สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสื่อสารข้อมูลไร้สาย

WIRELESS DATA COMMUNICATION

โดย

นางสาววิไลพร ธรรมโชโต

นายวีรศักดิ์ จำเริญศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37129
วัน, เดือน, ปี - 4 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารข้อมูลไร้สาย

WIRELESS DATA COMMUNICATION

โดย

นางสาววิไลพร ธรรมโชโต 40013023

นายวีรศักดิ์ จำเริญศรี 40013024

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุรพล บุญจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การสื่อสารข้อมูลไร้สาย**

WIRELESS DATA COMMUNICATION

ผู้จัดทำ

1. นางสาววิไลพร ธรรมโชโต 40013023

2. นายวีรศักดิ์ จำเริญศรี 40013024

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สุรพล บุญจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารข้อมูลไร้สาย
WIRELESS DATA COMMUNICATION

โดย นางสาววิไลพร ธรรมโชโต 40013023
นายวีรศักดิ์ จำเริญศรี 40013024

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรพล บุญจันทร์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษา และสร้างเครื่องรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ สัญญาณข่าวสารจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปสู่คอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง โดยใช้การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส ด้วยอัตราการส่ง (Baud Rate) 1200 บิตต่อวินาที ผ่านพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ผ่านการเข้ารหัสแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying) ก่อนนำสัญญาณข่าวสารส่งออกอากาศแบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ด้วยเครื่องส่งวิทยุแบบมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation) โดยใช้ความถี่พาหะในการส่งเท่ากับ 49.7 MHz เข้าสู่เครื่องรับวิทยุแบบมอดูเลตทางความถี่ ทำการถอดรหัสแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ได้เป็นสัญญาณข่าวสารเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ด้านรับ

ABSTRACT

This thesis is research and construction of data communication between computers. The intelligence signal form a computer is sent to another by asynchronous communication which 1200 baud rate of transmission. Data is transmitted through computer serial port and then coded by frequency shift keying method. After that procedure, data is brought into FM transmitter which has 49.7 MHz carrier frequency and send from antenna before sent to frequency shift keying decoder in order to recover information. Finally, the same data is brought to received computer through its serial port.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	2
2.1 การสื่อสารข้อมูล	2
2.1.1 ประเภทของการสื่อสารข้อมูล	2
2.1.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน	2
2.1.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	3
2.2 รูปแบบข้อมูลในคอมพิวเตอร์	4
2.2.1 บิตและไบต์	4
2.2.2 การเข้ารหัสข้อความ	5
2.2.3 รหัส ASCII ชนิดพิเศษ	5
2.2.4 การจัดเฟรมข้อมูล	7
2.2.5 บิตเริ่มต้น	7
2.2.6 บิตข้อมูล	8
2.2.7 บิตพาริตี้	8
2.2.8 บิตสิ้นสุด	8
2.2.9 อัตราการส่งข้อมูล	9
2.2.10 บัฟเฟอร์	9
2.2.11 บัฟเฟอร์ข้อมูลเข้า	9
2.2.12 บัฟเฟอร์ข้อมูลออก	10
2.2.13 อินไลน์บัฟเฟอร์	10
2.3 ช่องทางการสื่อสาร	10
2.3.1 ซิมเพล็กซ์	10
2.3.2 ฮาล์ฟดูเพล็กซ์	11
2.3.3 ฟลูดูเพล็กซ์	11
2.4 ระบบการสื่อสารข้อมูล	12
2.4.1 อุปกรณ์โมเด็ม	12
2.4.1.1 อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลของโมเด็ม	13
2.4.1.2 อัตราความเร็วในการส่งถ่ายจำนวนบิตของโมเด็ม	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.4.1.3 ทรูพุต	13
2.4.1.4 มาตรฐาน โมเด็ม	13
2.5 มาตรฐานการเชื่อมต่อ และระบบสัญญาณ	14
2.5.1 พอร์ตอนุกรม	16
2.5.2 การส่งข้อมูล	16
2.5.3 การรับข้อมูล	17
2.5.4 สัญญาณข้อมูลการส่ง	17
2.5.5 สัญญาณข้อมูลการรับ	17
2.5.6 สัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสารจาก DTE ไปยัง DCE	18
2.5.7 สัญญาณแคร์เรียร์ดีเท็ค	18
2.5.8 สัญญาณแสดงความต้องการ ในการส่งข้อมูล	18
2.5.9 สัญญาณแสดงความไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล	18
2.5.10 สัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสารจาก DCE ไปยัง DTE	18
2.5.11 สัญญาณริงอินดิเคเตอร์	18
2.6 ข้อจำกัดในการใช้งานของมาตรฐาน RS 232	18
2.7 การมอดูเลต และดีมอดูเลตทางความถี่	21
2.7.1 สัญญาณการมอดูเลตทางความถี่	21
2.7.2 ไซด์แบนด์ของการมอดูเลตทางความถี่	22
2.7.2.1 ดัชนีการมอดูเลต	22
2.7.2.2 ไซด์แบนด์ของการมอดูเลตทางความถี่	23
2.7.2.3 แบนวิด์ธของการมอดูเลตทางความถี่	23
2.7.3 วิธีการกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่	24
2.7.3.1 วิธีการกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่โดยตรง	24
2.7.3.2 วิธีการกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม	24
2.7.4 การดีมอดูเลตของการมอดูเลตทางความถี่	24
2.7.4.1 ลิมิเตอร์	25
2.7.4.2 ดิสคริมิเนเตอร์	26
2.7.5 ระบบการรับ-ส่งของการดีมอดูเลตทางความถี่	26
2.7.5.1 ภาคส่งของการมอดูเลตทางความถี่	26
2.7.5.2 ภาครับของการมอดูเลตทางความถี่	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 หลักการทำงานของฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง	28
2.8.1 ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง	29
2.8.2 แบนวิดธของสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง	30
2.8.3 ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งดีมอดูเลเตอร์	33
2.9 โปรแกรมวิชวลเบสิก	34
2.9.1 ความสามารถเด่น ๆ ของโปรแกรมวิชวลเบสิก	34
2.9.2 งานและการเขียนการใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก	34
2.9.3 การใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิกติดต่อกับพอร์ตอนุกรม	35
2.9.4 วิธีการสื่อสารที่ใช้ใน Mscomm Control	35
2.9.5 สรุปการใช้งานพอร์ตอนุกรม	36
2.9.6 ค่าคงที่ของคุณสมบัติ Mscomm32.ocx	37
2.9.7 ข้อความที่บ่งชี้ถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	38
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	39
3.1 การออกแบบและการสร้างในส่วนของฮาร์ดแวร์	39
3.2 XR 2206	39
3.2.1 รายละเอียดทั่ว ๆ ไปของ XR 2206	39
3.2.2 ลักษณะสำคัญของ XR 2206	40
3.2.3 ค่าสูงสุดสัมบูรณ์	40
3.2.4 โครงสร้างลักษณะหน้าที่การทำงานของ XR 2206	40
3.2.5 รายละเอียดระบบของ XR 2206	41
3.2.6 รายละเอียดการใช้งาน XR 2206	41
3.2.7 การควบคุมระดับแรงดันไฟตรงของเอาท์พุต	41
3.2.8 การปรับละเอียดรูปคลื่นเอาท์พุต	41
3.2.9 แนวทางการออกแบบ	42
3.3 XR 2211	43
3.3.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของ XR 2211	43
3.3.2 ลักษณะสำคัญของ XR 2211	43
3.3.3 อัตราสูงสุดสัมบูรณ์	44
3.3.4 บล็อกไดอะแกรมของ XR 2211	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 รายละเอียดของระบบ	44
3.3.6 รายละเอียดของการใช้งาน	45
3.3.7 แนวทางการออกแบบ	45
3.4 วงจรแปลงสัญญาณแรงดัน	47
3.4.1 หลักการทำงาน	47
3.5 ภาครับวิทยุ	47
3.5.1 MC 3362	48
3.5.2 ข้อดีของ ICMC 3362	49
3.5.3 การออกแบบใช้งาน	50
3.5.4 MC 145166	52
3.5.5 คุณสมบัติของ MC 145166	52
3.5.6 บล็อกไดอะแกรมของ MC 145166	53
3.5.7 อธิบายรายละเอียดแต่ละขาของ MC 145166	53
3.6 ภาคส่งวิทยุ	54
3.6.1 วงจรเครื่องส่ง	55
3.7 หลักการส่งข้อมูลดิจิตอลโดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก	56
3.7.1 โฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ของโปรแกรมวิชวลเบสิก	57
3.7.2 การสร้างและการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิกในส่วนของโปรมแกรม	59
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	62
4.1 การทดลองที่ 4.1 การรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง	62
4.2 การทดลองที่ 4.2 การถอดรหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง	64
4.3 การทดลองที่ 4.3 วงจรแปลงระดับแรงดัน	67
4.4 การทดลองที่ 4.4 เครื่องส่งวิทยุ	68
4.5 การทดลองที่ 4.5 เครื่องรับวิทยุ	68
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	75
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7 วงจรดีมอดูเลเตอร์แบบฟรีเควนซี่อิ้ง 46
รูปที่ 3.8 วงจรแปลงระดับแรงดัน 47
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของภาครับวิทยุ 47
รูปที่ 3.10 โครงสร้างภายในของ MC 3362 48
รูปที่ 3.11 วงจรการใช้งานเบื้องต้นของ MC 3362 49
รูปที่ 3.12 วงจรเฟสล็อคลูปโดยใช้ MC145166 54
รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของ MC14516566 53
รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งวิทยุ 54
รูปที่ 3.15 วงจรเครื่องส่ง 55
รูปที่ 3.16 โฟลว์ชาร์ตของฟอร์ม (Form) หลัก 57
รูปที่ 3.17 โฟลว์ชาร์ตของการส่งไฟล์ตัวอักษร 58
รูปที่ 3.18 หน้าต่างของโปรแกรมหลัก 59
รูปที่ 3.19 หน้าต่างการจัดรูปแบบการรับส่งข้อมูล 60
รูปที่ 3.20 หน้าต่างการส่งความสั้น ๆ 60
รูปที่ 3.21 หน้าต่างการส่งข้อมูลไฟล์ตัวอักษร 61
รูปที่ 3.22 หน้าต่างเกี่ยวกับโครงงาน และผู้จัดทำ 61

บทที่ 4

รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทดลองวงจรการเข้ารหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง 62
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุตความถี่ 100 Hz 63
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุตความถี่ 300 Hz 63
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุตความถี่ 600 Hz 63
รูปที่ 4.5 รูปแสดงการทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง 64
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองการถอดรหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุตความถี่ 100 Hz 65
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการถอดรหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุตความถี่ 300 Hz 66
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองการถอดรหัสสัญญาณ ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุตความถี่ 600 H 66
รูปที่ 4.9 รูปแสดงวงจรการทดลองวงจรแปลงระดับแรงดัน 67
รูปที่ 4.10 รูปแสดงการทดลองวงจรเครื่องส่งวิทยุความถี่พาหะ 49.7 MHz 69
รูปที่ 4.11 สัญญาณพาหะ 49.7 MHz 69
รูปที่ 4.12 สัญญาณพาหะที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ (RF Amplifier) 70
รูปที่ 4.13 สัญญาณมอดูเลตแบบ FM 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 รูปแสดงวงจรเครื่องรับวิทยุความถี่พาหะ 49.7 MHz 71

รูปที่ 4.15 สัญญาณ RF input ความถี่ 49.7 MHz 72

รูปที่ 4.16 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 39 MHz 72

รูปที่ 4.17 สัญญาณ IF 1 = 10.7 MHz ซึ่งเกิดจากผลต่างของสัญญาณ RF input กับ สัญญาณออสซิลเลเตอร์ 73

รูปที่ 4.18 สัญญาณจากคริสตอลซิลเลเตอร์ความถี่ 10.245 MHz 73

รูปที่ 4.19 สัญญาณ IF 2 455 kHz ซึ่งเกิดจากผลต่างของสัญญาณ IF 1 กับ สัญญาณคริสตอลออสซิลเลเตอร์ 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1 จำนวน 35 ในฐานสอง 4

ตารางที่ 2.2 รหัส ASCII ชนิดพิเศษ 6

ตารางที่ 2.3 การกระจายคลื่นพาหะ และไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่าง ๆ 23

ตารางที่ 2.4 Bassel function Table 33

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Handshake 37

ตารางที่ 2.6 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ OnComm 37

ตารางที่ 2.7 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Error 37

ตารางที่ 2.8 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Input Mode 38

ตารางที่ 2.9 ข้อความที่บ่งชี้ถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น 38

บทที่ 3

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดทางไฟฟ้าของ MC 3362 50

บทที่ 4

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างขา R1I, R2I และ R1O, R1O 68

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างขา T1I, T2I และ T1O, T2O 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลหรือที่เรียกกันว่า "Data Communication" ถือเป็นวิทยาการพื้นฐานซึ่งรองรับการเจริญเติบโตของระบบสื่อสารโทรคมนาคม ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีสื่อสารข้อมูลชนิดต่างๆ มาสนับสนุนการดำเนินกิจการหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินธุรกิจธนาคาร การดำเนินการค้าด้วยเครือข่ายอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Commerce) หรือแม้กระทั่งเบื้องหลังของเครือข่ายอินเตอร์เน็ตก็เช่นเดียวกัน

การสื่อสารข้อมูลไร้สาย เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานในการรับและส่งข้อมูลผ่านตัวกลางทางคลื่นวิทยุ ซึ่งมีข้อดี ดังนี้

1. ไม่เสียค่าใช้จ่าย หรือเสียค่าใช้จ่ายสำหรับตัวกลางไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากระบบโทรศัพท์ที่จะต้องเสียค่าโทรศัพท์ หรือค่าเช่าสาย
2. สามารถส่งข้อมูลกับสถานีเคลื่อนที่เนื่องจากไม่ใช้สาย และสร้างเครือข่ายที่มีขอบเขตกว้างไกล โดยอาจจะส่งสัญญาณต่อทอดกันออกไป เพื่อส่งข้อมูลระยะไกล
3. เนื่องจากความถี่ของสัญญาณวิทยุสูง ดังนั้นแบนวิดท์ที่ใช้จึงกว้าง ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราส่งสูง (ประมาณ 100-400 กิโลบิตต่อวินาที)
4. เนื่องจากระบบสื่อสารวิทยุ สัญญาณส่งแบบแพร่กระจาย ดังนั้นจึงสามารถแพร่กระจายข้อมูลให้กับสถานีได้หลาย ๆ สถานีพร้อม ๆ กัน แต่ในทางตรงกันข้าม ความปลอดภัยของข้อมูลจะมีน้อยจึงควรมีการเข้ารหัสข้อมูล

ในปริญญานิพนธ์นี้ จึงนำเอาแนวความคิดในการรับ และส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการรับส่งข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และทำหน้าที่ในการควบการรับส่งข้อมูลข่าวสารนั้นให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

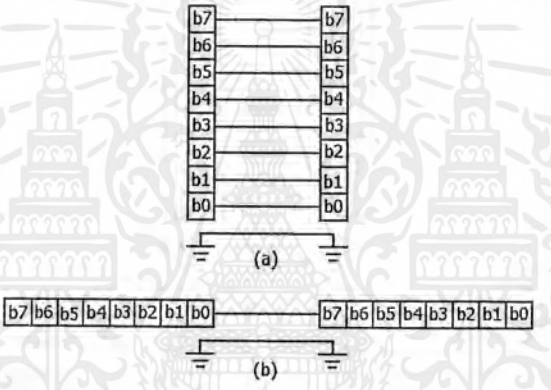
บทที่ 2
ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication)

การสื่อสารข้อมูล คือ ขบวนการในการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือข่าวสาร ซึ่งประกอบด้วย ผู้ส่ง (Sender) ผู้รับ (Receiver) และตัวกลางในการส่งข้อมูล (Medium) โดยที่ข้อมูลที่ทำการสื่อสารกันจะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล คือ อยู่ในรูปของเลขฐานสอง ซึ่งอาจอยู่ในรูปรหัสตัวอักษร ตัวเลข หรือเครื่องหมาย เช่น รหัส ASCII (American Standard Code for Information Interchange) หรือรหัส EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange) เป็นต้น

2.1.1 ประเภทของการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลแบ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม และการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน



รูปที่ 2.1 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล
(a)การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน (b) การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

2.1.1.1 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน

ลักษณะของการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน จะเป็นการรับส่งข้อมูลแบบทีละไบต์ (Byte) (1 ไบต์ เท่ากับ 8 บิต) ข้อมูลทั้ง 8 บิต(Bit) จะถูกส่งออกจากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับพร้อม ๆ กัน และช่องสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งจะต้องมีอย่างน้อย 8 ช่องสัญญาณ สำหรับสัญญาณแต่ละบิตพร้อมกับมีสัญญาณควบคุมอีกหลายเส้น ในการส่งจะใช้สายเคเบิลแบบที่มีตัวนำหลายสาย โดยที่ระยะทางระหว่างเครื่องทั้งสองไม่ควรมากเกินไปเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ หลายสาเหตุ เช่น การลดทอนของสัญญาณภายในสาย ความผิดเพี้ยนของสัญญาณเนื่องจากสภาพความเป็นตัวเก็บประจุภายในสาย สภาพความไม่สมบูรณ์ของตัวนำภายในสาย และการที่ระดับของกราวด์ (ground) ทางไฟฟ้าที่อุปกรณ์รับผิดไปจากอุปกรณ์ส่ง สาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูลได้ ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน คือ สามารรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว และเป็นจำนวนมาก ข้อเสีย คือ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการสื่อสารข้อมูลระยะไกล เนื่องจากค่าใช้จ่ายของสายนำสัญญาณมีราคาแพง

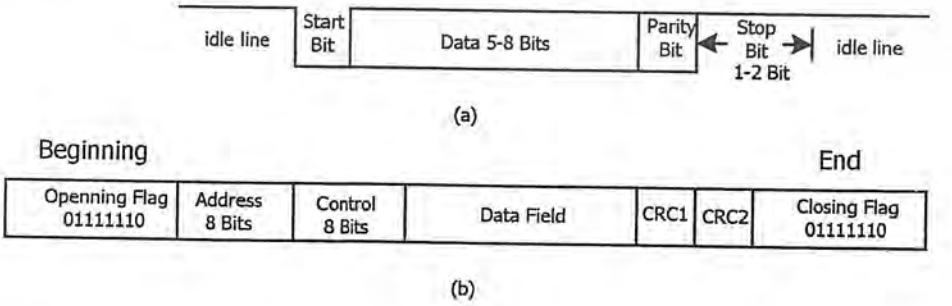
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ลักษณะของการสื่อสารแบบอนุกรม ด้านส่งจะส่งข้อมูลออกจากพอร์ต (Port) เรียงกันออกไปทีละบิท และด้านรับจะรับข้อมูลเข้ามาทีละบิทและตรวจสอบบิทที่รับเข้าว่าบิทใดเป็นเริ่มต้น และบิทสิ้นสุด การตรวจสอบขึ้นอยู่กับรูปแบบของรหัสของบิทที่ใช้การสื่อสารแบบอนุกรมมี 2 แบบ ดังนี้

1. การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission) ในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส การส่งข้อมูลแต่ละตัวอักษรไม่มีกำหนดเวลาที่แน่นอน คือ แต่ละตัวอักษรห่างกันเท่าไรก็ได้ หรือจะส่งติดต่อกันไปตลอดก็ได้ ดังนั้นเพื่อให้ผู้รับแยกออกได้ว่าข้อมูลแต่ละตัวเริ่มต้นเมื่อใด ในการส่งข้อมูลแต่ละตัวหรือแต่ละไบท์นั้นจะมีสัญญาณสำหรับตรวจสอบบิทแรกภายในตัวมันเอง โดยแต่ละไบท์จะถูกเพิ่มโดยบิทเริ่มต้น (Start Bit) นำหน้าไบท์นั้น และบิทสิ้นสุด (Stop Bit) ตามหลังไบท์นั้นซึ่งอาจจะมีการเพิ่มบิทพาริตี้ (Parity) ก่อนสิ้นสุดบิทก็ได้ ดังนั้นระยะเวลาระหว่างข้อมูลแต่ละไบท์ก็ไม่จำเป็นต้องแน่นอนเพราะอุปกรณ์รับจะตรวจสอบทีละไบท์เท่านั้น โดยขณะไม่มีการส่งข้อมูลสภาพลอจิก (logic) จะเป็น "1" อุปกรณ์รับจะคอยตรวจสอบการเปลี่ยนลอจิกจาก "1" เป็น "0" เมื่อกำหนดให้บิทเริ่มต้นมีลอจิกเป็น "0" ซึ่งหมายถึงบิทที่ตามมาเป็นบิทแรกของไบท์นั้น รูปแบบของการจัดเรียงบิทในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสแสดงในรูปที่ 2.2 (a)

2. การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission) การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส หมายถึง การสื่อสารแบบอนุกรมที่มีการกำหนดจำนวนของอักขระที่จะส่งในแต่ละครั้งเป็นจำนวนที่แน่นอนเรียกว่า เฟรมข้อมูล (Data Frame) การส่งข้อมูลแบบนี้จะต้องมีการส่งสัญญาณนาฬิกา (Clock)ไปไปพร้อม ๆ กับสัญญาณข้อมูล ในการส่งข้อมูลระยะสั้น ๆ สัญญาณนาฬิกาซึ่งใช้เป็นสัญญาณซิงค์อาจจะส่งแยกไปในสายส่งข้อมูลก็ได้ แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูลระยะไกล ๆ แล้ว สัญญาณนาฬิกาจะถูกเข้ารหัสส่งรวมไปกับสัญญาณข้อมูลในสายส่งเส้นเดียวกัน การส่งแบบซิงโครนัสข้อมูลจะเรียงติดกันไปโดยไม่มี บิทเริ่มต้น และบิทของข้อมูลบล็อกหนึ่ง ๆ (ในแต่ละบล็อกจะประกอบด้วยข้อมูลหลายชุด) จะแสดงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของข้อมูลเท่านั้น เพราะฉะนั้นถ้ามีการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเราจะเพิ่ม Framing Bits รวมเข้าไปในแต่ละคาแรคเตอร์ (Characters) และถ้าเป็นการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส เราจะเพิ่ม Framing Characters เข้าร่วมในแต่ละบล็อกข้อมูลซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 (b)



รูปที่ 2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม
(a) การส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส (b) การส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบระหว่างการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน

1.ระยะทาง การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน ปกติจะน้อยกว่า 100 ฟุต ส่วนในการสื่อสารแบบอนุกรมมากกว่า 100 ฟุต

2.ความเร็ว การสื่อสารข้อมูลแบบขนานจะมีอัตราความเร็วสูงมากในระยะทางที่ไม่ไกลมากนัก ส่วนในการสื่อสารแบบอนุกรมจะมีอัตราความเร็วของข้อมูลอยู่ในช่วง 0-2 ล้านบิทต่อวินาที

3.ระดับของสัญญาณ การสื่อสารแบบขนาน การอินเตอร์เฟส (Interface) จะใช้ระดับของสัญญาณที่ใช้กับอุปกรณ์ TTL คือสัญญาณลอจิก 1 และ 0 จะแทนด้วยระดับแรงดัน +5 Volt และ 0 Volt ตามลำดับ ส่วนการสื่อสารแบบอนุกรมจะใช้มาตรฐาน EIA-RS232C คือมีระดับสัญญาณไฟฟ้าขนาด +/- 12 Volt หรืออาจจะใช้มาตรฐาน 20 mA Current Loop

4. ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ การสื่อสารข้อมูลแบบขนานถ้ามีระยะทางไกล ๆ จะข้อมูลผิดเพี้ยนได้ง่าย ส่วนการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมการผิดเพี้ยนของข้อมูลจะมีน้อยกว่า

5. ค่าใช้จ่าย การสื่อสารข้อมูลแบบขนานถ้าส่งในระยะทางไกล ๆ จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ส่วนการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมจะสิ้นเปลืองน้อยกว่า แม้ว่าจะใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณจากข้อมูลแบบขนานไปเป็นแบบอนุกรม และจากข้อมูลแบบอนุกรมไปเป็นขนานในการสื่อสารข้อมูล เพราะใช้จำนวนสายน้อยกว่าจึงทำให้มีราคาลงทุนต่ำกว่า

2.2 รูปแบบข้อมูลในคอมพิวเตอร์

การที่จะทำความเข้าใจการส่งผ่านข้อมูล สิ่งแรกคือต้องทำความเข้าใจกับวิธีที่ข้อมูลถูกเก็บไว้ภายในคอมพิวเตอร์ก่อน

2.2.1 บิตและไบต์

ในเลขฐานสิบ มีตัวเลขอยู่สิบตัวคือ 0 ถึง 9 การเพิ่มศูนย์หนึ่งตัวเข้าทางท้ายเป็นการคูณจำนวนด้วยสิบ ในเลขฐานสิบมีตัวเลขเพียงสองตัว คือ 0 กับ 1 การเพิ่มศูนย์เข้าทางท้ายจำนวนเป็นการคูณจำนวนด้วยสอง

ตัวเลขศูนย์หรือแต่ละตัวในเลขฐานสองเรียกว่า บิต 8 บิต จะเป็น 1 ไบต์ ผลที่ตามมาคือ ค่าของหนึ่งไบต์จึงเป็นได้ตั้งแต่ 0000000000 ถึง 000000000 หรือ 0 ถึง 255 ในฐานสิบ

บิตที่อยู่ทางขวาสุดของไบต์เรียกว่า บิตศูนย์ บิตที่อยู่ทางซ้ายสุดเรียกว่า บิตเจ็ด บิตศูนย์ เรียกว่า บิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (least significant bit) และบิตเจ็ด เรียกว่า บิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (most significant bit)

ตารางที่ 2.1 จำนวน 35 ในฐานสอง

หมายเลขบิท	7	6	5	4	3	2	1	0
ค่าถ้าถูกเซต	128	64	32	16	8	4	2	1
การเซต	0	0	1	0	0	0	1	1
ค่าตามที่เซต	0	0	1	0	0	0	2	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์เกือบทั้งหมดทำงานในระบบเลขฐานสอง เพราะว่ามันเป็นการง่ายที่จะแปลงรหัส 0 และ 1 เป็นแรงดันไฟฟ้าบวกและลบ ในคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่หน่วยที่เล็กที่สุดของหน่วยความจำอ้างอิงถึงโดยการอ้างแอดเดรส (Address) คือไบต์ ดังนั้นเมื่อข้อมูลถูกเก็บและจัดการในคอมพิวเตอร์ตามปกติจึงถูกแปลให้เป็นไบต์ที่เรียงลำดับกัน

2.2.2 การเข้ารหัสข้อความ

เมื่อข้อความ (อักขระเครื่องหมายวรรคตอนและอื่น ๆ) ถูกเก็บในคอมพิวเตอร์ แต่ละตัวอักษรที่แตกต่างกันจะถูกแทนที่ด้วยจำนวนที่ต่างกันจำนวนเหล่านี้โดยปกติมีค่า 0 ถึง 127 หรือ จาก 0 ถึง 255 เนื่องจากไบต์หนึ่งสามารถมีค่าจาก 0 ถึง 255 มันจึงเป็นธรรมชาติที่จะให้หนึ่งไบต์แทนตัวอักษรหรือเครื่องหมายวรรคตอนแต่ละตัวในข้อมูลที่เป็นข้อความ มีสองวิธีที่ต่างกันสำหรับการจับคู่ตัวอักษรกับจำนวน คือ EBCDIC ซึ่งถูกใช้ในคอมพิวเตอร์ชนิดอื่นของ IBM ยกเว้น IBM PC และ ASCII ซึ่งถูกใช้ในคอมพิวเตอร์อื่นส่วนใหญ่เราจะเกี่ยวข้องกับ ASCII เท่านั้น

ตาราง ASCII อย่างเป็นทางการให้จำนวนระหว่าง 32 ถึง 126 แทนตัวเลข ตัวอักษร เครื่องหมายวรรคตอน และสัญลักษณ์ที่ใช้กันทั่วไปอื่น ๆ จำนวนจาก 0 ถึง 31 และ 127 มีความหมายพิเศษและตัวอักษรที่ไม่สามารถแสดงผลอื่น ๆ ได้

ตัวอย่างเช่น ตัว A ถูกเก็บเป็นเลขฐานสิบ 65 ในฐานสองคือ 01000001 คอมพิวเตอร์ถูกเก็บในเลขฐานสิบ 44 ซึ่งเป็น 00101100 ในฐานสอง

เนื่องจากจำนวน 127 ในฐานสองใช้เพียงเจ็ดบิต ตัวอักษรทั้งหมดถูกแทนด้วย 0 ถึง 127 สามารถถูกเก็บในหนึ่งไบต์ โดยจะเหลืออีกหนึ่งบิตเนื่องจากเราให้ชื่อบิตในไบต์หนึ่งตั้งแต่ศูนย์ถึงเจ็ดจะเห็นได้ว่ารหัส ASCII ใช้เพียงบิตศูนย์ถึงหกบิตเจ็ดถูกสำรองไว้

คอมพิวเตอร์หลายชนิดใช้เต็มที่ทั้งแปดบิตสำหรับการเข้ารหัสที่แตกต่างกัน 256 ตัว 128 ตัวแรกเป็นไปตาม ASCII และส่วนที่เหลือถูกใช้สำหรับอักขระต่างชาติสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ อักขระกราฟฟิก (Graphic) และอื่น ๆ ตามแต่การออกแบบโชคไม่ดีที่ไม่มีมาตรฐานสำหรับอักขระเพิ่มเติม (Extented Character) เหล่านี้ซึ่งมักจะมีความหมายแตกต่างกันบนคอมพิวเตอร์คนละชนิด

2.2.3 รหัส ASCII ชนิดพิเศษ

รหัส 32 ตัวแรกในตาราง ASCII มีความหมายพิเศษ ดังในตารางที่ 2.2 มีหลายตัวได้รับการออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ทางการสื่อสารโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รหัส ASCII ชนิดพิเศษ

รหัส	อักขระ	ความหมาย
0	NULL	วิธีหนึ่งที่จะทำให้เกิดการหน่วงเวลาอย่างจงใจ ในอดีตมันมีความจำเป็นที่จะส่ง null หลังจาก Carriage return เพื่อให้เครื่องพิมพ์ปัดแคร่ไปทางซ้ายสุดของกระดาษปัจจุบันเครื่องพิมพ์ทำงานได้เร็วขึ้น null จึงถูกใช้สำหรับจุดประสงค์อื่นหลายอย่าง
1	SOH	Start of heading แสดงว่าข้อความที่ตามมาเป็นส่วนหนึ่งของหัวข้อ
2	STX	Start of text แสดงว่าข้อความที่ตามมาเป็นส่วนหนึ่งของหัวข้อ
3	ETX	End of text แสดงจุดสิ้นสุดของข้อความ
4	EOT	End of transmission แสดงการสิ้นสุดของการส่ง
5	ENQ	Enquiry โดยปกติถูกใช้เป็นส่วนของซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้งในการขอให้คอมพิวเตอร์ฝ่ายรับต้อนรับการใช้ข่าวสาร
6	ACK	Acknowlage การตอบรับการได้รับข่าวสาร
7	SO	Shift out กำหนดจุดเริ่มต้นของรหัสควบคุมพิเศษบ่อยครั้งที่ใช้ ESC แทน
8	BAL	ส่งเสียงออกทางเทอร์มินัล
9	BS	Backspace แบ็คสเปซ
10	HT	Horizontal tab แท็ปในแนวนอน
11	LF	Line feed ทำให้ขึ้นบรรทัดใหม่ในตำแหน่งเดิม
12	VT	Vertical tab แท็ปในแนวตั้ง
13	FF	Form feed เลื่อนหน้ากระดาษไปหนึ่งหน้า
14	CR	Carriage return เลื่อนไปที่ต้นบรรทัด บางครั้งทำให้เกิด Line feed ด้วยเช่นกัน
15	SI	Switch in กำหนดจุดสิ้นสุดของรหัสควบคุมที่เริ่มต้นโดย SO
16	DLE	Data link escape เหมือนกับ Ese
17	DC_1	Device control 1 รหัสที่สำรองไว้ บางครั้งใช้ในซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง
18	DC_2	Device control 2 รหัสที่สำรองไว้ บางครั้งใช้ในซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง
19	DC_3	Device control 3 รหัสที่สำรองไว้ บางครั้งใช้ในซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง
20	DC_4	Device control 4 รหัสที่สำรองไว้ บางครั้งใช้ในซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง
21	NAK	Negative acknowledgement บ่งชี้ว่าข้อมูลที่ส่งนั้นไม่ได้ถูกรับอย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น พบความผิดพลาดทางพาริตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส	อักขระ	ความหมาย
22	SYN	Synchronousidle เหมือนกับ NULL แต่ใช้ในการสื่อสารแบบซิงโครนัส เพื่อดูแลให้อุปกรณ์สองตัวซิงโครไนซ์กันระหว่างการส่ง
23	ETB	End of transmission block ถูกใช้ในที่ซึ่งการส่งข้อมูลแบ่งเป็นบล็อก เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบข้อผิดพลาด
24	CAN	Cancel บ่งชี้ว่าข้อมูลที่ถูกส่งไปควรถูกทิ้งไป
25	EM	End of medium บ่งชี้ว่ามาถึงปลายทางของเทปกระดาษ
26	SUB	Substitute แก้ไขตัวอักษรที่ถูกส่งมาผิดพลาด ถูกใช้เพื่อบ่งชี้จุดสิ้นสุดของการส่งด้วยเช่นกัน
27	Esc	Escape บ่งชี้จุดเริ่มต้นของอักษรที่ติดตามว่ามีความหมายพิเศษ
28	FS	File separator ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตระหว่างส่วนของข้อความ
29	GS	Group separator ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตระหว่างส่วนของข้อความ
30	RS	Record separator ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตระหว่างส่วนของข้อความ
31	US	Unit separator ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตระหว่างส่วนของข้อความ
32	DEL	บ่งชี้ว่าตัวอักษรที่มาก่อนมันควรถูกลบ

รหัส 1 ถึง 26 ถูกอ้างถึงเป็น Ctrl–A ถึง Ctrl-Z ด้วยเช่นกันและพวกมันสามารถถูกสร้างด้วยแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ โดยการกดปุ่ม Ctrl ค้างไว้ และกดปุ่มตัวอักษรที่เหมาะสมพร้อมกัน (ดังนั้น 1=Ctrl-A, 2=Ctrl-B เป็นต้น) บางรหัสสามารถถูกป้อนเข้าโดยการกดปุ่มเฉพาะ

2.2.4 การจัดเฟรมข้อมูล

ในกรณีการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสบิตที่เป็นตัวแทนของไบต์ ซึ่งเรียกว่า บิตข้อมูล (Data bit) จำนวนของบิตที่แทนหนึ่งตัวอักษรแปรผันไปตามโปรโตคอลสื่อสารที่ใช้จำนวนที่ว่า หมายถึง จำนวนของบิตข้อมูล หรือความยาวเวิร์ด (Word length) โดยปกติจะเป็นเจ็ดหรือแปดบิต แต่ละตัวอักษรจะถูกส่งออกไปเป็นกลุ่มที่ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น ตัวอักษร (บิตข้อมูล) บิตพาริตี้ซึ่งสามารถเลือกได้ และบิตจบหรือสองบิต เพื่อความชัดเจน เราจะเรียกกลุ่มของตัวอักษรและบิตเหล่านี้ว่า เฟรม (Frame) เพื่อ หลีกเลี่ยงความสับสนกับคำว่าตัวอักษรที่บางครั้งอ้างถึงบิตข้อมูล และบางครั้งอ้างถึงกลุ่มพร้อมด้วยบิตเริ่มต้น บิตจบ และบิตพาริตี้ ตัวอย่างของเฟรมที่ถูกส่ง

2.2.5 บิตเริ่มต้น (Start Bit)

บิตเริ่มต้นถูกใส่เพิ่มที่จุดเริ่มต้นของเฟรมเสมอเพื่อเตือนอุปกรณ์ของฝ่ายรับว่าข้อมูลกำลังมาถึง และเพื่อเข้าจังหวะกลไกที่แยกแต่ละบิต บิตเริ่มต้นคือ สเปซ (Space) หรือ ไบนารี 0

ในการเชื่อมต่อโดยตรง สเปซ หรือ 0 ถูกส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าบวก แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟรมจะเป็นตัวลบ ดังนั้นที่จุดเริ่มต้นของแต่ละเฟรมจะเป็นลบ ดังนั้นที่จุดเริ่มต้นของแต่ละเฟรมแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนจากลบเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 บิตข้อมูล (Data Bit)

มาตรฐานหรือโปรโตคอล (Protocal) การสื่อสารแบบอนุกรม ทำให้เกิดการส่งตัวอักษรที่ยาวต่างกัน เมื่อซอฟต์แวร์สื่อสารให้คุณเลือกความยาวเวิร์ด มันกำลังถามว่าคุณต้องการส่งตัวอักษรเจ็ดบิตหรือแปดบิต (บางครั้งความยาวอื่นก็ถูกใช้แต่แทบไม่ค่อยมี) ถ้ามีข้อมูลทั้งหมดถูกส่งในรูปแบบ ASCII เวิร์ดขนาดเจ็ดบิตก็เพียงพอ จำไว้ว่าตาราง ASCII กำหนดจำนวนจาก 0 ถึง 127 ซึ่งทั้งหมดสามารถแทนได้ด้วยเจ็ดบิต

ถ้าข้อมูลที่ถูกส่งไปไม่ใช่ ASCII (เช่นข้อความที่ใช้ชุดอักขระเพิ่มเติมหรือข้อมูลไบนารี) ทั้งแปดบิตของแต่ละไบต์จึงมีความจำเป็น คุณไม่สามารถใช้โปรโตคอลเจ็ดบิตได้ ถ้าข้อมูลไม่ถูกแปลงเป็นรูปแบบเจ็ดบิตเสียก่อน

2.2.7 บิตพาริตี้ (Parity Bite)

การตรวจสอบพาริตี้เป็นวิธีหนึ่งในการทดสอบว่าข้อมูลที่ได้ถูกรับไปอย่างถูกต้องหรือไม่ อุปกรณ์ฝ่ายส่งจะเพิ่มบิตพาริตี้อีกบิตหนึ่ง เป็นค่า 0 หรือ 1 ซึ่งขึ้นอยู่กับบิตข้อมูล อุปกรณ์ฝ่ายรับจะตรวจสอบว่าบิตพาริตี้มีความสัมพันธ์ที่ถูกต้องกับบิตอื่นหรือไม่ ถ้าไม่แสดงว่าบางสิ่งต้องผิดพลาดในระหว่างการส่งพาริตี้สามารถคำนวณได้จากวิธีต่อไปนี้

พาริตี้คู่ (Even Parity) หมายความว่า จำนวนของบิตข้อมูลที่เป็น 1 และค่าของบิตพาริตี้รวมกันเป็นจำนวนคู่ เช่น ตัว A ในฐานสอง คือ 01000001 เมื่อจำนวนนับของบิตที่เป็น 1 จะได้ 2 ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นสำหรับตัวอักษร A บิตพาริตี้ควรถูกเซตเป็น 1 เพื่อให้จำนวนของบิตที่เป็น 1 ทั้งหมดเป็น 3 ซึ่งเป็นจำนวนคี่

ไม่มีพาริตี้ (Null Parity) หมายถึงไม่มีบิตพาริตี้

สเปซ (Space) บางครั้งเรียกว่า บิททริมมิ่ง (Bit Trimming) คือ บิตพาริตี้ที่เป็น 0 เสมอ มีประโยชน์ในการตรวจสอบข้อผิดพลาด พาริตี้แบบนี้สามารถใช้เพื่อส่งอักษรเจ็ดบิตให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการตัวอักษร แปดบิต ได้เช่นกัน อุปกรณ์ฝ่ายรับจะถือว่าบิตพาริตี้เป็นบิตสุดท้ายของข้อมูล

มาร์ค (Mark) บางครั้งเรียกว่า บิทฟอร์ซซิ่ง (Bit Forcing) ทำงานเหมือนกับพาริตี้แบบสเปซยกเว้นแต่ละพาริตี้ จะเป็น 1 เสมอ เนื่องจาก 1 ในตำแหน่งนั้นสามารถที่จะถูกตีความรวมเข้ากับค่าของจำนวนได้ อุปกรณ์ หรือคอมพิวเตอร์ฝ่ายรับต้องถูกโปรแกรมไม่ให้สนใจมัน

2.2.8 บิตสิ้นสุด (Stop Bit)

ที่ท้ายของแต่ละเฟรมบิตจบจะถูกส่งออกมา บิตจบมีทั้งแบบหนึ่งบิต หนึ่งบิตครึ่งหรือสองบิต อย่างน้อยต้องมีหนึ่งบิตเสมอ เพื่อประกันว่ามีแรงดันไฟฟ้าลบอย่างน้อยเป็นช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่เฟรมต่อไปจะมาถึง เพื่อที่สามารถแยกแยะเฟรมถัดไปได้จากบิตเริ่มต้นที่เป็นกระบวนการของมัน บิตจบมากกว่าหนึ่งบิตโดยทั่วไปจะใช้เมื่ออุปกรณ์ฝ่ายรับต้องการเวลาเพิ่มขึ้นก่อนที่มันจะสามารถจัดการกับตัวอักษรที่เข้ามาตัวถัดไปได้

หนึ่งบิตครึ่ง หมายความว่า ความยาวของบิตนั้นมากกว่าบิตปกติ บิตจบบังคับให้มีช่องว่างอย่างน้อยระหว่างเฟรมพวกมันถูกส่งเป็นไบนารีหนึ่งซึ่งในการเชื่อมต่อโดยตรงจะเป็นแรงดันไฟฟ้าลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตจบสองบิตมักจะถูกใช้ที่อัตราบอด 10 ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดที่ใช้กันทั่วไปเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของเครื่องโทรพิมพ์รุ่นเก่าซึ่งใช้อัตราบอดต่ำ และต้องการเวลาพิเศษเพื่อประมวลตัวอักษร

2.2.9 อัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate)

อัตราการส่งข้อมูล แสดงจำนวนของสัญญาณแต่ละหน่วยในหนึ่งหน่วยวินาทีมักถูกตั้งชื่อตาม "Baudot" ซึ่งเป็นผู้บุกเบิกการสื่อสารชาวฝรั่งเศส ในการส่งแบบไบนารีมันเป็นสิ่งเดียวกับ บิตต่อวินาที (bps) หรือจำนวนของเลขฐานสองที่ถูกส่งในหนึ่งวินาที

ในการเชื่อม RS-232 โดยตรง สัญญาณจะเป็นหนึ่งในสองสถานะในเวลาขณะใดขณะหนึ่ง อัตราบอด และ bps จึงเท่ากัน เมื่อสัญญาณหนึ่งถูกส่งผ่านระหว่างโมเด็มมันสามารถเป็นหนึ่งในหลายสถานะความยาวของสัญญาณอาจเป็น 1/600 วินาที (600 บอด) แต่เนื่องจากมากกว่าสองบิตของข้อมูลสามารถถูกส่งไปพร้อมกันการเปลี่ยนแปลงแต่ละสภาวะ อัตราบิตต่อวินาทีจะสูงกว่าอัตราบอด

มีจุดน่าสังเกตคืออัตราบอด และ bps อ้างถึงอัตราที่บิตภายในหนึ่งเฟรมถูกส่ง ช่องว่างระหว่างเฟรมอาจมีความยาวแปรเปลี่ยนได้ เช่น จากการพิมพ์ตัวอักษรด้วยอัตราแตกต่างกันดังนั้นทั้ง อัตราการส่งข้อมูล และ bps จึงไม่ได้ หมายถึง อัตราที่ข้อมูลถูกส่งไปจริง ๆ อัตราบิตต่อวินาทีโดยทั่วไปอยู่ในอนุกรม 110,150,300,600,1200,2400,4800,9600 และ 19200 เมื่ออุปกรณ์สองตัวสื่อสารซึ่งกันและกัน พวกมันต้องตกลงในเรื่องอัตราบอดความยาวเวิร์ด จำนวนบิตจบ และพาริตี้ ถ้าพบว่าไม่ได้รับอะไรเลย ความผิดพลาดอาจอยู่ที่การเชื่อมต่อทางกายภาพ เช่น ข้อมูลกำลังถูกส่งบนสายเส้น สายขาด หรือไม่ได้รับสัญญาณแฮนด์เช็คกิ้ง (Handshaking) ที่ถูกต้อง ถ้าได้รับขยะความผิดพลาดอาจอยู่ในหัวข้อที่กล่าวต่อไปนี้

ถ้าอุปกรณ์สองตัวถูกตั้ง อัตราการส่งข้อมูล ต่างกัน อุปกรณ์ฝ่ายรับอาจพยายามที่จะแปลข้อมูล (ถ้ามันไม่ได้ถูกโปรแกรมให้รายงานข้อผิดพลาดทางพาริตี้ และทางเฟรม) โดยปกติคุณจะเห็นว่าจำนวนข้อมูลที่ได้รับแตกต่างจากที่ถูกส่งมา

2.2.10 บัฟเฟอร์ (Buffer)

บัฟเฟอร์ข้อมูล คือ พื้นที่ของหน่วยความจำซึ่งตัวอักษรที่รับเข้ามาได้ หรือตัวอักษรที่ถูกส่งจะถูกเก็บพักไว้ชั่วคราว การใช้บัฟเฟอร์จะลดจำนวนของสัญญาณแฮนด์เช็คกิ้ง ที่ต้องถูกส่งเนื่องจากข้อมูลสามารถส่งเป็นบล็อกขนาดใหญ่แทนที่จะส่งทีละตัวอักษร

2.2.11 บัฟเฟอร์ข้อมูลเข้า (Input Buffer)

