สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถสำรวจติดกล้องวิดีโอควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

EXPLORER CAR WITH VIDEO CAMERA CONTROLLED BY COMPUTER

T042483

โดย

นายไกรฤกษ์ โง้วสุวรรณ

นายธีรศักดิ์ โคตรสีวงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46483
วัน, เดือน, ปี - 2 เม.ย. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถสำรวจติดกล้องวิดีโอควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

EXPLORER CAR WITH VIDEO CAMERA CONTROLLED BY COMPUTER

โดย

นายไกรฤกษ์ โง้วสุวรรณ 42015048

นายธีรศักดิ์ โคตรสีวงษ์ 42015061

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

รศ.ดร.สุวิพล สิทธิชีวภาค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **รถสำรวจติดกล้องวิดีโอควบคุมโดยคอมพิวเตอร์**

EXPLORER CAR WITH VIDEO CAMERA CONTROLLED BY COMPUTER

ผู้จัดทำ

1. นายไกรฤกษ์ โง้วสุวรรณ 42015048

2. นายธีรศักดิ์ โคตรสีวงษ์ 42015061

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถสำรวจติดกล้องวิดีโอควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

EXPLORER CAR WITH VIDEO CAMERA CONTROLLED BY COMPUTER

โดย นายไกรฤกษ์ โง้วสุวรรณ 42015048

นายธีรศักดิ์ โคตรสีวงษ์ 42015061

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของรถสำรวจผ่านทางคลื่นวิทยุเพื่อให้สามารถควบคุมรถสำรวจได้ในระยะทางไกล ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้สำรวจพื้นที่ที่อันตรายแทนมนุษย์ได้ โดยคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลไปที่เครื่องส่งสัญญาณควบคุมเพื่อทำการส่งสัญญาณควบคุมออกอากาศ แล้วที่ตัวรถสำรวจจะทำการแปลงสัญญาณที่รับมาได้กลับคืนมาเป็นข้อมูล จากนั้นนำเอาข้อมูลนี้ส่งต่อไปที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้แปลความหมายของข้อมูลนำไปควบคุมระบบขับเคลื่อนของรถสำรวจ ที่ตัวของรถสำรวจจะนำสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอมาเข้าเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอเพื่อส่งออกอากาศ ที่คอมพิวเตอร์ก็จะรับสัญญาณที่ได้จากเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอนำมาแปลงเป็นสัญญาณวิดีโอเพื่อแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

ABSTRACT

This project uses computer to control the moving of explorer car. It controls by radio wave for long distance which uses for exploring the dangerous places instead of using the human being. The computer sends the control signal to the car which has the camera. The car and camera can be controlled to move forward, reverse, turn left or turn right. Pictures from the camera will be sent to computer for monitoring.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	3
2.1 พอร์ต RS 232C	3
2.1.1 มาตรฐาน RS 232C	3
2.1.2 ลักษณะของสัญญาณ RS 232C	4
2.1.3 การกำหนดจุดข้อต่อของ RS 232C	5
2.2 โมเด็ม	7
2.2.1 การทำงานของโมเด็ม	8
2.3 การส่งข้อมูล DIGITAL ในรูปแบบ FSK	11
2.3.1 XR-2206 วงจรเข้ารหัส FSK	11
2.3.1.1 การทำงานของ XR-2206	11
2.3.2 XR-2211 วงจรถอดรหัส FSK	13
2.3.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของไอซี XR-2211	13
2.3.2.2 โครงสร้างภายในของไอซี XR-2211	14
2.3.2.3 การนำไอซี XR-2211 ไปใช้ในการดีเทคสัญญาณ FSK	15
2.4 โครงสร้างของ MCS-51	16
2.4.1 บทนำ	16
2.4.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	17
2.4.2 โครงสร้างภายในของ 8051	17
2.4.3 พอร์ตของ 8051	20
2.4.4 วงจรคล็อคของ MCS-51	23
2.4.5 ผังเวลาของซีพียู (CPU Timing)	25
2.4.6 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory	27
2.4.7 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ	28
2.4.7.1 พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area)	30
2.4.7.2 พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Address Area)	30
2.4.7.3 บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area)	30
2.4.7.4 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์	33
2.4.7.4.1 โครงสร้างของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ มีโครงสร้างดังนี้	33
2.4.7.4.2 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.7.4.3 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 40

2.4.7.5 การรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) ของ 8051 และ 8052 41

2.4.7.5.1 การเชื่อมต่อไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 43

2.4.7.6 การอินเตอร์รัพท์ 46

2.4.8 การใช้งาน MCS-51 ขับมอเตอร์ไฟตรง 55

2.4.8.1 การขับมอเตอร์ไฟตรงด้วยคำสั่ง PWM 55

2.4.8.2 การขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge 55

2.4.8.3 การควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ 58

2.4.8.4 รูปแบบการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 59

2.4.8.5 การใช้ MCS-51 ในการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 60

2.5 ทฤษฎีการรับส่งคลื่นวิทยุ 61

2.5.1 ฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (Frequency Modulation) 62

2.5.2 เฟสมอดูเลชั่น (Phase Modulation) 63

2.5.3 ความถี่ข้างเคียงและดัชนีมอดูเลชั่น 65

2.5.4 เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitters) 67

2.6 วิดีโอเซ็นเดอร์ (VIDEO SENDER) 73

2.6.1 การต่อเครื่องวิดีโอเซ็นเดอร์ 73

2.6.2 หลักการแพร่ภาพ 74

2.6.3 ความถี่โทรทัศน์ช่องต่าง ๆ 75

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง 76

3.1 การแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 76

3.2 วงจรเข้ารหัส FSK 76

3.3 วงจรถอดรหัส FSK 78

3.4 ส่วนของการควบคุมตัวรถและกล้องวิดีโอ 80

3.5 ส่วนของการประมวลผลสัญญาณภาพ 83

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 84

4.1 การทดลองวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 84

4.2 การทดลองวัดสัญญาณวิดีโอจากกล้อง CCD 87

4.3 การทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS 232C เป็นสัญญาณ TTL 89

4.4 การทดลองวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK 90

4.5 การทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK 94

4.6 การทดลองการส่งข้อมูลแบบไร้สาย 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การทดลองโปรแกรมประมวลผลสัญญาณภาพ	100
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	103
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
ภาคผนวก ค.	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน 1

รูปที่ 2.1 การใช้ RS 232C เชื่อมต่ออุปกรณ์ 4

รูปที่ 2.2 ย่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS 232C 4

รูปที่ 2.3 การกำหนดข้อต่อของ RS 232C 5

รูปที่ 2.4 การแปลงสัญญาณของโมเด็ม 8

รูปที่ 2.5 มาตรฐานของโมเด็ม 103 โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์ อัตราส่งต่ำ 9

รูปที่ 2.6 มาตรฐานของ CCITT V.21 โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์ อัตราส่งต่ำ 9

รูปที่ 2.7 โมเด็มชนิดเบล 202 ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ 10

รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานและขาต่าง ๆ ของ XR-2206 12

รูปที่ 2.9 วงจรผลิตสัญญาณ FSK รูปไซน์อย่างง่าย โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว 13

รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี XR-2211 14

รูปที่ 2.11 แสดงวงจรการต่อไอซี XR-2211 15

รูปที่ 2.12(a) บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51 18

รูปที่ 2.12(b) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน 19

รูปที่ 2.13 การจัดวางขาของ 8051 19

รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต) 20

รูปที่ 2.15 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต) 21

รูปที่ 2.16 โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต) 21

รูปที่ 2.17 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต) 22

รูปที่ 2.18 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051 23

รูปที่ 2.19 วงจรสร้างคล็อคของ 8051 24

รูปที่ 2.20 ผังเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง 25

รูปที่ 2.21 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก 26

รูปที่ 2.22 การต่อหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพ 27

รูปที่ 2.23 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051 28

รูปที่ 2.24 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052 28

รูปที่ 2.25 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051 29

รูปที่ 2.26 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8052 29

รูปที่ 2.27 128ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม 31

รูปที่ 2.28 ผังการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 0) 13-bit Counter และรีจิสเตอร์ควบคุม 33

รูปที่ 2.29 Timer/Counter Mode Control Register (TMOD) 34

รูปที่ 2.30 Timer/Counter Control register (TCON) 35

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.31 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 0) 13 บิต เคาน์เตอร์ 36

รูปที่ 2.32 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 1) 16 บิต เคาน์เตอร์ 36

รูปที่ 2.33 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 2) 8 บิต เคาน์เตอร์โหลดซ้ำอัตโนมัติ 36

รูปที่ 2.34 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 3) 8 บิต เคาน์เตอร์ 2 ชุด 37

รูปที่ 2.35 Timer/Counter 2 Control Register 80C52/83C154/83C154D 37

รูปที่ 2.36 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 Capture Mode 40

รูปที่ 2.37 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 Reload Mode 40

รูปที่ 2.38 แสดงรายละเอียดในรีจิสเตอร์ SCON และการ SET-UP 44

รูปที่ 2.39 แหล่งที่มาของสัญญาณอินเตอร์รัพท์ 46

รูปที่ 2.40 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ IE 47

รูปที่ 2.41 รายละเอียดของ IP 49

รูปที่ 2.42 รายละเอียดของระบบขัดจังหวะของ 8051, 83C154, 83C154D 50

รูปที่ 2.43 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน (PCON) 51

รูปที่ 2.44 ผลที่เกิดขึ้นเมื่อ HPD = 1 และมีสัญญาณกระตุ้นที่ขา T1 52

รูปที่ 2.45 IOCON Register (83C154, 83C154D เท่านั้น) 52

รูปที่ 2.46 โครงสร้างของพอร์ตใน 83C154, 83C154D 53

รูปที่ 2.47 ผังการทำงานของ Watch Dog 54

รูปที่ 2.48 ตัวอย่าง Frame Error ที่เกิดขึ้นเมื่อ Stop bit หายไป 54

รูปที่ 2.49 ตัวอย่าง Overrun Error ที่เกิดขึ้น 55

รูปที่ 2.50 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายของ MCS-51 ทำได้โดยการส่งสัญญาณ PWM ผ่านไอซีขับโหลดกระแสสูงเบอร์ ULN2003 วงจรนี้สามารถใช้ได้กับมอเตอร์ไฟตรงสูงสุด +30V, 500mA 55

รูปที่ 2.51 แสดงหลักการขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge 56

รูปที่ 2.52 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge 56

รูปที่ 2.53 แสดงวงจร L298 Full Bridge Driver Circuit 57

รูปที่ 2.54 ตัวอย่างวงจรขับมอเตอร์ไฟตรง 58

รูปที่ 2.55 โครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ 59

รูปที่ 2.56 ตัวอย่างวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 60

รูปที่ 2.57 แสดงสัญญาณพาหะสัญญาณข้อมูลและสัญญาณ FM และ PM 62

รูปที่ 2.58 สัญญาณไซน์ปกติ สัญญาณไซน์ที่มีเฟสนำ 90 องศาและเฟสตาม 90 องศา 64

รูปที่ 2.59 วงจร Indirect FM 65

รูปที่ 2.60 แสดงแถบความถี่ของสัญญาณ FM 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.61 วงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ 70

รูปที่ 2.62 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อวิดีโอเซ็นเดอร์ 73

รูปที่ 2.63 แสดงบล็อกไดอะแกรมการแพร่ภาพโทรทัศน์ 74

รูปที่ 3.1 วงจร MAX-232 76

รูปที่ 3.2 วงจร XR-2206 78

รูปที่ 3.3 วงจร XR-2211 80

รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังส่วนควบคุมบนคอมพิวเตอร์ 81

รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังส่วนควบคุมบนตัวรถสำรวจ 82

รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังส่วนของการประมวลผลสัญญาณภาพ 83

รูปที่ 4.1 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ 84

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อกล้องจับภาพวัตถุสีดำ 87

รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อกล้องจับภาพวัตถุสีขาว 88

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อกล้องจับภาพสภาพแวดล้อมในห้อง Lab 88

รูปที่ 4.5 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 89

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูล 55H จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ (Ch2) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูล 55H ที่เป็นสัญญาณ TTL แล้ว (Ch1) 90

รูปที่ 4.7 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK 91

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เมื่อป้อนแรงดัน DC 0V ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์มีความถี่ประมาณ 2200 Hz 92

รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เมื่อป้อนแรงดัน DC +5V ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์มีความถี่ประมาณ 1200 Hz 92

รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 78H (Ch2) 93

รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 81H (Ch2) 93

รูปที่ 4.12 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch2) 95

รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2) 96

รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch2) 96

รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2) 97

รูปที่ 4.17 แสดงการต่อเพื่อทดลองการส่งข้อมูลแบบไร้สาย 98

รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2) เมื่อส่งผ่านเครื่องรับ-ส่งวิทยุ 27 MHz 99

รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2) เมื่อส่งผ่านเครื่องรับ-ส่งวิทยุ 27 MHz 99

รูปที่ 4.20 แสดงภาพปกติที่ได้จากการบันทึกภาพของกล้อง CCD 100

รูปที่ 4.21 แสดงการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง 101

รูปที่ 4.22 แสดงการหาขอบภาพโดยวิธีการของโรเบิร์ต 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การกำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณตามมาตรฐาน RS 232C 4

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS 232C 7

ตารางที่ 2.3 MCS-51 family 17

ตารางที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ใน SFR 32

ตารางที่ 2.5 โหมดการทำงานของไทม์เมอร์ 2 38

ตารางที่ 2.6 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์x (เลือกค่า TMOD) 39

ตารางที่ 2.7 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 (เลือกค่า T2CON) 41

ตารางที่ 2.8 ตารางการใช้ไทม์เมอร์ 1 กำหนดบอดเรท 45

ตารางที่ 2.9 อินเตอร์รัพท์เวคเตอร์ของ MCS-51 และลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์ 46

ตารางที่ 2.10 Interrupt Vector 50

ตารางที่ 2.11 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ใน SFR หลังจากรีเซ็ทโดยสัญญาณจาก Watch Dog 54

ตารางที่ 2.12 ลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส 60

ตารางที่ 2.13 ลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฟูลสเต็ปสองเฟส 60

ตารางที่ 2.14 ลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฮาล์ฟสเต็ป 60

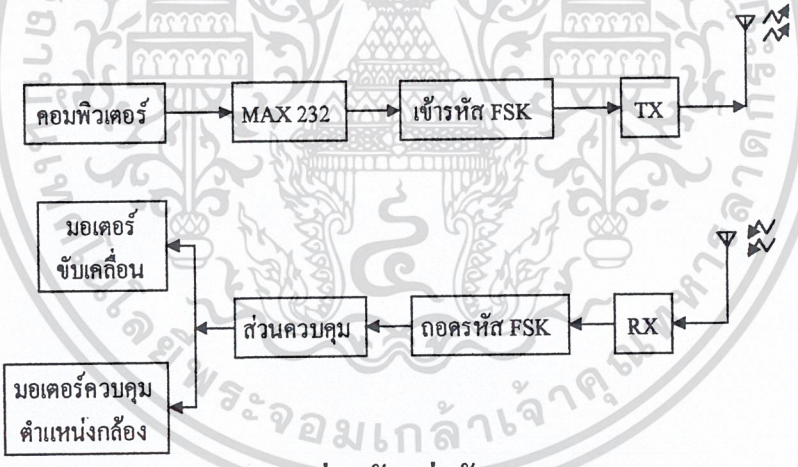
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

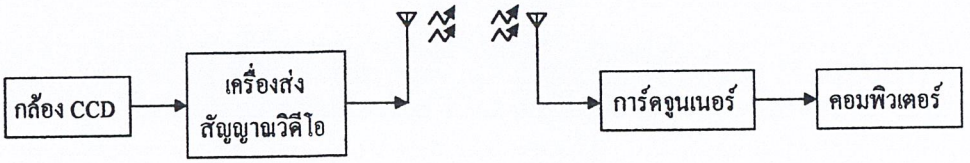
บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น โดยเทคโนโลยีที่มนุษย์คิดค้นและผลิตขึ้นไม่มีวันหยุดยั้งเมื่อมนุษย์ต้องการความสะดวกสบายมากขึ้น จึงได้มีการพัฒนารูปแบบหุ่นยนต์ให้ใช้งานได้หลายๆ ด้าน เช่น ใช้เป็นเครื่องทุ่นแรง เครื่องอำนวยความสะดวก หรือแม้แต่ในด้านการสำรวจ

ในการสำรวจสถานที่ที่เป็นพื้นที่อันตรายซึ่งมนุษย์ไม่อาจเข้าไปสำรวจหรือเก็บข้อมูลได้โดยตรง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ทำหน้าที่แทนมนุษย์ ดังนั้นรถสำรวจจึงเข้ามามีบทบาททางด้านวิศวกรรมในทางสำรวจ เช่น การสำรวจเหมืองแร่ การสำรวจพื้นที่ที่มีวัตถุระเบิดหรือพื้นที่ที่มีสารเคมีที่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ ฯลฯ โดยมีการควบคุมจากระยะไกล ซึ่งโครงงานนี้เป็นการสร้างรถสำรวจควบคุมโดยคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย โดยมีกล้องวิดีโอติดอยู่ที่ตัวรถ และส่งข้อมูลภาพกลับมายังคอมพิวเตอร์



ก) ส่วนรับ-ส่งสัญญาณควบคุม



ข) ส่วนรับ-ส่งสัญญาณภาพ

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของรถสำรวจซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ และส่วนของตัวรถสำรวจ โดยส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมจะส่งสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ออกไปยังตัวรถสำรวจ ที่ตัวรถสำรวจจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการตัดสินใจว่าสัญญาณควบคุมที่รับได้นั้นเป็นสัญญาณที่ต้องการให้รถสำรวจทำงานอย่างไร เช่น เดินหน้าหรือถอยหลัง เลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา หรือควบคุมตำแหน่งของกล้อง และกล้องที่ติดอยู่กับตัวรถสำรวจก็จะส่งสัญญาณภาพกลับมายังส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมเพื่อแสดงผล

ส่วนของการส่งสัญญาณภาพนั้นเราเลือกใช้กล้อง CCD และเครื่องส่งสัญญาณภาพที่เป็นแบบสำเร็จรูป โดยที่ตัวคอมพิวเตอร์จะมี CARD สำเร็จรูปในการรับสัญญาณ TV/VDO อยู่เพื่อทำหน้าที่ในการรับสัญญาณภาพที่ส่งมาจากกล้อง CCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 พอร์ต RS 232C

พอร์ต RS 232C นี้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS 232C ก็เนื่องจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกาหรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้ชื่อว่า RS 232C ความจริงมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ก็คือ RS 232C

หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสก็คือ

รับสัญญาณ

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

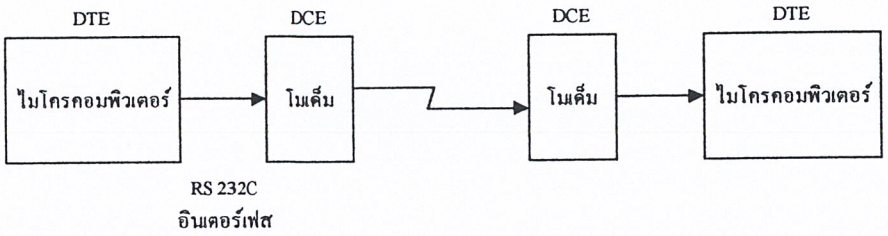
ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูค่อยทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่มสต๊อปบิตและพาริตี้บิต
3. เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่ต่อเชื่อม (ถ้ามี)

2.1.1 มาตรฐาน RS 232C

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การใช้ RS 232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

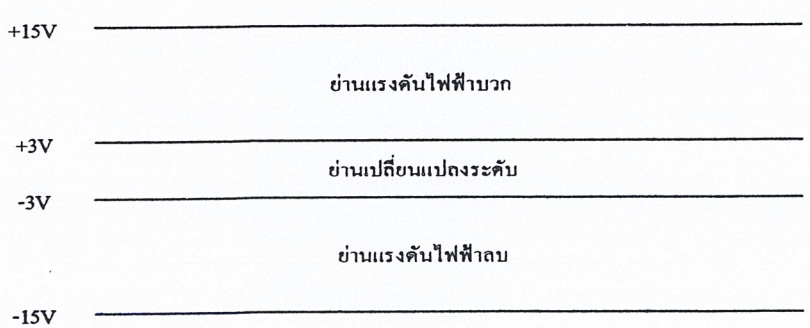
ความจริงอีกประการหนึ่งของ RS 232C ก็คือ ความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS 232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิต ต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110 ถึง 9600 บอด ความยาวของสายเชื่อมต่อ โดยสัญญาณตามมาตรฐานของ RS 232C จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

2.1.2 ลักษณะของสัญญาณ RS 232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้มาตรฐาน RS 232C กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ข้างบน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 การกำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณตามมาตรฐาน RS 232C

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

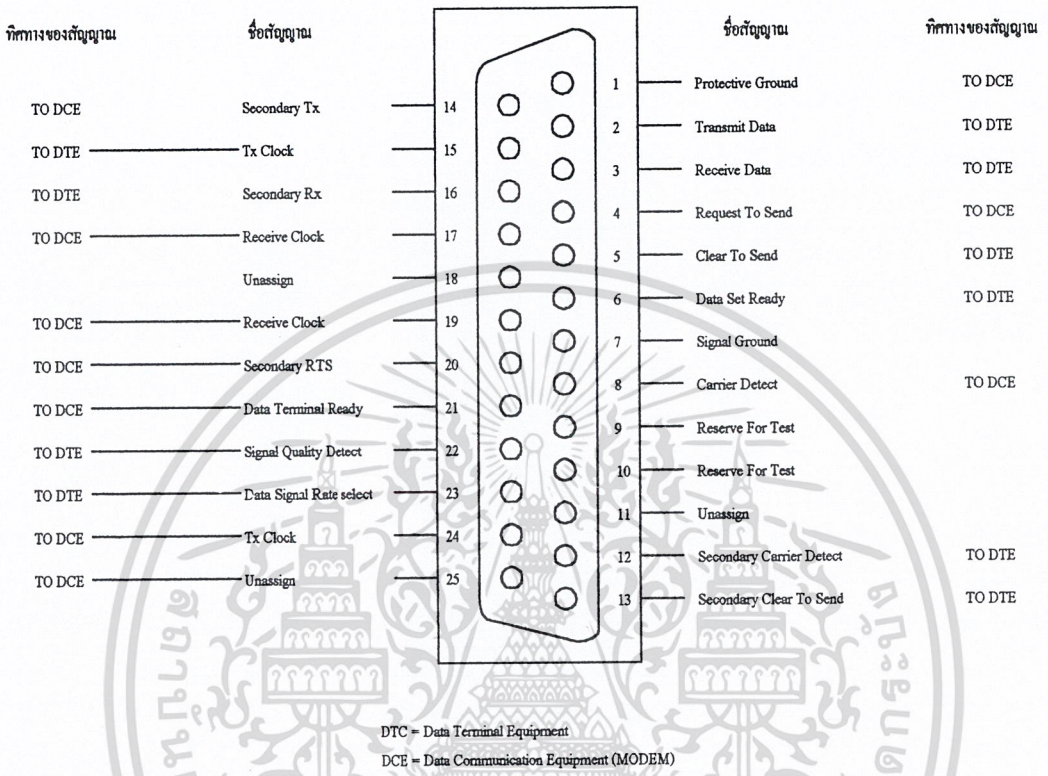


รูปที่ 2.2 ย่านของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในสัญญาณ RS 232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การกำหนดจุดข้อต่อของ RS 232C

ในทางฟิสิกส์แล้ว มาตรฐาน RS 232C กำหนดข้อต่อแบบ DB-25 แต่ละขาของข้อต่อกำหนดไว้ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกำหนดข้อต่อของ RS 232C

สัญญาณต่าง ๆ มีหน้าที่ดังนี้

Transmit Data (TD ขาที่ 2)

เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE (หรือตัวไมโครคอมพิวเตอร์) ไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่นหรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานภาพของลอจิกที่ขานี้จะมีค่าเท่ากับ “1” หรือเทียบเท่ากับสต๊อปบิต

Receive Data (RD ขาที่ 3)

เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE หรือไมโครคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามาขานี้จะมีสถานภาพทางลอจิกเป็น “1”

Request To Send (RTS ขาที่ 4)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clear To Send (CTS ขาที่ 5)

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

Data Set Ready (DSR ขาที่ 6)

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

Signal Ground (SG ขาที่ 7)

SG ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุก ๆ สายของสัญญาณ จะมีแรงดันเป็น "0" เมื่อเทียบกับสัญญาณตัวอื่น

Carrier Detect (CD ขาที่ 8)

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

Data Terminal Ready (DTR ขาที่ 20)

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

Ring Indicator (RI ขาที่ 22)

สัญญาณนี้ใช้ในโมเด็มที่เป็นระบบตอบได้อัตโนมัติ (Auto-answer) สัญญาณนี้จะออนเมื่อมีสัญญาณกระดิ่งมา และออฟระหว่างเสียงดังของกระดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะโดยย่อของสัญญาณ RS 232C

Driver output logic levels with	$15V > O_h > 5V$
3k to 7k load	$-5V > O_l > -15V$
Driver output voltage when open	$V_o < 25V$
Circuit	
Driver output impedance with Power off	$R_o > 300$ ohms
Output short circuit current	$I_o < 0.5A$
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

2.2 โมเด็ม

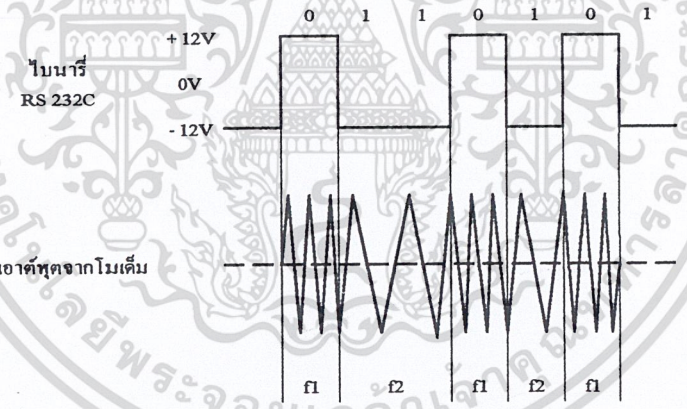
โมเด็มย่อมาจาก Modulator Demodulator ใช้ในการแปลงสัญญาณทางลอจิกให้เหมาะสมก่อนที่จะส่งผ่านตัวกลางที่มีความกว้างของแถบคลื่นต่ำ ๆ อย่างเช่น สายโทรศัพท์ ทำไมสัญญาณทางลอจิกจึงส่งออกไปโดยตรงไม่ได้ อย่าลืมว่าสัญญาณลอจิกมีลักษณะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) “0” และ “1” ซึ่งอาจจะแทนด้วยค่าของแรงดันสองค่า คลื่นรูปสี่เหลี่ยมประกอบด้วยรูปคลื่นรูปไซน์หลายความถี่ ที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทวีคูณของความถี่พื้นฐาน หากผ่านตัวกลางที่มีแถบความกว้างของคลื่นต่ำแล้วความถี่สูง ๆ ก็จะหายไป เหลือสัญญาณที่ปลายทางผิดเพี้ยนไปจากเดิม โดยเฉพาะโทรศัพท์เขาออกแบบให้ใช้กับการสื่อสารที่เป็นเสียงมนุษย์เท่านั้น แถบความกว้างของคลื่นแค่ 3 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้นจำเป็นที่เราจะต้องเปลี่ยนสัญญาณลอจิกให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไป ทางฝ่ายรับก็จำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณที่ถูกแปลงมานี้กลับให้เป็นสัญญาณทางลอจิก และก็จะต้องมีขบวนการที่ตรงกันข้ามกับทางฝ่ายส่ง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ทั้งสองหน้าที่นี้จึงเรียกว่า โมเด็ม (MODEM)

2.2.1 การทำงานของโมเด็ม

แรกเริ่มทีเดียวการแปลงสัญญาณลอจิก ให้เหมาะสมกับการส่งผ่านไปในสายโทรศัพท์ใช้วิธีการที่เรียกว่า Frequency Shift Keying คือใช้ความถี่ของเสียงสองความถี่สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ฝ่ายรับก็พยายามจับเอาสองความถี่ที่ว่านี้มาแปลงเป็นสัญญาณลอจิกกลับคืน ความถี่ของเสียงทั้งสองเสียงต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และก็จะต้องไม่ห่างเกินจนตกขอบของความสามารถของสายโทรศัพท์จะนำพาไปได้ รูปที่ 2.4 แสดงถึงหลักการทำงานของ Frequency Shift Keying เรียกย่อ ๆ ว่า FSK

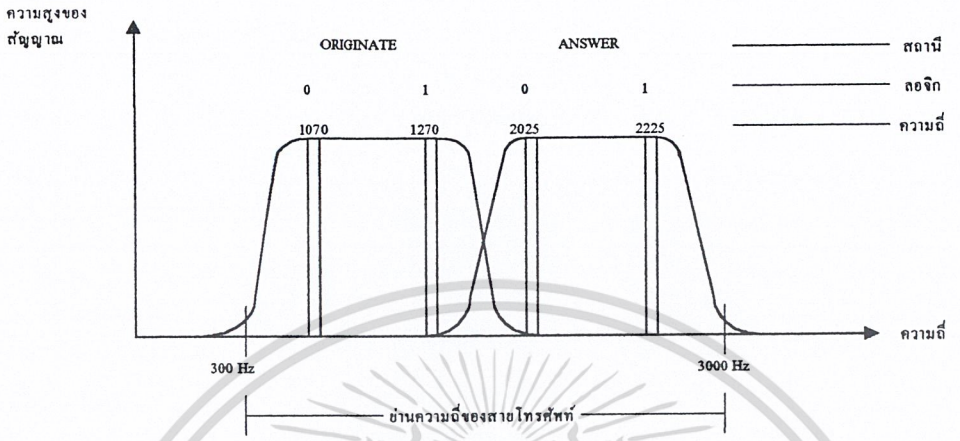


รูปที่ 2.4 การแปลงสัญญาณของโมเด็ม

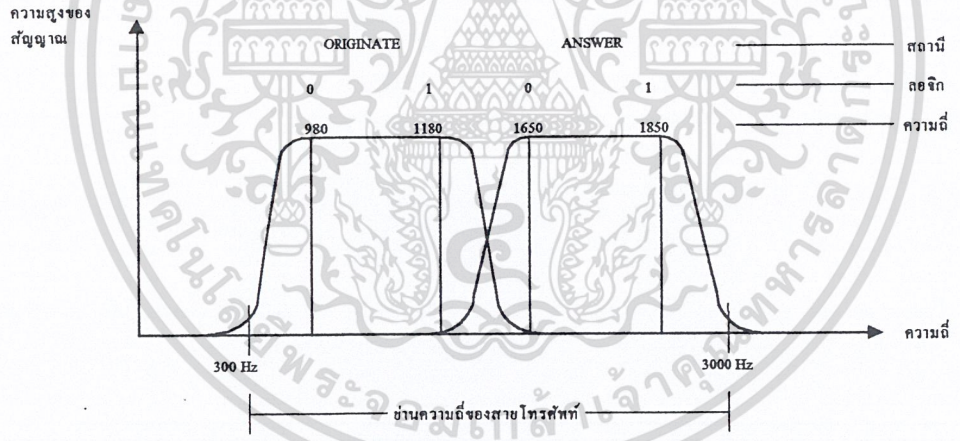
เนื่องจากแถบความถี่คลื่นที่สายโทรศัพท์ยอมให้ผ่านไปได้อยู่ในช่วง 300 Hz ถึง 3000 Hz เราสามารถแบ่งความถี่ในย่านนั้นออกเป็น 4 คลื่นเสียงที่สำคัญสำหรับสถานีส่งสองเสียงและสถานีรับสองเสียง เนื่องจากเราต้องการให้การติดต่อเป็นฟูลดูเพล็กซ์ คือทั้งรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน จำเป็นจะต้องแยกสถานีออกเป็นสองฝ่าย ฝ่ายหนึ่งเรียกว่า originate หรือฝ่ายเริ่มการติดต่อ และอีกฝ่ายเรียกว่า answer ฝ่าย originate จะใช้ความถี่สำหรับส่งสองความถี่สำหรับสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ฝ่าย answer จะต้องใช้ความถี่อีกสองความถี่ที่แตกต่างไปจากฝ่ายส่ง (เพื่อป้องกันการรบกวนกันเอง) สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” จะได้รับและส่งในเวลาเดียวกันเป็นฟูลดูเพล็กซ์ได้ ซึ่งมีมาตรฐานอยู่สองมาตรฐานคือของระบบ CCITT และของบริษัทเบลเทเลโฟน สำหรับโมเด็มที่มีความเร็วไม่เกิน 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอด ห้องปฏิบัติการวิจัยเบลใช้มาตรฐาน 103 ส่วน CCITT ใช้มาตรฐานที่ชื่อว่า V.21 ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 มาตรฐานของโมเด็ม 103 โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์ อัตราส่งต่ำ



รูปที่ 2.6 มาตรฐานของ CCITT V.21 โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์ อัตราส่งต่ำ

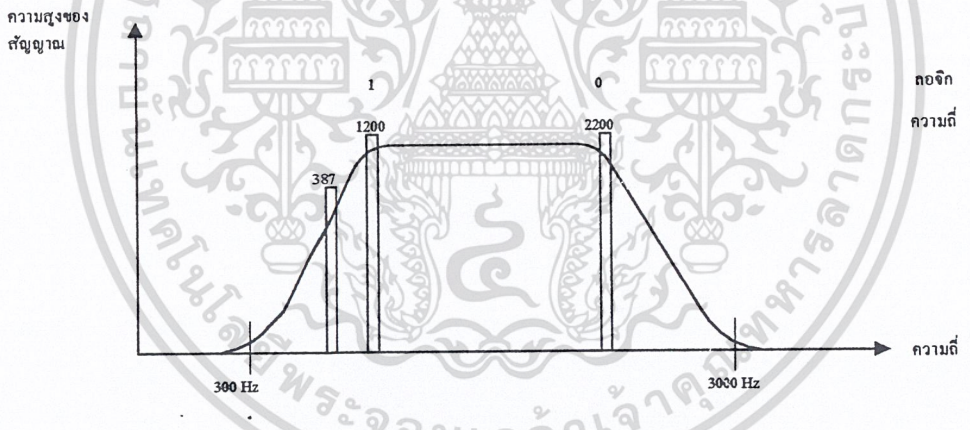
จากรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 จะพบว่า สถานีรับและสถานีส่งใช้ความถี่ต่างกันในการมอดูเลตสัญญาณลอจิก “0” และ “1” การดีมอดูเลตก็จะต้องให้ตรงกับความถี่ของฝ่ายตรงกันข้ามส่งมา ยกตัวอย่างเช่น โมเด็มชนิด 103 ถ้าหากใช้เป็นผู้ริเริ่มการติดต่อ (ซึ่งโดยมากผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เวลาติดต่อกับฝ่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ จะเป็นฝ่ายที่เรียกว่า originate) จะส่งสัญญาณลอจิก “1” ด้วยความถี่ 1270 Hz ลอจิก “0” ด้วยความถี่ 1070 Hz ขณะเดียวกันจะต้องรับด้วยความถี่ 2025 Hz และ 2225 Hz ทั้งการรับและการส่งของโมเด็มก็จำเป็นต้องมีวงจรกรองความถี่เพื่อป้องกันความถี่อื่นหลงเข้ามารบกวนเครื่องรับ วงจรกรองความถี่ที่ว่าจะต้องแยกแถบความถี่ของฝ่ายรับและส่งออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเด็มชนิด 103 เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในอเมริกา ส่วน CCITT ใช้กันเกือบทั่วโลก รวมทั้งเมืองไทยด้วย

เนื่องจากความถี่ของเสียงที่ใช้มีความถี่ต่ำการมอดูเลตแบบ FSK ย่อมทำให้การถ่ายโอนข้อมูลเร็วกว่าความถี่นั้นไม่ได้แน่นอนเนื่องจากวงจรรับจะต้องดีเทคให้ได้ว่ามีความถี่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น อย่างน้อยความถี่จะต้องปรากฏให้เห็น 2 ถึง 3 ไซเคิลเป็นอย่างน้อย ลองคำนวณดูง่าย ๆ ความถี่ต่ำสุดที่ใช้ในโมเด็มชนิด 103 คือ 1070 Hz ต้องใช้อย่างน้อย 2 ไซเคิล ต่อการมอดูเลต 1 บิต จะเห็นว่าการถ่ายโอนข้อมูลจะไปกว่า 600 บิตต่อวินาทีได้ยาก

ถ้าเราใช้เทคนิค FSK เหมือนเดิมแต่แยกความถี่ของสองเสียงที่ใช้แทน “0” และ “1” ให้ห่างกัน จำนวนไซเคิลที่ใช้มอดูเลตก็จะน้อยลง เราจะแยกความถี่ให้ห่างกันได้ก็ต้องส่งได้ทีละข้างหรือเป็นแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ระบบเบล 202 ใช้เทคนิคอันนี้ในการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1200 บอด แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์โดยใช้ความถี่ 1200 Hz แทนมาร์ก และ 2200 Hz แทนสเปซ และเพื่อเป็นการประกันว่าฝ่ายรับกำลังรับอยู่ ฝ่ายรับจะส่งความถี่ 387 Hz กลับมาให้รู้ว่ากำลังรับข้อมูลอยู่ บางครั้งความถี่ 387 Hz นี้อาจจะใช้ในการบอกฝ่ายส่งว่า ข้อความที่ส่งมามีข้อผิดพลาดอยู่ กรุณาส่งมาใหม่ รูปที่ 2.7 แสดงสเปกตรัมของโมเด็มชนิด 202



รูปที่ 2.7 โมเด็มชนิดเบล 202 ฮาล์ฟดูเพล็กซ์

สำหรับ CCITT หรือที่ใช้กันในประเทศสากล มาตรฐานจะเป็นโมเด็มแบบ V.23 ซึ่งจำลองมาจากเบล 202 แต่จะต่างกันตรงที่มีโหมดให้เลือก 2 โหมด คือ 600 บอด และ 1200 บอด โดยทั้งสองโหมดใช้ความถี่ต่างกัน คือ

	มาร์ก	สเปซ
โหมด 1 (600 บอด)	1300 Hz	1700 Hz
โหมด 2 (1200 บอด)	1300 Hz	2100 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือไปจากนั้น V.23 ยังสามารถให้ฝ่ายรับส่งข้อมูลกลับมาได้ด้วยความเร็ว 75 บอด โดยใช้ FSK จริง ๆ 390 Hz แทนมาร์ก และ 450 Hz แทนสเปซ ในกรณีเช่นนี้เหมาะสำหรับการติดต่อกับเทอร์มินัลที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ดเนื่องจากความเร็วของการพิมพ์ของมนุษย์คงไม่มีใครทำได้เกิน 100 คำต่อนาที เป็นแน่ (ลองคำนวณดูคร่าว ๆ) 1 คำใช้ 4 ตัวอักษร อักษร 1 ตัวใช้ 8 บิตบวกสตาร์ทบิตอีก 2 บิต รวมแล้ว 100 คำ-นาที เทียบเท่ากับ $40 \times 100/60 = 66$ บิตต่อวินาที

2.3 การส่งข้อมูล DIGITAL ในรูปแบบ FSK

2.3.1 XR-2206 วงจรเข้ารหัส FSK

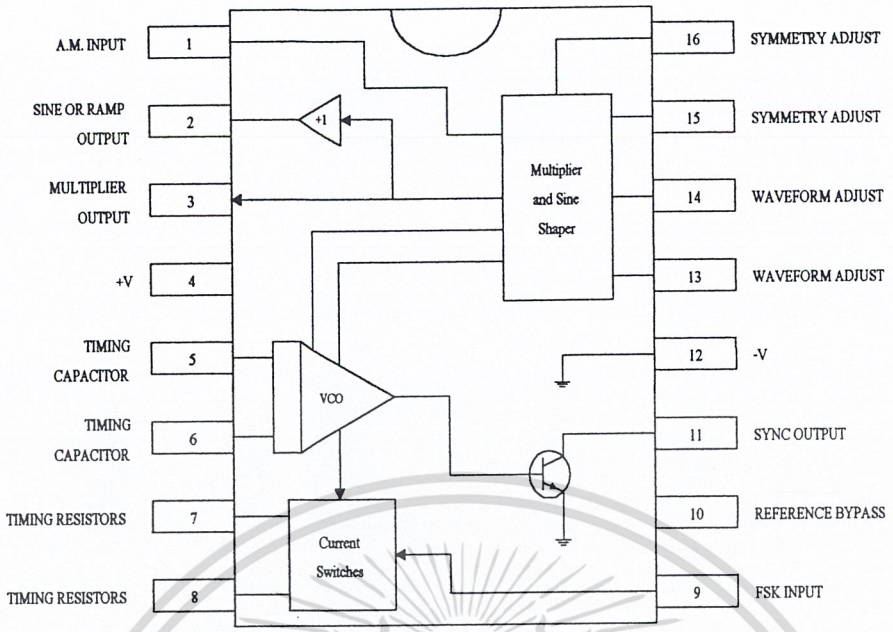
ไอซีเบอร์ XR-2206 เป็นโมโนลิคทิกฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ มีความสามารถในการผลิตคลื่นรูปไซน์ (sine), รูปคลื่นสามเหลี่ยม (triangle), สี่เหลี่ยม (square), แรมพ์ (ramp) ได้ โดยที่มีความถี่ตั้งแต่ไม่กี่เฮิร์ทจนถึงหลายร้อยกิโลเฮิร์ทโดยต่อกับวงจรภายนอกอีกนิดหน่อย นอกจากนี้ยังสามารถนำไอซี XR-2206 มาควบคุมขนาดและความถี่ (AM และ FM) และ phase shift or frequency shift keying ได้อีก

สำหรับ XR-2206 นี้ผลิตโดยบริษัท Exar Integrated System Inc ซึ่งอยู่ในแพคเกจไอซี 16 ขา สามารถที่จะใช้กับไฟเลี้ยง (power supply) ตัวเดียวคือในช่วง 10 ถึง 26 Volt ได้หรืออาจจะใช้ไฟเลี้ยงคู่ได้ในช่วง 5 ถึง 13 Volt ขณะที่ต้องผลิตสัญญาณคลื่นไซน์ (sine) นั้น ค่า t.h.d. (total harmonic distortion) ของสัญญาณนั้นจะมีค่า 2.5% เมื่อยังไม่มีการปรับแต่ง แต่ก็สามารถปรับให้เหลือเพียง 0.5% ได้โดยการควบคุมของวงจรที่นำมาต่อร่วมโดยที่สัญญาณ output รูปไซน์นี้จะมีขนาดสูงสุด 2 V(rms) และมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม

2.3.1.1 การทำงานของ XR-2206

สัญญาณ FSK เป็นสัญญาณดิจิตอลที่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเบสแบนด์พัลส์พีซีเอ็ม โดยทั่วไป FSK มักใช้ในการส่งข้อมูลที่อัตราความเร็วต่ำตามข้อกำหนดรายละเอียด CCITT V.21 และนิยมใช้ FSK ชนิดสองความถี่เท่านั้น เพราะ FSK noncoherent ชนิดสองความถี่สามารถกำเนิดและรับได้ง่ายทำให้มีราคาถูก รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วนของ XR-2206 ซึ่งเป็นแพคเกจขนาด 16 ขา หัวใจสำคัญของส่วนนี้คือ VCO (Voltage control oscillator) ซึ่งจากรูปจะเห็นว่ามีคาปาซิเตอร์จัดเวลา (timing capacitor) ซึ่งมีค่าได้ในช่วง 1000 pF ถึง 100 μF ต่อที่ขา 5 และขา 6 ซึ่งเป็น input ของVCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานและขาต่าง ๆ ของ XR-2206

สำหรับตัวต้านทานจัดเวลา (timing resistor) นั้นจะต่อกับขา 12(V) และขา 7 หรือขา 8 ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 1 kΩ ถึง 2 MΩ ค่าของตัวต้านทานจัดเวลาและตัวเก็บประจุจัดเวลานั้นจะมีผลต่อความถี่ในการออสซิลเลท ซึ่งจะมีค่าเท่ากับสมการที่ 1

$$f_o = 1 / RC \qquad \text{Hz} \tag{1}$$

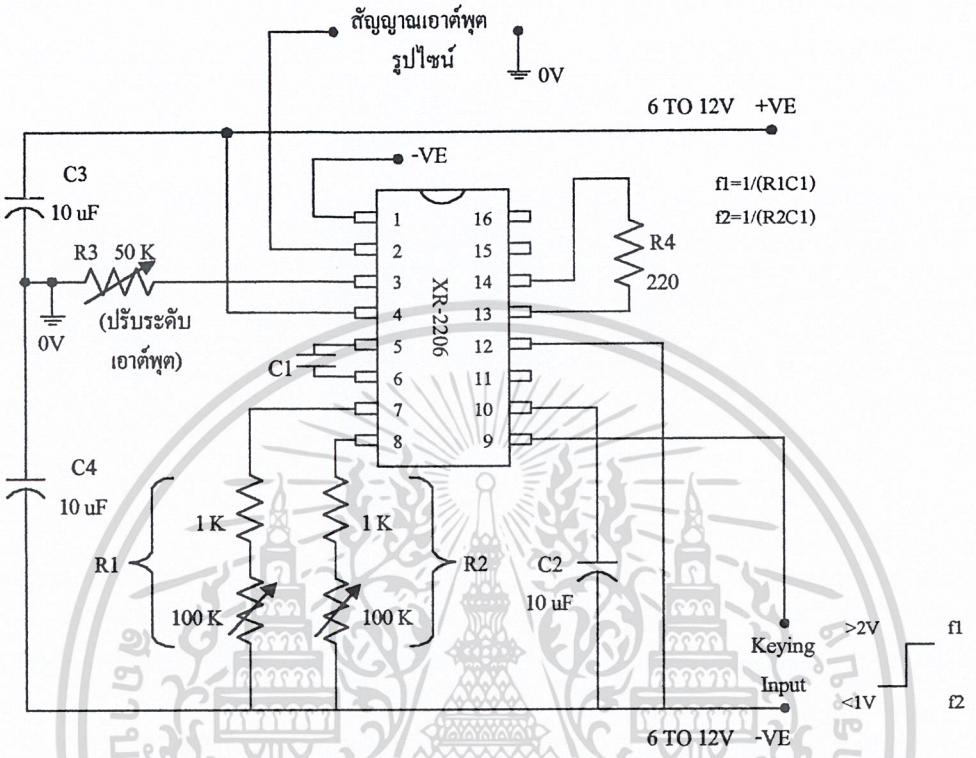
จะเห็นว่าเราสามารถที่จะเปลี่ยนค่า R หรือ C เพื่อให้ความถี่เปลี่ยนแปลงได้ แต่เพื่อที่จะให้เกิดการคงตัวของอุณหภูมิ (temperature stability) และความเพี้ยนของสัญญาณไซน์ (sine) น้อยที่สุดควรจะให้ค่าของรีซิสเตอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 4 kΩ ถึง 200 kΩ

ในการเลือกต่อตัวต้านทานจัดเวลา (timing resistor) นั้นว่าจะต่อกับขา 7 หรือขา 8 นั้นเราพิจารณาโดยดูว่ามีการป้อนสัญญาณที่ขา FSK INPUT (ขา 9) นั้นเปิดวงจรหรือต่อกับสัญญาณแรงดันขนาดมากกว่า 2 Volt จะต่อตัวต้าน-ทานเข้าที่ขา 7 ในทางกลับกันถ้าขา FSK INPUT นี้ต่อกับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 1 Volt ขา 8 จะต้องต่อตัวต้านทานด้วย

ส่วนของ VCO ของไอซีนั้นผลิตรูปคลื่นได้ 2 ชนิดคือ รูปคลื่นแรมพ์ ซึ่งจะป้อนไปที่ส่วนของ multiplier and sine shaper block อีกทีหนึ่ง และรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (rectangular) ซึ่งจะป้อนออกที่ขา output ที่ขา 11 โดยผ่านทรานซิสเตอร์ ซึ่งการผลิตรูปคลื่นนี้ก็ขึ้นอยู่กับตัวเก็บประจุจัดเวลา (timing capacitor) โดยตัวเก็บประจุนี้จะเริ่มต้นเก็บประจุซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นแรมพ์ (ramp) ที่กำลังพุ่งขึ้นและที่อีกเอาต์พุตจะได้สัญญาณ “high” ที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (rectangular) จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้านั้นถึงจุดหนึ่งที่เรียกว่า “firing voltage” ที่จุดนี้จะทำให้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมกลับกลายเป็น “low” และตัวเก็บประจุจัดเวลา (timing capacitor) จะเก็บประจุในทิศทางกลับกับตอนต้นเป็นผลทำให้สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นแรมพ์ตกลงซึ่งจะตกลงจนถึงจุด "firing voltage" เช่นกัน จะทำให้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมกลับกลายเป็นสัญญาณระดับ "high" และขบวนการต่าง ๆ ก็จะกลับไปกลับมาเช่นนี้เหมือนเดิม



รูปที่ 2.9 วงจรผลิตสัญญาณ FSK รูปไซน์อย่างง่าย โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว

2.3.2 XR-2211 วงจรถอดรหัส FSK

ภาครับสัญญาณ FSK นี้จะรับสัญญาณ RF โดยที่ภาคนี้จะทำการแปลงสัญญาณ FSK ที่มี 2 ความถี่ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิตอล 0 (แทนด้วยแรงดันประมาณ 0 V) และ 1 (แทนด้วยแรงดันประมาณ 5 V) ภาครับนี้ใช้ไอซีเบอร์ XR-2211 ซึ่งได้ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อทำการแปลงสัญญาณ FSK ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (FSK Demodulation) การซิงโครไนเซชั่นข้อมูล (Data Synchronization) การถอดรหัสสัญญาณเสียง (Tone Decoding) การดีเทคสัญญาณ FM (FM Detection) และการดีเทคสัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier Detection)

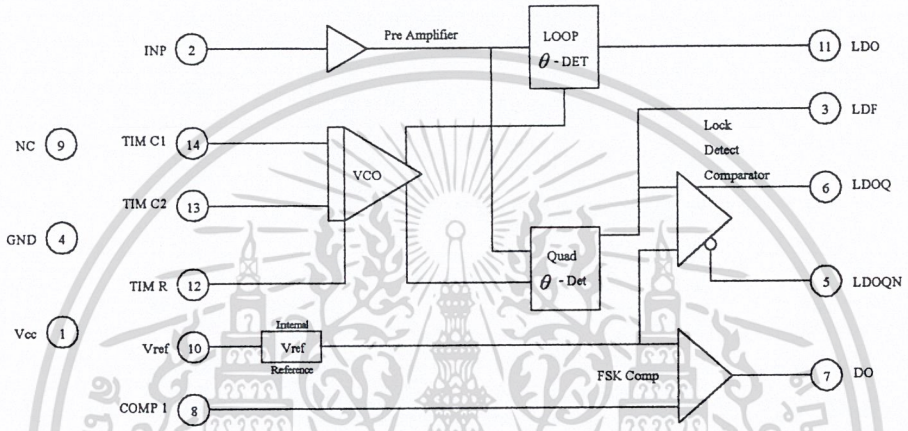
2.3.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของไอซี XR-2211

ไอซีเบอร์ XR-2211 นี้เป็นไอซีที่ทำงานแบบเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop : PLL) ไฟเลี้ยงที่ใช้กับไอซีนี้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.5 ถึง 20 V และสามารถทำงานในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz จนถึง 300 Hz นอกจากนั้นยังสามารถรับสัญญาณอินพุตในช่วงกว้างได้ตั้งแต่ 2 มิลลิโวลต์ จนสัญญาณที่เข้ามามีขนาดน้อยกว่า 2 V อีกอย่างหนึ่งคือ สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางลอจิกที่เป็นมาตรฐาน ได้แก่ ตระกูล DTL, TTL และ ECL ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 โครงสร้างภายในของไอซี XR-2211

โครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยมีโครงสร้างหลักเป็นวงจรเฟสล็อกลูป ซึ่งประกอบด้วยวงจรปรีแอมปลิฟายเออร์ (Preamplifier), วงจรคูณสัญญาณอนาล็อก (Analog Multiplier) ซึ่งใช้เป็นวงจรเฟสดีเทคเตอร์และวงจร VCO โดยวงจร Preamplifier นี้ใช้สำหรับขยายสัญญาณอินพุตที่มีขนาดต่ำ ๆ (สูงกว่า 2 มิลลิโวลท์) ให้มีขนาดสูงขึ้น ส่วนวงจร VCO นั้นจะถูกควบคุมความถี่โดยตัวต้านทาน R_0 และกระแสจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี XR-2211

แรงดันอ้างอิง (Reference Voltage : V_R ที่ขา 10) แรงดันที่ขา 10 นี้เป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับแรงดันที่ขา 5, 8, 10 และ 11 โดยที่ขา 10 นี้จะต้องต่อคาปาซิเตอร์ขนาด 0.1 μF กับกราวนด์เพื่อบายพาสสัญญาณความถี่สูงลงกราวนด์ และให้วงจรทำงานสม่ำเสมอ

สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรลูปเฟสดีเทคเตอร์ (Loop Phase Detector Output) ที่ขา 11 นี้เป็นเอาต์พุตที่มีความต้านทานสูง ใช้สำหรับลูปเฟสดีเทคเตอร์ โดยมีตัวต้านทาน R_1 และคาปาซิเตอร์ C_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรลูปฟิลเตอร์ของเฟสล็อกลูป กรณีที่ยังไม่มีสัญญาณอินพุตหรือไม่มีความแตกต่างทางเฟสของวงจรเฟสล็อกลูป ระดับแรงดันที่ขา 11 นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง V_R

การควบคุมความถี่ของวงจร VCO ความถี่ของวงจร VCO ถูกควบคุมจากตัวต้านทาน R_0 ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$f_0 = 1/(R_0C_0) \qquad \text{Hz} \qquad (2)$$

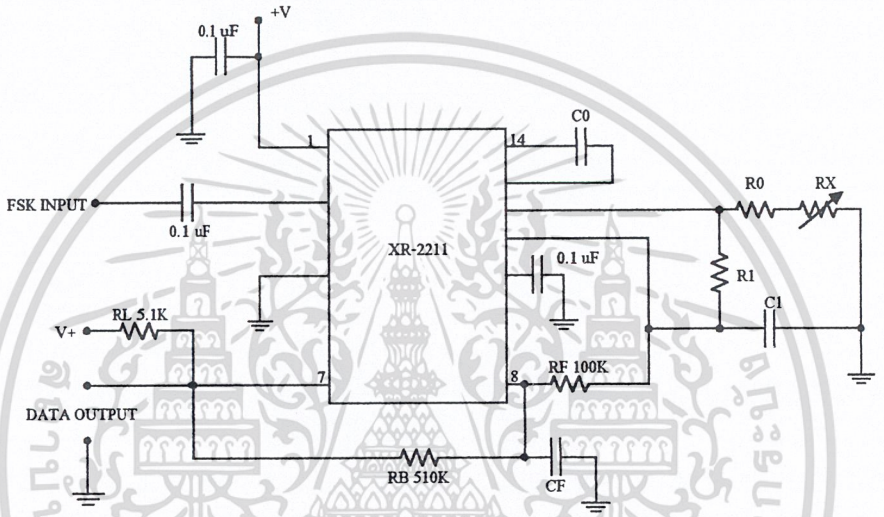
โดยที่ขา C_0 คือ Capacitor ที่ต่อระหว่างขา 13 กับขา 14 และเพื่อความเสถียรภาพของวงจรควรใช้ตัวต้านทาน R_0 มีค่าอยู่ระหว่างช่วง 10 kΩ ถึง 100 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาปาซิเตอร์ควบคุมวงจร VCO (ที่ขา 13 และขา 14) ความถี่ที่ได้จากวงจร VCO แปรผกผันกับค่าคาปาซิเตอร์ C_0 ที่ต่อระหว่างขา 13 และขา 14 คาปาซิเตอร์ C_0 ต้องใช้แบบไม่มีขั้วอยู่ในย่าน 200 pF จนถึง 10 μF

การปรับความถี่ของวงจรVCO ควรใช้ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานค่าหนึ่ง โดยผลรวมของตัวต้านทานทั้งสองใช้แทนตัวต้านทาน R_0

2.3.2.3 การนำไอซี XR-2211 ไปใช้ในการดีเทคสัญญาณ FSK



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรการต่อไอซี XR-2211

การนำไอซี XR-2211 ไปใช้เพื่อทำการดีเทครหัสสัญญาณ FSK แสดงดังรูปที่ 2.11 R_0 และ C_0 ใช้เพื่อกำหนดความถี่กลางของเฟสล็อกลูป (f_0), ตัวต้านทาน R_1 นั้นใช้เพื่อกำหนดแบนด์วิดธ์, คาปาซิเตอร์ C_1 ใช้กำหนดค่าคงที่ทางเวลาของลูปฟิลเตอร์และค่าลูปแดมปิง, คาปาซิเตอร์ C_F และตัวต้านทาน R_F ทำหน้าที่เป็น One Pole Post Detection สำหรับสัญญาณเอาต์พุต, ตัวต้านทาน R_8 (มีค่าประมาณ 510 kΩ) ซึ่งต่อระหว่างขา 7 และขา 8 ทำหน้าที่เป็นตัวป้อนกลับทางบวก (Positive Feedback)

ขั้นตอนการกำหนดตัวต้านทานและคาปาซิเตอร์

1. คำนวณความถี่กลางของเฟสล็อกลูป f_0 ดังสมการที่ 3 โดยค่า f_1 และ f_2 คือความถี่ทั้งสองของสัญญาณอินพุต FSK

$$f_0 = (f_1 + f_2)/2 \qquad (3)$$

ถ้าทางด้านส่งนั้นได้กำหนดความถี่มาตรฐานของ CCITT V.23 คือที่บอดเรท 1200 บิตต่อวินาที ซึ่งมีความถี่ f_1 และ f_2 มีค่า 1300 และ 2100 Hz ตามลำดับดังนั้นจะได้

$$f_0 = (1300 + 2100)/2$$

$$= 1700 \text{ Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือกค่าความต้านทาน R_0 ซึ่งค่า R_0 นี้ควรจะอยู่ในช่วง 10 kΩ จนถึง 100 kΩ สำหรับค่าความต้านทานของ R_0 ที่ใช้ใน modem ไร้สายนั้นมีค่า 10 kΩ

3. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_0 ดังสมการที่ 4

$$C_0 = 1/(f_0 R_0) \quad (4)$$

$$C_0 = 1/(10 \times 10^3 \times 1700)$$

$$= 58.8 \quad \eta F$$

4. คำนวณค่าความต้านทาน R_1 จากสมการที่ 5

$$R_1 = R_0 \times [f_0/(f_1 - f_2)] \quad (5)$$

จากความถี่ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และค่าความต้านทานในขั้นตอนที่ 2 จะได้ค่าของ R_1 ดังนี้

$$R_1 = 10 \times 10^3 \times [1700/(2100-1300)]$$

$$= 21250 \quad \Omega$$

5. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_1 เพื่อกำหนดลูปแดมปิง (Damping Loop) ซึ่งควรจะมีค่าประมาณ 0.5 ดังนั้นจะได้ค่าของคาปาซิเตอร์ C_1 ดังสมการที่ 6

$$C_1 = C_0 \times (\text{Damping Loop})^2 \quad (6)$$

$$C_1 = 58.8 \times 10^{-9} \times 0.25$$

$$= 1.47 \times 10^{-8}$$

$$= 14.7 \quad \eta F$$

6. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_F ถ้ากำหนดค่าคาปาซิเตอร์ C_F ได้จากสมการที่ 7

$$C_F = 3/\text{Baud Rate} \quad \mu F \quad (7)$$

เนื่องจากบอดเรทนั้นใช้เท่ากับ 1200 บิตต่อวินาที ดังนั้นจะได้ค่าของ C_F ดังนี้

$$C_F = 3/1200 \quad \mu F$$

$$= 2.5 \quad \eta F$$

หมายเหตุ

สำหรับค่าของคาปาซเตอร์ที่ใช้ในวงจรนั้นให้ใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณมากที่สุด ส่วนค่าความต้านทานที่ใช้จริงในวงจรนั้นให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าต่ออนุกรมกับความต้านทานที่ปรับค่าได้ เพื่อให้สามารถปรับแต่งให้ได้คุณสมบัติของวงจรที่ดีที่สุด

2.4 โครงสร้างของ MCS-51

2.4.1 บทนำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล MCS-51 นี้ผลิตโดยบริษัทอินเทลมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.3 MCS-51 family

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit I/O Ports	16-Bit Timer/ Counter	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)	DMA Channels	A/D Channels	Interrupt Sources/ Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	-	4K	128	4	2		√					6/5	
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2		√					6/5	
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3		√					8/6	
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		√					6/5	√
80C52	80C32	-	8K	256	4	3		√					8/6	√
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	√	√					14/7	√
83C51FB	80C51FB	87C51FB	16K	256	4	3	√	√					14/7	√
83C152JA	80C152JA	-	8K	256	5	2		√		√	2		19/11	√
-	80C152JB	-	-	256	7	2		√		√	2		19/11	√
83C152JC	80C152JC	-	8K	256	5	2		√		√	2		19/11	√
-	80C152JD	-	-	256	7	2		√		√	2		19/11	√
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2		√					9/8	√

2.4.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

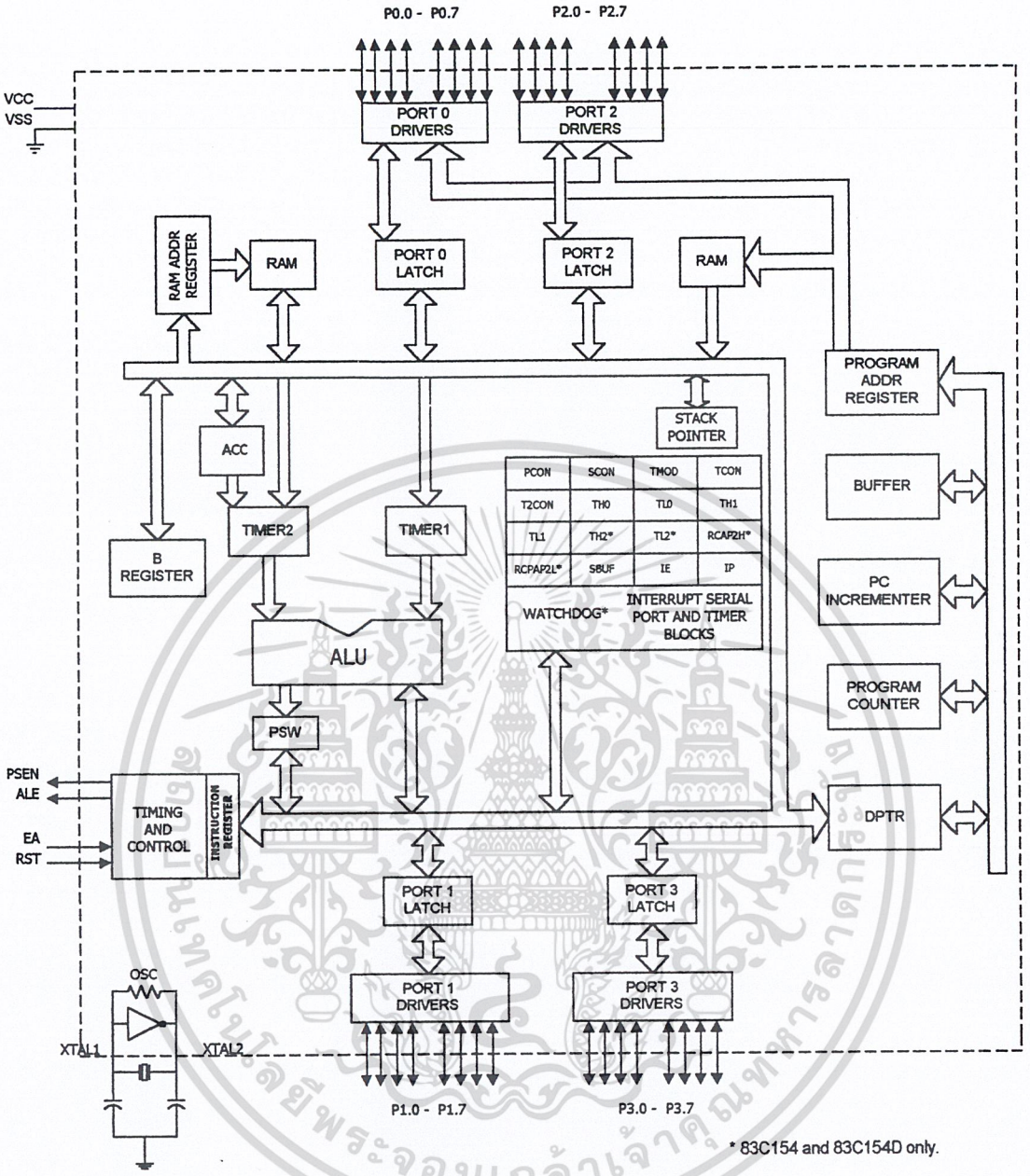
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- มีไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวคเตอร์
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ตแบบ Full Duplex เลือกรูปได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

2.4.2 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกสำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (a) และ 2.12(b)

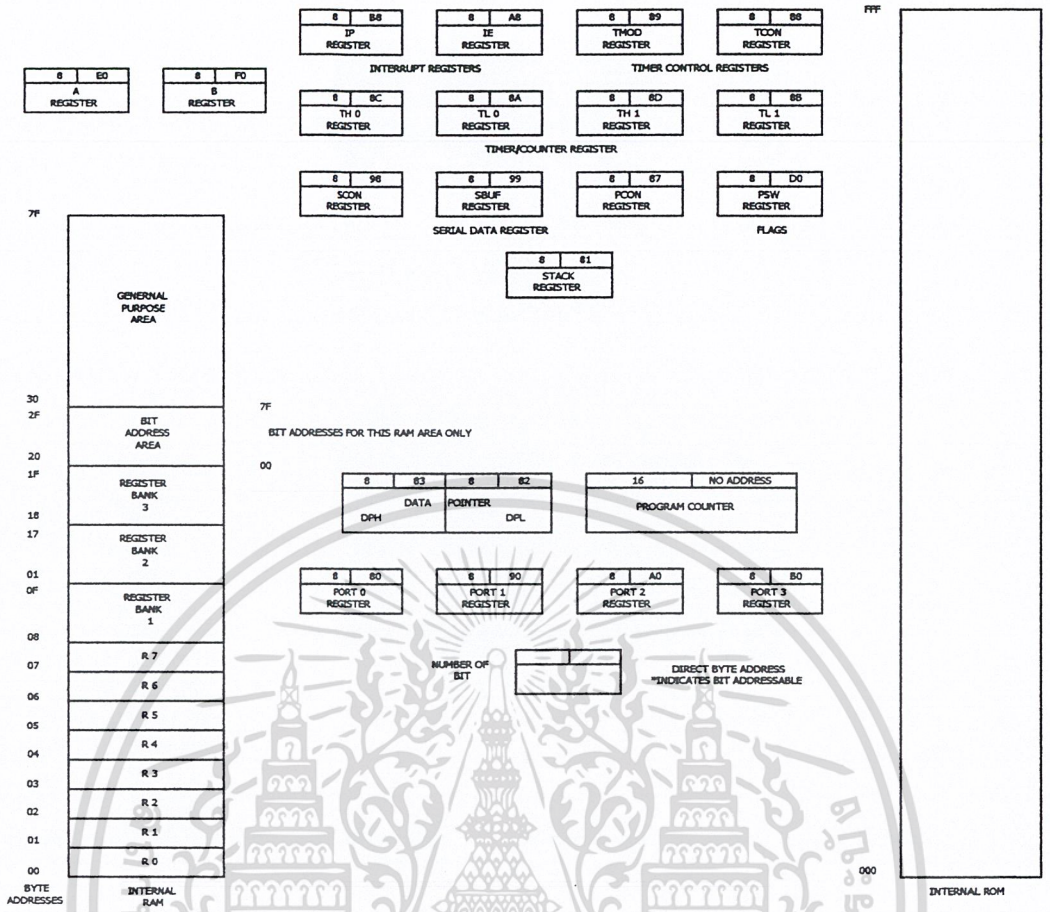
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46483

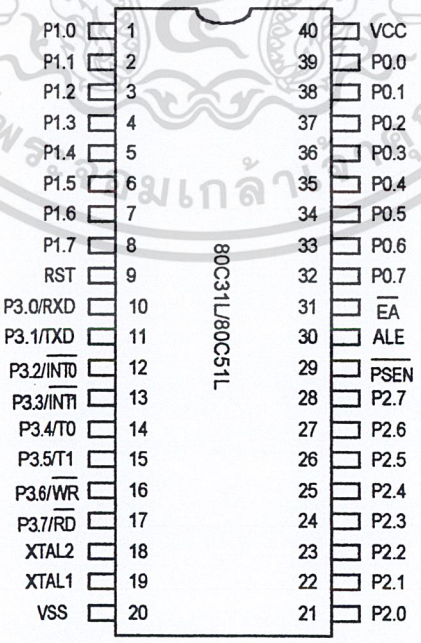


รูปที่ 2.12(a) บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12(b) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน



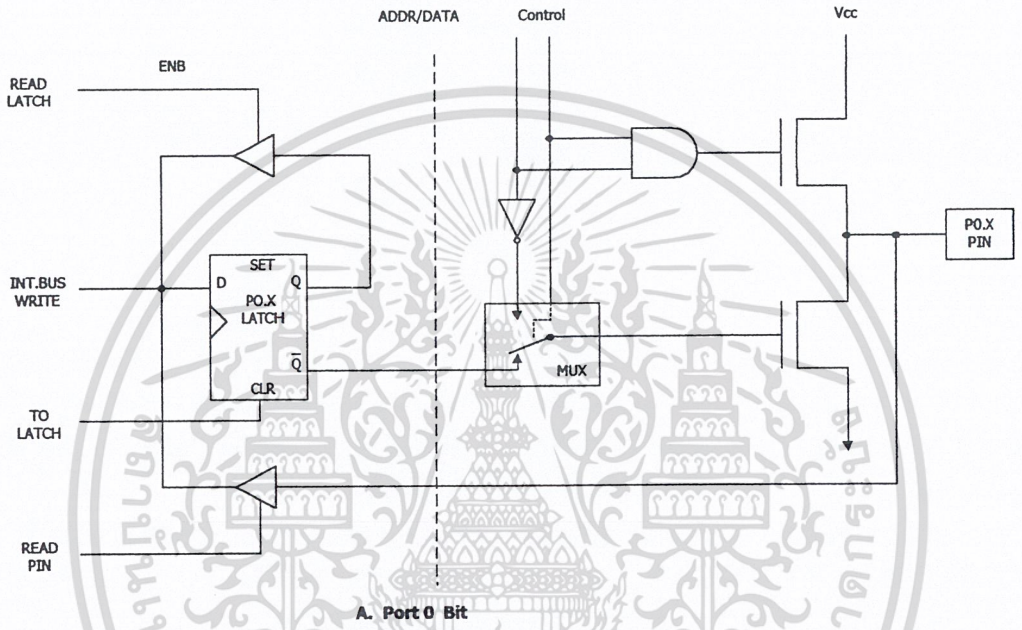
รูปที่ 2.13 การจัดวางขาของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 พอร์ตของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ +5V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) มีโครงสร้างแบบ Open-Drain Bi-directional ดังแสดงในรูปที่ 2.14

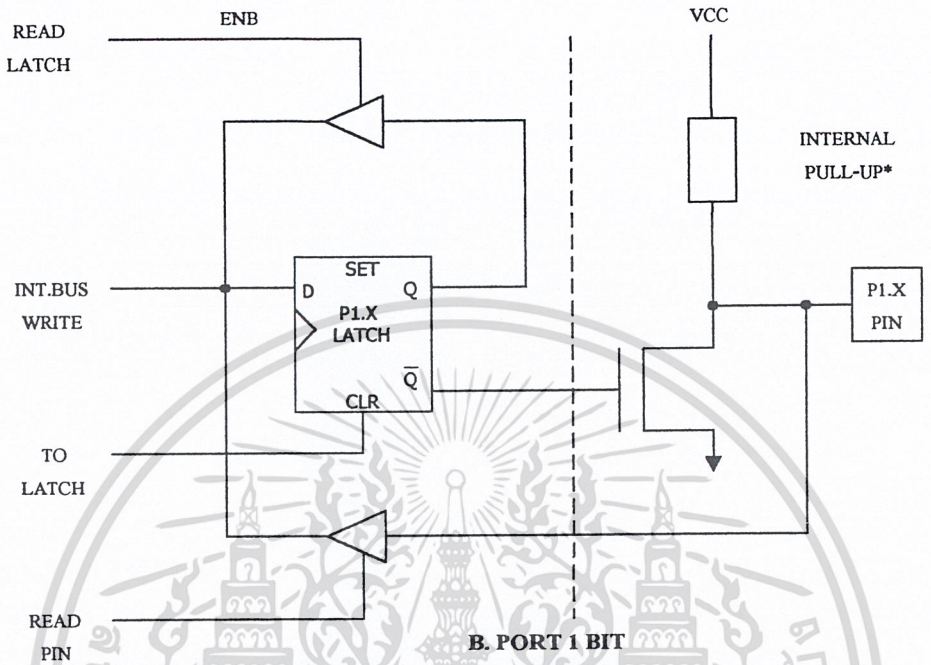


รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้าง พอร์ต 0 (บิต)

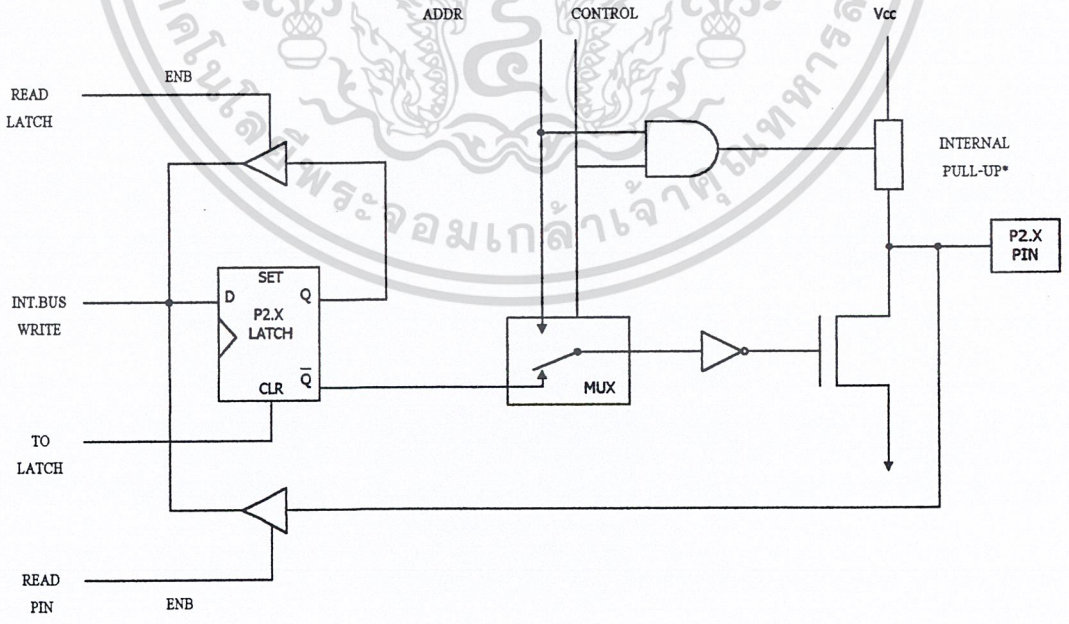
- พอร์ต 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือ แอดเดรสบัสและดาต้าบัสเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็นไอโอพอร์ท ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุตพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” ไปยังพอร์ตนี้ จะมีผลให้ $\overline{Q}$ ของ D-FF เป็น “0” ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุตพอร์ตแลทช์โดยส่งสัญญาณ READ LATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบนและการอ่าน Port (pin) จะใช้สัญญาณ READ (pin)
- พอร์ต 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.7-P1.0) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน Internal Pull up Register มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.15
- พอร์ต 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P2.7-P2.0) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (Internal pull up) พอร์ตนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือสามารถใช้เป็นแอดเดรสบัสขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอพอร์ตใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไปเมื่อจะใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของพอร์ต 1 (บิต)



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของพอร์ต 2 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ต 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P3.7-P3.0) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1 ทำงานได้ 2 หน้าที่ คือเป็นไอโอพอร์ทถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ตนี้ก่อน และอีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.2/$\overline{\text{INT0}}$ (External Interrupt 0) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0

P3.3/$\overline{\text{INT1}}$ (External Interrupt 1) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1

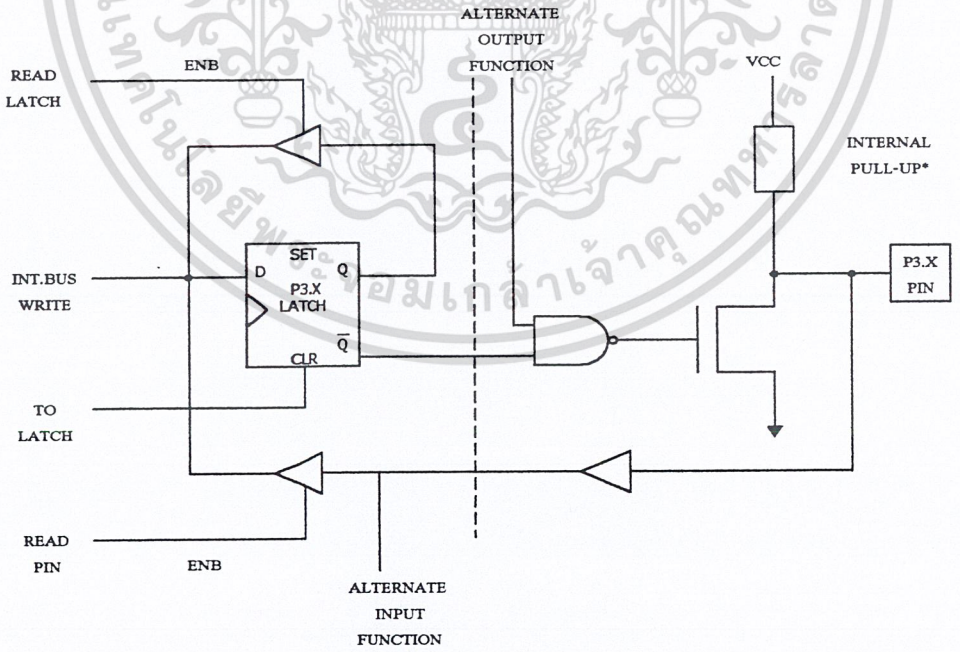
P3.4/T0 (Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุตเข้าไปยังวงจร Counter 0 (เป็นอินพุตโหมดเคาน์เตอร์)

P3.5/T1 (Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุตเข้าไปยังวงจร Counter 1 (เป็นอินพุตโหมดเคาน์เตอร์)

P3.6/$\overline{\text{WR}}$ (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

P3.7/$\overline{\text{RD}}$ (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก

โครงสร้างของพอร์ต 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.17



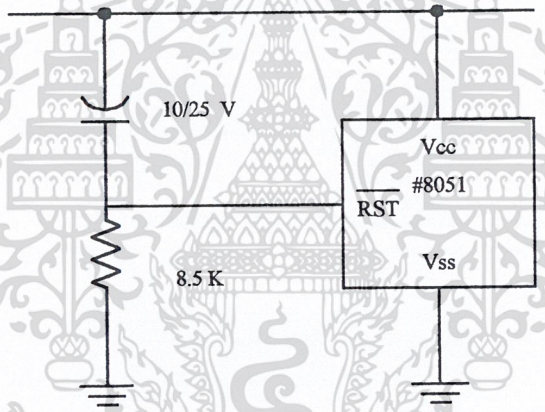
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของพอร์ต 3 (บิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลทช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A7-A0) ที่ส่งออกมาจากพอร์ต 0 สัญญาณนี้จะแอคทีฟทุก ๆ 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล
- $\overline{\text{PSEN}}$ (ขา 29) เป็นขาสโตรบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอกสัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้
- $\overline{\text{EA}}$ (ขา 31) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

  ป้อน "0" จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ

  ป้อน "1" จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ
- RST (ขา 9) ขารีเซ็ท จะรีเซ็ทได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก "1" เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล
- XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน
- XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาท์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

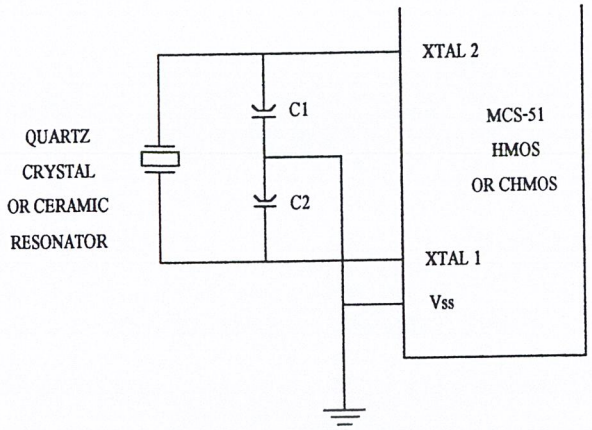


รูปที่ 2.18 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051

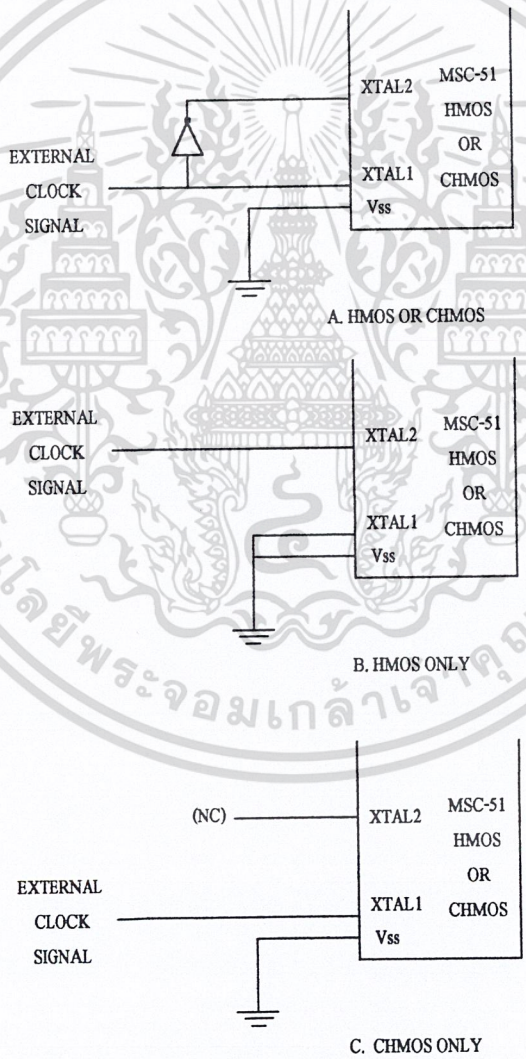
2.4.4 วงจรคล็อคของ MCS-51

การต่อมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือแบบใช้คล็อคภายในและคล็อคจากภายนอกมีรูปแบบการต่อดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A) USING THE ON-CHIP OSCILLATOR

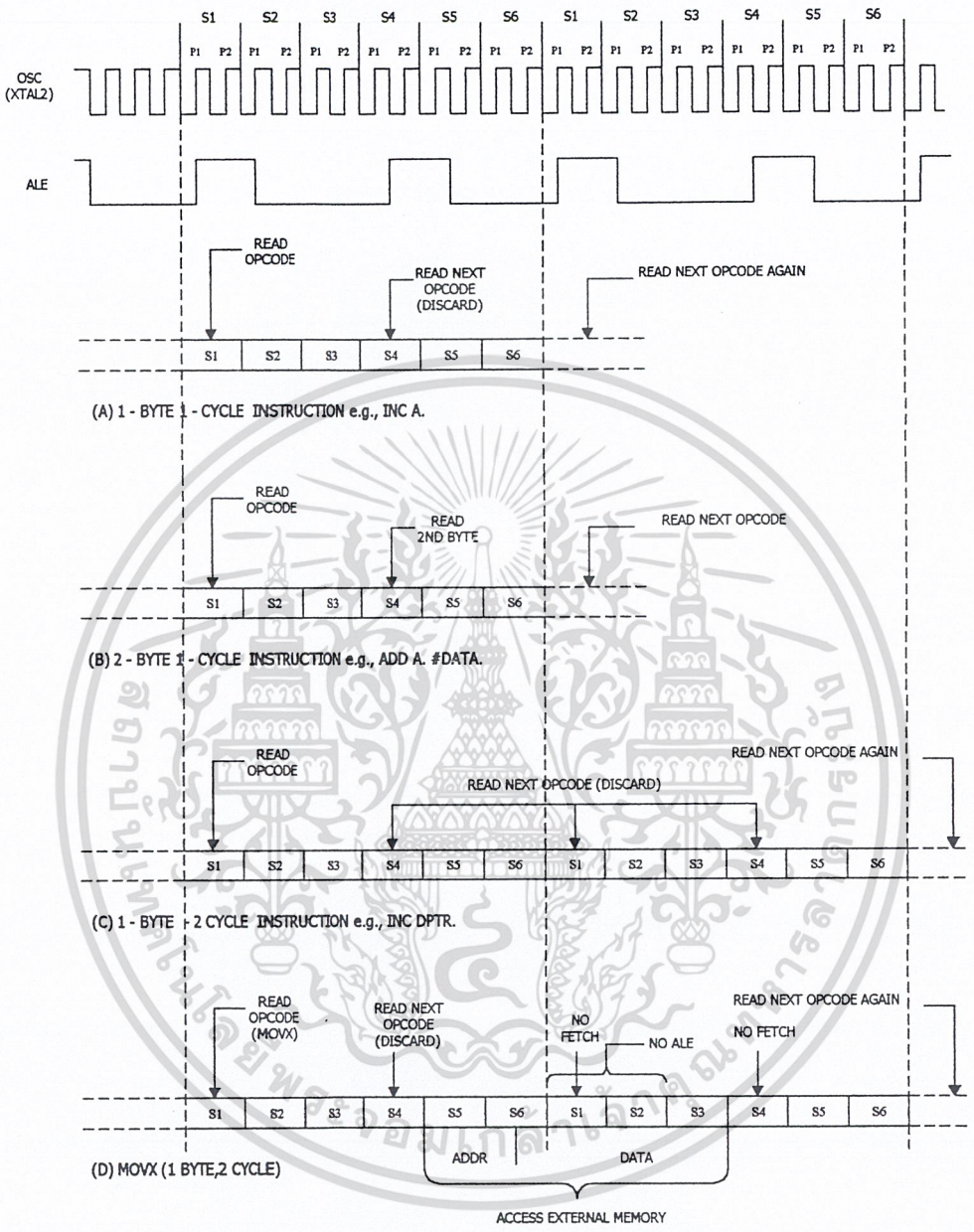


(B) USING THE EXTERNAL CLOCK

รูปที่ 2.19 วงจรสร้างคล็อคของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ผังเวลาของซีพียู (CPU Timing)



รูปที่ 2.20 ผังเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง

การทำงานใน 1 คำสั่งต่ำสุดจะกินเวลาเพียง 1 μS เช่นคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ 1 แมชชีนไซเคิล ซึ่งจะใช้คล็อคไปเท่ากับ 12 ลูก โดยคล็อคลูกที่ 1 และ 2 จะอยู่ในช่วง S1 P1 และ S1 P2 และคล็อคลูกที่ 12 ก็จะอยู่ในช่วง S6 P2 นั่นเอง (ปรกติแล้ว ซีพียูจะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อค 12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ 1 μS)

*** คำว่า 1 แมชชีนไซเคิล คือช่วงการทำงานตั้งแต่ S1 จนถึง S6 ***

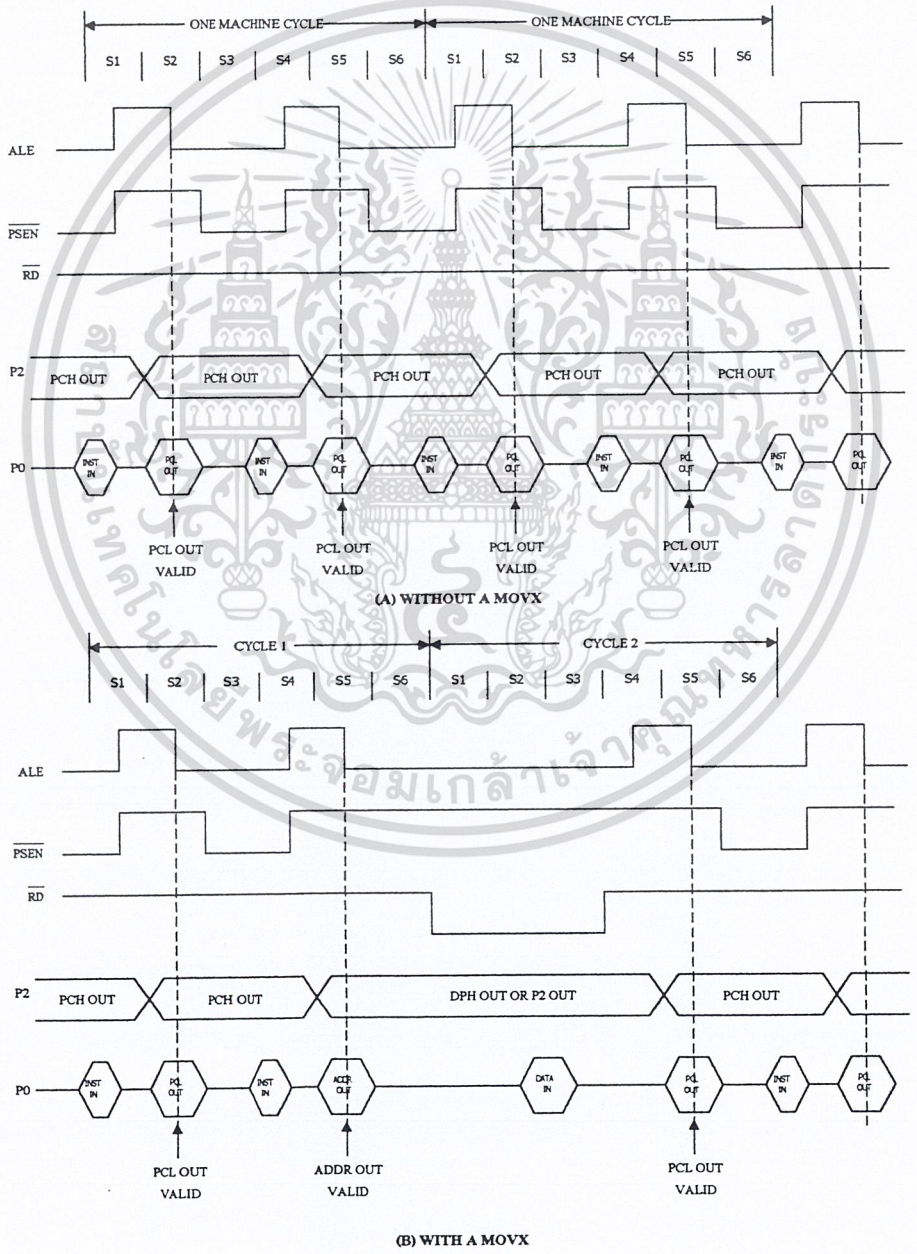
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 (a) การทำงานของคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ทำงานเสร็จภายใน 1 แมชชีนไซเคิล

รูปที่ 2.20 (b) การทำงานของคำสั่ง ADD A, #Data ซึ่งเป็นคำสั่ง 2 ไบต์ทำงานเสร็จใน 1 แมชชีนไซเคิล

รูปที่ 2.20 (c) การทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชชีนไซเคิล

รูปที่ 2.20 (d) การทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชชีนไซเคิล



รูปที่ 2.21 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

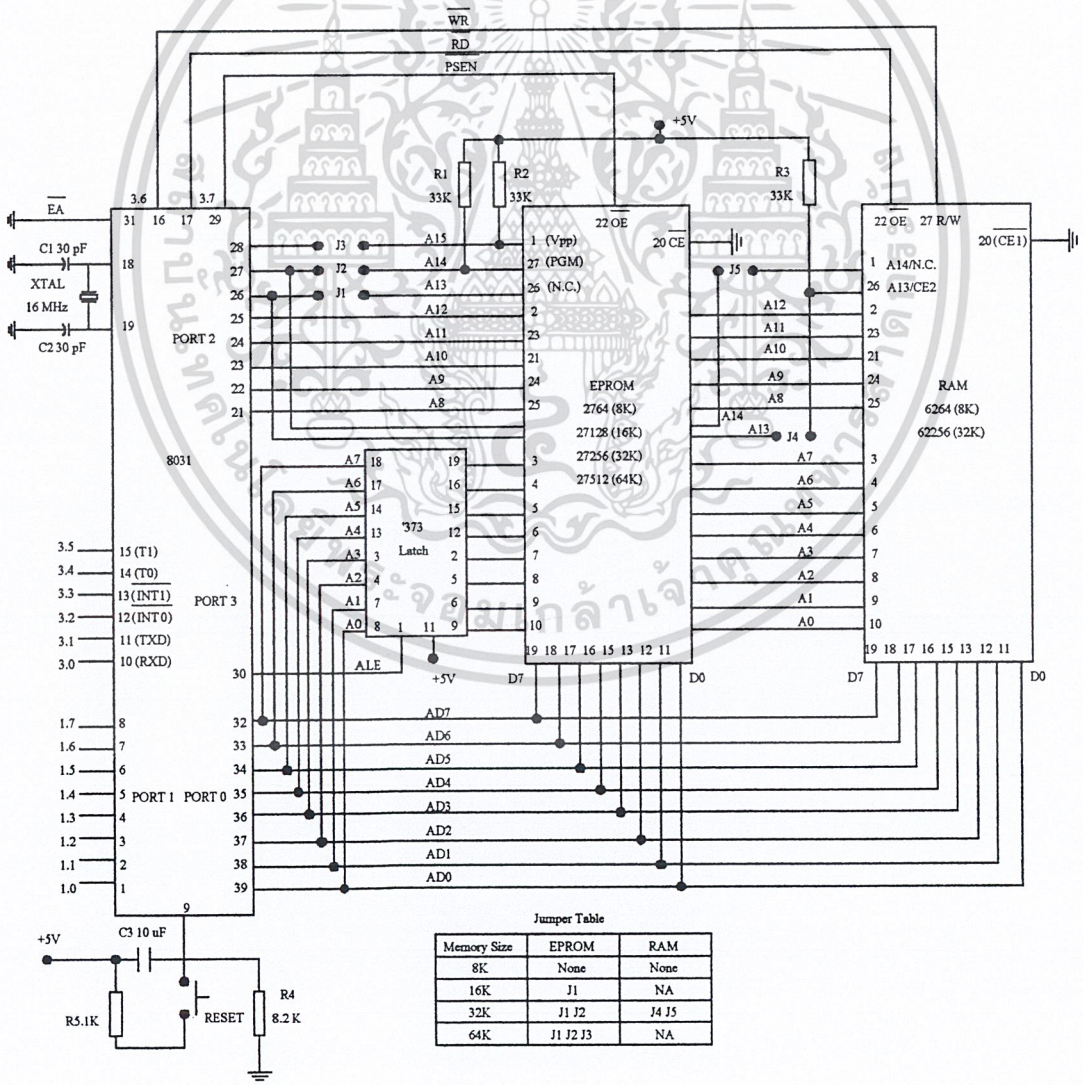
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 (a) เป็นผังเวลาของสัญญาณซึ่งเกี่ยวข้องกับเฟิทซ์เมื่อส่วนของ Program Memory อยู่ภายนอก ดังนั้น สัญญาณที่จะนำไปใช้อ่านออปโค้ด จาก Program Memory ก็คือ $\overline{\text{PSEN}}$ ซึ่งจะแอคทีฟ 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล ดังนั้น สัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$

รูปที่ 2.21 (b) เป็นผังเวลาของสัญญาณที่ใช้การอ่านข้อมูลจาก Data Memory สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ จะมีเพียง 1 ลูกเพราะช่วงเวลาถัดมาจะเป็นช่วงเวลาในการอ่านข้อมูลจาก Data Memory โดยใช้สัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ (การอ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{\text{PSEN}}$ และการอ่านข้อมูลจาก Data Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ ส่วนสัญญาณ ALE คือ สัญญาณที่ใช้ในการ Latch Address A7-A0 นั่นเอง)

2.4.6 การต่อหน่วยความจำ Program Memory และ Data Memory

การต่อหน่วยความจำดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การต่อหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพ

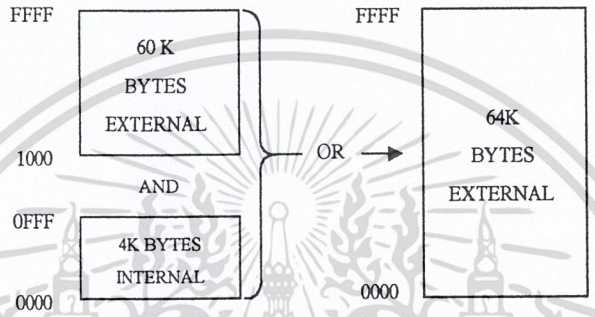
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

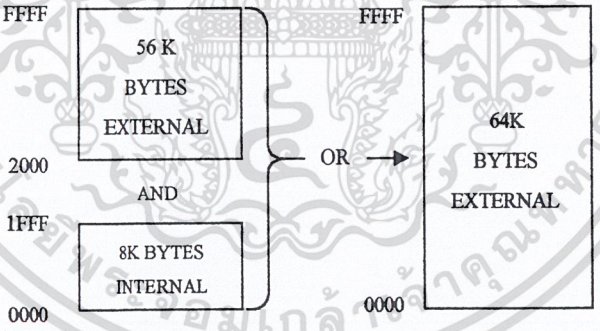
หน่วยความจำที่ใช้กับ MCS-51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory)

1. หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 จะมี ROM ขนาด 8 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24



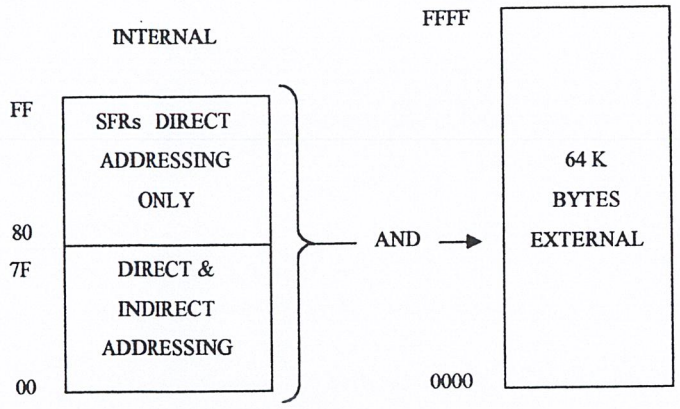
รูปที่ 2.23 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051



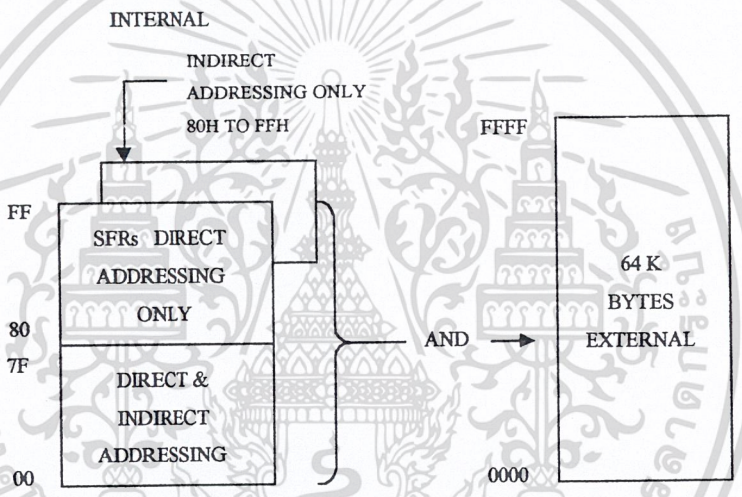
รูปที่ 2.24 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052

2. Data Memory (RAM) แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในชิพมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปและหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพมีความจุ 64 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051



รูปที่ 2.26 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8052

บางครั้งอาจจะสงสัยว่าตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม และดาต้ามีตำแหน่งที่ซ้อนกันซีพียูจะรู้ได้อย่างไรว่าติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมหรือหน่วยความจำข้อมูล บริษัทอินเทลได้ออกแบบแยกคำสั่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

MOV ใช้ติดต่อกับ RAM ภายใน

MOVC ใช้ติดต่อกับ Program Memory

MOVX ใช้ติดต่อกับ Data Memory ภายนอกชิพโดยระบุตำแหน่งผ่าน DPTR และ PC

* ชิพเบอร์ 8052 จะมีพื้นที่บริเวณ 80H-FFH ซึ่งถ้าจะเขียนอ่านข้อมูล ณ บริเวณนี้จะเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น ดังผังหน่วยความจำดังรูปที่ 2.26 *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.1 พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area)

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ (80H-FFH) ตามรูปที่ 2.26 เป็นพื้นที่ซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์ โดยส่วนแรกจะเป็น SFR แอดเดรสและ Indirect Address Area ดังนั้นผู้เขียนโปรแกรมถ้าจะติดต่อกับ SFR จะต้องใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น (Direct Address Area) ส่วนพื้นที่อีกส่วนหนึ่งจะเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมเท่านั้น(Indirect Address Area)ส่วนตำแหน่ง (00H-7FH) จะเข้าถึงข้อมูลได้ทั้ง 2 แบบ

2.4.7.2 พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Address Area)

พื้นที่ 128 ไบต์ ล่างสุดจะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 2.27

1. รีจิสเตอร์แบงค์ (Register Banks 0-3)

ตั้งแต่ตำแหน่ง (00H-1FH) จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงค์ (0-3) โดยแบ่งเป็นแบงค์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์ (แต่ละแบงค์จะมีรีจิสเตอร์ R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7) ถ้าซีพียูทำงานอยู่ที่แบงค์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ทก็จะกลับมาทำงานที่แบงค์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07H ทันที

2. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งอ่านเขียนทีละบิตได้ (Bit Addressable Area)

พื้นที่ตั้งแต่แอดเดรส (20H-7FH) จำนวน 16 ไบต์หรือแบ่งเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิต ซึ่งตำแหน่งบิตมีดังนี้ 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 จนถึง 7FH เช่น

บิต 00 ก็คือ D0 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20H

บิต 01 ก็คือ D1 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20H

ดูรูปที่ 2.27 ประกอบ เช่นต้องการเซ็ทบิต 00 ต้องเขียนคำสั่งว่า SET 00H

2.4.7.3 บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area)

พื้นที่ตั้งแต่ (30H-7FH) จะเขียนข้อมูลได้ทีละไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ถ้าย้ายเนื้อที่สแตคมาบริเวณนี้โปรดระวังในการเขียนข้อมูลมาทับสแตค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Byte	(MSB)							(LSB)	
7FH 30H	Scratch Pad Area								
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78	
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70	
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68	
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60	
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58	
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50	
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48	
28H	47	46	45	44	43	42	41	40	
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38	
26H	37	36	35	34	33	32	31	30	
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28	
24H	27	26	25	24	23	22	21	20	
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18	
22H	17	16	15	14	13	12	11	10	
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08	
20H	07	06	05	04	03	02	01	00	
1FH 18H	R0-R7								รีจิสเตอร์ แบงค์ 3
17H 10H	R0-R7								รีจิสเตอร์ แบงค์ 2
0FH 08H	R0-R7								รีจิสเตอร์ แบงค์ 1
07H 00H	R0-R7								รีจิสเตอร์ แบงค์ 0

รูปที่ 2.27 128ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Function Register (SFR) มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ใน SFR

Symbol	Name	Address
*ACC	Accumulator	0E0H
*B	B Register	0F0H
*PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 Bytes	
DPL	Low Byte	82H
DPH	High Byte	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	0A0H
*P3	Port 3	0B0H
*IP	Interrupt Priority Control	0B8H
*IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
*TCON	Timer/Counter Control	88H
*+T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
TH0	Timer/Counter 0 High Byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low Byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High Byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low Byte	8BH
+TH2	Timer/Counter 2 High Byte	0CDH
+TL2	Timer/Counter 2 Low Byte	0CCH
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg. High Byte	0CBH
+RCAP2L	T/C 2 Capture Reg. Low Byte	0CAH
*SCON	Serial Control	98H
SBUF	Serial Data Buffer	99H
PCON	Power Control	87H

* = Bit addressable

+ = 8052 0nly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.4 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

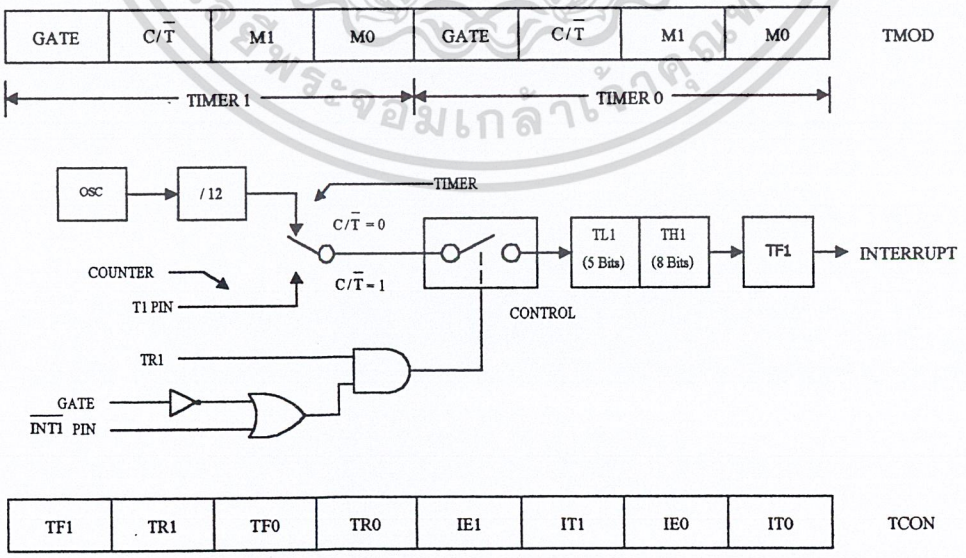
ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ สามารถเลือกให้มีการทำงานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเลือกที่บิต $C/\overline{T}$ ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD ดังแสดงในรูปที่ 2.29 โหมดไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์จะใช้ up Counter Register (TH_X, TL_X) ตัวเดียวกันซึ่งเป็นแบบนับขึ้น

โหมดไทม์เมอร์ up Counter Register (TH_X, TL_X) จะถูกเพิ่มค่าทุก ๆ 1แมชชีนไซเคิล (12 คาบเวลาของ CPU osc) โหมดนี้ไม่ต้องป้อนสัญญาณจากภายนอกเข้ามาแต่จะใช้สัญญาณ CPU osc

โหมดเคาน์เตอร์ up Counter Register (TH_X, TL_X) จะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อป้อนสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้ามา 1 ลูกเข้ามาทางขา T0(pin) หรือ T1(pin) อยู่ที่ขา 14 และ 15 ตามลำดับโดยไม่สนใจคาบเวลาของพัลซ์แต่ละลูกการตรวจสอบสัญญาณที่เข้ามาทางขานี้โดยจะตรวจสอบทุก ๆ S5 P2 ของแต่ละแมชชีนไซเคิล ดังนั้นการตรวจสอบสัญ-ญาณนาฬิกา 1 ลูกจะต้องใช้ถึง 2 แมชชีนไซเคิล (1/24 คาบเวลาของ CPU osc)

2.4.7.4.1 โครงสร้างของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ มีโครงสร้างดังนี้

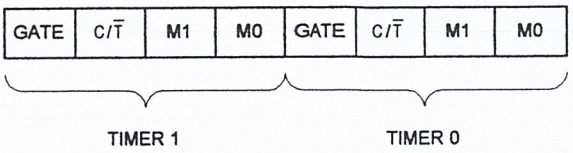
- เคาน์เตอร์ แบบนับขึ้น up Counter Register (TH_X, TL_X)
- ส่วนเลือกโหมดไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์เลือกที่บิต $C/\overline{T}$
- ส่วนควบคุมการนับและหยุดนับ (Start Counter) ควบคุมที่บิต TR_X, GATE และสัญญาณจากภายนอกที่ขา $\overline{INTx}$ (pin)
- ในโหมดเคาน์เตอร์จะรับอินพุตพัลซ์จากภายนอกที่ขา T_X pin
- ในโหมดไทม์เมอร์จะรับอินพุตพัลซ์จากคล็อคซีพียูที่หารด้วย 12 แล้ว
- โหมดเคาน์เตอร์และไทม์เมอร์ใช้เคาน์เตอร์ตัวเดียวกันเป็นแบบนับขึ้น



รูปที่ 2.28 ผังการทำงานของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 0) 13-bit Counter และรีจิสเตอร์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timer/Counter Mode Control Register (TMOD) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (89H)



GATE	When TRx (TCON) is set and GATE=1, TIMER/COUNTERx will run only while INTx pin is high (hardware control). When GATE=0, TIMER/COUNTERx will run only while TRx=1(software control).
C/T	Timer or Counter selector. Cleared for Timer operation(input from internal system clock). Set for Counter operation(input from Tx input pin).
M1	Mode selector bit.(NOTE 1)
M0	Mode selector bit.(NOTE 1)

NOTE 1:

M1	M0		Operating Mode
0	0	0	13-bit Timer
0	1	1	16-bit Timer/Counter
1	0	2	8-bit Auto-Reload Timer/Counter
1	1	3	(Timer 0) TL0 is an 8-bit Timer/Counter controlled by the standard Timer 0 control bits, TH0 is an 8-bit Timer and is controlled by Timer 1 control bits.
1	1	3	(Timer 1) Timer/Counter 1 stopped.

