งก็ใช้เหมือนกัน ไม่ว่าจะป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน หรือไม่มี การรักษาระดับแรงดันก็ตาม

ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์ BR<sub>1</sub> และตัวเก็บประจุ C<sub>1</sub> นั้น เหมือนกันหมดสำหรับแหล่งจ่ายไฟใดๆการเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้มีกฏง่ายๆในการเลือกค่าตั้งเก็บประจุ C<sub>1</sub> คือมีค่าไม่ต่ำกว่า 1000

ไมโครฟารัดต่อแอมแปร์ ของกระแสไหลลดค่าสูงสุด เช่น สำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 3 แอมแปร์ จะใช้ตัวเก็บประจุในการกรองกระแสขนาด 3000 ไมโครฟารัด(หรือมากกว่า)ตัวเก็บประจุ  $C_2$  และ  $C_3$  ใช้สำหรับ



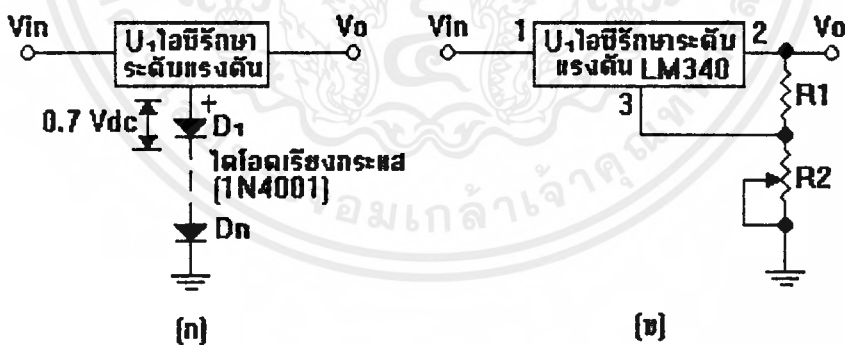
รูปที่ 2.36 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซีแบบ 3 ขา

ปรับค่าความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้น และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ไมโครฟารัด และ 0.47 ไมโครฟารัด ค่าที่แท้จริงขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ ยกเว้นว่าเมื่อออกแบบให้จ่ายกระแสไหลได้สูงขึ้นก็จะเลือกค่าที่สูงขึ้น สามารถใช้ค่าความจุ 0.1 ไมโครฟารัดสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 1 แอมแปร์ และค่าความจุ 0.33 ไมโครฟารัด หรือ 0.47 ไมโครฟารัด สำหรับกระแสขนาด 3 และ 5 แอมแปร์ ตามลำดับ ซึ่งค่าต่างๆ ที่กล่าวมานี้เป็นแนวทางซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานส่วนใหญ่ ตำแหน่ง  $C_2$  และ  $C_3$  นั้นเป็นสิ่งสำคัญมาก ตัวเก็บประจุเหล่านี้ใช้สำหรับกดสัญญาณรบกวนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยพัลส์ความถี่สูง ดังนั้นตัวเก็บประจุ  $C_2$  และ  $C_3$  จะต้องติดตั้งให้ใกล้กับตัวถังของไอซีรักษาระดับแรงดันเท่าที่จะทำได้ บางวงจรจะแนะนำให้ติดตั้ง  $C_2$  และ  $C_3$  เข้ากับตัวถังของ  $U_1$  เลย ถ้าตัวเก็บประจุเหล่านี้ถูกติดตั้งห่างจาก  $U_1$  มากเกินไปหรือขาดต่อเหลือไว้ยาวเกินไป จะทำให้การทำงานของตัวเก็บประจุมีประสิทธิภาพลดลง สำหรับตัวเก็บประจุ  $C_4$  เป็นตัวที่เพิ่มเข้ามา แต่แนะนำให้ไม่มีโดยเฉพาะในวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงกระแสไหลอย่างมากในช่วงเวลาสั้นๆ เช่นในวงจรดิจิทัล ซึ่งในกรณีเช่นนี้เป็นหน้าที่ของตัวเก็บประจุ  $C_4$  หน้าที่ของ  $C_4$  ก็คือการปรับค่าการตอบสนองทางด้านทรานเซียนต์ ของวงจรรักษาระดับแรงดันตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมประจุเพื่อที่จะป้อนกระแสเข้าสู่โหลดในช่วงเวลาสั้นๆ ในขณะที่วงจรรักษาแรงดันกำลังปรับตัวเอง เพื่อรับมือกับความต้องการกระแสที่สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ระบุว่า OV, นั้นเป็นวงจรป้องกันแรงดันเกิน บางครั้งเรียกว่า วงจรเอสซีอาร์ โครบาร์ หน้าที่ของ OV, นั้นก็เพื่อป้องกันวงจรภายนอกที่รับกระแสจากวงจรรักษาระดับแรงดันนี้ ไม่ให้เกิดความเสียหายเมื่อวงจรรักษาระดับแรงดัน  $U_1$  เกิดการเสียหายขึ้น โดยปกติระดับแรงดันอินพุท  $V_i$  จะสูงกว่าระดับแรงดันเอาต์พุท

$V_o$  อย่างน้อย 2-3 โวลต์ และมักจะมีค่าสูงกว่า  $V_o$  มากในหลายวงจร ถ้าหาก  $U_1$  เกิดความเสียหายขึ้นมาและทำให้แรงดันอินพุต  $V_i$  ปรากฏที่เอาต์พุต  $V_o$  (ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นเช่นนี้) ก็จะทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ได้รับความเสียหายได้ ยกตัวอย่างเช่น ในวงจรที่ทีแอลถ้าหาก  $U_1$  เกิดเสียหายทำให้ปรากฏแรงดัน +8 โวลต์ขึ้นที่เอาต์พุตแรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งก็จะทำให้ไอซีที่ทีแอลเสียหายขึ้นมาทันที แผ่นระบายความร้อนสำหรับ  $U_1$  นั้นบางครั้งจะมีเพิ่มเติมขึ้นมา แต่ควรจะต้องติดแผ่นระบายความร้อนกับวงจรรักษาระดับแรงดันทุกชนิด เนื่องจากวงจรรักษาระดับแรงดันเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่จะกระจายพลังงานออกมา ดังนั้นความเชื่อถือได้จะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิ สำหรับวงจรที่จ่ายกระแสขนาด 1 แอมแปร์หรือที่น้อยกว่า ตัวถังที่เป็นโลหะของตัวเองมันเองก็อาจจะเพียงพอ ถ้าหากนอกเหนือจากนี้ก็ให้ติดตั้ง  $U_1$  เข้ากับแผ่นระบายความร้อนแบบเป็นครีป

### 2.10.3 เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุต

ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขานั้น จะทำมาสำหรับแรงดันคงที่ขนาด 2 , 5 , 10 , 12 , 15 , 18 และ 24 โวลต์ ถ้าต้องการระดับแรงดันที่อยู่ระหว่างระดับมาตรฐานแล้ว จะต้องใช้วิธีการบางอย่างเข้ามาช่วย ในรูปที่ 2.37 ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการเปลี่ยนระดับแรงดัน  $V_o$  โดยใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบค่าคงที่ ซึ่งมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน



รูปที่ 2.37 แสดงถึงวิธีการเปลี่ยนระดับแรงดัน  $V_o$  โดยใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบค่าคงที่

ในรูปที่ 2.37(ก) แสดงให้เห็นถึงการใส่ไดโอดเรียงกระแส (เช่นเบอร์ 1N4001-1N4007 หรือเทียบเท่า) ต่อเข้ากับขาพร้อมของไอซีรักษาระดับแรงดันเพื่อที่จะเพิ่มค่าแรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ ) ค่าของ  $V_o$  จะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดแต่ละตัวที่จะมาต่ออนุกรมกัน แต่ไม่แนะนำให้ทำ

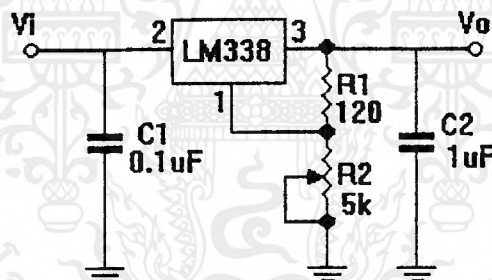
เพราะว่า ระดับแรงดัน 0.7 โวลต์ ที่ตกคร่อมรอยต่อพีเอ็นของไดโอดนั้นจะมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้วิธีในรูปที่ 2.37(ข)

วงจรในรูปที่ 2.37(ข) นั้นจะให้ข้อต่อของขาร่วมของไอซีรักษาระดับแรงดันมีค่าต่างศักย์สูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับระดับแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการแทนที่จะต่อลงกราวด์

แต่วิธีแก้ปัญหาคือที่ดีที่สุดในการปรับค่าแรงดัน ได้แก่ การใช้วงจรรักษาระดับแรงดันที่ออกแบบในเฉพาะงาน ไอซีรักษาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้ที่มีจำหน่ายได้แก่เบอร์ LM 317(1.5 Amp) เบอร์ LM 338 (5 Amp)

การออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338 เพื่อให้ได้ระดับแรงดันเอาต์พุตขนาด 13.8 โวลต์ โดยกำหนดให้ค่า  $R1 = 120 \Omega$

$$\begin{aligned} R2 &= (V_o/1.25 - 1) \times R1 && \dots\dots\dots(2.26) \\ &= (13.8/1.25 - 1) \times 120 \\ &= 1205 \Omega \end{aligned}$$

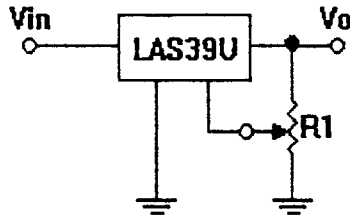


(ไม่ได้แสดงถึงค่าปัสเตอร์กรองกระแส)

รูปที่ 2.38 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338

รูปที่ 2.39 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้แบบใช้ไอซีเบอร์ LAS-39 ซึ่งคล้ายคลึงกับไอซีเบอร์ LM 338 แต่สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 8 แอมแปร์ ค่าของโพลีโพรพิลีนที่ปรับค่าแรงดันเท่ากับ

$$R1 = V_o/10A \quad \dots\dots\dots(2.27)$$



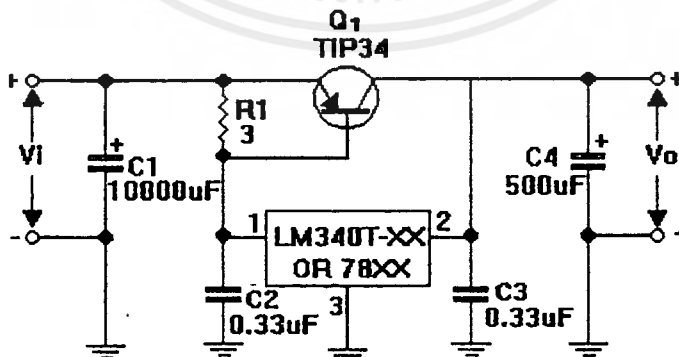
รูปที่ 2.39 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้แบบใช้ไอซีเบอร์ LAS-39

#### 2.10.4 วงจรรักษาระดับแรงดันที่จ่ายกระแสได้สูง(Higher-Current Regulators)

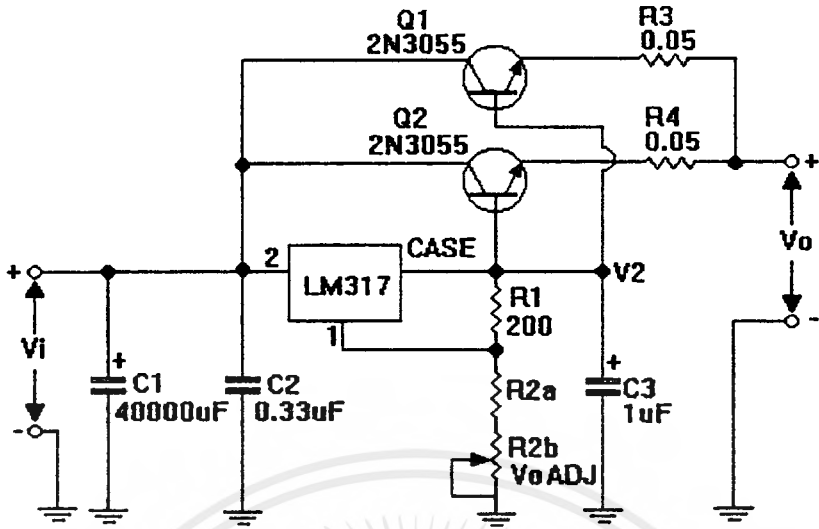
วงจรรักษาระดับแรงดันที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงคือสามารถจ่ายกระแสได้สูงประมาณ 5-8 แอมแปร์ วิธีหนึ่งที่ยางที่สุด คือโดยการใช้ทรานซิสเตอร์หนึ่งตัวหรือหลายตัวเข้าไปต่ออนุกรมกัน

รูปที่ 2.40 และ 2.41 แสดงถึงวิธีนี้ ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ การออกแบบทำได้ง่ายมาก และสามารถใช้อัตราขยายที่มีกำลังที่มีค่าอัตราขยาย (B) ต่ำลงได้ เนื่องจากไอซีรักษาระดับแรงดันสามารถจ่ายกระแสได้สูงขึ้น

ในวงจรทั้งสองแบบ แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าโดยประมาณต่ำกว่าอัตราแรงดันเอาต์พุตของไอซีรักษาระดับแรงดันแบบสามขาประมาณ 0.6-0.7 โวลต์ ในรูปที่ 2.39 นั้น ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังแบบ PNP เบอร์ TIP-34 สำหรับต่ออนุกรมกับไอซี วงจรนี้สามารถกระแสได้ 5-6 แอมแปร์ การจ่ายกระแสที่สูงขึ้นสามารถทำได้โดยวงจรในรูปที่ 2.40 วงจรนี้สามารถปรับค่าแรงดันเอาต์พุตได้เที่ยงตรง โดยมีไอซีเบอร์ LM 317(u1) สามารถตั้งค่าแรงดันอ้างอิงให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับวงจร และยังสามารถจ่ายกระแสให้กับทรานซิสเตอร์ได้ถึง 1.5 แอมแปร์ ถ้าต้องการมากกว่านี้ให้ใช้เบอร์ LM 338 แทน



รูปที่ 2.40 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันในการขับทรานซิสเตอร์ 1 ตัว



