พรินเตอร์ไร้สายด้วยระบบส่ง-รับสัญญาณความถี่ 49 MHz

WIRELESS PRINTER WITH TRANSMITTED -RECEIVED 49 MHz CARRIER

โดย

นางสาวขจิตพรรณ มกระธัช

นางสาวปิยะมน วิบูลย์ศิริกุล

วัน เดือน ปี 22 ก.ค. 2541

เลขทะเบียน 039101

เลขเรียกหนังสือ T 10301 ข 141 พ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039101

พรินเตอร์ไร้สายด้วยระบบส่ง-รับสัญญาณความถี่ 49 MHz

WIRELESS PRINTER WITH TRANSMITTED -RECEIVED 49 MHz CARRIER

โดย

นางสาวชจิตพรรณ มกระธัช 37014031

นางสาวปิยะมน วิบูลย์ศิริกุล 37014261

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง พรินเตอร์ไร้สายด้วยระบบส่ง - รับสัญญาณความถี่ 49 MHz

WIRELESS PRINTER WITH TRANSMITTED - RECEIVED 49 MHz CARRIER

ผู้จัดทำ

1.นางสาวชิตพรรณ มกระชัย 37014031

2.นางสาวปิยะมน วิบูลย์สิริกุล 37014261

ปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรินเตอร์ไร้สายด้วยระบบส่ง-รับสัญญาณความถี่ 49 MHz

WIRELESS PRINTER WITH TRANSMITTED - RECEIVED 49 MHz CARRIER

โดย นางสาวชจิตพรรณ มกระธัช 37014031
นางสาวปิยะมน วิบูลย์ศิริกุล 37014261

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบการทำงานของพรินเตอร์ไร้สายในการสั่งพิมพ์เอกสาร ในกรณีที่เครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ไกลจากพรินเตอร์ โดยการส่ง-รับสัญญาณความถี่วิทยุระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ที่ความถี่ 49 MHz ใช้การมอดูเลทและดีมอดูเลทสัญญาณแบบฟรีเควนซีชิฟท์-คีย์อิง (Frequency Shift Keying) ส่วนทางด้านซอฟท์แวร์จะจัดการเกี่ยวกับการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์และการส่งข้อมูลไปยังพรินเตอร์โดยการตรวจจับสัญญาณแฮนด์เช็คต่างๆระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์

ABSTRACT

This project presents the operation system through wireless to control a printer to print out the data in the case of the printer is remote from the computer. By the transmitting radio frequency 49 MHz in FSK modulation

Furthermore, the software consists of the program to process the data receiving from the computer to send to the printer by using handshake technique.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การเชื่อมต่อ (INTERFACE) ระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์	2
2.1.1 การอินเตอร์เฟสกับพรินเตอร์และขาการเชื่อมต่อแบบเซนโทรนิคส์	2
2.1.2 การอินเตอร์เฟสแบบอนุกรม RS-232	9
2.1.2.1 การจัดวางอักขระในรูปแบบอนุกรม	9
2.1.2.2 สายสัญญาณต่างๆ	10
2.1.2.3 ความเร็วในระบบ RS-232	11
2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	12
2.2.1 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม	13
2.2.2 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม	14
2.2.3 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส	14
2.2.4 การสื่อสารแบบซิงโครนัส	15
2.2.5 ระยะเวลาและอัตราการส่งข้อมูล	15
2.2.6 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นแบบอนุกรม	16
2.3 ชนิดและสัญญาณพรินเตอร์	17
2.3.1 ชนิดของพรินเตอร์ที่ทำการใช้งาน	17
2.3.2 สัญญาณต่างๆของพรินเตอร์	17
2.4 มอดดูเลชันเทคนิค	18
2.4.1 การสื่อสารแบบไบนารี	19
2.4.2 ฟรีเควนซี ชิฟท์ คีย์อิง	19
2.4.3 การดีเทคสัญญาณไบนารี	21
2.4.4 คลื่นเอฟเอ็มความถี่เดียว	23
2.4.4.1 เอฟเอ็มแบนด์แคบ (NBFM)	24
2.4.4.2 เอฟเอ็มแบนด์กว้าง (WBFM)	26
2.4.5 คลื่นเอฟเอ็มหลายความถี่	29
2.4.6 แบนด์วิธที่ใช้ในการส่งคลื่นเอฟเอ็ม	30
2.5 อิมิตเตอร์คัปเปลอร์โวลเตจคอนโทรลออสซิลเลตอร์	31
2.6 เฟสล็อคลูปดีมอดดูเลเตอร์	34
2.7 เฟสล็อคลูป	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	หน้า
2.8 โครงสร้างภายในของ 8051	42
2.8.1 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ	43
2.9 8255 พอร์ทข้อมูลแบบขนาน	45
2.9.1 ขาต่างๆของ 8255	46
2.9.2 การทำงานของ 8255 ในโหมด 1	47
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	51
3.1 ภาคส่ง	51
3.1.1 บล็อคไดอะแกรมของไอซี XR-2206	51
3.1.1.1 ขาและหลักการทำงานของ XR-2206	52
3.1.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณเอฟเอสเค	53
3.1.2 วงจรเอ็ฟเอ็มมอดดูเลชัน	54
3.2 ภาครับ	55
3.2.1 วงจรเอ็ฟเอ็มดีมอดดูเลชัน	55
3.2.2 วงจรเอ็ฟเอสเคดีมอดดูเลชัน	57
3.3 การใช้งานอีพรอมอีมูเลเตอร์	65
3.3.1 คุณสมบัติของ EE - 232	65
3.3.2 การติดตั้งและการปรับตำแหน่งจัมพ์เปอร์	66
3.3.3 การใช้งานพื้นฐาน	67
3.4 การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	68
3.4.1 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในพอร์ทอนุกรม	68
3.4.2 การคำนวณอัตราบอดไทม์เมอร์โหมด 1	72
3.4.3 การกำหนดเริ่มต้นและการใช้งานรีจิสเตอร์ของพอร์ทอนุกรม	72
3.4.4 การใช้งานไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์	74
3.5 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์	76
3.5.1 การเชื่อมต่อระหว่างวงจรอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์	76
3.5.2 การเชื่อมต่อระหว่างวงจรอินเตอร์เฟซกับพรินเตอร์	79
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	83
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	95
ภาคผนวก	96
กิตติกรรมประกาศ	97
หนังสืออ้างอิง	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	รูปแสดงขาของคอนเนคเตอร์แบบแอมฟีนอล	3
รูปที่ 2.2	รูปแสดงช่วงเวลาของรูปคลื่นสัญญาณที่จะส่งข้อมูลอักขระไปยังพรินเตอร์ แบบขนาน	6
รูปที่ 2.3	รูปแสดงขาคอนเนคเตอร์แบบ DB-25	7
รูปที่ 2.4	รูปแสดงตัวอักษร 'M' ในรูปแบบการส่งของ RS-232	10
รูปที่ 2.5	รูปแสดงการอินเตอร์เฟสแบบ RS-232	12
รูปที่ 2.6	รูปแสดงการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม	13
รูปที่ 2.7	รูปแสดงประเภทของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม	13
รูปที่ 2.8	รูปแสดงรูปแบบของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส	14
รูปที่ 2.9	รูปแสดงลักษณะของข้อมูลแบบขนานเมื่อถูกเปลี่ยนเป็นแบบอนุกรม	15
รูปที่ 2.10	รูปแสดงช่วงเวลาของสัญญาณเมื่อส่งด้วยอัตรา 2400 บอด	16
รูปที่ 2.11	รูปแสดงแผนผังการส่งข้อมูลแบบอนุกรม	17
รูปที่ 2.12	รูปแสดงรูปคลื่นของดิจิตอลมอดดูเลชันที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบไบนารี	19
รูปที่ 2.13	รูปแสดงรูปคลื่นของสัญญาณเอฟเอสเค	20
รูปที่ 2.14	รูปแสดงการซิงโครนัสดีเทคชันของสัญญาณเอฟเอสเค	21
รูปที่ 2.15	รูปแสดงเอนโวลโลปดีเทคเตอร์	23
รูปที่ 2.16	รูปแสดงบล็อคไดอะแกรมวิธีการผลิตสัญญาณ NBFM	25
รูปที่ 2.17	รูปแสดงการเปรียบเทียบเฟสเซอร์ของคลื่น NBFM และคลื่น AM	26
รูปที่ 2.18	รูปแสดงกราฟของ Bessels Function ชนิดที่ 1	28
รูปที่ 2.19	รูปแสดงแอมปลิจูดสเปกตรัมแบบดีสครีทของสัญญาณ FM ซึ่งนอร์มัลไลซ์ด้วยแอมปลิจูดของคลื่นพาห์เฉพาะกรณีที่การมอดูเลทคลื่นลักษณะไซน์ ซึ่งความถี่เปลี่ยนแปลงแต่แอมปลิจูดคงที่ ในที่นี้แสดงสเปคตรัมเฉพาะความถี่ที่เป็นบวกเท่านั้น	30
รูปที่ 2.20	รูปแสดงวงจรอิมิตเตอร์คัปเปลอร์	31
รูปที่ 2.21	รูปแสดงส่วนของวงจรอิมิตเตอร์คัปเปลอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 เริ่มทำงาน	32
รูปที่ 2.22	รูปแสดงระดับโวลเตจแสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์	32
รูปที่ 2.23	รูปแสดงส่วนของวงจรอิมิตเตอร์คัปเปลอร์ที่เป็น CCO	33
รูปที่ 2.24	รูปแสดงเฟสล็อคลูป	35
รูปที่ 2.25	รูปแสดงองค์ประกอบพื้นฐานของวงจรเฟสล็อคลูป	38
รูปที่ 2.26	รูปแสดงทรานส์เฟอร์คาร์แรกเทอร์ริสติกระหว่างความถี่กับแรงดันไฟฟ้าเฟสล็อคลูป	39
รูปที่ 2.27	รูปแสดงโวลเตจคอมพาราเตอร์ (Noninverting and Inverting)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.28 รูปแสดงการจัดวางขาของ 8051	42
รูปที่ 2.29 รูปแสดงผังหน่วยความจำสำหรับดาต้าเมมโมรี	44
รูปที่ 2.30 รูปแสดงไบต์ของแรมที่สามารถเข้าถึงได้ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม	44
รูปที่ 2.31 รูปแสดงแผนผังโครงสร้างของไอซี 8255	45
รูปที่ 2.32 รูปแสดงวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255	46
รูปที่ 2.33 รูปแสดงโครงสร้างตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ทอินพุทและพอร์ทอนุกรม	47
รูปที่ 2.34 รูปแสดงวงจรการต่อ 8255 ในโหมด 1	48
รูปที่ 2.35 รูปแสดงแผนผังเวลาการรับข้อมูลโดยโหมด 1 อินพุทพอร์ท	49
รูปที่ 2.36 รูปแสดงแผนผังเวลาการส่งข้อมูลโดยโหมด 1 เอาท์พุทพอร์ท	49
รูปที่ 3.1 รูปแสดงบล็อคไดอะแกรมการทำงานของพรินเตอร์ไร้สายภาคส่ง	51
รูปที่ 3.2 รูปแสดงบล็อคไดอะแกรมของไอซี XR-2206	52
รูปที่ 3.3 รูปแสดงวงจร Sinusoidal FSK Generator	54
รูปที่ 3.4 รูปแสดงวงจรเอ็ฟเอ็มมอดดูเลชัน	55
รูปที่ 3.6 รูปแสดงขาของไอซี TDA7000	56
รูปที่ 3.7 รูปแสดงวงจรเอ็ฟเอ็มดีมอดดูเลชันโดยใช้ไอซี TDA7000	56
รูปที่ 3.8 รูปแสดงวงจรภายในไอซี XR-2211	57
รูปที่ 3.9 รูปแสดงวงจรเอ็ฟเอสคดีมอดดูเลชันโดยใช้ไอซี XR-2211	58
รูปที่ 3.10รูปแสดงวงจรเฟสชิฟท์เตอร์ในไอซี TDA7000	60
รูปที่ 3.11รูปแสดงวงจรเฟสชิฟท์เตอร์ รูป a ขา A เป็นอินพุท ขา A' ลงกราวนด์	60
รูป b ขา A ลงกราวนด์ ขา A' เป็นอินพุท	
รูปที่ 3.12 รูปแสดงวงจรรวม รูป a แสดงวงจรภาคส่ง	63
รูป b แสดงวงจรภาครับ	64
รูปที่ 3.13 รูปแสดงการตั้งค่าอีพรอมใน EE-232	66
รูปที่ 3.14 รูปแสดงการต่อการใช้งาน EE-232	67
รูปที่ 3.15 รูปแสดงการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ 8255	76
รูปที่ 3.16 รูปแสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมทางด้านส่ง	78
รูปที่ 3.17 รูปแสดงการเชื่อมต่อระหว่างพรินเตอร์กับ 8255	79
รูปที่ 3.18 รูปแสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมทางด้านรับ	81
รูปที่ 3.19 รูปแสดงวงจรอินเตอร์เฟซของวงจรทางด้านส่งและทางด้านรับ	82
รูปที่ 4.1 รูปแสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่ 49 MHz จากวงจรออสซิลเลเตอร์ในภาคส่ง	83
รูปที่ 4.2 รูปแสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่ 49 MHz ที่ขา RF OUT ในภาคส่ง	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.3	รูปแสดงสเปกตรัมสัญญาณเมื่อทำการมอดดูเลทสัญญาณ FSK จากไอซี XR-2206 กับคลื่นพาหะ 49 MHz	84
รูปที่ 4.4	รูปแสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่ 49.51 MHz จากวงจรออสซิลเลเตอร์ในภาครับ	85
รูปที่ 4.5	รูปแสดงสัญญาณความถี่ IF 75 kHz ของไอซี TDA7000	85
รูปที่ 4.6	รูปแสดงระดับสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทซายน์เวฟของวงจร Sinusoidal FSK Generator กรณีสัญญาณอินพุท Vin < 2 V	86
รูปที่ 4.7	รูปแสดงระดับสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทซายน์เวฟของวงจร Sinewave FSK Generator กรณีสัญญาณอินพุท Vin > 2V	87
รูปที่ 4.8	รูปแสดงสัญญาณอินพุทจากฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์กับเอาท์พุทของวงจร FSK Sinusodial Generator	87
รูปที่ 4.9	รูปแสดงสัญญาณอินพุทเอ็ฟเอ็มมอดดูเลเตอร์ ของไอซี BA1404 และสัญญาณดีเทคได้โดยไอซี TDA7000 ในวงจรเอ็ฟเอ็มดีมอดดูเลเตอร์	88
รูปที่ 4.10	รูปแสดงสัญญาณข้อมูลที่ดีเทคได้จากไอซี TDA7000 และสัญญาณเอาท์พุทจากวงจร FSK ดีมอดดูเลเตอร์	89
รูปที่ 4.11	รูปแสดงสัญญาณเอาท์พุทจากวงจร FSK ดีมอดดูเลเตอร์ เทียบกับสัญญาณข้อมูลที่เป็นอินพุทจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์	89
รูปที่ 4.12	รูปแสดงสัญญาณข้อมูลของตัวอักษร ' A '	90
รูปที่ 4.13	รูปแสดงสัญญาณข้อมูลของตัวอักษร ' B '	90
รูปที่ 4.14	รูปแสดงสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ขา $\overline{\text{INT0}}$ ของ 8031 ทางด้านส่ง	91
รูปที่ 4.15	รูปแสดงสัญญาณสโตรปที่ส่งมาจากวงจรอินเตอร์เฟซทางด้านรับไปยังพรินเตอร์	92
รูปที่ 4.16	รูปแสดงสัญญาณข้อมูลตัวอักษร ' A ' ที่ดีเทคได้ก่อนเข้าวงจรอินเตอร์เฟซ	93
รูปที่ 4.17	รูปแสดงสัญญาณข้อมูลตัวอักษร ' A ' ที่ดีเทคจากคลื่นพาหะ 49 MHz	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงการเชื่อมต่อขาและคำอธิบายสำหรับการเชื่อมต่อขาแบบเซ็นโทรนิกส์ขนาน	3
2.2 ตารางแสดงการเชื่อมขาแบบ DB25	7
2.3 ตารางแสดงการปรับการต่อขาของ DB25 และแอมฟีนอล	8
2.4 ตารางแสดงหน้าที่ของสัญญาณต่างๆของพอร์ท C ในการทำงานเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณเมื่อทำงานในโหมด 1	48
3.1 ตารางแสดงโหมดการทำงานของพอร์ทอนุกรม	71
3.2 ตารางแสดงการกำหนดค่าข้อมูลและความผิดพลาดของอัตราบอดที่สร้างขึ้นจากคริสตอล	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมได้พัฒนาขึ้นมาก และเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตในปัจจุบันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งด้านการติดต่อสื่อสาร การคมนาคม การศึกษา การทำงาน การพักผ่อน ฯลฯ นั่นคือเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมเกี่ยวพันกับเรื่องใกล้ตัวมนุษย์อย่างยิ่ง

การนำเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมมาพัฒนาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับอุปกรณ์ไมโคร-โปรเซสเซอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ เราสามารถพัฒนานำความสามารถของทั้งสองเทคโนโลยีมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้ความสามารถด้านประมวลผล การควบคุมการทำงาน การป้อนข้อมูลและแสดงผลข้อมูลจากส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ ใช้ความสามารถด้านการสื่อสารข้อมูล การรับส่งข้อมูลและสัญญาณต่างๆจากการสื่อสารโทรคมนาคม ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีทั้งสองมาพัฒนาประยุกต์เข้าด้วยกันที่มีในปัจจุบันคือ การวางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ อินเตอร์เน็ต การใช้ระบบฐานข้อมูลในธนาคาร โรงพยาบาล สถานศึกษา หน่วยงานราชการ เป็นต้น

สำหรับโครงงานนี้นำเสนอแนวความคิดในการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับพรินเตอร์แบบไร้สาย ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมมาพัฒนาประยุกต์ใช้เข้ากับอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ผ่านคลื่นพาหะส่งออกอากาศแบบเอ็ฟเอ็ม และที่พรินเตอร์จะมีวงจรรับสัญญาณที่ส่งออกอากาศมาแล้วดีมอดดูเลตข้อมูลเป็นอินพุทให้พรินเตอร์ต่อไป การเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์กับพรินเตอร์แบบไร้สายนี้มีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องใช้สายเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ สะดวกในการใช้งาน สามารถส่งข้อมูลมาที่พรินเตอร์จากระยะไกลๆได้ ไม่เปลืองสายในการส่ง มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์หรือพรินเตอร์โดยไม่ต้องคำนึงถึงความยาวของสายที่ใช้เชื่อมต่อกัน

การทำงานระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์นั้นจะต้องมีการส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์และ พรินเตอร์ทราบว่าขณะนี้สถานะของพรินเตอร์เป็นอย่างไร พร้อมที่จะรับข้อมูลและทำการพิมพ์หรือไม่ มีสัญญาณข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ส่งมาหรือไม่ จึงมีการใช้ซีพียู 8031 ทำการจำลองสัญญาณแฮนด์เช็คต่างๆ ให้เหมือนกับการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์จริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การเชื่อมต่อ (INTERFACE) ระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์

การสื่อสารข้อมูลกับพรินเตอร์นั้น คอมพิวเตอร์สามารถส่งข้อมูล 3 ชนิดไปที่พรินเตอร์ คือ ข้อมูลตัวอักขระ รหัสควบคุม และข้อมูลทางกราฟฟิก ข้อมูลอักขระแสดงได้ในรูปของตัวอักษร ตัวเลข เครื่องหมายวรรคตอน สัญลักษณ์ต่างๆ รหัสควบคุมจะถูกใช้เพื่อส่งคำสั่งไปยังพรินเตอร์ รหัสเหล่านี้จะกำหนดโหมดการทำงาน เช่น รูปแบบตัวพิมพ์ (FONT STYLE) ขนาดตัวอักษร หรือการควบคุมที่สามารถกระทำได้โดยตรง เช่น การเลื่อนกระดาษทีละบรรทัดหรือทีละหน้า การใช้รหัสควบคุมแยกแยะมีความจำเป็นต่อการทำงานขณะที่พิมพ์เอกสาร ซึ่งรหัสควบคุมอื่นๆ จะทำให้พรินเตอร์ทำงานในโหมดกราฟฟิกต่างๆได้

2.1.1 การอินเตอร์เฟสกับพรินเตอร์ และขาการเชื่อมต่อแบบเซนโทรนิกส์

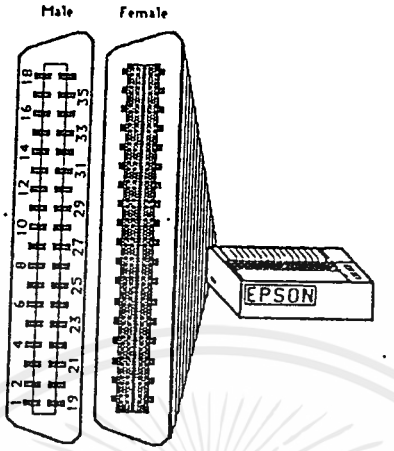
ข้อมูลที่จะส่งไปพิมพ์ที่พรินเตอร์จะส่งในลักษณะของรหัสแอสกี (ASCII) ผ่านสายแบบขนาน 8 สาย พรินเตอร์รับตัวอักษรเพื่อจะพิมพ์และเก็บข้อมูลไว้ในบัฟเฟอร์แรมภายใน เมื่อพรินเตอร์ตรวจพบอักขระแคริเอจ รีเทิร์น (Carriage Return) มันจะพิมพ์อักขระแถวแรกจากบัฟเฟอร์ เมื่อพรินเตอร์ตรวจพบแคริเอจ รีเทิร์นตัวที่สอง มันจะพิมพ์อักขระแถวที่สองออกมา ขบวนการต่างๆจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งตัวอักษรที่ต้องการทั้งหมดถูกพิมพ์

การแปลงรหัสแอสกีจากไมโครคอมพิวเตอร์ส่งไปยังพรินเตอร์จะต้องทำบนพื้นฐานการแฮนด์เช็ค เพราะไมโครคอมพิวเตอร์สามารถส่งตัวอักษรเร็วกว่าความสามารถในการพิมพ์ของพรินเตอร์มาก พรินเตอร์จะต้องมีแนวทางเพื่อที่จะบอกให้ไมโครคอมพิวเตอร์รู้ว่าบัฟเฟอร์ของมันเต็มแล้ว และไม่สามารถรับข้อมูลอักขระได้อีกจนกระทั่งพิมพ์ออกมาแล้ว มาตรฐานสำหรับการอินเตอร์เฟสกับพอร์ทขนานของพรินเตอร์เป็นมาตรฐานของ เซ็นโทรนิกส์ (Centronics Parallel Standard)

พรินเตอร์ชนิดเซ็นโทรนิกส์ โดยปกติแล้วจะมี 36 ขา ในการอินเตอร์เฟส (Interface) ตารางที่ 2.1 แสดงการกำหนดขา และคำอธิบายสำหรับขาคอนเนคเตอร์ (Connector) การที่มีขาเชื่อมต่อกับพรินเตอร์ถึง 36 ขา เนื่องจากสายของแต่ละสัญญาณข้อมูลมีสายกราวนด์ (Ground) แยกออกจากกัน เช่น จากตารางที่ 2.1 ขา 2 คือบิทข้อมูลที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ของข้อมูลที่จะส่งไปยังพรินเตอร์ และขา 20 จะเป็นกราวนด์สำหรับสายสัญญาณนี้ เหตุผลสำหรับการแยกสัญญาณกราวนด์นี้เพื่อลดสัญญาณรบกวนในสาย ถ้าจะทำการต่อสายเคเบิลแบบขนานกับพรินเตอร์ สายกราวนด์ทั้งหมดจะต้องถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อต่อกับกราวนด์ของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ปลายของสายเคเบิล โดยขา 16 เรียกว่าลอจิกกราวนด์ (Logic Ground) และขา 17 เรียกว่า แชสสิสกราวนด์ (Chassis Ground) เพื่อที่จะป้องกันกระแสสัญญาณรบกวนที่มาจากสายของลอจิกกราวนด์ จึงต้องเชื่อมต่อสายเหล่านี้เข้าด้วยกันกับไมโครคอมพิวเตอร์ ส่วนขาอื่นๆ ในจำนวน 36 ขา ของคอนเนคเตอร์นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ สัญญาณที่ส่งไปยังพรินเตอร์ เพื่อที่จะบอกว่าอะไรกำลังทำงาน และสัญญาณจากพรินเตอร์เพื่อที่จะแสดงสถานะของมัน สัญญาณควบคุมหลักไปยังพรินเตอร์คือ INIT ที่ขา 31 ซึ่งจะบอกพรินเตอร์เพื่อให้ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นภายในของลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ STROBE ที่ขา 1 ซึ่งจะบอกพรินเตอร์ว่าขณะนี้มีข้อมูลส่งมาแล้ว ส่วนอีก 2 ขาอินพุท (Input) คือขา 14 และ ขา 36 โดยปกติจะใช้สำหรับดูแลภายในพรินเตอร์ โดยตัวคอนเนคเตอร์จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแสดงขาของคอนเนคเตอร์แบบแอมฟีนอล (Amphenol)

ตารางที่ 2.1 แสดง การเชื่อมต่อขาและคำอธิบายสำหรับการเชื่อมต่อแบบเซนโทรนิคส์ขนาน

ขา สัญญาณที่	ขาสัญญาณ ตอบกลับ	สัญญาณ	ทิศทาง	คำอธิบาย
1	19	$\overline{\text{STROBE}}$	เข้า	พัลส์ (Pulse) STROBE เพื่อจะอ่านข้อมูลเข้ามา ความกว้างของพัลส์จะต้องมากกว่า 0.5 µs ที่เทอร์มินัลด้านรับ ระดับสัญญาณปกติจะอยู่ในสภาวะ " สูง " การอ่านข้อมูลเข้ากระทำที่ระดับสัญญาณ " ต่ำ "
2	20	DATA1	เข้า	สัญญาณเหล่านี้ จะแสดงข่าวสารข้อมูลของบิทที่ 1-8 ของข้อมูลขนานตามลำดับ แต่ละสัญญาณจะมีระดับ " สูง " เมื่อมีข้อมูลเป็นลอจิก " 1 " และมีระดับ " ต่ำ " เมื่อมีข้อมูลเป็นลอจิก " 0 "
3	21	DATA2	เข้า	
4	22	DATA3	เข้า	
5	23	DATA4	เข้า	
6	24	DATA5	เข้า	
7	25	DATA6	เข้า	
8	26	DATA7	เข้า	
9	27	DATA8	เข้า	
10	28	ACKNLG	ออก	พัลส์ประมาณ 5 µs สถานะ " ต่ำ " แสดงว่าข้อมูลนั้นถูกรับโดยพรินเตอร์แล้ว และพร้อมที่จะรับข้อมูลอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา สัญญาณที่	ขาสัญญาณ ตอบกลับ	สัญญาณ	ทิศทาง	คำอธิบาย
11	29	BUSY	ออก	สัญญาณ " สูง " แสดงว่าพรินเตอร์ไม่สามารถรับข้อมูล ถ้าสัญญาณกลายเป็นสถานะ " สูง " จะมีกรณีต่างๆดังนี้ 1. อยู่ในระหว่างข้อมูลเข้า 2. อยู่ในระหว่างกระทำการพิมพ์ 3. อยู่ในสถานะออฟไลน์ (offline) 4. อยู่ในสถานะเกิดเหตุผิดพลาดที่พริน-เตอร์
12	30	PE	ออก	สัญญาณ " สูง " แสดงว่าพรินเตอร์อยู่ในสภาวะไม่มีกระดาษ
13	-	SLCT	ออก	สัญญาณนี้แสดงว่าพรินเตอร์อยู่ในสภาะถูกเลือก
14	-	$\overline{\text{AUTO FEEDXT}}$	เข้า	ถ้าสัญญาณนี้อยู่ที่ระดับ " ต่ำ " กระดาษถูกเลื่อนโดยอัตโนมัติ 1 บรรทัด หลังการพิมพ์ (ระดับสัญญาณสามารถกำหนดที่ระดับ ต่ำ กับดิฟสวิตช์ขา 2-3 เตรียมไว้สำหรับควบคุมแผงวงจร)
15	-	NC		ไม่ใช้
16	-	0V		ระดับลอจิกกราวนด์
17	-	CHASSIS GND	-	พรินเตอร์ แชสสิสกราวนด์ ในพรินเตอร์แชสสิสกราวนด์และลอจิกกราวนด์จะแยกออกจากกัน
18	-	NC	-	ไม่ใช้
19-30	-	GND	-	สัญญาณทวิสท์แพร์รีเทิร์น (Twisted Pair Return) ระดับกราวนด์
31	-	$\overline{\text{INIT}}$	เข้า	เมื่อระดับของสัญญาณนี้กลายเป็นสถานะ " ต่ำ " ส่วนควบคุมพรินเตอร์จะถูกรีเซตเพื่อไปที่ค่าสถานะเริ่มต้นของมัน (Initial State) และพรินเตอร์บัฟเฟอร์ (Print Buffer) จะถูกเคลียร์ สัญญาณปกติจะอยู่ที่ระดับ " สูง " และความกว้างของพัลส์จะต้องมากกว่า 50 µs ที่เทอร์มินอลด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา สัญญาณที่	ขาสัญญาณ ตอบกลับ	สัญญาณ	ทิศทาง	คำอธิบาย
32	-	$\overline{\text{ERROR}}$	ออก	ระดับของสัญญาณนี้จะกลายเป็นสถานะ " ต่ำ " เมื่อพรินเตอร์อยู่ในสถานะเปเปอร์-เอนด์ (Paper End) ออฟไลน์หรือเออเรอร์ (Error)
33	-	GND	-	เหมือนขาที่ 19-30
34	-	NC	-	ไม่ใช้
35	-			ต่อกับ 5 VDC ผ่านตัวต้านทาน 4.7 kΩ
36	-	$\overline{\text{SLCTIN}}$	เข้า	ข้อมูลเข้ามาที่พรินเตอร์อาจเป็นไปได้เมื่อระดับของสัญญาณนี้อยู่ในสถานะ " ต่ำ " (การกำหนดภายในสามารถทำได้ที่ดิฟสวิตช์ 1-8 เงื่อนไขที่เวลาของการส่งจะถูกกำหนดให้อยู่ในสถานะ " ต่ำ " สำหรับสัญญาณนี้)

หมายเหตุ

1.ทิศทาง หมายถึง ทิศทางการไหลของสัญญาณที่มองจากพรินเตอร์

2.สัญญาณตอบกลับ หรือทวิสท์แพร์รีเทิร์น จะถูกต่อกับสัญญาณที่ระดับกราวนด์ เมื่อมีการอินเตอร์เฟส ต้องแน่ใจว่าใช้สายเคเบิลแบบทวิสแพร์ สำหรับแต่ละสัญญาณและต้องเชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์ที่ด้านตอบกลับ

3.เงื่อนไขทั้งหมดของการอินเตอร์เฟสมีพื้นฐานบนระดับของ TTL ทั้งเวลาขาขึ้นและขาลงของแต่ละสัญญาณต้องน้อยกว่า 0.2 μs

4.ข้อมูลที่ส่งต้องมีสัญญาณ $\overline{\text{ACKNLG}}$ หรือ สัญญาณ BUSY ด้วย (ข้อมูลที่จะส่งไปที่พรินเตอร์นี้สามารถส่งเดี่ยวๆหลังจากมีการยืนยันสัญญาณ $\overline{\text{ACKNLG}}$ หรือ เมื่อระดับของสัญญาณ BUSY เป็นสถานะต่ำ)

สัญญาณแสดงสถานะเอาท์พุท (Output) จากพรินเตอร์มีดังนี้

1.สัญญาณ ACKLNG ที่ขา 10 ซึ่งเมื่อมีสถานะ " ต่ำ " แสดงว่า ข้อมูลอักขระได้ถูกรับโดยพรินเตอร์แล้ว และพร้อมที่จะรับตัวอักขระต่อไป

2.สัญญาณ BUSY ที่ขา 11 ซึ่งจะมีสถานะ " สูง " ในกรณีที่ไม่มีกระดาษ หรือพรินเตอร์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลอักขระ

3.สัญญาณ PE ที่ขา 12 ซึ่งจะมีสถานะ " สูง " ถ้าสวิทช์ของการไม่มีกระดาษในพรินเตอร์ถูกกระตุ้น

4.สัญญาณ SLCT ที่ขา 13 ซึ่งจะมีสถานะ " สูง " ถ้าพรินเตอร์ถูกเลือกสำหรับการรับข้อมูล

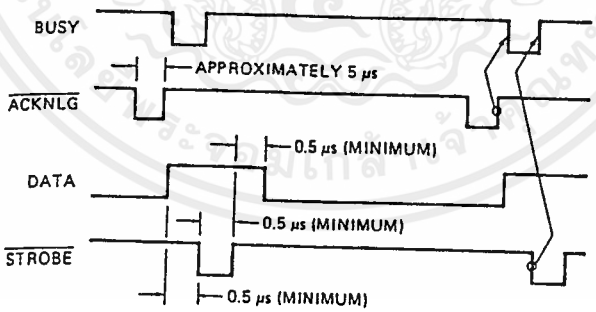
5.สัญญาณ $\overline{\text{ERROR}}$ ที่ขา 32 ซึ่งจะมีสถานะ " ต่ำ " เมื่อเกิดปัญหาในเงื่อนไขต่างๆของพรินเตอร์

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงช่วงเวลาของรูปคลื่นสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลตัวอักขระไปที่พรินเตอร์โดยใช้พื้นฐานของสัญญาณแฮนด์เชค (Handshake Signals) สมมติว่าพรินเตอร์ได้ถูกกำหนดค่าเริ่มต้นแล้ว ขั้นแรกต้องทำการตรวจสอบสัญญาณที่ขา BUSY เพื่อจะดูว่าพรินเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ถ้าสัญญาณอยู่ในสถานะ " ต่ำ " แสดงว่าพรินเตอร์พร้อมจะรับข้อมูล เราจะสามารถส่งรหัสแอสกีบนสายข้อมูลขนานทั้ง 8 สายได้ หลังจากอย่างน้อย 0.5 μs เราแสดงสัญญาณ STROBE ที่สถานะ " ต่ำ " เพื่อจะบอกพรินเตอร์ว่าข้อมูลตัวอักษรถูกส่งไปแล้ว สัญญาณ STROBE จะเป็นสถานะ " ต่ำ " เพราะพรินเตอร์แสดงสัญญาณ BUSY ของมันเป็นสถานะ " สูง " หลังจากเวลาอย่างน้อยที่สุด 0.5μs แล้วสัญญาณ STROBE สามารถขึ้นเป็นสถานะ " สูง " ได้อีกครั้งหนึ่ง โดยข้อมูลข่าวสารต้องคงสภาพการใช้งานได้บนสายข้อมูลอย่างน้อย 0.5 μs หลังจากสัญญาณ STROBE ถูกทำให้อยู่ในสถานะ " สูง "

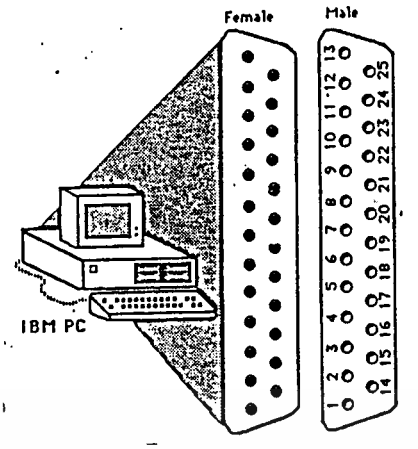
เมื่อพรินเตอร์พร้อมจะรับข้อมูลอักขระถัดไป จะแสดงสัญญาณ ACKNLG ในสถานะ " ต่ำ " เป็นเวลา 5 μs ขอบขาขึ้นของสัญญาณ ACKNLG จะบอกไมโครคอมพิวเตอร์ว่าสามารถส่งข้อมูลอักขระถัดไปได้แล้ว ขอบขาขึ้นของสัญญาณ ACKNLG จะทำการรีเซ็ทสัญญาณ BUSY จากพรินเตอร์ สัญญาณ BUSY จะเป็นสถานะ " ต่ำ " เพื่อจะแสดงว่าพรินเตอร์พร้อมจะรับข้อมูลอักขระถัดไป บางระบบจะใช้สัญญาณ ACKNLG สำหรับการแฮนด์เชค และระบบจะใช้สัญญาณ BUSY

ส่วนทางฝั่งคอมพิวเตอร์ โดยปกติแล้วจะใช้คอนเนคเตอร์ของการต่อขาแบบ DB-25 ซึ่งเป็นตัวผู้และพอร์ตของคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวเมีย ดังนั้นในการต่อออกจากคอมพิวเตอร์จะต้องดูด้วยว่าจะต่อแบบใด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 รูปแสดงช่วงเวลาของรูปคลื่นสัญญาณที่จะส่งข้อมูลอักขระไปยังพรินเตอร์แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปแสดงขาคอนเนคเตอร์แบบ DB-25

โดยรายละเอียดของขา DB-25 แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 แสดงการปรับให้การต่อของ DB-25 กับ แอมฟีนอล สัมพันธ์กัน

ตารางที่ 2.2 แสดงการเชื่อมขาสำหรับการต่อขาแบบ DB-25

ขา DB-25	หน้าที่
1	STROBE
2	DATA BIT 0
3	DATA BIT 1
4	DATA BIT 2
5	DATA BIT 3
6	DATA BIT 4
7	DATA BIT 5
8	DATA BIT 6
9	DATA BIT 7
10	ACKNLG
11	BUSY
12	PAPER END (OUT OF PAPAER)
13	SELECT
14	AUTOFEED
15	ERROR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงการปรับการต่อขาของ DB-25 และแอมฟีนอล

DB-25	AMPHENOL
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	32
16	31
17	36
18	33
19	19
20	21
22	25
23	27
24	29
25	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การอินเตอร์เฟสแบบอนุกรม RS232

2.1.2.1การจัดวางตัวอักขระในรูปแบบอนุกรม

ตัวอักขระจะถูกเก็บในคอมพิวเตอร์ในลักษณะของรูปแบบขนานขนาด 8 บิท ถูกกำหนดโดยแต่ละด้าน แต่ในการส่งแบบอนุกรมมันจะถูกแบ่งเป็น 8 บิทแยกออกจากกัน (ส่วนมากมักจะเป็น 7 บิท) ซึ่งแต่ละตัวจะส่งแยกจากกัน วงจรพิเศษทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter ใช้สำหรับการส่งและรับแบบอะซิงโครนัส) ใช้สำหรับการทำงานนี้ UART จะถูกสร้างในคอมพิวเตอร์หรือรวมเข้ากับส่วนของการอินเตอร์เฟสแบบอนุกรม UART รุ่นใหม่จะประกอบด้วยไอซีตัวเดียว และสามารถทำงานในหน้าที่ที่ซับซ้อน UARTจะรับข้อมูลอักขระ 8 บิท นำมาแยกส่วนและส่งแต่ละบิทออกด้วยอัตราที่กำหนดไว้ก่อน พรินเตอร์ส่วนมากจะมี UART ที่สร้างภายในซึ่งจะรับสตรีม (Stream) ของบิทข้อมูลแต่ละบิท และจะรวบรวมใหม่เป็นตัวอักขระ ในการส่งข้อมูล 7 บิท UART จะส่ง 8 บิทซึ่งมีพาริตี้บิท (Parity bit) และอีก 2 บิทพิเศษคือ บิทเริ่มต้น (Start bit) และบิทสิ้นสุด (Stop bit)