รูปที่ 2.29 Timer/Counter Mode Control Register (TMOD)

$GATE_x$ - เป็นบิตเลือกการสตาร์ท ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ x

0 ควบคุมโดย Software (Internal Control)

1 ควบคุมโดย Hardware (External Control โดยการทริกจากภายนอก)

$C/\overline{T}$ - บิตเลือกการทำงานเป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์โดยเลือกดังนี้

ถ้า $C/\overline{T} = 0$ เป็นการเลือกโหมดไทม์เมอร์ (นับจำนวนแมชชีนไซเคิล)

ถ้า $C/\overline{T} = 1$ เป็นการเลือกโหมดเคาน์เตอร์ (นับจำนวนพัลซ์จากภายนอก)

M1, M0 - เลือกโหมดการทำงานได้ 4 โหมด

M1	M0	โหมด	การทำงาน
0	0	0	13 บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์
0	1	1	16 บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์
1	0	2	8 บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์แบบโหลดซ้ำอัตโนมัติ
1	1	3	8 บิต ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ โดยใช้ TL0
1	1	3	8 บิต ไทม์เมอร์ โดยใช้ TH0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timer/Counter Control Register (TCON) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (88H)

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1	TCON.7	Timer 1 overflow flag. Set by hardware when the Timer/Counter 1 overflows. Cleared by hardware as processor vectors to the interrupt service routine.
TR1	TCON.6	Timer 1 run control bit. Set/Cleared by software to turn Timer/Counter 1 ON/OFF.
TF0	TCON.5	Timer 0 overflow flag. Set by hardware when the Timer/Counter 0 overflows. Cleared by hardware as processor vector to the service routine.
TR0	TCON.4	Timer 0 run control bit. Set/Cleared by software to turn Timer/Counter 0 ON/OFF.
IE1	TCON.3	External Interrupt 1 edge flag. Set by hardware when External interrupt edge is detected. Cleared by hardware when interrupt is processed.
IT1	TCON.2	Interrupt 1 type control bit. Set/Cleared by software to specify failling edge/flow level triggered External Interrupt.
IE0	TCON.1	External Interrupt 0 edge flag. Set by hardware when External Interrupt edge detected. Cleared by hardware when interrupt is processed.
IT0	TCON.0	Interrupt 0 type control bit. Set/Cleared by software to specify failling edge/flow level triggered External Interrupt.

รูปที่ 2.30 Timer/Counter Control register (TCON)

บิต TF1 - แฟลกซ์แสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์ 1 จะเซ็ทเมื่อไทม์เมอร์ 1 โอเวอร์โฟลว์ และจะถูกเคลียร์เอง เมื่อซีพียูย้ายไปที่โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์หรือใช้คำสั่ง CLR TF1

บิต TR1 - บิตควบคุมการนับของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ควบคุมจากโปรแกรม

1 ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 1 เริ่มทำงานต่อ

0 ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 1 หยุดทำงาน

(กรณีนี้ต้องเซ็ทหรือรีเซ็ทบิต GATE 1 ใน TMOD ก่อน)

บิต TF0 - แฟลกซ์แสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์ 0 ถูกเซ็ทเมื่อไทม์เมอร์ 0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ เช่นเดียวกับ TF1

บิต TR0 - เช่นเดียวกับ TR1 แต่ใช้ควบคุมไทม์เมอร์ 0

บิต IE1 - แฟลกซ์แสดงการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1 เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์เข้ามาที่ขา $\overline{\text{INT0}}$ และถูกเคลียร์เองโดยคำสั่ง RETI ในโปรแกรมส่วนบริการอินเตอร์รัพท์

บิต IT1 - แฟลกซ์เลือกประเภทการตรวจสอบสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่เกิดขึ้นที่ขา $\overline{\text{INT1}}$ โดย

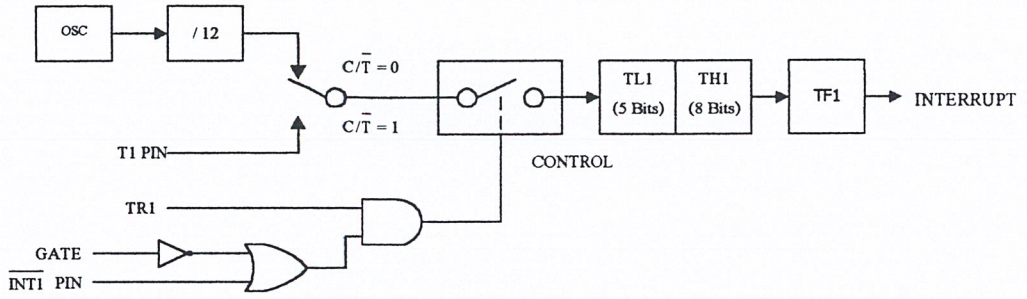
1 จะตรวจสอบการเปลี่ยนระดับแบบขอบขาลงที่ขา $\overline{\text{INT1}}$

0 จะตรวจสอบระดับศูนย์ของสัญญาณที่ขา $\overline{\text{INT1}}$

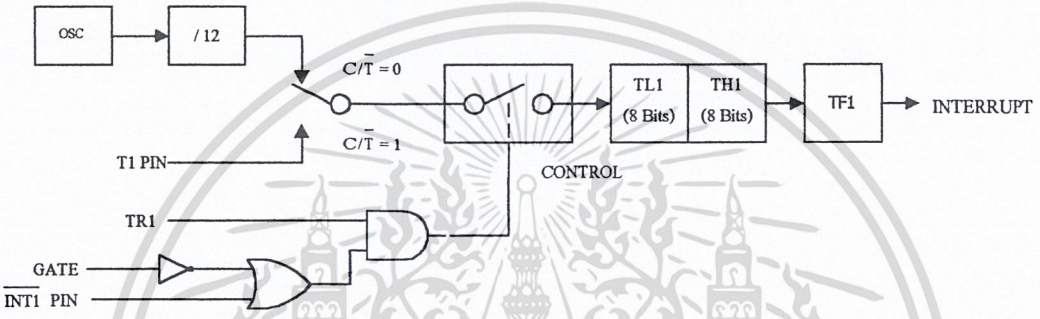
บิต IE0 - แฟลกซ์แสดงการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0 เมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์เข้ามาที่ขา $\overline{\text{INT1}}$ และถูกเคลียร์เองโดยคำสั่ง RETI ที่อยู่ในโปรแกรมส่วนบริการอินเตอร์รัพท์

บิต IT0 - เช่นเดียวกับ IT1

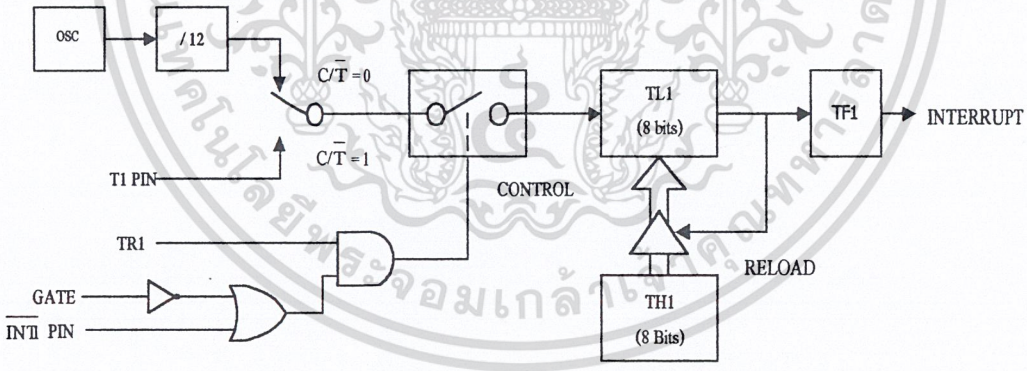
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 0) 13 บิต เคาน์เตอร์

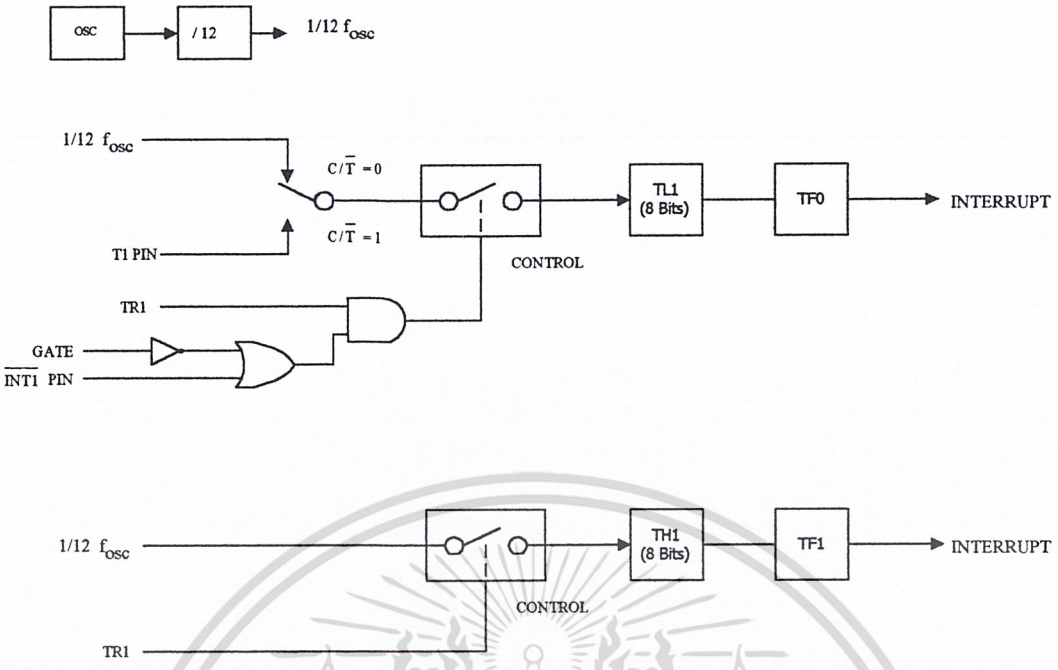


รูปที่ 2.32 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 1) 16 บิต เคาน์เตอร์



รูปที่ 2.33 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 2) 8 บิต เคาน์เตอร์โหลดซ้ำอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 (โหมด 3) 8 บิต เคาน์เตอร์ 2 ชุด

TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$

TF2	T2CON.7	Timer 2 overflow flag set by hardware and cleared by software. TF2 cannot be set when either RCLK=1 or TCLK=1
EXF2	T2CON.6	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX, and EXEN2=1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2=1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software.
RCLK	T2CON.5	Receive clock flag. When set, causes the Serial Port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in modes 1&3. RCLK=0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	T2CON.4	Transmit clock flag. When set, causes the Serial Port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in modes 1&3. TCLK=0 causes Timer 1 overflow to be used for the transmit clock.
EXEN2	T2CON.3	Timer 2 external enable flag. When set, allows a capture or reload to occur as a result of negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the Serial Port. EXEN2=0 causes Timer 2 to ignore events as T2EX.
TR2	T2CON.2	Software START/STOP control for Timer 2. A logic 1 starts the Timer.
C/$\overline{T2}$	T2CON.1	Timer or Counter select.
CP/$\overline{RL2}$	T2CON.0	Capture/Reload flag. When set, captures will occur on negative transitions at T2EX if EXEN2=1. When cleared, Auto-Reloads will occur either with Timer 2 overflows or negative transitions at T2EX when EXEN2=1. When either RCLK=1 or TCLK=1, this bit is ignored and the Timer is forced to Auto-Reload on Timer 2 overflow.

รูปที่ 2.35 Timer/Counter 2 Control Register 80C52/83C154/83C154D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 โหมดการทำงานของไทม์เมอร์ 2

RCLK + TCLK	CP/$\overline{RL2}$	TR2	MODE
0	0	1	16-bit auto-reload
0	1	1	16-bit capture
1	X	1	Baud rate generator
X	X	0	(off)

บิต TF2 - แฟลกซ์แสดงการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทม์เมอร์ 2 จะเซ็ทเมื่อไทม์เมอร์ 2 เกิดโอเวอร์โฟลว์และจะถูกเคลียร์โดยใช้ซอร์พแวร์เท่านั้นโดยใช้คำสั่ง CLR TF2 เท่านั้นบิต TF2 จะไม่ถูกเซ็ทถ้าบิต RCLK = 1 และ TCLK = 1

บิต EXF2 - แฟลกซ์แสดงการเกิดอินเตอร์รัพท์จากภายนอกเบอร์ 2 เมื่อมีสัญญาณทริกจากภายนอกแบบขอบขาลงที่ขา T2EX pin และบิต EXEN2 ต้องเท่ากับ 1 การเคลียร์จะใช้ซอร์พแวร์เท่านั้นเช่น CLR EXF2

บิต RCLK - ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณคล็อคสำหรับกำหนดบอดเรทสำหรับพอร์ตสื่อสารทางด้านรับ

1 = เลือกจาก ไทม์เมอร์ 2

0 = เลือกจาก ไทม์เมอร์ 1

บิต TCLK - ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณคล็อคสำหรับกำหนดบอดเรทสำหรับพอร์ตสื่อสารทางด้านส่ง

1 = เลือกจาก ไทม์เมอร์ 2

0 = เลือกจาก ไทม์เมอร์ 1

บิต EXEN2 - บิตเลือก อนุญาตหรือไม่อนุญาตสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอกที่ขา T2EX pin

1 = อนุญาต

0 = ไม่อนุญาต

บิต TR2 - บิตควบคุมการสตาร์ทของไทม์เมอร์ 2 ควบคุมจากโปรแกรม

1 = ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2 เริ่มทำงาน

0 = ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2 หยุดทำงาน

บิต C/$\overline{T2}$ - บิตเลือกโหมดการทำงาน ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2

1 = ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2 ทำงานโหมดเคาน์เตอร์ โดยทริกแบบขอบขาลงที่ขาT2EX pin และต้องเซ็ทบิตEXEN2ไว้ล่วงหน้า

0 = ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2 เลือกการทำงานโหมดเคาน์เตอร์

บิต CP/$\overline{RL2}$ - บิตเลือกโหมดการทำงาน Capture หรือ Reload

1 = ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2 ทำงาน Capture mode โดยทริกแบบขอบขาลงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาT2EX pin และต้องเซ็ทบิต EXEN2ไว้ล่วงหน้า

0 = ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ 2 เลือกการทำงานแบบ Reload mode โหลดค่าซ้ำอัตโนมัติเมื่อ TF2 = 1 หรือโดยการทริกแบบขอบขาลงที่ขา T2EX pin และต้องเซ็ทบิต EXEN2 ไว้ก่อน

2.4.7.4.2 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

การโปรแกรมจะต้องโปรแกรมค่าใน TMOD ดังตารางที่ 2.6 ซึ่ง

- เลือกสตาร์ทแบบ Internal Control สตาร์ทโดยใช้คำสั่ง SETB TR_X
- เลือกสตาร์ทแบบ External Control สตาร์ทโดยใช้การกระตุ้นจากสัญญาณภายนอกที่ขา INT_X pin สำหรับ 8051

ตารางที่ 2.6 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์x (เลือกค่า TMOD)

TIMER/COUNTER 0

MODE	TIMER 0 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	00H	08H
1	16-bit Timer	01H	09H
2	8-bit Auto-Reload	02H	0AH
3	Two 8-bit Timers	03H	0BH

As a Timer

MODE	COUNTER 0 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	04H	0CH
1	16-bit Timer	05H	0DH
2	8-bit Auto-Reload	06H	0EH
3	One 8-bit counter	07H	0FH

As a Counter

Notes : 1. The Timer is turned ON/OFF by setting/clearing bit TR0 in the software.

2. The Timer is tuned ON/OFF by the 1 to 0 transition on $\overline{INT0}$ (P3.2) when TR0 = 1 (hardwarecontrol).

TIMER/COUNTER 1

MODE	TIMER 1 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	00H	80H
1	16-bit Timer	10H	90H
2	8-bit Auto-Reload	20H	A0H
3	does not run	30H	B0H

As a Timer

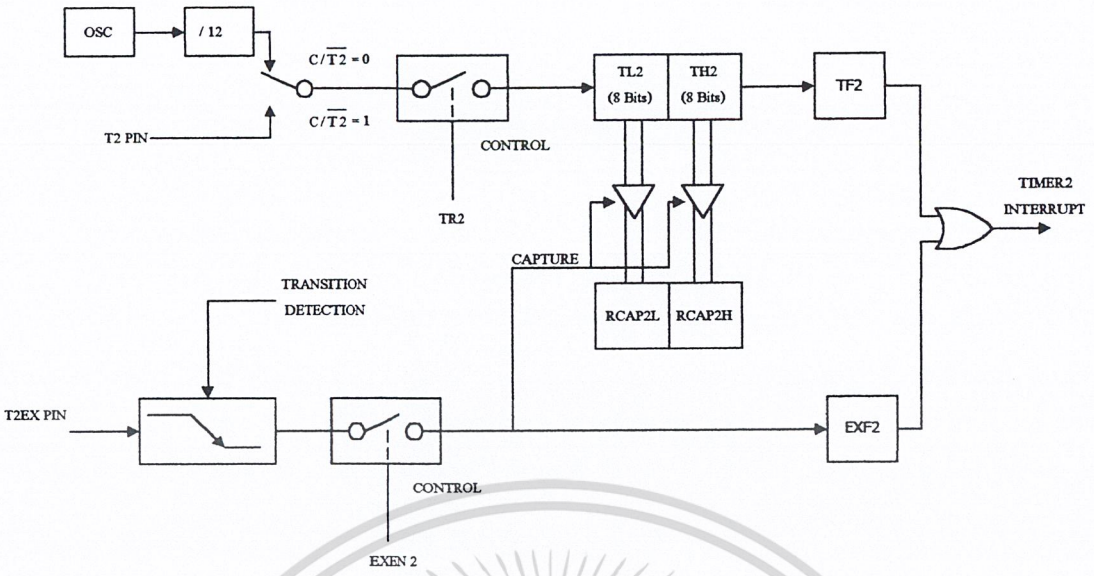
MODE	COUNTER 1 FUNCTION	TMOD	
		INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
0	13-bit Timer	40H	C0H
1	16-bit Timer	50H	D0H
2	8-bit Auto-Reload	60H	E0H
3	not available	-	-

As a Counter

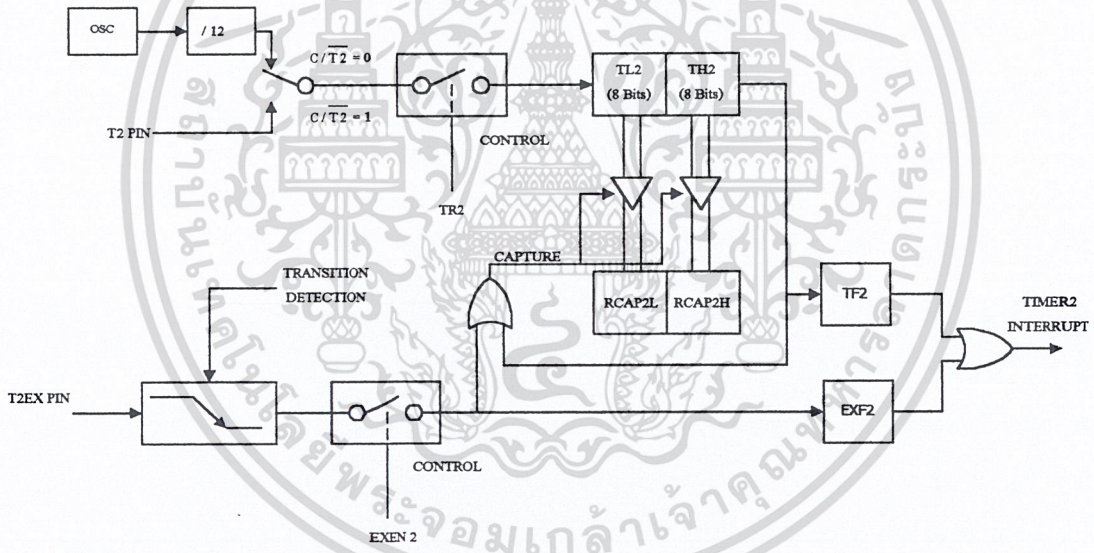
Notes : 1. The Timer is turned ON/OFF by setting/clearing bit TR1 in the software.

2. The Timer is tuned ON/OFF by the 1 to 0 transition on $\overline{INT1}$ (P3.2) when TR1 = 1 (hardware control).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 Capture Mode



รูปที่ 2.37 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 Reload Mode

2.4.7.4.3 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2

การโปรแกรมจะต้องโปรแกรมค่าใน TMOD ดังตารางที่ 2.7 ซึ่ง

- เลือกสตาร์ทแบบ Internal Control สตาร์ทโดยใช้คำสั่ง SETB TR2
- เลือกสตาร์ทแบบ External Control สตาร์ทโดยใช้การกระตุ้นจากสัญญาณภายนอกที่ขา T2EX pin สำหรับ 80C154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 การโปรแกรมไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 (เลือกค่า T2CON)

MODE	TMOD	
	INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
16-bit Auto-Reload	00H	08H
16-bit Capture	01H	09H
baud rate generator receive & transmit same baud rate	34H	36H
receive only	24H	26H
transmit only	14H	16H

As a Timer

MODE	TMOD	
	INTERNAL CONTROL (NOTE 1)	EXTERNAL CONTROL (NOTE 2)
16-bit Auto-Reload	02H	0AH
16-bit Capture	03H	0BH

As a Counter

Notes : 1. Capture/Reload occurs on Time/Counter overflow.

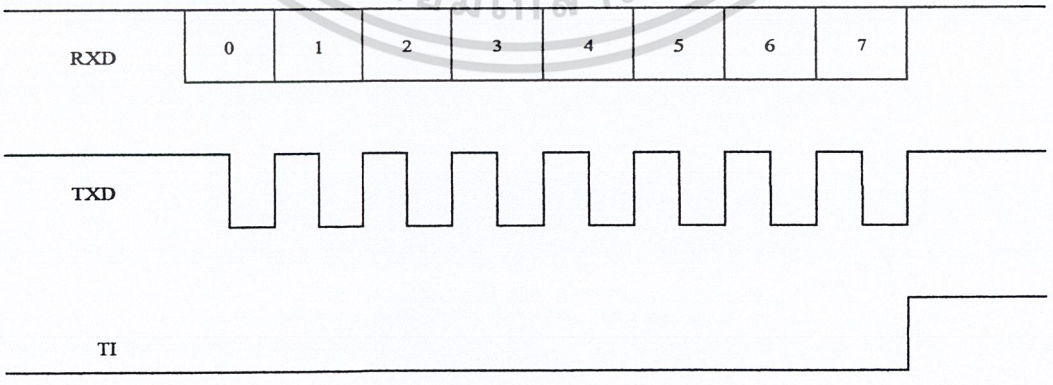
2. Capture/Reload occurs on Timer/Counter overflow and a 1 to 0 transition on T2EX (P1.1) pin except when Timer 2 is used in the baud rate generating mode.

2.4.7.5 การรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) ของ 8051 และ 8052

พอร์ตสื่อสารอนุกรมของ 8051, 8052 มีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่าฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกันโดยทางด้านส่งใช้ขา TxD (พอร์ต 3.1) ทางด้านรับใช้ขา RxD (พอร์ต 3.0) SBUF ใช้เป็นบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลอนุกรม

พอร์ตสื่อสารอนุกรมของ 8051 สามารถโปรแกรมการทำงานได้หลายโหมดด้วยกันโดยเลือกที่บิต SM1 และ SM0 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ควบคุม SCON การทำงานทั้ง 4 โหมด ของพอร์ตสื่อสารอนุกรมมีดังนี้

โหมด 0 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 8 บิต โดยการส่งจะเลื่อนออกทีละบิตโดยส่งบิต D0 ออกไปก่อนทางขา RxD และไม่มีการส่ง start bit แต่จะส่ง shift clock ทางขา TxD (ความเร็ว 1/12 เท่าของ CPU Clock)



โหมด 1 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 10 บิต ข้อมูล 8 บิต 1 start bit และ 1 stop bit และสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1

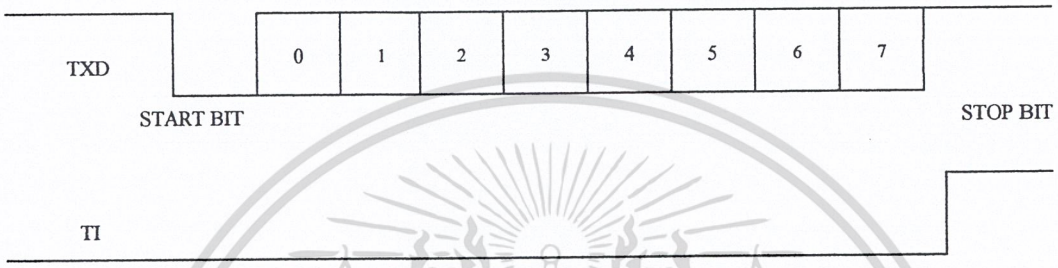
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Baud Rate Mode 1} = \frac{K \times \text{Oscillator Freq.}}{32 \times 12 \times [256 - (TH1)]}$$

สำหรับ 8032, 8052 โดยใช้ Timer 1

$$\text{Baud Rate Mode 1} = \frac{\text{Oscillator Freq.}}{32 \times [65536 - (RCAP2H, RCAP2L]}$$

สำหรับ 8032, 8052 โดยใช้ Timer 2

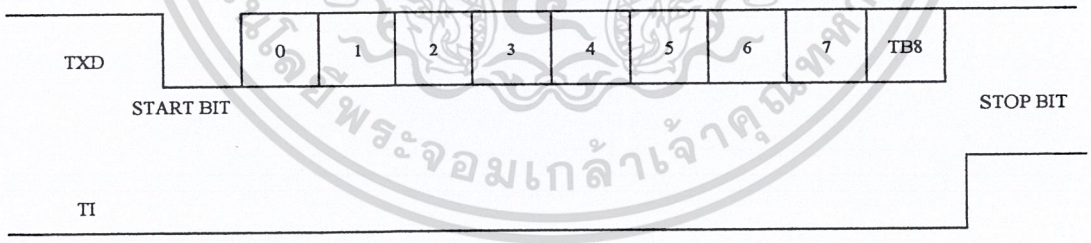


โหมด 2 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 11 บิต ใช้ข้อมูล 9 บิต 1 start bit และ 1 stop bit (TB8 นิยมนำมาใช้ส่ง Parity bit)

(ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 1/32 และ 1/64 ของ CPU Clock โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON)

Baud Rate Mode 2 = 1/(32 Osc Freq) เมื่อ SMOD = 1

Baud Rate Mode 2 = 1/(64 Osc Freq) เมื่อ SMOD = 0



โหมด 3 : พอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบ 11 bit UART โดยส่งข้อมูล 9 บิต 1 start bit และ 1 stop bit เหมือนโหมด 2 ยกเว้นอัตราความเร็วจะขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 สำหรับ 8051 หรือขึ้นกับ อัตราโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 2 สำหรับ 80C154D

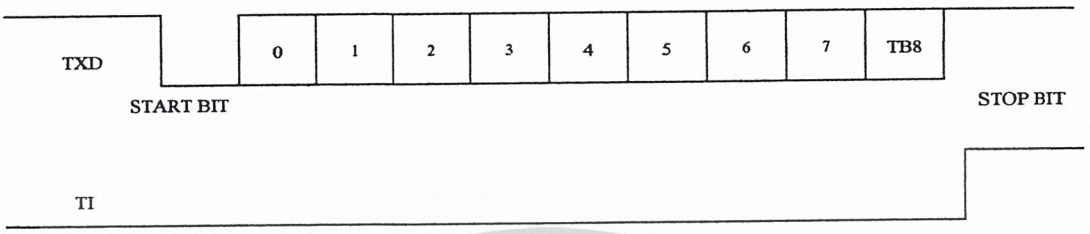
$$\text{Baud Rate Mode 3} = \frac{K \times \text{Oscillator Freq.}}{32 \times 12 \times [256 - (TH1)]}$$

สำหรับ 8031, 8051 โดยใช้ Timer 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Baud Rate Mode 3} = \frac{\text{Oscillator Freq.}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H, RCAP2L})]}$$

สำหรับ 8032, 8052, 80154, 80154D โดยใช้ Timer 2



2.4.7.5.1 การเชื่อมต่อไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART)

มีอยู่ 2 โหมดด้วยกันคือ

- Single Processor Mode
- Multiprocessors Mode

Single Processor Mode : ในโหมดนี้เราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวเชื่อมเข้าหากัน

Multiprocessors Mode : ในโหมดนี้เราจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ตัวเป็นตัวแม่ (Master) และอีก 256 ตัวลูก (Slave) รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม ดังรายละเอียดดังรูปที่ 2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Control Register (SCON) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (98H)

SCON : SERIAL PORT CONTROL REGISTER (BIT ADDRESSABLE)

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0	SCON.7	Serial Port mode specifier (NOTE 1).
SM1	SCON.6	Serial Port mode specifier (NOTE 1).
SM2	SCON.5	Enables the multiprocessor communication feature in mode 2 & 3. In mode 2 or 3, if SM2 is set to 1 then RI will not be activated if the received 9th data bit (RB8) is 0. In mode 1, if SM2=1 then RI will not be activated if a valid stop bit was not received. In mode 0, SM2 should be 0 (See table SERIAL PORT SET-UP).
REN	SCON.4	Set/Cleared by software to Enable/Disable reception
TB8	SCON.3	The 9th bit that will be transmitted in modes 2 & 3. Set/Cleared by software.
RB8	SCON.2	In modes 2 & 3, is the 9th data bit that was received. In mode 1, if SM2=0, RB8 is the stop bit that was received. In mode 0, RB8 is not used.
TI	SCON.1	Transmit interrupt flag. Set by hardware at the end of the 8th bit time in mode 0, or at the beginning of the stop bit in the other modes. Must be cleared by software.
RI	SCON.0	Receive interrupt flag. Set by hardware at the end of the 8th bit time in mode 0, or half way through the stop bit time in the other modes (except see SM2). Must be cleared by software.

NOTE 1 :

SM0	SM1	MODE	DESCRIPTION	BAUD RATE
0	0	0	SHIFT REGISTER	Fosc./12
0	1	1	8 bit UART	Variable
1	0	2	8 bit UART	Fosc./64 OR Fosc./32
1	1	3	8 bit UART	Variable

SERIAL PORT SET-UP

MODE	SCON	SM2 VARIATION
0	10H	Single Processor Environment (SM2=0)
1	50H	
2	90H	
3	D0H	
0	NA	Multiprocessor Environment (SM2=1)
1	70H	
2	B0H	
3	F0H	

รูปที่ 2.38 แสดงรายละเอียดในรีจิสเตอร์ SCON และการ SET-UP

SM1	SM0	โหมด	การทำงาน
0	0	0	Shift register อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลเท่ากับ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ CPU
0	1	1	8 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลขึ้นกับ Timer 1, 2 และบิต SMOD
1	0	2	9 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล = 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ ขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON
1	1	3	9 bit UART อัตราเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดที่ Timer 1, 2 และบิต SMOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM2 บิตเลือกการทำงานแบบ Single Processor Mode หรือ Multiprocessors Mode

1 : เลือก Multiprocessors Mode ใช้ได้กับโหมด 2, 3

0 : เลือก Single Processor Mode ใช้ได้กับทุกโหมด

เมื่อเลือกการทำงานรับข้อมูลแบบ Multiprocessors Mode แล้ว

ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 1 RI จะเซ็ท

ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 0 RI จะเคลียร์

REN (Receive Enable) บิตควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูลได้

0 : ห้ามรับข้อมูล

TB8 (Transmit bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งออกไปในโหมด 2, 3 ให้ใส่ในบิตนี้

RB8 (Receive bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะมาเก็บในบิตนี้

(ข้อมูลบิตที่ 9 ก็คือค่าใน TB8 ทางด้านส่งนั่นเอง)

TI แฟลกซ์ TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลบิตสุดท้าย

RI แฟลกซ์ RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูลบิตสุดท้ายเข้ามาเสร็จ (บิต RI, TI ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเคลียร์เอง)

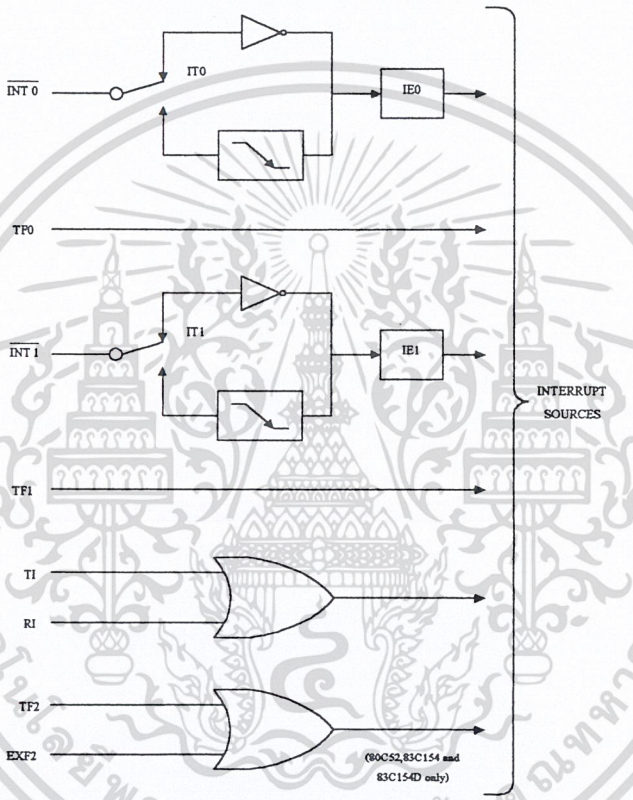
ตารางที่ 2.8 ตารางการใช้ไทม์เมอร์ 1 กำหนดบอดเรท

Baud Rate	Fosc	SMOD	TIMER 1		
			$C/\overline{T}$	MODE	Reload Value
(MODE 0) Max : 1 M	12 MHz	X	X	X	X
(MODE 2) Max : 375 K	12 MHz	1	X	X	X
(MODE 2) Min : 187.5 K	12 MHz	0	X	X	X
MODE 1, 3 : 62.5 K	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2 K	11.059 MHz	1	0	2	FDH
9.6 K	11.059 MHz	0	0	2	FDH
4.8 K	11.059 MHz	0	0	2	FAH
2.4 K	11.059 MHz	0	0	2	F4H
1.2 K	11.059 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.059 MHz	0	0	2	1DH
110	6 MHz	0	0	2	72H
110	12 MHz	0	0	1	FEEBH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.6 การอินเตอร์รัพท์

คือการขัดจังหวะโปรแกรมชั่วขณะแล้วมาทำโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine ; ISR) การตรวจสอบสัญญาณการร้องขออินเตอร์รัพท์จะตรวจสอบที่ตำแหน่ง S5P2 ของทุกๆ แมชชีนไซเคิลเมื่อพบแล้วในช่วงแมชชีนไซเคิลที่ 2 จะเป็นการตรวจสอบว่าเป็นของอุปกรณ์ใดและแมช-ชีนไซเคิลที่ 3 จะกระโดดไปทำโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine; ISR) ดังรูปที่ 2.39 อินเตอร์รัพท์ของ MCS-51 ได้มาจาก 8 แหล่ง แต่มีเพียง 6 Vector (TI และ RI ใช้ตำแหน่งเดียวกัน) ตำแหน่งของเวคเตอร์ดังแสดงดังตารางที่ 2.9



รูปที่ 2.39 แหล่งที่มาของสัญญาณอินเตอร์รัพท์

ตารางที่ 2.9 อินเตอร์รัพท์เวคเตอร์ของ MCS-51 และลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์

ลำดับ	ชื่อสัญญาณอินเตอร์รัพท์	Vector Address	Priority
1	$\overline{\text{INT0}}$	0003H	Highest
2	TF0	000BH	
3	$\overline{\text{INT1}}$	0013H	
4	TF1	001BH	
5	TI+RI	0023H	
6	TF2+EXF2	002BH	Lowest

* ถ้ามีอินเตอร์รัพท์เข้ามาพร้อมกัน $\overline{\text{INT0}}$ จะถือว่ามี Priority สูงสุด *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interrupt Enable Register (IE) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (0A8H)

ใช้ควบคุมอินเตอร์รัพท์ได้ 8 แหล่งดูตารางที่ 2.9 ประกอบเราสามารถสั่งห้ามหรือไม่ห้ามการอินเตอร์รัพท์ได้จากรีจิสเตอร์ชุดนี้ดังมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.40 เราสามารถสั่งห้ามไม่ให้เกิดการขัดจังหวะทั้งหมดก็ได้เพียงแต่ไปรีเซ็ทบิต $\overline{EA}$ ใน Interrupt Enable Register (IE) ถ้าต้องการ Enable อินเตอร์รัพท์จากอุปกรณ์ตัวไหนก็เพียงแต่ไปเซ็ทบิตอุปกรณ์ตัวนั้นไว้ แต่อย่าลืมเซ็ทบิต $\overline{EA}$ รายละเอียดของ IE ดังแสดงในรูปที่ 2.40

(MSB) (LSB)

$\overline{EA}$	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

Symbol	Position	Function
$\overline{EA}$	IE.7	disables all interrupts. If $\overline{EA}$=0, no interrupt will be acknowledged. If $\overline{EA}$ each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
-	IE.6	reserved
ET2	IE.5	enables or disables the Timer 2 overflow or capture interrupt. If ET2=0, the Timer 2 interrupt is disabled.
ES	IE.4	enables or disables the Serial Port interrupt. If ES=0, the Serial Port interrupt is disabled.
ET1	IE.3	enables or disables the Timer 1 overflow interrupt. If ET1=0, the Timer 1 interrupt is disabled.
EX1	IE.2	enables or disables External interrupt 1. If EX1=0, External interrupt 1 is disabled.
ET0	IE.1	enables or disables the Timer 0 overflow interrupt. If ET0=0, the Timer 0 interrupt is disabled.
EX0	IE.0	enables or disables External interrupt 0. If EX0=0, External interrupt 0 is disabled.

รูปที่ 2.40 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ IE

บิต	ชื่อบิต	การทำงาน
IE.7	$\overline{EA}$	= 1 หมายถึงยอมให้เลือกการทำอินเตอร์รัพท์จากอินเตอร์รัพท์แหล่งต่าง ๆ ได้
		= 0 หมายถึงไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากแหล่งใด ๆ ทั้งสิ้น
IE.6	X	ไม่ได้ใช้งาน
IE.5	ET2	= 1 หมายถึงยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์เมื่อ TF2 เกิดโอเวอร์โฟลว์
		= 0 หมายถึงไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์เมื่อ TF2 เกิดโอเวอร์โฟลว์
IE.4	ES	= 1 ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากพอร์ตสื่อสารอนุกรมได้
		= 0 ไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE.3	ET1	= 1 หมายถึงยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์เมื่อ TF1 เกิดโอเวอร์โฟลว์
		= 0 หมายถึงไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์เมื่อ TF1 เกิดโอเวอร์โฟลว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IE.2 EX1 = 1 ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากสัญญาณภายนอกหมายเลข 1

= 0 ไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากสัญญาณภายนอกหมายเลข 1

IE.1 ET0 = 1 หมายถึงยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์เมื่อ TF0 เกิดโอเวอร์โฟลว์

= 0 หมายถึงไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์เมื่อ TF0 เกิดโอเวอร์โฟลว์

IE.0 EX0 = 1 หมายถึงยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากสัญญาณภายนอกได้ (ขา $\overline{\text{INT0}}$)

= 0 หมายถึงไม่ยอมให้ทำอินเตอร์รัพท์จากสัญญาณภายนอก (ขา $\overline{\text{INT0}}$)

เช่น - ถ้าต้องการ Disable ทั้งหมดให้ใช้คำสั่ง CLR EA

- ถ้าต้องการ Enable Timer 0 และ Timer 1 ให้ใช้คำสั่ง

```
SETB EA    ; Enable Interrupt
SETB ET0   ; Enable ET0
SETB ET1   ; Enable ET1
```

- ถ้าต้องการ Enable Timer 0 และ Timer 1 และ disable พอร์ตสื่อสาร

```
SETB EA    ; Enable Interrupt
SETB ET0   ; Enable ET0
SETB ET1   ; Enable ET1
CLR ES
```

ความหมายของสัญลักษณ์

E = Enable หรือ External

T = Timer

0, 1, 2 = Channel 0, Channel 1, Channel 2

- อินเตอร์รัพท์ภายใน MCS-51 ได้จาก Timer 0, Timer 1 โดยตรวจสอบที่ TF0 และ TF1 และอินเตอร์รัพท์จาก Serial Port โดยตรวจสอบที่ TI และ RI
- ขา $\overline{\text{INT0}}$ และ $\overline{\text{INT1}}$ ใช้งาน 2 หน้าที่ โดยที่
  - เมื่อทำอินเตอร์รัพท์จะเป็นขา External Interrupt Input
  - เมื่อไม่ทำอินเตอร์รัพท์จะใช้ Start Counter หรือที่เราเรียกว่า Hardware Start
  - การขัดจังหวะของการอินเตอร์รัพท์เราสามารถกำหนดลำดับความสำคัญได้จาก Interrupt Priority Register (IP) ดังรายละเอียดดังรูปที่ 2.41

Interrupt Priority Register (IP) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (0B8H)

ใช้กำหนดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCT	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

PCT	IP.7	Defines the same priority level for all the source interrupt (83C154 and 83C154D only).
-	IP.6	Not implemented, reserved for future use*.
PT2	IP.5	Defines the Timer 2 interrupt priority level (80C52, 83C154 and 83C154D only).
PS	IP.4	Defines the Serial Port interrupt priority level.
PT1	IP.3	Defines the Timer 1 Interrupt priority level.
PX1	IP.2	Defines External Interrupt 1 priority level.
PT0	IP.1	Defines the Timer 0 interrupt priority level.
PX0	IP.0	Defines the External Interrupt 0 priority level.

* User software should not write 1s to reserved bits. These bits may be used in future MHS C51 products to invoke new features. In that case, the reset or inactive value of the now bit will be 0, and its active value will be 1.

รูปที่ 2.41 รายละเอียดของ IP

คำอธิบายความหมายของแต่ละบิตใน (IP)

PT2 : 0 Timer 2 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด

1 Timer 2 มีลำดับความสำคัญสูงสุด

PS : 0 พอร์ตสื่อสารอนุกรม UART มีลำดับความสำคัญต่ำสุด

1 พอร์ตสื่อสารอนุกรมมีลำดับความสำคัญสูงสุด

PT1 : 0 Timer 1 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด

1 Timer 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด

PT0 : 0 Timer 0 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด

1 Timer 0 มีลำดับความสำคัญสูงสุด

PX0 : 0 อินเตอร์รัพท์ภายนอกชนิด 0 มีลำดับความสำคัญต่ำสุด

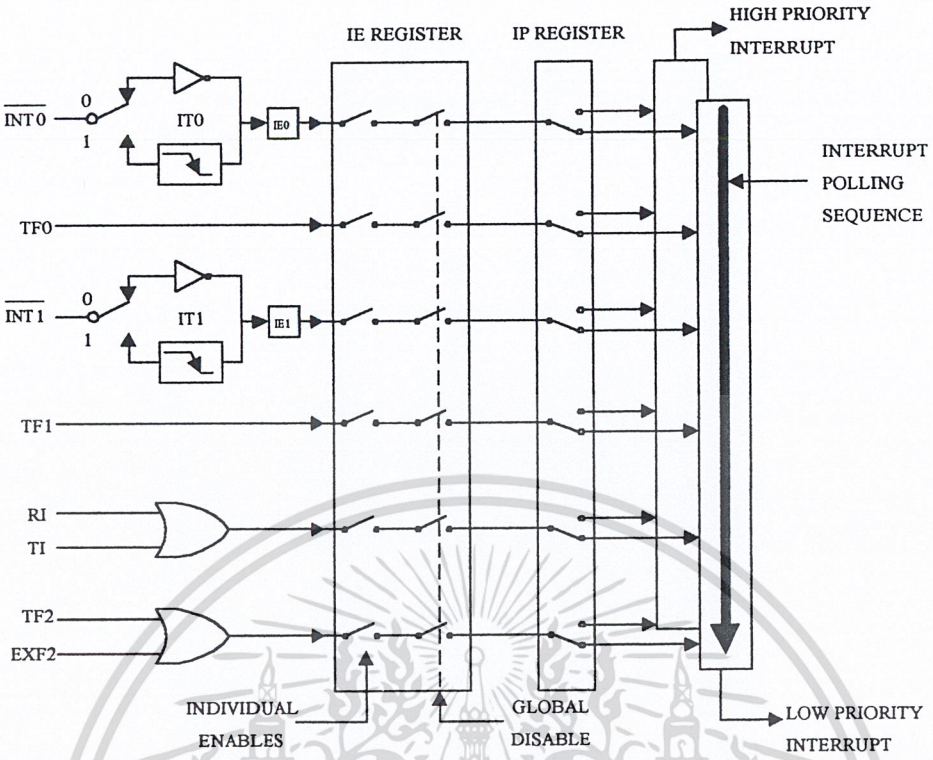
1 อินเตอร์รัพท์ภายนอกชนิด 0 มีลำดับความสำคัญสูงสุด

PCT : 0 ยอมให้มีการจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์ (Priority)

1 ไม่ยอมให้มีการจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์ให้ควบคุมการอิน-เตอร์รัพท์จาก IE แทน

ถ้าทุกบิตเป็น 1 หมดจะถือว่าทุกตัวมีลำดับความสำคัญสูงสุดเท่ากัน เมื่อสัญญาณมาพร้อมกันจะต้องตัดสิน ตามตารางที่ 2.9 เราสามารถสรุประบบการขัดจังหวะของ 8052 ได้ดังรูปที่ 2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 รายละเอียดของระบบขัดจังหวะของ 8051, 83C154, 83C154D

* 83C154, 83C154D มี Interrupt Source เพิ่มจาก 8051 อยู่คือ TF2 และ EXF2 *

Interrupt Vector ของ MCS-51 มีอยู่ 8 แหล่งดังแสดงในตารางที่ 2.10 ดังนี้

ตารางที่ 2.10 Interrupt Vector

Source	Vector Address
IE0	0003H
TF0	000BH
IE1	0013H
TF1	001BH
RI+TI	0023H
*TF2+EXF2	002BH

* มีเฉพาะในเบอร์ 8052 ขึ้นไป

รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน Power Control Register (PCON) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (87H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMOD	HPD	RPD	-	GF1	GF0	PD	IDL

SMOD	PCON.7	Double baud rate bit. If SMOD=1, the baud rate is doubled when the serial port is used in mode 1, 2 and 3.
HPD	PCON.6	Hard Power Down. (83C154 and 83C154D only). The falling/rising edge of a signal connected on pin P3.5 Starts/Stops the Power-Down mode. A reset can also stop this mode
RPD	PCON.5	Recover Power Down bit. (83C154 and 83C154D only). It's used to cancel a Power-Down/IDLE mode. If it's set, an interrupt (enable or disable) can cancel this mode. A reset can also stop this mode.
-	PCON.4	Not implemented, reserved for future used*.
GF1	PCON.3	General purpose bit.
GF0	PCON.2	General purpose bit.
PD	PCON.1	Power Down bit. If set, the oscillator is stopped. A reset or an interrupt (83C154 and 83C154D only) can cancel this mode.
IDL	PCON.0	IDLE bit. If set the activity CPU is stopped. A reset or an interrupt can cancel this mode.