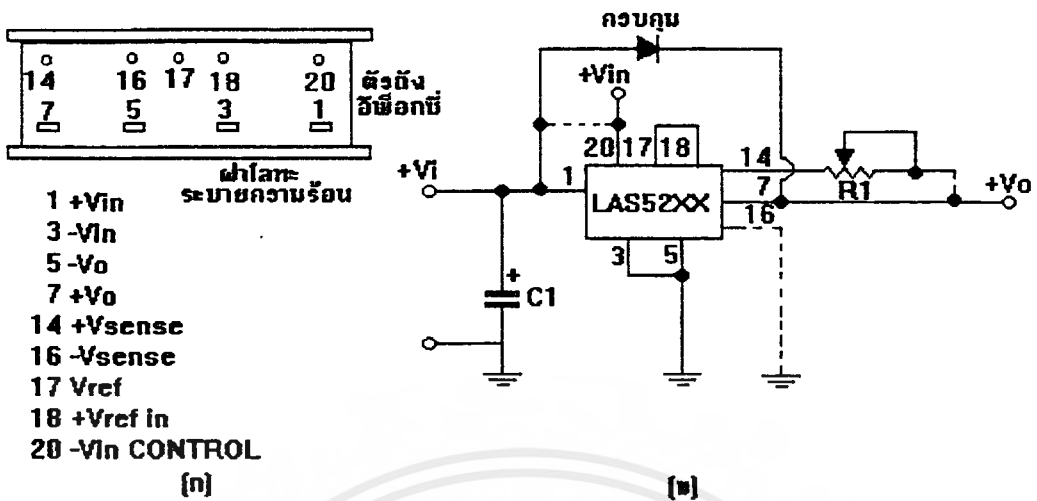
รูปที่ 2.41 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันโดยการต่อทรานซิสเตอร์ขนานกันหลายตัว

กระแสค่าสูงๆนี้ จะถูกรับโดยทรานซิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมหนึ่งตัวหรือมากกว่า มีค่าที่ต้องคำนึงถึงอยู่สองค่าคือ 1. การกระจายกำลังงานของคอลเลคเตอร์ (Collector power dissipation) และค่ากระแสคอลเลคเตอร์ 2. ค่าอัตราทนแรงดัน Vcc ที่สูงสุดที่จะรับแรงดันตกคร่อมได้ ค่ากระจายกำลังงานคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่มาต่ออนุกรมอยู่นี้ มีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสคอลเลคเตอร์สูงสุดกับแรงดันระหว่างขา C-E ซึ่งในกรณีนี้เท่ากับผลต่างของ Vi-Vo สำหรับวงจรรักษาระดับแรงดันแบบปรับค่าได้นี้ อัตราการกระจายกำลังงานที่แท้จริง ซึ่งทรานซิสเตอร์จได้รับมีค่าเท่ากับ

$$PD(max) = IC(max) (Vi(max)-Vo(min)) \dots\dots\dots(2.28)$$

ทางเลือกอื่นของการออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันแบบจ่ายกระแสได้สูงได้แก่ การใช้วงจรไฮบริด (Hybridge unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.42 แสดงถึงวงจรไฮบริดที่สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 20 แอมแปร์ จากวงจร C1 จะใช้ในการกรองกระแสที่เอาท์พุทของวงจรเรียงกระแส ค่าความจุของตัวเก็บประจุนี้จะมีค่าเท่ากับ 2000 μF/A ดังนั้นสำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 20 แอมแปร์จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 40,000 μF

มีขา V+ อยู่ 2 ขั้ว สำหรับไอซีตัวนี้โดยขา 1 จะเป็นขา + หลัก(กระแสสูง)และใช้ตัวอักษรกำกับว่า + Vi ขานี้จะต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ที่ใช้ต่ออนุกรมภายใน ขา 20 ซึ่งใช้ตัวอักษรกำกับว่า + Vin (ขาควบคุม) จะใช้ในการจ่ายกำลังงานให้กับวงจรควบคุมอัตราการขยายภายใน แรงดันที่จ่ายให้กับขา 20 อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ +7.5 โวลต์ดีซี ซึ่งความต้องการนี้จะพบได้ในไอซีเบอร์ LAS-5212 และ LAS-5224 โดยการต่อขา 1 กับ ขา20 เข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.42 แสดงวงจรไฮบริดที่สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 20 แอมแปร์

สำหรับไอซีเบอร์ LAS-5205 นั้นแรงดันอินพุทอาจอยู่ในช่วง 7-8 โวลต์ ดังนั้นในบางช่วง แรงดันอินพุทอาจจะตกลงมาเหลือต่ำกว่า 7.5 โวลต์ ดังนั้นถ้าหากใช้แรงดันของ Vin สำหรับแหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 6.3 โวลต์แล้วอาจเกิดปัญหาได้ดังนั้น จึงควรมหาแหล่งไฟป้อนให้กับขา Vin ใหม่ เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันนี้อย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 7.5 โวลต์ดีซี

จากขาเบอร์ 14 และเบอร์ 16 เป็นขาใช้ตรวจรับและใช้สำหรับส่งสัญญาณให้กับวงจรขยายสัญญาณข้างอิงภายในได้รู้ถึงระดับแรงดันใดที่ควรจะมีผลผลิตขึ้นสำหรับ Vo ถ้าสายที่ต่อออกจากขาเอาต์พุทของวงจรรักษาาระดับแรงดันไปยังโหลดนั้นสั้น และใช้สายขนาดใหญ่แล้วขา 14 สามารถต่อเข้ากับขา 7 โดยผ่าน R1 และขา 16 สามารถต่อลงกราวด์หรือสามารถต่อเข้ากับขา 3 และ ขา 5 ในหลายกรณีจะต่อขาตรวจรับนี้เข้ากับขา + Vo และ -Vo ที่โหลดเลย การต่อเช่นนี้จะทำให้วงจรรักษาาระดับแรงดันนั้นสามารถวัดค่า Vo ที่ต้องการจริงๆ และใช้ลดผลข้างเคียงอันอาจเกิดขึ้นจากแรงดันตกที่เกิดขึ้นในสายตัวนำด้วย

ไปเทนซิโอมิเตอร์ R1 นั้นใช้สำหรับการกำหนดค่า Vo ที่ถูกต้องจริงๆ ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้โดย XX ที่เบอร์ของอุปกรณ์ ค่าความต้องการของ R1 กำหนดโดย

$$R1 = 0.25V_o * (1000\Omega / v) \dots\Omega \dots\dots(2.29)$$

สำหรับอุปกรณ์เบอร์ LAS-5205 ขนาดเอาต์พุท 5 โวลต์นั้นต้องการความต้องการที่สูงกว่า

$$R1 = (0.25 * 5v)(1000\Omega / v) \dots\Omega \dots\dots(2.30)$$

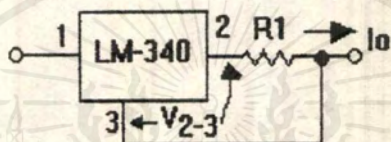
$$= 1250 \Omega$$

### 2.10.5 วงจรจ่ายกระแสคงที่ (Current regulators)

ในรูปที่ 2.43 ได้แสดงให้เห็นถึงไอซีรักษาแรงดันแบบ 3 ขา ที่ต่อเป็นแหล่งจ่ายกระแส กระแสเอาต์พุตจะได้ประมาณเท่ากับ

$$I = V_{2,3} / R_1 + I_0 \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

เมื่อ  $I_0$  เป็นกระแสเอาต์พุต,  $V_{2,3}$  เป็นแรงดันเอาต์พุต,  $R_1$  เป็นความต้านทานในหน่วยโอห์ม และ  $I_0$  เป็นค่ากระแสในสภาวะสงบ (quiescent current) ของ  $U_1$  (ซึ่งปกติจะอยู่ระหว่าง 1-5 มิลลิแอมป์)



รูปที่ 2.43 แสดงให้เห็นถึงไอซีรักษาแรงดันแบบ 3 ขา ที่ต่อเป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่

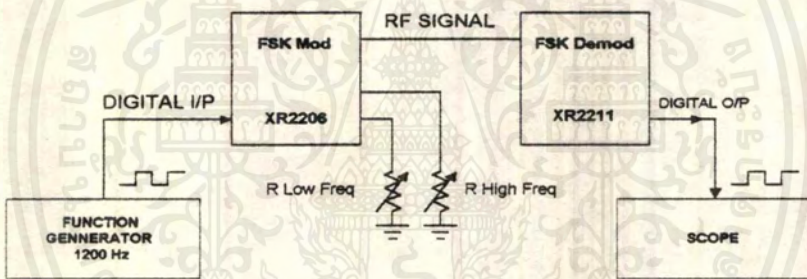
### บทที่ 3 การออกแบบ

#### 3.1 การออกแบบชุดรับส่งข้อมูลแบบดิจิทัล

ชุดรับส่งข้อมูลดิจิทัลประกอบด้วย

- FSK Modulator
- FM Transmitter
- FM Receiver
- FSK Demodulator

การพิจารณาเลือกความถี่ของ FSK Modulator จากการทดลองใช้ไอซีเบอร์ XR 2206 เป็น FSK Modulator และใช้ไอซีเบอร์ XR 2211 เป็น FSK Demodulator โดยใช้การต่อวงจรดังนี้



รูปที่ 3.1 การต่อวงจรเพื่อพิจารณาเลือกความถี่  
จากการทดลองใช้ความถี่ของ FSK Modulator ดังนี้

"0" = 1,200 Hz

"1" = 2,200 Hz

ตามความถี่ที่กำหนดมาดังกล่าว ทำให้ไอซีเบอร์ XR 2211 สามารถที่จะรับข้อมูลที่อัตราเร็วถึง 1,200 บิตต่อวินาที จะเห็นว่าความถี่ที่ใช้จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล แต่เมื่อเราต้องการส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาที ความเร็วที่ใช้ในภาค FSK Modulator ก็น่าจะเป็น 2 เท่าด้วย คือควรจะใช้

"0" = 9,600 Hz

"1" = 19,200 Hz

แต่เมื่อทำการทดลองจะพบว่าไม่สามารถที่จะทำการรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาทีได้ จึงได้ทำการทดลองต่อไป โดยการเพิ่มความถี่ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลขึ้นอีก และผลที่ได้รับคือ ควรใช้ค่าความถี่ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลมีค่าเป็น 6 เท่า ของอัตราเร็ว นั่นคือ ที่ 9,600 บิตต่อวินาที

"0" = 60 kHz

"1" = 65 kHz

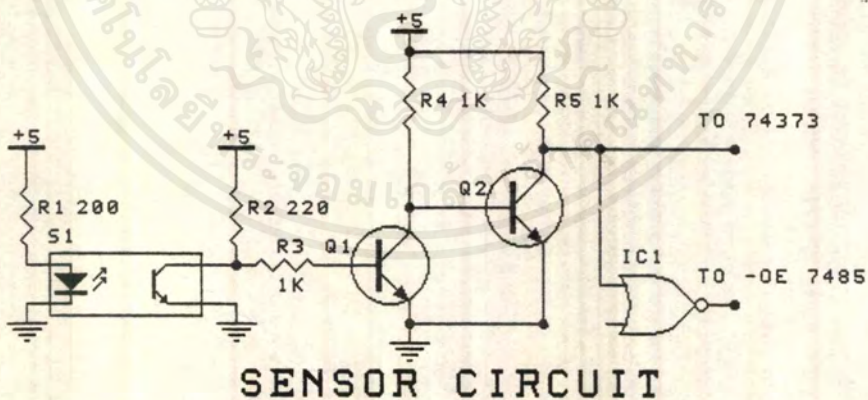
ซึ่งจากการทดลองรับและส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 9,600 บิตต่อวินาทีโดยใช้ค่าความถี่ดังกล่าว สามารถที่จะรับส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

### 3.2 ส่วนควบคุมการเลี้ยง

ส่วนควบคุมการเลี้ยงประกอบด้วยวงจรขั้วมอดเตอร์ดังหัวข้อ 3.3, วงจร SENSOR ซึ่งประกอบด้วย SENSOR 11 ตัวแบ่งเป็นมุลีเยวซ้าย 5 มุม เลี้ยวขวา 5 มุม และตรงกลาง 1 มุม ใช้เป็นส่วนอินพุทเปรียบเทียบ ( $I_B$ ) ให้กับวงจรควบคุมการเลี้ยง และวงจรควบคุมการเลี้ยง

#### 3.2.1. วงจร SENSOR

ใช้ในการตรวจสอบมุมเลี้ยงของล้อรถโดยมีแผ่นเคลื่อนที่เลื่อนไปตัด SENSOR แล้วส่งสัญญาณลอจิก "1" ให้กับขาเปรียบเทียบ ( $I_B$ ) ของไอซี 74LS85 ของวงจรควบคุมการเลี้ยง วงจร SENSOR ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงวงจร SENSOR

#### การทำงานของวงจร SENSOR

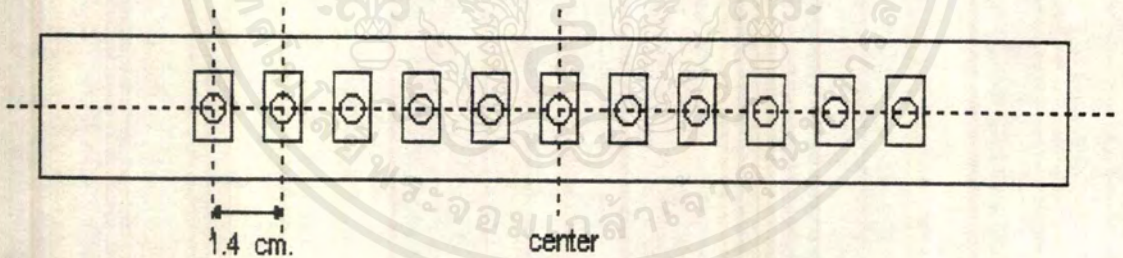
จากวงจรในรูปที่ 3.2 S1 เป็นอุปกรณ์ SENSOR เมื่อยังไม่มีแผ่นเลื่อนมาตัดตัว SENSOR ไดโอดเปล่งแสงภายในตัว SENSOR จะส่องแสงมาตกกระทบขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในตัว

SENSOR ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน(ON) เอาท์พุทที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่าเป็น "0" ซึ่งมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> มีสถานะ ON และ OFF ตามลำดับ เอาท์พุททางขาคอลเลคเตอร์ของ Q<sub>2</sub> มีค่าเป็น "0"