บัฟเฟอร์ข้อมูลเข้า จะถูกใช้เมื่ออุปกรณ์ฝ่ายรับกำลังรับตัวอักษรเร็วกว่าที่มันสามารถประมวลผลได้ ตัวอย่างเช่น เครื่องพิมพ์อาจกำลังรับตัวอักษรที่ 1200 บอด แต่พิมพ์ออกไปที่ 300 บอด แทนที่เครื่องพิมพ์จะส่งให้คอมพิวเตอร์ฝ่ายส่งหยุดส่งหลังจากการส่งตัวอักษรแต่ละตัวจนกว่ามันจะถูกพิมพ์ นักออกแบบเครื่องพิมพ์มักจะกันพื้นที่หน่วยความจำภายในเครื่องพิมพ์ เพื่อใช้เก็บพักตัวอักษรที่เข้ามาได้จำนวนหนึ่ง พื้นของหน่วยความจำนี้เรียกว่าบัฟเฟอร์ข้อมูลบัฟเฟอร์นี้เปรียบได้กับน้ำซึ่งมีน้ำไหลเข้าทางด้านบนและในขณะเดียวกันก็ไหลออกทางด้านล่างสัญญาณหยุดจะถูกส่งเมื่อบัฟเฟอร์เกือบจะเต็ม สัญญาณเริ่มต้นใหม่ถูกส่งเมื่อบัฟเฟอร์เกือบจะว่าง ถ้าเครื่องพิมพ์รอจนกระทั่งบัฟเฟอร์เต็มก่อนที่จะบอกให้หยุดส่ง และบอกให้เริ่มส่งในทันทีที่มีที่ว่าง การทำบัฟเฟอร์จะประสบความล้มเหลวในทันทีที่บัฟเฟอร์เต็มก่อนที่บอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้หยุดส่ง และบอกให้เริ่มส่งในทันทีที่บัฟเฟอร์เต็มเป็นครั้งแรก เพราะว่าหลังจากนั้นมันจะบอกให้หยุดส่งทุกตัวอักษรที่ได้รับ และให้ส่งใหม่ทุกครั้งที่ประมวลผล เหมือนกันตอนไม่มีบัฟเฟอร์

อีกเหตุผลหนึ่งสำหรับการสั่งสัญญาณหยุดส่งก่อนที่บัฟเฟอร์จะเต็มคือ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญหายของตัวอักษรที่อาจได้รับมาพร้อมกับที่สัญญาณหยุดถูกส่ง

ถ้าใช้ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง (Hardware Handshacking) สัญญาณหยุดมักจะทำให้อุปกรณ์ฝ่ายส่งหยุดการส่งทันทีอย่างไร ก็ตามการใช้ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้งจะมีเวลาหน่วงค่าหนึ่งก่อนที่คำสั่งหยุดจะมีผลเพราะว่าคำสั่งหยุดต้องถูกนำไปประมวลผลโดยเครื่องฝ่ายส่งก่อน และในระหว่างนั้นตัวอักษรสามารถถูกส่งออกไปได้

2.2.12 บัฟเฟอร์ข้อมูลออก (Output Buffer)

บัฟเฟอร์ข้อมูลขาออก เป็นพื้นที่ซึ่งข้อมูลถูกเก็บไว้ก่อนที่จะถูกส่งออกไปซึ่งช่วยลดความไม่สะดวกของพนักงาน เช่น สมมติว่าคุณกำลังพิมพ์ที่แป้นพิมพ์ และตัวอักษรที่พิมพ์จะถูกส่งไปยังเครื่องพิมพ์หรืออุปกรณ์อื่นโดยตรง เมื่อเครื่องพิมพ์ได้รับข้อมูลทั้งหมดที่มันสามารถจัดการได้แล้ว ส่งสัญญาณจนกระทั่งเอาท์พุตบัฟเฟอร์เต็ม ในทางปฏิบัติคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่มีบัฟเฟอร์ข้อมูลเข้าของ แป้นพิมพ์ด้วย สำหรับเก็บตัวอักษรที่ถูกพิมพ์โปรแกรมจะรับค่าอินพุตของมันจากบัฟเฟอร์ของแป้นพิมพ์อีกที

2.2.13 อินไลน์บัฟเฟอร์ (In-Line Buffer)

เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ระหว่างคอมพิวเตอร์ และมีบัฟเฟอร์ขนาดใหญ่ อินไลน์บัฟเฟอร์เหล่านี้รับตัวอักษรจากคอมพิวเตอร์ และส่งพวกมันไปให้เครื่องพิมพ์อินไลน์บัฟเฟอร์รับข้อมูลได้เร็วกว่าเครื่องพิมพ์มาก และสามารถส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์ด้วยอัตราบอดทีเหมาะสมจากมุมมองของเครื่องคอมพิวเตอร์มันเพียงแต่ส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์เร็วมากตัวหนึ่ง การทำงานเสร็จสมบูรณ์ในทันทีที่เอกสารถูกส่งไปที่บัฟเฟอร์ (สมมติว่าเอกสารใส่ลงในบัฟเฟอร์ได้ทั้งหมด) และสามารถทำงานต่อไปได้ในขณะที่เอกสารกำลังถูกพิมพ์อินไลน์บัฟเฟอร์ที่ซับซ้อนบางชนิดสามารถทำงานพิเศษ เช่น แปลงจากอนุกรมเป็นขนาน สลับเครื่องพิมพ์ พิมพ์เอกสารหลาย ๆ ชุด และเก็บข้อมูลที่ได้รับจากโมเด็ม (Modem) เพื่อการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป

2.3 ช่องทางการสื่อสาร (Communication Channeling)

รูปแบบในการสื่อสารข้อมูลมี 3 แบบ ที่สามารถใช้เป็นช่องทางการสื่อสารที่อยู่ระหว่างสองอุปกรณ์ที่เรียกว่า ซิมเพล็กซ์ (Simplex) ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half-Duplex) และฟูลดูเพล็กซ์ (Full-Duplex) ซึ่งอธิบายในส่วนย่อยดังนี้

2.3.1 ซิมเพล็กซ์

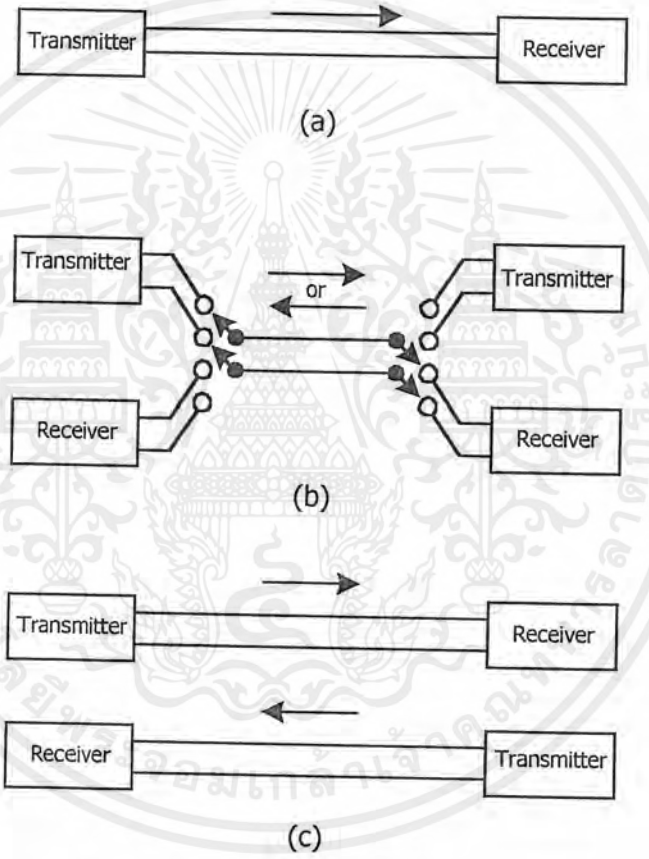
การสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ ที่เรียกกันว่า การสื่อสารทางเดียว การสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์เป็นการทำงานในทิศทางเดียวเท่านั้น และก็ต้องการช่องทางการสื่อสาร พื้นฐานการสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ คือ ธุรกิจวิทยุกระจายเสียงทั่วไป ข้อมูลข่าวสารจะไหลไปในทิศทางเดียวจากผู้ประกาศไปยังผู้ฟัง ผู้ฟังจะไม่สามารถใช้เครื่องรับวิทยุเพื่อตอบสนองไปยังผู้ประกาศได้ และตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ การอินเตอร์เฟส ระหว่างคอมพิวเตอร์ และพริ้นเตอร์ (printer) ข้อมูลจะส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังพริ้นเตอร์เท่านั้น พริ้นเตอร์ไม่สามารถส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ได้

2.3.2 ฮาล์ฟดูเพล็กซ์

การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์สามารถทำการรับส่งได้ในแต่ละทิศทาง แต่จะทำในทิศทางเดียวที่เวลานั้น มันสามารถทำการสื่อสารสองช่องทางสลับกัน การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ต้องการช่องทางที่สามารถทำการสวิตช์เพื่อเปลี่ยนทิศทาง ตัวอย่างของการสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ คือระบบวิทยุสองทาง เช่น เมื่อคนหนึ่งส่งอีกคนก็ทำการรับ เมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางของการสื่อสาร คนที่ทำการส่งต้องสวิตช์ที่โหมดรับ และคนซึ่งทำการรับก็ต้องสวิตช์ที่โหมดส่ง



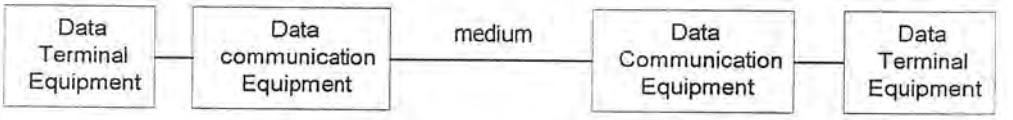
รูปที่ 2.3 การสื่อสารข้อมูลแบบต่างๆ
(a) การสื่อสารแบบซิมเพล็กซ์ (b) การสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (c) การสื่อสารแบบฟูลดูเล็กซ์

2.3.3 ฟูลดูเพล็กซ์

การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ จะทำได้ในสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ฟูลดูเพล็กซ์ต้องการช่องทางการสื่อสารสองช่องทางเพื่อนำพาข้อมูลข่าวสารในแต่ละทิศทาง การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์เป็นพื้นฐานระหว่างคอมพิวเตอร์ รูปที่ 2.3 (c) แสดงถึงหลักการช่องทางการสื่อสารทั้งสองยอมให้แต่ละอุปกรณ์ปลายทาง (Terminal) สามารถส่ง และรับในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบการสื่อสารข้อมูล (Data Communication System)



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุด (Point To Point)

จากรูปที่ 2.4 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสารแบบจุดต่อจุด หรือที่เรียกว่า ระบบจุดต่อจุด เพราะเป็นการเชื่อมโยงเพียงสองอุปกรณ์ แต่ละอุปกรณ์ของระบบการสื่อสารเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DTE) และอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (DCE) และมีตัวกลางในการนำพาระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองในระบบสื่อสาร

อุปกรณ์รับส่งข้อมูล คือ มีลักษณะคล้ายอย่างมากกับคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มวงจรในการแปลงข้อมูลแบบขนานที่ใช้ภายในคอมพิวเตอร์ และแบบข้อมูลแบบอนุกรมที่ต้องการด้วยตัวกลาง ฟังก์ชันของอุปกรณ์รับส่งข้อมูล ได้เพิ่มข้อมูลการรับ และการส่งที่ความเร็วจริง และการแสดงการเช็คข้อผิดพลาดในการรับข้อมูล เพื่อทำให้แน่ใจว่าสื่อสารอย่างถูกต้อง ถ้าจำเป็นอุปกรณ์รับส่งข้อมูลก็จะแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นแบบอนุกรมในขณะการส่ง และแบบอนุกรมเป็นแบบขนานในขณะการรับ

อุปกรณ์สื่อสารข้อมูล คือ การอินเตอร์เฟสระหว่างอุปกรณ์รับส่งข้อมูล และตัวกลางจะได้รับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูล และแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้ตัวกลางสามารถรับได้ ถ้าตัวกลางเป็นสายโทรศัพท์มาตรฐานอุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะมอดูเลต (Modulate) ข้อมูลดิจิตอลไปกับพาหะคลื่นไซน์ (sine wave) ที่สามารถส่งบนระบบโทรศัพท์ แบบอนาลอก (analog) ได้ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลก็ตอบรับการรับข้อมูลจากตัวกลาง และแปลงข้อมูลเหล่านั้นที่ตอบรับได้กับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูล อุปกรณ์รับส่งข้อมูลสำหรับตัวอย่าง อุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะดีมอดูเลต (Demodulate) สัญญาณอนาลอกที่รับจากสายโทรศัพท์กู้สัญญาณดิจิตอลนั้นคืนมาและส่งผ่านไปยังอุปกรณ์รับส่งข้อมูล ตัวกลางการสื่อสารจะโอนถ่ายข้อมูลข่าวสารจากตัวส่งไปยังตัวรับ ตัวกลางอาจเป็นสายใยแก้วนำแสง คลื่นไมโครเวฟ หรือคู่สาย ตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลระยะไกลมากที่สุดคือสายโทรศัพท์มาตรฐาน

2.4.1 อุปกรณ์โมเด็ม (Modem)

โมเด็ม (MODEM : MOdulator-DEModulator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์ โดยที่อุปกรณ์โมเด็มจะทำหน้าที่แปลงระหว่างสัญญาณดิจิตอล กับสัญญาณเสียง (voice) ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลสามารถที่จะเดินทางผ่านทางสายโทรศัพท์ได้ สำหรับโมเด็มเครื่องแรกของโลกนั้นถูกผลิตโดย Dale Heathering และ Dennie Hayes ซึ่งต่อมาได้ก่อตั้งในรูปแบบของบริษัทชื่อ Hayes Microcomputer Product โดยที่โมเด็มเครื่องแรกของโลกจะเป็นรุ่น 80-103 ที่สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ที่ความเร็ว 30 ตัวอักษรต่อวินาที แต่ในปัจจุบันโมเด็มได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมากจนสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ถึงระดับความเร็ว 57,600 ตัวอักษรต่อวินาทีหรือมากกว่า ดังนั้นจึงได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในการใช้ติดต่อกับศูนย์บริการ BBS (Bulletin Board System) หรือศูนย์บริการอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Internet Survice Provice) โดยในการต่ออุปกรณ์โมเด็มเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นต้องต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม เช่น พอร์ต RS-232 เป็นต้น สำหรับคำจำกัดความต่าง ๆ ที่ใช้กับโมเด็มที่ควรรู้มีดังนี้

2.4.1.1 อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลของโมเด็ม (Baud Rate)

อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลของโมเด็มในอดีตโมเด็มจะมีอัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 1 บิตต่ออัตรา 1 Baud แต่ในปัจจุบันหลังจากที่โมเด็มได้รับการพัฒนาไปอย่างมาก อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 1 บิต จะไม่เท่ากับอัตรา 1 Baud อีกต่อไป เช่น ตามมาตรฐาน V.22 bis นั้น อัตรา 1 Baud จะเท่ากับอัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 38,400 บิตต่อวินาที เป็นต้น

2.4.1.2 อัตราการความเร็วในการส่งถ่ายจำนวนบิตของโมเด็ม (Bit Per Second)

อัตราการความเร็วในการส่งถ่ายจำนวนบิตของโมเด็ม ในปัจจุบันโมเด็มในการส่งถ่ายจำนวนบิตมาตรฐานอยู่ที่ 9,600 bps และโมเด็มบางรุ่นที่ใช้ ROM ประเภทเฟลชรอม (Flash-ROM) จะสามารถมีความเร็วได้มากเท่าที่ความเร็วของพอร์ตอนุกรมจะรับได้ซึ่งอัตราความเร็วของโมเด็มจะสามารถอัปเกรด (Upgrade) ได้ตลอดเวลาด้วยซอฟต์แวร์ (Software) จากบริษัทผู้ผลิตโมเด็ม

2.4.1.3 ทรูพุต (Through Put)

จำนวนของบิตที่สามารถส่งผ่านทางโมเด็มได้จริง ๆ ภายในช่วงเวลา 1 วินาที ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่าโมเด็มจะมีความเร็วมากน้อยเพียงใดก็ตาม อัตราการส่งผ่านข้อมูลผ่านทางโมเด็มในแต่ละช่วงเวลาอาจจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดก็ได้ทั้งนี้ก็ขึ้นกับปัญหาต่าง ๆ เช่น การเกิดสัญญาณรบกวนหรือความไม่พร้อมของโฮสต์ปลายทาง เป็นต้น ดังนั้นอัตราการส่งผ่านข้อมูลอาจจะต่ำกว่าความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลของโมเด็มก็ได้

2.4.1.4 มาตรฐานโมเด็ม (Modem Standard)

ในปัจจุบันโมเด็มของแต่ละบริษัทก็จะมีมาตรฐานที่ไม่เหมือนกันสำหรับมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในปัจจุบันดังต่อไปนี้

Bell212a Modulation

V.22 bis Modulation

V.23 Modulation

V.32 and V.32 bis Modulation

V.42 Error Control

V.42 bis Data Compression

MNP Class2, 3, 4, Error Control

MNP Class 5 Data Compression

โมเด็มประกอบด้วย 5 ฟังก์ชันพื้นฐานคือ

1. ตอบรับการส่งข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรมที่อุปกรณ์ข้อมูลปลายทาง ส่งให้
2. มอดูเลตข้อมูลไปกับพาหะแบบอนาลอก และส่งข้อมูลไปบนตัวกลางการสื่อสารแบบอนาลอก เช่น สัญญาณวิทยุ หรือสายโทรศัพท์

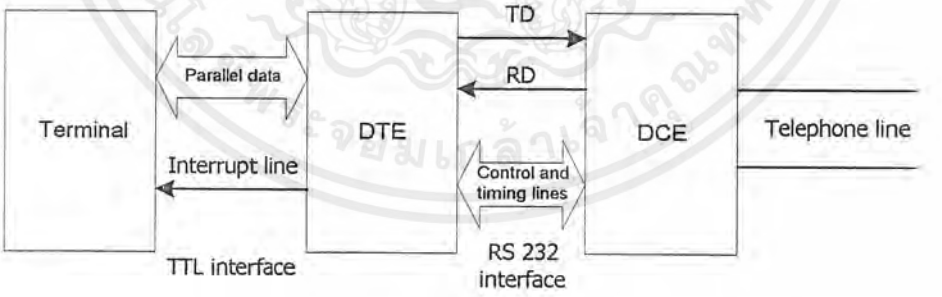
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดีมอดูเลตพาหะแบบอนาลอกโดยรับมาจากตัวกลางการสื่อสารแบบอนาลอกเพื่อกู้เอาข้อมูลดิจิตอลกลับคืน

4. ส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่ผ่านการดีมอดูเลตไปยังอุปกรณ์ข้อมูลปลายทาง

5. ในระบบซิงโครนัส อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังอุปกรณ์ ข้อมูลปลายทาง

โมเด็มสามารถเป็นแบบ ซิมเพล็กซ์, ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ หรือฟูลดูเพล็กซ์ ได้ โมเด็มแบบซิมเพล็กซ์จะนำไปใช้งาน เช่น โทรเลขบริการข่าว ซึ่งส่งข้อมูลจากศูนย์กลางที่ห้องข่าวของหนังสือพิมพ์และวิทยุและสถานีโทรศัพท์บนวงจรสายโทรศัพท์ โมเด็มแบบซิมเพล็กซ์สามารถใช้แบนวิดธของวงจรโทรศัพท์ได้เต็มที่เพราะการสื่อสารแบบซิมเพล็กเป็นการสื่อสารแบบทิศทางเดียวโมเด็มแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์จะส่งได้ทิศทางเดียว ณ เวลานั้นโดยสามารถใช้แบนวิดธของวงจรโทรศัพท์ได้เต็มที่ ข้อเสียของการสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์คือแต่ละช่วงเวลาทิศทางการสื่อสารจะตรงกันข้ามกัน วงจรโทรศัพท์จะเป็นแบบหมุนรอบโดยโมเด็มที่ทำการส่งจะสวิตช์กับโหมดรับ และโมเด็มที่ทำการรับจะถูกสวิตช์กับโหมดส่ง การหมุนรอบของวงจรใช้เวลาหลายร้อยมิลลิวินาทีซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเวลาที่ใช้ในการสื่อสาร ข้อเสียอื่น ๆ ที่ใช้ในการสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์คือ อุปกรณ์ปลายทางที่รับไม่สามารถให้การป้อนกลับในกรณีเกิดการผิดพลาดต่าง ๆ ขึ้น โมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์จะทำการส่ง และรับข้อมูล ณ ช่วงเวลาเดียวกัน และสามารถใช้ย่านการสื่อสารได้เต็มที่สำหรับการสื่อสารฟูลดูเพล็กซ์บนวงจรโทรศัพท์สองสายเป็นเทคโนโลยีหนึ่งของความต้องการของโมเด็มที่ใช้ความถี่พาหะความถี่หนึ่งเพื่อส่ง และความถี่พาหะที่แตกต่างกันอีกความถี่หนึ่งเพื่อรับความเร็วในการสื่อสารสูงสุดเป็นสัดส่วนกับแบนวิดธ ของวงจรสื่อสารโมเด็มแบบฟูลดูเพล็กซ์ใช้แบนวิดธครึ่งหนึ่งของวงจรโทรศัพท์สองสายสามารถนำพาข้อมูล ณ ความเร็วครึ่งหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรแบบซิมเพล็กซ์ซึ่งสามารถใช้แบนวิดธได้เต็มที่ อย่างไรก็ตามมาตรฐานโมเด็มที่สร้างขึ้นภายหลังจะใช้แบนวิดธของวงจรโทรศัพท์สองสายได้เต็มที่สำหรับทั้งการส่ง และการรับ



รูปที่ 2.5 การอินเตอร์เฟสระหว่างตัวอุปกรณ์กับสายโทรศัพท์

2.5 มาตรฐานการเชื่อมต่อ และระบบสัญญาณ

ในโลกของการสื่อสารข้อมูลมีการระบุถึงมาตรฐานต่าง ๆ มากมายที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล รวมไปถึงการเชื่อมต่อแต่ละชนิด ปัจจัยประการเดียวที่ก่อให้เกิดมาตรฐานในการเชื่อมต่อขึ้นมากมายก็คือความต้องการในการรับส่งข้อมูลผ่านจุดเชื่อมต่อ และช่องสื่อสารโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือ

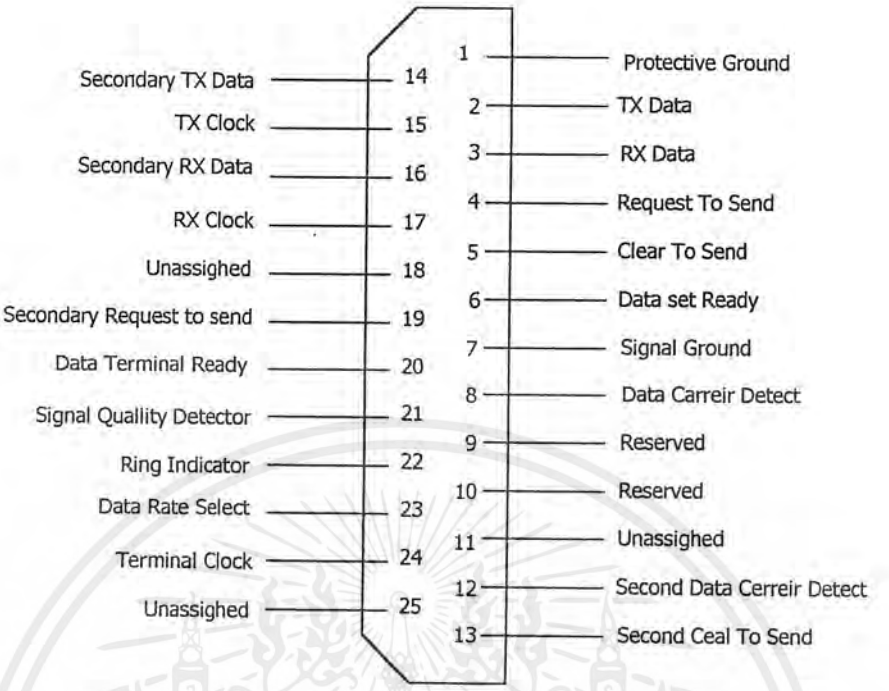
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดต่อเนื้อหาของข้อมูลสำหรับจุดเชื่อมต่อที่มีความสำคัญมากที่สุดก็คงจะเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ข้อมูลปลายทาง เช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์เทอร์มินอลกับอุปกรณ์ อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลซึ่งก็ได้แก่โมเด็ม มาตรฐานในการเชื่อมต่อชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น RS-232, V.24, RS-422, RS-423, RS-449, X.21 หรือแม้กระทั่ง X.25 ก็ล้วนแล้วแต่เป็นมาตรฐานที่ช่วยทำให้การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์, เทอร์มินอล, โมเด็ม หรือแม้กระทั่งเครือข่ายคอมพิวเตอร์เป็นไปโดยง่ายในโลกยุคปัจจุบันมาตรฐานการเชื่อมต่อที่ได้รับการยอมรับ ใช้งานอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์หรือระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูลคงหลีกหนีไม่พ้นมาตรฐาน RS-232 ซึ่งได้รับการกำหนดขึ้นโดยองค์กรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (EIA) บทความในส่วนที่เหลือทั้งหมดนี้จะเป็นการกล่าวถึงมาตรฐาน RS-232 ในด้านต่าง ๆ รวมถึงข้อจำกัดในการใช้งาน

สำหรับมาตรฐานการเชื่อมต่อ RS-232 ที่นิยมใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันเป็นรุ่น C ซึ่งนิยมเรียกกันว่า RS-232C อย่างไรก็ตามในระยะหลังได้มีการออกข้อกำหนด RS-232 รุ่น D และ E ตามออกมา ซึ่งแต่ละรุ่นจะมีคุณสมบัติในการใช้งานเหมือนกันแต่จะเพิ่มขีดความสามารถพิเศษเข้าไป อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปมักนิยมใช้มาตรฐาน RS-232 หรือที่ตรงกับมาตรฐาน V.24 ของ ITU ในการกำหนด และระบุคุณลักษณะของมาตรฐาน ทั้ง 3 รุ่น ในส่วนของอุปกรณ์เชื่อมต่อซึ่งหลายคนเชื่อว่ามาตรฐาน RS-232 ได้ระบุถึงการใช้งานคอนเนกเตอร์ (Connector) แบบ DB-25 เพิ่งจะได้รับการเขียนขึ้นในมาตรฐาน RS-232D ซึ่งระบุถึงการใช้คอนเนกเตอร์ตัวเมียสำหรับอุปกรณ์ DCE โดยสามารถใช้งานได้กับสายนำสัญญาณที่ยาวไม่เกิน 50 ฟุต และมีความจุทางไฟฟ้า 2,500 พิโกฟารัด อย่างไรก็ตามในกรณีของเครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Note Book) และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ต้องการประหยัดเนื้อที่ของเครื่องมักนิยมกำหนดใช้คอนเนกเตอร์แบบ DB-9 เป็นพอร์ตเชื่อมต่อแบบอนุกรมแทน รูปที่ 2.6 แสดงรูปร่าง และการจัดวางขาสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232D

นอกจากคุณสมบัติทางกลศาสตร์แล้ว มาตรฐาน RS-232 ยังระบุถึงข้อกำหนดทางไฟฟ้า และฟังก์ชั่น (function) การทำงานต่าง ๆ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการนำไปใช้งานมีการระบุถึงระดับแรงดันไฟฟ้า และขนาดของกระแสที่เหมาะสมสำหรับแต่ละขา ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นเมื่อขานำสัญญาณเกิดการลัดวงจรระหว่างกัน มาตรฐาน RS-232 ยังมีการระบุถึงขีดความสามารถในเรื่องของการรับสายอัตโนมัติโดยโมเด็ม และการสลับทิศทางสื่อสารข้อมูลในกรณีของการเชื่อมต่อแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ อย่างไรก็ตามผู้ผลิตโมเด็มในระยะหลังได้ทำการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษในเรื่องของการหมุนเลขหมายโทรศัพท์อัตโนมัติเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6 การจัดวางขาของพอร์ตเชื่อมต่อตามมาตรฐานแบบ RS-232

2.5.1 พอร์ตอนุกรม (Serial Port)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานตามมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232-C กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232-C เท่านั้น ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดโดย EIA ซึ่งเป็นองค์กรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา โดยแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ลักษณะคือ DTE (Data Terminal Equiment) และDCE (Data Communication Equipment) ซึ่งโดยปกติ DTE จะต้องต่อเข้ากับ DCE เสมอ เช่น การต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้ากับโมเด็ม เป็นต้น

พอร์ตอนุกรม RS-232-C จะเป็นพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขาต่อทั้งประเภท 9 และ 25 ขา และเราเรียกว่าพอร์ต COM1 และCOM2 นั่นเอง ในความเป็นจริงพอร์ตอนุกรมไม่ได้ถูกควบคุมโดยตรงจากหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) บนเมนบอร์ดแต่การสื่อสารทั้งหมดจะถูกจัดการโดยชิปควบคุมการอินเตอร์เฟสผ่านพอร์ตอนุกรม (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter : UART) ซึ่งในปัจจุบันเบอร์ที่ใช้กันมากที่สุดก็คือเบอร์ 16550C ซึ่งเป็นเวอร์ชัน (version) ที่ได้รับการแก้ไขข้อผิดพลาดแล้วซึ่ง ชิปควบคุมการอินเตอร์เฟสผ่านพอร์ตอนุกรมนี้จะทำหน้าที่ในการรับ และส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

2.5.2 การส่งข้อมูล (Data Tranmission)

รับตัวอักษรจากเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วแปลงตัวอักษรให้เป็นสายข้อมูลแบบบิตสร้างเฟรมข้อมูลโดยการเพิ่มบิตที่จำเป็นสำหรับการสื่อสาร และการตรวจสอบ เช่น บิตเริ่มต้น บิตสิ้นสุด และบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

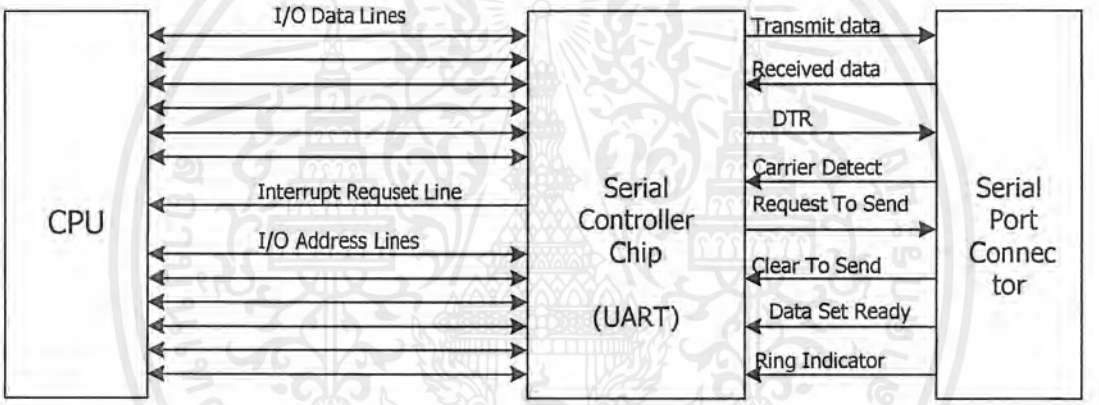
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พาริตี้ เป็นต้น ส่งผ่านเฟรมข้อมูลที่สร้างขึ้นมาแล้วจากขั้นตอนที่ผ่านมาด้วยความเร็วของโมเด็มหรือพอร์ตอนุกรมแสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

2.5.3 การรับข้อมูล (Data Receiver)

รับตัวอักษรจากอินเตอร์เฟสตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐานเฟรมที่กำหนด โดยถ้าหากเฟรมข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่ถูกต้องก็จะมีการแจ้งข้อผิดพลาดทันทีตรวจสอบความถูกต้องของพาริตี้แปลงสายข้อมูลแบบบิตให้เป็นตัวอักษร

ส่งตัวอักษรให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับอินเตอร์เฟส สำหรับการเชื่อมต่อสายสัญญาณต่าง ๆ ระหว่างหน่วลประมวลผลกลางของเมนบอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์กับพอร์ตอนุกรมนั้นจะต้องกระทำผ่านทางชิปควบคุมการอินเตอร์เฟสผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งจะมีวิธีการเชื่อมต่อดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่าง CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์กับพอร์ตอนุกรม

จากรูปที่ 2.7 ผู้อ่านจะเห็นว่าการเชื่อมต่อระหว่าง ชิปควบคุมการอินเตอร์เฟสผ่านพอร์ตอนุกรมกับพอร์ตอนุกรมนั้นมีสายสัญญาณมากมายที่จะช่วยให้การสื่อสารมีความถูกต้องมากขึ้น โดยที่สายสัญญาณแต่ละเส้นมีความหมาย ดังต่อไปนี้

2.5.4 สัญญาณข้อมูลการส่ง (Transmit Data : TD)

เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณข้อมูลการส่ง ซึ่งถูกส่งจาก DTE ไปยัง DCE ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมาอาจจะเป็นโค้ด (Code) คำสั่งของโมเด็มหรือข้อมูลก็ได้

2.5.5 สัญญาณข้อมูลการรับ (Received Data : RD)

เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณ ข้อมูลการรับ ซึ่งถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมาอาจจะเป็นโค้ดคำสั่งของโมเด็มหรือข้อมูลก็ได้ ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีทิศทางการส่งตรงข้ามกับสัญญาณข้อมูลการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37129

2.5.6 สัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสารจาก DTE ไปยัง DCE (Data Terminal Ready : DTR)

สัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสาร จะถูกส่งจาก DTE ไปยัง DCE เพื่อเป็นการแจ้งความพร้อมในการสื่อสารให้โมเด็มได้ทราบโดยถ้าหากโมเด็ม (อุปกรณ์ DCE) มีความสามารถในการตอบรับแบบอัตโนมัติ (Automatically answer)โมเด็มก็จะสามารถตอบรับได้เฉพาะเมื่อสัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสาร อยู่ในสถานะ On เท่านั้น

2.5.7 สัญญาณแคร์เรียร์ดีเท็ค (Carrier Detect : CD)

สัญญาณแคร์เรียร์ดีเท็ค จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE เพื่อเป็นการแจ้งว่าโมเด็มอยู่ในสถานะกำลังติดต่อกับโมเด็มตัวอื่น หรือโมเด็มกำลังได้รับสัญญาณที่พร้อมสำหรับการติดต่อสื่อสาร

2.5.8 สัญญาณแสดงความต้องการในการส่งข้อมูล (Request To Send : RTS)

สัญญาณแสดงความต้องการในการส่ง จะถูกส่งจาก DTE ไปยัง DCE โดยเมื่อสัญญาณ RTS อยู่ในสถานะ On ก็หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลจากโมเด็ม และในทางกลับกันถ้าหากสัญญาณ RTS อยู่ในสถานะ Off ก็หมายถึง เครื่องคอมพิวเตอร์ไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลจากโมเด็ม

2.5.9 สัญญาณแสดงความไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล (Clear To Send : CTS)

สัญญาณแสดงความไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE ซึ่งเป็นสัญญาณที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกับสัญญาณแสดงความต้องการในการส่ง โดยเมื่อสัญญาณแสดงความไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล อยู่ในสถานะ On ก็หมายถึง โมเด็มพร้อมที่จะรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์และในทางกลับกันถ้าหากสัญญาณแสดงความไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลอยู่ในสถานะ Off ก็หมายถึง โมเด็มไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์

2.5.10 สัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสารจาก DCE ไปยัง DTE (Data Set Ready : DSR)

สัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสาร จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE เพื่อเป็นการแจ้งความพร้อมในการสื่อสารจากโมเด็มให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทราบ โดยสัญญาณแจ้งความพร้อมในการสื่อสาร จะอยู่ในสถานะ On ก็ต่อเมื่อโมเด็มได้รับสัญญาณ แจ้งความพร้อมในการสื่อสารเท่านั้น

2.5.11 สัญญาณริงอินดิเคเตอร์ (Ring Indicator : RI)

สัญญาณริงอินดิเคเตอร์ จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE เพื่อเป็นการแจ้งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทราบว่า โมเด็มกำลังได้รับสัญญาณกระดิ่ง (Ring signal) จากโมเด็มตัวอื่น โดยที่สัญญาณริงอินดิเคเตอร์จะอยู่ในสถานะ On โมเด็มได้รับสัญญาณกระดิ่ง และ Off เมื่อโมเด็มไม่ได้รับสัญญาณกระดิ่ง เนื่องจากโมเด็มรุ่นใหม่ ๆ ในปัจจุบันมักจะมีความสามารถในการตอบรับแบบอัตโนมัติ

2.6 ข้อจำกัดในการใช้งานของมาตรฐาน RS-232

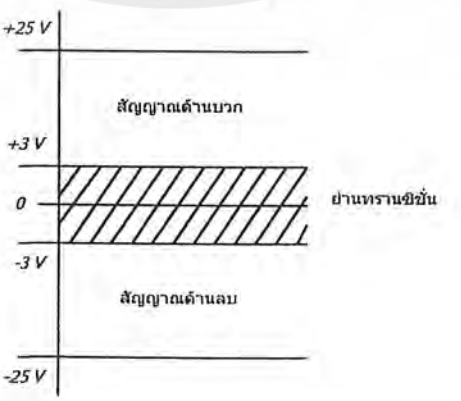
แม้ว่ามาตรฐาน RS-232 มีจุดด้อยในเรื่องขีดความสามารถในการควบคุมการรับส่งข้อมูลก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติแล้วการควบคุมการรับส่งข้อมูลจะเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์ใช้งาน ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่า โดยฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซึ่งแนวความคิดดังกล่าวก็สอดคล้องกับการวางข้อกำหนดแบบจำลอง OSI (Open System Interconnect) อยู่แล้ว อย่างไรก็ตามมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังมีข้อจำกัดอื่น ๆ ในการใช้งานอันเกิดจากโครงสร้างทางกายภาพในส่วนสุดท้ายนี้ผู้เขียนจะได้ถึงข้อกำหนดทางกายภาพซึ่งแบ่งออกเป็นข้อจำกัดในด้านระยะทาง ข้อจำกัดในด้านอัตราเร็วและข้อจำกัดอันเกิดจากระบบกราวด์

ข้อจำกัดประการแรกของ RS-232 ก็คือระยะทางในการใช้งานซึ่งไม่สามารถใช้งานได้เกิน 50 ฟุต แม้พบว่าสามารถเพิ่มระยะทางออกไป และยังส่งข้อมูลได้ในอัตราเร็วที่สูง แต่ความยาวที่เพิ่มขึ้นได้นี้ก็ไม่มากนัก และยังเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อเนื้อหาข้อมูลที่ส่งผ่านไปด้วยอย่างไรก็ตามข้อจำกัดดังกล่าวก็ไม่ถึงกับเป็นจุดด้อยของ RS-232 ทั้งนี้เพราะในการใช้งานโดยทั่วไปโมเด็มจะอยู่ใกล้เคียงกับเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์เทอร์มินอล ส่วนของการในระยะไกลจะกระทำผ่านคู่สายโทรศัพท์โดยผ่านการมอดูเลตสัญญาณแต่สำหรับการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ใกล้กันโดยตรงด้วยการใช้สายนำสัญญาณ RS-232 ซึ่งในกรณีนี้อาจไม่จำเป็นต้องใช้โมเด็มเป็นสื่อกลางข้อจำกัดของระยะทางจะกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาทันที

มาตรฐาน RS-232 กำหนดให้อุปกรณ์ด้านส่งสร้างแรงดันในช่วง +5 โวลต์ ถึง +25 โวลต์เพื่อใช่แทน ลอจิก "0" และสร้างแรงดันในช่วง –5 โวลต์ ถึง –25 โวลต์ สำหรับใช้แทนลอจิก "1" ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือช่วงแรงดันดังกล่าวแตกต่างจากช่วงแรงดันที่ใช้ในการอ้างอิงระดับลอจิกที่ใช้งานในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นแรงดันในช่วงการทำงานของวงจรรวมแบบทีทีแอล (TTL) หรือ มอส (MOS) นั่นเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องมีการป้อน แรงดันไฟฟ้า +/-12 โวลต์ ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับการสื่อสารผ่านจุดเชื่อมต่อแบบ RS-232 จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าอุปกรณ์ภาครับจะถือว่าแรงดันที่ได้รับสูงเกินกว่า 3 โวลต์ เป็นลอจิก "0" และแรงดันที่ต่ำกว่า –3 โวลต์ เป็นลอจิก "1" การเปลี่ยนแปลงขั้วแรงดันจะต้องทำให้สำเร็จภายในเวลา 1/20 ของ ความกว้างบิตข้อมูลนอกจากนี้มาตรฐาน RS-232 ยังมีการจำกัดค่าความจุสเตรย์ (Stray Capacitance) ในสายนำสัญญาณมิให้สูงเกินกว่า 2500 ฟิโกฟารัด มิฉะนั้นจะส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาขาขึ้นของสัญญาณทำให้ใช้เวลามากขึ้นเกินกว่า 2500 ฟิโกฟารัด มิฉะนั้นจะส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาขาขึ้นของสัญญาณทำให้ใช้เวลามากขึ้นเกินกว่า 1/20 ของความกว้างบิตด้วยเหตุดังกล่าว เมื่อพิจารณาถึงสายนำสัญญาณทั่วไปซึ่งมีค่าความจุในช่วง 40 ถึง 50 พิโกฟารัดต่อระยะทางหนึ่งฟุต จึงทำให้ระยะทางสูงสุดของสายนำสัญญาณมีค่าได้ไม่เกิน 50 ฟุต (2,500/50 = 50)

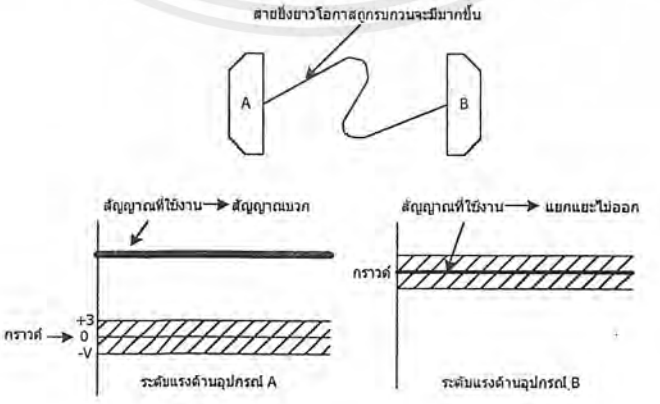


รูปที่ 2.8 การกำหนดระดับสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232 ทางด้านอุปกรณ์ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับโมเด็มผ่านพอร์ตอนุกรมแบบ RS -232 อาจกลายเป็นข้อจำกัดในการใช้งานได้อีกประการหนึ่งอัตราเร็วสูงสุดที่สามารถรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสาร RS-232 โดยใช้สายนำสัญญาณยาว 50 ฟุตจะถูกจำกัดไว้ที่ 20,000 บิตต่อวินาที ดังนั้นอัตราเร็วในการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับโมเด็มจะทำได้สูงสุดที่ 19,200 บิตต่อวินาที ซึ่งก็เรียกได้ว่าไม่เลวนักสำหรับการใช้งานในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามสายนำสัญญาณ RS-232 ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปมักจะมีความยาวไม่มากนักอย่างมากก็ไม่เกิน 12 ฟุต จึงทำให้สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ที่อัตราเร็วสูงกว่า 20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งไม่ถือเป็นการฝืนมาตรฐาน RS-232 แต่ประการใด เนื่องจากสายนำสัญญาณสั้นกว่าขีดจำกัดสูงสุด ในกรณีของการสื่อสารผ่านโมเด็มโดยไม่มีการบีบอัดข้อมูล ตัวอย่างเช่นโมเด็มอัตราเร็ว 33.6 กิโลบิตต่อวินาทีอัตราเร็วของข้อมูลที่ส่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปสู่โมเด็ม และอัตราเร็วของข้อมูลที่โมเด็มส่งผ่านคู่สายโทรศัพท์จะมีค่าเท่ากันผู้ใช้งานจะสามารถส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ของตนด้วยอัตราเร็วค่าดังกล่าวได้โดยไม่มีปัญหาแต่ประการใด

อย่างไรก็ตามหากโมเด็มที่ใช้มีฟังก์ชั่นบีบอัดข้อมูลร่วมอยู่ด้วยก็จะทำให้อัตราเร็วของข้อมูลที่ส่งผ่านคู่สายโทรศัพท์ต่ำกว่าอัตราเร็วของข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนจะต่ำกว่าเท่าใดนั้นก็จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูล และเนื้อหาของข้อมูลที่กำลังส่งในขณะนั้นสมมติง่าย ๆ ว่าประสิทธิภาพในการบีบอัดข้อมูลมีค่าเป็น 4 เท่าตายตัวการส่งข้อมูล 10,000 บิต ภายในหนึ่งวินาทีจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มจะทำให้มีข้อมูลส่งออกจากโมเด็มผ่านคู่สายโทรศัพท์เพียง 2,500 บิต ภายในหนึ่งวินาทีเช่นกัน ดังนั้นเมื่อคิดถึงโมเด็มที่มีอัตราเร็ว 33.6 กิโลบิตต่อวินาที ที่มีฟังก์ชั่นบีบอัดข้อมูลภายในช่วง 2 ถึง 4 เท่า หากผู้ใช้งานต้องการให้โมเด็มส่งข้อมูลออกไปด้วยอัตราเร็วสูงสุดตลอดเวลาก็จะต้องทำให้พอร์ตแบบอนุกรม RS-232 ของตนสามารถรองรับการส่งข้อมูลได้ในช่วงอัตราเร็วระหว่าง 67.2 กิโลบิตต่อวินาที จนถึง 134.4 กิโลบิตต่อวินาที อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์เฟสผ่านพอร์ตอนุกรมกับพอร์ตอนุกรม ที่ฝังอยู่ในวงจรควบคุมพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์จะไม่สามารถควบคุมคุณภาพการรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว สูงกว่า 115.2 กิโลบิตต่อวินาที ผู้ผลิตโมเด็มบางรายจึงกำหนดให้ใช้งานโมเด็มของตนกับพอร์ตอนุกรมอัตราเร็วสูง หรือมิฉะนั้นก็ออกแบบโมเด็มให้สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตสื่อสารแบบขนานบนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้การควบคุมจากซอฟต์แวร์ (Software) โดยตรง