พาริตี้บิท

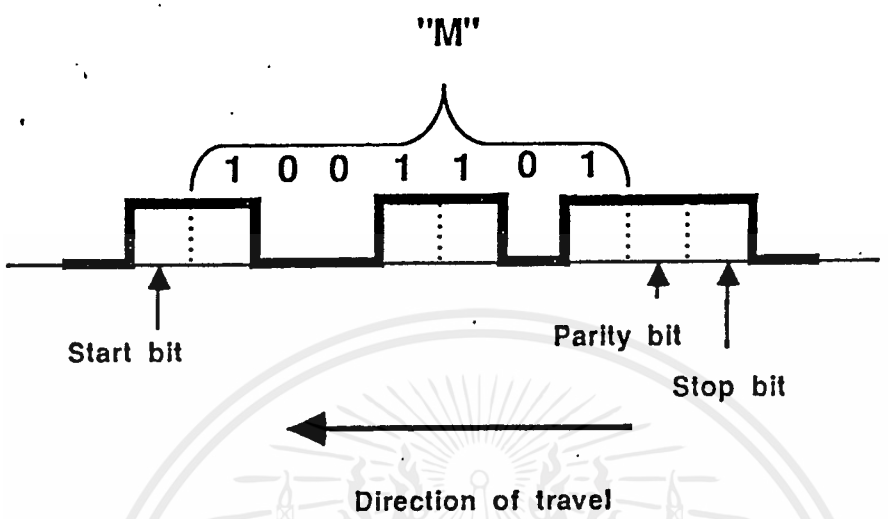
บิทที่ 8 ที่ส่งโดย UART ตามหลังข้อมูล 7 บิทที่ถูกสร้างจากตัวอักขระ โดยปกติมักจะเป็นพาริตี้บิท ซึ่งคือการตรวจสอบความผิดพลาด มีการใช้บิทพาริตี้ 2 ทางคือ พาริตี้คี่ หรือพาริตี้คู่ พาริตี้คู่มีกระบวนการทำงานดังนี้ ถ้ามีจำนวนบิท 1 เป็นจำนวนคู่ตัวในข้อมูลอักขระ 7 บิท ดังนั้นบิทพาริตี้จะต้องเป็น " 1 " ซึ่งจะทำให้มีจำนวนบิท " 1 " เป็นคี่ตัว ถ้ามีจำนวนบิท " 1 " เป็นจำนวนคี่ตัวอยู่แล้ว พาริตี้บิทจะถูกกำหนดเป็น " 0 " ซึ่งเป็นผลให้มีจำนวนบิท " 1 " เป็นคี่ตัว ดังนั้นข้อมูลที่ส่งไปจะมีจำนวนบิท " 1 " เป็นจำนวนคี่ตัว UART ในพรินเตอร์จะตรวจดูข้อมูลอักขระแต่ละตัวจะประกอบด้วยบิท " 1 " จำนวนคี่ตัว ถ้าในระหว่างการส่งมีบิทใดบิทหนึ่งในรูปแบบตัวอักษรถูกเปลี่ยนแปลง บิทพาริตี้จะไม่ตรงกับข้อมูล และUART จะลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น ส่วนระบบของพาริตี้คู่ก็เหมือนกัน เพียงแต่ละบิทนี้จะทำการส่งบิท " 1 " เป็นจำนวนคู่ตัว

ในระบบอื่นๆ บิทที่ 8 จะไม่ใช้สำหรับการตรวจสอบพาริตี้ แต่จะใช้บิทนี้เพื่อแสดงว่าพรินเตอร์สามารถใช้รูปแบบของตัวอักขระได้ ซึ่งจะยอมให้ใช้ตัวอักขระได้ถึง 256 ตัวซึ่งมากกว่าแบบ 7 บิทถึง 128 ตัว

บิทเริ่มต้นและบิทสิ้นสุด

UART ในพรินเตอร์จะต้องมีเวลาในการเตรียมตัวสำหรับการรับข้อมูลโดยเมื่อบิทเริ่มต้นถูกส่งมาก่อนที่จะส่งข้อมูลอักขระจริงมาตามสายสัญญาณ เมื่อตัวอักขระถูกส่งหมดแล้วบิทสิ้นสุดจะถูกส่งมา ซึ่งจะทำให้ UART ในพรินเตอร์สามารถแน่ใจได้ว่าการส่งสิ้นสุดลงแล้ว การใช้บิทเริ่มต้นและบิทสิ้นสุดนี้มีความจำเป็นเพราะการส่งข้อมูลเป็นแบบอะซิงโครนัสไม่ใช่แบบซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งทั้งคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์จะรู้แน่นอนว่าเมื่อใดข้อมูลอักขระจะมาถึง รูปที่ 2.4 แสดงขบวนพัลส์ที่แทนตัวอักษร " M " ซึ่งถูกส่งผ่านสาย RS-232 แบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปแสดงตัวอักษร " M " ในรูปแบบการส่งของ RS-232

2.1.2.2 สายสัญญาณต่างๆ

สายส่งข้อมูล

จากการอธิบายบิทข้อมูลต่างๆ ข้อมูล 7 บิท พาริตี้บิท บิทเริ่มต้นและบิทสิ้นสุดจะถูกส่งผ่านสาย 1 สายที่เรียกว่า สายส่งข้อมูล ปกติเรียก TX DATA โดยที่ปลายสายด้านคอมพิวเตอร์จะเรียกว่า สายส่งข้อมูล ในขณะที่ปลายสายด้านพรินเตอร์จะเรียกว่า สายรับข้อมูล (RX DATA) โดยปกติขา 3 ของคอนเนคเตอร์จะใช้สำหรับทั้งคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์สำหรับสายนี้ โดยการอินเตอร์เฟสแบบอนุกรมนั้นจะคล้ายกับการเชื่อมต่อแบบขนาน โดยจะต้องมีสายสัญญาณอื่น นอกจากสัญญาณข้อมูล รูปที่ 2.5 แสดงสายสัญญาณสำหรับมาตรฐาน RS-232

สายสัญญาณกราวนด์

สายนี้เป็นหนึ่งในมาตรฐาน RS-232 ซึ่งโดยปกติจะต่อกับขา 7 ทั้งพรินเตอร์และคอมพิวเตอร์ โดยปกติจะเรียกว่า เซอร์กิตคอมมอน (Circuit Common) เหมือนกับการอินเตอร์เฟสแบบขนาน กราวนด์ชนิดต่างๆจะถูกใช้เป็นกราวนด์เพื่อป้องกัน (Protective Ground) ซึ่งจะมีจุดประสงค์เดียวกันกับแชสสิสกราวนด์

ข้อมูลพร้อม (Data set ready line)

สายนี้จะถูกเรียกว่า " ดาต้าเซทเร็ดดี้ " (DSR) ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ และเรียกว่า "ดาต้าเทอร์มินัลเร็ดดี้ (DTR) ที่พรินเตอร์ โดยปกติสายนี้มักจะเป็นสายของการแฮนด์เชค เทียบได้กับสัญญาณไม่ว่างในการเชื่อมต่อแบบขนาน ดังนั้นเมื่อบัฟเฟอร์เต็มพรินเตอร์จะใช้สายนี้เพื่อส่งสัญญาณไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อไม่ให้ส่งข้อมูลมาอีก โดยใช้ขา 6 จากคอมพิวเตอร์และขา 20 ที่พรินเตอร์

เอกสารนี้ได้รับการสงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายรับข้อมูล (Receive data line)

สายนี้ถูกเรียกว่า " สายรับข้อมูล " ที่ด้านคอมพิวเตอร์ และเรียกว่า " สายส่งข้อมูล " ที่ด้านพรินเตอร์ แต่คอมพิวเตอร์มักจะส่งข้อมูลไปที่พรินเตอร์ โดยปกติสายนี้จะไม่ใช้สำหรับส่งข้อมูลชนิดต่างๆ เมื่อต่อเชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ แม้ว่ามันจะถูกกำหนดใช้เมื่อต่อกับอุปกรณ์สองทาง เช่น โมเด็ม ถูกต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ แม้ว่าจะไม่ได้ใช้สำหรับการส่งข้อมูลแต่สายนี้โดยปกติแล้วจำเป็นต้องถูกต่อไว้เพื่อจุดประสงค์เดียวกัน สายการเลือกในการอินเตอร์เฟสแบบขนานจะทำให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าพรินเตอร์ถูกต่อ เปิดเครื่องและพร้อมจะรับข้อมูล

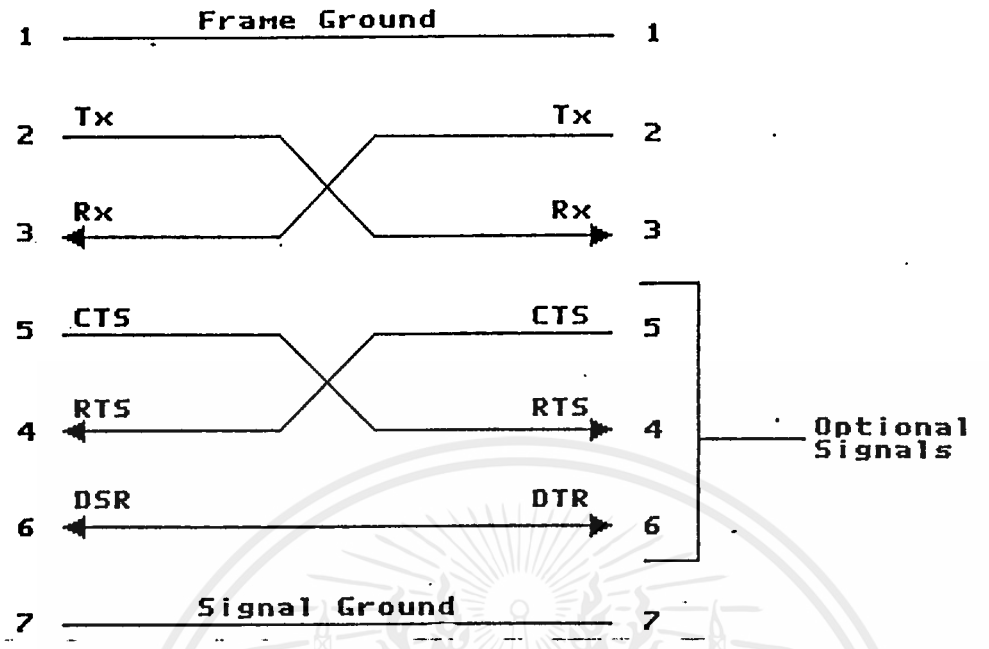
เคลียร์ทูเซนด์ (CTS) โดยปกติจะมาจากขา 4 ของคอมพิวเตอร์ต่อเข้ากับขา 5 ของพรินเตอร์ (ซึ่งเรียกว่า RTS) RTS โดยปกติมาจากขา 5 ของคอมพิวเตอร์และต่อกับขา 4 ของพรินเตอร์ (CTS) สายนี้จะกลับซึ่งกันและกัน

2.1.2.3 ความเร็วในระบบ RS-232

ในการอินเตอร์เฟสแบบขนาน เราไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราข้อมูลที่แต่ละบิทจะถูกส่ง เพราะบิทต่างๆจะถูกส่งผ่านเพียงครั้งเดียว แต่ในการอินเตอร์เฟสแบบอนุกรมนั้นมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงความเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่ตรงกันระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ โดยพรินเตอร์จะต้องรู้ว่าเมื่อใดบิทข้อมูลจะมาถึง โดยปกติจะมีความเป็นไปได้ที่จะปรับความเร็วในการส่งที่เรียกว่า "บอดเรท" (Baud rate) ทั้งที่พรินเตอร์และคอมพิวเตอร์

บอดเรท คือ จำนวนของบิทต่อวินาทีที่จะถูกส่งโดย UART เพราะว่าแต่ละตัวอักขระจะต้องการประมาณ 10 บิท (7 บิทข้อมูล และอย่างละ 1 บิทสำหรับพาริตี้บิท บิทเริ่มต้น บิทสิ้นสุด) การหารบอดเรทด้วย 10 จะได้จำนวนของตัวอักขระใน 1 วินาที ดังนั้น 300 บอดเรท จะสามารถส่งตัวอักขระได้ 30 ตัวต่อวินาที โดยปกติบอดเรทที่ถูกใช้ระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์จะเป็น 300 , 1200 , 2400 , 4800 และ 9600 โดยดิพสวิตช์จะถูกใช้เพื่อกำหนดอัตราที่พรินเตอร์ขณะที่ซอฟท์แวร์ (Software) จะกำหนดอัตราที่คอมพิวเตอร์ บางครั้งบอดเรทอาจถูกเปลี่ยนจากระบบการทำงาน ในบางกรณีถ้ามีปัญหาในการทำงานที่เชื่อมต่อแบบอนุกรม ก็ให้ตรวจสอบดูที่บอดเรทเพื่อกำหนดให้เหมาะสมกัน บางครั้งการเชื่อมต่อแบบอนุกรม โพรซีเยอร์ (Procedure) ของการแฮนด์เชคจะไม่ทำงานด้วยเหตุผลบางประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 รูปแสดงการอินเตอร์เฟสแบบ RS-232

เคลียร์ทูเซนด์และดาต้าเทอร์มินอลเร็ดดี้

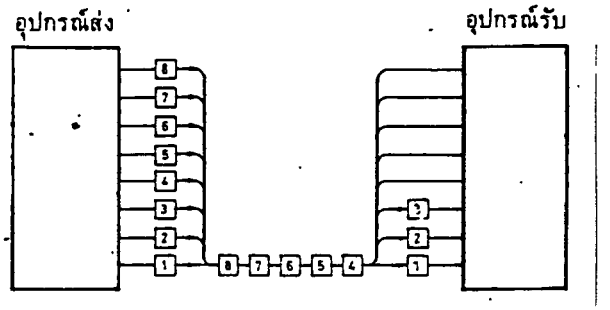
สายเหล่านี้มีความจำเป็นในการอินเตอร์เฟสบางอย่าง บางครั้งจะมีข้อมูลเหมือนกับการแฮนด์ - เชค ซึ่งโดยปกติจะอยู่บนสายดาต้าเซนด์เร็ดดี้ ในการอินเตอร์เฟสอื่นๆ UART ที่พรินเตอร์หรือคอมพิว-เตอร์จะต้องทำการตรวจสอบว่าสายนี้ได้ ถูกเชื่อมต่อแล้ว แต่ไม่ได้ถูกใช้สำหรับการแฮนด์เชคแต่สายนี้จะต้องต่อเพื่อให้การอินเตอร์เฟสทำงาน

2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลจะได้รับการส่งออกมาครั้งละ 1 บิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้จะช้ากว่าการส่งข้อมูลแบบขนาน แต่ยังคงใช้การส่งข้อมูลแบบนี้อยู่ก็เพราะว่า ตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือมีสายคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในการใช้ตัวกลาง เช่น สายไฟจะต้องถูกกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอย่างแน่นอน

จากรูปที่ 2. 6 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแบบอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งครั้งละ 1 บิท ไปยังจุดรับ ณ. จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาครั้งละบิทให้เป็นสัญญาณแบบขนาน ซึ่งลงตัวพอดีนั่นคือ บิท 1 ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่ 1 พอดี การที่จะทำให้การแปลงสัญญาณจากอนุกรมครั้งละ 1 บิทให้ลงพอดีนั้น จำเป็นต้องมีกลไกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ กลไกที่ว่านี้แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 6 รูปแสดงการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2. 6 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแบบอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งครั้งละ 1 บิท ไปยังจุดรับ ณ. จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาครั้งละบิทให้เป็นสัญญาณแบบขนาน ซึ่งลงตัวพอดีนั่นคือ บิท 1 ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่ 1 พอดี การที่จะทำให้การแปลงสัญญาณจากอนุกรมครั้งละ 1 บิทให้ลงพอดีนั้น จำเป็นต้องมีกลไกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ กลไกที่ว่านี้แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

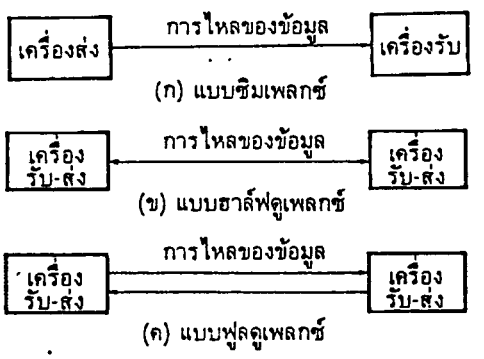
2.2.1 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

การติดต่อแบบอนุกรมอาจจะแบ่งตามรูปลักษณะการส่งข้อมูลได้ 3 แบบคือ

1.แบบซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการส่งข้อมูลได้ทางเดียวเท่านั้น บางครั้งเรียกว่า การส่งทิศทางเดียว

2.แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลได้ทั้ง 2 สถานี แต่จะต้องผลัดกันรับและผลัดกันส่งข้อมูล จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้

3.แบบฟูลดูเพลกซ์ (Full duplex) ทั้ง 2 สถานีสามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงรูปแบบของการส่งข้อมูลประเภทต่างๆจะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพลกซ์และฮาล์ฟดูเพลกซ์จะไม่ขึ้นกับจำนวนสายในการติดต่อ เพราะบางครั้งอาจใช้วิธีการแยกความถี่ที่ต่างกันระหว่างสัญญาณข้อมูลของฝ่ายส่งกับฝ่ายรับ



รูปที่ 2.7 รูปแสดงประเภทของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

ความเร็วสนองการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมมีหน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที หรือเรียกว่า บีพีเอส (bps) แต่เรายังมีหน่วยที่นิยมใช้กันมากคือ บอดเรท(baud rate) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 1 ครั้งอาจจะแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิท อัตราการส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตจึงเท่ากับ อัตราบอดคูณกับจำนวนบิทใน 1 บอด

2.2.3 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารแบบนี้ประกอบด้วยบิทเริ่มต้นหรือบิทสตาร์ต (start bit) และบิทสิ้นสุดหรือบิทสตอป (stop bit) แสดงดังรูป

รูปที่ 2.8 รูปแสดงรูปแบบของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

ขณะที่สถานะของการส่งเป็นแบบว่างหรือไอเดิล (idle) คือยังไม่มีสัญญาณส่งออกมาจะมีสัญญาณหรือมีแรงดันตลอดเวลา เพื่อความแน่ใจว่าฝ่ายรับยังติดต่ออยู่กับฝ่ายส่ง ฝ่ายส่งจะเริ่มส่งข้อมูลบอกจุดเริ่มต้น สัญญาณของอะซิงโครนัสจะเป็น " 0 " หนึ่งช่วงสัญญาณนาฬิกา บิทนี้เรียกว่า บิทสตาร์ต ข้อมูล 1 ตัวอักษรที่ตามหลังบิทสตาร์ตจะมีขนาดตั้งแต่ 5 บิทจนถึง 8 บิท โดยบิทที่มีค่าน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งออกมาก่อนและไล่ไปจนถึงบิทที่มีค่ามากที่สุด (MSB) การเข้ารหัสอักขระนี้ส่วนมากจะนิยมใช้รหัสแอสกี (ASCII CODE)

แรกเริ่มทีเดียวของการส่งข้อมูล จะส่งรหัสโบดอต (Baudot Code) ซึ่งใช้ 5 บิทในการแทนอักขระ 1 ตัว ส่วนที่ตามหลังข้อมูลก็จะเป็นบิทพาริตี้ ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ บิทพาริตี้จะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ได้รับ บิทพาริตี้อาจจะเป็นแบบคู่ (even) หรือ แบบคี่ (odd)ก็ได้ หมายความว่า ถ้าหากเป็นพาริตี้คู่จำนวนบิทที่เป็น " 1 " ในช่วงบิทข้อมูลกับบิทพาริตี้รวมกันแล้วต้องเป็นเลขคู่ ผู้ส่งข้อมูลจะทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลแล้วใส่พาริตี้บิทเอง

ฝ่ายรับ เมื่อรับสัญญาณแล้วก็จะต้องตรวจสอบดูว่าเป็นจริงดังสถานการณ์ที่ตั้งเอาไว้หรือไม่ หากผิดพลาดก็หมายความว่า สัญญาณที่รับนั้นผิดพลาดไปจากสถานีส่งที่ส่งออกมา ซึ่งจะต้องผิดเป็นจำนวนคี่เท่านั้นคือ ผิดไป 1 บิท 3 บิท หรือ 5 บิทพร้อมกัน จึงจะตรวจสอบได้ว่าผิด เช่น ถ้าผิดเป็นจำนวนคู่ ผลรวมของจำนวนบิทที่เป็น " 1 " ก็เป็นจำนวนคู่อยู่ดี

หลังจากบิทพาริตี้แล้ว จะต้องมีบิทสต็อปซึ่งเป็น " 1 " ความกว้างของบิทสต็อปอาจจะเป็น 1, 1.5 หรือ 2 พัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งแล้วแต่ผู้รับและผู้ส่งจะตกลงใช้กันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเริ่มใช้พอร์ตอนุกรมจึงจำเป็นต้องตั้งค่าต่างๆสำหรับการสื่อสาร ดังต่อไปนี้คือ

1.ความเร็วของการส่ง

2.ความยาวของรหัส 1 อักขระ

3.บิทตรวจสอบ

4.จำนวนบิทสตือป

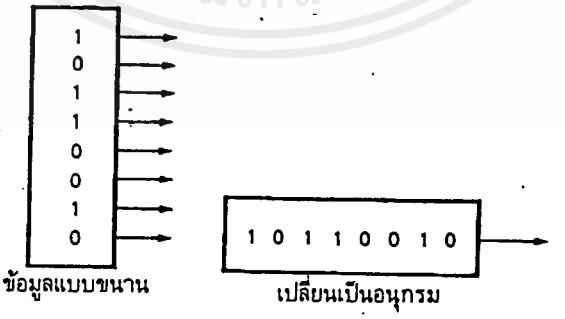
2.2.4 การสื่อสารแบบซิงโครนัส

ข้อแตกต่างระหว่างวงจรการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสก็คือ ความต่อเนื่องของข้อมูลที่ส่ง ในแบบซิงโครนัส ข้อมูลที่ส่งออกมาเป็นแบบต่อเนื่อง ไม่มีบิทสตาร์ตหรือบิทสตือป หรือแม้กระทั่งบิทพาริตี้ รูปแบบที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสจึงแตกต่างไปจากการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การซิงโครไนซ์จะทำในระดับอักขระ ซึ่งหมายความว่าอักขระแต่ละตัวมีขอบเขตที่แน่นอน แต่ละอักขระไม่มีบิทสตาร์ตหรือบิทสตือปเหมือนอะซิงโครนัส การซิงโครนัสจะกระทำที่จุดเริ่มต้นของการส่งข้อมูล สถานีส่งจะส่งสัญญาณที่เรียกว่า ตัวอักษรนำ (Leading Pad Character) ไปยังสถานีรับก่อนที่จะเริ่มส่งข้อมูล ตัวอักษรนำจะประกอบด้วย " 0 "และ " 1 " สลับกัน เพื่อให้สถานีรับจัดสัญญาณนาฬิกาให้ตรงกันก่อนส่งข้อมูลก็จะมีการส่งอักขระที่เรียกว่า SYN ตามหลังตัวอักษรนำออกมา สถานีส่งจำเป็นจะต้องบอกความยาวของข้อมูลมาในกลุ่มนี้ และต้องบอกเครื่องหมายที่เป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของข้อมูลมาด้วย

2.2.5 ระยะเวลาและอัตราการส่งข้อมูล

ตัวอย่างของการส่งข้อมูลที่มีขนาด 8 บิทจากระบบไมโครโปรเซสเซอร์ ส่งออกที่ช่องสื่อสารแบบอนุกรมแสดงดังรูปที่ 2.9

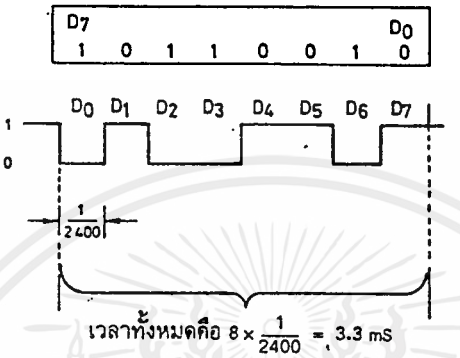


รูปที่ 2.9 รูปแสดงลักษณะของข้อมูลแบบขนานเมื่อถูกเปลี่ยนเป็นแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาคือ ความเร็วของข้อมูลในการส่งซึ่งเราเรียกว่า อัตราบิท (Bit Rate)ตามที่กล่าวมาแล้ว และในกรณีที่ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 1 ครั้งต่อข้อมูล 1 บิท จะได้อัตราบิทเท่ากับอัตราบอด

อัตราบอดที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั่วๆไปคือ 110 ,150 ,300 ,1200 ,2400 ,4800 และ 9600 ถ้าต้องการส่งข้อมูลด้วยอัตราบอด 2400 บอด ข้อมูลจะได้รับการส่งออกไปดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแสดงช่วงเวลาของสัญญาณเมื่อส่งด้วยอัตรา 2400บอด

จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นช่วงเวลาของการส่ง ซึ่งในช่วงเวลาของแต่ละบิทจะมีขนาดช่วงเวลาเท่ากับ 1/2400 เท่ากับ 0.000416 วินาที หรือ 416 ไมโครวินาที ดังนั้นถ้าต้องการส่งข้อมูลที่มีขนาด 8 บิท ก็จะใช้เวลาทั้งสิ้น 8 * 416 ไมโครวินาที หรือเท่ากับ 3328 ไมโครวินาที ซึ่งเมื่อเทียบกับการส่งข้อมูลแบบขนานจะใช้เวลาน้อยกว่า 1 ไมโครวินาที

2.2.6 การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นแบบอนุกรม

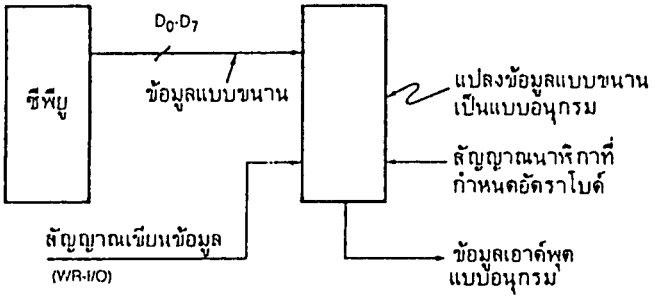
ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ต้องแปลงข้อมูลจากแบบขนานมาเป็นแบบอนุกรมก่อน โดยปกติจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งข้อมูลมายังรีจิสเตอร์แล้วแปลงข้อมูลเป็นแบบอนุกรมกระบวนการในการแปลงข้อมูลมีดังนี้

1.ทำการเก็บข้อมูลขนาด 8 บิทไปไว้ในชิฟต์รีจิสเตอร์

2.เลื่อนข้อมูลจากชิฟต์รีจิสเตอร์ไปทีละบิทตามการกำหนดด้วยช่วงเวลา โดยอัตราบอดจะเป็นตัวกำหนด

ลักษณะการทำงานจะเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.11 โดยให้ซีพียูส่งข้อมูลเอาท์พุทที่มีขนาดบิทออกมาเป็นแบบขนานมายังชิฟต์รีจิสเตอร์ แล้วให้มีการเลื่อนบิทออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปแสดงแผนผังการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.3 ชนิดและสัญญาณของพรินเตอร์

2.3.1 ชนิดของพรินเตอร์ที่ทำการใช้งาน

Fully Formed Character Printers : ลักษณะงานที่พิมพ์ตัวอักษรจะชัดได้รูปแบบตัวอักษรสมบูรณ์ แต่พิมพ์งานด้านกราฟฟิกได้ไม่ดีนัก และทำงานช้า เวลาทำงานมีเสียงดังมาก

Matrix Printers : สามารถพิมพ์งานได้ทั้งตัวอักษร สัญลักษณ์ และกราฟฟิกได้ งานที่ได้เหมือนเป็นการจำลองตัวอักขระบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ในรูปของจุดสีหลายๆจุดเรียงกัน จุดต่างๆที่เกิดขึ้นบนกระดาษเกิดจากลวดหรือเข็มที่กระทบกระดาษ หรือแบบอิงค์เจท (Ink Jet) ที่ฉีดหมึกจุดเล็กๆลงบนกระดาษ พรินเตอร์ชนิดนี้ใช้งานกันแพร่หลายเนื่องจากราคาไม่แพงนัก และพิมพ์งานได้หลากหลายรูปแบบ

Laser Printers : เป็นพรินเตอร์ที่พิมพ์งานออกมาได้มีคุณภาพดีที่สุด และทำงานเงียบเหมือนเครื่องถ่ายเอกสารขนาดเล็ก แต่ราคาค่อนข้างแพง

2.3.2 สัญญาณต่างๆของพรินเตอร์

Ground : ในการถือสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่มีสายสัญญาณหลายสายด้วยกัน แต่มีสายกราวนด์เพียง 1 สาย ที่สามารถใช้เป็นกราวนด์ให้กับสัญญาณทุกสายได้ สายกราวนด์นี้เรียกว่า Signal ground หรือ logic ground และบางครั้งใช้มากกว่า 1 สายเป็นสาย Logic Ground และบางครั้งทุกๆสายข้อมูล (Dataline) มีกราวนด์เป็นของตัวเอง

มีกราวนด์อีกชนิดหนึ่งเรียกว่า แชสสิสกราวนด์ (Chassis ground) ดังนั้นจึงมีสายกราวนด์ 3 ชนิดด้วยกันคือ ซิกแนลกราวนด์ แชสสิสกราวนด์ และทวิสเพร์กราวนด์ ซึ่งใช้เป็นกราวนด์สำหรับสายข้อมูลแต่ละสาย

Data Strobes: สัญญาณดาต้าสโตรปถูกส่งจากคอมพิวเตอร์ไปที่พรินเตอร์ เพื่อเป็นการให้สัญญาณแก่พรินเตอร์ว่า ตัวอักษรได้ถูกส่งมาที่สายข้อมูลแล้ว ในตอนแรกคอมพิวเตอร์จะเตรียมส่งสัญญาณสำหรับ บิทข้อมูลทุกบิทบนสายข้อมูล เมื่อแน่ใจว่าสัญญาณที่จะส่งไปคงที่ก็จะทำการกระตุ้นไปที่สายดาต้าสโตรป เมื่อพรินเตอร์เห็นสัญญาณดาต้าสโตรป ก็จะรับตัวอักษรจากสายข้อมูล 8 สายขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Busy Signal: สัญญาณนี้ถูกส่งมาจากพรินเตอร์ไปคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการบอกคอมพิวเตอร์ว่า " ตอนนี้กำลังยุ่ง อย่าพึ่งส่งข้อมูลเข้ามา " สภาวะที่พรินเตอร์ busy คือ กำลังอยู่ในขั้นตอนรับข้อมูลตัวอักษรเข้ามา กระดาษหมดหรือบัฟเฟอร์เต็ม

Printer Buffers : พรินเตอร์มักจะทำการพิมพ์ตัวอักษรด้วยอัตราที่ช้ากว่า คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลเข้ามามาก บัฟเฟอร์จึงเป็นตัวเก็บข้อมูลรอไว้ให้พรินเตอร์ ทำการพิมพ์ไปเรื่อยๆ ในขณะที่คอมพิวเตอร์สามารถไปทำงานอื่นได้ไม่ต้องรอให้พรินเตอร์ทำการพิมพ์งานจนสำเร็จ ถ้าคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลเข้ามาเรื่อยๆจนทำให้บัฟเฟอร์เต็ม พรินเตอร์จะส่งสัญญาณบิซิกลับไปให้คอมพิวเตอร์หยุดส่งข้อมูล

Select Signal: เป็นสัญญาณที่บอกสภาวะการออนไลน์ของพรินเตอร์

Handshaking: เป็นสัญญาณของระบบที่ใช้ควบคุมการไหลของข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ เช่น busy signal, data strobe หรือ acknowledge (ACK)

Acknowledge Signal : ถูกส่งจากพรินเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบอกว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว แทนที่คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลด้วยอัตราคงที่ค่าหนึ่งตลอด คอมพิวเตอร์จะทำการส่งข้อมูลหลังจากที่ได้รับสัญญาณ ACK จากพรินเตอร์ เมื่อพรินเตอร์ได้รับสัญญาณดาต้าสโตรปจากคอมพิวเตอร์ พรินเตอร์ก็จะส่งสัญญาณ busy signal บอกคอมพิวเตอร์ให้คอยก่อน เพราะกำลังอ่านตัวอักษรที่เข้ามาจากสายข้อมูลลงบัฟเฟอร์ เมื่ออ่านข้อมูลเสร็จแล้วก็จะเคลียร์บิซิ แล้วส่ง ACK ไปให้คอมพิวเตอร์ต่อไป

สัญญาณอื่นๆ

Paper out : สัญญาณที่แจ้งให้ทราบว่ากระดาษหมด ระบบการทำงานของคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจข้อความที่บรรทัดนี้และแจ้งให้ ผู้ใช้ทราบบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

Auto feed : ทุกๆครั้งที่สัญญาณ แคริเอจรีเทิร์น ถูกส่งไปที่พรินเตอร์ พรินเตอร์จะกลับไปที่จุดเริ่มต้นของบรรทัดและทำการเลื่อนบรรทัดไปด้วยจึงไม่พิมพ์ซ้ำบรรทัดเดิมอีก

2.4 มอดดูเลทชั่น เทคนิค

ถ้ากล่าวถึงสัญญาณดิจิตอลหรืออนาล็อกเมื่อเริ่มกำเนิด ก็จะหมายถึง"สัญญาณเบสแบนด์" นั่นเอง และตัวกลางในการส่ง ได้แก่ อากาศ, เส้นลวด, ท่อนำคลื่น, ออฟติกไฟเบอร์ ส่วนประสิทธิภาพในการส่งที่ต้องการจะได้จากกระบวนการที่ทำให้สัญญาณคงทนสภาพไว้ก่อนที่จะถูกส่งไป

โดยปกติแล้ว สัญญาณเบสแบนด์จะถูกเลื่อนไปที่ความถี่สูงกว่า เพื่อให้การส่งที่มีประสิทธิภาพด้วยการทำการเปลี่ยน แอมพลิจูด, เฟส, ความถี่ ของคลื่นพาหะไซน์เวฟความถี่สูง ให้เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร ขบวนการที่เลือกคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงคลื่นพาหะไซน์เวฟ เรียกว่า ไซน์เวฟหรือคอนทินิวอัสเวฟ มอดดูเลทชั่น สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จะไปบนคลื่นพาหะความถี่สูง การเลือกใช้ความถี่สูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายพลังงาน และสามารถทำให้แบนด์วิธกว้างขึ้น เพื่อเพิ่มการส่งผ่านข่าวสารได้มากกว่าที่คลื่นความถี่ต่ำ โดยปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่รู้จักกันอย่างดี ก็คือทฤษฎีของการที่ตัวกระจายพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ(the antenna)นั้นจะมีขนาดอย่างน้อยเป็นจำนวนลำดับของความยาวคลื่น ดังนั้นที่ความถี่ในการส่ง 1kHz จะมีความยาวคลื่น 300m .ซึ่งก็คือไม่สามารถเป็นได้ในทางปฏิบัติ สำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งคลื่นที่ความถี่เสียงเลย แต่ 1MHz คลื่นพาหะสามารถถูกส่งไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยความถี่สูงของสายอากาศ 300ฟุต

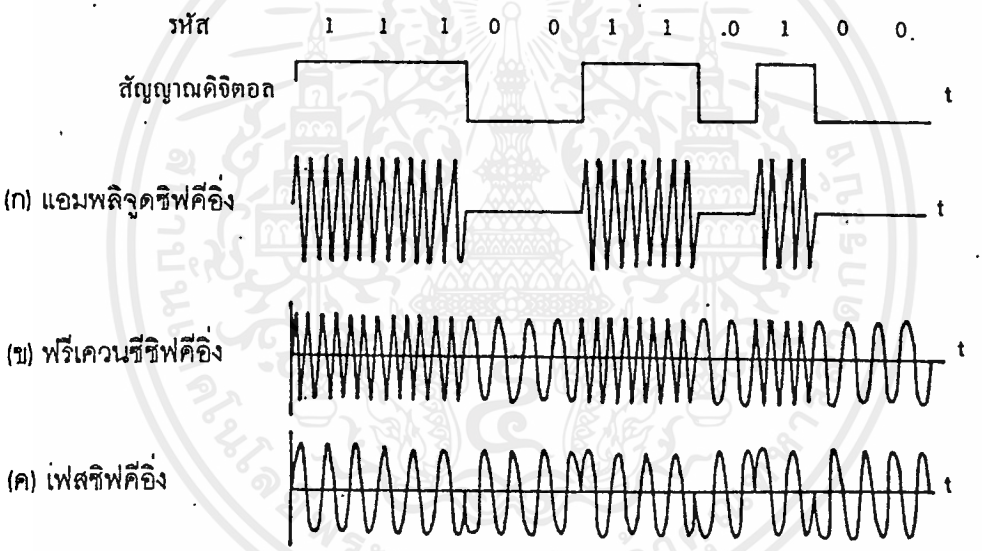
2.4.1 การสื่อสารแบบไบนารี่

เราจะแบ่งการสื่อสารแบบไบนารี่ได้ 3 แบบ คือ

1. แอมปลิจูด-ชิฟท์-คีย์อิ่ง (Amplitude-shift-keying หรือ On-off-keying:OOK) แอมปลิจูดของคลื่นพาหะจะสวิทช์ระหว่างค่าศูนย์ (ถือเป็น ออฟ สเตท) และค่าระดับแอมปลิจูดค่าหนึ่ง(ถือเป็น ออน สเตท)

2. เฟส-ชิฟท์-คีย์อิ่ง (Phase-shift-keying) เฟสของคลื่นพาหะจะสวิทช์ระหว่างเฟส π เรเดียน หรือ 180°กับไม่มีการเปลี่ยนเฟสเลย หรืออาจเป็นการสับขั้วกันของคลื่นพาหะ (เมื่อทำเป็นสัญญาณไบนารี่) ก็ได้

3. ฟรีเควนซี่-ชิฟท์-คีย์อิ่ง (Frequency-shift-keying) คลื่นพาหะจะสวิทช์ระหว่างความถี่ 2ความถี่ที่ได้กำหนดไว้แล้ว อาจเป็นการนำสัญญาณแต่ละค่าของสัญญาณไบนารี่มามอดดูเลทกับไซน์แวฟคนละค่าความถี่ หรือทำการสวิทช์ระหว่างค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ 2 ค่าที่ทำการล็อคค่าเฟสให้มีค่าตรงกัน



รูปที่ 2.12 รูปแสดงรูปคลื่นของดิจิตอลมอดดูเลชันที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบไบนารี

2.4.2 ฟรีเควนซี-ชิฟท์-คีย์อิ่ง(Fquency-shift-keying)

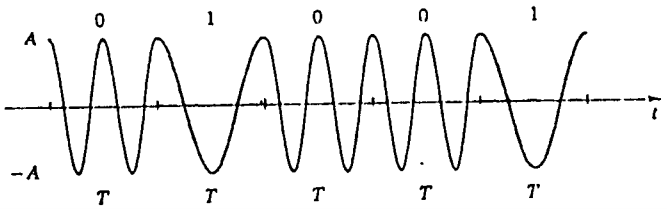
พิจารณาสัญญาณเรคแทนกูล่า 2 สัญญาณนี้

$$f_1(t) = A\cos\omega_1 t$$

$$f_2(t) = A\cos\omega_2 t$$

ที่ $-\frac{T}{2} \le t \le \frac{T}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
039101



รูปที่ 2.13 รูปแสดงรูปคลื่นของสัญญาณ FSK

โดยพิจารณาให้ค่า 1 (ของรหัสไบนารี่) เป็นความถี่ f_1 และค่า 0 เป็นค่าความถี่ f_2 ดังรูปที่ 2.13 โดยf_1 และf_2 >>1/T หรืออาจแทนสัญญาณ FSK ในรูป $f_1 = f_c - \Delta f$, $f_2 = f_c + \Delta f$ สัญญาณ 2 ความถี่จะมีค่าต่างกันอยู่ $2\Delta f$ เฮิร์ทซ์ ดังนั้น

$f_c(t) = A\cos((\omega_c \pm \Delta\omega)t$ $-T/2 \leq t \leq T/2$

$\pm\Delta f$: ฟรีเควนซี่ดิวิเอชั่น (frequency deviation)

ถ้าสัญญาณ f_1 และ f_2 เป็นค่าของเลขจำนวนเต็มคูณด้วย 1/T และมีเฟสตรงกัน (in pnase), สัญญาณ FSK ก็จะเป็นฟังก์ชั่นคาบเวลาดังรูป----และมีแบนด์วิธ $2\Delta f+2B$(B เป็นแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์) ซึ่งจะทำให้เกิดการพิจารณาใน 2 กรณี คือ