เมื่อแผ่นเลื่อนเลื่อนมาติดตัว SENSOR แสงจากไดโอดเปล่งแสงจะถูกแผ่นเลื่อนบังแสง ขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในตัว SENSOR จะไม่มีแสงตกกระทบ ทำให้มีทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน(OFF) สถานะที่ขาคอลเลคเตอร์เป็น"1" เป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> มีสถานะ OFF และ ON ตามลำดับ เอาท์พุททางขาคอลเลคเตอร์ของ Q<sub>2</sub> มีค่าเป็น "1" ซึ่งเอาท์พุททางขาคอลเลคเตอร์ของ Q<sub>2</sub> นี้จะมีการคงค่าสถานะ(Latch) โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS373 แล้วส่งค่าไปเป็นค่าอินพุทให้กับขาเปรียบเทียบ(I<sub>B</sub>)ของไอซีเบอร์ 74LS85 ของวงจรควบคุมการเลี้ยว และจะมีเอาท์พุททางขาคอลเลคเตอร์ของ Q<sub>2</sub> ต่อขนานไปเข้าวงจร NOR GATE ร่วมกับเอาท์พุทของวงจร SENSOR อื่นๆ เพื่อเป็นสัญญาณในการควบคุมการคงค่าสถานะ(Latch) ของไอซีเบอร์ 74LS373

ทางขา -OE (output enable)

การจัดเรียง SENSOR ที่ใช้ติดในส่วนควบคุมการเลี้ยวของรถประกอบด้วยวงจร SENSOR จำนวน 11 ชุด แบ่งเป็นตรวจสอบมุมเลี้ยวของล้อทางขวา 5 ชุด, ทางซ้าย 5 ชุด และตรงกลาง 1 ชุด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดวาง SENSOR ทั้ง 11 ชุดบนแผง SENSOR

### 3.2.2 วงจรควบคุมการเลี้ยว

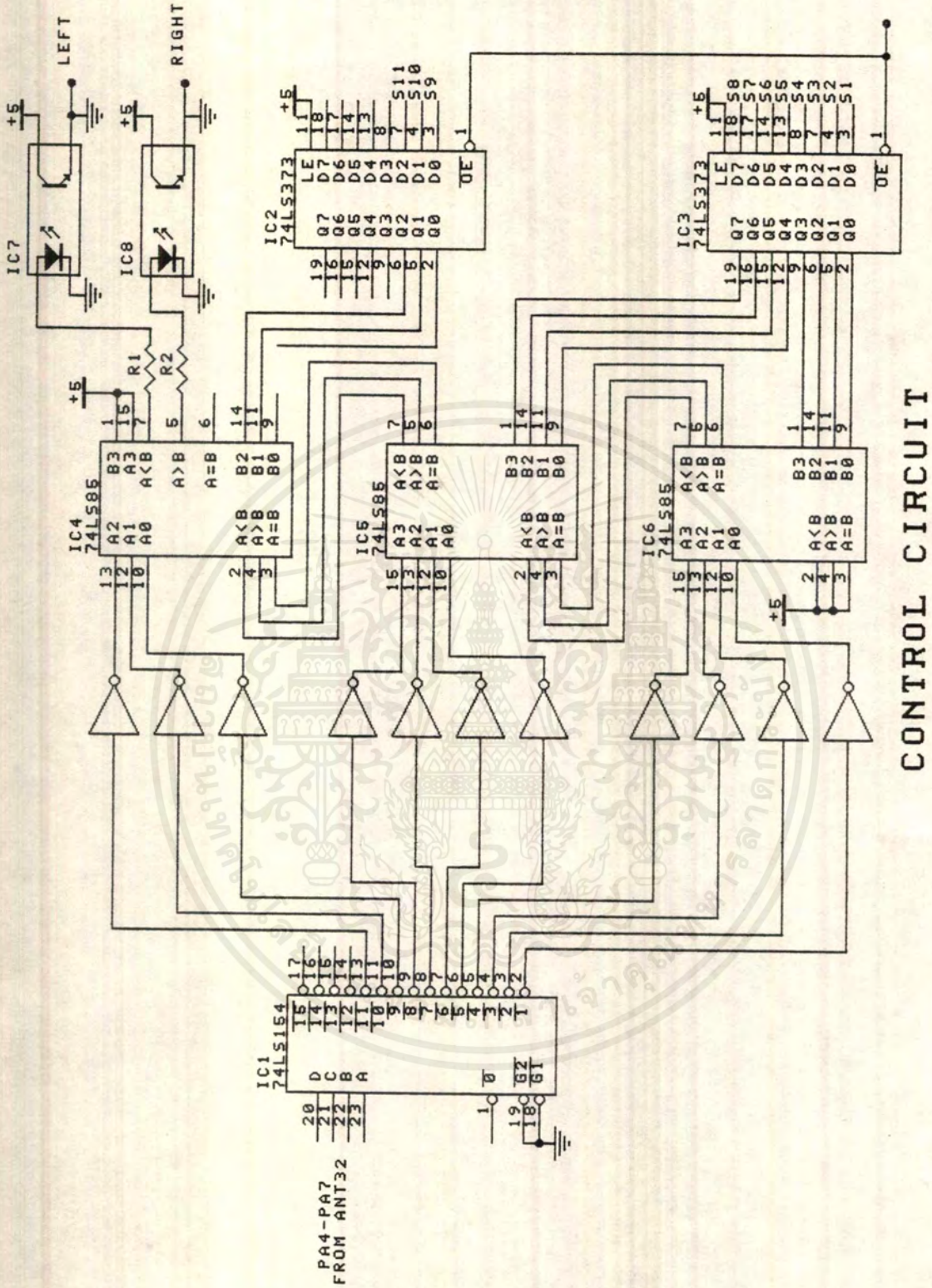
วงจรควบคุมการเลี้ยวดังแสดงในรูปที่ 3.4 จากวงจรจะประกอบด้วยไอซีเบอร์ 74LS154 (4-16 line decoder), ไอซีเบอร์ 74LS85, ไอซีเบอร์ 74LS373 และ Opto isolation โดยไอซีเบอร์ 74LS85 เป็นไอซี TTL เป็นไอซีเปรียบเทียบค่าขนาด 4 บิต (4-bit Magnitude comparison) มีการรับค่าข้อมูลที่จะทำการเปรียบเทียบเข้าทางขาอินพุต  $I_{A1}$ -  $I_{A3}$  และขา  $I_{B0}$ -  $I_{B3}$ , ขาอินพุตจากไอซี 74LS85 ตัวอื่นคือขา  $I_{A>B}$ ,  $I_{A=B}$ ,  $I_{A<B}$  และมีขาเอาต์พุต 3 ขา คือ  $O_{A>B}$ ,  $O_{A=B}$ ,  $O_{A<B}$  การทำงานจะรับค่าข้อมูลที่จะทำการเปรียบเทียบค่าขนาด 4 บิต 2 ค่าที่จะทำการเปรียบเทียบกันเข้าทางขา  $I_{A1}$ -  $I_{A3}$  และขา  $I_{B0}$ -  $I_{B3}$  แล้วทำการเปรียบเทียบค่ากัน แสดงผลลัพท์ของการเปรียบเทียบออกมาทางขา  $O_{A>B}$ ,  $O_{A=B}$  หรือ  $O_{A<B}$  ตามค่าจากการเปรียบเทียบ การต่อวงจรเพื่อเปรียบเทียบค่าของข้อมูลที่มีมากกว่า 4 บิต สามารถทำได้โดยการต่อขาเอาต์พุต ( $O_{A>B}$ ,  $O_{A=B}$ ,  $O_{A<B}$ ) ของค่า 4 บิตที่มีค่าต่ำกว่า (LSD) เข้ากับขาอินพุต ( $I_{A>B}$ ,  $I_{A=B}$ ,  $I_{A<B}$ ) ของค่า 4 บิตที่มีค่ามากกว่า (MSD) การทำงานของไอซี 74LS85 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

COMPARING INPUTS				CASCADING INPUTS			OUTPUTS		
$A_3, B_3$	$A_2, B_2$	$A_1, B_1$	$A_0, B_0$	$I_{A>B}$	$I_{A<B}$	$I_{A=B}$	A>B	A<B	A=B
$A_3 > B_3$	X	X	X	X	X	X	H	L	L
$A_3 < B_3$	X	X	X	X	X	X	L	H	L
$A_3 = B_3$	$A_2 > B_2$	X	X	X	X	X	H	L	L
$A_3 = B_3$	$A_2 < B_2$	X	X	X	X	X	L	H	L
$A_3 = B_3$	$A_2 = B_2$	$A_1 > B_1$	X	X	X	X	H	L	L
$A_3 = B_3$	$A_2 = B_2$	$A_1 < B_1$	X	X	X	X	L	H	L
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$A_1 = B_1$	$A_0 > B_0$	X	X	X	H	L	L
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$A_1 = B_1, A_1$	$A_0 < B_0$	X	X	X	L	H	L
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$=B_1, A_1 = B_1$	$A_0 = B_0$	H	L	L	H	L	L
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$=B_1, A_1 = B_1$	$A_0 = B_0, A_0$	L	H	L	L	H	L
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$=B_1, A_1 = B_1$	$=B_0$	L	L	H	L	L	H
$A_3 = B_3$	$A_2 = B_2, A_2$	$A_1 = B_1, A_1$	$A_0 = B_0, A_0$	X	X	L	L	L	H
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$=B_1, A_1 = B_1$	$=B_0, A_0 = B_0$	H	H	L	L	L	L
$A_3 = B_3$	$=B_2, A_2 = B_2$	$=B_1, A_1 = B_1$	$=B_0, A_0 = B_0$	L	L	H	H	H	L

X = HIGH voltage level      L = LOW voltage level      X = Don't care

ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของไอซี 74LS85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CONTROL CIRCUIT

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรควบคุมการเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

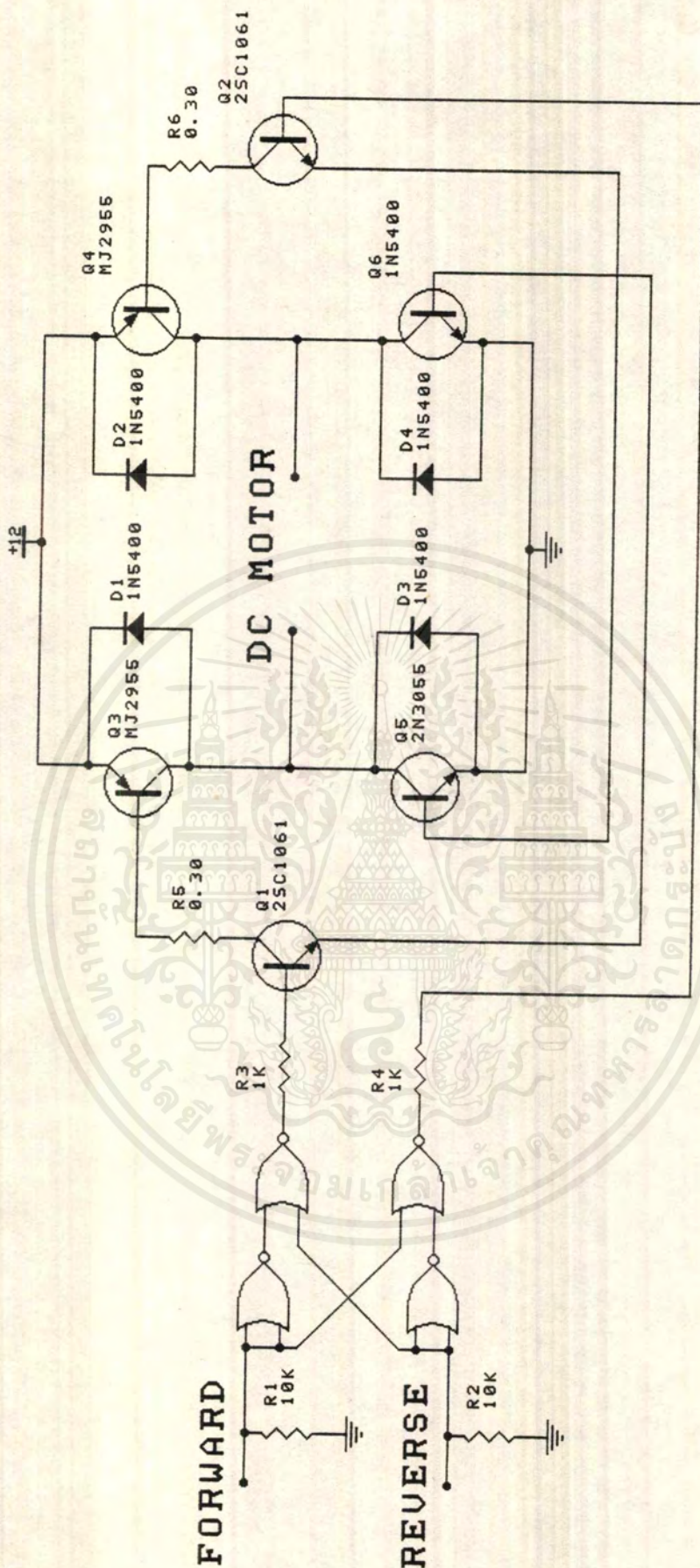
### การทำงานของวงจรควบคุมการเลี้ยว

การทำงานเริ่มจากการรับค่าตำแหน่งมุมที่ต้องการเลี้ยวขนาด 4 บิตจากพอร์ต PA bit PA4-PA7 ของบอร์ด ANT-32 เข้าอินพุทของไอซีเบอร์ 74LS154 (4-16 line decoder) เพื่อแปลงค่าข้อมูลที่ได้รับมาเป็นตำแหน่งมุมที่ต้องการเลี้ยวแล้วส่งเป็นค่าอินพุทเข้าที่ขา  $I_{A1}$ -  $I_{A3}$  ของไอซี 74LS85 , ไอซี 74LS85 จะทำการเปรียบเทียบขาอินพุท  $I_A$  กับค่าที่รับจากวงจร SENSOR เข้าทางขา  $I_B$  แล้วส่งเอาท์พุทจากการเปรียบเทียบออกทางขาเอาท์พุท ( $O_{A>B}, O_{A=B}, O_{A<B}$ ) แล้วแต่กรณี ซึ่งขาเอาท์พุทต่ออยู่กับขาควบคุมของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ค่าเอาท์พุทที่ได้จะใช้ในการควบคุมมุมเลี้ยวของล้อ มอเตอร์จะหมุนส่งผลให้แกนตัวหนอนหมุนทำให้คันชักเลื่อนไปเป็นการเปลี่ยนมุมเลี้ยวของล้อไปตามมุมที่ต้องการ ขณะเดียวกันแผ่นเลื่อนที่ติดอยู่กับแกนตัวหนอนก็จะเลื่อนไปด้วย การหมุนของมอเตอร์จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถึงตำแหน่งที่แผ่นเลื่อนเลื่อนมาติด SENSOR ที่ทำให้ค่าอินพุท  $I_A = I_B$  มอเตอร์จะหยุดหมุน เพราะฉะนั้นเราจึงสามารถควบคุมมุมเลี้ยวได้โดยการส่งค่ามุมการเลี้ยวขนาด 4 บิตให้กับบอร์ด ANT-32