รูปที่ 2.9 ปัญหาจากความแตกต่างของกราวด์ในการเชื่อมต่อผ่านมาตรฐาน RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดประการที่สามเป็นเรื่องของระบบกราวด์ จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อสายนำสัญญาณมีความยาวมากขึ้นแม้จะมีการกำหนดให้สัญญาณควบคุม และสัญญาณข้อมูลแต่ละขาอ้างอิงกับสัญญาณกราวด์ขาที่ 7 ก็ตาม แต่เมื่อใดที่ความต่างศักย์ของกราวด์ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารต้นทาง และอุปกรณ์สื่อสารปลายทางมีความแตกต่างกัน ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อสายนำสัญญาณมีความยาวมากการตัดสินข้อมูลจากระดับแรงดันสัญญาณที่ได้รับที่อุปกรณ์สื่อสารปลายทางจะเกิดความผิดพลาดทั้งนี้เพราะความแตกต่างของระดับกราวด์อาจทำให้ย่านการตัดสินใจถูกยกสูงขึ้นดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9 ซึ่งอุปกรณ์สื่อสารปลายทางไม่สามารถบอกลอจิกของสัญญาณที่ได้รับอย่างถูกต้อง นอกจากนั้นในกรณีของการใช้สายนำสัญญาณที่มีความยาวมาก โดยอุปกรณ์สื่อสารทั้งสองด้านมีความต่างศักย์ของระดับกราวด์หากอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมากเท่าใดโอกาสในการเกิดปัญหาลักษณะดังกล่าวก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

2.7 การมอดูเลต และดีมอดูเลตทางความถี่

การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM) นั้น สัญญาณที่ต้องการส่งหรือสัญญาณข่าวสาร (Message signal) จะไปทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) เกิดการเปลี่ยนแปลงถ้าสัญญาณมีค่าเป็นบวกก็จะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะสูงขึ้น และเมื่อสัญญาณเป็นลบก็จะทำให้คลื่นความถี่ของคลื่นพาหะลดลง หรือในทางตรงข้ามขนาดของสัญญาณจะเป็นตัวทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลง

2.7.1 สัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation signals)

สัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ คือ สัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลตที่เปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาหะตามขนาดของสัญญาณข่าวสาร โดยสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตจะมีรูปสมการทั่วไป คือ

$$x_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi(t))$$

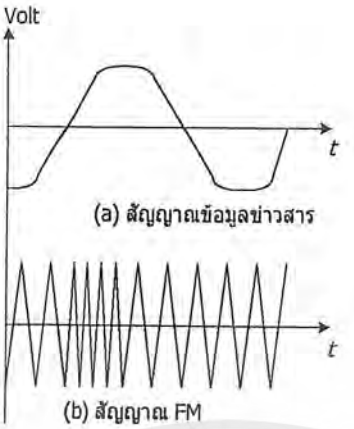
ความถี่ขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous frequency) ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตสามารถเขียนได้เป็น

$$\omega_i(t) = d\theta_i(t) / dt = \omega_c + (d\phi(t) / dt)$$

โดยที่ $\phi(t)$ และ $d\phi(t)/dt$ คือค่าความถี่เบี่ยงเบนของเฟส และความถี่ตามลำดับ (phase and frequency deviation) ส่วนของ ω_c จะคงที่ และส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงก็คือ $d\phi(t)/dt$

จากรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของการมอดูเลตทางความถี่จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ มีค่าคงที่เสมอจะมีแต่ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข่าวสารเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นของสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่

2.7.2 ไซด์แบนด์ และแบนวิทด์ของการมอดูเลตทางความถี่

ในที่นี้จะพิจารณาสัญญาณข่าวสารที่เป็นรูปไซน์ โดยจะเกิดไซด์แบนด์ (Sideband) จำนวนนับอนันต์ และในสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่จะมีขนาดหรือแอมปลิจูด (Ampiltude) คงที่เสมอ ซึ่งหมายความว่า "กำลังของคลื่นพาหะย่อมกระจายไปอยู่ในไซด์แบนด์ ความสัมพันธ์ของคลื่นพาหะกับไซด์แบนด์ในการมอดูเลตทางความถี่จะขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)" เนื่องจากดัชนีการมอดูเลตเป็นตัวกำหนดจำนวนของไซด์แบนด์ที่สำคัญ

2.7.2.1 ดัชนีการมอดูเลต

$$\textit{ดัชนีการมอดูเลต} : m = f_d \,/\, f_m$$

เมื่อ f_d คือความถี่เบี่ยงเบน

f_m คือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

ค่า m จะมีค่าสูงดังนั้นค่า m จะขึ้นอยู่กับค่าของความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตแต่ในทางปฏิบัติแล้วนิยมวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (Diviation Ratio) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่ระหว่างความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

$$\textit{ดัชนีกการเบี่ยงเบน} : \Delta = f_{d\max} \,/\, f_{m\max}$$

ดังนั้นในระบบการมอดูเลตทางความถี่ เมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตจะทำให้การเบี่ยงเบนความถี่คลื่นพาหะมากขึ้น โดยที่ในระบบวิทยุกระจายเสียง การมอดูเลตทางความถี่จะกำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดได้ไม่เกิน 75 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 ไซด์แบนด์ของการมอดูเลตทางความถี่ (Sideband of FM)

เมื่อเราทราบดัชนีการมอดูเลตของสัญญาณแล้วเราจะสามารถหาไซด์แบนด์ของการมอดูเลตทางความถี่ได้ โดยจากรูปที่ 3.2 เมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็นศูนย์จะมีเฉพาะคลื่นพาหะอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นไซด์แบนด์จะเป็นศูนย์ด้วย แต่เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นจะทำให้จำนวนไซด์แบนด์เพิ่มขึ้นด้วย และ แอมปลิจูดของไซด์แบนด์ก็จะเพิ่มขึ้น แต่แอมปลิจูดของพาหะกลับเล็กลงจนกระทั้งการมอดูเลตเท่ากับ 2.4 คลื่นพาหะจะเป็นศูนย์ ขณะนี้กำลังของการมอดูเลตทางความถี่จะไปอยู่กับไซด์แบนด์ทั้งสิ้น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นอีก (ค่าลบแสดงว่าเฟสตรงข้ามกับตอนแรก) สังเกตว่าจุดที่คลื่นพาหะเป็นศูนย์มีอยู่หลายจุด

ตารางที่ 2.3 การกระจายคลื่นพาหะ และไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่าง ๆ

ดัชนีการมอดูเลต	พาหะ	ไซด์แบนด์คู่ที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	1.00								
0.25	0.98	0.12							
0.5	0.94	0.24	0.03						
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02					
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01				
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03				
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02			
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01		
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02

2.7.2.3 แบนวิด์ธของการมอดูเลตทางความถี่ (Bandwidth of FM)

ในระบบการมอดูเลตทางความถี่ ไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ $f_c + f_m$ และ $f_c - f_m$ ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ $f_c + 2f_m$ และ $f_c - 2f_m$ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นแบนด์วิทด์ของการมอดูเลตทางความถี่ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกตัวนั่นคือ แบนด์วิด์ธจะขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลตและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต และจากสมการดัชนีการมอดูเลต ถ้าเราทราบค่าความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณ มอดูเลตเราจะหาแบนวิด์ธได้ จากสมการ

$$BW = 2fm*Sidebands$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติจะคำนวณจากสมการแบนวิดธแบบประมาณ

$$BW = 2(fd\ max + fm\ max)$$

2.7.3 วิธีการกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่

ในการกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่นั้นโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ โดยทางตรง และ โดยทางอ้อมดังนี้

2.7.3.1 วิธีกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่โดยตรง (Direct FM)

จะใช้วงจรออสซิเลเตอร์ (Oscillator) ที่ควบคุมด้วยแรงดันที่ให้กำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ โดยหลักการของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ (Voltage Controled Oscillator) นี้ จะใช้หลักการของวาริแคปไดโอด (Varicap Diode) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าได้ตามแรงดันไบอัสย้อนกลับที่ตกคร่อมตัวมันดังนั้นจากสมการหาค่าความถี่ของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ คือ

$$f = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$$

เมื่อค่าความจุเปลี่ยนก็จะทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยทำให้สามารถกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ได้ วิธีการสร้างแบบนี้มีข้อดีที่ช่วงเบี่ยงเบนความถี่กว้างแต่มีข้อเสียคือ ความถี่ของตัวพาหะจะไม่คงที่เท่าที่ควรจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มวงจรส่วนที่ช่วยรักษาความถี่ให้คงที่

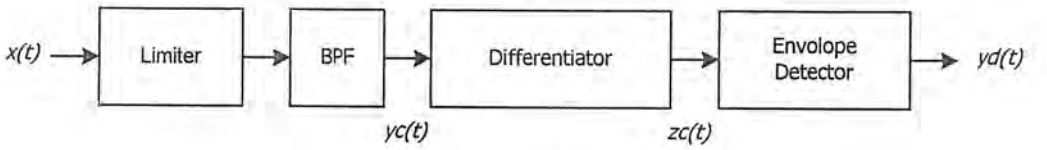
2.7.3.2 วิธีกำเนิดสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม (Indirect FM)

จะทำการสร้างสัญญาณแถบความถี่แคบ (Narrow Band FM : NBFM) ขึ้นมาก่อน โดยที่การมอดูเลตแบบบาลานซ์ (Balance Modulate) แล้วนำสัญญาณแถบความถี่แคบดังกล่าวมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณแถบความถี่กว้าง (WBFM) จากสัญญาณแถบความถี่แคบ โดยที่ใช้วงจรคูณความถี่ โดยอาศัยหลักการที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Divice) จากนั้นก็ผ่านวงจรกรองความถี่แบบแถบความถี่ (Bandpass Filter : BPF) เอาเฉพาะช่วงที่ใช้งาน

2.7.4 การดีมอดดูเลทของการมอดูเลตทางความถี่ (FM Demodulation)

จากรูปที่ 2.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการดีมอดดูเลทของการมอดูเลตทางความถี่ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนของวงจรลิมิเตอร์ (Limiter), วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน, วงจรดิฟเฟอรเรนชิเอเตอร์ (Ditterentiator) และดีเท็คเตอร์ (Envelope Detecter) โดยส่วนวงจรดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์ และดีเท็คเตอร์จะเรียกรวมกันว่า ดิสครีมิเนเตอร์ (discriminator) ซึ่งเป็นส่วนที่เปลี่ยนสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ให้กลับมาเป็นสัญญาณข่าวสารดังเดิม

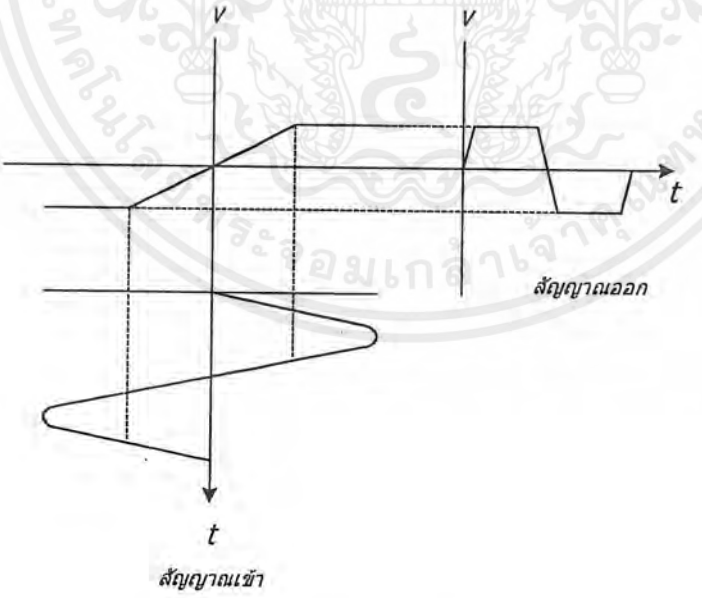
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมการดีมอดูเลตของการมอดูเลตทางความถี่

2.7.4.1 ลิมิเตอร์ (Limiter)

ในระบบการมอดูเลททางความถี่ ความถี่ของตัวพาหะจะเปลี่ยนตามสัญญาณข่าวสาร ส่วนขนาดจะมีค่าคงที่เสมอ ฉะนั้นการผันแปรของขนาดตัวพาหะจะต้องเกิดจากเสียงรบกวนเพียงอย่างเดียว ลิมิเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการจำกัดการผันแปรของขนาดของเสียงรบกวนได้ วงจรลิมิเตอร์นี้ออกแบบเพื่อให้แรงดันขาออกสัมพันธ์กับแรงดันขาเข้าดังรูปที่ 2.12 ถ้าสัญญาณขาเข้ามีขนาดต่ำกว่าระดับจำกัด (limiting level) ของลิมิเตอร์สัญญาณขาออกจะแปรตามสัญญาณขาเข้าทุกประการอย่างไรก็ตามปกติขนาดของตัวพาหะมักจะมีค่ามากกว่าระดับจำกัดของลิมิเตอร์ผลของการผ่านลิมิเตอร์จะได้รูปคลื่นขาออกเป็นคลื่น สแควร์ (square) เมื่อคลื่นสแควร์ผ่านเครื่องกรองความถี่ผ่านแถบความถี่ที่ยอมให้ความถี่พื้นฐานของคลื่นสแควร์ผ่านได้เท่านั้นจะได้สัญญาณขาออกของวงจรกรองเป็นคลื่นไซน์ดังเดิมในวงจรกรองลิมิเตอร์และวงจรกรองผ่านแถบความถี่ประกอบกันเป็นอุปกรณ์ชิ้นเดียวกันจึงไม่สามารถเห็นรูปคลื่นสแควร์

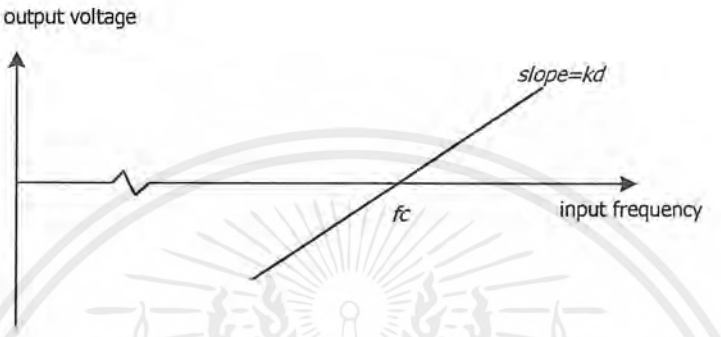


รูปที่ 2.12 ลักษณะของสัญญาณเมื่อผ่านลิมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4.2 ดิสครีมิเนเตอร์ (Discriminator)

ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นวงจรที่แปลงสัญญาณขาออกที่มีขนาดผันแปรตามความถี่ขณะใดขณะหนึ่งของตัวพาหะ ส่วนที่สองเป็นวงจรดีเท็คเตอร์ ส่วนนี้ทำหน้าที่ดีมอดูเลเตอร์รูปคลื่นแอมปลิจูดมอดูเลตจากส่วนแรกจากนั้นจะผ่านเข้าไปในวงจรกรองแถบความถี่ผ่านจะได้สัญญาณข่าวสารตามต้องการ รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะสมบัติของเอฟเอ็มดิสครีมิเนเตอร์ ทั้งที่เป็นอุดมคติ และในทางปฏิบัติ



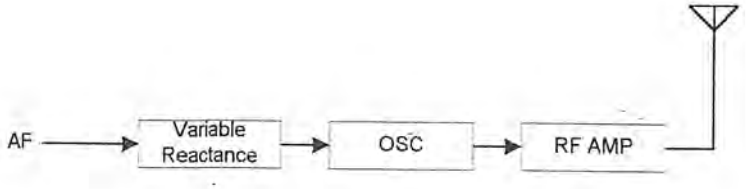
รูปที่ 2.13 ลักษณะคุณสมบัติของดิสครีมิเนเตอร์

จากรูปที่ 2.13 เป็นคุณสมบัติของดิสครีมิเนเตอร์ คือ แรงดันที่เอาท์พุตจะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับความถี่ที่เข้ามาทางอินพุต โดย kd คือ ค่าคงที่ของดิสครีมิเนเตอร์ ซึ่งคุณสมบัติแสดงดังรูปที่ 2.13 ถ้าประมาณให้ส่วนของดิสครีมิเนเตอร์เป็นไปตามอุดมคติแล้วสัญญาณที่ผ่านดิฟเฟอร์เรนชิเอเตอร์นี้จะออกมาเป็นสัญญาณการมอดูเลตทางแอมปลิจูด (Amplitude Modulation : AM) แล้ว จากนั้นก็จะผ่านการดีเท็คเตอร์ในแบบ การมอดูเลตทางแอมปลิจูด ได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมาดังเดิม

2.7.5 ระบบการรับ-ส่ง ของการมอดูเลตทางความถี่

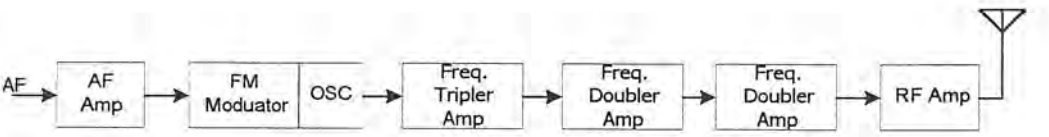
2.7.5.1 ภาคส่งของการมอดูเลตทางความถี่

ภาคส่งของการมอดูเลตทางความถี่จะมีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นเครื่องส่งพื้นฐาน โดยจะมีอุปกรณ์วาแร็กเตอร์ (Varactor) ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความจุตามแรงดันย้อนกลับทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงได้เป็นสัญญาณการมอดูเลททางความถี่ แล้วผ่านภาคขยาย RF แล้วส่งออกไป



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของการมอดูเลททางความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งของการมอดูเลตทางความถี่แบบคูณความถี่

ในรูปที่ 2.15 แสดงการใช้ความถี่ของออสซิเลเตอร์ 8 เมกะเฮิรตซ์ และมัลติพลาย (Multiply) (หรือคูณ) ความถี่ขึ้นไปเป็น 96 เมกะเฮิรตซ์ การคูณความถี่นี้สามารถทำได้โดยใช้วงจรมัลติพลาย หลักการของวงจรมัลติพลายก็คือ ใช้คุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) ของวงจรขยายซึ่งทำให้เกิดสัญญาณ ฮาร์มอนิกมาจำนวนมาก จากนั้น วงจรแทงค์ (tank) ที่เอาท์พุตจะจูนเอาเฉพาะความถี่ฮาร์มอนิก (Harmonic) ที่ต้องการไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปวงจรมัลติพลายมักเป็นชนิดคูณ 2 (เรียกว่าดับเบลอร์หรือ doubler) หรือชนิดคูณ 3 (เรียกว่าทริปเปลอร์หรือ tripler) ในที่นี้เราจะใช้วงจรคูณ 3 จำนวน 1 วงจร และวงจรคูณ 2 อีก 2 วงจร นั้นคือ $3\times2\times2 = 12$ เท่าฉะนั้นความถี่เอาท์พุตจะเป็น 8 เมกะเฮิรตซ์ คูณ 12 จะได้ 96 เมกะเฮิรตซ์

ช่วงความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณวิทยุกระจายเสียงของการมอดูเลตทางความถี่เท่ากับ ±75 กิโลเฮิรตซ์ ฉะนั้นเอาท์พุทจะต้องมีความถี่เบี่ยงเบนไปเท่ากับค่านี้ เมื่อสัญญาณเสียงมอดูเลตอย่างไรก็ดี การมัลติพลายความถี่จะทำให้ปริมาณความถี่เบี่ยงเบนถูกคูณให้กว้างขึ้นไปด้วย เช่น ออสซิลเลเตอร์ 8 เมกะเฮิรตซ์ เบี่ยงเบนอยู่ระหว่าง 7.9 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 8.1 เมกะเฮิรตซ์ (±0.1 เมกะเฮิรตซ์) เมื่อคูณ 12 เท่าพาหะมีความถี่กลางเป็น 96 เมกะเฮิรตซ์ และเบี่ยงเบนอยู่ระหว่าง 94.8 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 97.2 เมกะเฮิรตซ์ (±1.2 เมกะเฮิรตซ์) ดังนั้นถ้าหากเราต้องการให้ความถี่เบี่ยงเบนเป็น ±75 กิโลเฮิรตซ์ เอาท์พุต ความถี่ออสซิลเลเตอร์จะเบี่ยงเบนไปเท่ากับ $\pm75/12 = 6.25$ กิโลเฮิรตซ์

ข้อดีอีกประการหนึ่งของระบบของการมอดูเลตทางความถี่ ก็คือวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier หรือ PA) สามารถทำงานในคลาส C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะแอมปลิจูดของสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่คงที่ไม่มีผลทำให้ ข่าวสารเพี้ยนแม้จะมีการขลิบยอดสัญญาณข่าวสารนั้นอยู่ในช่วงความเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่เท่านั้น

2.7.5.2 ภาครับของการมอดูเลตทางความถี่

จากรูปที่ 2.16 เป็นภาครับที่ใช้กรรมวิธีซูเปอร์เฮตเทอโรดายน์ (Superheterodyne) ซึ่งประกอบด้วยวงจรขยาย RF (RF Amp), มิกเซอร์ (MIXER), วงจรขยาย IF, วงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator), ส่วนดีมอดูเลต และภาคขยายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของภาครับแบบมอดูเลตทางความถี่

จากรูปที่ 2.16 สัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศจะป้อนเข้าสู่วงจรขยาย RF เพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีขนาดสูงขึ้นแล้วส่งมายังวงจรมิกเซอร์จะทำหน้าที่ผสมสัญญาณจากวงจรขยาย RF กับสัญญาณจากวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ วงจรมิกเซอร์จะทำงานในช่วงที่ไม่ลิเนียร์ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นสัญญาณความถี่ผลต่างกับความสัญญาณความถี่ผลรวมซึ่งตัดทิ้งไปความถี่ผลต่างจะมีค่าเท่ากับความถี่ IF ซึ่งมีค่า 10.7 MHz ป้อนเข้าสู่วงจรขยาย IF วงจรขยาย IF นี้เป็นวงจรขยายเลือกความถี่ที่มีค่าความถี่ศูนย์กลางคงที่ไม่ว่าเราจะจูนวงจรขยาย RF เพื่อรับสัญญาณความถี่ใดก็ตาม สัญญาณโลคอลออสซิลเลเตอร์ที่เข้าไปผสมที่วงจรมิกเซอร์จะต้องมีค่าพอดีและให้ผลลัพธ์ออกมามีค่าคงที่ซึ่งเท่ากับความถี่ IF = 10.7 MHz เสมอ

สัญญาณเอาท์พุตที่ออกมาจากวงจรขยาย IF จะเหมือนกับสัญญาณที่รับได้ที่วงจรขยาย RF ต่างกันแต่ความถี่จะลดลงจากความถี่ RF เป็นความถี่ IF และหลังจากวงจรขยาย IF ก็จะเป็นวงจรลิมิเตอร์เพื่อจำกัดขนาดของสัญญาณโดยที่ความถี่ยังเท่าเดิม จากนั้นก็จะผ่านไปยังส่วนดีมอดูเลตซึ่งได้อธิบายโดยละเอียดไปแล้วเมื่อผ่านการดีมอดูเลตแล้วก็จะได้สัญญาณข่าวสารกลับมาดังเดิม

2.8 หลักการทำงานของฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying)

ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to Analog Convertor) ในการสร้างสัญญาณอนาลอกที่เป็นผลมาจากสัญญาณดิจิตอล หรือสัญญาณข่าวสารในรูปอื่นจะได้มาจากหลักการพื้นฐานของวิธีการ 3 แบบคือ

1. **แอมปลิจูดมอดูเลต (Amplitude Modulation)**
2. **ฟรีเควนซี่มอดูเลต (Frequency Modulation)**
3. **เฟสมอดูเลต (Phase Modulation)**

โดยสัญญาณที่จะถูกส่งออกไป (สัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณข่าวสารต่าง ๆ) จะถูกมอดูเลตทางด้านรับเพื่อแยกสัญญาณข่าวสารเดิมที่ส่งมาออกจากสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) เทคนิคการรวมสัญญาณทางดิจิตอล (Digital Modulation Techniques) ที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางคือ

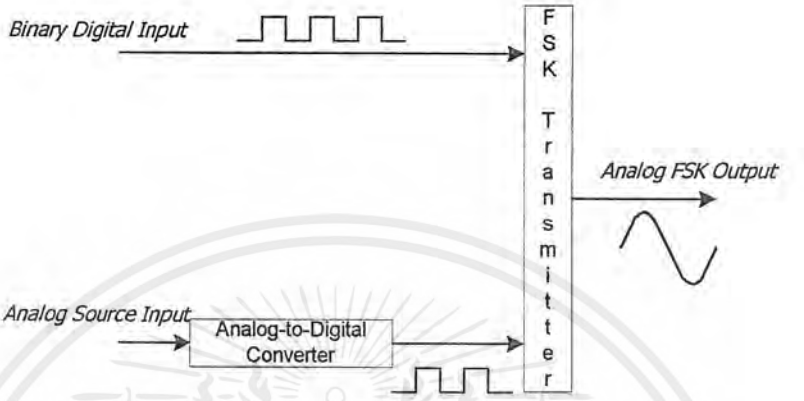
1. **ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying : FSK)**
2. **เฟสชิฟคีย์อิ้ง (Phase Shift Keying : PSK)**
3. **ควอดราเจอร์มอดูเลชั่น (Quadeature Modulation)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

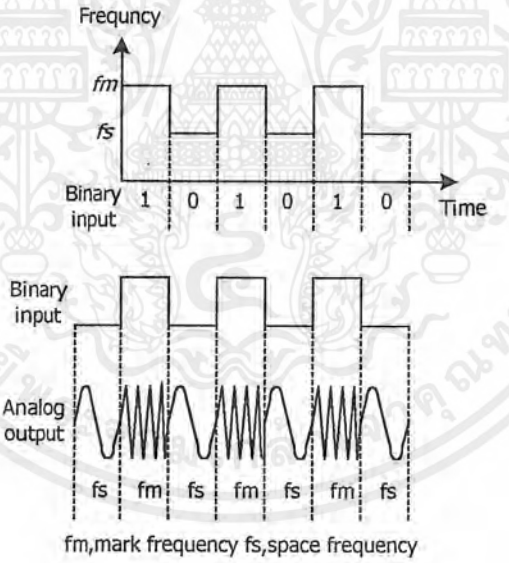
เนื่องจากฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งคือหัวข้อที่กำลังกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ดังนั้นหลังจากนี้ไปศึกษาเรื่องฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งเพียงอย่างเดียว

2.8.1 ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Generator)

หลักการ และสัญญาณอินพุตของฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง แสดงในรูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง



รูปที่ 2.18 อินพุต และเอาท์พุตของ ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

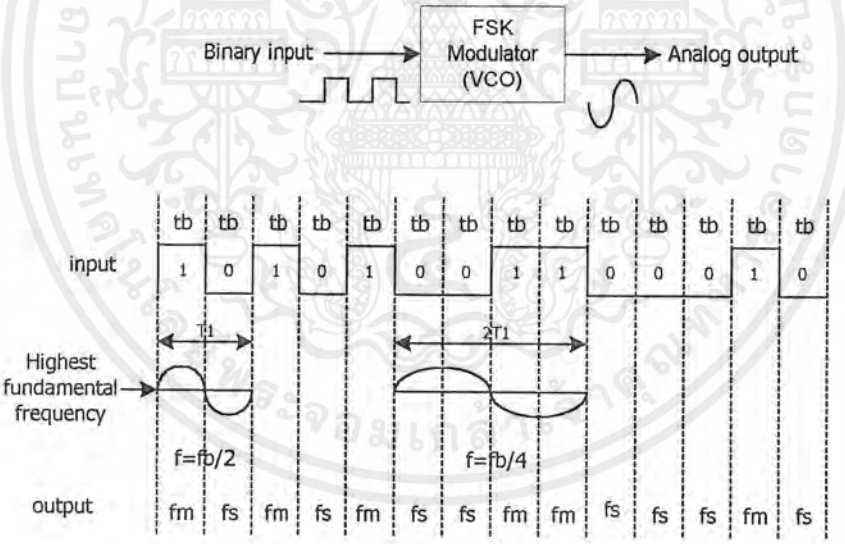
ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ก็คือตัวส่งสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Transmitter) ซึ่งมีหลักการที่ว่าเมื่อข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลมีลักษณะเป็นข้อมูลไบนารีจะทำให้เกิดความถี่เลื่อนหรือเบี่ยงเบนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไบนารีที่เข้ามาดังนั้นสัญญาณทางเอาท์พุตของตัวกำเนิดฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งจะอยู่ในรูปของความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Frequency Continuous) เมื่อข้อมูลไบนารีด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงจากสถานะลอจิก "1" เป็นลอจิก "0" (หรือในทางกลับกันคือลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"0" เป็นลอจิก "1") สัญญาณเอาท์พุตจาก ของสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ก็เลื่อนความถี่ระหว่าง 2 ความถี่ด้วยกัน คือความถี่ที่ลอจิก "1" หรือ ความถี่มาร์ค (fm) และความถี่ที่ลอจิก "0" หรือ ความถี่สเปสซ (fs)

การเปลี่ยนแปลง (หรือการเลื่อน) ของความถี่แต่ละครั้งจะเกิดขึ้นเมื่อสถานะของลอจิกด้านสัญญาณเข้าเปลี่ยนแปลงนั้นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณออกจะเท่ากับสัญญาณเข้าซึ่งในดิจิตอลมอดูเลชั่นนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านอินพุตของของ ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง จะเรียกว่า อัตราบิต (Bit Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bps) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านเอาท์พุตของของตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง เรียกว่า อัตราบอด (Baud Rate) ดังนั้นในการส่งข้อมูลด้านเทคนิค ของ ตัวกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง อัตราบิตจะเท่ากับอัตราบอดเสมอ

2.8.2 แบนวิด์ธของสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Bandwidth) ในการสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณความถี่นั้นแบนด์วิดท์เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เนื่องจากวิธีการของสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง อยู่บนพื้นฐานเดียวกันกับวิธีการของการมอดูเลททางความถี่ดังนั้นการอธิบายถึงสูตรต่างๆ ก็ใช้หลักการของการมอดูเลททางความถี่ทุกอย่าง



รูปที่ 2.19 ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งมอดูเลเตอร์

จากรูปที่ 2.19 แสดงถึงตัวฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งมอดูเลเตอร์ซึ่งใช้หลักการเดียวกับ ตัวมอดูเลตทางความถี่ คือใช้หลักการของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วที่สุดของสัญญาณอินพุตจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลไบนารีมีลักษณะเป็น 1 และ 0 สลับกันซึ่งก็คือสัญญาณสี่เหลี่ยมนั้นเอง (Square Wave) ตามตัวอย่างในรูปเป็นสัญญาณในช่วง T1

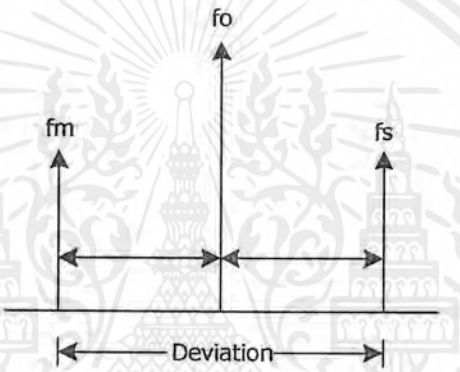
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่หลักของคลื่นสี่เหลี่ยมจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการส่งข้อมูล ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะความถี่หลักเพียงอย่างเดียวแล้วความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการนำมามอดูเลตแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งจะเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของ อัตราการส่งข้อมูล คือ

$$f_{a\,max} = Bit\ Rate/2$$

เมื่อ $f_{a\,max}$ = ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่จะนำมามอดูเลต

ความถี่กลาง (Center Frequency = fo) ของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งกลางระหว่าง ความถี่มาร์ค กับ ความถี่สเปซ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การเบี่ยงเบนความถี่

ลอจิก 1 ด้านอินพุตจะเลื่อนความถี่ของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ จาก fo ไปเป็น fs จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของ ข้อมูลไบนารีด้านอินพุตจาก “1” ไป “0” หรือ “0” ไป “1” จะทำให้ความถี่เอาท์พุตของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ เลื่อนหรือเบี่ยงเบนกลับไปมาระหว่าง fm กับ fs เนื่องจากได้กล่าวมาแล้ว ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง นั้นก็คือการมอดูเลตแบบการมอดูเลตทางความถี่ดังนั้นดัชนีการมอดูเลต (Modulate Index=MI) ใน ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ก็ทำได้จากการมอดูเลตทางความถี่

$$MI = \Delta f / fa$$

เมื่อ MI = ดัชนีการมอดูเลต

Δ = การเบี่ยงเบนของความถี่ใด ๆ จากความถี่กลาง (Hz)

fa = ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า MI ที่ยอมให้ได้สูงสุดคือค่า MI ที่ทำให้แบนวิดธกว้างที่สุดซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการเบี่ยงเบนของความถี่ถูกมอดูเลตแล้ว และความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าสูงสุด

ในฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งมอดูเลต ค่า Δf เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุด (Peak Frequency Deviation) ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง fm หรือ fo กับ fs ซึ่งก็คือครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่าง fm กับ fs นั่นคือ

$$\Delta f = (fs - fm)/2$$

การเบี่ยงเบนของความถี่สูงขึ้นอยู่กับขนาดหรือแอมปลิจูดสัญญาณที่นำมามอดูเลต (สัญญาณดิจิตอล) เมื่อสถานะทางลอจิกเป็น "1" จะให้แรงดันออกมาค่าหนึ่งคงที่ตาม (เช่น 5 โวลต์) หรือถ้าในลอจิก "0" แรงดันออกมาคงที่ในระดับลอจิกเช่นกัน (เช่น 0 โวลต์)

fa เป็นความถี่ของข้อมูลไบนารีด้านอินพุต ซึ่งจะทำให้แบนวิดธกว้างที่สุดเมื่อ fa = Bit Rate / 2 เท่านั้น เพราะฉะนั้นเราสามารถหาค่า MI ได้จาก

$$MI = (fs - fm)/fb$$

เมื่อ fs – fm = ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

fb = อัตราบิตของไบนารีอินพุต

ในการส่งสัญญาณการมอดูเลตทางความถี่ โดยทั่ว ๆ ไป ความกว้างของแบนวิดธจะแปรผันตรงกับค่า MI ซึ่งเช่นเดียวกับ ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ที่ค่า MI โดยทั่ว ๆ ไป จะต้องมีค่าต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้เป็นเอฟเอ็มแบนด์แคบล่าแบนวิดธที่แคบที่สุดเรียก Minimum Nyquist Bandwidth (fn) ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งมีความถี่กลาง (fo) = 7 kHz ความถี่สเปซ (fs) = 6 kHz และความถี่มาร์ค (fm) = 8 kHz ข้อมูลไบนารี อินพุตมี Bit Rate = 2 สามารถหา การมอดูเลตทางความถี่ ได้ดังนี้

$$MI = (6\ kHz - 8\ kHz) / 2\ kHz$$

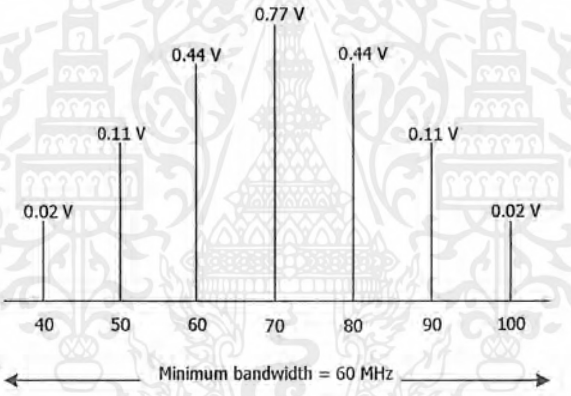
$$MI = 1.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 Bassel Function Table

MI	J0	J1	J2	J3	J4
0.0	1.0				
0.25	0.98	0.12			
0.5	0.94	0.24	0.03		
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	
1.5	0.51	0.50	0.23	0.06	0.01
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03

จากตาราง Bassel Function ในตารางที่ 1 เมื่อ MI = 1.0 จะได้แถบความถี่ข้าง (Sideband Frequency) ออกมาข้างละ 3 ความถี่ โดยแต่ละความถี่จะห่างจากค่ากลาง (fo) = 1 kHz ซึ่งก็คือ (fb / 2 เมื่อ fb คือ Bit Rate = 2 kHz) สามารถเขียนเป็นสเปคตรัมความถี่ได้ดังรูป



รูปที่ 2.21 สเปคตรัมความถี่ของตัวอย่าง

ข้อสังเกตคือ MI มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 จะทำให้แบนวิดธ์ค่าประมาณ 2-3 เท่าของอัตราการส่งข้อมูล เสมอ

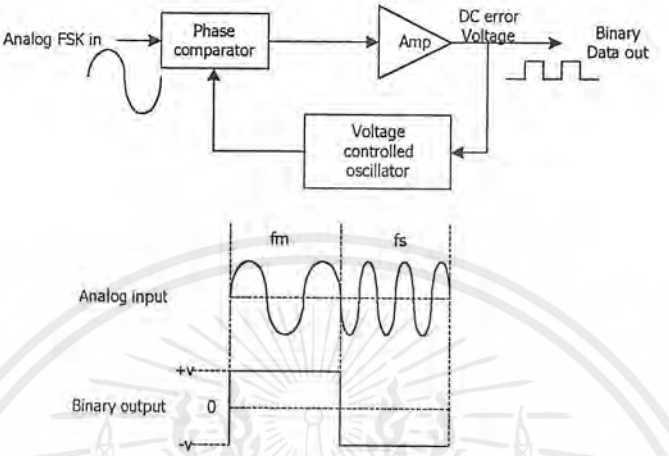
2.8.3 ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งดีมอดูเลเตอร์ (FSK Demodulator)

ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งดีมอดูเลเตอร์ คือตัวรับสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Receiver) จะเป็นตัวแยกสัญญาณไบนารีออกจากสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งโดยส่วนมากจะใช้วงจรเฟสล็อคลูป (Phase lock loops : PLL) ดังรูปที่ 2.22

วงจรเฟสล็อคลูปในฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งดีมอดูเลเตอร์ มีหลักการทำงานเหมือนกับวงจรเฟสล็อคลูปในเอฟเอ็มดีเท็คเตอร์ (FM Detector) ทุกอย่าง คือจะมีความถี่ฟรีรันนิ่งเท่ากับ Center Frequency (fo) และในขณะที่ความถี่อินพุตของวงจรเฟสล็อคลูปเลื่อนไปมาระหว่าง fm กับ fs จะทำให้เกิดแรงดันคลาดเคลื่อนไฟตรง (DC Error Voltage) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปรียบเทียบทางเฟส (Phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparator) ของสัญญาณอินพุต เนื่องจากความถี่อินพุตที่เข้ามายังวงจรเฟสล็อคลูปมีเพียง 2 ความถี่คือ fm และ fs ดังนั้นค่าแรงดันดังกล่าวจึงมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น ซึ่งสามารถแทนค่าลอจิก "1" และลอจิก "0" เมื่อความถี่ทางอินพุตเป็น fm และ fs ตามลำดับ เราจึงได้สัญญาณเอาท์พุตจากวงจรเฟสล็อคลูป กลับมาเป็นข้อมูลไบนารีเหมือนกับตอนแรกที่ส่งมาทุกประการ



รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมวงจรเฟสล็อคลูปฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งดีมอดูเลเตอร์

2.9 โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic)

ในการเขียนโปรแกรมแบบวิชวล นั้นทำให้โปรแกรมเมอร์ที่ใช้โปรแกรมแบบเก่าต้องเปลี่ยนแนวความคิดในการพัฒนาโปรแกรมใหม่มาเป็นการเขียนโปรแกรมแบบตอบสนองต่อเหตุการณ์ (Event Driven) เพื่อนำมาใช้กับระบบปฏิบัติการวินโดว์ซึ่งเป็นระบบที่ติดต่อกับผู้ใช้แบบรูปภาพ (GUI : Graphic User Interface)

2.9.1 ความสามารถต่น ๆ ของ โปรแกรมวิชวลเบสิก 6.0

1. สามารถคอมไพล์โปรเจกต์เป็นรหัสของคอมพิวเตอร์โดยตรง ทำให้โปรแกรมที่คอมไพล์ทำงานได้เร็วขึ้นกว่าเดิม

2. จำนวนคอนโทรลที่มีมากมายหลายชิ้น เช่น คอนโทรลทางอินเตอร์เน็ต (Internet Control), คอนโทรลทางมัลติมีเดีย (Multimedia Control), คอนโทรลทางฐานข้อมูล (Database Control)

3. ความสามารถในการสร้าง Active X Control ขึ้นใช้งานเอง

4. ความสามารถทางด้านอิดิเตอร์ (Editor) ที่ใช้กระบวนการแปรคำสั่งทีละบรรทัด (Interpreter)

5.เป็นโปรแกรมแรกที่สนับสนุนการทำงานแบบตอบสนองต่อเหตุการณ์ (Event-Driven Programming)

2.9.2 งาน และการเขียนการใช้โปรแกรม วิชวลเบสิก

ในการใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิกนั้นจะมีส่วนประกอบ, เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการพัฒนาที่เรียกว่า IDE (Integrated Development Environment) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือออกแบบหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอ การเขียนโค้ดโปรแกรม และตัวแปรภาษา ตัวตรวจสอบความผิดพลาด ทั้งหมดที่กล่าวมานี้โปรแกรมวิชวลเบสิก แยกออกเป็นส่วน ๆ แสดงดังรูปที่ 2.23

1.เมนูบาร์ เป็นส่วนแสดงคำสั่งของวิชวลเบสิกมีส่วนประกอบดังนี้

File ทำหน้าที่จัดการแฟ้มข้อมูลต่าง ๆ เช่น การสร้าง การจัดเก็บ

Edit ทำหน้าที่แก้ไขข้อมูลต่าง ๆ เช่น คัดลอก การยกเลิก

View ทำหน้าที่ซ่อนแสดง วินโดว์ (Windows) และ IDE ต่าง ๆ

Project ทำหน้าที่ลดเพิ่ม ฟอร์ม(Form), แอคทีฟ-เอ็กซ์ (Active-x), คอนโทรล (Control) ต่าง ๆ

Debug ติดตามตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรม

Run ทำหน้าที่สั่งให้โปรแกรมทำงาน, หยุดชั่วคราว, เลิกทำงาน

Tool ทำหน้าที่จัดการ Procedures ออกแบบเปลี่ยนแปลงตัวเลือกต่าง ๆ

Add-Ins ทำหน้าที่เพิ่มเครื่องมือพิเศษมาจากผู้พัฒนารายอื่นหรือไมโครซอฟต์เอง

Windows ทำหน้าที่จัดการวินโดว์ ที่ใช้ใน วิชวลเบสิก เช่นการวางตัว วินโดว์

2. **Tool Bar** ทำหน้าที่แสดงคำสั่งในรูปแบบไอคอน (icon) สัญลักษณ์

3. **Tool Box** เป็นส่วนที่เก็บเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบฟอร์มของ วิชวลเบสิก

4. **Project Explorer** ทำหน้าที่แสดงจำนวน ฟอร์ม, โมดูล (Module) ในโปรเจ็กต์

5. **Form Designer** เป็น วินโดว์ ทำหน้าที่กับผู้ใช้งาน

6. **Properties** ทำหน้าที่แสดงคุณลักษณะของ ออบเจ็คต์ (Object) ต่าง ๆ บน Form

7. **Code Editor Windows** ทำหน้าที่ระบุโค้ด (code) โปรแกรม (กด F7)

8. **From Layout Windows** ทำหน้าที่แสดงตำแหน่งของฟอร์ม เมื่อเริ่มทำงานครั้งแรก

2.9.3 การใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิก ติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

ในการใช้งานโปรแกรมวิชวลเบสิก เพื่อที่จะติดต่อกับพอร์ตอนุกรมนั้นเป็นเรื่องที่สามารถทำได้ง่ายมาก เพราะว่าทางผู้ผลิตโปรแกรมทางด้านไมโครซอฟต์ได้จัดเตรียมเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมเอาไว้แล้ว ซึ่งเริ่มตั้งแต่ เวอร์ชัน (Version) 2 เป็นต้นมา สำหรับโปรแกรมวิชวลเบสิก เวอร์ชัน5 และเวอร์ชัน 6 จะมีชื่อเรียกว่า MsComm32.ocx ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อใช้งานกับระบบปฏิบัติการ 32 บิตใน วินโดว์ 95 และวินโดว์ 98

2.9.4 วิธีการสื่อสารที่ใช้ใน Mscomm Control

1. การสื่อสารด้วยการกระตุ้นจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (Event-Driven Communication) ซึ่งการสื่อสารลักษณะนี้จะมีประสิทธิภาพมากกล่าวคือ ตัว Ms-Comm32.ocx จะคอบสนองต่อเหตุการณ์แบบทันทีทันใด คือจะเริ่มทำงานเมื่อพอร์ตอนุกรมถูกกระตุ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา Data Carrier Detect (DCD) หรือขา Request To Sent (RTS)

2. การสื่อสารด้วยการคอยตรวจสอบเหตุการณ์ (Polling) เป็นการคอยตรวจสอบค่าเหตุการณ์และค่าความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในคุณสมบัติ Comm Event

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 สรุปการใช้งานพอร์ตอนุกรม

1. กำหนดหมายเลขพอร์ต เช่น

MSComm.CommPort = 1 เป็นการใช้ COM1 (หมายเลขจะเป็นตัวเลือกพอร์ตที่จะใช้งาน)

2. กำหนดค่าเซ็ตติ้ง (Settings) ซึ่งจะเป็นค่าที่จะใช้ในการติดต่อของพอร์ตอนุกรมประกอบด้วย ความเร็วในการส่งข้อมูล, บิตพาริตี้, ขนาดของข้อมูล, จำนวนบิตหยุด รูปแบบการกำหนดค่า ตัวอย่าง เช่น

MSComm1.Setting = 9600,N,8,1 หมายถึง ความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600, ไม่มีบิตพาริตี้, ข้อมูลเป็นแบบ 8 บิต, 1 บิตหยุด

3. กำหนดค่า InputLen ซึ่งเป็นตัวอ่านค่าการอ่านข้อมูลของพอร์ตอนุกรมให้กำหนดค่า ดังนี้

