# FSK โมเด็ม

# FREQUENCY SHIFT KEYING MODEM


โดย

นายกนกศักดิ์ อยู่แย้ม

นายธเนศ พลายเพชร


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FSK โมเด็ม

# FREQUENCY SHIFT KEYING MODEM


โดย

นายกนกศักดิ์ อยู่แย้ม 37014002

นายธเนศ พลายเพชร 37014160

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ



วัน เดือน ปี 22 ตุลาคม 2541
เลขทะเบียน 039094
เลขเรียกหนังสือ T 10331 ก193ม


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039094

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง FSK โมเด็ม

FREQUENCY SHIFT KEYING MODEM

ผู้จัดทำ

1.นายกนกศักดิ์ อยู่แย้ม 37014002

2.นายธเนศ พลายเพชร 37014160

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FSK โมเด็ม
FREQUENCY SHIFT KEYING MODEM

โดย นายกนกศักดิ์ อยู่แย้ม 37014002
นายธเนศ พลายเพชร 37014160

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

**บทคัดย่อ**

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบโมเด็มแบบ FSK ( Frequency Shift Keying ) พร้อมทั้งสร้างและทำการทดสอบ

**ABSTRACT**

This project proposes a study of FSK modem design. It also presents an implementation including with performance test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน** | 3 |
| 2.1 การสื่อสารข้อมูล | 3 |
| 2.1.1 วิธีการถ่ายโอนข้อมูล | 3 |
| 2.1.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรม | 5 |
| 2.1.3 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม | 5 |
| 2.1.4 การส่งแบบซิงโครนัส | 5 |
| 2.1.5 การส่งแบบอะซิงโครนัส | 9 |
| 2.2หลักการของโมเด็ม | 10 |
| 2.2.1โมเด็มแถบความถี่เสียง | 11 |
| 2.2.2 ชนิดของโมเด็ม | 11 |
| 2.2.3 เทคนิคการโมดูเลตสัญญาณของโมเด็ม | 16 |
| 2.2.4 หลักการในการโมดูเลตสัญญาณ FSK | 22 |
| 2.2.5 หลักการในการดีโมดูเลตสัญญาณ FSK | 23 |
| 2.2.6 ลักษณะของตัวกรองสัญญาณที่ต้องการ | 25 |
| 2.2.7 การกำจัดสัญญาณสะท้อน | 26 |
| 2.2.8 การบิดเบือนของสัญญาณ | 26 |
| 2.2.9 สัญญาณรบกวน | 28 |
| 2.2.10 การเชื่อมต่อเข้ากับสายโทรศัพท์ | 28 |
| 2.3 มาตรฐาน RS-232-C | 29 |
| 2.3.1 การสื่อสารทางเดียว | 31 |
| 2.3.2 การสื่อสารสองทาง | 33 |
| 2.3.3 นัลโมเด็ม | 35 |
| 2.3.4 สัญญาณทางไฟฟ้า | 35 |
| **บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง** | 38 |
| 3.1 ลักษณะของโครงงานที่กำหนดไว้ | 38 |
| 3.2 ภาคอินเตอร์เฟส | 39 |
| 3.3 ภาคโมดูเลเตอร์และดีโมดูเลเตอร์ | 40 |
| 3.4 ภาคดูเพล็กเซอร์ | 41 |
| 3.5 ภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์ | 43 |
| 3.6 ภาคเทรสโฮลดีเทคเตอร์ | 43 |
| 3.7 ภาคลิมิตเตอร์ | 44 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

**บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง** 45

4.1 การทดลองภาคโมดูเลเตอร์ 46

4.2 การทดลองภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์ 48

4.3 การทดลองภาคลิมิตเตอร์ 55

4.4 การทดลองภาคดีโมดูเลเตอร์ 58

4.5 การทดลองภาคไดรเวอร์และรีซีฟเวอร์ 58

**บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป** 61

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 2.1 | แสดงการส่งข้อมูลแบบขนาน | 4 |
| รูปที่ 2.2 | แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม | 4 |
| รูปที่ 2.3 | แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรม | 5 |
| รูปที่ 2.4 | แสดงการต่อเนื่องของข้อความที่ถูกส่งผ่านแบบซิงโครนัส | 6 |
| รูปที่ 2.5 | แสดงรูปแบบการใช้อักขระ SYN นำหน้ากลุ่มตัวอักษร | 7 |
| รูปที่ 2.6 | แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์รับข้อมูลตรวจหาอักขระในระบบซิงโครนัส | 7 |
| รูปที่ 2.7 | แสดงการตัดแถวของบิตออกกลุ่มละ 8 บิต เพื่อแทนตัวอักษรของอุปกรณ์รับข้อมูลในระบบการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส | 8 |
| รูปที่ 2.8 | แสดงการใช้บัฟเฟอร์ช่วยในระบบการส่งสัญญาณแบบซิงโครนัส | 9 |
| รูปที่ 2.9 | แสดงการเรียงบิตในแต่ละเฟรมของอะซิงโครนัส | 10 |
| รูปที่ 2.10 | แสดงหม้อแปลง Hybrid | 12 |
| รูปที่ 2.11 | แสดงการแบ่งชนิดของโมเด็ม | 13 |
| รูปที่ 2.12 | แสดงหลักการทำงานของ FSK | 17 |
| รูปที่ 2.13 | แสดงความถี่มาตรฐานของ Bell 103 Full Duplex | 17 |
| รูปที่ 2.14 | แสดงความถี่มาตรฐานของ CCITT V.21 | 18 |
| รูปที่ 2.15 | แสดงความถี่มาตรฐานของ Bell 202 Half Duplex | 18 |
| รูปที่ 2.16 | แสดงการโมดูเลตแบบ ASK | 19 |
| รูปที่ 2.17 | แสดงการกำหนดคลื่นรูปซายน์และเฟสต่างๆ | 20 |
| รูปที่ 2.18 | แสดงแสดงสัญญาณ PSK | 21 |
| รูปที่ 2.19 | แสดงแสดงการแบ่งสัญญาณ PSK | 21 |
| รูปที่ 2.20 | แสดงเฟสของสัญญาณในการส่งด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที | 22 |
| รูปที่ 2.21 | แสดงโครงสร้างในการกำเนิดสัญญาณ FSK | 22 |
| รูปที่ 2.22 | แสดงโครงสร้างการทำงานของวงจรดีโมดูเลเตอร์ | 23 |
| รูปที่ 2.23 | แสดงการทำงานของดีเทคเตอร์ | 24 |
| รูปที่ 2.24 | แสดงการต่อตัวต้านทาน Feed Back | 25 |
| รูปที่ 2.25 | แสดงการบิดเบือนของสัญญาณในแถบความถี่ | 27 |
| รูปที่ 2.26 | แสดงการหน่วงเวลาของสัญญาณ | 27 |
| รูปที่ 2.27 | แสดงการใช้ RS-232-C | 29 |
| รูปที่ 2.28 | แสดงการเชื่อมต่อทางเดียวอย่างง่าย | 31 |
| รูปที่ 2.29 | แสดงการสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็คกิ้งจาก DTE ไปยัง DCE | 33 |
| รูปที่ 2.30 | แสดงการสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็คกิ้งจาก DCE ไปยัง DTE | 33 |
| รูปที่ 2.31 | แสดงการสื่อสารสองทางพร้อมด้วยวงจรแฮนด์เช็คกิ้งหลัก | 34 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า


รูปที่ 2.32 แสดงการเชื่อมต่อ RS-232 แบบมาตรฐานเก้าเส้น 35
รูปที่ 2.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและสถานะของสัญญาณ 37
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโมเด็ม 38
รูปที่ 3.2 แสดงการอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ 40
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการใช้งาน MC 14412 40
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรดูเพล็กเซอร์ 41
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเทรสโฮลดีเทคเตอร์ 44
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรลิมิตเตอร์ 44
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง 45
รูปที่ 4.2 แสดงความถี่ด้านต่ำของ MC 14412 โหมด originate เมื่อป้อนสัญญาณ 0 46
รูปที่ 4.3 แสดงความถี่ด้านสูงของ MC 14412 โหมด originate เมื่อป้อนสัญญาณ 1 47
รูปที่ 4.4 แสดงความถี่ด้านต่ำของ MC 14412 โหมด answer เมื่อป้อนสัญญาณ 0 47
รูปที่ 4.5 แสดงความถี่ด้านสูงของ MC 14412 โหมด answer เมื่อป้อนสัญญาณ 1 48
รูปที่ 4.6 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 0 49
รูปที่ 4.7 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 1 49
รูปที่ 4.8 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 0 50
รูปที่ 4.9 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 1 50
รูปที่ 4.10 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งรับสัญญาณเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณ 0 51
รูปที่ 4.11 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งรับสัญญาณเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณ 1 52
รูปที่ 4.12 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งรับสัญญาณเข้ามาเมื่อป้อนสัญญาณ0 52
รูปที่ 4.13 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งรับสัญญาณเข้ามาเมื่อป้อนสัญญาณ1 53
รูปที่ 4.14 แสดงความถี่ด้านต่ำโหมด originate ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์ 53
รูปที่ 4.15 แสดงความถี่ด้านสูงโหมด originate ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์ 54
รูปที่ 4.16 แสดงความถี่ด้านต่ำโหมด answer ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์ 54
รูปที่ 4.17 แสดงความถี่ด้านสูงโหมด answer ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์ 55
รูปที่ 4.18 แสดงเอาต์พุตภาคลิมิตเตอร์จากความถี่ด้านต่ำโหมด originate 56
รูปที่ 4.19 แสดงเอาต์พุตภาคลิมิตเตอร์จากความถี่ด้านสูงโหมด originate 56
รูปที่ 4.20 แสดงเอาต์พุตภาคลิมิตเตอร์จากความถี่ด้านต่ำโหมด answer 57
รูปที่ 4.21 แสดงเอาต์พุตภาคลิมิตเตอร์จากความถี่ด้านสูงโหมด answer 57
รูปที่ 4.22 แสดงวงจรรีซีฟเวอร์ MC 1489 58
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรรีซีฟเวอร์ เมื่อเทียบกับอินพุต 59
รูปที่ 4.24 แสดงวงจรไดรเวอร์ MC 1488 59
รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรไดรเวอร์ เมื่อเทียบกับอินพุต 60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ ( Computer ) ได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันโดยนำไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ หลายแขนง คอมพิวเตอร์มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการใช้งานคอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านธุรกิจการค้า การติดต่อข่าวสารระหว่างประเทศ รวมทั้งการติดต่อสื่อสารในชีวิตประจำวัน และในปัจจุบันคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทต่อการทำงานและชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น โดยเฉพาะไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งนับวันก็ยิ่งมีราคาถูกลงเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นสัดส่วนกลับกันกับประสิทธิภาพ ฉะนั้นถ้าสามารถติดต่อสื่อสารหรือเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารซึ่งกันและกันได้ ก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสาร และเป็นการประหยัดเพราะเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์มีอยู่แล้วเพียงแต่เป็นการใช้ประโยชน์ของเครื่องให้มากขึ้น ซึ่งการส่งข้อมูลนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า Data Communication และยังได้มีการปรับปรุงการติดต่อให้เป็นเครือข่ายเพื่อการใช้งานของอุปกรณ์ให้มีประโยชน์สูงสุด ซึ่งระบบนี้เรียกว่า ระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ ( Computer Network )ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลโดยปกติแล้ว จะสามารถกระทำได้โดยวิธีการเชื่อมโยงสายเข้าด้วยกันโดยตรง สามารถแบ่งวิธีการส่งตามลักษณะการเดินทางของข้อมูลได้ 2 วิธี คือ

1). การส่งข้อมูลแบบขนาน ข้อมูลจะถูกส่งออกไปทีเดียวทั้งไบต์ ( Byte ) โดยบิต ( Bit ) ทุกบิตที่อยู่ใน 1 ไบต์ จะถูกส่งออกไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ช่องสัญญาณ ( Channel ) ในการส่งอย่างน้อยเท่ากับจำนวนบิตใน 1 ไบต์

2). การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งออกไปทีละ 1 บิต ช่องสัญญาณในการส่งอาจจะใช้เพียง 1 ช่องสัญญาณเท่านั้น

ข้อมูลที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งการติดต่อซึ่งกันและกันในระยะทางไกล ๆ นั้นอาจทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ

- วิธีการแรกจะทำการส่งสัญญาณดิจิตอลโดยตรง ซึ่งการส่งสัญญาณโดยวิธีนี้จะต้องมีสายส่งที่มีลักษณะพิเศษ จะทำการส่งโดยใช้สายส่งธรรมดาอย่างสายโทรศัพท์ไม่ได้ เพราะเมื่อมีระยะทางไกลขึ้นสภาพความเป็นตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นในสาย ( Stray Capacitor ) จะทำให้การส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงมีการผิดพลาดได้เมื่อถึงปลายทาง

- วิธีที่สองการส่งสัญญาณโดยการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อกก่อน การส่งวิธีนี้จะทำได้ง่ายขึ้นและประหยัดขึ้นเพราะสายส่งสัญญาณไม่จำเป็นต้องมี Bandwidth กว้างมากนักเหมือนกับการส่งสัญญาณดิจิตอล และการส่งโดยวิธีนี้จะทำการส่งโดยใช้สายโทรศัพท์เป็นสายส่งได้ เพราะระบบโทรศัพท์มีเครือข่ายอยู่แล้วอย่างกว้างขวางทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านสายส่งข้อมูล และการติดตั้งสายส่ง ตัวอย่างในการนำเอาระบบนี้มาใช้งานก็เช่น การที่ธนาคารพาณิชย์หลายแห่ง ได้เริ่มนำเอาระบบการฝากถอนเงินต่างสาขาระบบเงินด่วนมาใช้เพื่อให้บริการแก่ลูกค้าเพื่อความคล่องตัวและความรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเพี้ยนของสัญญาณดิจิตอล เมื่อส่งผ่านสายโทรศัพท์**

จากสาเหตุที่นำสัญญาณดิจิตอลต้นแบบส่งเข้าสู่เครือข่ายสื่อสารโทรศัพท์โดยตรงจะทำให้เกิดการเสียรูปทรงจึงจำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมที่จะส่งผ่านไปตามสายโทรศัพท์โดยการนำไปฝากกับสัญญาณพาหะ ( Carrier Signal )วิธีการเช่นนี้เรียกว่า การโมดูเลต ( Modulate ) สำหรับสัญญาณที่จะเป็นสัญญาณพาหะได้ดีในการสื่อสารด้วยสารโทรศัพท์ก็คือ สัญญาณรูปคลื่น Sinusoidal กระบวนการที่นำสัญญาณที่จะส่ง ( Digital Signal ) แฝงเข้าไปในสัญญาณพาหะเรียกว่า โมดูเลต เมื่อส่งไปตามสายส่งจนถึงผู้รับแล้วที่ผู้รับจะมีขบวนการในการที่จะทำการแยกสัญญาณดิจิตอลออกจากสัญญาณพาหะ ซึ่งขบวนการนี้จะเรียกว่า ดีโมดูเลต

ในการสื่อสารข้อมูลนั้นจะต้องมีการรับส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีการโมดูเลต เพื่อทำการส่งข้อมูลออกไป และจะต้องมีการดีโมดูเลต เพื่อที่จะรับข้อมูลเข้ามา ซึ่งมีอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการทั้ง 2 แบบนี้ คือ MODEM โดยที่คำว่า MODEM เป็นคำที่นำส่วนหนึ่งของคำสองคำมาประกอบกันคือ Modulate กับคำว่า Demodulate ในบางครั้งอาจพบว่ามีผู้เรียก MODEM ว่าเป็น Data Set ก็ได้

แต่อย่างไรก็ตามระบบการสื่อสารข้อมูลในปัจจุบันมีการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับวงจรสื่อสารและอุปกรณ์เทอร์มินอลอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นได้มีการพัฒนาเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่สามารถจัดการกับข้อมูล และโปรแกรมอย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลนำมาซึ่งการรวม และสะสมข่าวสารจำนวนมาก และสามารถจะตอบสนองความต้องการต่าง ๆ ในภาคปฏิบัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีพื้นฐาน

## 2.1 การสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูล เป็นการส่งข่าวสารดิจิตอล ( Digital Information ) ซึ่งโดยมากอยู่ในรูปของเลขฐานสองจากแหล่งกำเนิดไปยังจุดหมายปลายทาง ข้อมูลจากแหล่งกำเนิด จะอยู่ในลักษณะสัญญาณดิจิตอล และข้อมูลที่รับได้ก็จะอยู่ในลักษณะดิจิตอลเช่นเดียวกันถึงแม้ว่าข้อมูลจะสามารถส่งได้ในลักษณะสัญญาณอนาล็อกหรือสัญญาณดิจิตอลก็ตาม ข่าวสารจากแหล่งกำเนิด อาจจะเป็นรหัสของตัวอักษร ตัวเลขหรือเครื่องหมายที่อยู่ในรูปของเลขฐานสอง เช่น รหัส ASCII หรือรหัส EBCDIC รหัสของไมโครโปรเซสเซอร์ ( Microprocessor OP-Code ) ,รหัสควบคุม,รหัสที่อยู่ของผู้ใช้ ( User Address ),โปรแกรมคอมพิวเตอร์, ข่าวสารฐานข้อมูล ( Data Base Information )

โครงข่ายการสื่อสารข้อมูล ( Data Communication Network ) แบบง่าย ๆ เช่น การเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือไมโครคอมพิวเตอร์สองเครื่องในระยะทางใกล้ ๆ ด้วยสายธรรมดาเข้าด้วยกันโดยตรง แต่ถ้าเป็นระยะทางไกลอาจจะต้องใช้สายโทรศัพท์แทน หรือถ้าจะให้เป็นโครงข่ายการสื่อสารข้อมูลที่ยุ่งยาก อาจประกอบด้วยคอมพิวเตอร์เมนเฟรม ( Mainframe Computer )หนึ่งเครื่องหรือมากกว่ากับอุปกรณ์ปลายทางข้อมูลเป็นจำนวนร้อย ๆ เครื่อง

### 2.1.1 วิธีการถ่ายโอนข้อมูลมีอยู่ 2 ประเภท

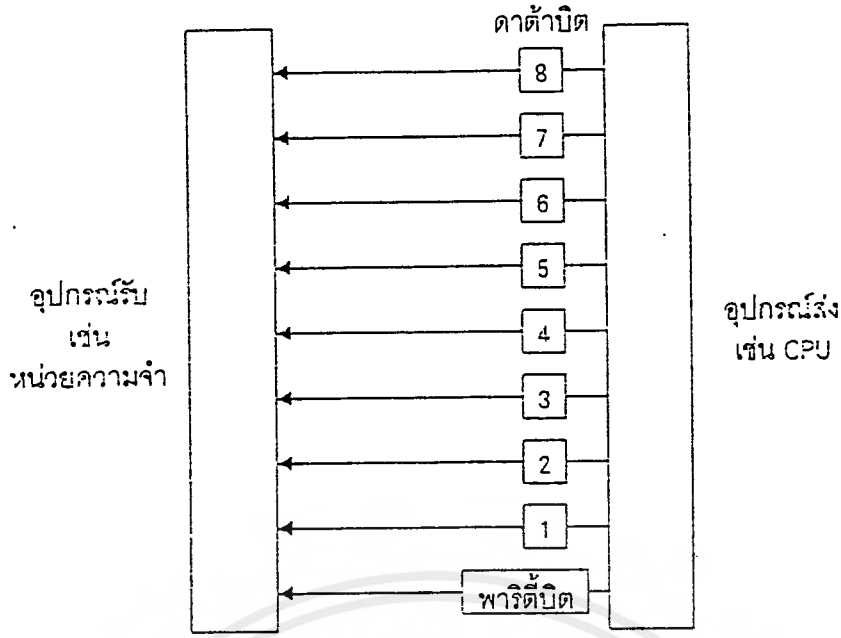
- การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบต์จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางระหว่าง 2 เครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากความต้านทานของสาย ระยะทางระหว่าง 2 เครื่องจึงไม่ควรเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ คือ ระดับของกราวน์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่น ๆอีกเป็นต้นว่า บิตที่บอก Parity ของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือ สายที่ควบคุมการโต้ตอบ ( Hand Shake )

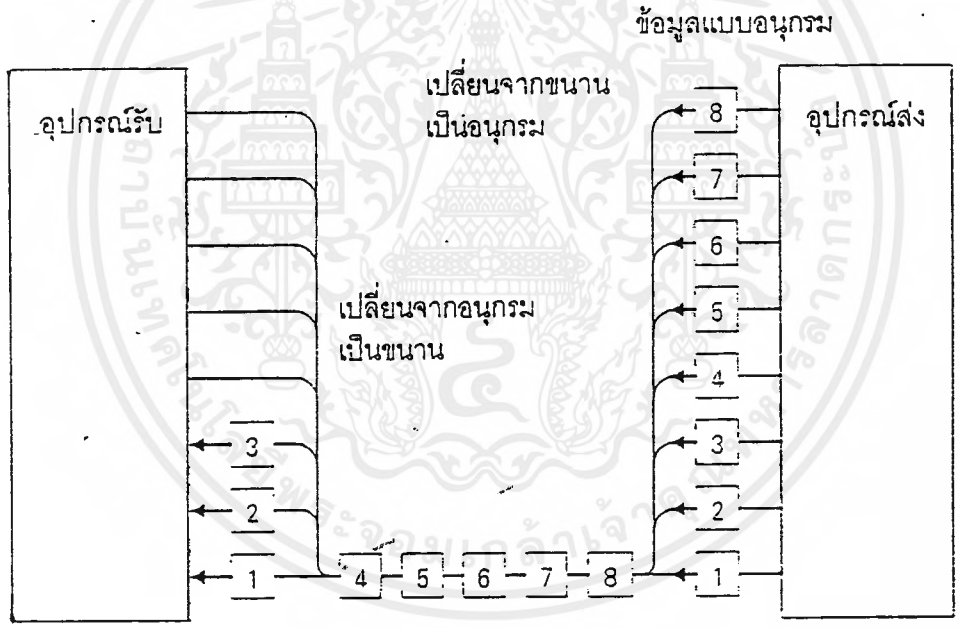
จะเห็นว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆเนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สาย และอุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

- การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม ในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนานที่กล่าวมาแล้วอย่างแน่นอน แต่สาเหตุที่มีการนิยมใช้การส่งแบบนี้กันก็เพราะตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารแบบนี้ต้องการเพียงช่องทางเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ทำให้ค่าใช้จ่ายในเรื่องของสื่อกลางถูกกว่าแบบขนาน สำหรับการส่งระยะทางไกล ๆ โดยเฉพาะเมื่อมีระบบสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการสะดวกที่จะนำมาใช้ถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.1 แสดงการส่งข้อมูลแบบขนาน




รูปที่ 2.2 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ ที่จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดีนั่นคือ บิต 1 ลงที่ Data Bus เส้นที่ 1 พอดีการที่จะทำให้การแปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงพอดีนั้นจำเป็นที่จะต้องมีกลไกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ กลไกที่ว่านี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). การสื่อสารแบบ Asynchronous

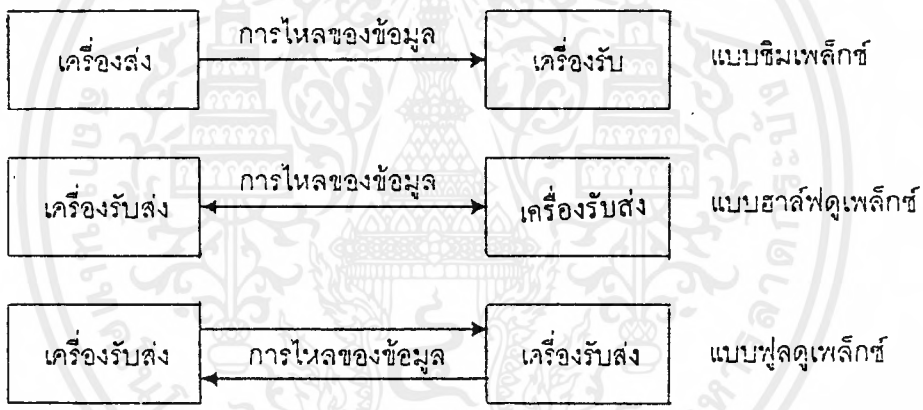
**2.1.2 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม**

การติดต่อแบบอนุกรมอาจจะแบ่งตามรูปได้ 3 แบบ

1). แบบซิมเพล็กซ์ ( Simplex ) ข้อมูลที่ส่งได้ในทางเดียวเท่านั้น บางครั้งก็เรียกว่าการส่งทิศทางเดียว ( Undirectional Data Bus ) ในการสื่อสารแบบนี้อุปกรณ์สื่อสารด้านหนึ่ง จะส่งข้อมูลไปในช่องสัญญาณได้เท่านั้นแต่จะรับข้อมูลจากช่องสัญญาณไม่ได้ แต่อุปกรณ์สื่อสารอีกด้านหนึ่งจะรับข้อมูลจากช่องสัญญาณได้เท่านั้น และจะส่งข้อมูลไปในช่องสัญญาณไม่ได้

2). แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ( Half Duplex ) หมายถึงการสื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทางแต่ในช่วงเวลาหนึ่งได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น อุปกรณ์สื่อสารทั้ง 2 ด้านจะผลัดกันรับผลัดกันส่ง การสื่อสารแบบนี้ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ระบบสาย 2 เส้น ( 2 Wire )

3). แบบฟูลดูเพล็กซ์ ( Full Duplex ) หมายถึงการสื่อสารข้อมูลใน 2 ทิศทางพร้อมกัน การสื่อสารแบบนี้ใช้ได้ทั้งระบบสาย 2 เส้น ( 2 Wire ) และสาย 4 เส้น ( 4 Wire ) แต่ในระบบสาย 2 เส้น จะต้องอาศัยเทคนิคการแบ่งความถี่เข้าช่วย คือจะส่งในความถี่ช่วงหนึ่งและจะรับในความถีอีกช่วงหนึ่ง




รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลข้อมูลอนุกรม

**2.1.3 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม**

ความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม หน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที ( bps ) และหน่วยที่บรรยายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เรียกว่า บอดเรต (Baud rate) หรืออัตราบอด ซึ่งแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิต เขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์จะได้

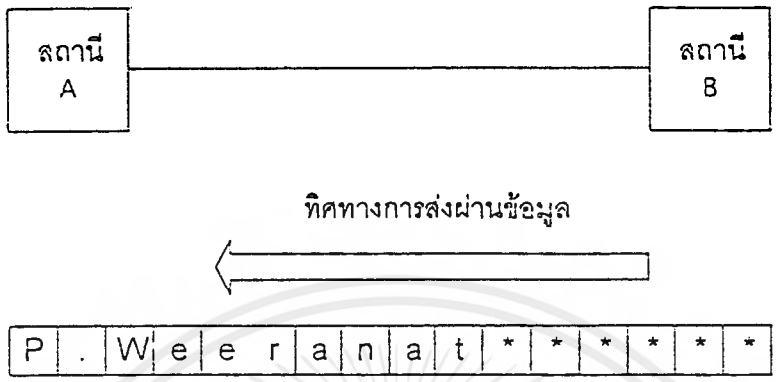
อัตราบิต (Bit rate) = อัตราบอด (Baud rate)*บิตใน 1 บอด

**2.1.4 การส่งแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)**

ในการส่งแบบซิงโครนัส ข้อมูลจะถูกจัดเป็นกลุ่มๆ และทำการส่งข้อมูลทั้งกลุ่มไปพร้อมกันในทีเดียว เรียกกลุ่มของข้อมูลนี้ว่า "Block of Data"และในการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสนี้ ช่วงเวลาของแต่ละบิตที่ทำการส่งจะใช้เวลาเดียวกัน และในการส่งผ่านทั้งตัวอักษร ตัวอักษรตัวแรกและตัวถัดไปจะไม่มีอะไรมาคั่น ( ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งจะใช้เวลาเดียวกัน และในการส่งผ่านทั้งตัวอักษร ตัวอักษรตัวแรกและตัวถัดไปจะไม่มีอะไรมาคั่น ( ภายในบล็อกเดียวกัน ) ดังนั้นช่วงเวลาระหว่างบิตสุดท้ายของตัวส่งผ่านจะต้องคิดในรูปแบบของระบบส่งผ่านข้อมูลนี้มีแนวโน้มที่จะยึดหลักการส่งผ่านข้อมูลที่อยู่ในรูปของระหัส 1,0 หรือเลขฐานสองนั่นเอง โดยที่ข้อความที่ต้องการส่งนั้นจะอยู่ในรูปของบิตที่แน่นอน

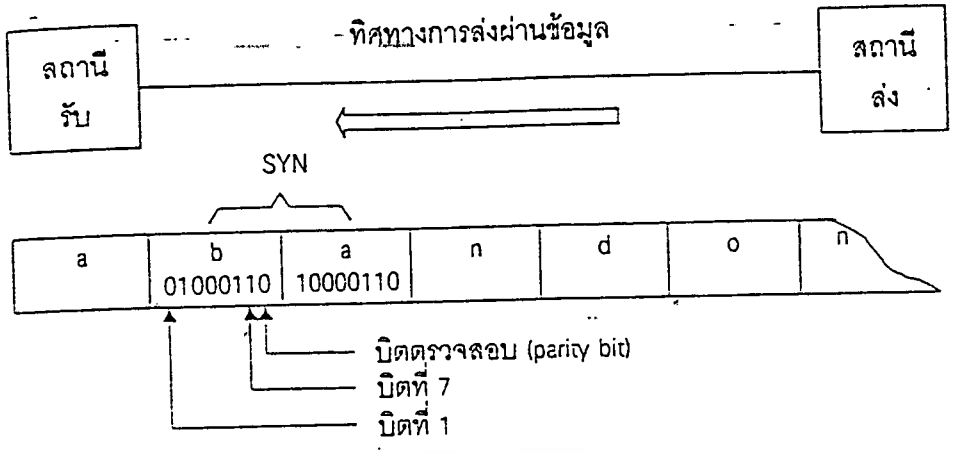



รูปที่ 2.4 แสดงการต่อเนื่องของข้อความ ที่ถูกส่งผ่านแบบซิงโครนัส

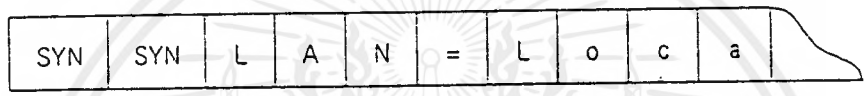
จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นการเอากลุ่มตัวอักษร (ข้อความที่ต้องการส่งผ่าน) มาเรียงต่อกันเพื่อเตรียมการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส จะเห็นได้ว่าตัวอักษรที่นำมาต่อกันเรียงชิดกันโดยที่ไม่มีช่องว่างของตัวอักษรเลย หรือตามที่กล่าวมาแล้วว่าช่วงเวลาระหว่างบิตสุดท้ายของตัวอักษรตัวแรกกับบิตแรกของตัวอักษรตัวถัดไปเท่ากับศูนย์นั่นเอง ในเมื่อรูปแบบการส่งผ่านข้อมูลเป็นเช่นนี้อุปกรณ์รับข้อมูลจะต้องทราบอะไรบ้าง จึงจะระบุลงไปว่าส่วนนั้นๆ เป็นกลุ่มบิตของตัวอักษรที่ถูกเข้าระหัสมา สิ่งที่อุปกรณ์ด้านรับจะต้องทราบก็คือ บิตใดเป็นบิตแรกของตัวอักษรตัวแรก ขนาดตัวอักษร (จำนวนบิตที่ใช้แทนในหนึ่งตัวอักษร) และอีกประการหนึ่งก็คือความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล อุปกรณ์รับข้อมูลจึงจะจัดกลุ่มของบิตออกเป็นกลุ่มๆ เพื่อแทนค่ากลับเป็นตัวอักษรต่างๆ ที่รับเข้ามา อย่างเช่นกรณีที่ข้อมูลที่ส่งผ่านมาอยู่ในรูปของระหัสแอสกี้ (ASCII) ตัวอักษรแต่ละตัวจะถูกเข้าระหัสในรูป 8 บิต แทนหนึ่งตัวอักษร โดยมีบิตแรกเป็นบิตตรวจสอบ ดังนั้น อุปกรณ์รับข้อมูลจะตัดบิตออกเป็นกลุ่มละ 8 บิต เพื่อนำมาตีความเป็นตัวอักษรแต่ละตัวนั่นเอง

สำหรับวิธีการที่จะระบุไปได้ว่า บิตใดเป็นบิตแรกของตัวอักษรตัวแรกนั้นมีวิธีการดังนี้ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าข้อมูลที่ถูกส่งผ่านโดยวิธีการซิงโครนัสจะถูกจับมารวมกันเป็นกลุ่มของข้อมูล ( Block of data ) และที่ส่วนต้นของบล็อก จะใส่ตัวอักขระซิง ( SYN Character ) ซึ่งเป็นอักขระพิเศษที่ใช้ในการควบคุมการส่งผ่านข้อมูลโดยที่อักขระซิงมีรูปแบบของบิตคือ 00010110 ( มีบิตตรวจสอบแบบเลขคี่ : Odd parity ) และอุปกรณ์รับข้อมูลจะคอยตรวจดูขบวนบิตที่เข้ามาว่ามีส่วนใดตรงกับอักขระ SYN บ้าง เมื่อพบกับอักขระ SYN แล้ว อุปกรณ์รับข้อมูลจะทราบได้ทันทีว่าถึงจุดเริ่มต้นที่จะตัดกลุ่มของบิตกลุ่มละ 8 บิต เพื่อแทนตัวอักษรได้ และตัวอักษรหลายๆตัวที่ตีความได้ก็คือ ข้อความที่ส่งมาในแต่ละบล็อก แต่การใช้ตัวอักขระ SYN เพียงตัวเดียวใส่ไว้ที่ส่วนต้นของบล็อกยังเป็นวิธีการที่ไม่ถูกต้อง เพราะในบางกรณีขบวนของบิตที่แทนตัวอักษรมีบางช่วงที่ไปตรงกับรูปแบบของบิตของอักขระ SYN ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



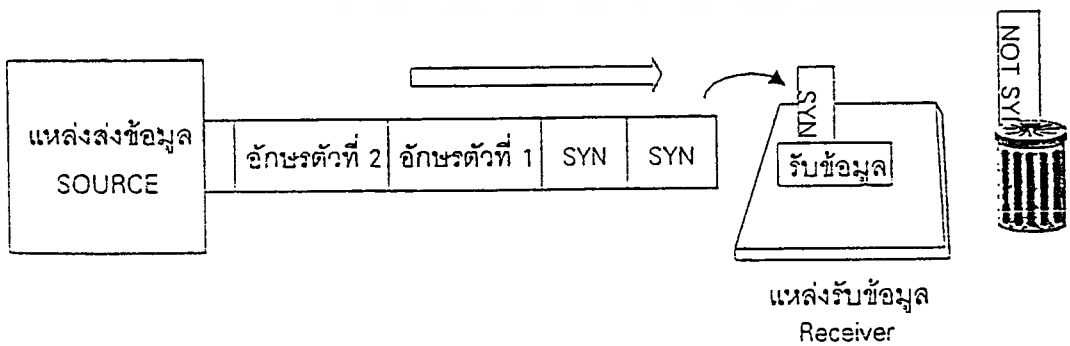

(a) กลุ่มที่เกิดขึ้นแล้วมีรูปแบบตรงกับอักขระ SYN




(b) การใช้อักขระ SYN 2 ตัวนำหน้าบล็อกของข้อมูลที่ส่งผ่านในระบบซิงโครนัส

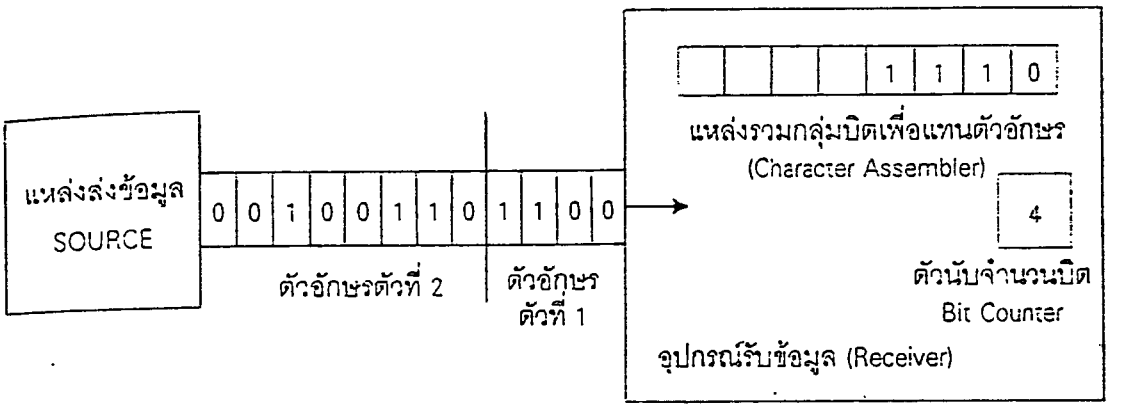
รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการใช้อักขระ SYN นำหน้ากลุ่มตัวอักษร

จากรูปที่ 2.5 a จะเห็นได้ว่าถ้าส่งข้อความที่มีตัวอักษร b และ a ติดกัน 4 บิตท้ายของตัวอักษร b ต่อกัน 4 บิตแรกของตัวอักษร a ตรงกับอักขระ SYN พอดีจะทำให้อุปกรณ์รับข้อมูลตีความผิดได้ ดังนั้น วิธีการแก้ไขข้อผิดพลาดที่จะเกิดได้จากกรณีเช่นนี้โดยการใช้อักขระ SYN 2 ตัวใส่ไว้ที่ส่วนต้นของบล็อคดังแสดงในรูปที่ 2.5 b และอุปกรณ์รับข้อมูลจะต้องทราบข้อตกลงนี้เป็นอย่างดี โดยที่ทันทีที่ตรวจพบอักขระ SYN จะดูอีก 8 บิตถัดไปว่าเป็นอักขระ SYN ด้วยหรือไม่ ถ้าใช่จะเริ่มต้นรับว่าทุก ๆ บิตที่ตามมา คือ ตัวอักษรแต่ละตัว กรณีไม่ใช่ก็จะเริ่มตรวจหาอักขระ SYN ต่อไป หรือกล่าวได้ว่าเครื่องจะปรับตัวเข้าสู่ภาคการค้นหา SYN ( Look for Syncmode ) และเมื่อพบอักขระ SYN อย่างน้อย 2 ตัวก็จะเริ่มเข้าสู่ขบวนการจัดกลุ่มบิตกลุ่มละ 8 บิตแทนตัวอักษร หรือข้อมูลที่ได้รับ




รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์รับข้อมูลตรวจหาอักขระในระบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.7 แสดงการตัดแถวของบิตออก กลุ่มละ 8 บิต เพื่อแทนตัวอักษรของอุปกรณ์รับข้อมูลในระบบการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส

จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 คือขบวนการรับข้อมูลที่ส่งผ่านมาในระบบซิงโครนัส ในบางระบบการใช้อักขระ SYN นำหน้ากลุ่มข้อมูลอาจใช้อักขระ SYN ถึง 3-4 ตัวก็ได้ เพื่อความแน่นอนในการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

ถ้าจะกล่าวถึงการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสจะถูกเรียกว่า แฟล็ก ( Flag) ความหมายก็คือ มีสัญญาณหรือไม่มี เช่นเดียวกับการใช้สัญญาณการโบกธง แต่ในทุกกรณีจะเห็นได้ว่า หลักของการส่งสัญญาณแบบซิงโครนัสนั้น จะต้องให้เครื่องรับข้อมูลที่ปลายทางเข้าใจถึงลักษณะของบิตพิเศษที่ส่งมาเพื่อให้รู้ว่านี่คือ จุดเริ่มต้นของกลุ่มตัวอักษร ( Block ) ที่กำลังส่งเรียงกันเข้ามา