* User software should not write 1s to reserved bits. These bits may be used in future MHS C51 products to invoke new features. In that case, the reset or inactive value of the now bit will be 0, and its active value will be 1.

รูปที่ 2.43 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน (PCON)

บิต SMOD - บิตกำหนดอัตราความเร็วการรับส่งข้อมูลอนุกรม UART

0 = อัตราความเร็ว 1 เท่า

1 = อัตราความเร็ว 2 เท่า

บิต HPD - Hard Power Down bit (มีใน 83C154, 83C154D เท่านั้น) หมายถึงการใช้สัญญาณจากภายนอกมากระตุ้นให้หยุดหรือเริ่ม Power Down Mode เมื่อถูกรีเซ็ทจะหยุดการทำงานในโหมดนี้

บิต RPD - Recover Power Down bit (มีใน 83C154, 83C154D เท่านั้น) มันได้ถูกนำไปใช้สำหรับยกเลิก Power Down/Idle Mode

1 = ถ้าการร้องขออินเตอร์รัพท์ถูก Enable ไว้จะกระโดดไปทำโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์

0 = ถ้าการร้องขออินเตอร์รัพท์ถูก Disable ไว้โปรแกรมจะทำงานต่อหลังจาก Power Down/Idle Instruction

บิต GF1 - แฟลกซ์ใช้งานทั่วไป

บิต GF2 - แฟลกซ์ใช้งานทั่วไป

บิต PD - Power Down bit

1 = หยุดออสซิลเลเตอร์ของซีพียู

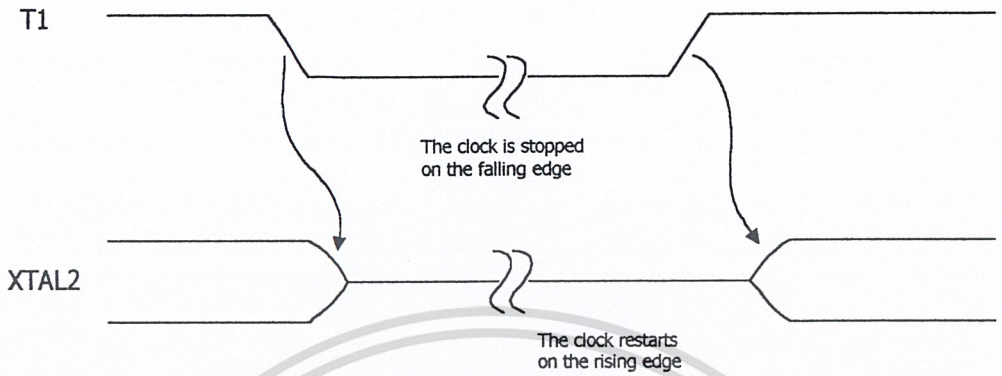
0 = สัญญาณรีเซ็ทหรือมีอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้น (83C154, 83C154D เท่านั้น) โหมดนี้จะถูกยกเลิก

บิต IDL - Idle Mode bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 = หยุดการทำงานของซีพียู

0 = สัญญาณรีเซ็ทหรือมีอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้นโหมดนี้จะถูกยกเลิก



รูปที่ 2.44 ผลที่เกิดขึ้นเมื่อ HPD = 1 และมีสัญญาณกระตุ้นที่ขา T1

IOCON Register (83C154, 83C154D เท่านั้น) อยู่ใน SFR ตำแหน่ง (0F8H)

ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ต วอทดอค (Watch Dog 16/32 บิต) และแฟลกซ์ที่แสดงการรับข้อมูลผิดพลาด (Frame error และ Overrun error) ดังรายละเอียดดังรูปที่ 2.45

WDT	T32	SERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF

WDT	IOCON.7	Watch Dog Timer bit. Set when Timer 1 is overflow (TF=1). The CPU is reset and the program is executed from address 0.
T32	IOCON.6	Timer 32 bits. The Timer 1 and Timer 0 are connected together to from a 32 bits Timer/ Counter. If C/TO=0, it's a Timer. If C/TO=1, it's a Counter
SERR	IOCON.5	Serial Port Reception Error flag. Set when an overrun on frame error is received.
IZC	IOCON.4	Set/Cleared by software to select 100/10 K pull up resistance for Port 1, 2 and 3.
P3HZ	IOCON.3	When Set, Port 3 becomes a tri-state input. When cleared, the pull-up resistance value is selected by IZC.
P2HZ	IOCON.2	When Set, Port 2 becomes a tri-state input. When cleared, the pull-up resistance value is selected by IZC.
P1HZ	IOCON.1	When Set, Port 1 becomes a tri-state input. When cleared, the pull-up resistance value is selected by IZC.
ALF	IOCON.0	All Port tri-state. When Set and CPU in Power-Down mode, port 1, 2 and 3 are tri-state.

รูปที่ 2.45 IOCON Register (83C154, 83C154D เท่านั้น)

บิต WDT - = 0 Watch Dog = off

= 1 Watch Dog = on

บิต T32 - = 0 เลือกไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์แบบ 16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 1 เลือกไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์แบบ 32 บิต

บิต SERR - Serial Port Error Detection เป็นแฟลกซ์แสดงการรับข้อมูลผิดพลาด (Frame error and Overrun error) เมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้น

บิต ALF - เมื่อเซ็ท ALF = 1 และเซ็ท Power Mode ไว้ จะมีผลให้พอร์ตทั้ง 3 มีสถานะเป็นสถานะความต้านทานสูง (High Impedance)

บิต P1HZ - เลือกการทำงานของพอร์ต 1 โดยควบคุมร่วมกับบิต IZC ดังนี้

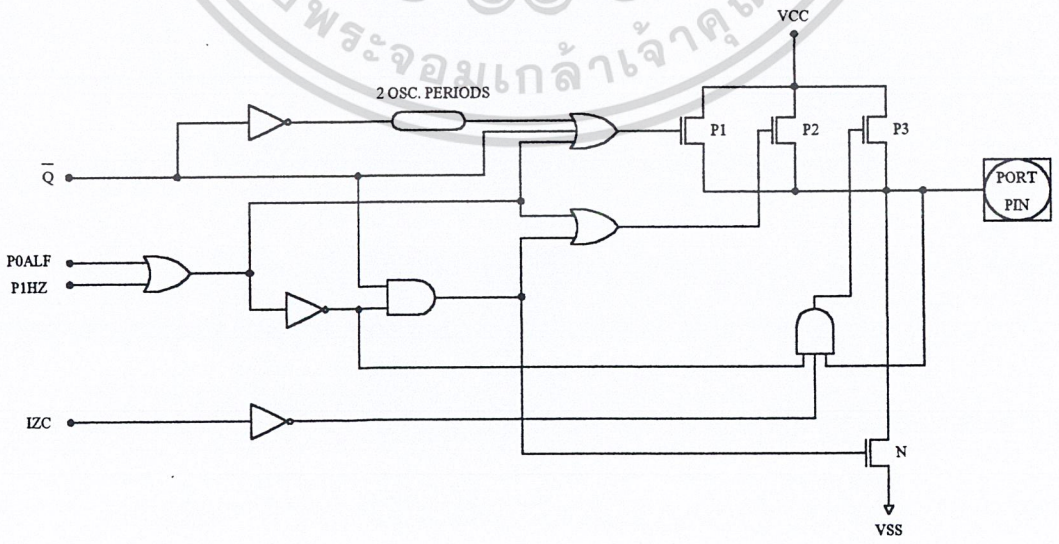
P1HZ	IZC	สถานะ
0	0	พอร์ต 1 = Low Impedance
0	1	พอร์ต 1 = High Impedance
1	x	พอร์ต 1 = Floating

บิต P2HZ - เลือกการทำงานของพอร์ต 2 โดยควบคุมร่วมกับบิต IZC ดังนี้

P2HZ	IZC	สถานะ
0	0	พอร์ต 2 = Low Impedance
0	1	พอร์ต 2 = High Impedance
1	x	พอร์ต 2 = Floating

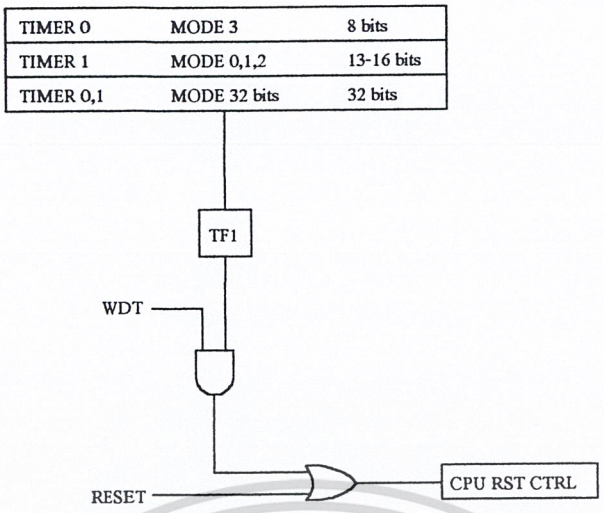
บิต P3HZ - เลือกการทำงานของพอร์ต 3 โดยควบคุมร่วมกับบิต IZC ดังนี้

P3HZ	IZC	สถานะ
0	0	พอร์ต 3 = Low Impedance
0	1	พอร์ต 3 = High Impedance
1	x	พอร์ต 3 = Floating



รูปที่ 2.46 โครงสร้างของพอร์ตใน 83C154, 83C154D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 ผังการทำงานของ Watch Dog

ตารางที่ 2.11 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ใน SFR หลังจากรีเซ็ท โดยสัญญาณจาก Watch Dog

REGISTER	VALUE IN BINARY
*ACC	0000 0000
*B	0000 0000
*PSW	0000 0000
SP	0000 0111
DPTR	0000 0000
*P0	1111 1111
*P1	1111 1111
*P2	1111 1111
*P3	1111 1111
*IP	XXX0 0000 80C51
	XXX0 0000 80C52
	0X00 0000 83C154/83C154D
*IE	0XX0 0000 80C51
	0X00 0000 83C154/83C154D and 80C52
TMOD	0000 0000

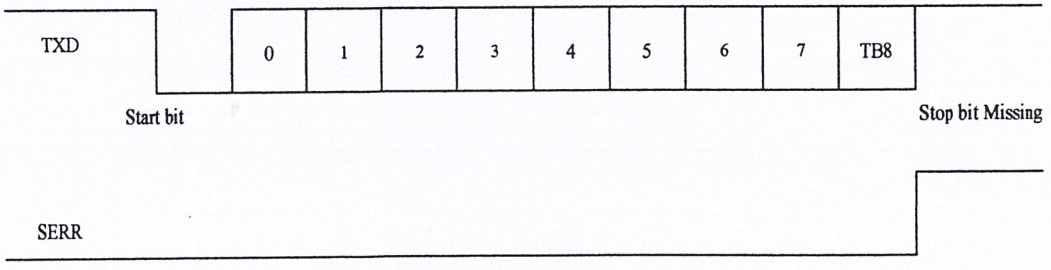
REGISTER	VALUE IN BINARY
*TCON	0000 0000
+*T2CON	0000 0000
TH0	0000 0000
TL0	0000 0000
TH1	0000 0000
TL1	0000 0000
+TH2	0000 0000
+TL2	0000 0000
+RCAP2L	0000 0000
+RCAP2H	0000 0000
*SCON	0000 0000
SBUF	Indeterminate
PCON	0XXX 0000 80C51 and 80C52
	000X 0000 83C154 and 83C154D
-*IOCON	0000 0000

*** : bit addressable.**

+ : 80C52, 83C154 and 83C154D only.

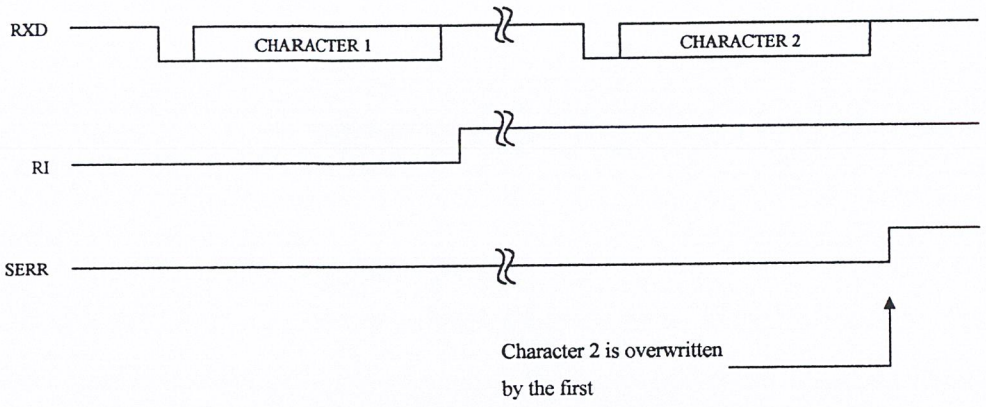
- : 83C154 and 83C154D only.

X : Undefined.



รูปที่ 2.48 ตัวอย่าง Frame Error ที่เกิดขึ้นเมื่อ Stop bit หายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

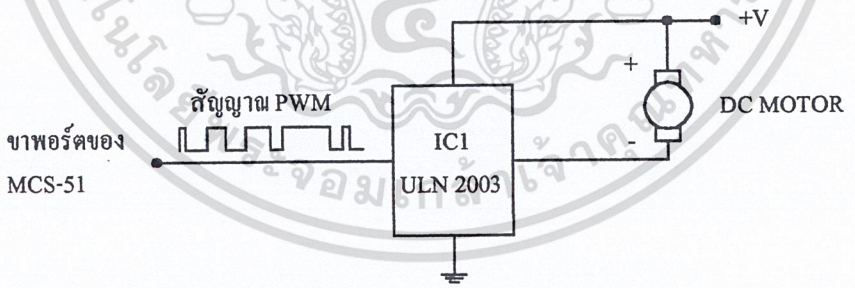


รูปที่ 2.49 ตัวอย่าง Overrun Error ที่เกิดขึ้น

2.4.8 การใช้งาน MCS-51 ขับมอเตอร์ไฟตรง

2.4.8.1 การขับมอเตอร์ไฟตรงด้วยคำสั่ง PWM

สัญญาณ PWM ที่ MCS-51 กำเนิดขึ้นนั้น สามารถนำไปใช้ขับมอเตอร์ไฟตรงได้ แต่ในการขับของ MCS-51 นั้นต้องส่งสัญญาณผ่านไอซีขับโหลดกระแสสูง เช่น เบอร์ ULN2003 ดังมีวงจรตามรูปที่ 2.50 ถ้าหากสัญญาณ PWM มีค่าความกว้างมาก นั่นคือจะเกิดแรงดันที่สูงสำหรับขับมอเตอร์ ส่งผลให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูง แต่ถ้าสัญญาณ PWM มีค่าความกว้างน้อย แรงดันที่ส่งไปขับมอเตอร์ก็จะลดลงตาม ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง

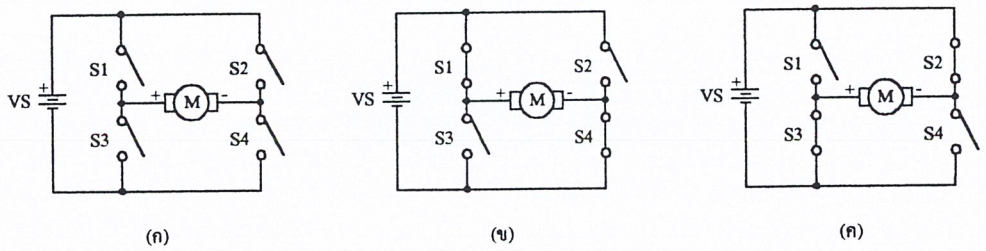


รูปที่ 2.50 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายของ MCS-51 ทำได้โดยการส่งสัญญาณ PWM ผ่านไอซีขับโหลดกระแสสูงเบอร์ ULN2003 วงจรนี้สามารถใช้ได้กับมอเตอร์ไฟตรงสูงสุด +30V, 500mA

2.4.8.2 การขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge

การขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายที่กล่าวมาในตอนต้นนั้น ควบคุมได้เฉพาะความเร็วเท่านั้นไม่สามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้ หากต้องการควบคุมทิศทางการหมุนต้องใช้วงจรขับมอเตอร์แบบเอชบริดจ์ (H-Bridge) ดังมีวงจรสมมูลย์ตามรูปที่ 2.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

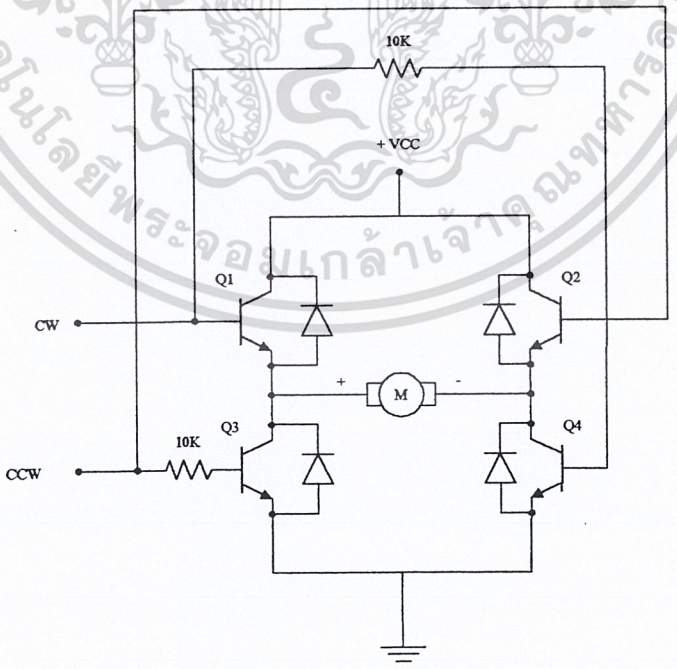


รูปที่ 2.51 แสดงหลักการขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge

ในรูปที่ 2.51 (ก) เป็นสภาวะเริ่มต้น จะเห็นว่าสวิตช์ทั้ง 4 ตัวเปิดวงจรออกหมด ทำให้ไม่มีแรงดันป้อนให้แก่มอเตอร์ เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ทำการต่อวงจร S1 และ S4 ตามรูปที่ 2.51 (ข) จะเห็นว่า แรงดัน +V จากแหล่งจ่ายไฟจะถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของมอเตอร์ และขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับขั้วลบของมอเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านมอเตอร์ มอเตอร์จึงหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW : Clock wise)

เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางหรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW : Counterclockwise) ให้ทำการต่อสวิตช์ S2 และ S3 แทน ในขณะที่ S1 และ S4 เปิดวงจร มอเตอร์ก็จะได้รับแรงดันกลับขั้ว ทำให้กระแสไหลในทิศทางตรง-ข้าม มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางกับในตอนแรก

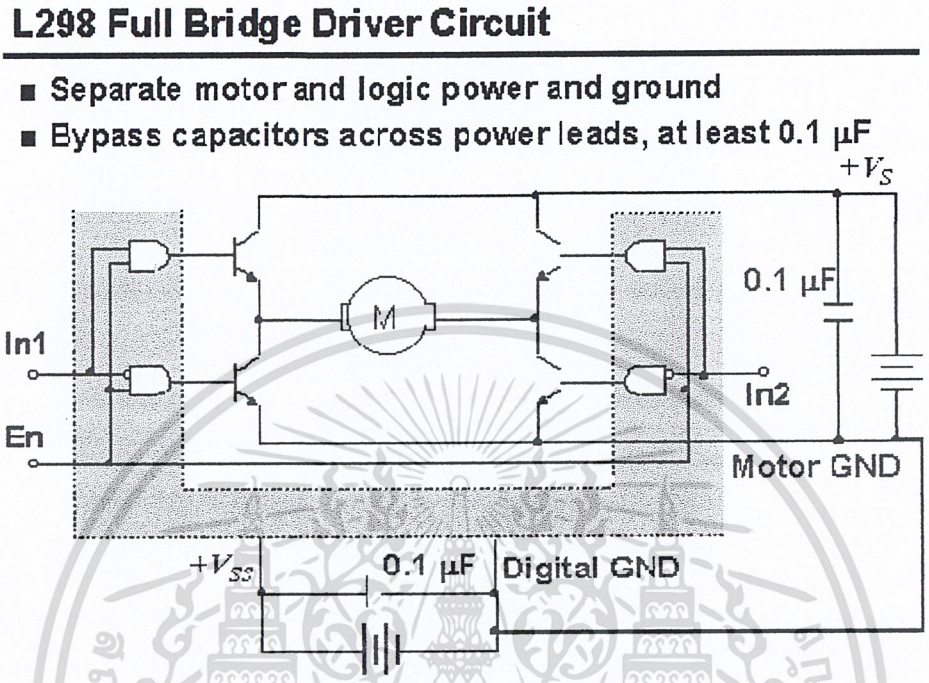
ในวงจรขับจริงจะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ทั้ง 4 ตัว ดังมีตัวอย่างวงจรแสดงในรูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

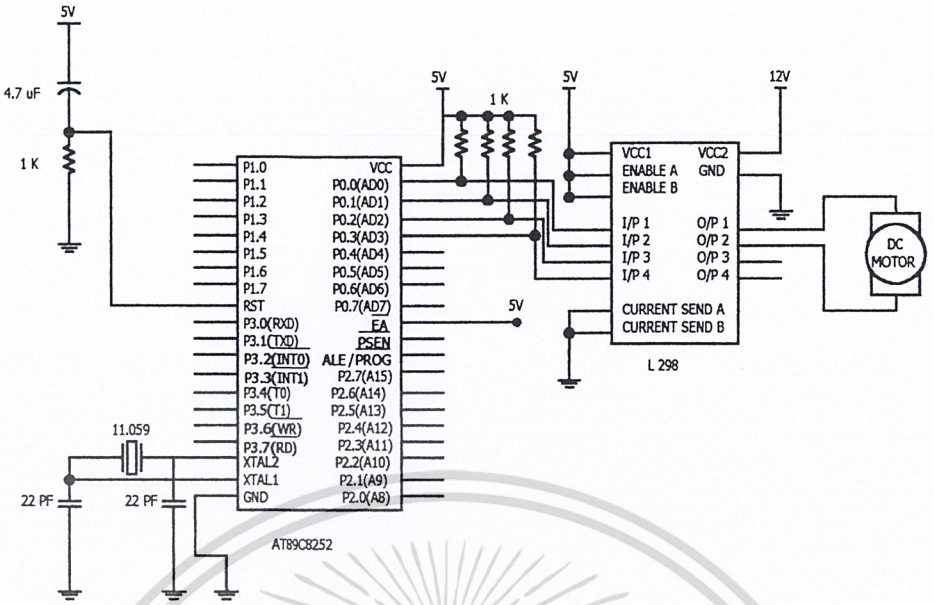
เพื่อความสะดวกในการสร้างวงจรขับแบบ H-Bridge จึงขอแนะนำไอซีเบอร์ L298 มาใช้ในการขับมอเตอร์ไฟตรง สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิคที่น่าสนใจของไอซีเบอร์นี้คือ



รูปที่ 2.53 แสดงวงจร L298 Full Bridge Driver Circuit

- สามารถขับกระแสโหลดได้สูงสุด 4A
- สามารถใช้ไฟเลี้ยงได้สูงสุด 48V
- สามารถใช้สัญญาณดิจิตอลควบคุมได้โดยตรง
- ลอจิก “0” สามารถเพิ่มแรงดันได้สูงถึง 1.5V เมื่อต้องการภูมิคุ้มกันสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.54 ตัวอย่างวงจรขับมอเตอร์ไฟตรง

2.4.8.3 การควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (stepper motor) เป็นมอเตอร์แบบหนึ่งที่มีการหมุนแบบเป็นจังหวะหรือเรียกว่าเป็นสเต็ป กล่าวคือ เมื่อจ่ายสัญญาณให้แก่มอเตอร์อย่างถูกต้อง มอเตอร์จะหมุนไปเป็นจังหวะไม่เหมือนกับมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป ที่เมื่อทำการจ่ายไฟแล้ว ก็จะหมุนไปในทันที ส่วนจะหมุนซ้ายหรือขวาขึ้นอยู่กับขั้วของการจ่ายไฟให้แก่ขดลวดภายในมอเตอร์ ความละเอียดของการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการคือ โครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์และวงจรขับ โดยวงจรขับสามารถที่จะช่วยให้การหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์มีความละเอียดมากขึ้นได้

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีใช้งานในปัจจุบัน มีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบยูนิโพล่าร์และแบบไบโพล่าร์ สำหรับในที่นี้ขออธิบายเฉพาะแบบยูนิโพล่าร์ เนื่องจากในปัจจุบันสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไบโพล่าร์แทบจะไม่มีการใช้งานอีกแล้ว เนื่องจากวงจรที่ใช้ขับมีความซับซ้อนและใช้อุปกรณ์จำนวนมาก ในขณะที่การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ ง่ายกว่า และใช้อุปกรณ์น้อยกว่ามาก

โครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์แสดงดังในรูปที่ 2.55 สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้จะมีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวมีขดลวดทั้งสิ้น 4 เฟส คือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้จึงมีทั้งแบบ 5 และ 6 สาย โดยสายที่ 5 คือสายไฟเลี้ยง ส่วนกรณี 6 สาย จะต้องนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้ง 2 ของมอเตอร์มาต่อร่วมกัน แล้วจ่ายไฟจึงจะทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

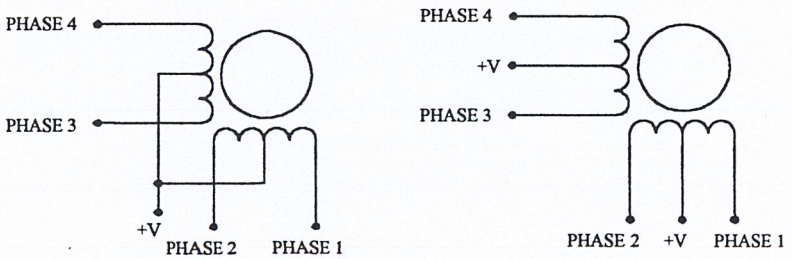
2.4.8.4 รูปแบบการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การขับให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนจะต้องป้อนสัญญาณไฟฟ้าไปยังแต่ละเฟสของขดลวดให้เหมาะสมและมีรูปแบบที่ถูกต้อง สเต็ปเปอร์มอเตอร์จึงจะหมุนได้ โดยมีรูปแบบในการขับอย่างง่าย 3 รูปแบบคือ แบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส, แบบฟูลสเต็ปสองเฟส และ แบบฮาล์ฟสเต็ป (half step)

แบบหนึ่งเฟสเป็นการขับที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการป้อนสัญญาณกระตุ้นขดลวดครั้งละเฟสในช่วงเวลาหนึ่งไล่เรียงกันไป เช่น เริ่มต้นจากเฟสที่ 1 ต่อด้วยเฟสที่ 2, 3 และ 4 แล้ววนกลับมาเฟสที่ 1 ใหม่ หรือจะให้เริ่มจากเฟสที่ 1 ไปยังเฟสที่ 4, 3 และ 2 แล้ววนกลับมาเฟสที่ 1 อีกครั้ง ด้วยลำดับการป้อนสัญญาณกระตุ้นที่ต่างกัน ทำให้ทิศทางในการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์สวนทางกันด้วย การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้จะมีขดลวดเพียงเฟสเดียวที่ได้รับสัญญาณกระตุ้น ในตารางที่ 2.12 แสดงลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบหนึ่งเฟส

แบบสองเฟสจะมีลักษณะคล้ายกับแบบหนึ่งเฟส บางทีเรียกการขับแบบนี้ว่า แบบฟูลสเต็ป (full step) แต่แทนที่จะส่งสัญญาณกระตุ้นเพียงเฟสเดียว ในการขับแบบนี้จะป้อนสัญญาณกระตุ้นไปยังเฟสของมอเตอร์ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงลำดับกันไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังแสดงในตารางที่ 2.13 คือเริ่มต้นด้วยป้อนสัญญาณกระตุ้นไปยังเฟสที่ 1 และ 2 พร้อมกันในสเต็ปที่ 1 ในสเต็ปที่ 2 จะป้อนสัญญาณไปยังเฟสที่ 2 และ 3 ถัดมาในสเต็ปที่ 3 จะทำการป้อนสัญญาณกระตุ้นไปที่เฟส 3 และ 4 ในสเต็ปที่ 4 จะป้อนสัญญาณไปยังเฟสที่ 4 และ 1 แล้ววนกลับไปที่เฟสที่ 1 และ 2 อีกครั้ง ด้วยการขับแบบนี้ทำให้ได้แรงบิดหรือทอค (toque) มากกว่าหนึ่งเฟส แต่ข้อเสียคือ ใช้พลังงานในการขับเพิ่มมากขึ้น

แบบฮาล์ฟสเต็ป การขับแบบนี้ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถช่วยให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถหมุนได้อย่างละเอียดมากขึ้นเป็นสองเท่าของความละเอียดปกติของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยมีรูปแบบการขับให้หมุนแสดงในตารางที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้เป็นการผสมผสานระหว่างการขับแบบหนึ่งและสองเฟส กล่าวคือ มีทั้งการป้อนสัญญาณกระตุ้นไปยังขดลวดเพียงเฟสเดียวและแบบพร้อมกันสองเฟสในช่วงเวลาหนึ่ง ด้วยการขับแบบนี้ส่งผลให้แรงบิดที่ได้จากการหมุนเพิ่มขึ้น เพราะระยะทางในการหมุนสั้นลง ความถูกต้องของตำแหน่งที่หมุนมีเพิ่มมากขึ้น เพียงแต่ว่าในการขับแต่ละสเต็ปจะต้องให้ผลเพียงครึ่งสเต็ปของการขับปกติ ดังนั้นหากต้องการให้การเคลื่อนที่เป็นไปแบบเต็มสเต็ป จะต้องกำหนดให้ทำการหมุนไป 2 สเต็ปต่อเนื่องกัน



รูปที่ 2.55 โครงสร้างของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 ลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส

สเต็ปที่	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.13 ลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฟูลสเต็ปสองเฟส

สเต็ปที่	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

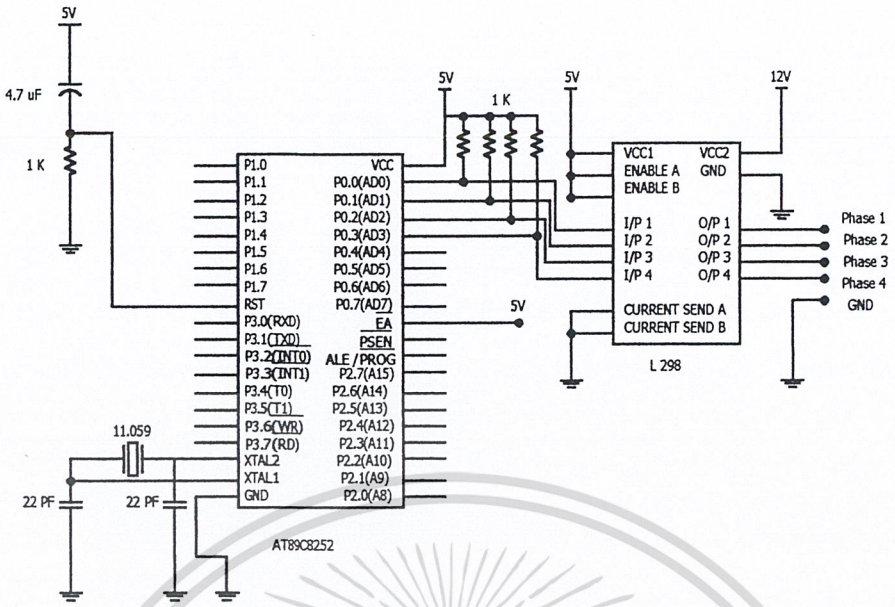
ตารางที่ 2.14 ลำดับการป้อนสัญญาณเพื่อขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบฮาล์ฟสเต็ป

สเต็ปที่	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

2.4.8.5 การใช้ MCS-51 ในการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เนื่องจากขาพอร์ตของ MCS-51 เมื่อทำงานเป็นเอาท์พุต มีความสามารถในการจ่ายกระแสได้ประมาณ 10-20 mA ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ได้โดยตรง จะต้องส่งสัญญาณที่ใช้ในการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ผ่านไอซีหรือวงจรขับกระแสสูง ซึ่งในที่นี้ขอแนะนำไอซีขับโหลดกระแสและแรงดันสูงเบอร์ L298 ดังมีตัวอย่างวงจรแสดงในรูปที่ 2.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.56 ตัวอย่างวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

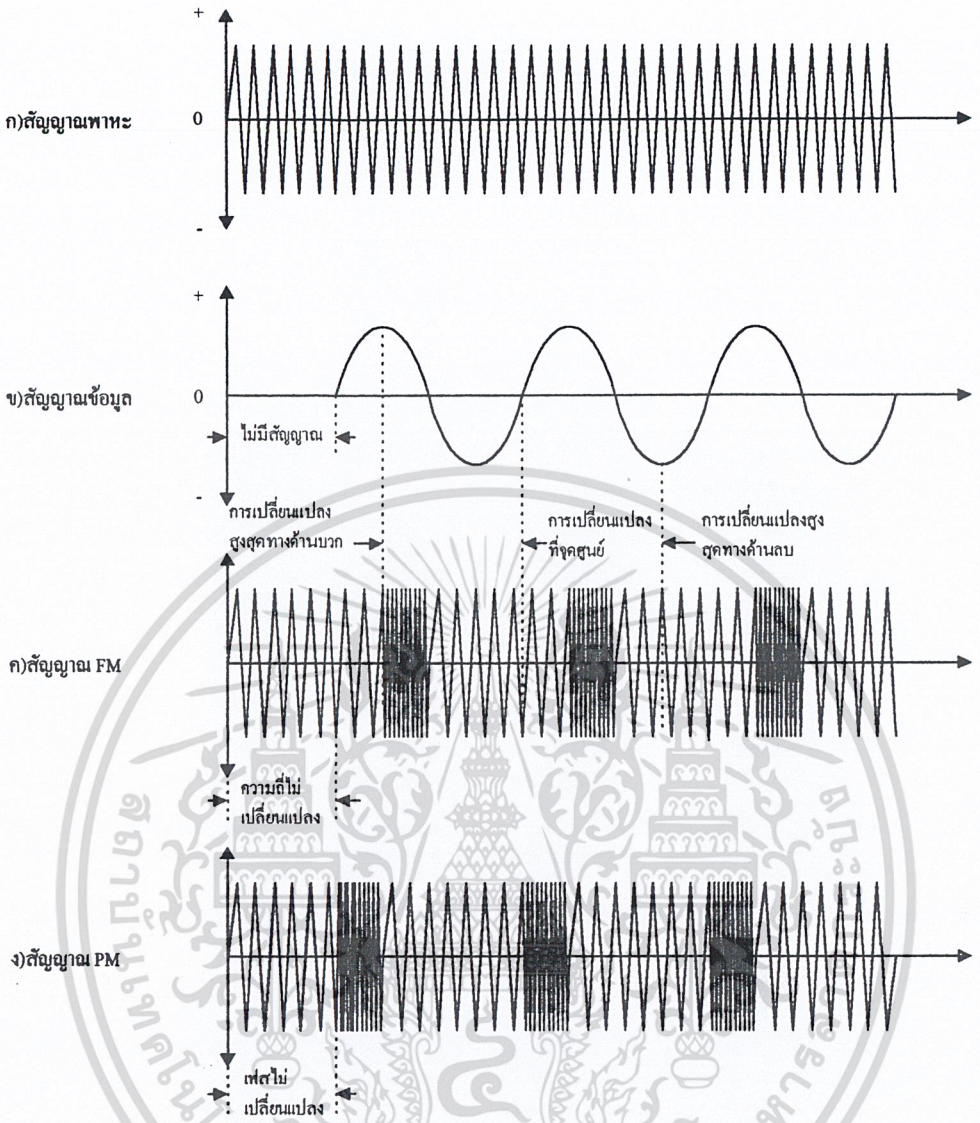
ในการเขียนโปรแกรมควบคุมต้องกำหนดเสียก่อนว่าต้องการขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ในลักษณะใด จากนั้นจึงส่งข้อมูลไปยังขาพอร์ตที่ต่อกับ L298 ทุกครั้งที่ส่งข้อมูลออกไปในแต่ละสเต็ป ต้องหน่วงเวลาเล็กน้อย ก่อนส่งข้อมูลของการหมุนในสเต็ปต่อไป ทั้งนี้เพื่อให้ไอซีขับและสเต็ปเปอร์มอเตอร์สามารถตอบสนองกับข้อมูลได้ทัน ก่อนที่จะรับข้อมูลใหม่ต่อไป

2.5 ทฤษฎีการรับส่งคลื่นวิทยุ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสัญญาณพาหะที่เป็นคลื่นรูปไซน์ ทำให้ทราบว่าสามารถทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาหะได้อีก 2 วิธีนอกจากแอมปลิจูดมอดูเลชั่น คือ การเปลี่ยนความถี่ (Frequency) เรียกว่าฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (Frequency Modulation) และการเลื่อนเฟส (Phase) เรียกว่าเฟสมอดูเลชั่น (Phase Modulation) จากการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณทำให้เกิดการมอดูเลตทางเฟสด้วยทั้งสองวิธีจึงเป็นการมอดูเลชั่นทางมุม (Angle Modulation) สังเกตจากสมการ

$$v_s \approx V_s \sin(2\pi f_s t) \approx V_s \sin(st)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.57 แสดงสัญญาณพาหะสัญญาณข้อมูลและสัญญาณ FM และ PM

2.5.1 ฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (Frequency Modulation)

เป็นการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพาหะตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล โดยที่เอาแอมปลิจูดของสัญญาณคงที่ การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพาหะจะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล เช่น เมื่อสัญญาณข้อมูลมีแอมปลิจูดสูง สัญญาณพาหะก็จะมีความถี่สูงขึ้นด้วย ขณะไม่มีสัญญาณข้อมูลเข้ามามอดูเลต สัญญาณพาหะจะมีค่าความถี่กลางอยู่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า Center Frequency เมื่อมีสัญญาณข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลง ปริมาณความถี่ที่เปลี่ยนไปเรียกว่า ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency Deviation) ค่าสูงสุดของการเบี่ยงเบนจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณข้อมูลมีแอมปลิจูดสูงสุด ความถี่ของสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดให้ทราบถึงจำนวนครั้งในหนึ่งวินาทีที่เกิดการเบี่ยงเบนความถี่ขึ้นไปสูงและต่ำกว่าความถี่กลาง อัตราดังกล่าวถูกเรียกว่าอัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency Deviation Rate) ความถี่ของสัญญาณข้อมูลจะมีผลต่ออัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าว แต่จะไม่มีผลต่อปริมาณของความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าความถี่กลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลเท่านั้น

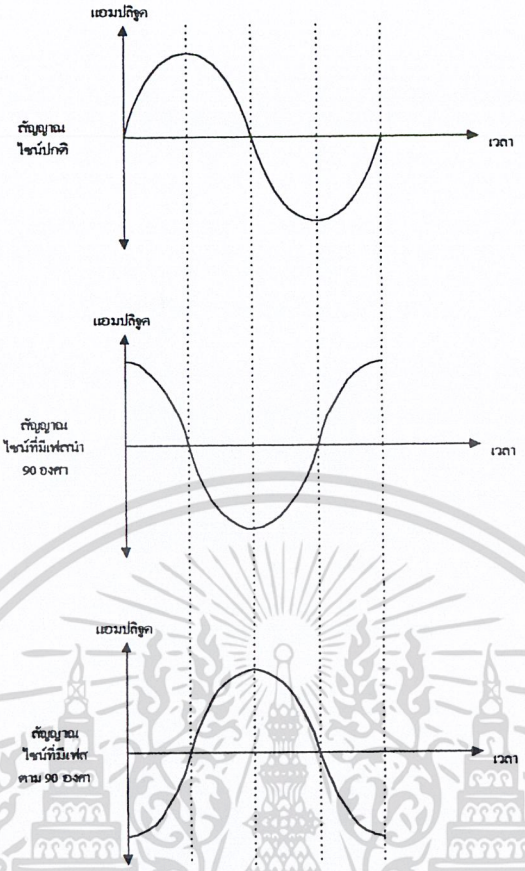
การแสดงให้ทราบถึงปริมาณการเบี่ยงเบนทางความถี่จะเป็นปริมาณของความถี่ที่เลื่อนสูงขึ้นหรือต่ำลงไปจากค่าความถี่กลาง เช่น หากมีค่าความถี่กลางเป็น 900 MHz และมีค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 200 kHz หมายความว่าสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วจะมีค่าความถี่สูงสุด ซึ่งขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดเท่ากับ 900.2 MHz และค่าต่ำสุดเท่ากับ 899.8 MHz

2.5.2 เฟสมอดูเลชั่น (Phase Modulation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ของความถี่คงที่ของสัญญาณพาหะตามสัญญาณข้อมูล การเลื่อนเฟสหมายถึงการที่เวลาแตกต่างกันระหว่างคลื่นไซน์สองลูกที่มีความถี่เดียวกัน ลูกหนึ่งที่มีเฟสนำ (Leading) หมายความว่าเป็นสัญญาณที่เกิดที่เวลาก่อนสัญญาณอีกลูกหนึ่ง หรือการที่มีเฟสตาม (Lagging) จะหมายความว่าเป็นสัญญาณที่เกิดที่เวลาหลังจากสัญญาณอีกลูกหนึ่ง การมอดูเลตทางเฟสการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณพาหะจะขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล เมื่อสัญญาณเพิ่มขึ้นทางบวก (โดยไม่เกี่ยวกับปริมาณของแอมปลิจูด) ปริมาณของเฟสตามจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล

สัญญาณพาหะจะถูกทำให้หน่วงเวลาไปเป็นผลให้สัญญาณที่ออกมา เป็นสัญญาณพาหะความถี่คงที่ซึ่งถูกยืดออกหรือความถี่ต่ำลง เมื่อสัญญาณข้อมูลลดลงทางลบเฟสก็จะเปลี่ยนเป็นเฟสนำ ในช่วงนี้สัญญาณพาหะจะถูกเร่งความเร็วขึ้น นั่นคือความถี่ของสัญญาณพาหะก็จะสูงขึ้นจากปริมาณการเลื่อนเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ของสัญญาณพาหะ เกิดเป็นการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม (Indirect FM) ที่ได้จากการมอดูเลตทางเฟส (PM) แต่การมอดูเลตทางความถี่จะเกิดเมื่อการเลื่อนเฟสมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เท่านั้น หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสการเปลี่ยนแปลงทางความถี่จะไม่เกิดขึ้น หากพิจารณาสัญญาณข้อมูลขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดแอมปลิจูด การเปลี่ยนแปลงทางความถี่จะเกิดขึ้นจากตัวมอดูเลตทางเฟสหรือตัวเลื่อนเฟส และหากสัญญาณข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะเป็นสัญญาณพาหะความถี่เดิมที่ถูกเลื่อนเฟสไปค่าหนึ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



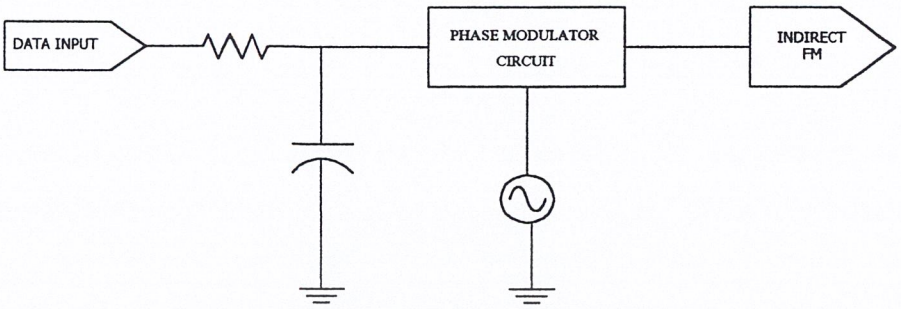
รูปที่ 2.58 สัญญาณไซน์ปกติ สัญญาณไซน์ที่มีเฟสนำ 90 องศาและเฟสตาม 90 องศา

จากการมอดูเลตทางเฟส ค่าเบี่ยงเบนความถี่มากที่สุดจะปรากฏในช่วงที่สัญญาณข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราสูงสุด เช่น ณ จุดที่สัญญาณข้อมูลรูปไซน์มีการเปลี่ยนค่าจากบวกไปหาลบหรือจากลบไปหาบวกหรือจุดที่สัญญาณตัดกับแกนเวลา และมีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์นั่นเอง (Zero Crossing Point) แต่สำหรับการมอดูเลตทางความถี่ค่าเบี่ยงเบนความถี่มากที่สุดจะเกิดที่แอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลมีค่าสูงสุดทั้งทางบวกและทางลบ ถึงแม้ว่าตัวมอดูเลตทางเฟสจะสร้างสัญญาณแบบมอดูเลตทางความถี่ (FM) แต่ค่าเบี่ยงเบนความถี่จะปรากฏที่คนละช่วงเวลานั่นคือความแตกต่างของการมอดูเลตทั้งสองแบบในการมอดูเลตทางเฟส (PM) ค่าของเฟสนำและเฟสตามที่มากที่สุดจะปรากฏที่แอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณข้อมูล และค่าเบี่ยงเบนความถี่ที่สัญญาณขาออกของวงจรเลื่อนเฟสจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล ยิ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมีค่าสูงมากค่าเบี่ยงเบนความถี่จะยิ่งมากทำให้พอจะสรุปได้ว่าในการมอดูเลตทางเฟสนั้นการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสองอย่างคือ ความถี่และแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล ในขณะที่การมอดูเลตทางความถี่ (FM) จะมีค่าเบี่ยงเบนความถี่ขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลเพียงอย่างเดียว

จากความแตกต่างดังกล่าว เมื่อนำสัญญาณข้อมูลมาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ ซึ่งทำให้สัญญาณความถี่สูงสุดถูกลดทอนแอมปลิจูดลงไป และต่อเข้าวงจรมอดูเลตทางเฟส ผลของสัญญาณข้อมูลที่ความถี่สูง ซึ่งทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่มากก็ลดลงเนื่องจากวงจรกรองเป็นตัวชดเชย เป็นผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่มากลดลงผลลัพธ์ของสัญญาณที่ได้ ก็จะเหมือนกับสัญญาณมอดูเลตทางความถี่หรือที่เรียกว่าการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม (Indirect FM)



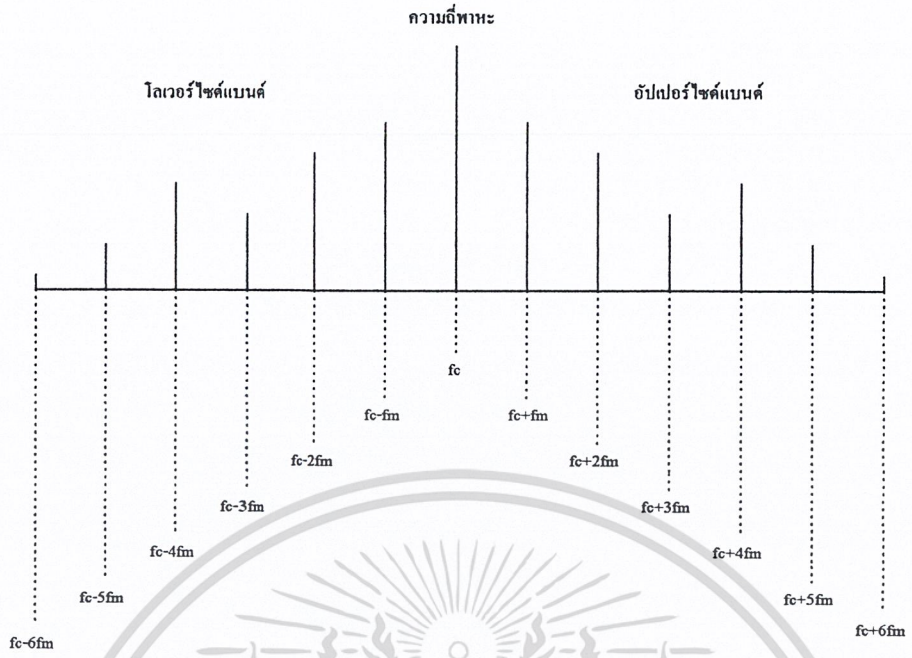
รูปที่ 2.59 วงจร Indirect FM

วงจรที่ใช้ในระบบสื่อสารส่วนใหญ่จะเป็นวงจรมอดูเลตทางเฟสมากกว่า เนื่องจากมีตัวคริสตอลออสซิลเลเตอร์ ทำให้เราสามารถสร้างสัญญาณพาหะที่มีความถี่เที่ยงตรงและเสถียรได้ดี ในขณะที่วงจรมอดูเลตทางความถี่จะต้องการตัวสร้างสัญญาณความถี่ในช่วงกว้าง ๆ ซึ่งตัวคริสตอลออสซิลเลเตอร์ไม่สามารถทำได้ แต่จากตัวอย่างข้างต้นสัญญาณมอดูเลตทางความถี่สูงก็ถูกสร้างได้จากวงจรมอดูเลตทางเฟส และยิ่งกว่านั้นวงจรมอดูเลตทางเฟสก็สามารถสร้างได้ง่ายกว่าวงจรมอดูเลตทางความถี่