MSComm1.InputLen = 0 เป็นการอ่านค่าทั้งหมดที่เข้ามาทางอินพุต

4. กำหนดค่าพอร์ต Portopen ดังนี้

MSComm1.Portopen = True เป็นการเปิดใช้งานพอร์ตอนุกรม

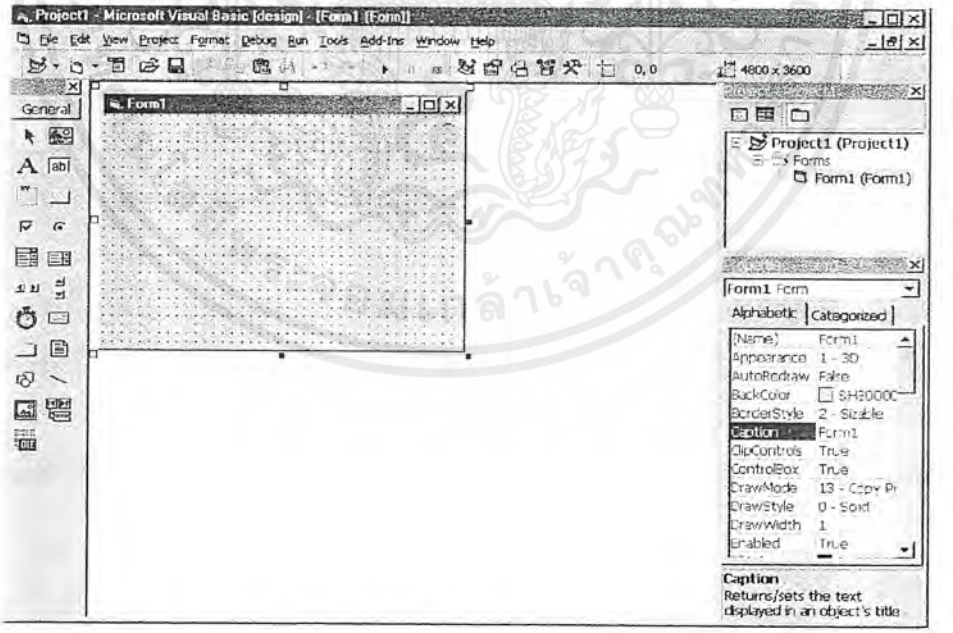
MSComm1.Portopen = False เป็นการปิดใช้งานพอร์ตอนุกรม

5. ในการเขียนโปรแกรมรับค่าพอร์ตอนุกรม ดังนี้

Data = MSComm1.Input เป็นการรับค่าจากพอร์ตอนุกรมมาเก็บไว้ในตัวแปรชื่อ Data

6. ในการเขียนโปรแกรมรับส่งค่าไปยังพอร์ตอนุกรม ดังนี้

MSComm1.Out = Chr&(Data) รับส่งค่าข้อมูลที่อยู่ในตัวแปรชื่อ Data ไปยังพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 2.23 หน้าต่าง และเครื่องมือของ วิชวลเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.6 ค่าคงที่ของคุณสมบัติ MsComm32.ocx

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Handshake

ค่าคงที่	ค่าที่ได้	รายละเอียด
ComNone	0	ไม่ใช้การตรวจสอบ Handshake
ComXonZXoff	1	ใช้การตรวจสอบ Handshake แบบ Xon/Xoff
ComRTS	2	ใช้การตรวจสอบ Handshake ผ่าทางขา RTS และ CTS
ComRTSOnXoff	3	กำหนดการตรวจสอบ Handshake ทั้งแบบRTS-CTS และXon/Xoff

ตารางที่ 2.6 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ OnComm

ค่าคงที่	ค่าที่ได้	รายละเอียด
ComEvSend	1	ส่งค่าเหตุการณ์ (Send Event)
ComEvReceive	2	รับค่าเหตุการณ์ (Receive Event)
ComEvCTS	3	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา CTS
ComEvDSR	4	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา DSR
ComEvCD	5	มีการเปลี่ยนแปลงที่ขา DCD
ComEvRing	6	ตรวจรับสัญญาณกระดิ่งของโทรศัพท์
ComEvEOF	7	ตรวจพบตำแหน่งท้ายสุดของไฟล์ (End of file)

ตารางที่ 2.7 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ Error

ค่าคงที่	ค่าที่ได้	รายละเอียด
ComEventBreak	1001	ได้รับสัญญาณ Break
ComEventCTSTO	1002	ขา เกิดไทม์เอาต์
ComEventDSRTO	1003	ขา เกิดไทม์เอาต์
ComEventFrame	1004	เกิดข้อผิดพลาดที่เฟรมข้อมูล (Framing error)
ComEventOverrun	1006	พอร์ตอนุกรมเกิดโอเวอร์รัน (Port Overrun)
ComEventCDTO	1007	ขา เกิดไทม์เอาต์
ComEventRxOver	1008	บัฟเฟอร์รับข้อมูลเกิด over flow
ComEventRxParity	1009	เกิดข้อผิดพลาดที่พาริตี้ (parity Error)
ComEventTxFull	1010	บัฟเฟอร์ส่งข้อมูลเต็ม
ComEventDCB	1011	เกิดข้อผิดพลาดขึ้นที่กลไกการควบคุม DCB โดยที่ไม่ได้คาดคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าคงที่สำหรับคุณสมบัติ InputMode

ค่าคงที่	ค่าที่ได้	รายละเอียด
ComInPutModeText	0	ข้อมูลที่รับมีคุณสมบัติเป็นข้อความ (ค่าปกติ)
ComInPutModeBinary	1	ข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลไบนารี่

2.9.7 ข้อความที่บ่งชี้ถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (MS Comm Control)

ตารางที่ 2.9 ข้อความที่บ่งชี้ถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (MS Comm Control)

ข้อความที่บ่งชี้ถึงความผิดพลาด	ค่าที่ได้	คำอธิบายของข้อความที่ปรากฏ
ComInvalid Property Value	380	กำหนดค่าไม่ถูกต้อง
ComSetNotSupported	383	ค่าที่ได้ตั้งไว้สามารถอ่านได้อย่างเดียว
ComGetNotSupported	394	ค่าที่ได้รับสามารถอ่านได้อย่างเดียว
	8000	อ่านค่าไม่ได้ในขณะที่ Port ถูกเปิดใช้อยู่
ComPortInvalid	8001	ค่าของเวลาที่หาออกมาได้ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์
	8002	หมายเลขของ Port ไม่ถูกต้อง
	8003	ผลลัพธ์จะเกิดขึ้นขณะที่มีการทำงานเท่านั้น
ComPortAlreadyOpen	8004	Port จะสามารถอ่านค่าได้ในขณะที่มีการทำงานเท่านั้น
	8005	Port ได้ถูกเปิดเรียบร้อยแล้ว
	8006	อุปกรณ์เกิดการผิดพลาดหรือไม่สามารถรองรับค่าได้
	8007	อุปกรณ์ไม่ยอมรับต่อค่าที่ Baud rate ตั้งเอาไว้
	8008	ขนาดของข้อมูลผิดพลาด
	8009	ค่าตัวแปรที่แสดงอยู่ผิดพลาด
	8010	Hardware ไม่พร้อมที่จะทำงาน (ถูกปกป้องโดยอุปกรณ์ชิ้นอื่น)
ComNoOpen	8011	ฟังก์ชันไม่สามารถกำหนดแถวของข้อมูลได้
	8012	Port ยังไม่พร้อมที่จะถูกเปิดใช้งาน
	8013	Port พร้อมที่จะเปิดใช้งานได้
ComSetCommStateFailed	8014	Port ไม่สามารถทำงานได้
	8015	ไม่สามารถ Set สถานะของ Port ได้
ComPortNotOpen	8016	ไม่สามารถ Set Port ตามเหตุการณ์ที่กำหนดให้ได้
	8018	จะสามารถหาผลลัพธ์ได้ก็ต่อเมื่อ Port มีการทำงานเท่านั้น
ComReadError	8019	Port ไม่ว่างมีข้อมูลเต็มใน Port
ComDCBError	8020	เกิดความผิดพลาดขณะที่อ่านค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ และการสร้าง

3.1 การออกแบบ และการสร้างในส่วนของฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบวงจรฮาร์ดแวร์ของระบบสื่อสารข้อมูลไร้สายประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ส่วนแปลงระดับแรงดัน (RS-232 Buffer)
- ส่วนเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์ (FSK Modulator)
- ส่วนเอฟเอสเคดีมอดูเลเตอร์(FSK Demodulator)
- ส่วนเครื่องส่งเอฟเอ็ม (FM Transmitter)
- ส่วนเครื่องรับเอฟเอ็ม (FM Receiver)

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสารข้อมูลไร้สาย

3.2 XR2206

3.2.1 รายละเอียดทั่ว ๆ ไปของ XR2206

XR2206 เป็นอุปกรณ์โมโนลิทิคฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Monolithic function generator) ใช้งานสำหรับสร้างสัญญาณซายน์ (sine), สี่เหลี่ยม (triangle), แรมพ์ (ramp), พัลส์ (pulse) ที่มีคุณภาพ เสถียรภาพ และความเที่ยงตรงสูง รูปคลื่นเอาท์พุตสามารถมอดูเลตได้ทั้งทางขนาด และทางความถี่ ค่าแรงดันภายนอกโดยมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 0.01 เฮิรตซ์ ถึง 1 เฮิรตซ์ ไอซีเบอร์นี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบสื่อสารในระบบเครื่องมือวัด และระบบที่ต้องการแหล่งกำเนิดสัญญาณซายน์ เอเอ็ม เอฟเอ็ม หรือสัญญาณที่ผ่านการเข้ารหัสแบบเลื่อนความถี่ มีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนของอุณหภูมิเป็น 20 ppm/องศาเซลเซียส ความถี่ ออสซิลเลเตอร์สามารถกวาดเป็นเชิงเส้นได้สูงกว่า 2000:1 ช่วงความถี่ โดยการควบคุมของแรงดันภายนอกในขณะที่มีความเพี้ยนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

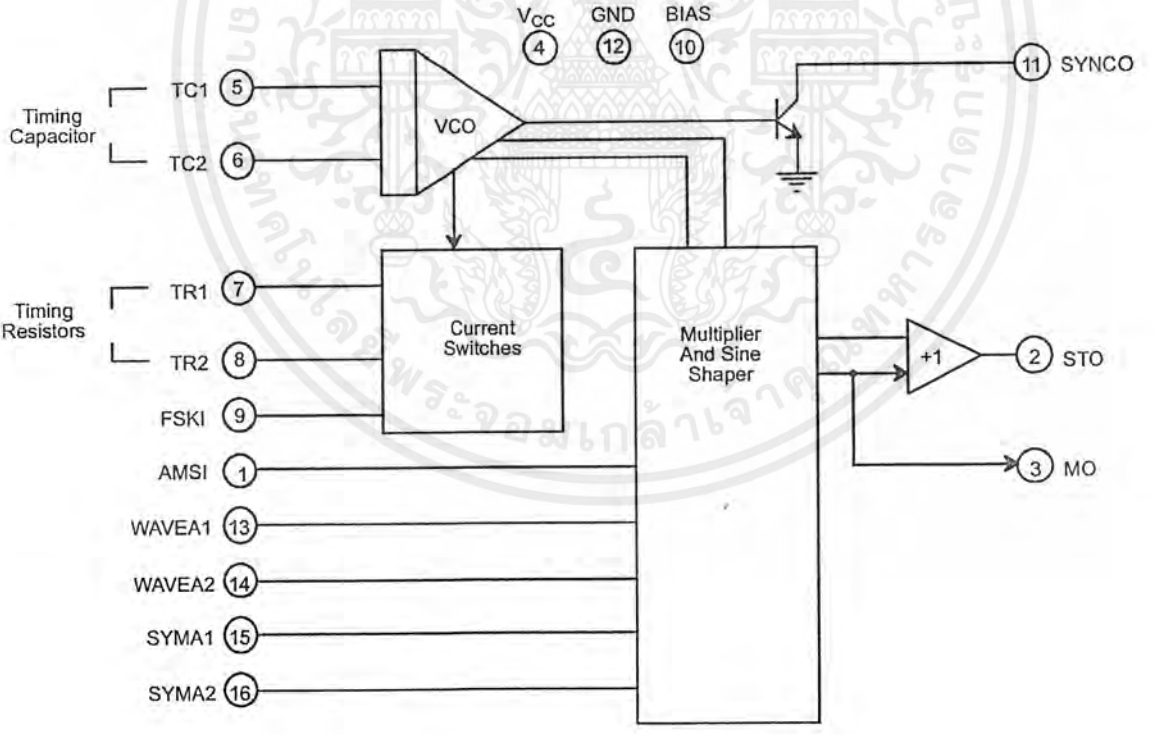
3.2.2 ลักษณะสำคัญของ XR2206

ความเพี้ยนของคลื่นซายน์ต่ำ	0.5 %, Typical
เสถียรภาพทางอุณหภูมิสูง	20 ppm / ^{o}C Typical
ช่วงกวาดของความถี่กว้าง	2000:1 Typical
ความไวต่อไฟเลี้ยงต่ำ	0.01 % Typical
ช่วงกว้างของไฟเลี้ยง	10 V ถึง 26 V
ดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) สามารถปรับได้	1 % ถึง 99 %

3.2.3 ค่าสูงสุดสัมบูรณ์

ไฟเลี้ยงวงจร	26 V
กำลังสูญเสีย	750 mW
การสูญเสียเหนือ 25^{o}C	5 mW / ^{o}C
ช่วงอุณหภูมิใช้งาน	-65 ^{o}C ถึง +150 ^{o}C

3.2.4 โครงสร้างลักษณะหน้าที่การทำงานของ XR2206



รูปที่ 3.2. บล็อกไดอะแกรมของ XR2206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 รายละเอียดของระบบของ XR2206

XR2206 ประกอบด้วย 4 ภาคการทำงาน ได้แก่ ส่วนแรงดันควบคุมการทำงานของออสซิลเลเตอร์ (Voltage Controlled Oscillator : VCO) วงจรคูณอนาลอก วงจรปรับสัญญาณซายน์ บัฟเฟอร์ (Buffer) และสวิตช์กระแส ส่วนแรงดันควบคุมการทำงานของออสซิลเลเตอร์จะผลิตเอาท์พุตความถี่ที่เป็นสัดส่วนกับกระแสอินพุต ซึ่งสามารถกำหนดได้ โดยตัวต้านทานที่ต่อเข้าที่ขาที่เกี่ยวข้องกับเวลาลงกราวด์ เนื่องจากมี 2 ขาที่เกี่ยวกับเวลา ดังนั้นจึงสามารถสร้างสัญญาณได้ 2 ความถี่ สำหรับการกำเนิดสัญญาณเอฟเอสเค โดยใช้ขาควบคุมสัญญาณเอฟเอสเค (FSK Input Control) ค่านี้จะไปควบคุมวงจรภายในส่วนสวิตช์กระแสเพื่อให้เกิดการเลือกขาที่ต่อตัวต้านทานสำหรับวงจรในส่วนแรงดันควบคุมการทำงานของออสซิลเลเตอร์

3.2.6 รายละเอียดการใช้งาน XR2206

การเข้ารหัสแบบเอฟเอสเค XR2206 สามารถใช้งานโดยตัวต้านทาน (Timing resistor) 2 ตัวแยกกัน (R1, R2) ที่ขา 7 และขา 8 ของ XR2206 ดังรูปที่ 3.2 โดยตัวต้านทานแต่ละตัวจะถูกใช้นั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณลอจิกที่เข้าที่ขา 9 ของ XR2206 หากขา 9 เปิดวงจรหรือต่ออยู่กับสัญญาณที่แรงดันสูงกว่าหรือเท่ากับ 2 โวลต์ แล้ว R1 จะเป็นตัวต้านทานกำหนดเวลา ทำนองเดียวกันหากขา 9 ต่ออยู่กับสัญญาณที่ศักดาต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1 โวลต์ แล้ว R2 จะเป็นตัวต้านทานกำหนดเวลา ดังนั้นความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตสามารถเข้ารหัสเป็น 2 ระดับที่มีความถี่เป็น f1 และ f2 โดยที่

$$f1 = 1 / (R1*C) \quad \text{และ} \quad f2 = 1 / (R2*C)$$

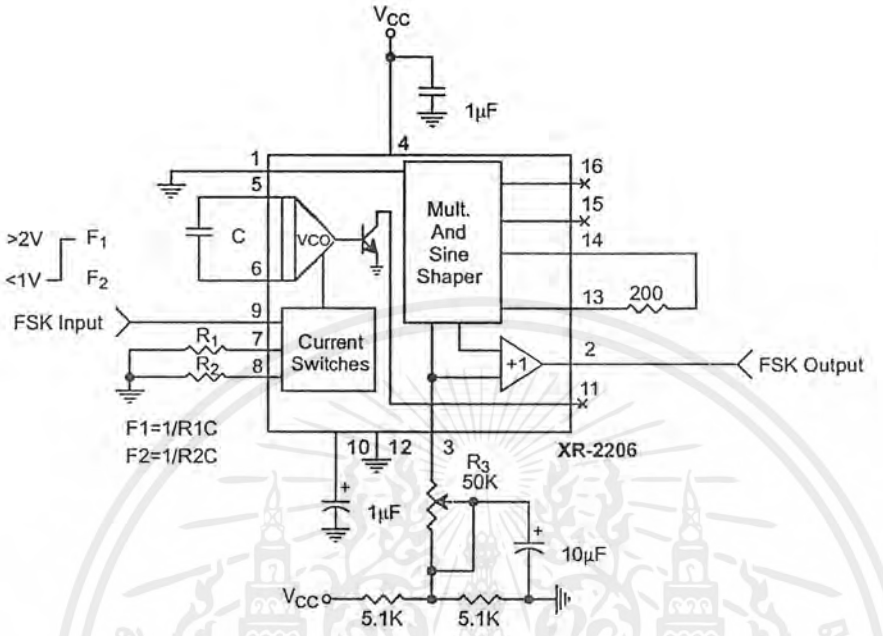
3.2.7 การควบคุมระดับแรงดันไฟตรงของเอาท์พุต

ระดับแรงดันไฟตรงของเอาท์พุตที่ขา 2 ประมาณเท่ากับแรงดันไฟตรงที่ไบอัสเข้าที่ขา 3 ของไอซี ซึ่งจากรูปที่ 3.2 ขา 3 ถูกไบอัสด้วยครึ่งหนึ่งของค่าแรงดัน V+ เทียบกับกราวด์ ดังนั้นจะได้ค่าแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุตเท่ากับ V/2

3.2.8 การปรับละเอียดรูปคลื่นเอาท์พุต

ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นของคลื่นซายน์สามารถลดลงเหลือ 0.5% โดยการเพิ่มตัวต้านทานค่าประมาณ 200 โอห์ม ที่ขา 13 และขา 14 ของไอซีโดยแท็ป (Tap) ตรงกลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ค่าประมาณ 500 โอห์ม แล้วทำการปรับความสมมาตร (Symmetry) ที่ขา 15,16 ก่อน จากนั้นจึงปรับความเพี้ยน (Distortion) ที่ขา 13,14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

3.2.9 แนวทางการออกแบบ

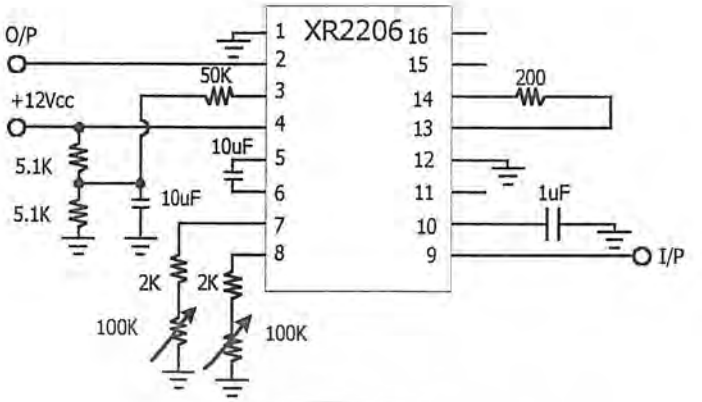
สำหรับการทดสอบช่วงแรกนั้นใช้ค่าความถี่สเปซ 2200 เฮิรตซ์ และความถี่มาร์ค 1200 เฮิรตซ์ ดังนั้นจะได้ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

$$R1 = 1 / (f1*C) \qquad ; f1 = 2200 \text{ เฮิรตซ์}$$

$$R2 = 1 / (f2*C) \qquad ; f2 = 1200 \text{ เฮิรตซ์}$$

เลือก C = 10 นาโนฟารัด แล้ว R1 = 45.45 กิโลโอห์ม R2 = 83.33 กิโลโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

3.3 XR2211

3.3.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของ XR2211

XR2211 เป็นวงจรเฟสล็อคลูปแบบโมโนลิติก (Monolitic) ซึ่งออกแบบมาสำหรับการใช้งานทางด้านการสื่อสารข้อมูลโดยเฉพาะลักษณะพิเศษของไอซีเบอร์นี้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นตัวถอดรหัสแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ไอซีทำงานในช่วงกว้างของไฟเลี้ยง คือ 4.5 โวลต์ ถึง 20 โวลต์ และมีช่วงความถี่ที่กว้างโดยอยู่ในช่วง 0.01 เฮิรตซ์ ถึง 300 กิโลเฮิรตซ์ สามารถใช้สัญญาณอนาลอกได้ในช่วง 2 มิลลิโวลต์ ถึง 3 โวลต์ อีกทั้งยังสามารถอินเทอร์เฟสได้กับทั้งวงจรลอจิกตระกูลดีทีแอล (DTL), ทีทีแอล (TTL) และอีซีแอล (ECL) วงจรภายในประกอบไปด้วยวงจรเฟสล็อคลูป สำหรับติดตามสัญญาณอินพุตในช่วงแถบผ่าน, วงจรควอดเดรเจอร์เฟสดีเท็คเตอร์ (Quadrature Phase Detector) ใช้สำหรับตรวจสอบสัญญาณพาหะ และตัวเปรียบเทียบแรงดันฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK voltage comparator) ใช้สำหรับดีมอดูเลตสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งกับอุปกรณ์ที่ต่อภายนอกกำหนดได้อย่างอิสระ แรงดันอ้างอิงภายในเป็นสัดส่วนกับไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้นเหมาะสำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพต่ำเมื่อไฟเลี้ยงวงจรเปลี่ยนแปลง

3.3.2. ลักษณะสำคัญของ XR2211

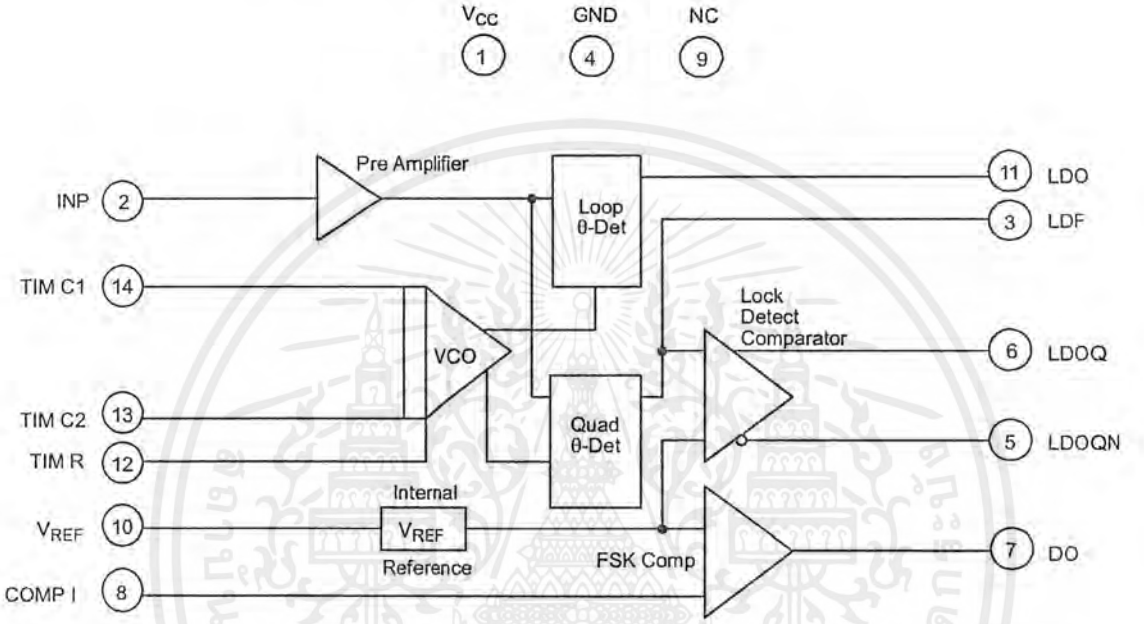
ช่วงกว้างของความถี่	0.01 ถึง 300 kHz
ช่วงกว้างของไฟเลี้ยงวงจร	4.5 ถึง 20 V
ช่วงกว้างทางพลศาสตร์	2 mV ถึง 3 Vrms
ช่วงของการตามสัญญาณ (tracking) สามารถปรับได้	+/-1 ถึง +/-80 %
เสถียรภาพอุณหภูมิสูง	20 ppm / ^{o}C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 อัตราสูงสุดสัมบูรณ์

แหล่งจ่ายแรงดัน	20 V
ระดับสัญญาณอินพุต	3 Vrms
กำลังงานสูญเสีย	900 mW

3.3.4 บล็อกไดอะแกรมของ XR2211



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของ XR2211

3.3.5 รายละเอียดของระบบ

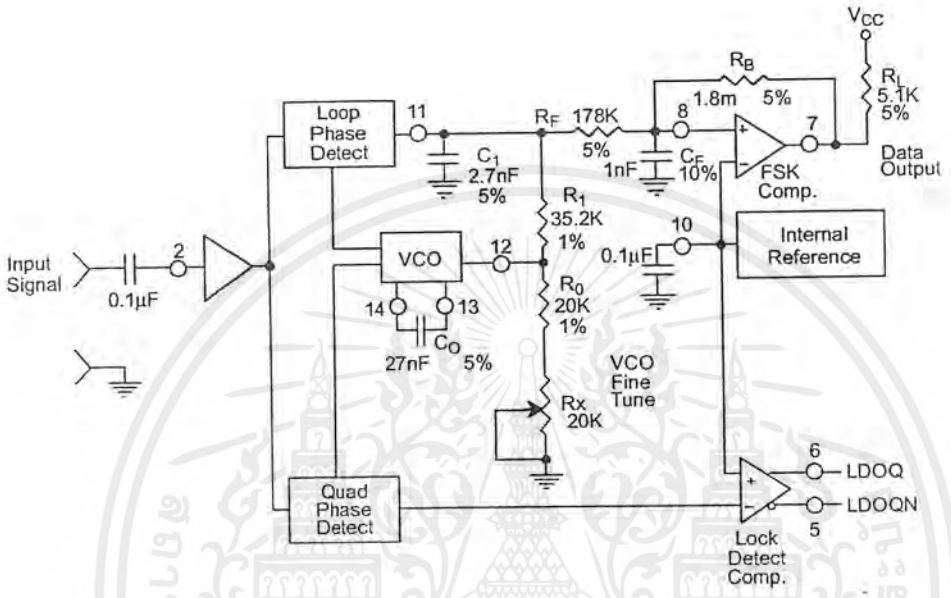
เอาท์พุตของเฟสดีเท็คเตอร์ให้สัญญาณผลบวก และผลต่างความถี่ของสัญญาณอินพุตกับสัญญาณจากวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์นั้นคือ ความถี่เอาท์พุตจะเป็น f(in) + f(vco) และ f(in) - f(vco) ดังนั้นในขณะล็อคความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตจะเป็น 2f(in) และ 0 เฮิรตซ์ โดยการต่อตัวเก็บประจุคร่อมสัญญาณเอาท์พุตของเฟสดีเท็คเตอร์คือ ใส่วงจรกรองความถี่ต่ำนั้นเอง จะทำให้สัญญาณความถี่สูง (f(in) + f(vco)) ถูกลดทอนไปทำให้เหลือเพียงแรงดันกระแสตรงที่เกิดจากความต่างเฟสของความถี่ทั้งสองเกิดขึ้นเช่นนี้เรื่อย ๆ ทำให้วงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ ติดตามความถี่ของสัญญาณอินพุตได้

ส่วนที่เหลือของ XR2211 ทำงานดังนี้คือ หากวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ ถูกขับด้วยความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่ศูนย์กลาง แล้ววงจรเปรียบเทียบแรงดันจะสร้างสัญญาณเอาท์พุตลอจิกสูง และสัญญาณเอาท์พุตลอจิกต่ำ เมื่อเฟสล็อกลูปอยู่ในช่วงล็อค (quadrature phase detector and lock detector comparator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาท์พุตลอจิกต่ำ เมื่อเฟสล็อกลูปอยู่ในช่วงล็อค (quadrature phase detector and lock detector comparator)

3.3.6 รายละเอียดการใช้งาน



รูปที่ 3.6 การต่อใช้งานวงจรดีมอดูเลเตอร์แบบเอฟเอสเค

การถอดรหัสสัญญาณที่เข้ารหัสแบบเลื่อนความถี่เอฟเอสเค รูปที่ 3.6 แสดงการต่อพื้นฐานของวงจรถอดรหัสแบบเอฟเอสเคโดยอ้างอิงจากรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 หน้าที่ของอุปกรณ์ภายนอกแต่ละตัวเป็นดังนี้ R0 และ C0 กำหนดความถี่ศูนย์กลางของเฟสล็อกลูป R1 กำหนดแถบความถี่ของระบบ C1 ใช้กำหนดค่าเวลาในวงจรกรองความถี่แบบวนรอบ (Loop Damping) สำหรับข้อมูลเอาท์พุตของสัญญาณเอฟเอสเค (Rb=510 kΩ) จากขา 7 ไปขา 8 มีไว้เพื่อเป็นการป้อนกลับแบบบวกสำหรับตัวเปรียบเทียบแรงดันของสัญญาณเอฟเอสเค เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการเปลี่ยนสถานะลอจิก

3.3.7 แนวทางการออกแบบ

วงจรตามรูปที่ 3.6 สามารถใช้ได้กับวงจรถอดรหัสเอฟเอสเค ทั่ว ๆ ไป โดยการเลือกอุปกรณ์ต่อภายนอกสำหรับการกำหนดความถี่มาร์ค และความถี่สเปซ (f1, f2) ค่าพารามิเตอร์สามารถคำนวณได้จากคำนวณความถี่ศูนย์กลางของเฟสล็อกลูป : fo

$$fo = (f1+f2) / 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกค่าของตัวต้านทานกำหนดเวลา : R0 ให้อยู่ในช่วง 10 กิโลโอห์ม ถึง 100 กิโลโอห์ม โดยสามารถเลือกได้ตามใจชอบสำหรับค่าอ้างอิงของ R0 เป็น 20 กิโลโอห์ม ซึ่งต่อความต้านทานปรับค่าได้ไว้สำหรับปรับค่าละเอียด (Rx)

คำนวณค่าของ C0 จากสมการ

$$C0 = 1 / (f0*R0)$$

คำนวณค่า R1 เพื่อกำหนด ความเบี่ยงเบนของความถี่มาร์ค และความถี่สเปซ

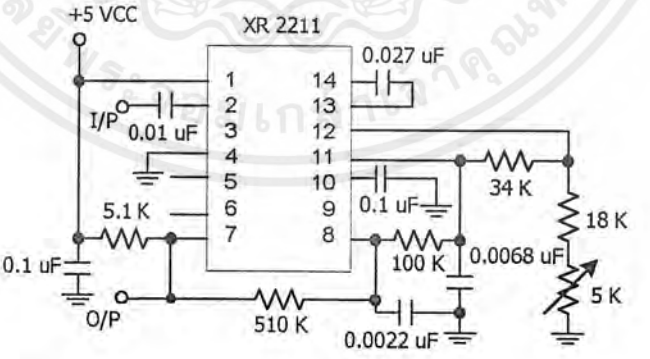
$$R1 = (R0*f0) / (f1-f2)$$

คำนวณค่า C1 เพื่อกำหนดการวนรอบ โดยค่าการวนรอบมีค่าอ้างอิงเท่ากับ 1/2 แล้ว

$$C1 = C0 / 4$$

คำนวณตัวเก็บประจุกรองข้อมูล: Cf สำหรับ Rf = 100 กิโลโอห์ม, Rb = 510 กิโลโอห์ม แล้ว Cf คือ

$$Cf (\mu F) = 3 / (Baud\ rate)$$

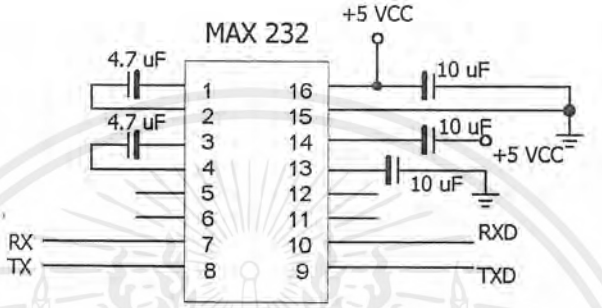


รูปที่ 3.7 วงจรดีมอดูเลเตอร์แบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรแปลงระดับแรงดัน

ในการเชื่อมต่อวงจรที่ทำงานระดับแรงดันแบบทีทีแอล เข้ากับพอร์ต RS-232 ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีระดับแรงดัน –15 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ นั้นจะต้องมีวงจรพิเศษเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันให้เหมาะสมซึ่งในที่นี้เราได้เลือกใช้ MAX 232 ซึ่งใช้อุปกรณ์ประกอบจากภายนอกน้อย คือ ใช้ C เพียง 5 ตัว เท่านั้น

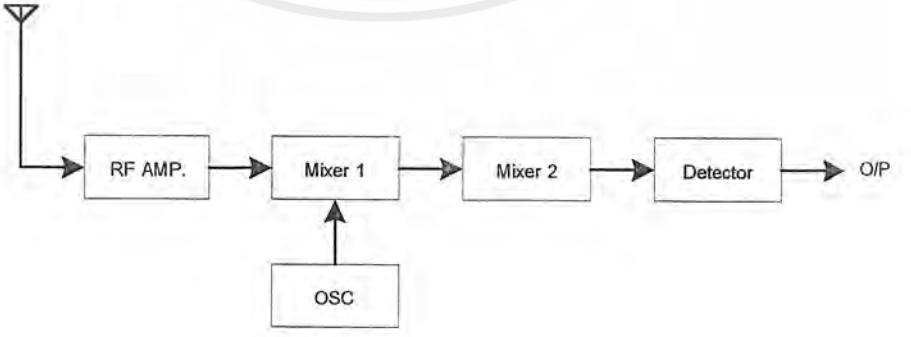


รูปที่ 3.8 วงจรแปลงระดับแรงดัน

3.4.1 หลักการทำงาน

จากวงจรจะใช้ C ที่ต่อระหว่างขา 1 กับ 3, ระหว่างขา 4 กับ 5, ขา 2 กับ 6 เป็นตัวกำหนดระดับแรงดันที่จะใช้ในการเชื่อมต่อโดยขา R1I และ R2I จะเป็นขาที่รับระดับแรงดัน –15 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ และแปลงออกเป็นแรงดัน 0 โวลต์ และ +5 โวลต์ ตามลำดับ ออกที่ขา R1O และ R2O ส่วนขา T1I และ T2I จะรับแรงดันที่เป็น 0 โวลต์ และ+5 โวลต์ ตามลำดับ แปลงเป็นระดับแรงดัน –10 โวลต์ ถึง +10 โวลต์ ออกที่ขา T1O และ T2O

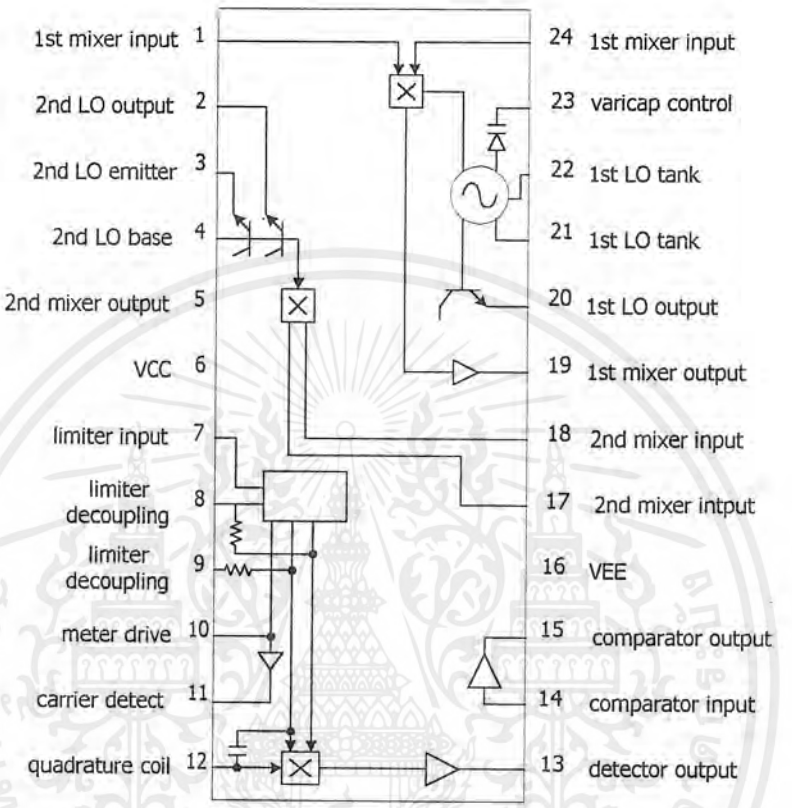
3.5 ภาครับวิทยุ



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของภาครับวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

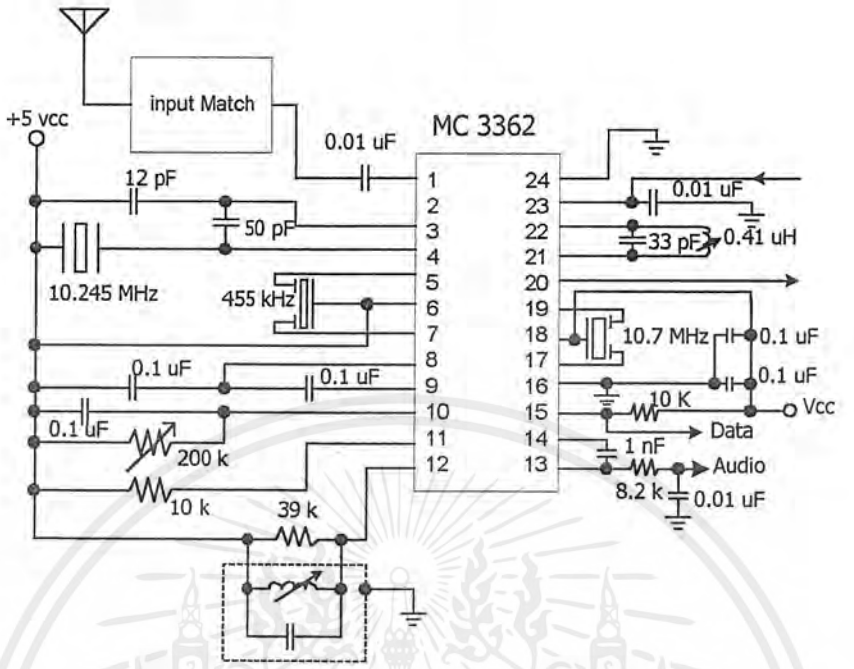
3.5.1 MC3362



รูปที่ 3.10 โครงสร้างภายในของ MC 3362

MC3362 เป็นวงจรภาครับระบบดูอัลคอนเวอร์ชั่น (Dual Conversion) คือภาคไอเอฟมีการแปลงความถี่ 2 ครั้ง จากความถี่ที่ได้รับเป็น 10.7 เมกะเฮิรตซ์ แล้วค่อยลดลงเป็น 455 กิโลเฮิรตซ์อีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปกับวิทยุรับ/ส่งในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรการใช้งานเบื้องต้นของ MC 3362

ภายในตัวของ MC3362 ยังมีภาคออสซิลเลเตอร์ ซึ่งใช้กับความถี่ได้ 200 เมกะเฮิรตซ์ แต่ถ้าใช้ภาคออสซิลเลเตอร์ภายนอก จะใช้ได้กับความถี่ 450 เมกะเฮิรตซ์มีภาคดีเท็คเตอร์แบบควอดราเจอร์(quadrature) และวงจรขับมิเตอร์ที่ใช้แสดงการรับสัญญาณให้ด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนบัฟเฟอร์ให้แก่ออสซิลเลเตอร์ของไอเอฟทั้ง 2 ความถี่ เพื่อความเที่ยงตรงในการทำงานรวมทั้งมีวงจรเปรียบเทียบสำหรับใช้ดีเท็คเตอร์แบบเอฟเอสเค

3.5.2 ข้อดีของ IC MC 3362

1) มีแบนวิดธของสัญญาณอินพุตกว้าง โดยมีแบนวิดธ 200 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) ภายใน 450 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับโลคอลออสซิลเลเตอร์ภายนอก

2) มีวงจรดูอัลคอนเวอร์ชั่นที่สมบูรณ์

3) มีระดับแรงดันควบคุมเอาท์พุต 2.0 ถึง 7.0 Vdc

4) ใช้กระแสขับต่ำ (3.6 mA)

5) มีความไวต่อสัญญาณ (sensitivity) ที่ดีมาก

6) ประกอบด้วยอินดิเคเตอร์ (Indicator) ที่รับสัญญาณโดยตรงซึ่งมีไดนามิกเรงจ์ (Dynamic Range) ถึง 60 dB

7) ใช้อุปกรณ์ภายนอกน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดทางไฟฟ้าของ MC 3362

Characteristic	Pin	Min	Typ	Max	Units
Drain Current (Carrier Detect Low)	6	-	4.5	7.0	mA
Input for –3.0 dB Limiting	-	-	0.7	2.0	μVrms
Recovered Audio (RF signal level = 10 mV)	13	-	350	-	mVrms
Carrier Detect Threshold	10	-	0.64	-	Vdc
Meter Driver Slope	10	-	100	-	nA/dB
Input for 20 dB (S + N)/N	-	-	0.7	-	μVrms
First Mixer 3rd Order Intercept Input	-	-	-22	-	dBm
First Mixer Input Resistance (Rp)	-	-	690	-	Ω
First Mixer Input Capacitance (Cp)	-	-	7.2	-	pF
First Mixer Conversion Voltage Gain	-	-	18	-	dB
Second Mixer Conversion Voltage Gain	-	-	21	-	dB
Detector Output Resistance	13	-	1.4	-	kΩ

แรงดันไฟเลี้ยงใช้ได้สูงสุด 8 โวลต์ ต่ำสุด 2 โวลต์ กินกระแส 3.6 มิลลิแอมป์ ที่ 3 โวลต์ ความไวอินพุต 0.7 ไมโครโวลต์ ที่ 12 dB รูปร่างภายนอกเป็นตัวถังดีนตะขาบ (DIP) ขนาด 24 ขาวงจรใช้งานเบื้องต้นของ MC 3362 แสดงในรูปที่ 3.10 เป็นภาครับวิทยุ เอฟเอ็มแบนด์แคบ (Narrowband FM) ระบบเฟสล็อกลูปแบบสังเคราะห์ความถี่ใช้งานได้สูงถึง 200 เมกะเฮิรตซ์ การทำงานคร่าว ๆ เป็นดังนี้

ภาคมิกเซอร์ตัวแรกจะทำการขยายสัญญาณที่รับมาได้จากสายอากาศแล้วแปลงเป็นความถี่ไอเอฟ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ ส่งออกมายังวงจรฟิลเตอร์ภายนอกแล้วป้อนกลับเข้าไปยังภาคมิกเซอร์ตัวที่ 2 ซึ่งจะทำการขยายสัญญาณแล้วแปลงความถี่ไอเอฟนี้ให้ต่ำลงเป็น 455 กิโลเฮิรตซ์

สัญญาณความถี่ไอเอฟที่สอง 455 กิโลเฮิรตซ์ ถูกส่งออกมากรองความถี่ภายนอกเช่นกันแล้วป้อนกลับเข้าไปยังภาคขยายลิมิเตอร์ และวงจรดีเท็คเตอร์ โดยใช้ควอดราเจอร์ดีเท็คเตอร์ได้เป็นสัญญาณความถี่เสียงที่ขาเอาท์พุต

3.5.3 การออกแบบใช้งาน

ภาคออสซิลเลเตอร์ตัวแรกอาจใช้วงจร LC แทงค์จูนก็ได้ หรือใช้วิธีควบคุมความถี่ด้วยแรงดันในระบบ PLL หรือจะใช้ขับด้วยคริสตอลออสซิลเลเตอร์จากภายนอกก็ได้ ซึ่งรับความถี่ได้สูง 190 เมกะเฮิรตซ์ (แต่ถ้าขับด้วยสัญญาณความถี่ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกแรง 100 mV_{rms} ภาคมิกเซอร์จะใช้กับความถี่ได้ถึง 450 เมกะเฮิรตซ์) โดยมีบัฟเฟอร์ที่เอาท์พุตขา 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคออสซิลเลเตอร์ตัวที่ 2 เป็นวงจรโคปิท (Colpitts) ทำงานที่ 10.245 เมกะเฮิรตซ์ ควบคุมด้วยคริสตอลมีบัฟเฟอร์เอาท์พุตขาที่ 2 เช่นกัน ขา 2 และขา 3 ใช้งานสลับกันได้

ในส่วนของมิกเซอร์จะจัดวงจรแบบสมดุล เพื่อลดผลของสัญญาณแปลกปลอมมิกเซอร์ทั้ง 2 ตัว 18 dB และ 22 dB ตามลำดับ โดยมีเสถียรภาพในการทำงานที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟเลี้ยง

เพื่อให้ออกแบบใช้งานได้ง่ายและมีราคาถูก ตำแหน่งขาไอซี และวงจรภายในจึงออกแบบมาให้ใช้กับเซรามิกฟิลเตอร์ (Ceramic Filter) ในส่วนวงจรกรองความถี่ไอเอฟได้ หลังจากผ่านวงจรฟิลเตอร์ และขยายไอเอฟทั้ง 10.7 เมกะเฮิรตซ์ และ 455 กิโลเฮิรตซ์แล้วสัญญาณจะส่งกลับเข้าไปยังวงจรลิมิเตอร์ ซึ่งมีความไว 10 ไมโครโวลต์ ที่ –3.0 dB การจำกัดสัญญาณราบเรียบถึง 1.0 เมกะเฮิรตซ์

จากวงจรลิมิเตอร์สัญญาณถูกส่งมายังดวอดราเจอร์ดีเท็คเตอร์ ซึ่งต้องมีวงจรภายนอกเพิ่มเติมคือ LC แทงค์ ระหว่าง V_{cc} กับขา 12 และตัวต้านทานขนาน 68 กิโลโอห์มเป็นกำหนดค่าสูงสุดของวงจรดีเท็คเตอร์ ถ้าค่าต่ำจะได้ความเป็นเชิงเส้นดีแต่ความไวของวงจรดีเท็คเตอร์จะลดลง