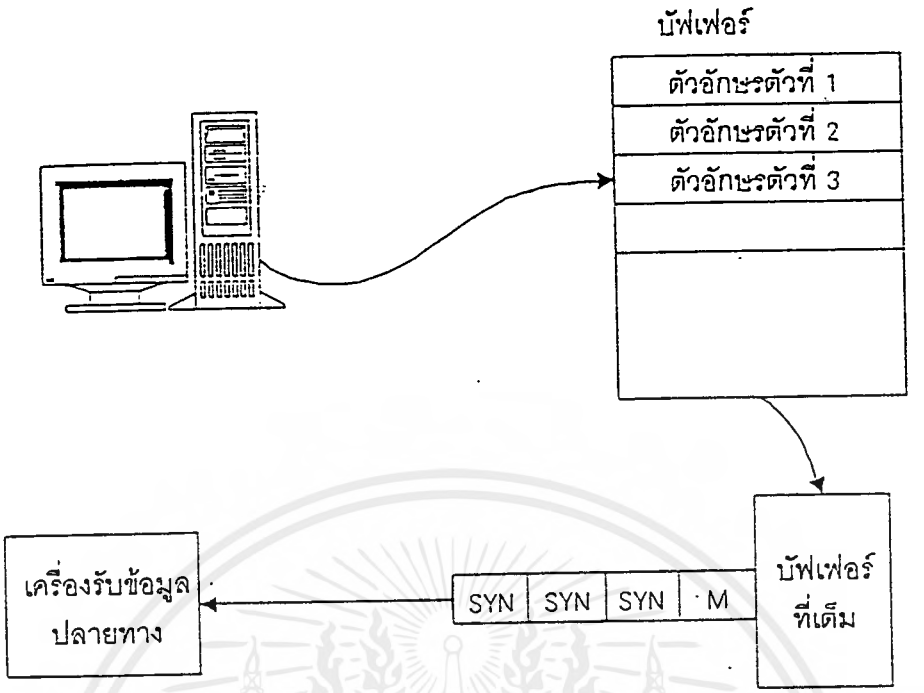
บัฟเฟอร์เทอร์มินอล ( Buffer Terminal ) เมื่อเราทำการส่งตัวอักษรหลาย ๆ ตัวโดยระบบจัดกลุ่มเข้าเป็นบล็อคตามระบบของการซิงโครนัส ดังนั้น สภาวะของการส่งข้อมูลจึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก เราทราบแล้วว่า ผู้ป้อนข้อมูลจะต้องพิมพ์ข้อมูลเข้าทางแป้นพิมพ์ จากนั้นข้อมูลจึงถูกส่งไปตามสายส่งเพื่อไปยังสถานีปลายทางด้วยเหตุนี้จึงมีข้อที่ควรพิจารณา 2 ข้อ คือ

1). ผู้พิมพ์ข้อมูลป้อนเข้าเครื่องไม่สามารถรักษาระดับความห่างระหว่างตัวอักษรได้

2). ความเร็วในการส่งข้อมูลตามสายส่ง จะมีความเร็วสูงกว่าที่ผู้ป้อนข้อมูลจะพิมพ์เข้าเครื่องมาก

ด้วยเหตุผล 2 ข้อนี้ จึงต้องสร้างบัฟเฟอร์เทอร์มินอลขึ้น ซึ่งหมายถึง เครื่องเทอร์มินอลจะต้องมีหน่วยความจำเพื่อเป็นที่รวบรวมอักษรขึ้น ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเทอร์มินอลที่มีหน่วยความจำอยู่ด้วย หน่วยความจำประเภทนี้จะมีชื่อเรียกพิเศษว่า บัฟเฟอร์ ( Buffer ) เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้ป้อนข้อมูลก็จะพิมพ์ตัวอักษรเข้าเครื่องเทอร์มินอลได้ตามสบาย เมื่อพิมพ์ข้อความที่ต้องการส่งเสร็จแล้วจึงกดปุ่มบังคับการส่งข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดก็จะถูกบรรจุเข้าสู่สายส่งไปยังสถานีปลายทางโดยทันทีหรือในบางกรณีเมื่อบัฟเฟอร์เต็มก็จะเกิดการส่งโดยอัตโนมัติเสียทีหนึ่งก่อน แล้วล้างบัฟเฟอร์เพื่อรอรับข้อมูลใหม่ต่อไป การสร้างระบบบัฟเฟอร์เทอร์มินอลนี้จะต้องมีการออกแบบทั้งตัวเครื่อง ( Hardware ) และตัวโปรแกรมควบคุมระบบการส่ง ( Software ) เช่น เป็นตัวสร้างอักขระ SYN หน้ากลุ่มข้อมูลว่าจะใช้อักขระ SYN กี่ตัวก่อนที่จะส่งลงไปยังสายส่งสัญญาณและที่ปลายทางของสายส่ง ( เครื่องรับข้อมูล ) ก็ยังต้องมีบัฟเฟอร์ช่วยในการรับข้อมูลที่มาตามสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.8 แสดงการใช้บัฟเฟอร์ช่วยในระบบการส่งสัญญาณ แบบซิงโครนัส

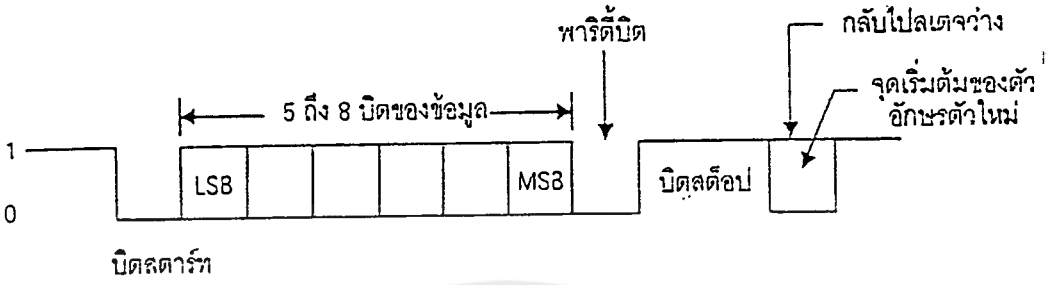
การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสจะใช้ได้ในกรณีที่มีการส่งข้อมูลคราวละมาก ๆ และมีความเร็วในการส่งข้อมูลสูง

**2.1.5 การส่งแบบอะซิงโครนัส ( Asynchronous Transmission )**

การส่งแบบอะซิงโครนัสนี้ พัฒนาจากการส่งโทรพิมพ์ในสมัยก่อน ลักษณะของสัญญาณแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 เพื่อเพิ่มกลไกในการรับส่งอย่างถูกต้อง สัญญาณอะซิงโครนัสจะประกอบด้วยบิตเริ่มต้นหรือบิตสตาร์ท ( Start Bit ) และบิตสิ้นสุดหรือบิตสต็อป ( Stop Bit ) ขณะที่สถานะของการส่งเป็นแบบว่าง ( Idle ) คือ ยังไม่มีสัญญาณส่งออกมาจะมีสัญญาณหรือมีแรงดัน ( หรือกระแส ) ตลอดเวลา เพื่อความแน่ใจว่าฝ่ายรับยังติดต่ออยู่กับฝ่ายส่ง เมื่อเริ่มจะส่งข้อมูลสัญญาณของอะซิงโครนัสจะเป็น "0" หนึ่งช่วงสัญญาณนาฬิกา บิตนี้เรียกว่า สตาร์ทบิตตามหลังของสตาร์ทบิตก็จะเป็นข้อมูลสำหรับ 1 ตัวอักษร ซึ่งอาจจะมีขนาดตั้งแต่ 5 บิตจนถึง 8 บิต โดยบิตที่มีค่าน้อยที่สุด ( LSB ) จะถูกส่งออกมาก่อนใส่ไปจนถึงบิตที่มีค่ามากที่สุด ( MSB ) การเข้ารหัสอักขระนี้ส่วนมากจะนิยมใช้รหัส ASCII แรกเริ่มทีเดียวในงานของโทรพิมพ์ใช้รหัส Baudot ซึ่งใช้ 5 บิต ในการแทนอักขระ 1 ตัว ตามหลังข้อมูลก็จะเป็นพาริตี้บิต ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ก็ได้ พาริตี้บิตทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ได้รับ พาริตี้อาจเป็นแบบคู่ ( Even ) หรือเป็นแบบคี่ ( Odd ) หมายความว่าถ้าหากเป็นพาริตี้คู่จำนวนบิตที่เป็น 1 ในช่วงบิตข้อมูลกับพาริตี้รวมแล้วจะต้องเป็นจำนวนคู่ ผู้ส่งจะต้องทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลแล้วใส่พาริตี้เอง ฝ่ายรับเมื่อรับแล้วก็จะต้องตรวจสอบดูว่าเป็นจริงดังสถานการณ์ที่ตั้งเอาไว้หรือไม่ หากผิดพลาดก็หมายความว่าสัญญาณที่รับนั้นผิดพลาดไปจากที่ส่งออกมา ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องผิดเป็นจำนวนคี่เท่านั้น คือผิดไป 1 บิต, 3 บิต หรือ 5 บิต พร้อมกันจึงจะตรวจสอบได้ว่าผิด มองเห็นง่าย ๆ ว่าถ้าผิดเป็นจำนวนคู่ ผลรวมของจำนวนหนึ่งก็ยังเป็นคู่อยู่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า พาริตี้คี่ ( Odd parity ) จะตรวจสอบการผิดพลาดเป็นจำนวนคี่ ความจริงแล้วตรวจสอบดูว่าสัญญาณที่รับเข้ามาเป็นคู่ก็ตรวจสอบดูว่ามีจำนวนคี่หรือเปล่าอย่างไรก็ตามโอกาสที่จะผิดพลาด 2 บิต พร้อมกันมีน้อยมาก




รูปที่ 2.9 แสดงการเรียงบิตในแต่ละเฟรมของอะซิงโครนัส

สำหรับสัญญาณอะซิงโครนัส หลังจากบิตพาริตี้แล้วก็จะต้องมีสต็อปบิตซึ่งในความกว้างของสต็อปบิตอาจจะเป็น 1, 1.5 หรือ 2 บิต แล้วแต่ผู้รับและผู้ส่งจะตกลงกัน การเริ่มใช้พอร์ตอนุกรม จึงจำเป็นจะต้องตั้งค่าต่าง ๆ สำหรับเป็นการส่งแบบอนุกรม ได้แก่

1). ความเร็วในการส่ง

2). ความยาวรหัส 1 อักขระ

3). บิตตรวจสอบ

4). จำนวนสต็อปบิต

ในการส่งโทรพิมพ์หรือโทรเลข เมื่อ ก่อน นี้ใช้ความเร็วแค่ 70 บอดและ 110 บอด สำหรับคอมพิวเตอร์ความเร็วในการส่งมีให้เลือกตั้งแต่ 110, 200, 300, 2400, 4800, 9600 บอด และสูงไปกว่านั้น เนื่องจากมี IC หลายเบอร์ทำหน้าที่รับส่งแบบอะซิงโครนัสให้ใช้ การส่งแบบอนุกรมจึงสะดวกสบายสำหรับการออกแบบพอร์ตอนุกรม

จะเห็นว่ากลไกในการซิงโครนัสของการสื่อสารอะซิงโครนัสมีลักษณะเป็นไปทีละตัวอักขระ จำนวนพัลส์ของสัญญาณที่ส่งออกยังมีบางส่วนใช้ในการควบคุมการส่งอยู่ อันได้แก่ สตาร์ทบิต, สต็อปบิต และพาริตี้บิต ทำให้ความเร็วการส่งอักขระต่อวินาทีน้อยลงไป กรณีส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 300 บอด สำหรับการเข้ารหัส 7 บิต ไม่ได้หมายความว่าส่งได้ 300 หารด้วย 7 อักขระต่อวินาที

**2.2 หลักการของโมเด็ม**

โมเด็มเป็นคำย่อที่มาจากโมดูเลต ( Modulate ) / ดีโมดูเลต ( Demodulate ) ซึ่งการโมดูเลตจะเป็นการแปลงข้อมูลดิจิตอลซึ่งอยู่ในรูปแบบอนุกรมไปเป็นสัญญาณพาหะความถี่อนาล็อก เพื่อส่งไปในสายโทรศัพท์ ส่วนการดีโมดูเลต จะรับสัญญาณที่ ถูกโมดูเลต เป็นพาหะความถี่อนาล็อก แล้วนำเข้ามาเพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกนั้นให้เป็นข้อมูลดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.1 โมเด็มแถบความถี่เสียง ( Voiceband Modem )**

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเราสามารถแยกประเภทของโมเด็มโดยแบ่งตามความเร็ว และตามวิธีการโมดูเลต โดยโมเด็มความเร็วต่ำ ( ไม่เกิน 1200 บิทต่อวินาที:bit per second : bps ) จะอาศัยเทคนิคการโมดูเลตแบบ ฟรีเควนซี่ชิพคีย์อิ้ง ( Frequency Shift keying : FSK ) ส่วนโมเด็มความเร็วปานกลาง(1200 ถึง 2400 บิตต่อวินาที ) อาศัยเทคนิคการโมดูเลตแบบ เฟสชิพคีย์อิ้ง ( Phase Shift Keying : PSK ) หรือบางทีอาจใช้แบบ ควอดราเจอร์แอมปลิจูดโมดูเลชั่น ( Quadrature Amplitude Modulation: QAM ) และโมเด็มความเร็วสูงจะทำการโมดูเลตแบบQAMวิธีการโมดูเลตแต่ละแบบจะแตกต่างกันที่การเข้ารหัสข้อมูลเพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก ( FSK, PSK, ASK ) , ประสิทธิภาพของการส่ง , ขอบเขตของความถี่ที่ใช้, ความสลับซับซ้อนของวงจร ซึ่งทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ความกว้างของแถบความถี่จะขึ้นอยู่กับการเข้ารหัสข้อมูลและอัตราที่สัญญาณพาหะที่ถูกโมดูเลตเปลี่ยนแปลง ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้คือ การเปลี่ยนแปลงแต่ละช่วงของตัวอักษร ( Symbol interval ) หรือบอดเรต สำหรับความหมายของตัวอักษรอาจจะเป็นหนึ่งหรือหลาย ๆ บิตก็ได้

ตัวอย่างง่าย ๆ ประกอบไปด้วยขบวนรถที่มีคนนั่งวิ่งไปตามทาง ทางที่วิ่งไปนั้นเปรียบได้กับสายโทรศัพท์ ส่วนรถแสดงถึงอัตราบอด และคนแสดงถึงบิต ดังนั้นอัตราบิตจะหมายถึงการคูณกันระหว่างอัตราบอด กับจำนวนของบิตในหนึ่งบอด

**2.2.2 ชนิดของโมเด็ม แบ่งออกได้ดังนี้**

**แบ่งตามการต่อเข้ากับสายโทรศัพท์**

- โมเด็มแบบคัปปลิ้งทางเสียง ( Accustic Coupled )

โมเด็มชนิดนี้จะต่อเข้ากับเครื่องโทรศัพท์โดยการคัปปลิ้งทางเสียง สามารถตอบรับการเรียกและทำการเรียกโดยอัตโนมัติ ( Auto Dial/Auto answer ) จะมีลูกถ้วยที่ทำด้วยยาง ( Foam cup ) ส่วนนี้จะเป็นช่องทางรับเสียงเข้ามาและทำหน้าที่กั้นสัญญาณรบกวนที่มากับสัญญาณเสียงด้วย

ข้อดีของโมเด็มแบบนี้ คือ มีราคาถูกและสามารถต่อเข้ากับสายโทรศัพท์ในกรณีที่ไม่สามารถต่อสายโทรศัพท์เข้ากับโมเด็มแบบต่อโดยตรง ( Direct Connect )ได้ ระบบที่ใช้งานโมเด็มแบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นระบบที่เรียกว่าเทเลคอนเฟอร์เร้น ( Tele-Conferencing ) หรือการประชุมในลักษณะที่องค์ประชุมแต่ละคนอยู่ต่างสถานที่กัน เช่น อยู่คนละประเทศหรือคนละจังหวัดเป็นต้น หรือบางทีอาจใช้กับงานด้านใช้ข้อมูลในฐานข้อมูล เมื่อคอมพิวเตอร์หลักกับเทอร์มินอล ( Terminal ) อยู่ห่างกัน สำหรับระบบที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันอยู่ตลอดเวลาและมีการสั่งงานโปรแกรมอยู่บ่อย ๆ มักจะไม่นิยมใช้โมเด็มแบบนี้

ในการเชื่อมต่อแบบนี้มีชุดมือถือโทรศัพท์เองจะทำหน้าที่เป็นดู เพล็กเซอร์ ( Duplexer ) หรือตัวแปลงจากสาย 4 เส้นเป็น 2 เส้น จะใช้ได้กับโมเด็มแบบ FSK เท่านั้น ด้วยอัตราการส่งไม่เกิน 1200 บิตต่อวินาที ที่เป็นดังนี้เพราะ คาร์บอนไมโครโฟนในโทรศัพท์มีคุณภาพต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โมเด็มแบบต่อโดยตรง ( Direct Connect )

โมเด็มชนิดนี้ยังถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ อินเทอร์นัล ( Internal ) และ เอกเทอร์นัล ( External ) ซึ่งอินเทอร์นัล จะเป็นลักษณะของการ์ดเสียบเข้าในสล็อต ( Slot ) ภายในเครื่อง ส่วนเอกเทอร์นัลจะต่อออกจาก ซีรีพอร์ต( Series port ) ภายนอก

โมเด็มทั้งสองแบบนี้ต่อเข้ากับสายโทรศัพท์โดยตรงด้วยการออกแบบวงจรDataAccess Arrangements ( DAA )

วงจร DAA นี้จะให้บริการเกี่ยวกับหัวข้อดังนี้

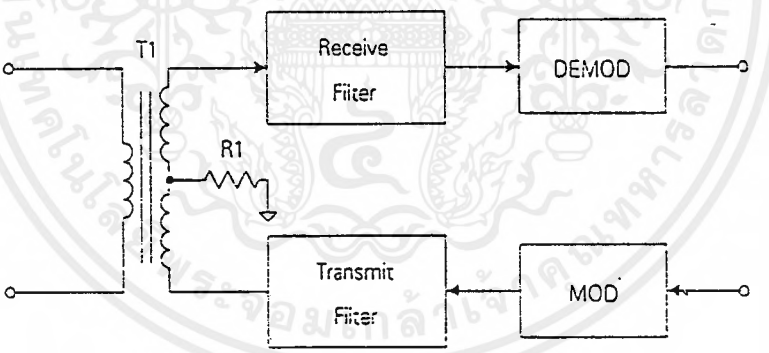
1. ให้ DC Isolation ระหว่างโมเด็มกับโทรศัพท์ (T1)

2. ให้วงจรตรวจจับสัญญาณเรียก เพื่อทำการควบคุมการ ON/OFF สวิตช์ฮุก ( Hook Switch ) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ Manual ก็ได้

3. กำหนดให้ไฟกระแสตรงไหลผ่านขณะ Off Hook เพื่อ Hold สายด้วย L1 กระแสนี้จะถูกรับรู้โดยทางองค์การโทรศัพท์เพื่อรับทราบว่ามีใครคนหนึ่งต่อโทรศัพท์เข้ากับสายแล้ว โดยไม่ต้องยกหูโทรศัพท์จริงๆ

4. กำหนดให้มีการป้องกัน Transient ด้วยซีเนอร์ไดโอด

ส่วนวงจรออปแอมป์ที่ทำหน้าที่ดูเพล็กเซอร์ บ่อยครั้งที่จะถูกใช้แทนด้วยหม้อแปลง Hybrid ดังรูปที่ 2.10 หม้อแปลง Hybrid (T1) จะให้การลดทอนสัญญาณ Transmitter Carrier ที่ดีกว่า (ปกติ 20 dB) แต่ราคาจะสูงกว่าการใช้ออปแอมป์




รูปที่ 2.10 แสดงหม้อแปลง Hybrid

**แบ่งตามวิธีการส่งผ่านข้อมูล**

ในกรณีนี้เราจะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบ ที่จะนำเอาโมเด็มไปต่อเข้ากับตัวกลางการส่งผ่านข้อมูล ( Communication Liner ) แบ่งออกได้ดังนี้

1. แบบซิมเพล็กซ์ ( Simplex )

2. แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ( Half duplex )

3. แบบฟูลดูเพล็กซ์ ( Full duplex )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบ่งตามชนิดของอัตราการส่งข้อมูล**

1. อัตราการส่งข้อมูลต่ำ ( Low-speed ) มีอัตราการส่งข้อมูลไม่เกิน 600 บิตต่อวินาที

2. อัตราการส่งข้อมูลปานกลาง ( Medium-speed ) มีอัตราการส่งข้อมูลระหว่าง 1,200 ถึง 9,600 บิตต่อวินาที

3. อัตราการส่งข้อมูลสูง ( High-speed ) มีอัตราการส่งข้อมูลมากกว่า 9,600 บิตต่อวินาที

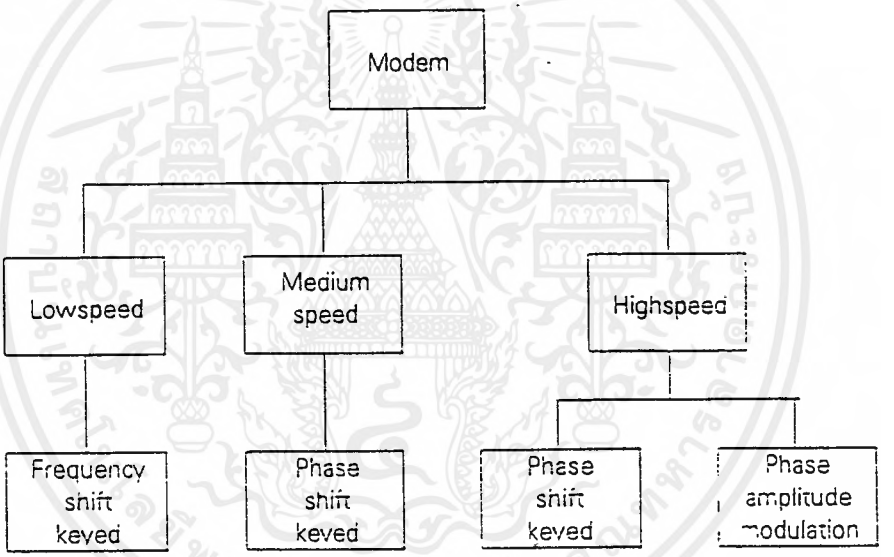
**แบ่งตามเทคนิคการโมดูเลต**

1. เฟสชิพคีย์อิ้ง ( Phase Shift Keying : PSK )

2. ฟรีเควนซี่ชิพคีย์อิ้ง ( Frequency Shift Keying : FSK )

3. เฟสแอมปลิจูดโมดูเลชั่น ( Phase Amplitude Modulation : PAM )

สำหรับวิธีการโมดูเลต ยังมีเทคนิคอื่น ๆ อีกหลายแบบ แต่ก็ค่อนข้างจะใช้กันน้อย สามารถจะแบ่งตามลักษณะต่าง ๆ เป็นไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.11




รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งชนิดของโมเด็มตามเทคนิคการโมดูเลต

**แบ่งเป็นโมเด็มชนิด 2 สายและ 4 สาย**

หัวข้อนี้ก็เป็นวิธีหนึ่งในการแบ่งชนิดของโมเด็มนอกเหนือจากหัวข้ออื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว วิธีการที่จะใช้ในการเลือกว่าควรจะใช้ชนิด 2 สายและ 4 สาย นั้นขึ้นกับว่า ในการปฏิบัติงานต้องการจะใช้กับการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์หรือฮาล์ฟดูเพล็กซ์ ในโมเด็มชนิดความเร็วต่ำแถบความถี่ของสัญญาณซึ่งอยู่ในช่วงแคบ ๆ ไม่เกิน 3,000 Hz สามารถใช้ได้กับ PSTN ( Public Swicth Telephone Network ) หรือเครือข่ายสายโทรศัพท์สาธารณะได้ แต่ในกรณีของโมเด็มชนิดเร็วปานกลางและความเร็วสูง ซึ่งใช้เทคนิคการโมดูเลตแบบอื่น ๆ นั้นต้องการแถบความถี่ขนาด 3,000 Hz เต็มเพื่อที่จะทำให้การส่งผ่านข้อมูลทำได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการใช้งานส่วนใหญ่ถ้าต้องการความรวดเร็วและเป็นการส่งผ่าน ข้อมูลในลักษณะของฟูลดูเพล็กซ์แล้วมักจะใช้โมเด็มความเร็วสูงแบบ 4 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโมเด็มชนิด 2 สาย นั้นโครงสร้างของช่องสัญญาณ (channel) การส่งผ่านข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ช่องสัญญาณ คือ ในช่องสัญญาณที่ 1 จะถูกใช้เป็นช่องสัญญาณในการส่งผ่านข้อมูลในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในขณะหนึ่ง ๆ ส่วนช่องสัญญาณที่ 2 จะถูกใช้เป็นช่องสัญญาณที่มีไว้สำหรับส่งสัญญาณควบคุมหรือสัญญาณแฮนด์เชค ( Hand-Shaking ) ซึ่งจะส่งสัญญาณมาให้ทางด้านส่งทราบว่า ทางด้านรับได้รับข้อมูลที่ส่งมาเรียบร้อยแล้ว บางครั้งอาจจะเรียกช่องสัญญาณที่ 2 นี้ว่า รีเวิร์ส ช่องสัญญาณ ( Reverse Channel ) ส่วนใหญ่โมเด็มชนิด 2 สายนี้ จะใช้ในงานที่การส่งข้อมูลส่งออกไปในทิศทางเดียวกันในขณะหนึ่ง ๆ สลับกันหรืออาจจะเรียกว่า ใช้ในการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์แล้ว

สำหรับในการใช้งานที่การส่งผ่านข้อมูลต้องกระทำในลักษณะเป็นฟูลดูเพล็กซ์แล้ว ควรจะเลือกใช้โมเด็มชนิด 4 สาย จึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยปกติเครือข่ายการต่อโมเด็มชนิดนี้อาจจะต้องต่อเข้ากับสายเช่า ( Private-line ) ซึ่งเป็นการติดต่อเป็นเอกเทศโดยไม่ต้องผ่านสวิตช์ซึ่งที่ชุมสายโทรศัพท์ แต่บางโอกาสก็ไม่จำเป็นต้องต่อโครงข่ายในลักษณะดังกล่าวก็ได้ ถ้าพิจารณาถึงสายเช่านั้น คุณสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งที่ไม่มีในสายโทรศัพท์สาธารณะทั่ว ๆ ไปก็คือ สามารถที่จะป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี

**โมเด็มสำหรับระยะใกล้ ( Short haul Modem )**

โมเด็มชนิดต่างๆที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมานั้นเป็นโมเด็มชนิดที่ลักษณะการอินเตอร์เฟส ( Interface ) จะต้องต่อผ่านสายโทรศัพท์และชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งเป็นโครงข่ายที่ใช้ติดต่อได้ในระยะไกล เรียกว่า เป็นโมเด็มใช้สำหรับระยะไกล ( Long haul Modem ) แต่ในกรณีของโมเด็มใช้สำหรับระยะใกล้นี้มีลักษณะการอินเตอร์เฟสของโมเด็มจะเป็นการติดต่อกันโดยส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิลโดยตรง ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่ที่ระยะการติดต่อจะกระทำได้ไม่เกิน 10 ไมล์หรือ 16 กิโลเมตร โครงข่ายการติดต่อนี้จะใช้งานโมเด็มชนิดนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการติดต่อแบบจุดต่อจุด( Point to point ) ซึ่งอัตราการส่งผ่านข้อมูลในลักษณะเช่นนี้จะแปรเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางระหว่างจุดส่งกับจุดรับ แต่ถ้าในระยะทางติดต่อที่ใกล้กันอัตราการส่งผ่านข้อมูลอาจจะสูงถึง 1 เมกกะบิทต่อวินาที

เทคนิคการโมดูเลต ที่ใช้ในโมเด็มระยะใกล้นี้จะใช้วิธีต่าง ๆ กันอาจจะใช้การโมดูเลต แบบที่กล่าวถึงข้างต้น หรืออาจจะใช้วิธีการส่งสัญญาณดิจิตอลโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านดีทูเอ( Digital to Analog : D/A ) ซึ่งจะเห็นว่ามีความสะดวกมากขึ้น โดยขบวนการดังกล่าวนี้จะนำเอาดิฟแอมป์( Diff-Amp )มาใช้ ในทางปฏิบัติจะพบว่าโมเด็มใช้งานระยะใกล้นี้จะใช้ในระบบควบคุมการปฏิบัติงานของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม และการอินเตอร์เฟสเข้าด้วยกันเพื่อสร้างโครงข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยมีระยะทางการติดต่อระหว่างเทอร์มินอลหรือจุด( Node ) ไม่เกิน 100 ฟุต ซึ่งทำให้การส่งผ่านข้อมูลกระทำด้วยความเร็วเต็มที่

**โมเด็มแบบบัสคอมแพททิเบิล ( Bus-Compatible Modem )**

โมเด็มชนิดนี้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปจากโมเด็มชนิดที่ผ่านมา เพราะมีลักษณะเป็นซิงเกิลบอร์ด ( Single board ) บัสคอมแพททิเบิลการใช้งานโมเด็มแบบซิงเกิลบอร์ดนี้ส่วนใหญ่จะพบในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และการอินเตอร์เฟสเพื่อใช้งานร่วมกับระบบบัสชนิด s-100 เพื่อต่อร่วมกับระบบโครงข่ายโทรศัพท์ให้สามารถตอบโทรศัพท์โดยอัตโนมัติ ( Auto answer ) เรียกโทรศัพท์โดยอัตโนมัติ ( Auto dial ) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**มาตรฐานของโมเด็ม**

องค์กรต่าง ๆ ได้สร้างมาตรฐานการอินเตอร์เฟสของตนเองขึ้นมาใช้ซึ่งมีอยู่มากมายได้แก่

- EIA : The electronic industries association

เป็นมาตรฐานกำหนดโดยสมาคมโรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตอิเลคทรอนิคส์แห่งสหรัฐอเมริกา มาตรฐานนี้ตั้งขึ้นมาใช้กำหนดมาตรฐานของเครื่องมือ อุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ต่าง ๆ การกำหนดมาตรฐานใช้รหัส RS เป็นหลัก เช่น มาตรฐาน RS-232C ใช้กันแพร่หลายในระบบสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์โดยจะกล่าวถึงมาตรฐานของสัญญาณไฟฟ้าในการอินเตอร์เฟสมินอลเข้ากับโมเด็ม หรืออินเตอร์เฟสเทอร์มินอลเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ อินเตอร์เฟสเครื่องพิมพ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานอื่น ๆ ที่มีการตั้งขึ้นมาใช้ประกอบด้วย EIA RS449 RS422A RS423A

- CCITT : The consultative committee in international telegraph and telephone

สำหรับมาตรฐานของ CCITT ที่ใช้แพร่หลายในการสื่อสารข้อมูล เช่น V.28 ( ใช้แทน RS232C ได้) V.10 ( ใช้แทน EIA RS423A ได้ ) V.11 ( ใช้แทน EIA RS422A ได้ ) X.10 ( ใช้แทน EIA RS449 ได้ ) เป็นต้น

- ISO : The international standard organization

กับคอมพิวเตอร์และอินฟอร์เมชันโปรเซสซิ่ง องค์กรนี้จะประสานงานกับ CCITT อย่างใกล้ชิดดังนั้นมาตรฐานของ ISO จะสามารถใช้มาตรฐานประเภทเดียวกันของ CCITT และ EIA ได้ เช่น ISO/2110 สามารถใช้แทน RS232C และ RS-366A ได้ นอกจากนี้ ISO4902 ยังใช้แทน EIA RS499 ได้ เป็นต้น

- Bell system

กำหนดขึ้นเพื่อให้ควบคุมโรงงานผู้ผลิตสินค้าที่ต้องการใช้งานร่วมกับระบบของ Bell แต่ระยะหลัง Bell ก็เริ่มมีการแก้ข้อกำหนดของตนบางส่วนให้เข้ากับ CCITT ได้

มาตรฐานของโมเด็มแบบต่าง ๆ ที่ใช้กันมากนั้นมักจะใช้ตามมาตรฐาน CCITT V-Series ตั้งแต่ความเร็วต่ำไปจนถึงความเร็วสูง ได้แก่

-V.21 เป็นมาตรฐานของโมเด็มความเร็ว 300 บิทต่อวินาที ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบ FSK (Frequency Shift Keying) รับส่งข้อมูลได้ในแบบฟูลดูเพล็กซ์ ใช้กับสายโทรศัพท์ ปัจจุบันนี้มีใช้กันน้อยเนื่องจากความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ

-V.22 รับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1,200 บิทต่อวินาที หรือ ลดความเร็วลงมาที่ 600 บิทต่อวินาทีได้ การผสมสัญญาณใช้เทคนิคของ PSK ( Phase Shift Keying ) รับส่งข้อมูลในแบบฟูลดู เพล็กซ์ ใช้กับสายโทรศัพท์หรือสายตรงก็ได้ขึ้นอยู่กับโมเด็มว่าถูกออกแบบมาให้ต่อใช้กับสายตรงหรือไม่ ซึ่งจัดเป็นโมเด็มความเร็วปานกลางที่ได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบัน

-V.22 bis รับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 2,400 บิทต่อวินาทีหรือลดความเร็วลงมาที่1,200บิทต่อวินาทีได้ การผสมสัญญาณใช้เทคนิคของโมเด็มความเร็วสูง คือ QAM รับส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ ใช้กับสายโทรศัพท์หรือสายตรงได้ V.22 bis เป็นมาตรฐานของโมเด็มความเร็วปานกลางที่จะเข้ามาแทนที่ V.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-V.23 เป็นมาตรฐานที่คล้ายกับมาตรฐาน V.22 แต่รับส่งข้อมูลในแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ คือ มีความเร็ว 1,200 บิทต่อวินาที หรือลดความเร็วลงมาที่ 600 บิทต่อวินาที ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบ FSK สามารถต่อใช้กับสายโทรศัพท์ได้

-V.26 เป็นมาตรฐานของโมเด็มสายตรงแบบใช้สาย 4 เส้นรับส่งข้อมูลในแบบฟูลดูเพล็กซ์ ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณชนิด PSK มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 2,400 บิทต่อวินาทีจะนำมาต่อใช้กับสายโทรศัพท์ไม่ได้

-V.26 bis เป็นมาตรฐานเหมือนกับ V.26 แต่สำหรับใช้กับสายโทรศัพท์แทน มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 2,400 บิทต่อวินาที หรือลดความเร็วลงมาที่ 1,200 บิทต่อวินาทีได้ การรับส่งข้อมูลเป็นแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบ PSK

-V.27 เป็นมาตราฐานสำหรับโมเด็มความเร็ว 4,800 บิทต่อวินาทีที่ใช้กับสายตรงเท่านั้น เทคนิคของการผสมสัญญาณเป็นแบบ PSK รับส่งข้อมูลในแบบฟูลดูเพล็กซ์ได้ มีความเร็ว 4,800 บิทต่อวินาที ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงที่สุดของเทคนิคการผสมสัญญาณแบบ PSK

-V.27 bis คล้ายกับมาตรฐานแบบ V.27 แต่ว่ารับส่งข้อมูลที่ 4,800 บิทต่อวินาที หรือลดความเร็วลงมาที่ 2,400 บิทต่อวินาทีได้ ใช้สำหรับสายตรงแบบ 4 สายเท่านั้น การผสมสัญญาณก็เป็นแบบ PSK สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งในแบบฟูลดูลเพล็กซ์และฮาล์ฟดูเพล็กซ์

-V.27 ter เป็นมาตรฐานโมเด็มความเร็ว 4,800 บิทต่อวินาที หรือลดความเร็วลงมาที่ 2,400 บิทต่อวินาทีได้สำหรับใช้กับสายโทรศัพท์ การรับส่งข้อมูลเป็นแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ เท่านั้น ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณชนิด PSK

-V.29 จัดเป็นมาตรฐานของโมเด็มความเร็วสูงใช้กับสายตรงแบบ 4 สายเท่านั้นการรับส่งข้อมูลใช้ได้ทั้งฟูลดูเพล็กซ์ และ ฮาล์ฟดู เพล็กซ์ สามารถรับส่งข้อมูลได้ตั้งแต่ 9,600 บิทต่อวินาที หรือลดความเร็วลงมาที่ 7,200 บิทต่อวินาที และ 4,800 บิทต่อวินาที ที่ความเร็ว 9,600 บิทต่อวินาที จะใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบ QAM

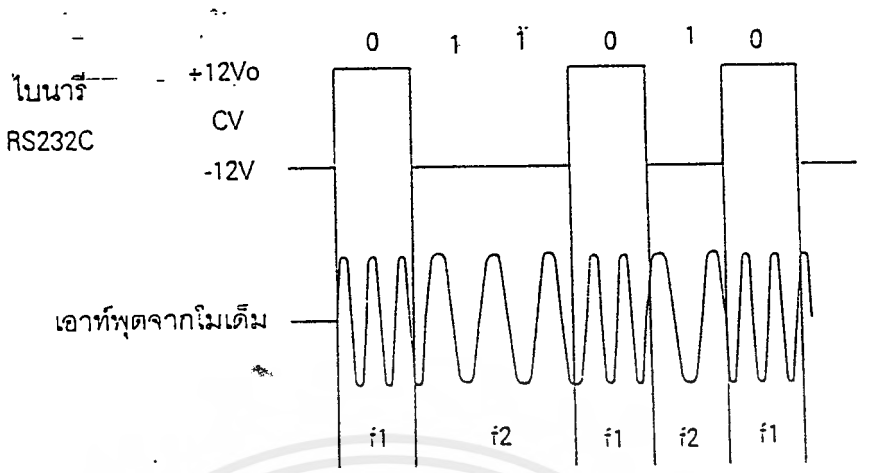
-V.32 เป็นมาตรฐานโมเด็มความเร็วสูงสำหรับใช้กับสายโทรศัพท์ สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 9,600 บิทต่อวินาที ในแบบฟูลดูเพล็กซ์ หรือ ลดความเร็วลงมาที่ 4,800 บิทต่อวินาทีได้ มาตรฐาน V.32 นี้ยังใช้งานกับสายตรงแบบ 2 สายได้อีกด้วย ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณเป็นแบบ QAM ทั้งที่ความเร็ว 9,600 และ 4,800 บิทต่อวินาท

**2.2.3 เทคนิคการโมดูเลตสัญญาณของโมเด็ม**

**Frequency Shift Keying (FSK)**

แรกเริ่มทีเดียวการแปลงสัญญาณลอจิก ให้เหมาะสมกับการส่งผ่านไปในสายโทรศัพท์ใช้วิธีการ FSK นี้ คือ ใช้ความถี่ของเสียงสองความถี่สำหรับแทนสัญญาณ ลอจิก "1" และ ลอจิก "0" ฝ่ายรับก็พยายามจับเอาสองความถี่ที่ว่านี้มาแปลงเป็นสัญญาณลอจิก กลับคืนความถี่ของเสียงทั้งสองเสียงต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้โดยวงจรอิเล็คทรอนิกส์ และก็จะต้องไม่ห่างเกินจนตกขอบของความสามารถของสายโทรศัพท์ที่จะนำพาไปได้ รูปที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานของ FSK

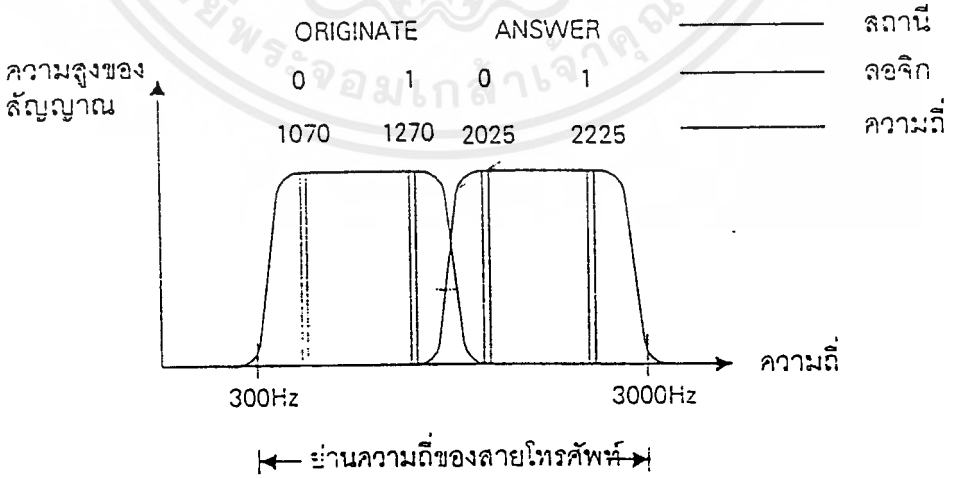
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานของ FSK

