สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบออฟฟิศอัตโนมัติ

AUTOMATIC OFFICE SYSTEM



โดย

นาย สมบูรณ์ พลบุญ

นาย สรายุทธ วงศ์เมฆ

นาย สุรชัย กลิ่นโลกัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46228
วัน, เดือน, ปี 21 มี.ค. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

b11840609

ระบบออฟฟิศอัตโนมัติ
AUTOMATIC OFFICE SYSTEM

โดย

นาย สมบูรณ์ พลบุญ

นาย สรายุทธ วงศ์เมฆ

นาย สุรชัย กลิ่นโลกัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุริภณ สมควรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

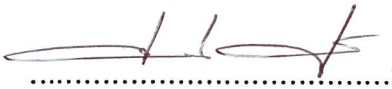
เรื่อง ระบบออฟฟิศอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

1 นาย สมบูรณ์ พลบุญ 42515744

2.นาย สรายุทธ วงศ์เมฆ 42515746

3.นาย สุรชัย กลิ่นโลกัย 42515750



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สุริภณ สมควรพาณิชย์)

ระบบออฟฟิศอัตโนมัติ

AUTOMATIC OFFICE SYSTEM

นาย สมบูรณ์ พลบุญ 42515744

นาย สรายุทธ วงศ์เมฆ 42515746

นาย สุรชัย กลิ่นโลกัย 42515750

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้



ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สุริภณ สมควรพาณิชย์)

ระบบออฟพิศอัตโนมัติ

สมบูรณ์ พลบุญ
สรายุทธ วงศ์เมฆ
สุรชัย กลิ่นโลกัย
รศ.ดร.สุริภณ สมควรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โลกในปัจจุบัน ระบบอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก ทำให้เราได้รับความสะดวกสบายมากขึ้น สำหรับโครงงานระบบออฟพิศอัตโนมัติเป็นระบบตรวจสอบเวลาเข้าออกของพนักงาน ระบบจะสามารถบอกให้ทราบว่าพนักงานคนนั้นอยู่ในสถานที่ใดในออฟพิศ ซึ่งระบบจะทำการบันทึกเวลาเข้าออกสถานที่นั้นและส่งข้อมูลเพื่อให้ระบบสามารถแสดงเวลา ถ้าไม่มีพนักงานอยู่ในห้อง ระบบจะปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า มีรหัสประจำตัวพนักงาน 15 คน ใช้เวลาในการตรวจเช็คครบรอบทั้งหมด 2 นาทีและสามารถรับส่งสัญญาณในรัศมี 5-6 เมตร

Automatic Office System

Somboon Phonboon

Sarayut Wongmake

Surachai Klinlokal

Assoc.Prof.Dr.Suripon Somkuanpanit (Advisor)

Academic year 2001

Abstract

The world today, automatic system has involved in our daily life. It makes us more convenience. This project, Automatic office system is the system which check in and time of employee. This system can tell us where is the employee in the office because the system will record the time and send data to the system for control electrical equipment system such as if don't have employee in the room, the system will turn off electrical equipment. There are 15 staff code. Checking time in a cycle use 2 minutes and receive-transmitt signal in area that has radius 5 to 6 meters.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 พื้นฐานระบบสื่อสาร	2
2.1 บทนำ	2
2.2 ระบบสื่อสาร	2
2.2.1 ระบบสื่อสารแบบสัญญาณอนาลอก	3
2.2.2 ระบบสื่อสารแบบสัญญาณดิจิตอล	4
2.3 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication)	5
2.4 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmittion)	6
2.5 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)	7
2.5.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)	8
2.5.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส(Asynchronous Transmission)	9
2.5.3 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม	12
2.6 การส่งสัญญาณ (Transmission)	12
2.6.1 การส่งผ่านแบบทิศทางเดียว (Simplex)	13
2.6.2 การผ่านแบบสองทางทิศทางแต่ต่างเวลากัน (Half-duplex)	13
2.6.3 การส่งผ่านแบบสองทิศทางที่เวลาเดียวกัน (Full-duplex)	14
2.7 การมอดูเลททางแอมพลิจูด	14
2.7.1 เปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลท	16
2.7.2 ไซด์แบนด์	18
2.7.3 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM	23
2.8 การมอดดูเลททางความถี่	23
2.8.1 การมอดดูเลทของคลื่น	24
2.8.2 ดัชนีการมอดดูเลท	25
2.8.3 ไซด์แบนด์ FM	26

หน้า

2.8.4 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM 29

2.9 การมอดดูเลทสัญญาณแบบดิจิตอล 30

2.9.1 การมอดดูเลทสัญญาณดิจิตอล 30

2.9.2 การมอดดูเลทดิจิตอลทางขนาด (Amplitude Shift Keying ;ASK) 31

2.9.3 การมอดดูเลทดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying ;PSK) 31

2.9.4 การมอดดูเลทดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying ; FSK) 33

บทที่ 3 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ 38

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51 Microcontroller) 38

3.2 สถาปัตยกรรมของAT89C2051 38

3.2.1 หน้าที่การทำงานของแต่ละขา 39

3.2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ AT89C2051 40

3.2.3 การทำงานของ AT89C2051 41

3.3 หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ 41

3.3.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Menory) 41

3.3.2 หน่วยความจำของข้อมูล(Data Memory) 42

บทที่ 4 การออกแบบและการสร้าง 43

4.1 ภาคส่งสัญญาณข้อมูล 43

4.2 ภาครับสัญญาณข้อมูล 45

4.3 ภาคเปรียบเทียบรหัส 45

4.4 ภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ 47

4.5 โปรแกรมและการแสดงผล 49

4.5.1 การส่งรหัสข้อมูล 49

4.5.2 การแสดงผล 51

บทที่ 5 การทดลองและสรุปผลการทดลอง 54

5.1 ผลการทดลองของการวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบ 54

5.1.1 ผลการวัดสัญญาณที่เอาท์พุทของวงจรภาครับสัญญาณ 35 MHz 54

5.1.2 ผลการวัดสัญญาณที่เอาท์พุทที่ขา 2,4 ของ74hc04 ของวงจร ภาคเปรียบเทียบรหัส 54

หน้า

5.1.3 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขา 11 ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 ของวงจร ภาคเปรียบเทียบรหัส 55

5.1.4 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทของวงจรภาครับสัญญาณ 49 MHz 55

5.1.5 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทของภาคส่ง 35 MHz 56

5.1.6 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทของภาคส่ง 45 MHz 56

5.2 ผลการทดลองของการแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ 57

5.2.1 ผลการแสดงสถานะเมื่อคนที่มีรหัส “02 “เข้ามาในห้อง 57

5.2.2 ผลการแสดงสถานะเมื่อคนที่มีรหัส 10 เข้ามาในห้อง 58

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ 59

หนังสืออ้างอิง

ภาคผนวก

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน 2
รูปที่ 2.2 แสดงแบบต่างๆของสื่อกลาง 2
รูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดค่าความกว้างของแถบความถี่ 3
รูปที่ 2.4 แสดงระบบสื่อสารแบบอนาลอก 4
รูปที่ 2.5 แสดงการสื่อสารทั้งแบบอนาลอกและดิจิตอล 5
รูปที่ 2.6 แสดงการส่งข้อมูลผ่านโดยใช้รหัส 6
รูปที่ 2.7 การส่งข้อมูลแบบขนาน 7
รูปที่2.8 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม 7
รูปที่ 2.9 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส 8
รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบซิงโครนัส 9
รูปที่ 2.11 แสดงการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 9
รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 10
รูปที่ 2.13 การส่งผ่านแบบทิศทางเดียว 13
รูปที่ 2.14 การส่งผ่านแบบสองทิศทางแตกต่างเวลากัน 13
รูปที่ 2.15 การส่งผ่านแบบสองทิศทางที่เวลาเดียวกัน 14
รูปที่ 2.16 การมอดูเลททางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์อนลิเนียร์ 15
รูปที่ 2.17 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมากและน้อยเพื่อมอดูเลทบนคลื่นพาหะ 15
รูปที่ 2.18 การวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลท 16
รูปที่ 2.19 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ดีมอดคืนมา 17
รูปที่ 2.20 การโอเวอร์มอดจะทำให้สัญญาณที่ได้จากการดีมอดที่เครื่องรับมีความเพี้ยน 18
รูปที่ 2.21 แสดงการวิเคราะห์คลื่น AM 20
รูปที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างไซด์แบนกับพาหะ 21
รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบคลื่น AM ในเชิงความถี่และเวลา 22
รูปที่ 2.24 แสดงสัญญาณความถี่เสียงกับสัญญาณที่ถูกมอดดูเลทแบบ FM และ PM 24
รูปที่ 2.25 แสดงการมอดดูเลทคลื่น FM ใน Frequency-domain 25
รูปที่ 2.26 กราฟแสดงแอมพลิจูดของพาหะและไซด์แบนด์ในระบบ FM 27
รูปที่ 2.27 รูปคลื่น FM ในเชิงความถี่ที่ค่าดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ 0,0.5,1,1.5,2,3 28

หน้า

รูปที่ 2.28 แสดงรูปการมอดดูเลทดิจิตอลทางขนาด 31
รูปที่ 2.29 แสดงรูปการมอดดูเลทดิจิตอลทางเฟส 32
รูปที่ 2.30 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK 32
รูปที่ 2.31 แสดงการมอดดูเลทดิจิตอลทางความถี่ 33
รูปที่ 2.32 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูล แบบฟูลดูเพล็กซ์ 34
รูปที่ 2.33 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดดูเลทแบบ FSKในการส่งข้อมูล แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ 34
รูปที่ 2.34 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK 35
รูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดขาของAT89C2051 38
รูปที่ 3.2 แสดงสถาปัตยกรรมของ89C2051 39
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อคริสตัล(Crystal) 40
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบออฟฟิศอัตโนมัติ 43
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรภาคส่งสัญญาณข้อมูล 44
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรภาครับสัญญาณข้อมูล 45
รูปที่ 4.4 วงจรเปรียบเทียบรหัส 46
รูปที่ 4.5 แสดงไดอะแกรมภายในของไอซี 74HC04 46
รูปที่ 4.6 โฟล์ชาร์ตการทำงานของภาคเปรียบเทียบข้อมูล 47
รูปที่ 4.7 แสดงการต่อใช้งานพอร์ตขนานเพื่อส่งข้อมูล 49
รูปที่ 4.8 แสดงการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลพนักงาน 50
รูปที่ 4.9 แสดงการวาง Component ต่างๆในส่วนการแสดงผล 51
รูปที่ 4.10 โฟล์ชาร์ตการตรวจรับข้อมูล 52
รูปที่ 4.11 โฟล์ชาร์ตการทำงานของการส่งข้อมูลตรวจสอบ 53

บทที่ 1
บทนำ

โลกในปัจจุบัน ระบบอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากทำให้เราได้รับความสะดวกสบายมากขึ้น สำหรับโครงงานระบบออฟพิศอัตโนมัตินี้ เป็นระบบตรวจสอบเวลาเข้าออกพนักงานระบบจะสามารถบอกให้ทราบว่าพนักงานคนนั้นอยู่ในสถานที่ใดในออฟพิศซึ่งระบบจะทำการบันทึกเวลาเข้าออกสถานที่นั้นและส่งข้อมูลเพื่อให้ระบบสามารถควบคุมระบบของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เมื่อพนักงานเข้าไปในห้องนั้นระบบจะทำเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและเมื่อพนักงานออกจากห้องดังกล่าว ระบบก็จะปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

โดยคอมพิวเตอร์จะส่งรหัส ID ออกมาตลอดเวลาผ่านทางเครื่องส่งวิทยุ เมื่อพนักงานเข้าไปห้องดังกล่าว บัตรจะรับสัญญาณดังกล่าวและทำการเปรียบเทียบข้อมูล ถ้าข้อมูลในบัตรตรงกับข้อมูลที่ส่งมาบัตรก็จะส่งสัญญาณคลื่นวิทยุกลับมายังเครื่องรับวิทยุที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ และจะแสดงผลออกหน้าจอคอมพิวเตอร์ และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลไม่ตรงกัน บัตรก็จะไม่ส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องรับวิทยุ และคอมพิวเตอร์ส่ง ID อื่นๆ ต่อไป

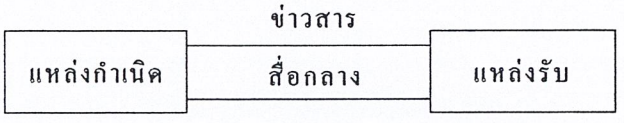
บทที่ 2
พื้นฐานระบบสื่อสาร

2.1 บทนำ

ระบบสื่อสาร (COMMUNICATION SYSTEM) มีความหมายกว้างขวาง การส่งข่าวสารทางสายก็เป็นชนิดหนึ่งของระบบสื่อสาร โดยพื้นสารแล้วระบบสื่อสารจะประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 3 ส่วนคือ

1. ตัวส่งข่าวสาร (TRANSMITTER)
2. ตัวกลางในการส่งข่าวสาร (MEDIUM)
3. ตัวรับข่าวสาร (RECEIVER)

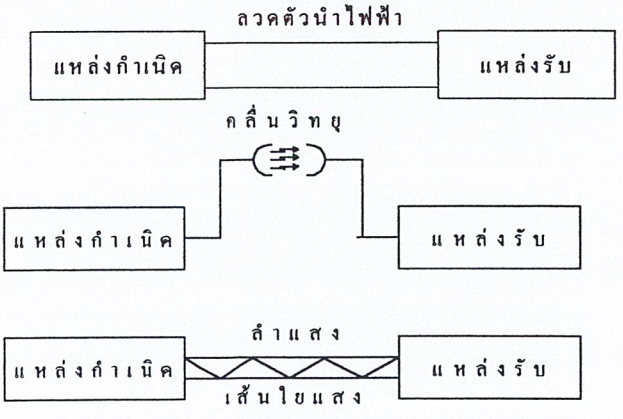
แต่ละส่วนจะมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.1



รูปที่2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

2.2 ระบบสื่อสาร

ในระบบสื่อสาร สื่อกลางของการสื่อสารสามารถที่จะมีได้หลายรูปแบบโดยเฉพาะในงานทางด้านโทรคมนาคม เราใช้สื่อกลางเป็นลวดตัวนำหรือคลื่นวิทยุก็ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่2.2



รูปที่2.2 แสดงแบบต่างๆของสื่อกลาง

ที่นี้จะกล่าวถึงระบบสื่อสารในความหมายของทางโทรคมนาคม เราสามารถแบ่งชนิดของระบบสื่อสารได้เป็น 2แบบตามลักษณะสัญญาณที่ใช้ในระบบคือ

-แบบสัญญาณอนาลอก

-แบบสัญญาณดิจิตอล

เราจะพิจารณาแต่ละแบบดังต่อไปนี้

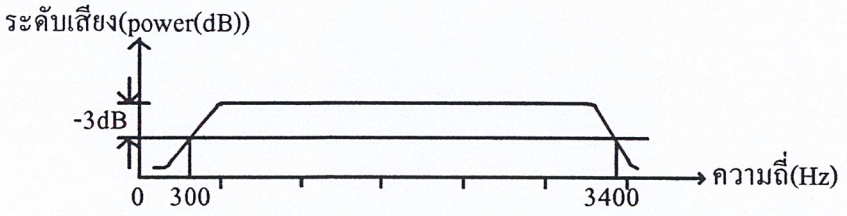
2.2.1 ระบบสื่อสารแบบสัญญาณอนาลอก

สิ่งที่ใช้พิจารณาถึงขีดความสามารถของระบบนี้คือ อัตราส่วนของสัญญาณหลักต่อสัญญาณรบกวน หรือค่า S/N (Signal-to-Noise ratio)

-ถ้าค่า S/N สูง แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพดี

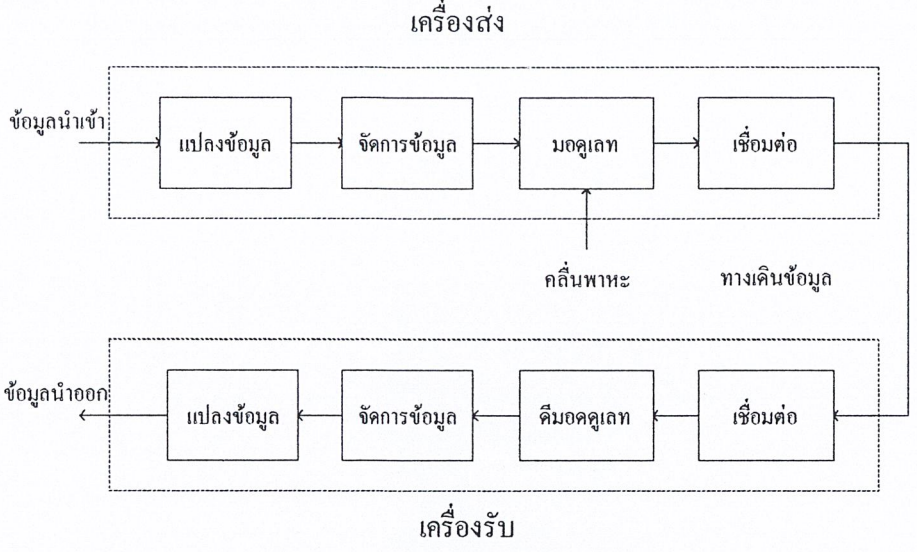
-ถ้าค่า S/N ต่ำ แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพไม่ดี

และอีกประเด็นสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยคือ ค่าความกว้างของความถี่ (Band width:BW) ซึ่งค่า BW จะหมายถึง ช่วงความถี่ที่ครอบคลุมกำลังส่วนมากหรือช่วงของความถี่ที่มีค่าอัตราการขยาย หรือค่าการลดทอนเพียงเล็กน้อยในช่วงกลางๆของ BW โดยทั่วไปมักกำหนดขอบเขตของความกว้างแถบที่จุด –3dB หรือครึ่งหนึ่งของกำลังงานสูงสุด เพื่อให้มองเห็นภาพแสดงดังรูป 2.3 ค่า BW ของสัญญาณเสียง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3100Hz (เลือกที่จุด-3dB)



รูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดค่าความกว้างของแถบความถี่

เราจะเห็นได้ว่ากรณีที่ช่องสัญญาณติดต่อมีแถบความถี่ไม่เพียงพอต่อสัญญาณที่เราสนใจอยู่จะทำให้สัญญาณไม่สามารถส่งผ่านได้ทั้งหมด เราเรียกการเกิดกรณีนี้ว่าความเพี้ยน (Distortion) เมื่อถึงจุดนี้ขอให้ลองพิจารณาระบบสื่อสารแบบอนาลอกในรูปที่2.4 ซึ่งมีการทำงานภายในต่างกันแต่มีจุดหลักที่เหมือนกันคือ การรับและส่งข้อมูลในแบบอนาลอก เช่น เสียงหรือภาพที่มองเห็นได้

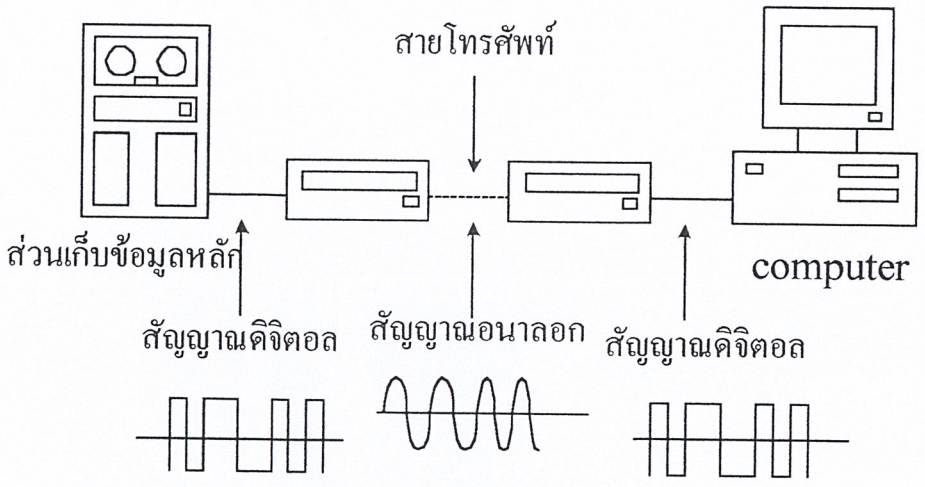


รูปที่ 2.4 แสดงระบบสื่อสารแบบอนาลอก

จากรูปที่ 2.4(ก) แสดงให้เห็นถึงระบบเบสแบนด์ (Base band) ที่มีลักษณะสำคัญคือรูปสัญญาณที่ส่งออกมาจะมีรูปสเปคตรัมของความถี่เดียวกับแหล่งต้นทาง หรือแหล่งผลิตความถี่ ซึ่งหมายถึงไม่มีการมอดดูเลท (Modulate) กับคลื่นพาหะที่มีความถี่สูงกว่า ส่วนขั้นตอนที่เกี่ยวกับสัญญาณในด้านส่งอาจมีการขยายสัญญาณการกรองความถี่ หรือการแมชชิ่งอิมพีแดนซ์ เพื่อลดการสูญเสียในการส่งและส่ง รูปที่ 2.4(ข) แสดงถึงระบบสื่อสารแบบมอดดูเลท (Modulate) ที่มีการรวมและการแยกสัญญาณในทางคณิตศาสตร์ (Modulate and Demolate) อธิบายได้ว่าการรวมและการแยกสัญญาณจะใช้การเปลี่ยนรูปสเปคตรัมความถี่ของสัญญาณให้เข้ากันกับช่วงความถี่ที่ได้เลียกไว้ หรือในอีกแง่หนึ่งเป็นการป้องกันสัญญาณอื่นแทรกเข้ามาในช่วงความถี่เดียวกัน ตัวอย่างของการใช้ระบบนี้ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การกระจายเสียงวิทยุในแบบ AMและ FM

2.2.2 ระบบสื่อสารแบบสัญญาณดิจิตอล

ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในระบบนี้จะอยู่ในรหัส "1" หรือ "2" เช่นเลขฐาน เลขฐานสิบหก เป็นต้น บางครั้งเราอาจมีความต้องการส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านระบบอนาลอก จึงต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณ อนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน เราเรียกว่า การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ ค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจัดเป็นรหัสเลขฐานสอง (Binary code) ที่สามารถจัดการตามเทคนิคทางดิจิตอลได้ ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลแบบขนานหรือแบบอนุกรมและแบบสัมพันธ์หรือไม่สัมพันธ์ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการสื่อสารทั้งแบบอนาลอกและดิจิตอล

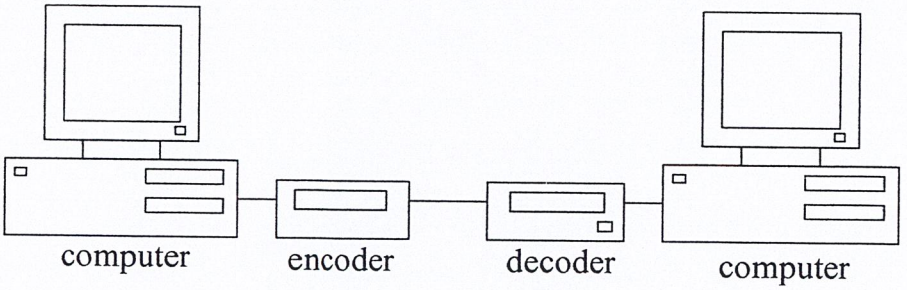
จากรูปที่ 2.5 แสดงสัญญาณในการติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับส่วนเก็บข้อมูลหลักผ่านทางสายโทรศัพท์ โดยมีอุปกรณ์โมเด็ม (Modem) ทำหน้าที่ช่วยเครื่องคอมพิวเตอร์ให้สามารถรับและส่งข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ได้ โดยแปลงสัญญาณคอมพิวเตอร์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในด้านส่งและแปลงกลับในด้านรับ ซึ่งวิธีการแปลงสัญญาณคอมพิวเตอร์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเรียกว่าการมอดดูเลท (Modulate) และวิธีการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณคอมพิวเตอร์เรียกว่าการดีมอดดูเลท (Demolate) ประเด็นหนึ่งที่ควรสนใจในระบบสื่อสารแบบดิจิตอลคือประสิทธิภาพของระบบ โดยที่จะพิจารณาจากค่าอัตราการผิดพลาดข้อมูล (Bit Error Rate:BER) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดเทียบกับจำนวนข้อมูลที่ส่งไปทั้งหมดในช่วงเวลา ถ้า BER มีค่าต่ำจะหมายถึงระบบมีประสิทธิภาพสูง เพราะจำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดมีน้อยและประเด็นอื่นที่เกี่ยวข้องก็มีอัตราความในการสื่อสารข้อมูลเป็นต้น

2.3 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication)

ในการส่งข้อมูลขนาดของข้อมูลหนึ่งตัวอักษรนั้นจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์การสื่อสารที่ใช้ ซึ่งจะมีความยาวอยู่ระหว่าง 7-8 บิทตัวอักษรนั้นเกิดจากการกำหนดความหมายให้กับกลุ่มตัวเลขฐานสอง ซึ่งจะแปลออกมาเป็นตัวอักษร,ตัวเลขหรือเครื่องหมายวรรคตอนอย่างใดก็ได้หรือไม่เช่นนั้นก็อาจเป็นตัวกำหนดหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เช่นอาจเป็นคำสั่งให้เครื่องพิมพ์เลื่อนบรรทัดหรือขึ้นหน้าใหม่ ชุดของกลุ่มของเลขฐานสองที่มีการกำหนดความหมายต่างๆ

มีรหัส(code)จำนวนมากมายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในอุปกรณ์การสื่อสารจะถูกออกแบบมาให้ใช้ได้เฉพาะกับรหัสชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบและใช้งาน

ประเด็นที่เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์จะไม่มีความสามารถเข้าใจถึงความหมายของตัวหนังสือได้ จึงต้องมีการแปลงความหมายให้เป็นที่สามารถตีความได้คือ ในสถานะของเลขฐานสอง ดั้งนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ทำหน้าที่เข้ารหัส (Encoder) และถอดรหัส (Decoder) มาใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องจักรด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 2.6

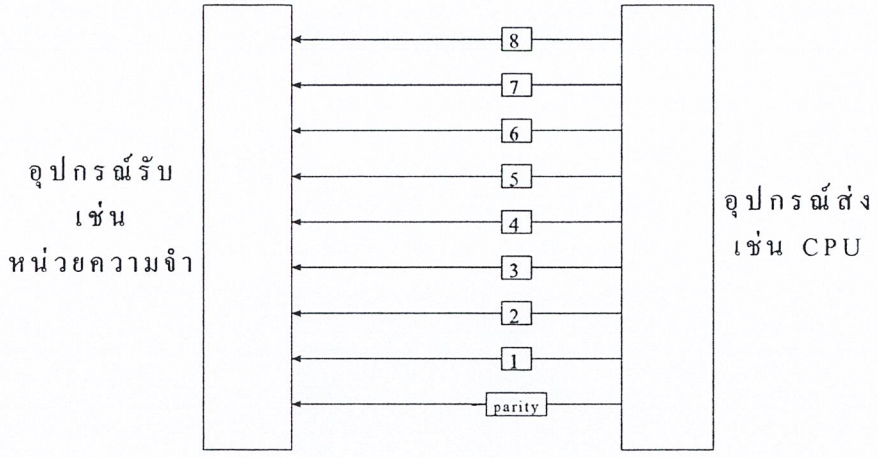


รูปที่ 2.6 แสดงการส่งข้อมูลผ่านโดยใช้รหัส

2.4 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmittion)

ลักษณะของการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบต์คือ 8 บิต จากอุปกรณ์รับตัวกลางระหว่าง 2 เครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทาง อย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่นเนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย ระยะทางระหว่าง 2 เครื่องไม่ควรจะเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับไปยังจุดส่ง ทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

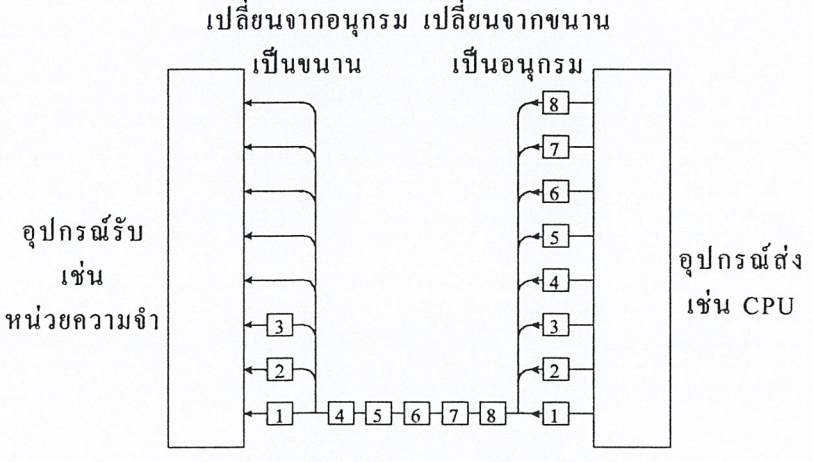
นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆอีก เป็นต้นว่า บิตที่บอกพาริตี้ของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ (Hand shake) จะเห็นได้ว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8สายและอุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่เครื่องพิมพ์ดังกล่าวมาแล้ว