2.5.3 ความถี่ข้างเคียงและดัชนีมอดูเลชั่น

ผลจากการมอดูเลตไม่ว่าด้วยวิธีการใดจะทำให้เกิดความถี่ข้างเคียงขึ้น ในการมอดูเลตทางความถี่และทางเฟสก็เกิดความถี่และทางเฟสก็เกิดความถี่ข้างเคียงที่เป็นความถี่ของผลรวมและผลต่างของสัญญาณพาหะและสัญญาณข้อมูลขึ้นเช่นกัน ตามทฤษฎีแล้วจะเกิดคู่ของความถี่ข้างเคียงขึ้นเป็นจำนวนอนันต์คู่ ทั้งด้านบนและด้านล่างของความถี่กลาง ทำให้สัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่และเฟสมีการใช้งานแถบความถี่ (Spectrum) มากกว่าสัญญาณที่มอดูเลตทางแอมปลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.60 แสดงแถบความถี่ของสัญญาณ FM

จากรูปแถบความถี่ของสัญญาณมอดูเลตทางความถี่โดยทั่วไป ที่สัญญาณพาหะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณรูปไซน์ความถี่เดียวจะมีลักษณะที่น่าสังเกตคือ ความถี่ข้างเคียงจะเว้นระยะห่างจากสัญญาณความถี่พาหะและความถี่ข้างเคียงด้วยกันเป็นระยะเท่า ๆ กัน เท่ากับความถี่สัญญาณข้อมูลและแอมปลิจูดของสัญญาณข้างเคียงจะไม่เท่ากัน

ลักษณะต่าง ๆ ของจำนวนความถี่ข้างเคียง ขนาดแอมปลิจูดของความถี่ข้างเคียงและระยะห่างระหว่างความถี่ จะขึ้นอยู่กับค่าเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation) และความถี่ของสัญญาณข้อมูล แม้ว่าสัญญาณมอดูเลตทางความถี่จะมีความถี่ข้างเคียงจำนวนอนันต์แต่ความถี่ข้างเคียงที่มีแอมปลิจูดสูงสุดเพียงพอเท่านั้นจะถือว่าเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลอยู่ โดยปรกติสัญญาณที่มีแอมปลิจูดต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณพาหะที่ยังไม่ถูกมอดูเลตจะถือว่าไม่มีความสำคัญ

จากความสัมพันธ์ข้างต้น ทำให้เกิดอัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนความถี่กับความถี่ของสัญญาณข้อมูล ซึ่งเรียกว่าดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) มีตัวย่อว่า m

$$m = f_d / f_m$$

เมื่อ f_d คือค่าเบี่ยงเบนความถี่

เมื่อ f_m คือความถี่ของสัญญาณข้อมูล

ค่าเบี่ยงเบนความถี่และค่าความถี่ของสัญญาณข้อมูลมักจะใช้ค่ามากที่สุด เพื่อนำมาคำนวณดัชนีการมอดูเลต และนอกจากนั้นค่าดัชนีดังกล่าว (m) ก็ถูกเรียกว่า อัตราการเบี่ยงเบนด้วย ตัวอย่างของค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนี เช่น ในวิทยุกระจายเสียงระบบ FM จะมีค่าเบี่ยงเบนได้มากที่สุด 75 kHz และมีค่าความถี่ของสัญญาณข้อมูลสูงสุด 15 kHz ดังนั้นจะได้ค่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ m = 75 / 15 = 5

เมื่อทราบค่าดัชนีการมอดูเลตจะทำให้สามารถทราบจำนวนและขนาดของแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่ข้างเคียงได้ด้วยการคำนวณจากสมการฟังก์ชันของเบสเซล (Bessel Function) ผลจะได้ออกมา คอลัมน์ซ้ายมือสุดเป็นค่าดัชนีการมอดูเลตและคอลัมน์ที่เหลือเป็นแอมปลิจูดต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณพาหะจะไม่ถูกแสดงบนตารางสัญญาณข้างเคียงและสัญญาณพาหะบางตัวมีค่าแอมปลิจูดเป็นลบซึ่งแสดงว่ามีการเลื่อนเฟสไป 180 องศา หรือกลับเฟสนั่นเอง

สัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่ (FM) จะใช้แถบความกว้างเท่าใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลตด้วยเช่นกัน หากค่าดัชนีการมอดูเลตมากก็จะใช้แถบความถี่กว้างมาก ดังนั้นสามารถประหยัดแถบความถี่ได้ด้วยการจำกัดค่าของดัชนีการมอดูเลต ความกว้างของแถบความถี่สามารถหาได้จากค่าดัชนีการมอดูเลตดังสมการ

$$\text{แถบความกว้างของความถี่ (Bandwidth)} = 2f_m \times \text{จำนวนความถี่ข้างเคียงที่สำคัญ}$$

เมื่อ f_m คือความถี่ของสัญญาณข้อมูล

เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นสัญญาณของพาหะจะมีขนาดแอมปลิจูดลดลง และแอมปลิจูดของสัญญาณข้างเคียงก็จะมีค่ามากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่ค่าแอมปลิจูดจะมีขนาดลดลงและแอมปลิจูดของสัญญาณข้างเคียงก็จะมีค่ามากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่ค่าแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะหายไปเปรียบเทียบกับสัญญาณในแบบมอดูเลตทางแอมปลิจูดปริมาณการมอดูเลตจะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลกับแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะ หากปริมาณทั้งสองเท่ากันอัตราส่วนจะเป็นหนึ่งเป็นผลให้เกิดการมอดูเลต 100 % แต่หากสัญญาณข้อมูลมีค่าสูงกว่าจะทำให้เกิดการมอดูเลตมากเกินไป (Over modulation) และเกิดความเพี้ยนของสัญญาณขึ้น สำหรับการมอดูเลตทางความถี่จะไม่ทำให้เกิดการมอดูเลตมากเกินไปหรือสัญญาณเพี้ยน แต่จะทำให้เกิดค่าเบี่ยงเบนความถี่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าดัชนีการมอดูเลตทางความถี่สูงขึ้น และต้องใช้แถบความถี่กว้างมากขึ้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตทางความถี่} = (\text{ค่าเบี่ยงเบนความถี่จริง} / \text{ค่าเบี่ยงเบนที่สูงที่สุด}) \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวไม่ควรเกิน 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากจะไปรบกวนการใช้แถบความถี่ของช่องอื่นที่อยู่ข้างเคียง

2.5.4 เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitters)

จุดเริ่มต้นของการส่งคลื่นวิทยุนั้นประกอบด้วยการสร้างสัญญาณที่เป็นสื่อ หรือพาหะที่เรียกว่า Carrier Generator นำสัญญาณมามอดูเลตกับสัญญาณข้อมูล แล้วจึงทำการขยายสัญญาณเพื่อส่งออกไปยังสายอากาศหรือตัวนำคลื่นเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) ส่วนประกอบของเครื่องส่งสัญญาณคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วงจรสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier Generator) โดยส่วนมากจะเป็นวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) ซึ่งจะให้สัญญาณความถี่ที่ต้องการได้เที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพ โดยส่วนมากมักมีการต่อวงจรขยายแบบบัฟเฟอร์เข้าไปเพื่อแยกวงจรออสซิลเลเตอร์ออกจากโหลด เป็นการป้องกันการเปลี่ยนความถี่เนื่องจากค่าโหลดของวงจรออสซิลเลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไป

2. วงจรมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) ทำการแปลงคุณสมบัติของสัญญาณพาหะให้มีลักษณะตามการเปลี่ยนของข้อมูลหรือเสียงพูดที่ต้องการส่ง

3. วงจรขยาย (Amplifier) เป็นการขยายสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ ในขั้นตอนที่ต่างกัน เช่น ขยายสุดท้ายก่อนที่จะออกไปที่สายอากาศ สำหรับวงจรขยายมีการจัดออกเป็นหลายแบบมีการเรียกเป็นคลาส (Class) ตามวิธีการไบอัสวงจรขยาย ดังต่อไปนี้

3.1 วงจรขยายคลาสเอ (Class A) เป็นวงจรขยายที่ต่อทรานซิสเตอร์แบบที่มีการไบอัสให้วงจรทรานซิสเตอร์ มีกระแสไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์ (Collector) หรือที่เรียกว่ากระแสเดรน (Drain Current) ตลอดเวลาเป็นวงจรแบบเชิงเส้น (Linear Amplifier) เนื่องจากสัญญาณที่ได้ในขาออกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณขาเข้า แต่วงจรคลาสเอเป็นวงจรขยายที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเนื่องจากวงจรมีการขยายสัญญาณโดยทำงานตลอดลูกคลื่นหรือที่เรียกว่าครบ 360 องศาดังนั้นวงจรขยายคลาสเอจึงไม่เหมาะที่จะเป็นวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier) เพราะโดยปรกติมักใช้ในวงจรขยายกำลังต่ำ (Low Power Amplifier) เช่น วงจรขยายแบบบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier)

3.2 วงจรขยายคลาสบี (Class B) เป็นวงจรขยายที่ต่อทรานซิสเตอร์แบบที่มีการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงคัทออฟ (cut off) เป็นภาวะที่ไม่มีกระแสไหล โดยปรกติเมื่อไม่มีสัญญาณขาเข้าก็จะไม่มีกระแสไหลที่ขาคอลเลคเตอร์ ตัวทรานซิสเตอร์จะทำงานนำกระแสเพียงช่วงครึ่งลูกของสัญญาณไซน์คือ จะทำงานเพียง 180 องศาของสัญญาณขาเข้า มีเพียงสัญญาณครึ่งลูกเท่านั้นที่ถูกขยาย ดังนั้นในเวลาที่ต้องการขยายสัญญาณเต็มลูกคลื่นจึงมีการต่อวงจรที่เรียกว่า Push-Pull โดยใช้วงจรขยายคลาสบีสองชุดทำงานทั้งในช่วงสัญญาณบวกและสัญญาณลบสลับต่อเนื่องกันไปวงจรขยายคลาสบีมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาสเอ เนื่องจากการไหลของกระแสไฟจะเกิดเพียงช่วงหนึ่งของสัญญาณเท่านั้นซึ่งเหมาะสำหรับวงจรขยายกำลัง แต่สัญญาณที่ได้ก็ยังมีความเพี้ยนผิดรูปแบบ (Distortion) อยู่

3.3 วงจรขยายคลาสเอบี (Class AB) เป็นวงจรขยายที่มีการไบอัสทรานซิสเตอร์ให้อยู่ในช่วงที่เกือบจะคัทออฟจึงมีกระแสไหลที่ขาคอลเลคเตอร์เล็กน้อย ทำให้เมื่อมีสัญญาณเข้ามาก็จะทำงานในช่วงของสัญญาณที่มากกว่า 180 องศาแต่ไม่ถึง 360 องศาของลูกคลื่นไซน์และก็มักมีการต่อใช้ในรูปแบบของวงจรขยายแบบ Push-Pull เช่นเดียวกับคลาสบี มีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าแต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า

วงจรขยายในแบบคลาสเอ คลาสบี คลาสเอบี เช่น วงจรขยาย AM แบบกำลังต่ำหรือแบบซิงเกิลไซด์แบนด์ (Single Side Band : SSB) วงจรขยายแบบไม่เชิงเส้น เช่น วงจรขยายคลาสซี (Class C) ที่เป็นวงจรซึ่งใช้มากในเครื่องส่งแบบ AM และ FM สำหรับการขยายกำลัง (Power Amplifier) ในรูปของวงจรขับ วงจรคูณความถี่ (Frequency Multiplier) และวงจรขยายภาคสุดท้าย (Final Amplifier)

3.4 วงจรขยายคลาสซี (Class C) เป็นวงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำให้มีการนำสัญญาณเพียงส่วนที่น้อยกว่า 180 องศาของลูกคลื่นไซน์ขาเข้า วิธีการไบอัสทรานซิสเตอร์สำหรับคลาสซีมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ไบอัสด้วยสัญญาณ (Signal Bias), ไบอัสด้วยวงจรภายนอก (External Bias), ไบอัสด้วยตัวเอง (Self Bias) และปรกติมีมุมช่วงทำงานของวงจรอยู่ในช่วง 90 องศาถึง 150 องศา นั่นหมายถึงมีเพียงสัญญาณพัลส์เล็ก ๆ เท่านั้นที่ออกมาดังนั้นการทำให้มีสัญญาณขยายเต็มลูกคลื่นจะต้องมีการนำวงจรจูนเรโซแนนท์ (Resonant Tuned Circuit) มาต่อเข้าที่ขาออกเพื่อที่จะได้สัญญาณลูกคลื่นรูปไซน์เต็มลูกคลื่น เช่น การทำงานแบบคู่ขนาน (Parallel Tuned Circuit) ที่จะทำให้เกิดสัญญาณความถี่ที่ความถี่เรโซแนนท์เมื่อใดก็ตามที่ได้รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยาย วงจรจูนแบบคู่ขนานประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor) และลวดตัวนำ (Inductor) เมื่อได้รับสัญญาณพัลส์ก็จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างคาปาซิเตอร์และลวดตัวนำ ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์ฟลายวีล (Fly Wheel Effect) ซึ่งจะสร้างสัญญาณลูกคลื่นไซน์ที่ความถี่เรโซแนนท์ ขณะเดียวกันวงจรจูนดังกล่าวก็ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกด้วย วงจรขยายคลาสซีสามารถใช้เป็นวงจรจูนความถี่ได้ โดยการต่อเข้ากับวงจรเรโซแนนท์ที่สร้างความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของสัญญาณความถี่เข้า และที่เหนือกว่าคลาสอื่น ๆ ก็คือคลาสซีมีการขยายสัญญาณขาเข้าเพียงช่วงสั้น ๆ เท่านั้น ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

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

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

หน้าที่ของเครื่องรับสัญญาณคือ ทำการเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการออกมาจากสัญญาณอื่น ๆ ที่ถูกส่งออกมาในอากาศ และขยายสัญญาณกลับไปเป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาได้โดยปรกติ เครื่องรับจะมีปัจจัย 2 ประการที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

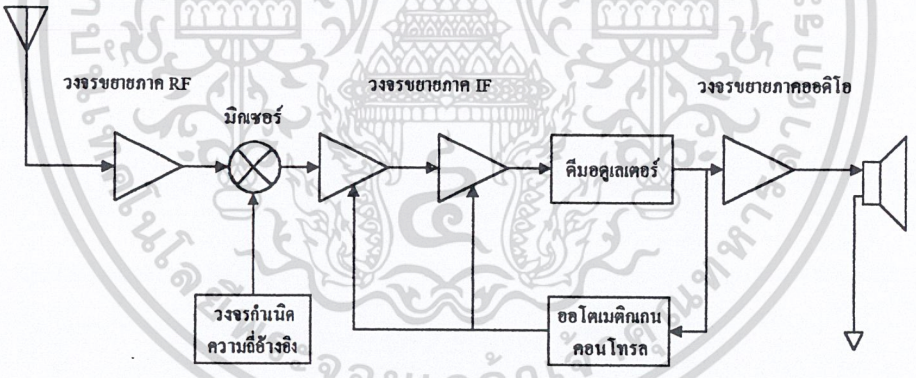
1. ค่าซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) หมายถึงความสามารถในการรับสัญญาณที่ต้องการเข้ามาเท่านั้น หากเครื่องรับสัญญาณมีค่าซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) ที่ดีก็จะสามารถรับสัญญาณที่ต้องการเข้ามาเท่านั้นและกำจัดช่องสัญญาณข้างเคียงที่ไม่ต้องการออกไปได้

2. ค่าเซ็นซิติวิตี้ (Sensitivity) หมายถึงความสามารถในการรับสัญญาณที่ต้องการที่มีขนาดเล็กหรือสัญญาณอ่อน แล้วนำมาขยายให้ได้สัญญาณที่มีความแรงมากขึ้น โดยปรกติค่าเซ็นซิติวิตี้จะแสดงถึงการขยายสัญญาณด้วย นั่นก็คือยิ่งมีกำลังขยายมากค่าเซ็นซิติวิตี้ยิ่งดี และจะแสดงอยู่ในรูปของค่าแรงดันของสัญญาณขาเข้าที่มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งสามารถขยายสัญญาณได้มากกว่า 10 เท่าของสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องรับที่มีรูปแบบง่ายได้แก่เครื่องจูนความถี่วิทยุ TRF (Tuned Radio Frequency Receiver) ซึ่งมีการทำงานดังนี้ สัญญาณที่รับเข้ามาทางสายอากาศจะถูกต่อเข้ากับวงจรจูน ซึ่งมีการต่อกับวงจรขยายที่เป็นวงจรสำหรับภาคความถี่ย่านคลื่นวิทยุ วงจรจูนอาจมีการต่อขนานกันหลายชั้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าซีเล็กติวิตี้ให้กับเครื่องรับ ส่วนวงจรขยายสัญญาณภาคความถี่ย่านคลื่นวิทยุ (RF Radio Frequency Amplifier) ก็ได้ช่วยให้เครื่องรับมีค่าเซ็นซิติวิตี้ดีขึ้น เป็นการขยายสัญญาณที่รับเข้ามาก่อนที่จะนำไปเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector) ผลที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณข้อมูลหรือสัญญาณเสียงที่สามารถนำมาขยายต่อในวงจรขยายภาคสัญญาณความถี่เสียง (AF Audio Frequency Amplifier) ให้ได้สัญญาณออกมาที่ลำโพง วงจรเครื่องรับในแบบ TRF นั้นยังมีความยุ่งยากในการปรับความถี่อยู่มากเนื่องจากการปรับวงจรจูนที่มีหลายชุดต่อ ๆ กันจะต้องทำการปรับหลายครั้ง ต่อมาในภายหลังจึงมีการต่อวงจรหลาย ๆ ชุดเข้าด้วยกันทำให้การปรับเครื่องรับสัญญาณง่ายขึ้น ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างของเครื่องรับสัญญาณแบบ TRF ก็คือค่าซีเล็กติวิตี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความถี่ของสัญญาณที่สูงขึ้น โดยค่าซีเล็กติวิตี้จะมีค่าที่ดีที่ความถี่ต่ำ

เครื่องรับที่มีการแก้ไขปัญหาข้างต้นได้อย่างดีก็คือ เครื่องรับในแบบที่เรียกว่า ซูเปอร์เฮตเทอร์-โรดายน์ (Superheterodyne) หลักการของวงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ก็คือ การแปลงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาให้เป็นความถี่ค่ากลางค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความถี่ไอเอฟ (IF Intermediate Frequency)



รูปที่ 2.61 วงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์

วงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์สามารถใช้วงจรขยายเพียงชุดเดียวก็สามารถให้ค่าซีเล็กติวิตี้และค่าเซ็นซิติวิตี้ที่ดีได้ วงจรหลักในเครื่องรับซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ คือ วงจรมิกเซอร์ ซึ่งจะทำการแปลงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุให้ค่ากำลังขยายและค่าซีเล็กติวิตี้ในช่วงแรกที่เรียกกันว่าปรีซีเล็กเตอร์ (Pre selector) ถัดมาในภาคที่สองเป็นวงจรจูน (Tuned Circuit) สำหรับช่วยในการเลือกสัญญาณที่ต้องการหรือช่วงสัญญาณที่ต้องการ วงจรจูนอาจสร้างให้มีค่า Q สูง ๆ ทำให้มีค่าซีเล็กติวิตี้ดีขึ้น แต่โดยปกติแล้ววงจรจูนในภาคนี้มักต้องทำงานในช่วงความถี่กว้าง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้หลายช่อง ในเครื่องรับบางเครื่องอาจไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุในชุดแรก เนื่องจากไม่มีความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะความแรงของสัญญาณที่ได้รับอาจมีมากอยู่แล้ว เช่น ในสัญญาณความถี่ต่ำ แต่จะไปขยายสัญญาณอีกครั้งในภาคความถี่ตัวกลาง (IF Amplifier) แต่โดยทั่วไปจะเป็นการดีกว่าที่จะมีวงจรขยายความถี่วิทยุอยู่เพื่อเพิ่มค่าเซ็นซิติวิตี้ เนื่องจากว่าจะได้กำลังขยายมากขึ้น และเพิ่มค่าซีเล็กติวิตี้ เพราะเป็นวงจรจูนอยู่ด้วยส่วนหนึ่ง และทำให้อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้นด้วย (Signal to Noise Ratio) อีกเหตุผลหนึ่งที่ควรจะมีวงจรขยายความถี่วิทยุ เพราะจะช่วยแยกสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องรับข้างเคียงที่เป็นผลมาจากการแพร่กระจายของสัญญาณจากวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) ที่ผ่านไปทางสายอากาศได้สัญญาณจาก LO มีความแรงมากอาจจะรั่วไหลและไปเข้าที่ขาของวงจรมิกเซอร์ได้ในการสร้างวงจรขยายและวงจรมิกเซอร์ หากใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าร์ (Bipolar Transistor)

สัญญาณที่ได้ออกมาจากมิกเซอร์จะเป็นผลรวม และผลต่างของความถี่ของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณความถี่คงที่จาก LO และจะมีวงจรจูนซึ่งเป็นวงจรกรองเพื่อเลือกเอาสัญญาณผลต่างของความถี่ที่ต้องการออกมา นั่นคือ ค่าความถี่กลาง (Intermediate Frequency) วงจรของมิกเซอร์อาจสร้างจากไดโอด หรือบาลานซ์มอดูเลเตอร์ (Balance Modulator) สำหรับเครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณได้ในความถี่หนึ่ง ๆ วงจร LO จะต้องสามารถจูนได้ ความถี่ของวงจรต้องสามารถเปลี่ยนได้ในช่วงความถี่ค่อนข้างกว้างเพื่อที่จะทำให้วงจรมิกเซอร์สามารถแปลงความถี่ที่เข้ามาให้เป็นความถี่กลาง IF ได้ ในวงจรทั่วไปมิกเซอร์และ LO จะเป็นวงจรแยกกัน แต่สำหรับวงจรความถี่ต่ำมิกเซอร์อาจจะรวมกับ LO ได้ซึ่งเรียกว่าวงจรแปลง (Converter)

สัญญาณขาออกของมิกเซอร์เป็นสัญญาณที่ความถี่กลางซึ่งมีคุณสมบัติของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตจากด้านเครื่องส่งเช่นเดียวกับสัญญาณที่ถูกส่งมาจะถูกขยายโดยวงจรขยายความถี่กลางอีกหลายชุด และในเครื่องรับส่วนใหญ่จะมีวงจรขยายอยู่ในภาคความถี่กลางนี้เมื่อ IF มักอยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่าสัญญาณขาเข้า วงจรขยายความถี่กลางก็จะถูกออกแบบได้ง่ายกว่า และมีค่าซีเล็กติวิตี้ดีกว่า พร้อมกันนี้ก็จะมีการสร้างวงจรจูนในภาคนี้ด้วยซึ่งก็จะให้ค่าซีเล็กติวิตี้ที่ดีขึ้นอีกระดับหนึ่ง วงจรจูนในที่นี้ก็คือวงจรกรองแบบคริสตอล (Crystal), แมคคานิคอล(Mechanical), เซรามิค(Ceramic)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

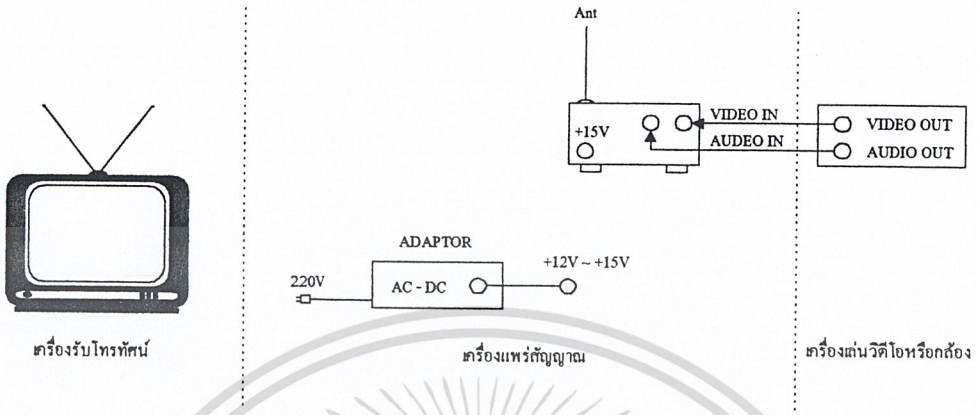
ค่าแอมปลิจูดของสัญญาณคลื่นวิทยุที่สายอากาศของเครื่องรับสามารถมีค่าตั้งแต่ระดับไมโครโวลท์ไปจนถึงระดับหลายโวลท์ ซึ่งแสดงถึงช่วงกว้างของสัญญาณที่เรียกว่าช่วงไดนามิก (Dynamic Range) โดยปกติเครื่องรับมักมีกำลังขยาย (Gain) เพื่อที่จะรับสัญญาณที่มีระดับได้ดี แต่ถ้าหากสัญญาณขาเข้ามีแอมปลิจูดสูงมาก ก็จะทำให้ไม่สามารถเข้าใจข้อความที่ถูกส่งมาได้ โดยการใช้วงจรควบคุมกำลังขยายอัตโนมัติ กำลังขยายโดยรวมของเครื่องรับจะสามารถปรับโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณขาเข้าหากสัญญาณที่ออกมาหลังวงจรตรวจจับมีค่าสูงมาก วงจร AGC จะกำเนิดสัญญาณไฟตรงที่มีค่าความต่างศักย์ค่าสูงค่าหนึ่งซึ่งจะถูกป้อนกลับไปลดกำลังขยายของวงจรขยายความถี่กลาง

ปัญหาที่พบและสำคัญมากในวงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์เมื่อความถี่กลางมีค่าต่ำก็คือเรื่องของอิมเมจฟรีเควนซี่ (Image Frequency) ซึ่งมีลักษณะเป็นความถี่ที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการมีค่าอยู่สูงขึ้นไปสองเท่าของความถี่กลาง IF และอยู่ต่ำลงมาสองเท่าของความถี่กลาง IF เมื่อความถี่อิมเมจฟรีเควนซี่เข้ามาในวงจรมิกเซอร์และได้ผลลัพธ์ของสัญญาณความถี่กลางที่มีความถี่เช่นเดียวกันกับสัญญาณจริง ทำให้สัญญาณที่ถูกเลือกมาผิดค่าเกิดเป็นสัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่ต้องการ สัญญาณอิมเมจอาจเกิดได้ในกรณีที่แถบความถี่มีการใช้งานอย่างหนาแน่น สัญญาณอีกช่องหนึ่งอาจเข้ามากวนสัญญาณช่องที่ต้องการได้ วิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นก็อาจใช้วงจรจูนเพื่อเลือกเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการเข้ามาในเครื่องรับเท่านั้น และกำจัดสัญญาณอิมเมจออกไป แต่การแก้ไขดังกล่าวไม่สามารถทำได้ในวงจรเครื่องรับที่ต้องการใช้กับความถี่ในช่วงกว้าง วิธีการที่สองที่ใช้ในการแก้ปัญหาก็คือเพิ่มค่าความถี่กลางสูงขึ้น ก็จะทำให้ออกแบบวงจรยากขึ้น ดังนั้นการออกแบบวงจรซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ต้องออกแบบให้มีความถี่กลางมีค่ามากที่สุดเพื่อลดผลของอิมเมจฟรีเควนซี่ และในขณะเดียวกันต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุดเพื่อที่จะให้ออกแบบวงจรได้ง่ายขึ้นที่ความถี่ต่ำ วิธีการแก้ปัญหาสัญญาณอิมเมจสุดท้ายที่นิยมก็คือใช้วงจรแปลงความถี่สองครั้งที่เรียกว่า ดูออลคอนเวอร์ชั่นซูเปอร์เฮตเทอร์โรดายน์ (Dual Conversion Superheterodyne Receiver) ซึ่งมีการแปลงความถี่กลาง 2 ชุด ชุดแรกมี LO ที่สามารถปรับค่าได้ ส่วน LO ชุดที่สองคงที่เพื่อปรับค่าได้เล็กน้อย มิกเซอร์ชุดแรกจะแปลงให้สัญญาณมาอยู่ในความถี่กลางค่าสูง โดยจะช่วยในการลดปรากฏการณ์อิมเมจฟรีเควนซี่ ส่วนมิกเซอร์ชุดที่สองจะแปลงสัญญาณ IF ชุดแรกให้ต่ำลงเป็นสัญญาณ IF ความถี่ที่สองที่ให้ค่าซีเล็กติวิตี้ที่ดีกว่า วงจรดูออลคอนเวอร์ชั่น (Dual Conversion) มักใช้ในวงจรเครื่องรับความถี่คลื่นสั้น (Short Wave Receiver), เครื่องรับคลื่น VHF, UHF และ ไมโครเวฟ

เครื่องรับแบบ AM จะมี IF ที่ 455 kHz, 30 MHz, 33859 MHz
เครื่องรับแบบ FM จะมี IF ที่ 10.7 MHz
เครื่องรับโทรทัศน์ จะมี IF ที่ 40-50 MHz
เครื่องรับเรดาร์ จะมี IF ที่ 60 MHz
เครื่องรับดาวเทียม จะมี IF ที่ 70 MHz, 140 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิดีโอเซ็นเดอร์ (VIDEO SENDER)



รูปที่ 2.62 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อวิดีโอเซ็นเดอร์

จากรูปที่ 2.62 แสดงการต่อวิดีโอเซ็นเดอร์เข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งเป็นระบบ PAL ย่านความถี่ UHF มีช่องสัญญาณ 21-23 ช่อง สามารถปรับได้ โดยการจ่ายไฟเข้า +12 V หรือ +15 V ไฟ DC กระแสสูงสุด 10 mA สัญญาณเสียงเข้า 0.1-1 โวลท์ RMS / 600 โอห์ม และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 50 โอห์ม

2.6.1 การต่อเครื่องวิดีโอเซ็นเดอร์

1. ต่อสายสัญญาณวิดีโอจากเครื่องเล่นวิดีโอที่เขียนว่า VIDEO OUT มาเข้าจุด VIDEO IN ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

2. ต่อสายสัญญาณเสียงจากเครื่องเล่นวิดีโอที่เขียนว่า AUDIO OUT มาเข้าจุด AUDIO IN ของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

3. เปิดไฟเข้าเครื่องวิดีโอและเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ แล้วกดปุ่มเพลย์ของเครื่องเล่นวิดีโอเพื่อให้มีสัญญาณส่งออกอากาศไป

4. เปิดเครื่องรับโทรทัศน์แล้วปรับเครื่องรับให้รับช่อง UHF ถ้าเป็นเครื่องรับที่ปรับคลื่นเป็นแบบอัตโนมัติ เพียงกดปุ่มปรับภาพเพียงครั้งเดียวเครื่องจะควานหาความถี่เองจนเจอสัญญาณที่จะรับ ซึ่งได้ทั้งภาพและเสียงที่ชัดเจน

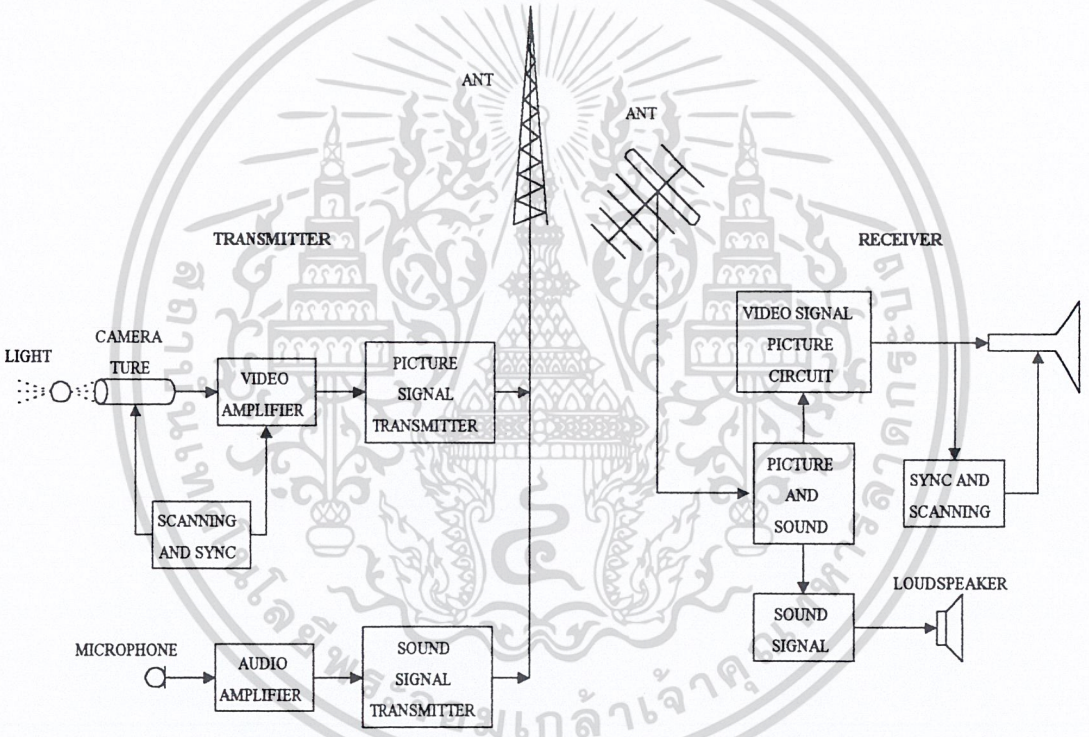
5. ถ้าภาพและเสียงชัดเจนไม่พร้อมกันให้ปรับ FREQUENCY ADJUST ในกล่องของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องปรับกระป๋อง IF ของเสียงด้วย ปกติจะไม่มีปัญหาเพราะปรับแต่งมาจากโรงงานแล้ว นอกจากปรับแรงดันของภาพและเสียงจนเป็นที่พอใจ

6. เครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้สายอากาศภายในแบบหูกระต่าย อาจจำเป็นต้องปรับความยาวของหูกระต่ายช่วยด้วยจนกว่าภาพจะชัดเจน ระยะการรับจะยิ่งไกลถ้าเครื่องรับใช้สายอากาศภายนอกแบบ UHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 หลักการแพร่ภาพ

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



รูปที่ 2.63 แสดงบล็อกไดอะแกรมการแพร่ภาพโทรทัศน์

เครื่องส่งโทรทัศน์ต้องประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนที่เป็นสัญญาณภาพและส่วนที่เป็นสัญญาณเสียง โดยสัญญาณภาพจะส่งไปในรูปของสัญญาณ AM และสัญญาณเสียงจะส่งไปในรูปของสัญญาณ FM การแพร่กระจายคลื่นออกไปในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวสายอากาศ โดยทั่วไปหากเป็นสถานีภาคพื้นดินจะครอบคลุมพื้นที่ทางตรงได้ประมาณ 121 กิโลเมตร กล้องโทรทัศน์จะรับเอาสัญญาณภาพในรูปของพลังงานแสงเข้าไปยังตัวของมันเพื่อเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หลักการเบื้องต้นของกล้องอยู่ที่ว่าแสงจะผ่านเลนส์เข้าไปกระทบแผ่นโฟโต้อิเล็กตริกเพลทของหลอดถ่ายภาพ ซึ่งหลอดนี้จะทำการสแกนหรือกวาดรับสัญญาณในแนวนอน โดยการบังคับตัวอิเล็กตรอนบีมให้กวาดจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง โดยภาพหนึ่งเฟรมจะใช้เวลา 1 / 25 หรือ 1 / 30 วินาที รวมการสแกนทั้งหมดด้วยเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแกน 625 เส้นหรือ 525 เส้น สัญญาณที่ออกไปทางเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณไฟที่ต่อเนื่อง สัญญาณภาพดังกล่าวจะถูกส่งไปขยายให้แรงขึ้นแล้วนำไปผสมกับซิงโครไนซิ่งพัลส์ (Synchronizing Pulse) แล้วทำการผสมสัญญาณทางแอมปลิจูดกับคลื่นพาห์ภาพเพื่อให้ได้สัญญาณภาพเป็น AM ส่วนสัญญาณเสียงจะถูกส่งเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณก่อนที่จะผสมสัญญาณกับคลื่นพาห์เสียงเพื่อให้ได้สัญญาณเสียงเป็น FM

เครื่องรับโทรทัศน์จะรับสัญญาณจากสายอากาศเข้ามาทั้งภาพและเสียง นำสัญญาณนี้ไปทำการดีเทคเตอร์แยกภาพและเสียงออกไปใช้งานโดยสัญญาณภาพ (CRT) ซึ่งมีส่วนคล้ายหลอดออสซิลโลสโคปที่แก้วข้างหน้าเคลือบฉาบฟลูออเรสเซนต์ไว้ ภายในหลอดจะมีปืนอิเล็กตรอนที่มีการบังคับการบีบลำให้ยิงไปหน้าจอทำให้สารฟอสเฟอร์เกิดการเรืองแสงขึ้นที่จอ

2.6.3 ความถี่โทรทัศน์ช่องต่าง ๆ

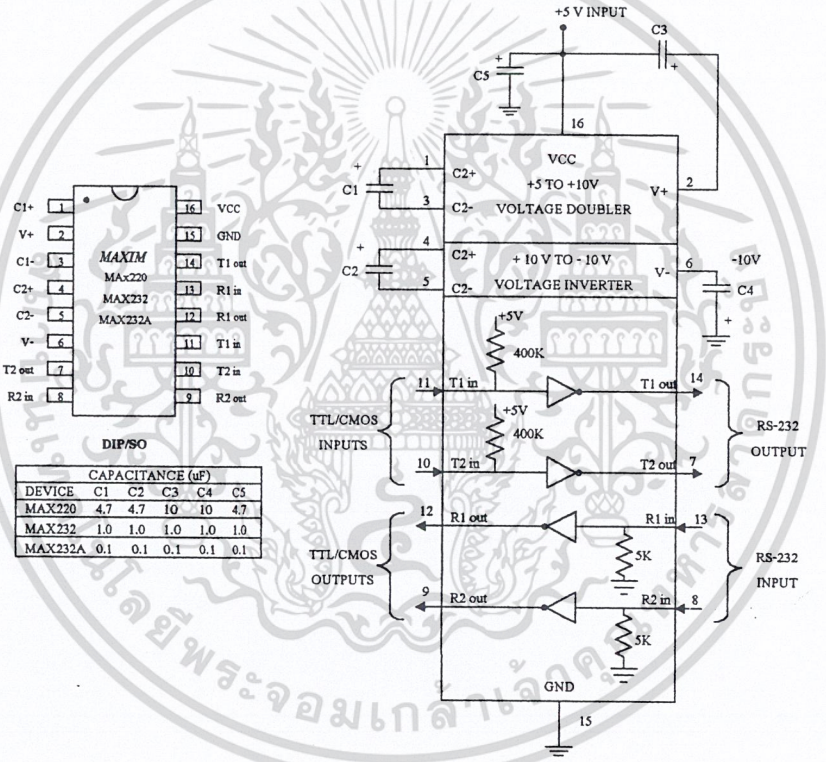
ตามมาตรฐานของ FCC กำหนดให้ความถี่โทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงมีความกว้างช่องละ 6 MHz ในขณะที่มาตรฐาน CCIR กำหนดให้กว้างถึง 7 MHz โดยแบ่งย่านความถี่ในช่วง VHF เป็น 2 แบนด์ คือ แบนด์ด้านต่ำ (Lowband) กับแบนด์ด้านสูง (Highband) อยู่ในช่วง 30-300 MHz แต่ในย่านความถี่นี้มีการส่งกระจายเสียงของสถานีวิทยุ FM ดังนั้นความถี่แบนด์ต่ำในระบบ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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 การแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

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



CAPACITANCE (uF)					
DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	4.7	4.7	10	10	4.7
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

รูปที่ 3.1 วงจร MAX-232

3.2 วงจรเข้ารหัส FSK

เราเลือกใช้ IC XR-2206 ทำหน้าที่เป็นวงจรเข้ารหัสแบบ FSK ซึ่งหลักการของ FSK จะทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณ TTL ที่เข้ามาให้กลายเป็นสัญญาณอนาล็อกที่มีความถี่อยู่ 2 ความถี่ คือ

TTL ขนาด 5 โวลท์หรือลอจิก "1" $f_1 = 1200$ Hz

TTL ขนาด 0 โวลท์หรือลอจิก "0" $f_2 = 2200$ Hz

โดยขา 9 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตและขา 2 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุต ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 1200 Baud Rate ซึ่งค่าที่ต้องคำนวณหาคือค่า R_1 และ R_2 โดยใช้ค่า C = 47 ηF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบส่วนของการเข้ารหัส FSK

1. ใช้ IC XR-2206
2. ใช้ Baud Rate 1200
3. Input เป็นระดับแรงดัน 0 โวลท์ กับระดับแรงดัน 5 โวลท์
4. คุณสมบัติโดยทั่วไปของ XR-2206
   - แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 10-26 โวลท์
   - สามารถผลิตรูปคลื่นไซน์ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม แรมพ์
   - สามารถผลิตความถี่ได้ตั้งแต่ไม่กี่เฮิร์ทจนถึงหลายร้อยกิโลเฮิร์ท
   - อิมพีแดนซ์ เท่ากับ 600 โอห์ม ที่ขา 2
   - Output รูปไซน์มีค่าสูงสุด 2 Vrms
   - ค่า t.h.d. (total harmonic distortion) ของรูปไซน์สามารถปรับให้เหลือเพียง 0.5% โดยต่อความต้านทานระหว่างขา 13 และขา 14 ด้วยค่าประมาณ 200 ถึง 300 โอห์ม
5. โครงสร้างภายในของ XR-2206 ประกอบด้วย 4 function block คือ
   - a voltage controlled oscillator (VCO)
   - analog multiplier & sine shaper
   - a unity gain buffer amplifier
   - a set of current switches

คำนวณค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

- กำหนด Baud Rate 1200
- กำหนด Logic "1" หรือแรงดัน 5 Volt เข้ามาที่อินพุต IC XR-2206 จะต้องผลิตความถี่ $f_1 = 1200$ Hz
- กำหนด Logic "0" หรือแรงดัน 0 Volt เข้ามาที่อินพุต IC XR-2206 จะต้องผลิตความถี่ $f_2 = 2200$ Hz
- ซึ่ง f_1 และ f_2 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$f = 1/RC$$

C คือค่า timing capacitor ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100 pF ถึง 1000 pF

R คือค่า timing resistor ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 4 kΩ ถึง 200 kΩ เพื่อที่จะให้เกิดการคงตัวของอุณหภูมิ (temperature stability) และความเพี้ยนของสัญญาณ sine น้อยที่สุด

กำหนดค่าของ $C = 47\ \eta F$

$$f_1 = 1/R_1 C$$

$$R_1 = 1/f_1 C$$

$$= 1/(1200\ \text{Hz} \times 47\ \eta F)$$

$$= 17730.49645\ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore$ เลือกใช้ VR ปรับค่า 20 kΩ ต่อตรง R_1

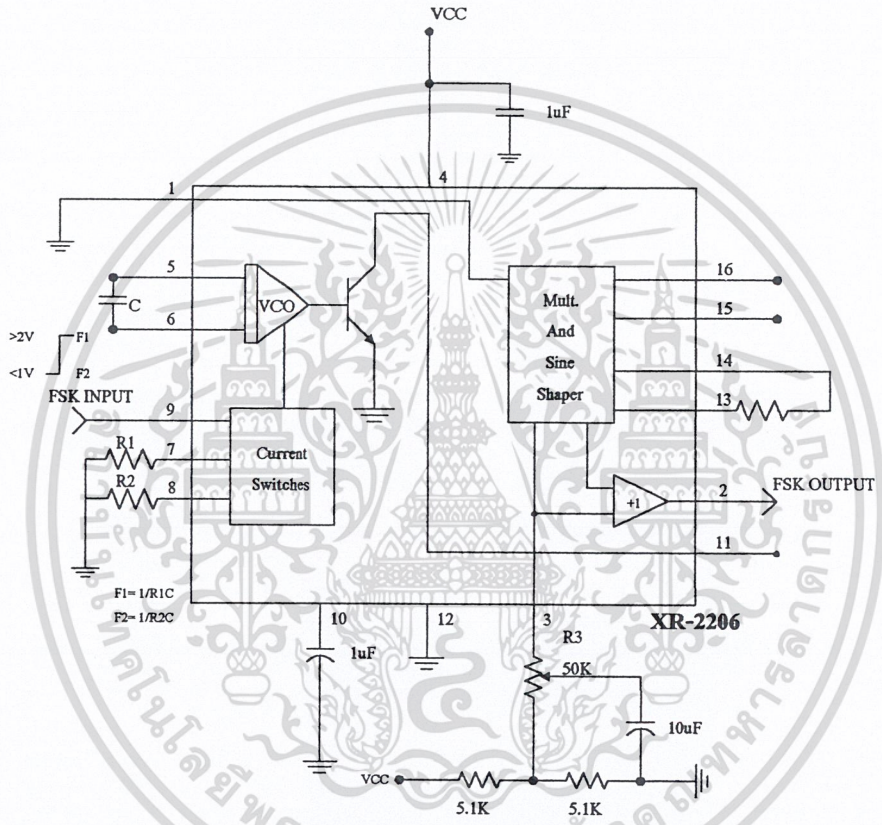
$f_2 = 1 / R_2 C$

$R_2 = 1 / f_2 C$

$= 1 / (2200\ Hz \times 47\ \eta F)$

$= 9671.179884\ \Omega$

$\therefore$ เลือกใช้ VR ปรับค่า 10 kΩ ต่อตรง R_2



รูปที่ 3.2 วงจร XR-2206

3.3 วงจรถอดรหัส FSK

IC XR-2211 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ถอดรหัส FSK โดยขาอินพุตของ XR-2211 จะรับสัญญาณอนาล็อก 2 ความถี่เข้ามาทำการแปลงไปเป็นสัญญาณ TTL กลับคืนมา

$f_1 = 1200\ Hz$ TTL ขนาด 5 โวลท์หรือลอจิก "1"

$f_2 = 2200\ Hz$ TTL ขนาด 0 โวลท์หรือลอจิก "0"

การออกแบบส่วนของการถอดรหัส FSK

1. ใช้ไอซี XR-2211
2. Baud Rate 1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อินพุตของวงจรคือความถี่ 1200 Hz และความถี่ 2200 Hz

4. คุณสมบัติโดยทั่วไปของ XR-2211

- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงอยู่ระหว่าง 4.5 Volt ถึง 20 Volt
- ทำงานได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz ถึง 300 kHz
- รับสัญญาณอินพุตได้ช่วงกว้างตั้งแต่ 2 mV จนถึง 3 Volt
- ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางลอจิกที่เป็นมาตรฐาน ได้แก่ DTL, TTL, ECL

คำนวณค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

1. กำหนดให้ความถี่ 1200 Hz เข้ามาที่อินพุตแล้วที่เอาต์พุตจะต้องได้ลอจิก "1" หรือแรงดัน 5 V
2. กำหนดให้ความถี่ 2200 Hz เข้ามาที่อินพุตแล้วที่เอาต์พุตจะต้องได้ลอจิก "0" หรือแรงดัน 0 V
3. คำนวณความถี่กลางของเฟสล็อกลูปหรือ f_0 โดยคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$f_0 = (f_1 + f_2) / 2$$

เมื่อความถี่ทางด้านส่ง $f_1 = 1200$ Hz

และ เมื่อความถี่ทางด้านส่ง $f_2 = 2200$ Hz

$$f_0 = (1200+2200) / 2$$

$$= 1700 \text{ Hz}$$

4. กำหนดค่า timing capacitor (C_0) ซึ่งต่อระหว่างขา 13 และขา 14 มีค่าเท่ากับ 50 ηF ซึ่งควรเลือกใช้ค่าที่อยู่ระหว่าง 200 pF จนถึง 10 μF

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_0 จากสูตรดังนี้

ซึ่งค่าความต้านทาน R_0 เป็น timing resistor ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 kΩ ถึง 100 kΩ

$$R_0 = 1 / f_0 C_0$$

$$R_0 = 1 / (1700 \text{ Hz} \times 50 \text{ ηF})$$

$$= 11764.70588 \ \Omega$$

∴ เลือกใช้ค่าความต้านทาน R_0 เป็นความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งกับค่าความต้านทานปรับค่าได้ โดยใช้ความต้านทานคงที่เท่ากับ 8.2 kΩ กับความต้านทานปรับค่าได้ 10 kΩ

6. คำนวณค่าความต้านทาน R_1 ซึ่งความต้านทานนี้ทำหน้าที่เพื่อกำหนดแบนด์วิดธ์

$$R_1 = R_0 [f_0 / (f_2 - f_1)]$$

$$R_1 = 11764.70588 \ \Omega \times [1700 \text{ Hz} / (2200 \text{ Hz} - 1200 \text{ Hz})]$$

$$R_1 = 20 \text{ kΩ}$$

∴ เลือกใช้ค่าความต้านทาน 20 kΩ

7. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_1 เพื่อกำหนดค่าคงที่ทางเวลาของลูปฟิลเตอร์และค่าลูปแดมปิง ซึ่งมีค่า $\zeta = 0.5$

$$C_1 = C_0 \times \zeta^2$$

$$C_1 = 50 \text{ ηF} \times 0.5^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 12.5\ \eta F$

$\therefore$ เลือกใช้ค่าคาปาซิเตอร์ $12\ \eta F$ ต่อขนานกับค่าคาปาซิเตอร์ $500\ pF$

8. ค่าคาปาซิเตอร์ C_F และค่าตัวต้านทาน R_F ทำหน้าที่เป็น One Post Detection สำหรับสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งค่าคาปาซิเตอร์ C_F มีหน่วยเป็น μF สามารถคำนวณได้ดังนี้

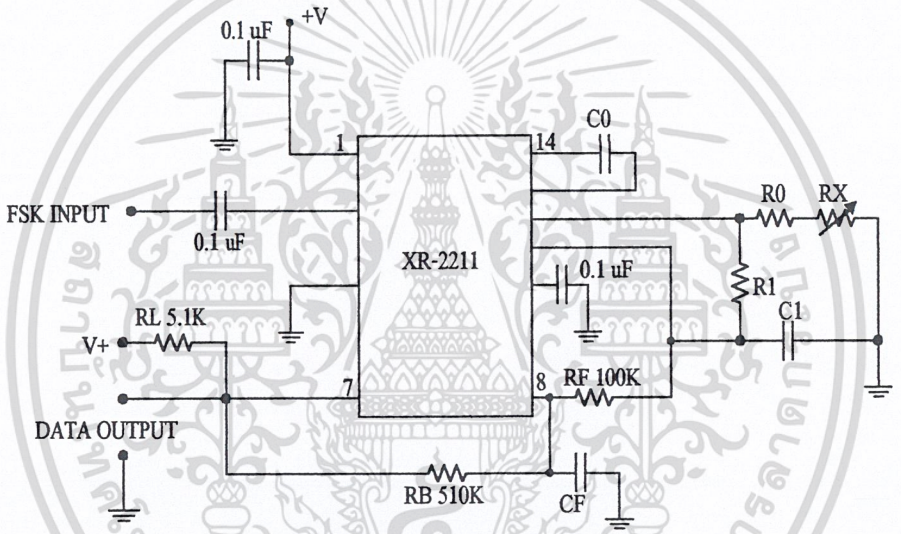
สำหรับค่า $R_F = 100\ k\Omega$ และ $R_B = 510\ k\Omega$

$$C_F = 3 / \text{Baud Rate}\ \mu F$$

$$C_F = 3 / 1200\ \mu F$$

$$= 0.0025\ \mu F$$

$\therefore$ เลือกใช้ค่าคาปาซิเตอร์ $2\ \eta F$ ต่อขนานกับค่าคาปาซิเตอร์ $500\ pF$



รูปที่ 3.3 วงจร XR-2211

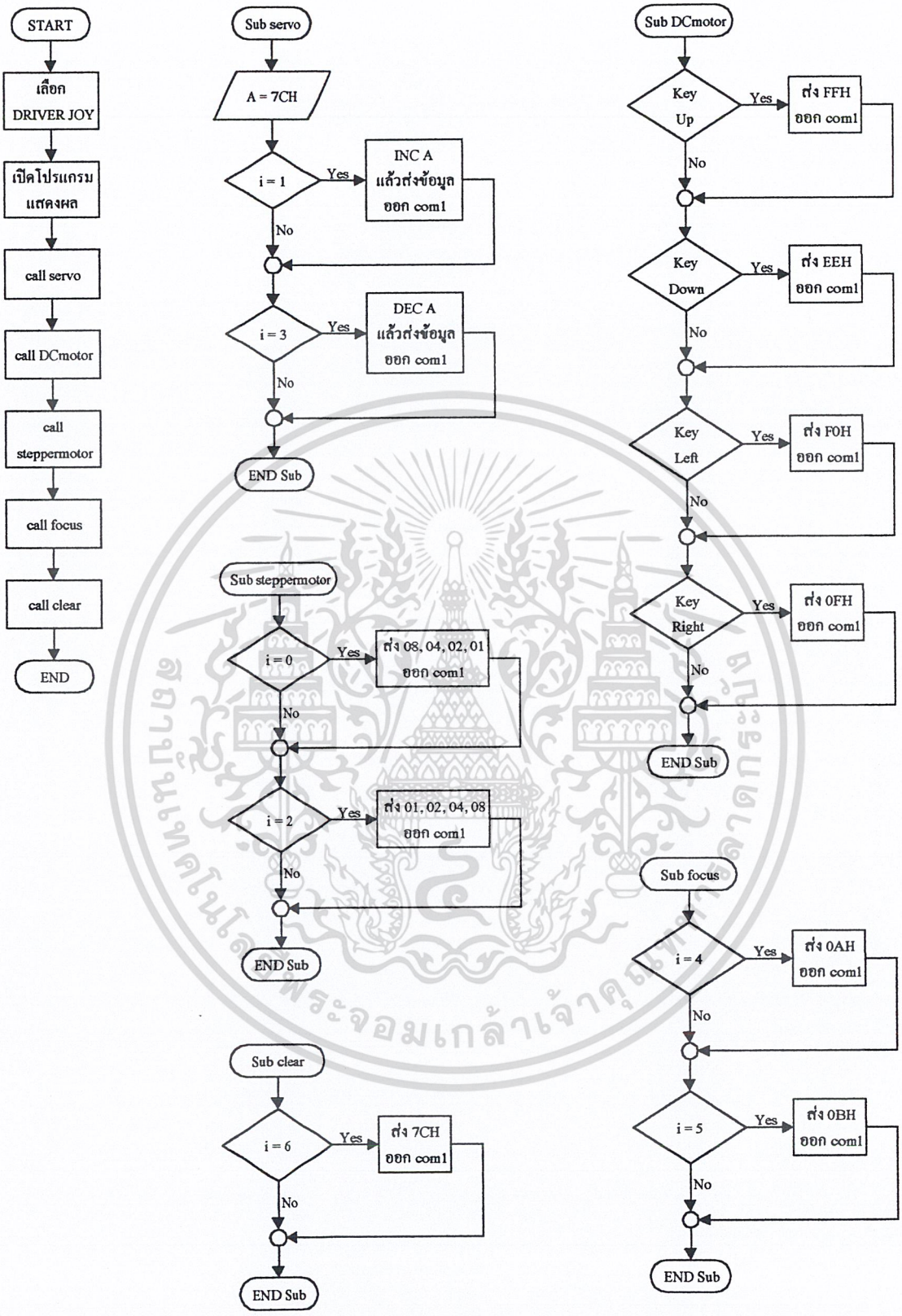
3.4 ส่วนของการควบคุมตัวรถและกล้องวิดีโอ

วงจรควบคุมที่ใช้ในการควบคุมตัวรถและกล้องวิดีโอจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุม และใช้ไอซีเบอร์ L298 เป็นตัวขับมอเตอร์ ซึ่งวงจรควบคุมนี้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก.