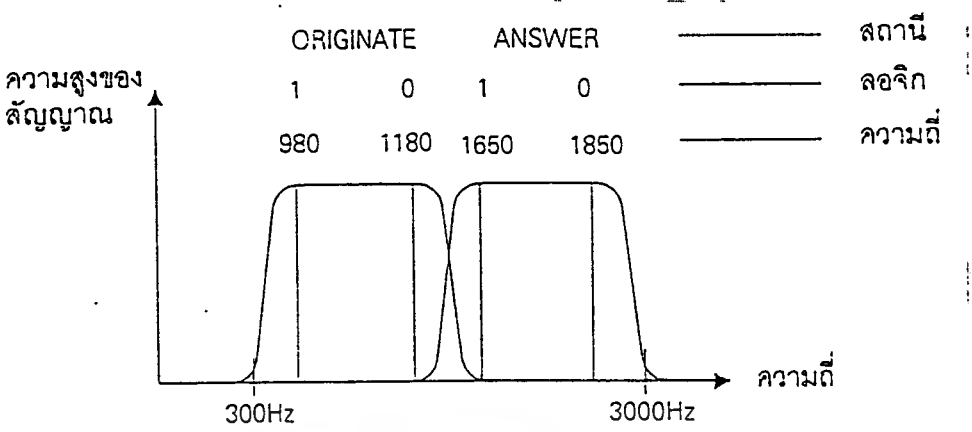
เนื่องจากแถบความถี่คลื่นที่สายโทรศัพท์ยอมให้ผ่านไปได้อยู่ในช่วง 300 Hz ถึง 3400 Hz จึงสามารถแบ่งความถี่ในย่านนั้นออกเป็น 4 คลื่นเสียงที่สำคัญ สำหรับสถานีส่งสองเสียง สถานีรับสองเสียง เนื่องจากต้องการให้การติดต่อเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ คือทั้งรับและส่งได้ในเวลาเดียวกันจำเป็นจะต้องแยกสถานีออกเป็นสองฝ่าย ฝ่ายหนึ่งเรียกว่า Originate หรือฝ่ายเริ่มการติดต่อ และอีกฝ่ายเรียกว่า Answer หรือฝ่ายตอบรับ ฝ่าย Originate จะต้องใช้ความถี่ส่งสองความถี่สำหรับสัญญาณลอจิก "0" และ "1" ฝ่าย Answer จะต้องใช้ความถี่อีกสองความถี่ที่แตกต่างไปจากฝ่ายส่ง ( เพื่อป้องกันการรบกวนกันเอง ) สำหรับแทนสัญญาณลอจิก "0" และ "1" เช่นเดียวกันจะได้รับและส่งในเวลาเดียวกันเป็นฟูลดูเพล็กซ์ได้

มาตรฐานความถี่ที่ใช้กันอยู่ กรณีความเร็วไม่เกิน 300 บอด ของ Bell 103 และ CCITT V.21 แสดงในรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 ตามลำดับ




รูปที่ 2.13 แสดงความถี่มาตรฐานของ BELL 103 Full Duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

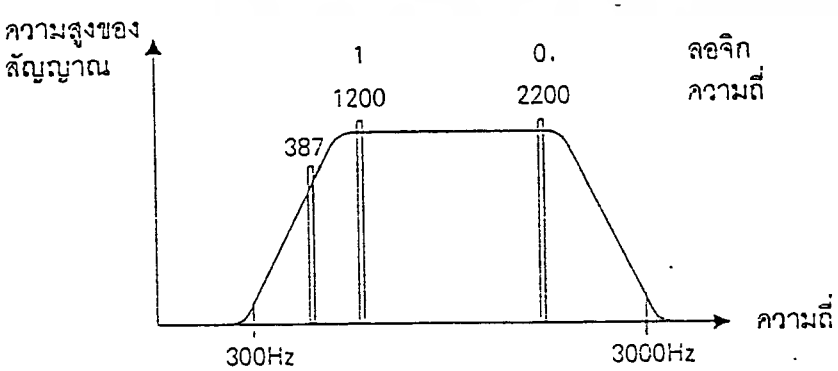



รูปที่ 2.14 แสดงความถี่มาตรฐานของ CCITT V.21

จากรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 จะพบว่า สถานีรับและสถานีส่งใช้ความถี่ต่างกันในการโมดูเลตสัญญาณลอจิก "0" และ "1" การดีโมดูเลตต้องให้ตรงกับความถี่ของฝ่ายตรงข้ามที่ส่งมา ยกตัวอย่างเช่น โมเด็มชนิด Bell 103 ถ้าหากใช้เป็นฝ่าย Originate จะส่งสัญญาณลอจิก "1" ด้วยความถี่ 1270 Hz และลอจิก "0" ด้วยความถี่ 1070 Hz ขณะเดียวกันก็จะต้องมีตัวกรองความถี่เพื่อป้องกันความถี่อื่นๆเข้ามารบกวนเครื่องรับ วงจรกรองความถี่ที่ว่าจะต้องแยกความถี่ของฝ่ายรับและส่งออกจากกัน

เนื่องจากความถี่ของเสียงที่ใช้มีความถี่ต่ำ การโมดูเลต แบบ FSK ย่อมทำให้การถ่ายโอนข้อมูลเร็วกว่าความถี่นั้นไม่ได้แน่นอน เนื่องจากวงจรรับจะต้องดีเทค ( Detect ) ให้ได้ว่ามีความถี่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างน้อยความถี่จะต้องปรากฏให้เห็น 2 ถึง 3 ไซเคิล ลองคำนวณดูง่าย ๆ ความถี่ต่ำสุดที่ใช้ในโมเด็มชนิด 103 คือ 1070 Hz ต้องใช้อย่างน้อย 2 ไซเคิลต่อการโมดูเลต 1 บิท จะเห็นว่าการถ่ายโอนข้อมูลจะเร็วกว่า 600 บิตต่อวินาที ได้ยาก

ถ้าใช้เทคนิค FSK เหมือนเดิมแต่แยกความถี่ของสองเสียงที่ใช้แทน "0" และ "1" ให้ห่างกัน จำนวนไซเกิลที่ใช้โมดูเลต ก็จะน้อยลง จะแยกความถี่ให้ห่างกันได้ก็ต้องส่งได้ทีละข้างหรือเป็นฮาร์ฟดู เพล็กซ์ ระบบ Bell 202 ใช้เทคนิคอันนี้ในการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1200 บอด โดยใช้ความถี่ 1200 Hzแทนมาร์ค (ลอจิก 1) และ 2200 Hz แทนสเปส ( ลอจิก 0 )




รูปที่ 2.15 แสดงความถี่มาตรฐานของ Bell 202 Half Duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

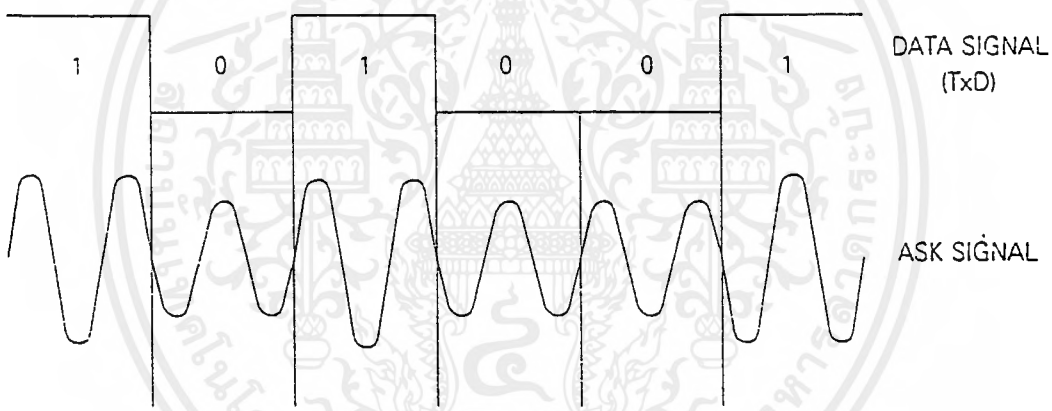
กรณี CCITT ที่ตรงกับ Bell 202 จะเป็น V.23 ต่างกันที่มีโหมด( Mode ) ให้เลือก 2 โหมด คือ 600 บอด และ 1200 บอด โดยทั้งสองโหมด ใช้ความถี่ต่างกัน คือ

| | | |
|---|---|---|
| โหมด 1 ( 600 บอด ) | 1300 Hz ( มาร์ค ) | 1700 Hz ( สเปส ) |
| โหมด 2 ( 1200 บอด ) | 1300 Hz ( มาร์ค ) | 2100 Hz ( สเปส ) |

นอกเหนือไปจากนั้น V.23 ยังสามารถให้ฝ่ายรับทำการส่งข้อมูลกลับมาได้ด้วยความเร็ว 75 บอด โดยใช้ FSK 390 Hz แทนมาร์ค 450 Hz แทนสเปส ในกรณีเช่นนี้เหมาะสำหรับการติดต่อกับเทอร์มินอลที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ด( keyboard) ( ค่าเฉลี่ย 1 คำมี 4 ตัวอักษร และ 1 ตัวอักษรใช้ 8 บิท บวก สตาร์ทบิท:start bit อีก 2 บิท )

**Amplitude Shift Keying (ASK)**

เป็นเทคนิคอีกอย่างหนึ่งของการโมดูเลตสัญญาณเสียงเข้ากับสัญญาณพาหะ ซึ่งเป็นสัญญาณรูปซายน์ที่มีความถี่สูงทำให้สัญญาณที่ผ่านการโมดูเลตแล้วมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาหะตามแอมปลิจูด ( ความสูงของคลื่น ) ของสัญญาณเสียงแต่ความถี่ของสัญญาณพาหะยังคงที่ดังรูปที่ 2.16




รูปที่ 2.16 แสดงการโมดูเลตแบบ ASK

จุดสำคัญของการโมดูเลต แบบนี้ก็อยู่ที่ "แอมปลิจูดเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่คงที่"ในกรณีนี้จะไม่กล่าวถึงสมการคณิตศาสตร์

นอกจากนี้รายละเอียดอื่น ๆ ของแอมปลิจูดโมดูเลชั่นยังมีอีกมากมายซึ่งไม่อาจจะกล่าวได้หมดในที่นี้ เช่น การใช้เทคนิคของการตัดสัญญาณพาหะออกไปที่เรียกว่าสับเปรสแคเรียร์ (Suppress Carrier) เช่น ในการส่งกระจายคลื่นแบบดับเบิลไซด์แบนด์สับเปรสแคเรียร์ ( Double Sideband Supperss Carrier : DSB-SC ) และซิงเกิลไซด์แบนด์สับเปรซแคเรียร์ ( Single Sideband Suppress Carrier : SSB-SC )

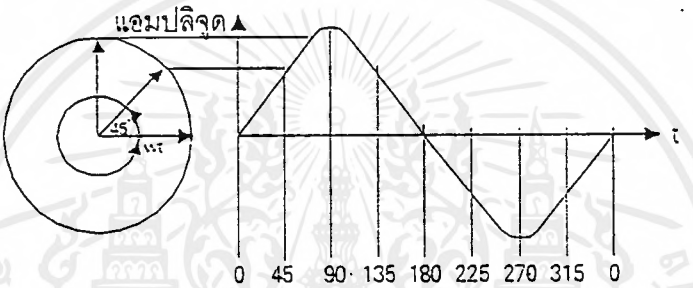
สำหรับหลักการทำงานของโมเด็มที่ใช้เทคนิคการโมดูเลตแบบ ASK นั้น ในส่วนของวงจรทางด้านส่งจะต้องทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาล็อกก่อนโดยใช้ดีทูเอคอนเวอร์เตอร์(D/A converter) แล้วผ่านขบวนการโมดูเลต ส่งออกไป ส่วนในโมเด็มทางด้านรับ เมื่อรับสัญญาณเข้ามาก็จะผ่านขบวนการดีโมดูเลต แยกเอาสัญญาณพาหะออกแล้วจึงส่งผ่านวงจรเอทูดีคอนเวอร์เตอร์( A/D converter) เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อก ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วส่งเข้าเทอร์มินอล ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
039094

**Phase Shift Keying (PSK)**

ในการถ่ายโอนข้อมูลที่ต้องใช้ความเร็วสูง ใช้วิธีการที่เรียกว่า PSK แทนที่จะใช้ความถี่ในการแทนสัญญาณลอจิก กลับใช้สัญญาณเสียงความถี่เดียว แต่ใช้เฟสที่ต่างกันออกไปสำหรับแทนสัญญาณ ลอจิก

การกำเนิดคลื่นรูปซายน์ ก็เหมือนกับการหมุนของเข็มนาฬิกาไปเป็นเส้นรอบวง ถ้าวัดความสูงของเข็มนาฬิกาเทียบกับแนวนอนขณะใดขณะหนึ่ง แล้วนำมาพล็อต(plot) เทียบกับแกนเวลา จะได้รูปร่างของคลื่นรูปซายน์ เข็มที่ใช้หมุน เรียกว่า เวคเตอร์(vector) มุมที่หมุนไปเรียกว่า เฟส ฉะนั้นเฟสของสัญญาณคลื่นซายน์ จะมีตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ดังรูปที่ 2.17

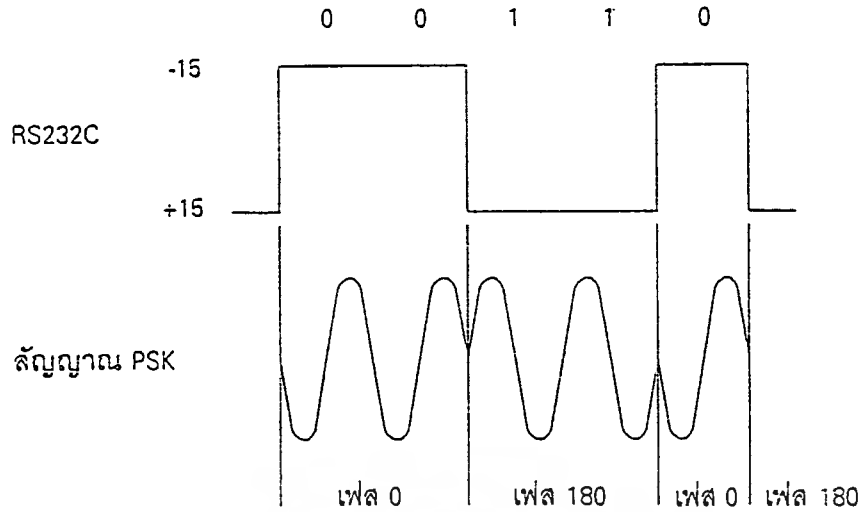



รูปที่ 2.17 แสดงการกำหนดคลื่นรูปซายน์และเฟสต่างๆ

ถ้าหากจะเลือกใช้เฟสในการโมดูเลตสัญญาณลอจิก จะแบ่งเฟสที่ใช้ออกเป็น 2 เฟสในการโมดูเลตสัญญาณลอจิก "0" และ "1" คือใช้เฟส 0 แทน "0" และเฟส 180 แทน "1" ลักษณะของสัญญาณจากโมเด็มก็จะเป็นดังรูปที่ 2.18

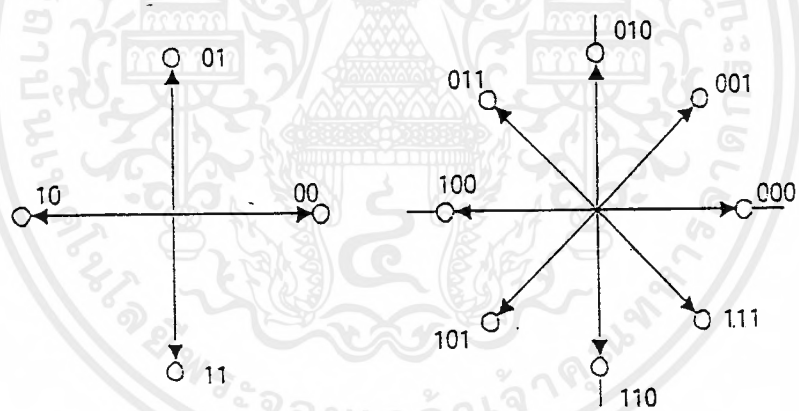
ถ้าหากแปลงสัญญาณ PSK ออกเป็น 4 เฟส คือ 0, 90, 180, 270 องศา โดยเราแทนเฟสทั้ง 4 ด้วยเลขฐานสอง 2 หลักหรือ 2 บิท ในกรณีเช่นนี้การเปลี่ยนเฟสครั้งหนึ่งเท่ากับว่าเราได้ข้อมูลถึง 2 บิท ในลักษณะเช่นนี้อัตราบิทจะเป็นสองเท่าของอัตราบอด เพราะอัตราบอด คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณใน 1 วินาที แต่การเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง ข้อมูลเปลี่ยนแปลง 2 บิท ความเร็วในการโอนข้อมูลจึงเป็น สองเท่าของอัตราบอด อัตราในการส่ง 1200 บอด เท่ากับได้ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล 2400 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.18 แสดงสัญญาณ PSK

ถ้าแบ่งสัญญาณออกเป็น 8 คือ 0, 45, 90, 125, 180, 225, 270 และ 315 องศา โดยแต่ละเฟสแทนด้วยข้อมูล 3 บิท จะเห็นว่าความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลจะกลายเป็น 3 เท่าของอัตราบอด ถ้าใช้อัตราบอดเท่ากับ 1600 บอด ก็จะได้ความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลทำได้เร็วถึง 4800 บิตต่อวินาที การแบ่งสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.19

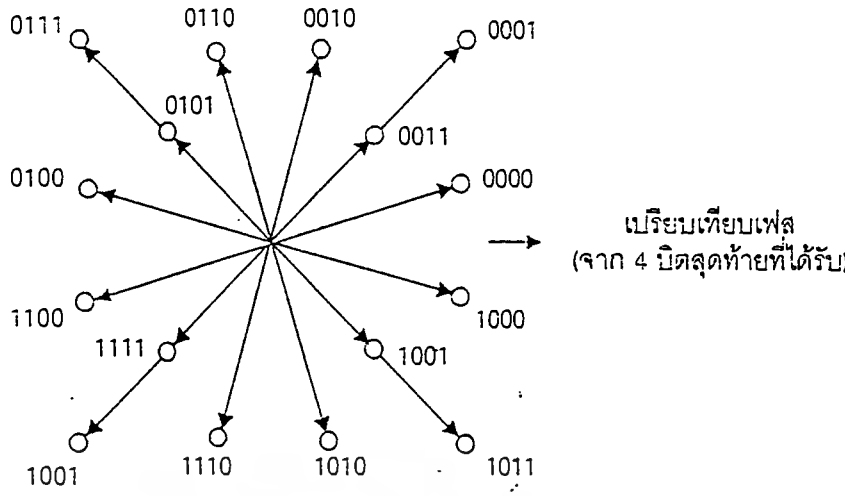



รูปที่ 2.19 แสดงการแบ่งสัญญาณ PSK

**Phase Amplitude Modulation (PAM)**

วิธีการที่จะเพิ่มความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลให้สูงขึ้นโดยการเอาความสูงหรือแอมปลิจูด ของสัญญาณเข้ามาโมดูเลต ด้วยเรียกว่าเฟสแอมปลิจูดโมดูเลชั่น ( Phase Amplitude Modulation) หรือบางทีเรียกว่า ควอดราเจอร์แอมปลิจูดโมดูเลชั่น โมเด็มที่ส่งด้วยความเร็ว 9,600 บิทต่อวินาทีแบ่งเฟส ออกเป็น 12 เฟส มีอยู่ 4 เฟส ที่มีโอกาสมีแอมปลิจูด ได้สองค่ารวมแล้วทั้งหมดสามารถใช้เลขฐานสอง 4 บิท แทนเฟสและแอมปลิจูด ทั้ง 16 สถานะสัญญาณในสายใช้ความเร็ว 2,400 บอด ก็จะสามารถให้ความเร็วในการถ่ายโอนได้ถึง 9,600 บิทต่อวินาที รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมของสัญญาณ

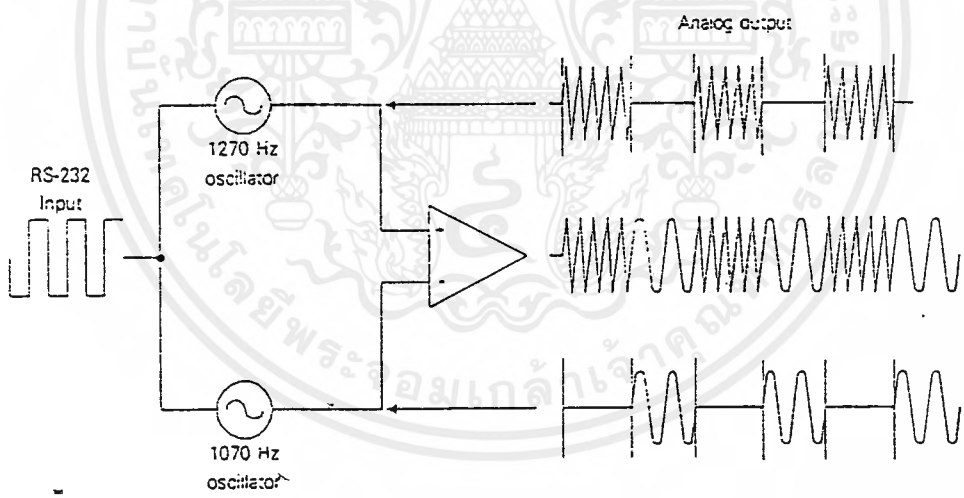
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.20 แสดงเฟสของสัญญาณในการส่งด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที

**2.2.4 หลักการในการโมดูเลตสัญญาณ FSK**

เมื่อได้ทราบเทคนิคการทำงานและลักษณะอย่างคร่าว ๆ ของวิธีการโมดูเลตแบบต่าง ๆ แล้ว ต่อไปจะกล่าวถึงหลักการในการสร้างสัญญาณเหล่านี้ โดยจะกล่าวถึงแต่เฉพาะวิธีการของ FSK เท่านั้นว่าโมเด็มสร้างสัญญาณเหล่านี้ขึ้นมาได้อย่างไร




รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างในการกำเนิดสัญญาณ FSK

จากรู ปที่2.21 จะเห็นว่าในโมเด็มจะประกอบไปด้วยออสซิลเลเตอร์ที่กำเนิดสัญญาณพาหะด้วยความถี่ 1270 Hz และ 1070 Hz โดยที่ ออสซิลเลเตอร์ตัวบนจะทำงานเมื่อสัญญาณที่เข้ามามีระดับโวลต์เตจเกิน -5 โวลต์ ส่วนออสซิลเลเตอร์ตัวล่างจะทำงาน และตัวบนจะหยุดทำงานเมื่อระดับโวลต์เตจของสัญญาณที่เข้ามาเกินกว่า +5 โวลท์ เมื่อรับเอาต์พุตที่ออกจากพอร์ต RS-232-C เข้ามายังอินพุตของออสซิลเลเตอร์ ก็สามารถทำให้ ออสซิลเลเตอร์ทั้งสองทำงานได้ดังนี้

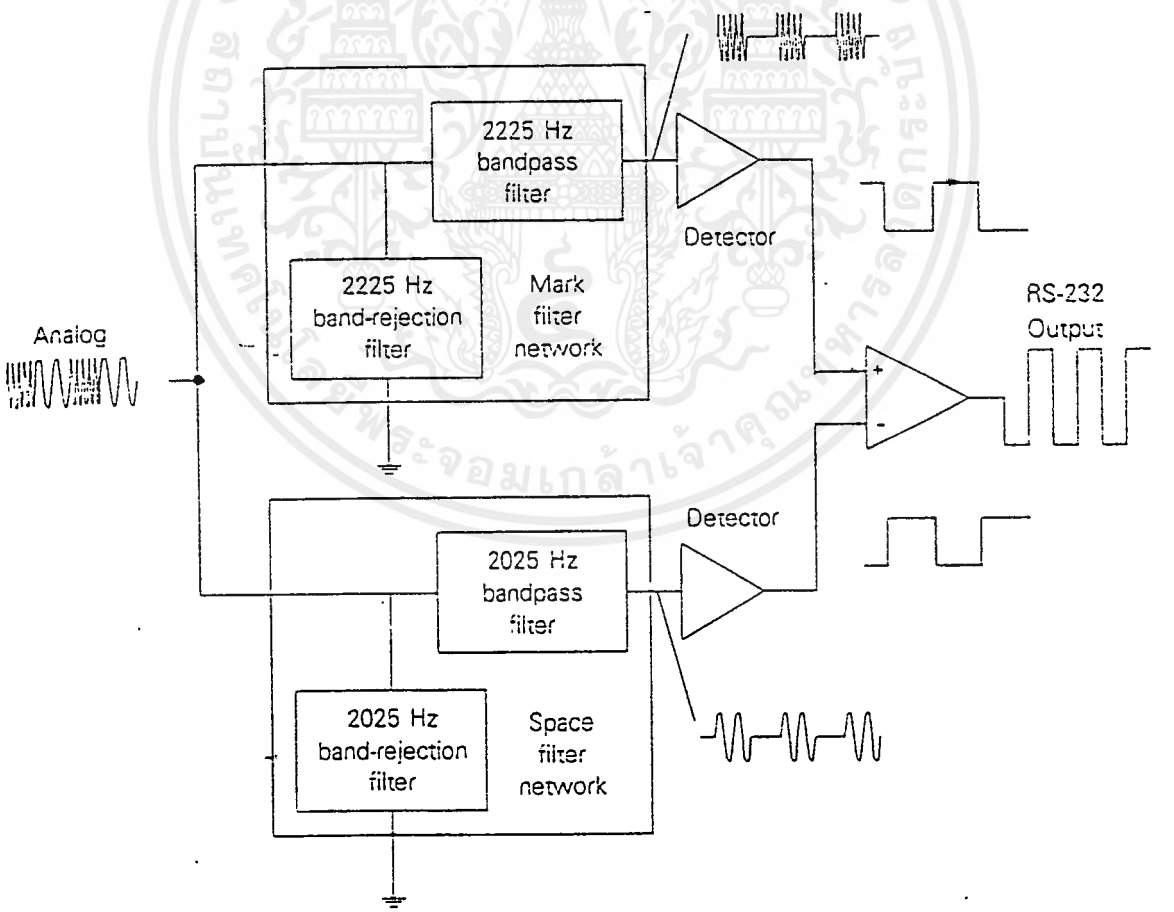
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณที่ผ่านพอร์ต RS-232-C เข้ามามีระดับโวลต์เตจเท่ากับ -12 โวลท์ ออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตสัญญาณพาหะความถี่ 1270 Hz ก็จะทำงาน แต่ออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตสัญญาณพาหะความถี่ 1070 Hz หยุดทำงาน เราทราบแล้วว่าระดับโวลต์เตจ -12 โวลต์ จะแทนลอจิก "1" นั่นเอง ดังนั้นจากรูป 2.21 จะแสดงถึงการแปลงสัญญาณจากพอร์ต RS-232-c ที่แทนลอจิก "1" ไปเป็นสัญญาณข้อมูลที่แทนลอจิก "1" เช่นกัน

สำหรับในกรณีที่สัญญาณข้อมูลที่จะส่งมีระดับโวลต์เตจเป็น +12 โวลท์ ออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตความถี่ 1070 Hz ก็จะทำงานแทน และทำการผลิตสัญญาณที่แทนลอจิก "0" ออกมาหลังจากนั้นจึงทำการรวมสัญญาณเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ทั้งสองตัวเข้าด้วยกันโดยผ่านเข้าไปยังอินพุตออปแอมป์ ก็จะทำให้ได้สัญญาณที่เอาต์พุตเป็นสัญญาณโมดูเลตทันที จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณข้อมูลที่มีลอจิก เป็น "1" ก็จะมีความถี่ของสัญญาณเป็น 1270 Hz และถ้าเป็น ลอจิก "0" จะมีความถี่เป็น 1070 Hz

**2.2.5 หลักการในการดีโมดูเลตสัญญาณ FSK**

เมื่อสัญญาณที่ส่งออกมาจากโมเด็มทางด้านส่งผ่านขบวนการโมดูเลตแล้วเมื่อมาถึงโมเด็มทางด้านรับสัญญาณเหล่านี้ก็จะผ่านขบวนการดีโมดูเลตแยกเอาสัญญาณพาหะออกจากสัญญาณข้อมูลแล้วผ่านสัญญาณข้อมูลไปใช้งานต่อไป




รูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างการทำงานของวงจรดีโมดูเลเตอร์

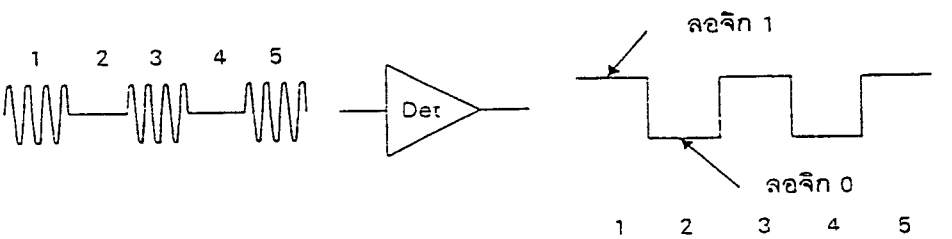
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.22 จะแสดงถึงวิธีการแปลงสัญญาณอนาล็อก (ที่ส่งผ่านสายโทรศัพท์เข้ามา) กลับไปเป็นสัญญาณที่ส่งต่อผ่านเข้าไปยังพอร์ต RS-232-C ต่อไป เราทราบแล้วว่าโมเด็มทางด้านส่งจะรับและแทนสัญญาณลอจิก "1" ด้วยความถี่ 2225 Hz และแทนสัญญาณ ลอจิก "0" ด้วยความถี่ 2025 Hz ดังนั้นในรูป 2.22 ข้างต้น จึงได้แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของวงจรในโมเด็มทางด้านส่งจะเห็นว่าสัญญาณที่ส่งผ่านสายโทรศัพท์แล้วต่อเข้าที่อินพุตของโมเด็มนั้นเป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยความถี่ต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการแยกความถี่ของสัญญาณนี้ออกจากกันก่อน โดยผ่านวงจรฟิลเตอร์ ( Filter ) สองวงจร ซึ่งหน้าที่ของวงจรฟิลเตอร์หรือวงจรกรองความถี่นี้ก็คือ ทำการแยกสัญญาณที่ประกอบด้วยความถี่หลาย ๆ ค่าออกจากกันแล้วส่งต่อไปยังส่วนของวงจรที่ทำงานตอบสนองต่อสัญญาณความถี่นั้นเพียงค่าเดียวต่อไป

จากรูปที่ 2.22 วงจรส่วนบนประกอบด้วยวงจรฟิลเตอร์สองวงจรแยกกัน โดยทำการกรองเอาความถี่ค่าอื่น ๆ ออกไป ยกเว้นสัญญาณความถี่ 2225 Hz และแถบความถี่แคบ ๆ ที่ใกล้เคียงกับ 2225 Hz ซึ่งหมายความว่าสัญญาณที่รับเข้ามานั้นถ้ามีความถี่เป็นค่าอื่น ๆ นอกจาก 2225 Hz แล้ว ก็จะผ่านฟิลเตอร์ส่วนนี้แล้วไหลลงจุด กราวน์ไป ( เอาต์พุตของแบนด์รีเจคชั่นฟิลเตอร์ จะต่อลงจุดกราวน์บางทีจึงเรียกว่า Notch Filter) ส่วนสัญญาณความถี่ 2225 Hz ซึ่งผ่านฟิลเตอร์ส่วนนี้ไม่ได้ ก็จะผ่านเข้าไปยังแบนด์พาสฟิลเตอร์ ( Band Pass Filter) ต่อไป ซึ่งการทำงานของแบนด์พาสฟิลเตอร์นี้ก็คือ จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ 2225 Hz เท่านั้นที่ผ่านไปได้ส่วนสัญญาณความถี่อื่นก็จะถูกกรองเอาไว้ ดังนั้นวงจรฟิลเตอร์ส่วนบนที่มีการทำงาน เพื่อต้องการกรองเอาสัญญาณความถี่ 2225 Hz ไปผ่านออกที่เอาต์พุตของแบนด์พาสฟิลเตอร์นั่นเอง

ส่วนในกลุ่มวงจรฟิลเตอร์ส่วนล่างนั้นก็มีการทำงานในลักษณะที่คล้ายคลึงกันแต่ต่างกันที่มีการทำงานตอบสนองต่อสัญญาณความถี่เป็น 2025 Hz คือการทำงานของผลสุดท้ายก็เพื่อต้องการเอาความถี่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ 2025 Hz ไว้แล้วปล่อยให้สัญญาณความถี่ 2025 Hz ไปผ่านออกที่เอาที่เอาต์พุตของแบนด์พาสฟิลเตอร์

เมื่อได้กรองเอาความถี่ที่ต้องการคือ ความถี่ 2225 Hz (ซึ่งแทน ลอจิก "1") และความถี่ 2025 Hz (แทนลอจิก "0") ได้แล้ว ก็จะต่อเอาต์พุตของฟิลเตอร์แบนด์พาสแต่ละตัวเข้ากับวงจรอีกส่วนหนึ่งซึ่งเรียกว่าดีเทคเตอร์ ( Detector ) หน้าที่ของวงจรดีเทคเตอร์ ก็คือทำการดีโมดูเลตสัญญาณ เพื่อแยกเอาสัญญาณพาหะและสัญญาณข้อมูลออกจากกัน แล้วจึงผ่านเอาสัญญาณข้อมูลไปใช้ จากวงจรในรูปที่ 2.23 เมื่อมีสัญญาณรูปซายน์ ( Sine Wave ) ผ่านเข้าไปยังวงจรดีเทคเตอร์ ก็จะสร้างระดับแรงดันเอาต์พุตเป็นบวกออกมา แต่ในขณะที่ไม่มีสัญญาณซายน์ป้อนเข้ามา ระดับแรงดันเอาต์พุตของดีเทคเตอร์ที่จะมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือการทำงานดังรูป




รูปที่ 2.23 แสดงการทำงานของดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

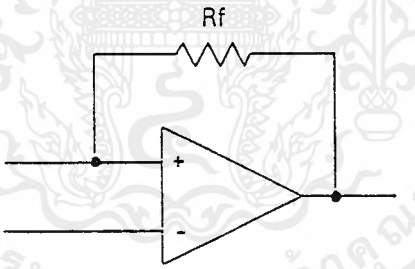
ซึ่งจะหมายความว่าที่ช่วงสัญญาณ 1, 3, 5 และ 7 ซึ่งมีความถี่ของสัญญาณซายน์เป็น 2225 Hz เมื่อฝ่ายวงจรดีเทคเตอร์ออกมาก็จะมีระดับลอจิก "1" ส่วนในช่วงสัญญาณ 2, 4, 6 และ8 เมื่อผ่านดีเทคเตอร์ออกมาจะมีระดับลอจิกเป็น "0" จากรูปที่ 2.22 จะสังเกตเห็นว่าดีเทคเตอร์แต่ละตัวมีการทำงาน เพื่อสร้างสัญญาณดิจิตอลโดยมีเฟสของสัญญาณต่างกันคือวงจรดีเทคเตอร์ ตัวบนจะสร้างสัญญาณลอจิก "1" ออกมาก็ต่อเมื่อสัญญาณซายน์ที่อินพุตแทนสถานะมาร์ค หรือความถี่ 2225 Hz และจะสร้างสัญญาณลอจก "0" ออกมาก็ต่อเมื่อสัญญาณซายน์ที่อินพุตแทนสถานะ สเปสหรือความถี่ 2025 Hz เป็นต้น

ในส่วนของวงจรภาคต่อไปก็จะเป็นการรวมเอาสัญญาณดิจิตอลจากเอาต์พุต ของดีเทคเตอร์เข้าด้วยกันโดยใช้ออปแอมป์ ซึ่งหน้าที่ของออปแอมป์นี้ ก็คือทำการรวมสัญญาณดิจิตอลจากสองแหล่งเข้าด้วยกันแล้วเปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของสัญญาณมาตรฐานที่สามารถส่งผ่านพอร์ต RS-232-C (+12โวลต์) ซึ่งวิธีการในการเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวนี้ก็โดยการติดเอาต์พุตของสเปสดีเทคเตอร์ ( หรือดีเทคเตอร์ตัวล่าง ) เข้ากับขา Non inverting ของออปแอมป์ และต่อเอาต์พุตของมาร์คดีเทคเตอร์ ( ดีเทคเตอร์ตัวบน ) เข้ากับขา Inverting หรือขาลบของออปแอมปซึ่งออปแอมป์จะสร้างสัญญาณเอาต์พุตขึ้นมาโดย

เมื่อเอาต์พุตของสเปสดีเทคเตอร์ แอคทีฟออปแอมป์จะสร้างระดับแรงดันค่า (+) ขึ้นที่เอาต์พุต

เมื่อเอาต์พุตของมาร์คดีเทคเตอร์ แอคทีฟออปแอมป์จะสร้างระดับแรงดันค่า (-) ขึ้นที่เอาต์พุต

นอกจากนี้อาจจะมีการใช้เทคนิคการฟีดแบ็ค ( Feedback ) โดยต่อตัวต้านทานฟีดแบ็คเข้าขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ เพื่อทำให้การปรับอัตราขยาย ( Gain ) ของระบบดีขึ้น สามารถสร้างสัญญาณระดับแรงดันจากยอดถึงยอด (Peak to peak) เท่ากับ 24 โวลต์ (จาก -12 ถึง -12 โวลต์) ได้ดังรูป 2.24 ซึ่งมีผลถึงการต่อสัญญาณข้อมูลไปใช้ส่งผ่านพอร์ต RS-232-C ได้ดีขึ้น




รูปที่ 2.24 แสดงการต่อตัวต้านทาน Feed back

จากหัวข้อต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วคงพอจะทำให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงหลักการทำงานโมเด็มชนิด Bell 103 ได้ดีพอควร

**2.2.6 ลักษณะของตัวกรองสัญญาณที่ต้องการ ( Filter requirement )**

ตัวกรองในโมเด็มมีหน้าที่ 2 หน้าที่คือ

1. ทำการกรองความถี่ของเอาต์พุตที่ โมดูเลตแล้วให้อยู่ในย่านจำกัด

2. ทำการกรองความถี่ของคลื่นพาหะที่เข้ามาก่อนที่จะทำการแยกสัญญาณ

ตัวกรองทางด้านส่งจะใช้กำจัดความถี่ในการโมดูเลตในแบบอันดับต่ำๆ ฉะนั้นตัวกรองทางด้านส่งจะเป็นแบบ low pass หรือ band pass

ส่วนตัวกรองทางด้านรับมีหน้าที่บริการสองหน้าที่คือ กำจัด noise จากสัญญาณที่รับและอีกหน้าที่หนึ่งที่สำคัญมากคือ การกำจัดการผสมสัญญาณระยะใกล้ซึ่งเข้ามาผสมกับสัญญาณพาหะด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.7 การกำจัดสัญญาณสะท้อน ( Echo Suppresser)**