รูปที่2.7การส่งข้อมูลแบบขนาน

2.5 การับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิทระหว่างจุดส่งและจุดรับจะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน เพราะตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในการสื่อกลางจะต้องถูกกว่าแบบขนานอย่างแน่นอนสำหรับการส่งระยะทางไกลๆโดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดต่อสื่อสารทีละ 8 ช่องแบบขนาน



รูปที่ 2.8 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

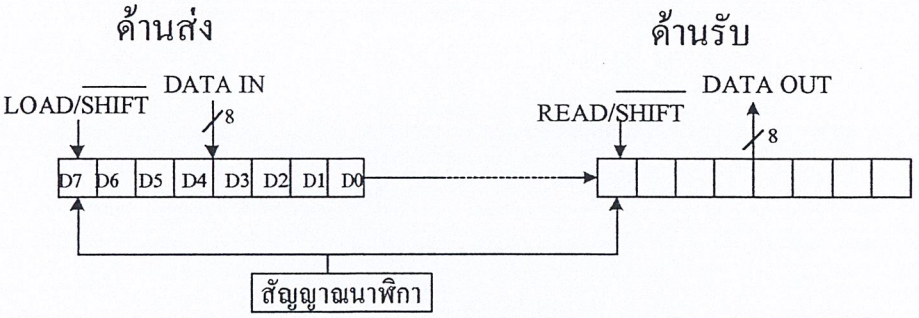
จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ จุดที่รับจะต้องมีกลไกลในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิตให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดี นั้นคือ "1" ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่1พอดี การที่จะทำให้การแปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงตัวพอดีนั้นจำเป็นจะต้องมีลักษณะการส่งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ ลักษณะการส่งที่เหมาะสมแบ่งเป็น 2 แบบ

-การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

-การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

2.5.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

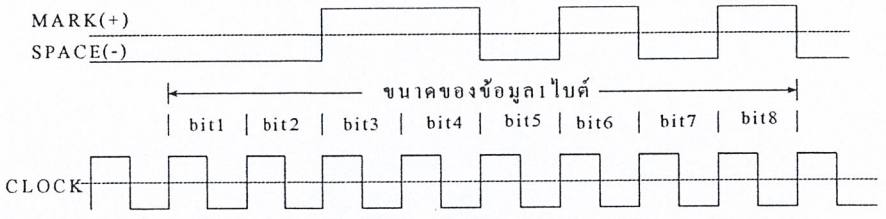
การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบสัมพัทธ์ หมายถึงการที่ด้านรับอ่านข้อมูลเข้ามาในจังหวะเดียวกับด้านส่ง โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเห็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของรีจิสเตอร์ทั้งสองให้ทำงานสัมพันธ์กันวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะติดตั้งภายในด้านส่ง แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

นอกจากนี้เมื่อจังหวะเวลาถูกตั้งให้ซิ้งกับด้านรับได้แล้วข้อมูลจะถูกส่งออกไปบนทางติดต่อในแบบบิตต่อบิตต่อเนื่องกันไปอาศัยช่วงวเลาระหว่างบิตต่อบิตมีค่าเท่ากันโดยไม่ต้องมีบิตเริ่มหรือบิตจบคอยกำกับทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลมีสูง นอกจากนี้ทางด้านรับต้องมีวงจรเฟสล็อคลูป(PLL)ทำหน้าที่รับข้อมูลจังหวะเวลาจากด้านส่งและสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นใหม่ในด้านรับ เพื่อให้เกิดการซิ้งขึ้น ข้อมูลแบบสัมพันธ์นี้จะถูกจัดการให้อยู่ในรูปของกลุ่มข้อมูล(block of data)ที่มีลักษณะพิเศษ คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างตัวอักษรด้วยกันจะไม่มีทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างต่อเนื่องข้อเสียของการส่งแบบสัมพันธ์คือการที่ต้องมีสัญญาณนาฬิกาขนานไปกับข้อมูลทำให้ต้องการ

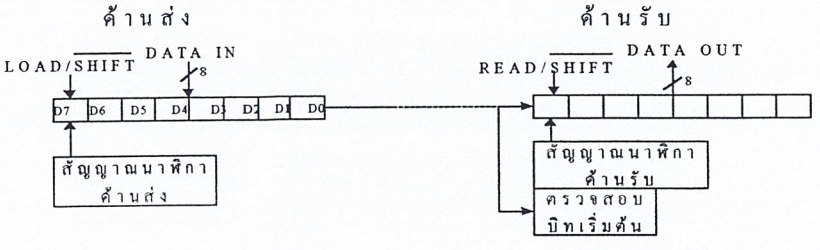
ติดต่อช่องที่สองเพิ่มโดยเฉพาะระยะทางไกลๆเป็นการยากมากที่จัดหาทางติดต่อแยกต่างหาก สำหรับสัญญาณนาฬิกา แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ส่งแบบสัมพันธ์พร้อมสัญญาณนาฬิกาดังรูปที่2.10



รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบซิงโครนัส

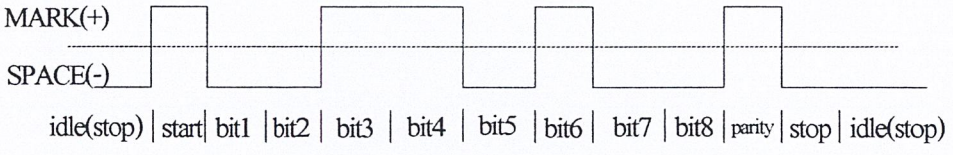
2.5.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส(Asynchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบไม่สัมพันธ์ จะแตกต่างจากกับแบบซิงโครนัสตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครนัสกันตลอดเวลาบนทางติดต่อข้อมูลโดยจะซิงค์ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลที่จะรับหรือส่งเท่านั้นในการส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัสการส่งตัวอักษรสามารถเริ่มจากเวลาใดก็ได้เมื่อสายว่างแต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ระบบสามารถที่จะทำงานได้จะต้องมีสภาวะบางอย่างที่ใช้บอกกับเครื่องรับให้รู้ไว้ว่าในช่วงเวลาใดกำลังมีข้อมูลตัวอักษรปรากฏอยู่บนสายที่ใช้บอกนั้นก็คือ บิทเริ่มต้น (Start bit) บิทเริ่มต้นไม่ใช้บิทข้อมูลแต่เป็นสัญญาณควบคุมที่จุดเริ่มต้นสถานะของสายส่งข้อมูลจะปลี่ยนจาก "1" (Mark) มาเป็น "0" (Space) และถัดจากบิทเริ่มต้นและก็จะเป็นบิทข้อมูลตัวอักษร ซึ่งจะเป็นเนื้อหาข้อมูลของตัวอักษรแต่ละตัวที่ถูกส่งบิทที่มีนัยสำคัญน้อยสุด(LSB)จะถูกส่งตามบิทเริ่มต้นออกมาและหลังจากบิทข้อมูลส่งออกมาครบ จะตามด้วย บิทสิ้นสุด (Stop bit) โดยที่สถานะของสายส่งข้อมูลจะถูกบังคับกลับเป็นทาร์ค (Mark) อีกครั้งหนึ่ง หน้าที่ของบิทสิ้นสุดก็เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูลที่รับส่งโยมีขนาด 1-2 บิท แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

จากการที่กำหนดให้ช่วงเวลาของบิทสิ้นสุด (Stop bit) มีค่าระหว่าง 1-2 บิท ก็เพื่อกรณีบิทสุดท้ายของตัวอักษรตัวเก่า มีสถานะเป็นสเปซ (Space) "1" แล้วสถานะเริ่มต้นของบิทเริ่มต้นที่สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสายจากมาร์ค (Mark) "0" มาเป็นสเปซ (Space) "1" ก็จะไม่มีความชัดเจน สำหรับรูปสัญญาณในวิธีแบบอะซิงโครนัส แสดงได้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสมีการเพิ่มบิทลงในข้อมูล ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลช้ากว่าแบบซิงโครนัส การส่งแบบซิงโครนัสเหมาะสำหรับงานประเภทการป้อนข้อมูลเพื่อส่งมีลักษณะไม่ต่อเนื่องอย่างเช่น จากแป้นพิมพ์ (key board) ส่วนในการส่งไฟล์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มากๆควรใช้วิธีแบบซิงโครนัส

บิทเริ่มต้น (Start Bit)

ในโปรโตคอลของการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส กำหนดให้สถานะมาร์ค (Mark State) เป็นสัญญาณลอจิก 1 เมื่อทางด้านส่งจะทำการส่งข้อมูลก็จะต้องส่งบิทเริ่มต้นโดยแทนด้วยสถานะสเปซ (Space State) หรือสัญญาณลอจิก 0 หรือจำนวน 1 บิทไปก่อน ซึ่งจะทำให้ด้านรับดีเทค (Detect) สถานะของของสายส่งได้ว่าขณะนี้สายส่งกำลังมีข้อมูลส่งมา สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลต่อสัญญาณข้อมูลก็คือสไปค์ (Spike) ทำให้สถานะของลอจิกของสายส่งมีช่วงเวลาสั้นเกินไปทำให้ทางด้านรับไม่สามารถดีเทคสถานะของสายส่งหรือบิทเริ่มต้นได้ ดังนั้นส่วนใหญ่ทางด้านรับจะมีส่วนของวงจรสไปค์ (Spike Detect) ที่ทำหน้าที่สุ่มจับสัญญาณสถานะของสายส่งด้วยความถี่ของการสุ่มค่าหนึ่งในระหว่างบิทต่อบิท ซึ่งอาจจะเป็น 2,4 หรือ 16 ครั้ง ในระหว่าง 1 บิทก็ได้

ดังนั้นเราอาจสรุปได้ว่า หน้าที่ของบิทเริ่มต้นนั้นเป็นตัวบอกว่าข้อมูลเริ่มต้นตรงไหนและเมื่อใช้ร่วมกับบิทหยุด ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลสิ้นสุดตรงไหน โดยความกว้างของบิทเริ่มต้นนี้จะมีความกว้างเท่ากับ1บิทข้อมูล

บิทข้อมูล (Data Bit)

หลังจากที่ด้านรับสามารถดีเทคสัญญาณบิทเริ่มต้นได้แล้วก็จะทำการตรวจสอบสถานะของชิปรีจิสเตอร์ให้เพร้อมที่จะรับบิทข้อมูลได้ โดยบิทข้อมูลจะมีจำนวนบิทเป็น 5,6,7 หรือ8บิทขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์แรกเตอร์ที่ใช้ดังแสดงตามตารางต่อไปนี้

จำนวนบิทข้อมูลใน 1 คาร์แรกเตอร์	จำนวนคาร์แรกเตอร์
5บิท	32
6บิท	64
7บิท	128
8บิท	256

นอกจากนี้รหัสต่างๆที่ใช้อาจจะแทนด้วย 5 บิท ซึ่งเป็นมาตราฐานของรหัสBaudotโดยประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ต่างๆ จำนวน 32 คาร์แรกเตอร์ และถ้าเป็นรหัส 7 บิท จะประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ จำนวน128 คาร์แรกเตอร์ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัสASCIIและใช้กันอย่างแพร่หลายมาก นอกจากนี้ก็ยังมีรหัสขนาด 8 บิทหรือมาตราฐานของรหัสEBCDIC โดยมาตรฐานนี้ประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ 256 คาร์แรกเตอร์เป็นต้น

บิทพาริตี้ (Paruty Bit)

บิทนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับข้อมูลทราบว่า ข้อมูลที่รับเข้ามาผิดหรือไม่(โดยบิทนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ด้านรับทราบว่าข้อมูลที่ส่งมาในแต่ละไบท์นั้น มีจำนวนบิทที่เป็น"1" อยู่เป็นจำนวนคี่หรือเป็นจำนวนคู่เช่นข้อมูล 54H=0101011 จะมีจำนวนบิทที่เป็น "1" อยู่เป็นจำนวนคี่ เป็นต้น ซึ่งบิทที่ใช้ในการตรวจสอบนี้ เราเรียกว่าบิทพาริตี้) บิทพาริตี้นี้จะถูกส่งออกมาพร้อมกับบิทข้อมูล ซึ่งบิทนี้จะเป็น "1" หรือ "0" นั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ส่งออกมาว่ามีจำนวนที่บิทที่เป็น "1" เป็นจำนวนคู่หรือคี่ และยังขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลด้วยว่าถูกออกแบบมาใว้ให้รับส่งพาริตี้คู่หรือคี่อีกด้วยในกรณีที่อุปกรณ์รับส่งออกแบบไว้ให้เป็นพาริตี้คู่ อุปกรณ์ส่งข้อมูลจะทำการส่งพาริตี้บิทเป็นลอจิก 1ออกไปเมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่และจะทำการส่งพาริตี้บิทเป็นลอจิก 0 เมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่(คือทำให้จำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเมื่อรวมกับพาริตี้บิทแล้วเป็นจำนวนคู่นั่นเอง) สำหรับในกรณีของพาริตี้คี่ก็เช่นเดียวกัน คือพาริตี้บิทริตี้บิทเป็นลอจิก 1 ออกไปเมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่ และจะเป็น 0 ในกรณีที่เป็นจำนวนคี่ ในที่นี้จะสมมติว่าอุปกรณ์ถูกกออกแบบไว้สำหรับพาริตี้คู่ และเราต้องการที่จะส่งข้อมูลไปให้กับส่วนรับข้อมูลเป็นจำนวน 2 ไบท์ คือ 54H และ 55H เมื่อเราส่งข้อมูล 54H ออกไปซึ่งมี

จำนวนบิทที่เป็น 1 เป็นจำนวนคี่ ดังนั้นในกรณีนี้อุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะทำการส่งพาริตี้ เป็นลอจิก 1 ตามออกมาด้วย เพื่อให้จำนวนบิททีเป็น 1 ของข้อมูล (54) รวมกับพาริตี้บิทแล้วได้เป็นจำนวนคู่ ส่วนข้อมูล จำนวนบิทที่เป็น 1 นั้นเป็นจำนวนคู่อยู่แล้ว ดังนั้นอุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะส่งพาริตี้บิทเป็น 0 ให้กับส่วนรับข้อมูลสำหรับส่วนรับข้อมูลนั้น เมื่อรับเข้ามาแล้วก็จะตรวจสอบสัญญาณว่าจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลรวมกับพาริตี้บิทนั้นเป็นจำนวนคู่หรือไม่ ถ้าหากว่าเป็นจำนวนคี่ก็แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับมานี้ก็มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

สิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ ถ้าอุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งในลักษณะพาริตี้คู่ หรือคี่ก็ตาม ส่วนรับข้อมูลก็จะต้องทำการรับในลักษณะพาริตี้เดียวกับอุปกรณ์ส่งข้อมูลด้วยเช่น ในกรณีที่อุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งข้อมูลในลักษณะพาริตี้คู่ อุปกรณ์รับข้อมูลก็ต้องทำการรับข้อมูลในลักษณะของพาริตี้คู่ด้วย เป็นต้น

บิทสิ้นสุดข้อมูล (Stop bit)

บิทสุดท้ายที่เพิ่มเข้าไปนี้ จะใช้ในการตรวจสอบจุดสิ้นสุดของข้อมูล บิทนี้จะถูกเพิ่มเข้าไปหลังพาริตี้บิท ถ้าอุปกรณ์รับข้อมูลตรวจสอบไม่พบบิทนี้ ก็แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้านั้นเกิดข้อผิดพลาดขึ้นมาในแต่ละไบท์นั้นไม่ใช่มีแต่ข้อมูล 8 บิท (ในกรณีที่ 1 ไบท์มี 8 บิท) เท่านั้น แต่อาจจะมีได้ถึง 12 บิท หรือมากกว่าก็เป็นได้

2.5.3 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

ความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมมีหน่วยเป็น บิทต่อวินาที (bit per sec : bps) ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เรียกว่า บอดเรต (baud rate) หรืออัตราบอด การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 1 ครั้ง อาจจะแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิท ก็ได้ ถ้าเขียนในรูปของสมการคณิตศาสตร์จะได้

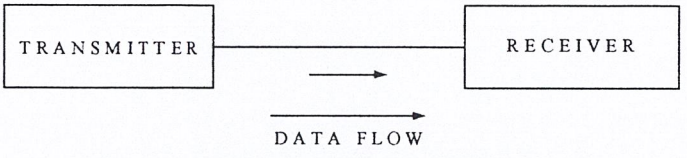
$$\text{อัตราบิท (bit rate)} = \text{อัตราบอด (baud rate)} * (\text{บิทใน 1 บอด}) \qquad (2.1)$$

2.6 การส่งสัญญาณ (Transmission)

การส่งสัญญาณในที่นี้หมายถึงการนำสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยผ่านสื่อกลางและวิธีการทางไฟฟ้าในการรับส่งข้อมูลระหว่างกันนั้นก็จะมีความหมายเดียวกับการส่งสัญญาณอาจแบ่งตามลักษณะและการส่งได้เป็น 3 วิธีใหญ่คือ

2.6.1 การส่งผ่านแบบทิศทางเดียว (Simplex)

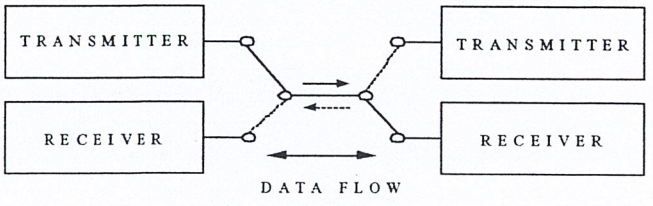
รูปแบบการส่งสัญญาณให้ด้านรับได้ฝ่ายเดียว โดยไม่สามารถโต้ตอบผ่านทางติดต่อได้ตัวอย่างเช่น การกระจายเสียงของวิทยุหรือสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งทางด้านเครื่องรับวิทยุหรือเครื่องรับโทรทัศน์จะทำหน้าที่รับสัญญาณเพียงอย่างเดียวจะส่งข่าวหรือภาพกลับมายังสถานีส่งไม่ได้ เราจึงไม่ค่อยนิยมใช้ในการสื่อสารข้อมูล เนื่องจากว่าเราจำเป็นต้องมีการโต้ตอบระหว่างการรับส่งข้อมูลหรือบางที่ก็เปลี่ยนจากผู้รับเป็นผู้ส่งซึ่งจะไม่ได้ในการส่งผ่านแบบทิศทางเดียว นอกจากจะใช้สำหรับส่งโทรทัศน์และวิทยุกระจายเสียงแล้ว เครื่องโทรพิมพ์บางสำนักพิมพ์บางชนิดอาจใช้การติดต่อแบบนี้เช่นกันในการรับข่าวสารจากที่อื่นๆเพียงอย่างเดียวแสดงตัวอย่างการส่งผ่านแบบทิศทางเดียวได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การส่งผ่านแบบทิศทางเดียว

2.6.2 การผ่านแบบสองทางทิศทางแต่ต่างเวลากัน (Half-duplex)

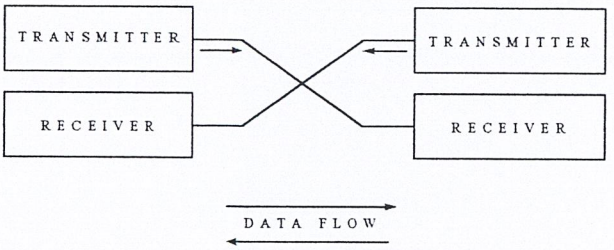
การส่งแบบ Half-duplex สามารถส่งและรับสัญญาณระหว่างกันได้ แต่ว่าต้องสลับกันส่งโดยฝ่ายหนึ่งเป็นตัวส่งและอีกฝ่ายหนึ่งเป็นตัวรับจะส่งพร้อมกันสองด้านไม่ได้ ตัวอย่างเช่น การใช้วิทยุสมัครเล่นที่สามารถโต้ตอบกันได้ แต่ไม่พร้อมกัน แสดงรูปการส่งผ่านแบบสองทิศทางแต่ต่างเวลากันดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การส่งผ่านแบบสองทิศทางแต่ต่างเวลากัน

2.6.3 การส่งผ่านแบบสองทิศทางที่เวลาเดียวกัน (Full-duplex)

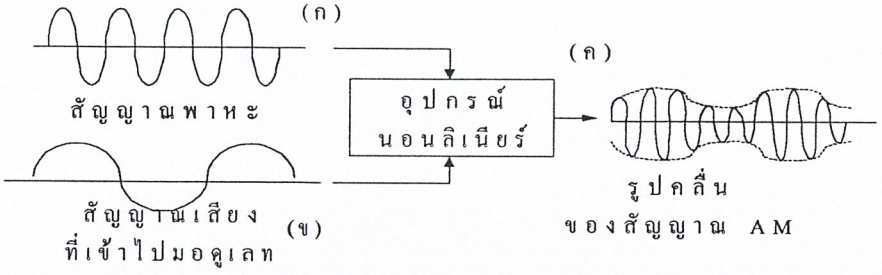
การส่งแบบ Full-duplex จะเป็นในลักษณะที่ผู้รับและผู้ส่งสามารถรับและส่งพร้อมๆกันในเวลาเดียวกันได้ ไม่จำเป็นต้องรอให้อีกฝ่ายส่งเสร็จเสียก่อน เช่น การสื่อสารทางโทรศัพท์เราสามารถที่จะพูดโต้ตอบพร้อมกัน แสดงรูปแบบการส่งผ่านแบบสองทิศทางที่เวลาเดียวกันได้ดังรูปที่ 2.15



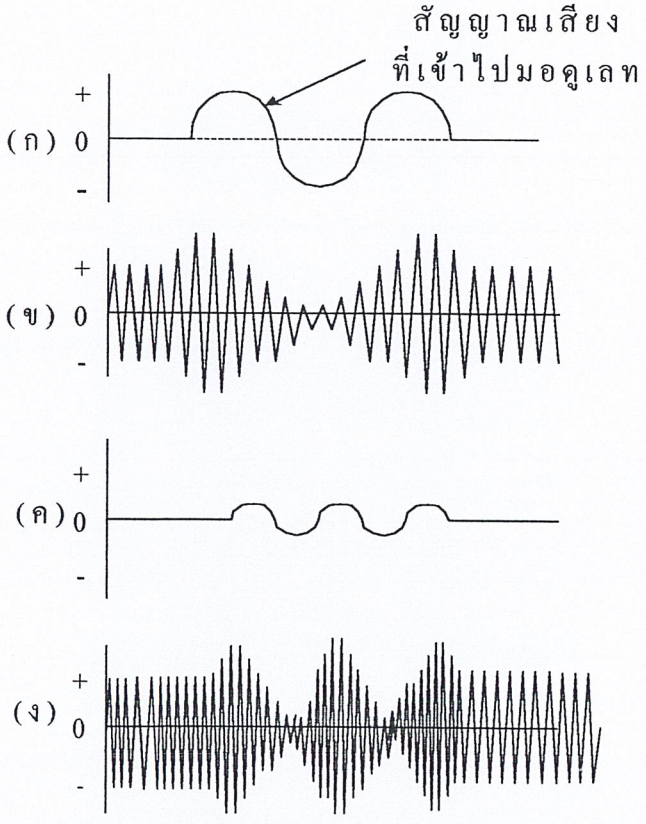
รูปที่ 2.15 การส่งผ่านแบบสองทิศทางที่เวลาเดียวกัน

2.7 การมอดูเลททางแอมพลิจูด

การมอดูเลททางแอมพลิจูด(Amplitude Modulate) ใช้สัญญาณข่าวสาร สมมุติว่าให้สัญญาณเสียงมอดูเลทลงบนสัญญาณพาหะเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางแอมพลิจูด(หรือขนาด)ของพาหะ ในรูป ในรูปที่ 2.16 ใช้สัญญาณพาหะ (ก) ผสมกับสัญญาณเสียง (ข) ลงในวงจรลิเนียร์ (nonlinear) เช่นไดโอดหรือทรานซิสเตอร์โดยให้มีจุดการทำงาน อยู่ในบริเวณที่ไม่เป็นลิเนียร์ ในอุปกรณ์แบบลิเนียร์ จะทำให้เกิดสัญญาณ AM ดังรูปที่ 2.16 (ค) ขึ้น จะสังเกตว่าสัญญาณพาหะซึ่งถูกมอดูเลทแล้วจะมีแอมพลิจูด(ขนาด) เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียงที่ปนอยู่ในสัญญาณ AM จะปรากฏกรอบคลื่น(envelope) บนและล่างดังรูปที่ 2.17 (ก) เป็นสัญญาณเสียงที่มีแอมพลิจูดขนาดหนึ่ง โดยรูปที่ 2.17 (ข) คือสัญญาณ AM ที่มีสัญญาณเสียงในรูปที่ 2.17 (ก) มอดูเลท ในทางตรงกันข้ามถ้าสัญญาณเสียงมีแอมพลิจูดเล็กลงดังรูปที่ 2.17 (ค) สัญญาณ AM ที่เกิดขึ้นก็จะมีกรอบ(การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด) เล็กลงด้วยดังรูปที่ 2.17 (ง)



รูปที่ 2.16 การมอดูเลททางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์นอนลิเนียร์



รูปที่ 2.17 การใช้สัญญาณเสียงที่มีขนาดมากและน้อยเพื่อมอดูเลทบนคลื่นพาหะ

2.7.1 เปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลท

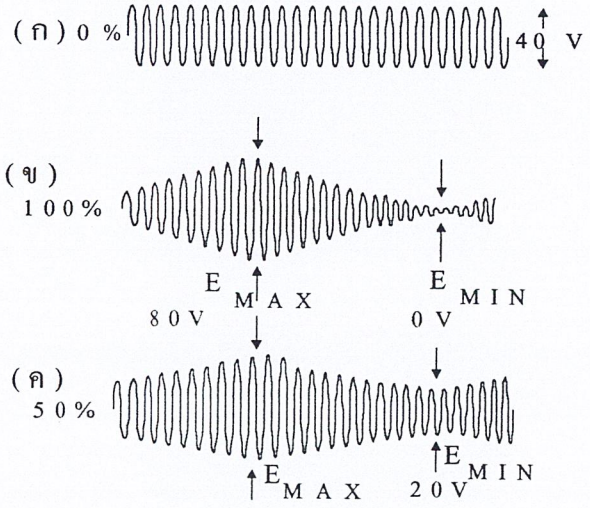
ในรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าปริมาณการมอดูเลทของสัญญาณลงบนพาหะไม่เท่ากัน สังเกตได้ว่า แอมพลิจูดของพาหะเปลี่ยนแปลงมากในรูปที่ 2.17 (ข) และการเปลี่ยนแปลงน้อย ในรูปที่ 2.1(ข) ปริมาณการมอดูเลทนี้นิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์(บางทีเรียกว่า แฟกเตอร์การมอดูเลท มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1) รูปที่ 2.18 พาหะที่ไม่มีการมอดูเลทเรียกว่ามีเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลทเท่ากับศูนย์(0 เปอร์เซ็นต์) ในรูปที่ 2.18 (ก) สมมุติว่ามีแอมพลิจูดจากยอดบวกถึงยอดลบเท่ากับ 40 Vp-p

ในรูปที่ 2.18 (ข) พาหะถูกมอดูเลทด้วยสัญญาณเสียงเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์แอมพลิจูดของพาหะจะตกลงมาถึงศูนย์ และแอมพลิจูดจากยอดบวกถึงยอดลบของพาหะจะให้ได้สูงสุด 80 Vp-p อย่างไรก็ตามค่าแอมพลิจูดจากยอดบวกถึงยอดลบเท่ากับ 40 Vp-p

ในรูปที่ 2.18 (ค) พาหะถูกมอดูเลทเพียง 50 เปอร์เซ็นต์แอมพลิจูดของคลื่นพาหะสูงสุด 60 Vp-p และต่ำสุด20 Vp-p แอมพลิจูดเฉลี่ยของพาหะเท่ากับ 40 Vp-p เช่นเดิม เราสามารถใช้สูตรคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลท} = \frac{E\,\text{max} - E\,\text{min}}{E\,\text{max} + E\,\text{min}} \times 100\% \qquad (2.2)$$

ดูตัวอย่างการคำนวณของรูปที่ 2.18 (ค)