ตัวอย่างการทำงานของวงจรควบคุมการเลี้ยว คือ เมื่อตำแหน่งของมุมเลี้ยวก่อนการส่งตำแหน่งมุมเลี้ยวเท่ากับ 0 องศา คือแผ่นเลื่อนติดอยู่ที่ SENSOR ตัวที่ 6 ค่าอินพุทขา  $I_B$  ของไอซี 74LS85 มีค่าเท่ากับ 06H เมื่อมีการส่งตำแหน่งมุมเลี้ยวมีค่าเท่ากับ 0BH เข้ามาที่บอร์ด ANT-32 ต่อจากนั้นจะมีการส่งค่า 4 บิตล่างจากพอร์ต PA bit PA4-PA7 เข้าอินพุทของ 4-16 line decoder เพื่อแปลงค่าเป็นตำแหน่งมุมเลี้ยวคือ ตรงกับตำแหน่ง SENSOR ตัวที่ 11 แล้วส่งเข้าขา  $I_A$  ของไอซี 74LS85 เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามุมเลี้ยว(06H) ทำให้เอาท์พุท  $O_{A>B}$  มีค่าเท่ากับ "1" บ้อนเข้าสู่วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ มอเตอร์จะหมุนทำให้ล้อรถค่อยๆ เลี้ยวไปทางซ้ายและแผ่นเลื่อนจะเลื่อนไปทางซ้าย มอเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่องจนแผ่นเลื่อนเลื่อนไปติด SENSOR ตัวที่ 11 เอาท์พุทของไอซี 74LS85 จะเปลี่ยนเป็น  $O_{A=B}$  มีค่าเท่ากับ "1" มอเตอร์จะหยุดหมุนมุมเลี้ยวของล้อจะหยุดอยู่ที่ตำแหน่ง SENSOR ตัวที่ 11

### 3.3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์(Motor Drive circuit)

จากรูปที่ 3.5 แสดงการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในการในการหมุนซ้าย-ขวา (Turn left-right) หรือการหมุน เดินหน้า-ถอยหลัง (forward-reverse) โดยการควบคุมทิศทาง การหมุนของมอเตอร์ วงจรที่ใช้เป็นวงจรที่ใช้ลอจิก (ระดับแรงดัน 0 และ 5 โวลต์) ในการควบคุมโดยมีทรานซิสเตอร์



MOTOR DRIVE CIRCUIT

รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขับของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลัง (Power transistor) เป็นตัวปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสในตัวมอเตอร์ เพื่อปรับเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ การทำงานของวงจรจะมีการรับสัญญาณอินพุต (input signal) เข้ามาทาง Pin1 หรือ Pin2 เข้ามาผ่านวงจรรองกันความผิดพลาด (Nor gate 4 state) ถ้าสัญญาณอินพุตที่ Pin1 = "1" (+5 V) และสัญญาณอินพุตที่ Pin2 = "0" (0 V) มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางหนึ่ง แต่ถ้าสัญญาณอินพุตที่ Pin1 = "0" (0 V) และสัญญาณอินพุตที่ Pin2 = "1" (+5 V) มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางกลับกันกับในกรณีแรก แต่หากสัญญาณอินพุตที่ Pin1 และ Pin2 เป็น "1" หรือ "0" ทั้งคู่ มอเตอร์จะไม่มีอาการหมุน (หรือหยุดหมุนในกรณีที่ก่อนที่จะส่งสัญญาณควบคุมนี้มอเตอร์หมุนอยู่)

จากวงจรในรูปที่ 3.5 หลังจากที่ผ่านมาวงจรรองกันความผิดพลาดแล้ว ต่อไปจะผ่านค่าความต้านทาน  $1\text{ K}\Omega$  และต่อไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1061 ซึ่งทำหน้าที่ในการไดร์กระแสให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง (power transistor) เบอร์ 2N3055(NPN) และ MJ2955(PNP) 2 ชุดที่ต่อในลักษณะให้กระแสไหลเข้ามอเตอร์กลับทิศทางกันเพื่อกลับทางหมุนของมอเตอร์ (full bridge)

สภาวะที่1 Pin1 = "1", Pin2 = "0" จะทำให้  $Q_1$  (2SC1061),  $Q_3$  (MJ2955),  $Q_5$  (2N3055) ทำงานทำให้มอเตอร์หมุน  
 สภาวะที่1 Pin1 = "0", Pin2 = "1" จะทำให้  $Q_2$  (2SC1061),  $Q_4$  (MJ2955),  $Q_6$  (2N3055) ทำงานทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางกับสภาวะที่ 1

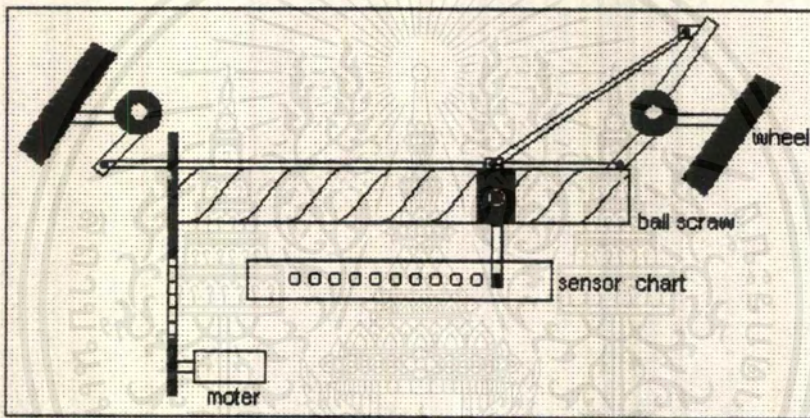
เราจะใช้วงจรควบคุมการหมุนนี้ 2 ชุด เพื่อใช้ในการควบคุมการเดินหน้า-ถอยหลังของรถ 1 ชุด และใช้ในการควบคุมการเลี้ยวซ้าย-ขวาของรถ 1 ชุด โดยรับสัญญาณควบคุมอินพุตจากวงจรควบคุมการเลี้ยวและจากพอร์ตของบอร์ด ANT-32

### 3.4 การทำงานของระบบควบคุมการเลี้ยว

ระบบขับเลี้ยวจะประกอบด้วย SENSOR 11 ตัวแบ่งเป็นมุมเลี้ยวซ้าย 5 มุม เลี้ยวขวา 5 มุม และตรงกลาง 1 มุม มอเตอร์ เฟืองตรง เฟืองตัวหนอน เมื่อมอเตอร์หมุนก็จะไปขับเฟืองตรงที่ยึดติดกับเฟืองตัวหนอน ทำให้เฟืองตัวหนอนหมุน ซึ่งแกนตัวหนอนจะต่ออยู่กับแผ่นเลื่อนที่ไปตัดแสงของ SENSOR เมื่อมีการตัด SENSOR จะมีสัญญาณส่งไปยังวงจรควบคุมการเลี้ยวและจะมีการคงสถานะไว้จนกว่าจะมีสัญญาณจากการตัด SENSOR เข้ามาใหม่ สัญญาณที่คงสถานะไว้จะมีการเปรียบเทียบกับคำสั่งควบคุมที่ส่งมา และจะมีสัญญาณเอาท์พุทจากการเปรียบเทียบไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมมุมการเลี้ยว

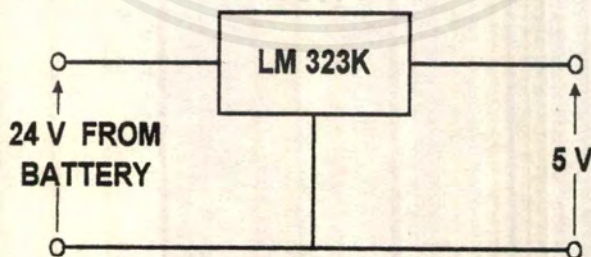
ที่แผ่นเลื่อนจะมีการไปต่อกับเพลลาของล้อหน้าทางคันชัก เมื่อแผ่นเลื่อนหมุนและคันชักเคลื่อนที่มุมของล้อจะเปลี่ยนไป นั่นคือเราสามารถควบคุมมุมเลี้ยวของรถโดยการส่งสัญญาณควบคุมเข้ามา ยังวงควบคุมมุมเลี้ยว สัญญาณควบคุมจะถูกส่งมาจากบอร์ด ANT 32 พอร์ต A bit PA4-PA7 เข้ามา ผ่านวงจร 4 to 16 line Decoder แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมมุมการหมุนให้กับวงจรควบคุมมุมเลี้ยว อีกทีหนึ่ง

ส่วนการเดินหน้าถอยหลังของรถโดยการรับสัญญาณจากบอร์ด ANT 32 พอร์ต B bit PB0-PB3 โดยเมื่อบิต PB0 เป็น "1" (81H) จะเป็นการสั่งให้รถเดินหน้า , เมื่อบิต PB1 เป็น "1" (82H) จะเป็นการสั่งให้รถถอยหลัง

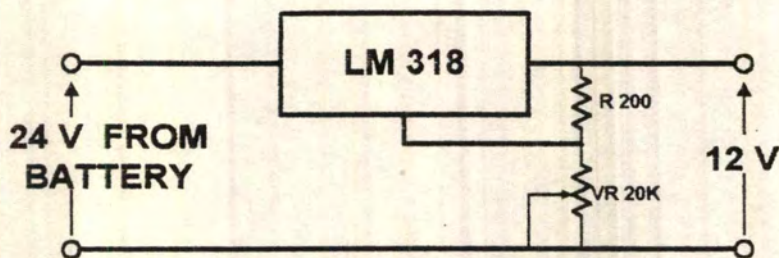


รูปที่ 3.6 แสดงชุดควบคุมการเลี้ยว

### 3.5 วงจรเปลี่ยนระดับแรงดัน



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเปลี่ยนระดับแรงดัน 24 โวลต์ เป็น 5 โวลต์



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรเปลี่ยนระดับแรงดัน 24 โวลต์ เป็น 12 โวลต์

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 แสดงวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันโดยรูปที่ 3.7 เปลี่ยนจากระดับแรงดัน 24 โวลต์ที่ได้จากการต่ออนุกรมของแบตเตอรี่ 2 ลูก เพื่อแปลงระดับแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์สำหรับใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดและอุปกรณ์ที่อยู่ในรถ การใช้วงจรดังรูปจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวไอซีเร็กกูเลตมากจึงต้องมีการต่อฮีทซิงค์เพื่อระบายความร้อน

ส่วนรูปที่ 3.8 แสดงวงจรการเปลี่ยนระดับแรงดันจาก 24 โวลต์จากแบตเตอรี่ลงเหลือ 12 โวลต์เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับ กล้อง CCD ,เครื่องรับส่งระบบ FM ,เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ การออกแบบวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ LM 338 ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้ 5 แอมแปร์ จากการลดระดับแรงดันจาก 24 โวลต์ลงเหลือ 12 โวลต์ ถ้าเป็นการจ่ายกระแส 5 แอมแปร์ จะมีการกระจายกำลัง( $P_o$ ) ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อน

$$\begin{aligned}
 P_o &= (V_i - V_o) \times I_L \quad \dots\dots\dots(3.1) \\
 &= (24 - 12) \times (5) \\
 &= 60 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

ค่า R ควรมีค่าอยู่ประมาณ 120 Ω - 250 Ω ส่วนค่า VR สามารถหาได้จากการคำนวณจากสูตร

$$VR = [(V_o / 1.25) - 1] \times R \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

เลือกค่า R มีค่าเท่ากับ 200 Ω เพราะฉะนั้นจะสามารถหาค่า VR ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 VR &= [(12 / 1.25) - 1] \times 200 \\
 &= 1720 \Omega
 \end{aligned}$$

เลือกค่า VR เท่ากับ 2 KΩ

บทที่ 4  
การทดลอง

4.1 การทำงานของโครงการ

เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ชุดเครื่องส่งสัญญาณภาพวิดีโอ (Video sender) จะส่งสัญญาณภาพที่รับจากกล้อง CCD ส่งไปให้กับเครื่องรับโทรทัศน์ จากเครื่องรับโทรทัศน์จะมีการนำสัญญาณจากภาควิดีโอดีเทคเตอร์ นำไปเข้าเป็นสัญญาณอินพุทภาพให้กับการ์ดประมวลผลภาพ การ์ดประมวลผลภาพจะแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลทางดิจิทัล ต่อจากนั้นข้อมูลดิจิทัลจะถูกประมวลผลโดยโปรแกรมประมวลผลภาพ (Digital image processing) เพื่อหาว่าภาพที่ได้มันเป็นเส้นทางการเดินของรถ หรือเป็น สัญลักษณ์พิเศษเพื่อให้รถทำตามคำสั่งต่างๆ เช่นหยุดรถ หรือเดินหน้า

หากภาพที่รับเข้ามาเป็นเส้นทางการเดินรถจะใช้การหาขอบภาพด้วยวิธี Sobel Operation เพื่อหามุมการควบคุมรถว่าจะให้เลี้ยวซ้ายหรือขวาเป็นมุมการเลี้ยวเท่าไร หากภาพที่รับเข้ามาเป็นสัญลักษณ์พิเศษก็จะทำการประมวลผลภาพเพื่อหาว่าสัญลักษณ์ที่รับเข้ามานั้นเป็นคำสั่งอะไร ต่อจากนั้นจะมีการส่งคำสั่งควบคุมตามที่ได้กำหนดไว้ตามสัญลักษณ์นั้น

เมื่อการประมวลผลภาพเสร็จสิ้นลงจะมีการส่งคำสั่งควบคุมตามข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพ(แล้วแต่กรณี)ออกทางเครื่องส่ง (FM transmitter) แบบดิจิทัลด้วยอัตราบอด (baud rate) 9600 บิตต่อวินาที การส่งคำสั่งควบคุมจะใช้มาตรฐาน RS-232C เป็นโปรโตคอลในการส่ง บิตที่ส่งออกจะมีขนาด 11 บิต ประกอบด้วย Start bit, Data 8 bits, Parity check bit และ Stop bit ชุดคำสั่งจะแบ่งเป็นสองแบบคือ