ในการส่งข้อมูลเป็นสัญญาณอนาล็อกไปตามสายโทรศัพท์ย่อมเป็นการแน่นอนว่าจะต้องเกิดสัญญาณสะท้อนขึ้นอย่างแน่นอน แต่จะเกิดมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบว่าดีเพียงใด ดังนั้นเมื่อเกิดสัญญาณชนิดนี้ขึ้นมา ประสิทธิภาพการรับฟัง ความถูกต้องของข้อมูลจะต้องลดลงอย่างแน่นอน ฉะนั้นจึงจะต้องเพิ่มระบบที่สามารถกำจัดสัญญาณสะท้อนนี้ให้หมดไป หลักการของอุปกรณ์กำจัดสัญญาณสะท้อนนี้ก็คือ "เป็นระบบที่ยอมให้สัญญาณเดิมผ่านไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเพียงอย่างเดียวในขณะหนึ่ง ๆ เท่านั้น" เช่น A ส่งสัญญาณเรียกไปยัง B วงจรกำจัดสัญญาณสะท้อนก็จะยอมให้สัญญาณจาก A ส่งผ่านไปยัง B จนกระทั่ง A หยุดพูดแล้วหลังจากนั้น B ก็เริ่มพูดตอบ ในขณะนี้วงจรกำจัดสัญญาณสะท้อนก็จะเปลี่ยนทิศทางการทำงานโดยอัตโนมัติโดยยอมให้สัญญาณ B ผ่านไปได้แต่สัญญาณ A ผ่านไม่ได้ เป็นต้น ซึ่งเวลาที่วงจรกำจัดสัญญาณสะท้อนนี้จะเปลี่ยนทิศทางการยอมให้สัญญาณผ่านได้ จะใช้เวลาประมาณ 300 มิลลิวินาที ซึ่งช่วงเวลานี้ จะมีความสำคัญมากในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ สำหรับในระบบฟูลดูเพล็กซ์นั้นการใช้งานอุปกรณ์กำจัดสัญญาณเสียงสะท้อนจะใช้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เพราะการสื่อสารเป็นการสื่อสารแบบสองทาง ดังนั้นสัญญาณจากทางด้านเรียกและด้านตอบรับจะต้องผ่านได้ตลอดเวลานั้นคือถ้าไม่ต้องการใช้งานอุปกรณ์กำจัดสัญญาณเสียงสะท้อนก็ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความถี่ 2100 Hz เป็นเวลา 400 มิลลิวินาที เข้าไปในวงจรในขณะที่มีการติดต่อกันอยู่จนกระทั่งสัญญาณข่าวสารที่ส่งมาสิ้นสุดลง อุปกรณ์กำจัดเสียงสะท้อนก็จะเริ่มทำงานทันที ดังนั้นวิธีการอย่างหนึ่งที่จะเลี่ยงเพื่อไม่ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ก็สามารถทำได้โดยออกแบบระบบให้เป็นการสื่อสารแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ 4 สาย

**2.2.8 การบิดเบือนของสัญญาณ**

ในการสื่อสารไม่สามารถที่จะส่งพลังงานข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งไปเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพลังงานของสัญญาณจะต้องถูกลดทอน ถูกบิดเบือนไป และถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อมนานาชนิด ดังนั้นสัญญาณที่จะรับได้ทางด้านรับจึงอาจผิดเพี้ยนไปหรือรับได้ไม่ชัดเจน เป็นต้น ยิ่งถ้าเป็นการสื่อสารในระยะทางไกล ๆ การสูญเสียก็จะยิ่งเกิดขึ้นมากตามลำดับ

สัญญาณที่ส่งผ่านไปในสายส่งของเครือข่ายโทรศัพท์นั้นจะถูกลดทอนอย่างแน่นอนและเป็นผลทำให้เกิดการบิดเบือนของสัญญาณตามมานั้นคือ รูปร่างของสัญญาณที่ส่งมาจะผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณต้นทาง ซึ่งเป็นผลทำให้ข่าวสารที่รับได้ขาดความถูกต้องไป การบิดเบือนของสัญญาณจะเกิดได้สองลักษณะคือ

1. การบิดเบือนของแอมปลิจูด (Amplitude Distortion) หรือ การลดทอน (Attennuation)

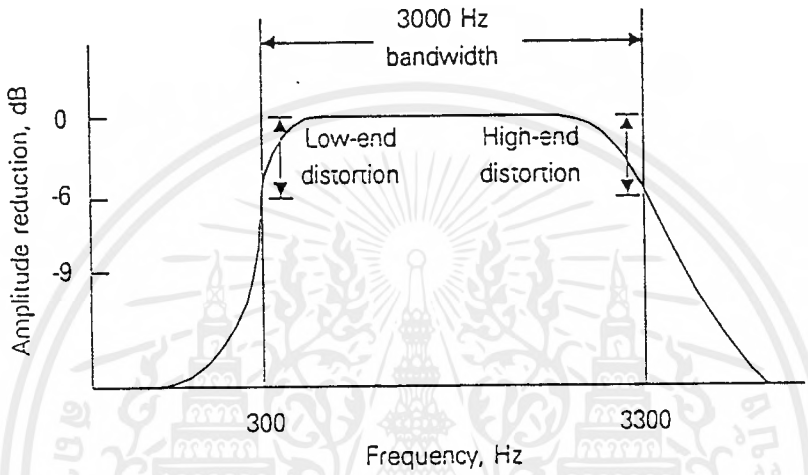
2. การบิดเบือนเนื่องจากสัญญาณถูกหน่วงเวลา (Envelope Delay Distortion)

ในกรณีแรกแอมปลิจูดของสัญญาณจะต่ำกว่าสัญญาณจากต้นทาง ซึ่งแสดงว่าสัญญาณถูกลดทอนลงไป กรณีที่สอง การบิดเบือนของสัญญาณเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการหน่วงเวลาของการเดินทางของคลื่นจากจุดส่งไปยังจุดรับ นั้นคือในช่วงความถี่หนึ่ง ๆ ความเร็วของสัญญาณที่เดินทางจะมีค่าไม่คงที่ เร็วบ้าง ช้าบ้าง ซึ่งก็มีผลทำให้ข้อมูลที่ได้รับผิดพลาดไปได้

ในการสื่อสารที่มีการใช้โครงข่ายโทศัพท์ร่วมกับระบบการสื่อสารไมโครเวฟเพื่อการส่งสัญญาณในระยะไกลๆการผิดพลาดทั้งสองกรณีข้างต้นจะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนสำหรับวิธีการส่งสัญญาณในระบบไมโครเวฟจะส่งในลักษณะของแนวสายตา หรือแนวเส้นตรงเพราะมิฉะนั้นจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากถูกส่วน

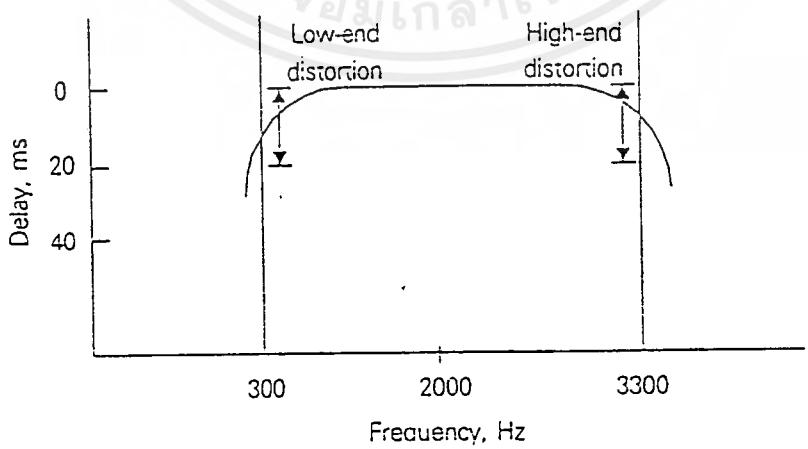
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้งของผิวโลกบดบัง ดังนั้นการติดตั้งสถานีรับและส่งจึงต้องหาตำแหน่งของจุดส่งและจุดรับให้อยู่ในแนวเส้นตรงให้ได้ และจะต้องอาศัยสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) เป็นตัวขยายระดับของสัญญาณเพื่อไม่ให้พลังงานของสัญญาณอ่อนลงมากเกินไป แต่ข้อเสียของระบบดังกล่าวคือ ทำให้แถบความถี่แต่ละช่องสัญญาณลดลงไปเล็กน้อย เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ บางครั้งแถบความถี่ที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 500 ถึง 2900 Hz เท่านั้น เหตุผลที่ต้องลดแถบความถี่ลงก็เพื่อเป็นการจำกัดการเกิดการบิดเบือนของแอมปลิจูดให้น้อยลง ซึ่งแสดงดังรูป 2.25




รูปที่ 2.25 แสดงการบิดเบือนของสัญญาณในแถบความถี่

นอกเหนือจากการบิดเบือนของแอมปลิจูดแล้ว การบิดเบือนด้านความถี่ต่ำและความถี่สูงก็ยังเกิดขึ้นได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.26 แสดงถึงการบิดเบือนของสัญญาณในแถบความถี่ 300 ถึง 3300 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่ในระบบโทรศัพท์




รูปที่ 2.26 แสดงการหน่วงเวลาของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเสียที่เกิดจากการบิดเบือนของสัญญาณทั้งสองกรณีต่างก็มีผลทำให้แถบความถี่ที่ใช้งานลดลง ซึ่งทำให้จำนวนช่องสัญญาณใช้งานลดลงตามไปด้วย แต่ข้อบกพร่องดังกล่าวก็สามารถแก้ไขได้โดยใช้เทคนิคของอีควอไลเซชัน ( Equalization ) โดยวิธีการดังกล่าวนี้ก็คือการทำการขยายแอมปลิจูดของสัญญาณให้มีขนาดสูงขึ้นมากกว่าปกติก่อนที่จะส่งผ่านสายส่งออกไป ดังนั้นขนาดของแอมปลิจูดที่จะขยาย ถ้าเลือกให้เหมาะสมแล้วแอมปลิจูดของสัญญาณทางด้านรับหลังจากถูกบิดเบือนแล้วก็จะมีขนาดเท่ากับทางด้านส่งพอดีทำให้คุณภาพของข่าวสารยังใช้ได้นอกจากนี้เทคนิคของอีควอไลเซชันยังสามารถทำได้โดยใช้วิธีการลดขนาดของ แอมปลิจูดของสัญญาณที่ความถี่ศูนย์กลางของแถบความถี่ที่ใช้งานลงก่อนที่จะส่งผ่านสายส่งออกไป นอกจากนี้ยังสามารถช่วยปรับให้สัญญาณที่ถูกหน่วงเวลามีค่าหน่วงเวลาที่คงที่ตลอด

ตามคุณสมบัติของ Bell สายโทรศัพท์สื่อกลางจะมีอยู่ 5 ชนิด แต่ละชนิดจะยอมให้มีการบิดเบือนของสัญญาณอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน

**2.2.9 สัญญาณรบกวน (Noise)**

ปัญหาใหญ่อีกอย่างที่เกิดขึ้นในการสื่อสารก็คือ สัญญาณข้อมูลถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ซึ่งอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ Random noise และ Impulse noise โดย Random noise จะมีค่าสูงขึ้นถ้าระยะทางของสายส่งเพิ่มมากขึ้น แต่ Impulse noise เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ควบคุม Line switching ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์ ซึ่งในทางปฏิบัติการที่จะกำจัดสัญญาณรบกวนให้หมดไปเลยนั้นไม่สามารถทำได้ เพียงแต่อาจจะลดให้มีขนาดน้อยลงเท่านั้นเองนอกจากนี้ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของโมเด็มก็คือ Phase Shifter, Harmonic distortion และ Crosstalk

Phase Shifter คือการที่เฟสหรือสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องโดยจะเกิดการเลื่อนเฟสไปเป็นค่าอื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง

Harmonic Distortion หรือการบิดเบือนฮาร์โมนิค จะเกิดขึ้นหลังจากที่สัญญาณผ่านส่วนของวงจรขยายออกมาแล้ว โดยฮาร์โมนิคอื่นที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน (Fundamental frequency) เช่น ฮาร์โมนิคที่ 2 ที่ 3 และอื่นๆ มีรูปร่างของสัญญาณเปลี่ยนไป ทำให้สัญญาณข้อมูลที่รับได้ผิดพลาดไป

Crosstalk เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปรบกวนสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่านเข้าไปในสายส่ง เช่น จะสังเกตได้จากการพูดโทรศัพท์สาธารณะผู้พูดมักจะได้ยินเสียงเพลงที่ส่งกระจายเสียงมาจากสถานีวิทยุ หรืออาจจะได้ยินเสียงของวิทยุตำรวจ เป็นต้น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำเข้ามานี้จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการรับฟังเสียงด้อยลงไป สำหรับวิธีการแก้ปัญหาข้อบกพร่องนี้สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ switching ที่เป็นอิเลคทรอนิคส์ หรือใช้เส้นใยนำแสง (Fiber Optics) ซึ่งสามารถจะลดผลของการรบกวนเหล่านี้ลงได้อย่างมาก

**2.2.10 การเชื่อมต่อเข้ากับสายโทรศัพท์**

การออกแบบระบบและการใช้ระบบสื่อสารข้อมูลที่จะต้องใช้โมเด็มเป็นส่วนประกอบของระบบข้อสำคัญที่จะต้องใช้ให้ถูกต้องก็คือในระบบที่มีการติดพ่วงเข้ากับเครือข่ายสายโทรศัพท์ผู้ใช้และผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตามกฎข้อบังคับของ FCC ( Federal Communication Commission ) ที่ได้วางไว้เป็นมาตรฐาน นอกจากนี้ยังรวมถึงรายละเอียดเกี่ยวกับว่าในการเชื่อมต่อโมเด็มเข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์ ระดับของสัญญาณที่จะเหนี่ยวนำเข้าไปรบกวนสัญญาณในสายโทรศัพท์จะต้องมีระดับที่อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดโดย FCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเช่นกัน ตามข้อกำหนดของ FCC ได้มีการกำหนดระดับกำลังงานในย่านความถี่สูงกว่าช่วง 300 ถึง 330 Hz ไว้ดังตารางข้างล่างนี้

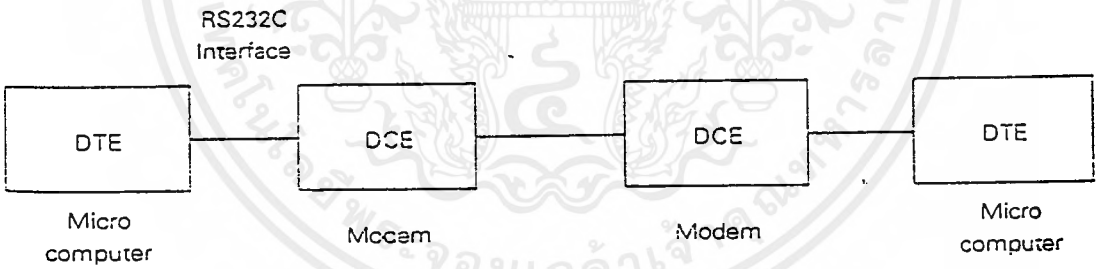
| Frequency (KHz) | 3.995 to 4.005 | 4.000 to 10.00 | 10.00 to 25.00 | 25.00 to 40.00 | Above 50 |
|---|---|---|---|---|---|
| Maximum Power level (dBm) | -18 | -16 | -24 | -36 | -50 |

ตารางที่ 2.1 FCC Phone Line Pestrictions

**2.3 มาตรฐาน RS-232-C**

เป็นมาตรฐานที่ใช้กันกว้างขวางที่สุดถูกประกาศในปี 1969 โดย Electronic Industries Association (EIA) เพื่อกำหนดการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment : DCE) โดยที่ RS ย่อมาจาก Recommened Standard และ 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขของฉบับท้ายสุดของมาตรฐานตัวนี้

สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็หมายถึงตัวไมโครคอมพิวเตอร์และ DCE ก็หมายถึง โมเด็ม




รูปที่ 2.27 แสดงการใช้ RS-232-C เชื่อมต่อกับอุปกรณ์

**สัญญาณที่ใช้ทั้งหมดใน RS-232-C**

Protective Ground ( PG ขาที่ 1 )

หมายถึงตัวถังของเครื่องหรือสายดิน

Transmit Data ( TD ขาที่ 2 )

เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE ( ตัวไมโครคอมพิวเตอร์ ) ไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่นหรือเครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานภาพของลอจิกจะมีค่าเท่ากับ "1" สภาวะ "OFF" หรือเทียบเท่ากับ stop bit ไม่ว่าจะเป็นระบบอะไร DTE ต้องไม่ส่งข้อมูลออกไปจนกว่าสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Request To Send ( RTS )
2. Clear To Send ( CTS )
3. Data Set Ready ( DSR )
4. Data Terminal Ready ( DTR )

ทั้งหมดนี้อยู่ในสถาวะ " ON "

Receive Data ( RD ขาที่ 3 )

เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามา ขานี้จะมีสถานภาพทางลอจิกเป็น "1" หรือสภาวะ " OFF "

Request To Send ( RTS ขาที่ 4 )

จาก DTE ไปยัง DCE

สภาวะ ON คือ บังคับให้ DCE อยู่ใน Transmitting Mode ต่อไป

สถาวะ OFF คือ บังคับให้ DCE อยู่ใน Receiving Mode ต่อไป

การเปลี่ยนจาก OFF ไป ON เป็นการบอกให้ DCE จัดการกับระบบสื่อสาร เพื่อให้ช่องทางต่อเชื่อมและให้สัญญาณ Clear To Send ( CTS ) กลับมาเป็นการบอกว่าส่งได้

การเปลี่ยนจาก ON ไป OFF เป็นการบอกให้ DCE ส่งข้อมูลผ่านช่องสื่อสารให้หมดแล้วกลับไปอยู่ใน Receiving mode พร้อมกับให้ CTS เป็น 0

Clear To Send ( CTS ขาที่ 5 )

จาก DCE ไป DTE สภาวะ ON หมายความว่าข้อมูลจาก DTE ขา 2 จะถูกส่งต่อไปในช่องทางสื่อสาร ( โมเด็มส่งข้อมูลออกสายโทรศัพท์ ) ทันที CTS จะ ON หลังจาก DSR และ RTS อยู่ในสภาวะ ON และการเชื่อมของวงจรสื่อสาร ( ชุมสายโทรศัพท์ ) เสร็จแล้ว

Data Set Ready ( DTS ขาที่ 6 )

จาก DCE ไป DTE คือ ความพร้อมของโมเด็มนั่นเอง จะเป็น ON ( พร้อม ) ต่อเมื่อ

1. DCE ( โมเด็ม ) เปิดเครื่องอยู่ และอยู่ในสภาวะ off-hook ( เหมือนยกหูโทรศัพท์ )
2. DCE ไม่อยู่ใน test mode
3. DCE ทำการส่งสัญญาณไปยังชุมสายเสร็จแล้ว

DSR อยู่ในสภาวะ ON เป็นการบอก DTE ว่า โมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่ง

DSR อยู่ในสภาวะ OFF หมายถึงให้ DTE ตรวจ Ring Indicator

Signal Groud ( SG ขาที่ 7 )

คือสายร่วมของสัญญาณทุกตัว

Carrier Detect ( CD ขาที่ 8 )

จาก DCE ไป DTE

สภาวะ ON หมายถึงว่า DCE จับสัญญาณพาหะในช่องทางสื่อสารที่จะทำการดีโมดูเลตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะ OFF คือไม่ได้รับสัญญาณอะไรเลย หรือได้รับสัญญาณแต่ไม่สามารถดีโมดูเลตเอาข้อมูลออกมาได้

Data Terminal Ready ( DTR ขาที่ 20 )

จาก DTE ไป DCE

สภาวะ ON หมายถึงว่า DCE เตรียมเพื่อเชื่อมต่อกับตัวอื่น และรักษาช่องทางติดต่อไว้ต่อไป ( การเชื่อม Channel ทำได้หลายทาง คือ หมุนเรียกด้วยมือหรืออัตโนมัติ ) ถ้า DCE สามารถตอบรับสัญญาณเรียก ( Call ) ได้ ก็ให้ตอบรับ ( answering ) เมื่อมีสัญญาณเรียก Ring Indicator และ DTR ON อยู่

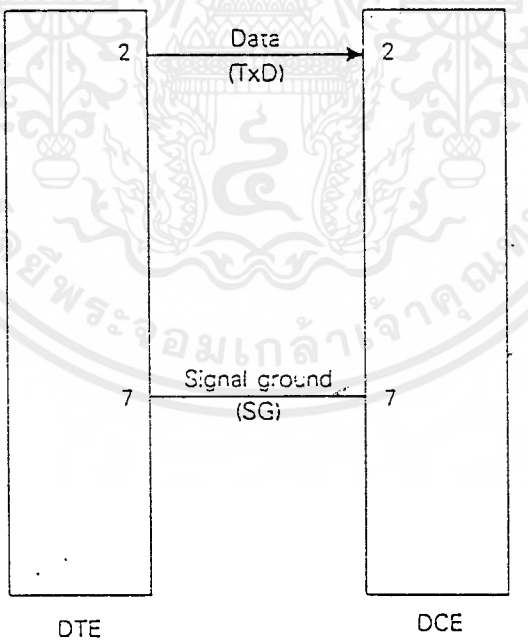
สภาวะ OFF คือ วางหู และเมื่อ OFF แล้วไม่ต้อง ON อีกจนกว่า DSR จะ OFF

Ring Indicator ( RI ขาที่ 22 )

จาก DCE ไป DTE เหมือนสัญญาณเรียกของโทรศัพท์ แต่เป็นดิจิตอล ใช้ในระบบตอบได้อัตโนมัติ ( Auto-answer ) สัญญาณนี้จะ ON เมื่อมีสัญญาณกระดิ่งเข้ามา และจะ OFF ระหว่างเสียงดังของกระดิ่ง

### 2.3.1 การสื่อสารทางเดียว

วงจรหลักที่ถูกใช้สำหรับการสื่อสารมีอยู่สามวงจร คือสายเส้นที่ 2 สำหรับข้อมูลจาก DTE ไปยัง DCE สายเส้นที่ 3 สำหรับข้อมูลจาก DCE ไปยัง DTE และสายเส้นที่ 7 สำหรับซิกแนลกราวน์ (Signal ground) ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงร่วมสำหรับขั้วและแรงดันไฟฟ้าของสายอื่น ในกรณีที่ง่ายที่สุดซึ่งมีเพียงอุปกรณ์หนึ่งส่งและอีกตัวรับใช้สายเพียงสองเส้นก็เพียงพอคือสายเส้นที่ 2 หรือ 3 และสายเส้นที่ 7 ดังในรูปที่ 2.28




รูปที่ 2.28แสดง การเชื่อมต่อทางเดียวอย่างง่าย

**ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง (Hardware hand shaking)**

ในหลายๆ กรณี อุปกรณ์ฝ่ายส่งจำเป็นต้องรู้ว่าอุปกรณ์ฝ่ายรับพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์ ความเร็วของการสื่อสารอาจเร็วกว่าความเร็วของเครื่องพิมพ์ เครื่องพิมพ์ต้องระงับการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์จนกว่ามันพร้อมที่จะรับข้อมูลในทำนองเดียวกันกับการส่งข้อมูลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องหนึ่ง และคอมพิวเตอร์ตัวที่สองไม่สามารถประมวลผลข้อมูลได้เร็วเท่ากับอัตราที่ข้อมูลเข้ามา

ทั้งสองกรณี ต้องมีข่าวสารถูกส่งกลับจากอุปกรณ์ฝ่ายรับไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่งเพื่อแจ้งว่าพร้อมหรือไม่ ข่าวสารนี้เรียกว่า โฟลว์คอนโทรล (flow control) หรือแฮนด์เช็คกิ้ง (Hand shaking) แฮนด์เช็คกิ้งมีสองแบบ คือ ฮาร์ดแวร์และซอฟร์แวร์ ทั้งคู่เกี่ยวข้องกับสัญญาณที่ส่งกลับมาจากอุปกรณ์ฝ่ายรับไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่ง ในฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้งอุปกรณ์ฝ่ายรับส่งแรงดันไฟฟ้าบวกไปตามวงจรแฮนด์เช็คกิ้งเมื่อมันพร้อมที่จะรับข้อมูล เมื่อคอมพิวเตอร์ฝ่ายส่งได้รับแรงดันไฟฟ้าลบ มันจะรู้ว่าต้องหยุดส่งข้อมูลในซอฟต์แวร์แฮนด์เช็คกิ้งสัญญาณแฮนด์เช็คกิ้งเป็นอักขระพิเศษที่ถูกส่งไปตามวงจรข้อมูลแทนวงจรแฮนด์เช็คกิ้ง

การใช้ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้งอย่างน้อยต้องมีการเชื่อมต่อเพิ่มเติมหนึ่งเส้นเพื่อนำพาสัญญาณทำให้จำนวนของสายทั้งหมดเป็นสามเส้นคือ สายข้อมูล ซิกแนลกราวน์ และแฮนด์เช็คกิ้ง

**จาก DTE ไป สู่ DCE**

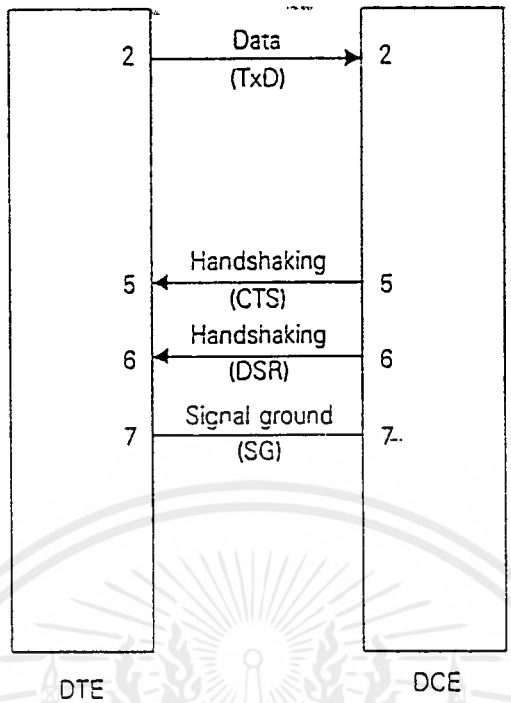
เมื่ออุปกรณ์ DTE ส่งข้อมูลไปที่อุปกรณ์ DCE ข้อมูลถูกส่งไปตามสายเส้นที่ 2 และใช้สายเส้นที่ 7 ซิกแนลกราวน์ ตามปกติอุปกรณ์ DCE ควบคุมการส่งแฮนด์เช็คกิ้งจากอุปกรณ์ DTE บนสายเส้นที่ 6 ชื่อว่า DSR (Data Set Ready) ถ้าเครื่องพิมพ์เป็น DCE และคอมพิวเตอร์เป็น DTE สายเส้นที่ 6 บนคอมพิวเตอร์ควรถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายเส้นที่ 6 บนเครื่องพิมพ์ และเครื่องพิมพ์จะรักษาแรงดันไฟฟ้าบวกบนสายเส้นที่ 6 ตราบเท่าที่มันสามารถรับข้อมูล เมื่อมันต้องการที่จะบอกคอมพิวเตอร์ให้หยุดการส่งข้อมูล มันจะลดแรงดันไฟฟ้าบนสายเส้นที่ 6 ให้เป็นสถานะลบ

บ่อยครั้งที่วงจรแฮนด์เช็คกิ้งชุดที่สอง คือสายเส้นที่ 5 ถูกใช้โดยอุปกรณ์ DCE เพื่อควบคุมการส่งจากอุปกรณ์ DTE วงจรนี้มีชื่อว่า CTS (Clear To Send) เมื่อสายแฮนด์เช็คกิ้งทั้งสองเส้นถูกใช้ อุปกรณ์ DTE ต้องได้รับการออกแบบให้ส่งข้อมูลก็ต่อเมื่อสายทั้งสองเป็นไฮ (high) หรือแรงดันไฟฟ้าบวก บางครั้งสายนั้นอาจมีความหมายต่างไป เช่นเส้นหนึ่งอาจบอกอุปกรณ์ฝ่ายส่งให้หยุดการพิมพ์จนกระทั่งข้อมูลถูกพิมพ์ไปได้จำนวนหนึ่งและเส้นที่เหลืออาจจะแจ้งว่ากระดาษของเครื่องพิมพ์หมด อย่างไรก็ตามความหมายเหล่านี้ไม่ได้มีมาตรฐานเนื่องจากคอมพิวเตอร์หลายชนิดถูกโปรแกรมไม่ให้ส่งข้อมูล ถ้าสายแฮนด์เช็คกิ้งทั้งสองไม่เป็น high แม้แต่กับเครื่องพิมพ์ที่ไม่ได้กำหนดความหมายพิเศษกับสายชุดที่สองอย่างน้อยก็ควรรักษาแรงดันไฟฟ้าบวกไว้ อย่างไรก็ตามบางครั้งสัญญาณชุดที่สองต้องถูกสร้างหลอกขึ้นมาโดยการต่อมันเข้ากับชุดแรก

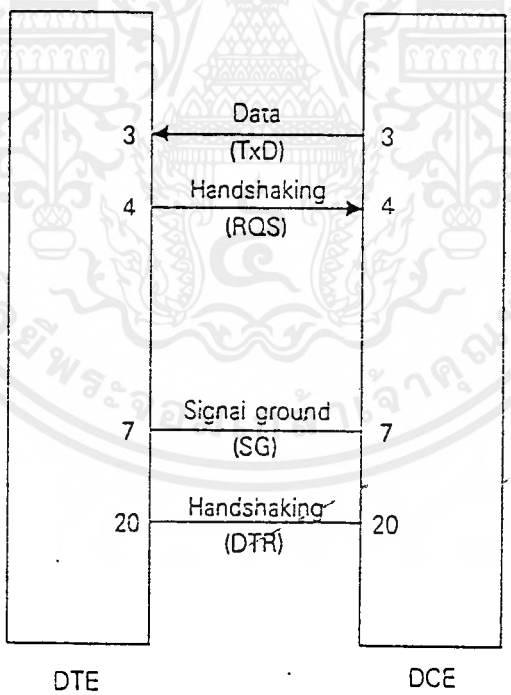
**DCE ไปยัง CTE**

เมื่ออุปกรณ์ DCE สื่อสารกับอุปกรณ์ DTE สายเส้นที่ 3 ต้องถูกใช้สำหรับการส่งผ่านข้อมูล และถ้าต้องการแฮนด์เช็คกิ้ง จะใช้สายเส้นที่ 20 เพื่อส่งแฮนด์เช็คกิ้งจากอุปกรณ์ DTE ไปยังอุปกรณ์ DCE สายเส้นที่ 20 มีชื่อว่า DTR (Data Terminal Ready) สายแฮนด์เช็คกิ้งชุดที่สองคือสายเส้นที่ 4 เรียกว่า Request to Send (RQS RT 1S4) ไม่ได้ถูกนำมาใช้เสมอไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.29 แสดงการสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็คกิ้งจาก DTE ไปยัง DCE



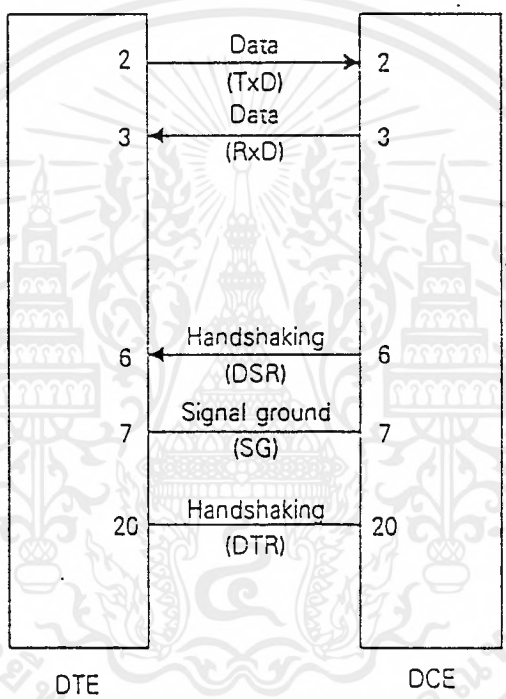

รูปที่ 2.30 แสดงการสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็คกิ้งจาก DCE ไปยัง DTE

### 2.3.2 การสื่อสารสองทาง

ในหลายกรณีที่ข้อมูลถูกส่งผ่านในสองทิศทาง โดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์สองตัวสื่อสารกัน รวมทั้งในกรณีที่ใช้ซอฟต์แวร์แฮนด์เช็คกิ้งด้วยเช่นกันจำนวนสายที่น้อยที่สุดที่จำเป็นในการสื่อสารสองทางคือ สามเส้น ได้แก่ สายข้อมูลในแต่ละทิศทาง และซิกแนลกราวน์ การเพิ่มเติมสายแฮนด์เช็คกิ้งในแต่ละทิศทาง ทำให้

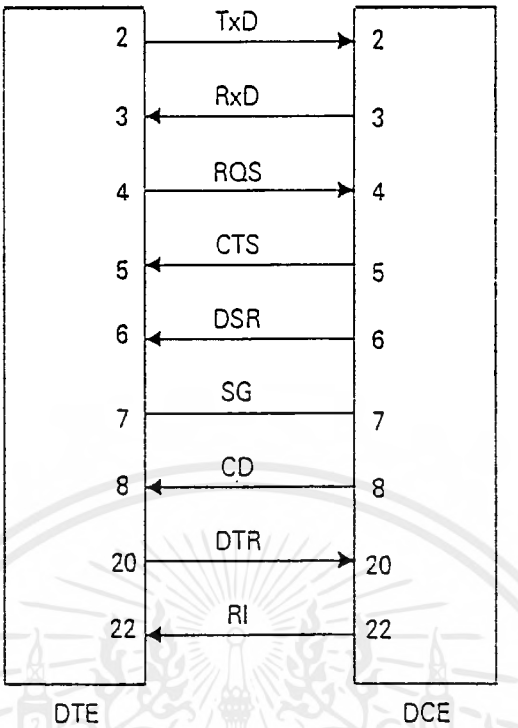
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนสายรวมเป็นห้าเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.30 เมื่อสายแฮนด์เช็คกิ้งชุดที่สองถูกนำมาใช้เพิ่มเติมลงในแต่ละทิศทาง สายทั้งหมดที่ใช้คือเจ็ดเส้น บางครั้งอาจมีการเพิ่มสายอีกสองเส้น เพื่อทำให้โมเด็มสามารถให้ข้อมูลมากขึ้นแก่คอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินัล ได้แก่ CD (Carrier Detect) ถูกเชื่อมต่อเข้ากับขา 8 เพื่อแจ้งการคงอยู่ของสัญญาณพาหะ และ RI (Ring Indicator) ถูกเชื่อมต่อกับขา 22 เพื่อแสดงว่าโมเด็มกำลังถูกเรียกโดยอุปกรณ์ระยะไกล ซึ่งก็คือการตรวจสอบสัญญาณกริ่งของโทรศัพท์นั้นเอง จำนวนวงจรทั้งหมดจะกลายเป็น 9 วงจร ตามรูปที่ 2.32 แม้ว่ายังมีวงจรอื่นอีกหลายวงจรถูกกำหนดโดย RS-232-C แต่ทั้งเก้าวงจรนี้ ถูกใช้กันมากที่สุด และเป็นเหตุผลที่ไมโครคอมพิวเตอร์ใช้หัวต่อ 9 ขาแทน 25 ขา สำหรับนำพาสัญญาณที่จำเป็นทั้งหมดของวงจร RS-232-C




รูปที่ 2.31 แสดงการสื่อสารสองทางพร้อมด้วยวงจรแฮนด์เช็คกิ้งหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.32 แสดงการเชื่อมต่อ RS-232 แบบมาตรฐานเก้าเส้น

**2.3.3 นัลโมเด็ม (Null Modem)**

ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้วว่าในตอนแรก RS-232-C นำไปใช้สำหรับกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินัลซึ่งเป็น DTE กับโมเด็มซึ่งเป็น DCE ต่อมาได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อื่นอีกหลายชนิดที่ไม่ได้ถูกกำหนดให้เป็น DTE หรือ DCE อย่างเป็นกิจลักษณะ เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์หรือเครื่องพิมพ์

เนื่องจากไม่มีมาตรฐานที่ชี้ชัด ว่าอุปกรณ์ควรเป็น DTE หรือ DCE บ่อยครั้งจึงจำเป็นต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์ DTE สองตัว หรือ อุปกรณ์ DCE สองตัวเข้าด้วยกัน ในลักษณะเช่นนี้ต้องทำการเชื่อมต่อสาย 2 บนอุปกรณ์ตัวแรกกับสาย 3 บนอุปกรณ์ตัวที่สองและสาย 3 บนอุปกรณ์ตัวแรกกับสาย 2 บนตัวที่สอง สายแฮนด์เช็คกิ้งก็ต้องถูกไขว้ในทำนองเดียวกัน การไขว้สายอาจทำได้โดยการต่ออุปกรณ์ด้วยสายสัญญาณซึ่งถูกไขว้ไว้แล้วหรือโดยการซื้อหัวต่อพิเศษที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งสองและทำการไขว้สายที่จำเป็นไว้ภายใน ไม่ว่าในกรณีใดสายที่อยู่ตรงกลางหรือหัวต่อจะถูกเรียกว่า นัลโมเด็ม (Null modem) มันทำให้อุปกรณ์ DTE สองตัวคุยกันได้โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ DCE เป็นทางผ่าน หรือในทางกลับกันคือระหว่าง DCE กับ DCE

**2.3.4 สัญญาณทางไฟฟ้า**

มาตรฐาน RS-232-C กำหนดคุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการเชื่อมต่ออนุกรมโดยตรง มีเพียงสองลักษณะคือ SPACE แสดงถึงไบนารี 0 หรือแรงดันไฟฟ้าบวกและ MARK แสดงถึงไบนารี 1 หรือแรงดันไฟฟ้าลบ บนสายข้อมูล (เช่นสาย 2 และ 3) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงถึงค่าลอจิก 0 และแรงดันไฟฟ้าลบแสดงถึงค่าลอจิก 1 บนสายแฮนด์เช็คกิ้ง (เช่น DTR และ DSR) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงว่าส่งข้อมูลได้ ส่วนแรงดันไฟฟ้าลบหมายถึงหยุดส่งข้อมูล แรงดันไฟฟ้าบวก (เช่น SPACE) อยู่ระหว่าง +5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง +15 โวลต์สำหรับเอาต์พุต และระหว่าง +3 ถึง +15 โวลต์สำหรับอินพุต ความแตกต่างมีไว้เผื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายสัญญาณในทำนองเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าลบ (สถานะ MARK) ถูกกำหนดไว้ระหว่าง -5 ถึง 15 โวลต์สำหรับเอาต์พุต และ -3 ถึง -15 โวลต์สำหรับอินพุต

สังเกตว่า ถ้าให้สายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ โดยทำให้การเปลี่ยนสถานะจากแรงดันไฟฟ้าบวกไปลบไม่ชัดเจน RS-232-C ไม่ได้มุ่งหวังให้นำไปใช้กับระยะทางไกล และโดยทั่วไป 50 ฟุต เป็นระยะที่ไกลที่สุดในการใช้สายสัญญาณปกติที่อัตราการส่งข้อมูลปกติโดย RS-232-C สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้ตั้งแต่ 0-20,000 บิต ซึ่งเพียงพอกับความเร็วในการส่ง 110-9,600 บิตต่อวินาที ถ้าอุปกรณ์อยู่ห่างกันมาก อาจจำเป็นต้องใช้โมเด็มหรือวิธีการอื่น

**ระดับสัญญาณของ RS-232-C**

สัญญาณที่ขาทุกขาที่คอนเนคเตอร์ของ RS-232C จะเป็นสภาวะใดสภาวะหนึ่งแต่ละคู่ต่อไปนี้

Mark / Space

ON / OFF

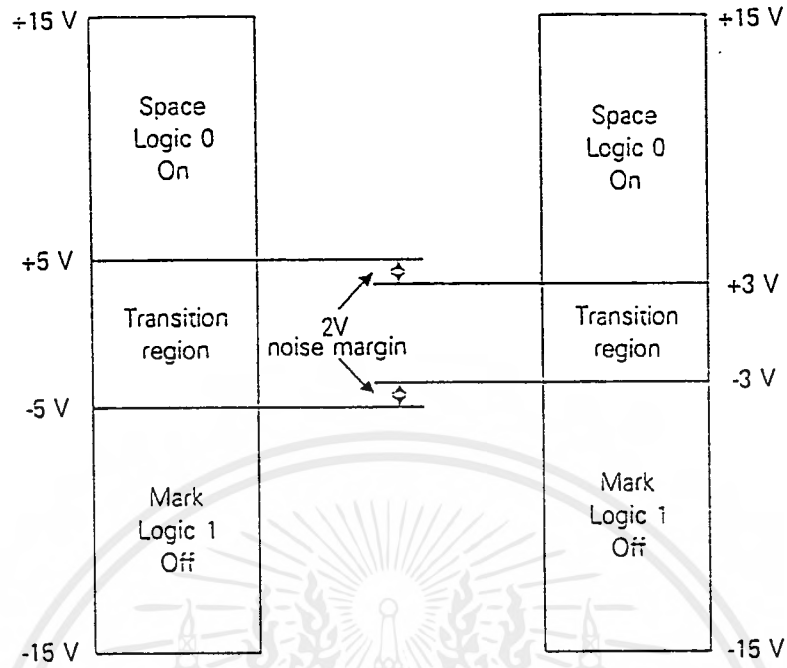
Logic 0 / Logic 1

ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะสัญญาณคู่ต่าง ๆ กับระดับแรงดันได้แสดงไว้ในตาราง RS-232-C ใช้ Negative Logic แทนระดับแรงดันต่างๆ โดยแรงดันของระดับสัญญาณต่าง ๆ จะถูกวัดเทียบกับ Signal Ground นอกจากนี้ช่วงระดับแรงดันระหว่าง -3 ถึง +3 โวลต์ จะเป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงลอจิก ดังนั้นจึงไม่มีการระบุสถานะของสัญญาณช่วงนี้