1. ถ้า$\Delta f >> B$, แบนด์วิธจะมีค่าเข้าใกล้ $2\Delta f$ นั่นคือถ้าใช้สัญญาณความถี่ของ FSK 2 ความถี่ แยกห่างกันมากๆ ค่าแบนด์วิธจะมีค่าเท่ากับระยะห่างของความถี่นั้น ไม่เกี่ยวกับความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์

2. ถ้า$\Delta f << B$ แบนด์วิธเข้าใกล้ 2B ในกรณีนี้แบนด์วิธจะถูกพิจารณาโดยสัญญาณเบสแบนด์

ในกรณีแรกเรียกว่า " wideband FM" และในกรณีที่ 2 เรียกว่า "narowband FM" แบนด์วิธีการส่งของสัญญาณFM (FM transmission bandwidth) โดยทั่วไปจะมากกว่า AM อยู่มาก(ปกติเท่ากับ 2 เท่าแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์) แต่ที่เลือกใช้ FM กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสัญญาณFM มีคุณสมบัติทางความถี่ที่ดีกว่าสัญญาณ AMในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวนในการเข้ารหัส PAM (pulse -amplitude modulation) ไปเป็นรหัสPCM (pulse-code modulation) อาจจะเป็นการเพิ่มแบนด์วิธของระบบแต่ก็เป็นการเพิ่มความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนได้

การวิเคราะห์สัญญาณ FM นั้น ค่าของแบนด์วิธของการส่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าแมคนิจูดของฟรีเควนซี่ดิวิเอชั่น(frequency deviation :Δf) และแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์(B) โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = \Delta f$$

β : modulation index;

แบนด์วิธการส่งของสัญญาณ FM (FM transmission bandwidth)

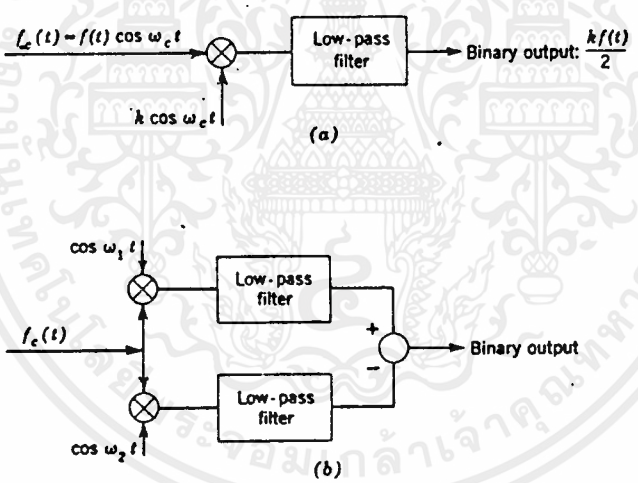
B_T = FM แบนด์วิธ = $2\Delta f + 2B$

$= 2B(1+\beta)$

สำหรับ"Narrowband FM " ค่า $\beta << 1$ และ "Wideband FM "$\beta >> 1$

2.4.3 การดีเทคสัญญาณไบนารี่ (Detection of Binary Signals)

การมอดดูเลทคลื่นพาหะไซน์เวฟกับสัญญาณเบสแบนด์ให้สัญญาณที่ได้อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการกลับมาเป็นขั้นตอนที่เรียกว่า " ดีมอดดูเลท (demodulate)" ซึ่งอยู่ในขบวนการ "ดีเทคชั่น(detection)" และมีวิธีการโดยทั่วไปที่จะทำการดีเทคชั่นอยู่ 2 วิธี คือ ซิงค์โครนัสหรือ โคฮีเรนท์ดีเทคชั่น ซึ่งจะทำการคูณสัญญาณที่รับมาได้จากเครื่องรับเข้ากับสัญญาณความถี่คลื่นพาหะ แล้วใช้ตัวกรองความถี่ต่ำกรองสัญญาณที่ได้จากการคูณอีกทีหนึ่ง, อีกวิธีหนึ่งคือ เอนเวลโลป ดีเทคชั่น



รูปที่ 2.14 รูปแสดงการซิงค์โครนัสดีเทคชั่นของสัญญาณ FSK

จากรูปที่ 2.14 ซึ่งต้องการไซน์เวฟ 2 ความถี่ สำหรับการดีเทคแต่ละความถี่ที่ทำการส่งมา เพื่อแปลงกลับมาเป็นสัญญาณเบสแบนด์แบบไบนารี่ที่เครื่องรับ โดยการทำวิธีแบบซิงค์โครนัส สมมติให้สัญญาณไบนารี่ที่ความถี่สูงมีรูปแบบของ AM เป็น $f_c(t)\cos\omega_c t$ (ถ้า $f(t) = \pm 1$ เราจะได้เป็นสัญญาณ PSK และถ้า f(t) เป็น 1หรือ 0 ก็จะได้สัญญาณ OOK) ถ้าเราคูณสัญญาณนี้ด้วย $k\cos\omega_c t$ (k เป็นค่าคงที่ของการคูณ) เราจะได้ $kf(t)\cos^2\omega_c t = (k/2)(1+\cos 2\omega_c t)f(t)$

แต่เทอมของ $f(t)\cos 2\omega_c t$ แทนฟังก์ชั่น f(t) ที่ถูกแปลงไปอยู่ที่ความถี่ $2f_c$ ซึ่งเป็นฮาร์โมนิคที่สองของคลื่นพาหะ แต่จะถูกกรองทิ้งไปโดยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน และจะได้เอาท์พุทเป็น $k/2f(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบนารี่ที่ต้องการ(แฟคเตอร์ค่าคงที่ไม่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถที่จะลดทอนหรือขยายสัญญาณเอาท์พุทให้ได้ตามที่ต้องการได้)

แต่การสมมตินั้นเป็นการสมมติให้ความถี่โลคัล $\cos\omega_c t$ เป็นความถี่เดียวกับสัญญาณคลื่นพาหะที่รับได้ $\cos\omega_c t$ และมีเฟสตรงกันหรือซิงค์โครไนซ์กัน แต่ถ้าความถี่โลคัลที่ได้เป็น $\cos(\omega_c+\Delta\omega)t$ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณจะได้เป็น $kf(t)\cos(\omega_c+\Delta\omega)t\cos\omega_c t = (k/2)[\cos(2\omega_c+\Delta\omega)t+\cos\Delta\omega t]f(t)$ และเอาท์พุทที่วงจรกรองความถี่ต่ำจะได้เป็น $[kf(t)/2]\cos\Delta\omega$ ถ้า $\Delta\omega$ อยู่ภายในแบนด์ความถี่ของวงจรกรองความถี่นั้น ซึ่งแน่นอนว่าสัญญาณที่ได้ไม่ใช่สัญญาณที่ต้องการทีเดียวหรือถ้าสัญญาณความถี่โลคัลเป็น $\cos(\omega_c t+\theta)$ เอาท์พุทที่วงจรกรองความถี่ต่ำก็จะได้เป็น$[k(f)/2]\cos\theta$ ซึ่งเป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่ต้องการแต่ถูก ลดทอนลงทางแอมปลิจูด ถ้า θ เพิ่มขึ้น$\Rightarrow\cos\theta$ จะมีค่าลดลง และถ้าθมีค่าเข้าใกล้$\pi/2$ เอาท์พุทที่ได้จะมีค่า ใกล้เคียงกับศูนย์ จนถ้าθมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า$\pi/2$ เอาท์พุทที่ได้จะมีการกลับขั้ว(reverse sign) เกิดขึ้น ดังนั้น ความถี่โลคัลที่ผลิตขึ้นในวิธีการซิงค์โครนัสดีเทคชั่นนี้จะต้องมีความถี่รวมทั้งเฟสตรงกับสัญญาณที่ต้องการดีเทค

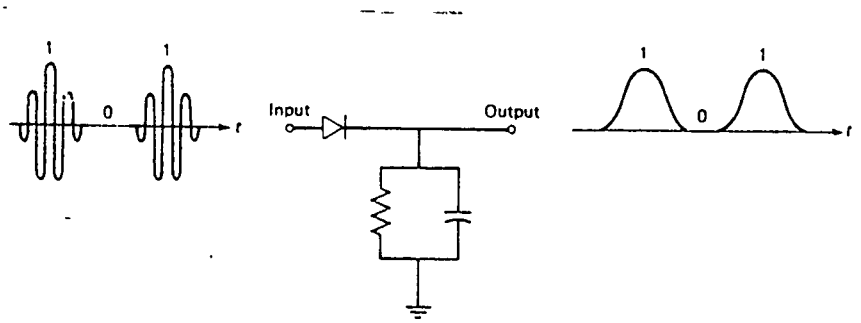
การทำซิงค์โครไนซ์เฟสนั้น ค่อนข้างลำบาก โดยเฉพาะถ้าต้องการส่งในระยะทางไกลๆ นั่นคือคล็อคทางด้านรับที่จะเตรียมทำการซิงค์โครนัสดีเทคชั่นนี้จะต้องมีค่าตามหลังคล็อคทางด้านส่งอยู่ภายในช่วงเวลา 1 ไซเคิลของสัญญาณคลื่นพาห์ อย่างเช่น ทางด้านส่งมี f_c=3MHz 1 คาบเวลาจะมีค่า = $1/f_c$ = 0.3μs ค่าความแตกต่างทางเฟสที่ $\theta<<\pi/2$ เรเดียน จะมีค่าอย่างน้อย 0.07 μs ซึ่งค่อนข้างลำบากในการจัดทำขึ้น และที่ความถี่ของคลื่นพาห์ 100MHz ,เฟส $\pi/2$เรเดียน มีค่าประมาณ 2.5nS ในขณะที่ความถี่ของคลื่นพาห์ 1000MHz จะต้องให้อยู่ภายใน 0.25 ns สำหรับเฟส $\pi/2$ เช่นกัน

วิธีที่จะทำการซิงค์โครไนซ์เฟส ประกอบด้วย

1. ความถี่ไพลอทจะถูกส่งลงไปบนคลื่นความถี่สูงของสัญญาณไบนารี่ ซึ่งจะถูกกรองที่ทางด้านรับและใช้ในการทำซิงค์โครไนซ์ที่โลคัลออสซิลเลเตอร์
2. การทำเฟส-ล็อค-ลูป เพื่อทำการล็อคขบวนสัญญาณข้อมูลหรือไพลอทโทน เพื่อทำการปรับทางเครื่องรับให้มีความต่างเฟสเป็นศูนย์

อีกวิธีหนึ่งของการดีเทคชั่น ได้แก่ เอนเวลโลป ดีเทคชั่น (envelope detection) จะกำจัดเรื่องการทำเฟสซิงค์โครไนซ์ได้ สัญญาณที่เข้ามาทางด้านรับจะนำไปผ่านอุปกรณ์ที่ไม่ลิเนียร์และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวอย่างของเอนเวลโลปดีเทคเตอร์ก็คือ วงจรไดโอดฮาฟเวฟเรคติไฟเออร์ตามด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยใช้ RC ค่าคงที่ของเวลาของ RC (RC time constant) มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกรอบสัญญาณจากคลื่นพาหะหลายๆไซเคิลได้ แต่ก็มีระยะเวลาสั้นพอเมื่อเปรียบเทียบกับคาบเวลาของรหัสไบนารี่ เพื่อที่จะเกิดการคายประจุได้ทัน เมื่อมีการเปลี่ยนรหัสสัญญาณ วงจรนี้ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในสัญญาณ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 รูปแสดงเอนเวลโลปดีเทคเตอร์

2.4.4 คลื่น FM ความถี่เดียว

คลื่น FM s(t) เป็นฟังก์ชั่นที่ไม่เป็นเชิงเส้นของm(t) ดังนั้น FM จะเป็นกระบวนการมอดดูเลท ที่ไม่เป็นเชิงเส้นจึงแตกต่างไปจากของ AM สเปคตรัมของคลื่น FM จะไม่มีความสัมพันธ์ในลักษณะง่ายๆกับของ modulating wave ซึ่งตามความเป็นจริงแบนด์วิธสำหรับการส่งคลื่น FM นั้นจะใช้มากกว่าของคลื่น AM

ในการวิเคราะห์สเปคตรัมของคลื่น FM นั้น ก่อนอื่นจะพิจารณากรณีที่เป็นไปได้ง่ายที่สุด คือ กรณีการมอดดูเลทด้วยความถี่เดียว แล้วจึงนำผลที่ได้ไปใช้กับกรณีของการมอดดูเลทด้วยหลายความถี่ (multitone modulation) เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างแบนด์วิธในการส่งคลื่น FM และแบนด์วิธของข่าวสาร

พิจารณา modulating wave ที่เป็นคลื่นลักษณะไซน์โดยกำหนดให้เป็นดังนี้

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \qquad (2.1)$$

จะได้ความถี่ในขณะหนึ่งของคลื่น FM ดังนี้

$$f_i(t) = f_c(t) + k_f A_m \cos(2\pi f_m t)$$
$$= f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t) \qquad (2.2)$$

ซึ่งในที่นี้ $\Delta f = k_f A_m$

ปริมาณ Δf นี้ถูกเรียกว่า ค่าเบี่ยงเบนความถี่ (frequency deviation) ซึ่งแสดงระยะห่างสูงสุดของ $f_i(t)$ จากคลื่นพาห์ f_c คุณสมบัติเบื้องต้นของคลื่น FM คือ Δf จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมปลิจูดของ modulating wave และจะไม่ขึ้นอยู่กับ modulating frequncy

จากสมการข้างต้น จะได้มุม $\theta_i(t)$ ของคลื่น FM ดังนี้

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_i(t)\, dt$$
$$= 2\pi f_c t + \Delta f \sin(2\pi f_m t) \qquad (2.3)$$
$$f_m$$

โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่าง Δf และ f_m จะถูกเรียกว่า ดัชนีการมอดดูเลท (modulation index) ของคลื่น FM ซึ่งกำหนดให้เป็น β ดังนี้ จะเขียนได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \qquad (2.4)$$

จะได้

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t) \qquad (2.5)$$

จะเห็นได้ว่า ในทางกายภาพนั้น พารามิเตอร์ β จะแสดงค่าเบี่ยงเบนทางเฟสของคลื่น FM นั่นคือระยะสูงสุดของมุม $\theta_i(t)$ที่อยู่ห่างจากมุม $2\pi f_c t$ 1ของคลื่นพาห์ที่ไม่มีการมอดดูเลท

สำหรับคลื่น FM นั้น แสดงได้ดังนี้

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t) \qquad (2.6)$$

อาจจะจำแนกคลื่น FM ออกเป็น 2 กรณีโดยขึ้นอยู่กับค่าของ β คือ เมื่อ β มีค่าน้อยเรียกว่า เอฟเอ็มแบนด์แคบ (Narrowband FM) ซึ่งจะเขียนย่อๆว่า NBFM และเมื่อβมีค่ามากเรียกว่า เอฟเอ็มแบนด์กว้าง (Wideband FM) จะเขียนย่อๆว่า WBFM ทั้งนี้เมื่อเทียบกับ 1 เรเดียนทั้งสองกรณีสำหรับเหตุผลที่แยกให้แตกต่างกันเช่นนี้ก็คือ กรณีของ NBFM นั้น แบนด์วิธที่ใช้ในการส่งจะมีค่าใกล้เคียงกับ 2 เท่าของแบนด์-วิธของข่าวสาร ในขณะที่ กรณีของ WBFM นั้นจะมีแบนด์วิธมากกว่าค่านี้

2.4.4.1 เอฟเอ็มแบนด์แคบ (NBFM)

พิจารณาสมการ ซึ่งเป็นคลื่น FM ที่ได้มาจากการมอดดูเลทด้วยคลื่นลักษณะไซน์ เมื่อคำนวณต่อไป จะได้

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)\cos[\beta \sin(2\pi f_m t)] - A_c \sin(2\pi f_c t)\sin[\beta \sin(2\pi f_m t)] \qquad (2.7)$$

สมมติว่าβ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ 1 เรเดียน จะได้ค่าโดยประมาณดังนี้

$$\cos[\beta \sin(2\pi f_m t)] \cong 1 \quad \text{และ}$$

$$\sin[\beta \sin(2\pi f_m t)] \cong \beta \sin(2\pi f_m t)$$

ดังนั้น จึงเขียนสมการข้างต้น ใหม่ได้ดังนี้

$$s(t) \cong A_c \cos(2\pi f_c t) - \beta A_c \sin(2\pi f_c t)\sin(2\pi f_m t) \qquad (2.8)$$

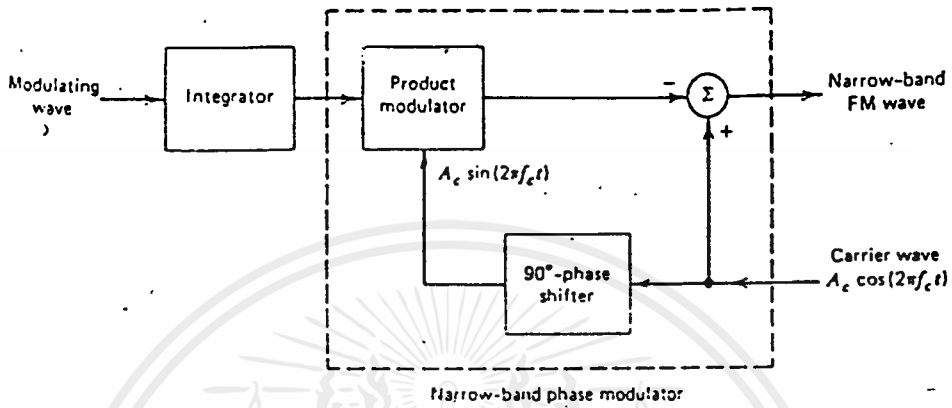
จากสมการจะเขียนเป็นบล็อคไดอะแกรมได้ตามรูปที่ 2.16 มอดดูเลทเตอร์นี้จะแยกคลื่นพาห์ $A_c\cos(2\pi f_c t)$ ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งจะป้อนเข้าโดยตรง อีกส่วนหนึ่งจะส่วนหนึ่งจะส่งผ่านเฟสชิฟ เนทเวอร์ก (phase-shifting network) เพื่อให้เฟสคลื่อนไป 90 องศาแล้วผ่านไปยังมอดดูเลทเตอร์ เพื่อให้ได้คลื่น DSB-SC เมื่อนำสัญญาณคู่นี้มารวมกันแล้วจะได้ NBFM ซึ่งมีการพร่าเพี้ยนเล็กน้อย

ในทางอุดมคตินั้น คลื่น FM จะมี envelope คงที่ และในกรณีที่ modulating wave เป็นคลื่นลักษณะไซน์ความถี่ f_m แล้วมุม $\theta_i(t)$ ก็จะเป็นคลื่นลักษณะไซน์โดยมีความถี่เท่ากันด้วย แต่ modulated wave ที่ผลิตขึ้นจาก NB มอดดูเลทเตอร์ตามรูป 2.16 จะแตกต่างไปจากเงื่อนไขทางอุดมคติโดยแยกเป็น 2 ประเด็นดังนี้

1. envelope จะประกอบด้วยAM ที่เหลืออยู่ (residual) ดังนั้นมันจะเปลี่ยนแปลงไปกับเวลาในรูปของฮาร์โมนิกส์ที่3 และฮาร์โมนิกส์อันดับที่สูงกว่า f_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตาม โดยการปรับค่าให้ $\beta \leq 0.3$ เรเดียนแล้ว ค่า residual AM และฮาร์โมนิกส์ PM จะถูกจัดให้อยู่ในระดับที่ไม่ต้องคำนึงถึงก็ได้



รูปที่ 2.16 รูปแสดงบล็อคไดอะแกรมวิธีการผลิตสัญญาณNBFM

จากสมการ 2.8 อาจเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$s(t) \cong A_c \cos(2\pi f_c t) + 1/2\beta A_c \{\cos[2\pi(f_c+f_m)t] - \cos[2\pi(f_c - f_m)t]\} \quad (2.9)$$

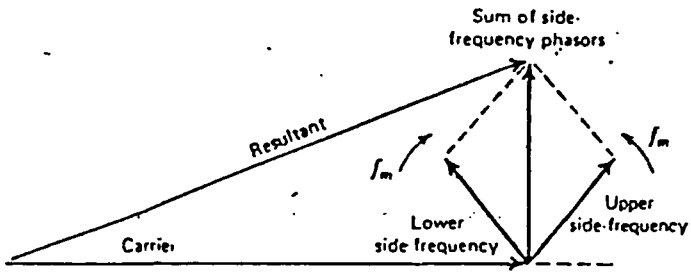
สมการ 2.9 นี้ค่อนข้างจะคล้ายกันกับสมการ

$$S_{AM}(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + 1/2\mu A_c \{\cos[2\pi(f_c+f_m)t] + \cos[2\pi(f_c - f_m)t]\} \quad (2.10)$$

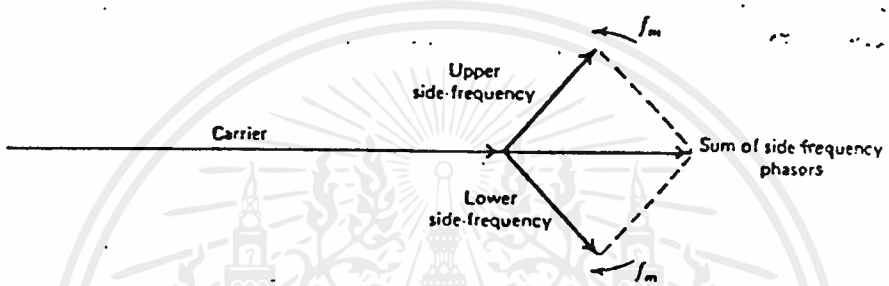
ซึ่ง μ เป็น modulation factor ของคลื่น AM เมื่อเปรียบเทียบสมการ2.9 กับสมการ 2.10 จะเห็นว่ากรณีที่ modulating wave เป็นคลื่นลักษณะไซน์ ความแตกต่างเบื้องต้นระหว่างคลื่น AM และคลื่น NBFM ก็คือ แถบความถี่ด้านล่างของ AM จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม ดังนั้น NBFM จึงจำเป็นต้องใช้แบนด์-วิธในการส่งเท่ากันกับของคลื่น AM (คือ $2f_m$) ถ้าแสดงคลื่น NBFM ด้วยเฟคเตอร์ไดอะแกรมจะได้ตามรูปที่ 2.17 โดยใช้เฟสเซอร์ของคลื่นพาห์เป็นสิ่งอ้างอิง

จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของNBFM มีแอมปลิจูดใกล้เคียงกับเฟสเซอร์ของคลื่นพาห์ เฟสเซอร์นี้จะแตกต่างไปจากกรณีของคลื่น AM ตามรูป 2.17 กรณีนี้จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของมันจะมีแอมปลิจูดแตกต่างไป จากเฟสเซอร์ของคลื่นพาห์ แต่จะมีเฟสเดียวกันเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คลื่น NBFM



(ข) คลื่น AM

รูปที่2.17 รูปแสดงการเปรียบเทียบเฟสเซอร์ของคลื่น NBFM และคลื่น AM

2.4.4.2 เอฟเอ็มแบนด์กว้าง (WBFM)

สเปคตรัมของ FM จากสมการ 2.6 ในกรณีที่ β มีค่าใดๆทั่วไปคลื่น AM จะ ได้มาจากการมอดดูเลทคลื่นลักษณะไซน์อย่างเช่นสมการ 2.6 นั้นจะไม่มีคาบเวลา เว้นเสียแต่ว่าคลื่นพาห์ f_c จะเป็นพหุคูณเต็มหน่วยของ f_m และเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$S(t)=Re[A_c\exp(j2\pi f_c t + j\beta\sin(2\pi f_m t)] \qquad (2.11)$$

$$=Re[\ \bar{s}(t)\exp(j2\pi f_c t)\ ]$$

ซึ่งในที่นี้ $\bar{s}(t)$ เป็น complex envelope ของคลื่น AM โดยกำหนดให้เป็นดังนี้

$$\bar{s}(t) = A_c\exp\ [j\beta\sin(2\pi f_m t)] \qquad (2.12)$$

จะเห็นได้ว่า $\bar{s}(t)$ เป็นฟังก์ชั่นคาบเวลาซึ่งมีความถี่เริ่มต้นคือ f_m ดังนั้นจึงสามารถกระจาย $\bar{s}(t)$ ให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูริเออร์แบบเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$\bar{s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n\exp(j2\pi nf_m t) \qquad (2.13)$$

ซึ่งประสิทธิภาพ C_n จะมีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_n = f_m \int_{-1/2f_m}^{1/2f_m} \bar{s}(t)\exp(-j2\pi n f_m t)dt$$

$$= f_m A_c \int_{-1/2f_m}^{1/2f_m} \exp[j\beta \sin(2\pi f_m t) - j2\pi n f_m t]dt \qquad (2.14)$$

กำหนดให้ $x = 2\pi f_m t$

ดังนั้นเมื่อเขียนสมการ 2.14 ใหม่ จะได้

$$C_n = A_c/2\pi \int_{-\pi}^{\pi} \exp[j(\beta \sin x - nx)]dx \qquad (2.15)$$

อินทิกรัลทางขวามือของสมการ 2.15 นี้เป็น Bessel function ชนิดที่ 1 โดยมี argument เป็น β ฟังก์ชั่นนี้ถูกกำหนดให้เป็น $J_n(\beta)$ นั่นคือ

$$J_n(\beta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \exp[j(\beta \sin x - nx)]dx \qquad (2.16)$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการ 2.15 ได้ดังนี้

$$C_n = A_c J_n(\beta) \qquad (2.17)$$

แทนค่าสมการ 2.17 ลงในการ 2.13 จะได้ $\bar{s}(t)$ ในเทอมของ Bessel function ดังนี้

$$\bar{s}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta)\exp(j2\pi n f_m t) \qquad (2.18)$$

แทนค่าสมการ 2.18 ลงในสมการ 2.11 จะได้

$$s(t) = A_c \, Re[\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta)\exp[j2\pi(f_c + nf_m)t]] \qquad (2.19)$$

เมื่อสลับที่อันดับของการรวมและค่าของเทอมจริงทางขวามือของสมการ 2.19 จะได้

$$s(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta)\cos[2\pi(f_c + nf_m)t] \qquad (2.20)$$

สมการ 2.20 นี้แสดงคลื่น AM สำหรับค่า β ใดๆ โดยแสดงในรูปของอนุกรมฟูริเออร์ เมื่อใช้ฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มกับสมการ 2.20 จะได้ดิสครีทสเปคตรัม ดังนี้

$$S(f) = A_c/2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta)[\delta(f - f_c - nf_m) + \delta(f + f_c + nf_m)] \qquad (2.21)$$

Bessel fucntion $J_n(\beta)$ เมื่อ β มีค่าต่างๆที่เป็นจำนวนเต็มบวกของ n แสดงไว้ในรูป 2.18 และสามารถจะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่นนี้ไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ โดยอาศัยคุณสมบัติของมันดังต่อไปนี้

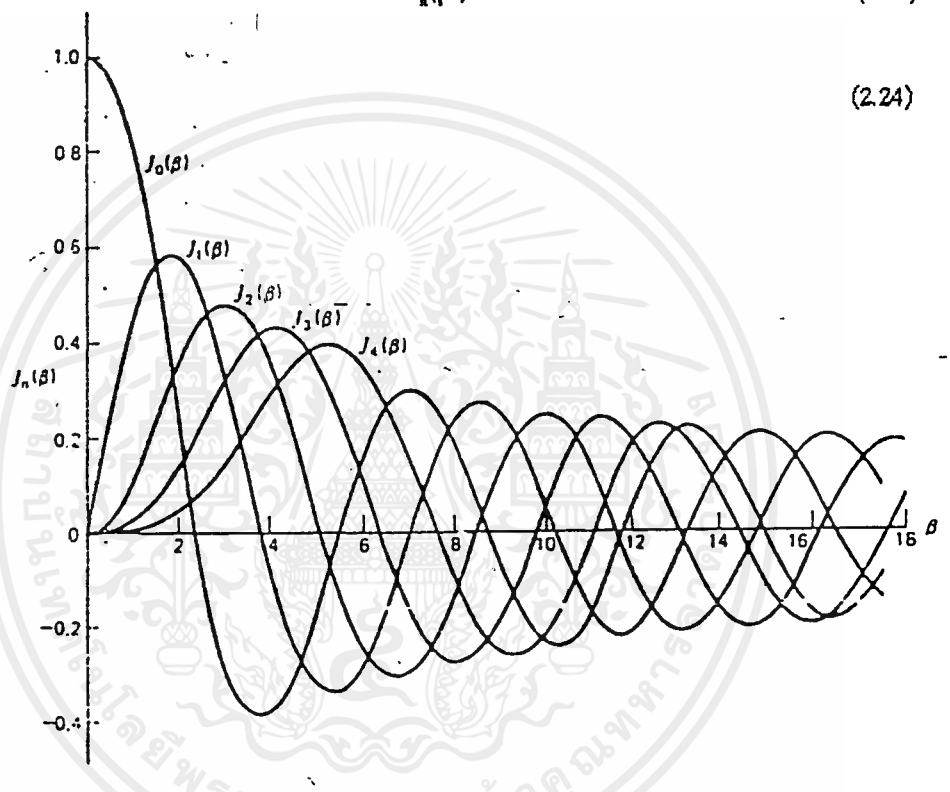
1. เมื่อ n เป็นเลขคู่ จะได้ $J_n(\beta) = (-1)^n J_n(\beta)$ และเมื่อ n เป็นเลขคี่จะได้ $J_n(\beta) = -J_n(\beta)$ นั่นคือ

$$J_n(\beta) = (-1)^n J_n(\beta) \qquad (2.22)$$

2. ถ้า β มีค่าน้อยๆจะได้

$$J_0(\beta) \cong 1$$
$$J_1(\beta) \cong \beta/2$$
$$J_n(\beta) \cong 0 \quad n>1 \qquad (2.23)$$

3. $\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta) = 1$ (2.24)



รูปที่2.18 รูปแสดง กราฟของ Bessel fucntions ชนิดที่ 1

โดยการใช้สมการ 2.21 ถึงสมการ 2.24 และส่วนโค้งตามรูป 2.18 ก็จะมีข้อสังเกตได้ดังนี้

1) สเปคตรัมของคลื่น FM จะประกอบด้วยองค์ประกอบคลื่นพาห์ และกลุ่มของแถบความถี่ข้างเคียงมากมายที่อยู่อย่างสมมาตรกันของแต่ละด้านของความถี่คลื่นพาห์ คืออยู่ที่ $f_m, 2f_m, 3f_m$,.....ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างและได้เปรียบกว่าของระบบ AM

2) ในกรณีเฉพาะ ถ้า $\beta << 1$ แล้วสัมประสิทธิ์ของ Bessel จะมีความสำคัญเฉพาะ $J_0(\beta)$ และ $J_1(\beta)$ เท่านั้น ดังนั้นคลื่น FM จะประกอบด้วยคลื่นพาห์และแถบความถี่ข้างเคียงคู่หนึ่งที่ $f_c \pm f_m$ เท่านั้น ในสภาวะเช่นนี้ก็เป็นเสมือนกรณีพิเศษของ NBFM

3) แอมปลิจูดของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงไปกับค่าของ β อันเนื่องมาจาก $J_0(\beta)$ นั่นคือ มันจะแตกต่างไปจากคลื่น AM คือแอมปลิจูดของคลื่นพาห์ในระบบ FM นั้นจะขึ้นอยู่กับ β ความหมายทางฟิสิกส์ของคุณสมบัติข้อนี้ก็คือ envelope ของคลื่น FM จะมีค่าคงที่ ดังนั้น เมื่อส่งคลื่นนี้ไปยังรีซิสเตอร์ 1 โอห์มแล้วจะมีพาวเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยคงที่ ซึ่งจะมีค่าดังนี้

$$P=1/2\ A_c^{\ 2}$$

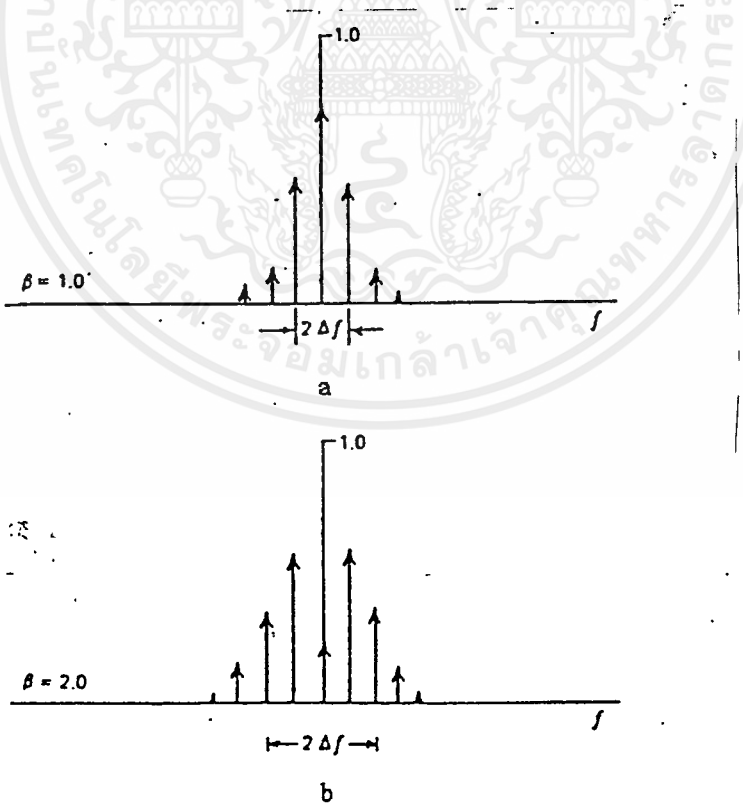
2.4. 5 คลื่น FM หลายความถี่ (Multitone FM Waves)

ในทางปฏิบัติ โดยทั่วไป m(t) จะประด้วยกลุ่มของคลื่นลักษณะไซน์ซึ่งมีความถี่ต่างกัน โดยอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เป็นฮาร์โมนิกส์ก็ได้ พิจารณาคลื่นพาห์ $A_c\cos(2\pi f_c t)$ และมี modulating wave 2ความถี่ คือ f_1 และ f_2 โดยทำให้เกิดค่าเบี่ยงเบนความถี่เป็นΔf_1และ Δf_2 ตามลำดับ ดังนั้นอาจจะแสดงคลื่น FMได้ดังนี้

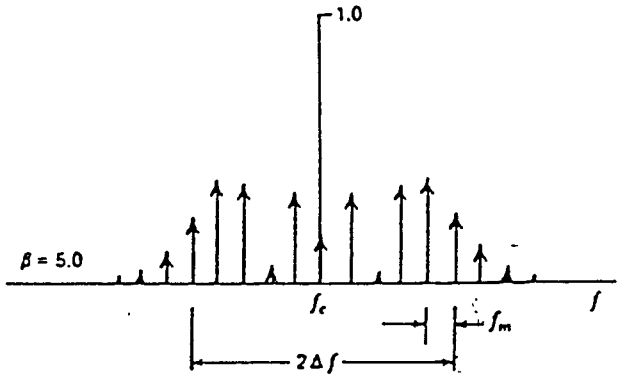
$$s(t) = A_c\cos[2\pi f_c t + \beta_1\sin(2\pi f_1 t) + \beta_2\sin(2\pi f_2 t)] \qquad (2.25)$$

ซึ่ง$\beta_1=\Delta f_1/f_1$เป็นดัชนีการมอดูเลทของความถี่ f_1และ$\beta_2=\Delta f_2/f_2$ เป็นดัชนีการมอดูเลทของความถี่ f_2อาศัยกระบวนการทำนองเดียวกันกับการวิเคราะห์คลื่นFM ซึ่งได้มาจากการมอดูเลทด้วยความถี่เดียว จากสมการ 2.25 จะได้

$$s(t)=A_c\sum_{m=-\infty}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty}J_m(\beta_1)J_n(\beta_2)\cos[2\pi(f_c+mf_1+nf_2)t] \qquad (2.26)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



c

รูปที่ 2.19 แอมปลิจูดสเปคตรัมแบบดิสครีตของสัญญาณ FM ซึ่งนอร์มัลไลซ์ด้วยแอมปลิจูดของคลื่นพาห์เฉพาะกรณีที่การมอดูเลทคลื่นลักษณะไซน์ ซึ่งความถี่เปลี่ยนแปลงแต่แอมปลิจูดคงที่ ในที่นี้แสดงสเปคตรัมเฉพาะความถี่ที่เป็นบวกเท่านั้น

สมการ 2.26 แสดงว่า คลื่น FM ที่เกิดจาก modulating wave 2ความถี่คือ f_1และ f_2จะประกอบด้วยคลื่น 4 แบบ ดังนี้

1) องค์ประกอบคลื่นพาห์ซึ่งมีแอมปลิจูด $J_0(\beta)J_0(\beta)$ที่ความถี่ f_c

2) กลุ่มของแถบความถี่ข้างเคียงที่เกิดจากf_1จะมีแอมปลิจูด$J_m(\beta_1)J_0(\beta_2)$ที่ความถี่ $(f_c \pm nf_2)$ซึ่งm=1,2,3,.....

3) กลุ่มของแถบความถี่ข้างเคียงที่เกิดจาก f_2 จะมีแอมปลิจูด $J_0(\beta)J_n(\beta)$ที่ความถี่$(f_c \pm nf_2)$ ซึ่ง n=1,2,3,....

4) กลุ่มของการมอดูเลทที่ไขว้กัน (cross-modulation) จะมีแอมปลิจูด$J_m(\beta_1)J_n(\beta_2)$ที่ความถี่$(f_c \pm mf_1 \pm nf_2)$ ซึ่ง m=1,2,3,.....