รูปที่ 2.18 การวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลท

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

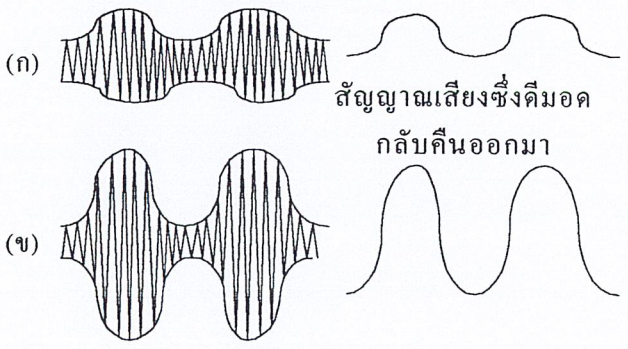
$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลท} = \frac{E\,\text{max} - E\,\text{min}}{E\,\text{max} + E\,\text{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{60\,\text{v} - 20\,\text{v}}{60\,\text{v} + 20\,\text{v}} \times 100\%$$

$$= \frac{40\,\text{v}}{80\,\text{v}} \times 100\%$$

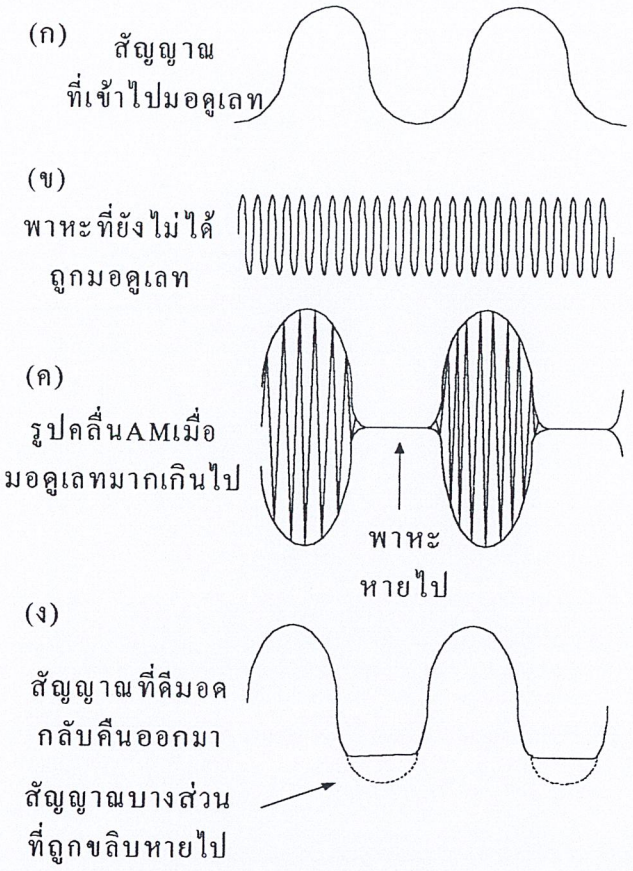
$$= 50\%$$

ปกติเราต้องการให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลทมีค่าสูงสุด เพื่อว่าสัญญาณเสียงที่ได้รับได้ที่เครื่องรับ จะมีกำลังแรง ดูรูปที่ 2.19 เนื่องจากเครื่องรับ AMจะเปลี่ยนคลื่น AM เป็นสัญญาณเสียง โดยการแยกเอาแต่เฉพาะสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลทลงบนพาหะกลับคืนจากคลื่น AM (คือดีมอดนั่นเอง) ฉะนั้นสัญญาณเสียงที่ได้รับได้ในกรณีที่ว่ามอดูเลทมาแรง (เปอร์เซ็นต์การมอดูเลทมีค่าสูง) จะได้เสียงดังกว่า นั่นคือในที่นี้รูปที่ 2.19 (ข) จะได้สัญญาณเสียงดังกว่ารูปที่ 2.19 (ก) เพราะเปอร์เซ็นต์การมอดูเลทมากกว่า อย่างไรก็ตามการมอดูเลทต้องไม่สูงเกินไป (ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่ได้รับที่เครื่องรับเกิดความเพี้ยน การมอดูเลทมากเกินไปนี้เรียงว่าการมอดูเลทเกิน (overmodulation) หรือที่เรียกย่อๆว่า โอเวอร์มอด จะเห็นว่าแอมพลิจูดสัญญาณ AM ลดลงได้ไม่ต่ำกว่าศูนย์ ไม่ว่าจะมอดูเลทแรงเท่าใดก็ตาม ยิ่งถ้าสัญญาณที่มอดูเลทมีค่ามาก คลื่นพาหะจะหายไป (cutt off) บางส่วนเสียด้วยซ้ำ ดังนั้นกรอบคลื่นของสัญญาณ AM จึงมีรูปร่างผิดไปจากสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลท รูปที่ 2.20 (ก) เป็นสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลท (คือสัญญาณเสียง) รูปที่ 2.20 (ข) เป็นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลท รูปที่ 2.20 (ค) เป็นพาหะที่มอดูเลทด้วยสัญญาณเสียง ที่มีความแรงมากเกินไปทำให้พาหะบางช่วงหายไป เมื่อเครื่องรับดีมอดสัญญาณเสียงกลับมาจะมีลักษณะเหมือนกับกรอบคลื่นซึ่งเพี้ยนไปจากเดิม ดังรูปที่ 2.20 (ง)



รูปที่ 2.19 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่ดีมอดคืนมา

46228



รูปที่ 2.20 การโอเวอร์มอดจะทำให้สัญญาณที่ได้จากการดีมอดที่เครื่องรับมีความเพี้ยน

2.7.2 ไซด์แบนด์

สัญญาณ AM รูปที่ 2.21ในเชิงความถี่ดูว่าเป็นอย่างไรและมีองค์ประกอบ อะไรบ้าง ในที่นี้สัญญาณ AM เกิดจากสัญญาณพาหะรูปซายน์ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ มอดูด้วยสัญญาณเสียงรูปซายน์ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ดูเผินๆ อาจจะพบว่าผลของการมอดูเลทแบบ AM ของสัญญาณ 1 เมกะเฮิรตซ์กับ 10 กิโลเฮิรตซ์ น่าจะได้พาหะ 1 เมกะเฮิรตซ์กับสัญญาณเสียง 10 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้น อย่างไรก็ตามถ้าเราป้อนสัญญาณทั้งคู่ให้แก่วงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาส (bandpass filter) ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์กับความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ เราจะพบว่าเอาต์พุทจากวงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์เป็นศูนย์ดังรูปที่ 2.21(ข) แต่เอาต์พุทจากวงจรแบนด์พาสความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ จะไม่เป็นศูนย์ สรุปได้ว่า สัญญาณพาหะ 1 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อถูกมอดูเลทด้วยสัญญาณเสียง 10 กิโลเฮิรตซ์แล้ว ผลปรากฏว่า สัญญาณ 10 กิโลเฮิรตซ์ จะไม่มีอยู่ในคลื่นพาหะที่มอดูเลท

แล้ว (คลื่นAM) เลย แต่ไปปรากฏเป็นกรอบคลื่นแทน อย่างไรก็ตาม คลื่น AM จะต้องมีส่วนประกอบของสัญญาณเสียงปนอยู่แน่นอน เพราะกรอบของรูปคลื่นเป็นสิ่งที่ยืนยันอย่างชัดเจน

ถ้าเราใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสแบบพิเศษ ที่สามารถจูนความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ หรือใช้สเปกตรัมอนาไลเซอร์ เพื่อค้นหาสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลทบนพาหะว่าไปหลบซ่อนอยู่ในส่วนใดของพาหะ(วิเคราะห์ในเชิงความถี่) ด้วยวิธีนี้เราจะพบว่า สัญญาณ AM นี้นอกจากจะมีพาหะตัวเดิม 1 เมกะเฮิรตซ์ยังมีคลื่นข้างเคียงเกิดขึ้นอีก 2 ข้าง คือที่ความถี่ 1.01 เมกะเฮิรตซ์กับ0.99เมกะเฮิรตซ์คลื่นข้างเคียงทั้ง 2 ข้างนี้เรียกว่าไซด์แบนด์ (sideband) ซึ่งเราจะตรวจพบได้โดยใช้ฟิลเตอร์ ที่มีความคมหรือความละเอียดในการจูนตรวจค้นสัญญาณ ดังรูปที่ 2.22 (ค)

ไซด์แบนด์ที่มีความถี่สูงกว่าเรียกว่าไซด์แบนด์ด้านบน(upper sideband หรือ USB) ความถี่ของ USB เท่ากับผลรวมความถี่พาหะกับความถี่สัญญาณมอดูเลท

$$\text{ความถี่ USB} = f_c + f_m \qquad (2.3)$$

ในที่นี้ f_c คือ ความถี่พาหะ

f_m คือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลท

ตามตัวอย่าง $f_c = 1$ MHz, $f_m = 10$ kHz ฉะนั้นความถี่ของ USB จะเท่ากับ

ความถี่ USB $= 1$ MHz $+ 10$ kHz

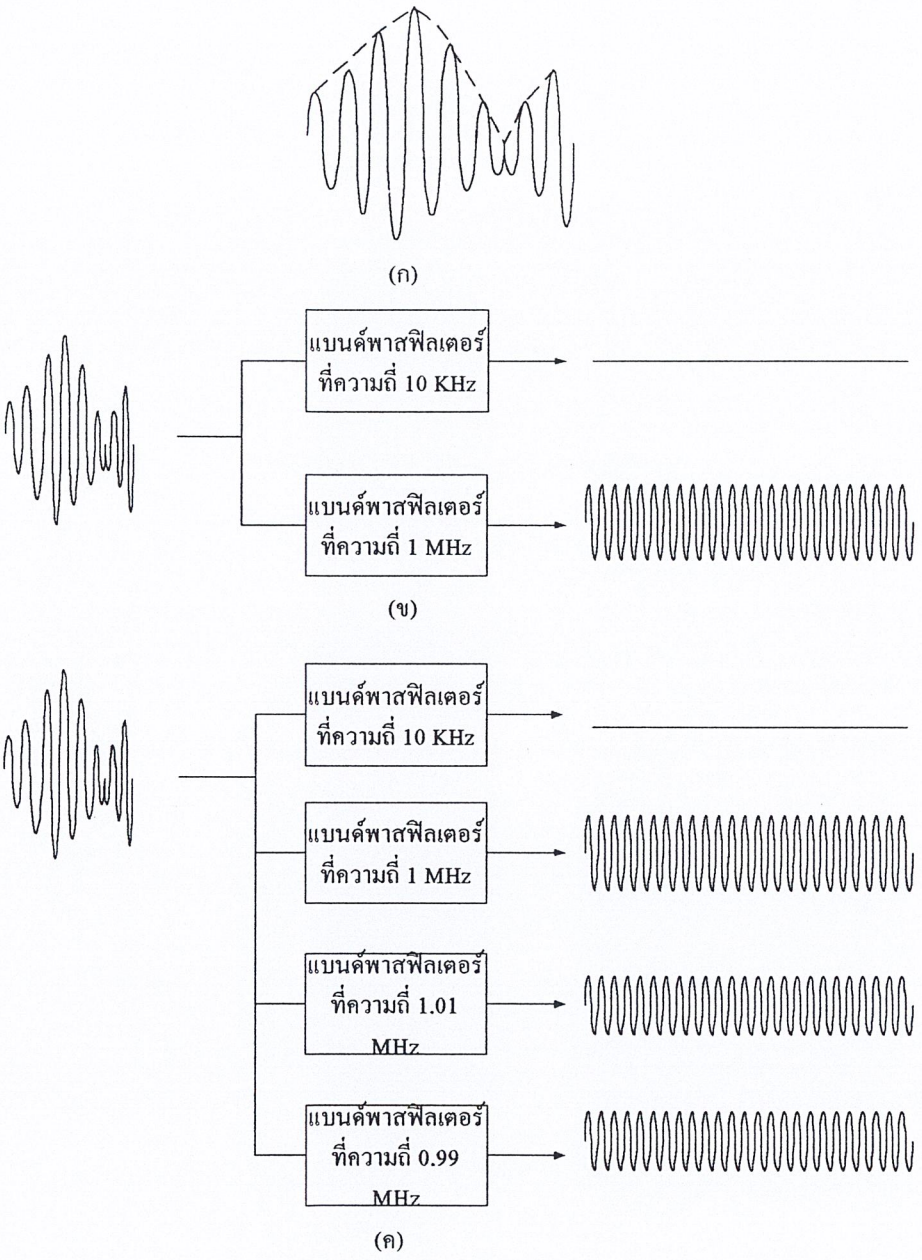
$= 1.01$ MHz

สำหรับไซด์แบนด์ที่มีความถี่ต่ำเรียกว่าไซด์แบนด์ด้านล่าง (lower sideband หรือ LSB) ความถี่ของ LSB เท่ากับความถี่พาหะลบด้วยความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลท ในกรณีนี้จะได้

$$\text{ความถี่ LSB} = f_c - f_m \qquad (2.4)$$

$= 1$ MHz $- 10$ kHz

$= 0.99$ MHz

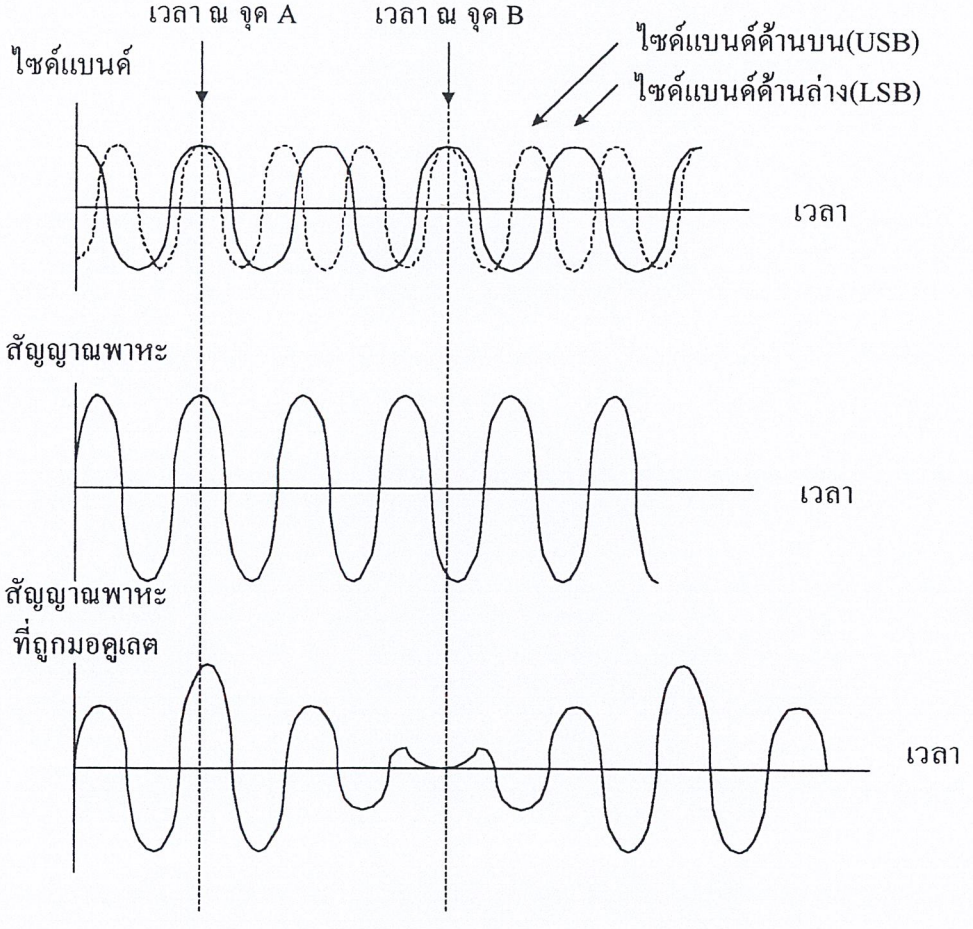


รูปที่ 2.21 แสดงการวิเคราะห์คลื่น AM

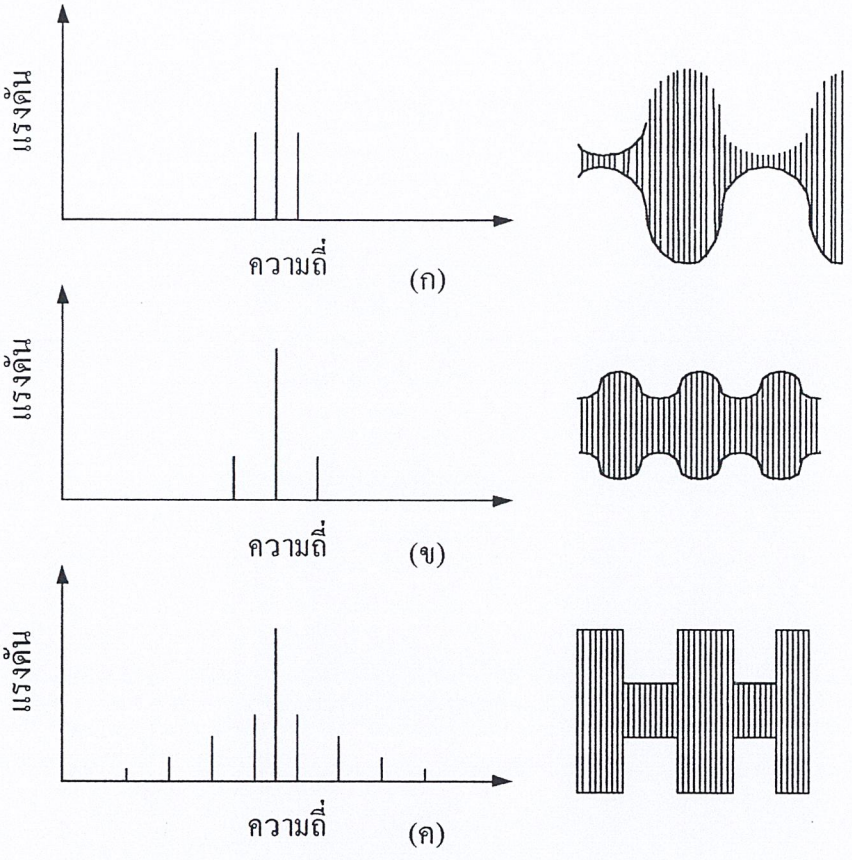
กล่าวโดยสรุปได้ว่า คลื่น AM ประกอบด้วยคลื่นพาหะ และคลื่นไซด์แบนด์ 2 ข้างคือ USB กับ LSB ถ้าเราลองพิจารแอมพลิจูดจากฟิลเตอร์ต่างๆ ในรูปที่ 2.21 (ค) จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์มีค่าคงที่ ซึ่งเราทราบมาในตอนต้นแล้วว่าพาหะจะมีแอมพลิจูด

คงเดิมเสมอจนกว่าจะมีสัญญาณเข้าไปมอดูเลท แต่แอมพลิจูดเฉลี่ยของพาหะยังมีค่าคงเดิมตลอดไป ไม่ว่าจะมีสัญญาณเข้าไปมอดูเลทหรือไม่ก็ตาม

สำหรับในรูปที่2.22 สรุปได้ว่ารูปร่างของกรอบคลื่นไม่ได้ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาญไซด์แบนด์ แต่ความถี่ของสัญญาญไซด์แบนด์ทั้งคู่จะเป็นตัวกำหนดเฟสของสัญญาณไซด์แบนด์ ว่าตรงเฟสหรือต่างเฟสกับพาหะ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมฟลิจูดของสัญญาณ AM หรือกรอบคลื่น หรืออาจกล่าวได้ว่า สัญญาณ AM เกิดจากสัญญาณข่าวสารเข้าไปมอดูเลทบนพาหะแล้วปรากฏเป็นสัญญาณไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง



รูปที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างไซด์แบนกับพาหะ



รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบคลื่น AM ในเชิงความถี่และเวลา

ในรูปที่ 2.23 แสดงการวิเคราะห์สัญญาณ AM ซึ่งมอดูเลทด้วยสัญญาณเสียงที่มีรูปคลื่นชนิดต่างๆ ถ้าตรวจดูด้วยออสซิลโลสโคป จะเห็นว่าไซด์แบนด์จะผสมเสริมหรือหักล้างกับพาหะ ทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลง สังเกตว่าในรูปที่ 2.23 (ก) แอมพลิจูดของไซด์แบนด์จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของพาหะ สภาวะเช่นนี้เป็นสภาวะของการมอดูเลทเต็มที่ หรือเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลท มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นเมื่อสัญญาณทั้งพาหะและไซด์แบนด์มีเฟสตรงกัน แอมพลิจูดของไซด์แบนด์รวมกับพาหะจะได้ 2 เท่าของพาหะ และเมื่อสัญญาณไซด์แบนด์(ทั้งคู่) และพาหะมีเฟส ตรงข้ามกัน แอมพลิจูดรวมจะได้ศูนย์

ในรูปที่ 2.23 (ข) แสดงการมอดูเลทบนพาหะดังกล่าวด้วยเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลท ลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ สังเกตุว่าแอมพลิจูดของพาหะคงเดิมแต่ไซด์แบนด์มีแอมพลิจูดลดลง นอกจากนี้ถ้าเรามอดูเลทด้วยสัญญาณเสียงที่มีความถี่สูงขึ้น ความถี่ของไซด์แบนด์ก็ยิ่งห่างออกไปจากพาหะมากขึ้น

ในรูปที่ 2.23 (ค) เราใช้สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเข้าไปมอดูเลทลงบนพาหะ สังเกตว่าคราวนี้เกิดสัญญาณไซด์แบนด์ขึ้นมากมาย เพราะว่าสัญญาณสี่เหลี่ยมประกอบด้วยความถี่ฟันดาเมนตัลและความถี่ฮาร์มอนิกคี่จำนวนมาก ฉะนั้นไซด์แบนด์ของสัญญาณก็จะมีไซด์แบนด์ 1 คู่สำหรับฟันดาเมนตัลไซด์แบนด์อีก 1 คู่ สำหรับฮาร์มอนิกที่ 3 อีก 1 คู่สำหรับฮาร์มอนิกที่ 5,....ฯลฯ

2.7.3 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM

จากรูปที่ 2.23 จะได้ว่า การส่งสัญญาณ AM มิใช่เป็นการส่งสัญญาณเพียงความถี่พาหะความถี่เดียว แต่เป็นการส่งหลายๆ ความถี่หรือเป็นแถบความถี่ และความจริงข่าวสารก็ไม่ใช้อยู่ในคลื่นพาหะแต่ปนอยู่ในไซด์แบนด์ทั้ง 2 ข้าง ถ้าเราส่งแต่พาหะไปอย่างเดียว ข่าวสารก็ไปไม่ถึงเครื่องรับ ฉะนั้นในระบบ AM ทั้งพาหะและไซด์แบนด์จะถูกส่งไปให้เครื่องรับ

ช่วงความถี่หรือแถบความถี่ของสัญญาณ AM จะเริ่มความถี่จาก LSB ไปยัง USB ฉะนั้นแถบความถี่หรือ แบนด์วิดท์ (bandwidth) ของสัญญาณ AM จะเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณมอดูเลท เช่น สมมติความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่มอดูเลทเท่ากับ 15 กิโลเฮิรตซ์ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM จะเท่ากับ 30 กิโลเฮิรตซ์ ในกรณีที่เรามอดูเลทด้วยสัญญาณที่มีรูปคลื่นซับซ้อน เช่นสัญญสณรูปสี่เหลี่ยม แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM ย่อมเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ฮาร์มอนิกสูงที่สุดของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

2.8 การมอดดูเลททางความถี่

ในขบวนการมอดดูเลท เราใช้คลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่สูงเป็นพาหะแล้วเปลี่ยนคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณออดิโอ (เสียงพูด), สัญญาณภาพหรือข่าวสารอื่นๆการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนี้เราเรียกว่า การมอดดูเลท

คลื่นรูปซายน์ที่เราใช้เป็นพาหะนั้นเราสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แทนได้ดังนี้

$$e = A\sin(\omega t+\phi) \qquad (2.5)$$

เมื่อ e คือ ค่าแรงดัน (หรือกระแส) ของคลื่นพาหะใดๆ

A คือ แอมพลิจูด (หรือขนาด) สูงสุดของคลื่นพาหะ

ω คือ ความถี่เชิงมุม

t คือ เวลา

ϕ คือ เฟสหรือมุมทางไฟฟ้า

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปซายน์ที่สำศัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดดูเลทได้ คือ แอมพลิจูด (A) , ความถี่เชิงมุม (ω)และเฟส (ϕ)

การมอดดูเลทให้กับคลื่นพาหะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

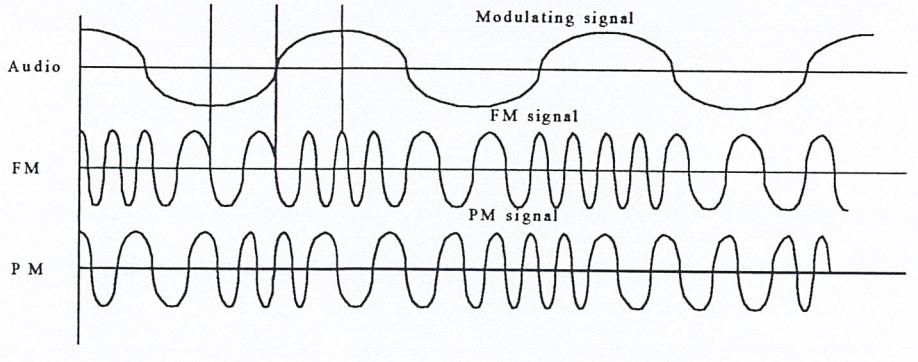
1. การมอดดูเลททางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation ; AM)
2. การมอดดูเลททางความถี่ (Frequency Modulation ; FM)
3. การมอดดูเลททางเฟส (Phase Modulation ; PM)

แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการมอดดูเลททางความถี่อย่างเดียว

2.8.1 การมอดดูเลทของคลื่น

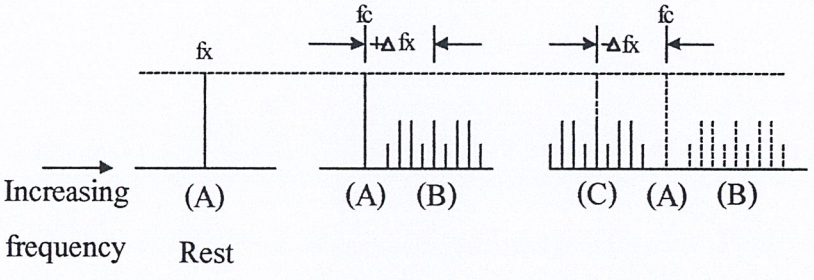
จากรูปที่ 2.24 เป็นรูปสัญญาณที่แสดงในรูปของ Time-domain ที่เกิดจากการมอดดูเลทสัญญาณเสียงกับสัญญาณพาหะซึ่งมีการมอดดูเลทใน 2 ลักษณะคือ การมอดดูเลททางความถี่ (Frequency Modulation :FM) และการมอดดูเลททางเฟส (Phase Modulation : PM) ซึ่งรูปสัญญาณจากการมอดดูเลทจะเป็นลักษณะขบวนความถี่ จากรูปที่ 2.25 จุด A คือ ความถี่ศูนย์กลางของความถี่เสียง ส่วนจุด B คือ คลื่น FM ซึ่งจะมีความถี่ที่สูงกว่าความถี่ความถี่ศูนย์กลางของความถี่เสียง และ

จุด C คือ คลื่น FM ที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ศูนย์กลางความถี่เสียงและจะสังเกตเห็นว่าสัญญาณพาหะจะเปลี่ยนแปลงความถี่ตามความถี่ของสัญญาณความถี่เสียงที่เข้ามามอดดูเลท



รูปที่ 2.24 แสดงสัญญาณความถี่เสียงกับสัญญาณที่ถูกมอดดูเลทแบบ FM และ PM

จากรูปที่ 2.25 เป็นสัญญาณที่เกิดจากการมอดดูเลทสัญญาณใน 1 ไซเคิล ซึ่งจะแสดงในรูปของ Frequency-domain โดยมีความศูนย์กลางอยู่ที่จุด A ส่วนจุด B จะเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่มีค่ามากกว่าความถี่ศูนย์กลาง ($+\Delta fx$) และที่จุด C จะเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่มีค่าน้อยกว่าความถี่ศูนย์กลาง ($-\Delta fx$) การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณพาหะไปพร้อมๆ กับของสัญญาณที่กำลังถูกมอดดูเลทนั้นจะมีผลทำให้มีไซแบนด์เกิดขึ้นรอบๆ สัญญาณพาหะและจำนวนไซแบนด์ที่เกิดขึ้นจะมีความถี่ที่ออกห่างจากความถี่ศูนย์กลาง โดยที่ผลรวมของแรงดันและไซแบนด์ของสัญญาณพาหะที่ออกห่างจากความถี่ศูนย์กลางจะมีค่าคงที่ และจะมีค่าที่เท่ากับแรงดันและไซแบนด์ที่ค่าของความถี่ศูนย์กลาง