เอาท์พุตจากขา 13 จะต้องมีวงจรจัดรูปคลื่นเพื่อให้ได้เป็นสัญญาณเสียงที่ถูกต้อง ส่วนวงจรดอมพาราเตอร์ที่ขา 14, 15 ใช้สำหรับดีเท็คเตอร์ผ่านศูนย์ของสัญญาณสำหรับใช้กับการส่งแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ซึ่งมีอัตราเร็วข้อมูลสูงตั้งแต่ 2,000 ถึง 35,000 บิตต่อวินาที ถ้าต้องการใช้ส่วนนี้มีฮีตเตอร์รีซิส (Heaterresis) ให้ต่อตัวต้านทานค่าสูง ๆ ตั้งแต่ 12 กิโลโอห์ม ขึ้นไป ระหว่างขา 14 และ ขา15

ในส่วนวงจรขับมิเตอร์ที่ขา 10 ทำงานแบบแอกทีฟโลว์ (Active Low) คือ ต่อร่วมกับ V_{cc} ใช้แสดงระดับความแรงสัญญาณที่รับได้ โดยสังเกตจากการทำงานของวงจรลิมิเตอร์ สามารถนำส่วนนี้มาใช้ในการกำหนดความแรงของสัญญาณที่จะรับได้ (RF Trip Level) โดยการต่อตัวต้านทานระหว่าง V_{cc} กับขา 10 วิธีการคือ ตั้งความแรงของเครื่องกำเนิดความถี่ป้อนให้แก่วงจรภาครับที่ระดับความแรงที่ต้องการหน่วยเป็น dBm แล้วอ่านค่ากระแสจาก V_{cc} กับขา 10 จะได้ค่าตัวต้านทานเท่ากับ

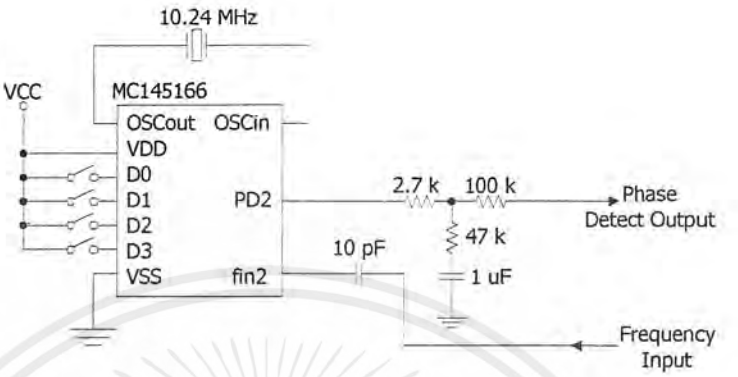
$$R_{10} = 0.64\, V_{dc} / I_{10}$$

และถ้าต้องการให้ทำงานเป็นฮีสเตอร์รีซิสด้วย ก็ให้ต่อตัวต้านทานค่าสูง ๆ R_H ระหว่างขา 10 และขา 11 โดยมีสูตรคำนวณคือ

$$Hyst = V_{cc} / (RH \times 10^{-7})\ dB$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 MC145166



รูปที่ 3.12 วงจรเฟสล็อคลูป โดยใช้ MC145166

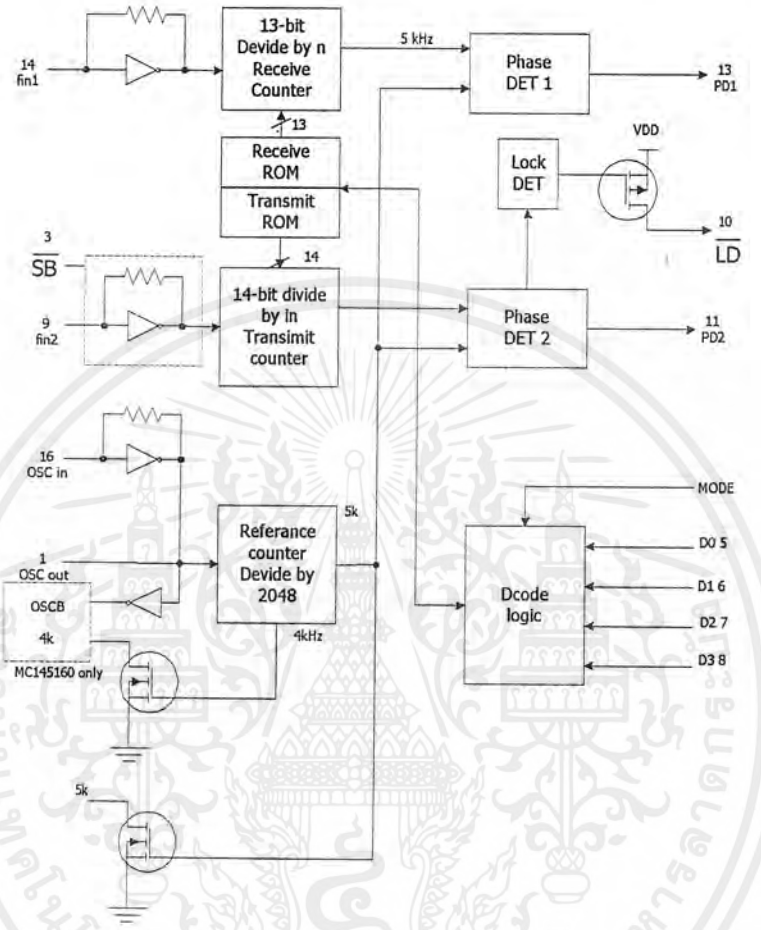
3.5.5 คุณสมบัติของ MC145166

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเฟสล็อคลูป ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ

1. สังเคราะห์สัญญาณ (Synthessizes) ได้สูงถึง 10 ช่อง
2. ความถี่ในการทำงานสูงสุดที่ 60 เมกะเฮิรตซ์ ณ แรงดันอินพุต 200 mVp-p
3. อุณหภูมิในการทำงานอยู่ในช่วง –40 องศาเซลเซียส ถึง +75 องศาเซลเซียส
4. ระดับแรงดันในการทำงานอยู่ในช่วง 2.5 โวลต์ ถึง 5.5 โวลต์
5. วงจรออสซิลเลเตอร์รองรับการของชิป (Chip) รองรับคริสตอลภายนอก
6. กระแสในการทำงาน 3.0 มิลลิแอมป์ ที่แรงดัน 3 โวลต์
7. มีสัญญาณการล็อคดีเท็ค (Lock Detect Signal)
8. มีโหมดสแตนบาย (Standby) เพื่อประหยัดพลังงาน 1.5 มิลลิแอมป์ ที่ 3.0 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 บล็อกไดอะแกรมของ MC145166



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของ MC145166

3.5.7 อธิบายรายละเอียดแต่ละขาของ MC145166

1 ขา 1, 16 สัญญาณออสซิลเลเตอร์อ้างอิง (Referance Oscillator)

จะต่อคริสตอล 10.24 MHz ที่ ขา OSCin สำหรับกำเนิดสัญญาณอ้างอิง

2 ขา 2 โหมดในการเลือก (Mode Select)

ใช้ดีโค้ด (Decoding) ลอจิกสำหรับเลือกตำแหน่งของ ROM ถ้าขานี้เลือกลอจิกสูง จะอยู่ในโหมดเบส (Base) และถ้าเลือกลอจิกต่ำ จะอยู่ในโหมดแฮนด์เซ็ต (Handset)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 3 สแตนบายอินพุต (Standby input)

ใช้ในการประหยัดพลังงาน เมื่อไม่มีการส่งสัญญาณออกไป ถ้าขานี้เลือกลอจิกสูงจะอยู่ในลูปการรับการส่ง และถ้าเลือกลอจิกต่ำจะอยู่ในลูปการรับเท่านั้น

ขา 4 สัญญาณโทน (5 kHz Tone Signals)

ได้มาจากสัญญาณออสซิลเลเตอร์อ้างอิง

ขา 5-8 ข้อมูล อินพุต (Data Inputs (D0-D3))

ในการเลือกอินพุทที่จัดอยู่ในรูป BCD code เพื่อล็อคลูปในการส่ง และการรับ

ขา 9,14 ความถี่อินพุต (Fequency Input)

ปกติสัญญาณจะได้มาจากลูปวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ สัญญาณอินพุทหารด้วย N ของตัวนับตัวรับ และตัวส่ง

ขา 10 สัญญาณลูปดีเท็ค (Loop Detect Signal)

จะสัมพันธ์กับลูปในการส่งเอาท์พุตจะล็อคที่ระดับสูง (High) เพื่อแสดงเงื่อนไขการออกจากการล็อค (out-of –lock)

ขา 11,13 เฟสดีเท็คเอาท์พุต (Phase Detect Outputs)

เอาท์พุตจะมี 3 สถานะในการรับ และการส่ง จะมีเกณฑ์ขยายเท่ากับ $V_{DD}/4\pi$ โวลต์ต่อเรเดียน

ถ้า fv > fr เอาท์พุตเป็นพัลซ์ลบ

fv < fr เอาท์พุตเป็นพัลซ์บวก

fv = fr เอาท์พุตเป็นอิมพีแดนซ์สูง (high –impedance)

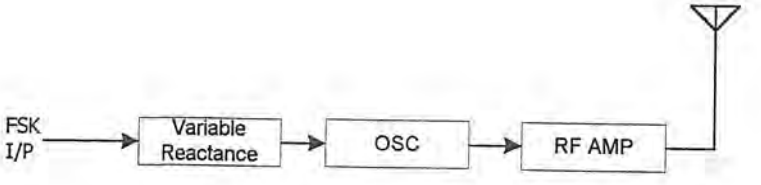
ขา 12 แหล่งจ่ายไฟลบ (Negative Power Supply)

ขานี้จะต่อเข้ากับแรงดันไฟลบ ซึ่งปกติจะต่อลงกราวด์

ขา 15 แหล่งจ่ายไฟบวก (Positive Power Supply)

ขานี้จะต่อเข้ากับแรงดันไฟบวก อยู่ในช่วง 2.5 โวลต์ ถึง 5.5 โวลต์ โดยอ้างอิงกับ V_{SS}

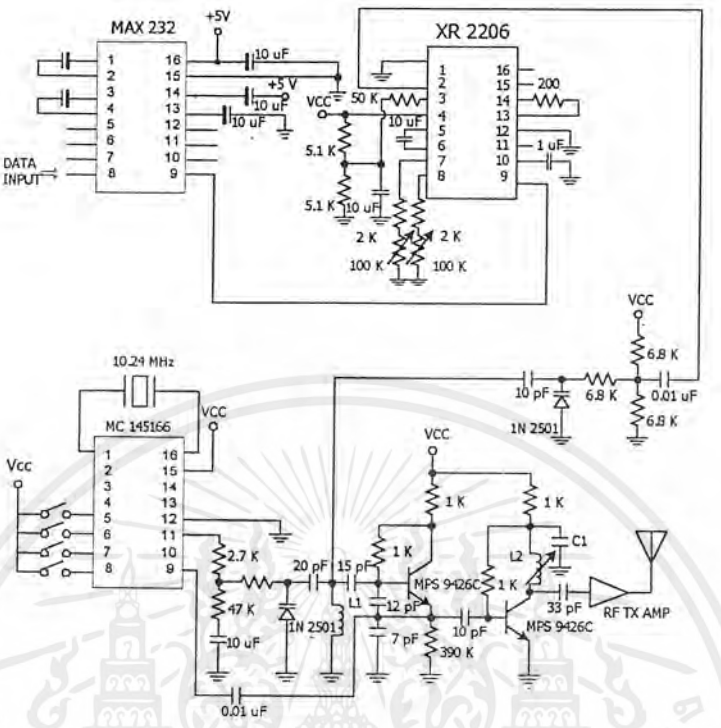
3.6 ภาคส่งวิทยุ



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 วงจรเครื่องส่ง



รูปที่ 3.15 วงจรเครื่องส่ง

การทำงานของวงจรเครื่องส่ง

จากวงจรรูปที่ 3.15 ซึ่งเป็นวงจรทางด้านภาคส่งสัญญาณ เมื่อมีสัญญาณอินพุตที่จะทำการมอดูเลตซึ่งจะเป็นสัญญาณเสียง จากนั้นจึงจะส่งผ่านสัญญาณไปยังวงจรส่วนมอดูเลต สัญญาณอินพุตที่ผ่านเข้าไปจะเป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวาริแคปเป็นตัวกำเนิดความถี่ทำงานร่วมกับทรานซิสเตอร์ MPS9426C เป็นตัวรักษาเสถียรภาพในการมอดูเลตและทำการขยายสัญญาณ และมอดูเลตสัญญาณด้วย ซึ่งเมื่อค่าตัวเก็บประจุของวาริแคปมีค่าต่ำจะทำให้ความถี่ของสัญญาณพาหะมีความถี่สัญญาณสูงขึ้น ($f = 1/(2\pi\sqrt{(LC)})$) และเมื่อมีสัญญาณแรงดันตกคร่อมวาริแคปมีค่าต่ำค่าของตัวเก็บประจุจะมีค่าสูงทำให้ความถี่พาหะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นหลักการของการมอดูเลตทางความถี่ เมื่อส่งผ่านสัญญาณการมอดูเลตโดยมีเอาท์พุทออกที่ขาอิมิตเตอร์ของ MPS9426C จะส่งผ่านสัญญาณกลับไปเข้าวงจรสังเคราะห์ความถี่ IC # MC 145166 ที่ขา 9 (f_{in2}) เพื่อทำการล็อคความถี่ที่ต้องการส่งไปยังภาครับสัญญาณเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของ วงจรในอีกทางหนึ่ง จากนั้นสัญญาณจากวงจรสังเคราะห์ความถี่จะถูกส่งมาควบคุมการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ให้ผลิตความถี่ที่ตั้งไว้ตามตารางในภาคผนวก ซึ่งสามารถส่งได้ 10 ช่องสัญญาณ ทรานซิสเตอร์ MPS9426C เป็นส่วนสำคัญในวงจรและจะทำการขยายสัญญาณด้วย จากนั้นจะส่งผ่านไปยัง วงจรรวมสัญญาณแล้วทำการขยายก่อนที่จะส่งออกเสาอากาศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 หลักการส่งข้อมูลดิจิตอลโดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก

ในการรับส่งข้อมูลจะต้องทำการจัดรูปแบบในการรับส่งข้อมูลก่อน และจะต้องจัดให้อัตราเร็วการรับส่งข้อมูล ต้องเท่ากัน การใช้งานโปรแกรมมีดังนี้

1. เปิดโปรแกรมวิชวลเบสิกเพื่อทำการรับส่งข้อมูล
2. จาก เมนู Option เลือก Settings หรือเลือก Settings จาก ทูลบาร์ (Toolbar) เพื่อทำการจัดรูปแบบการรับส่งข้อมูล
3. จาก เมนู Option เลือก Port Open หรือเลือก Port Open จากทูลบาร์ เพื่อทำการเปิดพอร์ต ในการสื่อสาร
4. เลือกรายการต่าง ๆ ที่ต้องการ ประกอบด้วย

Menu File

- New เปิดหน้าต่างโปรแกรมสำหรับเขียนข้อมูลใหม่
- Open เปิดไฟล์ที่ต้องการส่งมาแสดงบนหน้าต่างของโปรแกรม
- Save As เลือกเก็บไฟล์ข้อมูลที่จะบันทึก
- Print Setup จัดรูปแบบก่อนการพิมพ์ข้อมูล
- Print พิมพ์ข้อมูลออกที่พริ้นเตอร์
- Exit ออกจากโปรแกรมหลัก

Menu Edit

- Cut ตัดข้อความ
- Copy คัดลอกข้อความ
- Paste วางข้อความที่ได้คัดลอกไว้

Menu Send

- Send Message ส่งข้อความสั้น ๆ ออกไปทาง พอร์ตอนุกรม (Port Com)
- Send Text Files ส่งไฟล์ตัวอักษรออกไปทาง พอร์ตอนุกรม

Menu Option

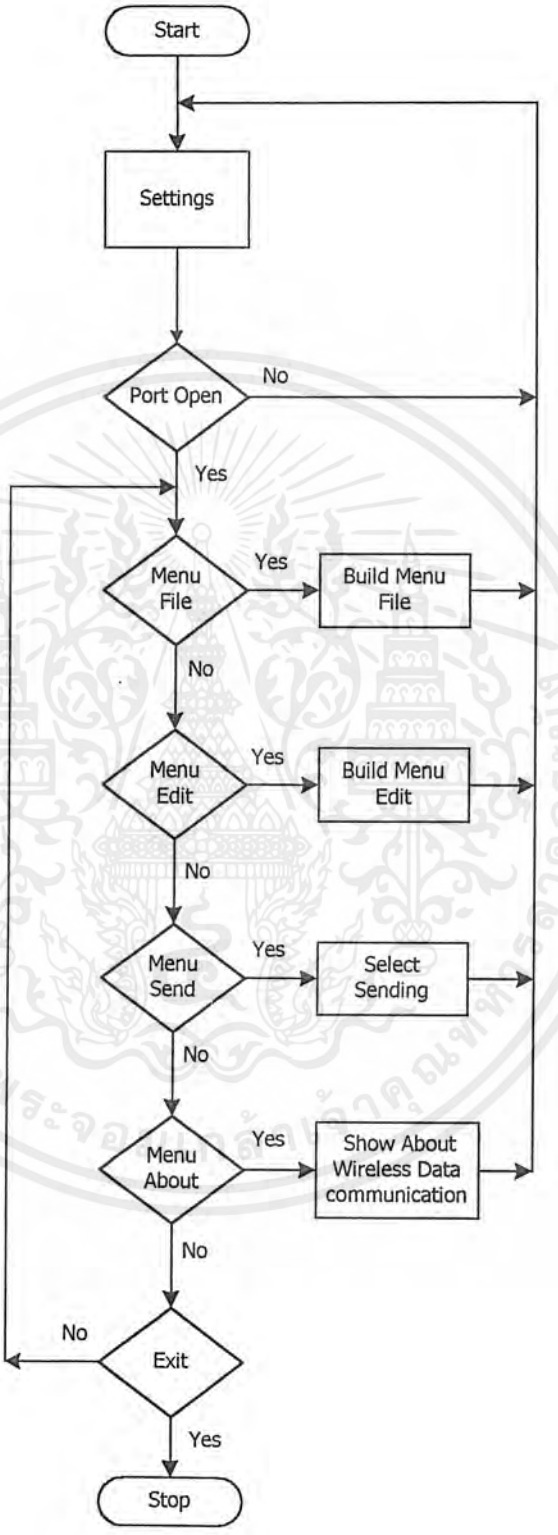
- Port Open เปิด/ปิด พอร์ตอนุกรม
- Settings จัดรูปแบบการรับส่งข้อมูล

Menu About

About Wireless Data Communication เกี่ยวกับโครงงาน และผู้จัดทำ

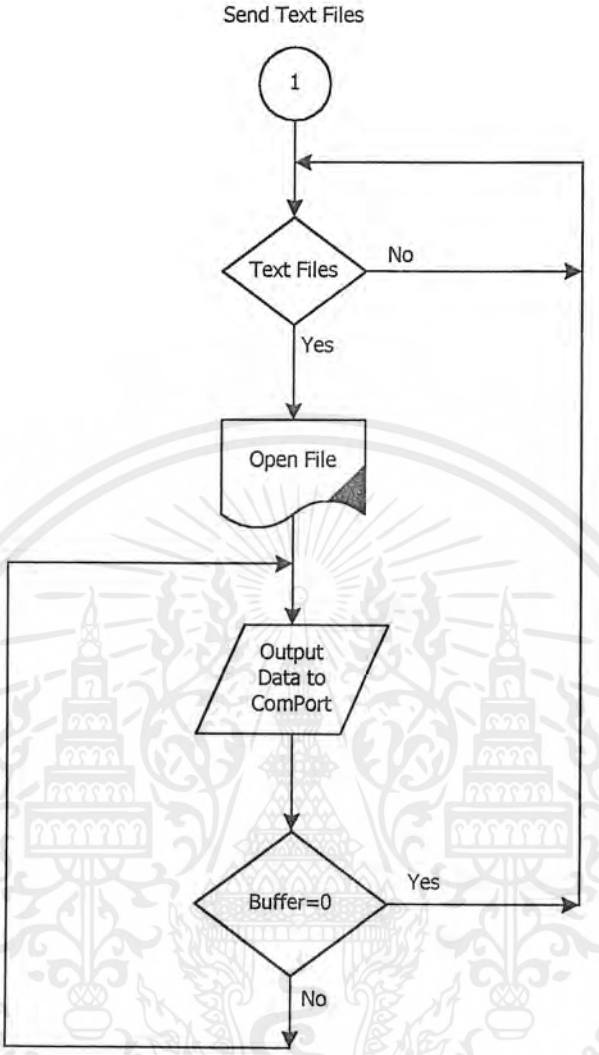
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 โฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ของโปรแกรม วิชวลเบสิก



รูปที่ 3.16 โฟลว์ชาร์ต ของฟอร์ม (Form) หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



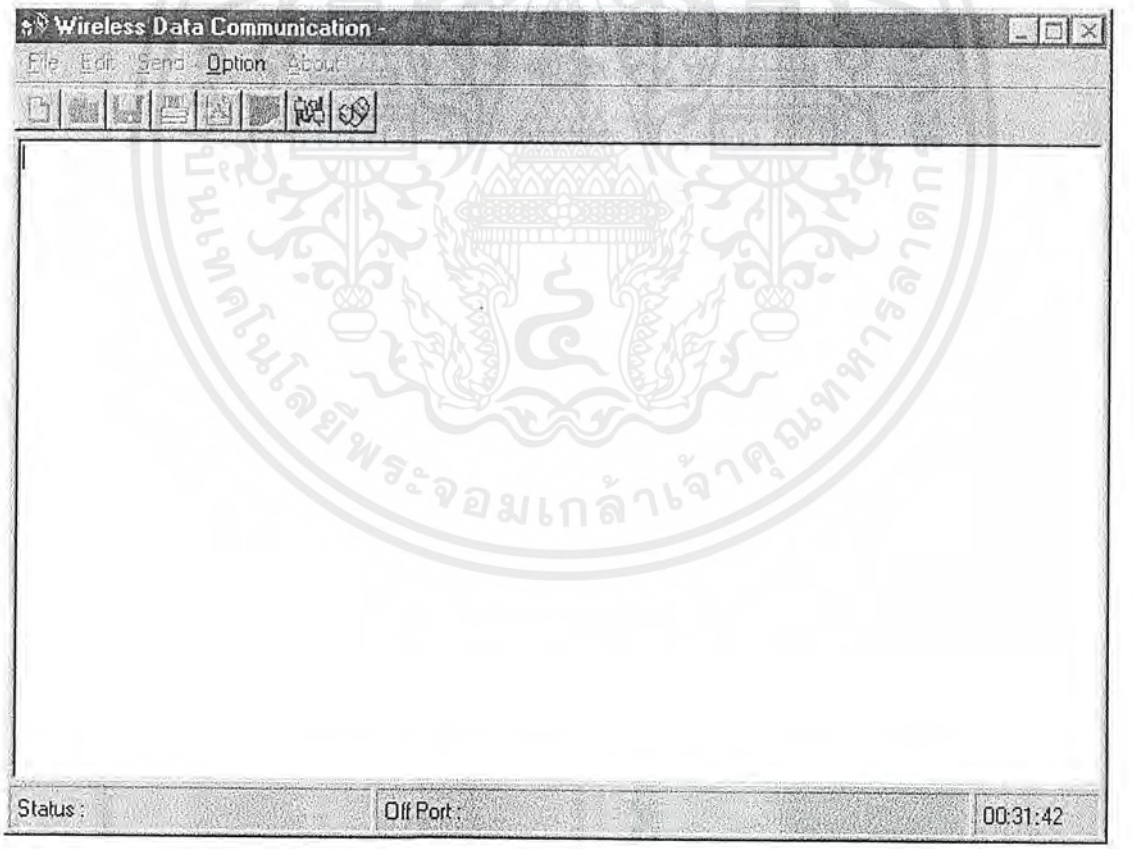
รูปที่ 3.17 โฟลว์ชาร์ต ของการส่งไฟล์ตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 การสร้าง และการเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิกในส่วนของโปรแกรม

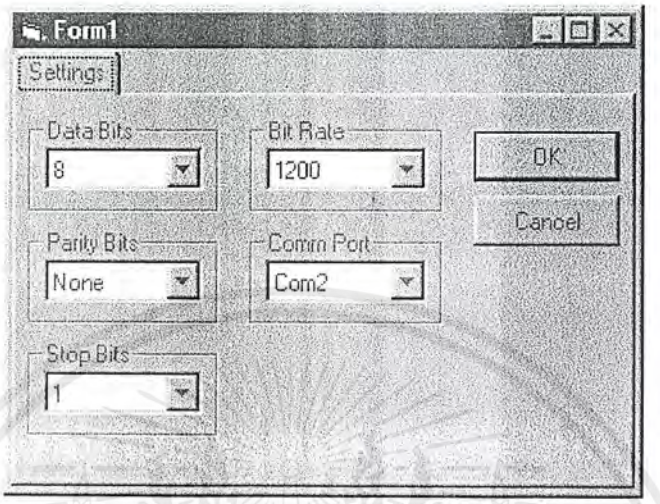
ขั้นตอนการสร้าง และการออกแบบหน้าต่างของโปรแกรม

1. ภาคการส่งข้อมูล (Data Transmitter) จะประกอบด้วย
    1.1 หน้าต่างแสดงการส่งความสั้น ๆ (Message Data)
    1.2 หน้าต่างแสดงการส่งข้อมูลไฟล์ตัวอักษร (Text Files)
2. ภาคการรับข้อมูล (Data Receiver) จะประกอบด้วย
    2.1 หน้าต่างแสดงการรับข้อมูล
3. ภาคการจัดรูปแบบการรับส่งข้อมูล (Settings) จะประกอบด้วย
    3.1 หน้าต่างการจัดรูปแบบการรับส่งข้อมูล
4. ภาคเกี่ยวกับโครงงาน จะประกอบด้วย
    4.1 หน้าต่างเกี่ยวกับโครงงาน และผู้จัดทำ



รูปที่ 3.18 หน้าต่างของโปรแกรมหลัก

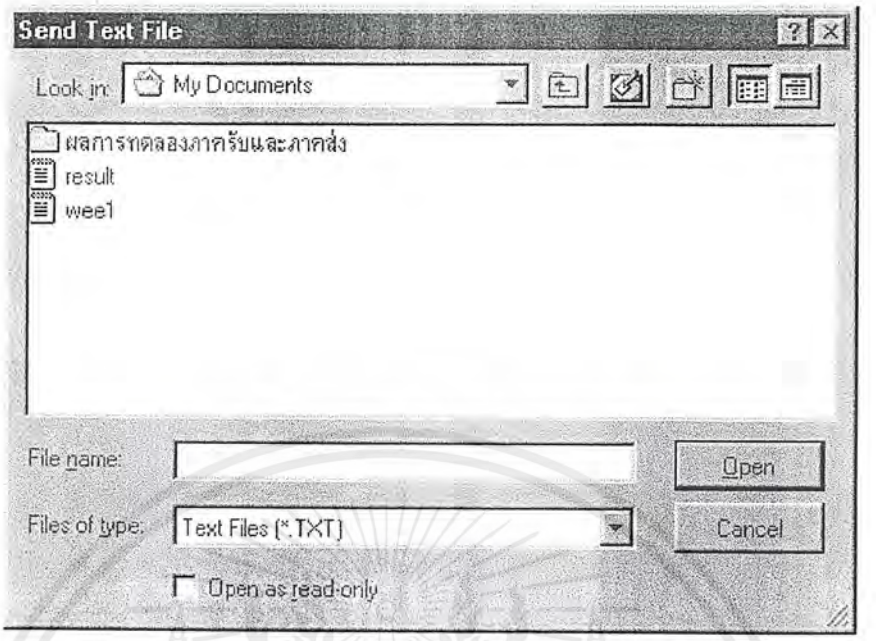
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 หน้าต่างการจัดรูปแบบการรับส่งข้อมูล

รูปที่ 3.20 หน้าต่างการส่งข้อความสั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 หน้าต่างการส่งข้อมูลไฟล์ตัวอักษร

รูปที่ 3.22 หน้าต่างเกี่ยวกับโครงงาน และผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 4.1 การเข้ารหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

จุดประสงค์

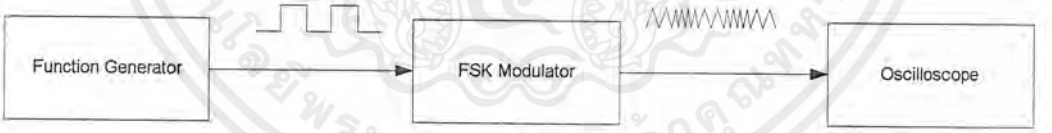
1. เพื่อศึกษาการแปลงข้อมูลจาก TTL เป็นสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง
2. เพื่อศึกษาการแปลงข้อมูลจาก Digital เป็น Analog

อุปกรณ์การทดลอง

1. ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ (Function Generator)
2. วงจรเข้ารหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Modulator)
3. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
4. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ขั้นตอนการทดลอง

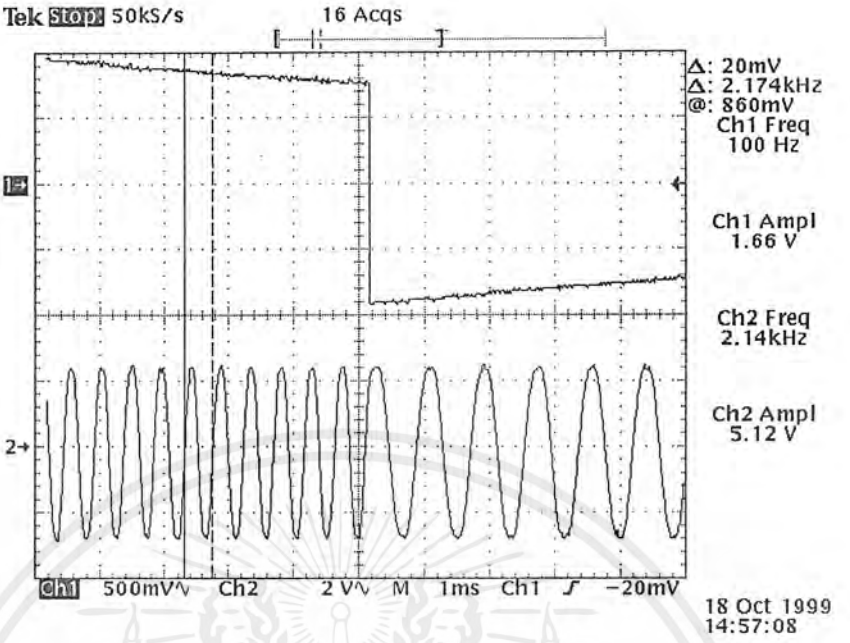
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.1
2. ใช้ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ป้อนสัญญาณรูปคลื่นสแควร์ (Square Wave) ความถี่ 100, 300 และ 600 Hz
3. ใช้ออสซิโลสโคปวัดสัญญาณที่เอาท์พุตของวงจรเข้ารหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง



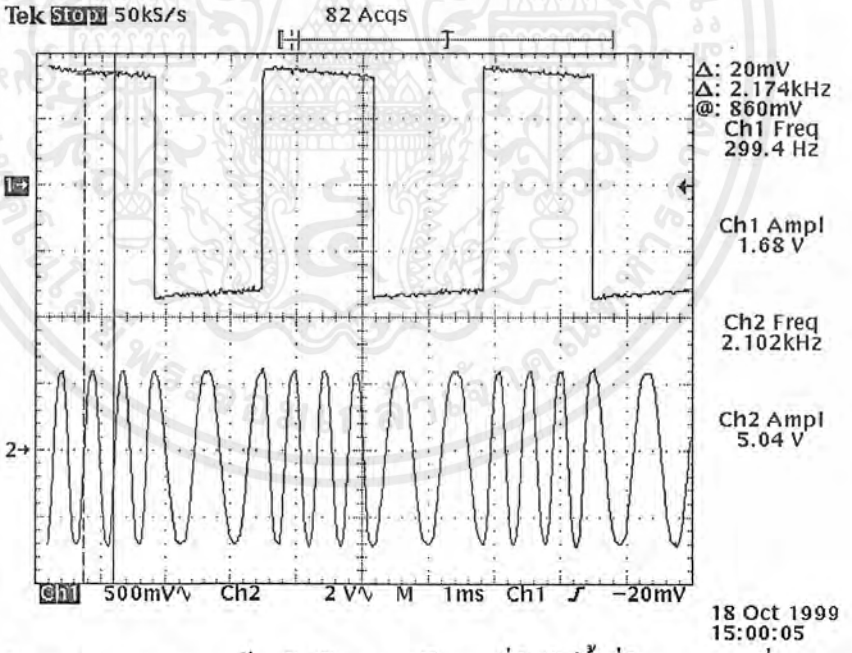
รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทดลองวงจรการเข้ารหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

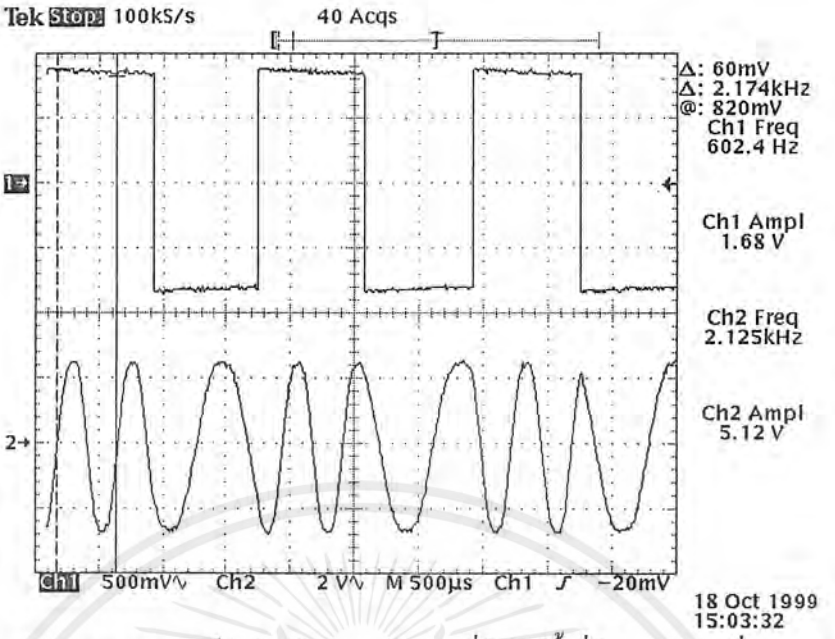


รูปที่ 4.2 ผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุต ความถี่ 100 Hz



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุต ความถี่ 300 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุต ความถี่ 600 Hz

4.2 การทดลองที่ 4.2 การถอดรหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแปลงข้อมูลจากสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง เป็นสัญญาณ TTL
2. เพื่อศึกษาการแปลงข้อมูลจาก Analog เป็น Digital

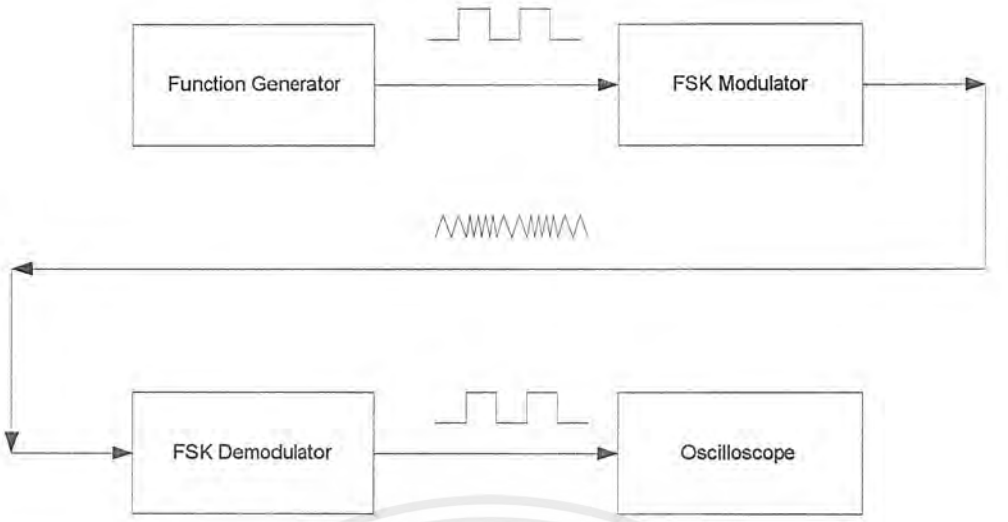
อุปกรณ์การทดลอง

1. ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ (Function Generator)
2. วงจรเข้ารหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Modulator)
3. วงจรถอดรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK Demodulator)
4. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
5. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ขั้นตอนการทดลอง

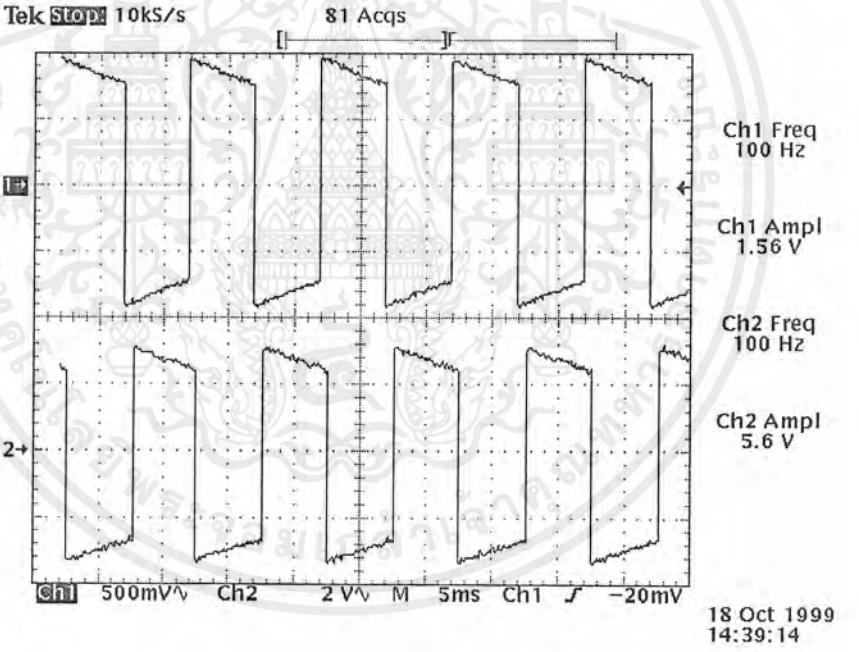
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.5
2. ใช้ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ป้อนสัญญาณรูปคลื่นสแควร์ (Square Wave) ความถี่ 100,300 และ 600 Hz
3. ใช้ออสซิโลสโคปวัดสัญญาณที่เอาท์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



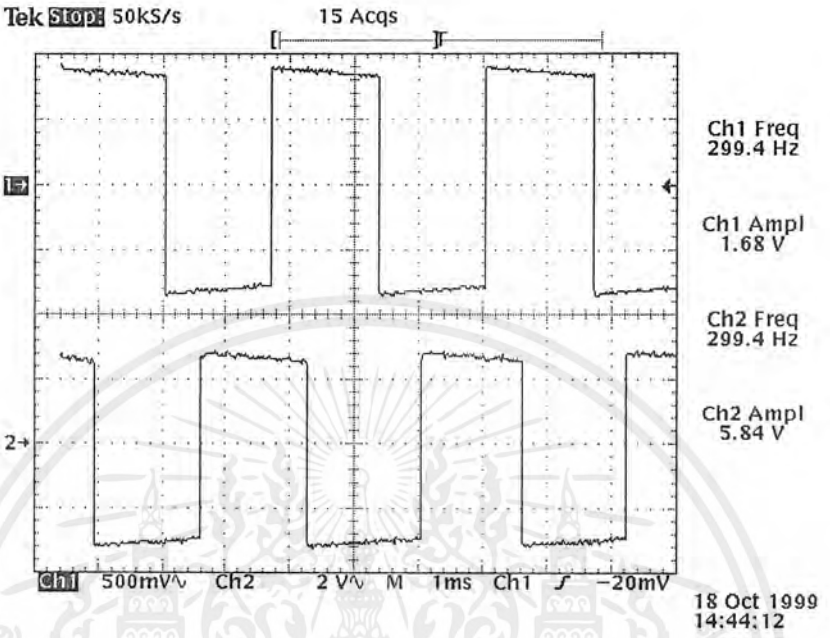
รูปที่ 4.5 รูปแสดงการทดลองวงจรถอดรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง

ผลการทดลอง

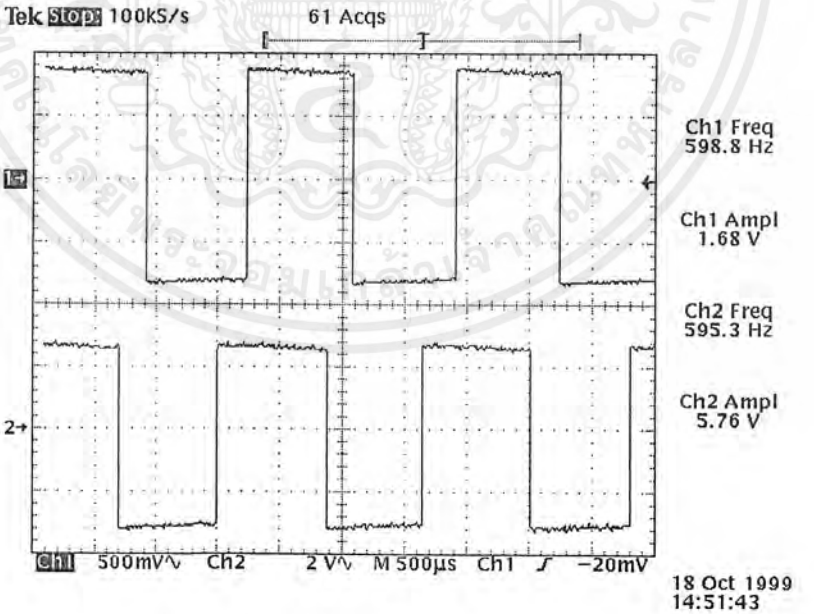


รูปที่ 4.6 ผลการทดลองการถอดรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุต ความถี่ 100 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการถอดรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุต ความถี่ 300 Hz



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองการถอดรหัสสัญญาณแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งที่อินพุต ความถี่ 600 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองที่ 4.3 วงจรแปลงระดับแรงดัน

จุดประสงค์

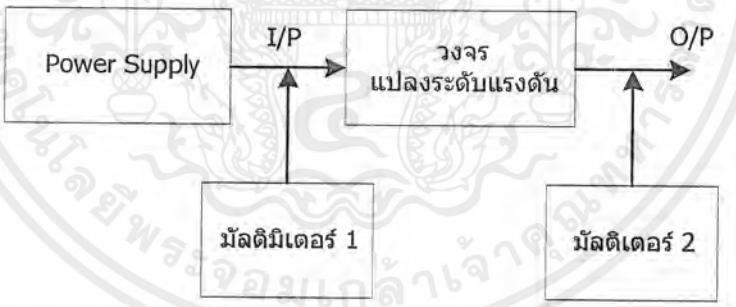
1. เพื่อแปลงระดับแรงดัน จากระดับแรงดัน ทีทีแอล เป็นระดับแรงดัน RS 232
2. เพื่อแปลงระดับแรงดันจากระดับแรงดัน RS 232 เป็นระดับแรงดัน ทีทีแอล

อุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
2. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.9
2. ให้ทำการป้อน Input ที่ขา R_{1I} และ R_{2I} ด้วยระดับแรงดัน +15 , +10 , 0 , -5 , -10 , -15 โวลต์ แล้วทำการวัดระดับแรงดันที่ได้จากขา R_{1O} และ R_{2O}
3. ให้ทำการป้อน Input ที่ขา T_{1I} และ T_{2I} ด้วยระดับแรงดัน +5 โวลต์ และ 0 โวลต์ แล้วทำการวัดระดับแรงดันที่ขา T_{1O} และ T_{2O}



รูปที่4.9 รูปแสดงการทดลองวงจรแปลงระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างขา R1I, R2I และ R1O, R2O

R1I,R2I	R1O	R2O
+15	0	0
+10	0	0
+5	0	0
0	+5	+5
-5	+5	+5
-10	+5	+5
-15	+5	+5

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างขา T1I, T2I และ T1O, T2O

T1I	T2I	T2O
0	+10	+10
+5	-10	-10

4..4 การทดลองที่ 4.4 เครื่องส่งวิทยุ

วัตถุประสงค์

ศึกษาการทำงานของวงจรเครื่องส่งวิทยุ

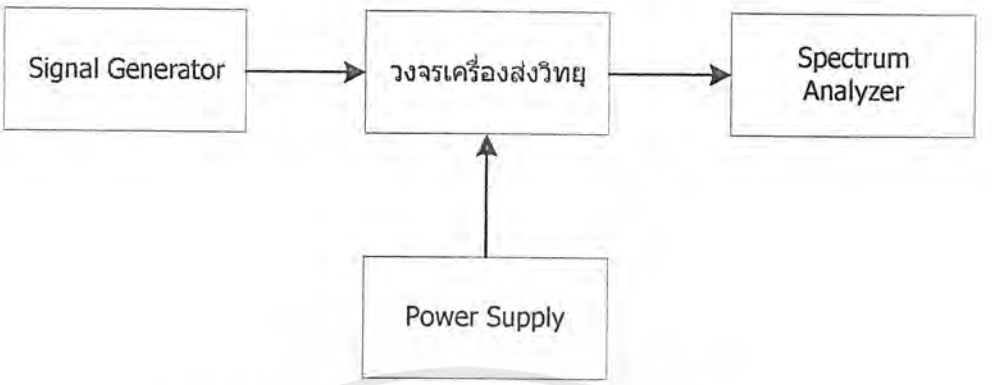
อุปกรณ์

1. วงจรเครื่องส่งวิทยุ
2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
3. สเปคตรัมอนาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer)
4. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