2.4.6 แบนด์วิธที่ใช้ในการส่งคลื่น FM

ในทางทฤษฎีนั้น คลื่น FM จะประกอบด้วยแถบความถี่ข้างเคียงมากมาย ดังนั้น แบนด์วิธที่ใช้สำหรับส่งจึงมีขอบเขตกว้างเสมือนมีค่าเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติจะทราบว่าคลื่น FM จะถูกนำแถบความถี่ข้างเคียงไปใช้ในวงจำกัดที่มีจำนวนแน่นอนที่สอดคล้องกันกับปริมาณการพร่าเพี้ยนภายใต้ค่าที่กำหนดให้อย่างมีประสิทธิภาพ ฉะนั้น จึงอาจจะกำหนดแบนด์วิธที่มีผลในการส่งคลื่น FM ได้ขั้นแรกพิจารณากรณีที่คลื่น FM ถูกส่งมาโดยการใช้ modulating wave (f_m) เพียงความถี่เดียวและเกิดแถบความถี่ข้างเคียงห่างจาก f_c โดยปริมาณที่มากกว่าค่าเบี่ยงเบนความถี่ Δfและแถบความถี่ข้างเคียงนี้จะมีระยะห่างลดลงไปทางศูนย์อย่างรวดเร็ว ดังนั้นแบนด์วิธ จะมากกว่าความถี่ที่เคลื่อนไปทั้งหมดเสมอ แต่ว่า ถึงกระนั้นก็ตาม มันจะมีขีดจำกัดโดยเฉพาะกรณีที่ β มีค่ามาก แบนด์วิธจะมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ที่เคลื่อนที่ไปทั้งหมด$2\Delta f$แต่จะมีค่ามากกว่าเล็กน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้า β มีค่าน้อย สเปคตรัมของคลื่น FM จะถูกจำกัดให้มีแต่ความถี่ f_c และแถบความถี่ข้างเคียงคู่หนึ่ง ณ ความถี่$f_c \pm f_m$ ฉะนั้น แบนด์วิธจะมีค่าใกล้เคียงกับ $2f_m$ดังนั้นจึงอาจจะกำหนดกฎเกณฑ์ สำหรับแบนด์วิธที่ใช้ในการส่งคลื่น FM โดยประมาณสำหรับกรณีของ modulating wave มีความถี่เป็น f_m เพียงค่าเดียวได้ดังนี้

$$B_T \cong 2\Delta f + 2f_m$$
$$= 2\Delta f(1+1/\beta) \qquad (2.27)$$

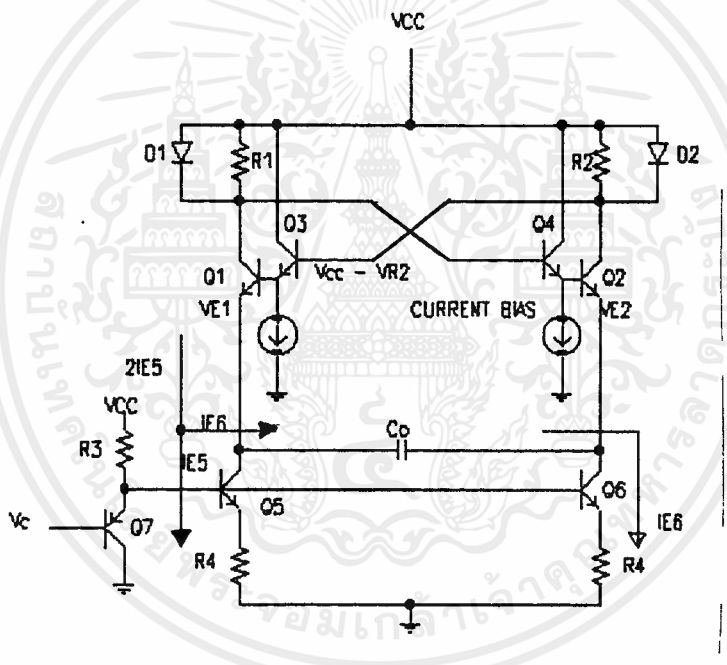
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งความสัมพันธ์ตามสมการ 2.27 นี้เรียกว่ากฎของคาร์สัน (Carson's rule)

2.5 อิมิตเตอร์คัปเปลอร์ โวลเตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์

(Emitter Coupler Voltage control Oscillator)

จากรูปที่ 2.20 ตัวต้านทาน R_1 R_2 ต่อขนานไว้เพื่อกำหนดการทำงานของทรานวิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 ไม่ทำงาน "OFF" แรงดัน Vcc ที่คร่อม R_2 จะไปทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_2 ทำงาน ไดโอด D_2 ก็จะทำงานด้วย ในทางกลับกันเมื่อ Q_2 ไม่ทำงาน แรงดัน Vcc ที่คร่อม R_1 จะไปทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงาน เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานไดโอด D_1 ก็จะทำงาน



รูปที่ 2.20 รูปแสดงวงจรอิมิตเตอร์คัปเปลอร์

กรณี Q_1 ทำงาน Q_1 "ON" เมื่อ Q_1 ทำงาน Q_2 ไม่ทำงาน เพราะ Q_1 จะดึงกระแสที่จุด A มามาก ทำให้ I_4 ของ Q_4 มีค่าน้อยมาก กระแสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 I_{BQ2} มีค่าน้อยมาก เสมือนว่ากระแสที่จะไปไบแอสให้ Q_2 ทำงานไหลลงกราวนด์ไป

$$V_{b1} = V_{CC} - V_{R2} - V_{b.Q1} \qquad ; V_{R2} \text{ ค่าน้อยมาก}$$

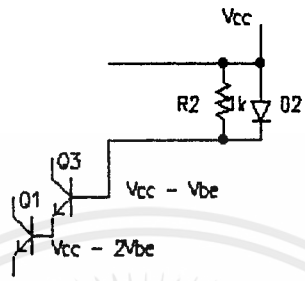
เนื่องจากเมื่อ Q1 "ON" ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานเป็นสวิตช์ปิด ทำให้

$$V_{e1} = V_{c1}$$
$$= V_{b1} - V_{b.Q1}$$
$$= V_{CC} - 2V_{be}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานจนกว่า $V_{b_1} = 0$ นั่นคือ

$$V_{e1} = V_{b1}$$
$$= Vcc - V_{b_e}$$

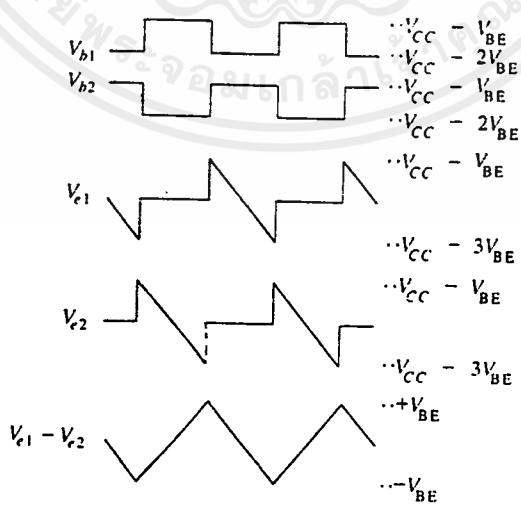


รูปที่ 2.21 รูปแสดงส่วนของวงจรอิมิตเตอร์คัปเปลอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 เริ่มทำงาน

จากรูปที่ 2.21 ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเริ่มทำงานเมื่อ $V_{b1} - V_{e1} = V_{b_e} = 0.6\,V$

$$\therefore \quad V_{e1} = Vcc - 3\,V_{b_e}$$

นั่นคือช่วงการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1 เริ่มตั้งแต่ $V_{e1} = Vcc - 3\,V_{b_e}$ จนถึง $V_{e1} = Vcc - V_{b_e}$ ดังรูป



รูปที่ 2.22 รูปแสดงระดับโวลเตจแสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่ Q_3 และ Q_4 กระแส $I_{c3} = I_{c4}$

จาก $I_1 = I_b + I_3$

$= \beta I_b + I_b$

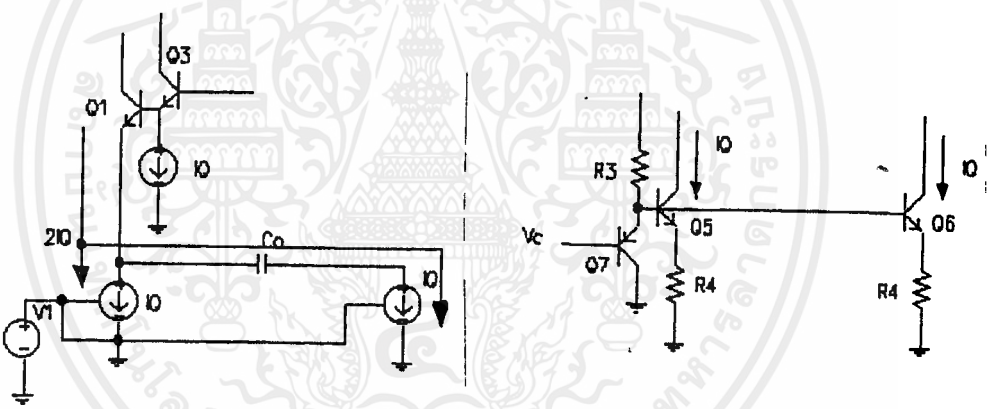
$= (\beta + 1) I_b$

$\therefore I_{c3} = I_{c4}$, $I_{c3} = I_{c4}$

ขณะที่ Q_1 ทำงานกระแส I_{c1} ส่วนหนึ่งจะแยกไหลมาที่ Q_3 ส่วนหนึ่งจะแยกไหลมาที่ Q_4

ดังนั้น $I_Q = I_{c3} = I_{c4} = I_{c1}/2$

กระแสที่ไหลมา Q_4 จะไหลผ่าน Co เสมือนมาทำการชาร์จประจุให้กับ Co และจะชาร์จประจุ Co ไปเรื่อยๆ จนกว่า Q_1 จะหยุดทำงาน เมื่อ $I_{c1} = Vcc - V_{be}$ เมื่อ Q_1 OFF Q_2 จะ ON ก็จะมีกระแสจาก I_{c2} แยกไหลมาที่ Q_4 และ Q_3 กระแส $I_{Q4} = I_{Q3} = I_{c2}/2$ กระแสที่ไหลมาที่ Q_3 จะไหลผ่าน Co เสมือนว่า Co ทำการดิสชาร์จประจุไปเรื่อยๆ จนกว่า Q_2 OFF



รูปที่ 2.23 รูปแสดงส่วนของวงจรอิมิตเตอร์คัปเปลอร์ที่เป็น CCO

จากรูปที่ 2.23 a) หาค่าโวลเตจคร่อม Co : V_{c_o} ขณะทำการชาร์จประจุ

จาก $I_Q = \dfrac{C dV_{c_o}}{dt}$

$\int_{V_{cc-V_{be}}}^{t} \dfrac{I_Q dt}{C} = \int_{V_{cc-3V_{be}}}^{V_{cc-V_{be}}} dV_{c_o}$: พิจารณาตั้งแต่ช่วงที่ Q_1 เริ่มทำงานถึง Q_1 OFF

$\dfrac{I_Q t}{C} = Vcc - V_{be} - Vcc + 3V_{be}$

$= 2V_{be}$

$t = \dfrac{2V_{be} C}{I_Q}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore$ 1คาบเวลา $T = 2t$

$$= \frac{4V_{be}C}{I_Q}$$

$$f_o = \frac{1}{T} = \frac{I_Q}{4Vbe\ C} \quad : \text{CCO (Current Control Oscillator)}$$

จากรูปที่ 2.23 b)

$$V_{b5} - V_{eb7} = Vc$$

$$V_{b5} = Vc + V_{eb7}$$

$$V_{e5} = V_{b5} - V_{be5}$$

$$= Vc + V_{eb7} - V_{be5}$$

เนื่องจาก V_{eb7} (PNP) $\cong$ V_{be5} (NPN)

$$\therefore \quad V_{e5} \cong V_c$$

จาก $\frac{I_Q}{R_4} = \frac{V_{e5}}{R_4} = V_c$

$$\therefore \quad f_o = \frac{Vc}{4V_{be}CR_4} \quad : \text{VCO (Voltage Control Oscillator)}$$

2.6 เฟสล็อคลูปดีมอดูเลเตอร์ (Phase-locked Loop Demodulator)

เฟสล็อคลูป (PLL) เป็นระบบป้อนกลับแบบลบ (negative feedback)ซึ่งประกอบด้วยองค์-ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ มัลติพลายเออร์ ลูปฟิลเตอร์ และ VCO ที่ต่ออยู่ด้วยกันในรูปของ Feedback loop ตามรูป2.24 VCO เป็นเครื่องกำเนิดคลื่นลักษณะไซน์ซึ่งจะกำหนดความถี่ได้จากโวลท์เตจที่ จ่ายให้จากแหล่งจ่ายไฟภายนอกวงจร

สมมติว่าในตอนแรก VCO ถูกปรับโวลท์เตจที่ควบคุมให้เป็นศูนย์ ก็จะมีเงื่อนไข 2 ประการ คือความถี่ VCO จะเท่ากับความถี่คลื่นพาห์ f_c ที่ยังไม่มีการมอดูเลทพอดี และเอาท์พุทของ VCO จะมี phase-shift ไป 90 องศาเมื่อเทียบกับคลื่นพาห์ลักษณะไซน์ที่ยังไม่การมอดูเลท สมมติว่าสัญญาณอินพุทที่จ่ายให้กับ PLL เป็นคลื่น FM ซึ่งกำหนดโดย

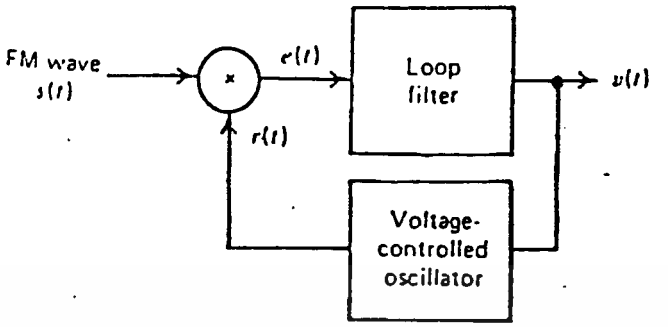
$$s(t)=A_c\sin[2\pi f_c t + \phi_1(t)] \qquad (2.28)$$

ซึ่ง A_c เป็นแอมปลจูดของคลื่นพาห์ เมื่อมี modulating wave m(t) จะได้

$$\phi_1(t) = 2\pi k_f \int_0^t m(t)dt \qquad (2.29)$$

ซึ่ง k_fเป็น frequency sensitivity ของมอดูเลเตอร์ กำหนดให้เอาท์พุทของ VCO เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 เฟสล็อคลูป

$$r(t) = A_v \cos[2\pi f_c t + \phi_2(t)] \tag{2.30}$$

ซึ่ง A_v เป็นแอมปลิจูด และเมื่อมีโวลท์เตจ v(t) ป้อนให้กับอินพุทของ VCO นี้ จะได้

$$\phi_2(t) = 2\pi k_v \int_{-\infty}^{t} v(t)dt \tag{2.31}$$

ซึ่ง k_v เป็น frequency sensitivity ของ VCO มีหน่วยเป็น Hz/volt คลื่น FM ที่เข้ามา และเอาท์พุทของVCO r(t) จะป้อนให้กับมัลติพลายเออร์ แล้วทำให้เกิดองค์ประกอบ 2 เทอม คือ องค์ประกอบความถี่ ซึ่งแสดงโดย

$$k_m A_c A_v \sin[4\pi f_c t + \phi_1(t) + \phi_2(t)]$$

และองค์ประกอบความถี่ต่ำซึ่งแสดงโดย

$$k_m A_c A_v \sin\phi_1(t) - \phi_2(t)$$

ในที่นี้ k_m เป็น multiplier gain มีหน่วยเป็น 1/โวลท์เตจ องค์ประกอบความถี่สูงจะถูกจำกัดโดยฟิลเตอร์และ VCO เพราะฉะนั้น เมื่อตัดองค์ประกอบความถี่สูงออกไปแล้ว อินพุทของลูปฟิลเตอร์ จะมีค่า ดังนี้

$$e(t) = k_m A_c A_v \sin[\phi_e(t)] \tag{2.32}$$

ซึ่ง $\phi_e(t)$ เป็น phase error ซึ่งกำหนดให้เป็นดังนี้

$$\phi_e(t) = \phi_1(t) - \phi_2(t)$$

$$= \phi_1(t) - 2\pi k_v \int_{-\infty}^{t} v(t)dt \tag{2.33}$$

เอาท์พุทโวลท์เตจของลูปฟิลเตอร์ซึ่งเกิดจากอินพุท e(t) จะเป็นดังนี้

$$v(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e(\tau)h(t-\tau)d\tau \tag{2.34}$$

ซึ่ง h(t) เป็นอิมพัลส์เรสปอนส์ของฟิลเตอร์

โดยการใช้สมการ 2.32 ถึง 2.34 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi_e(t)$ และ $\phi_1(t)$ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d\phi_e(t) = d\phi_1(t) - 2\pi K_0 \int_{-\infty}^{\infty} \sin[\phi_e(\tau)]h(t-\tau)d\tau \qquad (2.35)$$

ซึ่ง K_0 ถูกกำหนดโดย

$$K_0 = k_m k_v A_c A_v \qquad (2.36)$$

แอมปลิจูดทั้ง A_c และ A_v มีหน่วยเป็นโวลท์ multiplier gain ในหน่วย 1/โวลท์ และ frequency sensitivity k_v ในหน่วย Hz/volt ฉะนั้นจะเห็นได้จากสมการ 2.36 ว่า K_0 จะเป็นความถี่สำหรับสมการ 2.35

ขณะที่ค่าผิดพลาดทางเฟส $\phi_e(t)$เป็นศูนย์ PLL ถูกเรียกว่าเป็น phase-lock ถ้า$\phi_e(t)$มีค่าน้อยเสมอเมื่อเทียบกับ1 เรเดียน ก็อาจจะใช้ค่าโดยประมาณดังนี้

$$\sin[\phi_e(t)] \cong \phi_e(t) \qquad (2.37)$$

ในกรณีนี้อาจกล่าวได้ว่าใกล้กับ phase-lock และอาจไม่ต้องคำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของคลื่นลักษณะไซน์ก็ได้ ดังนั้นจึงอาจแสดง PLL โดยรูปแบบที่เป็นเชิงเส้นได้ $\phi_e(t)$จะมีความสัมพันธ์กับเฟสที่อินพุท$\phi_1(t)$ตามสมการ integro-differentialfyดังนี้

$$\frac{d\phi_e(t)}{dt} + 2\pi K_0 \int_{-\infty}^{\infty} \phi_e(\tau)h(t-\tau)d\tau = \frac{d\phi_1(t)}{dt} \qquad (2.38)$$

กำหนดให้ $\Phi_e(t)$และ $\Phi_1(t)$เป็นฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มของ $\Phi_e(t)$และ$\Phi_1(t)$ตามลำดับ ดังนั้น จากสมการ2.38 จะได้

$$\Phi_e(t) = 1/(1+L(f))\Phi_1(t) \qquad (2.39)$$

ในที่นี้ฟังก์ชั่น L(f) สมการ 2.38 ถูกกำหนดให้เป็นดังนี้

$$L(f) = \frac{K_0 H(f)}{jf} \qquad (2.40)$$

ซึ่ง H(f) เป็นทรานส์เฟอร์ชั่นของลูปฟิลเตอร์และเรียก L(f) นี้ว่า open-loop transfer fucntion ของ PLL สมมติว่า กำหนดให้ $|L(f)| >> 1$ สำหรับทุกความถี่ของแบนแบนด์ ดังนั้น จากสมการ2.39 $\Phi_e(f)$จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ นั่นคือ เฟสของ VCO จะเป็น asymtote กับเฟสของคลื่นที่เข้ามาด้วยเหตุนี้จึงเกิด phase-locked ขึ้น

อนุกรมฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์ม V(t) ของเอาท์พุทของ PLL v(t) จะสัมพันธ์กับ $\Phi_e(t)$ดังนี้

$$V(f) = \frac{K_0 H(f)\Phi_e(t)}{k_v} \qquad (2.41)$$

หรือ

$$V(f) = \frac{jfL(f)\Phi_e(f)}{k_v} \qquad (2.42)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการ 2.39 ลงใน 2.42 จะได้

$$V(f) = \frac{(jf/k_v)L(f)\Phi_1(f)}{1+L(f)} \qquad (2.43)$$

และถ้ากำหนดให้ $|L(f)| >> 1$ จะได้ค่าโดยประมาณของV(f) จากสมการ2.43ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V(f) \cong \frac{jf\Phi_1(f)}{k_v} \quad (2.44)$$

และจะได้ความสัมพันธ์ในโดเมนเวลา ดังนี้

$$V(t) \cong (1/2\pi k_v)\frac{d\Phi_1(t)}{dt} \quad (2.45)$$

ดังนั้น เมื่อกำหนดให้ขนาดของ L(f) มีค่ามากๆในทุกความถี่ที่พิจารณา ก็สามารถจะสร้างรูปแบบของ PLL ได้โดยใช้ดิฟเฟอร์เรนติเอเตอร์ที่มีตัวประกอบ $1/2\pi k_v$ คูณอยู่ที่เอาท์พุทแทนค่าสมการ 2.29 ลงในสมการ 2.45 จะได้สัญญาณเอาท์พุทของ PLL ดังนี้

$$v(t) \cong \frac{k_f m(t)}{k_v} \quad (2.46)$$

นั่นคือ เอาท์พุทของ PLL จะมีค่าใกล้เคียงกับ m(t) เมื่อยังไม่พิจารณา scaling factor k_f/k_v จึงสามารถกล่าวได้ว่าสัญญาณเบสแบนด์ ดังนั้นสัญญาณเบสแบนด์จะกลับคืนมาได้

จุดเด่นที่สำคัญของ PLL คือมอดูเลเตอร์ก็คือ แบนด์วิธของคลื่น FM ที่เข้ามาจะกว้างมากกว่าของลูปฟิลเตอร์ H(f)ทราส์เฟอร์ฟังก์ชั่นนั้นควรจะจำกัดแบนด์ให้อยู่ภายในเบสแบนด์ ดังนั้นสัญญาณที่ควบคุม VCO จะมีแบนด์วิธอยู่ภายในสัญญาณเบสแบนด์ m(t) ส่วนเอาท์พุทของVCO จะเป็นคลื่นที่มอดูเลทางความถี่ที่มีแบนด์กว้างซึ่งความถี่ขณะหนึ่งจะคิดตามคลื่น FM ที่เข้ามาอยู่เสมอ ความซับซ้อนของ PLL ก็คือการกำหนดทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นH(f) ของลูปฟิลเตอร์รูปแบบที่ง่ายที่สุดของ PLLคือ H(f)=1 กล่าวคือไม่มีลูปฟิลเตอร์ ผลที่ได้จาก PLL ในขณะนี้เรียกว่า PLL อันดับที่สูงกว่านั้น H(f) จะมีรูปแบบที่ยุ่งยากกว่า อันดับ ของ PLL ถูกกำหนดโดย closed-loop transfer fucntionซึ่งมีตัวหารหลายๆเทอมตามแบบสมการ2.43

2.7 เฟสล็อคลูป (Phase Lock Loop : PLL)

คุณสมบัติของวงจร PLL คือทำให้ออสซิลเลเตอร์ที่สามารถออสซิลเลทได้หลายๆความถี่ถูกล็อคไว้ ณ สภาวะหนึ่งที่มีความถี่และมุมเฟสของสัญญาณตรงกับความถี่และมุมเฟสมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงซึ่งทำให้ออสซิลเลเตอร์มีความเที่ยงตรงเช่นเดียวกับสัญญาณมาตรฐานได้

PLL ประกอบด้วย 3 ส่วน

1. เฟสดีเทคเตอร์ (Phase detector) หรือ คอมพาราเตอร์(Comparator) ประกอบด้วย 2 อินพุท ที่รับสัญญาณมาจาก VCO ด้วยความถี่ของสัญญาณเท่ากับ f_0 และมีออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ f_s เป็นตัวอ้างอิงเอาท์พุทเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าสัญญาณ f_0 มีเฟสเหมือนหรือแตกต่างจาก f_s

2. โลว์พาสฟิลเตอร์ (Low Pass Filter :LPF) หรือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เป็นวงจร RC มีคุณสมบัติในการกำจัดสัญญาณไฟสลับของวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้ง 2 วงจรออกไปจากแรงดันเอาท์พุทของวงจรเฟสดีเทคเตอร์ สัญญาณอินพุทที่เข้ามาที่วงจรฟิลเตอร์นั้นเป็นสัญญาณไฟตรงผิดพลาด (error signal) พร้อมกับแรงดันไฟสลับกระเพื่อม จะได้สัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟตรงที่กรองสัญญาณแล้วเพื่อป้อนต่อไปยังวงจรขยายสัญญาณไฟตรงต่อไป

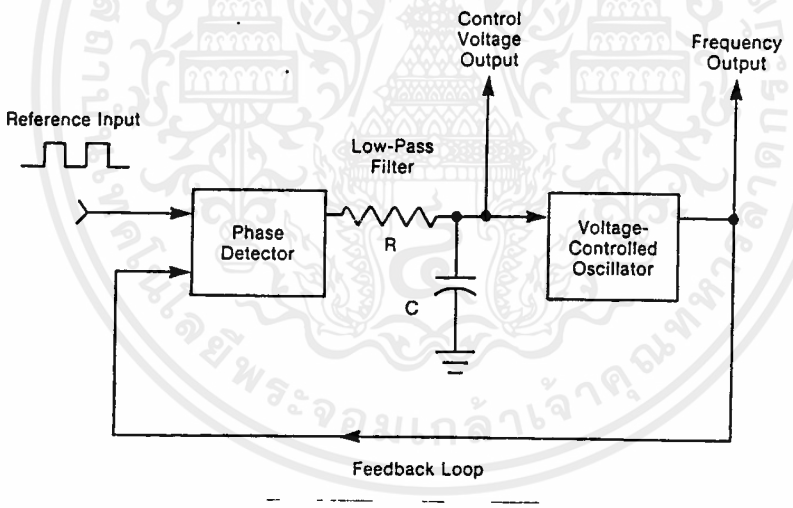
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรขยายสัญญาณไฟตรง (DC amplifier) เป็นตัวเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อช่วยให้การควบคุมดีขึ้น เอาท์พุทของวงจรขยายสัญญาณจะจ่ายแรงดันไฟตรงตามระดับที่ต้องการเพื่อป้อนให้แก่วาแร็กเตอร์ในวงจร VCO

4.VCO วงจร VCO ซึ่งความถี่ถูกควบคุมด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกระดับแรงดันไฟฟ้าจากวงจรขยายสัญญาณจะล็อคให้ VCO มีความพี่และเฟสเหมือนกับออสซิลเลเตอร์มาตรฐาน วงจร PLL มีโหมดการทำงานของ VCO อยู่ทั้งหมด 3 โหมดด้วยกันคือ ฟรีรันนิ่ง (Free running) แค็ปเจอร์(Capture) และโหมดล็อคอิน(Lock in)หรือแทร็กกิ้ง(Tracking) ถ้าความถี่ f_0 มีค่าแตกต่างจาก f_s มากวงจร PLL จะไม่สามารถถูกทำให้อยู่ในสภาวะล็อคได้ และเมื่อปราศจากการทำงานในสภาวะล็อคอินแล้ววงจร VCO จะกลับกลายเป็น ฟรีรันนิ่งออสซิลเลเตอร์ไป

หลักการทำงานของวงจร PLL

ดังกล่าวมาแล้วว่าเฟสล็อคลูปเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีหลักการทำให้ความถี่เอาท์พุทของลูปมีลักษณะเป็นไปตามความถี่ของสัญญาณอินพุท โดยเปรียบเทียบกันระหว่างสัญญาณทั้งสอง ถ้าเฟสไม่ตรงกันก็จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นเพื่อแก้ไขความถี่ของออสซิลเลเตอร์ใหม่ให้เฟสต่างกันน้อยลงและจะเป็นอย่างนี้ตลอดไปจึงทำให้เฟสล็อคกันอยู่ได้



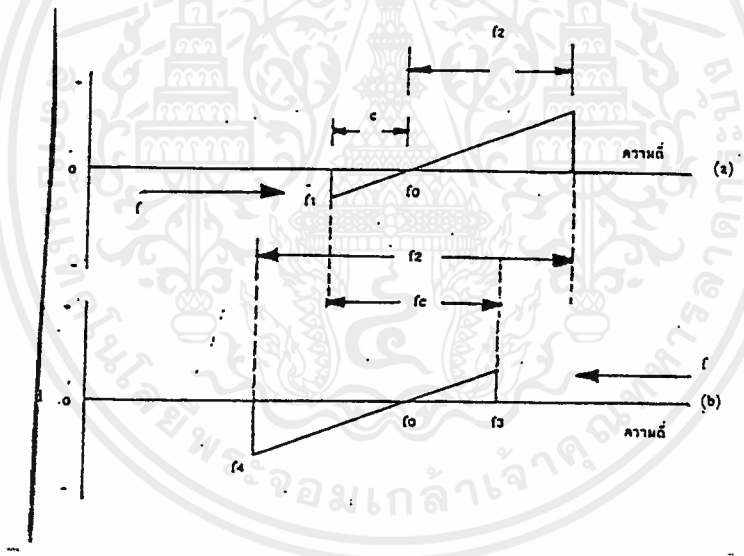
รูปที่ 2.25 รูปแสดง องค์ประกอบพื้นฐานของวงจรเฟสล็อคลูป

จากทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุมและการป้อนกลับ เฟสดีเทคเตอร์หรือเฟสคอมพาราเตอร์ LPF และวงจรขยายสัญญาณคลาดเคลื่อน (Error Amplifier) จะอยู่ในส่วนฟอร์เวิร์ด (Forward Path) และ VCO อยู่ในส่วนป้อนกลับ (Feedback Path) จากรูปเมื่อยังไม่มีสัญญาณอินพุทป้อนในระบบ แรงดันไฟฟ้าควบคุม : $V_1(t)$จะเป็นศูนย์ VCO จะทำงานตามความถี่ f_0ที่ตั้งไว้ซึ่งเรียกว่าความถี่ศูนย์กลาง (Center frequency) หรือความถี่ฟรีรันนิ่ง (Free running Frequency) ถ้ามีสัญญาณอินพุทป้อนให้ระบบเฟสคอมพาราเตอร์จะทำการเปรียบเทียบเฟสและความถี่ของสัญญาณ VCO กับอินพุทแล้วสร้างแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน:$V_0(t)$ ซึ่งสัมพันธ์กับความต่างเฟสและความถี่ของสัญญาณทั้งสอง แรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนนี้จะถูกกรองในLPF ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่ำเท่านั้นผ่านไปได้ จากนั้นจะขยายแล้วป้อนให้ VCO ในลักษณะเช่นนี้ แรงดันไฟฟ้าควบคุม$V_d(t)$จะไปบังคับให้ความถี่ของ VCO แปรไปในทิศทางที่ลดความแตกต่างระหว่างความถี่ f_o กับความถี่ f_s ลงจากนั้นด้วยคุณสมบัติการป้อนกลับของเฟสล็อคลูป ถ้าความถี่อินพุท (f_s) ใกล้เคียงกับ f_o ก็จะทำให้ VCO ซิงค์โครไนซ์หรือล็อคกับสัญญาณอินพุท ได้ และเมื่ออยู่ในสภาวะล็อคอย่างนี้ ความถี่ของ VCO จะเท่ากันกับความถี่ของสัญญาณอินพุทแต่เฟสแตกต่างกันเล็กน้อย เฟสที่ต่างกันนี้จะทำให้ความถี่ ฟรีรันนิ่งของ VCO เลื่อนเข้าไปใกล้ไปหาความถี่สัญญาณอินพุท f_s เพื่อรักษาสภาพการล็อคเอาไว้ให้ได้

ด้วยความสามารถในการปรับสภาพตัวเองให้ถูกต้องได้ของระบบ ขณะที่ลูปของวงจรอยู่ในสภาวะล็อคลูปจะทำให้ลูปสามารถตามรอยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุทได้ ซึ่งช่วงความถี่โดยตลอดที่ลูปสามารถคงการล็อคกับสัญญาณอินพุทไว้ได้นี้เราเรียกว่า พิสัยในการภาวะล็อค (Locked Range) ของระบบ ส่วนช่วงความถี่โดยตลอดซึ่งลูปสามารถเข้ายึดการล็อคกับสัญญาณอินพุท (เริ่มล็อค) ได้ เรียกว่า พิสัยการเข้าสู่ภาวะล็อค (Capture Range) ของระบบและพิสัยนี้จะไม่กว้างไปกว่า พิสัยในภาวะล็อคอย่างแน่นอน



รูปที่ 2.26 ทรานส์เฟอร์คาร์แร็กเทอร์ริสติก ระหว่างความถี่กับแรงดันไฟฟ้าเฟสล็อคลูป
(a) เมื่อเพิ่มความถี่สัญญาณอินพุท
(b) เมื่อลดความถี่สัญญาณอินพุท

การเข้าสู่สภาวะล็อคและภาวะขณะที่เฟสล็อค

จากรูปที่ 2.26 แสดงถึงทรานส์เฟอร์คาร์แร็กเตอร์ริสติคของเฟสล็อคระหว่างความถี่กับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในลูป ในตอนแรกเราจะพิจารณาถึงสภาวะขณะที่ลูปยังไม่ได้อยู่ในสภาวะล็อคก่อนโดยเฟสคอมพาราเตอร์จะเป็นตัวผสมสัญญาณอินพุทเข้ากับสัญญาณ VCO ทำให้เกิดทั้งผลบวก ($f_o + f_s$) และผลต่าง ($f_o + f_s$) ยังอยู่นอกขอบเขตของ LPF ที่จะตอบสนองได้ จึงถูกกรองทิ้งไปหมดไม่มีสัญญาณไหลภายในลูป ดังนั้นในสภาวะนี้ VCO จะยังคงทำงานที่ความถี่เริ่มต้นคือความถี่เริ่มต้นเดิม คือความถี่ฟรีรันนิ่ง (f_o)

ต่อมาเมื่อความถี่อินพุทเข้าใกล้ความถี่ของ VCO คือเท่ากับ f(s) ดังรูปความถี่ผลต่าง(f_o-f_s) จะลดลงเข้าใกล้ขอบเขตของความถี่ที่LPF สามารถตอบสนองได้ ดังนั้นในช่วงนี้บางส่วนของสัญญาณผลต่างจะผ่าน LPF ไปได้ ซึ่งจะไปขับ VCO ให้มีความถี่เข้าหาสัญญาณอินพุท (f_i) ในขณะนั้นความถี่ผลต่าง (f_s - f_o) จะลดลงเรื่อยๆ (เนื่องจาก VCO ถูกขับให้มีความถี่เข้าใกล้ f_s มากขึ้น) ทำให้สัญญาณที่ส่งผ่าน LPF มีผลต่อ VCO มากขึ้น ความถี่ของ VCO ก็จะยิ่งเข้าใกล้ f_sจนในที่สุด ลูปก็จะเข้าสู่สภาวะเฟสล็อคได้เมื่อ $f_s = f_o$

ตอนที่ระดับแรงดันคลาดเคลื่อน :V_e (t) เริ่มผ่าน LPF ได้แสดงว่าลูปเริ่มตรวจจับ (Capture) ได้ (เราสังเกตได้จาก VCO จะเริ่มเปลี่ยนความถี่ไปเพราะเพิ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าผ่านเข้ามาขับเป็นครั้งแรก) จากนั้นแรงดันไฟฟ้าควบคุม :V_d(t) จะทำให้ความถี่ f_oของ VCO เปลี่ยนเข้าใกล้ f_sยิ่งขึ้นและในที่สุดความถี่ทั้งสองก็จะเท่ากัน ($f_o = f_s$) ที่สภาวะนี้เรียกว่าลูปอยู่ในสภาวะล็อค (in lock)

ในขณะที่ลูปอยู่ในภาวะล็อค แรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน : V_e (t) ซึ่งเกิดจากความต่างเฟสดังที่กล่าวมาแล้ว โดยเฉลี่ยจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ทำให้แรงดันไฟฟ้าควบคุม :V_d (t) ซึ่งจะได้จากค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน :V_e (t) มีค่าคงที่ไปด้วย เพื่อเป็นแรงดันไฟตรง ขับให้ VCO มีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุทอยู่ตลอดเวลา

ตอนแรกที่ลูปเริ่มล็อคกับสัญญาณอินพุท ความถี่ของ VCO ลดลงก่อน จากนั้นไปเมื่อเพิ่มความถี่ f_sขึ้นการล็อคจะขึ้นอยู่กับความสามารถของ VCO ที่จะเปลี่ยนความถี่ไปโดยมีความลาดชัน (slope) ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างความถี่กับแรงดันไฟฟ้าควบคุม :V_d (t) 1/ko (ko :Conversion Gain ของ VCO มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที/โวลท์) และเมื่อเพิ่มความถี่ไปจนถึงความถี่ศูนย์กลาง= f_o แรงดันไฟฟ้าควบคุม : V_d(t) จะมีค่าเป็นศูนย์โวลท์ ลูปจะตามรอยสัญญาณอินพุทไปจนกระทั่งถึงความถี่ f_2 ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดของพิสัยในสภาวะล็อค แล้วก็หลุด จากสภาวะล็อคไปแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน :V_e(t) จะมีค่าเท่ากับศูนย์

หลังจากนั้นถ้าลดความถี่สัญญาณอินพุทลงมาก็จะเกิดวัฏจักรขึ้นอีกดังในรูป สัญญาณจะเริ่มกลับเข้าสู่การตรวจจับของลูปอีกที่ f_s และลูปจะตามรอยสัญญาณอินพุทได้แต่ถึง f_4 ช่วงความถี่จาก f_1ถึง f_2 นี้เรียกว่า พิสัยการเข้าสู่สภาวะล็อค (Capture range) และช่วงความถี่จาก f_2กับ f_4 เรียกว่า พิสัยในการล็อค หรือ locked range จากรูปคือ

$$f_2 - f_1 = 2f_c = \text{Capture range}$$

$$f_2 - f_4 = 2f_L = \text{Capture range}$$

จากทรานส์เฟอร์คาร์แร็กเตอร์ริสติค เราสามารถกำหนดความถี่ศูนย์กลางให้ลูปได้โดยการตั้งความถี่ฟรีรันนิ่งที่ VCO และลูปจะตอบสนองเฉพราะความถี่ของสัญญาณที่อยู่ในช่วงจาก f_oถึงf_c หรือ f_L เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ว่าลูปเริ่มต้นด้วยการล็อคหรือไม่ ในทางปฏิบัติ การใช้งานของเฟสล็อคลูปโดยมากต้องการ VCO ที่มีคุณลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear)อย่างแท้จริงด้วย เพื่อประโยชน์ในการตามรอยสัญญาณอินพุท

พิสัยการเข้าสู่สภาวะล็อค (Capture range)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามได้ว่า คือพิสัยความถี่ที่มีศูนย์กลางอยู่ที่ความถี่เริ่มต้นของ VCO (คือความถี่ฟรีรันนิ่งที่ตั้งไว้) ตลอดพิสัยนี้ลูปสามารถดึงเข้าสู่การล็อคกับสัญญาณอินพุทได้ พิสัยการเข้าสู่ภาวะล็อคนี้อาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Lock-in range ก็ได้ ซึ่งเป็นการวัดว่าสัญญาณอินพุตจะต้องมีความถี่ใกล้เคียงกับศูนย์กลางของ VCO : f_0 มากน้อยเพียงใดลูปจึงจะเข้าสู่ภาวะล็อคได้ Lock-in range นี้จะเป็นครึ่งหนึ่งของ capture (หรือเท่ากับ f_c)

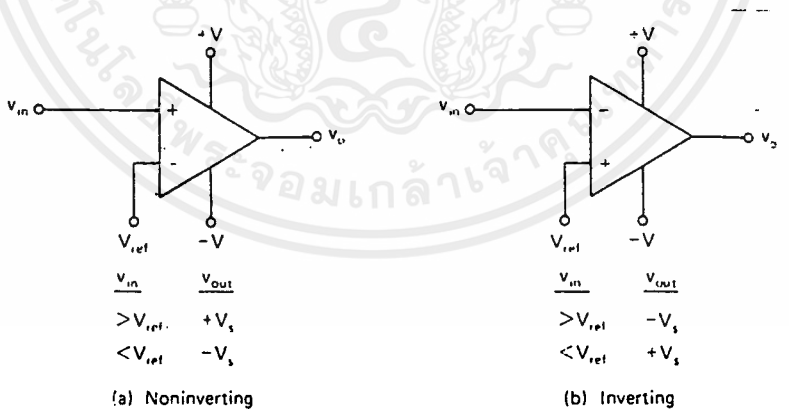
Capture range ถือได้ว่าเป็นความถี่ใดๆที่อยู่ภายใน Lock range และขึ้นอยู่กับขอบเขต LPF กับอัตราขยายลูปปิด (Close-Loop gain) ของระบบซึ่งความสามารถของลูปในการเกาะจับกับสัญญาณอินพุทนี้จะเป็นคุณสมบัติที่แสดงคุณสมบัติการเลือก (Selectivity) ความถี่ของลูปด้วย

พิสัยในภาวะล็อค (Lock Range)

คือพิสัยความถี่ที่มีศูนย์กลางอยู่ที่ความถี่ฟรีรันนิ่ง ตลอดพิสัยนี้ลูปสามารถตามรอยสัญญาณอินพุทได้ในขณะที่ลูปอยู่ในภาวะล็อค พิสัยในภาวะหรือ Lock Range นี้อาจเรียกว่า tracking range หรือ hold-in range ก็ได้ ซึ่งมีความหมายว่าความถี่ของลูปสามารถจะไกลห่างออกไปจากความถี่ศูนย์กลางได้เท่าไร tracking range มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ Lock range หรือเท่ากับ f_L

โวลท์เตจคอมพาราเตอร์

นอนอินเวอร์ติ้งโวลท์เตจคอมพาราเตอร์เป็นการที่ให้ด้านอินพุทของคอมพาราเตอร์ต่ออยู่กับโวลท์เตจอ้างอิง(Reference voltage) โดยมีลักษณะดังรูป 2.27 เมื่ออินพุทโวลท์เตจอินพุทมีค่าในทางบวกมากเมื่อเทียบกับโวลท์เตจอ้างอิง ค่าเอาท์พุทจะกำจัดการแซททูเรชั่นทางด้านบวกไว้ แต่ถ้าโวลท์เตจอินพุทมีค่ามากในทางลบมากเมื่อเทียบกับ โวลท์เตจอ้างอิง ค่าเอาท์พุทจะกำจัดการแซททูเรชั่นทางด้านลบออกไป