รูปที่ 2.25 แสดงการมอดดูเลทคลื่น FM ใน Frequency-domain

2.8.2 ดัชนีการมอดดูเลท

ในระบบ FM เราวัดเปอร์เซ็นต์การมอดดูเลทโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งเรานิยมเรียกชื่อใหม่ว่า ดัชนีการมอดดูเลท ลองพิจารณาความหมายของดัชนีการมอดดูเลทต่อไปนี้

$$m = \frac{fd}{fm} \qquad (2.6)$$

เมื่อ fd คือช่วงความถี่เบี่ยงเบน

fm คือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท

ค่าตัวเลขของดัชนีการมอดดูเลทจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดดูเลทซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 หรือ 1) ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM เรากำหนด

ให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดไว้เท่ากับ 75 kHz สมมติว่าเราใช้สัญญาณเสียง 1 kHz มอดดูเลท ให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าดัชนีมอดดูเลทจะเป็น

$$m = \frac{75}{1}\,kHz = 75 \qquad (2.7)$$

สังเกตว่าค่าดัชนีการมอดดูเลทในระบบ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสรียงที่เข้ามอดดูเลทในทางปฏิบัติเรานิยมวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (deviation ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วระหว่างความถี่เบี่ยงเบน (ของระบบ) สูงสุด (fdmax) ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามามอดดูเลท (fmmax) ในระบบกระจายเสียง FM ค่าอัตราการเบี่ยงเบน (Δ) จะเท่ากับ

$$\Delta = \frac{fd\,\max}{fm\,\max} \qquad (2.8)$$
$$= \frac{75}{15}$$
$$= 5$$

ในระบบ FM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลทสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 kHz ถ้าเรามอดดูเลททำให้ความถี่ของพาหะเบี่ยงเบนไปเท่ากับ 75 kHz แสดงว่าเรามอดดูเลท 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเราเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

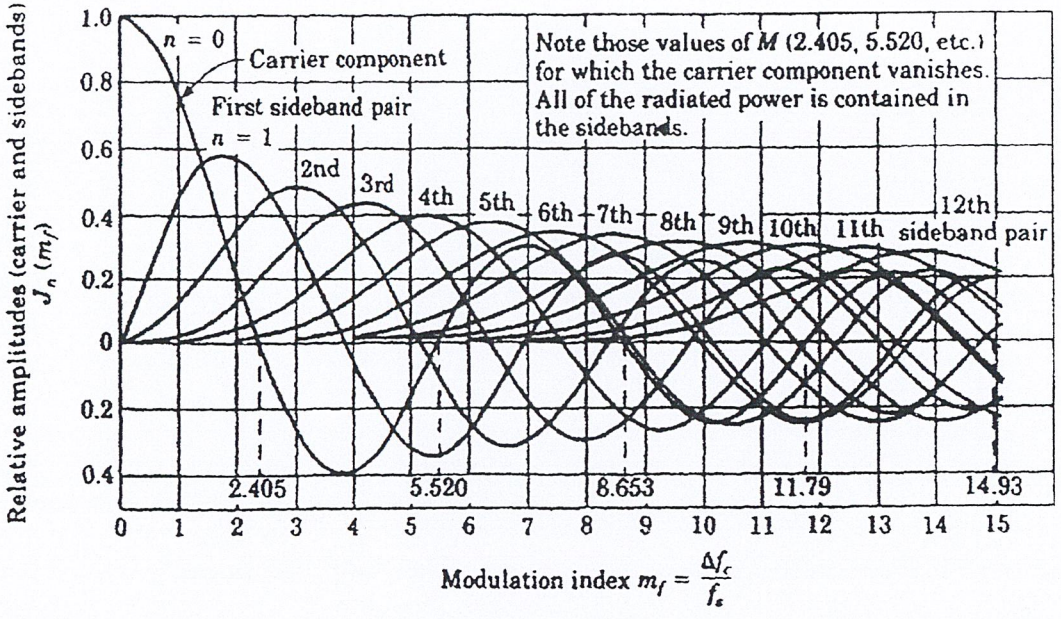
$$\text{เปอร์เซนต์การมอดดูเลท} = \frac{fd}{fd\,\max} * 100 \qquad (2.9)$$

ในที่นี้ fd คือความถี่เบี่ยงเบน เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท
fdmax คือความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของระบบ

2.8.3 ไซด์แบนด์ FM

จากการมอดดูเลทแบบ FM ถ้าเรามอดดูเลทด้วยสัญญาณชายน์ก็จะเกิดไซด์แบนด์จำนวนนับอนันต์ เนื่องจากการเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะทำให้เกิดความถี่เพิ่มขึ้นอีกมากมาย ความจริงแล้วไซด์แบนด์ที่อยู่ห่างจากความถี่กลางมากๆ มักมีแอมพลิจูดเล็กมากจนไม่ต้องคำนึงถึง ในระบบ FM สัญญาณ FM จะรักษาแอมพลิจูดไว้คงที่เสมอ ซึ่งหมายความว่ากำลังของคลื่นพาหะย่อกระจาย

ไปอยู่ในไซด์แบนด์ ความสัมพันธ์ของพาหะกับไซด์แบนด์ในระบบ FMขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดดูเลทเนื่องจากดัชนีการมอดดูเลทเป็นตัวกำหนดจำนวนของไซด์ที่สำคัญและแอมพลิจูดของพาหะกับไซด์แบนด์ต่างๆ



รูปที่ 2.26 กราฟแสดงแอมพลิจูดของพาหะและไซด์แบนด์ในระบบ FM

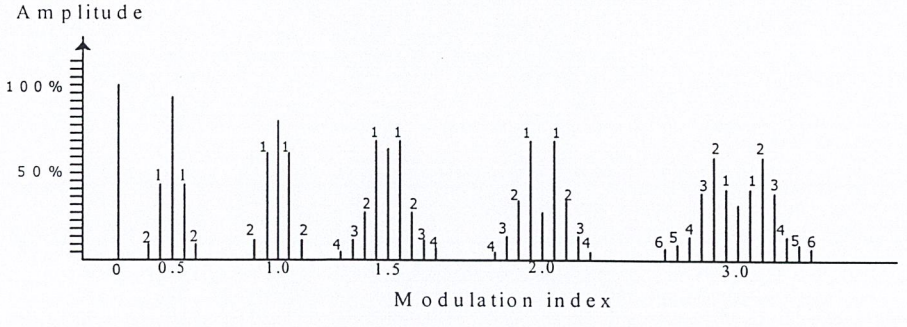
ในรูปที่ 2.26 แสดงกราฟแอมพลิจูดของคลื่นพาหะกับไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดดูเลทค่าต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดดูเลทเป็นศูนย์จะมีแต่คลื่นพาหะอย่างเดียว (เท่ากับ 1 หน่วย) คลื่นไซด์แบนด์เป็นศูนย์เมื่อดัชนีการมอดดูเลทเพิ่มขึ้นจำนวนไซด์แบนด์จะเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของไซด์แบนด์ก็จะใหญ่ขึ้น แต่แอมพลิจูดของพาหะกลับเล็กลงจนกระทั่งดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ 2.4 คลื่นพาหะจะเป็นศูนย์ ตอนนี้กำลังของคลื่น FM จะไปอยู่ในไซด์แบด์ทั้งสิ้น เมื่อดัชนีการมอดดูเลทเพิ่มขึ้นอีก คลื่นพาหะก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก (เป็นค่าลบแสดงว่าเฟสตรงกันข้ามกับตอนแรก เช่น เมื่อดัชนีการมอดดูเลทเป็น 3.1 แอมพลิจูดของพาหะจะเท่ากับ – 0.3 หน่วย) สังเกตว่าจุดที่คลื่นพาหะเป็นศูนย์นั้นมีอยู่หลายจุด

กราฟในรูปที่ 2.26 เขียนได้เป็นตารางดังแสดงในตารางที่ 1 และเพื่อให้ง่ายขึ้น ในที่นี้เราตัดไซด์แบนด์ที่มีแอมพลิจูดน้อยกว่า 1 เปอร์เซนต์ของพาหะเดิม (ก่อนมอดดูเลท) ออกไปโดยไม่คำนึงถึงเช่น เมื่อดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ 0.24 หน่วย ไซด์แบนด์คู่ที่สองถัดไปมีแอมพลิจูดเท่ากับ

0.03หน่วย ไซด์แบนด์อื่นนอกจากนี้มีแอมพลิจูดน้อยจนสามารถตัดทิ้งไปได้ เมื่อดัชนีการมอดดูเลทสูงขึ้นการกระจายคลื่นไซด์แบนด์จะเป็นดังรูปที่ 2.27

ดัชนีการมอดดูเลท	พาหะ	ไซด์แบนด์คู่ที่															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
0.25	0.98	0.12	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
0.5	0.94	0.24	0.03	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
1	0.77	0.44	0.11	0.02	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
2.5	-0.05	0.5	0.45	0.22	0.07	0.02	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
3	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
4	-0.4	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	_	_	_	_	_	_	_	_	_
5	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	_	_	_	_	_	_	_	_
6	0.15	0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	_	_	_	_	_	_	_
7	0.3	0	-0.3	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	_	_	_	_	_	_
8	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.1	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	_	_	_	_	_
9	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.26	0.2	0.33	0.3	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	_	_	_
10	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.2	0.12	0.06	0.03	0.01	_	_
12	-0.05	-0.22	-0.08	0.2	0.18	-0.17	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.3	0.27	0.2	0.12	0.07	0.03	0.01
15	-0.01	0.21	0.04	0.18	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.08	0.1	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

ตารางที่ 2.1 แสดงการกระจายคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดดูเลทค่าต่างๆ



รูปที่ 2.27 รูปคลื่น FM ในเชิงความถี่ที่ค่าดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ 0,0.5,1,1.5,2,3

2.8.4 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM

ในระบบ FM จำนวนไซด์แบนด์และแอมพลิจูดของไซด์แบนด์ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดดูเลท โดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท กล่าวคือไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ fc-+fm ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ fc-+2fm ,...ฯลฯ แบนด์วิดท์ของคลื่น FM ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำศัญทุกตัว นั่นคือแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดดูเลทและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดดูเลท แต่ดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ fd/fm ดั้งนั้นถ้าเราทราบความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดดูเลทเราก็สามารถคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้ ตัวอย่างเช่นความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดดูเลทเท่ากับ 3 kHz ความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 18 kHz เราคำนวณค่าดัชนีการมอดดูเลทได้ดังนี้

$$\begin{aligned} m &= \frac{fd}{fm} \\ &= \frac{18}{3} \\ &= 6 \end{aligned} \qquad (2.10)$$

นำค่า m = 6 ไปหาไซด์แบนด์สำศัญที่พิจารณาได้จากตารางในรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดดูเลทเท่ากับ 6 จำนวนไซด์แบนด์จะมีอยู่ 9 คู่ เราจึงคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} BW &= f_m \times \text{จำนวนไซด์แบนด์} \times 2 \\ &= 3\text{kHz} \times 9 \times 2 \\ &= 54\ \text{kHz} \end{aligned} \qquad (2.11)$$

ความจริงแล้วในทางปฏิบัตินิยมใช้สูตรคำนวณแบบประมาณจากค่า $f_{d\max}$ และ $f_{m\max}$ เลยไม่ต้องเสียเวลานับจำนวนไซด์แบนด์ดังนี้

$$BW = 2(m+1) f_{m\max} \qquad (2.12)$$

หรือ $BW = 2(f_{d\max} + f_{m\max})$,เมื่อ $m = \frac{fd}{fm}$

จากตัวอย่างดังกล่าวเราคำนวณได้ว่า

$$BW = 2 \times (6+1) \times 3$$
$$= 42 \text{ kHz}$$

หรือ $$BW = 2 \times (18+3)$$
$$= 42 \text{ kHz}$$

เสมือนกับว่าเราพิจารณาใช้จำนวนไซด์แบนด์เพียง 7 คู่ เมื่อเทียบกับการคำนวณในตอนต้น

2.9 การมอดดูเลทสัญญาณแบบดิจิตอล

ในบทนี้เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดดูเลทสัญญาณแบบดิจิตอล ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น การมอดดูเลทแบบ ASK , FSK และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ในบทนี้จะเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดดูเลทแบบ FSK เกี่ยวข้องกับโครงงานที่ได้จัดทำ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.9.1 การมอดดูเลทสัญญาณดิจิตอล

การมอดดูเลทข้อมูลที่เป็นดิจิตอลจะมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

1. มอดการดูเลทดิจิตอลทางขนาด (Amplitude Shift Keying ;ASK)
2. การมอดดูเลทดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying ;PSK)
3. การมอดดูเลทดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying ;FSK)

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของคลื่นรูปซายน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

$$e = A\sin(\omega t+\phi) \qquad (2.13)$$

คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปซายน์ที่สำศัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดดูเลทได้คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) และเฟส (ϕ)

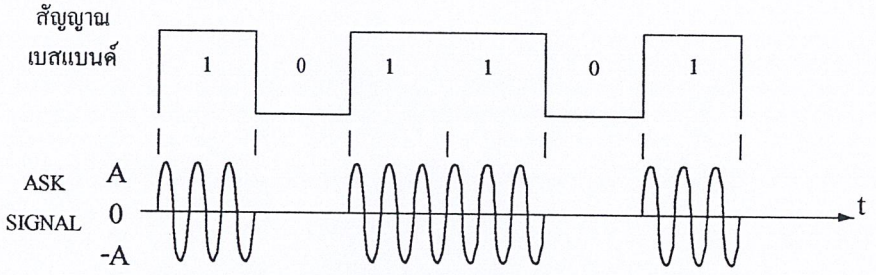
สัญญาณดิจิตอลเบสแบนด์เป็นรูปสี่เหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี่ “1” และ “0” ในการมอดดูเลทสัญญาณดิจิตอลนี้ จากคุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปซายน์(คลื่นพาหะ) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ แอมพลิจูด ความถี่เชิงมุมและเฟสจะเปลี่ยนไปตามสถานะ “1” และ “0” ของสัญญาณเบสแบนด์

2.9.2 การมอดดูเลทดิจิตอลทางขนาด (Amplitude Shift Keying ;ASK)

ในการมอดดูเลทดิจิตอลทางขนาดบางครั้งเรียกว่า OOK (on- off keying) เพราะว่าคลื่นพาหะถูก on/off ตามสัญญาณที่เป็น "1" และ "0" ถ้าคลื่นพาหะกำหนดโดยสมการที่ (1) ดังนั้นสัญญาณ ASK จะกำหนดได้เป็น

$$e = A\sin 2\pi f_1 t \qquad \text{;เมื่อสถานะของบิทเป็น " 1 "} \qquad (2.14)$$
$$= 0$$

แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.28 แสดงรูปการมอดดูเลทดิจิตอลทางขนาด

การมอดดูเลทดิจิตอลทางขนาดจัดว่ามีประสิทธิภาพต่ำที่สุด และมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลสูงและใช้ในสายสื่อสารที่ต้องการความเร็วของข้อมูลต่ำ (น้อยกว่า 100 บิท) ส่วนหลักการอื่นๆ ของ ASK จะเหมือนกับแบบ AM

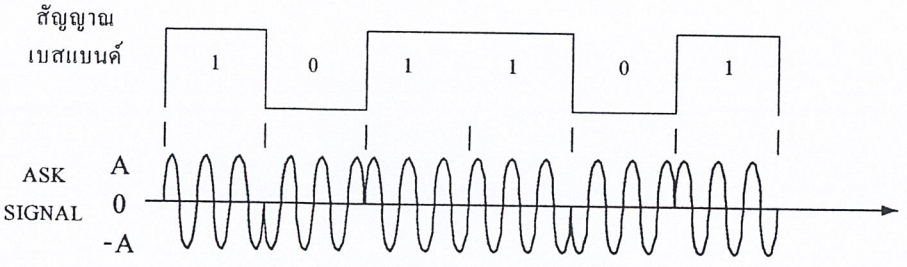
2.9.3 การมอดดูเลทดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying ;PSK)

การมอดดูเลทดิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอนาลอกแทนสัญญาณดิจิตอล สัญญาณดิจิตอล " 1 " จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกเฟสหนึ่ง ในขณะเดียวกันสัญญาณลอจิก " 0 " ก็จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ (1) ดังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดได้เป็น (ในกรณีที่ส่งครั้งละหนึ่งบิท)

$$e = A\sin 2\pi f_c t \qquad \text{;เมื่อสถานะของบิทเป็น " 1 "}$$

$= A\sin(2\pi f_c t + \pi)$;เมื่อสถานะของบิทเป็น " 0 "

แสดงดังรูปที่ 2.29



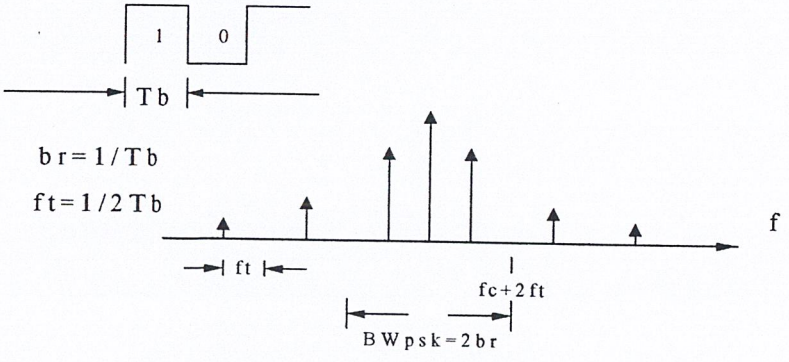
รูปที่ 2.29 แสดงรูปการมอดดูเลทดิจิตอลทางเฟส

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการมอดดูเลทแบบ PSK คือ Binary PSK (BPSK) แสดงดังรูปที่ 4.3 ที่ค่าเฟสของสัญญาณจะมี 2 ค่า คือ 0 องศา และ 180 องศา

สมการของสัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลทแล้วได้เป็น

$$V_{PSK} = V_b \sin(2\pi f_c t) + V_b \sin(2\pi f_c t + \pi) \qquad (2.15)$$

เมื่อ V_b แทนค่าสถานะของบิท คือ " 1 " และ " 0 "



รูปที่ 2.30 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

ถ้าคิดให้อัตราเร็วบิทเท่ากันแบบ PSKมีค่าความกว้างแถบน้อยกว่าแบบ FSK (แต่ราคาของวงจร PSK สูงกว่า) เราใช้วิธีการมอดดูเลทแบบ PSK ในโมเด็มที่มีอัตราเร็วบิทเท่ากับ 2400 บิท/วินาที และ 4800 บิท/วินาทีเพราะว่าวิธีการมอดดูเลทแบบ FSK ไม่สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

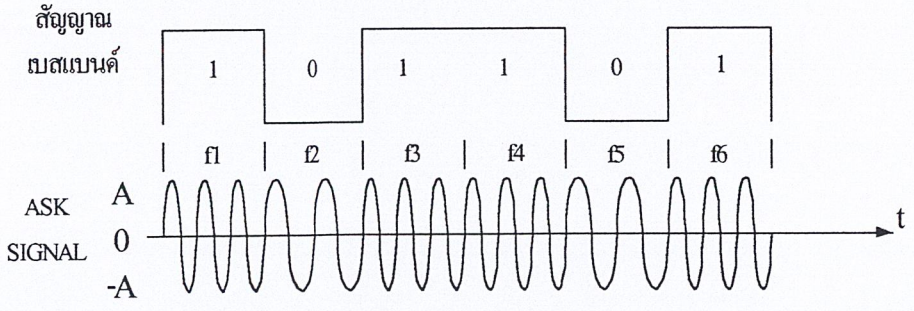
2.9.4 การมอดดูเลทดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying ; FSK)

การมอดดูเลทดิจิตอลทางความถี่เมื่อข้อมูลเป็นลอจิก " 1 " ก็จะได้สัญญาณอนาลอกความถี่หนึ่งและเมื่อเป็นลอลิก " 0 " ก็จะได้สัญญาณอนาลอกอีกความถี่หนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ 1

ดังนั้นกรณีของการมอดดูเลทแบบ FSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก " 1 " และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก " 0 " แสดงสมการข้างล่าง

$$e = A\sin 2\pi f_1 t \qquad \text{; เมื่อสถานะบิทเป็น " 1 "}$$
$$= A\sin 2\pi f_2 t \qquad \text{; เมื่อสถานะบิทเป็น " 0 "}$$

แสดงดังรูปที่ 2.31

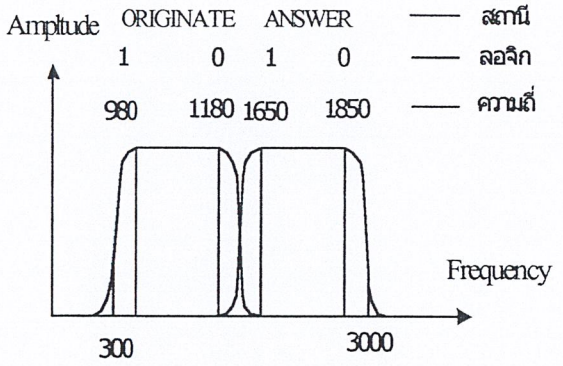


รูปที่ 2.31 แสดงการมอดดูเลทดิจิตอลทางความถี่

ในการส่งข้อมูลแบบ FSKที่ใช้งานจริงสามารถแบ่งได้ 2 แบบ

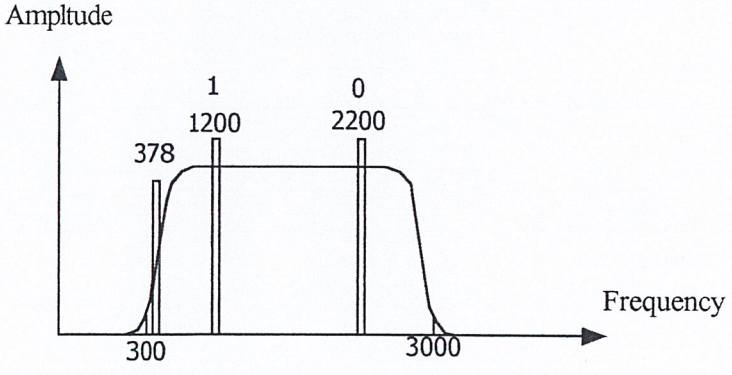
- ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลระบบฟลูดูเพลกซ์ (Full Duplex)

การส่งข้อมูลแบบนี้จะแบ่งแบนด์วิดธ์ของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 2 แบนด์เท่าๆ กัน โดยแบนด์หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูลส่วนอีกแบนด์หนึ่งจะใช้ในการรับข้อมูล ทำให้สามารถส่งข้อมูลเข้าไปในสายได้พร้อมๆ กัน ผลตอบสนองความถี่สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

- ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

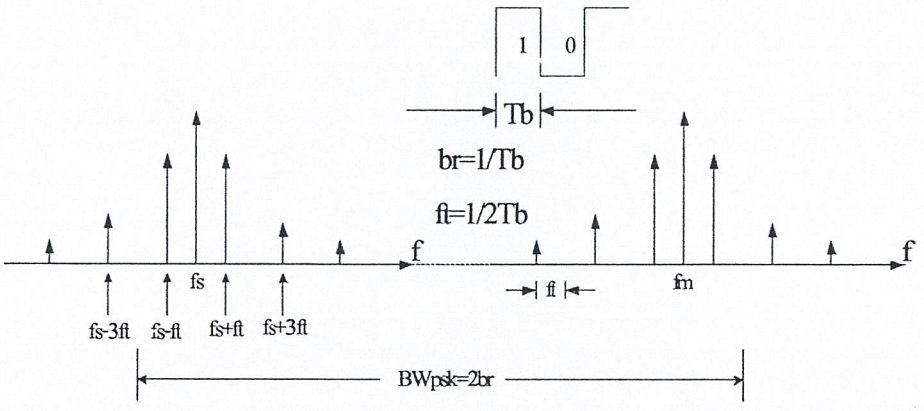


รูปที่ 2.33 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดดูเลทแบบ FSKในการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

การส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กค์จะมีแบนด์วิดธ์ 2 แบนด์เหมือน แต่ความกว้างของแบนด์วิดธ์ทั้งสองจะไม่เท่ากัน แบนด์วิดธ์ที่กว้างกว่าจะใช้ในการส่งข้อมูลส่วนแบนด์วิดธ์ที่แคบจะใช้ในการส่งสัญญาณควบคุม (Supervisory Signal) ของตัวรับไปยังตัวส่งเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพ

การส่งข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่เราเรียกแบนด์วิดธ์แบบนี้ว่าช่องสัญญาณย้อนกลับ (Reverse Channel) ผลตอบสนองความถี่ของการรับส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์แสดงดังรูปที่ 2.34

เราสามารถที่จะอธิบายความหมายของความกว้างแถบ (bandwidth) ในแบบ FSK ได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK

จากรูปที่ 4.7 กำหนดให้ b_r = อัตราเร็วบิท (บิท/วินาที)

T_b = ช่วงเวลาใน 1 บิท

จะได้ $T_b = \frac{1}{b_r}$ วินาที

สมมติให้สัญญาณข้อมูลมีสถานะ " 1 " และ " 0 " สลับกันเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ให้มีความถี่พื้นฐานเท่ากับ f_f

จะได้ $f_f = 1/2\ T_b = b_r/2\ Hz$

จากสมการที่ (2) หมายถึงค่าความถี่พื้นฐานที่มากที่สุดของสัญญาณข้อมูล มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วบิท สำหรับรูปสมการของสัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลทแบบ FSK แล้วมีค่าดังสมการข้างล่าง

$$V_{PSK} = V_b \sin(2\pi f_m t) + V_b \sin(2\pi f_s t) \qquad (2.16)$$

โดยค่า V_b = ค่าของบิทมีค่าหนึ่งและศูนย์ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูลนั้น

f_m = ค่าความถี่ของสถานะมาร์ค (1)

f_s = ค่าความถี่ของสถานะสเปซ (0)

รูปสเปคตรัม (Spectrum) ของสมการ V_{FSK} ประกอบด้วยคลื่นพาหะและแถบความถี่ข้างจำนวนหลายคู่ ซึ่งในการคิดของค่าความกว้างแถบของแบบ FSK กำหนดจากความถี่ 2 ตัวที่อยู่ระหว่างตรงกลางของแถบความถี่ฮาร์โมนิก (Harmonic) ลำดับที่ 1 และ 3 แสดงในรูปสมการได้ว่า

$$BW_{FSK} = (f_m + 2f_t) - (f_s - 2f_t) \qquad (2.17)$$

$$= (f_m - f_s + \Delta f_t) \qquad Hz$$

หรือ $$BW_{FSK} = |f_m - f_s| + 2\, b_r \qquad Hz$$

สรุปความหมายจากสมการที่ 2.17 ได้ว่า ค่าโดยประมาณของความกว้างแถบเท่ากับ ค่าแตกต่างระหว่าง ความถี่ของมาร์ค (Mark) กับสเปซ (Space) บวกด้วยสองเท่าของอัตราเร็วบิท

สำหรับการออกแบบภาคดีมอดดูเลท มีข้อแนะนำในการหาค่าความถี่กลางของ FSK และค่าแตกต่างระหว่างความถี่ของมาร์ค (Mark) กับสเปซ (Space) ไว้ว่า

$$f_{FSK} = (f_m + f_s)/2 \geq 3b_r \qquad (2.18)$$

$$|f_m - f_s| > 2\, b_r/3 \qquad (2.19)$$

f_{FSK} ความถี่กลาง FSK (ระหว่าง f_m และ f_s)

- ตัวอย่าง ในการคำนวณหาค่า f_{FSK} และค่าความกว้างแถบ (BW) ของช่องสัญญาณ FSK กำหนดให้โมเด็มชนิดมีอัตราเร็ว 600 บิท/วินาที ต้องการใช้ความถี่มาร์ค (Mark) เท่ากับ 1500 *Hz* และความถี่เปซ (Space) เท่ากับ 2000 *Hz*