ขั้นตอนการทดลอง

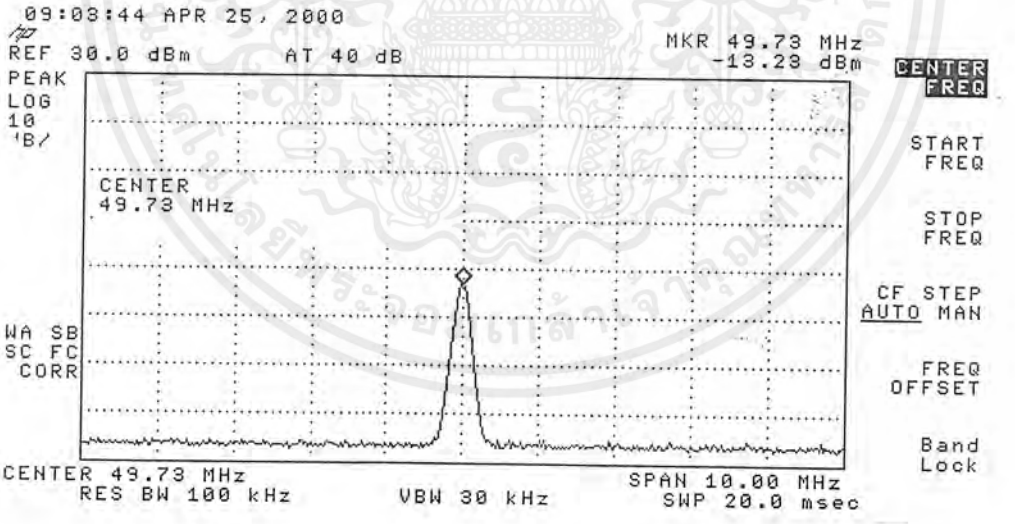
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.10
2. วัดสัญญาณเอาท์พุตในแต่ละจุดด้วย สเปคตรัมอนาไลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



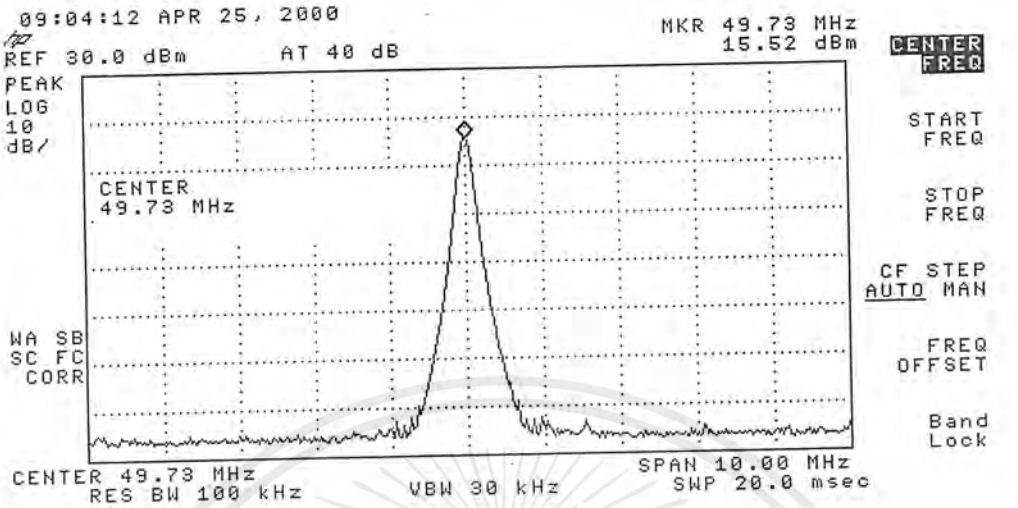
รูปที่ 4.10 รูปแสดงการทดลองวงจรเครื่องส่งวิทยุความถี่พาหะ 49.7 MHz

ผลการทดลอง

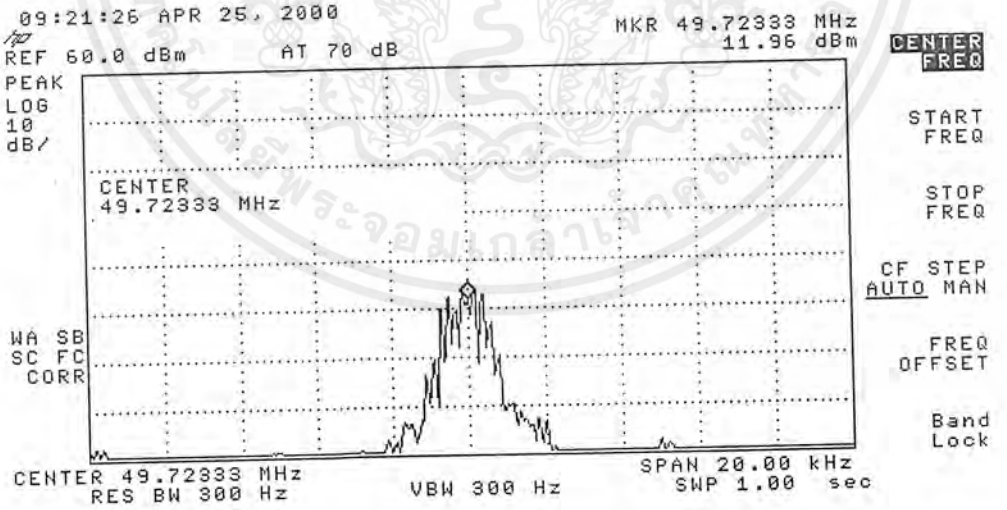


รูปที่ 4.11 สัญญาณพาหะ 49.7 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณพาหะ ที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ (RF Amplifier)



รูปที่ 4.13 สัญญาณมอดูเลตแบบ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4..5 การทดลองที่ 4.5 เครื่องรับวิทยุ

วัตถุประสงค์

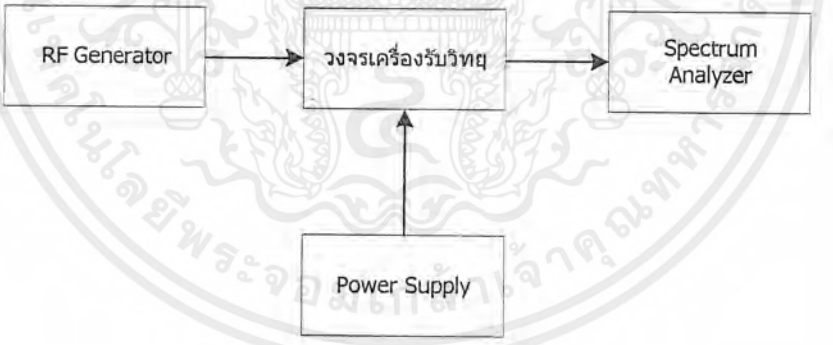
ศึกษาการทำงานของวงจรเครื่องรับวิทยุ

อุปกรณ์

1. วงจรเครื่องส่งวิทยุ
2. วงจรเครื่องรับวิทยุ
3. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
4. สเปคตรัมอนาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer)
5. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Generator)

ขั้นตอนการทดลอง

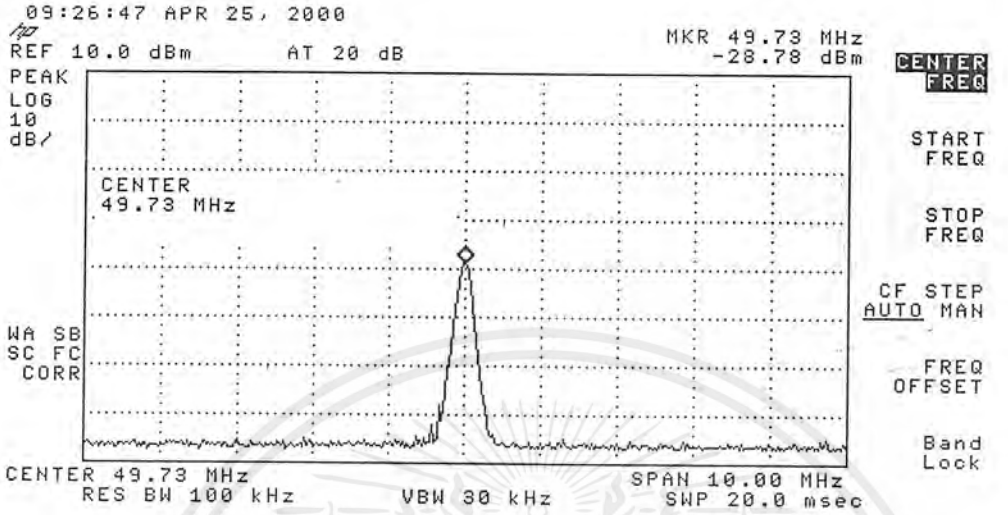
6. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.14
7. วัดสัญาณเอาท์พุตในแต่ละจุดด้วย สเปคตรัมอนาไลเซอร์



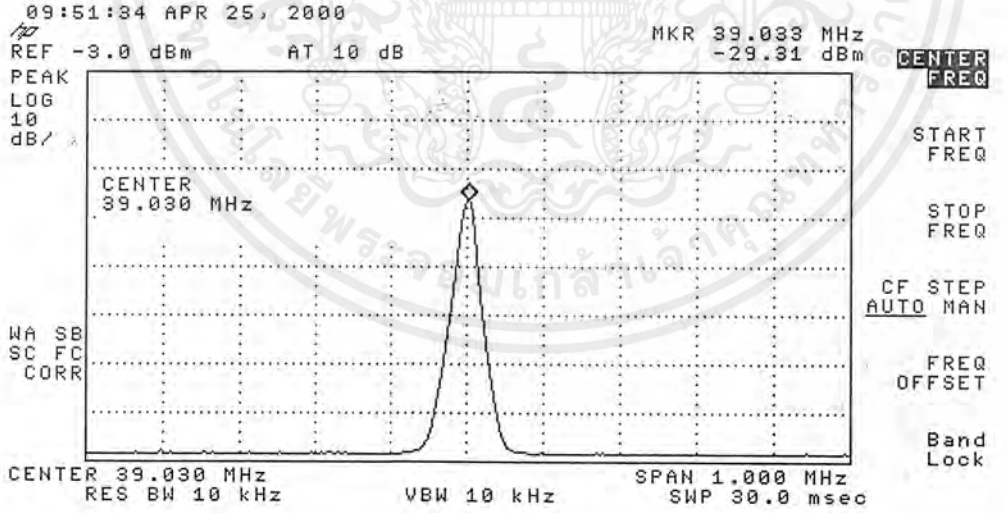
รูปที่ 4.14 รูปแสดงการทดลองวงจรเครื่องรับวิทยุความถี่พาหะ 49.7 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

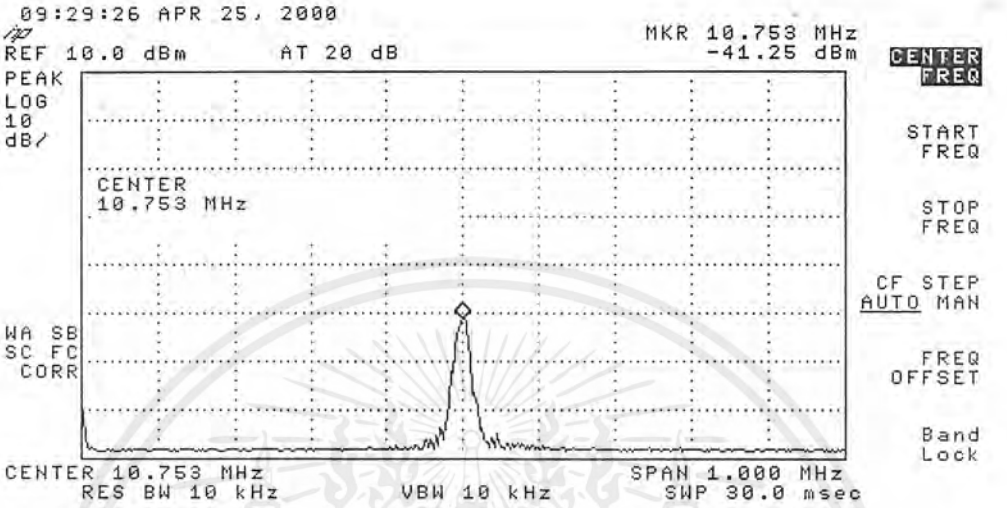


รูปที่ 4.15 สัญญาณ RF input ความถี่ 49.7 MHz

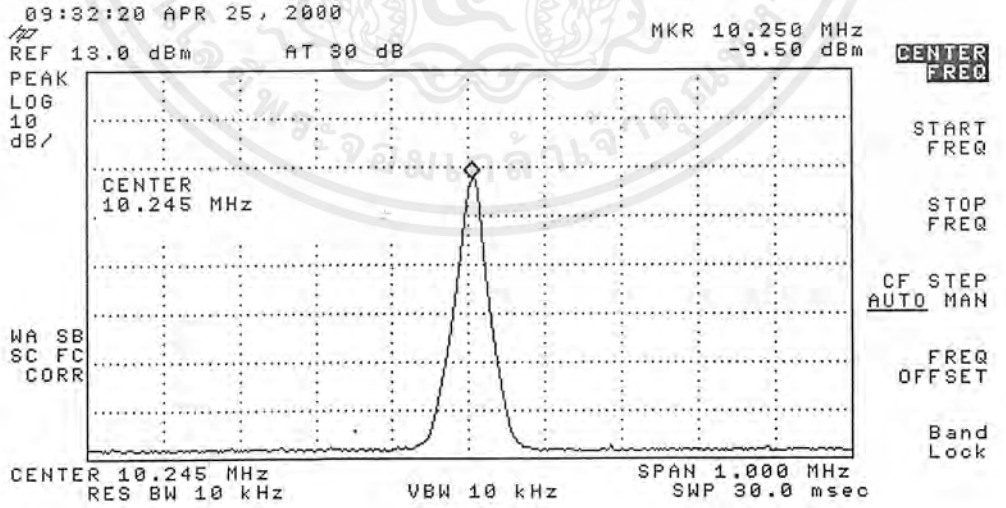


รูปที่ 4.16 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 39 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

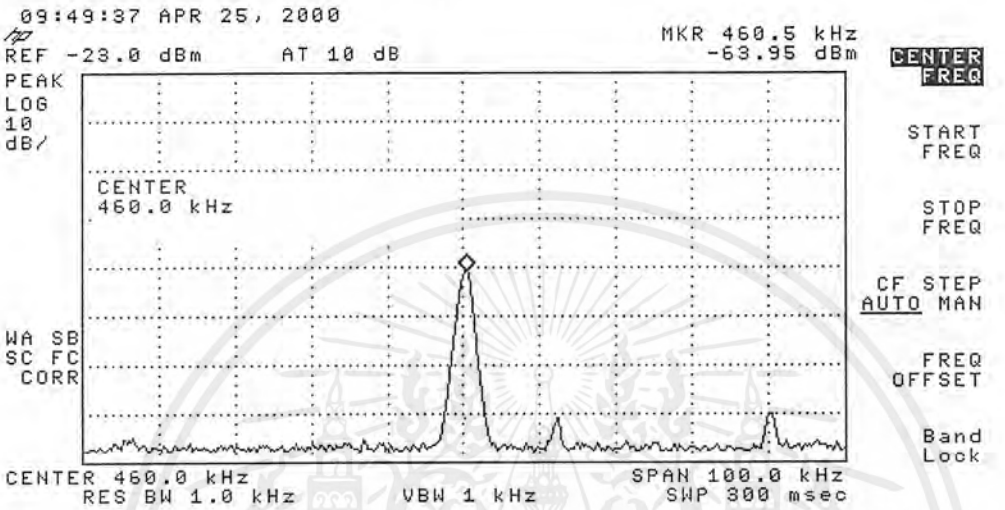


รูปที่ 4.17 สัญญาณ IF 1 10.7 MHz ซึ่งเกิดจากผลต่างของสัญญาณ RF input กับสัญญาณออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 4.18 สัญญาณจากคริสตอลออสซิลเลเตอร์ความถี่ 10.245 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 สัญญาณ IF 2 455 kHz ซึ่งเกิดจากผลต่างของสัญญาณ IF 1 กับสัญญาณคริสตอลออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

การทำงานของภาคส่งข้อมูล

ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลจะถูกมอดดูเลตให้เป็นสัญญาณอนาลอกโดยวงจร FSK Modulator หลังจากนั้นจะนำสัญญาณอนาลอกที่ได้มอดดูเลตทางความถี่ แล้วผ่านวงจรขยายกำลังความถี่วิทยุ (RF Power Amplifier) ก่อนส่งออกสายอากาศ

การทำงานของภาครับข้อมูล

สัญญาณจากสายอากาศเข้าส่วนของเครื่องรับวิทยุ FM ผ่านวงจรขยายความถี่วิทยุ แล้วรวมกับความถี่โลคอลออสซิลเลเตอร์ โดยวงจรมิกเซอร์ ได้ความถี่กลาง (Intermediate Frequency) จากนั้นผ่านวงจรขยายความถี่กลาง (Intermediate Frequency Amplifier) ผ่านวงจรลิมิเตอร์เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและแยกสัญญาณ FM ด้วยวงจร FM Detector จึงนำสัญญาณอนาลอกที่ได้ไปดีมอดดูเลตสัญญาณกลับไปเป็นสัญญาณดิจิตอล ด้วยวงจร FSK Demodulator จากนั้นสัญญาณจะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์

ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

ในส่วนของ FSK Modulate และ FSK Demodulate ไม่ค่อยพบปัญหาในการทดลอง

ในส่วนของเครื่องส่ง การปรับค่า L ทำได้ลำบากมากเนื่องจากไม่มีเครื่องมือสำหรับวัดค่า L สำหรับวงจรขยายสัญญาณวิทยุ จะต้องลองสุ่มค่า L เพื่อให้ได้ค่ากำลังส่งดีที่สุดที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะต้องซื้อ L ไว้หลาย ๆ ค่าและจะต้องมี PLL ในการกำเนิดความถี่ที่คงที่

ในภาคเครื่องรับ โดยใช้ IC MC 3362 ซึ่งเป็น Narrow band FM Receiver จะทำการ detect สัญญาณได้ลำบาก ดังนั้นจึงต้องทำการลดค่าความถี่เบี่ยงเบนของเครื่องส่งลงเพื่อให้สัญญาณที่ detect ได้นั้นมีขนาดเพิ่มขึ้นและเพื่อรักษาเสถียรภาพที่ดีของวงจรภาครับจะต้องใช้ PLL ในการกำเนิดความถี่ที่คงที่

ปัญหาสุดท้าย เมื่อทำการส่งข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกตัวหนึ่งจะเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลบ้างเล็กน้อย และปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือความถี่ที่ใช้คือ 49.7 MHz นั้น ตรงกับความถี่โทรศัพท์ไร้สาย ซึ่งบางครั้งที่ทำการทดลองจะเกิดสัญญาณรบกวนจากโทรศัพท์ทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลมากจนบางครั้งรับข้อมูลไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            mnuPortOpen.Checked = False
            sbrStatus.Panels("strStatus").Text = "Status  : "
            sbrStatus.Panels("strSettings").Text = "Off  Port "
        End If
        If MSComm1.PortOpen = True Then
                MSComm1.RThreshold = 1
        End If
       Exit Sub
ErrH:
    MsgBox Err.Description
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
    On Error GoTo ErrH
    Select Case MSComm1.CommEvent
        Case comEvReceive
            Dim Buffer As Variant
            Buffer = MSComm1.Input
            ShowData txtRxtx, (StrConv((Buffer), vbUnicode))
            EVMsg$ = " Receive "
        Case comEvSend
            EVMsg$ = " Send "
        Case comEvEOF
            EVMsg$ = "End of File Detected"

        Case comBreak
            ERMsg$ = "Break Received"
        Case comCDTO
            ERMsg$ = "Carrier Detect Timeout"
        Case comCTSTO
            ERMsg$ = "CTS Timeout"
        Case comDCB
            ERMsg$ = "Error retrieving DCB"
        Case comDSRTO
            ERMsg$ = "DSR Timeout"
        Case comFrame
            ERMsg$ = "Framing Error"
        Case comOverrun
            ERMsg$ = "Overrun Error"
        Case comRxOver
            ERMsg$ = "Receive Buffer Overflow"
        Case comRxParity
            ERMsg$ = "Parity Error"
        Case comTxFull
            ERMsg$ = "Transmit Buffer Full"
        Case Else
            ERMsg$ = "Unknown error or event"
    End Select

    If Len(EVMsg$) Then
        sbrStatus.Panels("strStatus").Text = "Status  : " & EVMsg$
        Timer1.Enabled = True
    ElseIf Len(ERMsg$) Then
        sbrStatus.Panels("strStatus").Text = "Status : " & ERMsg$
        Beep
        ret = MsgBox(ERMsg$, 1, "Click Cancel to quit, OK to
ignore.")
        If ret = 2 Then
            MSComm1.PortOpen = False
        End If
        Timer1.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    Exit Sub
ErrH:
    MsgBox Err.Description
End Sub


Private Sub tbrToolbar_ButtonClick(ByVal Button As ComctlLib.Button)
    Select Case Button.Key
    Case "tbrNew"
        Call mnuFileNew_Click
    Case "tbrOpen"
        Call mnuFileOpen_Click
    Case "tbrSave"
        Call mnuFileSaveAs_Click
    Case "tbrPrint"
        Call mnuFilePrint_Click
    Case "tbrSendMessage"
        Call mnuSendMessage_Click
    Case "tbrSendTextFile"
        Call mnuSendTextfile_Click
    Case "tbrPortOpen"
        Call mnuPortOpen_Click
    Case "tbrSettings"
        Call mnuSettings_Click
    End Select
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    sbrStatus.Panels("strTime") = Format(Time(), "HH:MM:SS")
    If EVMsg$ = " Receive " Then
        sbrStatus.Panels("strStatus").Text = "Status  : "
    End If
End Sub

Public Static Sub ShowData(Term As Control, Data As String)
    On Error GoTo Handler
    Const MAXTERMSIZE = 16000
    Dim TermSize As Long, i
    TermSize = Len(Term.Text)
    If TermSize > MAXTERMSIZE Then
       Term.Text = Mid$(Term.Text, 4097)
       TermSize = Len(Term.Text)
    End If
    Term.SelStart = TermSize
    Do
       i = InStr(Data, Chr$(8))
       If i Then
          If i = 1 Then
             Term.SelStart = TermSize - 1
             Term.SelLength = 1
             Data = Mid$(Data, i + 1)
          Else
             Data = Left$(Data, i - 2) & Mid$(Data, i + 1)
          End If
       End If
    Loop While i
    Do
       i = InStr(Data, Chr$(10))
       If i Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Data = Left$(Data, i - 1) & Mid$(Data, i + 1)
         End If
      Loop While i
      i = 1
      Do
         i = InStr(i, Data, Chr$(13))
         If i Then
            Data = Left$(Data, i) & Chr$(10) & Mid$(Data, i + 1)
            i = i + 1
         End If
      Loop While i
      Term.SelText = Data
      Term.SelStart = Len(Term.Text)
      Exit Sub
Handler:
      MsgBox Error$
      Resume Next
End Sub

Private Sub mnuAboutProject_Click()
      frmAbout.Show
End Sub

Private Sub mnuEditCopy_Click()
      Clipboard.SetText txtRxtx.SelText
End Sub

Private Sub mnuEditCut_Click()
      Clipboard.SetText txtRxtx.SelText
      txtRxtx.SelText = ""
End Sub

Private Sub mnuEditPaste_Click()
      txtRxtx.SelText = Clipboard.GetText()
End Sub

Private Sub mnuFileExit_Click()
      If MSComm1.PortOpen = True Then
          MSComm1.PortOpen = False
      End If
      Unload Me
End Sub

Private Sub mnuFileNew_Click()
      txtRxtx.Text = ""
      Caption = "Wireless Data Communication - Untitled"
End Sub

Private Sub mnuFileOpen_Click()
      On Error Resume Next
      Comdlg.filename = "*.txt"
      With Comdlg
          .Filter = "Text Files (*.txt)|*.txt|All Files (*.*)|*.*"
          .DialogTitle = "Open File "
          .Flags = &H2
          .ShowOpen
          If Err = cdlCancel Then
              Exit Sub
          End If
          Fname = Comdlg.filename
          Fnum = FreeFile
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If Fname <> "*.txt" Then
            Open Fname For Input As Fnum
                If Err Then
                    MsgBox "Can't Open File : " + Fname
                    Exit Sub
                End If
                Screen.MousePointer = 11
                Caption = "Wireless Data Communication - " + UCase
(Fname)
                txtRxtx.Text = Input(LOF(Fnum), Fnum)
            Close Fnum
            Screen.MousePointer = 0
        End If
      End With
End Sub

Private Sub mnuFilePrint_Click()
    On Error Resume Next
    Printer.Print ;
    With Printer
        .FontName = "ansanaUPC"
        .FontSize = 15
        End With
        Printer.Print txtRxtx.Text
        Printer.EndDoc
End Sub

Private Sub mnuFilePrintSetup_Click()
    On Error Resume Next
    Comdlg.Flags = &H40
    Comdlg.ShowPrinter
End Sub

Private Sub mnuFileSaveAs_Click()
    On Error Resume Next
    Comdlg.filename = "Untitled"
    With Comdlg
        .Filter = "Text Files (*.txt ) | *.txt |All Files  (*.*) |
*.* "
        .DialogTitle = "Save File As"
        .Flags = &H4 Or &H2
        .ShowSave
        Fname = Comdlg.filename
        Fnum = FreeFile
        Open Fname For Output As Fnum
        Print #Fnum, txtRxtx.Text
        Close Fnum
    End With
End Sub

Private Sub mnuSendMessage_Click()
    Dim strMessage As String
    strMessage = InputBox("Please enter your Message .", "Send
Message", "Message")
    If vbOK Then
        If strMessage <> "" Then
            If MSComm1.PortOpen Then
                MSComm1.Output = strMessage & Chr$(13) & Chr$(10)
            End If
        Else
            Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        End If
    End If
End Sub

Private Sub mnuSettings_Click()
    frmSettings.Show
    If frmSettings.cmdOK Then
        Call mnuPortOpen_Click
    End If
End Sub
Private Sub mnuSendTextfile_Click()
   Dim ret
   Dim hSend, BSize, LF&

   On Error Resume Next
   frmMain.Enabled = False
  Comdlg.DialogTitle = "Send Text File"
  Comdlg.Filter = "Text Files (*.TXT)|*.txt|All Files (*.*)|*.*"
   Do
      Comdlg.CancelError = True
      Comdlg.filename = ""
      Comdlg.ShowOpen
      If Err = cdlCancel Then
        frmMain.Enabled = True
        Exit Sub
      End If
      Temp = Comdlg.filename
      ret = Len(Dir$(Temp))
      If Err Then
         MsgBox Error$, 48
         Exit Sub
      End If
      If ret Then
         Exit Do
      Else
         MsgBox Temp + " not found!", 48
      End If
   Loop
   hSend = FreeFile
   Open Temp For Binary Access Read As hSend
   If Err Then
      MsgBox Error$, 48
   Else
      CancelSend = False
      frmCancelSendText.Label1.Caption = "Send Text File - " + Temp
      frmCancelSendText.Show
      BSize = MSComm1.OutBufferSize
      LF& = LOF(hSend)
      Do Until EOF(hSend) Or CancelSend
         If LF& - Loc(hSend) <= BSize Then
            BSize = LF& - Loc(hSend) + 1
         End If
         Temp = Space$(BSize)
         Get hSend, , Temp
         MSComm1.Output = Temp
         If Err Then
            MsgBox Error$, 48
            Exit Do
         End If
         Do
            ret = DoEvents()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Loop Until MSComm1.OutBufferCount = 0 Or CancelSend
        Loop
    End If
    Close hSend
    frmMain.Enabled = True
    CancelSend = True
    frmCancelSendText.Hide
End Sub
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*************************************
'Form Settings
'*************************************

Sub LoadPropertySettings()
    Dim i As Integer, Settings As String, Offset As Integer
        '  Port Settings
    For i = 1 To 4
         cboPort.AddItem "Com" & Trim$(Str$(i))
    Next i
        '  Speed Settings
    cboSpeed.AddItem "110"
    cboSpeed.AddItem "300"
    cboSpeed.AddItem "600"
    cboSpeed.AddItem "1200"
    cboSpeed.AddItem "2400"
    cboSpeed.AddItem "4800"
    cboSpeed.AddItem "9600"
        '  Data Bit Settings
    cboDatabits.AddItem "4"
    cboDatabits.AddItem "5"
    cboDatabits.AddItem "6"
    cboDatabits.AddItem "7"
    cboDatabits.AddItem "8"
        '  Parity Settings
    cboParity.AddItem "Even"
    cboParity.AddItem "Odd"
    cboParity.AddItem "None"
    cboParity.AddItem "Mark"
    cboParity.AddItem "Space"
        '  Stop Bit Settings
    cboStopbits.AddItem "1"
    cboStopbits.AddItem "1.5"
    cboStopbits.AddItem "2"
        '  Default
    Settings = frmMain.MSComm1.Settings
    If InStr(Settings, ".") > 0 Then
        Offset = 2
    Else
       Offset = 0
    End If
    cboSpeed.Text = Left$(Settings, Len(Settings) - 6 - Offset)
    Select Case Mid$(Settings, Len(Settings) - 4 - Offset, 1)
    Case "e"
        cboParity.ListIndex = 0
    Case "m"
          cboParity.ListIndex = 1
    Case "n"
         cboParity.ListIndex = 2
    Case "o"
        cboParity.ListIndex = 3
    Case "s"
         cboParity.ListIndex = 4
    End Select
        cboDatabits.Text = Mid$(Settings, Len(Settings) - 2 - Offset,
1)
        cboStopbits.Text = Right$(Settings, 1 + Offset)
        cboPort.ListIndex = frmMain.MSComm1.CommPort - 1
End Sub

Private Sub cmdCancel_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Unload Me
End Sub

Private Sub cmdOK_Click()
    Dim OldPort As Integer, ReOpen As Boolean
    On Error Resume Next
    OldPort = frmMain.MSComm1.CommPort
    NewPort = cboPort.ListIndex + 1
    If NewPort <> OldPort Then
        If frmMain.MSComm1.PortOpen Then
                frmMain.MSComm1.PortOpen = False
                ReOpen = True
        End If
        frmMain.MSComm1.CommPort = NewPort
        If Err = 0 Then
            If ReOpen Then
              frmMain.MSComm1.PortOpen = True
            End If
        End If
        If Err Then
            MsgBox Error$, 48
            frmMain.MSComm1.CommPort = OldPort
            Exit Sub
        End If
    End If
    frmMain.MSComm1.Settings = Trim$(cboSpeed.Text) & "," & Left$
(cboParity.Text, 1) _
         & "," & Trim$(cboDatabits.Text) & "," & Trim$
(cboStopbits.Text)
    If Err Then
        MsgBox Error$, 48
        Exit Sub
    End If
    SaveSetting App.Title, "Settings", "Settings",
frmMain.MSComm1.Settings
    SaveSetting App.Title, "Settings", "CommPort",
frmMain.MSComm1.CommPort
    Unload Me
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
    LoadPropertySettings
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'**********************************
'Form Cancel Send Text Files
'**********************************

DefInt A-Z
Option Explicit
Const SWP_NOMOVE = &H2
Const SWP_NOSIZE = &H1

Private Sub Command1_Click()
   CancelSend = True
End Sub

Private Sub Form_Activate()
    SetWindowPos hWnd, -1, 0, 0, 0, 0, SWP_NOMOVE Or SWP_NOSIZE
End Sub

Private Sub Form_Deactivate()
   If Not CancelSend Then
      frmCancelSendText.Show
   End If
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'*****************************************
'**** Form About Wire Data Communication ****
'*****************************************

Option Explicit

Private Sub cmdAboutOK_Click()
    Unload Me
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
    Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
End Sub

Private Sub Form_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X As
Single, Y As Single)
    lblAbout4(0).ForeColor = &H80000012
    lblAbout4(1).ForeColor = &H80000012
End Sub
Private Sub lblAbout4_MouseMove(Index As Integer, Button As Integer,
Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    lblAbout4(Index).ForeColor = &HFF&
End Sub



'*****************************************
'Module1
'*****************************************

Option Explicit
Public CancelSend As Integer
Declare Sub SetWindowPos Lib "user32" (ByVal hWnd As Long, ByVal
hWndInsertAfter As Long, ByVal X As Long, ByVal Y As Long, ByVal cx
As Long, ByVal cy As Long, ByVal wFlags As Long)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2206

Monolithic
Function Generator

EXAR ...the analog plus company™

June 1997-3

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

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

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

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	–40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

©1972

TQM™

EXAR Corporation, 48720 Kato Road, Fremont, CA 94538 ◆ (510) 668-7000 ◆ (510) 668-7017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

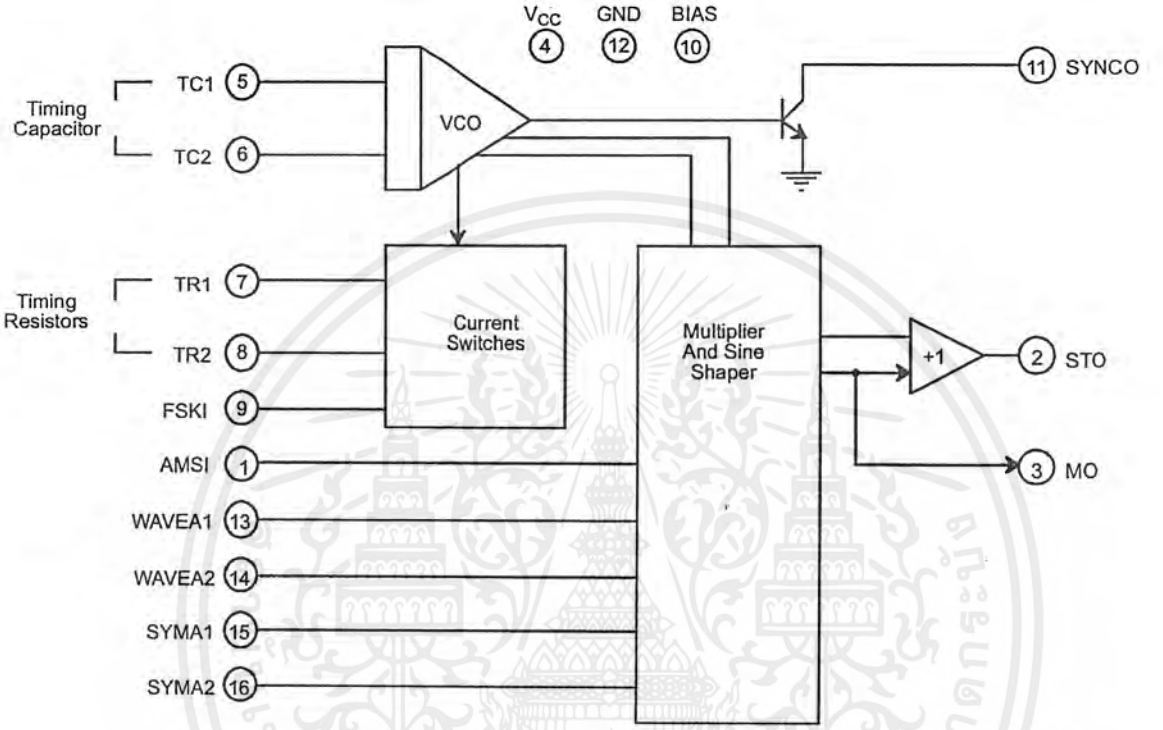


Figure 1. XR-2206 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* **Vcc = 12V, T_A = 25°C, C = 0.01µF, R_1 = 100kΩ, R_2 = 10kΩ, R_3 = 25kΩ**
Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	**10**		**26**	10		26	V	
Split-Supply Voltage	**±5**		**±13**	±5		±13	V	
Supply Current		12	**17**		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	**0.5**	1		0.5	1		MHz	C = 1000pF, R_1 = 1kΩ
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	C = 50µF, R_1 = 2MΩ
Frequency Accuracy		±1	**±4**		±2		% of f_o	$f_o = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		±10	**±50**		±20		ppm/°C	0°C ≤ T_A ≤ 70°C $R_1 = R_2$ = 20kΩ
Sine Wave Amplitude Stability[2]		4800			4800		ppm/°C	
Supply Sensitivity		0.01	**0.1**		0.01		%/V	V_{LOW} = 10V, V_{HIGH} = 20V, $R_1 = R_2$ = 20kΩ
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	f_H @ R_1 = 1kΩ f_L @ R_1 = 2MΩ
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	f_L = 1kHz, f_H = 10kHz
1000:1 Sweep		8			8		%	f_L = 100Hz, f_H = 100kHz
FM Distortion		0.1			0.1		%	±10% Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	**0.001**		100	0.001		100	µF	*Figure 5*
Timing Resistors: R_1 & R_2	**1**		2000	1		2000	kΩ	
Triangle Sine Wave Output[1]								*Figure 3*
Triangle Amplitude		160			160		mV/kΩ	*Figure 2*, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	**40**	60	80		60		mV/kΩ	*Figure 2*, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	R_1 = 30kΩ
With Adjustment		0.4	**1.0**		0.5	1.5	%	See *Figure 7* and *Figure 8*

Notes
[1] Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3, on Pin 3. See Figure 3.
[2] For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.
***Bold face parameters** are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		kΩ	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	C_L = 10pF
Fall Time		50			50		ns	C_L = 10pF
Saturation Voltage		0.2	**0.4**		0.2	0.6	V	I_L = 2mA
Leakage Current		0.1	**20**		0.1	100	µA	V_{CC} = 26V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	**2.4**	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	**3.3**	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes
[1] Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3, on Pin 3. See Figure 3.
[2] For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.
***Bold face parameters** are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.*

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply 26V
Power Dissipation 750mW
Derate Above 25°C ..... 5mW/°C
Total Timing Current 6mA
Storage Temperature ..... -65°C to +150°C

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

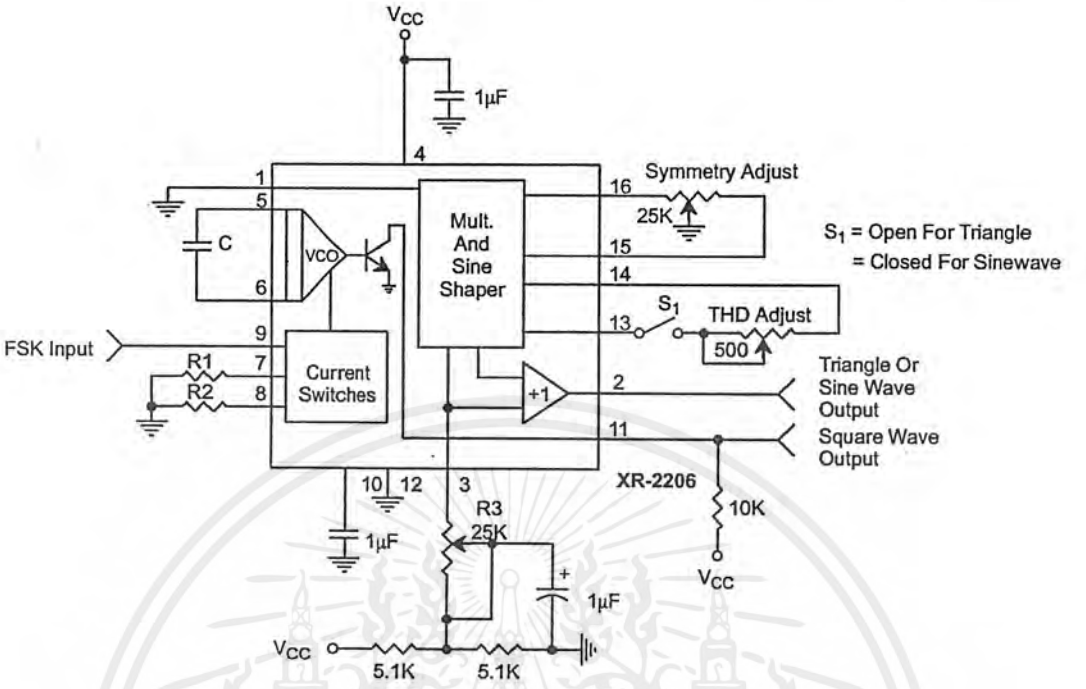


Figure 2. Basic Test Circuit

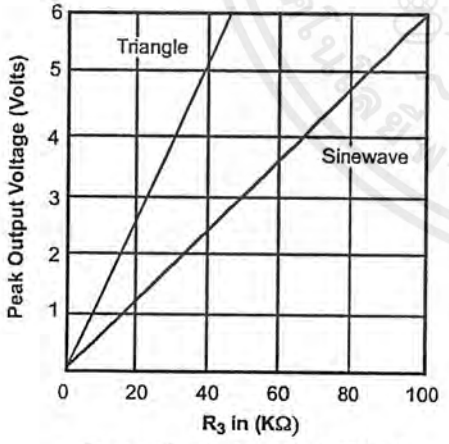


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

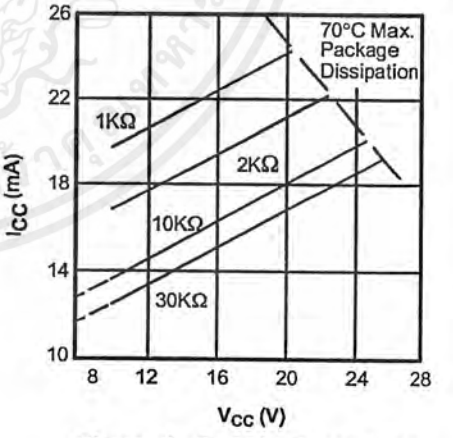


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

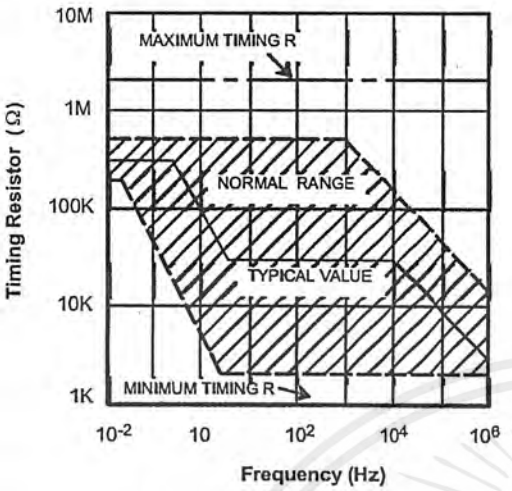


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

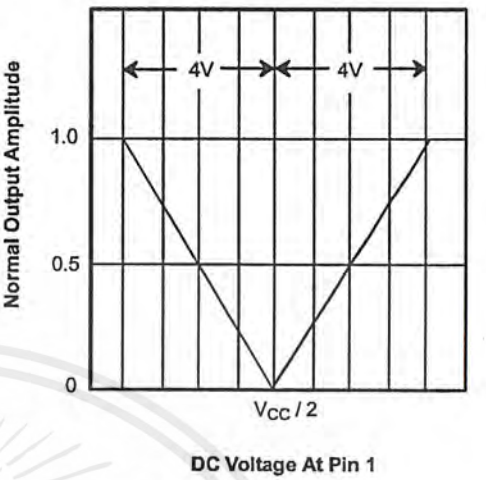


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

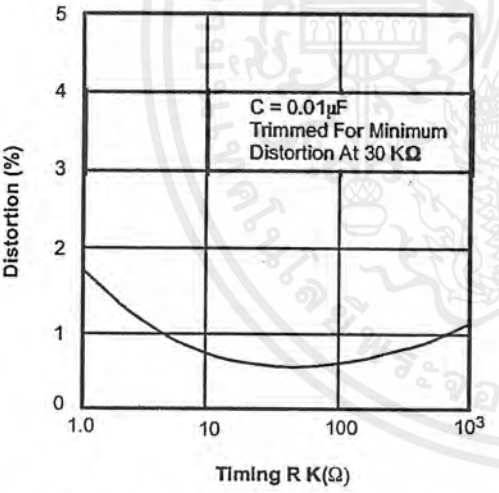


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

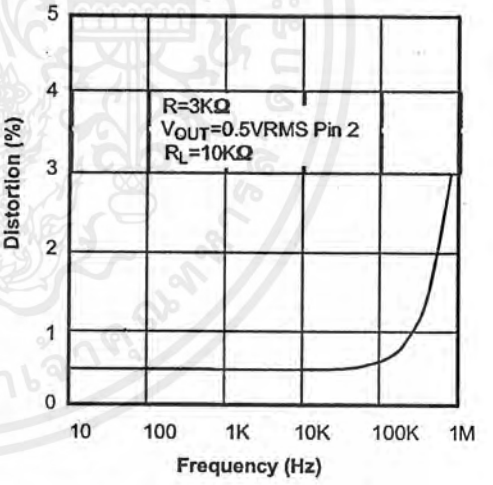


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

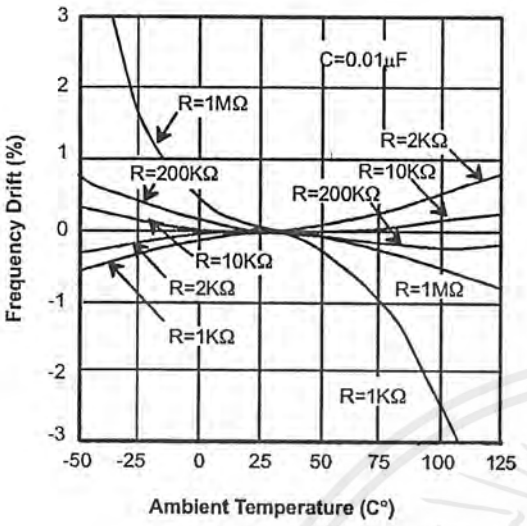


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

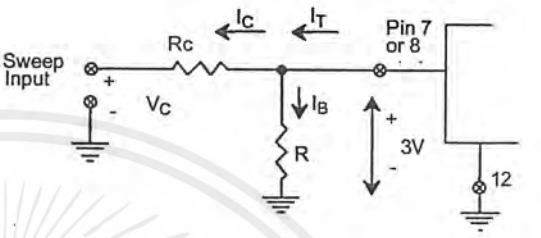


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

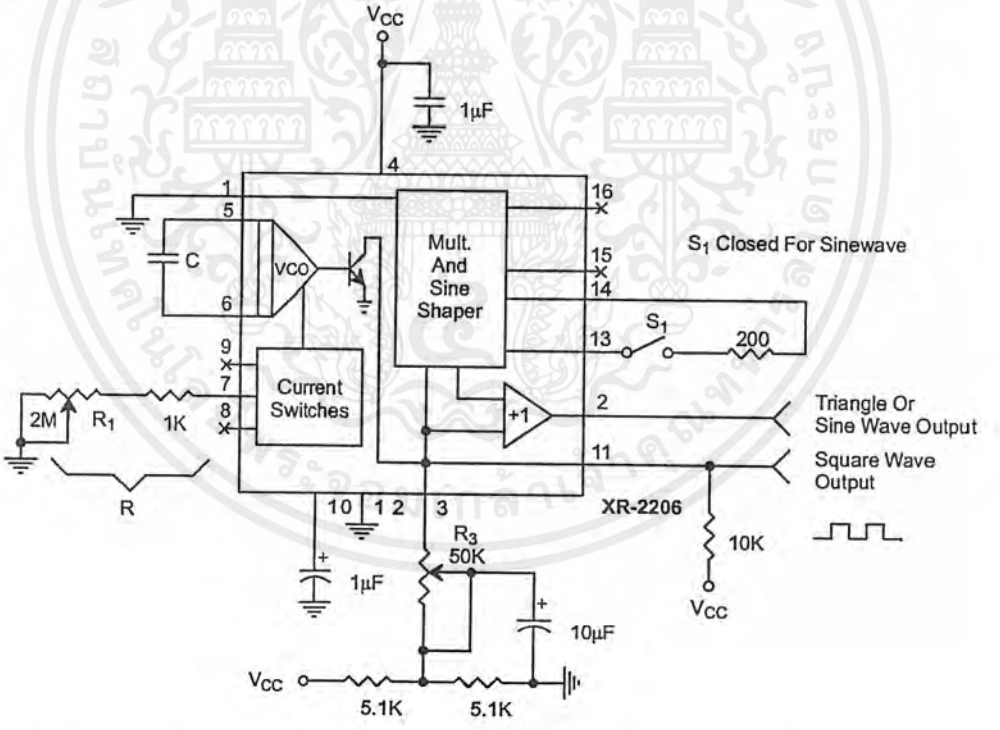


Figure 11. Circuit tor Sine Wave Generation without External Adjustment. (See *Figure 3* for Choice of R_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

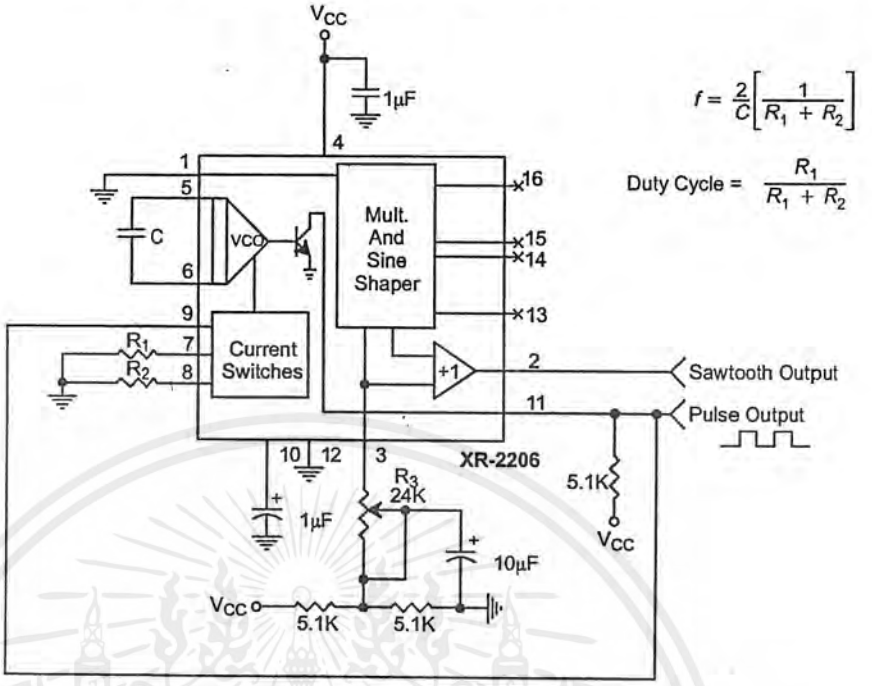


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

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

$f_1 = 1/R_1C$ and $f_2 = 1/R_2C$

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

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In *Figure 11*, *Figure 12* and *Figure 13*, Pin 3 is biased midway between V+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is < 2.5%. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of *Figure 11* can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^-. For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in *Figure 12*. The potentiometer, R_A, adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

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

Triangle Wave Generation

The circuits of *Figure 11* and *Figure 12* can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R_1 and R_2; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V⁻.