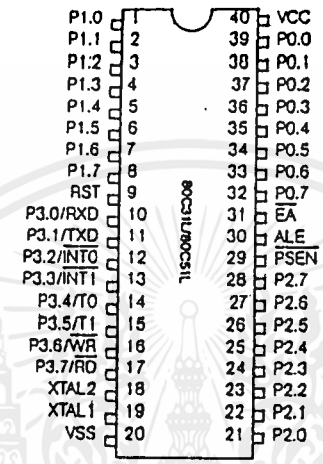


รูปที่ 2.27 โวลท์เตจคอมพาราเตอร์(Noninverting and Inverting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 โครงสร้างภายในของ 8051

เอ็มซีเอส 51 (MCS 1) ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS โดยมีโครงสร้างและการจัดวางขาดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 รูปแสดงการจัดวางขาของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่างๆดังนี้

- Vcc (ขา 40) ต่อกับ +5 V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- พอร์ท 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิท คือ P0.0 - P0.7 มีโครงสร้างแบบ Open Drain Bi-directional ใช้งานได้ 2 หน้าที่คือ ส่งแอดเดรสและดาต้าออกไปให้หน่วยความจำภายนอกเมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกควบคุมด้วยขาคอนโทรล และอีกหน้าที่หนึ่งคือ เป็นพอร์ท I/O ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก 1 ไปยังพอร์ทนี้
- พอร์ท 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิท คือ P1.0 - P1.7 มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 0
- พอร์ท 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิท คือขา P2.0 - P2.7 มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 0 สามารถใช้เป็นพอร์ทสำหรับส่งแอดเดรส 8 บิทบน A8-A15 และเป็น I/O พอร์ทใช้งานทั่วไป
- พอร์ท 3 (ขา 10 - 17) มีทั้งหมด 8 บิทคือขา P3.0 - P3.7 มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 พอร์ทนี้มีทำหน้าที่เป็น I/O พอร์ท นอกจากนี้ยังมีอีกหน้าที่หนึ่งคือมีการส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่างๆมีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.2/$\overline{INT0}$ (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3/$\overline{INT1}$ (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.4/T0 (Timer/Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจรไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเคิลของสัญญาณ T0 นี้หรือสัญญาณนาฬิกาก็ได้

P3.5/T1 (Timer/Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจรไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับ T0

P3.6/$\overline{WR}$ (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก 8051

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

- ALE (ขา 30) เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A0 - A7) ที่ส่งออกมาจากพอร์ท 0 สัญญาณนี้จะแอคทีฟทุกๆ 2 ครั้งใน 1 แมชชีนไซเคิล (1/16ของสัญญาณนาฬิกา)

- $\overline{PSEN}$ (ขา 29) เป็นขาที่ใช้ส่งสโตรบสำหรับอ่านข้อมูลจาก โปรแกรม เมมโมรี (Program Memory) ภายนอก (หน่วยความจำประเภทรอม) สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าเป็นการอ่านโปรแกรมเมมโมรีภายในจะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้

- $\overline{EA}$ (ขา 30) ถ้าป้อนลอจิก 0 เข้าที่ขานี้ ซีพียูจะอ่านค่าจากโปรแกรมเมมโมรีภายนอกชิพเท่านั้น แต่ถ้าถูกป้อนด้วยลอจิก 1 ก็จะอ่านโปรแกรมภายในชิพ

- RST (ขา 9) เป็นขารีเซ็ต ซีพียูจะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อ ป้อนลอจิก 1 เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล

- XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์

- XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์

2.8.1 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้กับ MCS 51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ โปรแกรมเมมโมรี และดาต้าเมมโมรี โปรแกรมเมมโมรี ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุอยู่ในชิพ 8051 ส่วนที่เป็นโปรแกรมเมมโมรีก็คือรอม ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง สำหรับดาต้าเมมโมรี เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลหน่วยความจำนี้ สามารถเขียนข้อมูลลงไปและอ่านข้อมูลออกมาได้ ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในชิพ มีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ แสดงดังรูปที่ 2.29 ส่วนหน่วยความจำภายนอกชิพ มี 64 กิโลไบต์ โดยตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและดาต้าที่มีตำแหน่งที่ซ้อนกัน ซีพียูสามารถติดต่อกับหน่วยความจำนี้โดยใช้คำสั่งที่ต่างกันคือ

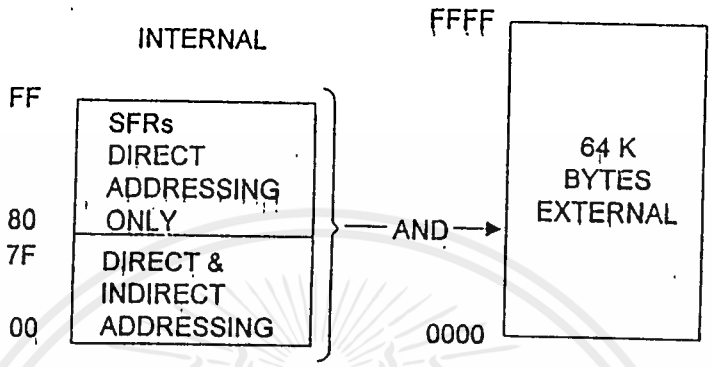
MOV ใช้ติดต่อกับ RAM ภายใน

MOVC ใช้ติดต่อกับโปรแกรมเมมโมรี

MOVX ใช้ติดต่อกับดาต้าเมมโมรีภายนอกชิพ โดยระบุตำแหน่งผ่านรีจิสเตอร์ DPTR

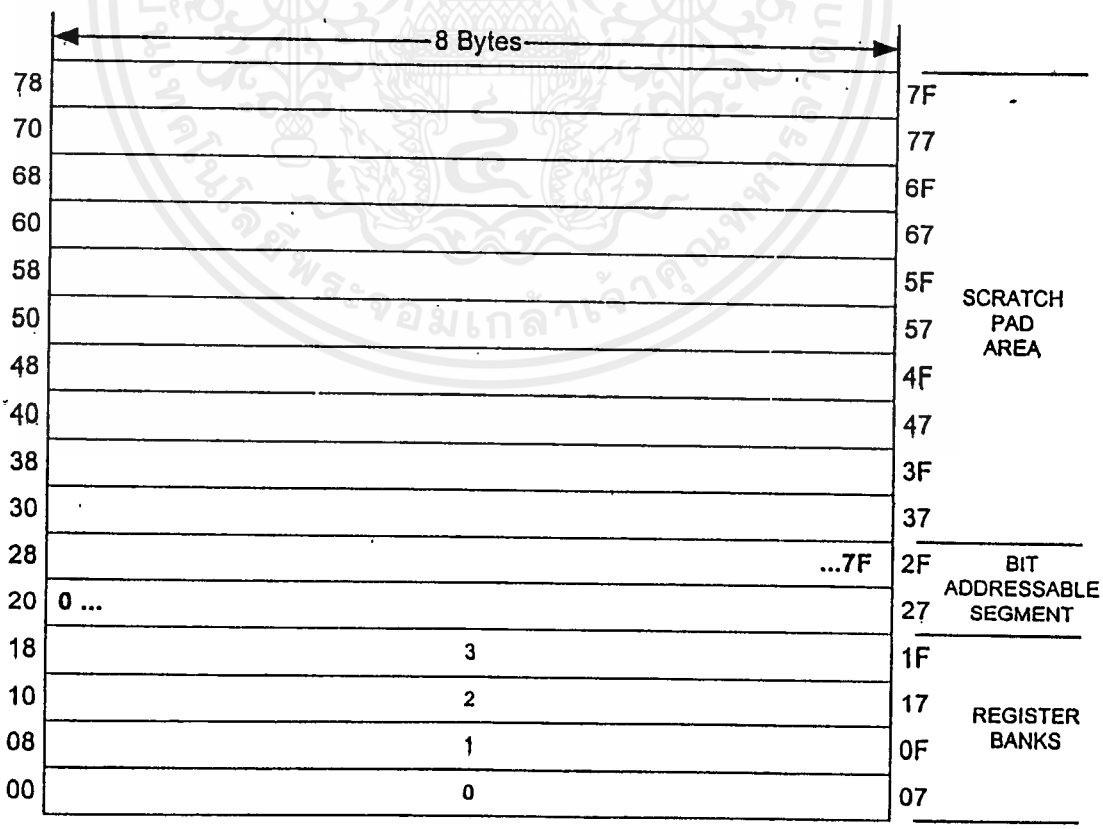
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ 80h-FFh ที่แสดงในรูปที่2.29 ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณนี้ต้องเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น พื้นที่บริเวณนี้เป็นพื้นที่ซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์ โดยส่วนแรกจะเป็น SFR แอดเดรส และIndirect Address Area ดังนั้น ผู้เขียนโปรแกรมแกรมถ้าจะติดต่อกับ SFR จะต้องใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น ส่วนพื้นที่อีกส่วนหนึ่งจะเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมเท่านั้น



รูปที่ 2.29 รูปแสดงผังหน่วยความจำสำหรับดาต้าแมมโมรี

สำหรับพื้นที่หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลทั้งโดยตรงและโดยอ้อม คือพื้นที่บริเวณ 128 ไบต์ล่างสุดจะแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 รูปแสดง ไบต์ของแรมที่สามารถเข้าถึงได้ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

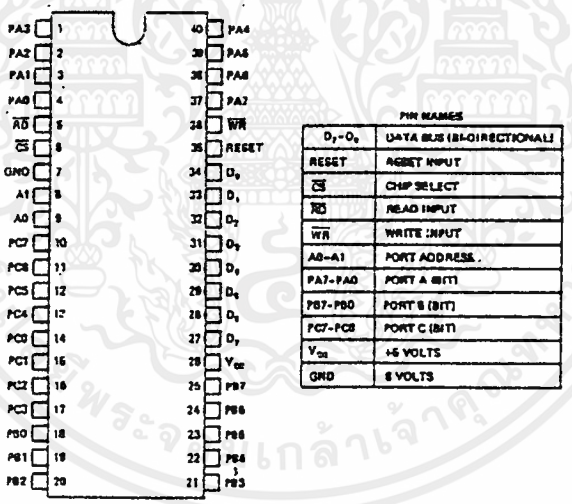
- รีจิสเตอร์แบงค์ (Register Bank 0-3) ตั้งแต่ตำแหน่ง 00-1Fh จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงค์ 0-3 โดยแบ่งเป็นแบงค์ละไบต์ รวมแล้วได้ 32 ไบต์ ถ้าซีพียูทำงานอยู่ที่แบงค์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ตแล้วจะกลับมาทำงานที่แบงค์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทันที

- บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งเขียน/อ่านเกี่ยวกับบิตได้ (Bit Addressable Area) พื้นที่บริเวณนี้อยู่ตั้งแต่แอดเดรส 20h-7Fh จำนวน 16 ไบต์หรือถ้านับเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิต ซึ่งตำแหน่งบิต 00, 01, 02 ,03 ,04 ,05 ,06 ,07 ก็คือตำแหน่งหน่วยความจำตำแหน่ง 20h ที่บิต 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ตามลำดับดังรูปที่ 2.30 ถ้าต้องการเซ็ตบิต D0 ของตำแหน่ง 20h ก็ให้ใช้คำสั่ง SET 00h

- บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area) พื้นที่ตั้งแต่ 30h-7Fh จะเขียนข้อมูลได้ทีละไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ ถ้าย้ายเนื้อที่สแต็คมาบริเวณนี้ให้ระวังการเขียนข้อมูลทับสแต็ค

2.9 8255 พอร์ทข้อมูลแบบขนาน

8255 เป็นไอซีที่มี 40 ขา ได้รับการออกแบบมาให้มีสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับ ซีพียู ชนิดต่างๆ 8255 เป็นไอซีที่ต่อเป็นพอร์ทให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 3 พอร์ท โดยมีโครงสร้างพื้นฐานแสดงได้ดังรูปที่ 2.31



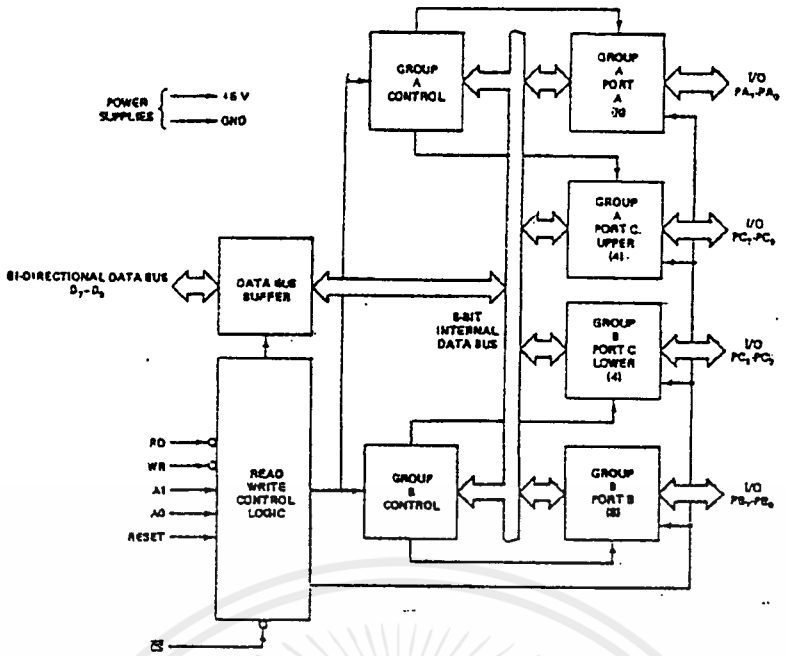
PIN NAMES

D_7-D_0	DATA BUS (BI-DIRECTIONAL)
RESET	RESET INPUT
$\overline{CS}$	CHIP SELECT
$\overline{RD}$	READ INPUT
$\overline{WR}$	WRITE INPUT
A0-A1	PORT ADDRESS
PA7-PA0	PORT A (BIT)
PB7-PB0	PORT B (BIT)
PC7-PC0	PORT C (BIT)
V_{CC}	+5 VOLTS
GND	0 VOLTS

รูปที่ 2.31 รูปแสดงแผนผังโครงสร้างของไอซี 8255

การเรียกพอร์ทของ 8255 จะเรียกพอร์ทต่างๆว่าพอร์ท A พอร์ท B และพอร์ท C โดยพอร์ท C แยกเป็น 2 ส่วนคือ พอร์ท C ล่าง หรือ ตั้งแต่ PC_0 - PC_3 มีจำนวน 4 บิต และพอร์ท C บนหรือตั้งแต่ PC_4 - PC_7 ที่พิเศษ คือ พอร์ททุกพอร์ทเป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุทและพอร์ทเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 รูปแสดง แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

รูปที่ 3.32 เป็นแผนผังภายในของไอซีและการจัดวางขาไอซี 8255 การทำงานของวงจรจะใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์มาควบคุมการทำงาน โดยไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งคำสั่งมาโปรแกรมการทำงานหรือกำหนดรูปแบบของพอร์ทให้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทได้

2.9.1 ขาต่างๆของ 8255

ความหมายและตำแหน่งของขาต่างๆทั้ง 40 ขาของไอซีประกอบด้วย

D_0- D_7 เป็นขาที่ข้อมูลอินพุทเอาท์พุทจะต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ D_0- D_7 จึงต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ทผ่านทางบัสนี้

$\overline{CS}$ (สัญญาณเลือกชิป) ขานี้เป็นขาอินพุทที่จะรับสัญญาณจากภายนอกเพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น '0' จะทำให้ 8255 ต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ทได้

$\overline{RD}$ (สัญญาณการอ่าน) เป็นสัญญาณอินพุทที่ต้องส่งมาจากซีพียูเมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น '0' และสัญญาณ CS เป็น '0' ด้วยไอซี 8255 จะทำให้ซีพียูอ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ทอินพุท

$\overline{WR}$ เป็นสัญญาณการเขียน จะแอคทีฟเมื่อสัญญาณ WR และสัญญาณ CS เป็น '0' สัญญาณนี้จะมาจากซีพียูเมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ทที่กำหนด

A_0- A_1 (สัญญาณแอดเดรส) ลอจิกของสัญญาณทั้งสองจะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัส เพื่อกำหนดรีจิสเตอร์ ภายในที่เชื่อมต่อกับพอร์ทอินพุทเอาท์พุทของ 8255

$\overline{RESET}$ (สัญญาณรีเซต) เป็นสัญญาณที่ส่งจากภายนอกเข้ามาทำการรีเซต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซต ก็จะกลับเข้าสู่โหมดอินพุทหรือทุกพอร์ทที่เป็นพอร์ทอินพุท

PA_0- PA_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ทของ 8255 ที่ชื่อพอร์ท A การเลือกพอร์ทจะเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0-A_1

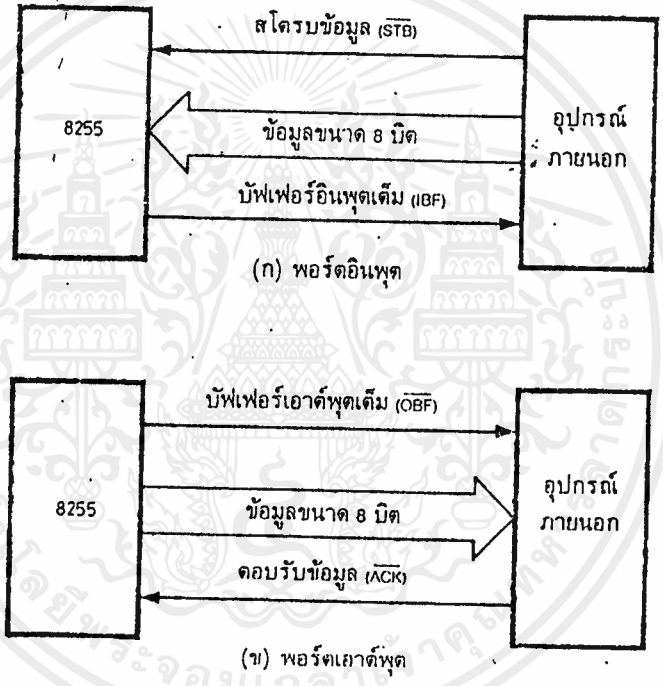
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PB_0 - PB_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ท B ของ8255 ถูกเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0 - A_1

PC_0 - PC_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ท C ของ 8255 การกำหนดพอร์ทนี้จะได้รับการกำหนดโดยสัญญาณแอดเดรส A_0 - A_1 พอร์ท C นี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่ม PC_0 - PC_3 และกลุ่ม PC_4 - PC_7

2.9.2 การทำงานของ 8255 ในโหมด 1

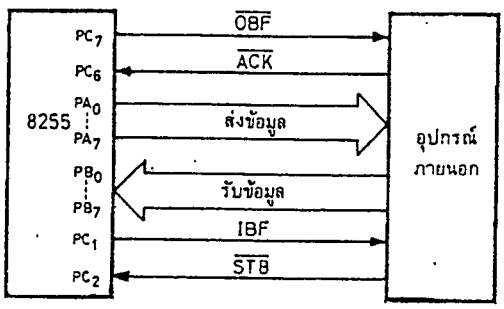
เป็นโหมดที่ทำให้อินพุทเอาท์พุทมีการตรวจสอบสัญญาณ (handshaking) โดยใช้อินพุทเอาท์พุทของพอร์ท A และพอร์ท B เป็นหลัก และใช้พอร์ท C บนเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณแฮนด์เช็ค(handshake) ของพอร์ท A ส่วนพอร์ท C ล่างเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ท B การจัดสัญญาณต่างๆเหล่านี้แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 รูปแสดงโครงสร้างตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ทอินพุทและพอร์ทเอาท์พุท

แนวความคิดของการใช้พอร์ทอินพุทเอาท์พุทโดยมีตัวตรวจสอบสัญญาณก็เพื่อให้มีการซิงโครไนซ์ระหว่างอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานได้ช้ากับการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่ทำงานได้เร็ว เช่น เครื่องพิมพ์ทำงานได้ช้า เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งตัวอักษรตัวแรกมาพิมพ์ เครื่องพิมพ์รับตัวอักษรและกำลังจะพิมพ์ คอมพิวเตอร์ก็ส่งตัวอักษรตัวที่ 2 และ 3 ตามมา ทำให้การประมวลผลของอุปกรณ์เครื่องพิมพ์ทำงานไม่ทัน ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลสูญหาย ดังนั้นเครื่องพิมพ์จึงส่งสัญญาณบอกคอมพิวเตอร์ว่า ' อย่าเพิ่งส่งมา เพราะยังไม่พร้อมที่จะรับ' ลักษณะของการรับส่งข้อมูลอินพุทเอาท์พุทแบบมีตัวตรวจสอบสัญญาณดังรูปที่ 2.34 นั้น จะใช้ PA_0 - PA_7 เป็นเอาท์พุท และ PB_0 - PB_7 เป็นอินพุทโดยมีพอร์ท C เป็นตัวตรวจสอบสัญญาณ ดังแผนผังในรูปที่2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 วงจรการต่อ 8255 ในโหมด 1

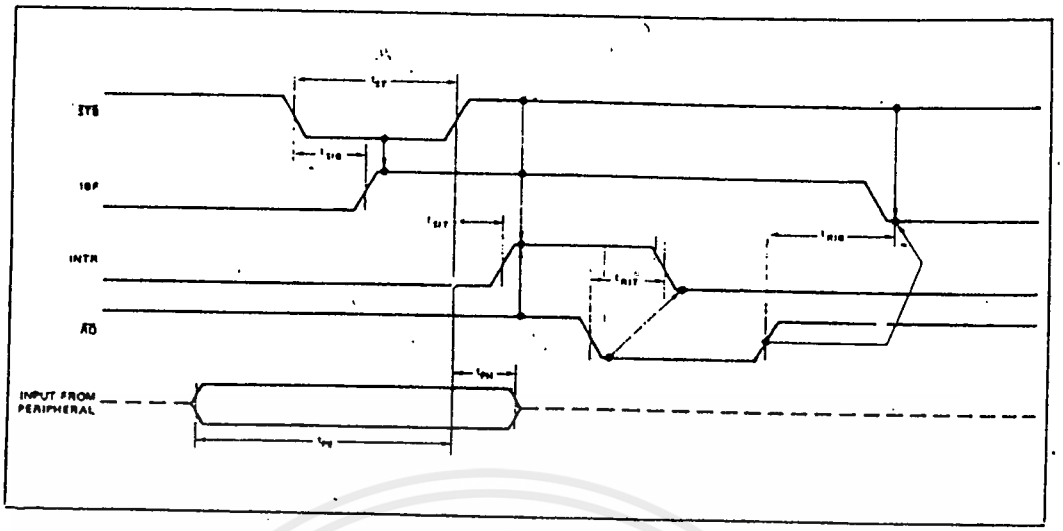
เมื่อโปรแกรม 8255 เป็นโหมด 1 แล้ว ตัว 8255 จะให้พอร์ท C เป็นสัญญาณควบคุม โดยแต่ละบิตของพอร์ท C เป็นไปตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 2.4

ขา	กรณีอินพุท	กรณีเอาท์พุท
PCO	$INTR_B$	$INTR_B$
PC1	IBF_B	$\overline{OBF}_B$
PC2	$\overline{STB}_B$	$\overline{ACK}_B$
PC3	$INTRA_A$	$INTR_A$
PC4	$\overline{STB}_A$	I/O
PC5	IBF_A	I/O
PC6	I/O	$\overline{ACK}_A$
PC7	I/O	$\overline{OBF}_A$

ตารางที่ 2.4 หน้าที่ของสัญญาณต่างๆของพอร์ท C ในการทำงานเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณเมื่อทำงานในโหมด 1

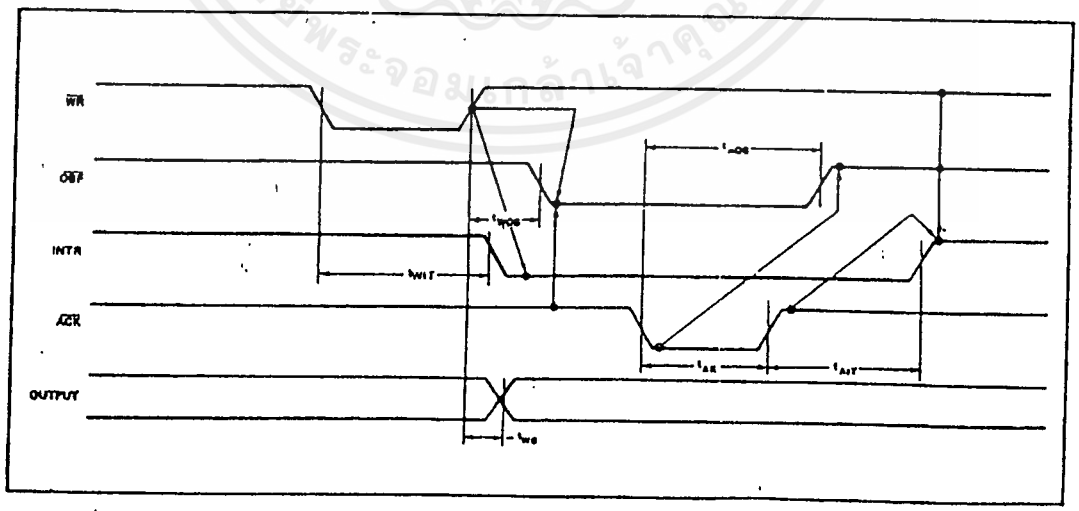
โดยปกติ 8255 จะให้สัญญาณอินเตอร์รัปต์ไปบอกซีพียูด้วย สัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ 8255 จะเกิดขึ้นที่ PC_6 และ PC_2 โดยที่เมื่อบัฟเฟอร์พร้อมแล้วและต้องการให้ซีพียูส่งอินพุทหรือเอาท์พุทมาที่บัฟเฟอร์ สัญญาณอินเตอร์รัพต์ก็จะเกิดขึ้น สังเกตว่า สัญญาณอินเตอร์รัปต์เป็นสัญญาณแอคทีฟที่ '1' ของ 8031 แอคทีฟที่ 0 ดังนั้นสัญญาณอินเตอร์รัปต์จาก 8255 จึงต้องผ่าน อินเวอร์เตอร์ 74LS04 ก่อนที่จะเข้า 8031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 รูปแสดงแผนผังเวลาการรับข้อมูลโดยโหมด 1 อินพุทพอร์ท

สังเกตว่า การทำงานของ 8255 จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ ซึ่งจะทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไป การตรวจสอบสัญญาณซึ่งกันและกันนี้ เป็นวิธีการรับส่งที่มีประสิทธิภาพ เช่น ในกรณีอินพุท เมื่ออุปกรณ์ภายนอกต้องการส่งข้อมูลให้ซีพียู ก็จะส่งข้อมูลแบบขนานเข้ามาพร้อมทั้งสโตรป ($\overline{STB}$) บอก 8255 ซึ่ง 8255 จะนำข้อมูลนั้นไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ภายในก่อนแล้ว ส่งสัญญาณตอบบอกว่า ' บัฟเฟอร์ยังเต็มอยู่นะ (IBF) อย่าเพิ่งส่งมาอีก' ครั้นเมื่อซีพียูอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ไปแล้ว ส่วนของสัญญาณบัฟเฟอร์อินพุท (IBF) ก็จะบอกว่า ' ว่างแล้วส่งข้อมูลมาได้' อุปกรณ์ภายนอกก็จะส่งข้อมูลมาให้อีก



รูปที่ 2.36 รูปแสดงแผนผังเวลาการส่งข้อมูลโดยโหมด 1 เอาท์พุทพอร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

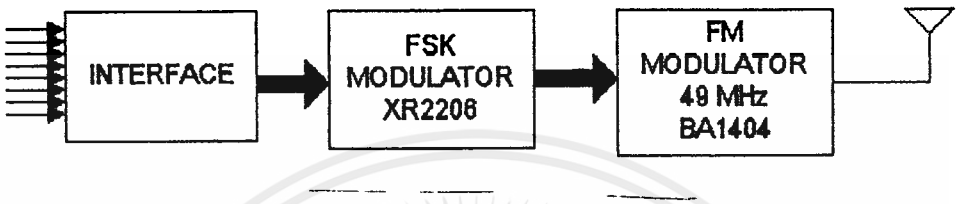
ทำนองเดียวกัน สำหรับพอร์ทเอาท์พุท เมื่อซีพียูส่งข้อมูลออกทางพอร์ทเอาท์พุทให้กับ 8255 ก็จะรับไว้ในรีจีสเตอร์ภายใน พร้อมทั้งส่งสัญญาณออกไปบอกอุปกรณ์ภายนอกว่า' เอาท์พุทบัฟเฟอร์มีข้อมูลนะ($\overline{OBF}$) มาอ่านเอาไปซิ' อุปกรณ์ภายนอกเมื่อทราบและพร้อมจะอ่านก็จะส่งสัญญาณตอบรับ ($\overline{ACK}$) พร้อมกับอ่านข้อมูลไป โดยสัญญาณ $\overline{ACK}$ จะมีความหมายว่า 'อ่านข้อมูลไปแล้วนะ' ตัว 8255 ก็จะตอบกลับว่า 'บัฟเฟอร์ว่างแล้วนะ รอก่อนนะจะมีข้อมูลส่งมาให้อีก'

ในการที่จะโปรแกรมโหมด 1 นี้ เราจะใช้รหัสควบคุมเป็น 101 (I/O) 01 (I/O) 0 ในส่วน I/O หมายถึง ถ้าเป็นอินพุทก็คือ '1 ' ถ้าเป็นเอาท์พุทก็คือ'0' โดย I/O ตัวแรกเป็นของพอร์ท A ตัวที่2 เป็นของพอร์ท B เช่น ถ้าต้องการให้พอร์ท A เป็นเอาท์พุท และพอร์ท B เป็นอินพุท เราจะใช้รหัสควบคุมเป็น 10100110 หรือ A6H

จากการพิจารณาการทำงานของซีพียูจะเห็นว่า ทำอย่างไรจึงจะเขียนหรืออ่านพอร์ทได้ถูกต้อง วิธีที่ง่ายวิธีหนึ่งคือ ซีพียูจะคอยตรวจสอบสัญญาณของ 8255 เช่น กรณีเอาท์พุท ซีพียูจะคอยอ่านพอร์ท C แล้วตรวจสอบบิต 7 ($\overline{OBF}$) หลังจากที่ส่งข้อมูลไปแล้ว ถ้าบิต 7 ยังเป็น '0' แสดงว่ายังไม่ได้รับการสโตรป แต่ถ้าเป็น'1' แล้วแสดงว่าอุปกรณ์ภายนอกรับข้อมูลรับมูลไปแล้วสำหรับกรณีอินพุทก็คอยตรวจสอบจากสัญญาณ IBF ได้เช่นกันว่า มีข้อมูลใหม่เข้ามาหรือยัง คือตรวจสอบบิต PC_1 ของพอร์ท C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง



รูปที่ 3.1รูปแสดงบล็อคไดอะแกรม การทำงานของพรินเตอร์ไร้สายภาคส่ง

จากบล็อคไดอะแกรม ข้อมูลที่จะส่งเข้าไปทำการพิมพ์ที่พรินเตอร์ที่ออกจากพอร์ทข้อมูลของคอมพิวเตอร์จะถูกเปลี่ยนจากข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลที่เป็นอนุกรมซึ่งเป็นรหัสสัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งเข้าวงจรเอฟ เอส เค มอดดูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ XR-2206 สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากวงจรนี้จะเป็นสัญญาณฟรีเควนซีชิฟคีย์อิง (FSK)

สัญญาณเอฟ เอส เคที่ได้นี้มี 2 ความถี่คือ 800 Hz และ 1800Hz สัญญาณนี้ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งเข้าวงจร เอฟเอ็มมอดดูเลชัน (FM MODULATION) โดยใช้ไอซี BA1404 ความถี่ของคลื่นพาหะ 49 MHz ทำการมอดดูเลทแล้วส่งคลื่นออกอากาศ

ทางด้านรับ สายอากศจะรับสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่ง แล้วเข้าวงจรเอ็ฟเอ็มดีมอดดูเลชัน โดยใช้ไอซีเบอร์ TDA7000 ทำการดีมอดดูเลทได้สัญญาณ เอฟ เอส เค ออกมา แล้วส่งสัญญาณเอฟ เอส เค นี้เข้าวงจร เอฟ เอส เค ดีมอดดูเลชัน (FSK DEMODULATION) โดยใช้ XR2211 ทำการดีมอดดูเลทได้สัญญาณดิจิตอลที่เป็นสัญญาณข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ส่งในพรินเตอร์ทำการพิมพ์งาน

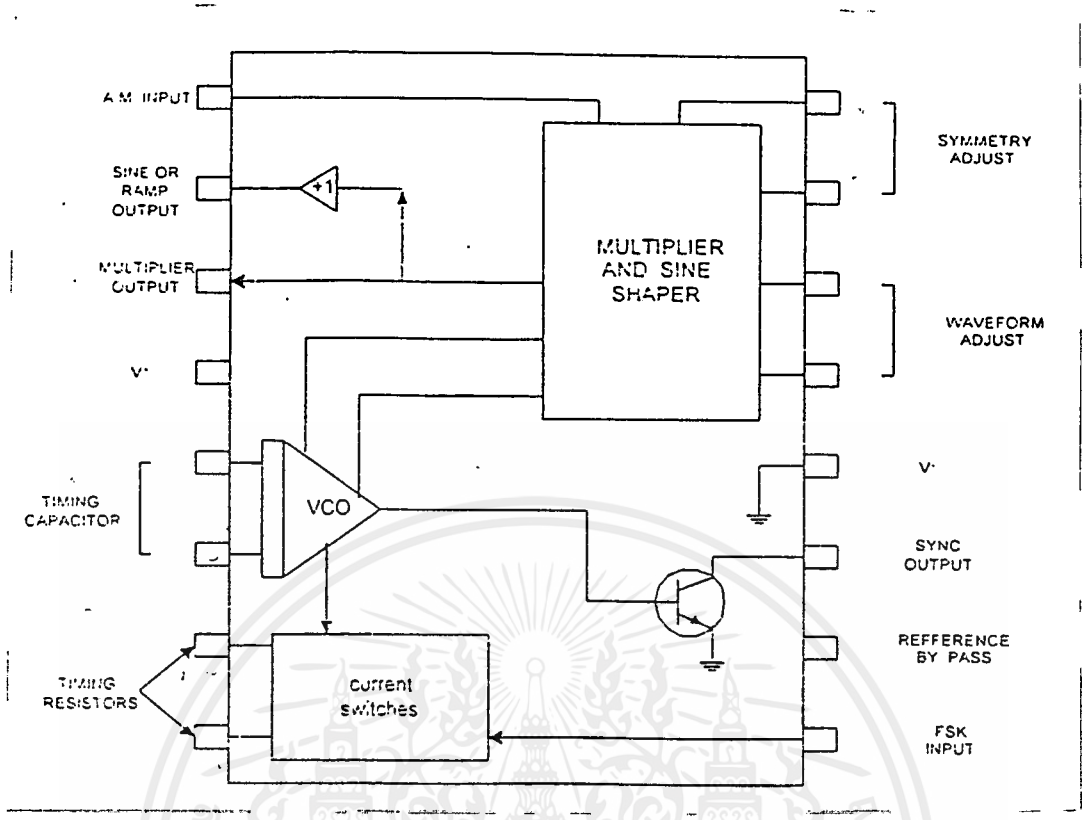
สัญญาณรหัสดิจิตอลนี้จะถูกเปลี่ยนจากอนุกรมเป็นสัญญาณข้อมูลแบบขนาน แล้วส่งเข้าพรินเตอร์ทำการพิมพ์

3.1 ภาคส่ง

3.1.1 Block diagram of XR2206

XR 2206 ประกอบด้วย โวลท์เตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ (VCO) ,analog multiplier sine-shaper ,unity gain bufferamplifier และ current swiches

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รูปแสดงบล็อคไดอะแกรมของ ไอซี XR-2206

3.1.1.1 ขาและหลักการทำงานของ XR 2206

ขาที่1 เอเอ็มอินพุท (AM INPUT)เป็นขาที่ใส่สัญญาณจากภายนอก เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นสัญญาณแบบ แอมพลิจูดมอดูเลชั่น(Amplitude modulation) โดยสัญญาณจากภายนอกจะควบคุมขนาดของสัญญาณเอาท์พุท

ขาที่ 2 สัญญาณไซน์ และสัญญาณสามเหลี่ยม เอาท์พุทเป็นขาที่ให้สัญญาณเอาท์พุทที่เป็นสัญญาณไซน์ หรือ สัญญาณสามเหลี่ยม

ขาที่ 3 มัลติเอาท์ (Multi out) เป็นขาสำหรับกำหนดขนาดของสัญญาณเอาท์พุท โดยต่อขานี้ไปยังจุดอ้างอิงในการสวิง (Swing) หรือใช้เป็น ออฟเซ็ต (offset)

ขาที่ 4 เป็นขาซัพพลาย (Suppply) V_{cc} ซึ่งจะจ่ายไฟขนาด 5 โวลท์ ใช้ กระแสประมาณ 14 mA

ขาที่ 5 และ 6 เป็นขาสำหรับใส่ตัวเก็บประจุ เพื่อใช้ ในการปรับความถี่ ที่สองขานี้จะมีสวิทช์เลือกเพื่อปรับย่านความถี่ โดยที่เมื่อ C มีค่า น้อยความถี่จะมีค่ามากตาม $f=1/RC$

ขาที่ 7 และ 8 ไทม์มิ่งรีซิสเตอร์ (Timing Resistor)เป็นขาที่ใช้ปรับความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทอย่างต่อเนื่อง โดยเลือกใช้เพียงขาใดขาหนึ่งเท่านั้น

ขาที่ 9 FSK อินพุทเป็นขาสำหรับใช้ค่า R_1 หรือ R_2 ในการใช้ความถี่เอาท์พุทเมื่อโวลท์ที่ขา 9 สูงกว่า 2 โวลท์ ควรจะเลือกใช้ความต้านทานที่ขา 7 เพื่อกำหนดความถี่ และจะเมื่อโวลท์ที่ขา 9 ต่ำกว่า 1 โวลท์ วงจรจะเลือกใช้ความต้านทานที่ขา 8 ในการกำหนดความถี่

ขาที่ 10 บายพาส (By pass) เป็นขาที่ใช้ต่อตัวเก็บประจุกับกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาที่ 11 ซิงค์เอาท์พุท (Sync output) เป็นขาที่ให้สัญญาณเอาท์พุทแบบ โอเพนคอลเลคเตอร์ (open collector) โดยสัญญาณที่ซิงค์โครนัส (Synchronous)กับขา 2

ขาที่ 12 กราวด์ (GROUND)

ขาที่ 13 และ 14 เวฟฟอร์มแอดจัส (Waveform adjust) เป็นขาที่ปรับให้สัญญาณเอาท์พุทมีลักษณะที่สมบูรณ์

ขาที่ 15 และ 16 การปรับสมมาตร (Symmetry adjust) เป็นขาที่ใช้ปรับสมมาตรของสัญญาณเอาท์พุท

3.1.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ เอฟ เอสเค (Sinusoidal FSK Generator)

ไอซี XR-2206 ทำงานร่วมกับไทม์มิงรีจิสเตอร์ (timing register) R_1 และ R_2 ที่ต่อกับขา 7 และขา 8 ตามลำดับ ตัวต้านทานตัวใดทำงานจะขึ้นกับสัญญาณอินพุทที่เข้ามาจากขา 9

ถ้าอินพุทที่เข้ามาที่ขา 9 เป็นระดับแรงดันไฟกระแสตรง $V_{in} \geq 2\,V$ มีเพียง R_1 เท่านั้นที่ถูกกระตุ้น

ถ้าอินพุทที่เข้ามาที่ขา 9 เป็นระดับแรงดันไฟกระแสตรง $V_{in} \leq 1\,V$ มีเพียง R_2 เท่านั้นที่ถูกกระตุ้น