จากสมการที่ (2.17)

$$BW_{FSK} = |f_m - f_s| + 2\, b_r$$

$$= |2000 - 1500| + 2(600)$$

$$= 1700\ Hz$$

จากสมการที่ (2.18)

$$f_{FSK} = (f_m + f_s)/2 \geq 3b_r$$

$$(2000+1500)/2 \geq 3(600)$$

$$1750\ Hz \geq 1800\ Hz$$

จากสมการที่ (2.19)

$$|f_m - f_s| > 2\ b_r/3$$

$$|1500\text{-}2000| > 2(600)/3$$

$$500\ Hz > 400\ Hz$$

จากการคำนวณสมการที่ (2.18) และ (2.19) เปรียบเทียบกัน ถ้าพิจารณาข้อแนะนำในการออกแบบภาคดีมอดดูเลทพบว่าจากที่ระบุในสมการที่ (2.18) ก็ยังไม่ดีเท่าที่ควรเพราะว่าค่าที่คำนวณได้ 1750 *Hz* น้อยกว่า 1800 *Hz* ส่วนในสมการที่ (2.19) เราจะพบว่าใช้ได้ดีเพราะว่าค่า 500 *Hz* ที่คำนวณได้มากกว่าสองในสามของ 600 *Hz* (400 *Hz*)

บทที่ 3
พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์

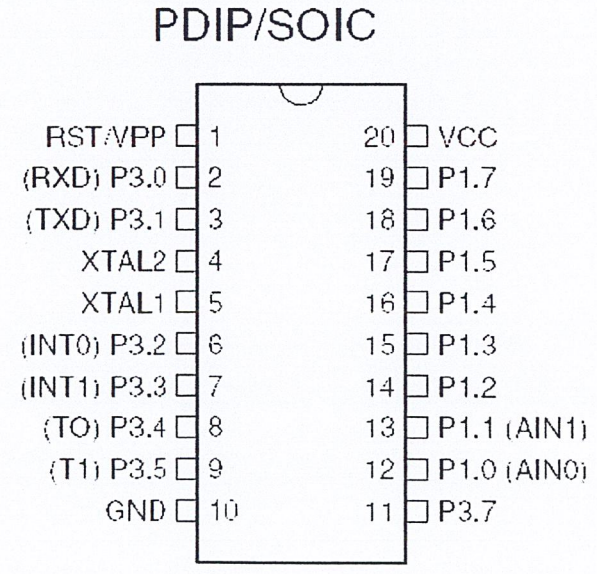
3.1ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51 Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เดิมมีแนวความคิดพื้นฐานมาจากไมโครโพรเซสเซอร์ เพียงแต่จะแตกต่างกันที่ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำเอาอุปกรณ์ที่ทำให้ระบบสมบูรณ์ เช่น หน่วยความจำ อินพุทและเอาท์พุทพอร์ทเข้าไปอยู่ในชิบตัวเดียวกัน

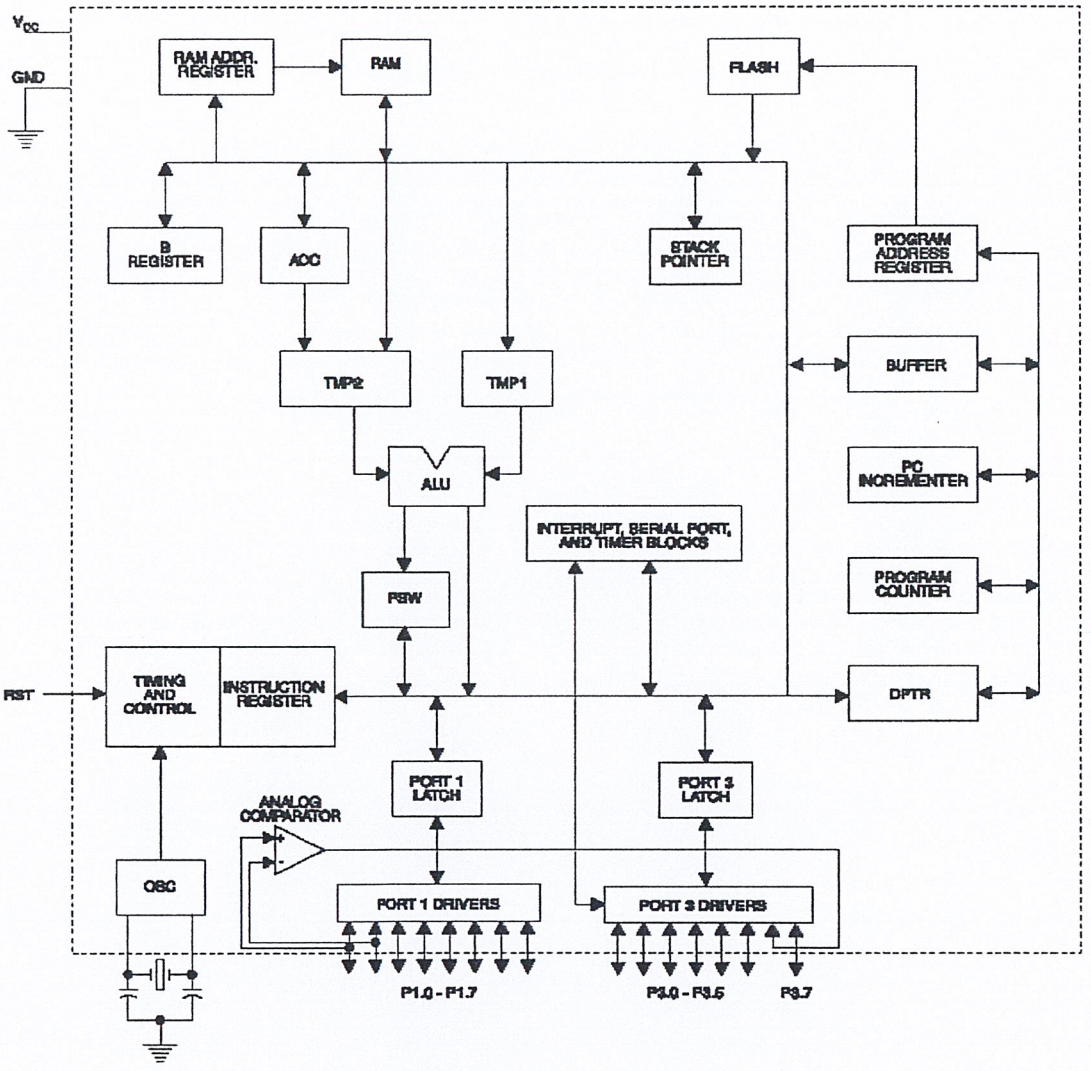
AT89C2051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตขึ้นโดย ATMEL ซึ่งมีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 โดยบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ DIP ขนาด 20 ขา นับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กอีกตัวหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจและยังสามารถทำการพัฒนาโปรแกรมได้โดยง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนมีพอร์ตหน่วยความจำและทรัพยากรที่สำคัญๆ อย่างครบถ้วน เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

3.2 สถาปัตยกรรมของAT89C2051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จริงๆแล้วจะรวมเอาตระกูล 8031ถึง 8751 ทั้งหมด ซึ่งเป็นพวก NMOS(Basic) โดยรุ่น AT89C2051 จะขาอยู่ 20ขาดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดขาของAT89C2051



รูปที่ 3.2 แสดงสถาปัตยกรรมของ89C2051

3.2.1 หน้าที่การทำงานของแต่ละขามีดังนี้

- ขาที่ 1 ทำหน้าที่รับสัญญาณรีเซท (Reset) จากภายนอก เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมด

- ขาที่ 2,3,6,7,8,9 และขา11 ทำหน้าที่เป็นอินพุทเอาท์พุทพอร์ท 3 และนอกจากนี้แต่ละขายังสามารถทำหน้าที่อื่นๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ขาที่ 2 ทำหน้าที่รับข้อมูลแบบอนุกรมให้กับอุปกรณ์ภายนอก

- ขาที่ 3 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้กับอุปกรณ์ภายนอก

- ขาที่ 6 ทำหน้าที่รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ 0 (Interupt 0) จากภายนอกโดยสัญญาณอินเตอร์รัพท์นี้จะทำงานเมื่อเป็นลอจิกต่ำ

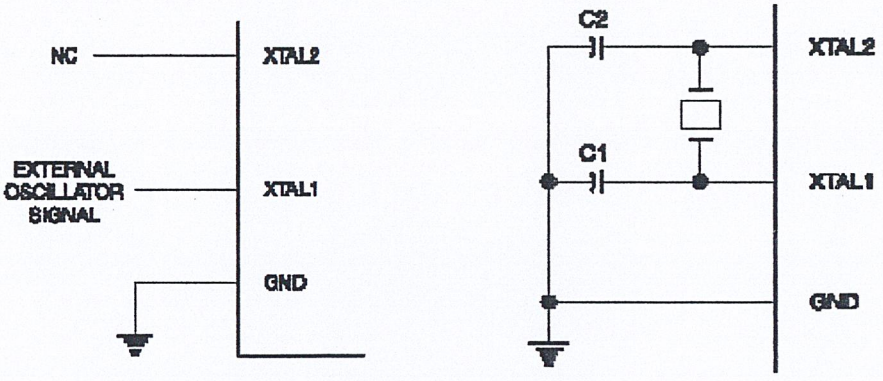
- ขาที่ 7 ทำหน้าที่รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ 1 (Interupt 1) จากภายนอกโดยสัญญาณอินเตอร์รัพท์นี้จะทำงานเมื่อเป็นลอจิกต่ำเหมือนกับขาที่ 12

- ขาที่ 8 ทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกให้กับไทม์เมอร์ 0 (Time 0)

- ขาที่ 9 ทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกให้กับไทม์เมอร์ 1 (Time 1)

- ขาที่ 10ใช้ต่อกราวด์ของระบบ

- ขาที่ 4-5 เป็นขาสำหรับรับสัญญาณจากคริสตัล(Crystal) เพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองจะมีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ในตัวเองแล้ว



รูปที่ 3.3 แสดงการต่อคริสตัล(Crystal)

- ขาที่ 14-19 ทำหน้าที่เป็นอินพุตเอาท์พุตของพอร์ท 1

- ขาที่ 20 ต่อกับแหล่งจ่ายไฟเพื่อจ่ายพลังงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ AT89C2051

- มีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

- มีหน่วยความจำชนิด Flash Memory ขนาด 2 Kbps สามารถโปรแกรมซ้ำ ได้ 1000 ครั้งมีหน่วยความจำแบบ RAM 8 bit ขนาด 128 byte (Internal Ram)

- ทำงานที่แรงดัน 2.7-6 โวลต์

- Run ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 0 Hz-24 Hz

- มีพอร์ต I/O 15 บิต (พอร์ต 1 และพอร์ต 3)
- พอร์ตสามารถ Sink กระแสได้ 20 mA และใช้เป็น output ขับ LED ได้โดยตรง
- มีพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม 1 Channel (UART)
- สามารถโปรแกรมข้อมูลเพื่อป้องกันการอ่านเขียน (คัดลอกโปรแกรม) ได้ 2 ระดับ
- มีวงจรไทม์เมอร์และวงจรนับขนาด 16 บิต (16 bit Timer/Counter) จำนวน 2 Channel มีสัญญาณอินเตอร์รัพท์ 5 แหล่ง แบ่งลำดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอะนาลอก (Analog Comparator Input) 1 Channel
- มีระบบประหยัดพลังงาน (Low Power Ideal and Power Down Modes)

3.2.3 การทำงานของ AT89C2051

CPU AT89C2051 มี I/O Port ทั้งหมด 15 บิต โดยแบ่งออกเป็น 2 พอร์ต คือ พอร์ต 1 (P1.0-P1.7) และพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) โดยพอร์ต I/O ขนาดบิต แบบสองทิศทางซึ่ง P1.2-P1.7 จะมี Internal Pull-Up ให้ส่วน P1.0 และ P1.1 นั้นต้องต่อ Pull-Up จากภายนอกเอง ซึ่งพอร์ต P1.0 และ P1.1 นี้สามารถใช้เป็นวงจร Analog Comparator Input ได้อีกด้วย ส่วนพอร์ต 3 นั้น เราจะใช้ P3.0-P3.5 และ P3.7 เป็น I/O แบบสองทิศทาง ซึ่งมี Internal Pull-Up ให้ด้วยเช่นกัน ส่วน P3.6 จะไม่ต่อขาออกมาภายนอกแต่เราสามารถใช้เป็นพอร์ตอินพุต เพื่ออ่านค่าผลลัพธ์ของวงจร Comparator จากพอร์ต P1.0 และ P1.1 ได้ซึ่งพอร์ต 1 และพอร์ต 3 นี้สามารถใช้ Sink กระแสได้ 20 mA และสามารถใช้เป็น output เพื่อขับ LED ได้โดยตรง

3.3 หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์

หน่วยความจำของ 8051 แบ่งออกไว้เป็น 2 แบบตามลักษณะของการใช้งาน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Menory) และ หน่วยความจำของข้อมูล(Data Memory)

3.3.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Menory)

เป็นหน่วยความจำที่ใช้งาน คือ ภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งต้องการให้ 89C2051 ทำงาน เมื่อ 89C2051 ทำงานก็จะอ่านข้อมูลที่เก็บคำสั่งในหน่วยความจำประเภทนี้เข้าไปถอดรหัสแล้วสร้างสัญญาณควบคุมส่วนอื่น ๆ ตามการทำงานของแต่ละคำสั่งนั้น หน่วยความจำแบบนี้จะต้องเป็นแบบหน่วยความจำอ่านได้เท่านั้น (Read Only Memory (ROM)) และผู้ใช้ต้องเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นรหัสภาษาเครื่องของ 89C2051 ตามลำดับการทำงานที่ต้องการ (หน่วยความจำแบบหน่วยความจำแบบอ่านได้เท่านั้น ซึ่งเมื่อปิดไปแล้ว ข้อมูลก็ไม่มีการ

สูญหาย) ในระหว่างการทำงานของ 89C2051 ผู้ใช้จะไม่สามารถใช้คำสั่งทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบนี้ได้

3.3.2 หน่วยความจำของข้อมูล(Data Memory)

เป็นหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C2051 จะใช้สำหรับพัก เก็บข้อมูล แล้วเรียกมาใช้ใหม่ในระหว่างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 การอ่านหรือเขียนจากหน่วยความจำจะกระทำโดยคำสั่งที่เก็บไว้ในหน่วยความจำของโปรแกรม หน่วยความจำแบบนี้เป็นประเภท หน่วยความจำอ่านและเขียนได้ (Random Access Memory (RAM)) ถ้ามีไฟเลี้ยงอยู่ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่สูญหาย แต่ถ้าปิดเครื่องหรือไม่จ่ายไฟให้แก่หน่วยความจำอ่านและเขียนได้แล้ว ข้อมูลในหน่วยความจำอ่านและเขียนได้ก็จะสูญหายไปหน่วยความจำของข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 จะอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งอยู่ภายใน 89C2051 จำนวน 128 ไบท์ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH และอีกชุดหนึ่งจะต้องต่ออยู่ภายนอกของวงจรรวม

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้าง

ในการออกแบบวงจรฮาร์ดแวร์ของระบบออฟฟิศอัตโนมัติประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

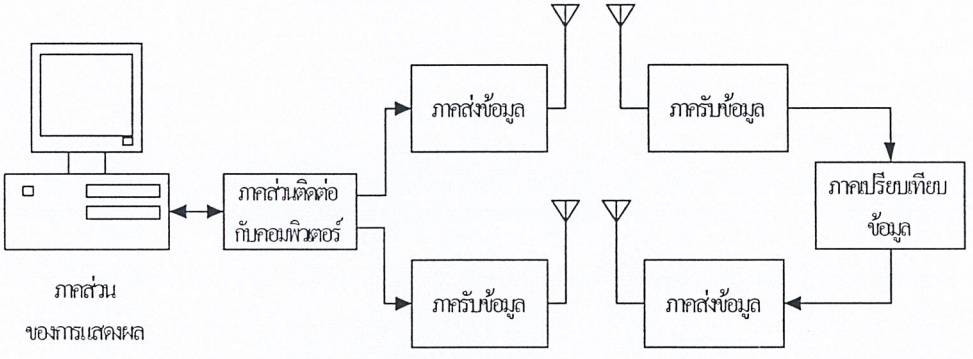
1 ภาคส่งสัญญาณข้อมูล

2 ภาครับสัญญาณข้อมูล

3 ภาคเปรียบเทียบข้อมูล

4 ภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

5โปรแกรมและการแสดงผล

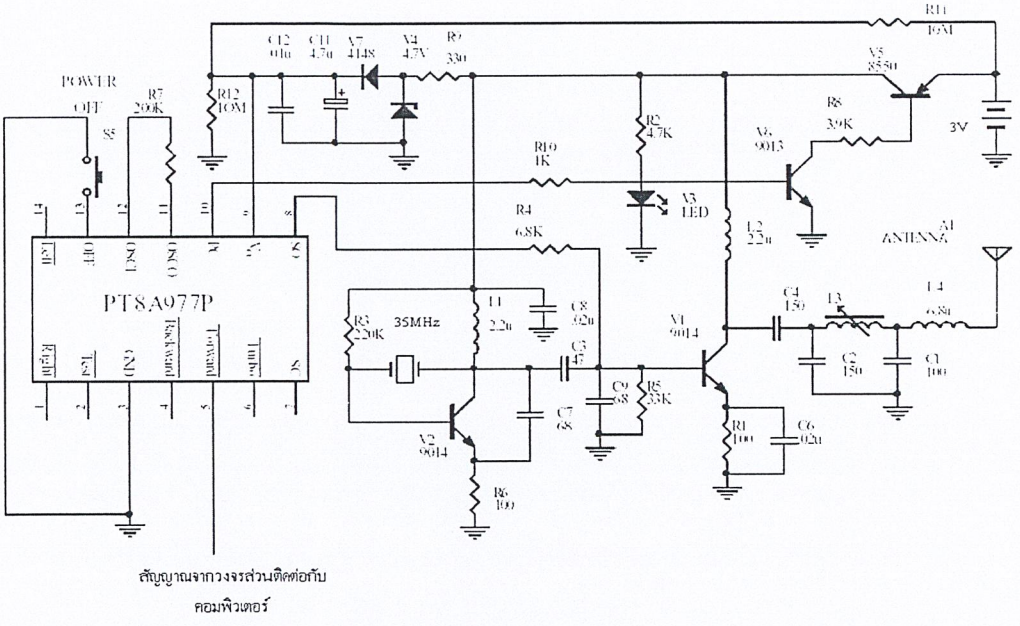


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบออฟฟิศอัตโนมัติ

4.1 ภาคส่งสัญญาณข้อมูล

ภาคส่งสัญญาณจะใช้ไอซีเบอร์ PT8A977P โดยไอซีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเข้ารหัส ซึ่งจะมี 5 ขา สำหรับ 5 อินพุท แต่จะใช้เพียง 1 อินพุท สัญญาณที่มาจากภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ จะเข้าที่ขา 5 จากนั้นมันจะทำการเข้ารหัส โดยเป็นการมอดูเลทแบบ AM(Amplitude Modulation) จากรูปวงจรที่ 4.2 PT8A977P ได้รับไฟเลี้ยงประมาณ 3.0 V เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขา 5 ของชิป จะทำให้ขานั้นมีสถานะเป็น “0” เป็นการกระตุ้นชิป ให้ทำงานทันที โดยจะมีแรงดันไฟฟ้าค่าบวกที่ขา PC ส่งผลทำให้ทรานซิสเตอร์ V6 ได้รับไบอัสตรงจึงทำงาน(ON) ส่งผลต่อไปยังทรานซิสเตอร์ V5 ทำให้ V5 ทำงานเพราะได้รับไบอัสตรงจากขาคอลเล็คเตอร์ของ V6 เมื่อ V5 ทำงานก็จะมีแรงดันไฟฟ้าไปเลี้ยงวงจรประกอบภายนอกชิป คือวงจร Oscillator และวงจรขยายก่อนส่งออก LED V3 จะเป็นตัวแสดงให้รู้เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจรส่งภายนอกชิป และจะมีสัญญาณของโค๊ดรหัสออกที่ขา SO ซึ่งเป็นสัญญาณที่เกิดจากการเข้ารหัสภายในตัวชิป แล้วออกมามอดดูเลทกับความถี่ที่ได้จากวงจร

Oscillator แล้วส่งต่อไปยังภาคขยายเพื่อขยายสัญญาณ ให้มีความแรงก่อนส่งไปยังสายอากาศเพื่อส่งออกอากาศ สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลท จะส่งออกมายังขา SO (ขาที่8) ผ่านไปยังส่วนของวงจรขยายสัญญาณ RF โดยใช้ทรานซิสเตอร์ C1815 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ เพื่อส่งออกทางสายอากาศ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 4.2



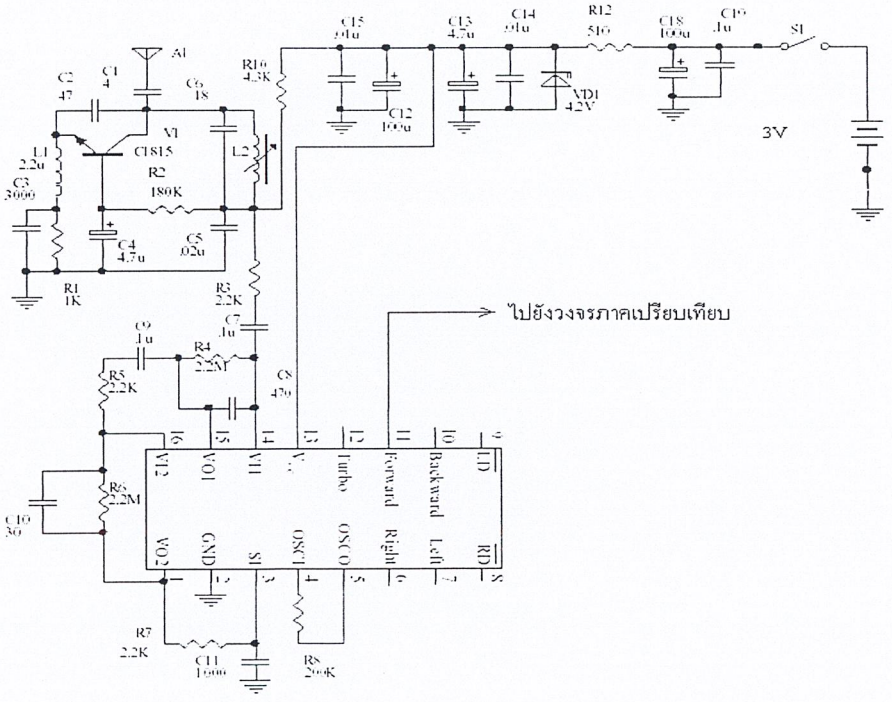
รูปที่ 4.2 วงจรภาคส่งสัญญาณข้อมูล

โดยคุณสมบัติที่สำคัญของไอซี PT8A977P มีดังนี้คือ

1. ทำงานที่แหล่งจ่ายย่าน 2.5V ถึง 5.0V
2. ปิดพลังงานอัตโนมัติ ถ้าไม่ได้รับสัญญาณภายใน 8 วินาที
3. มี Oscillator บนชิป โดยต่อร่วมกับตัวต้านทานภายนอก
4. กินกระแสขณะทำงานต่ำ
5. ต้องการอุปกรณ์ต่อร่วมภายนอกเพียงเล็กน้อย

4.2 ภาครับสัญญาณข้อมูล

ภาครับสัญญาณจะใช้ไอซีเบอร์ PT8A978P โดยสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศจะถูกทำจากรูปเมื่อวงจรภาครับสัญญาณ จูนสัญญาณเข้ามาแล้ว ส่งสัญญาณผ่าน R3 และ C7 เข้ามาที่ขา VI1 ชองชิป PT8A978P แล้ววงจรขยายสัญญาณภายในชิปจะขยายสัญญาณโดยการขยายด้วยทรานซิสเตอร์ C1815 ออกไปยังขา VO1 ซึ่งจะส่งสัญญาณที่ได้ผ่าน R5 และ C9 เข้าขา VI2 ของชิปเพื่อขยายสัญญาณอีกทีหนึ่งและสัญญาณจาก VO2 จะถูกส่งผ่าน R7 และ C11 ไปยังขา SI ชุด C10 และ R6 ที่คร่อมระหว่างขา VI1 กับ VO2 เป็นชุดป้อนกลับ เมื่อสัญญาณเข้าไปยังขา SI ก็จะถูกขยายอีกครั้งหนึ่งเป็นครั้งที่สาม ก่อนที่จะถูกส่งไปสุ่มสัญญาณและ ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณ ก่อนที่จะทำการถอดรหัสสัญญาณออกที่ขาที่ 11 R8 ค่า 200K ต่อยู่ระหว่างขา OSCI และ OSCO เพื่อให้เกิด Oscillator ขึ้นภายในชิป

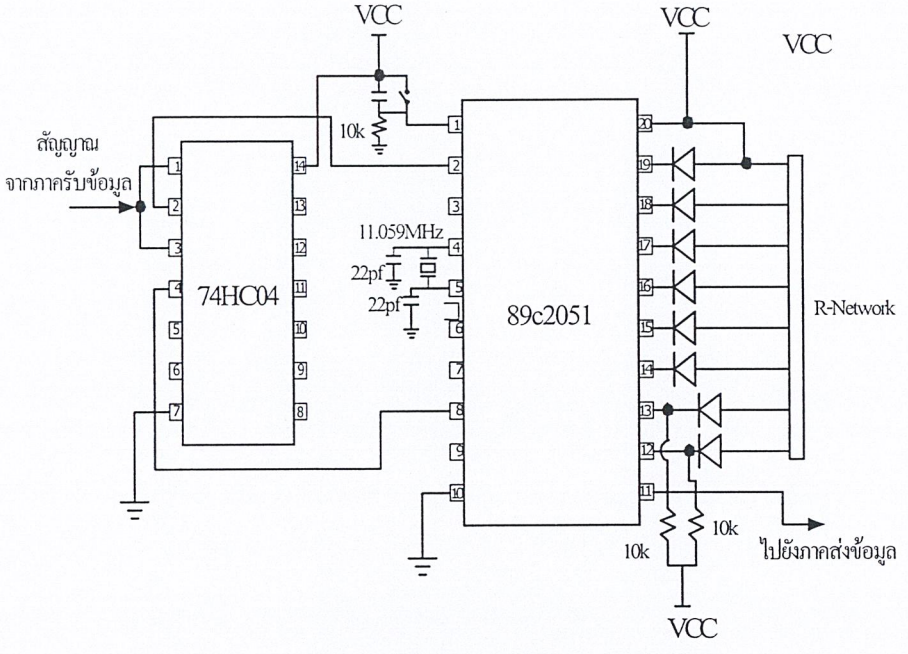


รูปที่ 4.3 แสดงวงจรภาครับสัญญาณข้อมูล

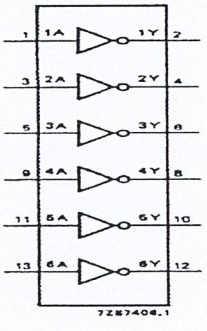
4.3 ภาคเปรียบเทียบรหัส

วงจรเปรียบเทียบรหัสใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89c2051 ซึ่งเป็น 8 บิท การทำงานจะใช้ทำหน้าที่เปรียบเทียบระหัสที่ส่งมาจากภาครับสัญญาณข้อมูล โดยสัญญาณที่ผ่านมา

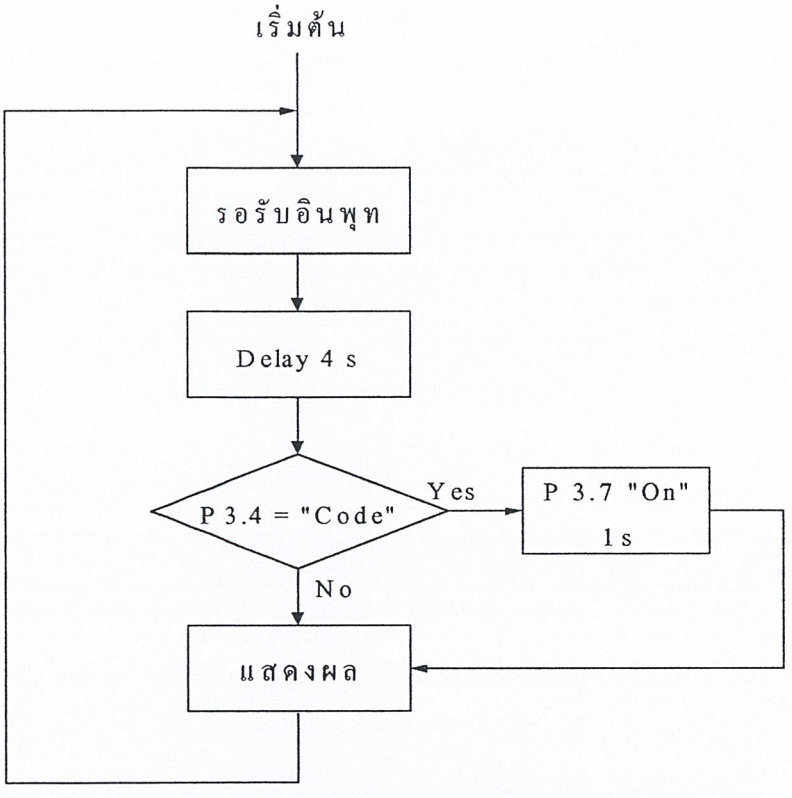
จากภาครับจะเข้าไปยังขาที่ 1และ 3 ของไอซี 74HC04 ซึ่งทำหน้าที่กลับเฟสของสัญญาณที่ได้มาจากภาครับ จากนั้นสัญญาณที่ออกจากขาที่ 2 และ 4 จะผ่านไปยังขาที่ 2 และ 8 ของ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89c2051 ซึ่งจะทำการเปรียบรหัสที่เข้ามาว่าตรงกับรหัสที่ได้โปรแกรมไว้ในตัวไอซีหรือไม่ ถ้าสัญญาณที่รับตรงกับกับรหัสที่ได้โปรแกรมไว้ วงจรก็จะทำการส่งสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา 11 เพื่อส่งผ่านไปยังภาคส่งต่อไป