ในการแทนลอจิก 1 หรือสถานะ Mark Driver ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้า -5 ถึง -15 โวลต์ ส่วนในการแทนลอจิก 0 หรือ Space Driver ต้องจ่ายสัญญาณแรงดันระวห่าง 5 ถึง 15 โวลต์

จะเห็นว่า RS-232-C ยอมให้มี noise margin ได้ไม่เกิน 2 โวลต์ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและสถานะของสัญญาณได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและสถานะของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## การคำนวณและการสร้าง

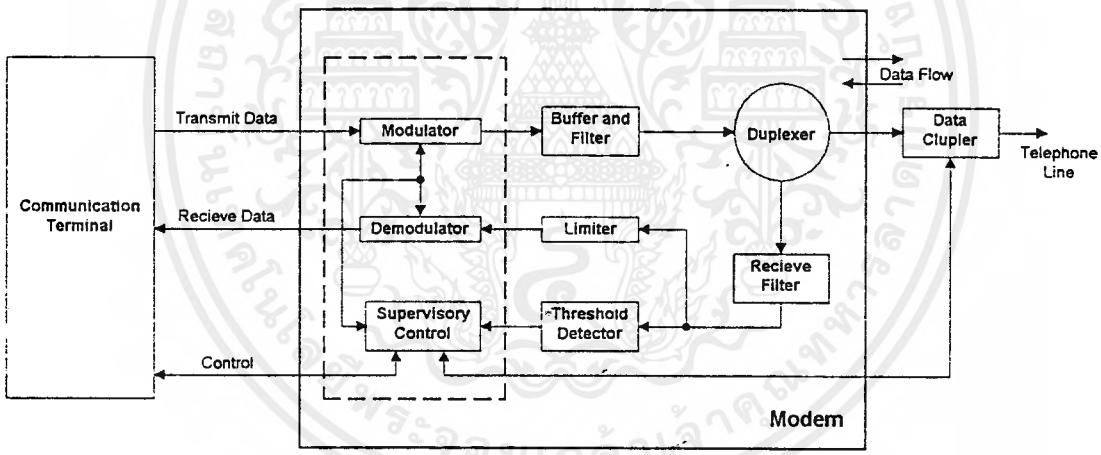
### 3.1 ลักษณะของโครงงานที่กำหนดไว้ดังนี้

1). รับ-ส่งข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม ( Serial Port ) ของคอมพิวเตอร์

2). ติดต่อระหว่างโมเด็มโดยใช้สายโทรศัพท์

3). การโมดูเลตสัญญาณใช้การโมดูเลตแบบ FSK ( Frequency Shift Keying )

เนื่องจากโมเด็ม มีส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณดิจิตอล ให้เป็นสัญญาณอนาล็อก ส่งผ่านตัวกลางคือสายโทรศัพท์ และรับสัญญาณอนาล็อก จากตัวกลางแปลงกลับให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ให้มีลักษณะของข้อมูลเหมือนกับเดิม ซึ่งส่วนนี้ก็คือเอทูดี และ ดีทูเอ ในโครงงานนี้ได้เลือกชิพไอซีโมเด็ม ( Chip IC Modem ) เบอร์ MC 14412 ซึ่งสามารถทำหน้าที่ดังกล่าว ใช้เทคนิคการโมดูเลต แบบ FSK อัตราบอดเท่ากับ 300 บอด และยังมีฟังก์ชั่น ( Function ) ควบคุมทางการสื่อสารอีกด้วย รายละเอียดของ MC 14412 สามารถดูได้จากภาคผนวก บล็อกไดอะแกรมของวงจรโมเด็มแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ส่วนของวงจรในเส้นประคือไอซีโมเด็ม MC 14412




รูปที่ 3.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมของโมเด็ม

จากรูปที่ 3.1 เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลดิจิตอลมาทางพอร์ตอนุกรม ข้อมูลดังกล่าวผ่านอินเตอร์เฟส RS-232 เนื่องจากข้อมูลของคอมพิวเตอร์มีลักษณะเป็นไบโพลาร์ขนาด $\pm 12$ โวลต์ ซึ่งแตกต่างจากการทำงานของไอซีของตัวโมดูเลเตอร์ที่ใช้ซึ่งจะรับส่งสัญญาณดิจิตอลขนาด 0 ถึง 5 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนขนาดของไฟฟ้า โดยใช้ไอซี MC-1489 จากนั้นสัญญาณดิจิตอลขนาด 0 ถึง 5 โวลต์ดังกล่าว จะผ่านไปยังอุปกรณ์โมดูเลเตอร์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอล แบบอนุกรมที่ส่งออกให้เป็นสัญญาณซายน์ ตามความถี่มาตราฐานที่ได้เลือกไว้ ในการทดลองนี้เลือกมาตราฐาน Bell 103 เอาต์พุตที่ได้จากส่วนโมดูเลเตอร์ จะส่งผ่านภาคฟิลเตอร์ จากนั้นสัญญาณพาหนะจะส่งเข้าภาคดูเพลกเซอร์ ให้สัญญาณเดินได้ทิศทางเดียว กล่าวคือสัญญาณที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งออกจะผ่านไปยังสายโทรศัพท์ได้แต่ไม่สามารถผ่านเข้าไปยังส่วนฟิลเตอร์ด้านรับ( Receiver filter )ได้ และสัญญาณที่ต้องการรับที่ผ่านมาทางสายโทรศัพท์จะผ่านวงจรดูเพลกเซอร์ เข้าไปยังส่วนฟิลเตอร์ด้านรับเท่านั้น สัญญาณที่รับมาจากสายโทรศัพท์จะผ่านไปยังภาคฟิลเตอร์ด้านรับเพื่อกรองเอาเฉพาะสัญญาณพาหนะที่ต้องการรับเท่านั้น และส่งสัญญาณพาหะที่กรองได้เข้าสู่ภาคลิมิตเตอร์ ( Limiter ) และภาคเทรสโฮลด์ดีเทคเตอร์ ( Threshold detector) ต่อไป จากส่วนลิมิตเตอร์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพาหะซายนให้เป็นสัญญาณสแควร์( Square ) ที่มีความถี่เท่ากันเพื่อป้อนให้กับภาคดีโมดูเลเตอร์ต่อไป ส่วนวงจรเทรสโฮลด์ดีเทคเตอร์ทำหน้าที่ตั้งระดับการยินยอมให้มีการดีโมดูเลตเนื่องจากเอาต์พุตที่ออกจากฟิลเตอร์ด้านรับอาจมีนอยส์(Noise) เข้ามารบกวนมีผลทำให้การดีโมดูเลตผิดพลาดไป ซึ่งสัญญาณอินพุตที่เข้ามามีค่ามากกว่าระดับเทรสโฮล ที่ตั้งไว้จึงจะทำให้ภาคดีโมดูเลเตอร์ ทำงานได้

เพราะ originate โมเด็ม จะส่งช่องความถี่ต่ำ ( Low frequency channel ) มาร์ค 1270 Hz และสเปส 1070 Hz และรับช่องความถี่สูง ( High frequency channel ) มาร์ค 2225 Hz และสเปส 2025 Hz ส่วน answer โมเด็มจะส่งช่องความถี่สูง และจะรับช่องความถี่ต่ำ

ดังนั้น จึงต้องมีแบนด์พาสฟิลเตอร์ ( Band pass filter ) เพื่อที่จะเลือกเฉพาะความถี่ที่ต้องการเข้าสู่ภาคลิมิตเตอร์และดีโมดูเลเตอร์ต่อไป หลังจากผ่านวงจรดีโมดูเลเตอร์เพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก FSK ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 0 ถึง 5 โวลต์ สัญญาณดิจิตอลนี้จะส่งผ่านไอซีเบอร์ MC-1488 เพื่อเปลี่ยนสัญญาณขนาด 0 ถึง 5 โวลต์ ให้เป็นสัญญาณไบโพลาร์ขนาด ±12 โวลต์ เพื่อส่งผ่านอินเตอร์เฟส RS-232 ทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ทางด้านรับต่อไป

**3.2 ภาคอินเตอร์เฟส**

การส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์มายังโมเด็มที่นิยมใช้กันนั้นเป็นการส่งข้อมูลออกมาที่พอร์ต RS-232 นี้จะอยู่ในระดับ ±12 โวลต์ ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยระดับแรงดันที่ส่งผ่านพอร์ต RS-232 นี้จะอยู่ในระดับ ±12 โวลต์ ดังนั้นตัวโมเด็มจึงจำเป็นต้องมีตัวแปลงระดับความดัน ±12 โวลต์ ให้อยู่ในระดับ TTL ( 0-5 โวลต์ ) ในที่นี้เราใช้ไอซี MC1489 โดยระดับแรงดันที่เข้าตัวไอซีนี้

-หากเป็น 12 โวลต์ เมื่อผ่าน MC1489 จะได้ระดับแรงดัน 0 โวลต์

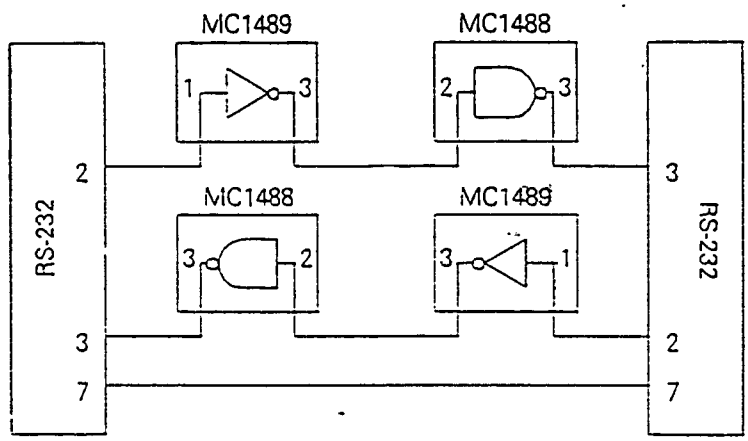
-หากเป็น - 12 โวลต์ เมื่อผ่าน MC1489 จะได้รับแรงดัน 5 โวลต์

ในการส่งข้อมูลเข้าพอร์ต RS-232 ก็เช่นกันจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงดัน ในระดับ TTL ( 0-5 โวลต์) ให้อยู่ในระดับแรงดัน ±12 โวลต์ ในที่นี้เราใช้ไอซี MC1488 โดยระดับแรงดันที่เข้าตัวไอซีนี้

-หากเป็น 0 โวลต์ เมื่อผ่าน MC1488 จะได้ระดับแรงดัน 12 โวลต์

-หากเป็น 5 โวลต์ เมื่อผ่าน MC1488 จะได้ระดับแรงดัน -12 โวลต์

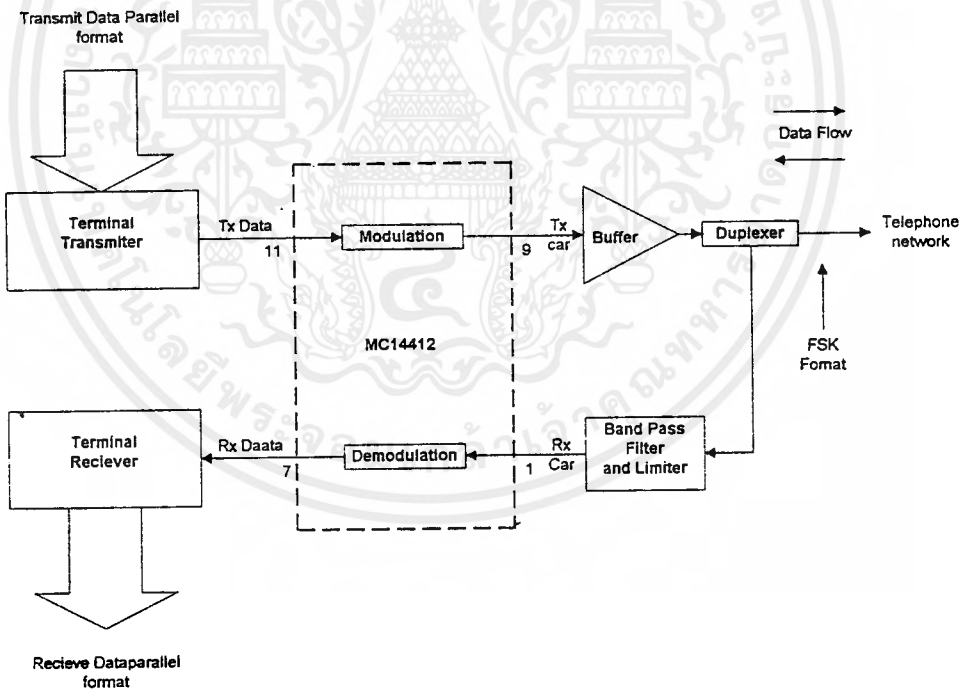
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.2 แสดงการอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์

**3.3 ภาคโมดูเลเตอร์และดีโมดูเลเตอร์**

โมเด็มที่ได้ทำการออกแบบนี้ใช้ไอซีเบอร์ MC14412 ทำการโมดูเลตแบบ FSK สามารถเลือกความเร็วในการส่งได้ 300 บิตต่อวินาที และ600บิตต่อวินาที ทำงานได้ทั้งแบบฝ่ายเริ่มติดต่อ ( originate ) และฝ่ายตอบรับ ( answer ) สามารถส่งได้ทั้งแบบซิมเพล็กซ์ ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ และฟูลดูเพล็กซ์




รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการใช้งานของ MC14412

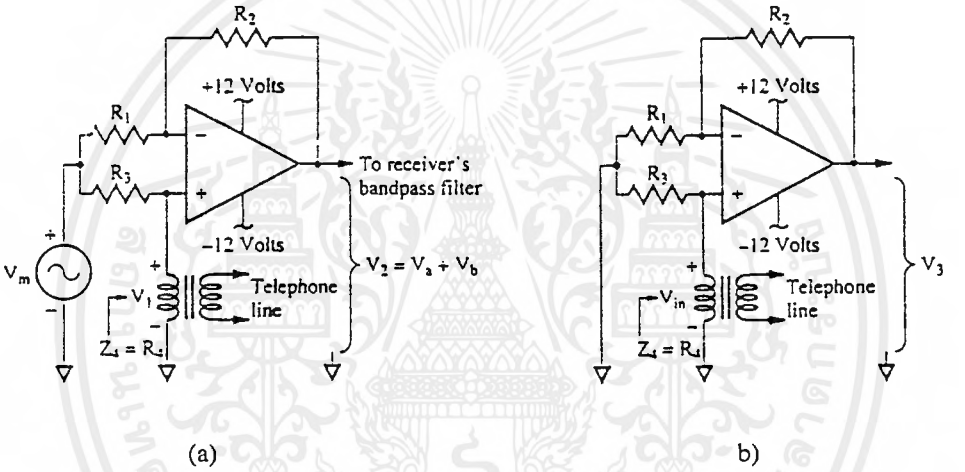
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.4ภาคดูเพล็กเซอร์**

ดูเพล็กเซอร์ใช้สำหรับเพื่อการเชื่อมต่อกับสายโทรศัพท์เนื่องจากสัญญาณในสายโทรศัพท์เป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ ดังนั้นดูเพล็กเซอร์จะต้องให้สัญญาณที่จะรับ ผ่านไปยังแบนด์พาสฟิลเตอร์ภาครับและให้สัญญาณที่จะส่งไปยังสายโทรศัพท์ผ่านไปยังแบนด์พาสฟิลเตอร์น้อยที่สุด

วงจรดูเพล็กเซอร์เบื้องต้นสามารถสร้างได้จากการใช้ออปแอมป์เป็นส่วนประกอบ ดูเพล็กเซอร์จะต้องมีความสามารถที่จะส่งสัญญาณและรับสัญญาณ ในวงจรดูเพล็กเซอร์ออปแอมป์จะมีรูปแบบการต่อเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียนแอมปลิไฟเออร์ ( Differential amplifier )

สำหรับการอินเทอร์เฟสสายโทรศัพท์เข้ากับวงจรโมเด็มโดยต่อกับดูเพล็กเซอร์จะต้องมีการแมชชิ่งกันของอิมพีแดนซ์ โดยที่สายโทรศัพท์มีอิมพีแดนซ์ 600 โอห์ม ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการแมชชิ่งก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วน 1:1 ใช้คัปปลิ้งสายโทรศัพท์มีอิมพีแดนซ์ 600:600 โอห์ม




รูปที่ 3.4 แสดงวงจรดูเพล็กเซอร์

วงจรนี้สามารถพิจารณาจากสัญญาณแรงดัน 3 สัญญาณ

1. แรงดัน $V_1$ : แรงดันนี้คือสัญญาณที่ส่งมาบนสายโทรศัพท์ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันเอาต์พุตของโมดูเลเตอร์ ; $V_m$ ตามรูป 3.3 a

2. แรงดัน $V_2$ : แรงดันนี้คือที่เข้าไปในวงจรกรองความถี่ผ่านด้านรับ( Reciever 's bandpass filter ) ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อ $V_m$ เป็นค่าอุดมคติ ( Ideally ) ตามรูป 3.3 a

3. แรงดัน $V_3$ : แรงดันนี้จะเป็นแรงดันซึ่งจะเข้าไปในวงจรกรองความถี่ผ่านด้านรับ แต่จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่เข้ามาเท่ากับ $V_m$ จากสายโทรศัพท์ ตามรูป 3.3 b

วิเคราะห์แต่ละสภาวะแรงดัน $V_1$ จากรูป 3.3 a ค่า $V_1$ คือแรงดันที่ตกคร่อม $R_4$ และมีค่าดังนี้

$$V_1 = \frac{R_4}{(R_3 + R_4)} V_m \qquad 3.1a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $R_4$ เป็นค่าความต้านทานสมมูลย์ ( Equivalent )ของสายโทรศัพท์ มีค่าเท่ากับ 600 $\Omega$ สำหรับค่ากำลังถ่ายโอนสูงสุด ( Maximum power transfer ) $R_3$ จะต้องเท่ากับ $R_4$ ดังนั้นสมการ 3.1a จะเท่ากับ

$$V_1 = \frac{V_m}{2} \qquad 3.1b$$

คำนวณแรงดัน $V_2$ โดยวิธีซุปเปอร์โพสสิชั่น ( Superposition ) กำหนด $V_m$ ที่เอาต์พุตของออปแอมป์ซึ่งเป็นผลจากเกน ( Gain ) โดยวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียนแอมปลิไฟเออร์

$$V_2 = V_a + V_b \qquad 3.2$$

$$V_a = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_m \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \qquad 3.3a$$

ถ้า $\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1}{2}$ ดังนั้นสมการ 3.3a จะเป็น

$$V_a = \left(\frac{1}{2}\right)\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_m \qquad 3.3b$$

กำหนด $V_b$ โดยให้

$$V_b = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) V_m \qquad 3.4$$

นำสมการที่ 3.3a และ 3.4 ไปแทนในสมการ 3.2 จะได้

$$V_2 = \left(\frac{1}{2}\right)\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_m - \left(\frac{R_2}{R_1}\right) V_m \qquad 3.5a$$

สำหรับสภาวะที่เป็นอุดมคติ $V_2 = 0$ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0 = \left(\frac{1}{2}\right)\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)-\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \qquad 3.5b$$

ซึ่งจะได้

$$R_1 = R_2 \qquad 3.5c$$

ดังนั้นถ้า $R_1 = R_2$ และ $R_3 = R_4$ จะทำให้แรงดันเอาต์พุตจะสมดุลโดยดูเพล็กเซอร์ และจะไม่มีแรงดันอินพุตเข้าไปยังวงจรกรองความถี่ผ่านทางด้านรับ แรงดัน $V_3$ จะได้จากแกนของวงจรขยายนอนอินเวอร์ติ้งและที่เอาต์พุตของดูเพล็กเซอร์ ซึ่งเป็นผลมาจาก $V_{in}$

**3.5 ภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์**

วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์จะทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่ต้องการและลดทอนสัญญาณที่ไม่ต้องการ เอาต์พุตที่ได้จะส่งผ่านไปยังภาคลิมิตเตอร์และภาคเทรสโฮลดีเทคเตอร์ต่อไป

ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ MC145440 เป็นวงจรฟิลเตอร์ที่ ออกแบบโดยสามารถที่จะเลือกโหมดได้ 2 โหมดด้วยกัน คือ โหมดการส่งและโหมดการรับซึ่งแต่ละโหมดจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่สูงกับช่วงความถี่ต่ำ วงจรฟิลเตอร์จะตอบสนองต่อแบนด์ในช่วงความถี่ดังกล่าว สำหรับในโหมดของการส่ง วงจรกรองความถี่สูงจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรับสัญญาณพาหะและช่วงแบนด์ความถี่ต่ำจะถูกนำมาใช้กับตัวส่งสัญญาณ สำหรับโหมดการรับการตอบสนองต่อช่วงความถี่จะเป็นไปในลักษณะตรงกันข้าม

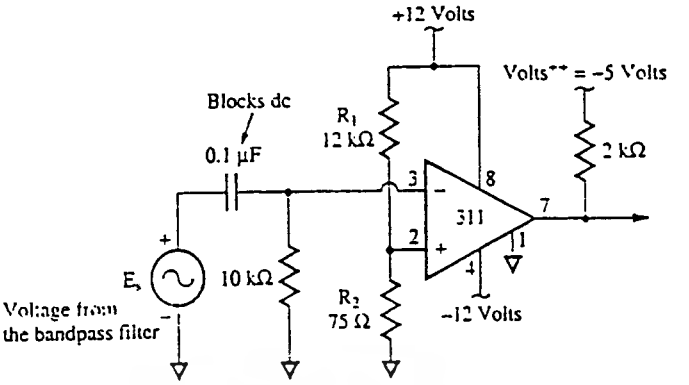
**3.6 ภาคเทรสโฮสดีเทคเตอร์**

วงจรนี้สร้างขึ้นได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเป็นสภาวะโลว์หรือไฮ ตามค่าของสัญญาณที่ได้รับ ซึ่งถ้าระดับสัญญาณอินพุตมีค่าต่ำกว่าระดับสัญญาณที่กำหนดไว้ เอาต์พุตของเทรสโฮลดีเทคเตอร์จะแสดงสภาวะไฮ MC 14412 จะหยุดการดีโมดูเลต เมื่อสัญญาณที่เข้ามามีค่าสูงกว่าค่าระดับสัญญาณที่กำหนดไว้ เอาต์พุตของเทรสโฮลดีเทคเตอร์ จะแสดงสภาวะโลว์และจะทำการดีโมดูเลต นอกจากนี้เอาต์พุตที่ได้จนเป็น CD ( Carrier detector ) ไปบอกการรับสัญญาณข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.5 ค่าระดับสัญญาณอ้างอิงคำนวณได้จาก

$$V_{min} = \frac{R_1}{R_1+R_2}(+V)$$

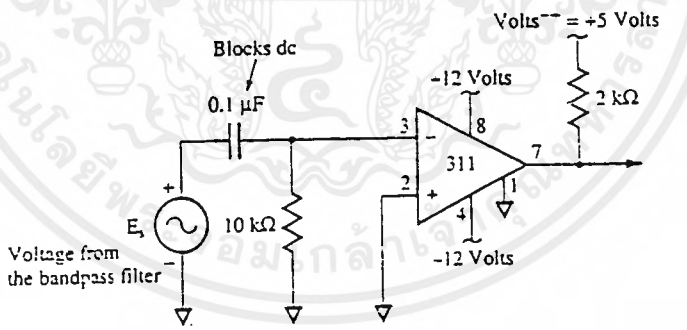
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเทรสโฮลดีเทคเตอร์

**3.7 ภาคลิมิตเตอร์**

เนื่องจากภาคดีโมดูเลเตอร์ ของ MC 14412 ต้องการสัญญาณอินพุต ที่เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมมาตร คือ มีค่า duty cycle เท่ากับ 50 % เพื่อให้สามารถดีโมดูเลต สัญญาณได้ถูกต้อง หากสัญญาณไม่สมมาตรมาก จะทำให้อินพุตที่ได้จากการดีโมดูเลตไม่ถูกต้อง เพื่อสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่สมมาตรและมีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุต โดยลักษณะวงจรจะต่อแบบ Inverting comparater การออกแบบจะเหมือนกับภาคเทรสโฮลดีเทคเตอร์ แต่จะใช้สัญญาณที่กำหนดอ้างอิงเป็นศูนย์




รูปที่ 3.6 แสดงวงจรลิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

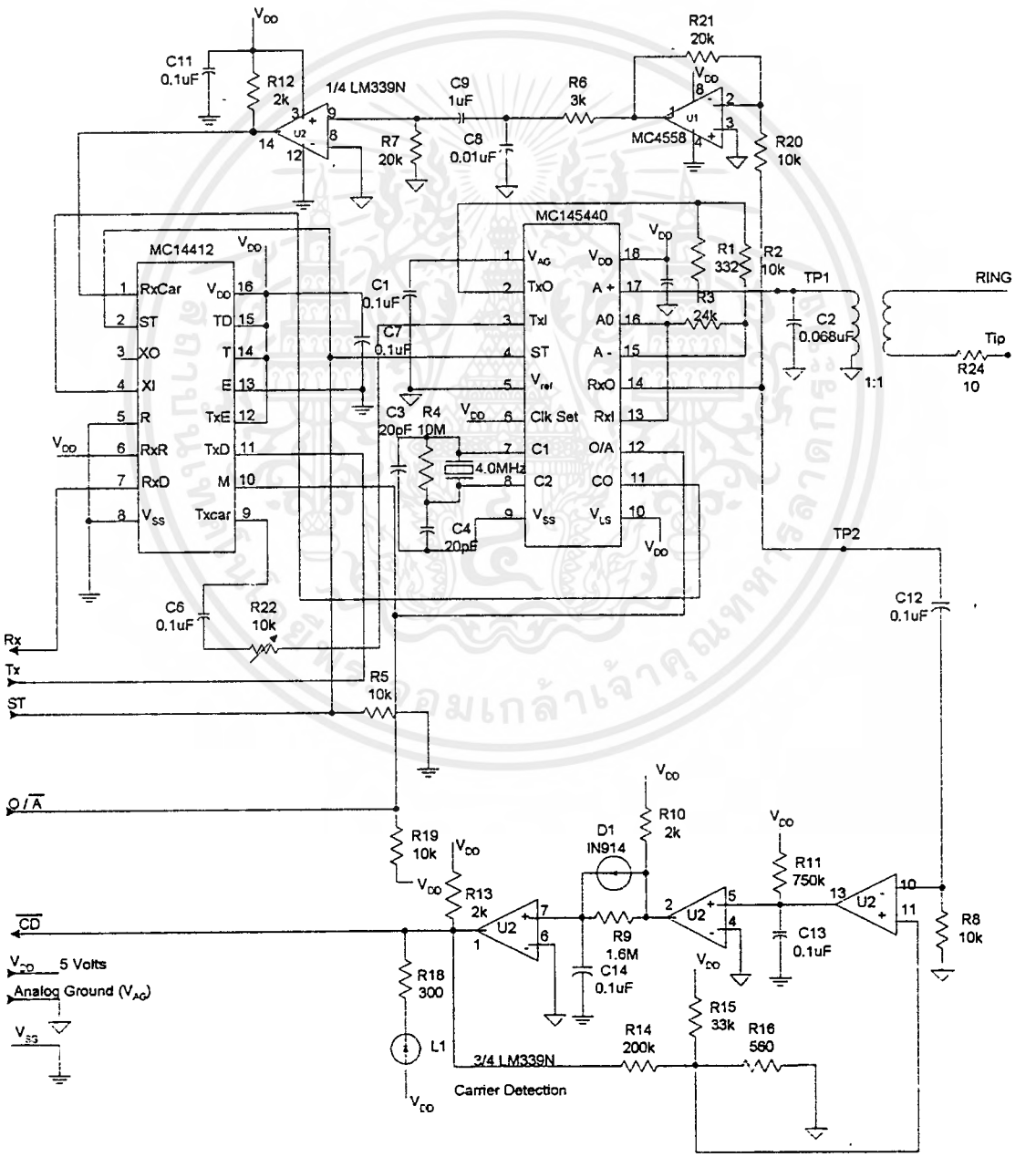
# บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.1 โดยทำเป็น 2 ชุดทดลองแล้วทำการบันทึกผลการทดลองในแต่ละภาค โดยวงจรชุดแรกเลือกโหมด originate แล้วป้อนสัญญาณ 0 และ 1 ตามลำดับ ส่วนวงจรอีกชุดหนึ่งเลือกโหมด answer แล้วป้อนสัญญาณ 0 และ 1 ตามลำดับเช่นกัน

ในการเลือกโหมด originate แล้วป้อนสัญญาณ 0 จะมีผลการทดลองตามรูปที่ 4.2 - 4.6 - 4.10 - 4.14 - 4.18 เมื่อป้อนสัญญาณ 1 จะมีผลการทดลองตามรูปที่ 4.3 - 4.7 - 4.11 - 4.15 - 4.19 ตามลำดับ

ในการเลือกโหมด answer แล้วป้อนสัญญาณ 0 จะมีผลการทดลองตามรูปที่ 4.4 - 4.8 - 4.12 - 4.16 - 4.20 และเมื่อป้อนสัญญาณ 1 จะมีผลการทดลองตามรูปที่ 4.5 - 4.9 - 4.13 - 4.17 - 4.21 ตามลำดับ



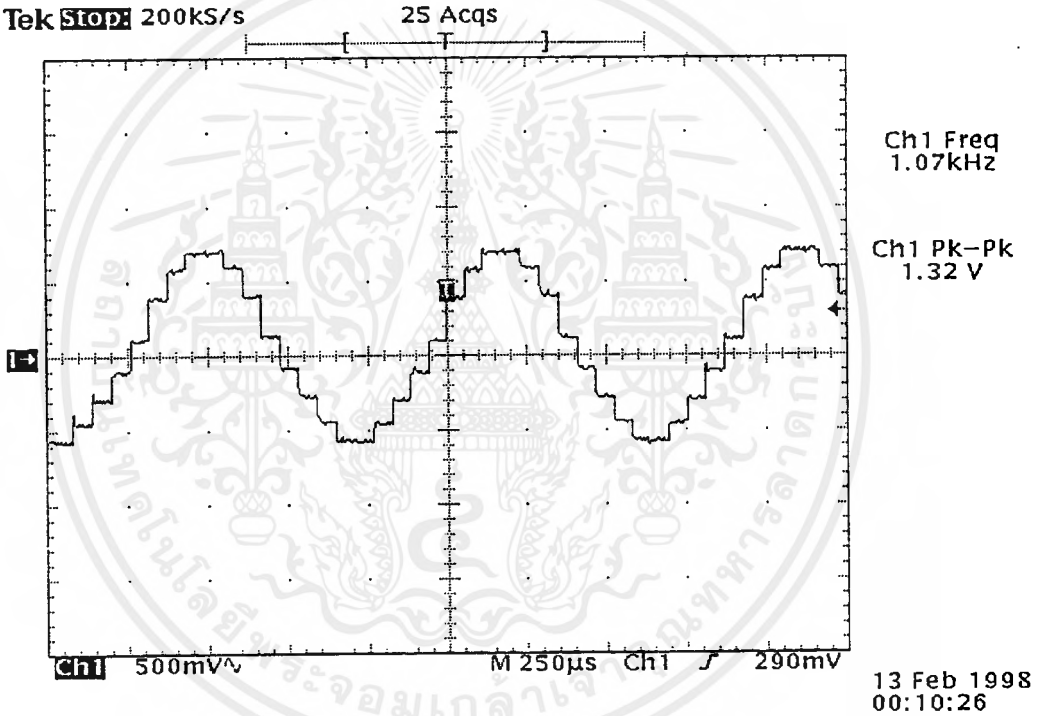

รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.1 ผลการทดลองภาคโมดูเลเตอร์**

ในวงจรภาคโมดูเลเตอร์นี้จะใช้ไอซีเบอร์ MC 14412 เป็นตัวทำหน้าที่หลักในการโมดูเลตแบบ FSK โดยนำข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีระดับแรงดันประมาณ 5 โวลต์ จะแทนลอจิกสูง ( ลอจิก"1" ) และที่แรงดันประมาณ 0 โวลต์ จะแทนลอจิกต่ำ ( ลอจิก"0" ) ข้อมูลนี้จะส่งมาที่ขา 11 ของไอซี MC 14412 และจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาล็อก ( ซึ่งอยู่ในรูปแบบ Digital - synthesized sine wave ) แล้วส่งออกไปทางขา 9 ซึ่งเอาต์พุตที่ได้นี้จะมีความแตกต่างกันอยู่สองความถี่ในแต่ละโหมดการส่ง - รับ

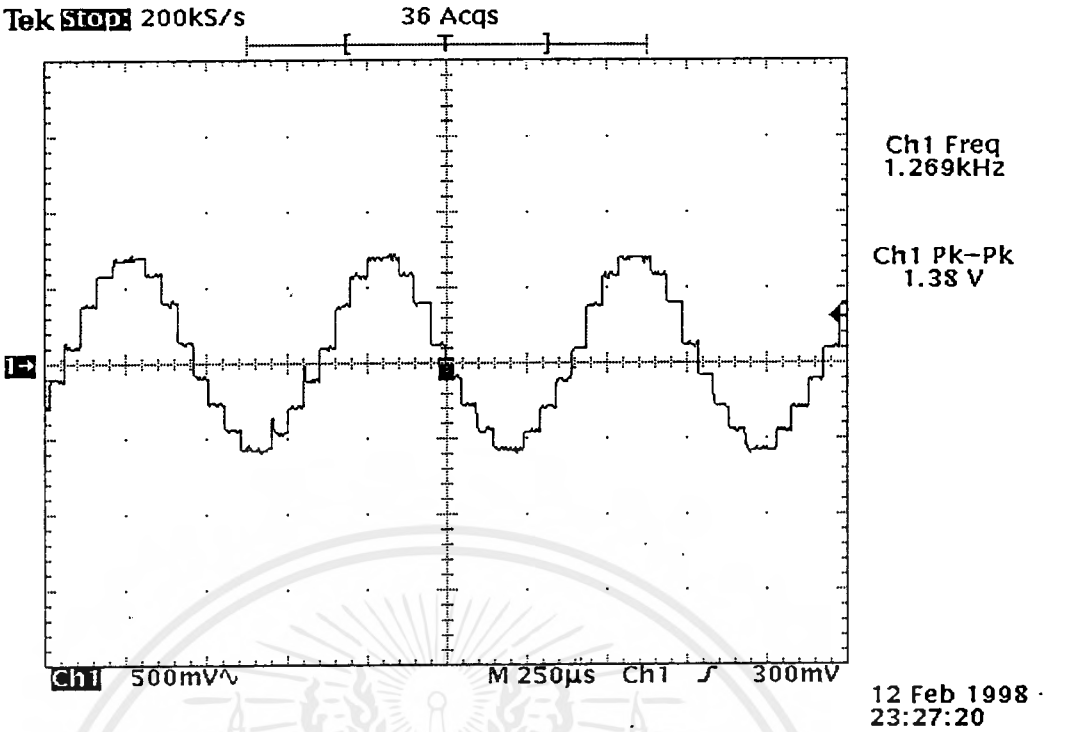
ในการทดลอง เลือกโหมด originate เมื่อป้อนลอจิก 0 เข้ามาที่ขา 11 ของ MC 14412 แล้ววัดเอาต์ พุตที่ขา 9 จะได้รูปสัญญาณ Digital - synthesized sine wave มีความถี่1070 Hz ดังรูปผลการทดลองรูปที่ 4.2



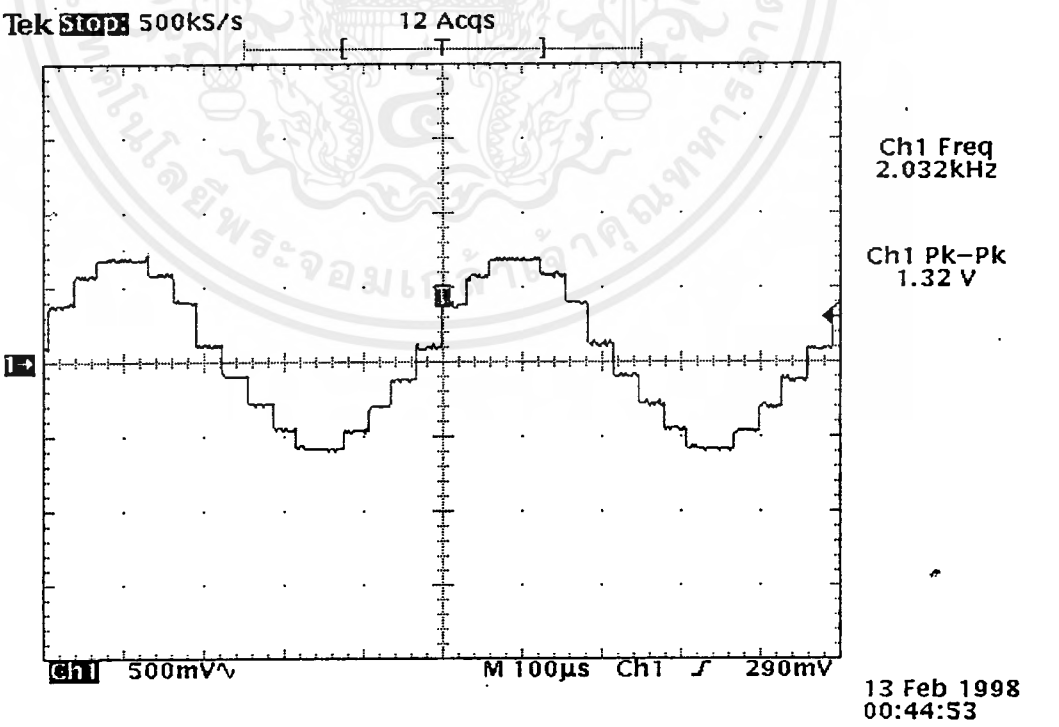

รูปที่ 4.2 แสดงความถี่ด้านต่ำของ MC 14412 โหมด originate เมื่อป้อนสัญญาณ 0

หลังจากนั้นป้อนลอจิก 1 เข้ามาที่ขา 11 แล้ววัดเอาต์พุตที่ขา 9 จะได้สัญญาณ Digital - synthesized sine wave มีความถี่ 1270 Hz ดังรูปผลการทดลอง รูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



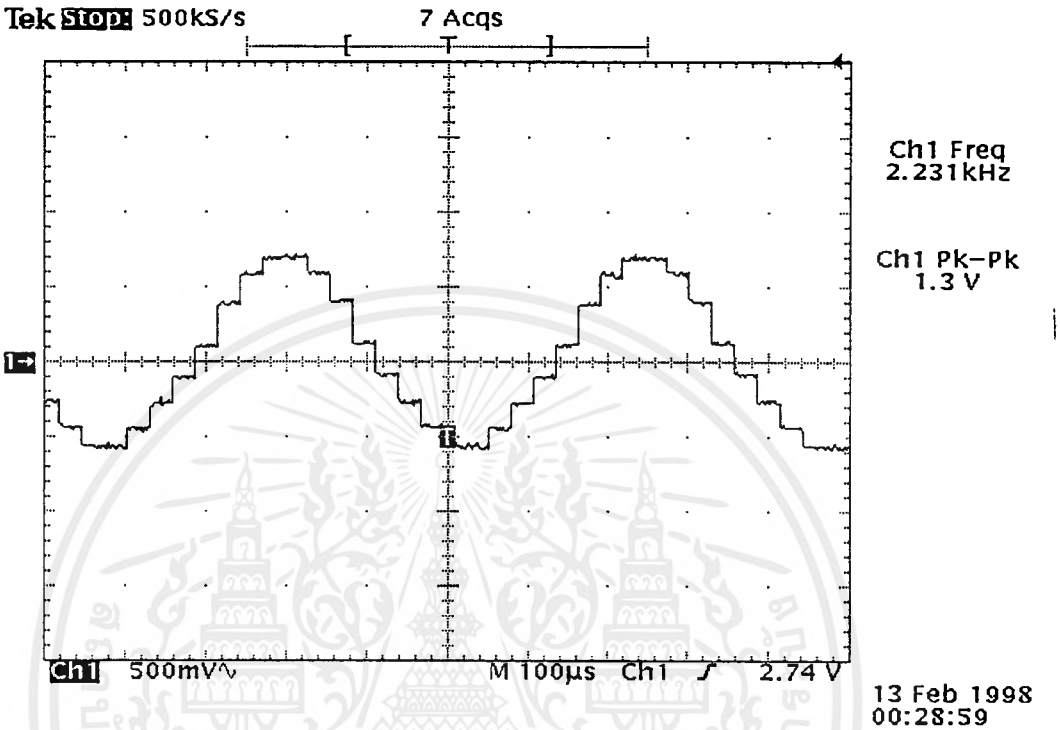

รูปที่ 4.3 แสดงความถี่ด้านสูงของ MC 14421 โหมด originate เมื่อป้อนสัญญาณ 1 ส่วนโหมด answer เมื่อป้อนลอจิก 0 เข้ามาที่ขา 11 ของ MC 14412 แล้ววัดเอาต์พุตที่ขา 9 จะได้สัญญาณ Digital - synthesized sine wave มีความถี่ 2025 Hz ดังรูปผลการทดลอง รูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 แสดงความถี่ด้านต่ำของ MC 14412 โหมด answer เมื่อป้อนสัญญาณ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นป้อนลอจิก 1 เข้าที่ขา 11 ของ MC 14412 แล้ววัดเอาต์พุตที่ขา 9 จะได้สัญญาณ Digital - synthesized sine wave มีความถี่ 2225 Hz ดังรูปผลการทดลอง รูปที่ 4.5