สัญญาณอินพุทที่ขา 9 มี 2 ระดับคือ $V_L = 0\,V$ และ $V_H = 5\,V$

กรณีอินพุท $V_L = 0\,V$

$$f_1 = \frac{1}{R_1 C} \qquad ; C = 0.01\,\mu F$$

กำหนดให้ผลิตซายน์เวฟความถี่ 800 Hz

$$R_1 \text{ มีค่า} = \frac{1}{800 * 0.01 * 10^{-6}}$$

$$= 125\,k\Omega$$

กรณีอินพุท $V_H = 5\,V$

$$f_2 = \frac{1}{R_2 C}$$

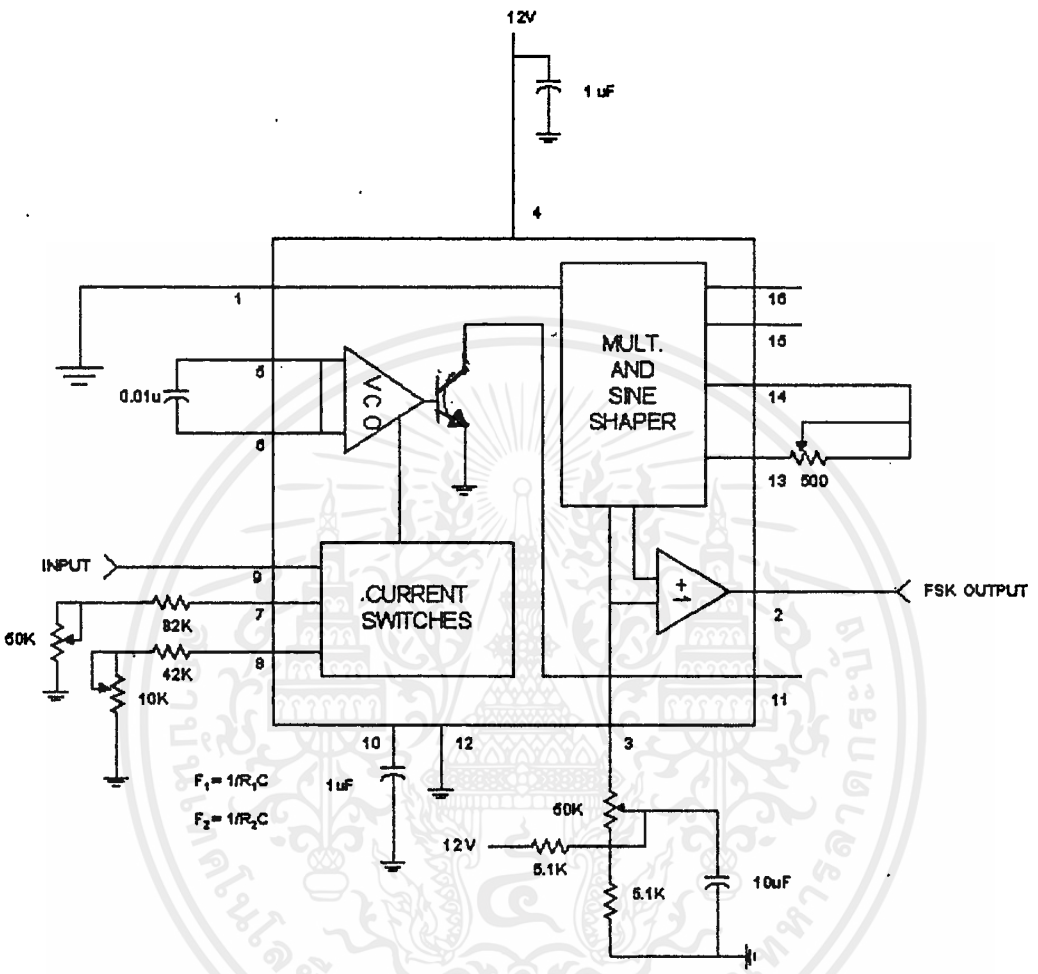
กำหนดให้ผลิตซายน์เวฟความถี่ 1800 Hz

$$R_2 \text{ มีค่า} = \frac{1}{1800 * 0.01 * 10^{-6}}$$

$$= 55.56\,k\Omega$$

จากรูปที่ 3.3 ค่าความต้านทาน R_1 ที่ขา 7 ใช้ตัวต้านทาน $82\,k\Omega$ ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ $50k\Omega$ สำหรับค่าความต้านทาน R_2 ที่ขา 8 ใช้ตัวต้านทาน $24\,k\Omega$ ต่ออนุกรมกับ $18k\Omega$ และตัวต้านทานปรับค่าได้ $10k\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงวงจร Sinusoidal FSK Generator

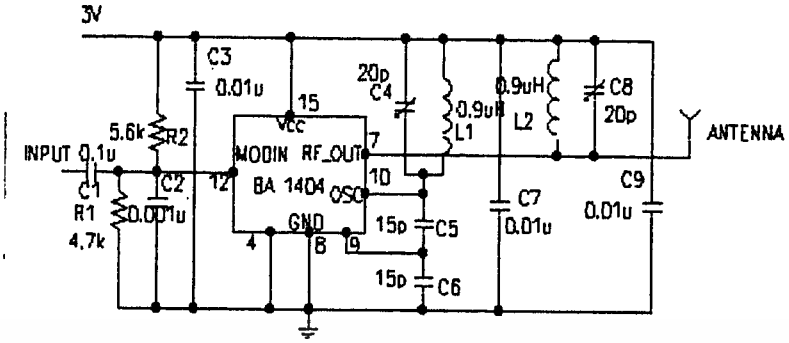
3.1.2 วงจรเอฟเอ็มมอดดูเลชัน

ในวงจรนี้ใช้ไอซี เบอร์ BA1404 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถนำมาใช้ส่งสัญญาณเอฟเอ็มได้ทั้งแบบโมโนและสเตอริโอ แต่ในการทดลองนี้จะใช้ในส่วนของการทำงานแบบโมโน ซึ่งจะใช้วงจรในส่วนของอาร์เอฟออสซิลเลเตอร์ และ RF แอมพลิฟลายเออร์

ในส่วนของการมอดดูเลทแบบ FM โมโน โดยการทำงานจะเริ่มจากนำสัญญาณจากวงจร XR 2206 (FSK) คัปปลิ้งผ่านตัว C เข้าไปยังขามอดูเลทขา 12 เพื่อผสมกับความถี่ ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งทำการเลือกความถี่ไว้ที่คลื่นพาหะ 49 MHz จากวงจรรีโซแนนซ์ที่ขา 10 ตัว C ที่ต่อระหว่างขา 12 และกราวด์

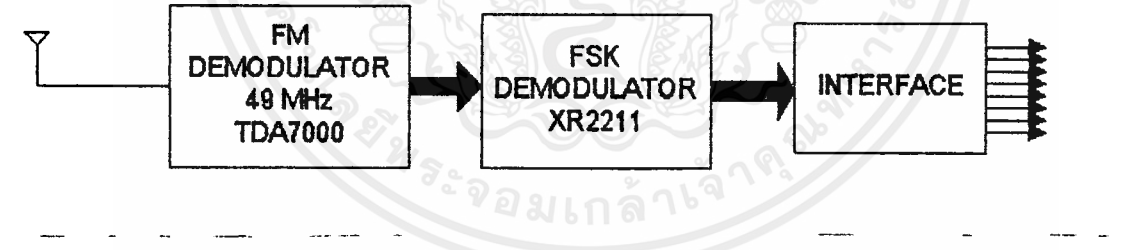
จะได้สัญญาณเอฟเอ็มที่ได้จากการมอดูเลทมาทางขา 7 ซึ่งจะถูกป้อนเข้าวงจรจูนอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะส่งออกไปยังสายอากาศ สำหรับไฟเลี้ยงของวงจรนี้จะใช้แรงดันไฟบวกจากแบตเตอรี่ 3 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแสดงวงจรเอฟเอ็มมอดดูเลชัน

3.2 ภาครับ

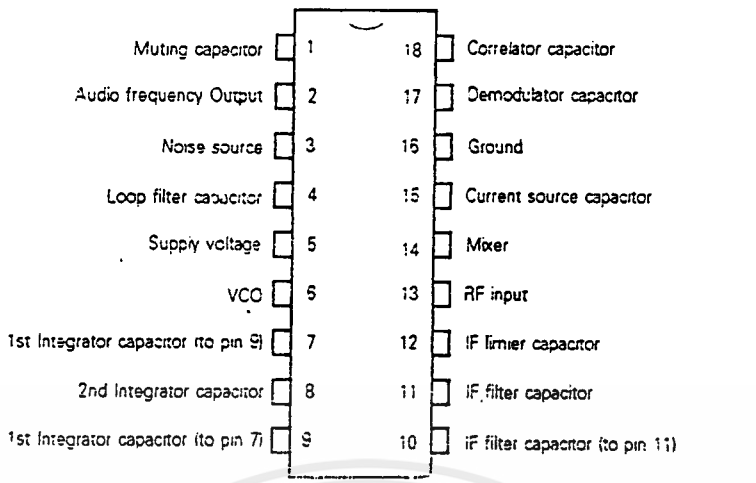


รูปที่ 3.5 รูปแสดงบล็อคไดอะแกรมการทำงานของพรินเตอร์ไร้สายภาครับ

3.2.1วงจรเอฟเอ็มดีมอดดูเลชัน

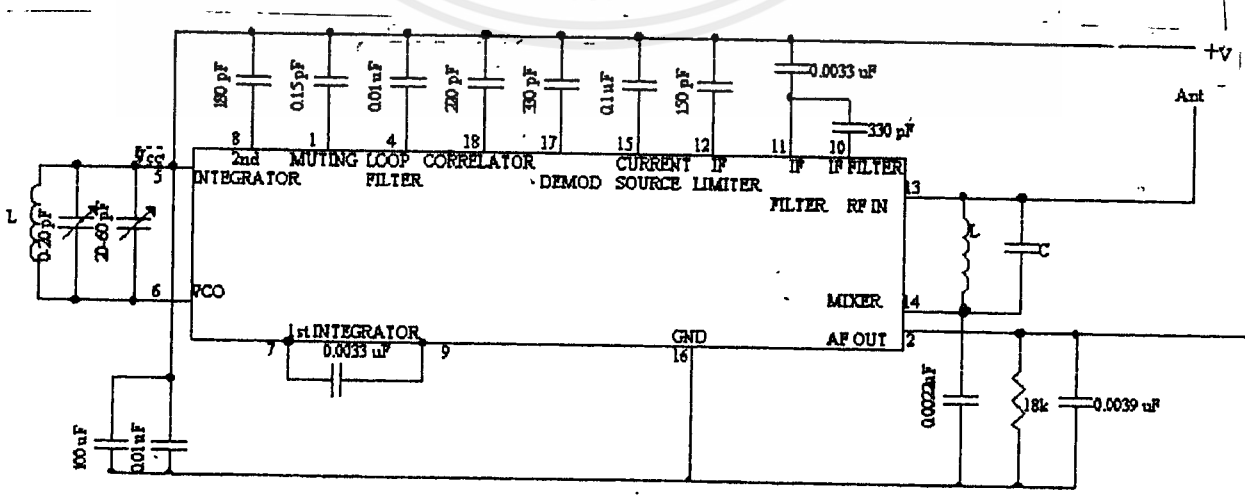
วงจรนี้ใช้ ไอซี TDA 7000 ซึ่งเป็นโมโนลิธิกไอซีสำหรับวิทยุ FM โมโน ใช้อุปกรณ์ต่อภายนอกไม่มากนัก โดยใช้การดีเทคเตอร์ที่ค่าความถี่กลาง 75 kHz ใช้วงจร RC แอคทีฟเป็นตัวไอเอฟ ซีเล็กติวิตี้ สำหรับวงจรที่ต้องการที่สำคัญคือวงจรรีโซแนนซ์สำหรับตัวออสซิลเลเตอร์ ใช้ในการเลือกรับสัญญาณความถี่ที่ต้องการ ส่วนการกำจัดค่าความถี่สปิวเรียสทำได้โดยการใช้วงจรมิวท์ และยังสามารถกำจัดเสียงรบกวนที่มีมากเกินไปได้อีกด้วย วงจรภายในไอซี TDA 7000 ประกอบไปด้วย วงจรอาร์เอฟอินพุทสเตจ วงจรมิกเซอร์ วงจรโลคัลออสซิลเลเตอร์ วงจรไอเอฟแอมพลิฟลายเออร์และลิมิตเตอร์ วงจรเฟสดีมอดูเลเตอร์ วงจรมิวท์สวิทช์ แต่การทำงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนี้นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปแสดงขาของไอซี TDA7000

ความถี่อาร์เอฟที่รับเข้ามาทางสายอากาศจะผ่านวงจร LC รีโซแนนซ์ซึ่งเป็นแบนด์พาสฟิวเตอร์ (BPF) มาเข้าที่อาร์เอฟอินพุท ที่ขา 13 เพื่อเลือกรับความถี่ที่ต้องการ และแยกส่วนหนึ่งมาเข้าที่วงจร มิกเซอร์ (mixer) ขา 14 เพื่อนำไปผสมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ทำการเลือกโดยวงจรแท็งก์จูน (tank tune circuit) ซึ่งประกอบไปด้วยตัว L และตัวคาริเอเบิ้ลคาปาซิเตอร์ (VC) เพื่อจูนให้อยู่ในช่วงความถี่อาร์เอฟอิน เท่ากับค่าความถี่กลาง ซึ่งเท่ากับ 75 kHZ นั่นหมายถึงต้องจูนไปที่ค่าความถี่ 4[illegible].075 MHz นั่นเอง โดยใช้สูตรการหาค่า LC ของวงจรรีโซแนนซ์ $f_o = 1/2\pi\sqrt{LC}$ ความถี่ที่ได้จากวงจรมิกแซอร์จะเข้าสู่ภาคดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) และทำการขยายความถี่ไอเอฟแล้วทำการดีเทคได้สัญญาณเสียงออกมาทางขา 2 ของ IC TDA 7000 สัญญาณเสียงเอาท์พุทที่ออกมานี้จะไปผ่านวงจรดีเอ็มฟาซีส (De-emphasis) Rและ C ขนานกันทางขา 2 และผ่านไปยังวงจร XR 2211 ต่อไป

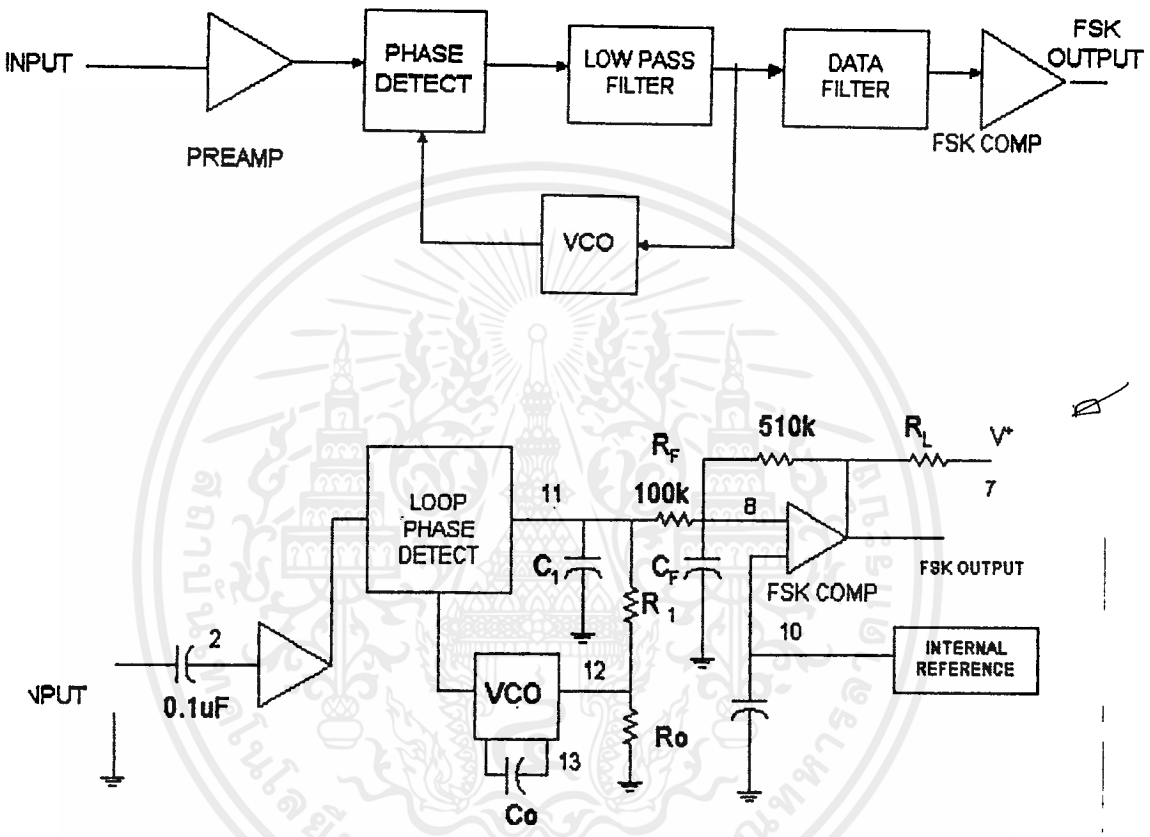


รูปที่ 3.7 รูปแสดงวงจรเอฟเอ็มดีมอดดูเลชันโดยใช้ ไอซี TDA7000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

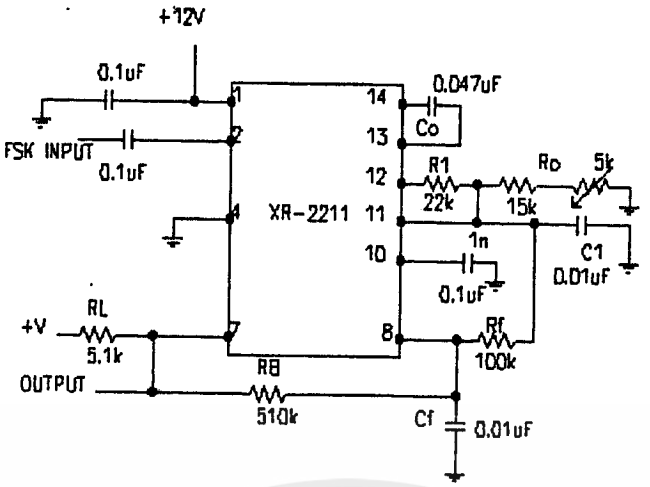
3.2.2 วงจรเอฟเอสเค คีมอดดูเลชัน

ไอซีที่ใช้สำหรับวงจรนี้คือ ไอซี XR-2211 ซึ่งลักษณะของไอซีและบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของไอซีในวงจรเอฟเอสเคดีมอดดูเลชัน แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปแสดงวงจรภายในไอซี XR-2211 ที่ใช้เป็นวงจรเอฟเอสเคดีมอดดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 รูปแสดงวงจรเอฟเอสเคดีมอดดูเลชันโดยใช้ไอซี XR-2211

จากรูปที่ 3.8 b

1) แรงดันอ้างอิง (Reference Voltage : V_R) (ขา 10) เป็นค่าแรงดันอ้างอิงภายในวงจร มีค่าเป็น $V_R = V^+/2 - 650\ mV$

2) ลูปเฟสดิเทคเตอร์เอาท์พุท (Loop Phase Dectector Output) (ขา 11) เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุทเข้ามาหรือไม่มีเฟสเออเรอร์เกิดขึ้น ค่าระดับไฟกระแสตรงที่ออกจากขา 11 จะมีค่าใกล้เคียงกับ VRสำหรับค่าพีคโวลเตจของสัญญาณเอาท์พุทจากเฟสดิเทกเตอร์ (Phase Dectector) จะมีค่าเท่ากับ $\pm V_R$ ค่าเฟสล็อคลูปฟิลเตอร์ ถูกกำหนดโดย R_1 และ C_1 ที่ต่อเข้ากับขา 11

3) โวลเตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ คอนโทรลอินพุท (VCO Control Input) (ขา 12) ความถี่กลาง (Center Frequency : f_o) หรือความถี่ฟรีรันนิง (free running frequency) หาได้จาก Ro ซึ่งเป็นไทม์มิงรีจิสเตอร์ (timing register) ต่อที่ขา 12 ลงกราวนด์

$$f_o = \frac{1}{RoCo}\ Hz$$

โดยที่ Co ไทม์มิงคาปาซิเตอร์ (timing capacitor) ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 13 และ 14 Ro จะต้องอยู่ในช่วง 10 kΩ ถึง 100kΩ

4) โวลเตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ ไทม์มิงคาปาซิเตอร์ (VCO Timing Capacitor) (ขา 13 และ 14) ความถี่ VCO จะแปรผกผันกับ Co โดยที่ Co ต้องเป็นตัวเก็บประจุไม่มีขั้ว และมีค่าอยู่ระหว่าง 200pF-10μF

5) โวลเตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ ฟรีเควนซี แอดจัสท์เมนท์ (VCO Frequency Adjustment) ตัวต้านทานปรับค่าได้ Rx ที่ต่ออนุกรมกับ Ro ที่ขา 12 สามารถปรับให้ค่า VCO แน่นอนยิ่งขึ้น

6) โวลเตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ ฟรีรันนิง ฟรีเควนซี (VCO Free-Running Frequency : f_o) ภายในไอซี XR-2211 เอาท์พุทของ VCO จะต่อเข้ากับส่วนของเฟสดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจร

1) ความถี่กลางของ VCO : $f_o = \frac{1}{RoCo}$ Hz

2) โวลเตจอ้างอิงภายใน $V_R = \frac{V^+}{2} - 650$ mV

3) ไทม์คอนสเตนท์ของลูปกรองความถี่ต่ำ (Loop Low Pass Filter Time Constant : τ)

$$\tau = R_1 C_1$$

4) ลูปแดมปิง (Loop Damping) $\xi = \frac{1}{4}\sqrt{Co/C_1}$

5) ลูปแทรกกิง แบนด์วิท (Loop Tracking bandwidth) $\pm \frac{f}{f_o}$

6) ค่าไทม์คอนสเตนท์ของวงจรกรองข้อมูลเอฟ เอส เค (FSK Data Filter Time Constant : τ_F)

$$\tau_F = R_F C_F$$

จากรูปวงจรที่ 3.9

สามารถคำนวณหาค่าความถี่กลางของ PLL

จาก $f_o = \frac{f1 + f2}{2}$

$= \frac{1800 + 800}{2}$ Hz

$= 1300$ Hz

จาก $f_o = \frac{1}{RoCo}$

ให้ $Co = 0.047\ \mu F$ $\therefore R_o \approx 16.36\ k\Omega$

คำนวณหาค่า R_1 จาก $R_1 = Ro \frac{f_o}{f_1 - f_2}$

$= 16.36\ k * \frac{1300}{1800 - 800}$

$= 21.27\ k\Omega$

คำนวณหาค่า C_1 จาก $C_1 = Co/4$

$= 0.047/4$

$= 0.018\mu F$: กรณี $\xi = \frac{1}{2}$

คำนวณหาค่า C_F จาก $C_F = \frac{3}{\text{อัตราบอด}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

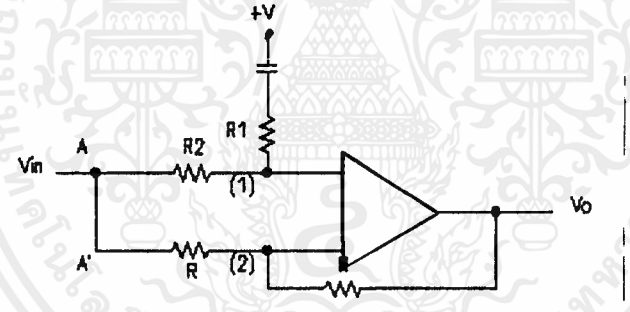
$$= \frac{3}{300}$$

$= 0.01\ \mu F$: กรณี $R_r = 100k\Omega$ $R_B = 510k\Omega$

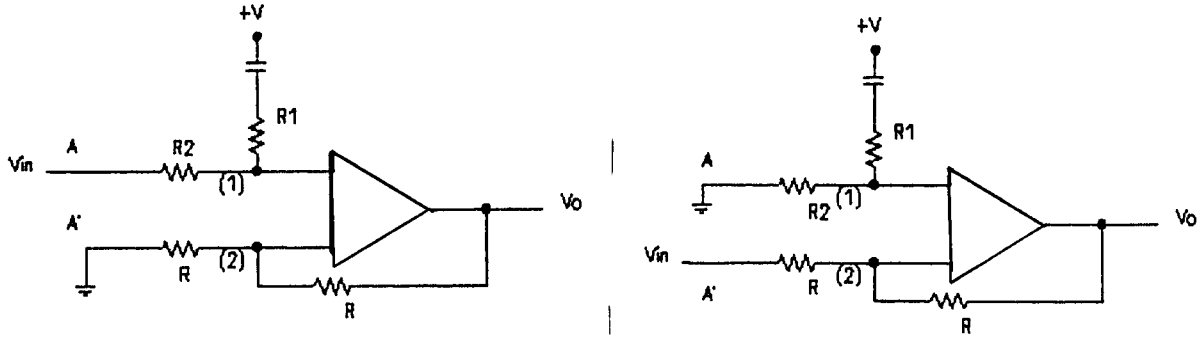
โดยที่ RB ที่ต่อระหว่าง ขา 7 และขา 8 จะนำสัญญาณป้อนกลับแบบบวกเข้า เอฟ เอส เค คอมพาเรเตอร์ ทำให้การเปลี่ยนสถานะ โลจิกของสัญญาณเอาท์พุทเป็นไปได้เร็วขึ้น จากวงจรค่า Ro ที่ใช้เป็นตัวต้านทาน 15 $k\Omega$ ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 $k\Omega$ ค่า $R_1 = 22\ k\Omega$ $C_1 = 0$

ในไอซี TDA7000 ส่วนของวงจรดวอดดราเซอร์ดีเทคเตอร์ใช้วงจรเฟสชิฟเตอร์ทำการเลื่อนเฟสสัญญาณ

วงจรดวอดดราเซอร์ดีเทคเตอร์ (Quadrature Detector) เป็น เอฟ เอ็ม ดีเทคเตอร์ชนิดหนึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความถี่และเฟสของวงจรจูน โดยใช้วงจรจูนเพียงวงจรเดียวเท่านั้น วงจรดีเทคเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการคูณสัญญาณเอฟ เอ็ม กับสัญญาณเอฟ เอ็มเดิม แต่ทำการเลื่อนเฟสไป 90° ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณมอดดูเลท



รูปที่ 3.10 รูปแสดงวงจรเฟสชิฟเตอร์ในไอซี TDA7000



รูปที่ 3.11 รูปแสดงวงจรเฟสชิฟเตอร์ รูป a ขา A เป็นอินพุท ขา A' ลงกราวนด์ รูป b ขา A ลงกราวนด์ ขา A' เป็นอินพุท

เอกสารนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 1 ให้ขา A' ลงกราวนด์ ดังนั้นมีสัญญาณอินพุทเข้ามาที่ขา A เท่านั้น

พิจารณาที่ node1 $\quad \frac{V_1 - Vin}{R_2} + \frac{V_1 - V}{Z} = 0 \qquad : V_1 \approx V_2 \qquad (3.1)$

node2 $\quad \frac{V_1}{R} + \frac{V_1 - Vo}{R} = 0$

$\therefore V_1 = Vo/2$ แทนค่า V1 ในสมการที่ 3.1จะได้

$$\frac{Vo/2 - Vin}{R_2} + \frac{Vo/2 - V}{Z} = 0$$

$$Vo/2\,(Z+R_2) - Vin\,Z = VR_2$$

$$\therefore \quad Vo_1 = \frac{2(VR_2 + V_{in}Z)}{Z+R_2}$$

กรณี 2 ให้ขา A ลงกราวนด์ ดังนั้นจึงมีอินพุทเข้ามาที่ A' เท่านั้น

พิจารณาที่ node1 $\quad \frac{V_1}{R_2} + \frac{V_1 - V}{Z} = 0 \qquad (3.2)$

node2 $\quad \frac{V_1 - Vin}{R} + \frac{V_1 - Vo}{R} = 0$

$\therefore \quad V_1 = \frac{Vin + Vo}{2}$ แทนในสมการที่ 3.2

$$\frac{Vin + Vo_2}{2R_2} + \frac{Vin + Vo_2}{2Z} - \frac{V}{Z} = 0$$

$$Vin\,Z + Vo_2 Z + Vin\,R_2 + Vo_2 R_2 - 2VR_2 = 0$$

$$\therefore Vo2 = \frac{2VR_2 - Vin\,(R_2 + Z)}{R_2 + Z}$$

$$Vo\text{ รวม} = Vo_1 + Vo_2 = \frac{2(VR_2 + Vin\,Z) + 2VR_2 - Vin\,(R_2+Z)}{R_2+Z}$$

$$= \frac{4VR_2 + Vin\,Z - Vin\,R_2}{R_2+Z}$$

$$\frac{Vo}{Vin} = \frac{Z - R_2}{Z+R_2} = \frac{(R_1 - R_2) + 1/j\omega C}{(R_1+R_2) + 1/j\omega C} \qquad ; R1 < R2 \text{ และมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ } \omega$$

$\therefore$ R2-R1 ≈ R1+R2 ≈R

$$= \frac{j\omega R'C + 1}{j\omega RC + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1-j\omega RC}{1+j\omega RC} * \frac{1-j\omega RC}{1-j\omega RC}$$

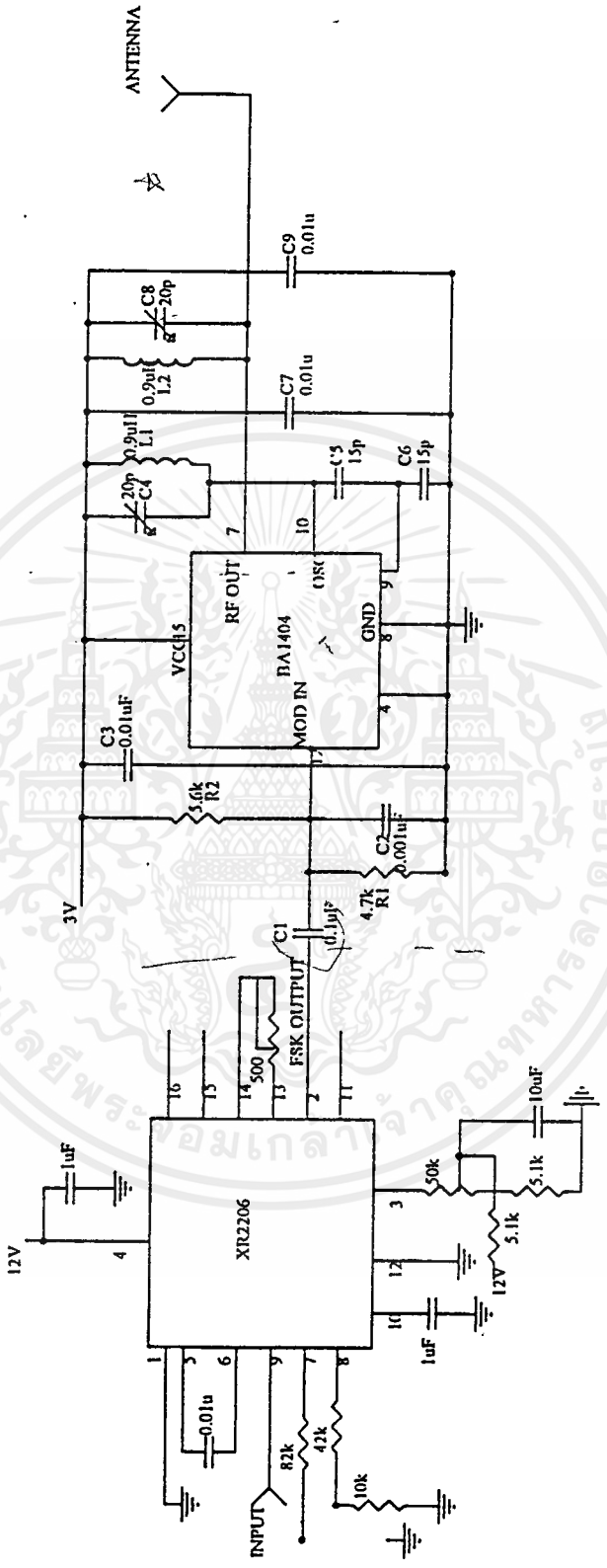
$$= \frac{(1-j\omega RC)^2}{1^2+\omega^2R^2C^2}$$

$$= \frac{1-2j\omega RC-\omega^2R^2C^2}{1+\omega^2R^2C^2}$$

$$\frac{Vo}{Vin} = \sqrt{\frac{(1-\omega^2R^2C^2)^2+(-2\omega RC)^2}{(1+\omega^2R^2C^2)^2}}$$

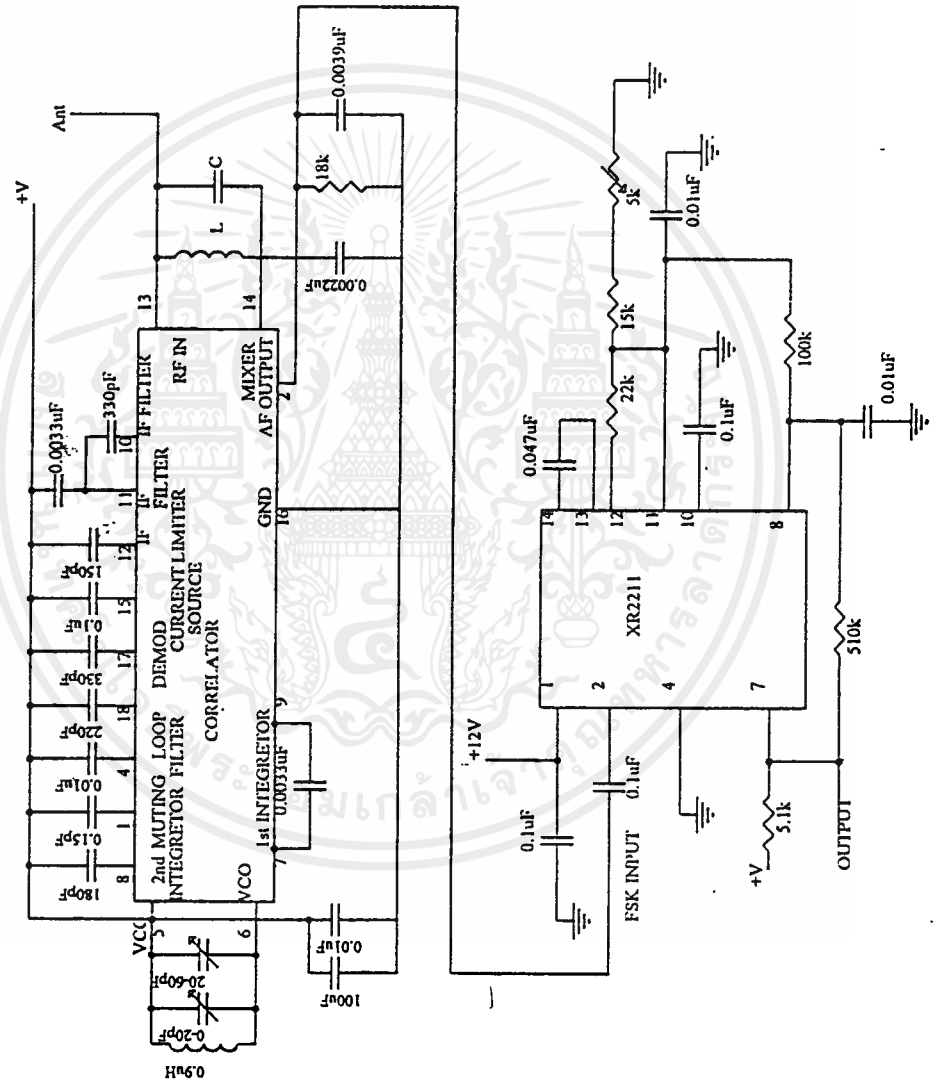
$$\theta = \tan^{-1}\frac{-2\omega RC}{1-(\omega RC)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 a รูปแสดงวงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 b รูปแสดงวงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การใช้งานอีพรอมอีมูเลเตอร์ (EPROM EMULATOR)

อีพรอมอีมูเลเตอร์ ถือว่าเป็นเครื่องมือพื้นฐานทางด้านไมโครคอมพิวเตอร์แบบหนึ่ง ที่ให้ความสะดวกกับผู้ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมบนบอร์ดต่างๆ โดยตัวอีพรอมอีมูเลเตอร์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวอี พรอมตัวหนึ่ง โดยการโปรแกรมข้อมูลลงบนตัวอีพรอมอีมูเลเตอร์นี้ ไม่จำเป็นต้องใช้ขบวนการโปรแกรมในลักษณะของอีพรอมจริงๆ แต่ใช้การโหลดข้อมูลผ่านทางพอร์ทอนุกรมแทน ซึ่งสามารถโหลดได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง ทำให้ลดขั้นตอนในการพัฒนา ไม่ต้องถอดอุปกรณ์ไปมาแต่อย่างใด มีความรวดเร็วในการโหลดข้อมูลสูง และยังให้ความสะดวกในการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลอีกด้วย ผลที่ได้จากการทำงานของอีพรอมอีมูเลเตอร์จะเหมือนกับเมื่อ นำโปรแกรมไปลงตัวอีพรอมจริง

อีพรอมอีมูเลเตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นอีพรอมอีมูเลเตอร์รุ่น 232 (EE-232) VERSION 3.0 สามารถจำลองเป็นตัวอีพรอมได้ 5 เบอร์ (2716-27256) การโหลดข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเลือกความเร็วได้ตั้งแต่ 2400 - 19200 ระบบแบ็คอัพใช้ DS1210 ซึ่งมั่นใจได้ในความแน่นอน และมีสายสัญญาณรีเซ็ตสำหรับบอร์ดเป้าหมาย นอกจากนี้ EE-232 ยังใช้อุปกรณ์แบบ CMOS ทั้งหมด ทำให้ทั้งบอร์ดมีการดึงกระแสเพียง 40 mA เท่านั้น

3.3.1 คุณสมบัติของ EE-232

- สามารถจำลองเป็นตัวอีพรอมได้ 5 เบอร์คือ 2716 , 2732, 27 (C) 64 , 27 (C) 128 และ 27 (C) 256

- ความเร็วในการสื่อสารทางพอร์ทอนุกรม สามารถเลือกได้ 4 ค่า คือ 2400 4800 9600 และ 19200 โดยตั้งค่าได้จากตัวจัมพ์เปอร์ (JUMPER)

- ไฟล์ที่ใช้ในการโหลดข้อมูล ใช้ไฟล์มาตรฐานแบบอินเทล-เฮกซ์ไฟล์ (INTEL - HEX FILE) ซึ่งมีระบบตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (CHECKSUM) ทุกครั้งที่มีการโหลด

-มีขั้วต่อแบบปากคีบสำหรับเป็นสัญญาณรีเซ็ตให้กับบอร์ดเป้าหมาย ซึ่งสามารถเลือกได้ทั้งแบบแอคทีฟไฮ (ACTIVE HIGH) และแอคทีฟโลว์ (ACTIVE LOW)

-การใช้งานมี 2 โหมดหลักคือ การโหลดข้อมูลปกติ และรีโมตเอดิเตอร์ (REMOTE EDITOR) ซึ่งประกอบด้วยชุดคำสั่ง ใช้งานได้ 12 คำสั่ง

- ไฟเลี้ยงดึงจากดิปจัมพ์เปอร์ (DIP JUMPER) 28 PIN ได้เลย ซึ่งทั้งบอร์ดจะกินกระแสเพียง 40 mA เท่านั้น

- มีระบบแบ็คอัพข้อมูลในแรมด้วยลิเทียมแบตเตอรี่ 3 โวลต์ สามารถเก็บข้อมูลได้นาน และสามารถตั้งให้ ON หรือ OFF ได้

-มี LED บอกสถานะของการทำงานในแต่ละโหมด

-มี เทสท์พอยท์ (TEST POINT) เป็นขั้วไฟ +5 โวลท์ และ กราวด์(GND) สะดวกสำหรับการทดลองต่างๆ