เราสามารถเขียนแผนผัง (Flowchart) แสดงการควบคุมส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ส่วนควบคุมบนคอมพิวเตอร์

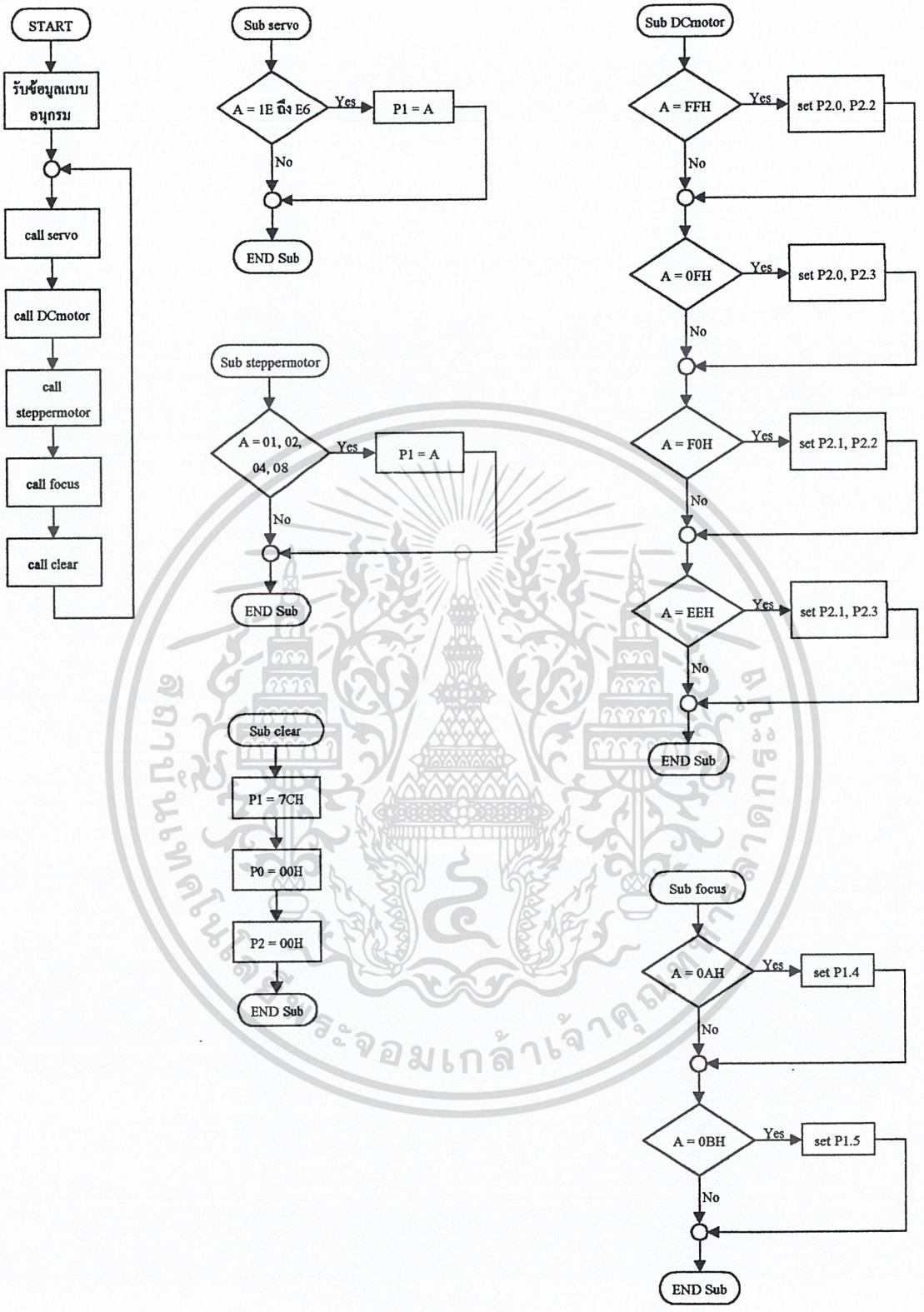
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังส่วนควบคุมบนคอมพิวเตอร์

2. ส่วนควบคุมบนตัวรถสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังส่วนควบคุมบนตัวรถสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ส่วนของการประมวลผลสัญญาณภาพ

เราสามารถเขียนแผนผัง (Flowchart) ของส่วนของการประมวลผลสัญญาณภาพได้ดังนี้

รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังส่วนของการประมวลผลสัญญาณภาพ

ผลที่ได้จากการนำภาพมาทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมประมวลผลสัญญาณภาพมีดังนี้

1. ภาพปกติ
2. ภาพขาว-ดำ
3. ขอบภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยการป้อนสัญญาณแบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส

จุดประสงค์

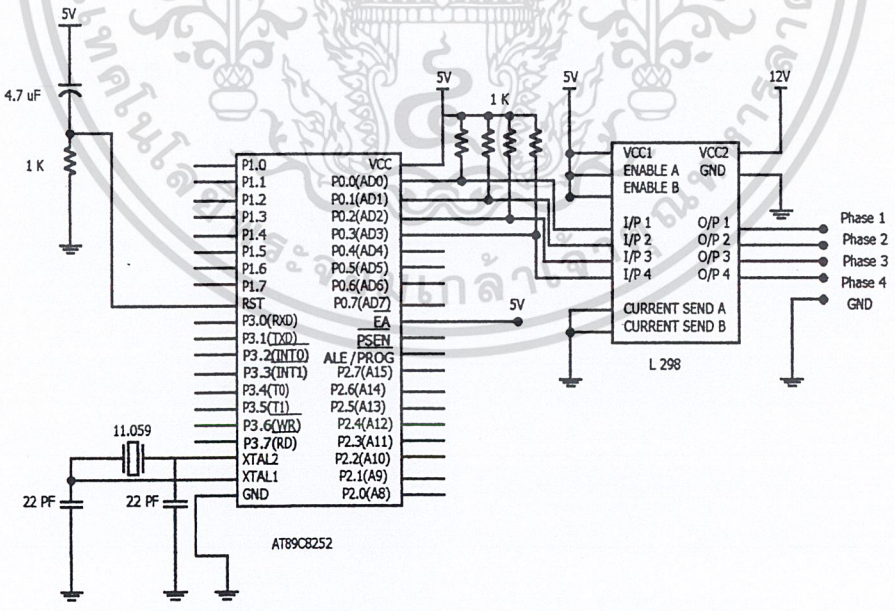
เพื่อให้เข้าใจการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ โดยการป้อนสัญญาณแบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส

อุปกรณ์

1. สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ 1 ตัว
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252 1 ตัว
3. ไอซีขับมอเตอร์กระแสสูง เบอร์ L298 1 ตัว
4. คริสตอล 11.059 MHz 1 ตัว
5. ตัวเก็บประจุ 22 pF 2 ตัว
6. ไดโอด เบอร์ 1N4002 4 ตัว
7. DC Power Supply 1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 แล้วทำการเขียนโปรแกรมตามโปรแกรมที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ 4.1

```
        ORG     0000H
        MOV     P0, #00H
LOOP  : MOV     P0, #01H
        CALL    DELAY
        MOV     P0, #02H
        CALL    DELAY
        MOV     P0, #04H
        CALL    DELAY
        MOV     P0, #08H
        CALL    DELAY
        SJMP    LOOP
DELAY  : MOV     R0, #3CH
DELAY_1: MOV     R1, #4BH
        DJNZ    R1, $
        DJNZ    R0, DELAY_1
        RET
        END
```

2. เมื่อทำการโปรแกรมลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เรียบร้อยแล้วทำการ RUN Program สังเกตผลการทดลอง

เมื่อทำการ RUN Program จะสังเกตได้ว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดียวตลอดเวลา

3. ทำการแก้ไขโปรแกรมใหม่ตามโปรแกรมที่ 4.2 แล้วทำการ RUN Program ใหม่อีกครั้ง สังเกตผลการทดลอง

โปรแกรมที่ 4.2

```
        ORG     0000H
        MOV     P0, #00H
LOOP  : MOV     P0, #08H
        CALL    DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV     P0, #04H
            CALL    DELAY
            MOV     P0, #02H
            CALL    DELAY
            MOV     P0, #01H
            CALL    DELAY
            SJMP    LOOP
DELAY   :   MOV     R0, #3CH
DELAY_1 :   MOV     R1, #4BH
            DJNZ    R1, $
            DJNZ    R0, DELAY_1
            RET
            END
```

เมื่อทำการแก้ไขโปรแกรมเรียบร้อยแล้วทำการ RUN Program จะสังเกตได้ว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะหมุนกลับทิศทางกับผลการทดลองของข้อ 2

4. ทำการเปลี่ยนค่าหน่วงเวลาโดยการเปลี่ยนค่า R0 จาก 3CH เป็น 8CH สังเกตผลการทดลอง

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะหมุนช้าลง

5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 4. แต่เปลี่ยนค่า R0 จาก 3CH เป็น 1CH สังเกตผลการทดลอง

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะหมุนเร็วขึ้น

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้งานสเต็ปเปอร์มอเตอร์นั้นมีความยุ่งยากพอสมควรเพราะต้องทำการป้อนแรงดันให้แต่ละเฟสอย่างถูกต้องสเต็ปเปอร์มอเตอร์จึงจะหมุนได้ตามที่ต้องการ และค่าหน่วงเวลาก็มีผลต่อสเต็ปเปอร์มอเตอร์ด้วย ถ้าค่าหน่วงเวลาน้อยก็จะทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนได้เร็วขึ้น แต่แรงบิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะน้อยลง ค่าหน่วงเวลานี้จะต้องเพียงพอที่จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปผลักแกนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ให้หมุนได้เพราะถ้าน้อยเกินไปสเต็ปเปอร์มอเตอร์ก็ไม่สามารถทำงานได้ ถ้าทำการหน่วงเวลาให้มากขึ้นก็จะทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนช้าลงและจะมีแรงบิดมากขึ้น แต่ถ้าหน่วงเวลามากเกินไปก็จะทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ร้อนซึ่งอาจทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองวัดสัญญาณวิดีโอจากกล้อง CCD

จุดประสงค์

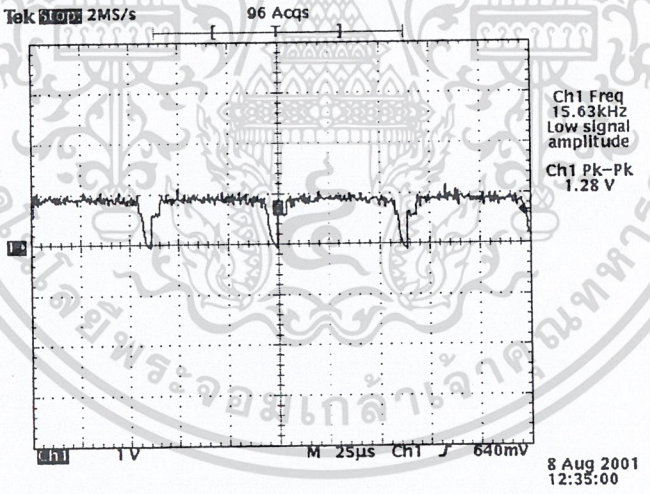
1. เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของสัญญาณวิดีโอที่ได้จากกล้อง CCD
2. เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวิดีโอเมื่อเปลี่ยนแปลงวัตถุที่ถูกถ่ายโดยกล้อง CCD ไป

อุปกรณ์

1. กล้อง CCD 1 ตัว
2. DC Power Supply 1 เครื่อง
3. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง

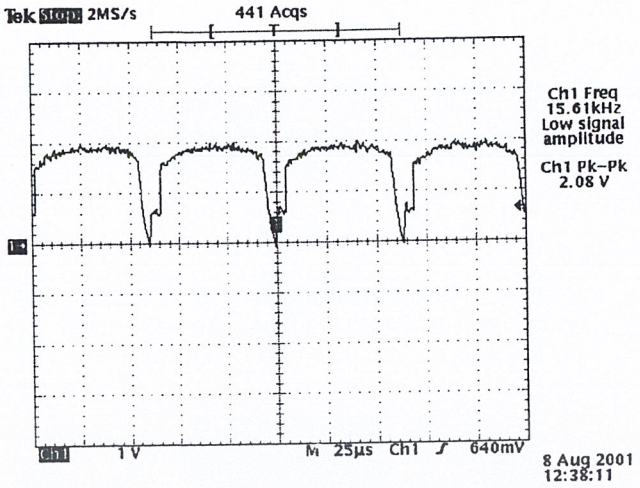
ลำดับขั้นการทดลอง

1. ป้อนแรงดันไฟ DC ให้แก่กล้อง CCD
2. ใช้กล้องจับไปที่กระดาษสีขาวแล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณวิดีโอจากกล้อง บันทึกผลการทดลอง
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2. แต่เปลี่ยนวัตถุเป็นสีดำ บันทึกผลการทดลอง
4. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2. แต่ใช้กล้องจับไปที่สภาพแวดล้อมภายในห้อง Lab บันทึกผลการทดลอง

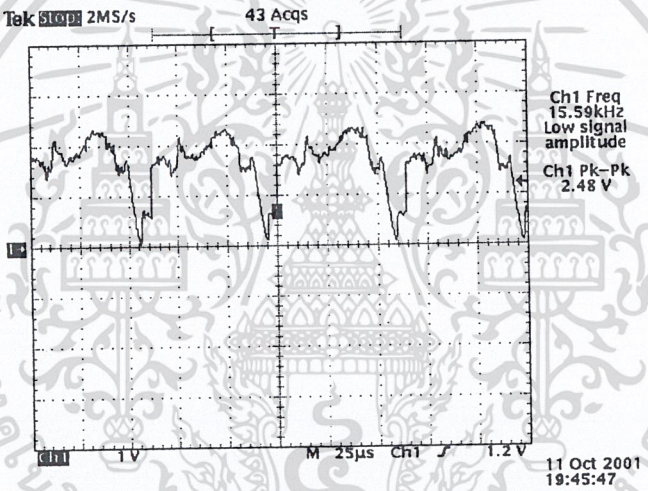


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อกล้องจับภาพวัตถุสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อกล้องจับภาพวัตถุสีขาว



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณส่วนหนึ่งที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อกล้องจับภาพสภาพแวดล้อมในห้อง Lab

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการวัดสัญญาณวิดีโอที่ได้จากกล้อง CCD เมื่อจับภาพที่เป็นวัตถุสีขาวเทียบกับวัตถุสีดำจะมีความถี่ของสัญญาณวิดีโอใกล้เคียงกันแต่ขนาดของสัญญาณวิดีโอที่วัดได้เมื่อจับภาพไปยังวัตถุสีขาวจะมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่เป็นสีดำ แต่เมื่อวัดสัญญาณวิดีโอที่ได้จากสภาพแวดล้อมในห้อง Lab สัญญาณวิดีโอจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางความถี่และขนาดตลอดเวลาอาจเป็นเพราะภาพที่ได้ในขณะนั้นเป็นการจับไปที่วัตถุที่มีหลายสีปะปนกันทำให้ความเข้มของสีที่ได้จากแสงที่ตกกระทบวัตถุมีขนาดแตกต่างกันไปตามสีแต่ละสีที่สะท้อนเข้ามายังกล้อง ขนาดและความถี่ของสัญญาณวิดีโอจึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ไม่เหมือนการจับภาพวัตถุสีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันจาก RS 232C เป็นสัญญาณ TTL

จุดประสงค์

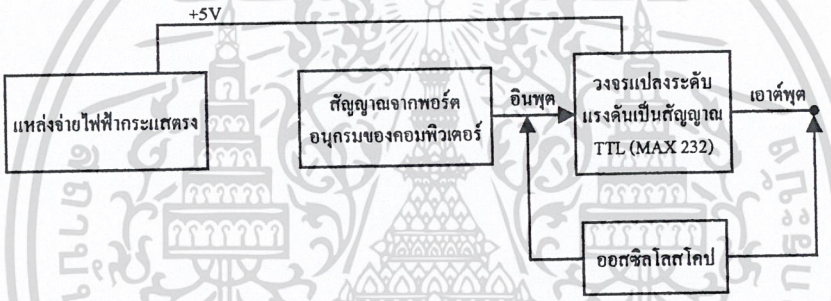
1. เพื่อให้ทราบลักษณะของสัญญาณที่ออกจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
2. เพื่อให้ทราบลักษณะของสัญญาณที่ออกจากเอาต์พุตของ IC MAX 232

อุปกรณ์

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

ลำดับขั้นการทดลอง

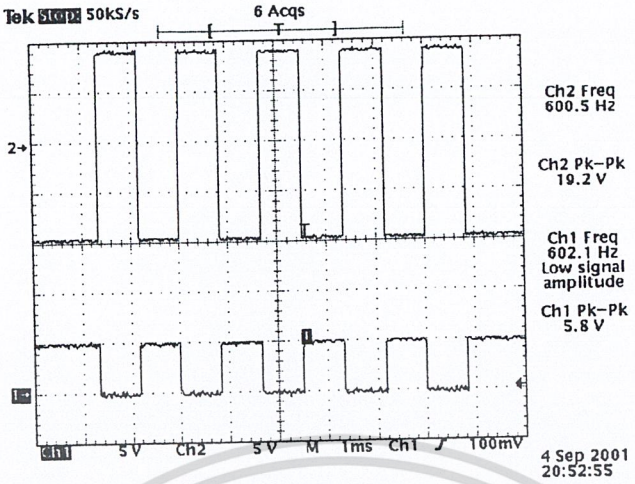
1. ประกอบส่วนต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

2. ป้อน DC Power Supply +5 V ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL
3. ป้อนข้อมูล 55H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL
4. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTLเทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูล 55H จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ (Ch2) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูล 55H ที่เป็นสัญญาณ TTL แล้ว (Ch1)

จากผลการทดลองวัดความกว้างของพัลซ์ได้เท่ากับ 820 µsec / bit

เพราะฉะนั้น อัตราการส่งข้อมูลจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 1 bit / 820 µsec = 1219.51 บิตต่อวินาที

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS 232 มีระดับตั้งแต่ ±3 V ถึง ±12 V ในขณะที่ระดับแรงดันในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ที่ระดับ TTL จึงไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง จึงอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีที่ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณจากระดับของ RS 232 ไปเป็นระดับ TTL เพื่อให้สามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้ ซึ่งจากการทดลองไอซี MAX 232 จะเปลี่ยนแรงดัน +12 V ที่ออกจาก RS 232 เป็นสัญญาณ TTL มีค่า 0 V หรือ Logic "0" และจะเปลี่ยนแรงดัน -12 V ที่ออกจาก RS 232 เป็นสัญญาณ TTL มีค่า 5 V หรือ Logic "1"

เมื่อทำการทดลองเพื่อหาค่าอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูล โดยหาจากการวัดคาบเวลาของข้อมูล 1 บิต นั้นจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์

4.4 การทดลองวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK

จุดประสงค์

1. เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK
2. เพื่อให้สามารถออกแบบและคำนวณหาค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรได้

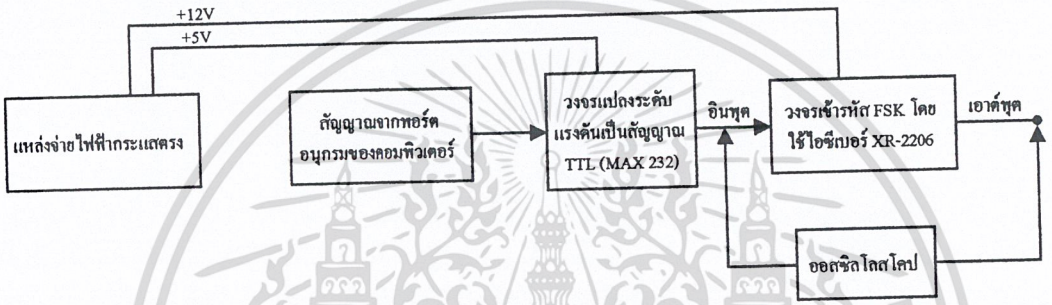
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง
3. DC Power Supply 1 เครื่อง
4. วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 1 วงจร
5. วงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK 1 วงจร

ลำดับขั้นการทดลอง

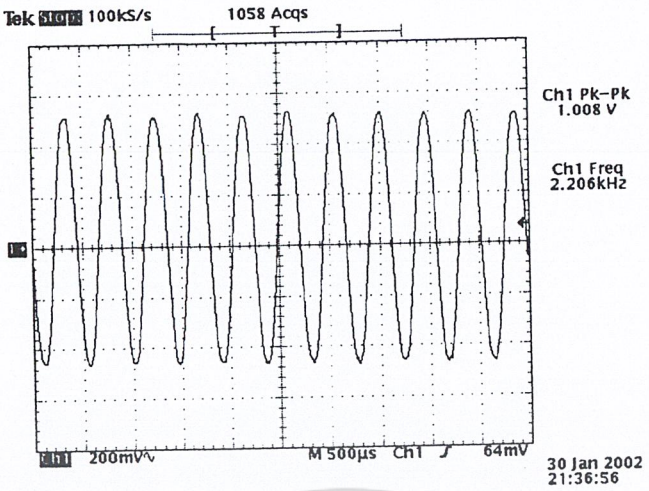
1. ประกอบส่วนต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK

2. ป้อน DC Power Supply +12 V ให้แก่วงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK และป้อน DC Power Supply +5 V ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL
3. ยังไม่ต้องต่อเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL เข้าอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK
4. ป้อนแรงดัน DC 0V เข้าอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK
5. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK

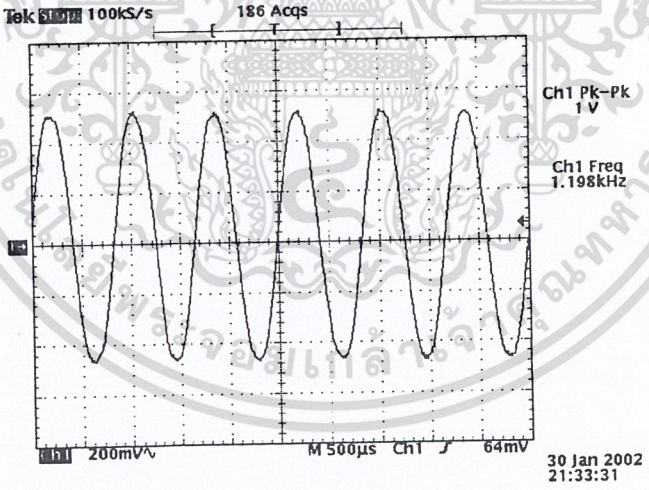
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เมื่อป้อนแรงดัน DC 0V ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์มีความถี่ประมาณ 2200 Hz

6. ป้อนแรงดัน DC +5V เข้าอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK

7. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK



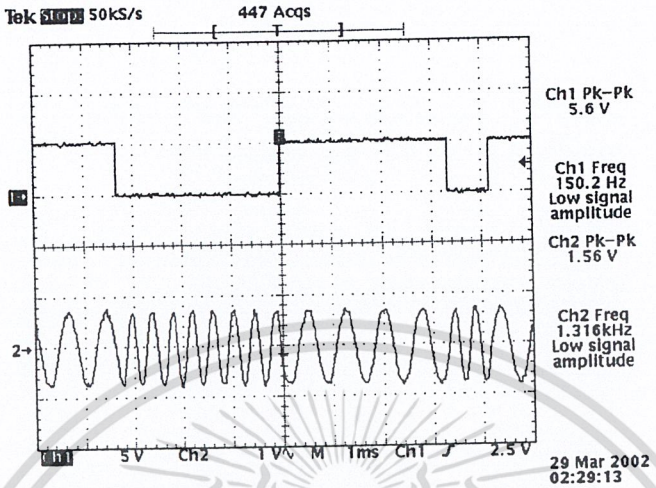
รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เมื่อป้อนแรงดัน DC +5V ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์มีความถี่ประมาณ 1200 Hz

8. ต่อเอาต์พุตของวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL เข้าอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK

9. ป้อนข้อมูล 78H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

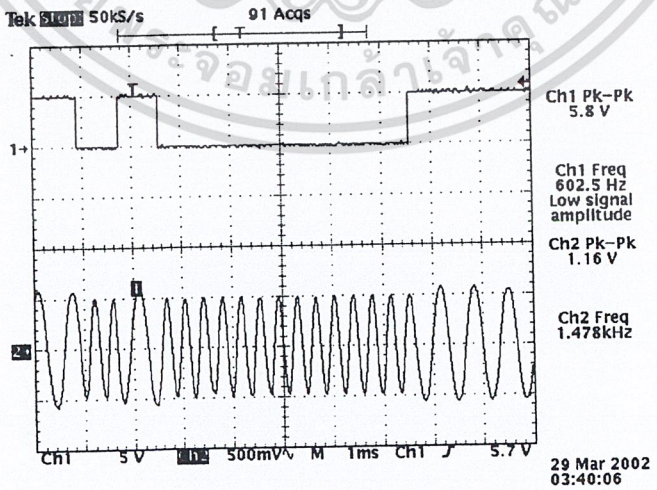
10. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 78H (Ch2)

11. ป้อนข้อมูล 81H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

12. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 81H (Ch2)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อเราป้อนแรงดัน 0 V เข้าอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ที่เอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK จะได้สัญญาณไซน์ที่มีความถี่ประมาณ 2200 Hz โดยความถี่นี้จะแทน Logic "0" และเมื่อเราป้อนแรงดัน +5 V เข้าอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ที่เอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK จะได้สัญญาณไซน์ที่มีความถี่ประมาณ 1200 Hz โดยความถี่นี้จะแทน Logic "1"

เมื่อเราป้อนข้อมูล 78H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL และทำการวัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK จะสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 78H มีความถี่ของสัญญาณของช่วงที่เป็น Logic "0" มากกว่าช่วงที่เป็น Logic "1" นั่นคือ ความถี่ 2200 Hz แทน Logic "0" และความถี่ 1200 Hz แทน Logic "1" และเมื่อลองเปลี่ยนจากการป้อนข้อมูล 78H เป็นการป้อนข้อมูล 81H ผลที่ได้ก็จะเหมือนกับการป้อนข้อมูล 78H แสดงให้เห็นว่าวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ทำงานได้อย่างถูกต้อง

4.5 การทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

จุดประสงค์

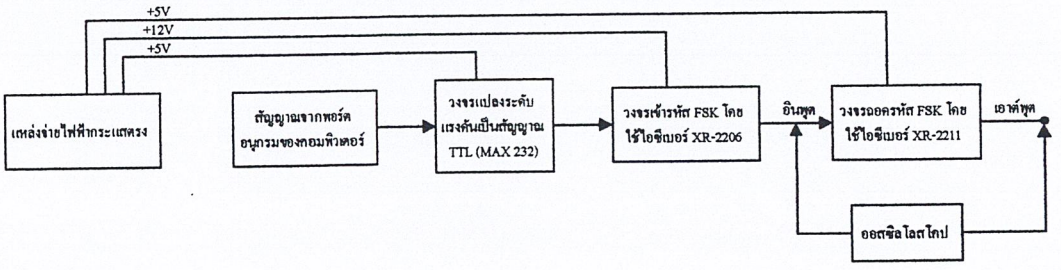
1. เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK
2. เพื่อให้สามามรถออกแบบและคำนวณหาค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรได้

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป	1 เครื่อง
3. DC Power Supply	1 เครื่อง
4. วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL	1 วงจร
5. วงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK	1 วงจร
6. วงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK	1 วงจร

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบส่วนต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.12



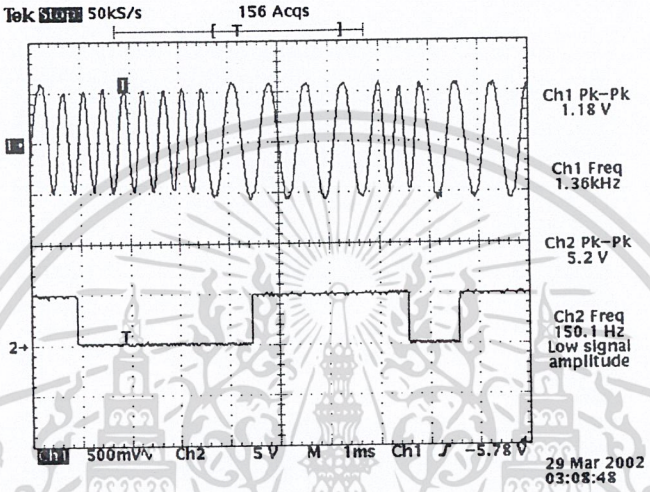
รูปที่ 4.12 แสดงการต่อเพื่อทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ป้อน DC Power Supply +12 V ให้แก่วงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK และป้อน DC Power Supply +5 V ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL และวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

3. ป้อนข้อมูล 78H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

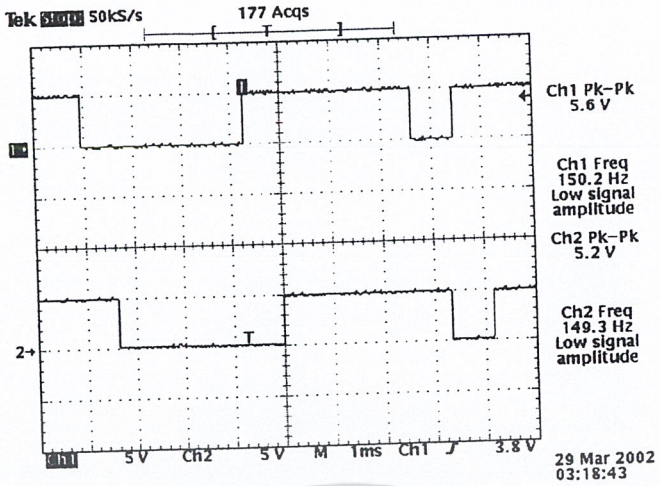
4. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch2)

5. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

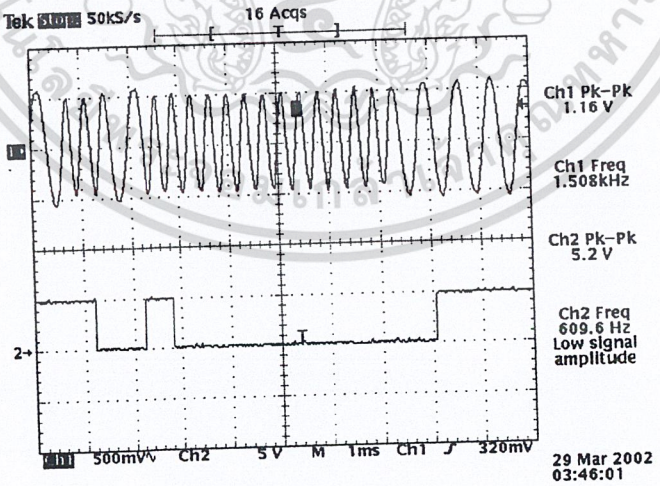
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2)

6. ป้อนข้อมูล 81H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

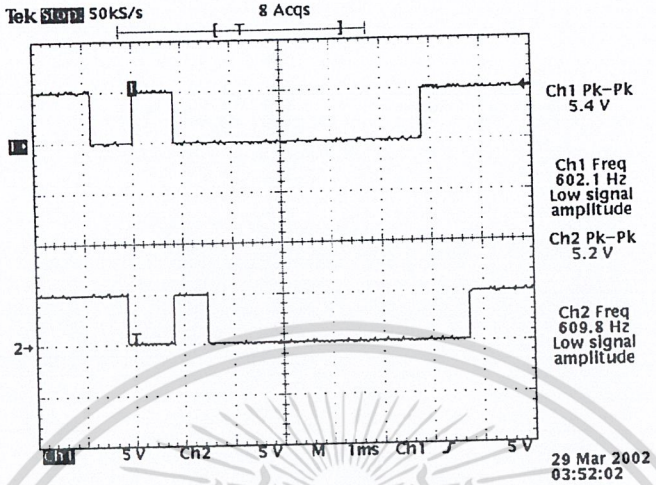
7. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK



รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ FSK ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK



รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2)

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อเราป้อนข้อมูล 78H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL หลังจากผ่านวงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL และผ่านวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ก็จะได้สัญญาณ FSK ออกมา เมื่อสัญญาณ FSK นี้ถูกส่งเข้าไปในวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK แล้วทำการปรับค่าความต้านทาน R_X เพื่อปรับความถี่กลางของเฟสล็อคลูป และปรับค่าความต้านทาน R_1 เพื่อปรับความกว้างของพัลซ์ให้เหมาะสมก็จะได้สัญญาณ TTL ออกมาที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ที่ส่งออกมาจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยความถี่ 2200 Hz แทน Logic "0" และความถี่ 1200 Hz แทน Logic "1" และเมื่อลองเปลี่ยนจากการป้อนข้อมูล 78H เป็นการป้อนข้อมูล 81H ผลที่ได้ก็จะเหมือนกับการป้อนข้อมูล 78H แสดงให้เห็นว่าวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ทำงานได้อย่างถูกต้อง

4.6 การทดลองการส่งข้อมูลแบบไร้สาย

จุดประสงค์

เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของการส่งข้อมูลแบบไร้สาย

อุปกรณ์

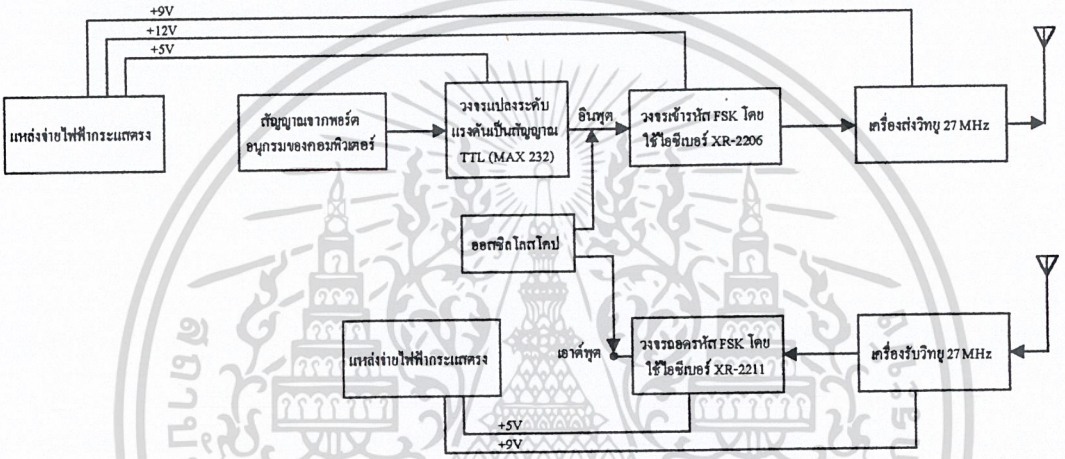
1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. DC Power Supply 2 เครื่อง
4. วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL 1 วงจร
5. วงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK 1 วงจร
6. วงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK 1 วงจร
7. เครื่องส่งวิทยุ 27 MHz 1 เครื่อง
8. เครื่องรับวิทยุ 27 MHz 1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบส่วนต่าง ๆ ตามรูปที่ 4.17



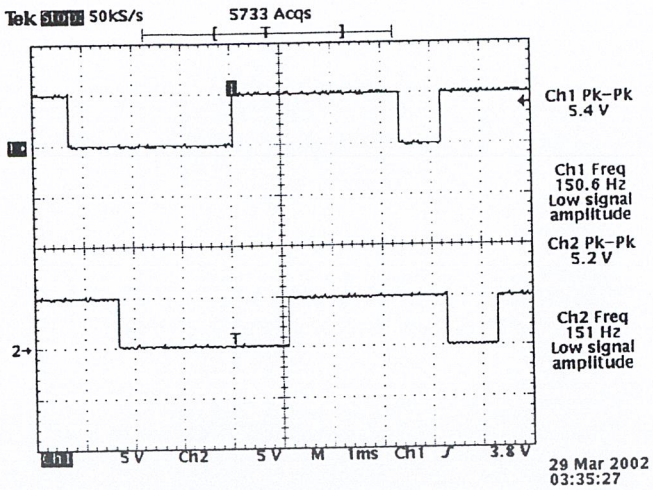
รูปที่ 4.17 แสดงการต่อเพื่อทดลองการส่งข้อมูลแบบไร้สาย

2. ป้อน DC Power Supply +12 V ให้แก่วงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ป้อน DC Power Supply +5 V ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL และวงจรถอดรหัสสัญญาณแบบ FSK ป้อน DC Power Supply +9 V ให้แก่เครื่องส่งวิทยุ 27 MHz และเครื่องรับวิทยุ 27 MHz

3. ป้อนข้อมูล 78H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

4. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

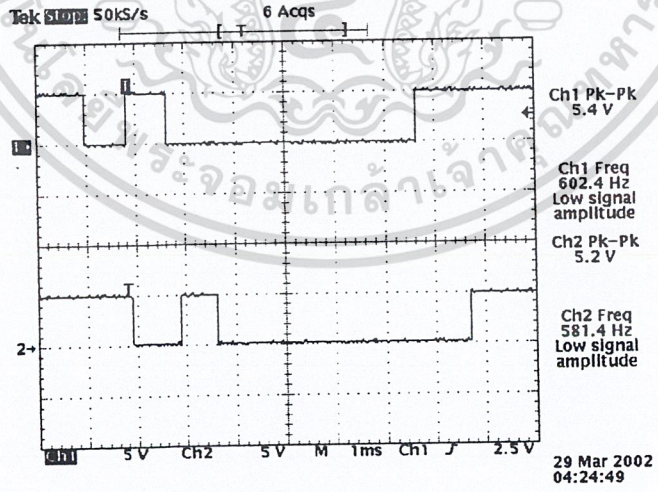
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2) เมื่อส่งผ่านเครื่องรับ-ส่งวิทยุ 27 MHz

5. ป้อนข้อมูล 81H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL

6. ใช้ scope วัดสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK



รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H (Ch1) เทียบกับสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณ TTL ของข้อมูล 81H ที่ถูกถอดรหัสโดยวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK (Ch2) เมื่อส่งผ่านเครื่องรับ-ส่งวิทยุ 27 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

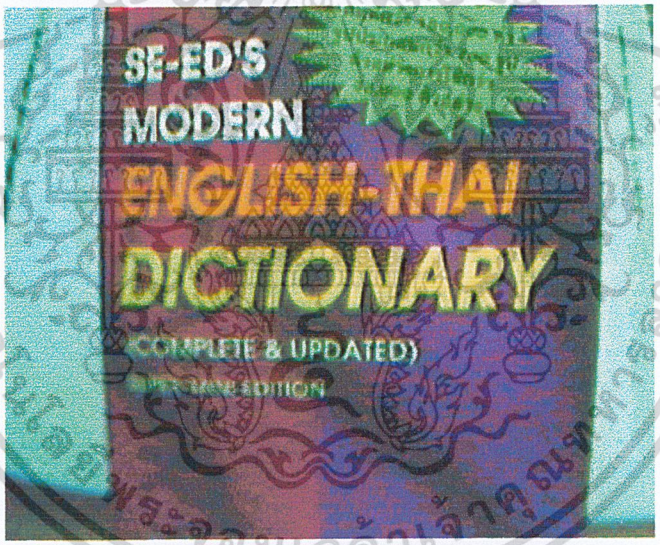
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อเราป้อนข้อมูล 78H ด้วยอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud Rate) 1200 บอด จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ให้แก่วงจรแปลงระดับแรงดันเป็นสัญญาณ TTL ก็จะได้สัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ออกมา สัญญาณ TTL นี้จะถูกส่งเข้าไปในวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK เพื่อสร้างสัญญาณ FSK ออกมา เมื่อได้สัญญาณ FSK แล้วก็จะส่งไปยังเครื่องส่งวิทยุ 27 MHz เครื่องส่งวิทยุ 27 MHz ก็จะทำการส่งสัญญาณ FSK นี้ออกไป ที่เครื่องรับวิทยุ 27 MHz ก็จะรับสัญญาณที่เครื่องส่งวิทยุ 27 MHz ส่งมา และนำสัญญาณที่รับได้นี้ไปเข้าวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK ก็จะได้สัญญาณ TTL ของข้อมูล 78H ออกมา และเมื่อลองเปลี่ยนจากการป้อนข้อมูล 78H เป็นการป้อนข้อมูล 81H ผลที่ได้ก็จะเหมือนกับการป้อนข้อมูล 78H แสดงให้เห็นว่าส่วนของการส่งข้อมูลแบบไร้สายทำงานได้อย่างถูกต้อง

4.7 การทดลองโปรแกรมประมวลผลสัญญาณภาพ

เมื่อทำการรันโปรแกรมประมวลผลสัญญาณภาพ ผลที่ได้เป็นดังนี้

ภาพปกติที่ได้จากการบันทึกภาพของกล้อง CCD



รูปที่ 4.20 แสดงภาพปกติที่ได้จากการบันทึกภาพของกล้อง CCD

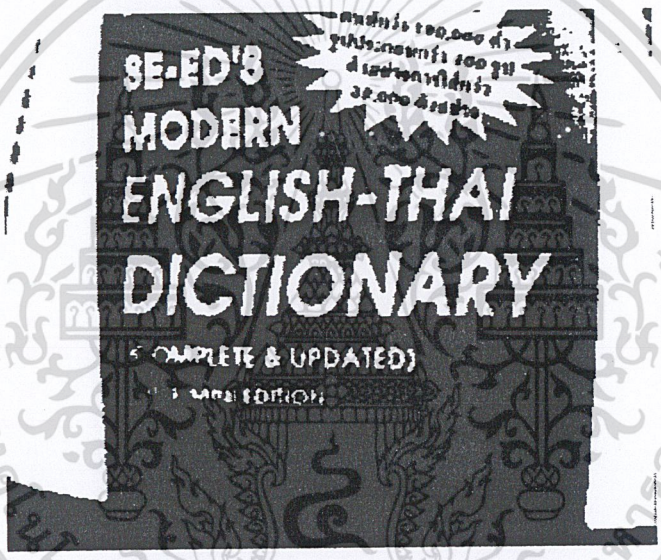
จากนั้นนำภาพที่ได้มาทำเทรชโฮลซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญในการประมวลภาพ ในส่วนของการแยกภาพนั้นมีจุดประสงค์เพื่อแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันทางกายภาพของภาพนั้น ๆ ออกจากกัน และส่วนประกอบของภาพที่ถูกแยกออกมานั้นจะถูกนำไปประมวลผลในส่วนอื่น ๆ ต่อไป การแยกภาพจะมีหลักการเช่นเดียวกับสายตาของมนุษย์คือสามารถแยกลักษณะเด่นออกจากภาพที่มองเห็นได้ และเทคนิคการทำเทรชโฮล (Threshold Technique) ถือว่าเป็นเทคนิคในการแยกองค์ประกอบของภาพที่ง่ายเทคนิคหนึ่งโดยที่ระดับความเข้มนี้สามารถแบ่งกลุ่มของภาพออกเป็นสองกลุ่มอย่างชัดเจนคือ กลุ่มของวัตถุ (Object) จะมีระดับความเข้มของภาพ g(x, y) ค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกลับกันกับกลุ่มของส่วนพื้นหลังที่มีระดับความเข้มของภาพ g(x, y) ค่อนข้างสูง ดังนั้นการแยกกลุ่มทั้งสองนี้ออกจากกันอย่างชัดเจนสามารถทำได้โดยเลือกค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมและทำการตรวจสอบแต่ละจุดของภาพ ถ้าค่า g(x, y) น้อยกว่า Threshold (g(x, y) < Thr) ถือว่าเป็นจุดวัตถุและถ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold (g(x, y) ≥ Thr) ถือว่าเป็นจุดพื้นหลังโดยในการทดลองจะใช้ค่า Threshold ที่เป็นค่ากลาง (Mid – Range Threshold Value) โดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Thr = \frac{\text{Maximum}\,(g(x,y)) + \text{Minimum}\,(g(x,y))}{2}$$

ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง

การหาขอบภาพเป็นการหาขอบเขตของวัตถุในภาพซึ่งขอบเขตของวัตถุจะเป็นคุณสมบัติเด่นและมีความสำคัญมากที่จะนำไปรู้จักวัตถุนั้น ๆ โดยคอมพิวเตอร์จะเห็นว่าการหาขอบภาพก็คือ การดึงคุณลักษณะโครงร่างที่เด่นของวัตถุออกมา

การหาขอบภาพโดยวิธีการของโรเบิร์ตสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Magnitude operator} = \left(\Delta_1^{\,2} + \Delta_2^{\,2}\right)^{1/2}$$

$$\text{Absolute value estimate} = |\Delta_1| + |\Delta_2|$$

โดยที่ $\Delta_1 = p(i, j) - p(i+1, j+1)$

$\Delta_2 = p(i+1, j) - p(i, j+1)$

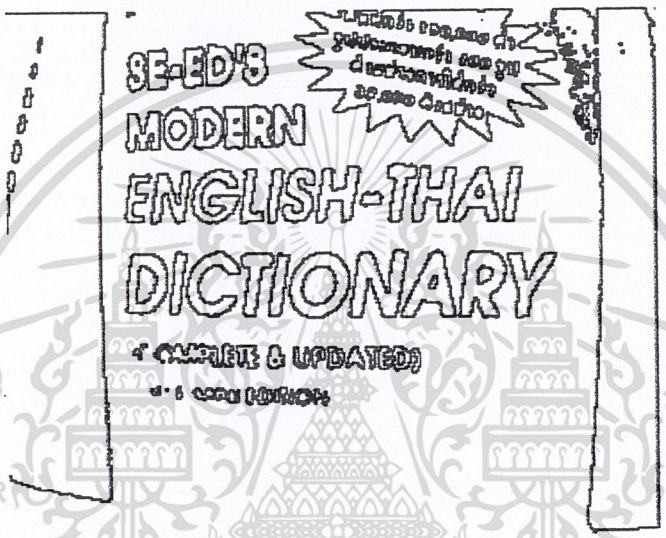
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \qquad Newq(1, 1) = |\Delta_1| + |\Delta_2|$$

โดยที่ $\Delta_1 = (a - d)$

$\Delta_2 = (b - c)$

ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงการหาขอบภาพโดยวิธีการของโรเบิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทำรถสำรวจติดกล้องวิดีโอควบคุมโดยคอมพิวเตอร์จะต้องใช้ความรู้ในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ การรับ-ส่งคลื่นวิทยุ การควบคุมมอเตอร์ การส่งสัญญาณวิดีโอ

ปัญหาที่เกิดจากการทำโครงงานนี้เกิดขึ้นจากการสื่อสารไร้สายทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณควบคุม และการส่งสัญญาณวิดีโอ สำหรับปัญหาของการส่งสัญญาณควบคุมคือ ข้อมูลที่ส่งออกไปและข้อมูลที่รับได้ไม่ตรงกันทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลที่รับได้นี้ไปควบคุมรถสำรวจได้ ส่วนปัญหาของการส่งสัญญาณวิดีโอคือ การ์ดจูนเนอร์ไม่สามารถรับสัญญาณภาพที่เครื่องส่งสัญญาณวิดีโอส่งมาได้