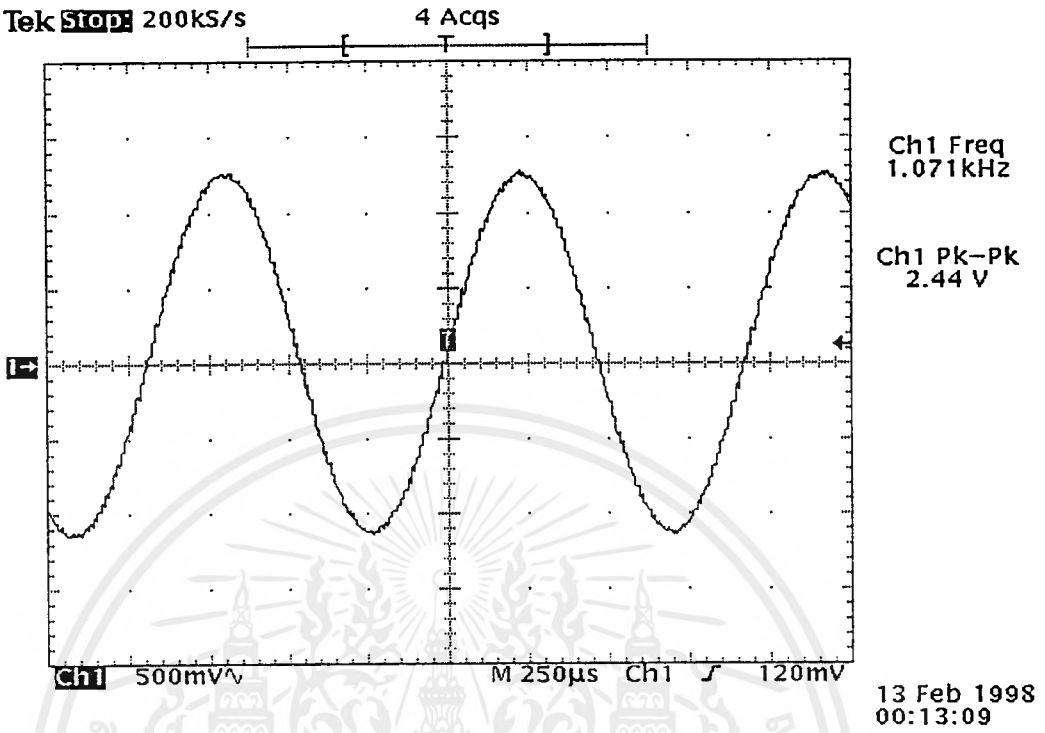



รูปที่ 4.5 แสดงความถี่ด้านสูงของ MC 14412 โหมด answer เมื่อป้อนสัญญาณ 1

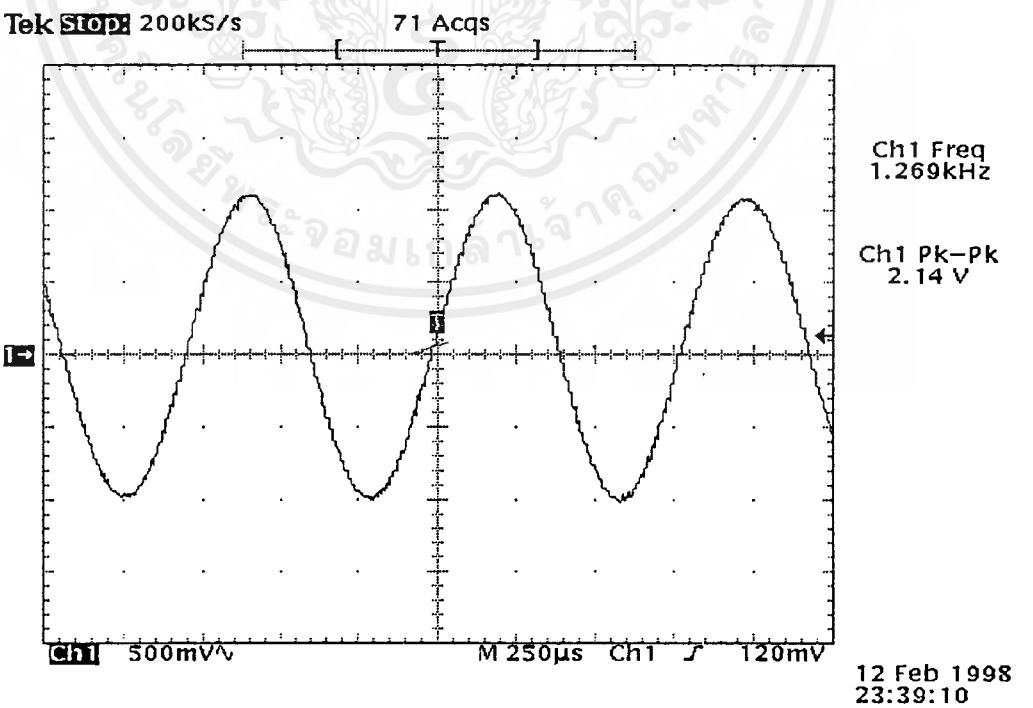
**4.2 ผลการทดลองภาคแบนด์พาสฟิลเตอร์**

เอาต์พุตจากขา 9 ของ MC 14412 ถูกนำมาป้อนเข้าที่ขา 3 ของ MC 145440 แล้ววัดเอาต์พุตที่ขา 2 ของ MC 145440 จะได้สัญญาณซายน์ดังรูป 4.5 ถึง 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

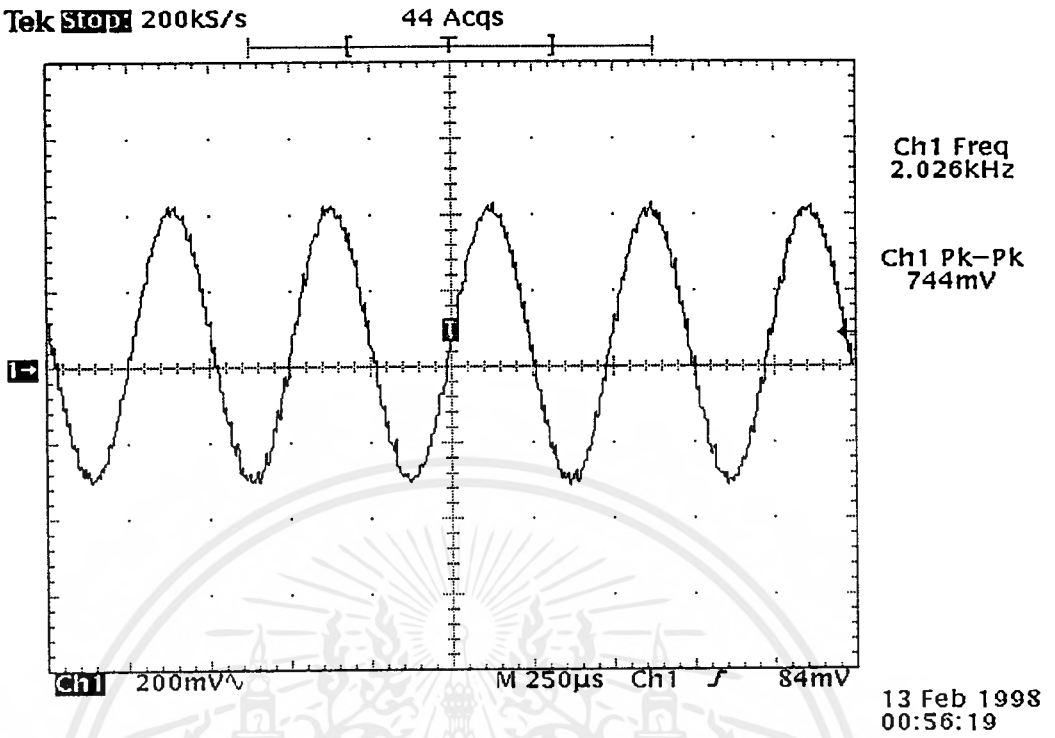



รูปที่ 4.6 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 0

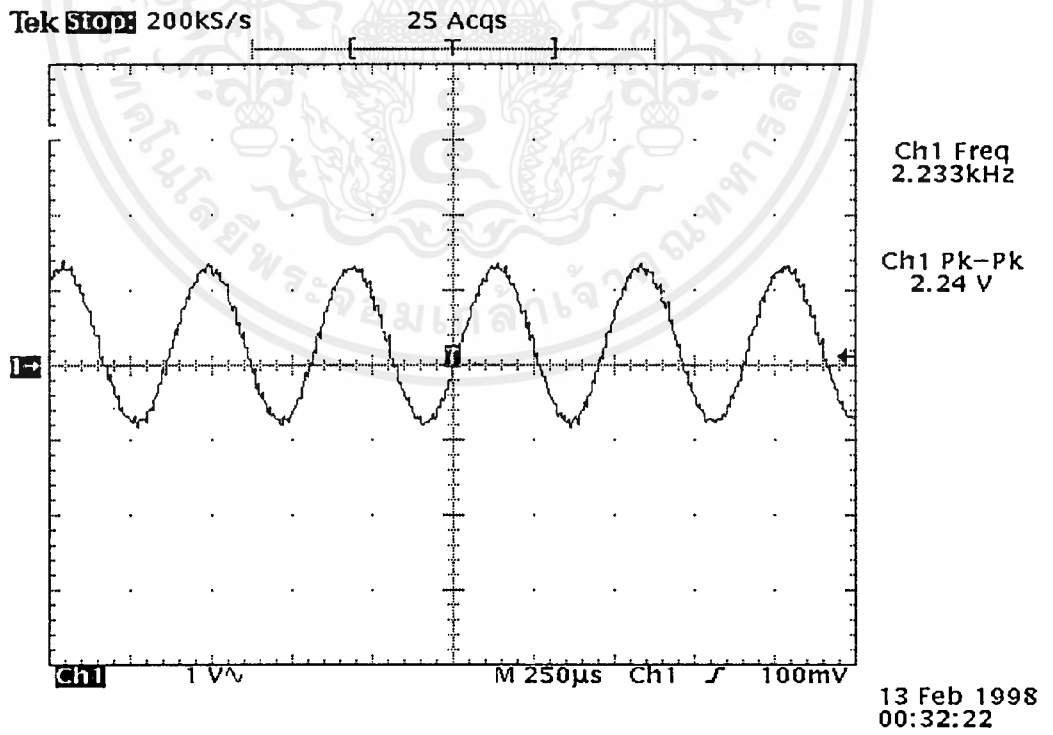



รูปที่ 4.7 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.8 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 0

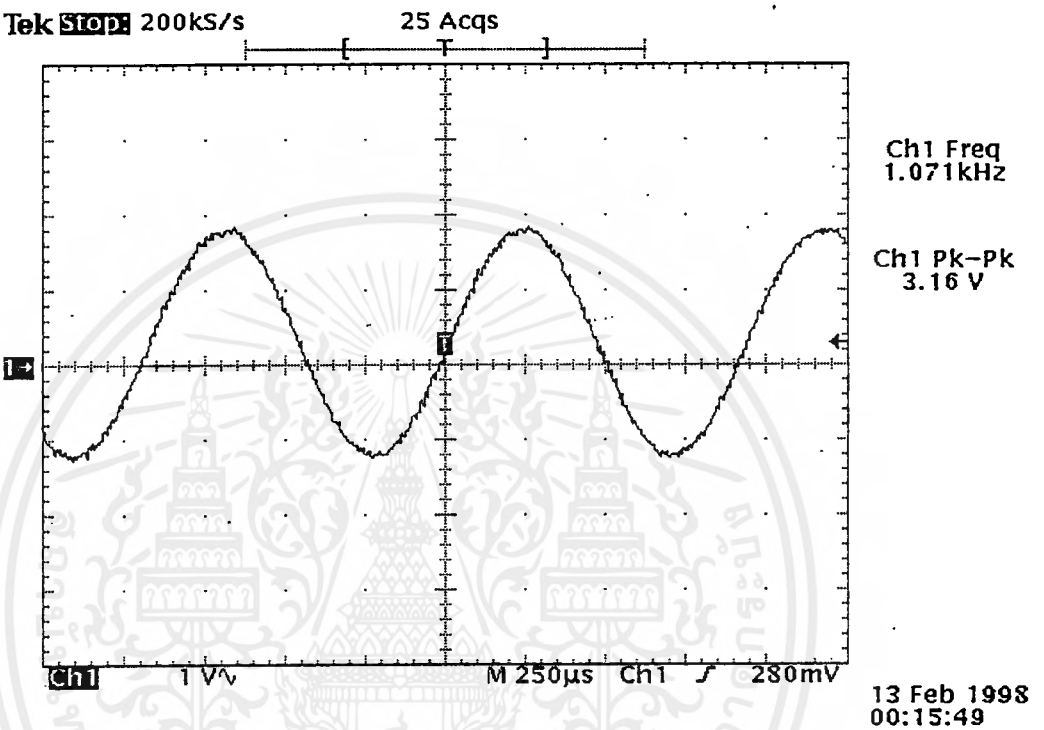



รูปที่ 4.9 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งใช้ส่งสัญญาณ เมื่อป้อนสัญญาณ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

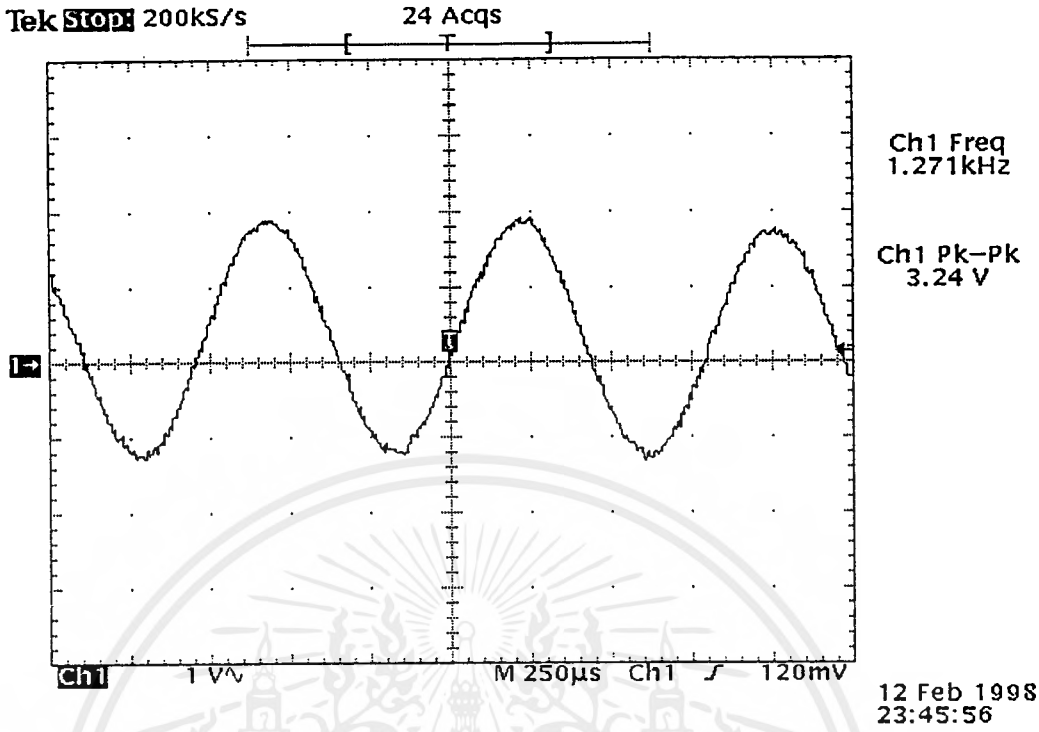
จากนั้นสัญญาณจะผ่านวงจรดูเพล็กเซอร์ออกสายโทรศัพท์เข้าสู่วงจรดูเพล็กเซอร์และฟิลเตอร์ของโมเด็มอีกด้านหนึ่งตามลำดับ

รูปที่ 4.10-4.13 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์จากขา 14 ของโมเด็มอีกด้านหนึ่งซึ่งรับสัญญาณมาจากสายโทรศัพท์

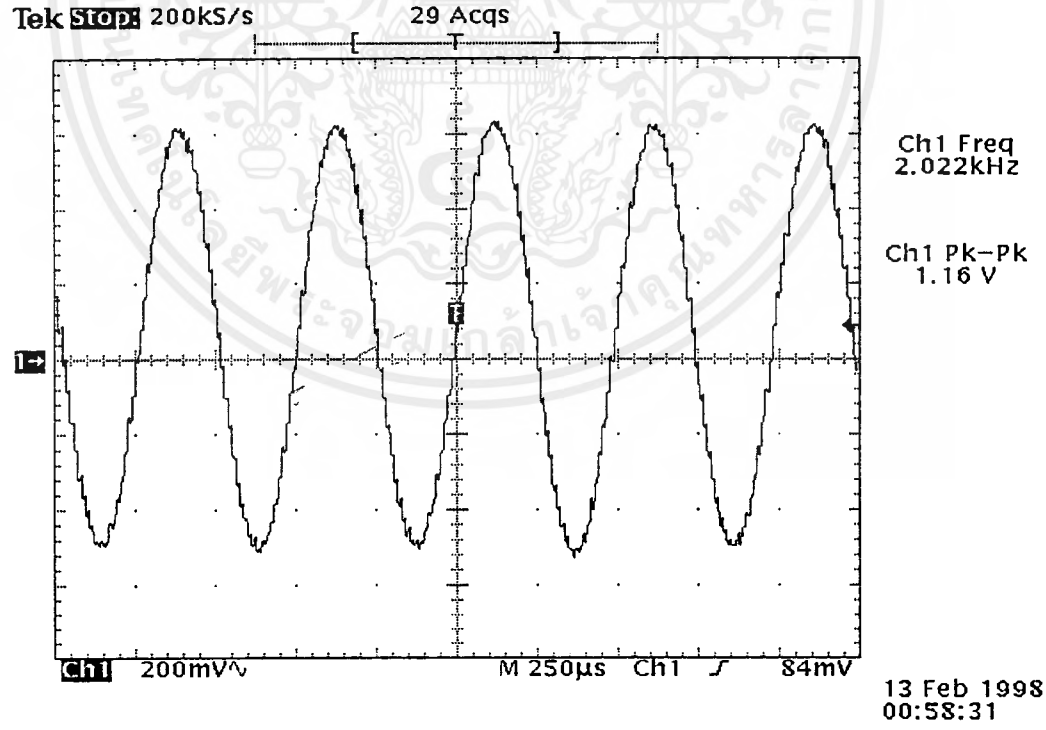



รูปที่ 4.10 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งรับสัญญาณเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

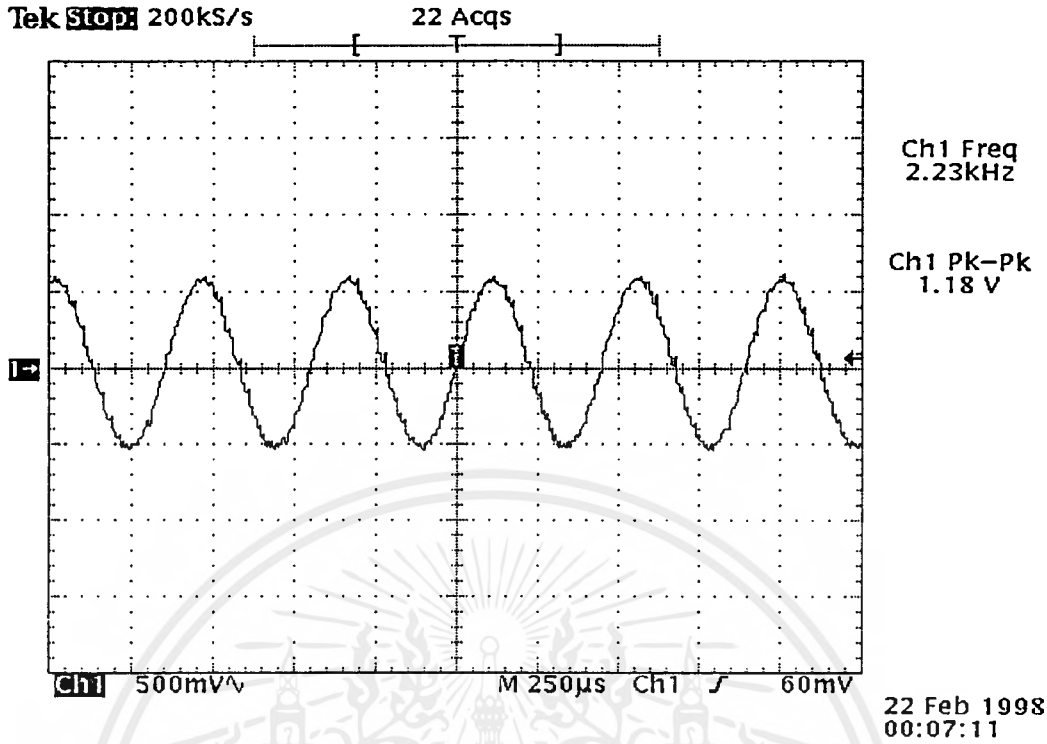



รูปที่ 4.11 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด answer ซึ่งรับสัญญาณเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณ 1



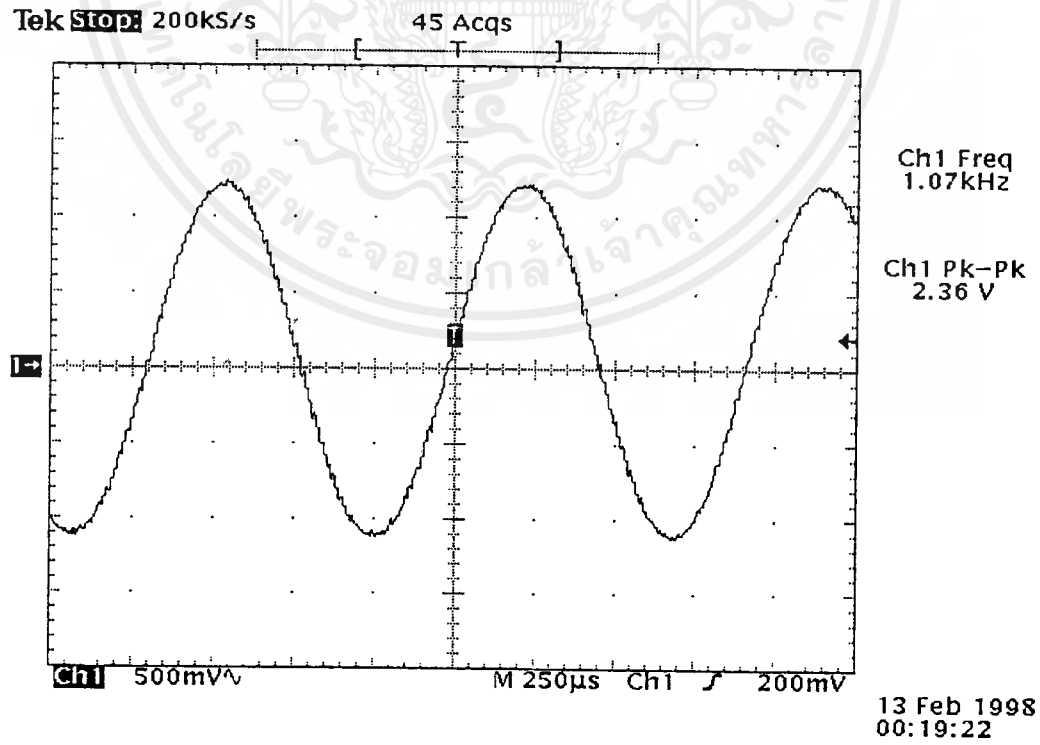

รูปที่ 4.12 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งรับสัญญาณเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



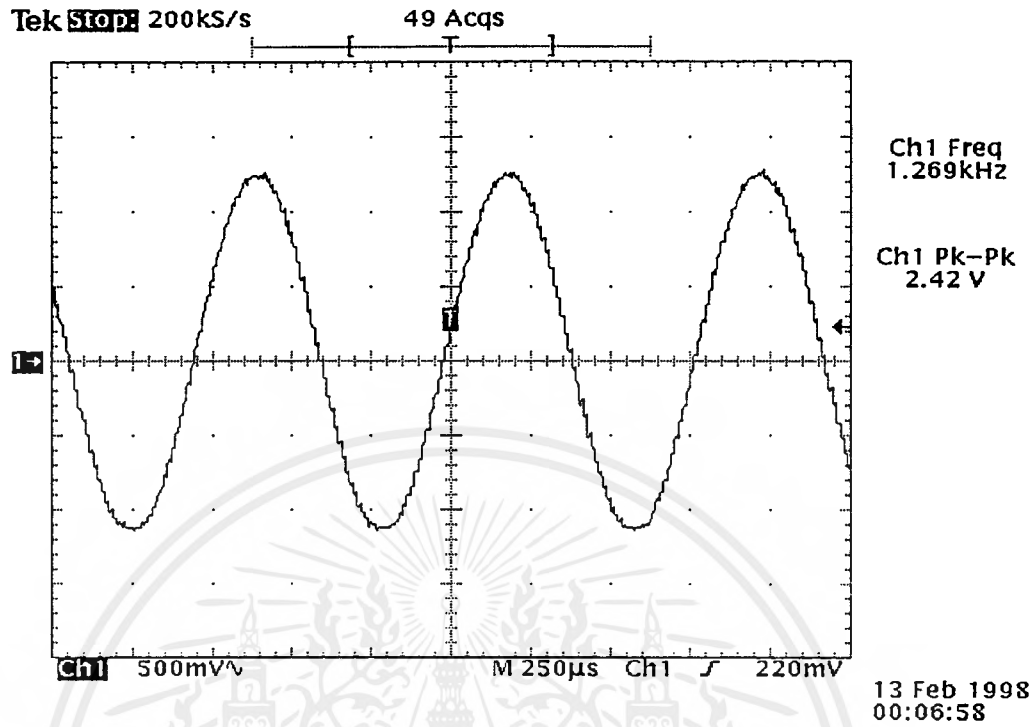

รูปที่ 4.13 แสดงเอาต์พุตของไอซีฟิลเตอร์โหมด originate ซึ่งรับสัญญาณเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณ 1

รูปที่ 4.14-4.17 เป็นสัญญาณที่จะไปเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์ซึ่งวัดจากขา 1 ของ MC 4558

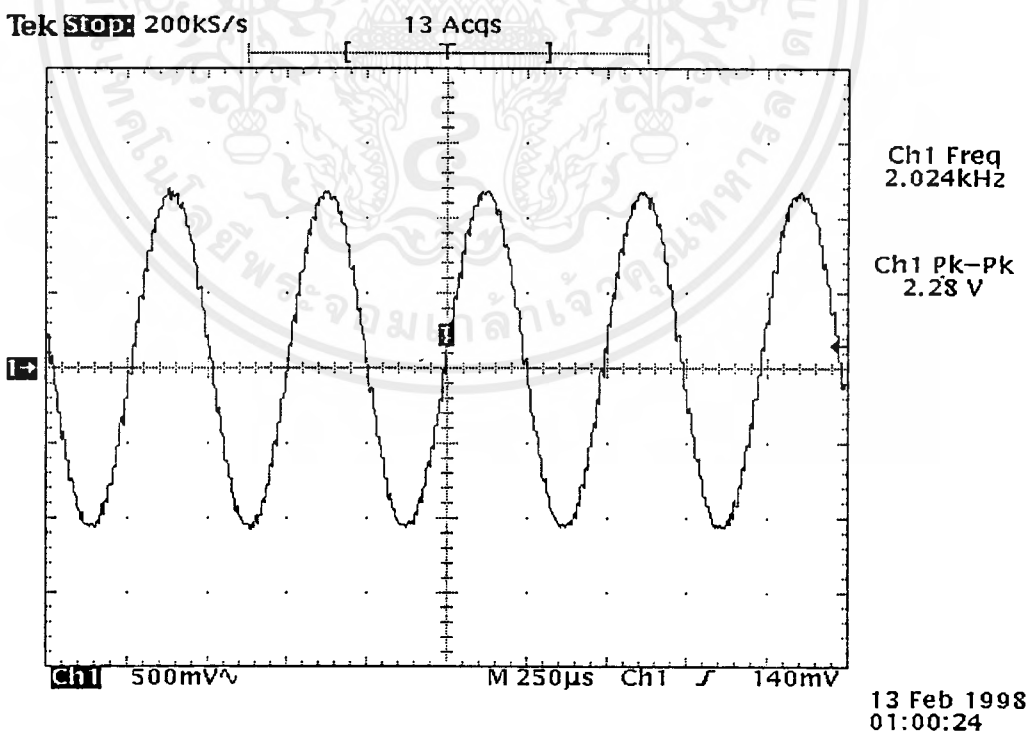



รูปที่ 4.14 แสดงความถี่ด้านต่ำโหมด originate ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

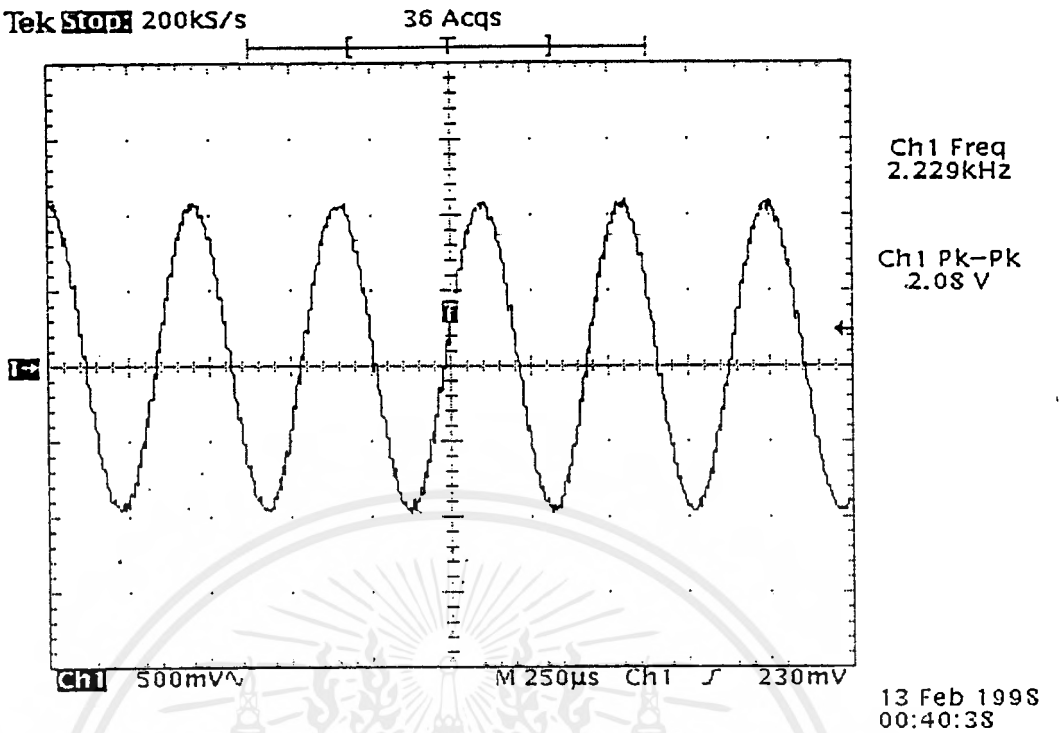



รูปที่ 4.15 แสดงความถี่ด้านสูงโหมด originate ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์




รูปที่ 4.16 แสดงความถี่ด้านต่ำโหมด answer ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

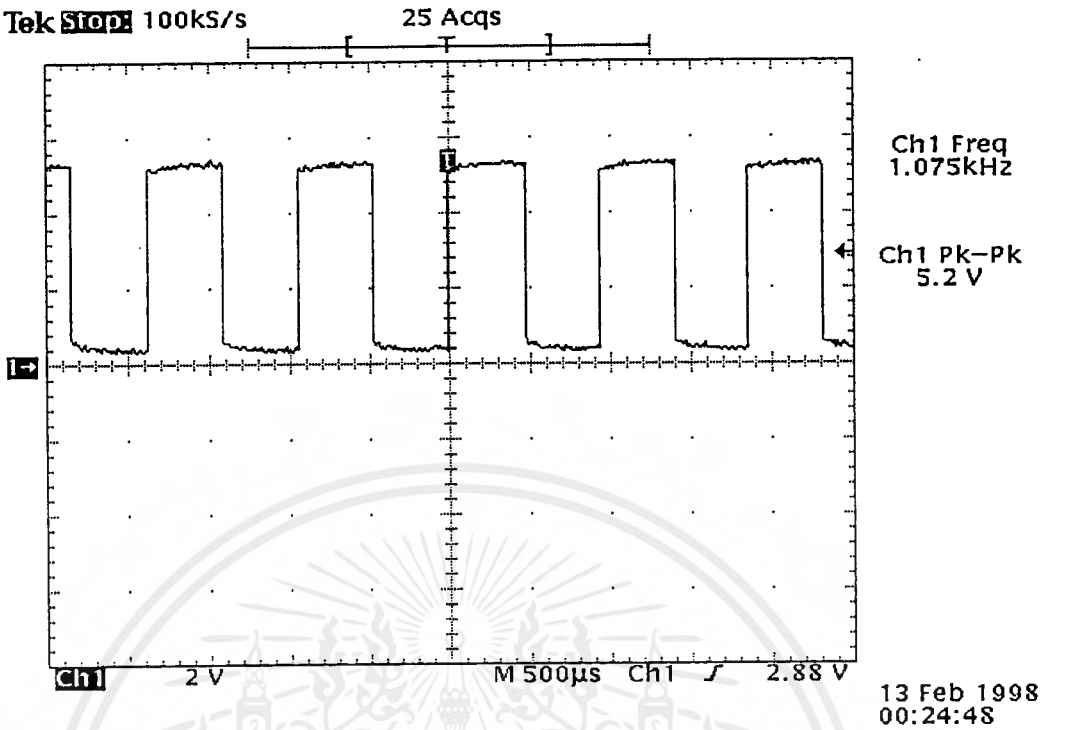



รูปที่ 4.17 แสดงความถี่ด้านสูงโหมด answer ก่อนเข้าอินพุตของลิมิตเตอร์

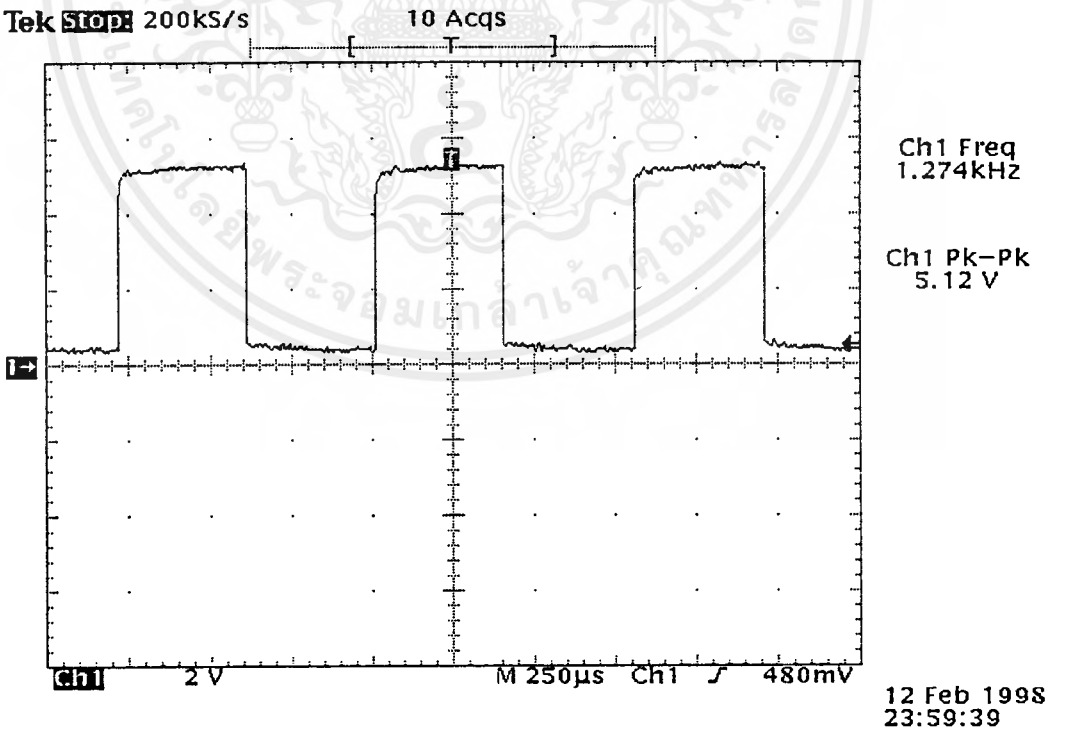
**4.3 การทดลองภาคลิมิตเตอร์**

สัญญาณจากขา 1 ของ MC 4558 จะเข้ามาที่ขา 9 ของ LM 339A จากนั้นวัดเอาต์พุตที่ขา 14 ของ LM 339A จะได้รูปสัญญาณสี่เหลี่ยมซึ่งได้มาโดย เมื่อครึ่งคลื่นอินพุตเป็นบวกระดับสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่า 0 โวลต์ ส่วนอินพุตครึ่งคลื่นลบจะให้เอาต์พุตมีค่าประมาณ 5 โวลต์ ซึ่งเอาต์พุตจากภาคลิมิตเตอร์นี้จะเป็นสัญญาณที่จะจำกัดแรงดันและทำให้การดีโมดูเลตสัญญาณของ MC 14412 ถูกต้อง โดยความถี่ที่ได้จะต้องเท่ากับความถี่จากอินพุทที่รับเข้ามา ดังรูปที่ 4.18 - 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