Pulse and Ramp Generation

Figure 14 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2. The values of R_1 and R_2 should be in the range of 1kΩ to 2MΩ.

PRINCIPLES OF OPERATION

Description of Controls

Frequency of Operation:

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

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

and can be adjusted by varying either R or C. The recommended values of R, for a given frequency range, as shown in *Figure 5*. Temperature stability is optimum for $4k\Omega < R < 200k\Omega$. Recommended values of C are from 1000pF to 100μF.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T, drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320 I_T(mA)}{C(\mu F)}\ Hz$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with IT, over a wide range of current values, from 1μA to 3mA. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C, to the activated timing pin as shown in *Figure 10*. The frequency of oscillation is related to VC as:

$$f = \frac{1}{RC}\left(1 + \frac{R}{R_c}\left(1 - \frac{V_c}{3}\right)\right) Hz$$

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

$$K = \partial f / \partial V_c = -\frac{0.32}{R_c C}\ \ Hz/V$$

CAUTION: *For safety operation of the circuit, I_T should be limited to ≤ 3mA.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R_3, connected to Pin 3 (see *Figure 3*). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per kΩ of R_3; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per kΩ of R_3. Thus, for example, R_3 = 50kΩ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance at Pin 1 is approximately 100kΩ. Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of $V_{CC}/2$ as shown in *Figure 6*. As this bias level approaches $V_{CC}/2$, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: *AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of* V_{CC}.

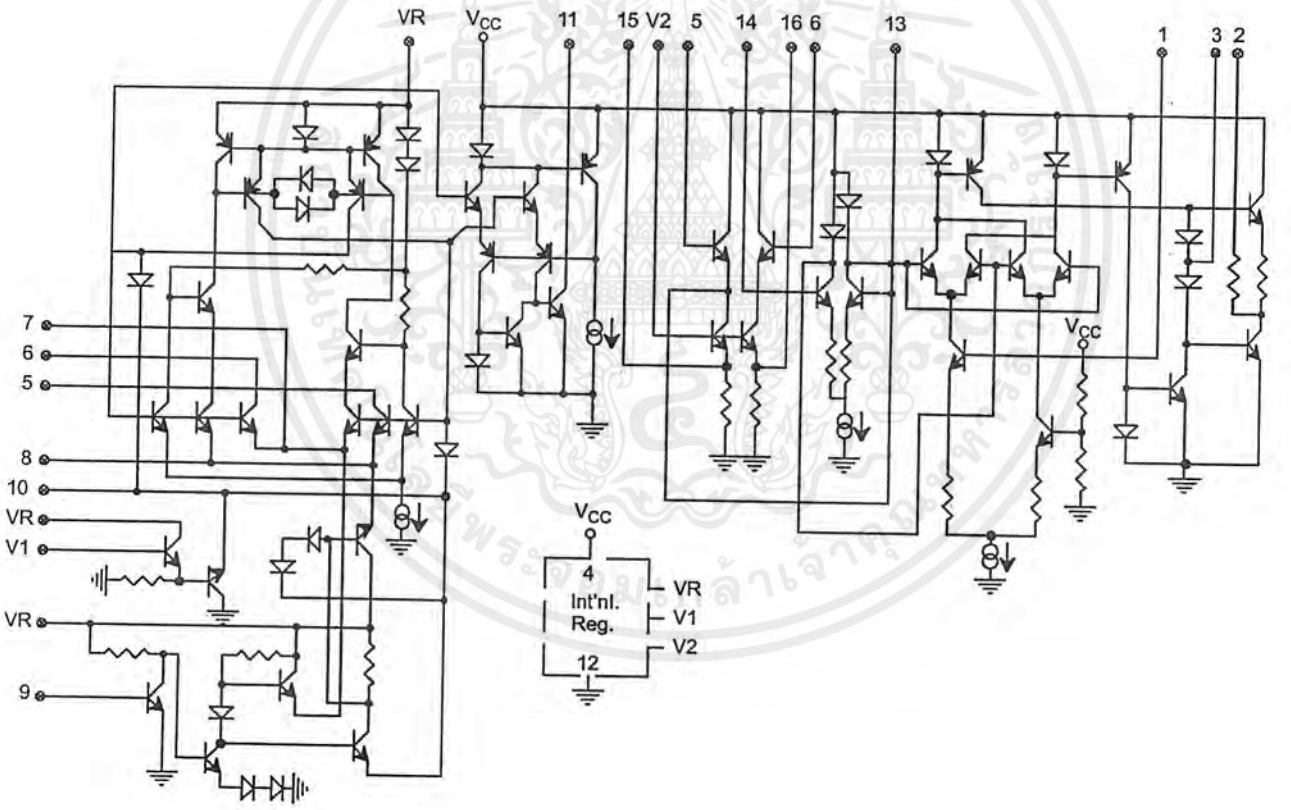


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XR-2211

FSK Demodulator/ Tone Decoder

EXAR ...the analog plus company™

June 1997-3

FEATURES

- Wide Frequency Range, 0.01Hz to 300kHz
- Wide Supply Voltage Range, 4.5V to 20V
- HCMOS/TTL/Logic Compatibility
- FSK Demodulation, with Carrier Detection
- Wide Dynamic Range, 10mV to 3V rms
- Adjustable Tracking Range, ±1% to 80%
- Excellent Temp. Stability, ±50ppm/°C, max.

APPLICATIONS

- Caller Identification Delivery
- FSK Demodulation
- Data Synchronization
- Tone Decoding
- FM Detection
- Carrier Detection

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2211 is a monolithic phase-locked loop (PLL) system especially designed for data communications applications. It is particularly suited for FSK modem applications. It operates over a wide supply voltage range of 4.5 to 20V and a wide frequency range of 0.01Hz to 300kHz. It can accommodate analog signals between 10mV and 3V, and can interface with conventional DTL, TTL, and ECL logic families. The circuit consists of a basic PLL for tracking an input signal within the pass band, a quadrature phase detector which provides carrier detection, and an FSK voltage comparator which provides FSK demodulation. External components are used to independently set center frequency, bandwidth, and output delay. An internal voltage reference proportional to the power supply is provided at an output pin.

The XR-2211 is available in 14 pin packages specified for military and industrial temperature ranges.

ORDERING INFORMATION

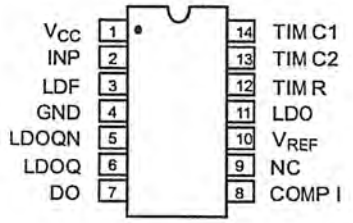
Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2211M	14 Pin CDIP (0.300")	-55°C to +125°C
XR-2211N	14 Pin CDIP (0.300")	-40°C to +85°C
XR-2211P	14 Pin PDIP (0.300")	-40°C to +85°C
XR-2211ID	14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")	-40°C to +85°C

©1992

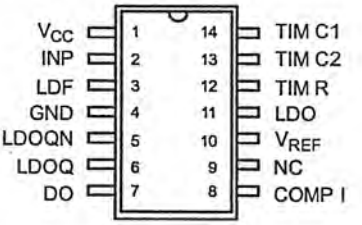
EXAR Corporation, 48720 Kato Road, Fremont, CA 94538 ◆ (510) 668-7000 ◆ FAX (510) 668-7017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONFIGURATION



14 Lead CDIP, PDIP (0.300")



14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	V_{CC}		**Positive Power Supply.**
2	INP	I	**Receive Analog Input.**
3	LDF	O	**Lock Detect Filter.**
4	GND		**Ground Pin.**
5	LDOQN	O	**Lock Detect Output Not.** This output will be low if the VCO is in the capture range.
6	LDOQ	O	**Lock Detect Output.** This output will be high if the VCO is in the capture range.
7	DO	O	**Data Output.** Decoded FSK output.
8	COMP I	I	**FSK Comparator Input.**
9	NC		**Not Connected.**
10	V_{REF}	O	**Internal Voltage Reference.** The value of V_{REF} is $V_{CC}/2$ - 650mV.
11	LDO	O	**Loop Detect Output.** This output provides the result of the quadrature phase detection.
12	TIM R	I	**Timing Resistor Input.** This pin connects to the timing resistor of the VCO.
13	TIM C2	I	**Timing Capacitor Input.** The timing capacitor connects between this pin and pin 14.
14	TIM C1	I	**Timing Capacitor Input.** The timing capacitor connects between this pin and pin 13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: V_{CC} = 12V, T_A = +25°C, R_O = 30KΩ, C_O = 0.033μF, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
General					
Supply Voltage	**4.5**		**20**	V	
Supply Current		4	**7**	mA	$R_0 \geq$ 10KΩ. See *Figure 4.*
Oscillator Section					
Frequency Accuracy		±1	**±3**	%	Deviation from $f_O = 1/R_0 C_0$
Frequency Stability					
Temperature		±20	±50	ppm/°C	See *Figure 8.*
Power Supply		0.05	**0.5**	%/V	V_{CC} = 12 ±1V. See *Figure 7.*
		0.2		%/V	V_{CC} = ± 5V. See *Figure 7.*
Upper Frequency Limit	**100**	300		kHz	R_0 = 8.2KΩ, C_0 = 400pF
Lowest Practical Operating Frequency			0.01	Hz	R_0 = 2MΩ, C_0 = 50μF
Timing Resistor, R_0 - See *Figure 5*					
Operating Range	**5**		2000	KΩ	
Recommended Range	5			KΩ	See *Figure 7* and *Figure 8.*
Loop Phase Dectector Section					
Peak Output Current	**±150**	±200	**±300**	μA	Measured at Pin 11
Output Offset Current		1		μA	
Output Impedance		1		MΩ	
Maximum Swing	**±4**	± 5		V	Referenced to Pin 10
Quadrature Phase Detector					Measured at Pin 3
Peak Output Current	**100**	300		μA	
Output Impedance		1		MΩ	
Maximum Swing		11		V_{PP}	
Input Preampt Section					Measured at Pin 2
Input Impedance		20		KΩ	
Input Signal					
Voltage Required to Cause Limiting		2	10	mV rms	

Notes

Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production.
***Bold face parameters** are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Test Conditions: V_{CC} = 12V, T_A = +25°C, R_O = 30KΩ, C_O = 0.033µF, unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Voltage Comparator Section					
Input Impedance		2		MΩ	Measured at Pins 3 and 8
Input Bias Current		100		nA	
Voltage Gain	55	70		dB	R_L = 5.1KΩ
Output Voltage Low		300	**500**	mV	I_C = 3mA
Output Leakage Current		0.01	**10**	µA	V_O = 20V
Internal Reference					
Voltage Level	**4.9**	5.3	**5.7**	V	Measured at Pin 10
Output Impedance		100		Ω	AC Small Signal
Maximum Source Current		80		µA	

Notes
Parameters are guaranteed over the recommended operating conditions, but are not 100% tested in production.
***Bold face parameters** are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.*

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply 20V
Input Signal Level ..... 3V rms
Power Dissipation 900mW

Package Power Dissipation Ratings
CDIP 750mW
Derate Above T_A = 25°C ..... 8mW/°C
PDIP 800mW
Derate Above T_A = 25°C ..... 60mW/°C
SOIC 390mW
Derate Above T_A = 25°C ..... 5mW/°C

SYSTEM DESCRIPTION

The main PLL within the XR-2211 is constructed from an input preamplifier, analog multiplier used as a phase detector and a precision voltage controlled oscillator (VCO). The preamplifier is used as a limiter such that input signals above typically 10mV rms are amplified to a constant high level signal. The multiplying-type phase detector acts as a digital exclusive or gate. Its output (unfiltered) produces sum and difference frequencies of the input and the VCO output. The VCO is actually a current controlled oscillator with its normal input current (f_O) set by a resistor (R_0) to ground and its driving current with a resistor (R_1) from the phase detector.

The output of the phase detector produces sum and difference of the input and the VCO frequencies (internally connected). When in lock, these frequencies are f_{IN}+ f_{VCO} (2 times f_{IN} when in lock) and f_{IN} - f_{VCO} (0Hz when lock). By adding a capacitor to the phase detector output, the 2 times f_{IN} component is reduced, leaving a DC voltage that represents the phase difference between the two frequencies. This closes the loop and allows the VCO to track the input frequency.

The FSK comparator is used to determine if the VCO is driven above or below the center frequency (FSK comparator). This will produce both active high and active low outputs to indicate when the main PLL is in lock (quadrature phase detector and lock detector comparator).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRINCIPLES OF OPERATION

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

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

Lock Detect Output, Q (Pin 6): The output at pin 6 is at "low" state when the PLL is out of lock and goes to "high" state when the PLL is locked. It is an open collector type output and requires a pull-up resistor, R_L, to V_{CC} for proper operation. At "low" state, it can sink up to 5mA of load current.

Lock Detect Complement, (Pin 5): The output at pin 5 is the logic complement of the lock detect output at pin 6. This output is also an open collector type stage which can sink 5mA of load current at low or "on" state.

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

FSK Comparator Input (Pin 8): This is the high impedance input to the FSK voltage comparator. Normally, an FSK post-detection or data filter is connected between this terminal and the PLL phase detector output (pin 11). This data filter is formed by R_F and C_F (see *Figure 3.*) The threshold voltage of the comparator is set by the internal reference voltage, V_{REF}, available at pin 10.

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

Loop Phase Detector Output (Pin 11): This terminal provides a high impedance output for the loop phase detector. The PLL loop filter is formed by R_1 and C_1 connected to pin 11 (see *Figure 3.*) With no input signal, or with no phase error within the PLL, the DC level at pin 11 is very nearly equal to V_{REF}. The peak to peak voltage swing available at the phase detector output is equal to $2 \times V_{REF}$.

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

$$f_O = \frac{1}{R_0 \cdot C_0} \; Hz$$

where C_0 is the timing capacitor across pins 13 and 14. For optimum temperature stability, R_0 must be in the range of 10KΩ to 100KΩ (see *Figure 9.*)

This terminal is a low impedance point, and is internally biased at a DC level equal to V_{REF}. The maximum timing current drawn from pin 12 must be limited to ≤ 3mA for proper operation of the circuit.

VCO Timing Capacitor (Pins 13 and 14): VCO frequency is inversely proportional to the external timing capacitor, C_0, connected across these terminals (see *Figure 6.*) C_0 must be non-polar, and in the range of 200pF to 10μF.

VCO Frequency Adjustment: VCO can be fine-tuned by connecting a potentiometer, R_X, in series with R_0 at pin 12 (see *Figure 10.*)

VCO Free-Running Frequency, f_O: XR-2211 does not have a separate VCO output terminal. Instead, the VCO outputs are internally connected to the phase detector sections of the circuit. For set-up or adjustment purposes, the VCO free-running frequency can be tuned by using the generalized circuit in *Figure 3*, and applying an alternating bit pattern of O's and 1's at the known mark and space frequencies. By adjusting R_0, the VCO can then be tuned to obtain a 50% duty cycle on the FSK output (pin 7). This will ensure that the VCO f_O value is accurately referenced to the mark and space frequencies.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

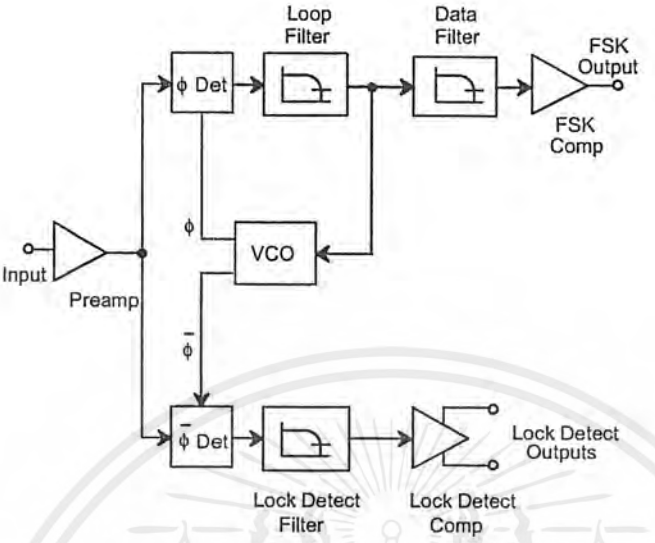


Figure 2. Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211

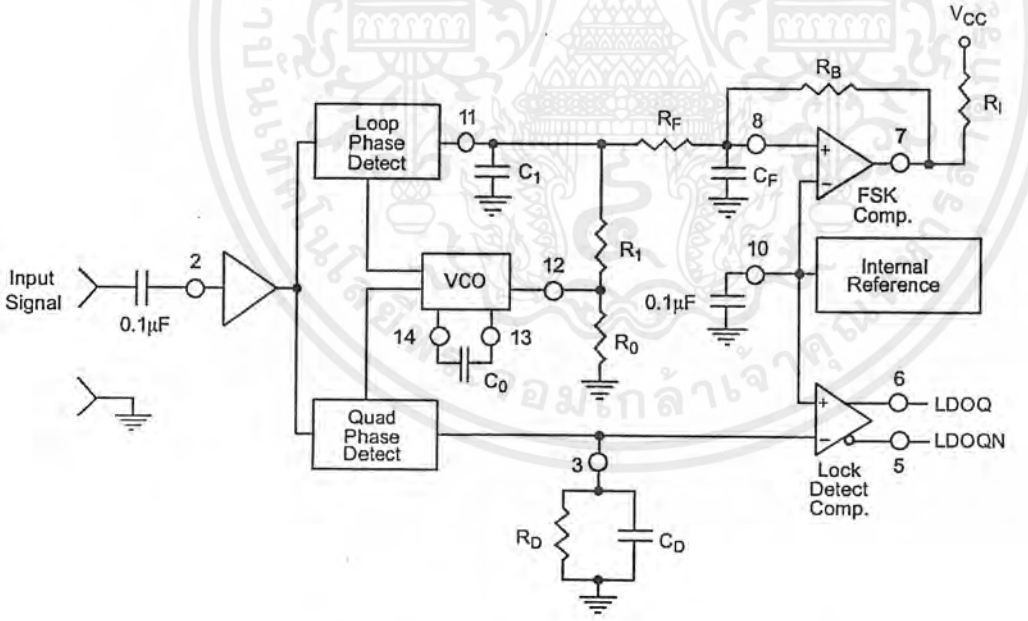


Figure 3. Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN EQUATIONS

(All resistance in Ω, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

(See *Figure 3* for definition of components)

1. VCO Center Frequency, f_O:

$$f_O = \frac{1}{R_0 \cdot C_0}$$

2. Internal Reference Voltage, V_{REF} (measured at pin 10):

$$V_{REF} = \left(\frac{V_{CC}}{2}\right) - 650mV \text{ in volts}$$

3. Loop Low-Pass Filter Time Constant, τ:

$$\tau = C_1 \cdot R_{PP} \text{ (seconds)}$$

where:

$$R_{PP} = \left(\frac{R_1 \cdot R_F}{R_1 + R_F}\right)$$

if R_F is ∞ or C_F reactance is ∞, then R_{PP} = R1

4. Loop Damping, ς:

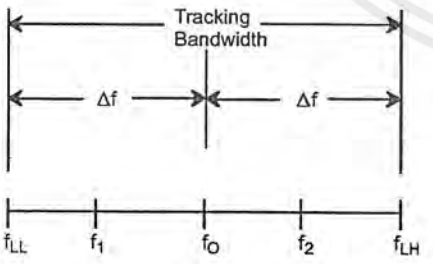
$$\zeta = \sqrt{\left(\frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot C_1}\right)}$$

Note: *For derivation/explanation of this equation, please see TAN-011.*

5. Loop-tracking

bandwidth, $\pm = \frac{\Delta f}{f_0}$

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{R_0}{R_1}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. FSK Data filter time constant, tF:

$$\tau_F = \frac{R_B \cdot R_F}{(R_B + R_F)} \cdot C_F \ (seconds)$$

7. Loop phase detector conversion gain, Kd: (Kd is the differential DC voltage across pin 10 and pin11, per unit of phase error at phase detector input):

$$K_d = \frac{V_{REF} \cdot R_1}{10,000 \cdot \pi} \left[\frac{volt}{radian}\right]$$

Note: *For derivation/explanation of this equation, please see TAN-011.*

8. VCO conversion gain, Ko: (Ko is the amount of change in VCO frequency, per unit of DC voltage change at pin 11):

$$K_0 = \frac{-2\pi}{V_{REF} \cdot C_0 \cdot R_1} = \left(\frac{radian/second}{volt}\right)$$

9. The filter transfer function:

$$F(s) = \frac{1}{1 + SR_1 \cdot C_1} \text{ at 0 Hz.} \qquad S = J\omega \text{ and } \omega = 0$$

10. Total loop gain. K_T:

$$K_T = K_O \cdot K_d \cdot F(s) = \left(\frac{R_F}{5,000 \cdot C_0 \cdot (R_1 + R_F)}\right)\left[\frac{1}{seconds}\right]$$

11. Peak detector current I_A:

$$I_A = \frac{V_{REF}}{20,000} \ (V_{REF} \text{ in volts and } I_A \text{ in amps})$$

Note: *For derivation/explanation of this equation, please see TAN-011.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

FSK Decoding

Figure 10 shows the basic circuit connection for FSK decoding. With reference to *Figure 3* and *Figure 10*, the functions of external components are defined as follows: R_0 and C_0 set the PLL center frequency, R_1 sets the system bandwidth, and C_1 sets the loop filter time constant and the loop damping factor. C_F and R_F form a one-pole post-detection filter for the FSK data output. The resistor R_B from pin 7 to pin 8 introduces positive feedback across the FSK comparator to facilitate rapid transition between output logic states.

Design Instructions:

The circuit of *Figure 10* can be tailored for any FSK decoding application by the choice of five key circuit components: R_0, R_1, C_0, C_1 and C_F. For a given set of FSK mark and space frequencies, f_O and f_1, these parameters can be calculated as follows:

(All resistance in Ω's, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

a) Calculate PLL center frequency, f_O:

$$f_o = \sqrt{F_1 \cdot F_2}$$

b) Choose value of timing resistor R_0, to be in the range of 10KΩ to 100KΩ. This choice is arbitrary. The recommended value is R_0 = 20KΩ. The final value of R_0 is normally fine-tuned with the series potentiometer, R_X.

$$R_o = R_o + \frac{R_x}{2}$$

c) Calculate value of C0 from design equation (1) or from *Figure 7*:

$$C_o = \frac{1}{R_0 \cdot f_0}$$

d) Calculate R1 to give the desired tracking bandwidth (See design equation 5).

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot f_0}{(f_1 - f_2)} \cdot 2$$

e) Calculate C1 to set loop damping. (See design equation 4):

Normally, $\varsigma = 0.5$ is recommended.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \varsigma^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f) The input to the XR-2211 may sometimes be too sensitive to noise conditions on the input line. *Figure 4* illustrates a method of de-sensitizing the XR-2211 from such noisy line conditions by the use of a resistor, Rx, connected from pin 2 to ground. The value of Rx is chosen by the equation and the desired minimum signal threshold level.

$$V_{IN}\ minimum\ (peak) = V_a - V_b = \Delta V \pm 2.8mV\ offset = V_{REF}\frac{20,000}{(20,000 + R_X)}\ or\ R_X = 20,000\left(\frac{V_{REF}}{\Delta V} - 1\right)$$

V_{IN} minimum (peak) input voltage must exceed this value to be detected (equivalent to adjusting V threshold)

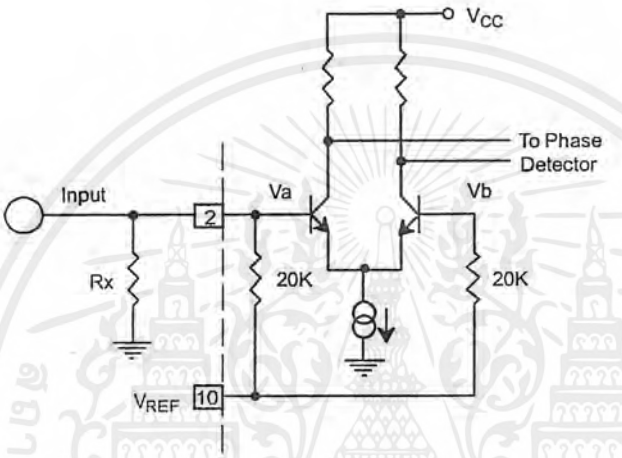


Figure 4. Desensitizing Input Stage

g) Calculate Data Filter Capacitance, C_F:

$$R_{sum} = \frac{(R_F + R_1)\cdot R_B}{(R_1 + R_F + R_B)}$$

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{sum} \cdot Baud\ Rate)} \qquad Baud\ rate\ in\ \frac{1}{seconds}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

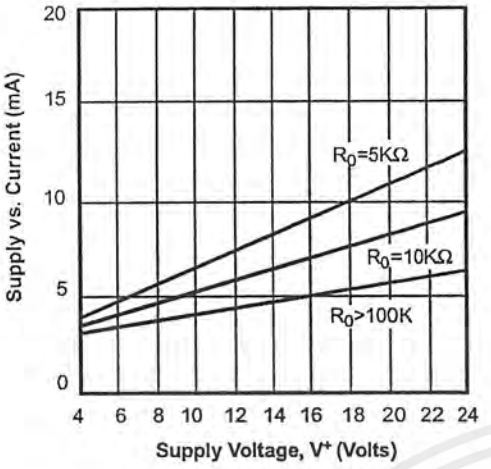


Figure 5. Typical Supply Current vs. V+ (Logic Outputs Open Circuited)

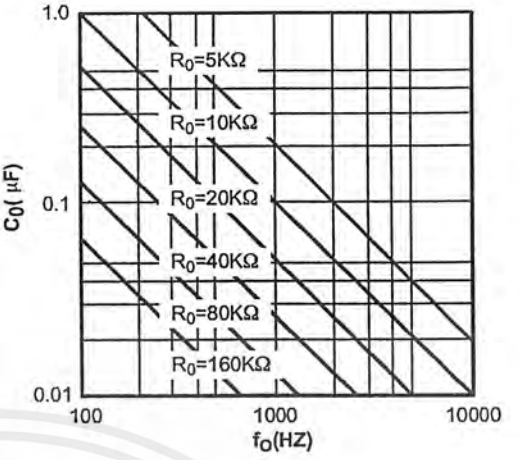


Figure 6. VCO Frequency vs. Timing Resistor

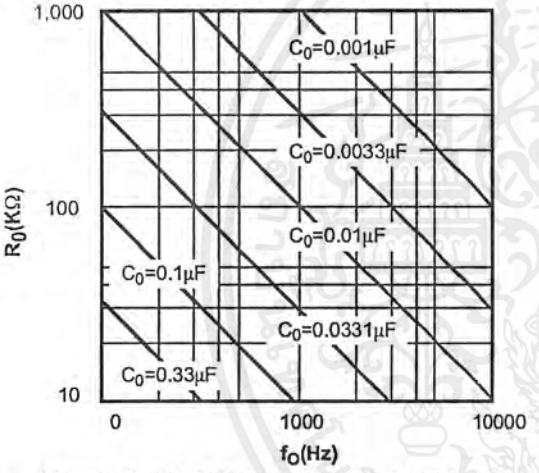


Figure 7. VCO Frequency vs. Timing Capacitor

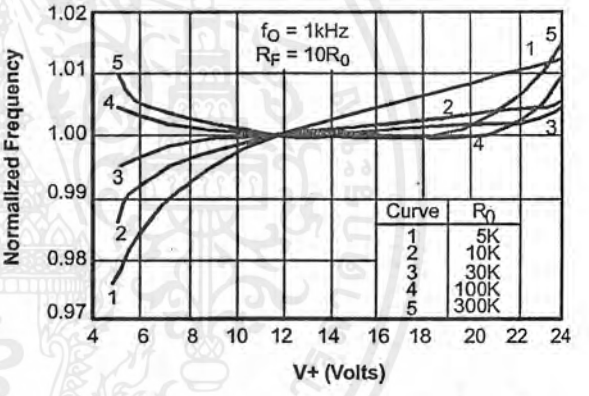


Figure 8. Typical f_O vs. Power Supply Characteristics

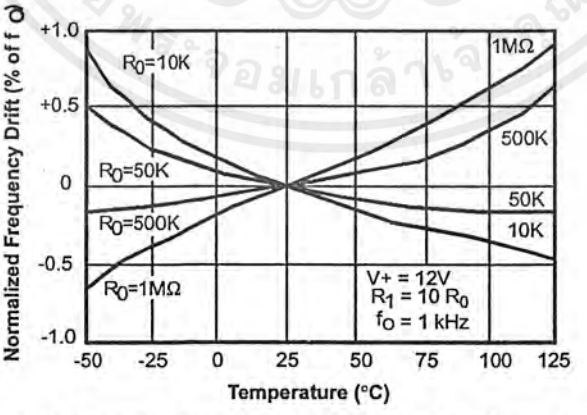


Figure 9. Typical Center Frequency Drift vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Example:

1200 Baud FSK demodulator with mark and space frequencies of 1200/2200.

Step 1: Calculate f_O: from design instructions

(a) $f_o = \sqrt{1200 \cdot 2200} = 1624$

Step 2: Calculate R_0 : R_0 =10K with a potentiometer of 10K. (See design instructions (b))

(b) $R_T = 10 + \left(\frac{10}{2}\right) = 15K$

Step 3: Calculate C_0 from design instructions

(c) $C_o = \frac{1}{15000 \cdot 1624} = 39nF$

Step 4: Calculate R_1 : from design instructions

(d) $R_1 = \frac{20000 \cdot 1624 \cdot 2}{(2200-1200)} = 51{,}000$

Step 5: Calculate C_1 : from design instructions

(e) $C_1 = \frac{1250 \cdot 39nF}{51000 \cdot 0.5^2} = 3.9nF$

Step 6: Calculate R_F : R_F should be at least five times R_1, R_F = 51,000·5 = 255 KΩ

Step 7: Calculate R_B : R_B should be at least five times R_F, R_B = 255,000·5 = 1.2 MΩ

Step 8: Calculate R_{SUM} :

$$R_{SUM} = \frac{(R_F + R_1) \cdot R_B}{(R_F + R_1 + R_B)} = 240K\Omega$$

Step 9: Calculate C_F :

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{SUM} \cdot Baud\ Rate)} = 1nF$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

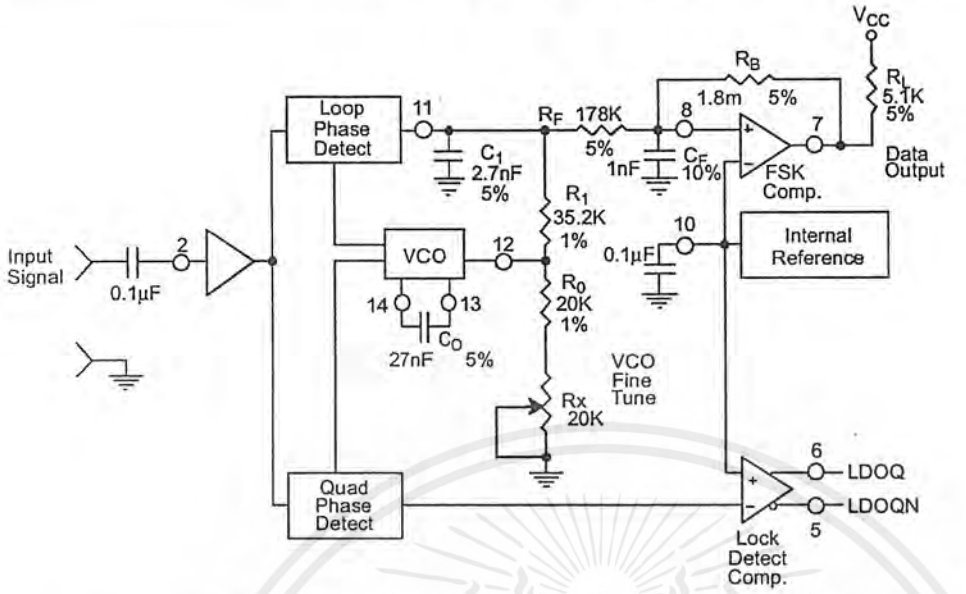


Figure 10. Circuit Connection for FSK Decoding of Caller Identification Signals (Bell 202 Format)

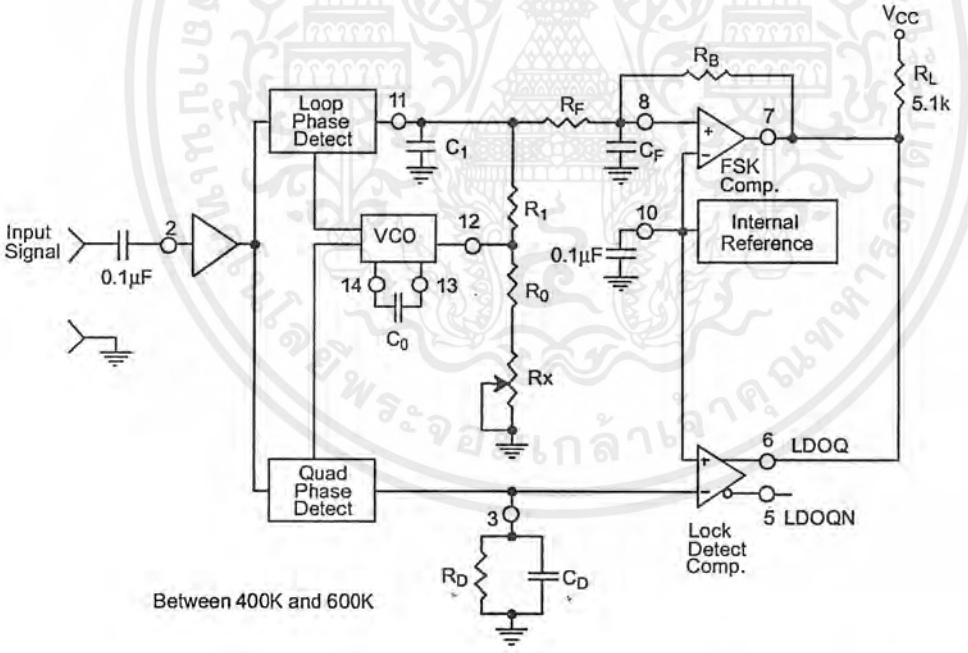


Figure 11. External Connectors for FSK Demodulation with Carrier Detect Capability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

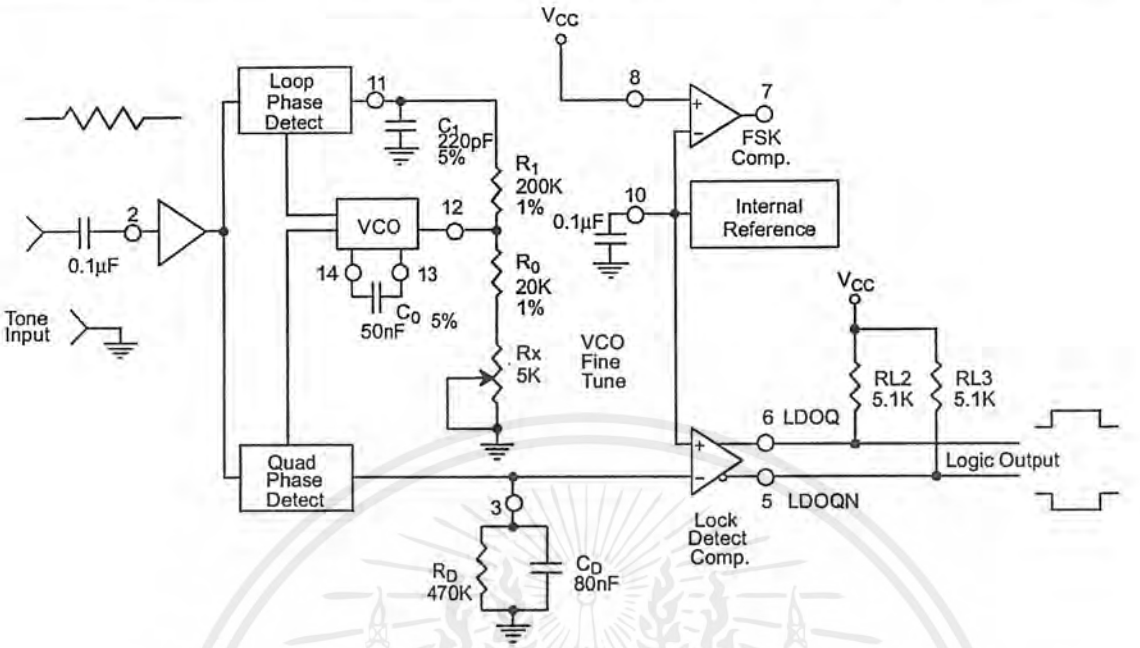


Figure 12. Circuit Connection for Tone Detection

FSK Decoding with Carrier Detect

The lock detect section of XR-2211 can be used as a carrier detect option for FSK decoding. The recommended circuit connection for this application is shown in *Figure 11.* The open collector lock detect output, pin 6, is shorted to data output (pin 7). Thus, data output will be disabled at "low" state, until there is a carrier within the detection band of the PLL and the pin 6 output goes "high" to enable the data output.

***Note:** Data Output is "Low" When No Carrier is Present.*

The minimum value of the lock detect filter capacitance C_D is inversely proportional to the capture range, $\pm\Delta fc$. This is the range of incoming frequencies over which the loop can acquire lock and is always less than the tracking range. It is further limited by C_1. For most applications, $\Delta fc > \Delta f/2$. For $R_D = 470K\Omega$, the approximate minimum value of C_D can be determined by:

$$C_D > \frac{16}{\Delta f} \quad C \text{ in } \mu F \text{ and } f \text{ in Hz.}$$

C in µF and f in Hz.

With values of C_D that are too small, chatter can be observed on the lock detect output as an incoming signal frequency approaches the capture bandwidth. Excessively large values of C_D will slow the response time of the lock detect output. For Caller I.D. applications choose $C_D = 0.1\mu F$.

Tone Detection

Figure 12 shows the generalized circuit connection for tone detection. The logic outputs, LDOQN and LDOQ at pins 5 and 6 are normally at "high" and "low" logic states, respectively. When a tone is present within the detection band of the PLL, the logic state at these outputs become reversed for the duration of the input tone. Each logic output can sink 5mA of load current.

Both outputs at pins 5 and 6 are open collector type stages, and require external pull-up resistors R_{L2} and R_{L3}, as shown in *Figure 12.*

With reference to *Figure 3* and *Figure 12*, the functions of the external circuit components can be explained as follows: R_0 and C_0 set VCO center frequency; R_1 sets the detection bandwidth; C_1 sets the low pass-loop filter time constant and the loop damping factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design Instructions:

The circuit of *Figure 12* can be optimized for any tone detection application by the choice of the 5 key circuit components: R_0, R_1, C_0, C_1 and C_D. For a given input, the tone frequency, f_S, these parameters are calculated as follows:

(All resistance in Ω's, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

a) Choose value of timing resistor R_0 to be in the range of 10KΩ to 50KΩ. This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is $R_0 = 20K\Omega$. The final value of R_0 is normally fine-tuned with the series potentiometer, R_X.

b) Calculate value of C_0 from design equation (1) or from *Figure 7* $f_S = f_O$:

$$C_o = \frac{1}{R_0 \cdot fs}$$

c) Calculate R_1 to set the bandwidth $\pm\Delta f$ (See design equation 5):

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot f_0 \cdot 2}{\Delta f}$$

Note: The total detection bandwidth covers the frequency range of $f_O \pm \Delta f$

d) Calculate value of C_1 for a given loop damping factor:

Normally, $\varsigma = 0.5$ is recommended.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \varsigma^2}$$

Increasing C_1 improves the out-of-band signal rejection, but increases the PLL capture time.

e) Calculate value of the filter capacitor C_D . To avoid chatter at the logic output, with $R_D = 470K\Omega$, C_D must be:

$$C_D > \frac{16}{\Delta f} \quad C \text{ in } \mu F$$

Increasing C_D slows down the logic output response time.

Design Examples:

Tone detector with a detection band of ± 100Hz:

a) Choose value of timing resistor R_0 to be in the range of 10KΩ to 50KΩ. This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is $R_0 = 20\,K\Omega$. The final value of R_0 is normally fine-tuned with the series potentiometer, R_X.

b) Calculate value of C_0 from design equation (1) or from *Figure 6* $f_S = f_O$:

$$C_0 = \frac{1}{R_0 \cdot f_s} = \frac{1}{20,000 \cdot 1,000} = 50nF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) Calculate R_1 to set the bandwidth $\pm\Delta f$ (See design equation 5):

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot f_o \cdot 2}{\Delta f} = \frac{20,000 \cdot 1,000 \cdot 2}{100} = 400K$$

Note: The total detection bandwidth covers the frequency range of $f_O \pm \Delta f$

d) Calculate value of C_0 for a given loop damping factor:

Normally, $\varsigma = 0.5$ is recommended.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \varsigma^2} = \frac{1250 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{400,000 \cdot 0.5^2} = 6.25pF$$

Increasing C_1 improves the out-of-band signal rejection, but increases the PLL capture time.

e) Calculate value of the filter capacitor C_D . To avoid chatter at the logic output, with R_D = 470KΩ, C_D must be:

$$C_D = \frac{16}{\Delta f} \geq \frac{16}{200} \geq 80nF$$

Increasing C_D slows down the logic output response time.

f) Fine tune center frequency with 5KΩ potentiometer, R_X.

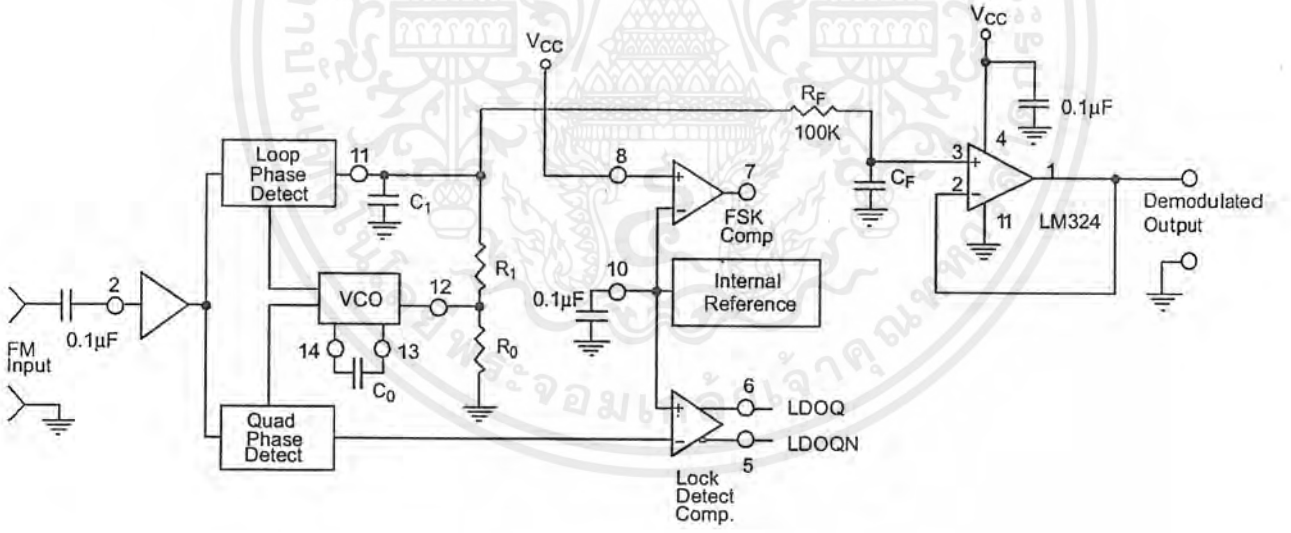


Figure 13. Linear FM Detector Using XR-2211 and an External Op Amp. (See Section on Design Equation for Component Values.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Linear FM Detection

XR-2211 can be used as a linear FM detector for a wide range of analog communications and telemetry applications. The recommended circuit connection for this application is shown in *Figure 13*. The demodulated output is taken from the loop phase detector output (pin 11), through a post-detection filter made up of R_F and C_F, and an external buffer amplifier. This buffer amplifier is necessary because of the high impedance output at pin 11. Normally, a non-inverting unity gain op amp can be used as a buffer amplifier, as shown in *Figure 13*.