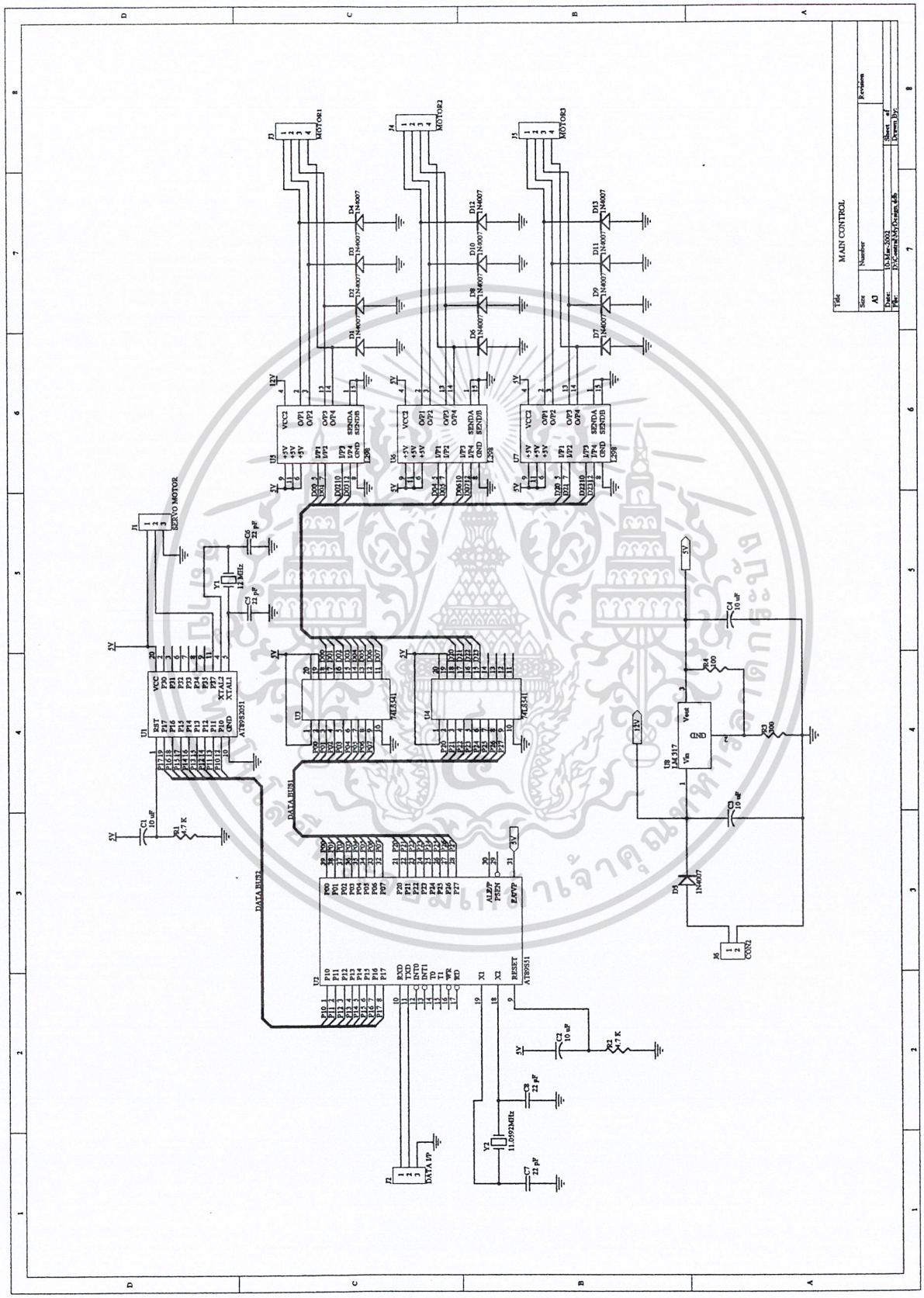
สำหรับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ในส่วนของการส่งสัญญาณควบคุมเมื่อเราตรวจสอบดูแล้วพบว่าการใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวกันของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK กับเครื่องส่งวิทยุ 27 MHz และการใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวกันของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK กับเครื่องรับวิทยุ 27 MHz จะทำให้เกิดการรบกวนกันระหว่างวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK กับเครื่องส่งวิทยุ 27 MHz และวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK กับเครื่องรับวิทยุ 27 MHz เราจึงทำการแยกแหล่งจ่ายไฟของวงจรเข้ารหัสสัญญาณ FSK กับเครื่องส่งวิทยุ 27 MHz และวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK กับเครื่องรับวิทยุ 27 MHz ออกจากกัน ซึ่งหลังจากทำการแก้ไขแล้วการส่งสัญญาณควบคุมก็สามารถทำได้อย่างถูกต้อง ส่วนการส่งสัญญาณวิดีโอเมื่อเราตรวจสอบดูแล้วพบว่าสัญญาณวิดีโอที่ออกมาจากกล้อง CCD มีขนาดแรงไม่พอที่จะส่งออกอากาศโดยเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอของเราได้ เราจึงทำการแก้ไขโดยใช้วงจรขยายเบื้องต้น (Preamplifier) มาทำการขยายสัญญาณภาพจากกล้อง CCD ก่อนส่งเข้าวงจรส่งสัญญาณวิดีโอเพื่อให้สัญญาณวิดีโอมีขนาดที่แรงพอที่จะส่งออกอากาศได้ ซึ่งเมื่อทำการแก้ไขแล้วการ์ดจูนเนอร์ก็สามารถรับสัญญาณภาพจากเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอได้

แนวทางในการพัฒนาหลังจากทำการรับ-ส่งสัญญาณควบคุมและสามารถควบคุมการทำงานของรถสำรวจให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง และการ์ดจูนเนอร์สามารถรับสัญญาณภาพจากเรื่องส่งสัญญาณวิดีโอได้แล้ว จากนั้นเราสามารถทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้รถสำรวจเคลื่อนที่ได้เองโดยอัตโนมัติเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยใช้การประมวลภาพ (Image Processing) หรือทำการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมรถสำรวจผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

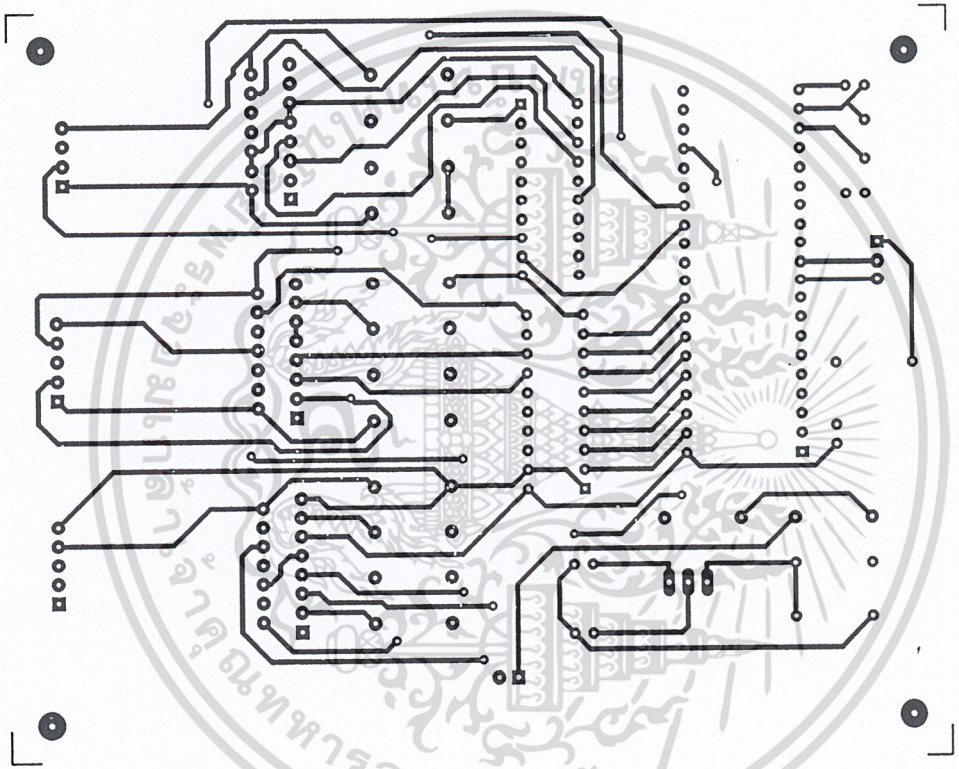
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

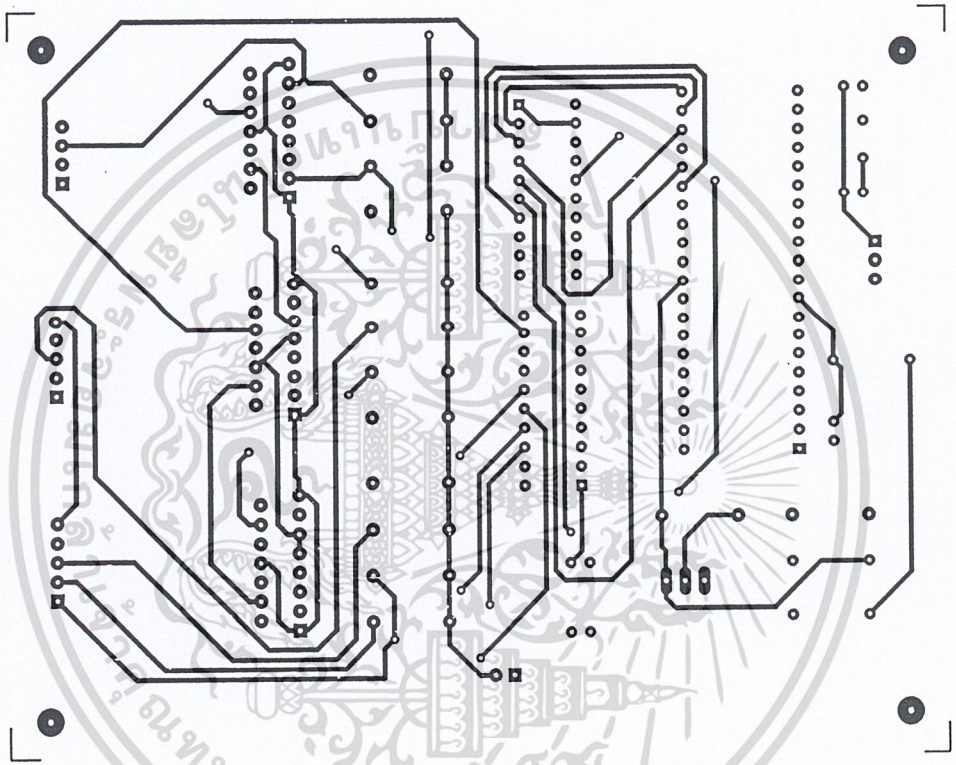
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



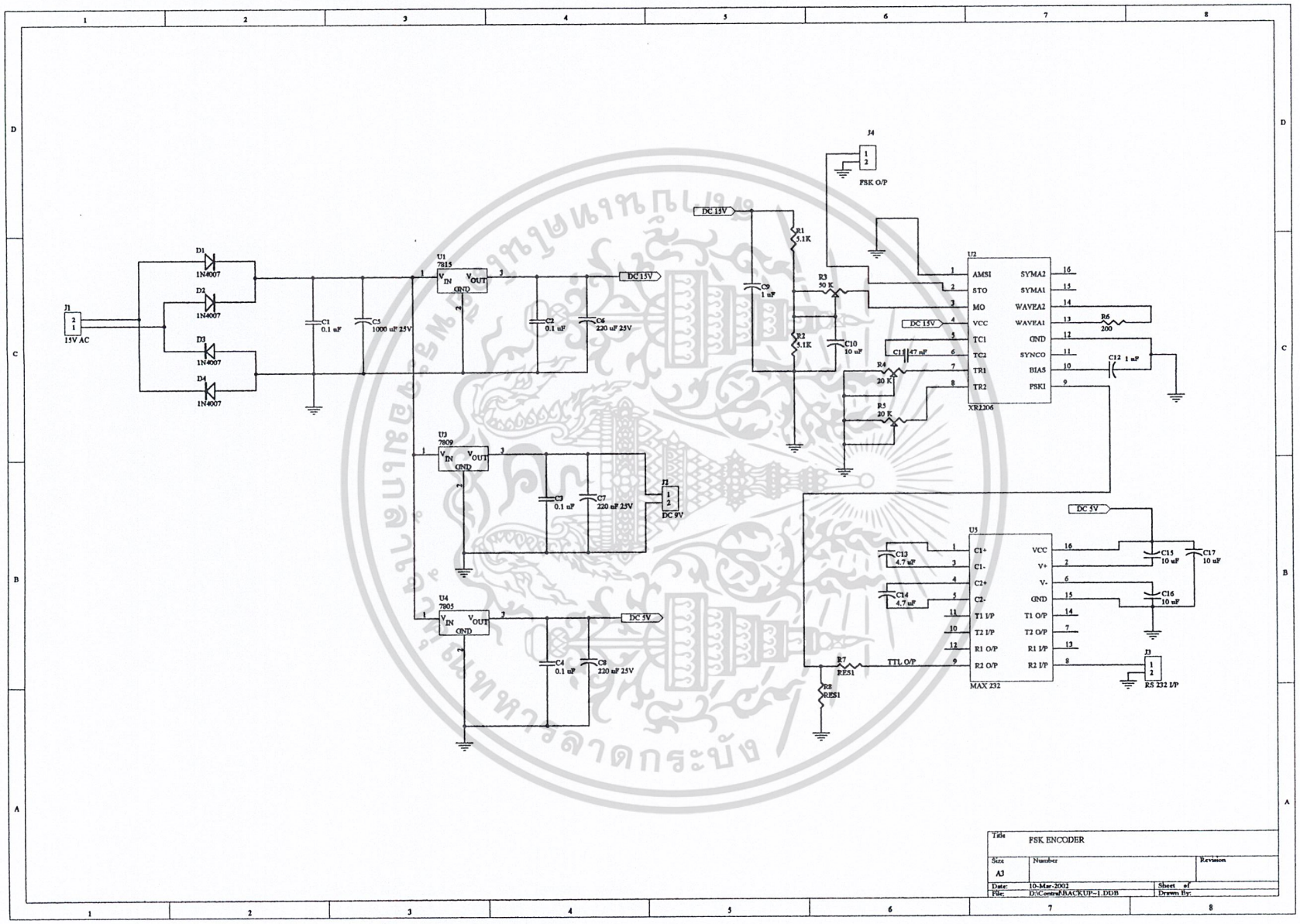
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

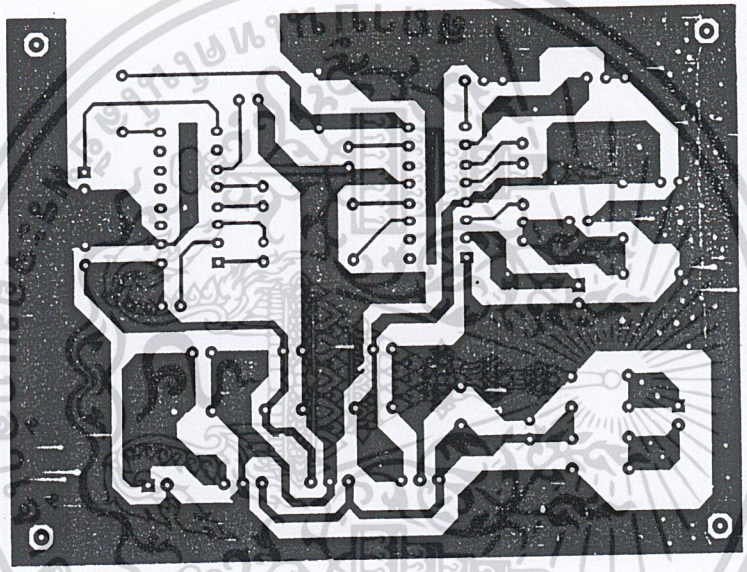


รูปแสดงลายปริ้นท์ด้านบนของส่วนของการควบคุม

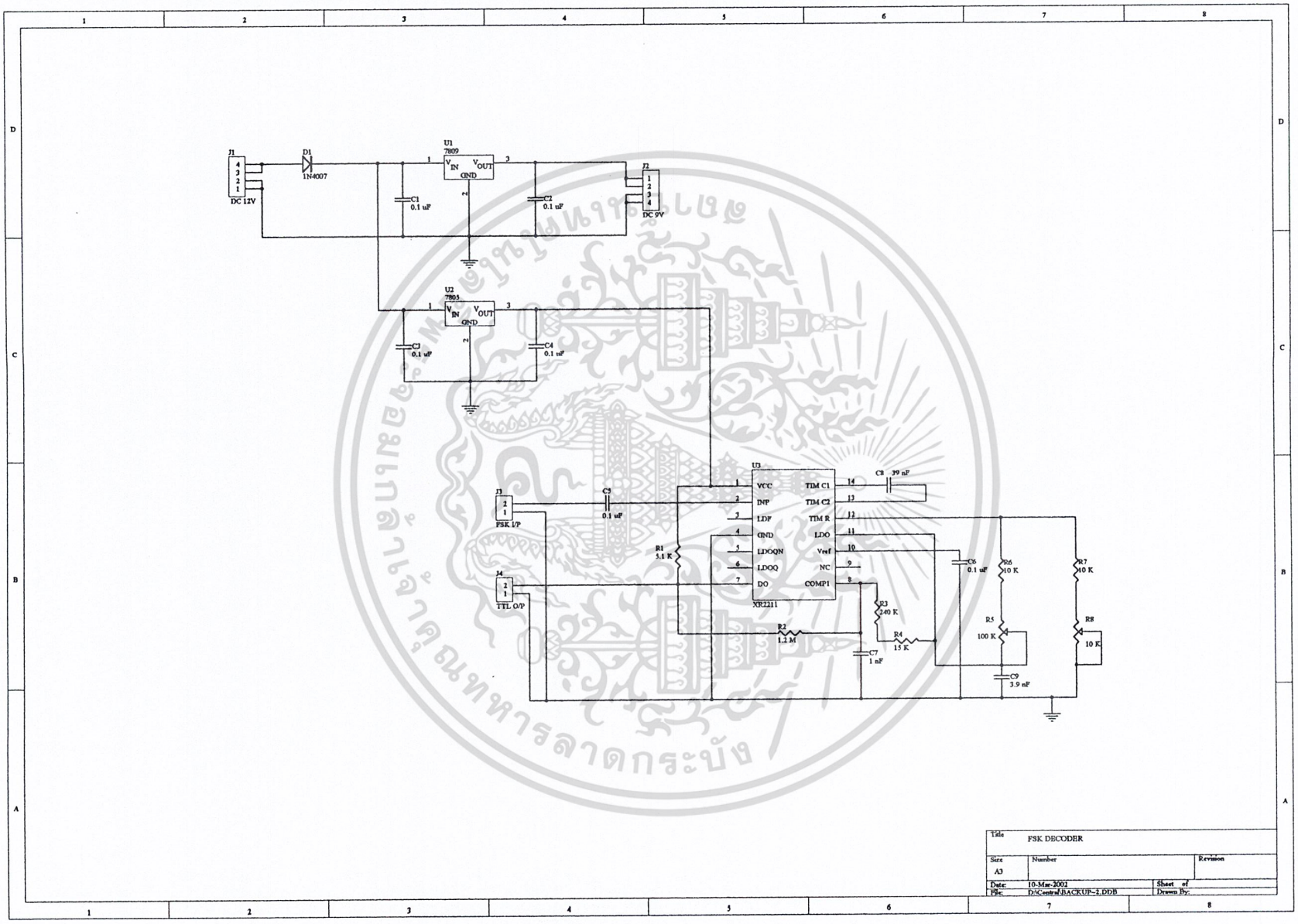


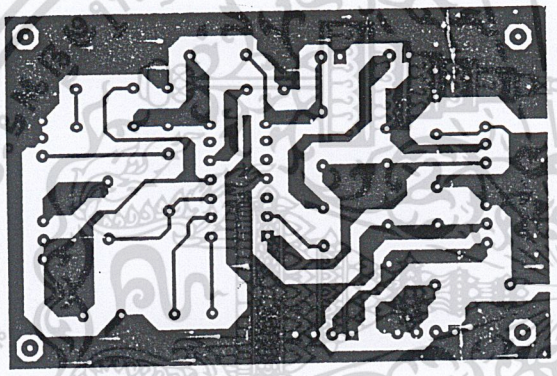
รูปแสดงลายปริ้นท์ด้านล่างของส่วนของการควบคุม


J1
15V AC
D1
1N4007
D2
1N4007
D3
1N4007
D4
1N4007
C1
0.1 uF
C5
1000 uF 25V
U1
7815
C2
0.1 uF
C6
220 uF 25V
DC 15V
U3
7809
C3
0.1 uF
C7
220 uF 25V
J2
DC 9V
U4
7905
C4
0.1 uF
C8
220 uF 25V
DC 5V
J4
FSK O/P
R1
5.1K
R2
5.1K
C9
1 uF
C10
10 uF
R3
50 K
R4
20 K
R5
20 K
C11
47 nF
C12
1 nF
R6
200
U2
XR2206
AMSI
STO
MO
VCC
TC1
TC2
TR1
TR2
SYMA2
SYMA1
WAVEA2
WAVEA1
GND
SYNCO
BIAS
FSKI
U5
MAX 232
C13
4.7 uF
C14
4.7 uF
C15
10 uF
C16
10 uF
C17
10 uF
C1+
C1-
C2+
C2-
T1 I/P
T2 I/P
R1 O/P
R2 O/P
VCC
V+
V-
GND
T1 O/P
T2 O/P
R1 I/P
R2 I/P
R7
RES1
R8
RES1
TTL O/P
J3
RS 232 I/P
Title
FSK ENCODER
Size
A3
Number
Revision
Date:
10-Mar-2003
Sheet of
File:
D:\Center\BACKUP~1.DDB
Drawn By:



รูปแสดงลายปริ้นท์ของส่วนของการเข้ารหัส FSK


J1
DC 12V
D1
1N4007
U1
7809
VIN
VOUT
GND
C1
0.1 uF
C2
0.1 uF
J2
DC 9V
U2
7805
C3
0.1 uF
C4
0.1 uF
J3
FSK I/P
C5
0.1 uF
J4
TTL O/P
U3
XR2211
VCC
INP
LDF
GND
LDOQN
LDOQ
DO
TIM C1
TIM C2
TIM R
LDO
Vref
NC
COMP1
C8 39 nF
C6
0.1 uF
R1
5.1 K
R2
1.2 M
R3
240 K
R4
15 K
R5
100 K
R6
10 K
R7
10 K
R8
10 K
C7
1 nF
C9
3.9 nF
Title
FSK DECODER
Size
A3
Number
Revision
Date:
10-Mar-2002
Sheet of
File:
D:\Central\BACKUP~2.DDB
Drawn By:



รูปแสดงลายปริ้นท์ของส่วนของการถอดรหัส FSK

ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*********************************************************************
'     PROGRAM IMAGE PROCESSING BITMAP 24 BIT
'                    Form1 (Image Processing.frm)
'*********************************************************************



Option Explicit

Dim myBitmap As Bitmap
Dim BitmapHeader As BITMAPFILEHEADER

Dim Memory As Long
Dim I As Long
Dim J As Long
Dim WidthSize As Long
Dim HeightSize As Long
Dim Posision As Long
Dim Redundency As Long
Dim G1 As Long
Dim G2 As Long

Dim DataBitmap() As Byte
Dim G() As Integer

Private Sub Command1_Click()

NumberPicture = 1
Form1.Hide
Display.Show

End Sub

Private Sub Command2_Click()

NumberPicture = 2
Form1.Hide
Display.Show

End Sub

Private Sub Command3_Click()

NumberPicture = 3
Form1.Hide
Display.Show

End Sub

Private Sub Exit_Click()

Unload Me
End

End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

Unload Me
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

'////////// Open picture file ( *.bmp) //////////

Private Sub Open_Click()

Command1.Enabled = False
Command2.Enabled = False
Command3.Enabled = False

Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
Text4.Text = ""
Text5.Text = ""
Text6.Text = ""
Text7.Text = ""
Text8.Text = ""
Text9.Text = ""

CommonDialog1.Filter = "*.BMP|*.BMP"
CommonDialog1.ShowOpen
On Error GoTo 1:

Filename = CommonDialog1.Filename

'////////// Backup ภาพปกติ //////////

Set myPicture(1) = LoadPicture(CommonDialog1.Filename)
FileCopy CommonDialog1.Filename, "BackUp1.bmp"

Memory = FreeFile
Open CommonDialog1.Filename For Binary As #Memory

ReDim DataBitmap(0 To LOF(Memory))
Get #Memory, , DataBitmap()

'////////// ตรวจสอบขนาดของ File //////////

BitmapHeader.bfSize = LOF(Memory)
Text4.Text = BitmapHeader.bfSize & " Bytes"

Close #Memory

'////////// ตรวจสอบ File *.BMP //////////

Text1.Text = Chr$(DataBitmap(0)) & Chr$(DataBitmap(1))
BitmapHeader.bfType = Text1.Text

If BitmapHeader.bfType <> "BM" Then
MsgBox ("Can not open file")
End If

'////////// ตรวจสอบความกว้างของภาพ //////////

myBitmap.bmWidth = Val(DataBitmap(19)) * 256 + Val(DataBitmap(18))
W = Val(myBitmap.bmWidth)
Text2.Text = myBitmap.bmWidth & " Pixel"

'////////// ตรวจสอบความยาวของภาพ //////////
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
myBitmap.bmHeight = Val(DataBitmap(23)) * 256 + Val(DataBitmap(22))
H = Val(myBitmap.bmHeight)
Text3.Text = myBitmap.bmHeight & " Pixel"


'////////// ตรวจสอบขนาดของภี //////////

myBitmap.bmPlanes =Val(DataBitmap(28))
Text5.Text =myBitmap.bmPlanes & "Bit"

' ////////// ตรวจสอบขนาดของเส้นสแกนภาพ //////////

If myBitmap.bmPlanes =24 Then
myBitmap.bmWidthBytes =(Val(DataBitmap(36))*(256 ^ 2))+(Val(DataBitmap(35)) *
256) + (Val(DataBitmap(34)))
myBitmap.bmWidthBytes = (myBitmap.bmWidthBytes) - (myBitmap.bmWidth
* myBitmap.bmHeight * 3)
myBitmap.bmWidthBytes = myBitmap.bmWidthBytes / myBitmap.bmHeight
Text6.Text = myBitmap.bmWidthBytes & " Bit"

ElseIf myBitmap.bmPlanes = 8 Then
myBitmap.bmWidthBytes = (Val(DataBitmap(36)) * (256 ^ 2)) +
(Val(DataBitmap(35)) * 256) + (Val(DataBitmap(34)))
myBitmap.bmWidthBytes = (myBitmap.bmWidthBytes) - (myBitmap.bmWidth
* myBitmap.bmHeight)
myBitmap.bmWidthBytes = myBitmap.bmWidthBytes / myBitmap.bmHeight
Text6.Text = myBitmap.bmWidthBytes & " Bit"

Else
Text6.Text = "0"
End If

'////////// ตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูลภาพ //////////

myBitmap.bmBits = Val(DataBitmap(11)) * 256 + Val(DataBitmap(10))
Text7.Text = myBitmap.bmBits

If myBitmap.bmPlanes = 24 Then
Call Threshold24Bit
Call ImageBinary24Bit
Call RobertsOperator
Else
Text8.Text = "0"

End If

1: End Sub

'////////// หาค่า Threshold 24 Bit //////////

Private Sub Threshold24Bit()

WidthSize = myBitmap.bmWidth + 2
HeightSize = myBitmap.bmHeight + 2
Redundency = myBitmap.bmWidthBytes
Posision = myBitmap.bmBits
Threshold = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text9.Text = "คำนวน...."

DoEvents

ReDim Y(0 To WidthSize, 0 To HeightSize)

For J = 1 To (HeightSize - 2) Step 1

For I = 1 To (WidthSize - 2) Step 1
Y(I, J) = (Val(DataBitmap(Posision)) + Val(DataBitmap(Posision + 1))
+ Val(DataBitmap(Posision + 2))) / 3
Threshold = Threshold + Y(I, J)
Posision = Posision + 3
Next I

Posision = Posision + Redundency

Next J
Threshold = Threshold / (myBitmap.bmWidth * myBitmap.bmHeight)
Text8.Text = Threshold
Command1.Enabled = True

End Sub

'////////// ภาพขาวดำ 24 Bit //////////

Private Sub ImageBinary24Bit()

Redundency = myBitmap.bmWidthBytes
Posision = myBitmap.bmBits

DoEvents
For J = 1 To (HeightSize - 2) Step 1

For I = 1 To (WidthSize - 2) Step 1
If Y(I, J) < Threshold Then
Y(I, J) = 0
ElseIf Y(I, J) >= Threshold Then
Y(I, J) = 255
End If

Next I
Next J

Memory = FreeFile
Open CommonDialog1.Filename For Binary As #Memory

For J = 1 To (HeightSize - 2) Step 1

For I = 1 To (WidthSize - 2) Step 1

Put #Memory, Posision, Y(I, J)
Put #Memory, Posision + 1, Y(I, J)
Put #Memory, Posision + 2, Y(I, J)

Posision = Posision + 3
Next I

Posision = Posision + Redundency
Next J
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Close #Memory
Text9.Text = "โปรดรอสักระยะ.."
Command2.Enabled = True

'////////// Backup ภาพขาว-ดำ //////////

Set myPicture(2) = LoadPicture(CommonDialog1.Filename)
FileCopy CommonDialog1.Filename, "BackUp2.bmp"

End Sub

'////////// หาขอบภาพ 24 Bit โดยวิธีการของโรเบิร์ต //////////

Private Sub RobertsOperator()

Redundency = myBitmap.bmWidthBytes
Posision = myBitmap.bmBits

ReDim G(0 To WidthSize, 0 To HeightSize)

DoEvents
For J = 1 To (HeightSize - 1) Step 1

For I = 1 To (WidthSize - 1) Step 1
G1 = Val(Y(I, J)) - Val(Y(I + 1, J + 1))
G2 = Val(Y(I, J + 1)) - Val(Y(I + 1, J))
G(I, J) = Abs(G1) + Abs(G2)

If G(I, J) <= 0 Then
G(I, J) = 255
ElseIf G(I, J) >= 255 Then
G(I, J) = 0

End If

Next I
Next J

Memory = FreeFile
Open CommonDialog1.Filename For Binary As #Memory

For J = 1 To (HeightSize - 2) Step 1

For I = 1 To (WidthSize - 2) Step 1

Put #Memory, Posision, G(I, J)
Put #Memory, Posision + 1, G(I, J)
Put #Memory, Posision + 2, G(I, J)

Posision = Posision + 3
Next I

Posision = Posision + Redundency

Next J

Close #Memory
Text9.Text = "Robert's เสร็จ....."
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Command3.Enabled = True

'/////////// Backup ขอบภาพ //////////

Set myPicture(3) = LoadPicture(CommonDialog1.Filename)
FileCopy CommonDialog1.Filename, "BackUp3.bmp"
FileCopy "backup1.bmp", CommonDialog1.Filename

End Sub

'/////////// หาขอบภาพ 24 Bit โดยวิธีการของ Prewitt //////////

Private Sub PrewittOperator()

Redundency = myBitmap.bmWidthBytes
Posision = myBitmap.bmBits

ReDim G(0 To WidthSize, 0 To HeightSize)

DoEvents
For J = 0 To (HeightSize - 1) Step 1

For I = 0 To (WidthSize - 1) Step 1
G1 = Val(Y(I, J)) - Val(Y(I + 1, J + 1))
G2 = Val(Y(I, J + 1)) - Val(Y(I + 1, J))
G(I, J) = Abs(G1) + Abs(G2)

If G(I, J) <= 0 Then
G(I, J) = 255
ElseIf G(I, J) >= 255 Then
G(I, J) = 0
End If

Next I

Next J

Memory = FreeFile
Open CommonDialog1.Filename For Binary As #Memory

For J = 0 To HeightSize Step 1

For I = 0 To WidthSize Step 1

Put #Memory, Posision, G(I, J)
Put #Memory, Posision + 1, G(I, J)
Put #Memory, Posision + 2, G(I, J)

Posision = Posision + 3
Next I

Posision = Posision + Redundency

Next J

Close #Memory

Text9.Text = "Prewitt's เสร็จ........"

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Show_Click()

Form1.Hide
Display.Show

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*****************************
'  ส่วนแสดงผล
'  Display (Display.frm)
'*****************************


Option Explicit

Private Sub Form_Load()

Picture1.AutoSize = True

Picture1.Top = 0
Picture1.Left = 0

If NumberPicture = 1 Then
Set Picture1.Picture = myPicture(1)
Display.Width = Picture1.Width + 150
Display.Height = Picture1.Height + 450
End If

If NumberPicture = 2 Then
Set Picture1.Picture = myPicture(2)
Display.Width = Picture1.Width + 150
Display.Height = Picture1.Height + 450
End If

If NumberPicture = 3 Then
Set Picture1.Picture = myPicture(3)
Display.Width = Picture1.Width + 150
Display.Height = Picture1.Height + 450
End If


End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

Display.Hide
Form1.Show

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
' ****************************************
'                ส่วนของการประกาศตัวแปร
'           TypeBitmap (TypeBitmap.bas)
'****************************************

Option Explicit

Public Y() As Byte

Public Threshold As Double
Public Filename As String
Public NumberPicture As Integer
Public W As Long
Public H As Long

Public myPicture(1 To 4) As Picture

Public Type Bitmap '14 bytes
        bmType As Long
        bmWidth As Long
        bmHeight As Long
        bmWidthBytes As Long
        bmPlanes As Integer
        bmBitsPixel As Integer
        bmBits As Long
End Type

Public Type BITMAPFILEHEADER
        bfType As String * 2
        bfSize As Long
        bfReserved1 As Integer
        bfReserved2 As Integer
        bfOffBits As Long
End Type

Public Type RGBQUAD
        rgbBlue As Byte
        rgbGreen As Byte
        rgbRed As Byte
        rgbReserved As Byte
End Type
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'***********************************
' SUB JOYSTICK  ของ frmMain
'***********************************

Option Explicit

Dim Stop_ As Boolean
Dim Servo1 As Integer
Dim Step1 As Integer

Implements DirectXEvent

Dim dx As New DirectX7
Dim di As DirectInput
Dim diDev As DirectInputDevice
Dim diDevEnum As DirectInputEnumDevices
Dim EventHandle As Long
Dim joyCaps As DIDEVCAPS
Dim js As DIJOYSTATE
Dim DiProp_Dead As DIPROPLONG
Dim DiProp_Range As DIPROPRANGE
Dim DiProp_Saturation As DIPROPLONG
Dim AxisPresent(1 To 8) As Boolean
Dim running As Boolean

Sub InitDirectInput()

Set di = dx.DirectInputCreate()
Set diDevEnum = di.GetDIEnumDevices(DIDEVTYPE_JOYSTICK,
DIEDFL_ATTACHEDONLY)
If diDevEnum.GetCount = 0 Then
MsgBox "No joystick attached."
Unload Me

End If

'Add attached joysticks to the listbox
Dim i As Integer
For i = 1 To diDevEnum.GetCount
Call lstJoySticks.AddItem(diDevEnum.GetItem(i).GetInstanceName)
Next
lstJoySticks.Enabled = True
' Get an event handle to associate with the device
EventHandle = dx.CreateEvent(Me)
Exit Sub

Error_Out:
MsgBox "Error initializing DirectInput."
Unload Me

End Sub


Private Sub DirectXEvent_DXCallback(ByVal eventid As Long)

' This is called whenever there's a change in the joystick state.
' We check the new state and update the display.


Dim i As Integer
Dim ListPos As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim S As String

If diDev Is Nothing Then Exit Sub

'' Get the device info
On Local Error Resume Next
diDev.GetDeviceStateJoystick js

If Err.Number = DIERR_NOTACQUIRED Or Err.Number = DIERR_INPUTLOST
Then
diDev.Acquire
Exit Sub
End If


On Error GoTo err_out

' Display axis coordinates
ListPos = 0
MSComm1.Output = Chr$(0)

For i = 1 To 8

If AxisPresent(i) Then
Select Case i

Case 1
S = "X: " & js.x
If js.x < 5 Then
MSComm1.Output = Chr$(&HF0)
ElseIf js.x > 9999 Then
MSComm1.Output = Chr$(&HF)
End If

Case 2
S = "Y: " & js.y
If js.y < 5 Then
MSComm1.Output = Chr$(&HEE)
ElseIf js.y > 9999 Then
MSComm1.Output = Chr$(&HFF)

End If

Case 3
S = "Z: " & js.z
Case 4
S = "RX: " & js.rx
Case 5
S = "RY: " & js.ry
Case 6
S = "RZ: " & js.rz
Case 7
S = "Slider0: " & js.slider(0)
Case 8
S = "Slider1: " & js.slider(1)

End Select

lstJoyAxis.List(ListPos) = S
ListPos = ListPos + 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If

Next

' Buttons

1:    For i = 0 To joyCaps.lButtons - 1
Select Case js.buttons(i)

Case 0
lstButton.List(i) = "Button " + CStr(i + 1) + ": Up"
Stop_ = False

Case Else
lstButton.List(i) = "Button " + CStr(i + 1) + ": Down"

' Focus Buttons

If i = 4 Then
MSComm1.Output = Chr$(&HA)
ElseIf i = 5 Then
MSComm1.Output = Chr$(&HB)
End If

'ปรับตำแหน่งกล้องตามแนวแกน X

If i = 1 And Servo1 <= &HE4 Then

Servo1 = Servo1 + 1
MSComm1.Output = Chr$(Servo1)

End If

If i = 3 And Servo1 >= &H1E Then

Servo1 = Servo1 - 1
MSComm1.Output = Chr$(Servo1)

End If

'ปรับตำแหน่งกล้องตามแนวแกน Y

If i = 0 And Step1 <= 23 Then
Step1 = Step1 + 1
MSComm1.Output = Chr$(&H1)
MSComm1.Output = Chr$(&H2)
MSComm1.Output = Chr$(&H4)
MSComm1.Output = Chr$(&H8)

ElseIf i = 2 And Step1 >= -6 Then
Step1 = Step1 - 1
MSComm1.Output = Chr(&H8)
MSComm1.Output = Chr$(&H4)
MSComm1.Output = Chr$(&H2)
MSComm1.Output = Chr$(1)
End If

'กลับมาที่ตำแหน่งศูนย์กลาง

If i = 6 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Servo1 = &H7C
MSComm1.Output = Chr$(&H7C)

If Step1 > 0 Then
While Step1 > 0
Step1 = Step1 - 1
MSComm1.Output = Chr$(&H8)
MSComm1.Output = Chr$(&H4)
MSComm1.Output = Chr$(&H2)
MSComm1.Output = Chr$(&H1)
Wend
End If

If Step1 < 0 Then
While Step1 < 0
Step1 = Step1 + 1
MSComm1.Output = Chr$(&H1)
MSComm1.Output = Chr$(&H2)
MSComm1.Output = Chr$(&H4)
MSComm1.Output = Chr$(&H8)
Wend
End If
End If

End Select
Next

' Hats
For i = 0 To joyCaps.lPOVs - 1
lstHat.List(i) = "POV " + CStr(i + 1) + ": " + CStr(js.POV(i))
Next

Me.Caption = "Active Robot  Control "

Exit Sub

err_out:
MsgBox Err.Description & " : " & Err.Number, vbApplicationModal
End

End Sub

Private Sub Form_Load()

running = True
InitDirectInput

MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "1200,n,8,1"
MSComm1.PortOpen = True
Servo1 = &H7C
'FileCopy CommonDialog1.FileName, com1
MSComm1.Output = Chr$(&H7C)

End Sub


Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

If EventHandle <> 0 Then dx.DestroyEvent EventHandle
running = False
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DoEvents
MSComm1.Output = Chr$(0)
MSComm1.PortOpen = False
Unload Me
'diDev.Unacquire

End
End Sub

Private Sub lstJoySticks_Click()

On Local Error Resume Next

Call CLRLISTS

'Create the joystick device
Set diDev = Nothing
Set diDev = di.CreateDevice(diDevEnum.GetItem(lstJoySticks.ListIndex
+ 1).GetGuidInstance)

diDev.SetCommonDataFormat DIFORMAT_JOYSTICK
diDev.SetCooperativeLevel Me.hWnd, DISCL_BACKGROUND Or
DISCL_NONEXCLUSIVE

' Find out what device objects it has
diDev.GetCapabilities joyCaps
Call IdentifyAxes(diDev)

' Ask for notification of events
Call diDev.SetEventNotification(EventHandle)

' Set deadzone for X and Y axis to 10 percent of the range of travel
With DiProp_Dead
.lData = 1000
.lObj = DIJOFS_X
.lSize = Len(DiProp_Dead)
.lHow = DIPH_BYOFFSET
.lObj = DIJOFS_X
diDev.SetProperty "DIPROP_DEADZONE", DiProp_Dead
.lObj = DIJOFS_Y
diDev.SetProperty "DIPROP_DEADZONE", DiProp_Dead
End With

' Set saturation zones for X and Y axis to 5 percent of the range
With DiProp_Saturation
.lData = 9500
.lHow = DIPH_BYOFFSET
.lSize = Len(DiProp_Saturation)
.lObj = DIJOFS_X
diDev.SetProperty "DIPROP_SATURATION", DiProp_Saturation
.lObj = DIJOFS_Y
diDev.SetProperty "DIPROP_SATURATION", DiProp_Saturation
End With

SetProp


diDev.Acquire
Me.Caption = " Joystick :Querying Properties"
' Get the list of current properties
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
' USB joysticks wont call this callback until you play with the
joystick
' so we call the callback ourselves the first time
DirectXEvent_DXCallback 0

' Poll the device so that events are sure to be signaled.
' Usually this would be done in Sub Main or in the game rendering
loop.

While running = True
DoEvents
diDev.Poll
Wend

End Sub

Sub SetProp()

' Set range for all axes
With DiProp_Range
.lHow = DIPH_DEVICE
.lSize = Len(DiProp_Range)
.lMin = 0
.lMax = 10000
End With
diDev.SetProperty "DIPROP_RANGE", DiProp_Range

End Sub

Sub CLRLISTS()

lstJoyAxis.Clear
lstButton.Clear
lstHat.Clear

End Sub

Sub IdentifyAxes(diDev As DirectInputDevice)

' It's not enough to count axes; we need to know which in particular
' are present.

Dim didoEnum As DirectInputEnumDeviceObjects
Dim dido As DirectInputDeviceObjectInstance
Dim i As Integer

For i = 1 To 8
AxisPresent(i) = False
Next

' Enumerate the axes
Set didoEnum = diDev.GetDeviceObjectsEnum(DIDFT_AXIS)

' Check data offset of each axis to learn what it is

For i = 1 To didoEnum.GetCount
Set dido = didoEnum.GetItem(i)
Select Case dido.GetOfs
Case DIJOFS_X
AxisPresent(1) = True
Case DIJOFS_Y
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
AxisPresent(2) = True
Case DIJOFS_Z
AxisPresent(3) = True
Case DIJOFS_RX
AxisPresent(4) = True
Case DIJOFS_RY
AxisPresent(5) = True
Case DIJOFS_RZ
AxisPresent(6) = True
Case DIJOFS_SLIDER0
AxisPresent(7) = True
Case DIJOFS_SLIDER1
AxisPresent(8) = True
End Select

Next

frmMain.Hide
Form1.Show
DriverName = diDevEnum.GetItem(lstJoySticks.ListIndex +
1).GetInstanceName

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*************************************
'       Sub Program  ของ Form1
      ControlRobotic.frm
'*************************************


Option Explicit


Private Sub Exit_Click()

Unload Form1
Unload frmMain

End Sub

Private Sub Form_Load()

Form1.Hide
frmMain.Show

Label2.Caption = "Click ที่ File หลังจากนั้น Click ที่ Run  เพื่อเปิดโปรแกรมแสดงผล"

End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

Unload Form1
Unload frmMain

End Sub

Private Sub Run_Click()

Dim RealPlay
RealPlay = Shell("C:\Progra~1\Pixel\PixelTv.exe", vbNormalFocus)

 'Run PixelTV.EXE

Text1.Text = DriverName
Me.Caption = "Active"
Label2.Caption = "Double Click ที่ส่วนแสดงผล เพื่อให้ได้ภาพแบบ Full Screen"

End Sub


'*****************************************************************
'  ส่วนกำหนดตัวแปรของแบบ Gobal ของProgram Control
'     Buttom.bas
'*****************************************************************

Option Explicit

Public DriverName   As String
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;************************************************

; Program    : Servo motor
; Description      : Show servo operation
; Copyright : 2001

;************************************************


              ORG 0000H


              MOV P1,#0FFH
              MOV P3,#00H

LOOP:         MOV R0,#05H
              MOV A,#00H
              MOV A,P1

              CJNE A,#0FFH,NEXT
              CLR P3.7

              SJMP LOOP

NEXT:         SETB P3.7
              ACALL PULSE_ON
              SJMP LOOP

PULSE_ON:     MOV R1,A
              DJNZ R1,$
              DJNZ R0,PULSE_ON
              CLR P3.7

PULSE_OFF:    MOV R1,#01EH
LOOP1:              MOV R2,#01EH
LOOP2:              MOV R3,#04H
              DJNZ R3,$
              DJNZ R2,LOOP2
              DJNZ R1,LOOP1
              NOP
              NOP
              NOP
              NOP
              RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************************************

;Program     :Robotic .Asm

;Copyright   :2002

;*******************************************************


                ORG 0000H

            DATA  EQU   30H

            MOV   P0,#00H
            MOV   P1,#0FFH
            MOV   P2,#00H

            MOV   SCON,#50H
            MOV   PCON,#00H
            MOV   TMOD,#21H

            MOV   TH1,#0E8H   ;1200 bps
            MOV   TL1,#0E8H

            MOV   TCON,#01000000B
            SETB  TR1

MAIN:       JNB   RI,$
            CLR   RI
            MOV   A,SBUF



;*******************************************************
;               SUB CLEAR ALL
;*******************************************************

            CJNE  A,#00H,NEXT
            MOV   P0,#00H
            MOV   P1,#0FFH
            MOV   P2,#00H
            SJMP  MAIN

;*******************************************************
;              SUB CONTROL SERVO MOTOR
;*******************************************************

NEXT:       MOV   R0,#0E5H
LOOP:       DJNZ  R0,NEXT_1

NEXT_1:     MOV   DATA,R0
            CJNE  R0,#12H,NEXT_2
            SJMP  EXIT_LOOP

NEXT_2:     CJNE  A,DATA,LOOP

            MOV   P1,A

EXIT_LOOP:  NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************************************
;            CONTROL STEPPER MOTOR
;*******************************************************

            CJNE   A,#01H,STEPPER_1
            MOV    P0,A
STEPPER_1:  CJNE   A,#02H,STEPPER_2
            MOV    P0,A
STEPPER_2:  CJNE   A,#04H,STEPPER_3
            MOV    P0,A
STEPPER_3:  CJNE   A,#08H,DC_1
            MOV    P0,A

;*******************************************************
;               CONTROL DC MOTOR
;*******************************************************

DC_1:       CJNE   A,#0FH,DC_2
            MOV    P2,#09H
DC_2:       CJNE   A,#0F0H,DC_3
            MOV    P2,#06H
DC_3:       CJNE   A,#0FFH,DC_4
            MOV    P2,#0AH
DC_4:       CJNE   A,#0EEH,DC_5
            MOV    P2,#05H

;*******************************************************
;                  FOCUS
;*******************************************************

DC_5:       CJNE   A,#0AH,FOCUS_1
            MOV    P0,#01000000B

FOCUS_1:    CJNE   A,#0BH,FOCUS_2
            MOV    P0,#10000000B

FOCUS_2:    NOP

            SJMP   MAIN

            END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARCHER®

TECHNICAL DATA

AN EXCLUSIVE RADIO SHACK SERVICE TO THE EXPERIMENTER

XR-2206 Monolithic Function Generator

Description

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp and pulse waveforms of high stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01 Hz to more than 1 MHz.

The XR-2206 is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM or FSK generation. It has a typical drift specification of 20 ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage with very little affect on distortion.

As shown in Figure 1, the monolithic circuit is comprised of four functional blocks: a voltage-controlled oscillator (VCO); an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches. The internal current switches transfer the oscillator current to any one of the two external timing resistors to produce two discrete frequencies selected by the logic level at the FSK input terminal (pin 9).

Features

- Low Sinewave Distortion (THD .5%), insensitive to signal sweep
- Excellent Stability (20 ppm/°C, typ)
- Wide Sweep Range (2000:1, typ)
- Low Supply Sensitivity (0.01%/V, typ)
- Linear Amplitude Modulation
- Adjustable Duty-Cycle (1% to 99%)
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range (10V to 26V)

Applications

- Waveform Generation
  Sine, Square, Triangle, Ramp
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- FSK and PSK Generation
- Voltage-to-Frequency Conversion
- Tone Generation
- Phase-Locked Loops

Absolute Maximum Ratings

Power Supply	**26V**
Power Dissipation	**625mW**
Derate above +25°C	**5 mW/°C**
Storage Temperature Range	**–65°C to +150°C**
Operating Temperature Range	**0°C to +75°C**

EQUIVALENT SCHEMATIC DIAGRAM

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

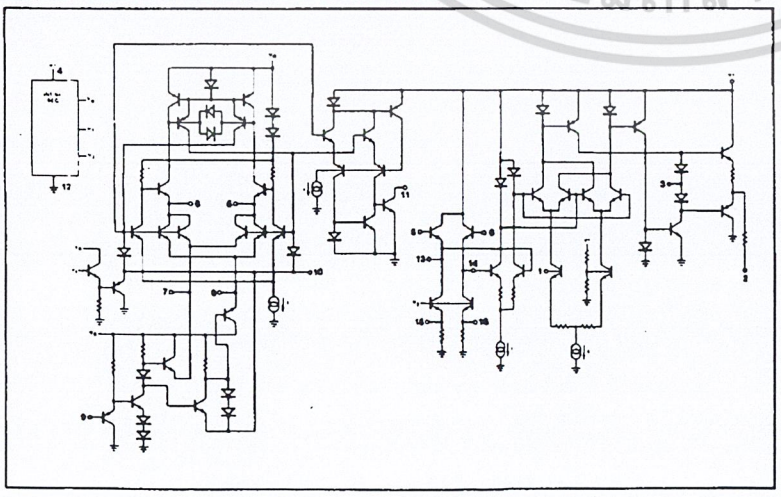


Figure 1.

CUSTOM PACKAGED IN USA BY RADIO SHACK, A DIVISION OF TANDY CORPORATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Fig. 2, $V^+ = 12V$, $T_A = 25°C$, $C = 0.01\ \mu F$, $R_1 = 100\ K\Omega$, $R_2 = 10\ K\Omega$ $R_3 = 25\ K\Omega$ unless otherwise specified. S_1 open for triangle, closed for sinewave.

CHARACTERISTICS	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	CONDITIONS
Supply Voltage					
Single Supply	10		26	V	
Split Supply	±5		±13	V	
Supply Current		14	20	mA	$R_1 \geq 10\ K\Omega$
Oscillator Section					
Max. Operating Frequency	0.5	1		MHz	C = 1000 pF, R_1 = 1 KΩ
Lowest Practical Frequency		0.01		Hz	C = 50 μF, R_1 = 2 MΩ
Frequency Accuracy		±2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1C$
Temperature Stability		±20		ppm/°C	$0° C \leq T_A \leq 75°C$, $R_1 = R_2$ = 20 KΩ
Supply Sensitivity		0.01		%/V	V_{LOW} = 10V, V_{HIGH} = 20V, $R_1 = R_2$ = 20 KΩ
Sweep Range		2000:1		f_H/f_L	f_H@R = 1 KΩ, f_L@R_1 = 2 MΩ
Sweep Linearity					
10:1 Sweep		2		%	f_L = 1 kHz, f_H = 10 kHz
1000:1 Sweep		8		%	f_L = 100 Hz, f_H = 100 kHz
FM Distortion		0.1		%	±10% Deviation
Recommended Timing Components					
Timing Capacitor: C	0.001		100	μF	See Figure 5
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	KΩ	
Triangle/Sinewave Output					See Note 1, Fig. 3
Triangle Amplitude		160		mV/KΩ	Fig. 2 S_1 Open
Sinewave Amplitude		60		m/VKΩ	Fig. 2 S_1 Closed
Max. Output Swing		6		Vpp	
Output Impedance		600		Ω	
Triangle Linearity		1		%	
Amplitude Stability		0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sinewave Amplitude Stability		−4800		ppm/°C	See Note 2
Sinewave Distortion					R_1 = 30 KΩ
Without Adjustment		2.5		%	See Figure 8
With Adjustment		0.5	1.5	%	See Figure 9
Amplitude Modulation					
Input Impedance	50	100		KΩ	
Modulation Range		100		%	
Carrier Suppression		55		dB	
Linearity		2		%	For 95% modulation
Square Wave Output					Measured at Pin 11
Amplitude		12		Vpp	
Rise Time		250		nsec	C_L=10 pF
Fall Time		50		nsec	C_L=10 pF
Saturation Voltage		0.2	0.6	V	I_L=2 mA
Leakage Current		0.1	100	μA	V_{11}=26 V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	V	See Section on Circuit Controls
Reference Bypass Voltage	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Note 1: Output Amplitude is directly proportional to the resistance R_3 on Pin 3. See Figure 3.
Note 2: For maximum amplitude stability R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

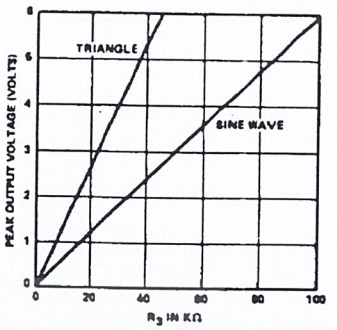


Figure 3. Output Amplitude as a Function of Resistor R_3 at Pin 3.