รูปที่ 4.4 วงจรเปรียบเทียบรหัส



รูปที่ 4.5 แสดงไดอะแกรมภายในของไอซี 74HC04



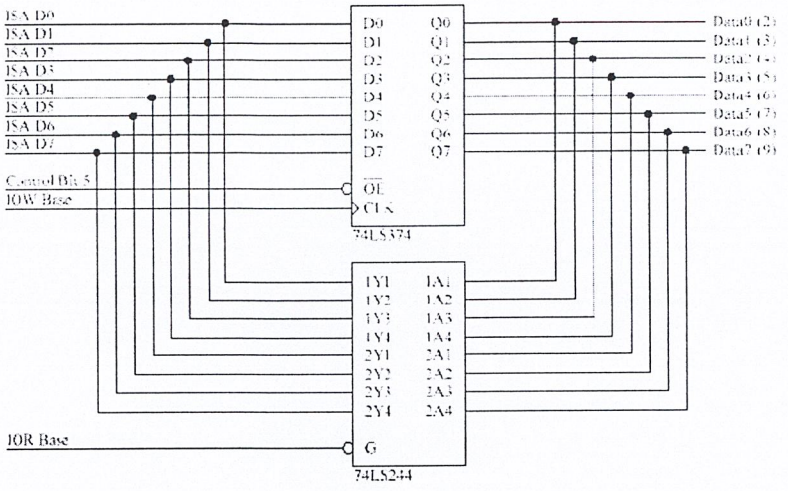
รูปที่ 4.6 โฟล์ชาร์ตการทำงานของภาคเปรียบเทียบข้อมูล

4.4 ภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

ในส่วนการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ จะใช้การการอินเตอร์เฟสผ่านการเชื่อมต่อผ่านพอร์ทขนาน(Parallel port) สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน การอ่านข้อมูล ผู้ใช้สามารถนำพอร์ทอินพุทจากพอร์ทสเตตัสและพอร์ทคอนโทรลมาใช้งานรับค่าข้อมูล ส่วนการเขียนข้อมูล สามารถนำพอร์ตดาต้า ร่วมกับพอร์ตคอนโทรลได้ (พอร์ทคอนโทรลสามารถเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุทและเอาท์พุท) ตำแหน่งของสายสัญญาณบนพอร์ตขนานจะมีหน้าที่และทิศทาง (Direction) ดังตารางที่ 4.1

ขาแบบ 25 ขา	ขาแบบ 36 ขา	สัญญาณ	ทิศทาง	รีจีสเตอร์
1	1	NStrobe	In/Out	Control
2	2	Data 0	Out	Data
3	3	Data 1	Out	Data
4	4	Data 2	Out	Data
5	5	Data 3	Out	Data
6	6	Data 4	Out	Data
7	7	Data 5	Out	Data
8	8	Data 6	Out	Data
9	9	Data 7	Out	Data
10	10	NAck	In	Status
11	11	Busy	In	Status
12	12	Paper-Out PaperEnd	In	Status
13	13	Select	In	In
14	14	Nauto-Linefeed	In/Out	Control
15	32	Nerror / nFault	In	In
16	31	Ninitialize	In/Out	Control
17	36	Nselect-Printer	In/Out	Control
18-25	19-30	Ground	Gnd	

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสายสัญญาณของพอร์ทขนาน



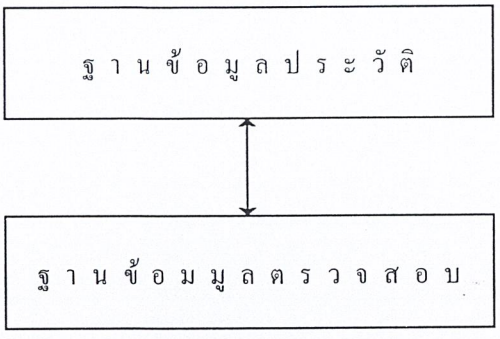
รูปที่ 4.7 แสดงการต่อใช้งานพอร์ตขนานเพื่อส่งข้อมูล

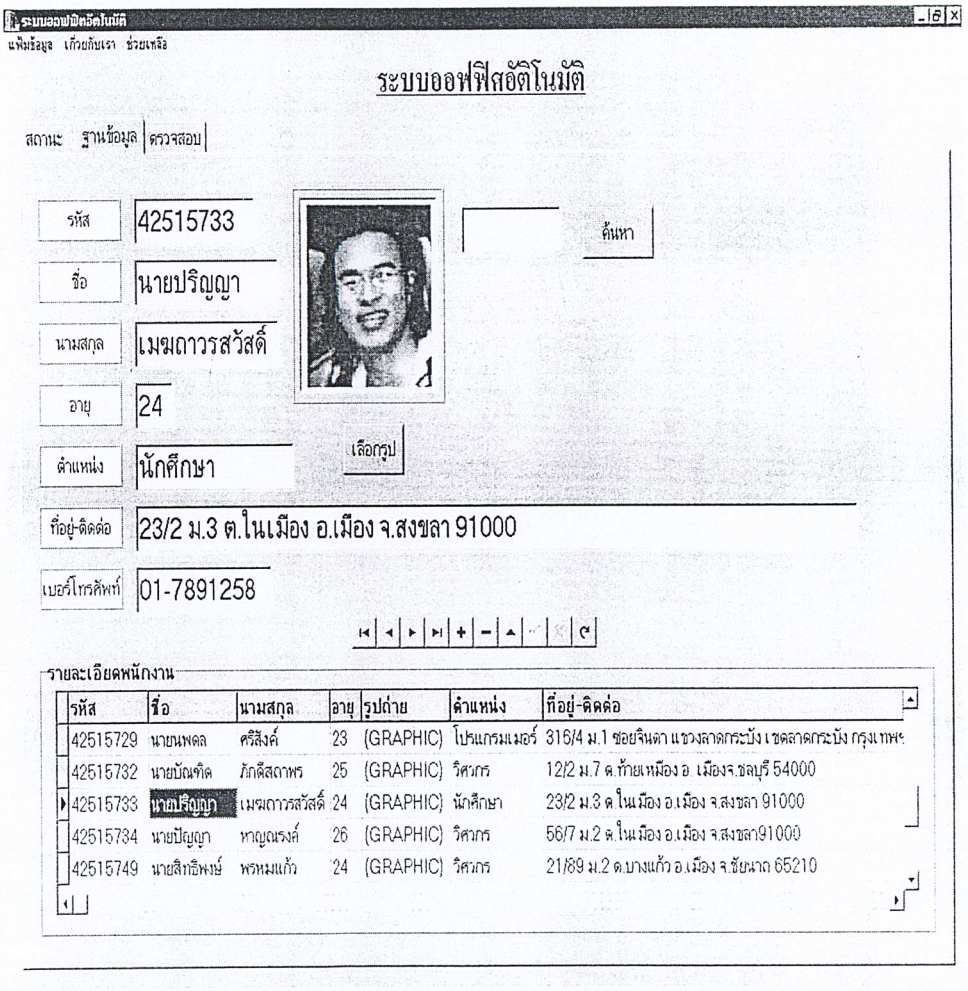
4.5 โปรแกรมและการแสดงผล

ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผล จะใช้โปรแกรม C++Builder ซึ่งประกอบด้วยกัน 2 ส่วน คือส่วนการแสดงผลและส่วนการส่งรหัส

4.5.1 การส่งรหัสข้อมูล

ในส่วนของการส่งรหัสเป็นลักษณะการส่งข้อมูลทางพอร์ตขนาน โดยมีการกำหนดให้พนักงานแต่ละคนจะมีรหัสประจำตัวและได้มีการเขียนฐานข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลของพนักงานแต่ละคน เช่นรหัสประจำตัว ชื่อ นามสกุล ตำแหน่ง ที่อยู่ ซึ่งการส่งรหัสจะใช้โปรแกรม C++Builder โดยในส่วนของฐานข้อมูล จะเป็นการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลของพนักงาน โดยจะป้อนข้อมูลเข้าไปเก็บไว้ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลที่ใช้ให้โปรแกรมเรียกมาแสดงผล รูปที่ 4.8 แสดงการวางตำแหน่งของ Component ต่างๆ ของโปรแกรม

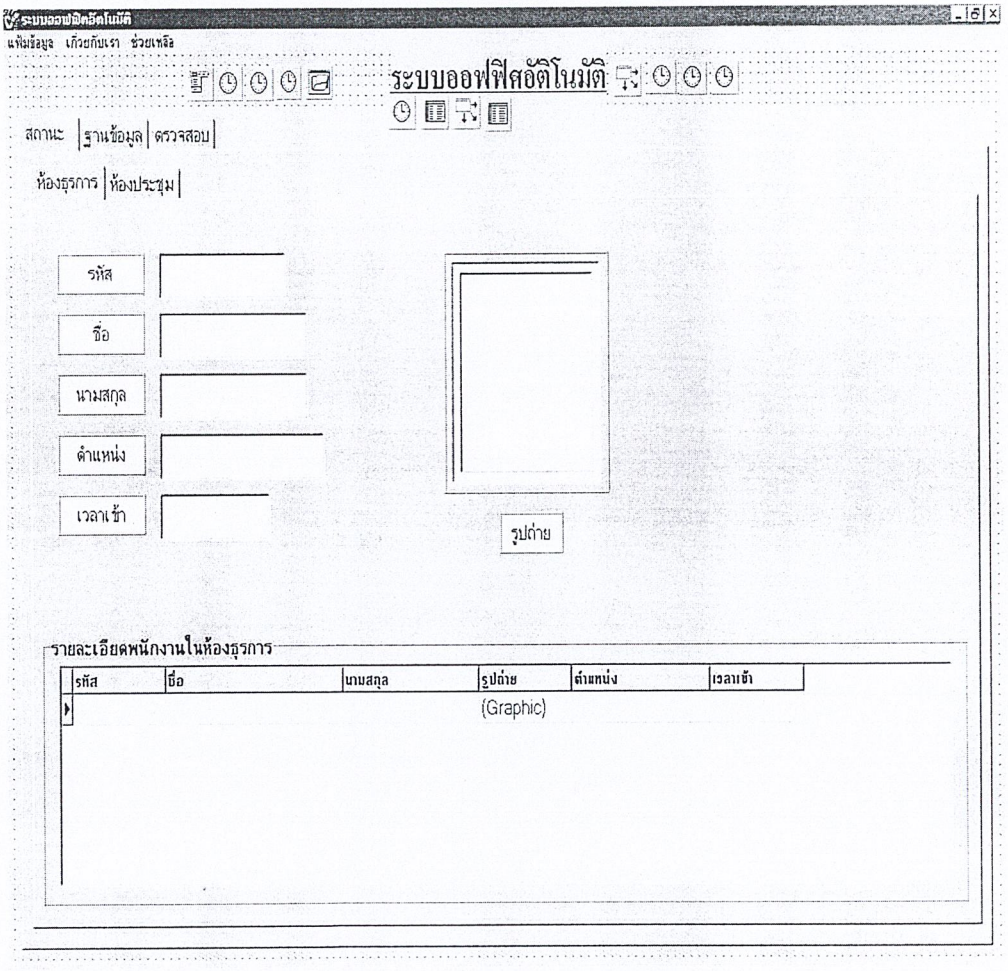




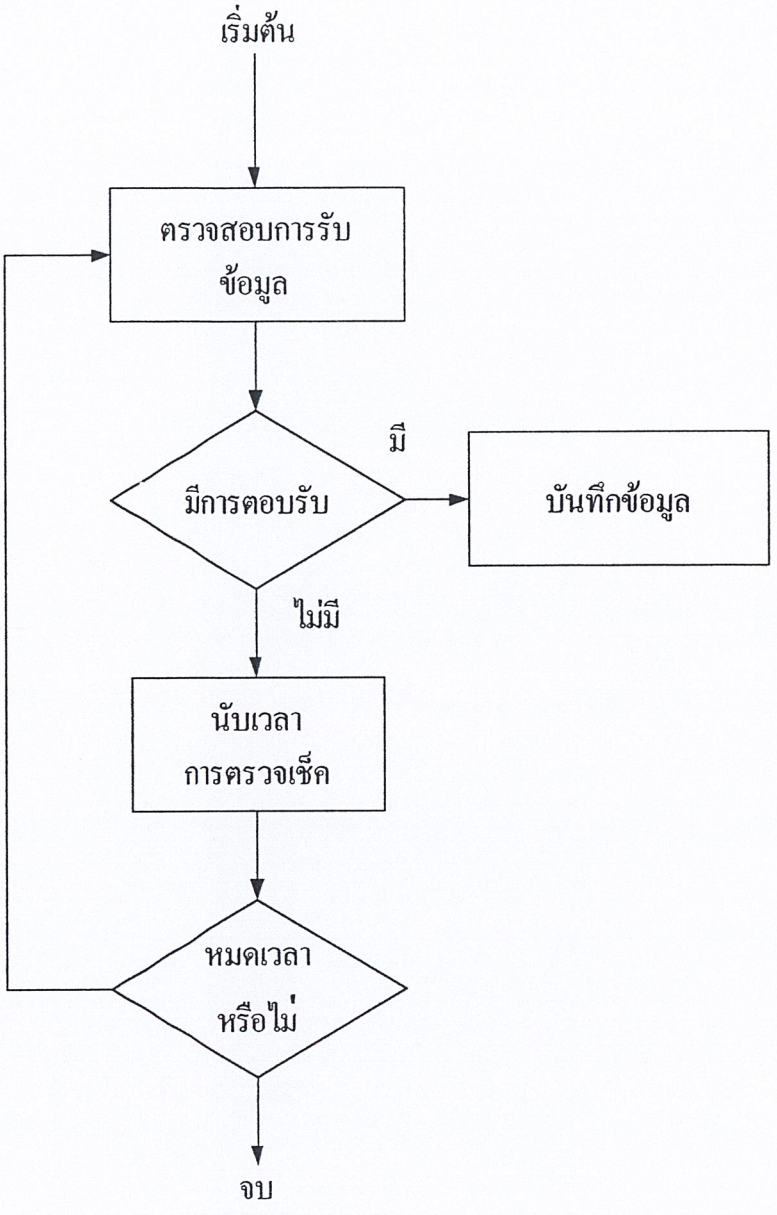
รูปที่ 4.8 แสดงการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลพนักงาน

4.5.2 การแสดงผล

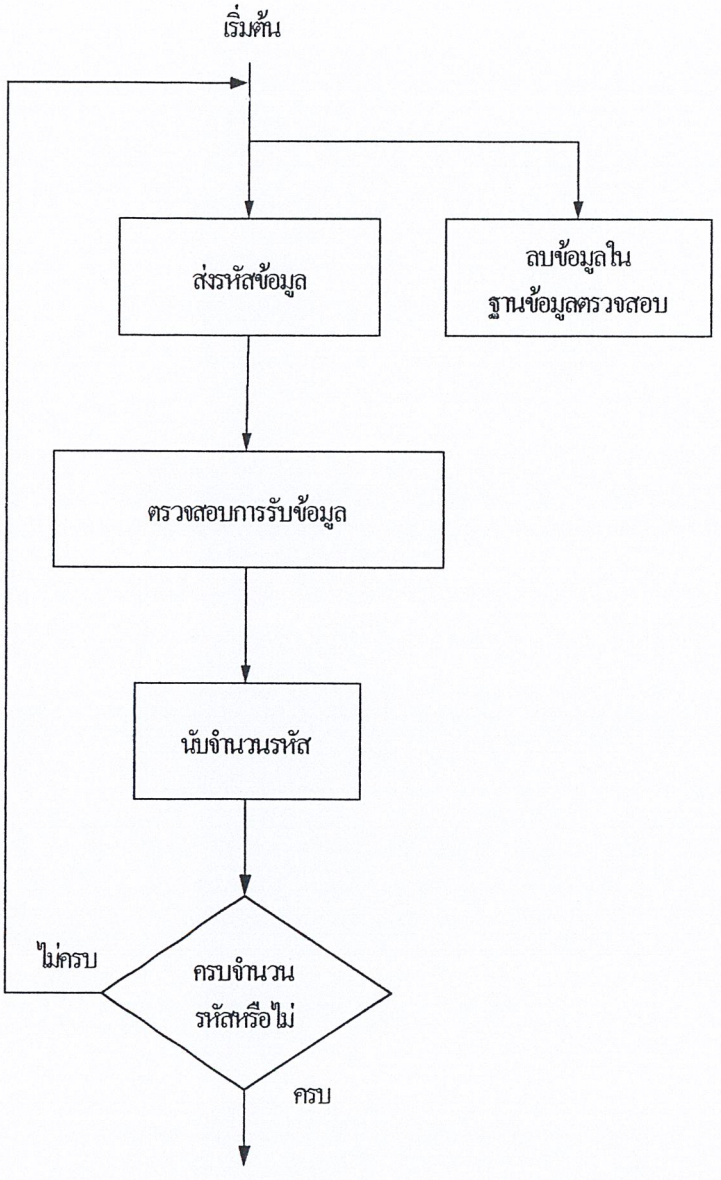
ในส่วนของการแสดงผล จะเป็นการแสดงสถานะของพนักงานที่อยู่ในห้องต่างๆ โดยมีรายละเอียดต่างๆเช่นเมื่อมีพนักงานเข้ามาในห้อง และทางส่วนของเครื่องรับ รับและเปรียบเทียบสัญญาณได้ ก็จะส่งสัญญาณมาโดยการแสดงผลจะแสดงชื่อ รายละเอียด เวลาเข้า ซึ่งแสดงการวางคอมโพแนนซ์ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการวาง Component ต่างๆในส่วนการแสดงผล



รูปที่ 4.10 โฟล์ชาร์ตการตรวจรับข้อมูล



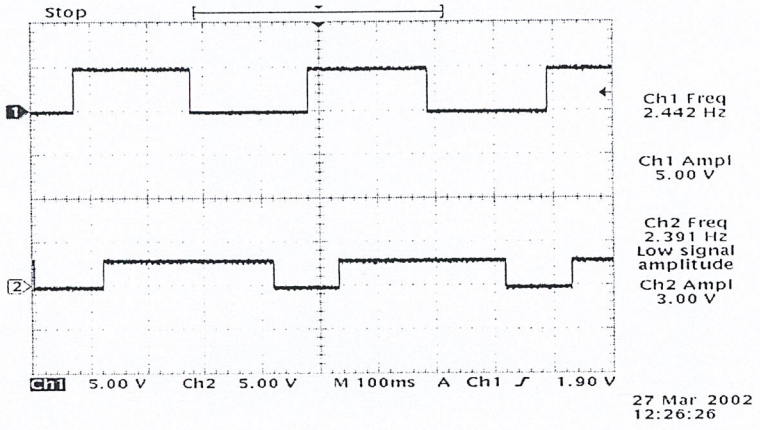
รูปที่ 4.11 โฟล์ชาร์ตการทำงานของการส่งข้อมูลตรวจสอบ

บทที่ 5
การทดลอง

การทดลองในโครงงานนี้ จะแบ่งเป็นผลการทดลองของการวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบ และผลการทดลองของการแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

5.1 ผลการทดลองของการวัดค่าสัญญาณที่จุดต่างๆ ของระบบ

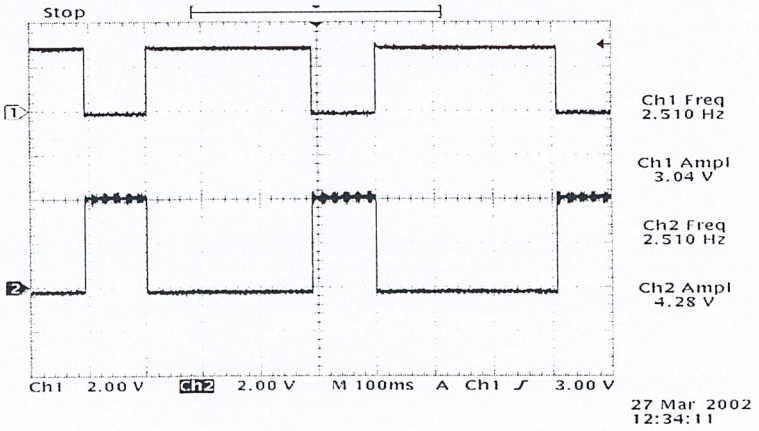
5.1.1 ผลการวัดสัญญาณที่เอาท์พุทของวงจรภาครับสัญญาณ 35 MHz



CH1 เป็นสัญญาณอินพุทของวงจรภาคส่งสัญญาณ 35 MHz

CH2 เป็นสัญญาณเอาท์พุทของวงจรภาครับสัญญาณ 35 MHz

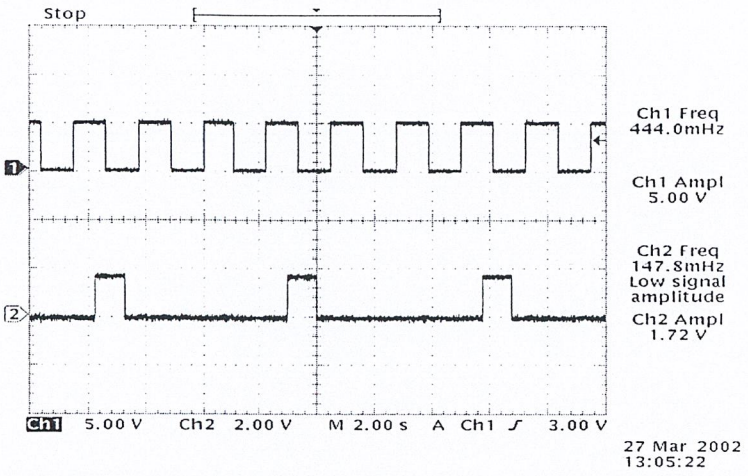
5.1.2 ผลการวัดสัญญาณที่เอาท์พุทที่ขา 2,4 ของ74hc04 ของวงจรภาคเปรียบเทียบบรหัส



CH1 เป็นสัญญาณเอาท์พุทของวงจรภาครับสัญญาณ 35 MHz

CH2 เป็นสัญญาณที่เอาท์พุทที่ขา 2,4 ของ 74hc04 ของวงจรภาคเปรียบเทียบบรหัส

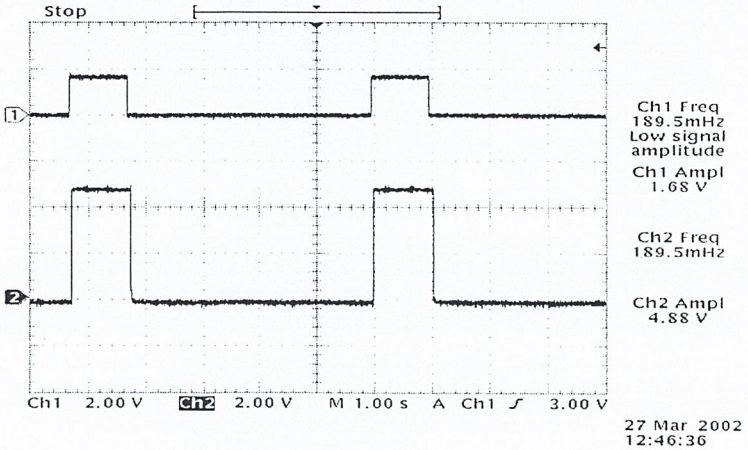
5.1.3 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขา 11 ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 ของวงจรภาคเปรียบเทียบรหัส



CH1 เป็นสัญญาณอินพุทของวงจรภาคส่งสัญญาณ 35 MHz

CH2 เป็นสัญญาณที่เอาท์พุทที่ขา 11 ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C2051 ของวงจรภาคเปรียบเทียบรหัส

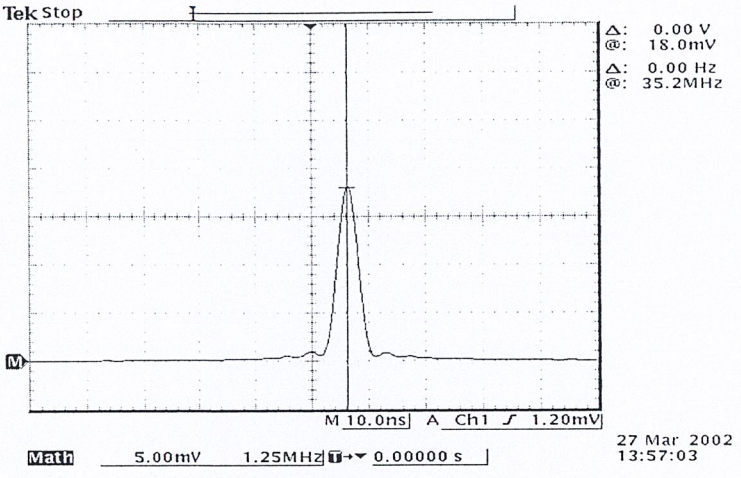
5.1.4 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทของวงจรภาครับสัญญาณ 49 MHz



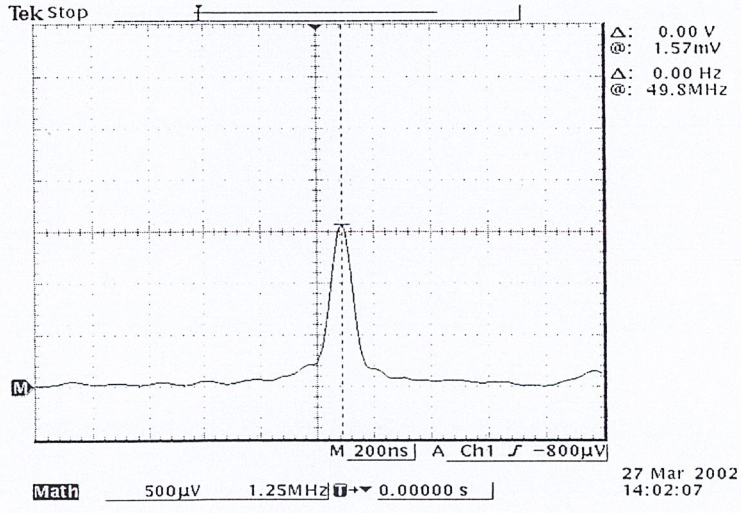
CH1 เป็นสัญญาณอินพุทของวงจรภาคส่งสัญญาณ 49 MHz