-ตัวบอร์ดมีขนาดเล็กเพียง 14 * 8 เซนติเมตรเท่านั้น มีความคล่องตัวในการใช้งาน

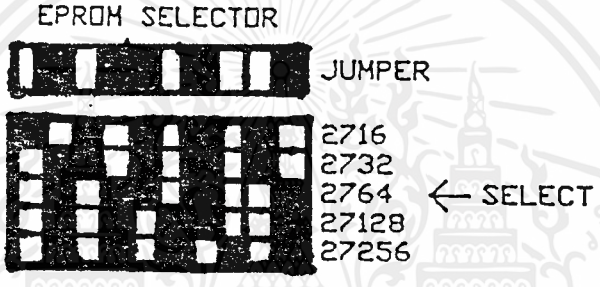
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การติดตั้งและการปรับตำแหน่งจัมพ์เปอร์ (JUMPER)

การนำ EE-232 ไปใช้งานนั้น ผู้ใช้ต้องทำการปรับตำแหน่งของจัมพ์เปอร์ต่างๆให้ตรงกับงานที่จะใช้ โดยจะเกี่ยวข้องกับเรื่องของการตั้งเบอร์อีพรอม การกำหนดความเร็วในการสื่อสาร การกำหนดลักษณะของสัญญาณรีเซ็ตของบอร์ดเป้าหมาย และอื่นๆอีกโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การตั้งเบอร์อีพรอม

หมายถึงเบอร์ของอีพรอมที่จะทำการอีมูเลท (EMULATE) โดยสามารถตั้งได้ 5 เบอร์ คือ 2716 (2K) , 2732 (4K) , 2764 (8K) , 27128 (16K) , 27256 (32K) การตั้งค่าจะทำโดยการเสียบตำแหน่งจัมพ์เปอร์ให้ตรงกับส่วนที่เป็นสีขาว ณ. แถวของเบอร์ที่ต้องการ โดยดูจากลายพิมพ์บนแผ่น PC ได้เลย ในโครงงานนี้ต้องการใช้อีพรอมเบอร์ 2764 จึงตั้งค่า เป็น 2764 ดังนี้



รูปที่ 3.13 รูปแสดงการตั้งค่าอีพรอมใน EE-232

2. การตั้งความเร็วในการสื่อสาร

ความเร็วในการสื่อสารนี้หมายถึงความเร็วของพอร์ทอนุกรม ที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการโหลดข้อมูล โดยผู้ใช้จะเลือกความเร็วได้ 4 ค่าคือ 2400 4800 9600 19200 การตั้งจะกระทำในทำนองเดียวกับการตั้งเบอร์อีพรอม โดยใช้ชุดจัมพ์เปอร์ที่พิมพ์ว่า BAUD ที่อยู่ทางด้านล่างของบอร์ด การตั้งค่าความเร็วนี้จะมีผลเมื่อมีการกดรีเซ็ตหรือเมื่อจ่ายไฟเข้าบอร์ดใหม่เท่านั้น นั่นคือถ้าผู้ใช้ใช้ความเร็วที่ 2400 อยู่และปรับจัมพ์เปอร์เปลี่ยนเป็น 9600 ความเร็วที่ใช้ยังเป็นค่า 2400 อยู่ จนกว่าจะกดคีย์รีเซ็ตบนบอร์ด EE-232 หรือเมื่อทำการปิดและเปิดเครื่องใหม่อีกที ในกรณีที่การตั้งความเร็วไม่อยู่ในข้อกำหนดตามตารางที่พิมพ์ไว้เครื่องจะไม่สามารถโหลดข้อมูลได้ แต่การอีมูเลทยังคงเป็นไปตามปกติ

3. การตั้งสัญญาณรีเซ็ต

สัญญาณรีเซ็ตหมายถึงสัญญาณสำหรับทำการรีเซ็ตบอร์ดเป้าหมาย โดยใช้คลิปตัวหนีบที่ต่อพ่วงมาพร้อมกับตัวดิป จัมพ์เปอร์ 28 ขา เป็นจุดสัญญาณที่นำไปใช้ การรีเซ็ตบอร์ดเป้าหมายจะกระทำในขณะที่ EE-232 กำลังโหลดข้อมูลอยู่ หรือในขณะที่กำลังอยู่ในรีโหมดเอดิเตอร์ หรือขณะที่กดคีย์รีเซ็ตบนบอร์ด EE-232 ค้างเอาไว้ ซึ่งเป็นขณะที่ไม่อยู่ในสภาพการอีมูเลทเป็นตัวอีพรอม จึงทำให้บอร์ดเป้าหมายไม่สามารถอ่านข้อมูลจาก EE-232 ได้ ซึ่งการรีเซ็ตจะทำให้บอร์ดเป้าหมายอยู่ในสภาพนิ่ง ไม่เกิดอาการแฮง (HANG) แต่อย่างใด และเมื่อ EE-232 โหลดข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็จะกลับเข้าสู่สภาพอีมูเลทตามปกติ แล้วปล่อยให้บอร์ดเป้าหมายเริ่มทำงานอีกที

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

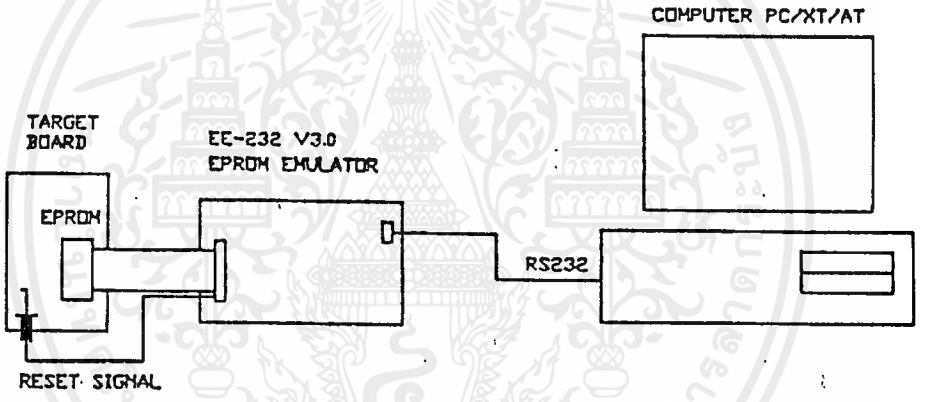
การตั้งสัญญาณรีเซ็ตทำได้ 2 แบบคือ แอคทีฟโลว์ และแอคทีฟไฮ ขึ้นกับวงจรในบอร์ดเป้าหมายว่าต้องการแบบไหน การตั้งทำได้โดยตั้งตัวจัมพ์เปอร์ที่พิมพ์ว่ารีเซ็ต อยู่ที่ด้านล่างของบอร์ด โดยตั้งให้ตรงกับคำว่า LOW หรือ HIGH ตามต้องการ

4. การตั้งสภาวะแบ็คอัพ (BACK UP)

EE -232 มีระบบแบ็คอัพข้อมูลด้วยลิเทียมแบตเตอร์รี ซึ่งทำให้การอีมูเลทตัวอีพรอม EE-232 มีสภาพเหมือนจริงทุกประการ โดยวงจรแบ็คอัพจะทำให้ข้อมูลต่างๆที่โหลดไว้คงอยู่แม้ไม่ได้จ่ายไฟเข้าบอร์ด โดยสามารถเก็บข้อมูลได้นานถึง 4 ปีต่อแบตเตอร์รี 1 ก้อน ผู้ใช้สามารถเลือกใช้หรือไม่ใช้วงจรแบ็คอัพได้โดยเลือกตำแหน่งจัมพ์เปอร์ทั้งคู่ไปที่ ON หรือ OFF

5.การต่อสายพอร์ทอนุกรม

การต่อ EE-232 เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ จะใช้พอร์ทอนุกรม (RS232) ผู้ใช้สามารถเลือกสายที่มีขั้วแบบ DB25 หรือ DB9 ในด้านที่ต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ตามต้องการ ส่วนทางด้าน EE-232 ให้เสียบเข้ากับขั้วแบบ 3 ขา ที่อยู่ทางด้านบนของบอร์ด การต่อใช้งาน EE-232 แสดงดังรูป



รูปที่ 3.14 รูปแสดงการต่อการใช้งาน EE-232

3.3.3 การใช้งานพื้นฐาน

เมื่อจ่ายไฟเข้าบอร์ด EE-232 เครื่องจะอยู่ในสภาพที่อีมูเลทเป็นตัวอีพรอมทันที โดยแสดงที่หลอด LED กระพริบเป็นจังหวะช้าๆ การใช้งานมี 2 ลักษณะคือ ดาวน์โหลดโมด (DOWNLOAD MODE) และ รีโมทโมด (REMOTE MODE) โดยดาวน์โหลดโมดคือการโหลดข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันทีด้วย คำสั่ง ก็อปปี (COPY) ในระดับ ดอส (DOS) สำหรับรีโมทโมดจะเป็นการติดต่อกับบอร์ด EE-232 โดยผ่านการสื่อสารแบบ เอ็กซ์ทอล์ค (XTALK) สำหรับโครงงานนี้ได้ใช้งาน EE-232 แบบรีโมทโมด

รีโมทเอดิเตอร์ (REMOTE EDITOR) คือโหมดการทำงานที่จะทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการขอดูและแก้ไขข้อมูลที่อยู่ในEE-232 โดยใช้โปรแกรมการสื่อสาร XTALK จากเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วยในการติดต่อ ขั้นตอนการเข้าสู่รีโมทเอดิเตอร์ทำดังนี้

1. ที่บอร์ด EE-232 อยู่ในสภาพพร้อม มีการต่อสายSERIAL เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ และจ่ายไฟเข้าบอร์ด ดังนั้นจะเห็น LED กระพริบเป็นจังหวะช้าๆ ถ้าไม่ได้ตามนี้ให้กดปุ่มรีเซ็ตที่ EE-232 ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการโหลดโปรแกรมต้องทำการเปลี่ยนไฟล์โปรแกรมจากนามสกุล ASM เป็น HEX โดยใช้คำสั่ง SXA51 NAME.ASM ถ้าไฟล์ที่ทำการเปลี่ยนถูกต้องก็จะถูกเปลี่ยนเป็น NAME.HEX ให้ แต่ถ้าไฟล์ผิดก็จะแจ้ง ERROR ให้ทราบ
3. การเข้าสู่โปรแกรมการสื่อสารแบบ XTALK ทำโดยใช้คำสั่ง X1 ในไดเร็กทอรี XTALK โปรแกรมการสื่อสาร XTALK จะเข้าสู่สภาวะเตรียมพร้อมสำหรับติดต่อ และที่บรรทัดสุดท้ายจะมีข้อความ CTRL A for ..... ให้ผู้ใช้กดคีย์สเปซบาร์ (SPACE BAR) ก็จะเป็นการเข้าสู่รีโมทเอดิเตอร์แล้วจะปรากฏข้อความ EE-232 EPROM .....แล้วสิ้นสุดด้วย '-' เครื่องหมาย '-' คือ PROMPT ของรีโมทเอดิเตอร์ โดยขณะนี้ผู้ใช้สามารถใช้คำสั่งต่างๆได้ทันที กรณีที่กดสเปซบาร์แล้วไม่ปรากฏข้อความดังกล่าวบนจอภาพ อาจเกิดจากการต่อสายไม่ตรงหมายเลขพอร์ท หรือเกิดจากตั้งความเร็วในการสื่อสารไม่ตรงกัน ให้สำรวจดูที่ EE-232 ว่าได้ตั้งไว้ที่ 9600หรือไม่ ถ้าไม่ก็แก้ไขให้ตรงแล้วกดรีเซ็ตที่ EE-232 แล้วทดลองใหม่อีกครั้ง

3.4 การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

MCS-51 คือระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งมีข้อมูลจากภายนอก และนำมาประมวลผลพร้อมทั้งสามารถส่งสัญญาณเพื่อทำการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆได้ ในส่วนของการติดต่อสื่อสารข้อมูล (Data Communication) กับระบบภายนอกอื่นๆก็สามารถ กระทำโดยผ่านพอร์ทอนุกรม (Serial Port) ซึ่งพอร์ท - อนุกรมนี้เป็นส่วนที่เหมาะสมในการรับ-ส่งข้อมูลระยะไกลได้ดีกว่าพอร์ทขนาน

3.4.1 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในพอร์ทอนุกรม

รีจิสเตอร์ควบคุมไทม์เมอร์ ในการใช้งานพอร์ทอนุกรมต้องคำนึงถึงอัตราการรับส่งข้อมูลหรือที่เรียกว่าอัตราบอด (Baud Rate) โดยอัตราบอดนี้สามารถสร้างได้ภายใน MCS-51 จากไทม์เมอร์ 2 แชนแนล1 โดยทำงานในโหมด 2 คือสามารถโหลดข้อมูลกลับอัตโนมัติ ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่จะต้องทำการโปรแกรมจะมีดังนี้

-TMOD ตำแหน่ง 89 H ทำหน้าที่เลือกโหมดของไทม์เมอร์

-TCON ตำแหน่ง 88 H ทำหน้าที่เริ่มต้นการสร้างอัตราบอด

-THI ตำแหน่ง 8C H ทำหน้าที่ใส่ข้อมูลการนับของไทม์เมอร์ 1 เพื่อสร้างอัตราบอดตามต้องการ

รีจิสเตอร์ควบคุมการลดกำลัง เนื่องจากการสรางอัตราบอดนั้นต้อง นำบิตในรีจิเตอร์ PCON มาใช้ในการคำนวณข้อมูลของ TH1 ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้คือ

7	6	5	4	3	2	1	0
SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7	SMOD	บิตที่ใช้เปลี่ยนแปลงแก้ไขอัตราการส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยใช้โปรแกรมเซ็ตให้เป็น 1 จะเป็นการเพิ่มอัตราการส่งขึ้น 1 เท่าเมื่อใช้ไทม์เมอร์ 1 เข้าช่วย ถ้าเลือกใช้การรับส่งข้อมูลในโหมด 1,2,3 แต่ถ้าเคลียร์เป็น 0 จะใช้ไทม์เมอร์ 1 ตามปกติที่เป็นอยู่ตามการกำหนดในช่วงเริ่มต้นของโปรแกรม
6-4	-	ไม่ได้ใช้งาน
3	GF1	แฟล็กใช้งานทั่วไป กำหนดโดยผู้ใช้ ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมใดๆ ทั้งสิ้น สามารถเซ็ตหรือเคลียร์โดยโปรแกรม
2	GF0	แฟล็กใช้งานทั่วไปกำหนดโดยผู้ใช้เช่นกัน
1	PD	บิตที่แสดงการลดลงของกำลังไฟ (Power Down) เซ็ตเป็น 1 โดยโปรแกรมเข้าสู่โหมดการลดลงของกำลังไฟ ใช้ในไมโครโปรเซสเซอร์แบบซีมอสเท่านั้น
0	IDL	บิตที่แสดงโหมดไอเดิล (IDLE) เซ็ตเป็น 1 โดยโปรแกรมเพื่อเข้าไอเดิลในไมโครโปรเซสเซอร์ที่เป็นแบบซีมอสเท่านั้น

รีจิสเตอร์ควบคุมอินเทอร์รัพต์ ลักษณะของการอินเทอร์รัพต์ของ MCS-51 ในการใช้งานพอร์ทอนุกรม

-IE ตำแหน่ง A8H ทำหน้าที่ยอมให้เกิดการอินเทอร์รัพต์จากพอร์ทอนุกรมได้หรือไม่ซึ่งมีรายละเอียดของบิตต่างๆดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7	EA	บิตนี้จะควบคุมทั้ง 6 บิต ถ้าข้อมูลในบิตนี้เป็น 0 จะเป็นการดิสเอเบิลทุกบิตทำให้ไม่เกิดการขัดจังหวะ ถ้าบิตนี้เป็น 1 การอีนาเบิลหรือดิสเอเบิลใน 6 บิตจะขึ้นกับข้อมูลในแต่ละบิตนั้น
6	-	บิตที่ผู้ใช้กำหนดการใช้งานเอง
5	ET2	บิตนี้จะใช้อีนาเบิล หรือ ดิสเอเบิล สัญญาณขัดจังหวะที่มาจากวงจรไทม์เมอร์ 2
4	ES	บิตนี้จะใช้อีนาเบิลหรือดิสเอเบิล สัญญาณขัดจังหวะที่มาจากพอร์ทอนุกรม เมื่อมีข้อมูลเข้ามายัง SBUF หรือ ข้อมูลจาก SBUF ได้ถูกส่งออกไปทางพอร์ทอนุกรม หมดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	ET1	บิตนี้จะใช้อีนาเบิลหรือดิสเอเบิลสัญญาณขัดจังหวะที่มาจากวงจรไทม์เมอร์ 1
2	EX1	บิตนี้ใช้สำหรับการอีนาเบิลสัญญาณที่เข้ามาทางขา INT1 ให้เกิดการขัดจังหวะ
1	ET0	บิตนี้จะใช้อีนาเบิลหรือดิสเอเบิลสัญญาณขัดจังหวะที่มาจากวงจรไทม์เมอร์ 0
0	EX0	บิตนี้ใช้สำหรับการอีนาเบิลสัญญาณที่เข้ามาทางขา INT0 ให้เกิดการขัดจังหวะ

-IP ตำแหน่ง B8 H ทำหน้าที่จัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งมีรายละเอียดของบิต ต่างๆดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
X	X	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7	PCT	PCT = 1 จะมีเพียงหนึ่งระดับ
6	-	บิตที่ผู้ใช้กำหนดการใช้งานเอง
5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2
4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของพอร์ทอนุกรม
3	PT1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 1
2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ 1
1	PT0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของไทม์เมอร์ 2
0	PX0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ 0

รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ทอนุกรม การใช้งานพอร์ทอนุกรมจะขึ้นกับรีจิสเตอร์นี้โดยตรง คือ

-SBUF ตำแหน่ง 99 H ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์การ์รับหรือการส่ง

-SCON ตำแหน่ง 98 H ทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดโหมดการใช้งานพอร์ทอนุกรมทั้งหมดซึ่งมีรายละเอียดของบิตต่างๆดังนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	6	5	4	3	2	1	0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

บิต	สัญลักษณ์	รายละเอียด
7	SM0	โหมดของพอร์ทอนุกรมบิต 0 ทำการเซ็ตหรือเคลียร์โดยใช้โปรแกรมสั่งงาน
6	SM1	โหมดของพอร์ทอนุกรมบิต 1 ทำการเซ็ตหรือเคลียร์ โดยใช้โปรแกรมสั่งงานเช่นกัน
5	SM2	ใช้เป็นการติดต่อระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัวด้วย (Multiprocessor Communication) เซ็ตและเคลียร์ โดยการใช้โปรแกรมควบคุมในกรณีนี้ควรจะใช้เฉพาะโหมด 2 และ 3 เมื่อบิตนี้ถูกเซ็ตเป็น 1 การอินเตอร์รัปต์ก็จะเกิดขึ้น ถ้าข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นบิต 9 เป็น 1 ในทำนองกลับกัน ถ้าข้อมูลที่รับเข้ามาเป็น 0 การอินเตอร์รัปต์
4	REN	บิตอีนาเบิล การรับบิตนี้จะถูกเซ็ตเป็น 1 เมื่อต้องการรับสัญญาณ
3	TB8	ใช้เลือกว่า จะให้ส่งบิต 8 หรือไม่ และจะถูกเซตหรือเคลียร์โดยโปรแกรมโหมด 2 หรือ 3
2	RB8	ใช้เลือกว่าจะรับบิต 8 หรือไม่ ใช้สำหรับกรณีรับข้อมูลโหมด 2 หรือ 3 หยุดในโหมด 1 ส่วนในโหมด 0 จะไม่ใช้งานบิตนี้
1	TI	แฟล็กอินเทอร์รัปต์ เมื่อส่งข้อมูลในโหมด 0 จะถูกเซ็ตให้เป็น 1 หลังจากที่ส่งบิต 7 ออกไปแล้ว ในโหมดอื่นๆจะถูกเซ็ตให้เป็น 1 เมื่อบิต STOP เริ่มส่งออกไป การเคลียร์บิตนี้จะทำได้โดยการโปรแกรม
0	RI	แฟล็กอินเทอร์รัปต์เมื่อรับข้อมูลในโหมด 0 จะถูกเซ็ตให้เป็น 1 หลังจากรับบิต ที่ 7 เรียบร้อยแล้ว ในโหมดอื่นๆจะถูกเซ็ตให้เป็น 1 เมื่อรับสต็อปบิตได้ครึ่งหนึ่ง การเคลียร์บิตนี้จะทำได้โดยใช้โปรแกรม

การอ้างอิงแบบบิตแอดเดรสของรีจิสเตอร์นี้คือ SCON.0 ถึง SCON.7

SM0	SM1	โหมด	รายละเอียด
0	0	0	รีจิสเตอร์แบบเลื่อนบิต อัตราการส่ง = f/12
0	1	1	UART ชนิด 8 บิต อัตราการส่งเปลี่ยนแปลงได้
1	0	2	UART ชนิด 9 บิต อัตราการส่ง = f/32 หรือ f/64
1	1	3	UART ชนิด 9 บิต อัตราการส่งเปลี่ยนแปลงได้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงโหมดการทำงานของพอร์ทอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การคำนวณอัตราบอดไทม์เมอร์โหมด 1

ไทม์เมอร์ 1 จะถูกใช้เป็นตัวสร้างอัตราการบอด เมื่อกำหนดการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมใน โหมด 1 โดยไทม์เมอร์จะถูกใช้ให้ทำงานในโหมด 2 ซึ่งจะโหลดค่าเข้าไปโดยอัตโนมัติ การคำนวณจะเป็นดังนี้

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} * \frac{\text{Oscillator frequency}}{12*[256-(TH1)]}$$ = ความถี่ของออสซิลเลเตอร์

เมื่อ SMOD จะเป็นบิตควบคุมอยู่ในรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งจะเป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ ถ้าเป็น 0 จะเป็นความถี่ปกติ ถ้าเป็น 1 ความถี่จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

ถ้าไทม์เมอร์ 1 ไม่ถูกใช้งานในโหมด 2 ค่าอัตราบอดจะเป็น

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} * (\text{Timer 1 overflow frequency})$$

ถ้าเลือกใช้อัตราบอดมาตรฐาน ควรเลือกความถี่คริสตอล 11.0592 MHz ในโครงงานนี้ต้องการใช้อัตราบอด 300 ค่าที่จะต้องกำหนดลงไปใน TH1 คือ

$$TH1 = 256 - \frac{2^1 * 11.0592 * 10^6}{32 * 12 * 300} = 0A0H$$

เมื่อกำหนดให้ SMOD ในสมการนี้เป็น 0 ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดค่าข้อมูล และความผิดพลาดของอัตราบอดที่สร้างขึ้นจากคริสตอล

Baud Rate	Crystal frequency (MHz)	SMOD	TH1 Reload Value	Actual Baud Rate	Error
9600	12	1	7 (F9H)	8923	7%
2400	12	0	13 (F3H)	1202	0.16%
1200	12	0	26 (E6H)	1202	0.16%
19200	11.059	1	3 (FDH)	19200	0
9600	11.059	0	3 (FDH)	9600	0
2400	11.059	0	12 (F4H)	2400	0
1200	11.059	0	24 (E8H)	1200	0

3.4.3 การกำหนดเริ่มต้นและการใช้งานรีจิสเตอร์ของพอร์ทอนุกรม

ในการควบคุมการส่งและรับข้อมูลผ่านทาง พอร์ทอนุกรมต้องใช้รีจิสเตอร์ SCON ซึ่งแต่ละบิตของข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้มีความหมายเฉพาะ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-บิต SM0 (บิตที่ 7) และ บิต SM1 (บิตที่ 6)

เป็น 2 บิตที่ใช้งานร่วมกันเพื่อกำหนดโหมดของการรับ-ส่งข้อมูลของพอร์ทอนุกรม ค่าใน 2 บิตนี้จะกำหนดโหมดได้ดังนี้

SM0	SM1	MODE	Descriptiion
0	0	0	Shift Register
0	1	1	8 -bit UART
1	0	2	9 -bit UART
1	1	3	9 -bit UART

-บิต SM2 (บิตที่ 5)

ในโหมด 2 และ โหมด 3 ซึ่งปกติแล้วบิต RI จะเป็น 1 เมื่อข้อมูลบิตที่ 9 เข้ามา แต่เมื่อ SM2 เป็น 1 แล้ว RI จะเป็น 1 ก็ต่อเมื่อข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามามีค่าเป็น 1 ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาเป็น 0 จะไม่ทำให้บิต RI มีค่าเป็น 1 (คือบิต RI จะเป็น 0)

-บิต REN : Receive Enable (บิตที่ 4)

เป็นบิตที่ใช้กำหนดให้ทำการรับข้อมูลเข้ามาทางพอร์ทอนุกรม หรือไม่ถ้าบิตนี้เป็น 1 ก็จะรับข้อมูลเข้ามา แต่ถ้าเป็น 0 ก็จะไม่รับข้อมูลที่ RXD เข้ามา การให้บิตนี้เป็น 1 หรือ 0 ทำได้โดยใช้คำสั่ง SETB bit หรือ CLR bit ค่าตำแหน่งของบิตนี้คือ 9CH

-บิต TB8 (บิตที่ 3)

ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมโหมด 2 และ 3 จะใช้บิตนี้เก็บข้อมูลบิตที่ 9 ส่วนโหมดอื่นจะไม่ใช้งานบิตนี้ การกำหนดค่าในบิตนี้สามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง SETB bit หรือ CLR bit ค่าตำแหน่งของบิตนี้คือ 9BH

-บิต RB8 (บิตที่ 2)

เมื่อมีการกำหนดให้รับข้อมูลในโหมด 2 และ 3 จะใช้บิตนี้ สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาทางพอร์ทอนุกรม ส่วนในโหมด 1 นั้น บิตนี้จะเก็บ Stop bit ซึ่งมีค่าเป็น 1 นั่นเอง ในโหมด 0 บิตนี้ไม่ถูกใช้งาน ค่าตำแหน่งของบิตนี้คือ 9AH

-บิต TI (บิตที่ 1)

ค่าในบิต TI จะถูกกำหนดให้เป็น 1 หรือ 0 โดยฮาร์ดแวร์ ถ้าเป็นการส่งข้อมูลในโหมด 1 , 2 และ3 จะทำให้ข้อมูลในบิต TI เป็น 1 เมื่อเริ่มการส่ง Stop bit ข้อมูลบิตนี้จะสามารถเคลียร์เป็น 0 ได้ด้วยคำสั่ง CLR bit โดยที่ค่าตำแหน่งของบิตนี้เท่ากับ 99H บิตนี้ยังมีประโยชน์เพื่อบอกว่าการส่งข้อมูลจาก SBUF ออกไปทางพอร์ทอนุกรมนั้นสิ้นสุดแล้วพร้อมที่จะให้โปรแกรมเขียนข้อมูลลงไปยัง SBUF สำหรับการส่งออกต่อไปได้ นอกจากนี้การกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ IE และ IP ยังสามารถที่จะกำหนดให้เกิดการขัดจังหวะการทำงานของ โปรแกรมได้เมื่อบิตนี้ถูกฮาร์ดแวร์ทำให้มีค่าเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-บิต RI (บิตที่0)

บิตนี้จะถูกกำหนดโดยฮาร์ดแวร์ให้มีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยที่ในการรับข้อมูลโหมด 1, 2 และ 3 RB8 จะเป็น 1 ก็ต่อเมื่อ ข้อมูลเข้ามาถึงเวลาครึ่งหนึ่งของ Stop bit บิตนี้จะสามารถเคลียร์ ให้มีค่าเป็น 0 ได้ โดยใช้คำสั่ง CLR bit โดยค่าตำแหน่งของบิตมีค่าเท่ากับ 98H บิตนี้มีประโยชน์ให้รู้ว่าข้อมูลได้เข้ามาอยู่ใน SBUF ครบทั้งชุดแล้วพร้อมที่ CPU จะอ่านไปเก็บในหน่วยความจำต่อไป หรืออาจกำหนดค่าในรีจีสเตอร์ IE และ IP เพื่อเมื่อมีข้อมูลเข้ามาทางพอร์ทอนุกรมแล้วจะทำให้เกิดการขัดจังหวะ (Interrupt) การทำงานของโปรแกรมหลักแล้วกระโดดไปทำงานในโปรแกรมตอบสนองการขัดจังหวะ (Interrupt service routine)

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
1	1	0	1	0	0	0	0

3.4.4 การใช้งานไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์

ผู้ใช้งาน เอ็มซีเอส 8051 จะสามารถกำหนดการทำงานของไทม์เมอร์ให้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ได้โดยการกำหนดในรีจีสเตอร์ ชื่อ TMOD (Timer/Counter Mode Control) การทำงานเป็นไทม์เมอร์นั้น จะให้รีจีสเตอร์ในไทม์เมอร์0 หรือ 1 ทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณนาฬิกาที่ผ่านวงจรหาร 12 เมื่อนับครบถึงค่าสูงสุด ที่รีจีสเตอร์ TL_x และ TH_x จะเก็บได้คือค่า FFFFH แล้วยังนับต่อไปค่าที่ได้จากการนับจะเป็น 0000 H ทำให้เกิดเซ็ตบิตบางบิตในรีจีสเตอร์ TCON เพื่อบอกสภาวะไทม์เมอร์ โอเวอร์โฟล์ว นี้

1. รีจีสเตอร์ TMOD เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่งา 89H มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์0 และไทม์เมอร์ 1 แต่ละบิตในรีจีสเตอร์มีความหมายดังนี้

Gate	C/T	M1	M0	Gate	C/T	M1	M0

-Gate เป็นบิตที่ใช้ควบคุมให้ไทม์เมอร์ทำงานหรือไม่ ถ้าบิตนี้ของไทม์เมอร์ x ถูกตั้งเป็น 1 จะทำให้ไทม์เมอร์ทำงานก็ต่อเมื่อที่ขา INTxมีสภาวะลอจิกเป็น 1 และบิต TRxในรีจีสเตอร์ TCON เป็น 1 ด้วย

-C/T บิตนี้ใช้สำหรับเลือกการทำงานของไทม์เมอร์ว่าจะใช้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ถ้าบิตนี้เป็น 1 ก็หมายความว่าเลือกการทำงานเป็นเคาน์เตอร์ซึ่งจะนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่เข้ามาทางขา Tx

-M1,M0 เป็น 2 บิตที่ใช้ร่วมกันเพื่อเลือกโหมดการทำงานของไทม์เมอร์ การทำงานโหมด 0, 1 และ 2 ของไทม์เมอร์0 ก็จะเหมือนกับไทม์เมอร์1 แต่ในโหมด 3 การทำงานของทั้งสองจะต่างกัน

M1	M0	การทำงาน
0	0	โหมด 0 รีจีสเตอร์ THx และ TLx ทำตัวเป็นตัวนับ 13 บิต
0	1	โหมด 1 รีจีสเตอร์ THx และ TLx ทำตัวเป็นตัวนับ 16 บิต
1	0	โหมด 2 ในการนับของรีจีสเตอร์ TLx ขนาด 8 บิต เมื่อนับถึงค่าสูงสุดคือ FFH เมื่อทำการนับต่อไปจะเกิดการโอเวอร์โฟล์ว แล้วก็จะโหลดค่ากลับอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	1	โหมด 3 การทำงานของ ไทม์เมอร์0 และไทม์เมอร์1 จะต่างกัน

2. รีจีสเตอร์ TH0 ,TL0 และ TH1,TL1 รีจีสเตอร์เหล่านี้เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ใช้กำหนดค่าการนับของไทม์เมอร์ ตำแหน่งของ TH0 ,TL0 จะอยู่ที่ 8CH ,8AH และตำแหน่งของ TH1,TL1 จะอยู่ที่ 8DH,8BH และเนื่องจากว่าไทม์เมอร์ภายในนี้เป็นไทม์เมอร์แบบนับขึ้นจนถึงค่าสูงสุด คือ FFH (ในกรณีที่เลือกการ ทำงานแบบ 8 บิต) FFFFH (ในกรณีที่เลือกการทำงานแบบ 16 บิต) แล้วจะเกิดโอเวอร์โฟล์ว (เปลี่ยนจาก FFH หรือ FFFFH เป็นค่า 0) ดังนั้นการกำหนดค่าการนับจะต้องนำค่าสูงสุดของโหมดการทำงานนั้นๆมาลบออกด้วยค่าที่ต้องการ

3. รีจีสเตอร์ TCON (Timer Countrol Register) เป็นรีจีสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 88H สามารถอ้างอิงตำแหน่งแบบบิตได้ ใช้สำหรับควบคุมการทำงานและบอกสภาวะของ ไทม์เมอร์0 และไทม์เมอร์1และควบคุมการ ทำงานของอินเตอร์รัปต์ด้วย

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

- IT0 เป็นบิตที่จะใช้กำหนดวิธีการขัดจังหวะโปรแกรม อันเนื่องมาจากสภาวะของสัญญาณที่เข้ามาทางขา อินเตอร์รัปต์ 0

ถ้าเป็น 1 จะเกิดการขัดจังหวะโปรแกรม ถ้าสภาวะของสัญญาณที่ขาอินเตอร์รัปต์0 เปลี่ยนจาก 1 เป็น0

ถ้าเป็น 0 จะเกิดการขัดจังหวะโปรแกรม ถ้าสภาวะของสัญญาณที่ขาอินเตอร์รัปต์ 0 เป็น 0

- IE0 บิตนี้จะเป็น 1 ถ้าสัญญาณที่เข้ามาทางขา อินเตอร์รัปต์ 0 มีสภาวะลอจิกของสัญญาณตามที่กำหนดในบิต IT0 แล้วทำให้เกิดการขัดจังหวะโปรแกรม เมื่อเกิดการกระโดด ไปทำงานยังโปรแกรมตอบสนองการขัดจังหวะแล้ว จะทำให้บิตนี้กลับเป็น 0

-IT1 อินเตอร์รรัปต์ 1 เป็นบิตที่จะใช้กำหนดวิธีการขัดจังหวะโปรแกรมอันเนื่องมาจากสภาวะของสัญญาณที่เข้ามาทางขา อินเตอร์รัปต์1

ถ้าเป็น1 จะเกิดการขัดจังหวะโปรแกรม ถ้าสภาวะของสัญญาณที่ขา อินเตอร์รัปต์1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0

ถ้าเป็น 0 จะเกิดการขัดจังหวะโปรแกรม ถ้าสภาวะของสัญญาณที่ขาอินเตอร์รัปต์เป็น 0

- IE1 บิตนี้จะเป็น 1 ถ้ามีสัญญาณเข้ามาทางขา อินเตอร์รัปต์1 มีสภาวะลอจิกของสัญญาณ ตามที่กำหนดในบิต IT1 แล้วทำให้เกิดการขัดจังหวะโปรแกรมเหมือนกับบิต IT0 ที่ทำงานกับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ 0

- TR0 ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ 0 ถ้าเป็น 0 ไทม์เมอร์ 0 ไม่ทำการนับสัญญาณไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น แต่ถ้าบิตนี้เป็น 1 จะทำให้ ไทม์เมอร์ 0 ทำงาน โดยขึ้นกับสัญญาณ Gate,INT0 สามารถเซ็ตให้เป็น 1หรือ เคลียร์เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

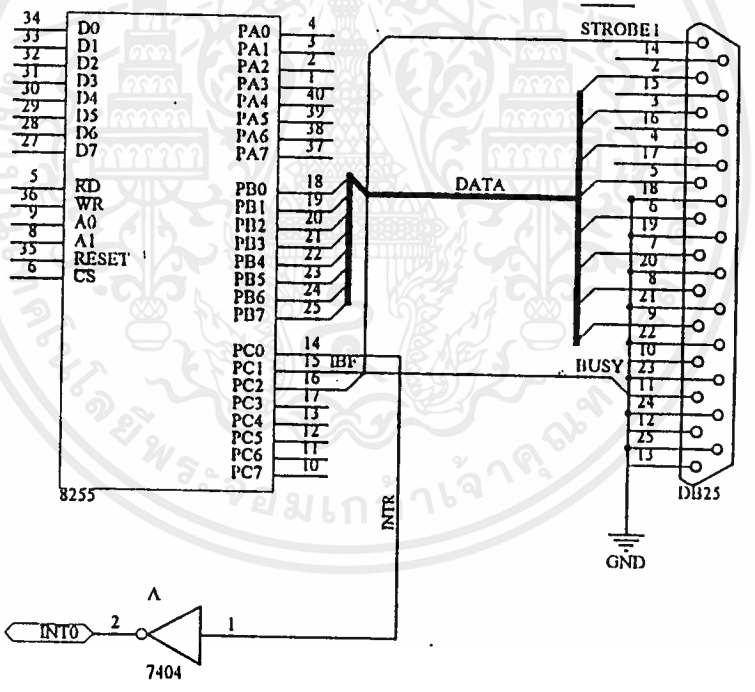
- TF0 แฟล็กไทม์เมอร์0โอเวอร์โฟล์ว บิตนี้จะเป็น 1 เมื่อการนับของรีจีสเตอร์ในไทม์เมอร์ 0 เกิดโอเวอร์โฟล์วขึ้น 8051 จะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมตอบสนอง การขัดจังหวะจะทำให้บิตนี้กลับเป็น0

- TR1 ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ 1 เหมือนกับบิตที่ทำงานกับไทม์เมอร์0

- TF1 แฟล็ก โอเวอร์โฟล์ว เหมือนกับบิต TF0 ต่างกันที่ขึ้นกับการทำงานของไทม์เมอร์1

3.5 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์

3.5.1 การเชื่อมต่อระหว่างวงจรอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.15 รูปแสดงการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ8255

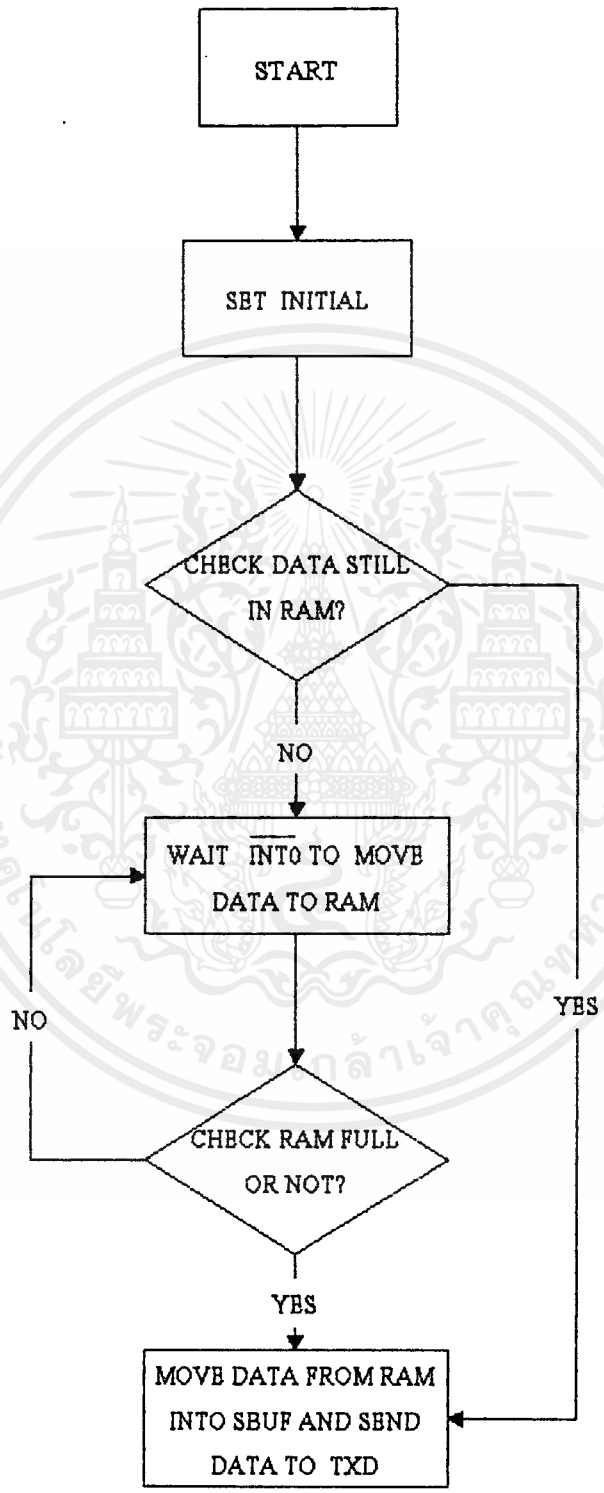
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 ซึ่งเป็นรูปแสดงการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ 8255 ของวงจรอินเตอร์เฟซซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 โดยส่วนของวงจรอินเตอร์เฟซนี้จะทำการเปลี่ยนข้อมูลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นข้อมูลแบบขนานให้เป็นข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องส่ง