The FM detector gain, i.e., the output voltage change per unit of FM deviation can be given as:

$$V_{OUT} = \frac{R_1 \cdot V_{REF}}{100 \cdot R_0}$$

where VR is the internal reference voltage ($V_{REF} = V_{CC}/2 - 650mV$). For the choice of external components R_1, R_0, C_D, C_1 and C_F, see the section on design equations.

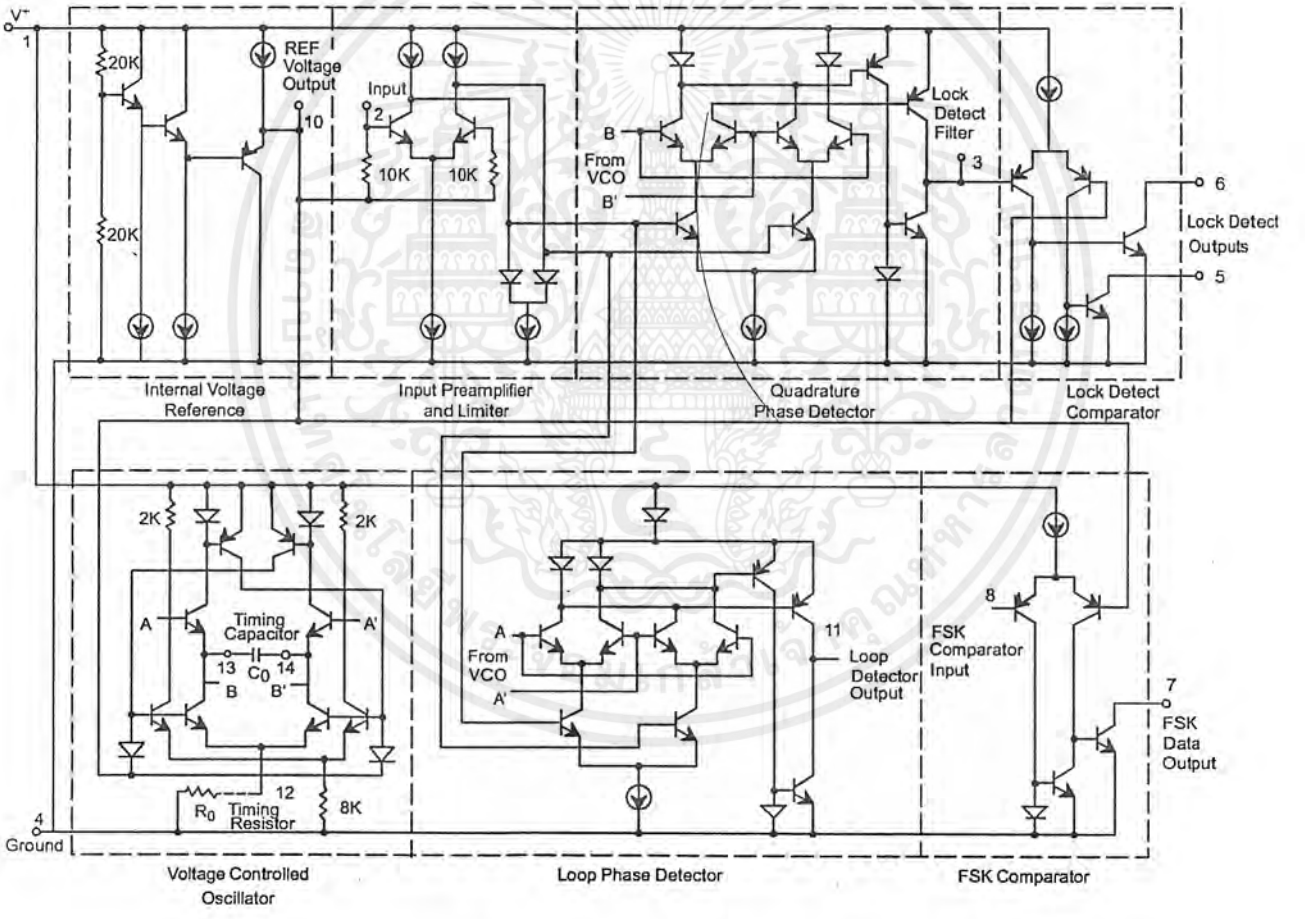


Figure 14. Equivalent Schematic Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM

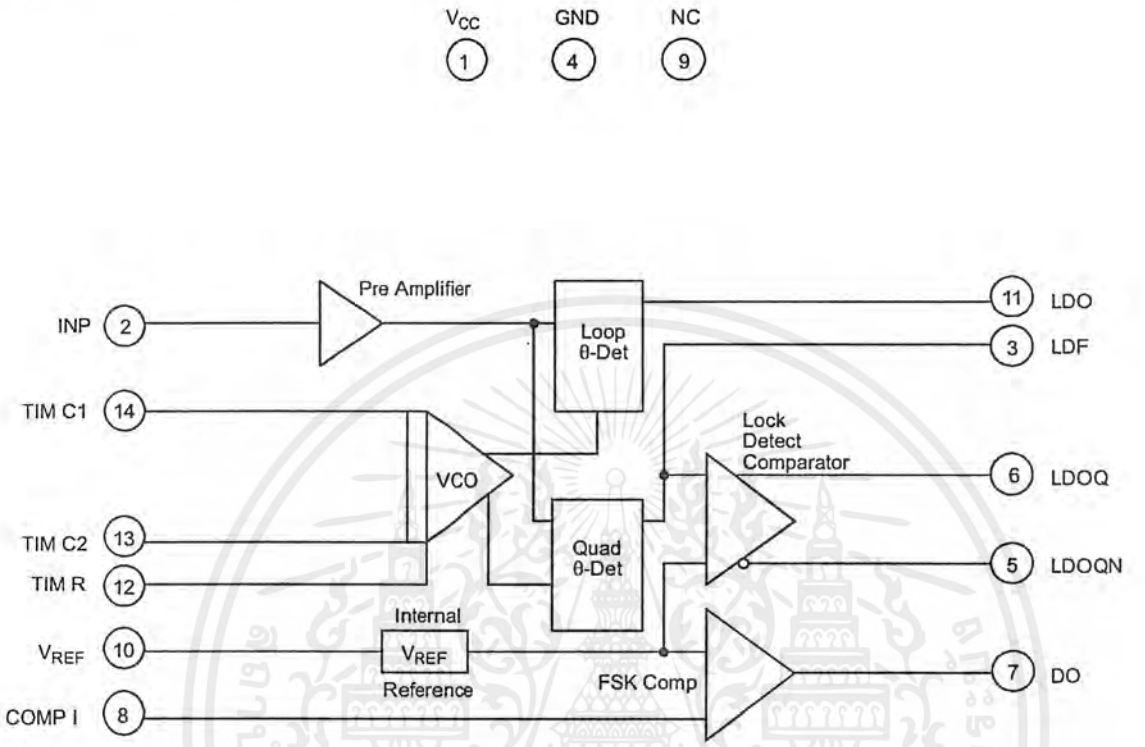


Figure 1. XR-2211 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA

MC3362

Low-Power Narrowband FM Receiver

. . . includes dual FM conversion with oscillators, mixers, quadrature discriminator, and meter drive/carrier detect circuitry. The MC3362 also has buffered first and second local oscillator outputs and a comparator circuit for FSK detection.

- Complete Dual Conversion Circuitry
- Low Voltage: V_{CC} = 2.0 to 6.0 Vdc
- Low Drain Current (3.6 mA (Typical) @ V_{CC} = 3.0 Vdc)
- Excellent Sensitivity: Input Voltage 0.6 µVrms (Typical) for 12 dB SINAD
- Externally Adjustable Carrier Detect Function
- Low Number of External Parts Required
- Manufactured Using Motorola's MOSAIC® Process Technology
- MC13135 is Preferred for New Designs

LOW–POWER DUAL CONVERSION FM RECEIVER

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 724

DW SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751E
(SO-24L)

Figure 1. Simplified Application in a PLL Frequency Synthesized Receiver

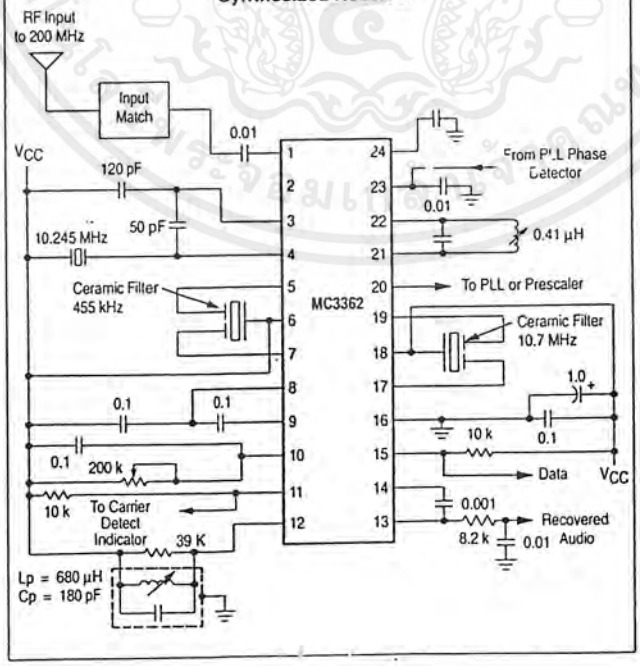
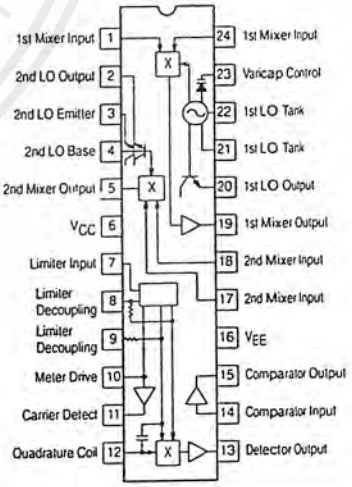


Figure 2. Pin Connections and Representative Block Diagram



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC3362DW	T_A = – 40 to +85°C	SO–24L
MC3362P		Plastic DIP

© Motorola, Inc. 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATING (T_A = 25°C, unless otherwise noted)

Rating	Pin	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage (See Figure 2)	6	$V_{CC(max)}$	7.0	Vdc
Operating Supply Voltage Range (Recommended)	6	V_{CC}	2.0 to 6.0	Vdc
Input Voltage (V_{CC} ≥ 5.0 Vdc)	1, 24	V_{1-24}	1.0	Vrms
Junction Temperature	–	T_J	150	°C
Operating Ambient Temperature Range	–	T_A	– 40 to + 85	°C
Storage Temperature Range	–	T_{stg}	– 65 to + 150	°C

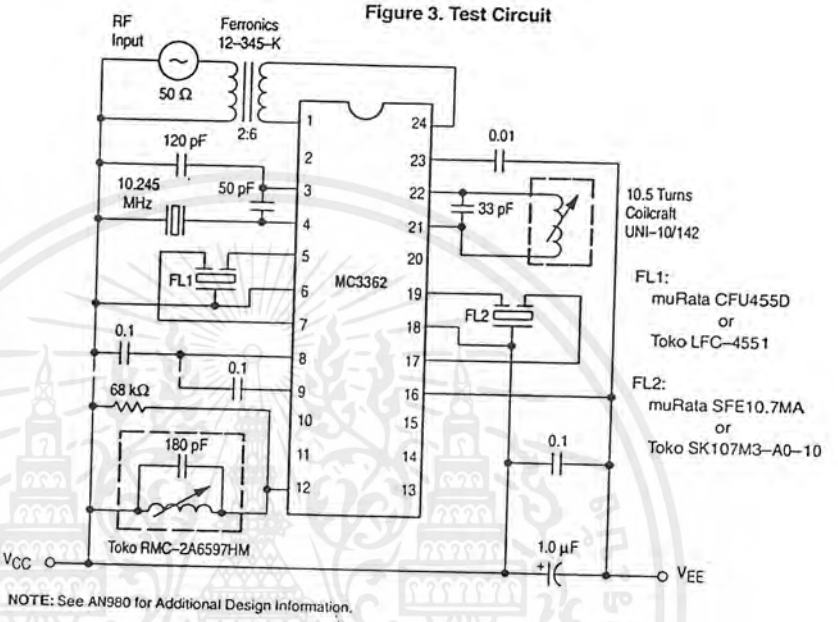
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 Vdc, f_o = 49.7 MHz, Deviation = 3.0 kHz, T_A = 25°C, Test Circuit of Figure 3, unless otherwise noted)

Characteristic	Pin	Min	Typ	Max	Units
Drain Current (Carrier Detect Low – See Figure 5)	6	–	4.5	7.0	mA
Input for –3.0 dB Limiting		–	0.7	2.0	µVrms
Input for 12 dB SINAD (See Figure 9)		–	0.6	–	µVrms
Series Equivalent Input Impedence		–	450–j350	–	Ω
Recovered Audio (RF signal level = 10 mV)	13	–	350	–	mVrms
Noise Output (RF signal level = 0 mV)	13	–	250	–	mVrms
Carrier Detect Threshold (below V_{CC})	10	–	0.64	–	Vdc
Meter Drive Slope	10	–	100	–	nA/dB
Input for 20 dB (S + N)/N (See Figure 7)		–	0.7	–	µVrms
First Mixer 3rd Order Intercept (Input)		–	–22	–	dBm
First Mixer Input Resistance (Rp)		–	690	–	Ω
First Mixer Input Capacitance (Cp)		–	7.2	–	pF
Conversion Voltage Gain, First Mixer		–	18	–	dB
Conversion Voltage Gain, Second Mixer		–	21	–	
Dector Output Resistance	13	–	1.4	–	kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2

Figure 3. Test Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 4. I_{Meter} versus Input

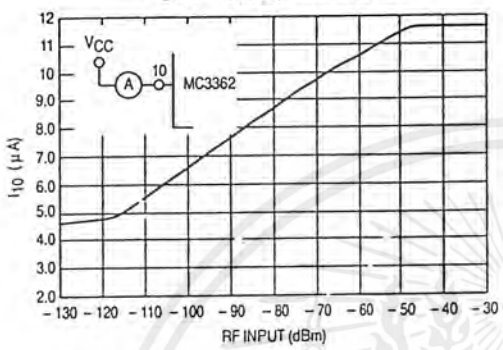


Figure 5. Drain Current, Recovered Audio versus Supply

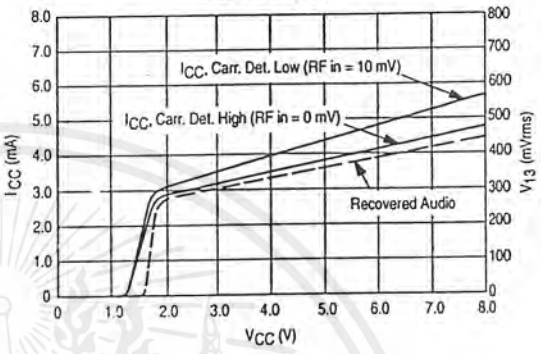


Figure 6. Signal Levels

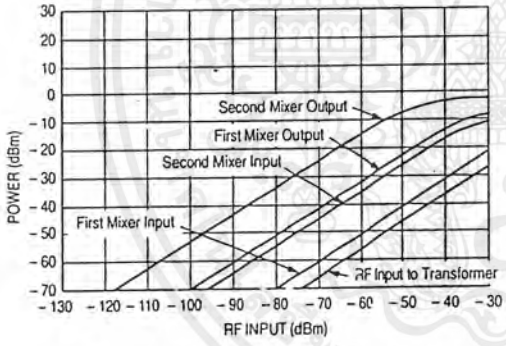


Figure 7. S + N, N, AMR versus Input

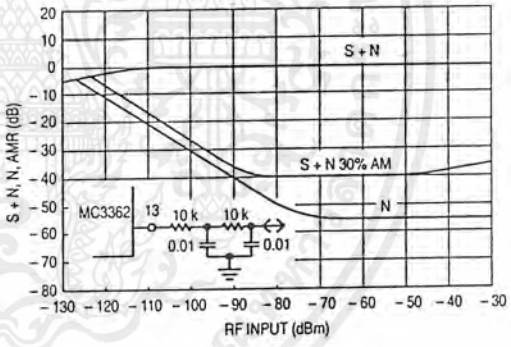


Figure 8. 1st Mixer 3rd Order Intermodulation

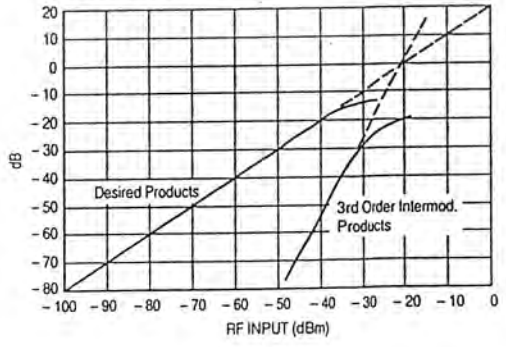
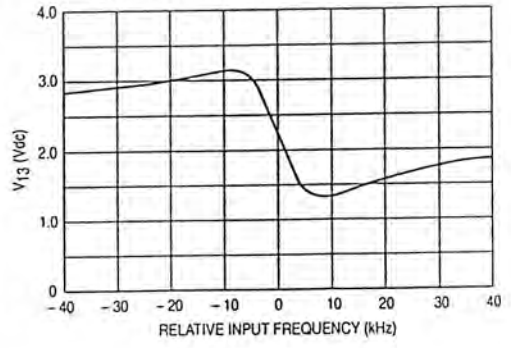
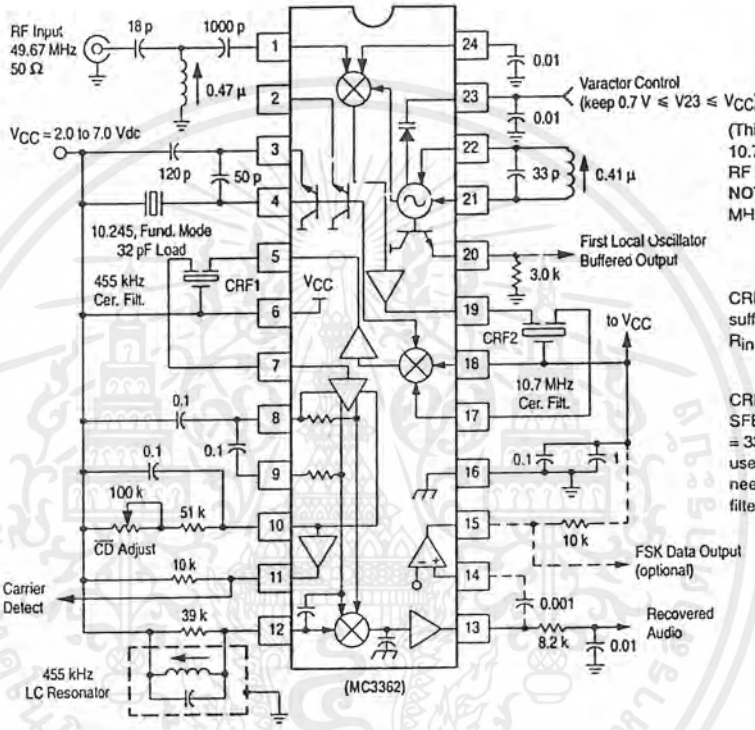


Figure 9. Detector Output versus Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 10. PC Board Test Circuit
(LC Oscillator Configuration Used in PLL Synthesized Receiver)

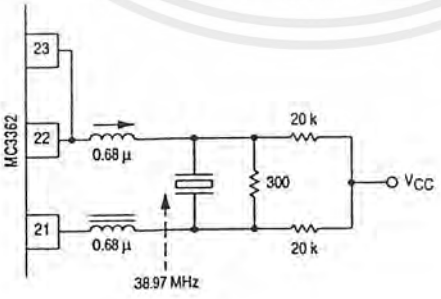


(This network must be tuned to exactl 10.7 MHz above or below the incomin RF signal.
NOTE: The IF is rolled off above 10.7 MHz to reduce L.O. feedthrough.)

CRF1 = muRata CFU 455X – the X suffix denotes 6.0 dB bandwidth. $R_{in} = R_{out} = 1.5$ to 2.0 kΩ.

CRF2 = muRata SFA10.7 MF5 or SFE10.7 or equivalent. $R_{in} = R_{out} = 330\ \Omega$. Crystal filters can be used but impedance matching will need to be added to ensure proper filter characteristics are realized.

Figure 10A. Crystal Oscillator Configuration for Single Channel Application



Crystal used is series mode resonant (no load capacity specified), 3rd overtone. This method has not proven adequate for fundamental mode, 5th or 7th overtone crystals. The inductor and capacitor will need to be changed for other frequency crystals. See AN980 for further information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145166
MC145167

Advance Information

Dual PLLs for 46/49 MHz Cordless Telephones

CMOS

2

These devices are dual phase–locked loop (PLL) frequency synthesizers intended for use primarily in 46/49 MHz cordless phones with up to 10 channels. These parts contain two mask–programmable counter ROMs for receive and transmit loops with two independent phase detect circuits. A common reference oscillator and reference divider are shared by the receive and transmit circuits.

Frequency selection is accomplished via a 4–bit parallel input for the MC145166. The MC145167 utilizes a serial interface.

Other features include a lock detect circuit for the transmit loop, illegal code default, and a 5 kHz tone output.

- Synthesizes Up to Ten Channel Pairs
- Maximum Operating Frequency: 60 MHz @ V_{in} = 200 mV p–p
- Operating Temperature Range: – 40 to + 75°C
- Operating Voltage Range: 2.5 to 5.5 V
- On–Chip Oscillator Circuit Supports External Crystal
- Lock Detect Signal
- Operating Power Consumption: 3.0 mA @ 3.0 V
- Standby Mode for Power Savings: 1.5 mA @ 3.0 V

P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 648

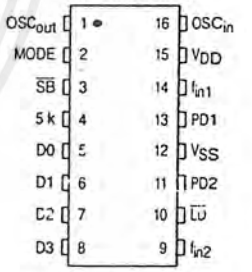
DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751G

ORDERING INFORMATION

MC145166P	Plastic DIP
MC145166DW	SOG Package
MC145167P	Plastic DIP
MC145167DW	SOG Package

PIN ASSIGNMENTS

MC145166P
MC145166DW



MC145167P
MC145167DW

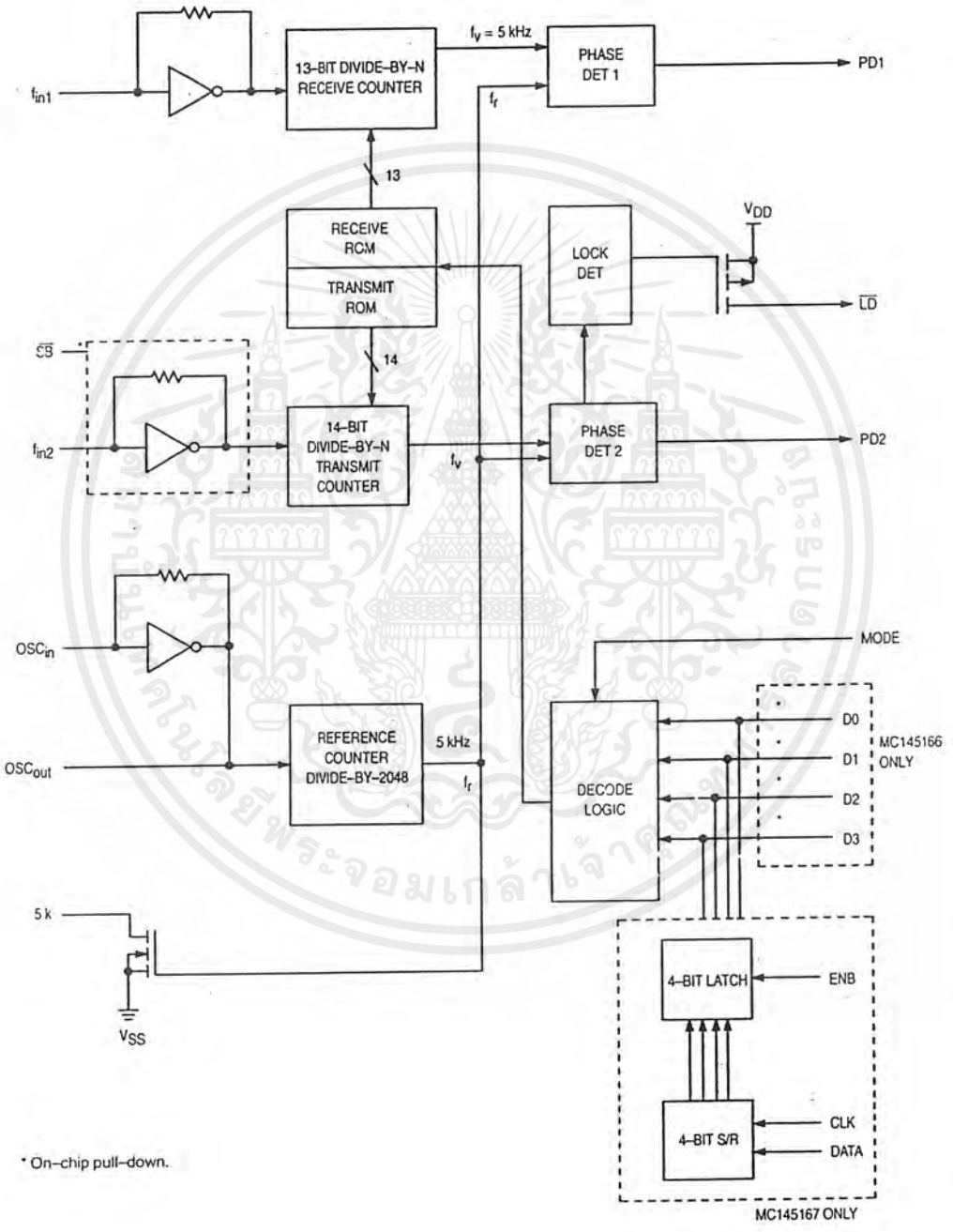
NC = NO CONNECTION

This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.

REV 1
8/95
Replaces MC145160/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM



* On-chip pull-down.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Rating	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	− 0.5 to + 6.0	V
V_{in}	Input Voltage, All Inputs	− 0.5 to V_{DD} + 0.5	V
I_{in}, I_{out}	DC Current Drain Per Pin	10	mA
I_{DD}, I_{SS}	DC Current Drain V_{DD} or V_{SS} Pins	30	mA
T_{stg}	Storage Temperature Range	− 65 to + 150	°C

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the limits in the Electrical Characteristics tables or Pin Descriptions section.

This device contains protection circuitry guard against damage due to high static vo ages or electric fields. However, precautio must be taken to avoid applications of a voltage higher than maximum rated voltag to this high–impedance circuit. For proper ope ation, V_{in} and V_{out} should be constrained the range $V_{SS} \le (V_{in}$ or $V_{out}) \le V_{DD}$.

Unused inputs must always be tied to a appropriate logic voltage level (e.g., either V_S or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

2

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS}, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	V_{DD}	Guaranteed Limit		Unit
			Min	Max	
V_{DD}	Power Supply Voltage Range	—	2.5	5.5	V
V_{OL}	Output Voltage (I_{out} = 0) 0 Level	2.5 5.5	— —	0.05 0.05	V
V_{OH}	(V_{in} = V_{DD} or 0) 1 Level	2.5 5.5	2.45 5.45	— —	
V_{IL}	Input Voltage 0 Level (V_{out} = 0.5 V or V_{DD} − 0.5 V)	2.5 5.5	— —	0.75 1.65	V
V_{IH}	1 Level	2.5 5.5	1.75 3.85	— —	
I_{OH}	Output Current (V_{out} = 2.2 V) (V_{out} = 5.0 V) Source	2.5 5.5	− 0.18 − 0.55	— —	mA
I_{OL}	(V_{out} = 0.3 V) (V_{out} = 0.5 V) Sink	2.5 5.5	0.18 0.55	— —	
I_{IL}	Input Current (V_{in} = 0) OSC_{in}, f_{in1}, f_{in2}	2.5 5.5	— —	− 30 − 66	µA
	DATA, $\overline{SB}$, Mode	2.5 5.5	— —	− 0.05 − 0.11	
I_{IH}	(V_{in} = V_{DD} − 0.5) OSC_{in}, f_{in1}, f_{in2}	2.5 5.5	— —	30 66	µA
	DATA, $\overline{SB}$, Mode	2.5 5.5	— —	50 121	
C_{in}	Input Capacitance	—	—	14.0	pF
C_{out}	Output Capacitance	—	—	8.0	pF
I_{DD}	Standby Current, $\overline{SB}$ = V_{SS} or Open	2.5 5.5	— —	1.4 3.6	mA
I_{dd}	Operating Current (200 mV p–p input at f_{in1} and f_{in2}, $\overline{SB}$ = V_{DD})	2.5 5.5	— —	2.8 6.2	mA
I_{OZ}	Three–State Leakage Current (V_{out} = 0 or 5.5 V)	5.5	—	± 1.0	µA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น มีไว้เพื่อป้องกันมิให้ละเมิดลิขสิทธิ์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING CHARACTERISTICS (T_A = 25°C, C_L = 50 pF)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V_{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t_{TLH}	Output Rise Time	1, 5	3.0 5.0	— —	200 100	ns
t_{THL}	Output Fall Time	1, 5	3.0 5.0	— —	200 100	ns
t_r, t_f	Input Rise and Fall Time, OSC_{in}	2	3.0 5.0	— —	5.0 4.0	µs
f_{max}	Input Frequency OSC_{in} Input = Sine Wave 200 mV p-p f_{in1} f_{in2}		3.0 – 5.0 3.0 – 5.0 3.0 – 5.0	— — —	12 60 60	MHz
t_{su}	Setup Time (MC145167) DATA to CLK	3	3.0 5.0	100 50	— —	ns
	ENB to CLK		3.0 5.0	200 100	— —	
t_h	Hold Time (MC145167), CLK to DATA	3	3.0 5.0	80 40	— —	ns
t_{rec}	Recovery Time (MC145167), ENB to CLK	3	3.0 5.0	80 40	— —	ns
t_w	Input Pulse Width (MC145167), CLK and ENB	4	3.0 5.0	80 60	— —	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING WAVEFORMS

Figure 1.

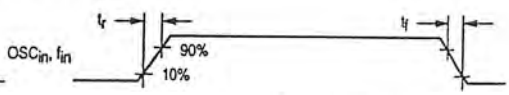


Figure 2.

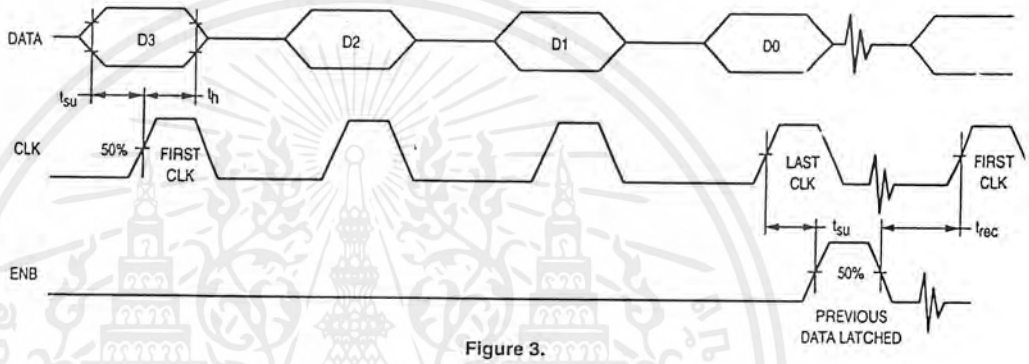


Figure 3.

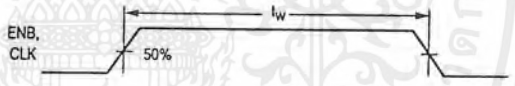


Figure 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN DESCRIPTIONS

INPUT PINS

OSC_{in}/OSC_{out}
Reference Oscillator Input/Output (Pins 1,16)

These pins form a reference oscillator when connected to an external parallel–resonant crystal. For a 46/49 MHz cordless phone application, a 10.24 MHz crystal is needed. OSC_{in} may also serve as input for an externally generated reference signal. This signal is typically ac coupled to OSC_{in}, but for larger amplitude signals (standard CMOS logic levels) dc coupling may also be used. In the external reference mode, no connection is required for OSC_{out}.

MODE
Mode Select (Pin 2)

Mode is for determining whether the part is to be used in the base or handset of a cordless phone. Internally, this pin is used in the decoding logic for selecting the ROM address. When high, the device is set in the base mode, and when low, it is set in the handset mode. This input has an internal pull–down device.

$\overline{SB}$
Standby Input (Pin 3)

The standby pin is used to save power when not transmitting. When high, both the transmit and receive loops are in operation. When low, the transmit loop is disabled, thereby reducing power consumption. This input has an internal pull–down device.

D0 – D3
Data Inputs (MC145166 — Pins 5 – 8)

These inputs provide the BCD code for selecting the one of ten channels to be locked in both the transmit and receive loop. When address data other than 1 – 10 are input, the decoding logic defaults to channel 10. The frequency assignments with reference to Mode and D0 – D3 are shown in Table 1. These inputs have internal pull–down devices.

f_{in1}, f_{in2}
Frequency Inputs (Pins 14, 9)

f_{in1} and f_{in2} are inputs to the divide–by–N receive and transmit counters, respectively. These signals are typically derived from the loop VCO and are ac coupled. For larger amplitude signals (standard CMOS logic levels), dc coupling may be used. The minimum input level is 200 mV p–p.

CLK, DATA
Clock, Data (MC145167 — Pins 5, 6)

These pins provide the BCD input by using serial channel programming instead of parallel. Logical high represents a 1. Each low–to–high transition of the clock shifts one bit of data into the on–chip shift register.

ENB
Enable (MC145167 — Pin 8)

The enable pin controls the data transfer from the shift register to the 4–bit latch. A positive pulse latches the data.

OUTPUT PINS

5 k
5 kHz Tone Signals (Pin 4)

The 5 kHz tone signals are N–channel, open–drain outputs derived from the reference oscillator.

$\overline{LD}$
Lock Detect Signal (Pin 10)

The lock detect signal is associated with the transmit loop. The lock output goes high to indicate an out–of–lock condition. This is a P–channel open–drain output.

PD1, PD2
Phase Detector Outputs (Pins 13, 11)

These are three–state outputs of the transmit and receive phase detectors for use as loop error signals. Phase detector gain is $V_{DD}/4\ \pi$ volts per radian.

Frequency $f_V > f_r$ or f_V leading: Output = Negative pulses
Frequency $f_V < f_r$ or f_V lagging: Output = Positive pulses
Frequency $f_V = f_r$ and phase coincidence: Output = High–impedance state

POWER SUPPLY

V_{SS}
Negative Power Supply (Pin 12)

This pin is the negative supply potential and is usually ground.

V_{DD}
Positive Power Supply (Pin 15)

This pin is the positive supply potential and may range from + 2.5 to + 5.5 V with respect to V_{SS}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. MC145166/67 Divide Ratios and VCO Frequencies

Channels					Handset (Mode = 0)				Base (Mode = 1)			
					Transmit		Receive		Transmit		Receive	
D3	D2	D1	D0	CH#	f_{in2} (MHz)	÷ N	f_{in1} (MHz)	÷ N	f_{in2} (MHz)	÷ N	f_{in1} (MHz)	÷ N
0	0	0	1	1	49.670	9934	35.915	7183	46.610	9322	38.975	7795
0	0	1	0	2	49.845	9969	35.935	7187	46.630	9326	39.150	7830
0	0	1	1	3	49.860	9972	35.975	7195	46.670	9334	39.165	7833
0	1	0	0	4	49.770	9954	36.015	7203	46.710	9342	39.075	7815
0	1	0	1	5	49.875	9975	36.035	7207	46.730	9346	39.180	7836
0	1	1	0	6	49.830	9966	36.075	7215	46.770	9354	39.135	7827
0	1	1	1	7	49.890	9978	36.135	7227	46.830	9366	39.195	7839
1	0	0	0	8	49.930	9986	36.175	7235	46.870	9374	39.235	7847
1	0	0	1	9	49.990	9998	36.235	7247	46.930	9386	39.295	7859
1	0	1	0	10	49.970	9994	36.275	7255	46.970	9394	39.275	7855

NOTES:
1. Other input combinations will be defaulted to channel 10.
2. 0 = logic low, 1 = logic high.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

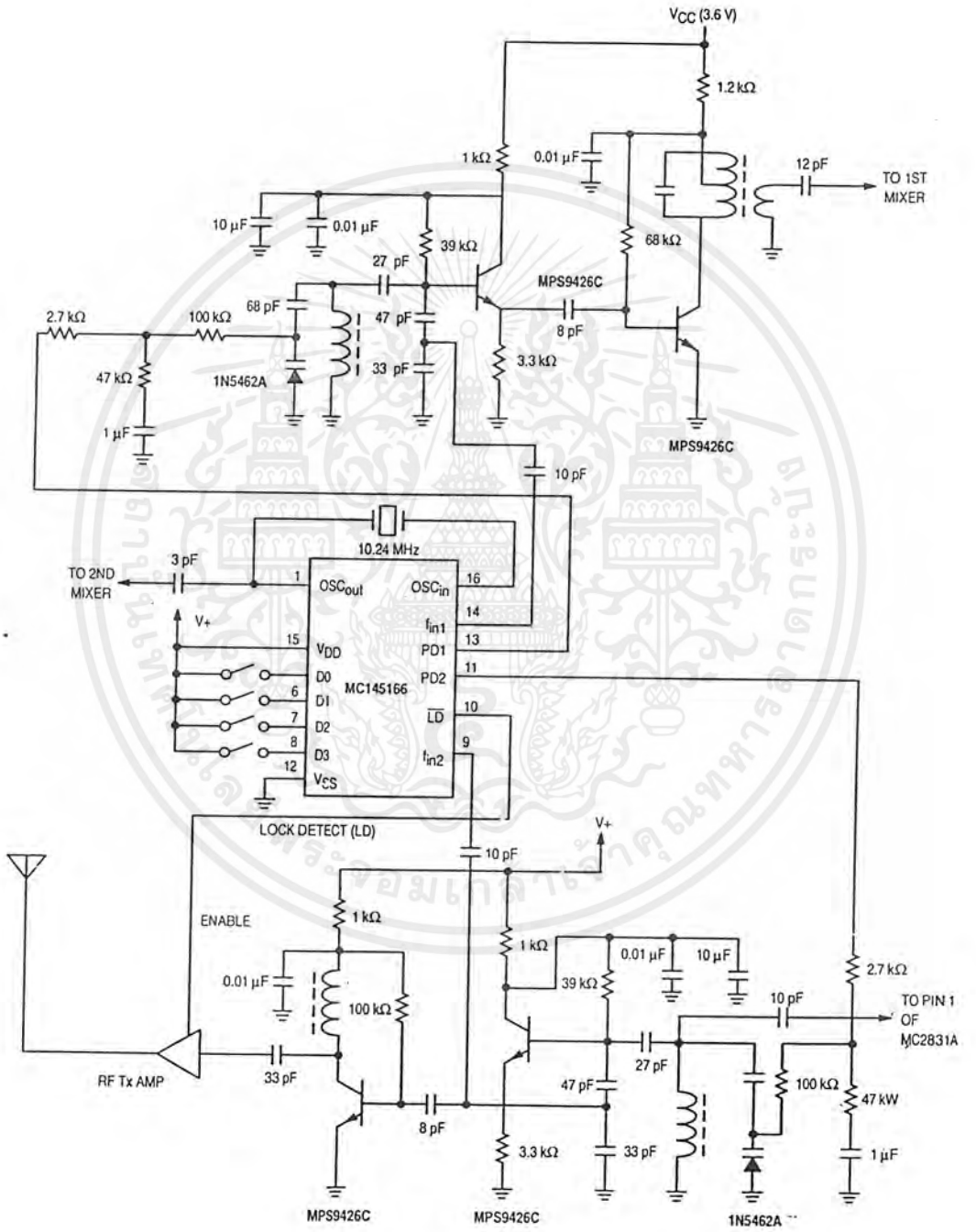


Figure 5. MC145166 Circuit Example

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

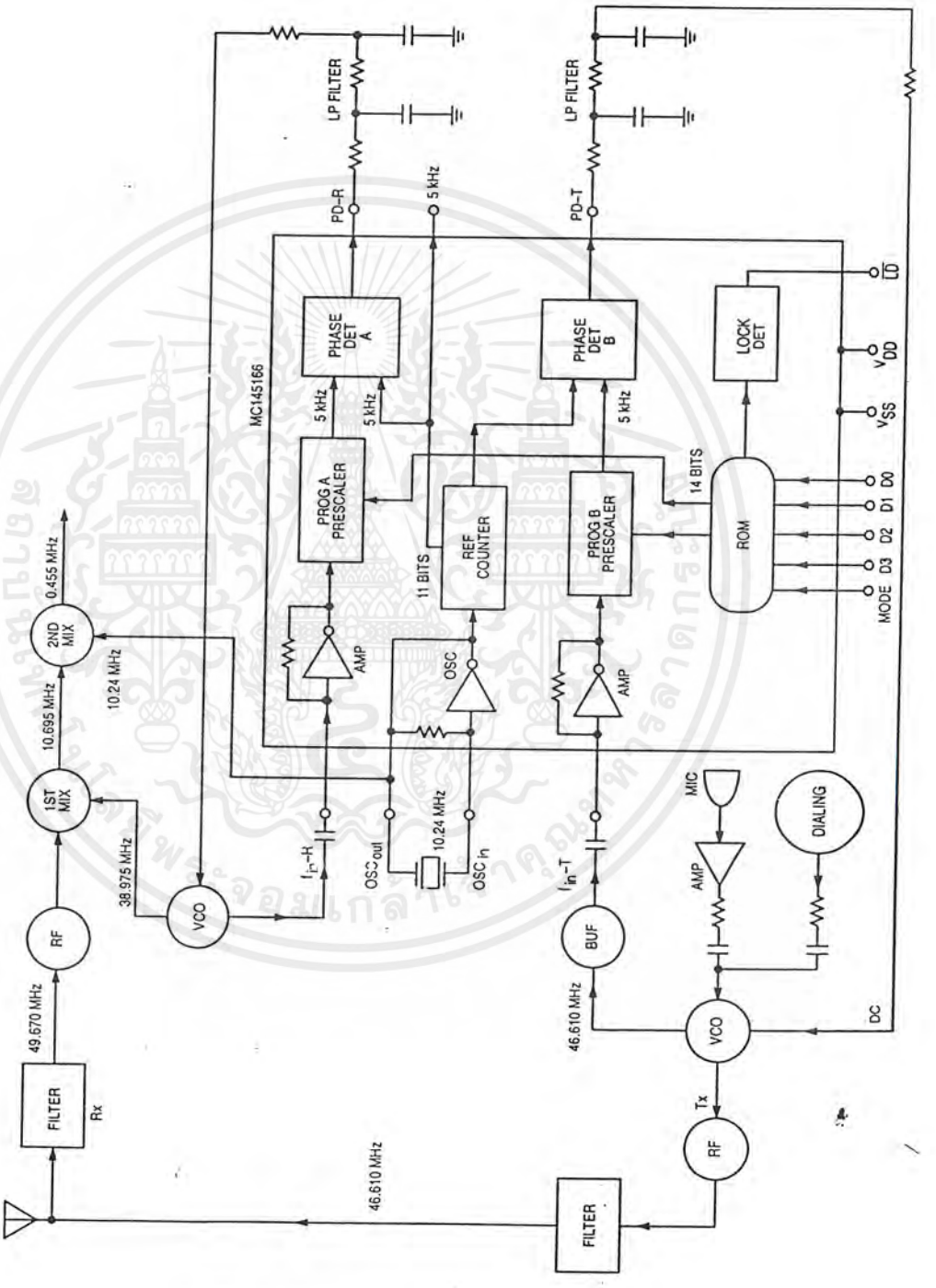


Figure 6. DPLL Application in 46/49 MHz Cordless Phone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

จากการที่ได้ศึกษา และสร้างเครื่องรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง โดยใช้ตัวกลางในการสื่อสารเป็นคลื่นวิทยุ สำเร็จลุล่วงได้นั้น คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ อาจารย์สุรพล บุญจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยวางแนวทางตลอดจนช่วยชี้แนะข้อผิดพลาดต่างๆ และต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้องๆที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือจนงานสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนในการศึกษาเล่าเรียนตลอดมา

วิไลพร ธรรมโชโต
วีรศักดิ์ จำเริญศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กิตติ ภักดีวัฒนะกุล,จำลอง ครูอุตสาหะ "Visual Basic ฉบับโปรมแกรมเมอร์" พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2541
2. ธาริน สิทธิธรรมชารี "Microsoft Visual Basic 6.0" กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2521
3. ธาริน สิทธิธรรมชารี,ธนัญชัย จำนงค์ภักดี "Microsoft Visual Basic 5.0" กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2521
4. พิพัฒน์ หิรัณย์วณิชชากร "ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์" พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2542
5. ไพศาล สงวนหมู่,ยืน ภู่วรวรรณ "การสื่อสารข้อมูล และไมโครคอมพิวเตอร์เนต-เวอร์ค" พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2528
6. Free man, R.L. "Radio System Design For Telecommunication" : John Wiley & Sons, 1987
7. Jack Quinu "Digital Data Communication" :Prentice Hall Career & Technology, 1995
8. Warren Hoiki "Telecommunication Third Edition" : Simon & Schuster, 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้