CH2 เป็นสัญญาณเอาท์พุทของภาครับ 49 MHz

5.1.5 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทของภาคส่ง 35 MHz



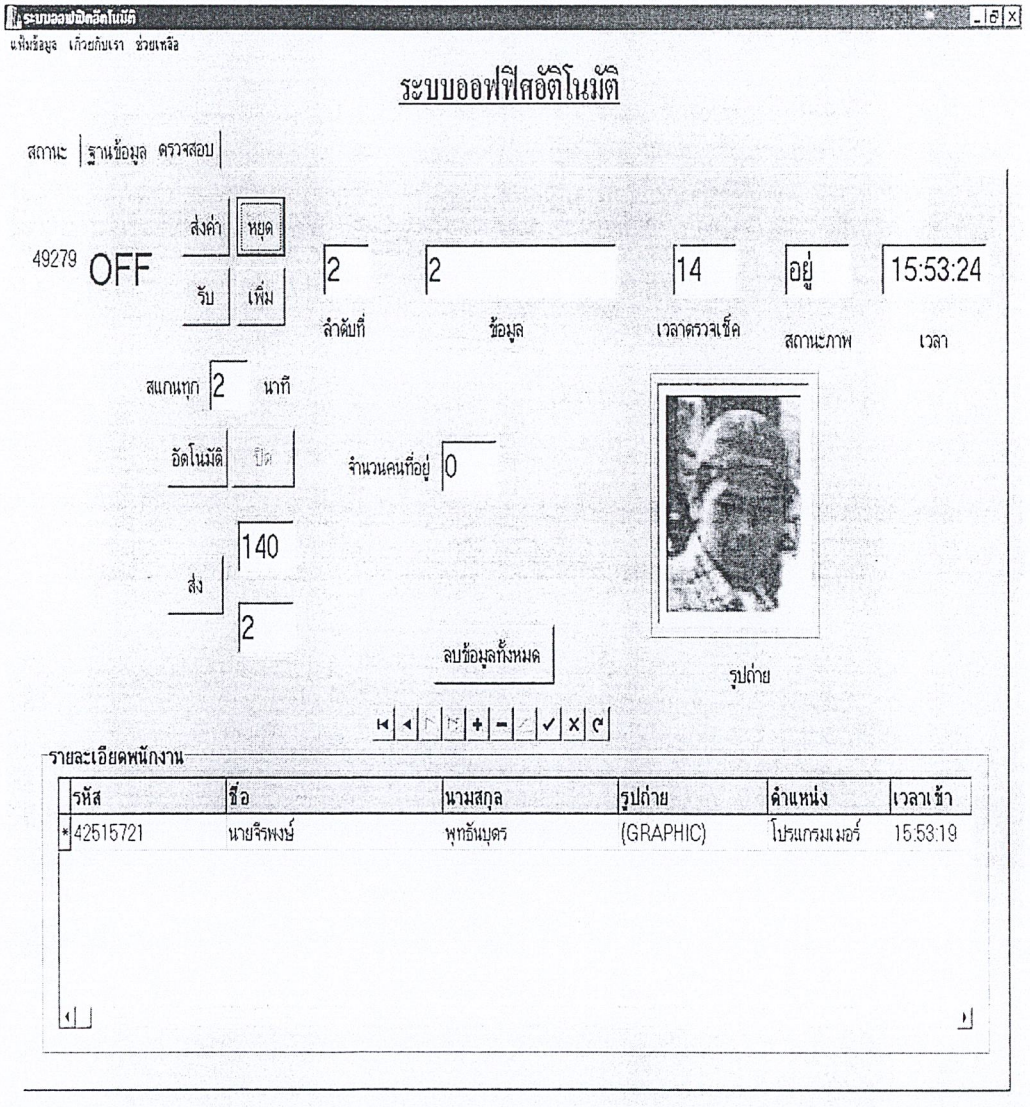
5.1.6 ผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทของภาคส่ง 49 MHz



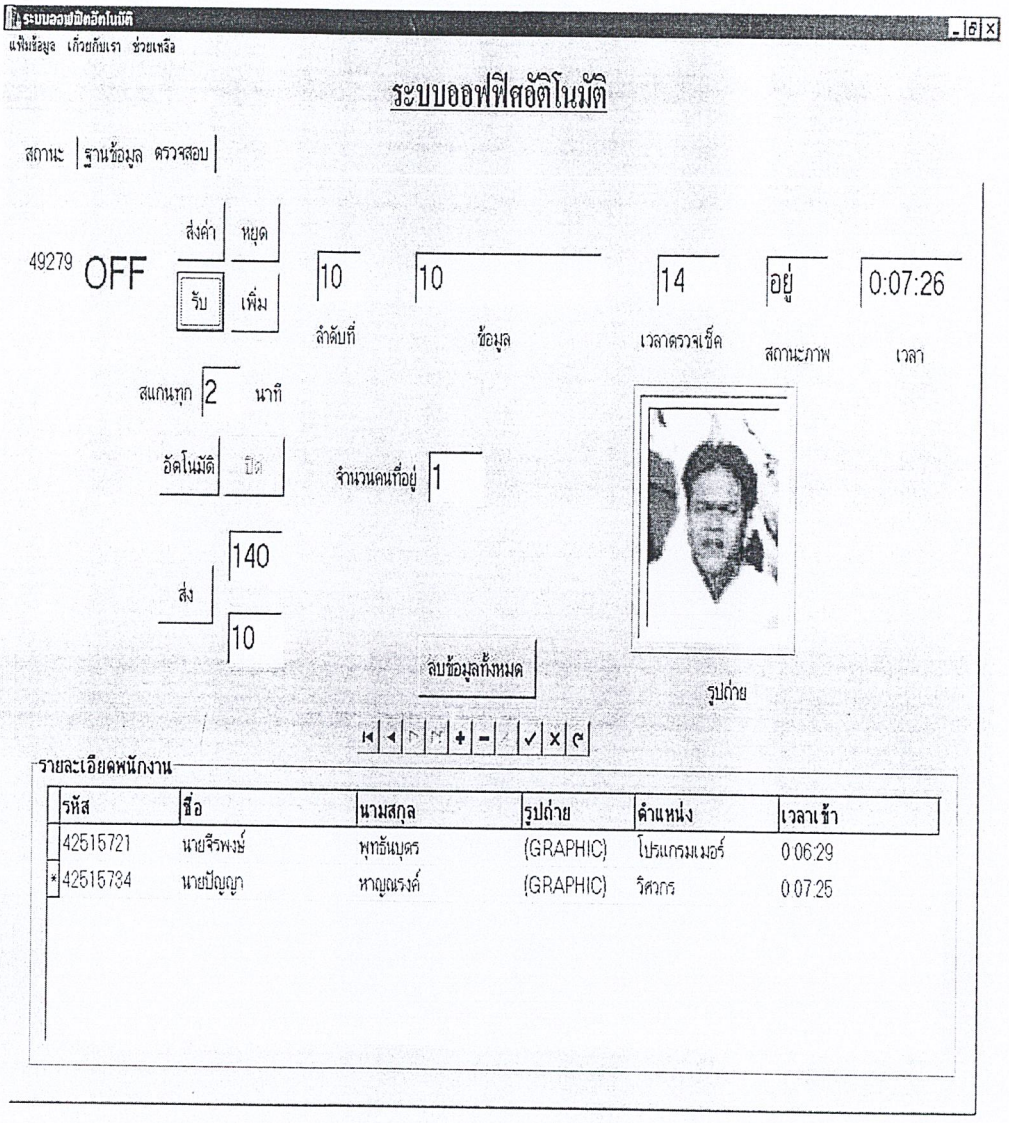
5.2 ผลการทดลองของการแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

เป็นผลการทดลองของการแสดงผลการแสดงสถานะต่างๆที่คอมพิวเตอร์

5.2.1 ผลการแสดงสถานะเมื่อคนที่มีรหัส 02 เข้ามาในห้อง



5.2.2 ผลการแสดงสถานะเมื่อคนที่มีรหัส 10 เข้ามาในห้อง



บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลอง หลังจากได้ทำการทดลองของโครงงานนี้ เมื่อเราทำการการให้คอมพิวเตอร์ส่งส่งรหัสข้อมูล โดยทำการส่งออกทางพอร์ทขนานของคอมพิวเตอร์ ผ่านวงจรภาคส่งสัญญาณ 35 MHz จากนั้นวงจรภาครับรับสัญญาณ ทำการถอดรหัสสัญญาณ ผ่านวงจรภาคเปรียบเทียบข้อมูล และเมื่อข้อมูลที่ส่งมา ตรงกับรหัสที่โปรแกรมไว้ ก็จะมีสัญญาณผ่านไปยังวงจรภาคส่ง 49 MHz เพื่อส่งสัญญาณให้วงจรภาครับสัญญาณ ซึ่งจะทำการถอดรหัสส่งต่อผ่านพอร์ทขนานเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งแสดงว่ามีคนอยู่ใน ส่วนของการแสดงผลก็จะทำการดึงข้อต่างๆ จากฐานข้อมูลที่เขียนไว้

ซึ่งผลที่ได้จากการส่งรหัสออกไป พบว่าประสิทธิภาพของภาครับสามารถรับสัญญาณได้ในรัศมีประมาณ 5-6 เมตรซึ่งเป็นพื้นที่กว้างพอสมควร และใช้เวลาในการส่งรหัสครบทั้ง 15 คน ประมาณ 2 นาที ซึ่งจะเห็นว่าใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากข้อจำกัดความเร็วของวงจรภาค รับ-ส่งสัญญาณ ถ้าหากจะนำไปใช้งานจริง จำเป็นจะต้องปรับปรุงแก้ไขข้อจำกัด คือ ความเร็ว และพื้นที่ ที่ใช้ของห้องต้องมีขนาดไม่กว้างจนเกินไป

ส่วนทางด้านปัญหาและอุปสรรคของการทำโครงงานนี้ ซึ่งจะประกอบโปรมแกรมการแสดงผล ซึ่งค่อนข้างมีปัญหาเกี่ยวกับความเร็วของรหัสที่ส่งออกไป ต้องให้สัมพันธ์กับวงจรภาครับ-ส่ง ทำให้ค่อนข้างเสียเวลาในการแก้ไข

หนังสืออ้างอิง

1.ดร.ไพศาล สงวนหมู่ และ รศ. ยืน ภู่วรรณ ," การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค ",ซีเอ็ดยูเค ชั่น , 2529

2.กฤษดา ใจเย็น อรรถพล บุญยะโภคา และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิลัย,"เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนนุกรม",อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

ภาคผนวก

```
//---------------------------------------------------------
 #include <vcl.h>
 #pragma hdrstop
 #include "ports.h"
 #include "office2000.h"
//---------------------------------------------------------
 #pragma package(smart_init)
 #pragma resource "*.dfm"
          int person,count;
          int i,dt; //////
TForm1 *Form1;
//---------------------------------------------------------
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent*
Owner)
     : TForm(Owner)
{
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::B_FilterClick(TObject
*Sender)
{
          Table1->IndexName="Code";
          Table1->SetKey();
          Table1->FieldValues["รหัส"]=E_Filter->
Text;
          // Table1->GotoKey();
   if(Table1->GotoKey())
 {
          Label3->Caption = "1";
 }
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::B_ReciveClick(TObject
*Sender)
{
  if(T_Delay->Tag<10 )
 {
    E_Status->Text="อยู่";
      count++;
          Table2->Append();
          Table2->FieldValues["รหัส"] = Table1-
          >FieldValues["รหัส"];
          Table2->FieldValues["ชื่อ"] = Table1->
          FieldValues["ชื่อ"];
          Table2->FieldValues["นามสกุล"] =
          Table1->FieldValues["นามสกุล"];
          Table2->FieldValues["รูปถ่าย"] =
          Table1->FieldValues["รูปถ่าย"];
          Table2->FieldValues["ตำแหน่ง"] =
          Table1->FieldValues["ตำแหน่ง"];
          Table2->FieldValues["เวลาเข้า"]
          =E_Time->Text;
 }
   T_Delay->Tag=0;
   T_Delay->Enabled=false;
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::T_DelayTimer(TObject
*Sender)
{
 int mem;
          T_Delay->Tag++;
          E_Delay->Text=IntToStr(T_Delay->
          Tag );   //check from recive ;
if(T_Delay->Tag>=14) // over time to reset count
 {
          T_Delay->Tag=0;
          T_Delay->Enabled=false;
```

```
            E_Status->Text="ไม่อยู่";
  Timer2->Enabled=false;
 }
 else
 {
  Timer2->Enabled=true;
 }
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::T_SendDataTimer
(TObject *Sender)
{
            E_Status->Text="";
            T_SendData->Tag++;


 if(T_SendData->Tag>=16) // end send
 {
            T_SendData->Tag=0;
            T_SendData->Enabled =false;
            outport(0x37a,2);
            outport(0x378,0);
            outport(0x37a,0);
  Timer1->Tag=0;
  Timer1->Enabled=false;
 }
 else
{
 Timer1->Tag=0;
 Timer1->Interval=StrToInt(Edit2->Text);
 Timer1->Enabled=true;
 Timer2->Enabled=false;
            Table1->Next();
            T_Delay->Enabled=true;
            E_Count->Text=IntToStr(count);
            E_Person->Text=IntToStr(T_SendData-
            >Tag);
            E_Dataout->Text=IntToStr
(T_SendData->Tag);
            Edit1->Text=IntToStr(T_SendData->
            Tag);
   Button4Click(Sender);
 }
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::B_SendClick(TObject
*Sender)
{
  B_ClearTable2Click(Sender);
  Table1->First();
 count=0;      // reset count
            T_SendData->Tag=0;
            T_SendData->Enabled=true;
            T_read->Enabled=true;
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::T_TimeTimer(TObject
*Sender)
{
            E_Time->Text =" "+TimeToStr(Time
            ());
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject
*Sender)
{
            Table1->Next();
            Table2->Append();
```

```
        Table2->FieldValues["รหัส"] = Table1->
        FieldValues["รหัส"];
        Table2->FieldValues["ชื่อ"] = Table1->
        FieldValues["ชื่อ"];
        Table2->FieldValues["นามสกุล"] =
        Table1->FieldValues["นามสกุล"];
        Table2->FieldValues["รูปถ่าย"] =
        Table1->FieldValues["รูปถ่าย"];
        Table2->FieldValues["ตำแหน่ง"] =
        Table1->FieldValues["ตำแหน่ง"];
        Table2->FieldValues["เวลาเข้า"]
        =E_Time->Text;
 }
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject
*Sender)
{
  if(OpenPictureDialog1->Execute())
  {
        Ds_A->Picture->LoadFromFile
        (OpenPictureDialog1->FileName);
  }
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::B_ClearTable2Click
(TObject *Sender)
{
        Table2->Edit();
        Table2->FieldValues
        ["รหัส"]=42515758;
        Table2->Post();  //Table2->First();
if(Table2->Active)
 {
        Table2->First();
 do
  {
        Table2->Delete();
  }
        while(Table2->Eof!=true);
 }
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject
*Sender)
{
 T_SendData->Tag=0;
 T_SendData->Enabled=false;
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::T_readTimer(TObject
*Sender)
{
i=inport(0x379);    //i=i&64;
        Label12->Caption=IntToStr(i);
if(i==49391)
 {
        L_Recv->Caption="ON";
  if(T_SendData->Tag>=0)
   {
        E_Status->Text="อยู่";
        dt=T_SendData->Tag;
        Timer2->Enabled=true;
        T_Delay->Tag=0;
        T_Delay->Enabled=false;
  if(Table2->FieldValues["รหัส"] != Table1->
  FieldValues["รหัส"])
  {
        Table2->Append();
```

```
            Table2->FieldValues["รหัส"] = Table1-
            >FieldValues["รหัส"];
            Table2->FieldValues["ชื่อ"] = Table1->
            FieldValues["ชื่อ"];
            Table2->FieldValues["นามสกุล"] =
            Table1->FieldValues["นามสกุล"];
            Table2->FieldValues["รูปถ่าย"] =
            Table1->FieldValues["รูปถ่าย"];
            Table2->FieldValues["ตำแหน่ง"] =
            Table1->FieldValues["ตำแหน่ง"];
            Table2->FieldValues["เวลาเข้า"]
            =E_Time->Text;
            Table2->Post();
    count++;
  }
 if(Table2->FieldValues["รหัส"] == Table1->
FieldValues["รหัส"])
  {
            Table2->Edit();
            Table2->FieldValues["รหัส"] = Table1-
            >FieldValues["รหัส"];
            Table2->FieldValues["ชื่อ"] = Table1->
            FieldValues["ชื่อ"];
           Table2->FieldValues["นามสกุล"] =
           Table1->FieldValues["นามสกุล"];
           Table2->FieldValues["รูปถ่าย"] =
           Table1->FieldValues["รูปถ่าย"];
           Table2->FieldValues["ตำแหน่ง"] =
           Table1->FieldValues["ตำแหน่ง"];
           Table2->FieldValues["เวลาเข้า"]
           =E_Time->Text;
           Table2->Post();
 }
            E_Status->Text="อยู่";
      }
  }
  else
  {
            L_Recv->Caption="OFF";    // Timer2->
Enabled=false;
  }
 }
 //---------------------------------------------------
 void __fastcall TForm1::B_AutoscanClick
 (TObject *Sender)
 {
            B_SendClick(Sender);
            T_Scan->Enabled=true;
            T_Scan->Interval=StrToInt(E_Scan->
Text)*60000;
            B_Autoscan->Enabled=false;
            B_Stopauto->Enabled=true;
 }
 //---------------------------------------------------
 void __fastcall TForm1::B_StopautoClick(TObject
 *Sender)
 {
            T_Scan->Enabled=false;
            B_Autoscan->Enabled=true;
            B_Stopauto->Enabled=false;
 }
 //---------------------------------------------------
 void __fastcall TForm1::T_ScanTimer(TObject
 *Sender)
 {
            B_SendClick(Sender);
 }
 //---------------------------------------------------
```

```
void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject
*Sender)
{
 Timer1->Tag=0;
 Timer1->Interval=StrToInt(Edit2->Text);
 Timer1->Enabled=true;
}
//---------------------------------------------------------
void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject
*Sender)
{
 int count;
    Timer1->Tag++;
 count=StrToInt(Edit1->Text)+1;
 if(Timer1->Tag<=count*2)
  {
  if(Timer1->Tag%2==0)
   {
            outport(0x37a,2);
           outport(0x378,1);
           outport(0x37a,0);
   }
    else
   {
           outport(0x37a,2);
           outport(0x378,0);
           outport(0x37a,0);
    }
  }
  else
  {
           outport(0x37a,2);
           outport(0x378,0);
            outport(0x37a,0);
 Timer1->Tag=0;
 Timer1->Enabled=false;
 }
}
//---------------------------------------------------------
```

Features

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

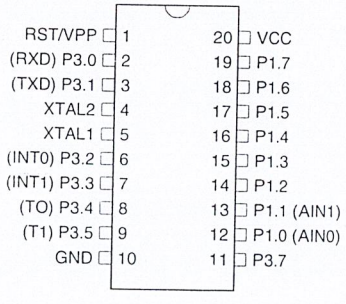
Description

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

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

Pin Configuration

PDIP/SOIC

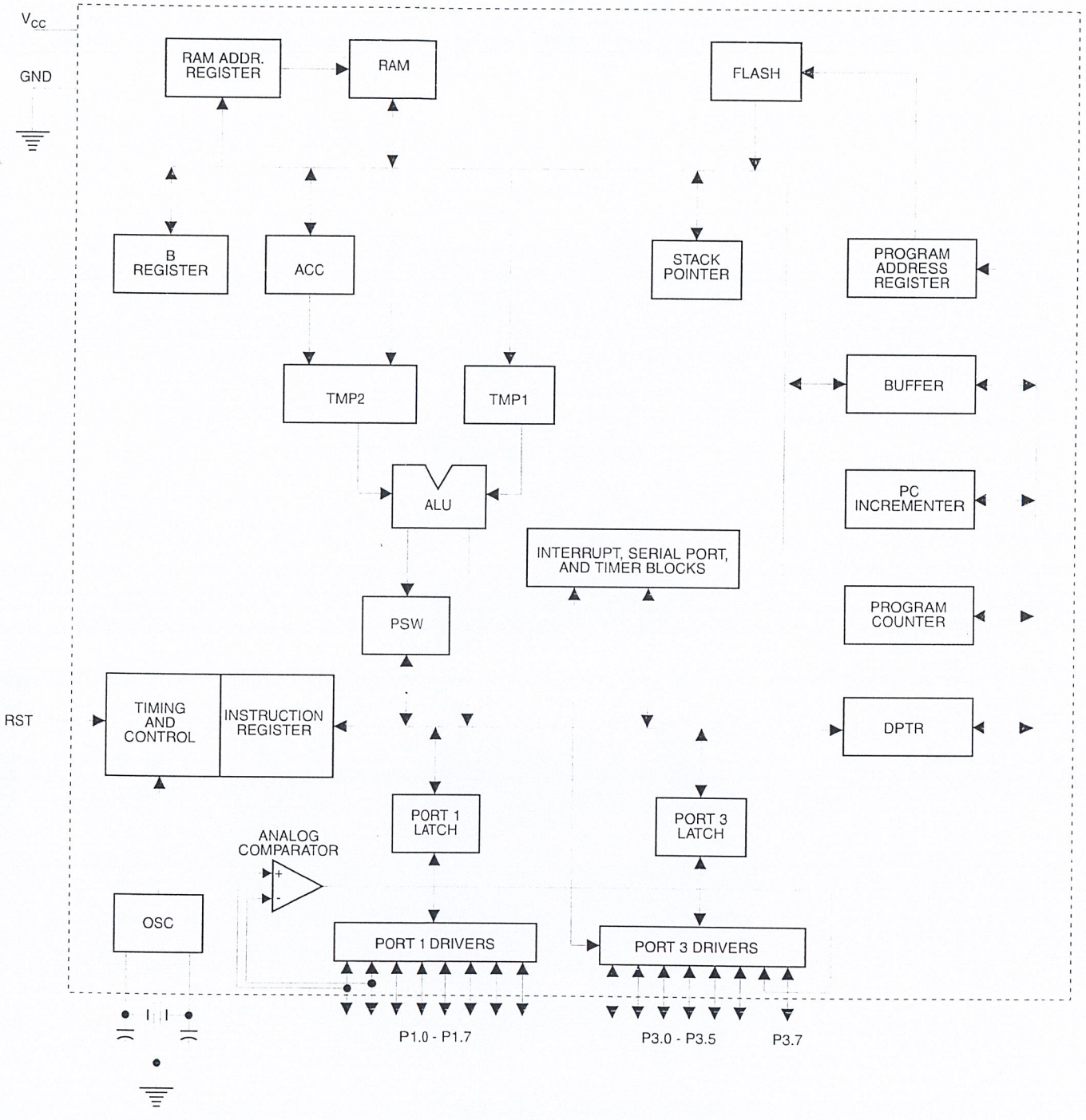


8-bit Microcontroller with 2K Bytes Flash

AT89C2051

Rev. 0368E–02/00

Block Diagram



Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 1

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

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

Port 3

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

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

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

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

RST

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

Each machine cycle takes 12 oscillator or clock cycles.

XTAL1

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

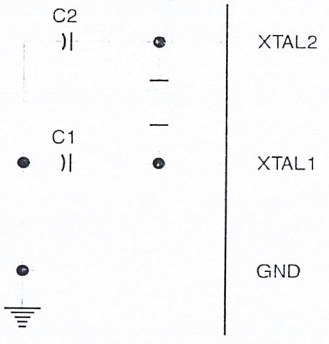
XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

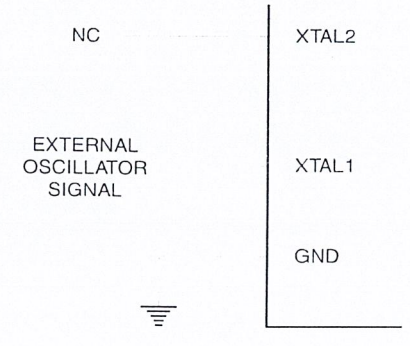
XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected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

Figure 1. Oscillator Connections



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

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Special Function Registers

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

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

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

Table 1. AT89C2051 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000								0D7H
0C8H									0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XXX00000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0XX00000								0AFH
0A0H									0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111								97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H		SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000				PCON 0XXX0000	87H

Restrictions on Certain Instructions

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

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

1. Branching instructions:

LCALL, LJMP, ACALL, AJMP, SJMP, JMP @A+DPTR

These unconditional branching instructions will execute correctly as long as the programmer keeps in mind that the destination branching address must fall within the physical boundaries of the program memory size (locations 00H to 7FFH for the 89C2051). Violating the physical space limits may cause unknown program behavior.

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

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

2. MOVX-related instructions, Data Memory:

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

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

Program Memory Lock Bits

On the chip are two lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

Lock Bit Protection Modes[1]

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

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

Idle Mode

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

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

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

Power-down Mode

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

P1.0 and P1.1 should be set to "0" if no external pullups are used, or set to "1" if external pullups are used.

Programming The Flash

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

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

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

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

To Program and Verify the Array:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Programming Interface

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

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

Flash Programming Modes

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

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

Figure 3. Programming the Flash Memory

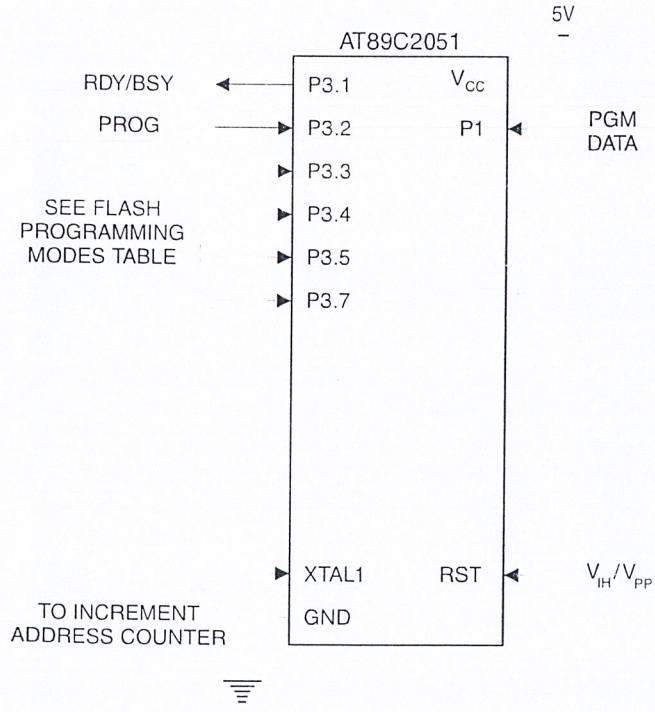
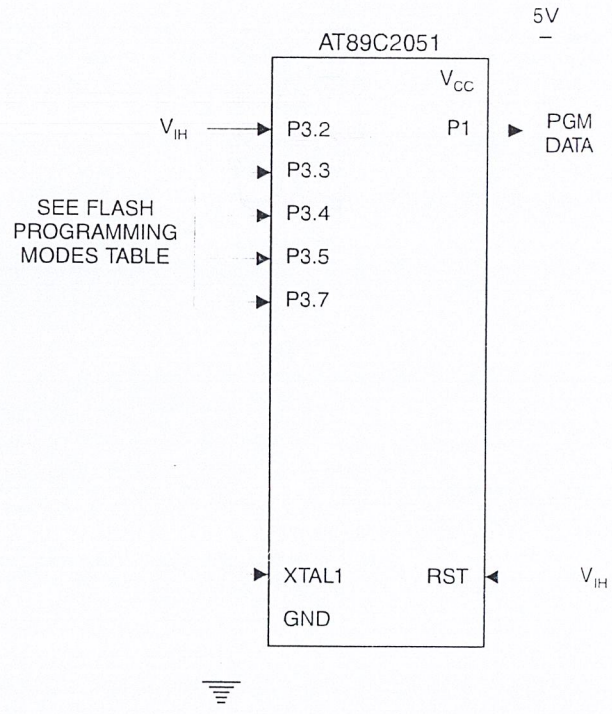


Figure 4. Verifying the Flash Memory



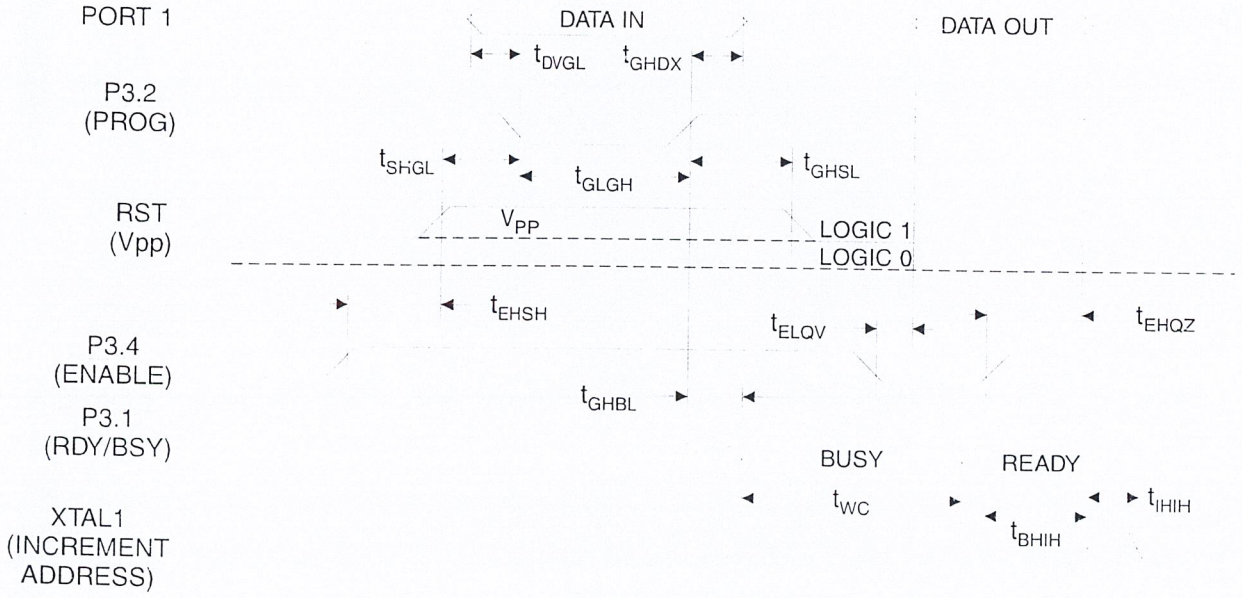
Flash Programming and Verification Characteristics