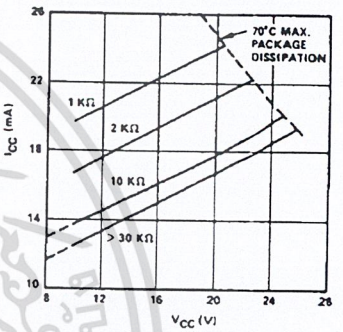


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing R

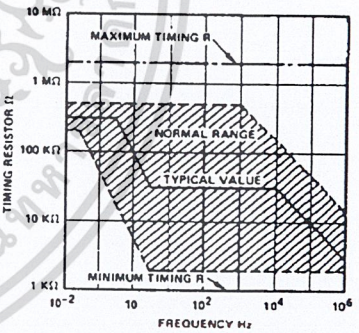


Figure 5. R vs Oscillation Frequency

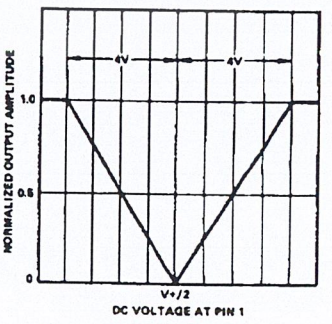


Figure 6. Normalized Output Amplitude vs DC Bias at AM Input (Pin 1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

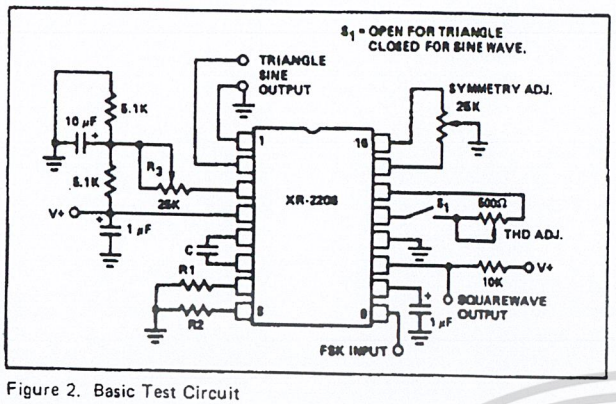


Figure 2. Basic Test Circuit

DESCRIPTION OF CIRCUIT CONTROLS

Frequency of Operation:

The frequency of oscillation, f_0, is determined by the external timing capacitor C across pins 5 and 6, and by the timing resistor R connected to either pin 7 or pin 8. The frequency is given as

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C. The recommended values of R for a given frequency range are shown in Figure 5. Temperature-stability is optimum for 4 KΩ < R < 200 KΩ. Recommended values of C are from1000 pF to 100 µF.

Frequency Sweep And Modulation

Frequency of oscillation is proportional to the *total* timing current I_T drawn from pin 7 or 8

$$f = \frac{3201_T \text{ (mA)}}{C \text{ (µF)}} \text{ Hz}$$

Timing terminals (pins 7 or 8) are low impedance points and are internally biased at +3V, with respect to pin 12. Frequency varies linearly with I_T over a wide range of current values, from 1 µA to 3 mA. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C, to the activated timing pin as shown in Figure 7. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC}\left[1 + \frac{R}{RC}\left(1 - \frac{V_C}{3}\right)\right] \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K, is given as:

$$K = \partial f/\partial V_C = -\frac{0.32}{R_C C} \text{ Hz/V}$$

NOTE: For safe operation of the circuit I_T should be limited to ≤3 mA.

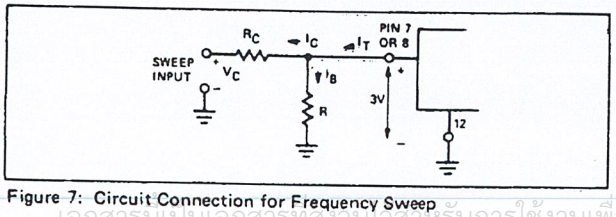


Figure 7: Circuit Connection for Frequency Sweep

Output Characteristics:

Output Amplitude: Maximum output amplitude is directly proportional to external resistor R_3 connected to Pin 3 (See Fig. 3). For sinewave output, amplitude is approximately 60mV peak per KΩ of R_3; for triangle, the peak amplitude is approximately 160 mV peak per KΩ of R_3. Thus, for example, R_3 = 50 KΩ would produce approximately ±3V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation: Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance at Pin 1 is approximately 100 KΩ. Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within ±4 volts of $V^+/2$ as shown in Fig. 6. As this bias level approaches $V^+/2$, the phase of the output signal is reversed; and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55 dB.

Note: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply since the output amplitude now becomes a function of V^+

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2, connected to the timing pins 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage ≤ 2V, only R_1 is active. Similarly, if the voltage level at pin 9 is ≤ 1V, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels, f_1 and f_2 as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at pin 9 is referenced to V^-.

Output DC Level Control

The dc level at the output (pin 2) is approximately the same as the dc bias at pin 3. In Figures 8, 9 and 10, pin 3 is biased mid-way between V^+ and ground, to give an output dc level of ≈ $V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sinewave Generation

A) Without External Adjustment

Figure 8 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer R_1 at pin 7 provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$ and the typical distortion (THD) is < 2.5%. If lower sinewave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

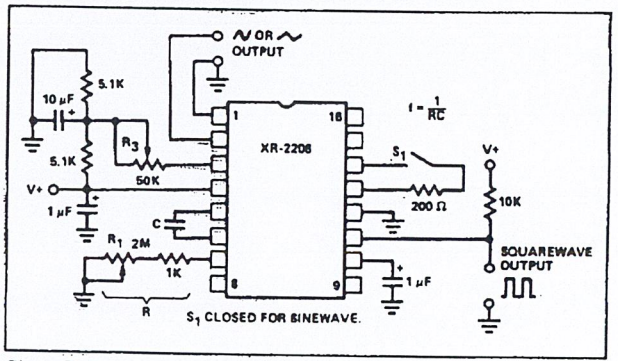


Figure 8: Circuit for Sinewave Generation Without External Adjustment. (See Fig. 3 for choice of R_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The circuit of Figure 8 can be converted to split supply operation simply by replacing all ground connections with V−. For split supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

B) With External Adjustment

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to ≈0.5% by additional adjustments as shown in Figure 9. The potentiometer R_A adjusts the sine-shaping resisitor; and R_B provides the fine-adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at mid-point and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

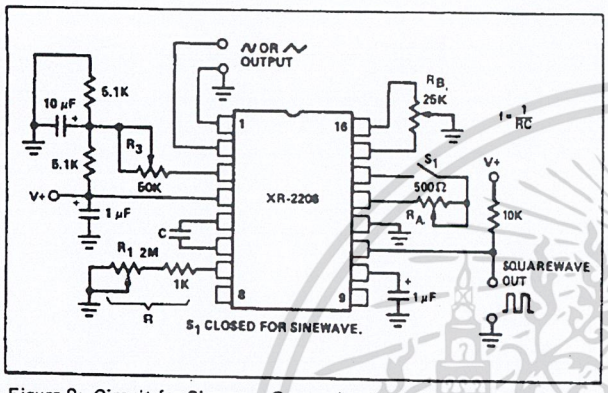


Figure 9: Circuit for Sinewave Generation With Minimum Harmonic Distortion. (R_3 Determines output Swing — See Fig. 3)

Triangle Wave Generation

The circuits of Figures 8 and 9 can be converted to triangle wave generation by simply open circuiting pins 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sinewave output.

FSK Generation

Figure 10 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal generation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors R_1 and R_2; and the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V−.

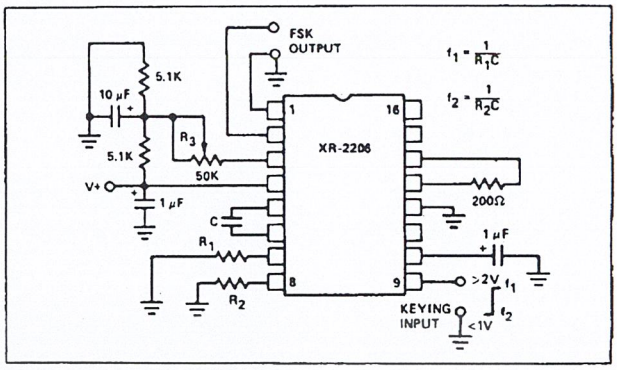


Figure 10: Sinusoidal FSK Generator

Pulse And Ramp Generation

Figure 11 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (pin 9) is shorted to the square-wave output (pin 11); and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive and negative going output waveforms. The pulse-width and the duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2. The values of R_1 and R_2 should be in the range of 1 KΩ to 2 MΩ.

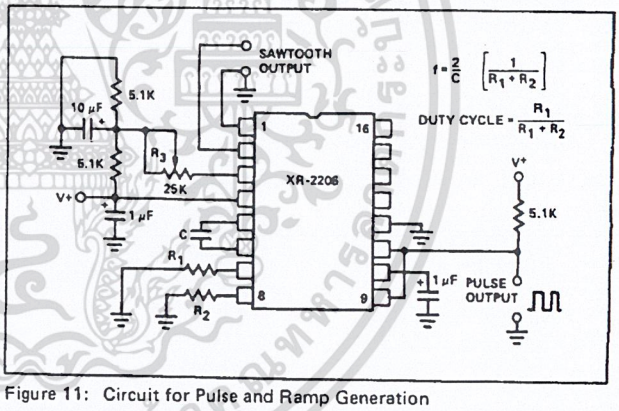


Figure 11: Circuit for Pulse and Ramp Generation

RADIO SHACK, A DIVISION OF TANDY CORPORATION

U.S.A.: FORT WORTH, TEXAS 76102
CANADA: BARRIE, ONTARIO L4M 4W5

TANDY CORPORATION

AUSTRALIA	BELGIUM	U. K.
91 KURRAJONG AVENUE MOUNT DRUITT, N.S.W. 2770	PARC INDUSTRIEL DE NANINNE 5140 NANINNE	BILSTON ROAD WEDNESBURY WEST MIDLANDS WS10 7JN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2211

FSK Demodulator/Tone Decoder

The XR-2211 is a monolithic phase-locked loop (PLL) system especially designed for data communications. It is particularly well suited for FSK modem applications. It operates over a wide supply voltage range of 4.5 to 20V and a wide frequency range of 0.01 Hz to 300 kHz. It can accommodate analog signals between 2 mV and 3V, and can interface with conventional DTL, TTL and ECL logic families. The circuit consists of a basic PLL for tracking an input signal within the pass band, a quadrature phase detector which provides carrier detection, and an FSK voltage comparator which provides FSK demodulation External components are used to independently set center frequency, bandwidth, and output delay.

FEATURES

Wide Frequency Range	0.01 Hz to 300 kHz
Wide Supply Voltage Range	4.5V to 20V
DTL/TTL/ECL Logic Compatibility	
FSK Demodulation, with Carrier-Detection	
Wide Dynamic Range	2 mV to 3 Vrms
Adjustable Tracking Range (±1% to ±80%)	
Excellent Temp. Stability	20 ppm/°C, typ.

APPLICATIONS

FSK Demodulation
Data Synchronization
Tone Decoding
FM Detection
Carrier Detection

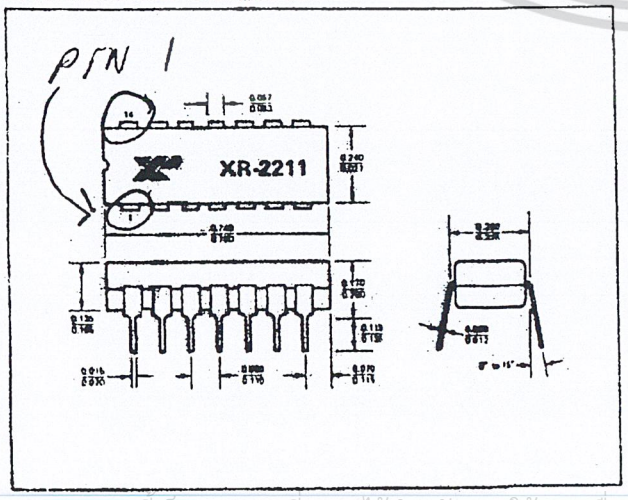
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	20V
Input Signal Level	3V rms
Power Dissipation	
Ceramic Package:	750 mW
Derate above T_A = +25°C	6 mW/°C
Plastic Package:	625 mW
Derate above T_A = +25°C	5.0 mW/°C

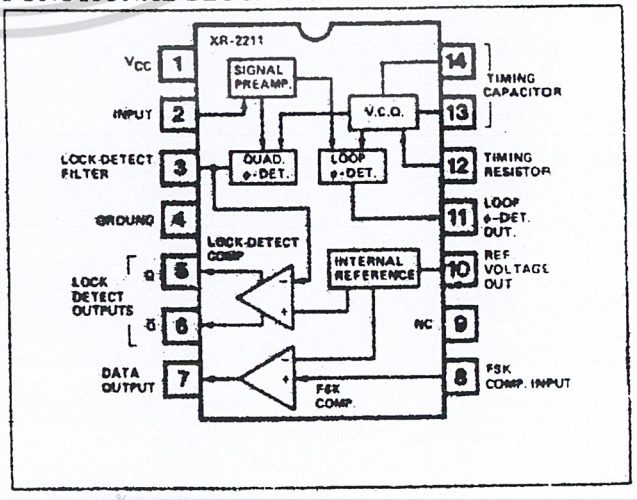
AVAILABLE TYPES

Part Number	Package	Operating Temperature
XR-2211M	Ceramic	-55°C to +125°C
XR-2211CN	Ceramic	0°C to +75°C
XR-2211CP	Plastic	0°C to +75°C
XR-2211N	Ceramic	-40°C to +85°C
XR-2211P	Plastic	-40°C to +85°C

PACKAGE INFORMATION



FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS

Conditions: $V^+ = +12V$, $T_A = +25°C$, $R_0 = 30\ K\Omega$, $C_0 = 0.033\ \mu F$. See Fig. 2 for component designation

CHARACTERISTICS	XR-2211/2211M			XR-2211C			UNITS	CONDITIONS
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.		
GENERAL								
Supply Voltage	4.5		20	4.5		20	V	
Supply Current		4	7		5	9	mA	$R_0 \geq 10\ K\Omega$. See Fig. 4
OSCILLATOR SECTION								
Frequency Accuracy		±1	±3		±1		%	Deviation from $f_0 = 1/R_0C_0$
Frequency Stability								$K_1 = \infty$
Temperature		±20	±50		±20		ppm/°C	See Fig. 8.
Power Supply		0.05	0.5		0.05		%/V	$V^+ = 12 \pm 1V$. See Fig. 7.
		0.2			0.2		%/V	$V^+ = 5 \pm 0.5V$. See Fig. 7.
Upper Frequency Limit	100	300			300		kHz	$R_0 = 8.2\ K\Omega$, $C_0 = 400$ pF
Lowest Practical Operating Frequency			0.01		0.01		Hz	$R_0 = 2\ M\Omega$, $C_0 = 50\ \mu F$
Timing Resistor, R_0								See Fig. 5.
Operating Range	5		2000	5		2000	KΩ	
Recommended Range	15		100	15		100	KΩ	See Fig. 7 and 8.
LOOP PHASE DETECTOR SECTION								
Peak Output Current	±150	±200	±300	±100	±200	±300	μA	Measured at Pin 11.
Output Offset Current		±1			±2		μA	
Output Impedance		1			1		MΩ	
Maximum Swing	±4	±5		±4	±5		V	Referenced to Pin 10.
QUADRATURE PHASE DETECTOR								
Peak Output Current	100	150			150		μA	Measured at Pin 3.
Output Impedance		1			1		MΩ	
Maximum Swing		11			11		Vpp	
INPUT PREAMP SECTION								
Input Impedance		20			20		KΩ	Measured at Pin 2.
Input Signal Voltage Required to Cause Limiting		2	10		2		mV rms	
VOLTAGE COMPARATOR SECTIONS								
Input Impedance		2			2		MΩ	Measured at Pins 3 and 8.
Input Bias Current		100			100		nA	
Voltage Gain	55	70		55	70		dB	$R_L = 5.1\ K\Omega$
Output Voltage Low		300			300		mV	$I_C = 3$ mA
Output Leakage Current		.01			.01		μA	$V_O = 12V$
INTERNAL REFERENCE								
Voltage Level	4.9	5.3	5.7	4.75	5.3	5.85	V	Measured at Pin 10.
Output Impedance		100			100		Ω	

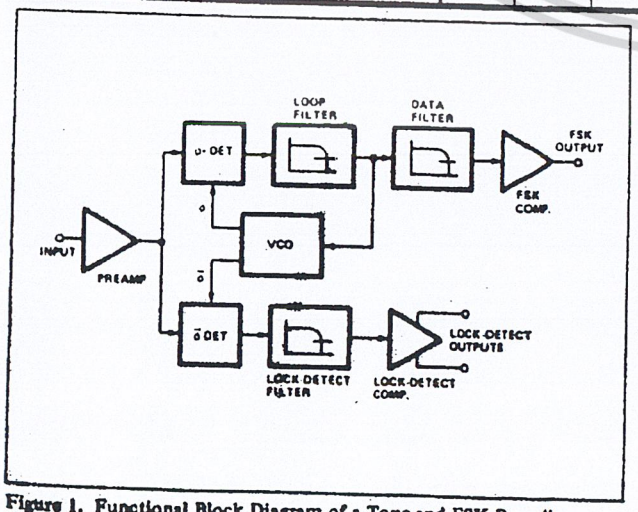


Figure 1. Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211.

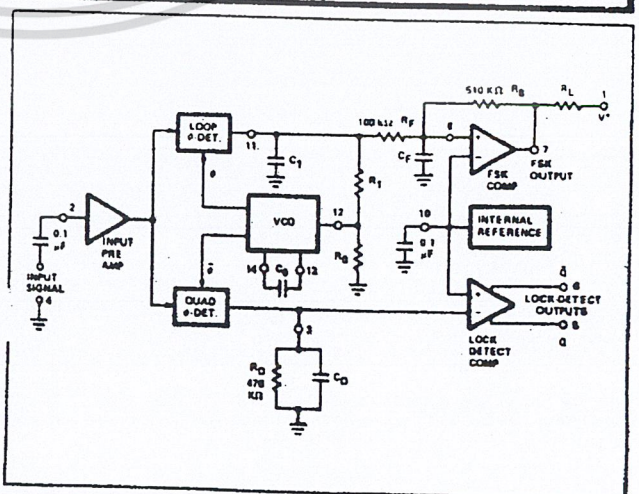


Figure 2. Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2211 FSK Demodulator/Tone Decoder

Description

The XR-2211 is a monolithic phase-locked loop (PLL) system especially designed for data communications. It is particularly well suited for FSK modem applications. It operates over a wide supply voltage range of 4.5 to 20 V and a wide frequency range of 0.01 Hz to 300 kHz. It can accommodate analog signals between 2 mV and 3 V, and can interface with conventional DTL, TTL, and ECL logic families. The circuit consists of a basic PLL for tracking an input signal within the pass band, a quadrature phase detector which provides carrier detection, and an FSK voltage comparator which provides FSK demodulation. External components are used to independently set center frequency, bandwidth, and output delay.

Features

• Wide Frequency Range	0.01 Hz to 300 kHz
• Wide Supply Voltage Range	4.5 V to 20 V
• DTL/TTL/ECL Logic Compatibility	
• FSK Demodulation, with Carrier Detection	
• Wide Dynamic Range	2 mV to 3 V rms
• Adjustable Tracking Range (±1% to ±80%)	
• Excellent Temp. Stability	20 ppm/°C, typ.

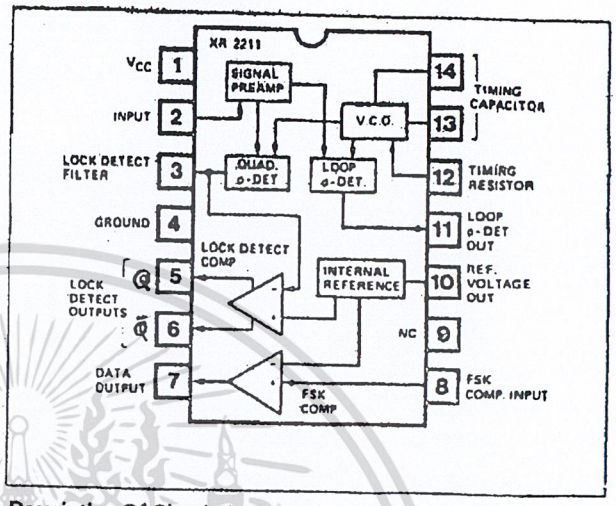
Applications

- FSK Demodulation
- Data Synchronization
- Tone Decoding
- FM Detection
- Carrier Detection

Absolute Maximum Ratings

Power Supply	20 V
Input Signal Level	3 V rms
Power Dissipation	625 mW
• Derate above T_A = +25°C	5.0 mW/°C
Operating Temperature	0°C to + 75°C

Functional Block Diagram



Description Of Circuit Controls

Signal Input (Pin 2): Signal is ac coupled to this terminal. The internal impedance at Pin 2 is 20 KΩ. Recommended input signal level is in the range of 10 mV rms to 3 V rms.

Quadrature Phase Detector Output (Pin 3): This is the pedance output of quadrature phase detector and is intern·.ly connected to the input of lock detect voltage comparator. In tone detection applications, Pin 3 is connected to ground through a parallel combination of R_D and C_D (see Figure 2) to eliminate the chatter at lock detect outputs. If the tone detect section is not used, Pin 3 can be left open circuited.

Lock Detect Output, Q (Pin 5): The output at Pin 5 is at "high" state when the PLL is out of lock and goes to "low" or conducting state when the PLL is locked. It is an open collector type output and requires a pull-up resistor, R_L, to V+ for proper operation. At "low" state, it can sink up to 5 mA of load current.

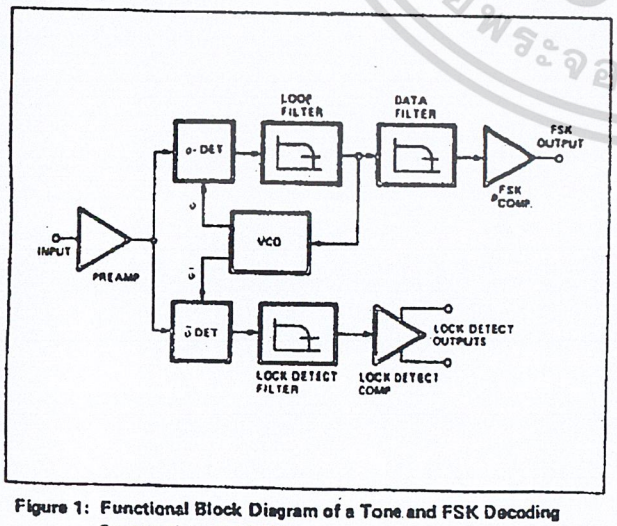


Figure 1: Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211.

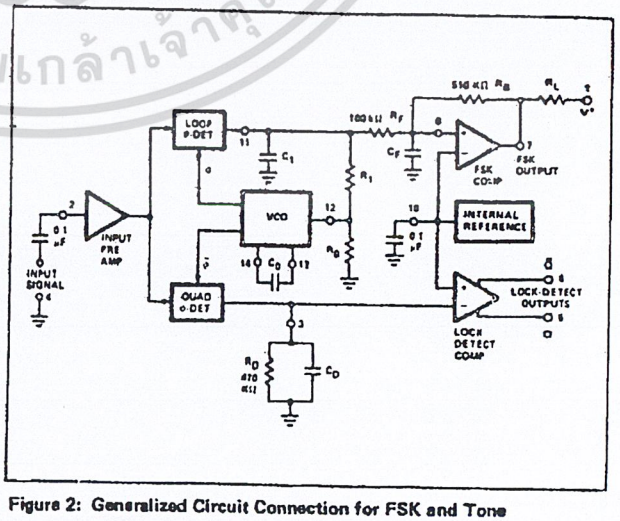


Figure 2: Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

logic complement of the lock detect output at Pin 5. This output is also an open collector type stage which can sink 5 mA of load current at low or "on" state.

FSK Data Output (Pin 7): This output is an open collector logic stage which requires a pull-up resistor, R_L, to V+ for proper operation. It can sink 5 mA of load current. When decoding FSK signals, FSK data output is at "high" or "off" state for low input frequency, and at "low" or "on" state for high input frequency. If no input signal is present, the logic state at Pin 7 is indeterminate.

FSK Comparator Input (Pin 8): This is the high impedance input to the FSK voltage comparator. Normally, an FSK post-detection or data filter is connected between this terminal and the PLL phase detector output (Pin 11). This data filter is formed by R_F and C_F Figure 2. The threshold voltage of the comparator is set by the internal reference voltage, V_R, available at Pin 10.

Reference Voltage, V_R (Pin 10): This pin is internally biased at the reference voltage level, V_R: $V_R = V+/2 - 650$ mV. The dc voltage level at this pin forms an internal reference for the voltage levels at Pins 5, 8, 11 and 12. Pin 10 *must* be bypassed to ground with a 0.1 μF capacitor for proper operation of the circuit.

Loop Phase Detector Output (Pin 11): This terminal provides a high impedance output for the loop phase detector. The PLL loop filter is formed by R_1 and C_1 connected to Pin 11 (see Figure 2). With no input signal, or with no phase error within the PLL, the dc level at Pin 11 is very nearly equal to V_R. The peak voltage swing available at the phase detector output is equal to $\pm V_R$.

VCO Control Input (Pin 12): VCO free-running frequency is determined by external timing resistor, R_0, connected from this terminal to ground. The VCO free-running frequency, f_0, is:

$$f_0 = \frac{1}{R_0 C_0} \quad \text{Hz}$$

where C_0 is the timing capacitor across Pins 13 and 14. For optimum temperature stability, R_0 must be in the range of 10 KΩ to 100 KΩ.

This terminal is a low impedance point, and is internally biased at a dc level equal to V_R. The maximum timing current drawn from Pin 12 must be limited to ≤ 3 mA for proper operation of the circuit.

VCO Timing Capacitor (Pins 13 and 14): VCO frequency is inversely proportional to the external timing capacitor, C_0, connected across these terminals (see Figure 4). C_0 must be nonpolar, and in the range of 200 pF to 10 μF.

VCO Frequency Adjustment: VCO can be fine-tuned by connecting a potentiometer, R_X, in series with R_0 at Pin 12 (see Figure 6).

VCO Free-Running Frequency, f_0: XR-2211 does not have a separate VCO output terminal. Instead, the VCO outputs are internally connected to the phase detector sections of the circuit. However, for set-up or adjustment purposes, VCO free-running frequency can be measured at Pin 3 (with C_D disconnected), with no input and with Pin 2 shorted to Pin 10.

APPLICATIONS INFORMATION

FSK Decoding:

Figure 6 shows the basic circuit connection for FSK decoding. With reference to Figures 2 and 6, the functions of external components are defined as follows: R_0 and C_0 set the PLL center frequency R_1 sets the system band width, and C_1 sets the loop filter time constant and the loop damping factor. C_F and R_F form a one-pole post-detection filter for the FSK data output. The resistor R_B (= 510 KΩ) from Pin 7 to Pin 8 introduces positive feedback across FSK comparator to facilitate rapid transition between output logic states.

Recommended component values for some of the most commonly used FSK bands are given in Table 1.

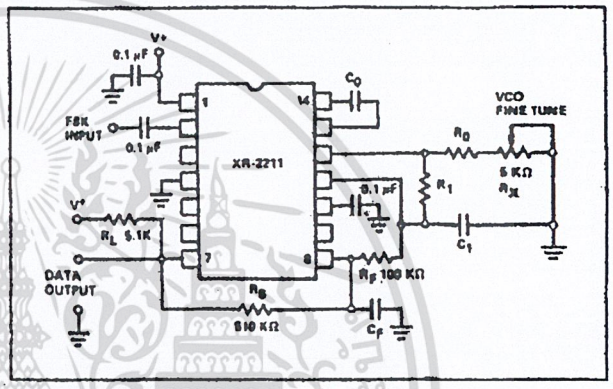


Figure 6: Circuit Connection for FSK Decoding.

Design Example:

75 Baud FSK demodulator with mark space frequencies of 1110/1170 Hz:

Step 1: Calculate f_0: $f_0 = (1110 + 1170)\ (1/2) - 1140$ Hz
Step 2: Choose $R_0 = 20$ KΩ (18 KΩ fixed resistor in series with 5 KΩ potentiometer)
Step 3: Calculate C_0 from Figure 5: $C_0 = 0.044$ μF
Step 4: Calculate R_1: $R_1 = R_0\ (2240/60) = 380$ KΩ
Step 5: Calculate C_1: $C_1 = C_0/4 = 0.011$ μF

Note: All values except R_0 can be rounded to *nearest* standard value.

FSK BAND	COMPONENT VALUES
300 Baud $f_1 = 1070$ Hz $f_2 = 1270$ Hz	$C_0 = 0.039$ μF $\quad C_F = 0.005$ μF $C_1 = 0.01$ μF $\quad R_0 = 18$ KΩ $R_1 = 100$ KΩ
300 Baud $f_1 = 2025$ Hz $f_2 = 2225$ Hz	$C_0 = 0.022$ μF $\quad C_F = 0.005$ μF $C_1 = 0.0047$ μF $\quad R_0 = 18$ KΩ $R_1 = 200$ KΩ
1200 Baud $f_1 = 1200$ Hz $f_2 = 2200$ Hz	$C_0 = 0.027$ μF $\quad C_F = 0.0022$ μF $C_1 = 0.01$ μF $\quad R_0 = 18$ KΩ $R_1 = 30$ KΩ

Table 1: Recommended Component Values for Commonly Used FSK Bands. (See Circuit of Figure 6.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: $V^+ = +12$ V, $T_A = +25°C$, $R_0 = 30$ KΩ, $C_0 = 0.033$ μF. See Figure 2 for component designation.

PARAMETERS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	CONDITIONS
GENERAL					
Supply Voltage	4.5		20	V	
Supply Current		5	9	mA	$R_0 \geq 10$ KΩ
OSCILLATOR SECTION					
Frequency Accuracy		±1		%	Deviation from $f_0 = 1/R_0C_0$
Frequency Stability					$R_1 = \infty$
Temperature		±20		ppm/°C	
Power Supply		0.05		%/V	$V^+ = 12 \pm 1$ V.
		0.2		%/V	$V^+ = 5 \pm 0.5$ V.
Upper Frequency Limit		300		kHz	$R_0 = 8.2$ KΩ, $C_0 = 400$ pF
Lowest Practical					
Operating Frequency		0.01		Hz	$R_0 = 2$ MΩ, $C_0 = 50$ μF
Timing Resistor, R_0					
Operating Range	5		2000	KΩ	
Recommended Range	15		100	KΩ	
LOOP PHASE DETECTOR SECTION					
Peak Output Current	±100	±200	±300	μA	Measured at Pin 11.
Output Offset Current		±2		μA	
Output Impedance		1		MΩ	
Maximum Swing	±4	±5		V	Referenced to Pin 10.
QUADRATURE PHASE DETECTOR					Measured at Pin 3.
Peak Output Current		150		μA	
Output Impedance		1		MΩ	
Maximum Swing		11		V pp	
INPUT PREAMP SECTION					Measured at Pin 2.
Input Impedance		20		KΩ	
Input Signal					
Voltage Required to Cause Limiting		2		mV rms	
VOLTAGE COMPARATOR SECTIONS					
Input Impedance		2		MΩ	Measured at Pins 3 and 8.
Input Bias Current		100		nA	
Voltage Gain		70		dB	$R_L = 5.1$ KΩ
Output Voltage Low		300		mV	$I_C = 3$ mA
Output Leakage Current		0.01		μA	$V_O = 12$ V
INTERNAL REFERENCE					
Voltage Level	4.75	5.3	5.85	V	Measured at Pin 10.
Output Impedance		100		Ω	

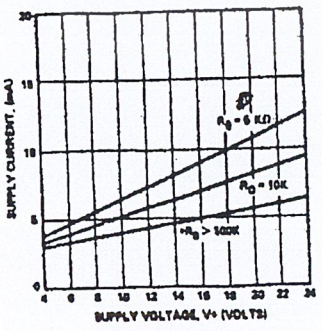


Figure 3: Typical Supply Current vs V^+ (Logic Outputs Open Circuited)

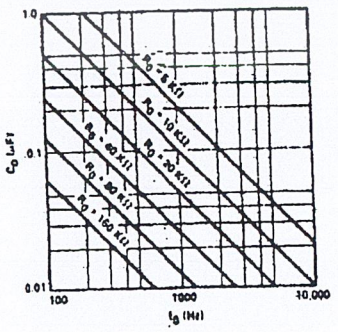


Figure 4: VCO Frequency vs Timing Resistor.

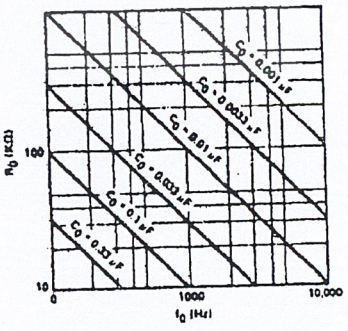


Figure 5: VCO Frequency vs Timing Capacitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TONE DETECTION:

Figure 7 shows the generalized circuit connection for tone detection. The logic outputs, Q and $\overline{Q}$ at Pins 5 and 6 are normally at "high" and "low" logic states, respectively. When a tone is present within the detection band of the PLL, the logic state at these outputs become reversed for the duration of the input tone. Each logic output can sink 5 mA of load current.

Both logic outputs at Pins 5 and 6 are open collector type stages, and require external pull-up resistors R_{L1} and R_{L2}, as shown in Figure 7.

With reference to Figures 2 and 7, the functions of the external circuit components can be explained as follows: R_0 and C_0 set VCO center frequency; R_1 sets the detection bandwidth; C_1 sets the low pass-loop filter time constant and the loop damping factor. R_{L1} and R_{L2} are the respective pull-up resistors for the Q and $\overline{Q}$ logic outputs.

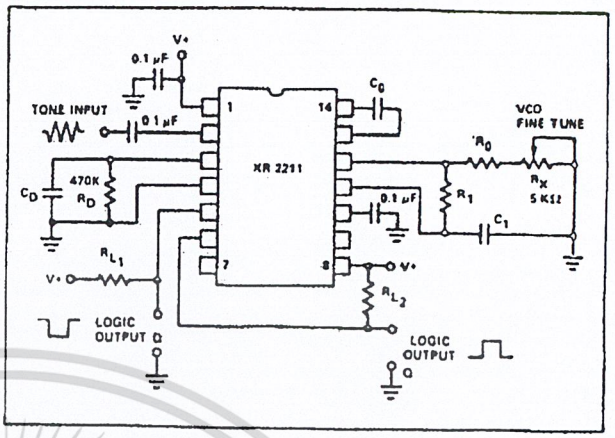


Figure 7: Circuit Connection for Tone Detection.

Typical values for detection band of 1 kHz ±20 Hz:

R_0 = 18K

C_0 = 0.05 µF

R_1 = 1 meg

C_1 = 0.013 µF

C_D = 0.42 µF

Fine-tune center frequency with R_X

RADIO SHACK, A DIVISION OF TANDY CORPORATION

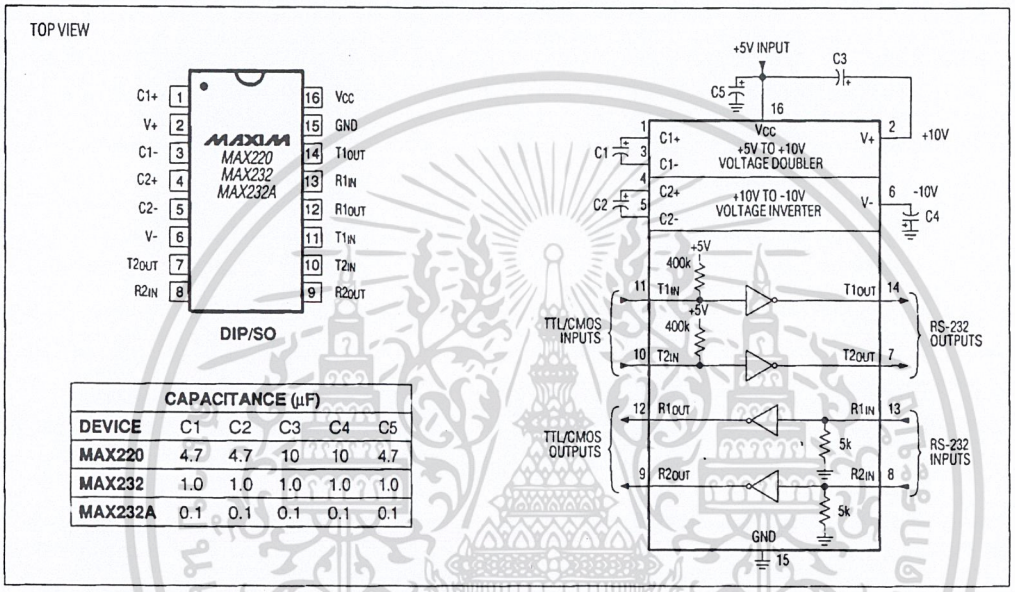
U.S.A.: FORT WORTH, TEXAS 76102
CANADA: BARRIE, ONTARIO L4M 4W5

TANDY CORPORATION

AUSTRALIA	BELGIUM	U. K.
91 KURRAJONG AVENUE MOUNT DRUITT, N.S.W. 2770	PARC INDUSTRIEL DE NANINNE 5140 NANINNE	BILSTON ROAD WEDNESBURY WEST MIDLANDS WS10 7JN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multi-Channel RS-232 Drivers/Receivers



CAPACITANCE (µF)					
DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	4.7	4.7	10	10	4.7
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Figure 5. MAX220/232/232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

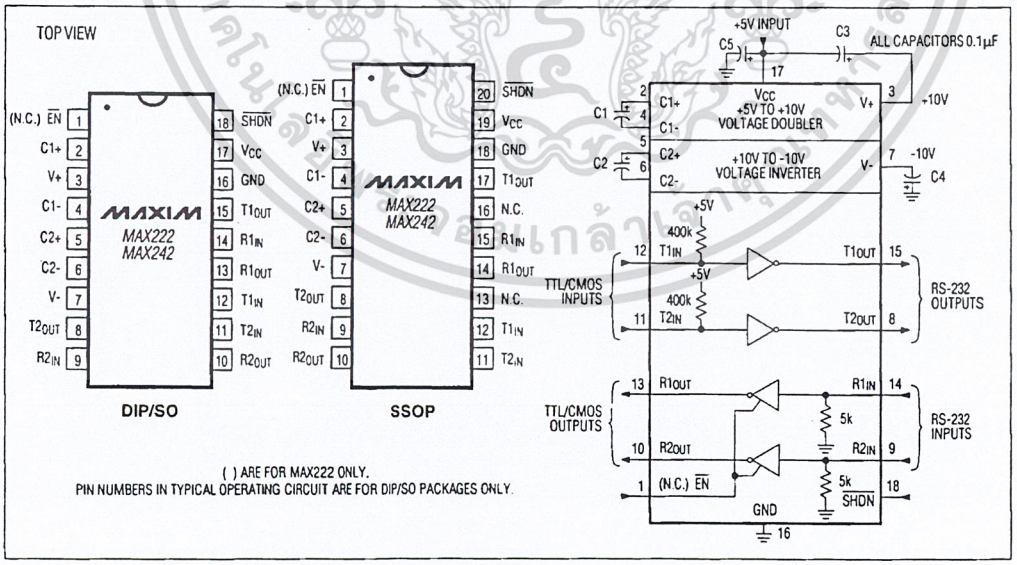


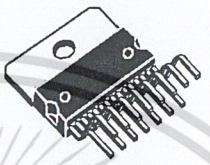
Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configuration and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

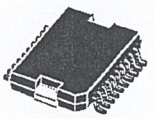
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

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



Multiwatt15



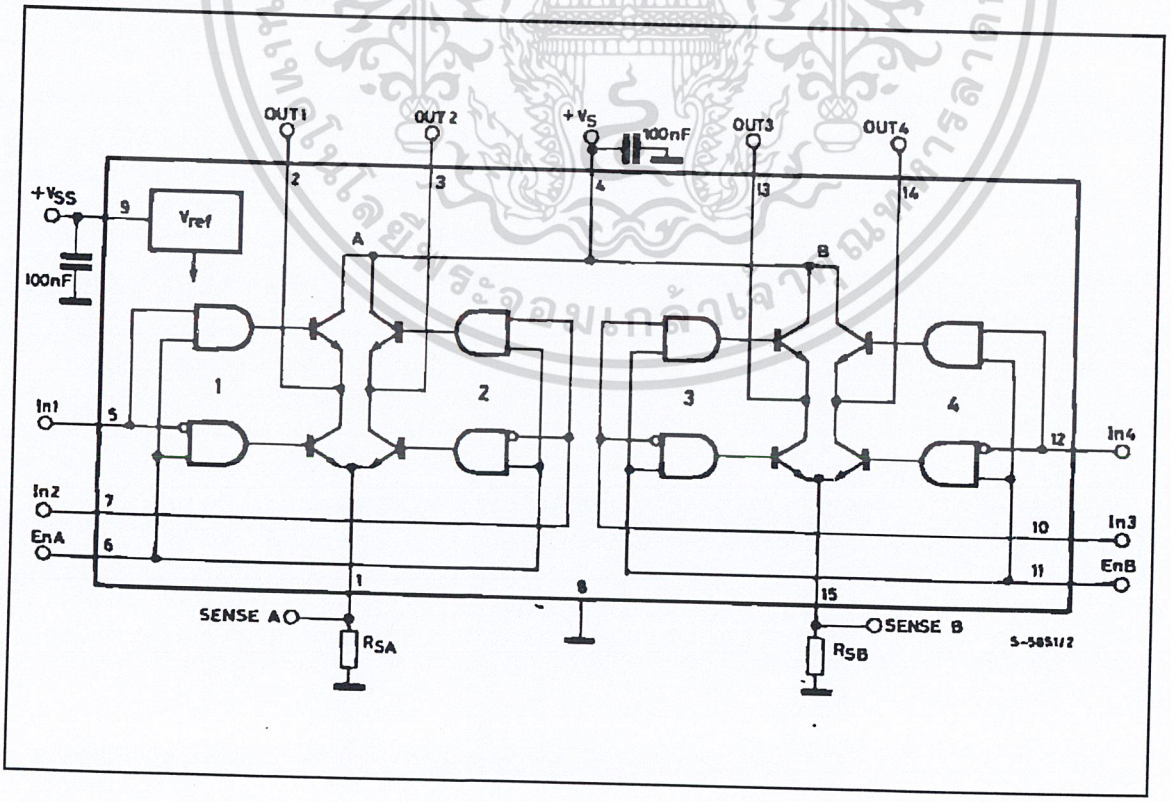
PowerSO20

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

DESCRIPTION

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

BLOCK DIAGRAM

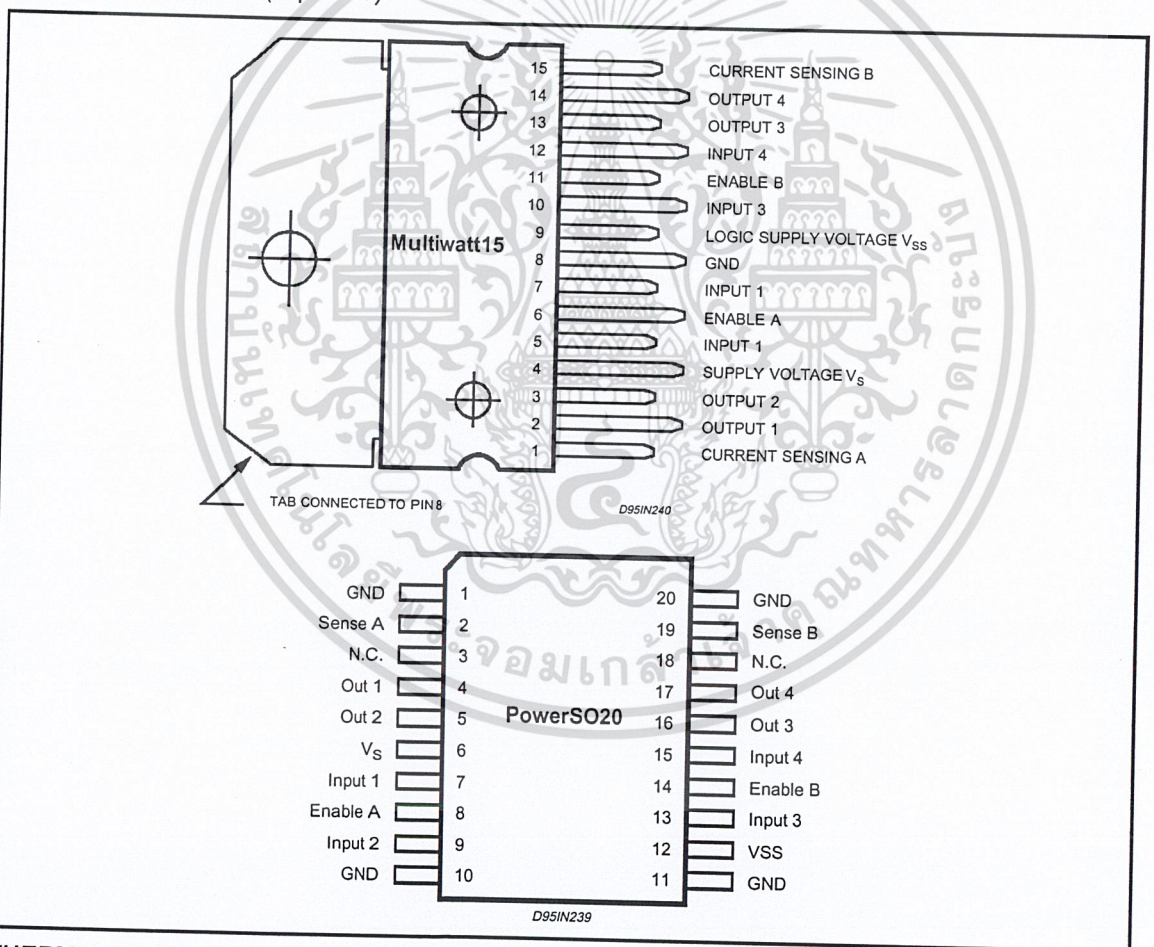


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and Enable Voltage	–0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel) – Non Repetitive (t = 100µs) –Repetitive (80% on –20% off; t_{on} = 10ms) –DC Operation	 3 2.5 2	 A A A
V_{sens}	Sensing Voltage	–1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation (T_{case} = 75°C)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	–25 to 130	°C
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	–40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

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

(*) Mounted on aluminum substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 2K bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- 2.7V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8 bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16 bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Programmable UART Serial Channel
- SPI Serial Interface
- Low Power Idle and Power Down Modes
- Interrupt Recovery From Power Down
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power Off Flag

8 bit Microcontroller with 8K bytes Flash

AT89S8252

Preliminary

Description

The AT89S8252 is a low-power, high-performance CMOS 8 bit microcomputer with 8K bytes of Downloadable Flash programmable and erasable read only memory and 2K bytes of EEPROM. The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8 bit CPU with Downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S8252 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

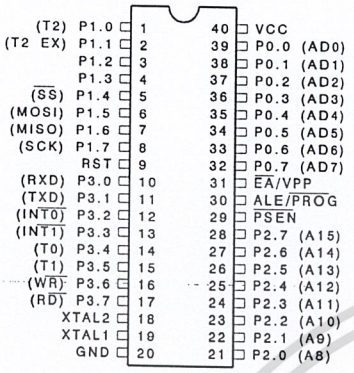
The AT89S8252 provides the following standard features: 8K bytes of Downloadable Flash, 2K bytes EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two Data Pointers, three 16 bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S8252 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

The Downloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a

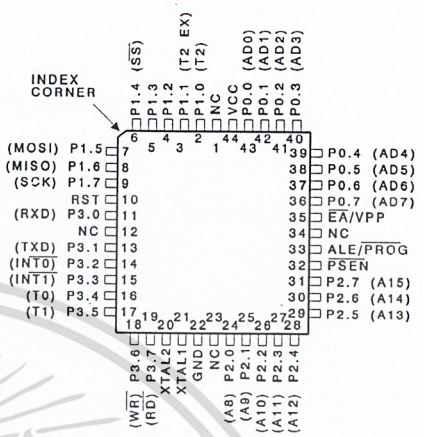
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Configurations

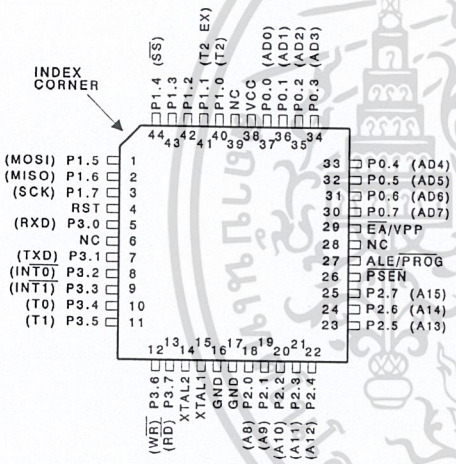
PDIP/Cerdip



PLCC/LCC



PQFP/TQFP



Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8 bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8 bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups. *(continued)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

May 1996

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

LM117 Series Packages and Power Capability

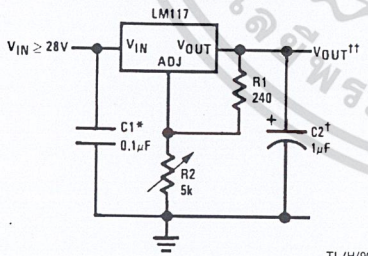
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
E	LCC	2W	0.5A
S	TO-263	4W	1.5A

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications

1.2V–25V Adjustable Regulator



TL/H/9063–1

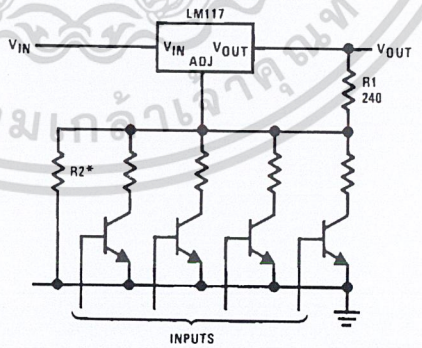
Full output current not available at high input-output voltages

*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

†Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

††$V_{OUT} = 1.25V\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + I_{ADJ}(R_2)$

Digitally Selected Outputs



TL/H/9063–2

*Sets maximum V_{OUT}

©1996 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจน-ภรณ์ และ รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค สำหรับคำแนะนำ, ความคิดเห็น และอำนวยความสะดวกแก่คณะผู้จัดทำในด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ

ขอขอบคุณ บิดาและมารดา ที่คอยให้กำลังใจ, ให้การอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุนทางด้านเงินทุนแก่พวกเราด้วยดีตลอดมา ขอบคุณ เพื่อน ๆ , พี่ ๆ และ น้อง ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้การช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ขอบคุณทุกคนมาก ๆ ครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
2. เกรียงศักดิ์ ฐานิกเกษตร และ ประวิทย์ โคมทองชูสกุล, "110 โครงงานไอซี", สำนักพิมพ์ Physics Center, หน้า 55-67.
3. ไพศาล กังวานหมู่ และ ยืน ภู่วรวรรณ, "การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวอร์ค", ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540, หน้า 60-74.
4. สมยศ จุณณะปิยะ, "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543, หน้า 16-51.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้