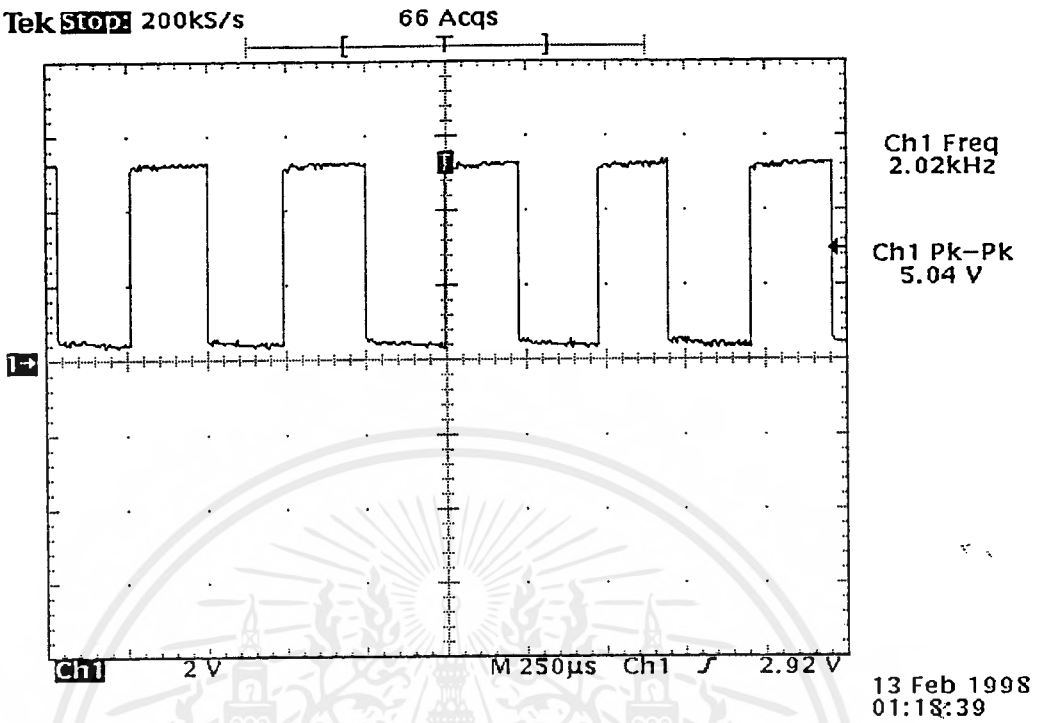



รูปที่ 4.18 แสดงเอาต์พุตจากภาคลิมิเตอร์จากความถี่ด้านต่ำโหมด originate

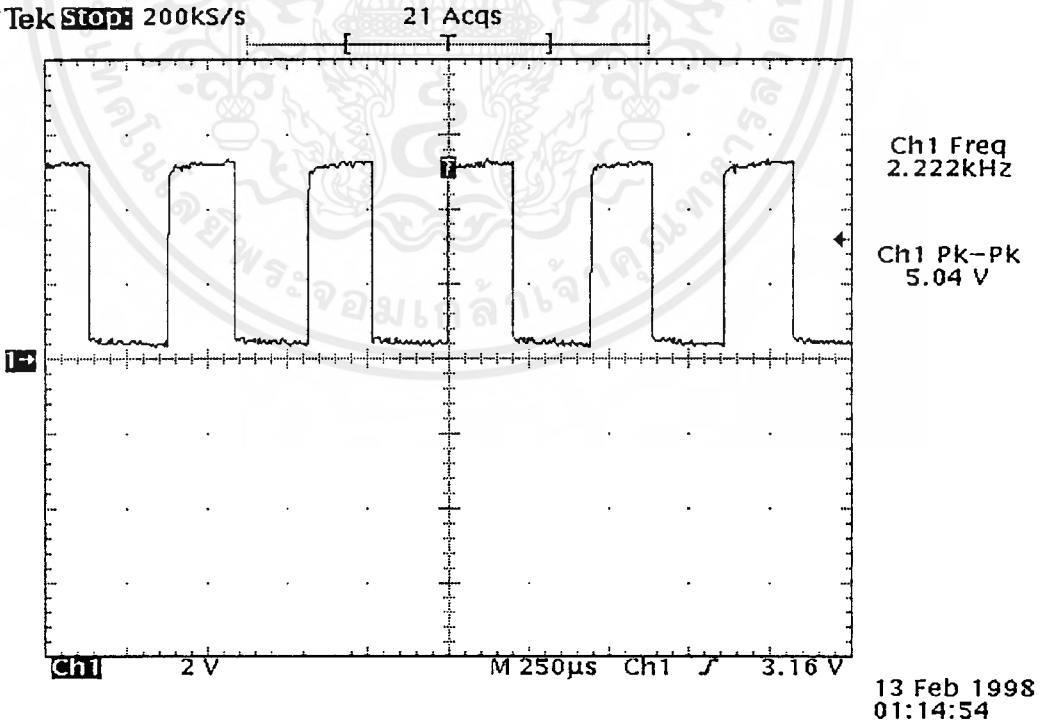



รูปที่ 4.19 แสดงเอาต์พุตจากภาคลิมิเตอร์จากความถี่ด้านสูงโหมด originate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.20 แสดงเอาต์พุตจากภาคลิมิเตอร์จากความถี่ด้านต่ำโหมด answer




รูปที่ 4.21 แสดงเอาต์พุตจากภาคลิมิเตอร์จากความถี่ด้านสูงโหมด answer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

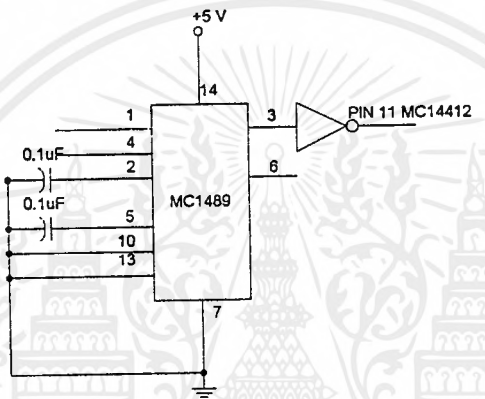
**4.4 การทดลองภาคดีโมดูเลเตอร์**

ภาคดีโมดูเลเตอร์จะใช้ไอซีเบอร์ 14412 เป็นไอซีหลักในการดีโมดูเลต จากการทดลองเบื้องต้นได้นำเอาต์พุตจากวงจรลิมิตเตอร์ป้อนเข้าที่ขา 1 ของ MC 14412 และใช้ LED แสดงสัญญาณที่ผ่านออกมาจากขา 7 ของ MC 14412

ขณะที่มีความถี่ด้านสูง คือ 1270 Hzและ 2225 Hz เข้ามาที่ขา 1 ของ MC 14412 จะได้เอาต์พุตที่ขา 7 เป็นลอจิก 1 ( ประมาณ 5 โวลต์ ) LED ก็จะติด แสดงว่ามีสัญญาณลอจิก 1 ออกมา และเมื่อมีความถี่ด้านต่ำ คือ 1070 Hz และ 2025 Hz เข้ามา จะได้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 ( ประมาณ 0 โวลต์ ) LED จะไม่ติด

**4.5 การทดลองภาคไดรเวอร์และรีซีฟเวอร์ (Driver and Receiver)**

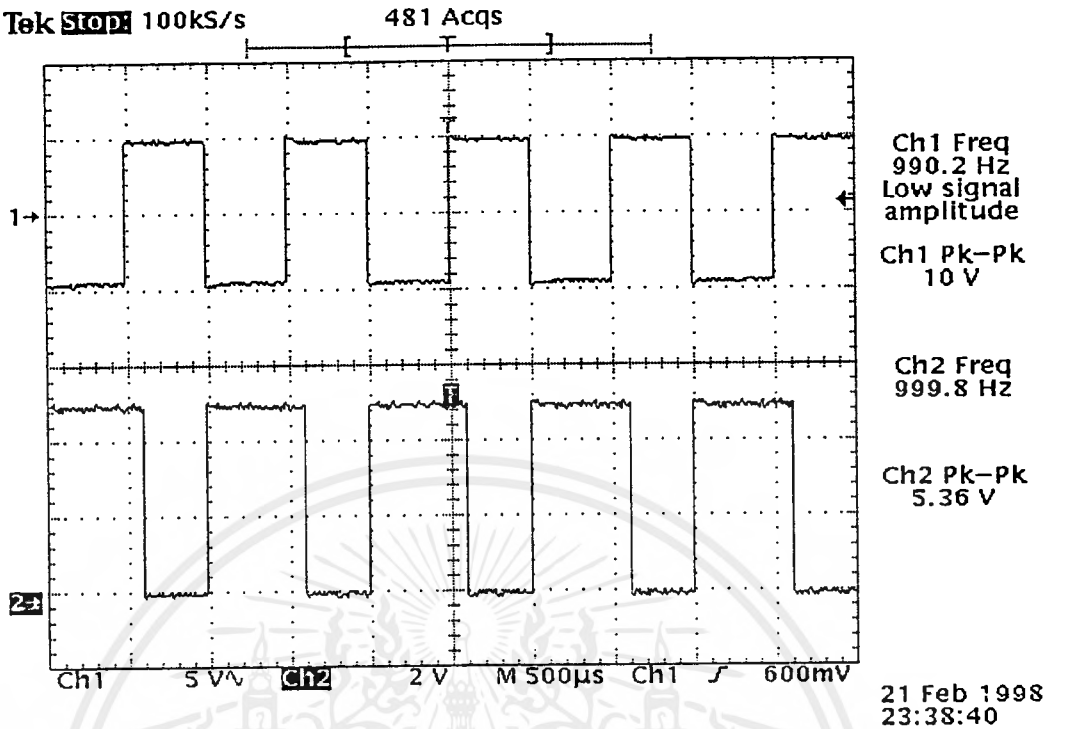
-รีซีฟเวอร์ MC 1489




รูปที่ 4.22 แสดงวงจรรีซีฟเวอร์ MC 1489

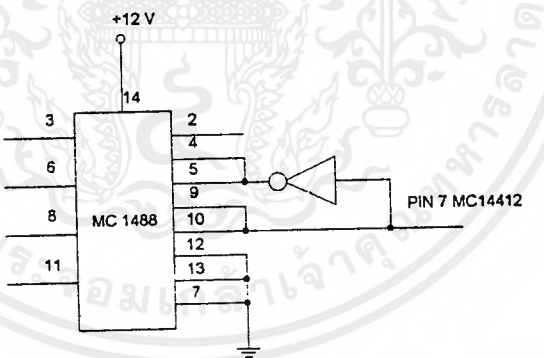
รีซีฟเวอร์ MC 1489เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนระดับสัญญาณของ RS-232 (-3ถึง-12โวลต์) เป็นลอจิก 1 และ +3 โวลต์ ถึง +12 โวลต์ เป็นลอจิก 0 ) ให้เป็นระดับแรงดันของ ทีทีแอล ( TTL ) ( 5 โวลต์ เป็นลอจิก 1 และ 0 V เป็นลอจิก 0 ) ในการทดลองโดย การป้อนสัญญาณทดสอบและนำไปป้อนให้ MC 1489 ที่ขา 1 และวัดเอาต์พุตที่ขา 2 จากการเปรียบเทียบการวัดระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของ MC 1489 โดยใช้ออสซิลโลสโคปจะเห็นได้ว่าที่ระดับแรงดันที่ขา 1 ของ MC 1489 เป็นบวก จะให้เอาต์พุตออกมาที่ขา 3 ของ MC 1489 เป็นลอจิก 0 ( ประมาณ 0 โวลต์ ) และที่ระดับแรงดันที่ขา 3 ของ MC 1489 เป็นลบจะทำให้เอาต์พุตที่ขา 3 ของ MC 1489 เป็นลอจิก 1 (ประมาณ 5 โวลต์) ดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรรีซีฟเวอร์เมื่อเทียบกับอินพุต

-ไดรเวอร์ MC 1488



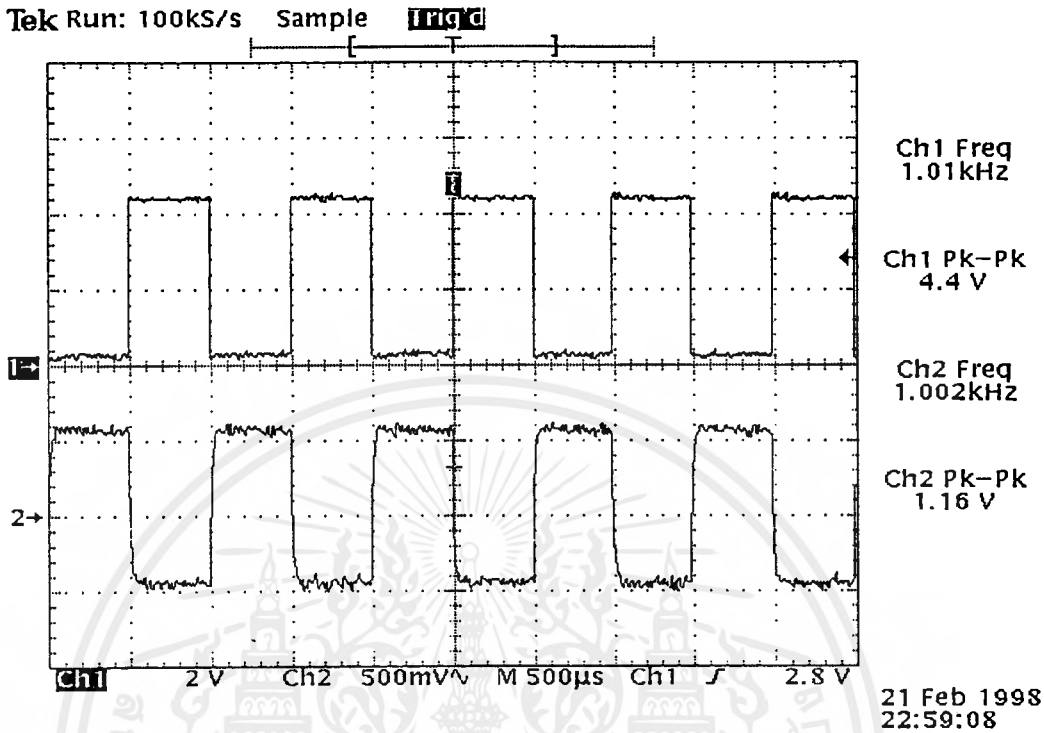

รูปที่ 4.24 แสดงวงจรไดรเวอร์ MC1488

ไดรเวอร์ MC 1488 เป็นไอซีอินเตอร์เฟสที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันของข้อมูล จากระดับแรงดัน ทีทีแอล ( ระดับแรงดันประมาณ 5 โวลต์แทนลอจิก 1 และระดับแรงดันประมาณ 0โวลต์ แทนลอจิก 0 ) เป็นระดับแรงดันของ RS-232 ( -3 ถึง -12 โวลต์เป็นลอจิก 1 และ +3 โวลต์ ถึง +12 โวลต์ เป็นลอจิก 0 )

ในการทดลองได้นำเอาข้อมูลทางดิจิตอลซึ่งมีระดับแรงดัน 0 ถึง 5 โวลต์มาป้อนเข้าที่ขา 9 และขา 10 ของ MC 1488 และใช้ออสซิลโลสโคปจับที่ขา 8 ของ MC1488 จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อระดับแรงดันที่ขา 9 และขา 10 ของ MC 1488 เป็น 0 โวลต์ จะได้แรงดันที่ขา 8 เป็นบวก ( หรือลอจิก 0 นั่นเอง ) และเมื่อระดับแรงดันที่ขา 9 และขา 10 ของ MC 1488 เป็น 5 โวลต์ หรือลอจิก 1 จะได้แรงดันที่ขา 8 ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC 1488 เป็นลบ ( หรือลอจิก 1 นั่นเอง )




รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรไดรเวอร์ เมื่อเทียบกับอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## บทวิจารณ์และบทสรุป

ในการทดลองได้ทำการสร้างโมเด็มขึ้นมา 2 ชุด แล้วทำการส่งข้อมูล 0,1 แบบฟูลดูเพล็กซ์ ตามมาตรฐานของ Bell 103 แล้วบันทึกผลการทดลองในแต่ละส่วน

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่า ค่าความถี่ที่ได้จากการโมดูเลตสัญญาณจากไอซีเบอร์ MC 14412 มีค่าถูกต้องใกล้เคียงกับมาตรฐานของ Bell 103 ที่กำหนดไว้คือโหมด originate ความถี่ 1070 Hz และ 1270 Hz สำหรับสัญญาณ 0 และ 1 ตามลำดับ ส่วนในโหมด answer ใช้ความถี่ 2025 Hz และ 2225 Hz สำหรับสัญญาณ 0 และ1 ตามลำดับเช่นกัน เมื่อสัญญาณผ่านไปยังฟิลเตอร์เพื่อกรองเอาความถี่ที่ต้องการแล้ว สัญญาณจะผ่านดูเพล็กเซอร์ส่งออกสายโทรศัพท์ เข้าสู่ดูเพล็กเซอร์และฟิลเตอร์ด้านรับ ส่งสัญญาณผ่านลิมิตเตอร์เข้าสู่ภาคดีโมดูเลตของ MC 14412 ด้านรับ ซึ่งจากผลการทดลองโดยใช้ LED เป็นตัวแสดงว่ามีสัญญาณ 0 หรือ 1 ออกมาหรือไม่นั้น LED จะติด-ดับได้อย่างถูกต้องแสดงว่ามีการดีโมดูเลตสัญญาณได้อย่างถูกต้องเช่นกัน เมื่อทำการอินเตอร์เฟสชุดโมเด็มเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วทดลองส่งไฟล์ข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปX-talkความเร็ว 300 บอด ปรากฏว่าข้อมูลยังมีความผิดพลาดอยู่ในการส่ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ในการทดลองนี้ใช้การอินเตอร์เฟสทางเดียวอย่างง่ายกับ DB-9 และจากการผิดพลาดของวงจรฟิลเตอร์ทำให้การดีโมดูเลตสัญญาณผิดพลาดไป

จากชุดทดลองโมเด็มที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานในการสื่อสารข้อมูลจริงๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลยังต่ำอยู่มาก และยังมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลอยู่ซึ่งควรได้รับการปรับปรุงในส่วนของการอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ หรือเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการรับ-ส่งข้อมูลให้สามารถที่จะเลือกความเร็วต่างๆในการส่ง ( ไม่เกิน 300 บอด ) เพื่อที่จะสามารถทดสอบได้ว่า ที่ความเร็วเท่าใด การส่งข้อมูลจึงจะถูกต้อง ที่กล่าวมาเป็นแนวทางที่จะพัฒนาชุดทดลองโมเด็มนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลได้อย่างแน่นอนและถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14412

## CMOS LSI

(LOW-POWER COMPLEMENTARY MOS)

UNIVERSAL LOW SPEED
(0-600 bps)
MODEM

### UNIVERSAL LOW SPEED MODEM (0-600 bps)

The MC14412 contains a complete FSK (Frequency-Shift Keying) modulator and demodulator compatible with both foreign (C.C.I.T.T. standards) and U.S.A. low speed (0 to 600 (bps) communication networks.

- On-Chip Crystal Oscillator with External Crystal
- Echo Suppressor Disable Tone Generator
- Originate and Answer Modes
- Simplex, Half-Duplex, and Full-Duplex Operation
- On-Chip Sine Wave Generator
- Modem Self Test Mode
- Single Supply:
  $V_{DD}$ = 4.75 to 15 Vdc MC14412FP, MC14412 FL
  $V_{DD}$ = 4.75 to 6.0 Vdc MC14412VP, MC14412VL
- Selectable Data Rates: 0-300, 0-600 bps
- Post Detection Filter
- TTL or CMOS Compatible Inputs and Outputs

L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620

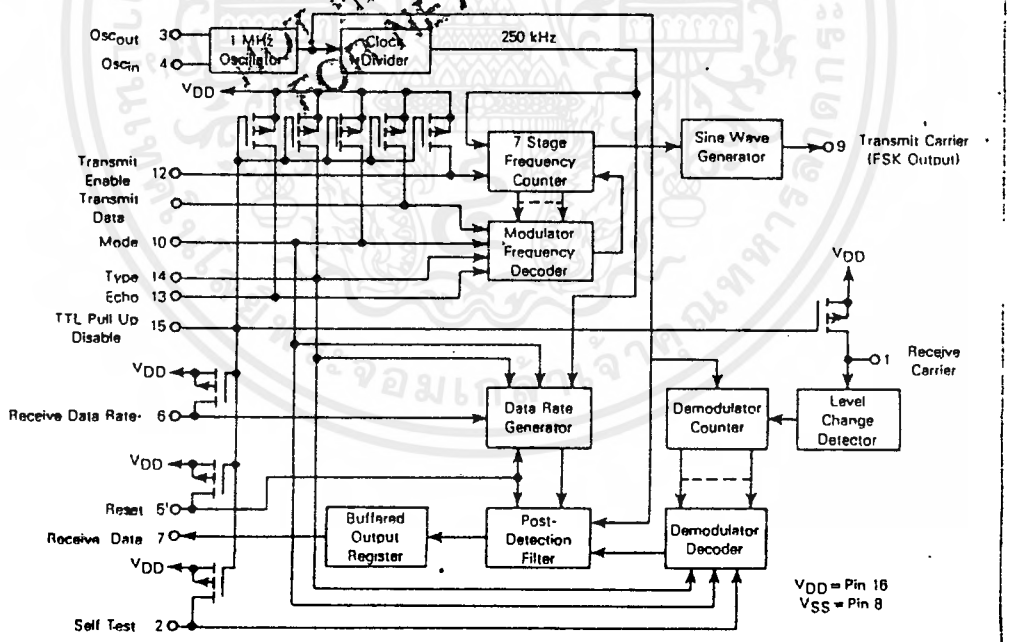
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

ORDERING INFORMATION

MC144XX — Suffix Denotes
- L Ceramic Package
- P Plastic Package
- F 4.75 to 15 Vdc
- V 4.75 to 6.0 Vdc

NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN

BLOCK DIAGRAM




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | $V_{DD}$** Vdc | −40°C Min | −40°C Max | +25°C Min | +25°C Typ | +25°C Max | +85°C Min | +85°C Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Output Voltage Pin 7 Only "0" Level $V_{in}$ = $V_{DD}$ or 0 | $V_{OL}$ | 5.0 | – | 0.05 | – | 0 | 0.05 | – | 0.05 | V |
| | | 10 | – | 0.05 | – | 0 | 0.05 | – | 0.05 | |
| | | 15 | – | 0.05 | – | 0 | 0.05 | – | 0.05 | |
| "1" Level $V_{in}$ = 0 or $V_{DD}$ | $V_{OH}$ | 5.0 | 4.95 | – | 4.95 | 5.0 | – | 4.95 | – | V |
| | | 10 | 9.95 | – | 9.95 | 10 | – | 9.95 | – | |
| | | 15 | 14.95 | – | 14.95 | 15 | – | 14.95 | – | |
| Input Voltage* "0" Level | $V_{IL}$ | | | | | | | | | V |
| ($V_O$ = 4.5 or 0.5 V) | | 5.0 | – | 1.5 | – | 2.25 | 1.5 | – | 1.5 | |
| ($V_O$ = 9.0 or 1.0 V) | | 10 | – | 3.0 | – | 4.50 | 3.0 | – | 3.0 | |
| ($V_O$ = 13.5 or 1.5 V) | | 15 | – | 4.0 | – | 6.75 | 4.0 | – | 4.0 | |
| "1" Level Pin 15 | $V_{IH}$ | 5 to 15 | $V_{DD}$ − 0.75 | – | $V_{DD}$ − 0.8 | $V_{DD}$ − 2 | – | $V_{DD}$ − 0.85 | – | V |
| ($V_O$ = 0.5 or 4.5 V) | | 5.0 | 3.5 | – | 3.5 | 2.75 | – | 3.5 | – | |
| ($V_O$ = 1.0 or 9.0 V) | | 10 | 7.0 | – | 7.0 | 5.50 | – | 7.0 | – | |
| ($V_O$ = 1.5 or 13.5 V) | | 15 | 11.0 | – | 11.0 | 8.25 | – | 11.0 | – | |
| Output Drive Current Pin 7 Only ($V_{OH}$ = 2.5) | $I_{OH}$ | 5 | −0.62 | – | −0.5 | −1.5 | – | −0.35 | – | mA |
| ($V_{OH}$ = 9.5) | | 10 | −0.62 | – | −0.5 | −1.0 | – | −0.35 | – | |
| ($V_{OH}$ = 13.5) | | 15 | −1.8 | – | −1.5 | −3.6 | – | −1.1 | – | |
| ($V_{OL}$ = 0.4) | $I_{OL}$ | 4.75 | 2.3 | – | 2.0 | 4.0 | – | 1.6 | – | mA |
| ($V_{OL}$ = 0.5) | | 10 | 5.3 | – | 4.5 | 10 | – | 3.6 | – | |
| ($V_{OL}$ = 1.5) | | 15 | 15 | – | 13 | 35 | – | 10 | – | |
| Input Current (Pin 15 = $V_{DD}$) | $I_{in}$ | – | – | – | – | – | ±0.00001 | ±0.1 | – | – | μA |
| Input Pull-Up Resistor Source Current (Pin 15 = $V_{SS}$, $V_{in}$ = 2.4 Vdc) Pins 1, 2, 5, 6, 10, 11 12, 13, 14 | $I_P$ | 5 | 285 | – | 250 | 480 | – | 205 | – | μA |
| Input Capacitance | $C_{in}$ | – | – | – | – | 5.0 | – | – | – | pF |
| Total Supply Current (Pin 15 = $V_{DD}$) | $I_T$ | 5 | – | 4.5 | – | 1.1 | 4.0 | – | 3.5 | mA |
| | | 10 | – | 13 | – | 4.0 | 12 | – | 11 | |
| | | 15 | – | 27 | – | 8.0 | 25 | – | 23 | |
| Modulator/Demodulator Frequency Accuracy (Excluding Crystal) | ACC | 5 to 15 | – | – | – | 0.5 | – | – | – | % |
| Transmit Carrier Output 2nd Harmonic | $V_{2H}$ | 5 | – | – | −20 | −25 | – | – | – | dB |
| | | 15 | – | – | −25 | −32 | – | – | – | |
| Transmit Carrier Output Voltage ($R_L$ = 100 kΩ) (Pin 9) | $V_{out}$ | 5 | – | – | 0.2 | 0.30 | – | – | – | $V_{RMS}$ |
| | | 10 | – | – | 0.5 | 0.85 | – | – | – | |
| | | 15 | – | – | 1.0 | 1.5 | – | – | – | |
| Maximum Receive Carrier Rise and Fall Times (Pin 1) | $t_r$, $t_f$ | 5 | – | 15 | – | – | 15 | – | 15 | μs |
| | | 10 | – | 5.0 | – | – | 5.0 | – | 5.0 | |
| | | 15 | – | 4.0 | – | – | 4.0 | – | 4.0 | |
| Maximum Oscillator Frequency | $f_{max}$ | 5 | – | – | 1.2 | 5 | – | – | – | MHz |
| Minimum Clock Pulse Width | $t_w$ | 5 | – | – | – | 50 | 350 | – | – | ns |

*DC Noise Immunity ($V_{IL}$, $V_{IH}$) is defined as the maximum voltage change from an ideal "0" or "1" input level, that the circuit will withstand before accepting an erroneous input.

**Note: Only 5-Volt specifications apply to MC14412VP devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

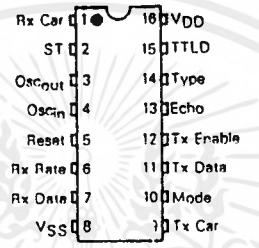
**MAXIMUM RATINGS** (Voltages referenced to $V_{SS}$, Pin 8)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| DC Supply Voltages<br>MC14412FP, FL<br>MC14412VP, VL | $V_{DD}$ | −0.5 to 15<br>−0.5 to 6.0 | V |
| Input Voltages, All Inputs | $V_{in}$ | $V_{DD}$ + 0.5 to $V_{SS}$ − 0.5 | V |
| DC Current Drain per Pin (except Pin 8, 7) | I | 10 | mA |
| DC Current Drain (Pin 8, 7) | I | 35 | mA |
| Operating Temperature Range | $T_A$ | −40 to +85 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{stg}$ | −65 to +150 | °C |

This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields; however, it is advised that normal precautions be taken to avoid application of any voltage higher than maximum rated voltages to this high impedance circuit. For proper operation it is recommended that $V_{in}$ and $V_{out}$ be constrained to the range $V_{SS} \le (V_{in}$ or $V_{out}) \le V_{DD}$.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either $V_{SS}$ or $V_{DD}$).

**PIN ASSIGNMENT**




## DEVICE OPERATION

### GENERAL

Figure 1 shows the modem in a system application. The data to be transmitted is presented in serial format to the modulator for conversion to FSK signals for transmission over the telephone network. The modulator output is buffered/amplified before driving the 600 ohm telephone line.

The FSK signal from the remote modem is received via the telephone line and filtered to remove extraneous signals such as the local Transmit Carrier. This filtering can be either a bandpass which passes only the desired band of frequencies or a notch which rejects the known interfering signal. The desired signal is then limited to preserve the axis crossings and fed to the demodulator where the data is recovered from the received FSK carrier.

### INPUT/OUTPUT FUNCTIONS

Figure 2 shows the I/O interface for the MC14412 low-speed modem. The following is a description of each individual signal.

### TYPE (Pin 14)

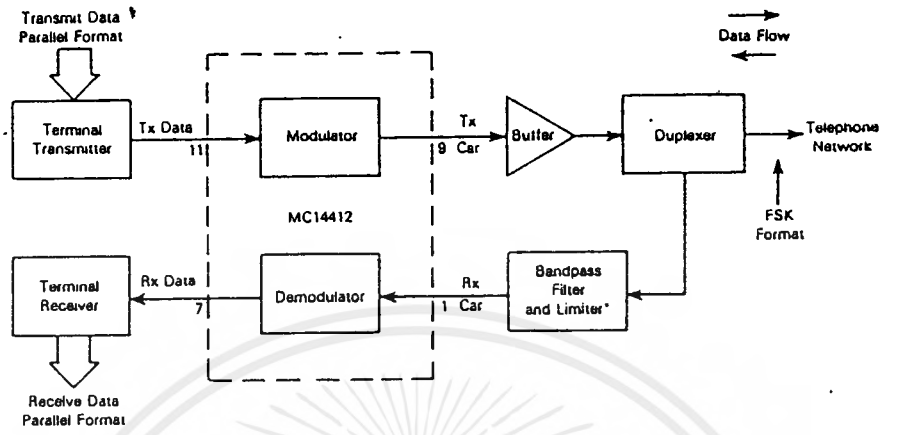
The Type input selects either the U.S. or C.C.I.T.T. operational frequencies for both transmitting and receiving data. When the Type input = "1", the U.S. standard is selected and when the Type input = "0", the C.C.I.T.T. standard is selected.

### TRANSMIT DATA (Tx Data, Pin 11)

Transmit Data is the binary information input. Data entered for transmission is modulated using FSK techniques. When operating in the U.S. standard (Type = "1") a logic "1" input level represents a Mark or when operating in the CCITT standard (Type = "0") a logic "1" input level represents a Mark.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

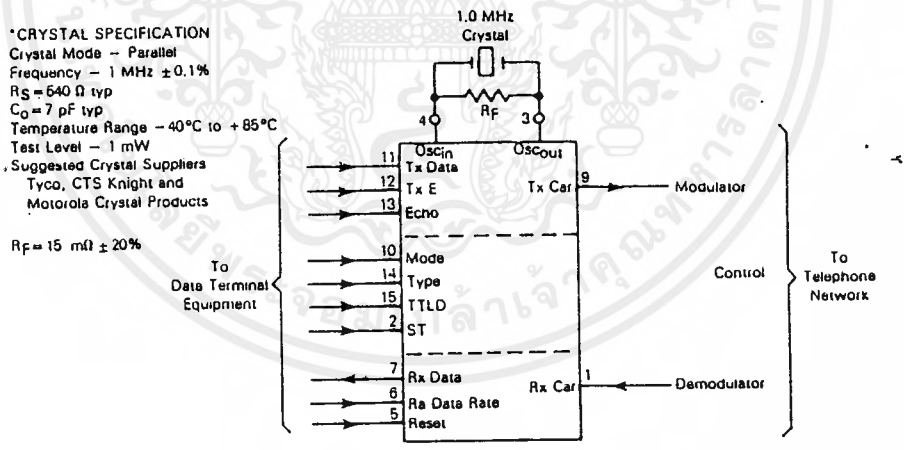
FIGURE 1 — TYPICAL LOW-SPEED MODEM APPLICATION




Since the modulator and demodulator sections of the MC14412 are functionally equivalent to those of the MC6860, additional application information can be obtained from the following Motorola publications:

| | |
|---|---|
| AN-731 | Low-speed Modem Fundamentals |
| AN-747 | Low-speed Modem System Design Using the MC6860 |
| EB-49 | Application Performance of the MC6860 MODEM. |

FIGURE 2 — MC14412 INPUT/OUTPUT SIGNALS




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### TRANSMIT CARRIER (Tx Car, Pin 9)

The Transmit Carrier is a digital-synthesized sine wave derived from a 1.0 MHz oscillator reference. The Tx CAR has an AC output impedance of 5 kΩ typical. The frequency characteristics are as follows:

United States Standard
Type = "1"
Echo = "0"

| Mode | | Tx Data | | Tx Car |
|---|---|---|---|---|
| Originate | "1" | Mark | "1" | 1270 Hz |
| Originate | "1" | Space | "0" | 1070 Hz |
| Answer | "0" | Mark | "1" | 2225 Hz |
| Answer | "0" | Space | "0" | 2025 Hz |

C.C.I.T.T. Standard
Type = "0"
Echo = "0"

| Mode | | Tx Data | | Tx Car |
|---|---|---|---|---|
| Channel | "1" | Mark | "1" | 980 Hz |
| No. 1 | "1" | Space | "0" | 1180 Hz |
| Channel | "0" | Mark | "1" | 1650 Hz |
| No. 2 | "0" | Space | "0" | 1850 Hz |

Echo Suppressor Disable Tone
Type = "0"
Echo = "1"

| Mode | Tx Data | Tx Car |
|---|---|---|
| Chan. No. 2 "0" | "1" | 2100 Hz |

### TRANSMIT ENABLE (Tx Enable, Pin 12)

The Transmit Carrier output is enabled when the Tx Enable input = "1". No output tone can be transmitted when Tx Enable = "0".

### MODE (Pin 10)

The Mode input selects the pair of transmitting and receive frequencies used during modulation and demodulation. When Mode = "1", the U.S. originate mode is selected (Type input = "1") or the C.C.I.T.T. Channel No. 1 (Type input = "0"). When mode = "0", the U.S. answer mode is selected (Type input = "1") or the C.C.I.T.T. Channel No. 2 (Type input = "0").

### ECHO (Pin 13)

When the Echo input = "1" (Type = "0", Mode = "0", Tx Data = "1") the modulator will transmit a 2100 Hz tone for disabling line echo suppressors. During normal data transmission, this input should be low = "0".

### RECEIVE DATA (Rx Data, Pin 7)

The Receive Data output is the digital data resulting from demodulating the Receive Carrier.

### RECEIVE CARRIER (Rx Car, Pin 1)

The Receive Carrier is the FSK input to the demodulator. This input must have either a CMOS or TTL compatible logic level input (see TTL pull-up disable) at a duty cycle of 50% ±2%, that is a square wave resulting from a signal limiter.

### RECEIVE DATA RATE (Rx Rate, Pin 6)

The demodulator has been optimized for signal to noise performance at 300, and 600 bps.

| Data Rate | Rx Rate |
|---|---|
| 0-300 bps | "1" |
| 0-600 bps | "0" |

### SELF TEST (ST, Pin 2)

When a high level (ST = "1") is placed on this input, the demodulator is switched to the modulator frequency and demodulates the transmitted FSK signal.

### RESET (Pin 5)

This input is provided to decrease the test time of the chip. In normal operation, this input may be used to disable the demodulator (Reset = "1") – otherwise it should be tied low = "0". The reset pin does not reset Rx data pin 7.

### CRYSTAL ($Osc_{in}$, $Osc_{out}$, Pin 4, Pin 3, respectively)

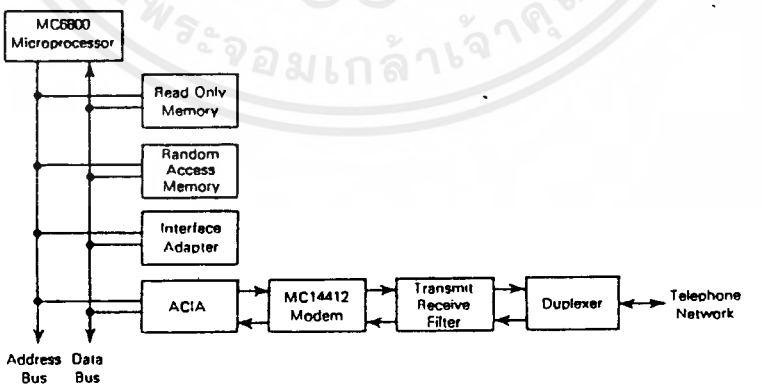
A 1.0 MHz crystal is required to utilize the on chip oscillator. A 1.0 MHz square wave clock can also be applied to the $Osc_{in}$ input to satisfy the clock requirement (see Figure 2).

When utilizing the 1.0 MHz crystal, external parasitic capacitance, including crystal shunt capacitance, must be <9 pF at the crystal input (pin 4). Pin 3 is capable of driving only one CMOS input.

### TTL PULL-UP DISABLE (TTLD, Pin 15)

To improve TTL interface compatibility, all of the inputs to the MODEM have controllable P-Channel devices which act as pull-up resistors when TTLD input is low ("0"). When the input is taken high ("1") the pull-up is disabled, thus reducing power dissipation when interfacing with CMOS. Pin 15 should be taken high ("1") with $V_{DD}$ greater than 6 volts.

FIGURE 3 – M6800 MICROCOMPUTER FAMILY BLOCK DIAGRAM




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC145440

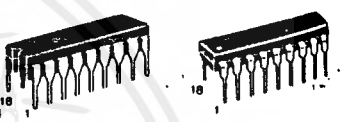
## BELL 103 300 BAUD MODEM BAND-PASS FILTER

The MC145440 is a 300 baud modem filter designed to be used with the MC14412, MC145445, or MC6860 modems. These modem/filter combinations fulfill the major requirements of a complete Bell 103 300 baud modem system. The MC145441 is also available to fulfill the CCITT V.21 equivalent filtering function. Features of the MC145440 include:

- Low Band Band-pass Filter
- High Band Band-pass Filter
- Bell 103 Frequency Compatible
- Spare Operational Amplifier
- Answer or Originate Mode
- Self Test Loopback Configuration
- Single or Split Power Supply Operation
- 18-Pin Package

**CMOS**
(LOW-POWER COMPLEMENTARY MOS)

300 BAUD MODEM
BAND-PASS SWITCHED
CAPACITOR FILTER

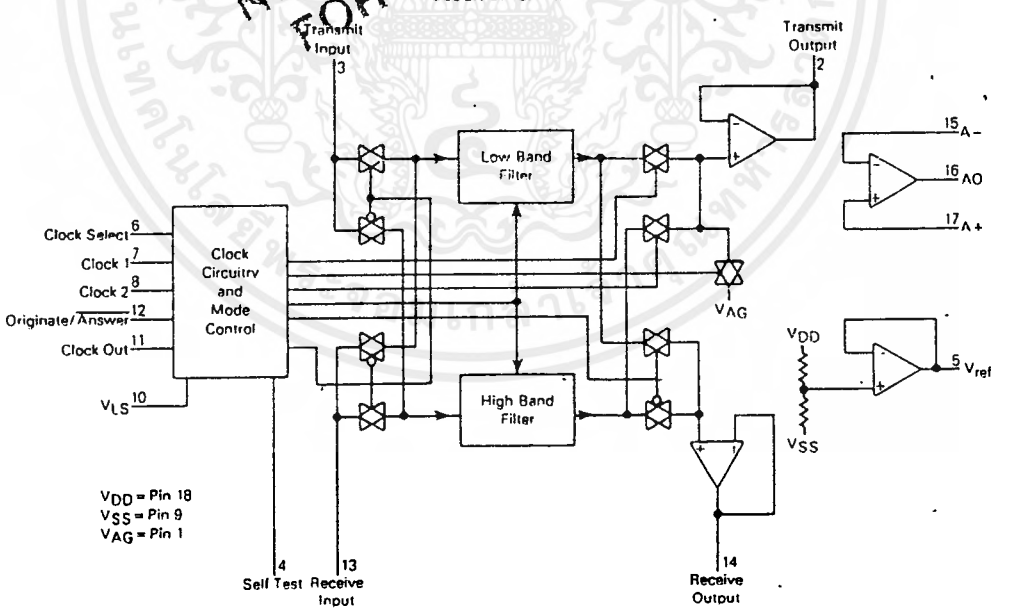


L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 726

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707

NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN

BLOCK DIAGRAM




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FUNCTIONAL DESCRIPTION

This device is capable of four basic analog configurations determined by the state of O/$\overline{A}$ and ST. The normal (non-self test) and self test modes in both the answer and originate modes will be discussed.

In the normal originate mode, O/$\overline{A}$ is a "1" and self test, ST, is a "0". When in this mode, the Tx carrier from the modem is input on TxI and routed through the low band band-pass filter. The filter output is switched to the input of the Tx op-amp which typically drives the Tx carrier off chip into a duplexer circuit which could be implemented with the spare operational amplifier. The output of the duplexer drives RxI which is switched to the input of the high band band-pass filter. The filter output is available at RxO which is typically the input to a limiter and carrier detector.