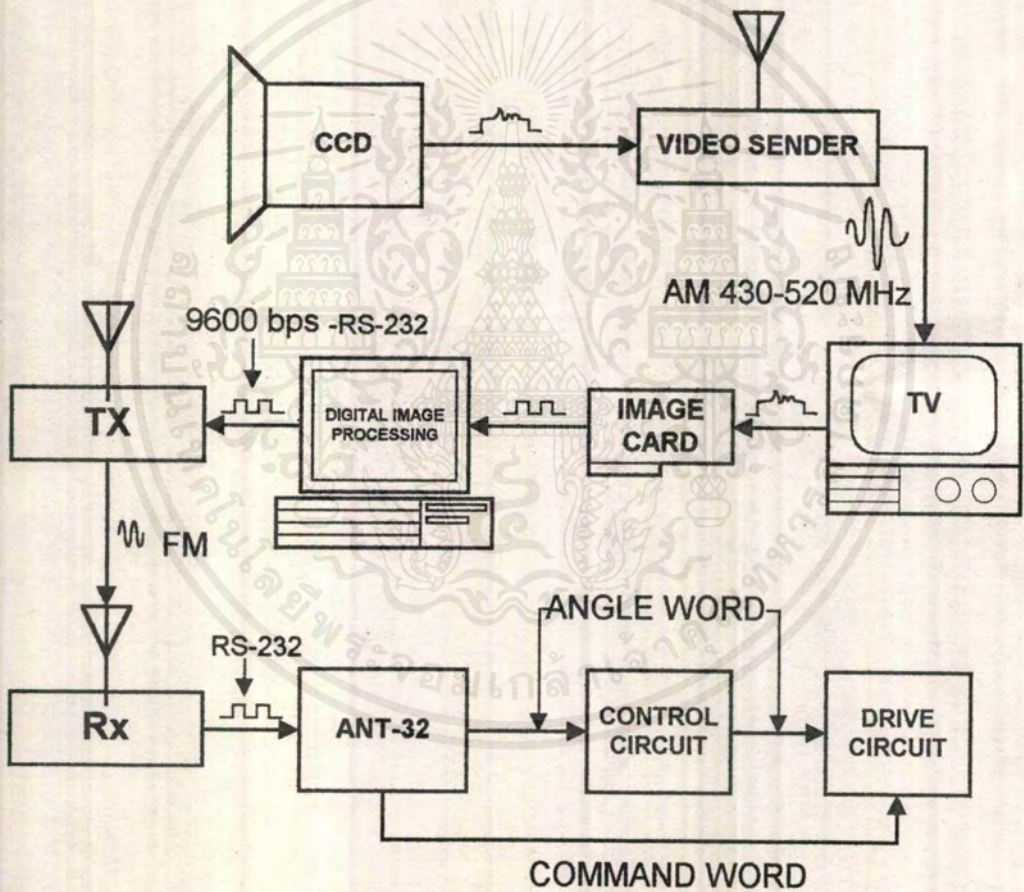
1. ชุดคำสั่งควบคุมการทำงาน (Command word) จะมีคำสั่งขนาด 8 บิต ใช้ในการควบคุมการเดินหน้ามถอยหลัง หรือการหยุดของรถ โดยชุดคำสั่งบิตที่ 7 ต้องมีค่าเป็น"1" เสมอ ชุดคำสั่งมีลักษณะดังตาราง

คำสั่ง	บิตที่ (Binary)								ค่าฐานสิบหก (Hex)
	7	6	5	4	3	2	1	0	
เดินหน้า	1	0	0	0	0	0	0	1	81
ถอยหลัง	1	0	0	0	0	0	1	0	82
หยุด	1	0	0	0	0	0	0	0	80

ตารางที่ 4.1 แสดงชุดคำสั่งควบคุม

2. ชุดคำสั่งตำแหน่งมุมเลี้ยว (Angle word) จะมีคำสั่งขนาด 8 บิต ใช้ในการกำหนดตำแหน่งมุมเลี้ยว โดยชุดคำสั่งบิตที่ 7 ต้องมีค่าเป็น "0" เสมอ และ 4 บิตล่าง จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งมุมเลี้ยวทั้ง 11 มุม โดยชุดคำสั่งตำแหน่งมุมเลี้ยวมีค่าระหว่าง 01H-0BH

เมื่อส่งสัญญาณควบคุมไปที่รถจะมีชุดรับ (FM reciever) รับคำสั่งควบคุมที่ส่งมา แปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลส่งต่อไปที่บอร์ด ANT-32 เพื่อประมวลผลตามคำสั่งที่รับเข้ามาโดยมีการรับข้อมูล โดยมีชุดคำสั่งขนาด 4 บิต แบ่งเป็นชุดคำสั่งควบคุมการทำงานและชุดคำสั่งควบคุมตำแหน่งมุมเลี้ยว โดยมีการส่งคำสั่งจะแยกส่งกัน คือชุดคำสั่งควบคุมการทำงานจะถูกส่งออกทางพอร์ต A bit PA4-PA7 ส่วนชุดคำสั่งควบคุมตำแหน่งมุมเลี้ยวจะถูกส่งออกทางพอร์ต B bit PB0-PB3



รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของรถยนต์เคลื่อนที่

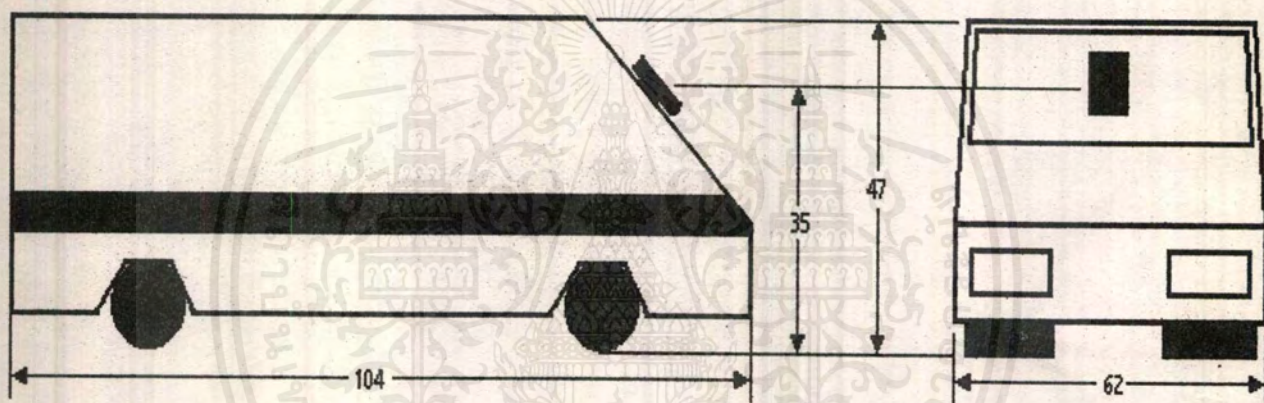
ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานจะถูกส่งออกไปเข้าวงจรขั้วมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ส่วนขั้วเคลื่อน (เดินหน้า, ถอยหลัง) ส่วนชุดคำสั่งควบคุมตำแหน่งมุมเลี้ยวจะถูกส่งไปเข้ายังวงจรควบคุมมุมเลี้ยวเพื่อเป็นตัวกำหนดมุมเลี้ยวให้กับรถ

#### 4.2 ข้อมูลของรถเคลื่อนที่(Mobile Robot)

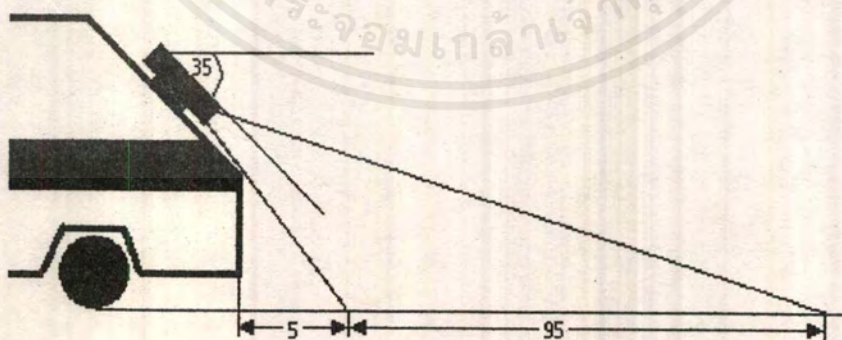
ข้อมูลของรถเคลื่อนที่รวมถึงการติดตั้งกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2,4.3

สูง	47	cm
กว้าง	62	cm
ยาว	104	cm
รัศมีมุมเลี้ยวต่ำสุด	117.5	cm
ความเร็ว	15	cm/min

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของตัวรถเคลื่อนที่



รูปที่ 4.2 แสดงขนาดของรถและตำแหน่งกล้อง



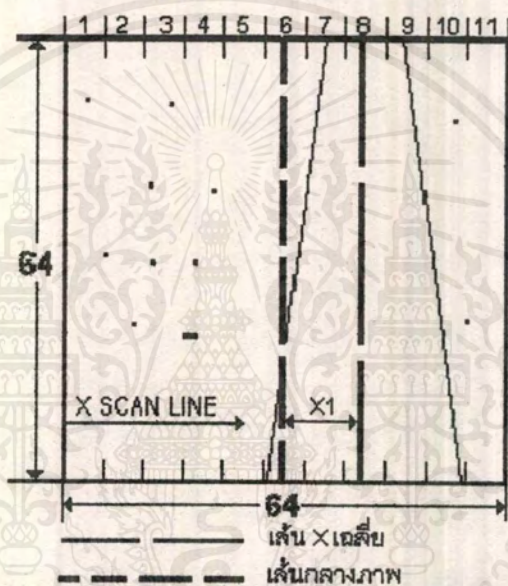
รูปที่ 4.3 แสดงการจัดวางกล้องมุม 35 องศาและระยะมุมกล้อง

### 4.3 การควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ

การเคลื่อนที่ของรถจะเคลื่อนที่ตามแถบเส้นที่กำหนด โดยใช้การจับภาพของแถบเส้นด้วย กล้อง CCD แล้วผ่านโปรแกรมประมวลผลภาพ ผ่านการวิเคราะห์ภาพที่จับเข้ามาว่าเป็นแถบเส้นทางการเดินรถหรือเป็นสัญลักษณ์พิเศษ

#### 4.3.1 การควบคุมรถตามแถบเส้น

การควบคุมรถตามแถบเส้นจะใช้วิธีการหาเส้นเฉลี่ยของตำแหน่งจุดที่เป็นแถบเส้นดังรูป



รูปที่ 4.4 แสดงวิธีการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถตามแถบเส้น

การควบคุมรถตามเส้นแถบจะมีการรับรูปลักษณะดังรูปที่ 4.4 ใช้การสุ่มตัวอย่างจุดภาพ (Sampling) ขนาด 64x64 จุด แบ่งภาพตามแนวนอนเป็น 11 ช่วง ทำการคำนวณค่า X เฉลี่ยของแต่ละแถวตามแนวนอน จาก

$$\bar{X}_n = \sum X_{ni} / N \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

โดย  $\bar{X}_n$  เป็นค่าตำแหน่งของจุดในแถวที่  $Y=n$  ที่มีค่าอยู่ในช่วงระดับเปรียบเทียบ (Thershold) และ  $i$  มีค่า 1-64

$N$  เป็นจำนวนจุดทั้งหมดในแถวเท่ากับ 64

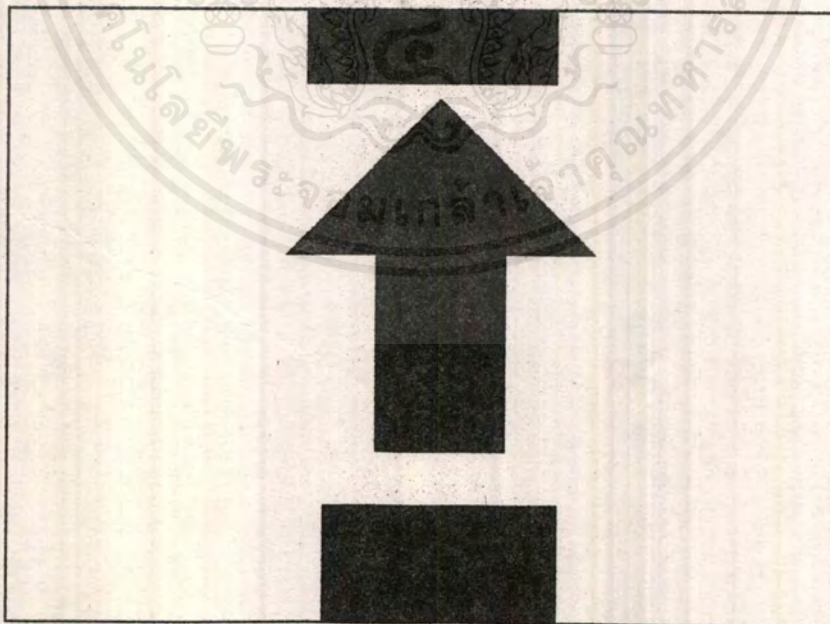
หาค่า  $\bar{X}_n$  ของทุกแถวแล้วนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งจุดภาพที่ค่าอยู่ในช่วงระดับเปรียบเทียบ (Theshold) จากสมการที่ 4.1 จะได้เส้น X เฉลี่ย ซึ่งจะเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดมุมเลี้ยวของรถ จากรูปเส้น X เฉลี่ยอยู่ในช่วงที่ 8 แสดงว่ามุมเลี้ยวที่ต้องการ จะตรงกับ SENSOR ตัวที่ 8 ของวงจรถควบคุมการเลี้ยว