T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

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

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

Flash Programming and Verification Waveforms



Absolute Maximum Ratings*

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

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

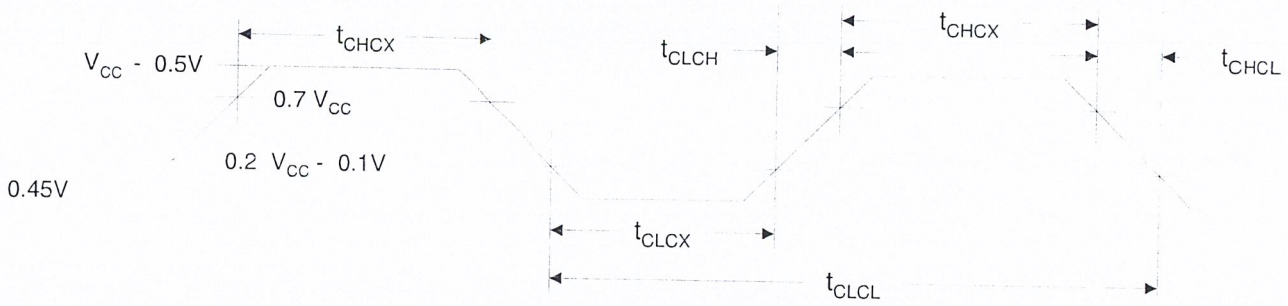
DC Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 2.0V to 6.0V (unless otherwise noted)

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

Notes:
1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
   Maximum I_{OL} per port pin: 20 mA
   Maximum total I_{OL} for all output pins: 80 mA
   If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

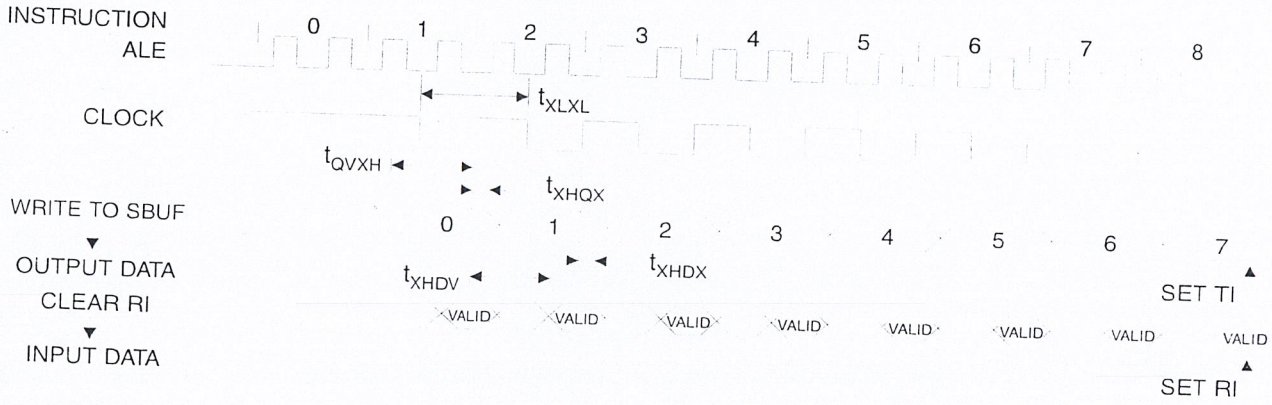
Symbol	Parameter	V_{CC} = 2.7V to 6.0V		V_{CC} = 4.0V to 6.0V		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	12	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	83.3		41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	30		15		ns
t_{CLCX}	Low Time	30		15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

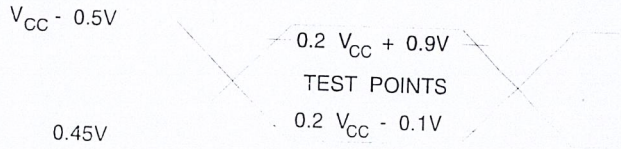
V_{CC} = 5.0V ± 20%; Load Capacitance = 80 pF

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

Shift Register Mode Timing Waveforms

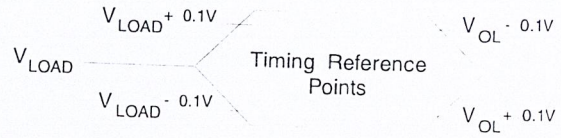


AC Testing Input/Output Waveforms(1)



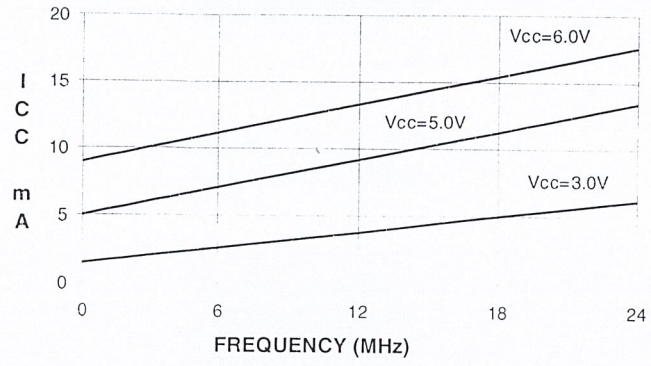
Note: 1. AC Inputs during testing are driven at V_{CC} - 0.5V for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms(1)



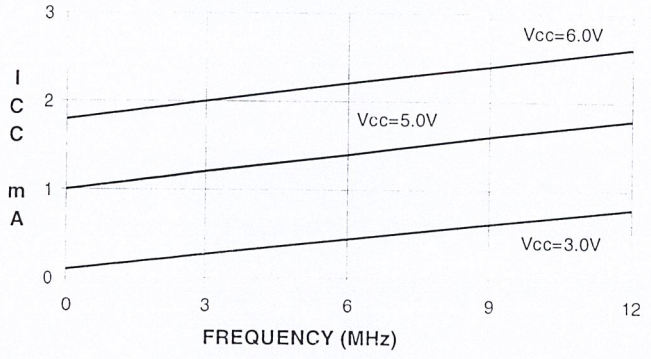
Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change frothe loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

TYPICAL ICC - ACTIVE (85°C)



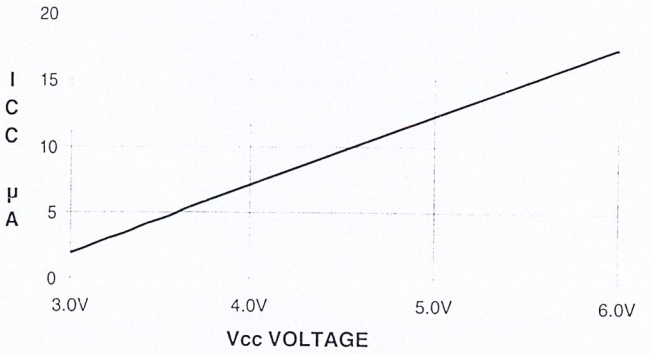
AT89C2051

TYPICAL ICC - IDLE (85°C)



AT89C2051

TYPICAL ICC vs. VOLTAGE- POWER DOWN (85°C)



Notes:
1. XTAL1 tied to GND for I_{CC} (power-down)
2. P.1.0 and P1.1 = V_{CC} or GND
3. Lock bits programmed

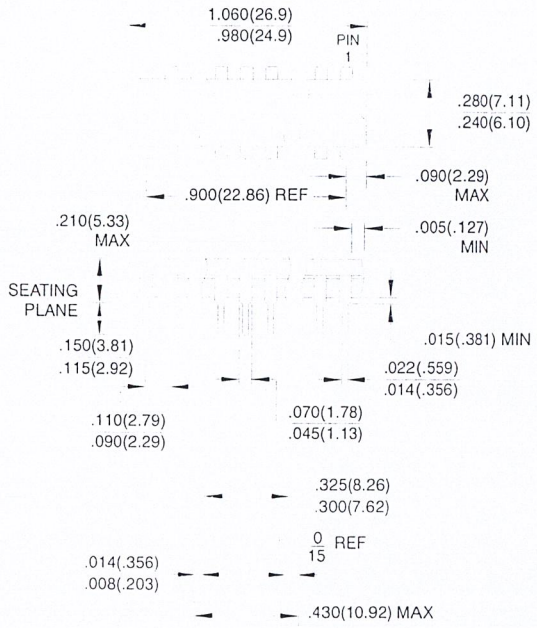
Ordering Information

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

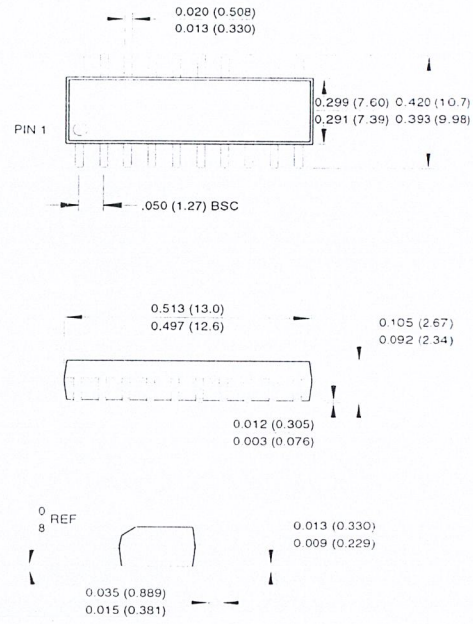
Package Type	
20P3	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
20S	20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)

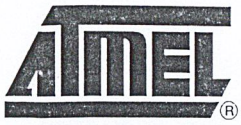
Packaging Information

20P3, 20-lead, 0.300" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
JEDEC STANDARD MS-001 AD



20S, 20-lead, 0.300" Wide, Plastic Gull Wing Small Outline (SOIC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)





Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe
Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia
Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan
Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand
North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

BBS
1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.
Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.

Printed on recycled paper.

0368E–02/00/xM

Features

- PT8A977P works as encoder and PT8A978P works as decoder
- Five pins for five control functions
- Operating power-supply voltage: 2.5 to 5.0V
- Auto-power-off if no press on any button in 8s or continuously press on any button over 4 minues
- Press on any button as wake up (977P)
- Manual-power-off with OFF button
- One output pin used for external power control (977P)
- On-chip oscillator with an external resistor
- On-chip reversing amplifiers (978P)
- Low operating current
- Few external components needed
- Package: 14-pin DIP (977P) and 16-pin DIP (978P)

General Description

The PTA977P and PT8A978P provide a complete control functions to the remote-controlled toy. The PT8A977P has five input pins corresponding with the five function buttons i.e, forward, backward, rightward, leftward and turbo. The encoding circuit in the PT8A977P sends digital codes to the two output pins SO and SC. The digital codes correspond to the definite function buttons or their combinations. The SO and SC outputs are used in wireless and infra-red applications respectively.

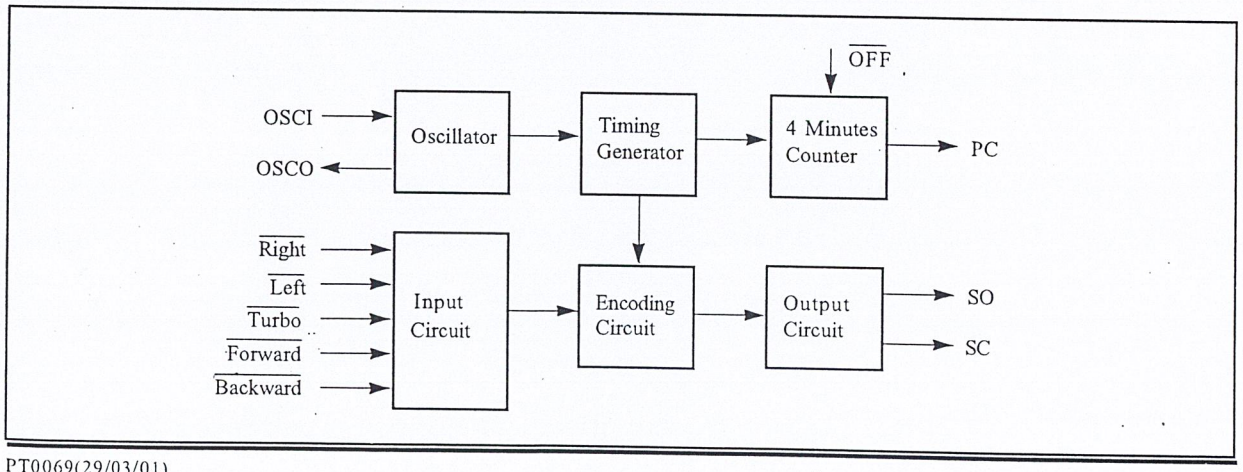
The PT8A978P has five output pins corresponding with the five actions. The received signals are amplified by the three-stage amplifier, and then the appropriate amplified signals are sampled, fault-tolerantly checked and decoded to control the actions of the remote-controlled toy.

There is an internal oscillator in the PT8A977P and 978P respectively. By adding an external resistor conveniently, the oscillator will be constructed. The oscillator frequency can be adjusted by the external resistor. The relative error between the frequencies of the two on-chip oscillators in the PT8A977P and PT8A978P must be less than ±25%.

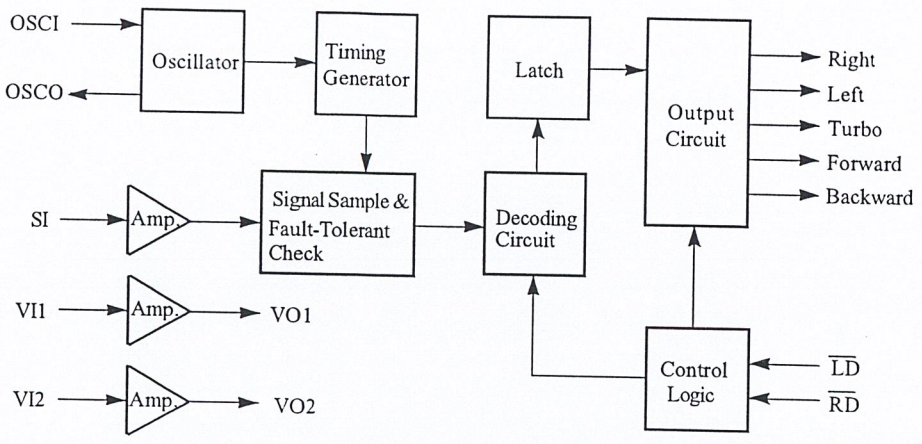
The auto-power-off function is achieved by an internal counter. The PC output is used to control on/off state of the external power supply. Pressing OFF button can also shut down the power supply. Press on any function button will wake up the chip promptly.

Block Diagram

Block Diagram of 977P

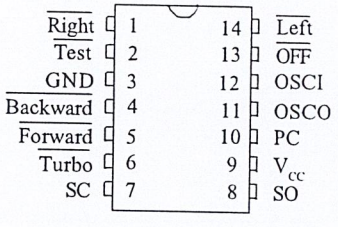


Block Diagram of 978P

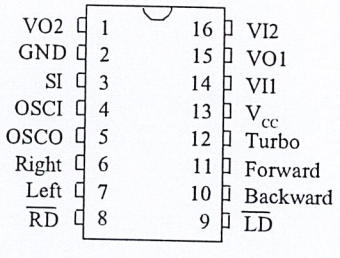


Pin Configuration

PT8A977P
14-Pin DIP



PT8A978P
16-Pin DIP



Top View

Pin Description

Pin Description of 977P

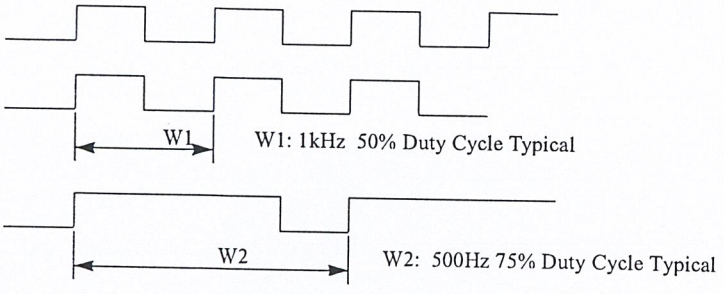
Pin No.	Pin Name	Description
1	$\overline{\text{Right}}$	The rightward function will be selected, if this pin is connected to GND
2	$\overline{\text{Test}}$	This pin is used for testing mode
3	GND	Negative power supply
4	$\overline{\text{Backward}}$	The backward function will be selected, if this pin is connected to GND
5	$\overline{\text{Forward}}$	The forward function will be selected, if this pin is connected to GND
6	$\overline{\text{Turbo}}$	The turbo function will be selected, if this pin is connected to GND
7	SC	Output pin of the encoding signal with carrier frequency
8	SO	Output pin of the encoding signal without carrier frequency
9	V_{cc}	Positive power supply
10	PC	Power control output pin
11	OSCO	Oscillator output pin
12	OSCI	Oscillator input pin
13	$\overline{\text{OFF}}$	This pin is used to shut down the external power supply
14	$\overline{\text{Left}}$	The leftward function will be selected, if this pin is connected to GND

Pin Description of 978P

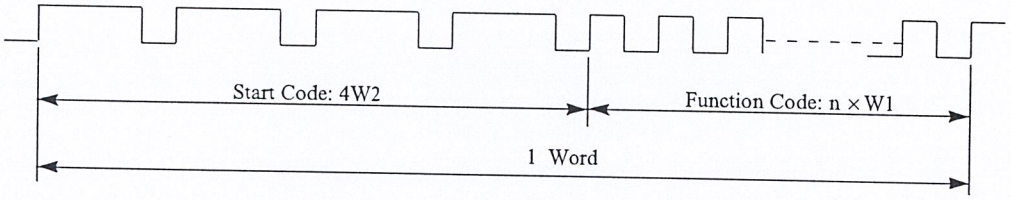
Pin No.	Pin Name	Description
1	VO2	Output pin for the amplifier 2
2	GND	Negative power supply
3	SI	Input pin of the encoding signal
4	OSCI	Oscillator input pin
5	OSCO	Oscillator output pin
6	Right	Rightward output pin
7	Left	Leftward output pin
8	$\overline{\text{RD}}$	Rightward function disable, if this pin is connected to GND
9	$\overline{\text{LD}}$	Leftward function disable, if this pin is connected to GND
10	Backward	Backward output pin
11	Forward	Forward output pin
12	Turbo	Turbo output pin
13	V_{cc}	Positive power supply
14	VI1	Input pin for the amplifier 1
15	VO1	Output pin for the amplifier 1
16	VI2	Input pin for the amplifier 2

Code Format

(W1 is used for function codes, W2 for start codes)

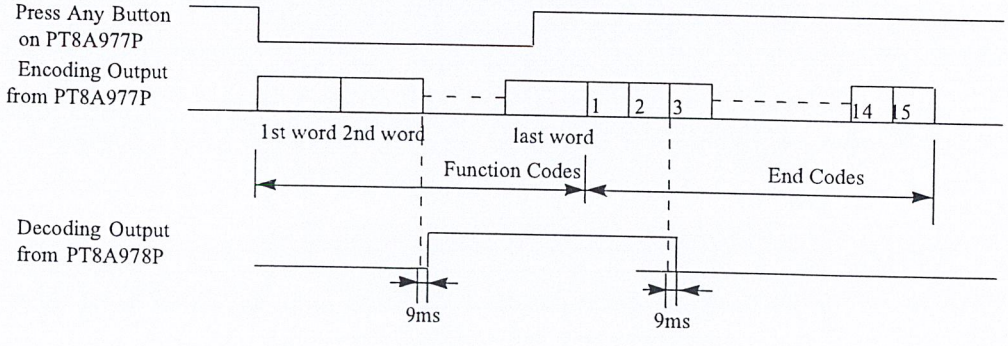


Word Format



Encoding and Decoding Timing

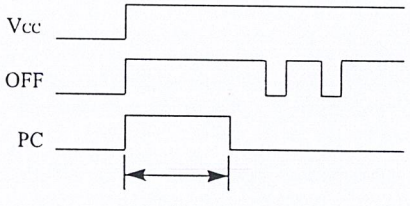
W2, W2, W2, W2, (n)xW1, W2, W2, W2, W2, (n)xW1, W2, W2, W2, W2, (n)xW1, W2, W2, W2, W2, (n)xW1,



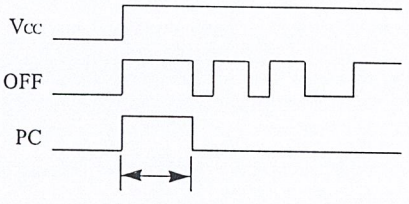
Encoding Input and Decoding Result

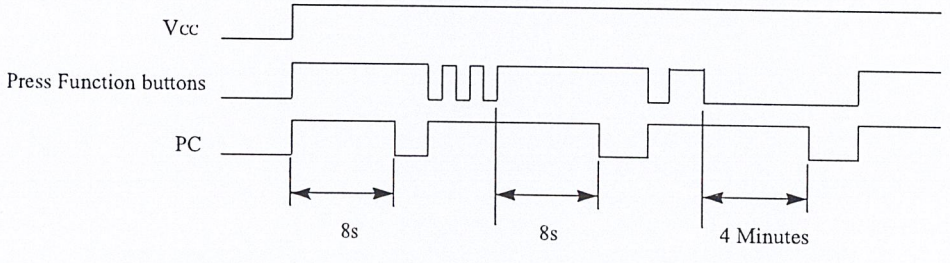
Number of Function Codes (n) W1	Decoding Results
4	End Code
10	Forward (Pulse)
16	Forward (High level)
22	Turbo
28	Forward (High level) & Left
34	Forward (High level) & Right
40	Backward
46	Backward & Right
52	Backward & Left
58	Left
64	Right

PC Output Timing of 977P



Note: Pins 1, 4, 5, 6 and 14 are High.





Maximum Ratings

(Above which the useful life may be impaired. For user guidelines, not tested)

Storage Temperature	-25°C to +85°C
Ambient Temperature with Power Applied	-10°C to +40°C
Supply Voltage to Ground Potential (Inputs & V_{CC} Only)	-0.5 to +6.0V
Supply Voltage to Ground Potential (Outputs & D/O Only)	-0.5 to +6.0V
DC Input Voltage	-0.5 to +6.0V
DC Output Current	20mA
Power Dissipation	500mW

Note:
Stresses greater than those listed under MAXIMUM RATINGS may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

DC Electrical Charateristics

DC Electrical Charateristics of 977P

Parameters	Description		Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
Vcc	Operating Voltage			2.5	4.0	5.0	V
Icc	Supply Current		Output unloaded			100	uA
Istb	Stand-by Current		OFF State			5	uA
Vil	Input Low Voltage		Guaranteed Logic LOW level			0.5	V
Vih	Input High Voltage		Guaranteed Logic HIGH level	3.5			V
Iil	Input Low Current	Pin 1, 4, 5, 6, 12, 13, 14	V_{IL} = 0V, ON state			30	uA
Iih	Input High Current	Pin 1, 4, 5, 6, 12, 13, 14	V_{IH} = 4V, ON state			10	uA
Iol	Output Low Current		Vout = 0.5 V	150			uA
Ioh	Output High Current	Pin 7, 8, 10	Vout = 3.5 V	1.0			mA
		Pin 11	Vout = 3.5 V	200		800	uA

Note: Over the Operating Rating, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, V_{CC} = 4V

DC Electrical Charateristics of 978P

Parameters	Description		Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
Vcc	Operating Voltage			2.5	4.0	5.0	V
Icc	Supply Current		Output unloaded			1	mA
Istb	Stand-by Current		OFF State			10	uA
Vil	Input Low Voltage		Guaranteed Logic LOW level			0.5	V
Vih	Input High Voltage		Guaranteed Logic HIGH level	3.5			V
Iil	Input Low Current	Pin 3, 4, 8, 9, 14, 16	V_{IL} = 0V, ON state			60	uA
Iih	Input High Current	Pin 3, 4, 8, 9, 14, 16	V_{IH} = 4V, ON state			10	uA
Iol	Output Low Current	Pin 1, 5, 15	Vout = 0.5 V	200		850	uA
		Pin 6, 7, 10, 11, 12	Vout = 0.5 V	2			mA
Ioh	Output High Current	Pin 1, 5, 15	Vout = 3.5 V	200		850	uA
		Pin 6, 7, 10, 11, 12	Vout = 3.5 V	500			uA

Note: Over the Operating Rating, 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, V_{CC} = 4V

AC Electrical Characteristics

AC Electrical Characteristics of 977P

Parameters	Description	Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
fosc	Oscillator Frequency *	TA= 25°C, R = 200 kΩ	102	128	154	κHz
tFUN	Cycle Time of Function Code	fosc = 102 to 154 kHz	0.8	1	1.2	ms
tSTA	Cycle Time of Start Code	fosc = 102 to 154 kHz	1.6	2	2.4	ms
fcsc	Carrier Frequency of SC Pin	fosc = 102 to 154 kHz	51	64	77	kHz
tOFF	Time of Auto-Power-Off **	Pins 1, 4, 5, 6 and 14 are High.	6.4	8	9.6	s
		Pins 1, 4, 5, 6 and 14 are Low.	3.2	4	4.8	min.

Note: Over the Operating Rating, $0°C \le T_A \le 70°C$, $V_{CC} = 4V$

* The relative error between the frequencies of the two on-chip oscillators in the PT8A977P and PT8A978P must be less than ±25%.

** When adjust the external oscillator resistor, the auto-power-off time will vary relevantly.

AC Electrical Characteristics of 978P

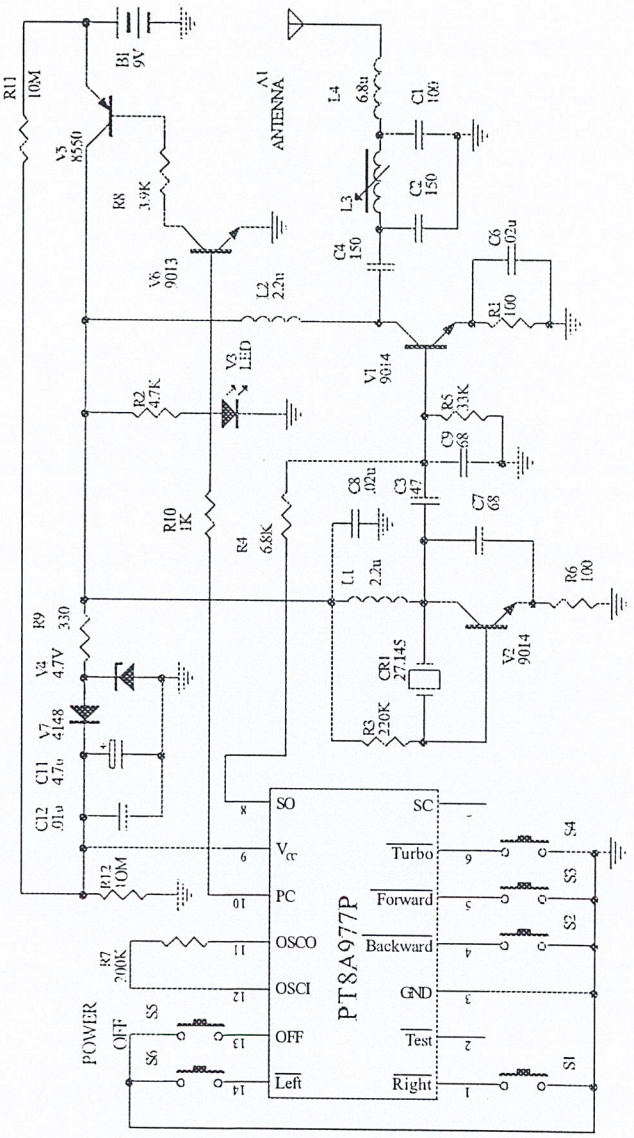
Parameters	Description	Test Condition	Min.	Type	Max.	Units
fosc	Oscillator Frequency *	TA= 25°C, R = 200 kΩ	102	128	154	kHz
VSI	SI Pin VPP Receive Sensitivity	Guaranteed Effective Decoding	300			mV
tFUN	Cycle Time of Function Code	fosc = 128 kHz	0.75	1	1.25	ms
tSTA	Cycle Time of Start Code	fosc = 128 kHz	1.5	2	2.5	ms

Note: Over the Operating Rating, $0°C \le T_A \le 70°C$, $V_{CC} = 4V$

* The relative error between the frequencies of the two on-chip oscillators in the PT8A977P and PT8A978P must be less than ±25%.

Application Circuits

Typical Application of 977P For Transmit Circuit With 9V Battery



Typical Application of 978P For Receive Circuit With Five Functions