The normal answer mode is established by a "0" on both O/$\overline{A}$ and ST. This mode is identical to the normal originate mode with one exception: the band-pass filters swap positions, i.e., the high band band-pass filter is switched into the transmit path, and the low band band-pass filter is switched into the receive path.

When used with the MC14412 in the self test mode, the device will function as follows. A "1" on the self test pin of both devices enables the self test mode. The modem switches its demodulator to its modulator frequency and demodulates its own modulated carrier. The modem then switches the transmit carrier of the modem from TxI through the low band filter and out the RxO pin to the limiter when in the originate mode. When the system is in the answer mode, the modulated signal is instead routed through the high band filter. TxO will remain at mid-supply ($V_{AG}$) during self test operations.

FIGURE 1 – TEST CIRCUIT

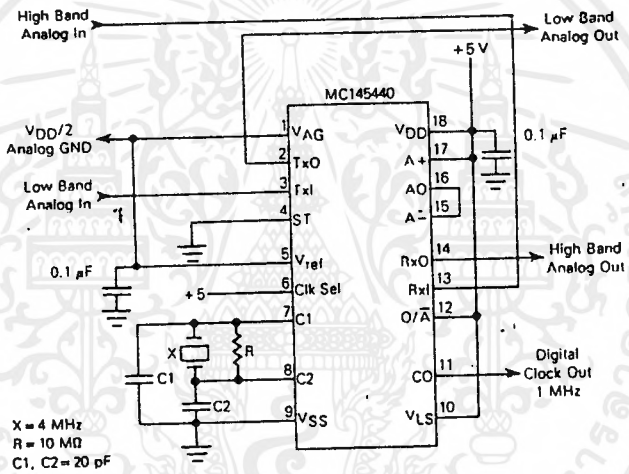
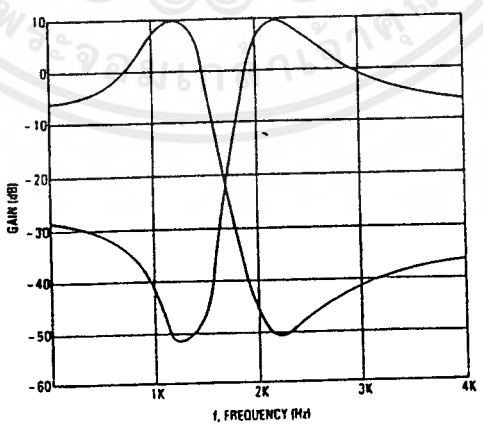



FIGURE 2 – MC145440 FREQUENCY RESPONSE

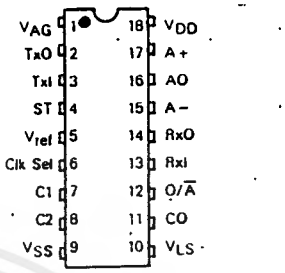



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MAXIMUM RATINGS** ($V_{SS}$ = 0 V)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| DC Supply Voltage | $V_{DD}$ | −0.5 to 18 | V |
| Input Voltage, all pins | $V_{in}$ | −0.5 to $V_{DD}$ + 0.5 | V |
| DC Current Drain per pin (Not $V_{DD}$ or $V_{SS}$) | I | 10 | mA |
| Operating Temperature Range | $T_A$ | −40 to 85 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{stg}$ | −65 to 150 | °C |

**PIN ASSIGNMENT**




**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| DC Supply Voltage | $V_{DD}$-$V_{SS}$ | 4.5 | 10 | 16 | V |

**DIGITAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_A$ = −40 to 85°C)

| Characteristic | | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Operating Current, $V_{DD}$ = 10 V, $V_{SS}$ = 0 V, 1 MHz Crystal | | $I_{DD}$ | – | – | 10 | mA |
| Input Capacitance | | $C_{in}$ | – | 5.0 | 7.5 | pF |
| **Mode Control Logic Levels** | | | | | | |
| $V_{LS}$ | TTL Mode | – | $V_{SS}$ | – | $V_{DD}$ − 4.0 | V |
| | CMOS Mode | $V_{IH}$ | $V_{DD}$ − 0.5 | – | $V_{DD}$ | |
| Clock Select (CS) | State 1, 4.0 MHz | $V_{IH}$ | $V_{DD}$ − 0.5 | – | $V_{DD}$ | V |
| | State 2, 3.884 MHz | $V_{IM}$ | ($V_{DD}$ − $V_{SS}$)/2 − 0.5 | – | ($V_{DD}$ − $V_{SS}$)/2 + 0.5 | |
| | State 3, 1.0 MHz | $V_{IL}$ | $V_{SS}$ | – | $V_{SS}$ + 0.5 | |
| **O/A: TTL Logic Levels** ($V_{DD}$ = 5 V, $V_{SS}$ = −5 V, $V_{LS}$ = 0 V) | | | | | | |
| Input Current | "1" level | $I_{IH}$ | – | – | +0.3 | μA |
| | "0" Level | $I_{IL}$ | −0.3 | – | – | |
| Input Voltage | "1" level | $V_{IH}$ | $V_{LS}$ + 2.0 | – | – | V |
| | "0" level | $V_{IL}$ | – | – | $V_{LS}$ + 0.8 | |
| **ST, C1, O/A: CMOS Logic Levels** ($V_{LS}$ = $V_{DD}$, $V_{SS}$ = 0 V) | | | | | | |
| Input Current | "1" level | $I_{IH}$ | – | – | +0.3 | μA |
| | "0" level | $I_{IL}$ | −0.3 | – | – | |
| Input Voltage | "1" level, $V_{DD}$ = 10 V | $V_{IH}$ | 7.5 | 5.75 | – | V |
| | "0" level, $V_{DD}$ = 10 V | $V_{IL}$ | – | 4.25 | 3.0 | |
| **CO: Output Characteristics** ($V_{DD}$ = 10, $V_{SS}$ = 0 V) | | | | | | |
| TTL Output Voltage (TTL Mode) | "1" level, $I_O$ = 8 mA | $V_{OH}$ | 2.4 | – | – | V |
| | "0" level, $I_O$ = 2.5 mA | $V_{OL}$ | – | – | 0.8 | |
| CMOS Output Current | $V_{DD}$ = 10 V, $V_{OH}$ = 9.5 V | $I_{OH}$ | −1.3 | −2.25 | – | mA |
| | $V_{DD}$ = 10 V, $V_{OL}$ = 0.5 V | $I_{OL}$ | 1.1 | 2.25 | – | |

**ANALOG ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($V_{DD}$ = 10 V, $V_{AG}$ = 5 V, $V_{SS}$ = 0 V, $T_A$ = 0 to 70°C)

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| DC Input Current ($V_{AG}$) | $I_I$ | −50 | – | +50 | μA |
| DC Input Current (Txi, Rxi) | $I_I$ | −10 | – | +10 | μA |
| AC Input Impedance (Txi, Rxi) | $Z_{in}$ | 0.2 | 1.0 | – | MΩ |
| Input Voltage Range (Txi, Rxi) | $V_{in}$ | $V_{SS}$ + 1.5 | – | $V_{DD}$ − 1.5 | V |

**OP-AMP CHARACTERISTICS** ($V_{DD}$ = 5 to 10 V, $V_{AG}$ = $V_{DD}$/2, $V_{SS}$ = 0 V, $T_A$ = 0 to 70°C)

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|
| Input Offset Voltage (AO) | $I_{IO}$ | −50 | – | +50 | mV |
| Open Loop Gain ($R_L$ = 10 kΩ) | $A_{OL}$ | – | 45 | – | dB |
| Input Bias Current (A+, A−) | $I_{IB}$ | – | ±0.1 | – | μA |
| Output Noise (900 Ω) | $P_N$ | – | −3 | – | dBrnC |
| Slew Rate | $S_R$ | – | 2 | – | V/μs |
| Output Voltage Swing ($R_L$ = 600 Ω to $V_{AG}$) | – | 1.5 V | – | $V_{DD}$ − 1.5 V | V |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIN DESCRIPTIONS

$V_{DD}$ (PIN 18) – Positive power supply.

$V_{SS}$ (PIN 9) – Negative power supply.

$V_{AG}$ (PIN 1) – Analog ground. In single supply applications, $V_{AG}$ is driven from $V_{ref}$.

$V_{ref}$ (PIN 5) – This pin provides an output DC voltage at approximately $(V_{DD}-V_{SS})/2$ for use as an external analog ground in single supply applications. In symmetric dual power supply applications, $V_{ref}$ is not used.

$V_{LS}$, LOGIC SHIFT VOLTAGE (PIN 10) – This pin determines the input/output logic level compatibility of O/$\overline{A}$ and CO. When the voltage on this pin is greater than $V_{DD}-0.5$ V and less than $V_{DD}$, these digital inputs and outputs are CMOS compatible. When the voltage on this pin is less than $V_{DD}-4$ V and greater than $V_{SS}$, these digital inputs and outputs are TTL compatible, and $V_{LS}$ is connected to digital ground.

C1, C2, CLOCK 1, CLOCK 2 (PIN 7, PIN 8) – These pins connect to an internal crystal oscillator. In operation, a parallel resonant crystal is connected from C1 to C2 as well as a 10 MΩ resistor in parallel with the crystal and 20 pF capacitors from C1 and C2 to $V_{SS}$. Crystal frequencies of 1.0, 3.6864, or 4.0 MHz may be used. Alternatively, an external CMOS level signal at the crystal frequency may be applied to C1 in lieu of the crystal, capacitors, and resistor. The inverted clock signal will appear at C2 and will be a CMOS output from $V_{SS}$ to $V_{DD}$.

Clk Sel, CLOCK SELECT (PIN 6) – This pin is a three-state selector used to select one of the three crystal/clock options. When at $V_{DD}$, $V_{AG}$, or $V_{SS}$, this pin selects the 4.0, 3.6864, or 1.0 MHz crystal/clock option, respectively, for C1 and C2.

| Clock Select Pin 6 | Clock Frequency * | Clock Output Pin 11 |
|---|---|---|
| $V_{DD}$ | 4.0 MHz | 1.0 MHz |
| $V_{AG}$ | 3.6864 MHz | N/A |
| $V_{SS}$ | 1.0 MHz | 1.0 MHz |

*Use either an external clock to drive C1 Pin 7 or external crystal across C1 and C2 Pins 7 and 8.

CO, CLOCK OUT (PIN 11) – This provides a 1.0 MHz output clock signal when either the 1.0 or 4.0 MHz clock is selected and is typically used to drive the clock input to a MC14412 or MC6860 modem. The clock output is not usable when the 3.6864 MHz option is used. The logic family compatibility (CMOS or TTL) of this output is determined by $V_{LS}$.

O/$\overline{A}$, ORIGINATE, ANSWER (PIN 12) – The mode of the device, originate or answer, is selected with this pin. In the originate mode, selected with a logic "1", the low band band-pass filter is switched into the transmit path and the high band band-pass filter is switched into the receive path. In the answer mode, the filters switch position. The input levels of this pin are determined by $V_{LS}$.

TxI, TRANSMIT INPUT (PIN 3) – TxI is the input to the transmit band-pass filter which is the low band filter in the originate mode and the high band filter in the answer mode. In the self test mode, this input is routed to the appropriate band-pass filter input so as to pass the modulated data to the demodulator.

TxO, TRANSMIT OUTPUT (PIN 2) – This pin is the output of the Tx output amplifier and typically drives the modulated data into the duplexer or hybrid circuit (see ST pin).

RxI, RECEIVE INPUT (PIN 13) – RxI is the input to the receive band-pass filter which is the high band filter in the originate mode and the low band filter in the answer mode. In the self test mode, this input is disabled.

RxO, RECEIVE OUTPUT (PIN 14) – The output of the receive band-pass filter, whether low band or high band, is provided at RxO. Typically, this signal is capacitively coupled to the input of the external carrier detector and limiter. The AC coupling capacitor is required because of the variable DC offset of the receive filter.

ST, SELF TEST (PIN 4) – A "1" on ST puts the device into a self test mode which routes the modulated carrier from TxI, through the appropriate filter, and out RxO back to the receive carrier input of the modem. TxO remains at $V_{AG}$ during a self test operation. This pin is a standard CMOS input regardless of the state of $V_{LS}$.

A+ (PIN 17) – This is the noninverting input to the spare operational amplifier.

A– (PIN 15) – This is the inverting input to the spare operational amplifier.

AO (PIN 16) – This is the output of the spare operational amplifier.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

# LM139,A LM239,A, LM2901, LM339,A, MC3302

## Quad Single Supply Comparators

These comparators are designed for use in level detection, low-level sensing and memory applications in consumer automotive and industrial electronic applications.

- Single or Split Supply Operation
- Low Input Bias Current: 25 nA (Typ)
- Low Input Offset Current: ±5.0 nA (Typ)
- Low Input Offset Voltage: ±1.0 mV (Typ) LM139A Series
- Input Common Mode Voltage Range to Gnd
- Low Output Saturation Voltage: 130 mV (Typ) @ 4.0 mA
- TTL and CMOS Compatible
- ESD Clamps on the Inputs Increase Reliability without Affecting Device Operation

**QUAD COMPARATORS**

**SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT**

N, P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

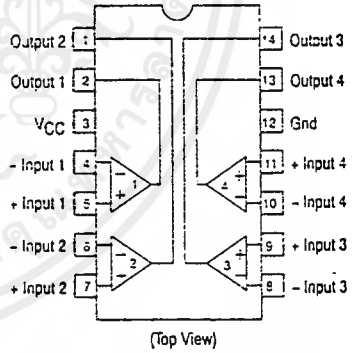
J, L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)

**MAXIMUM RATINGS**

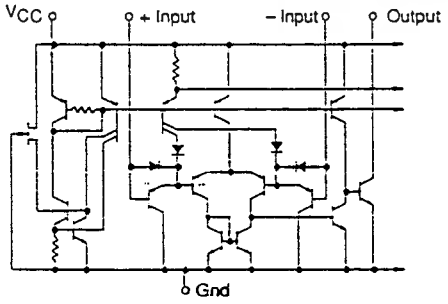
| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| Power Supply Voltage<br>LM139, A/LM239, A/LM339A/LM2901<br>MC3302 | $V_{CC}$ | <br>+36 or ±18<br>+30 or ±15 | Vdc |
| Input Differential Voltage Range<br>LM139, A/LM239, A/LM339, A LM2901<br>MC3302 | $V_{IDR}$ | <br>36<br>30 | Vdc |
| Input Common Mode Voltage Range | $V_{ICMR}$ | −0.3 to $V_{CC}$ | Vdc |
| Output Short Circuit to Ground (Note 1) | $I_{SC}$ | Continuous | |
| Input Current ($V_{in}$ < −0.3 Vdc) (Note 2) | $I_{in}$ | 50 | mA |
| Power Dissipation @ $T_A$ = 25°C<br>Ceramic Plastic Package<br>Derate above 25°C | $P_D$ | <br>1.0<br>8.0 | <br>W<br>mW/°C |
| Junction Temperature<br>Ceramic & Metal Package<br>Plastic Package | $T_J$ | <br>175<br>150 | °C |
| Operating Ambient Temperature Range<br>LM139, A<br>LM239, A<br>MC3302<br>LM2901<br>LM339, A | $T_A$ | <br>−55 to +125<br>−25 to +85<br>−40 to +85<br>−40 to +105<br>0 to +70 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{stg}$ | −65 to +150 | °C |

**PIN CONNECTIONS**




(Top View)

**Figure 1. Circuit Schematic**




NOTE: Diagram shown is for 1 comparator.

**ORDERING INFORMATION**

| Device | Temperature Range | Package |
|---|---|---|
| LM139J, AJ | −55° to +125°C | Ceramic DIP |
| LM239D, AD<br>LM239J, AJ<br>LM239N, AN | −25° to +85°C | SO-14<br>Ceramic DIP<br>Plastic DIP |
| LM339D, AD<br>LM339J, AJ<br>LM339N, AN | 0° to +70°C | SO-14<br>Ceramic DIP<br>Plastic DIP |
| LM2901D<br>LM2901N | −40° to +105°C | SO-14<br>Plastic DIP |
| MC3302L<br>MC3302P | −40° to +85°C | Ceramic DIP<br>Plastic DIP |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC4558, MC4558AC MC4558C

# Dual Wide Bandwidth Operational Amplifier

**DUAL WIDE BANDWIDTH OPERATIONAL AMPLIFIER**

**SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT**

The MC4558, AC, and C combine all the outstanding features of the MC1458 and, in addition, possess three times the unity gain bandwidth of the industry standard.

- 2.5 MHz Unity Gain Bandwidth Guaranteed (MC4558 and MC4558AC)
- 2.0 MHz Unity Gain Bandwidth Guaranteed (MC4558C)
- Internally Compensated
- Short Circuit Protection
- Gain and Phase Match between Amplifiers
- Low Power Consumption

P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626

U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693

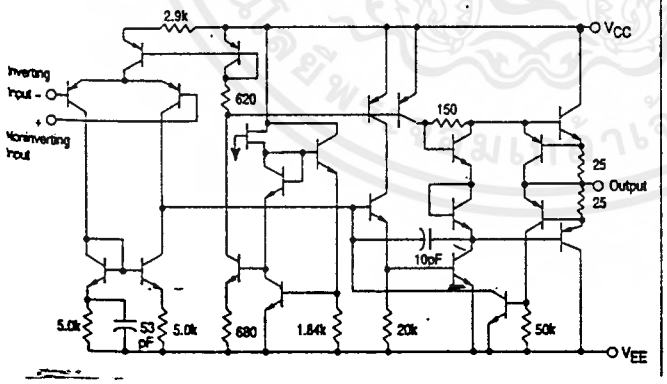
D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

**MAXIMUM RATINGS** ($T_A$ = +25°C, unless otherwise noted.)

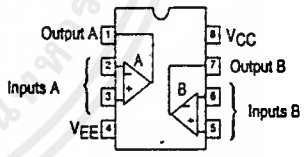
| Rating | Symbol | MC4558 MC4558AC | MC4558C | Unit |
|---|---|---|---|---|
| Power Supply Voltage | $V_{CC}$<br>$V_{EE}$ | +22<br>−22 | +18<br>−18 | Vdc |
| Input Differential Voltage | $V_{ID}$ | ±30 | | V |
| Input Common Mode Voltage (Note 1) | $V_{ICM}$ | ±15 | | V |
| Output Short Circuit Duration (Note 2) | $t_{SC}$ | Continuous | | |
| Ambient Temperature Range | $T_A$ | −55 to +125<br>0 to +70 | | |
| Storage Temperature Range<br>Ceramic Package<br>Plastic Package | $T_{stg}$ | <br>−65 to +150<br>−55 to +125 | | °C |
| Junction Temperature<br>Ceramic Package<br>Plastic Package | $T_J$ | <br>175<br>150 | | °C |

NOTES: 1. For supply voltages less than ±15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage
2. Short circuit may be to ground or either supply.

**Equivalent Circuit Schematic**
(1/2 of Circuit Shown)




**PIN CONNECTIONS**




(Top View)

**ORDERING INFORMATION**

| Device | Temperature Range | Package |
|---|---|---|
| MC4558U | −55° to +125°C | Ceramic DIP |
| MC4558CD | 0° to +70°C | SO-8 |
| MC4558ACP1, CP1 | | Plastic DIP |
| MC4558CU | | Ceramic DIP |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FREQUENCY CHARACTERISTICS** ($V_{CC}$ = +15 V, $V_{EE}$ = −15 V, $T_A$ = 25°C)

| Characteristics | Symbol | MC4558, MC4558AC | | | MC4558C | | | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Unity Gain Bandwidth | BW | 2.5 | 2.8 | — | 2.0 | 2.8 | — | MHz |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($V_{CC}$ = 15 V, $V_{EE}$ = −15 V, $T_A$ = 25°C, unless otherwise noted.)

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Input Offset Voltage ($R_S \le 10$ kΩ) | $V_{IO}$ | — | 1.0 | 5.0 | — | 2.0 | 6.0 | mV |
| Input Offset Current | $I_{IO}$ | — | 20 | 200 | — | 20 | 200 | nA |
| Input Bias Current (Note 1) | $I_{IB}$ | — | 80 | 500 | — | 80 | 500 | nA |
| Input Resistance | $r_i$ | 0.3 | 2.0 | — | 0.3 | 2.0 | — | MΩ |
| Input Capacitance | $C_i$ | — | 1.4 | — | — | 1.4 | — | pF |
| Common Mode Input Voltage Range | $V_{ICR}$ | ±12 | ±13 | — | ±12 | ±13 | — | V |
| Large Signal Voltage Gain ($V_O$ = ±10 V, $R_L$ = 2.0 kΩ) | $A_{VOL}$ | 50 | 200 | — | 20 | 200 | — | V/mV |
| Output Resistance | $r_o$ | — | 75 | — | — | 75 | — | Ω |
| Common Mode Rejection ($R_S \le 10$ kΩ) | CMR | 70 | 90 | — | 70 | 90 | — | dB |
| Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \le 10$ kΩ) | PSRR | — | 30 | 150 | — | 30 | 150 | μV/V |
| Output Voltage Swing ($R_L \ge 10$ kΩ)<br>($R_L \ge 2.0$ kΩ) | $V_O$ | ±12<br>±10 | ±14<br>±13 | —<br>— | ±12<br>±10 | ±14<br>±13 | —<br>— | V |
| Output Short Circuit Current | $I_{SC}$ | 10 | 20 | 40 | 10 | 20 | 40 | mA |
| Supply Currents (Both Amplifiers) | $I_D$ | — | 2.3 | 5.0 | — | 2.3 | 5.6 | mA |
| Power Consumption (Both Amplifiers) | $P_C$ | — | 70 | 150 | — | 70 | 170 | mW |
| Transient Response (Unity Gain)<br>($V_I$ = 20 mV, $R_L \ge 2.0$ kΩ, $C_L \le 100$ pF) Rise Time<br>($V_I$ = 20 mV, $R_L \ge 2.0$ kΩ, $C_L \le 100$ pF) Overshoot<br>($V_I$ = 10 V, $R_L \ge 2.0$ kΩ, $C_L \le 100$ pF) Slew Rate | <br>$t_{TLH}$<br>os<br>SR | <br>—<br>—<br>1.5 | <br>0.3<br>15<br>1.6 | <br>—<br>—<br>— | <br>—<br>—<br>1.0 | <br>0.3<br>15<br>1.6 | <br>—<br>—<br>— | <br>μs<br>%<br>V/μs |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($V_{CC}$ = +15 V, $V_{EE}$ = −15 V, $T_A$ = $T_{high}$ to $T_{low}$, unless otherwise noted. See Note 2.)

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Input Offset Voltage ($R_S \le 10$ kΩ) | $V_{IO}$ | — | 1.0 | 6.0 | — | — | 7.5 | mV |
| Input Offset Current<br>($T_A$ = $T_{high}$)<br>($T_A$ = $T_{low}$)<br>($T_A$ = 0° to +70°C) | $I_{IO}$ | <br>—<br>— | <br>7.0<br>85<br>— | <br>200<br>500<br>— | <br>—<br>—<br>— | <br>—<br>—<br>— | <br>—<br>—<br>300 | nA |
| Input Bias Current<br>($T_A$ = $T_{high}$)<br>($T_A$ = $T_{low}$)<br>($T_A$ = 0° to +70°C) | $I_{IB}$ | <br>—<br>— | <br>30<br>300<br>— | <br>500<br>1500<br>— | <br>—<br>—<br>— | <br>—<br>—<br>— | <br>—<br>—<br>800 | nA |
| Common Mode Input Voltage Range | $V_{ICR}$ | ±12 | ±13 | — | — | — | — | V |
| Large Signal Voltage Gain ($V_O$ = ±10 V, $R_L$ = 2.0 kΩ) | $A_{VOL}$ | 25 | — | — | 15 | — | — | V/mV |
| Common Mode Rejection ($R_S \le 10$ kΩ) | CMR | 70 | 90 | — | — | — | — | dB |
| Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \le 10$ kΩ) | PSRR | — | 30 | 150 | — | — | — | μV/V |
| Output Voltage Swing ($R_L \ge 10$ kΩ)<br>($R_L \ge 2.0$ kΩ) | $V_O$ | ±12<br>±10 | ±14<br>±13 | —<br>— | ±12<br>±10 | ±14<br>±13 | —<br>— | V |
| Supply Currents (Both Amplifiers)<br>($T_A$ = $T_{high}$)<br>($T_A$ = $T_{low}$) | $I_D$ | <br>—<br>— | <br>—<br>— | <br>4.5<br>6.0 | <br>—<br>— | <br>—<br>— | <br>5.0<br>6.7 | mA |
| Power Consumption (Both Amplifiers)<br>($T_A$ = $T_{high}$)<br>($T_A$ = $T_{low}$) | $P_C$ | <br>—<br>— | <br>—<br>— | <br>135<br>180 | <br>—<br>— | <br>—<br>— | <br>150<br>200 | mW |

**NOTES:** 1. $I_{IB}$ is out of the amplifier due to PNP input transistors.

2. $T_{high}$ = +125°C for MC4558 $T_{low}$ = −55°C for MC4558
= +70°C for MC4558C and MC4558AC = 0°C for MC4558C and MC4558AC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC1489
# MC1489A

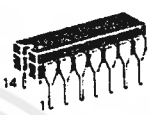
## QUAD LINE RECEIVERS

The MC1489 monolithic quad line receivers are designed to interface data terminal equipment with data communications equipment in conformance with the specifications of EIA Standard No. EIA-232D.

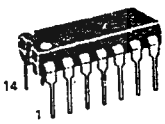
- Input Resistance – 3.0 k to 7.0 kilohms
- Input Signal Range – ±30 Volts
- Input Threshold Hysteresis Built In
- Response Control
  - a) Logic Threshold Shifting
  - b) Input Noise Filtering

**QUAD MDTL LINE RECEIVERS EIA-232D**

**SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT**



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632

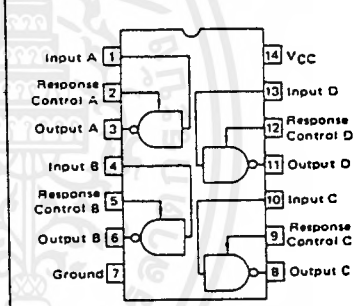


P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

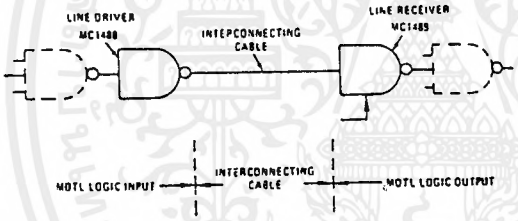
D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)

### ORDERING INFORMATION

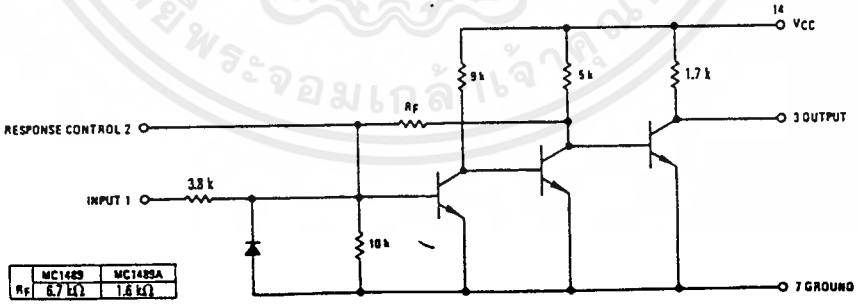
| Device | Temperature Range | Package |
|---|---|---|
| MC1489P,AP | 0 to +75°C | Plastic |
| MC1489D,AD | | SO-14 |
| MC1489L,AL | | Ceramic |




### TYPICAL APPLICATION




### EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC (1/4 OF CIRCUIT SHOWN)




| | MC1489 | MC1489A |
|---|---|---|
| $R_F$ | 6.7 kΩ | 1.6 kΩ |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MAXIMUM RATINGS** ($T_A$ = +25°C unless otherwise noted)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| Power Supply Voltage | $V_{CC}$ | 10 | Vdc |
| Input Voltage Range | $-V_{IR}$ | ±30 | Vdc |
| Output Load Current | $I_L$ | 20 | mA |
| Power Dissipation (Package Limitation, Ceramic and Plastic Dual In-Line Package)<br>Derate above $T_A$ = +25°C | $P_D$<br>$1/\theta_{JA}$ | 1000<br>6.7 | mW<br>mW/°C |
| Operating Ambient Temperature Range | $T_A$ | 0 to −75 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{stg}$ | −65 to −175 | °C |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Response control pin is open.) ($V_{CC}$ = +5.0 Vdc ±10%, $T_A$ = 0 to +75°C unless otherwise noted)

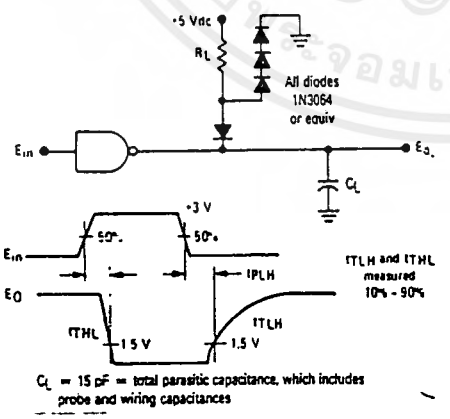
| Characteristics | | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Positive Input Current | ($V_{IH}$ = +25 Vdc)<br>($V_{IH}$ = +3.0 Vdc) | $I_{IH}$ | 3.6<br>0.43 | —<br>— | 8.3<br>— | mA |
| Negative Input Current | ($V_{IL}$ = −25 Vdc)<br>($V_{IL}$ = −3.0 Vdc) | $I_{IL}$ | −3.6<br>−0.43 | —<br>— | −8.3<br>— | mA |
| Input Turn-On Threshold Voltage ($T_A$ = −25°C, $V_{OL}$ ≤ 0.45 V) | MC1489<br>MC1489A | $V_{IH}$ | 1.0<br>1.75 | —<br>1.95 | 1.5<br>2.25 | Vdc |
| Input Turn-Off Threshold Voltage ($T_A$ = −25°C, $V_{OH}$ ≥ 2.5 V, $I_L$ = −0.5 mA) | MC1489<br>MC1489A | $V_{IL}$ | 0.75<br>0.75 | —<br>0.8 | 1.25<br>1.25 | Vdc |
| Output Voltage High | ($V_{IH}$ = 0.75 V, $I_L$ = −0.5 mA)<br>(Input Open Circuit, $I_L$ = −0.5 mA) | $V_{OH}$ | 2.5<br>2.5 | 4.0<br>4.0 | 5.0<br>5.0 | Vdc |
| Output Voltage Low | ($V_{IL}$ = 3.0 V, $I_L$ = 10 mA) | $V_{OL}$ | — | 0.2 | 0.45 | Vdc |
| Output Short-Circuit Current | | $I_{OS}$ | — | −3.0 | −4.0 | mA |
| Power Supply Current (All Gates "on," $I_{out}$ = 0 mA, $V_{IH}$ = +5.0 Vdc) | | $I_{CC}$ | — | 16 | 26 | mA |
| Power Consumption | ($V_{IH}$ = +5.0 Vdc) | $P_C$ | — | 80 | 130 | mW |

**SWITCHING CHARACTERISTICS** ($V_{CC}$ = 5.0 Vdc ±1%, $T_A$ = −25°C, See Figure 1.)

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Propagation Delay Time | ($R_L$ = 3.9 kΩ) | $t_{PLH}$ | — | 25 | 85 | ns |
| Rise Time | ($R_L$ = 3.9 kΩ) | $t_{TLH}$ | — | 120 | 175 | ns |
| Propagation Delay Time | ($R_L$ = 390 kΩ) | $t_{PHL}$ | — | 25 | 50 | ns |
| Fall Time | ($R_L$ = 390 kΩ) | $t_{THL}$ | — | 10 | 20 | ns |

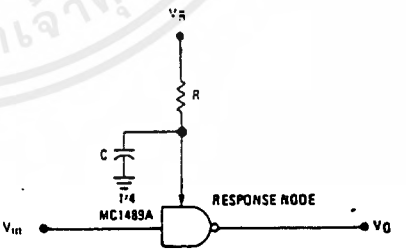
## TEST CIRCUITS

FIGURE 1 — SWITCHING RESPONSE




$C_L$ = 15 pF = total parasitic capacitance, which includes probe and wiring capacitances

FIGURE 2 — RESPONSE CONTROL NODE




C, capacitor is for noise filtering.
R, resistor is for threshold shifting.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC1488

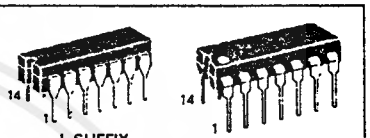
## QUAD MDTL LINE DRIVER EIA-232D

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

The MC1488 is a monolithic quad line driver designed to interface data terminal equipment with data communications equipment in conformance with the specifications of EIA Standard No. EIA-232D.

Features:

- Current Limited Output
  ±10 mA typ
- Power-Off Source Impedance
  300 Ohms min
- Simple Slew Rate Control with External Capacitor
- Flexible Operating Supply Range
- Compatible with All Motorola MDTL and MTTL Logic Families



L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632

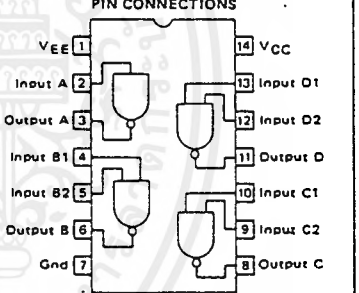
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO-14)

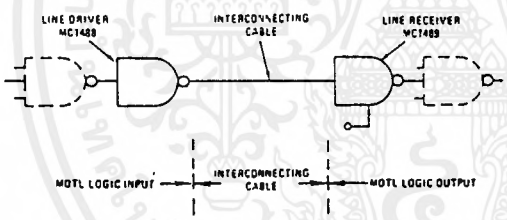
### ORDERING INFORMATION

| Device | Temperature Range | Package |
|---|---|---|
| MC1488P | 0 to + 75°C | Plastic |
| MC1488D | | SO-14 |
| MC1488L | | Ceramic |

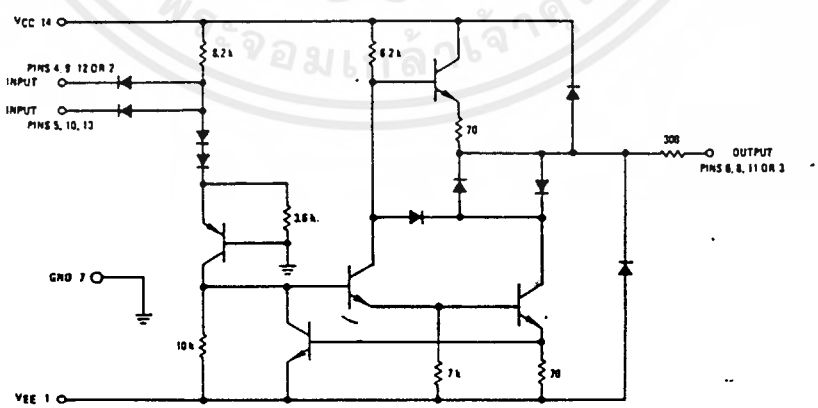
### PIN CONNECTIONS




### TYPICAL APPLICATION




### CIRCUIT SCHEMATIC
(1/4 OF CIRCUIT SHOWN)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MAXIMUM RATINGS** ($T_A$ = +25°C unless otherwise noted.)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| Power Supply Voltage | $V_{CC}$<br>$V_{EE}$ | +15<br>−15 | Vdc |
| Input Voltage Range | $V_{IR}$ | $-15 \leq V_{IR} \leq 7.0$ | Vdc |
| Output Signal Voltage | $V_O$ | ±15 | Vdc |
| Power Derating (Package Limitation, Ceramic and Plastic Dual-In-Line Package)<br>Derate above $T_A$ = +25°C | $P_D$<br>$1/R_{\theta JA}$ | 1000<br>6.7 | mW<br>mW/°C |
| Operating Ambient Temperature Range | $T_A$ | 0 to +75 | °C |
| Storage Temperature Range | $T_{stg}$ | −65 to +175 | °C |

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($V_{CC}$ = +9.0 ±1% Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 ±1% Vdc, $T_A$ = 0 to 75°C unless otherwise noted.)

| Characteristic | Figure | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input Current — Low Logic State ($V_{IL}$ = 0) | 1 | $I_{IL}$ | — | 1.0 | 1.6 | mA |
| Input Current — High Logic State ($V_{IH}$ = 5.0 V) | 1 | $I_{IH}$ | — | — | 10 | μA |
| Output Voltage — High Logic State<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $R_L$ = 3.0 kΩ, $V_{CC}$ = +9.0 Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $R_L$ = 3.0 kΩ, $V_{CC}$ = +13.2 Vdc, $V_{EE}$ = −13.2 Vdc) | 2 | $V_{OH}$ | <br>+6.0<br>+9.0 | <br>+7.0<br>+10.5 | <br>—<br>— | Vdc |
| Output Voltage — Low Logic State<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $R_L$ = 3.0 kΩ, $V_{CC}$ = +9.0 Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 Vdc)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $R_L$ = 3.0 kΩ, $V_{CC}$ = +13.2 Vdc, $V_{EE}$ = −13.2 Vdc) | 2 | $V_{OL}$ | <br>−6.0<br>−9.0 | <br>−7.0<br>−10.5 | <br>—<br>— | Vdc |
| Positive Output Short-Circuit Current, Note 1 | 3 | $I_{OS+}$ | +6.0 | +10 | +12 | mA |
| Negative Output Short-Circuit Current, Note 1 | 3 | $I_{OS-}$ | −6.0 | −10 | −12 | mA |
| Output Resistance ($V_{CC}$ = $V_{EE}$ = 0, $\|V_O\|$ = ±2.0 V) | 4 | $r_o$ | 300 | — | — | Ohms |
| Positive Supply Current ($R_L$ = ∞)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $V_{CC}$ = +9.0 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $V_{CC}$ = +9.0 Vdc)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $V_{CC}$ = +12 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $V_{CC}$ = +12 Vdc)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $V_{CC}$ = +15 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $V_{CC}$ = +15 Vdc) | 5 | $I_{CC}$ | <br>—<br>—<br>—<br>—<br>—<br>— | <br>+15<br>+4.5<br>+19<br>+5.5<br>—<br>— | <br>+20<br>+6.0<br>+25<br>+7.0<br>+34<br>+12 | mA |
| Negative Supply Current ($R_L$ = ∞)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 Vdc)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $V_{EE}$ = −12 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $V_{EE}$ = −12 Vdc)<br>($V_{IH}$ = 1.9 Vdc, $V_{EE}$ = −15 Vdc)<br>($V_{IL}$ = 0.8 Vdc, $V_{EE}$ = −15 Vdc) | 5 | $I_{EE}$ | <br>—<br>—<br>—<br>—<br>—<br>— | <br>−13<br>—<br>−18<br>—<br>—<br>— | <br>−17<br>−500<br>−23<br>−500<br>−34<br>−2.5 | mA<br>μA<br>mA<br>μA<br>mA<br>mA |
| Power Consumption<br>($V_{CC}$ = 9.0 Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 Vdc)<br>($V_{CC}$ = 12 Vdc, $V_{EE}$ = −12 Vdc) | | $P_C$ | <br>—<br>— | <br>—<br>— | <br>333<br>576 | mW |

**SWITCHING CHARACTERISTICS** ($V_{CC}$ = +9.0 ±1% Vdc, $V_{EE}$ = −9.0 ±1% Vdc, $T_A$ = +25°C.)

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Propagation Delay Time ($z_l$ = 3.0 k and 15 pF) | 6 | $t_{PLH}$ | — | 275 | 350 | ns |
| Fall Time ($z_l$ = 3.0 k and 15 pF) | 6 | $t_{THL}$ | — | 45 | 75 | ns |
| Propagation Delay Time ($z_l$ = 3.0 k and 15 pF) | 6 | $t_{PHL}$ | — | 110 | 175 | ns |
| Rise Time ($z_l$ = 3.0 k and 15 pF) | 6 | $t_{TLH}$ | — | 55 | 100 | ns |

Note 1. Maximum Package Power Dissipation may be exceeded if all outputs are shorted simultaneously.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

[1] Larry Hughes, "Data Communications" MCGraw-Hill, 1992.

[2] Ken Sherman, "Data Communications a user's guide" Prentice Hall, 1993.

[3] Driscoll, "Data Communications" Saunders, 1993.

[4] Y. Tsividis, "Design of MOS VLSI circuits for telecommunications" Prentice Hall, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้