#### 4.3.2 การจดจำสัญลักษณ์พิเศษ

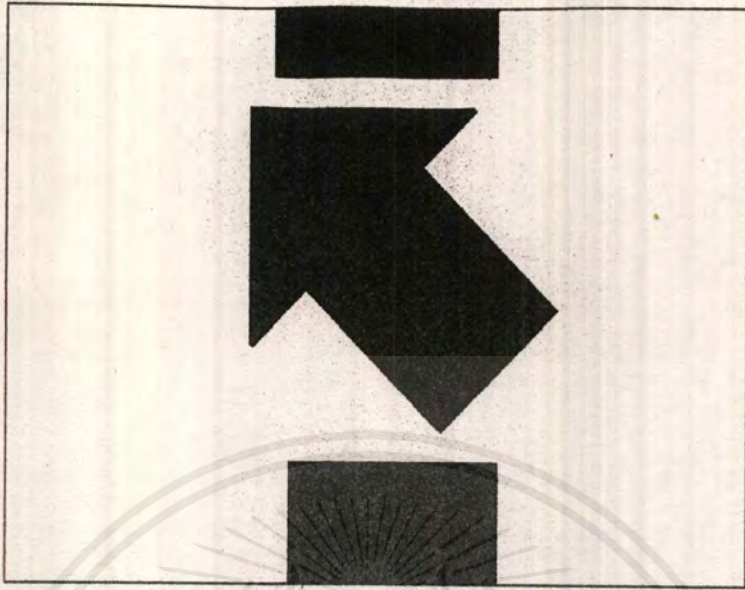
การจดจำสัญลักษณ์พิเศษใช้การนับจำนวนเม็ดสีของจุดที่มีค่าสีในช่วงระดับเปรียบเทียบ(Theshold) โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนเม็ดสีของภาพสัญลักษณ์ที่รับจากกล้อง CCD กับช่วงจำนวนเม็ดสีที่ได้กำหนดเอาไว้ ถ้าจำนวนเม็ดสีของภาพที่รับเข้ามาตรงกับช่วงจำนวนเม็ดสีของสัญลักษณ์ใดจะส่งคำสั่งควบคุมตามสัญลักษณ์นั้นๆ การใช้วิธีนับเม็ดสีจะมีข้อดี คือเป็นวิธีที่ง่ายและจำนวนเม็ดสีที่ได้จากสัญลักษณ์เดียวกันแต่วางในลักษณะต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การวางสัญลักษณ์ที่ต่างลักษณะกันจะมีผลให้จำนวนเม็ดสีที่นับได้แตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนข้อเสียของวิธีนี้คือสัญลักษณ์ที่ต่างกันต้องมีขนาดแตกต่างกันพอสมควรทำให้ไม่เหมาะในกรณีที่ต้องใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพมากๆ สัญลักษณ์และคำสั่งที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

สัญลักษณ์	จำนวนเม็ดสี	คำสั่ง
↑	240-280	ตรง
R	460-520	เลี้ยวขวา
L	315-360	เลี้ยวซ้าย

ตารางที่ 4.3 แสดงสัญลักษณ์และคำสั่งควบคุม

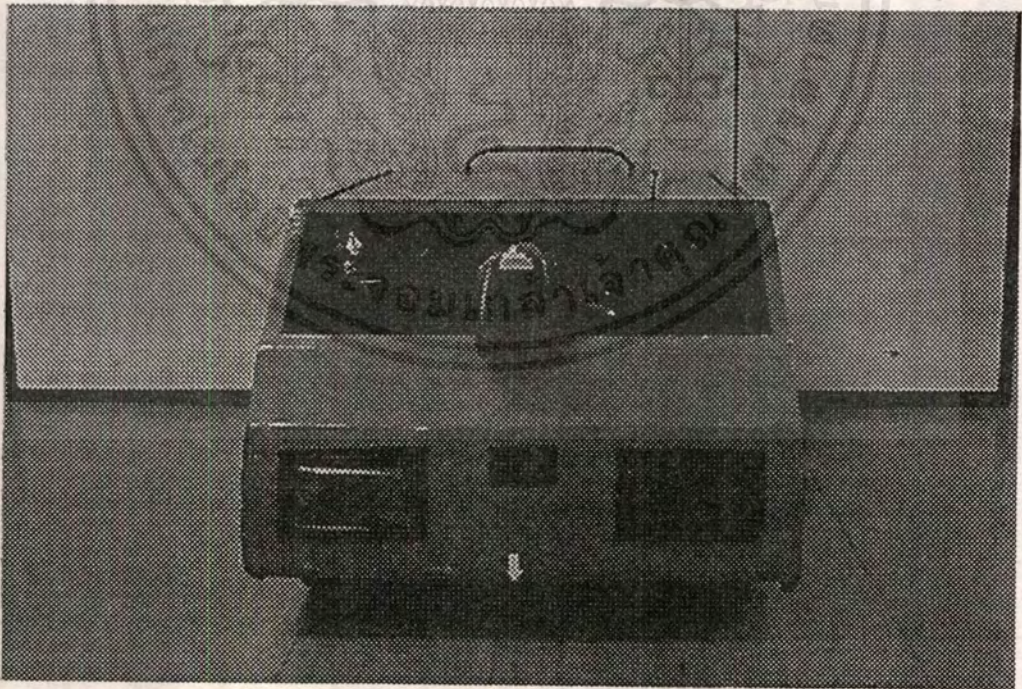


รูปที่ 4.5(ก) แสดงสัญลักษณ์คำสั่งตรงมีจุดสี 240 จุดสี



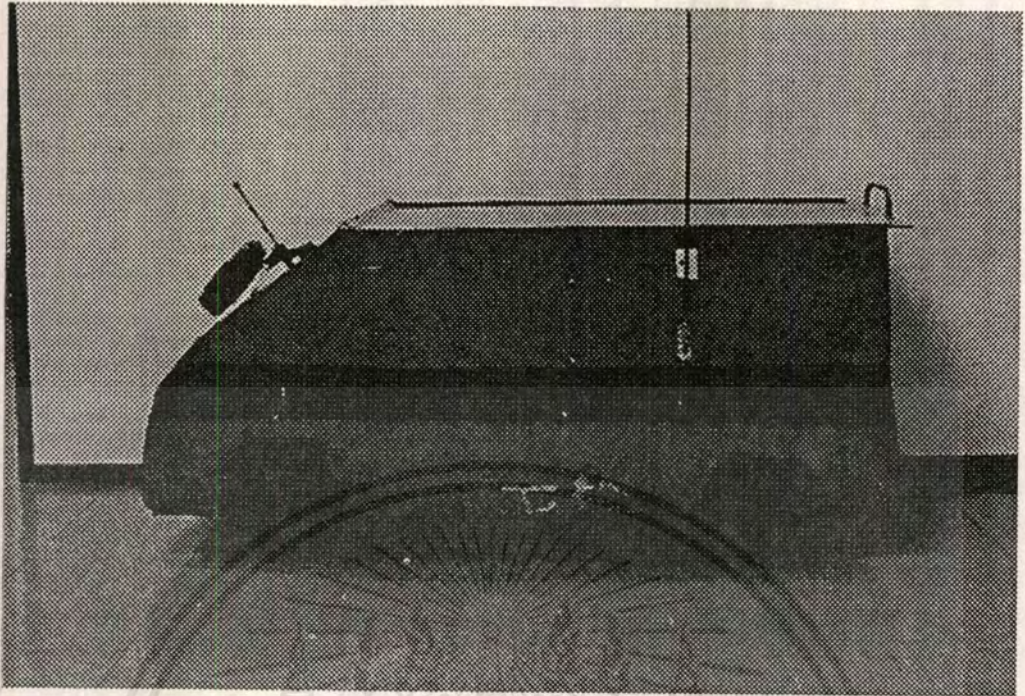
รูปที่ 4.5(ข) แสดงสัญลักษณ์คำสั่งตรงที่มีการวางเฉียงมีจุดสี 260 จุดสี

รูปที่ 4.6-4.11 แสดงรูปร่างของรถทั้งด้านหน้าและด้านข้าง,แสดง Software ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน ,สัญลักษณ์ที่ใช้ในการควบคุมรถ รวมถึงตัวอย่างเส้นทางการเดินรถ

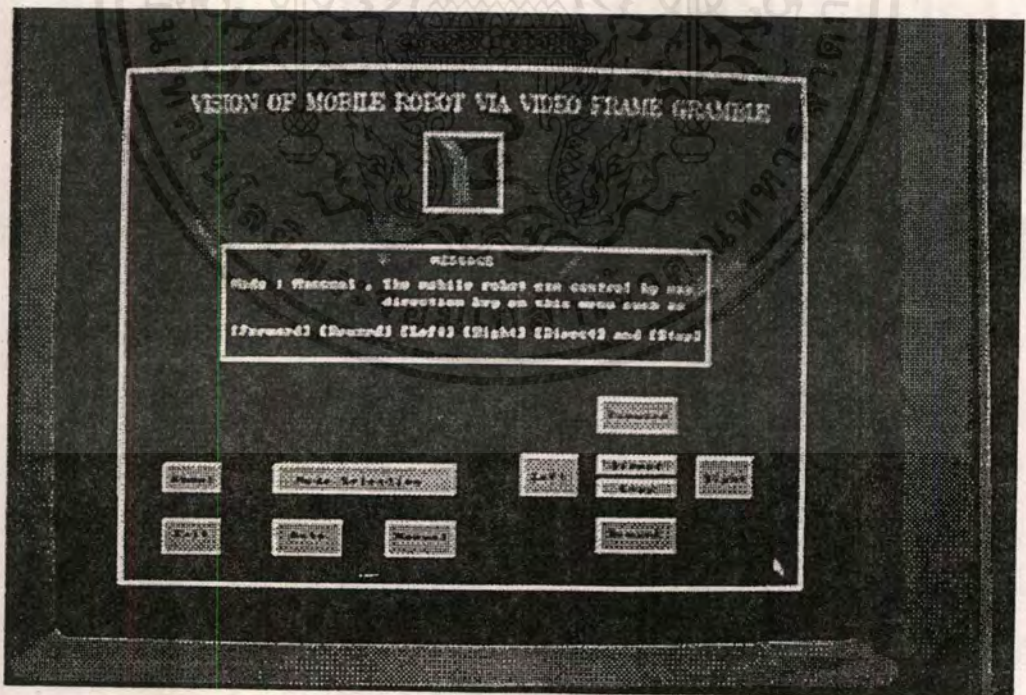


รูปที่ 4.6 แสดงรูปด้านหน้าของรถเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

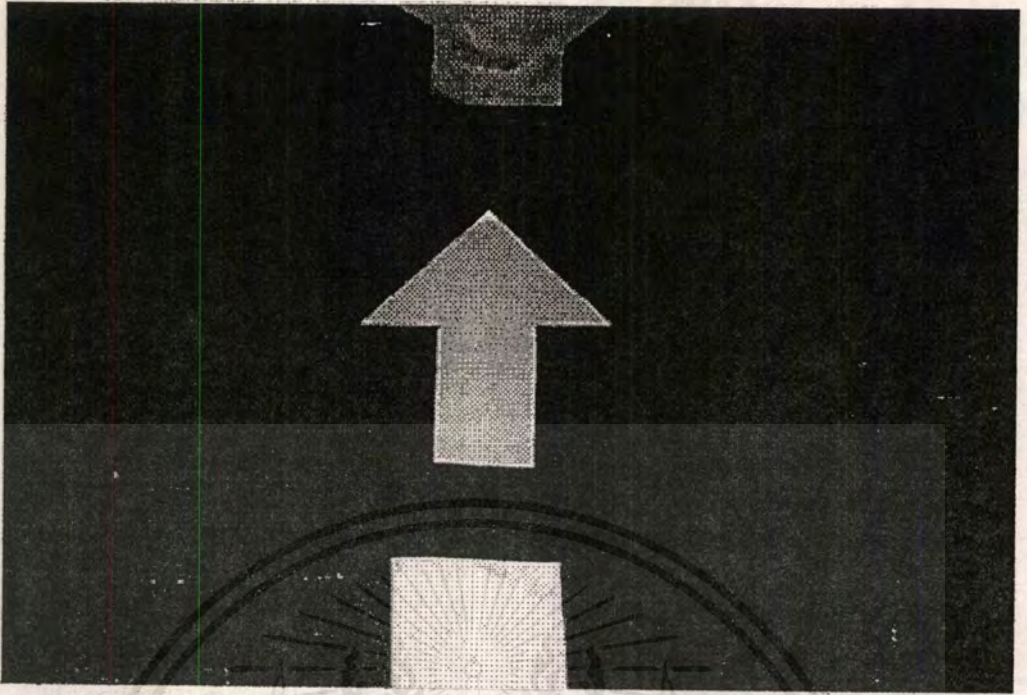


รูปที่ 4.7 แสดงรูปด้านข้างของรถเคลื่อนที่

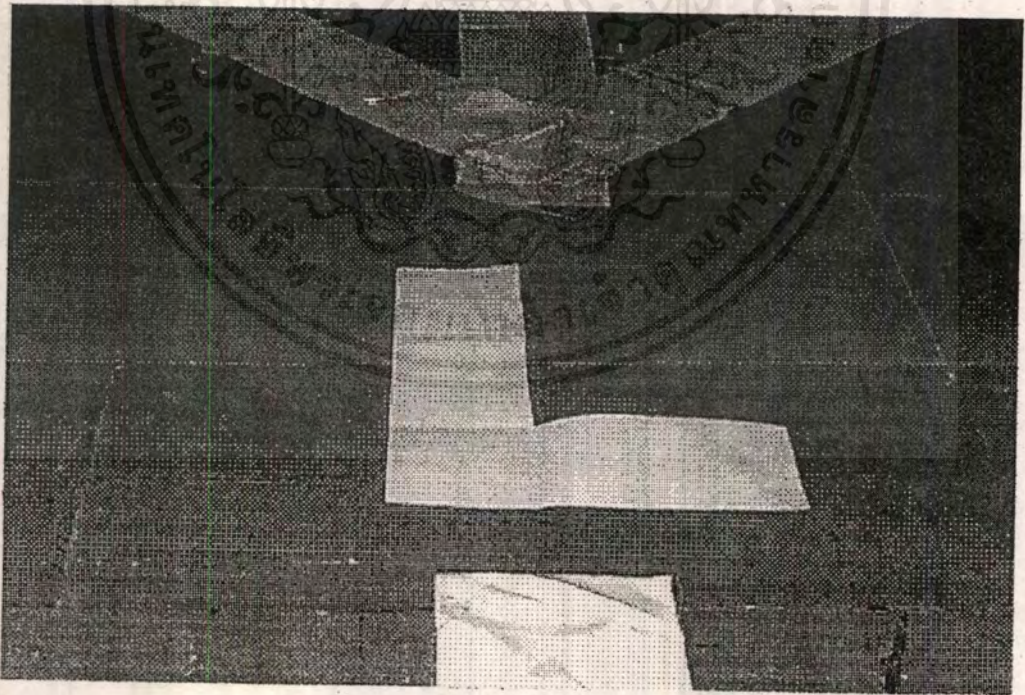


รูปที่ 4.8 แสดง Software ที่ใช้ควบคุมรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ควบคุมให้รถเคลื่อนที่ตรง

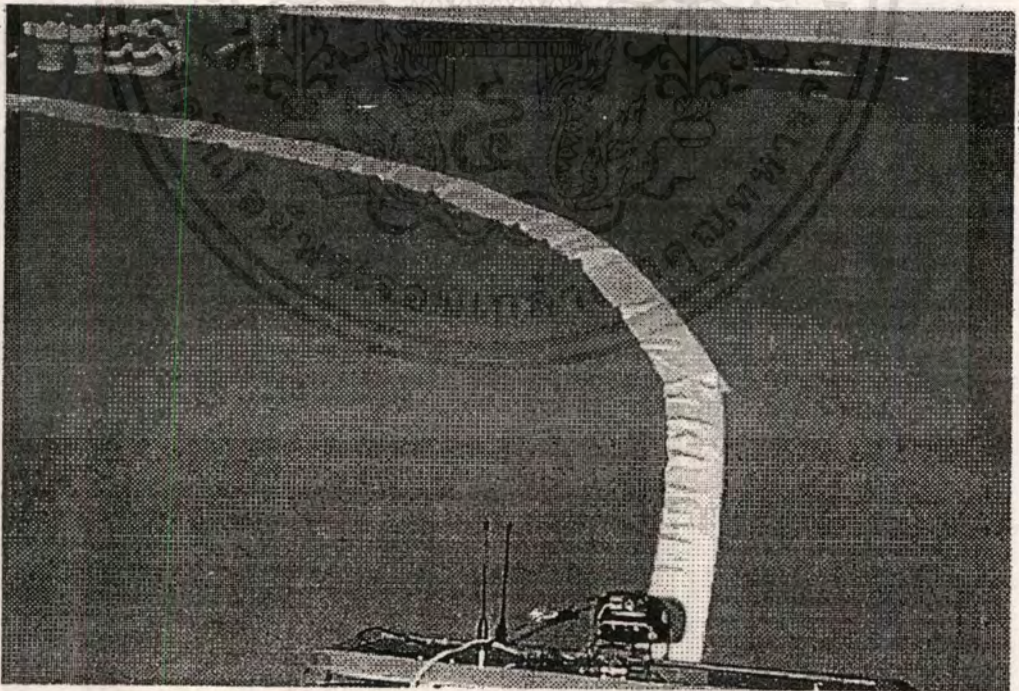


รูปที่ 4.10 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ควบคุมให้รถเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ควบคุมให้รถเลี้ยวขวา



รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างเส้นทางการเดินรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลอง

##### 4.4.1 ส่วนประกอบของโครงการ

1. รถเคลื่อนที่ (Mobile Robot)
2. ชุดรับส่งสัญญาณเอฟเอ็มแบบดิจิทัล buadrate 9600 bps
3. เครื่องส่งสัญญาณภาพวิดีโอ (VIDEO SENDER)
4. เครื่องรับโทรทัศน์
5. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมควบคุม
6. การ์ดประมวลผลภาพ
7. แหล่งจ่ายไฟปรับค่าได้
8. ลานกว้างพร้อมแถบเส้นทางที่จะใช้ทดสอบการเคลื่อนที่ของรถ

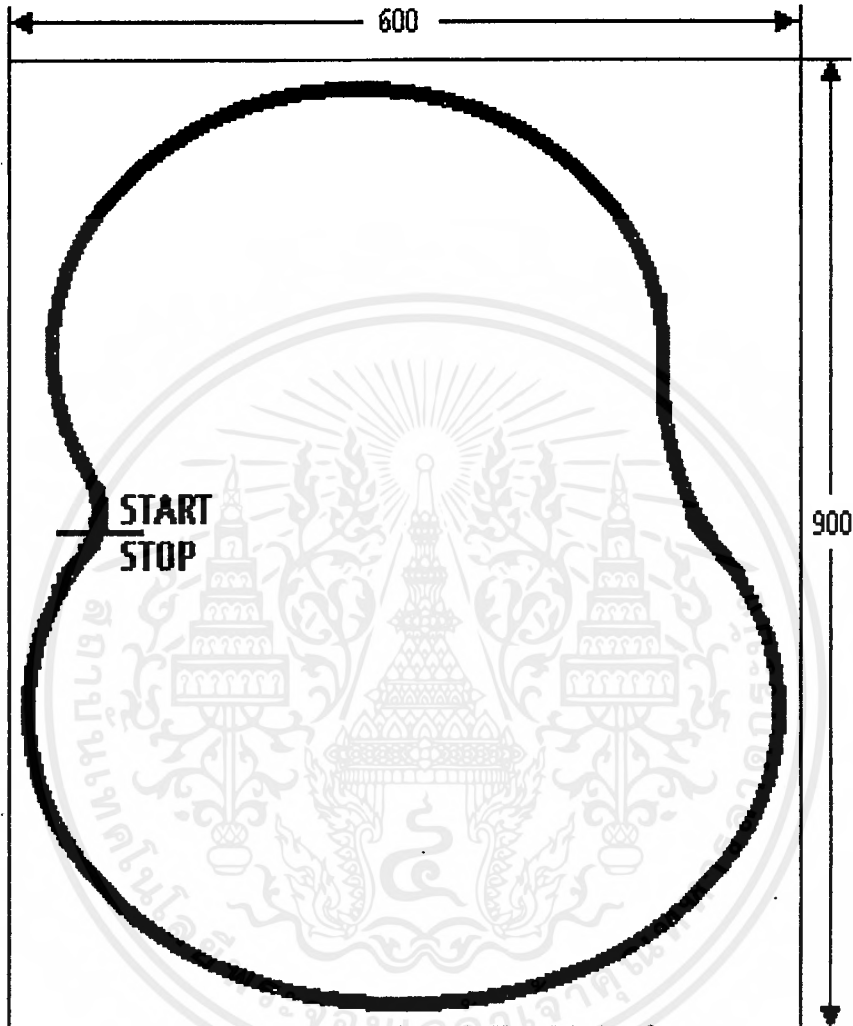
##### 4.4.2 สภาพห้องที่ใช้ทดลอง

ห้องที่ใช้ในการทดลอง เป็นห้องที่มีพื้นเรียบและมีขนาดกว้างโล่งไม่มีสิ่งกีดขวางและต้องไม่มี ความถี่รบกวนในย่าน 400-520 MHz เพื่อป้องกันการรบกวนการทำงานของภาคสื่อสาร ห้องที่ใช้ในการทดลองเป็นห้องมืด(ปิดไฟ) เพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงจากดวงไฟที่เกิดขึ้นที่พื้นห้อง (เนื่องจากห้องที่ใช้ในการทดลอง มีพื้นเป็นกระเบื้องยางสีฟ้า เมื่อเปิดไฟที่เพดานจะเกิดการสะท้อนแสงเป็น จุดของดวงไฟขึ้นบนพื้นห้อง เป็นผลให้เมื่อทำการแปลงข้อมูลภาพเพื่อการประมวลผลเกิดการผิดพลาด) และส่วนหน้าของตัวรถจะมีแสงไฟส่องเพื่อลดการรบกวนจากแสงสะท้อน

4.4.3 ขั้นตอนและผลการทดลอง การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วน (โดยใช้ความเร็วรถ 15 เมตรต่อ นาที) คือ

1.การทดลองการตรวจสอบแถบเส้น โดยการใช้แถบเส้นที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน ได้แก่การใช้กระดาษ, แถบผ้าและการทดลองการใช้แถบเส้นทางที่เป็นสีดำและสีขาว ผลการทดลองรถสามารถเคลื่อนที่ได้ถูกต้องทั้งการทดลองกับแถบกระดาษและแถบผ้าทั้ง 2 สี แต่การใช้แถบเส้นทางที่เป็นสีดำจะเกิดน้อยสจากพื้นห้องซึ่งมีรอยขรุขระที่เป็นสีดำเราจึงเลือกใช้แถบเส้นสีขาวในการทดลอง

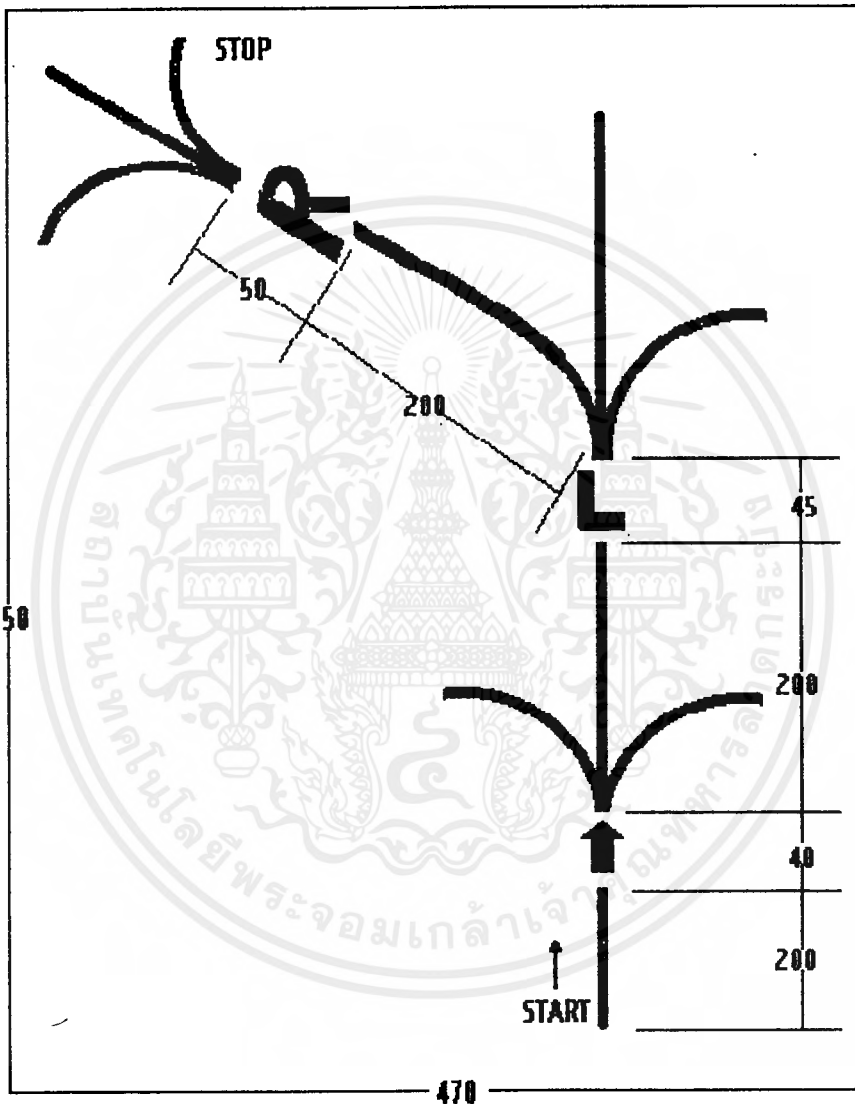
2.การทดลองการเคลื่อนที่ตามแถบเส้นที่กำหนด เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของรถตามเส้นทางที่มีส่วนตรงโค้งซ้ายโค้งขวา ซึ่งมีเส้นทางการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงแถบเส้นทางที่ใช้ในการทดลองการเคลื่อนที่ของรถ

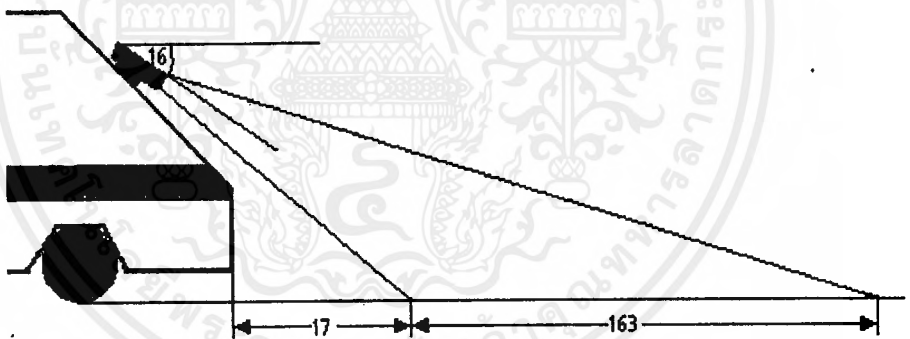
การเคลื่อนที่ของรถจะเคลื่อนที่ตามแถบเส้นที่กำหนดได้ถูกต้องแต่จะไม่เคลื่อนที่ให้ส่วนกลางของตัวรถอยู่กลางเส้นเสมอแต่จะมีการเอียงเป็นบางช่วง ได้แก่ช่วงที่เป็นทางโค้งและจะมีการส่ายในช่วงที่มีรัศมีน้อยๆแต่ทั้งนี้รัศมีของโค้งต้องไม่ต่ำกว่า 117.5 cm เมื่อวัดจากกึ่งกลางตัวรถซึ่งจะทำให้รถไม่สามารถเลี้ยวได้และจะไม่สามารถเคลื่อนที่กลับมาหาแถบเส้นได้

3. การทดลองการตัดสินใจของรถ เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของรถตามเส้นทางที่มีทางแยก และมีสัญลักษณ์ที่กำหนดแล้วให้รถทำการตัดสินใจเลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวาและตรง ตามสัญลักษณ์ที่อยู่บนเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ ได้แก่  $\uparrow$  ตรง, R เลี้ยวขวา และ L เลี้ยวซ้าย



รูปที่ 4.14 แสดงแถบเส้นทางและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลองการตัดสินใจของรถ

จากการทดลองตามข้อที่ 2 และ 3 โดยใช้ความเร็วของรถที่ 15 เมตรต่อนาที รถสามารถเคลื่อนที่ตามแถบเส้นทางที่กำหนดและมีการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง แต่เมื่อมีการเพิ่มความเร็วของรถขึ้นมากกว่าที่ทดลองข้างต้นนั้นรถจะไม่สามารถตัดสินใจเคลื่อนที่ไปตามสัญลักษณ์ที่อยู่บนแถบเส้นทางได้ เนื่องจากการติดตั้งกล้องให้มีมุมก้ม 35 องศา ดังรูปที่ 4.3 กล้องจะจับภาพได้จากหน้ารถเป็นระยะ 1 เมตรเมื่อกำลังเก็บภาพสัญลักษณ์เข้ามาแล้วทำการประมวลผล ในขณะที่ทำการประมวลผลอยู่นั้นตัวรถจะมีการเคลื่อนที่ไปตลอดเวลา ในช่วงเวลานี้รถจะเคลื่อนที่ไปถึงทางแยกก่อนที่จะมีการส่งคำสั่งควบคุมออกมาจริงไม่สามารถทำตามสัญลักษณ์ได้ทัน การแก้ไขสามารถทำได้โดยการเพิ่มเวลาในการประมวลผลและเพิ่มระยะทางในการเคลื่อนที่ของรถในช่วงเวลาการประมวลผลภาพสัญลักษณ์ ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มระยะการเก็บภาพของกล้องคือทำการลดมุมกล้องลงเหลือ 16 องศา จะทำให้สามารถเก็บภาพจากหน้ารถได้เป็นระยะทาง 180 cm ดังรูปที่ 4.15 ทำให้การส่งคำสั่งควบคุมออกมาทันก่อนรถจะเคลื่อนที่ถึงทางแยก ด้วยวิธีนี้จะสามารถทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ได้ถูกต้องเมื่อมีความเร็วถึง 35 เมตรต่อนาที



รูปที่ 4.15 แสดงการเพิ่มระยะการเก็บภาพของกล้อง CCD

## บทที่ 5

### สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการทดลองเดินรถตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้วิธีการหาเส้นเฉลี่ยของข้อมูลภาพรถสามารถเคลื่อนที่ได้ตามเส้นทางที่กำหนด แต่ไม่สามารถวิ่งอยู่ตรงกึ่งกลางของเส้นได้ตลอดเวลา เนื่องมาจากการเลี้ยวของรถทำให้เข้าและมุมการเลี้ยวของรถมีความละเอียดไม่เพียงพอ และจากการปรับเปลี่ยนสีของแถบเส้น รถก็สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่เรากำหนดได้อย่างถูกต้อง

ในการทดลองให้รถเลี้ยวตามสัญลักษณ์ต่างๆโดยใช้สัญลักษณ์ 3 แบบ คือ  $\Pi$ , R และ L รถสามารถที่จะเลี้ยวตามสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้แต่สัญลักษณ์ที่ใช้ทั้ง 3 แบบนั้นต้องให้จำนวนจุดสีที่ต่างกันมากเพียงพอ

#### 5.2 ปัญหา

1. สัญญาณภาพจากการทดลองมีความแตกต่างของระดับขาวดำน้อยทำให้การประมวลผลผิดพลาด
2. การตีประมวลผลภาพที่ใช้ในการทดลองเกิดปัญหาขึ้นบ่อย
3. การตีประมวลผลภาพที่ใช้ในการทดลองมีความเร็วต่ำ ทำให้ความเร็วในการควบคุมรถต่ำ
4. อุปกรณ์ของชุดวงจร Modulator และ Demodulator ของการรับส่งสัญญาณแบบ FSK หาซื้อได้ยากและมีราคาสูงมาก

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากระบบการเลี้ยวของรถใช้ SENSOR ติดตั้งไว้ตามจุดต่างๆทำให้รถสามารถเลี้ยวเป็นช่วง ๆ ตามจุดที่กำหนด การพัฒนาต่อไปควรใช้ Encoder เพื่อให้มุมเลี้ยวของรถมีความละเอียดมากขึ้น
2. การเลี้ยวของรถไม่สามารถเลี้ยวเป็นมุมแคบได้ เนื่องจากโครงสร้างของรถถูกออกแบบมาอย่างจำกัด การพัฒนาควรมีการออกแบบส่วนของการเลี้ยวใหม่

3. ชุดเสียงของรถใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังทำให้เกิดสัญญาณรบกวน(noise)ภาคส่งสัญญาณภาพ เป็นผลให้ภาพที่รับได้ไม่ชัดเจน สามารถแก้ไขได้โดยการต่อขดลวดอนุกรมเข้ากับตัวมอเตอร์ ซึ่งสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ในระดับหนึ่ง

4. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการควบคุมรถต้องมีจำนวนเม็ดสีแตกต่างกันพอสมควร หากต้องการการอ่านสัญลักษณ์ที่ถูกต้องแน่นอนขึ้นควรใช้วิธีอื่น แต่ควรเป็นวิธีที่ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว



### บรรณานุกรม

1. "The TTL DATA BOOK Volume 3 ",Texas Instruments,1984
2. พัทธมน เลานสงคราม,"ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51",สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2537
3. "ออกแบบเครื่องจ่ายไฟ",ซีเอ็ดยูเคชั่น,2538
4. ชูเกียรติ จันทธานี,"ทฤษฎีตรวจสอบโทรทัศน์ขาวดำ ทรานซิสเตอร์-ไอซี", โรงเรียนช่างเทคนิคเทพนิมิต,2528
5. "เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์",เล่ม 113,115,132,135,ซีเอ็ดยูเคชั่น
6. บัณฑิต สุมนวัฒนะ,"แผงวงจรเก็บข้อมูลภาพที่ประกอบด้วยฟังก์ชันหน่วยความจำ",บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2539

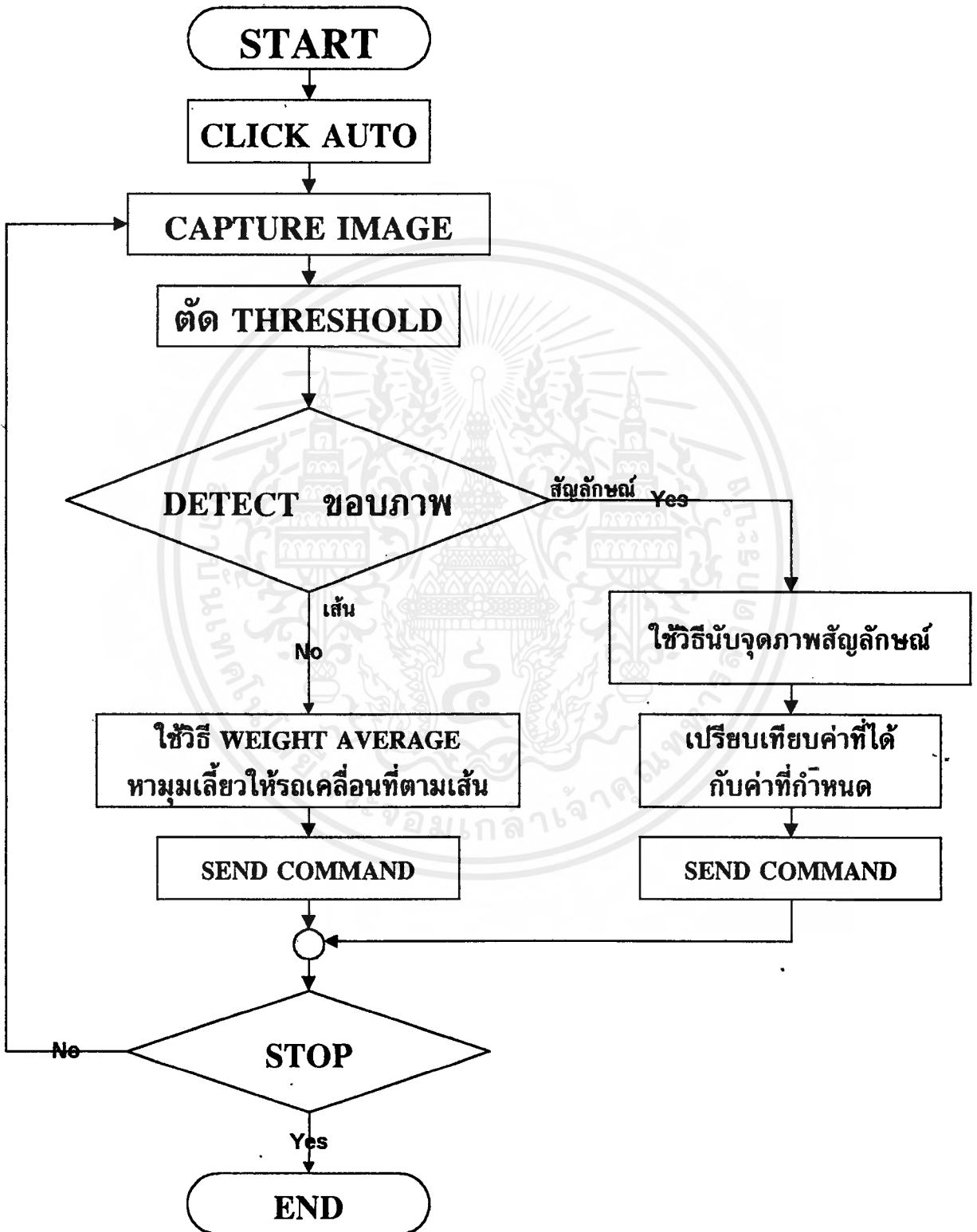


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

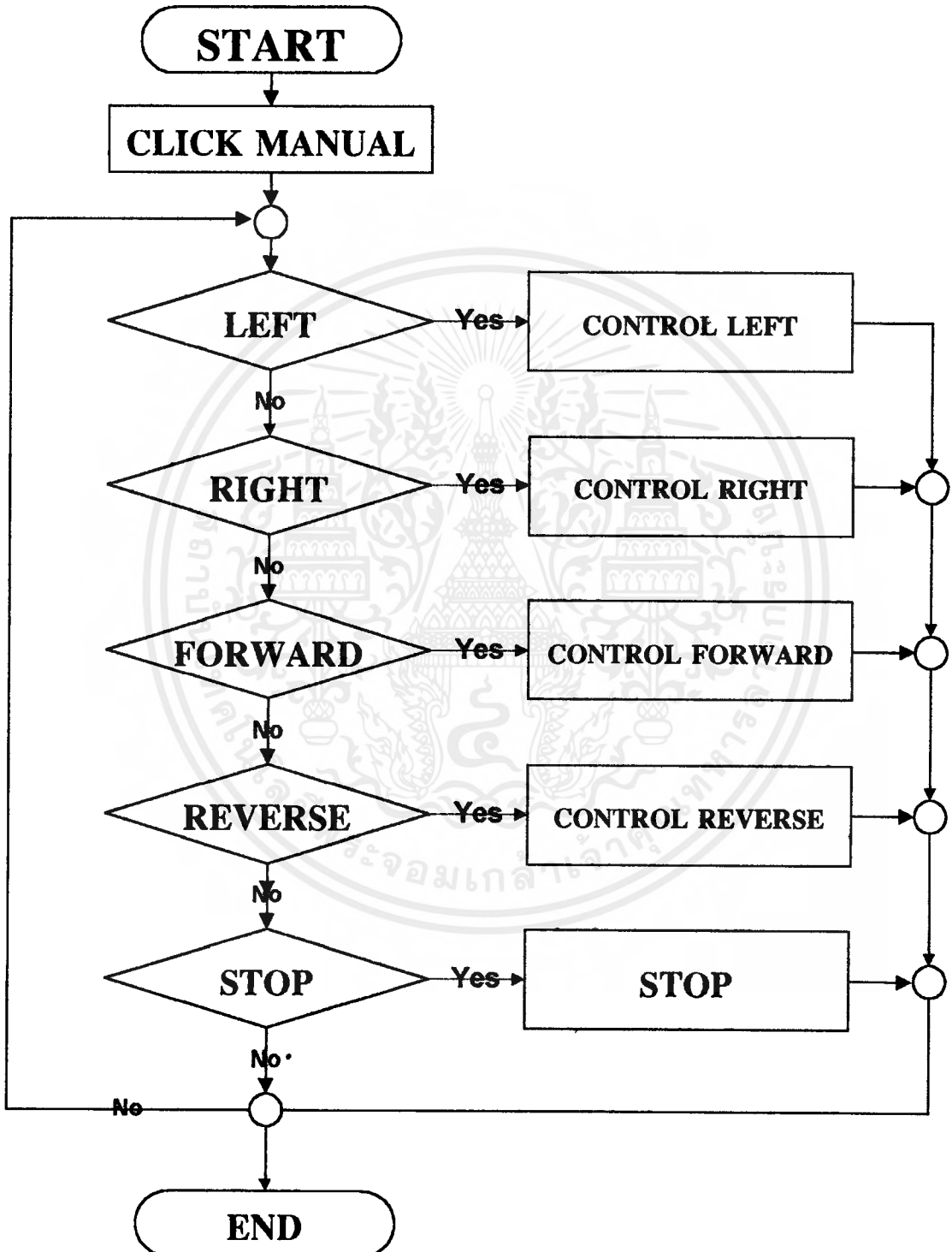
ภาคผนวก ก  
ไฟล์ชาร์ตและโปรแกรม

## AUTO MODE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MANUAL MODE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมรับคำสั่งควบคุม (MCS-51)

```
;===== Program receive data by serial port =====
```

```
; 8255 port
```

```
ORG 0000H
```

```
PORT_A EQU 0F800H
```

```
PORT_B EQU 0F801H
```

```
PORT_C EQU 0F802H
```

```
CTL EQU 0F803H
```

```
START EQU 00H ; BIT INTERNAL RAM
```

```
;===== Initial serial =====
```

```
mov scon,#50h
```

```
mov tmod,#20h
```

```
mov th1,#0fdh
```

```
setb tr1
```

```
acall delay
```

```
acall delay
```

```
mov dptr,#CTL
```

```
mov a,#80h
```

```
movx @dptr,a
```

```
clr START
```

```
loop: jbc ri,RECV
```

```
sjmp loop
```

```
=====
```

```
; bit 7 = 0: Ang'
```

```
; = 1: Command word
```

```
=====
```

```
RECV: mov a,sbuf
```

```
~ jb START,send
```

```
cjne a,#00h,end_jp
```

```
setb START
```

```
sjmp end_jp
```

```
send: clr START
```

```
jb acc.7,comm
```

```
mov dptr,#PORT_A
```

```
swap a
```

```
movx @dptr,a
```

```
sjmp end_jp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



comm:

```
cjne a,#88h,no_wait
acall wait
```

```
no_wait:mov dptr,#PORT_B
movx @dptr,a
```

end\_lp:

```
clr ri
sjmp loop
```

;===== Delay routine =====

```
delay: push 00h ;r0
```

```
push 01h ;r1
```

```
mov r0,#255
```

```
dl1: mov r1,#255
```

```
djnz r1,$
```

```
djnz r0,dl1
```

```
pop 01h ;r1
```

```
pop 00h ;r0
```

```
ret
```

;===== Wait function =====

```
wait: mov a,#88h
```

```
mov dptr,#PORT_B
```

```
movx @dptr,a
```

```
jnb p1.0,e_wait ; p1.0 = "0": Exit loop wait
```

```
sjmp wait
```

```
e_wait: mov a,#81h
```

```
movx @dptr,a
```

```
.ret
```

;=====