จากรูป พอร์ทของ 8255 จะเป็นพอร์ทอินพุทรับข้อมูลแบบขนานที่ส่งมาจากพอร์ทพริ้นเตอร์ LPT1 ผ่านขา 2-9 ของคอนเนคเตอร์ DB25 ขา 1 ของ DB25 จะเป็นขาสัญญาณ STROBE จะต่อเข้ากับ PC_2 ซึ่งเป็นขาสัญญาณ $\overline{STB_B}$ ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งมาให้ 8255 พร้อมทั้งส่งสัญญาณ STROBE มาให้ สัญญาณ STROBE ที่เข้ามา จะทำให้ PC_1 ซึ่งเป็นขา IBF_B เปลี่ยนสถานะเป็นระดับสูง (HIGH) ไปเป็นสัญญาณ BUSY ส่งไปขา 11 ของ DB25 ไปบอกคอมพิวเตอร์ถึงการไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดต่อไป คอมพิวเตอร์ก็จะหยุดส่งข้อมูลมาให้ จากนั้นจะมีสัญญาณอินเตอร์รัปต์ $INTR_B$ ซึ่งเป็นระดับสูง (HIGH) ออกจากขา PC_0 ของ 8255 ผ่านอินเวอร์เตอร์ซึ่งใช้ไอซี 74LS04 ไปเข้าขา $\overline{INT0}$ ขา 12 ของซีพียู 8031 เพื่อให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ไปรับข้อมูลเข้ามาเก็บในหน่วยความจำของ 8031 แล้วข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านรีจิสเตอร์ SBUF เพื่อเปลี่ยนข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรมแล้วส่งออกพอร์ทอนุกรม T_x ไปเป็นสัญญาณข้อมูลส่งไปยังวงจรภาคส่ง

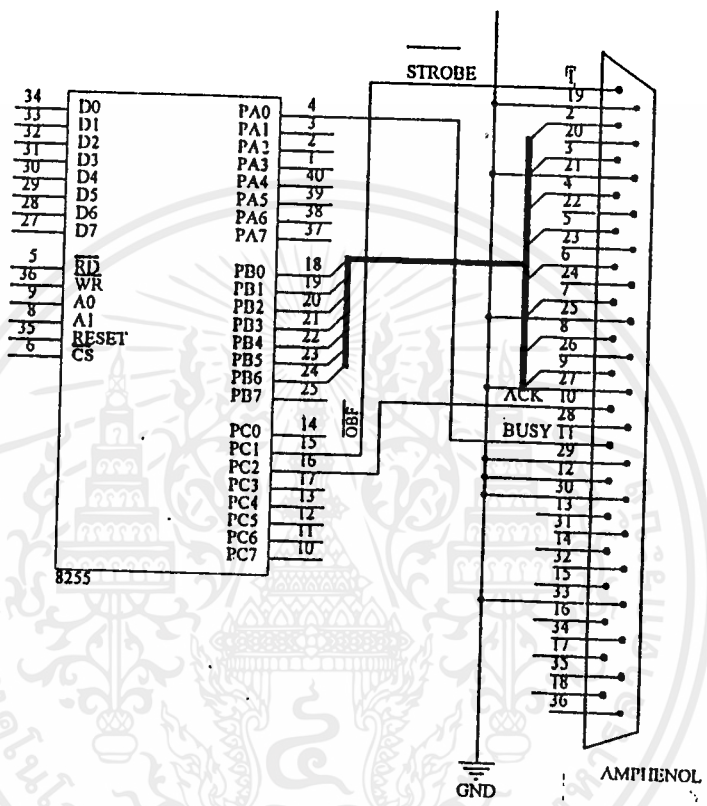
รูปที่ 3.16 เป็นโฟลว์ชาร์ตการ ทำงานของด้านส่ง เริ่มจากการอินนิเชียล (Intial) การทำงานของ 8255 และ 8031 โดยทำการอินนิเชียล 8255 ทางคอนโทรลพอร์ท ส่วน 8031 จะทำการเซ็ตสถานะของบิตที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน ได้แก่ การโหลดค่า TH_1 เพื่อเซ็ตค่าไทม์เมอร์ให้ได้ตามอัตราบอดที่ต้องการ รีจิสเตอร์ SCON ใช้ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม TMOD ใช้ในการเซ็ตไทม์เมอร์โหมด การเซ็ตลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ (IP) และอนุญาตให้มีการอินเตอร์รัปต์หรือไม่มีการอินเตอร์รัปต์ (IE) ในส่วนของการทำงานของโปรแกรมแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนรับข้อมูลที่เป็นข้อมูลแบบขนานจากคอมพิวเตอร์และส่วนของการส่งข้อมูลออกจากขา SERIAL T_x ในการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะมีการแฮนด์เช็คกันระหว่างคอมพิวเตอร์และ 8255 โดยก่อนที่คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลมาให้จะทำการตรวจสอบว่า 8255 พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ (IBF มีการแอคทีฟหรือไม่) ถ้าพร้อมคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณสโตรปออกมาเพื่อบอกว่ามีข้อมูลที่จะทำการจัดส่งไปให้ ในโปรแกรมจะทำการเซ็ตให้ลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ของการรับข้อมูลแบบขนานเข้ามา มีลำดับความสำคัญสูงสุด เมื่อทำการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จนหมดแล้วจะนำข้อมูลมาเปลี่ยนจากขนานให้เป็นข้อมูลแบบอนุกรมแล้วส่งออกไปทางขา T_x แต่ในการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะไม่มีสัญญาณส่งมาบอกว่าส่งข้อมูลออกมาหมดแล้วหรือยัง จึงไม่สามารถที่จะเริ่มต้นทำการส่งแบบอนุกรมได้ ดังนั้นในโปรแกรมจึงทำการเขียนส่วนของโปรแกรมหลักให้คอยตรวจสอบตลอดเวลาว่าข้อมูลพร้อมที่จะทำการส่งแบบอนุกรมหรือยัง แต่เนื่องจากความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ในการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์มีความสำคัญมากกว่าจึงต้องทำการรับข้อมูลเข้ามาก่อนแล้วค่อย ทำการส่งข้อมูลออกเป็นอนุกรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 รูปแสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 รูปแสดงการเชื่อมต่อระหว่างพรินเตอร์กับ 8255

3.5.2 การเชื่อมต่อระหว่างวงจรอินเตอร์เฟซกับพรินเตอร์

จากรูปที่ 3.17 ซึ่งเป็นรูปแสดงส่วนเชื่อมต่อระหว่างพรินเตอร์และ 8255 ของวงจรอินเตอร์เฟซ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 เป็นตัวควบคุมการทำงาน สัญญาณข้อมูลที่เป็นอนุกรมที่ได้จากวงจรภาครับเอ็ฟเอ็ม จะถูกเก็บเข้าไปในแรมข้อมูลโดยใช้ไอซีเบอร์ 6264 จากนั้นข้อมูลแต่ละตัวจะถูกอ่านออกมา แล้วนำมาเก็บที่พอร์ทB ของ 8255 แล้วทำการส่งข้อมูลไปยังพรินเตอร์ผ่านขาคอนเนคเตอร์ 36ขาที่เชื่อมต่ออยู่กับพรินเตอร์

ขา 2-9 ของคอนเนคเตอร์เป็นสายสัญญาณข้อมูล 8 บิต D_0-D_7 จะต่อเชื่อมกับ PB_0 - PB_7 ของ 8255 เมื่อ 8255 ส่งข้อมูลออกมาให้พรินเตอร์ พร้อมทั้งส่งสัญญาณ $\overline{OBF}$ ผ่านออกมาทางขา PC_1 สัญญาณ $\overline{OBF}$ ที่ออกมานี้ใช้เป็นสัญญาณสโตรป ($\overline{STROBE}$) ไปเข้าขาที่ 1 ของคอนเนคเตอร์เพื่อบอกพรินเตอร์ว่ามีข้อมูลเข้ามา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรินเตอร์เ มื่อรับข้อมูลแล้วจะส่งสัญญาณ $\overline{ACK}$ ออกมาทางขา 10 สัญญาณ $\overline{ACK}$ นี้จะใช้เป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ $\overline{INT0}$ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

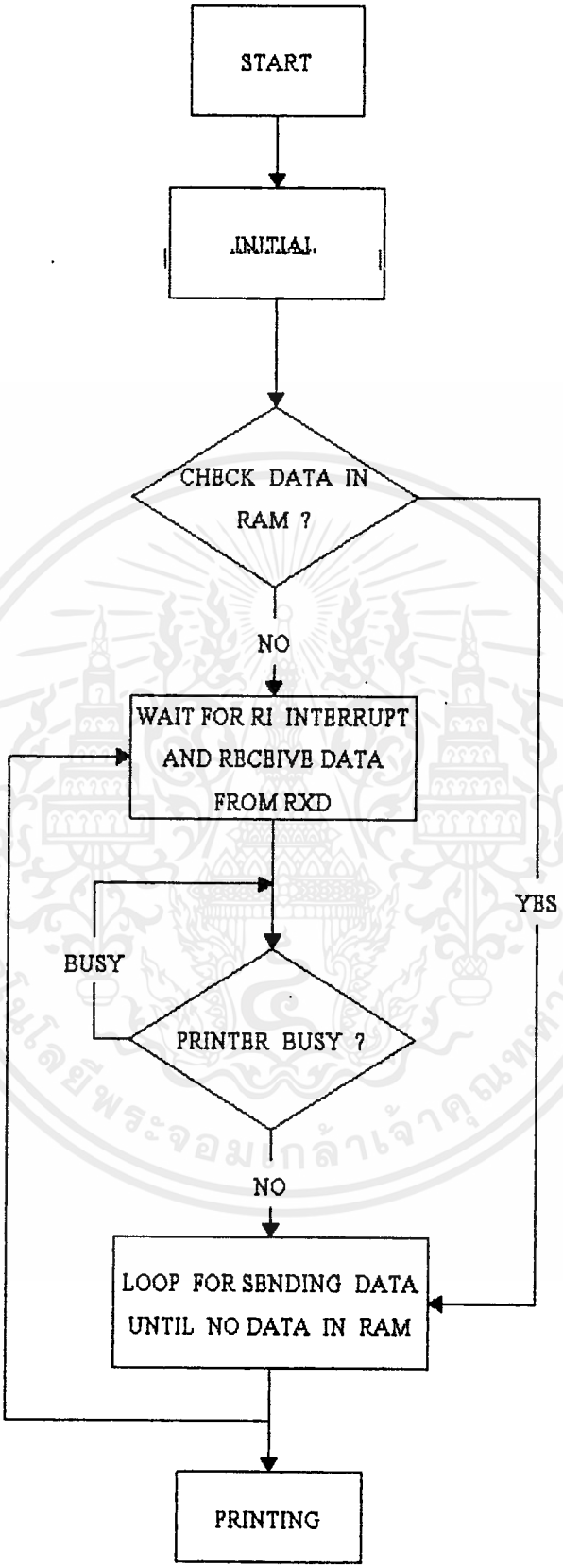
กรณีที่พรินเตอร์ไม่ว่าง จะส่งสัญญาณ BUSY ออกทางขา 11 ของคอนเนคเตอร์ และส่งสัญญาณ PE ออกทางขา 12 เมื่อกระดาษหมด สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกต่อเข้ากับพอร์ท A บิต 0 ของ 8255 (PA_0) ใช้ในกรณีที่พริ นเตอร์ไม่ว่างกำลังทำงานอยู่จะส่งสัญญาณ BUSY ไปบอกวงจรอินเตอร์เฟซ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยตรวจสอบว่า PA_0 เป็น ' 1 ' หรือไม่ ถ้าเป็น ' 1' ก็จะหยุดส่งข้อมูลไปให้พรินเตอร์จะรอจนกว่าพรินเตอร์ว่าง สัญญาณ BUSY จะตกลงเป็น 0 กรณีที่กระดาษหมดก็เช่นเดียวกัน จะส่งสัญญาณ PE มาเข้า PA_0 ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องคอยตรวจสอบว่า PA_0 เป็น '1' หรือไม่ ถ้าเป็น ' 1 ' ก็จะหยุดส่งข้อมูลรอจนกว่าจะใส่กระดาษเข้าไปใหม่ แล้วสัญญาณ PE จะตกลงเป็น 0 ส่งไปให้ PA_0 แสดงว่าพรินเตอร์อยู่ในสภาพพร้อมทำงานตามปกติก็จะมีการส่งข้อมูลไปให้พรินเตอร์ตามปกติ

จากรูปที่ 3.18 เป็นโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมของทางด้านรับ เริ่มจากการอินนิเชียล 8255 และ 8031 เช่นเดียวกับทางด้านส่ง การทำงานในด้านรับแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนรับข้อมูลอนุกรมจากขา R_x แล้วแปลงข้อมูลให้เป็นแบบขนานแล้วเข้าไปเก็บไว้ในแรมข้อมูล 6264 และส่วนส่งข้อมูลให้พรินเตอร์เพื่อไปทำการพิมพ์ ในการรับข้อมูลที่เข้ามาทางขา R_x จะไม่มีสัญญาณบอกว่าข้อมูลที่รับเข้ามาหมดหรือยัง จึงต้องทำการตรวจสอบตลอดเวลาว่ามีข้อมูลพร้อมที่จะส่งไปให้พรินเตอร์หรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการวนส่งข้อมูลไปให้พรินเตอร์ ระหว่างส่งข้อมูลให้พรินเตอร์ก็จะมีการแฮนด์เช็คกันระหว่างพรินเตอร์และ 8255 โดยใช้สัญญาณ $\overline{OBF}$ จาก 8255 เป็นสัญญาณสโตรปส่งไปให้พรินเตอร์บอกว่ามีข้อมูลส่งไปให้ และมีสัญญาณ BUSY จากพรินเตอร์ส่งออกมาเพื่อบอกถึงความพร้อมของการรับข้อมูลของพรินเตอร์

จากรูปที่ 3.19 เป็นรูปแสดงวงจรอินเตอร์เฟซของคอมพิวเตอร์และพรินเตอร์ ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะผ่านเข้ามายังพอร์ท B ของ 8255 ทางด้านส่ง หรือข้อมูลจะออกจากพอร์ท B ของ 8255 ไปยังพรินเตอร์ที่ด้านรับ โดยใช้ไอซี 74HC373 สำหรับแลทช์ข้อมูล และใช้อีพรอมเบอร์ 2764 ไอซี 8031 เป็น ซีพียู ,ใช้ไอซี 74HC138 เป็นตัวถอดรหัสสัญญาณชิปซีเล็ค (shift select)โดยมีตำแหน่งแอดเดรส

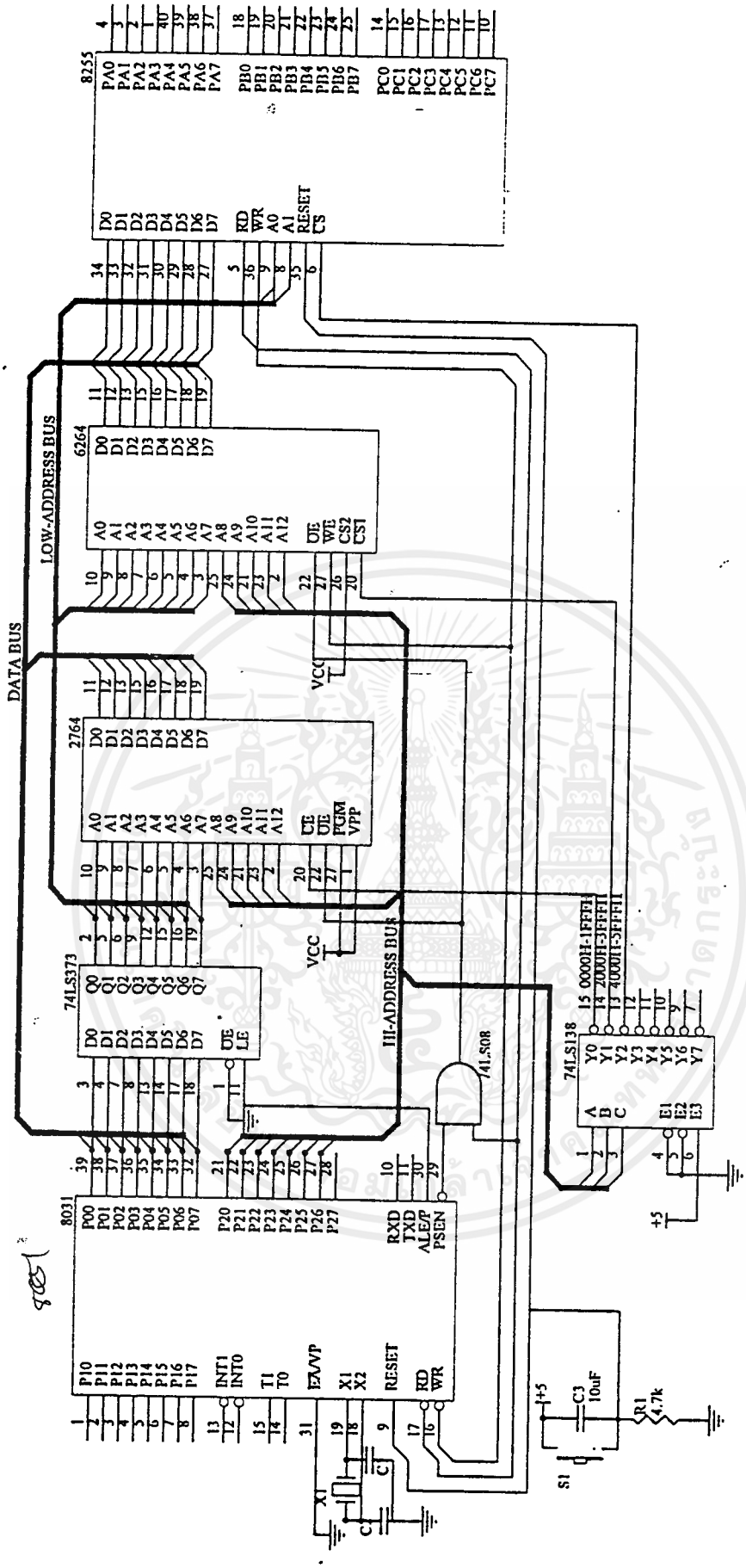
0000H-1FFFH	เป็นช่วงตำแหน่งแอดเดรสของ อีพรอม 2764
2000H-3FFFH	เป็นช่วงตำแหน่งแอดเดรสของแรม 6264
4000H-5FFFH	เป็นช่วงตำแหน่งแอดเดรสของไอซี 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 รูปแสดงโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมทางด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



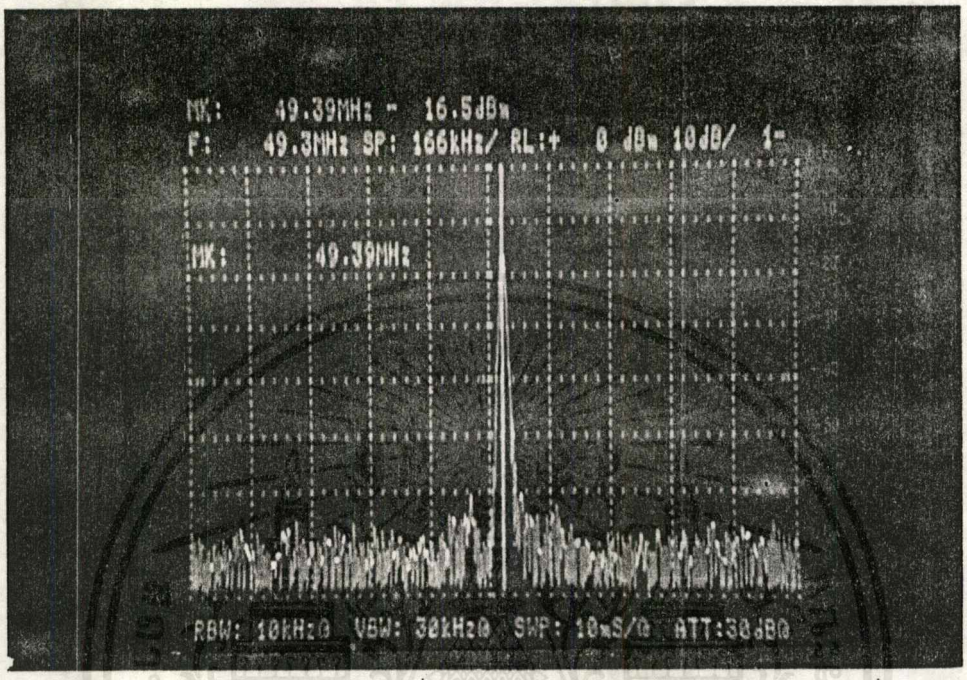
รูปที่ 3.19 รูปแสดงวงจรอินเตอร์เฟซของวงจรทางด้านส่งและทางด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

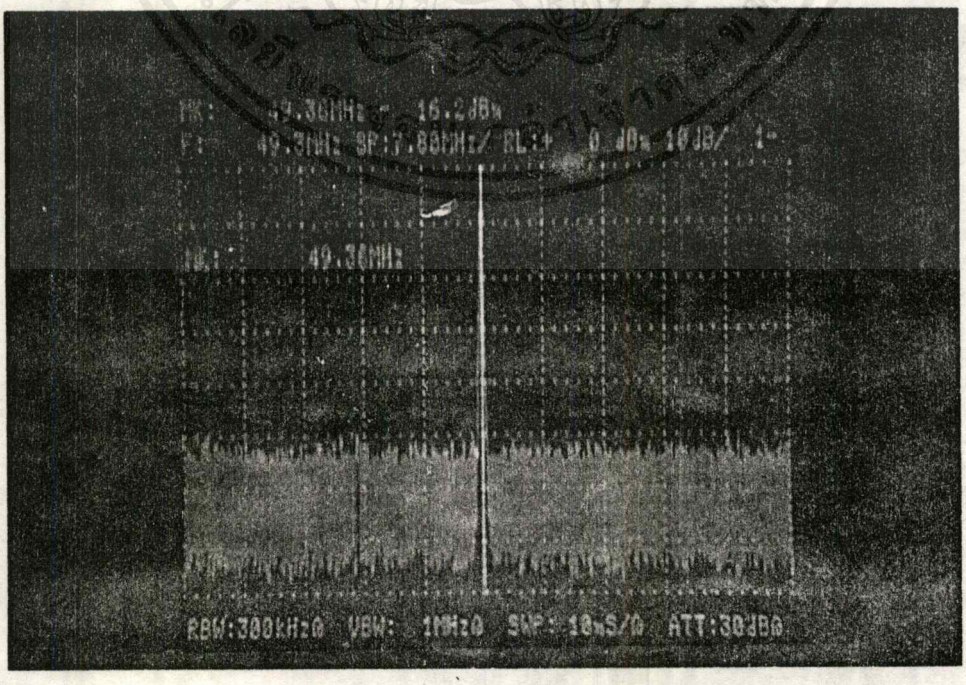
การทดลองและผลการทดลอง

จากวงจรภาคส่ง FM มอดูเลเตอร์ ที่ใช้ไอซี BA1404 ทำการมอดูเลทแบบ FM วงจรออสซิลเลเตอร์ ในวงจรจะผลิตสัญญาณคลื่นพาหะ ความถี่ 49 MHz



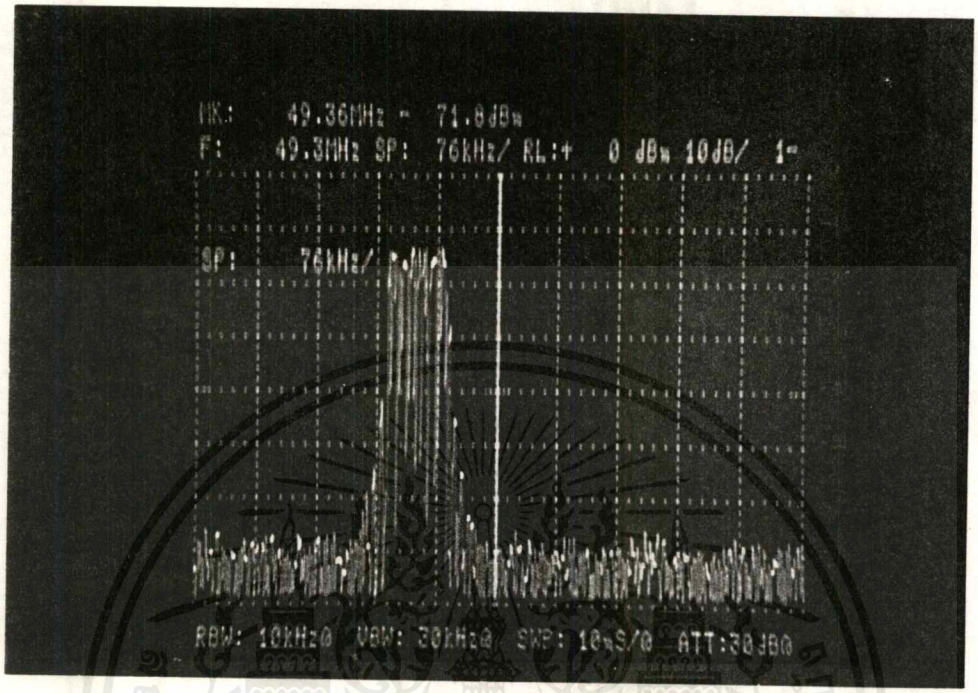
รูปที่ 4.1 รูปแสดงสเปคตรัมของสัญญาณคลื่นพาหะ 49 MHz จากวงจรออสซิลเลเตอร์ในภาคส่ง

ที่ขา 7 ของไอซี BA 1404 เป็นขา RF OUT ยังไม่ได้ทำการมอดูเลทกับสัญญาณข้อมูล จะเป็นสัญญาณความถี่ 49 MHz แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแสดงสเปคตรัมของสัญญาณคลื่นพาหะ 49 MHz ที่ขา RF OUT ในภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



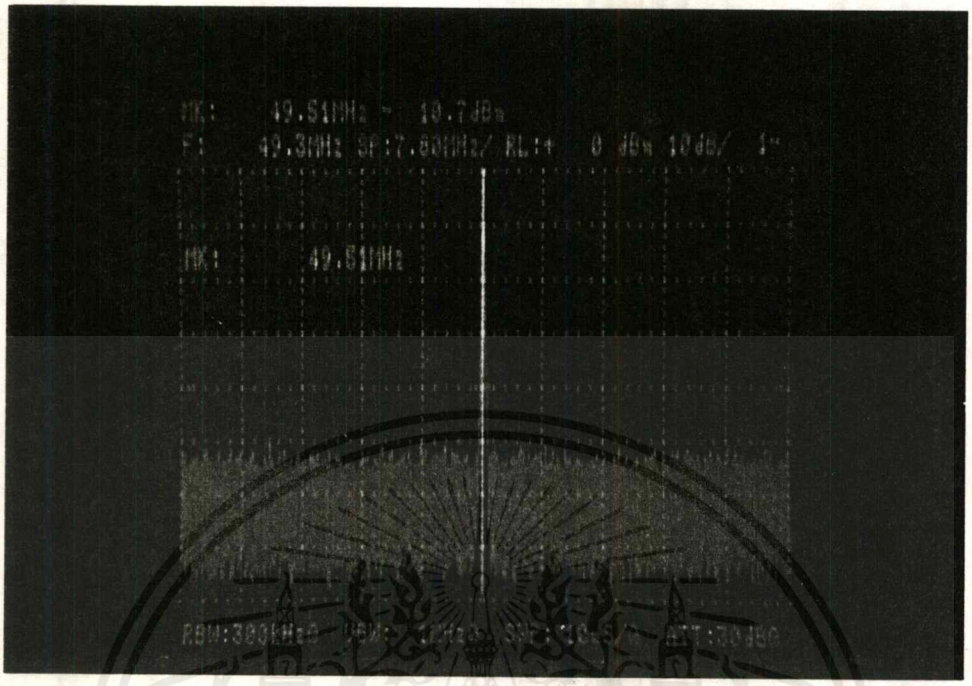
รูปที่ 4.3 รูปแสดงสเปคตรัมของสัญญาณ เมื่อทำการมอดูเลท สัญญาณ FSK จาก IC XR2206 กับคลื่นพาหะ 49MHz

รูปที่ 4.3 เป็นรูปสัญญาณ RF OUT เมื่อทำการมอดูเลทสัญญาณข้อมูลที่ได้จากวงจร XR 2206 กับสัญญาณคลื่นพาหะความถี่ 49 MHz ในวงจร FM มอดูเลเตอร์ โดยจากรูปจะเห็นว่า สเปคตรัมมีการสแปนความถี่ออกมาซึ่งต่างกับสัญญาณ RF OUT ในรูปที่ 4.2 ซึ่งไม่มีสัญญาณข้อมูลเข้ามามอดดูเลท

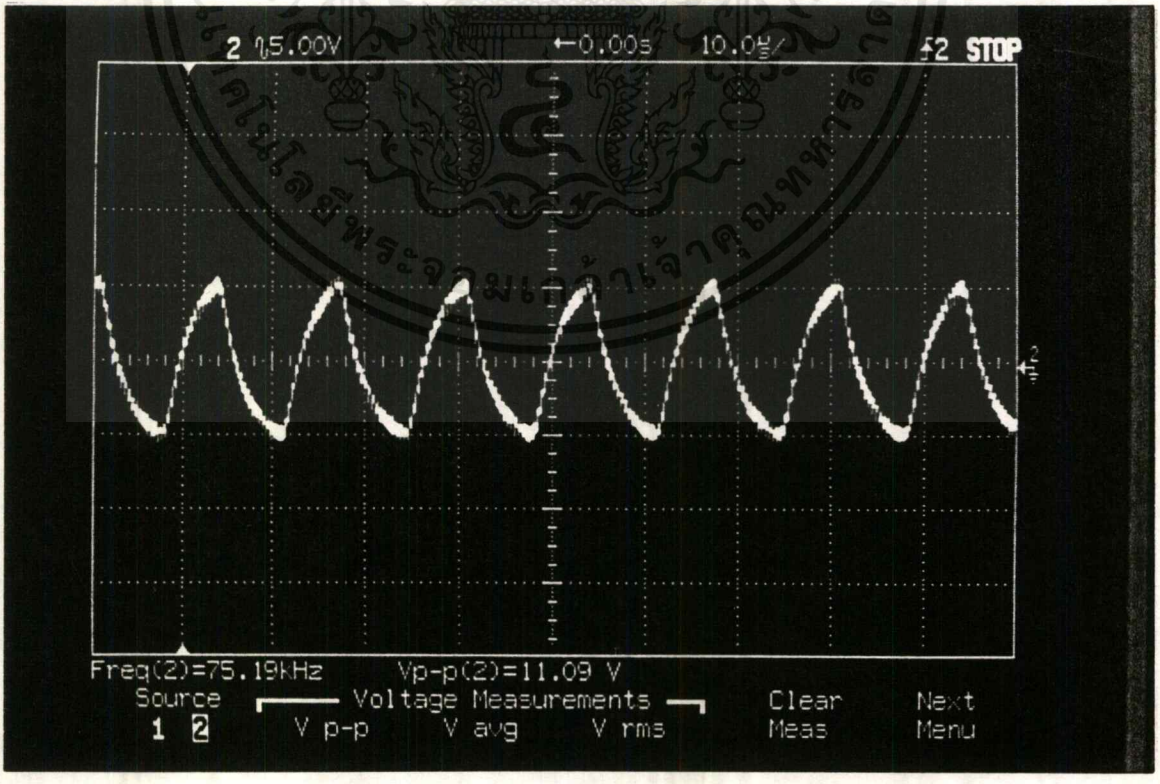
สัญญาณ RF OUT จะถูกส่งออกอากาศ ทางด้านรับจะมีวงจรจูนความถี่รับสัญญาณ FM 49 MHz ที่ส่งมาจากภาคส่ง สัญญาณ FM เมื่อผ่านวงจรมิกเซอร์ จะได้สัญญาณความถี่ไอเอฟ 75 MHz แสดงดังรูปที่ 4.5

โดยที่ ความถี่ IF = ความถี่ออสซิลเลเตอร์ - ความถี่ของสัญญาณที่รับเข้ามาจากวงจร FM ดีมอดดูเลเตอร์ โดยใช้ วงจรแทงก์เซอร์กิต (tank circuit) ในตัวไอซี TDA 7000 จะทำการผลิตสัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 49.51 MHz แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



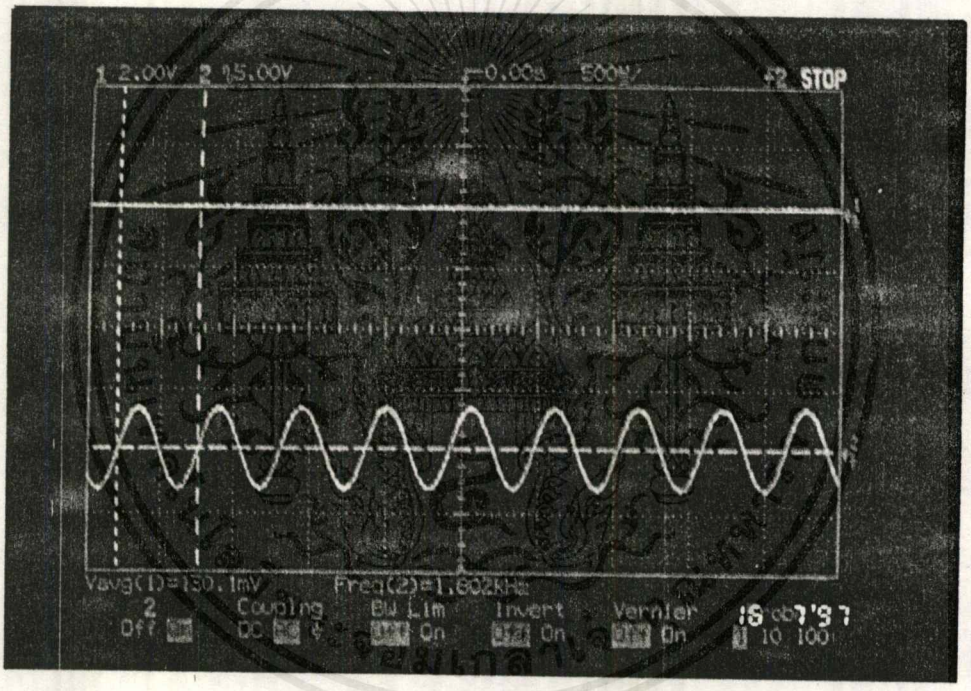
รูปที่ 4.4 รูปแสดงสเปคตรัมสัญญาณความถี่ 49.51 MHz จากวงจรออสซิลเลเตอร์ในภาครับ



รูปที่ 4.5 รูปแสดงสัญญาณความถี่ไอเอฟ 75 kHz ของไอซี TDA 7000

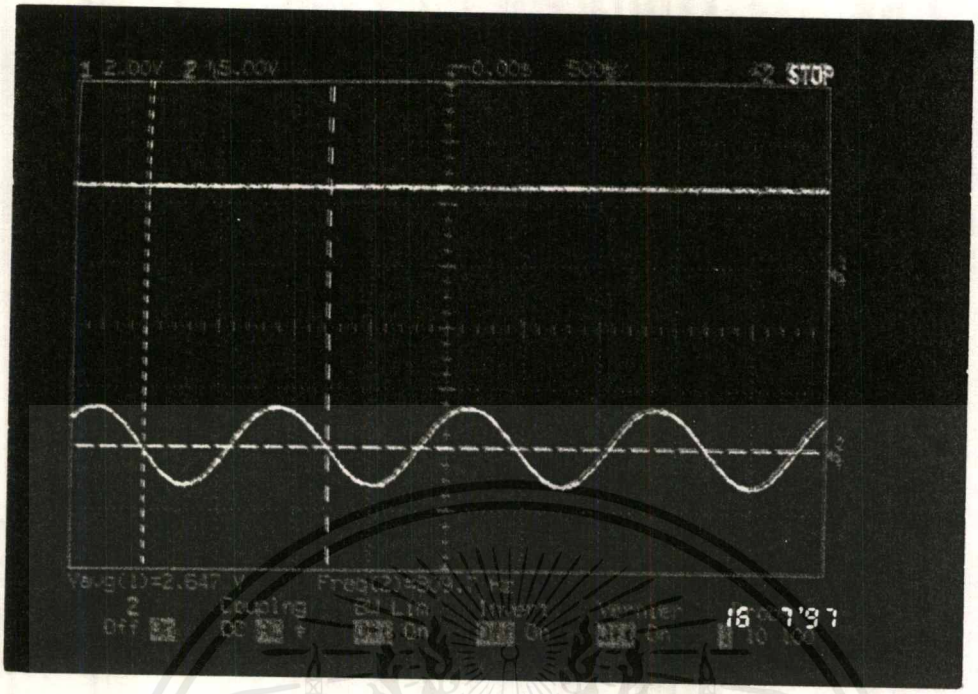
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัญญาณข้อมูลที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุทใน FM มอดูเลเตอร์เป็นสัญญาณ FSK ที่ได้จากวงจร FSK SINUSOIDAL GENERATOR สัญญาณอินพุทที่เข้าวงจร XR 2206 จะมีระดับสัญญาณ 2 ระดับ เมื่อสัญญาณอินพุทที่เข้ามามีค่าระดับสัญญาณสูงกว่า 2 โวลท์ สัญญาณเอาท์พุทของไอซี XR 2206 จะเป็นสัญญาณไซน์เวฟ ที่ความถี่ 1800 Hz และเมื่อสัญญาณอินพุทที่เข้ามามีระดับสัญญาณน้อยกว่า 2 โวลท์ สัญญาณเอาท์พุทของไอซี XR 2206 จะเป็นสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 800 Hz ดังแสดงในรูป 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

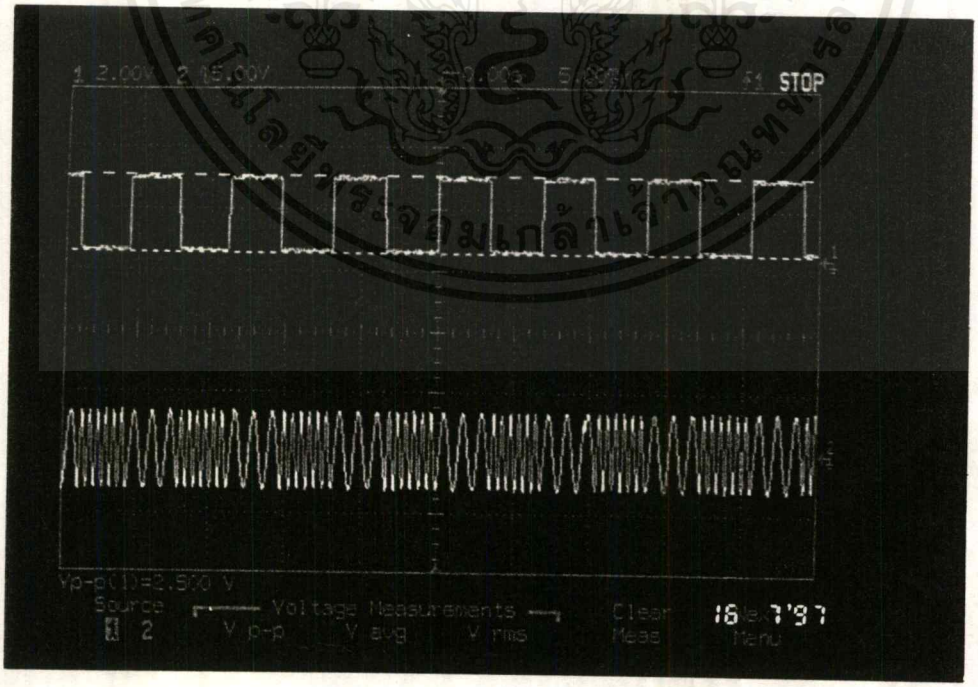


รูปที่ 4.6 รูปแสดงระดับสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทไซน์เวฟของวงจร FSK SINUSOIDAL GENERATOR กรณีสัญญาณอินพุท $V_{in} < 2V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

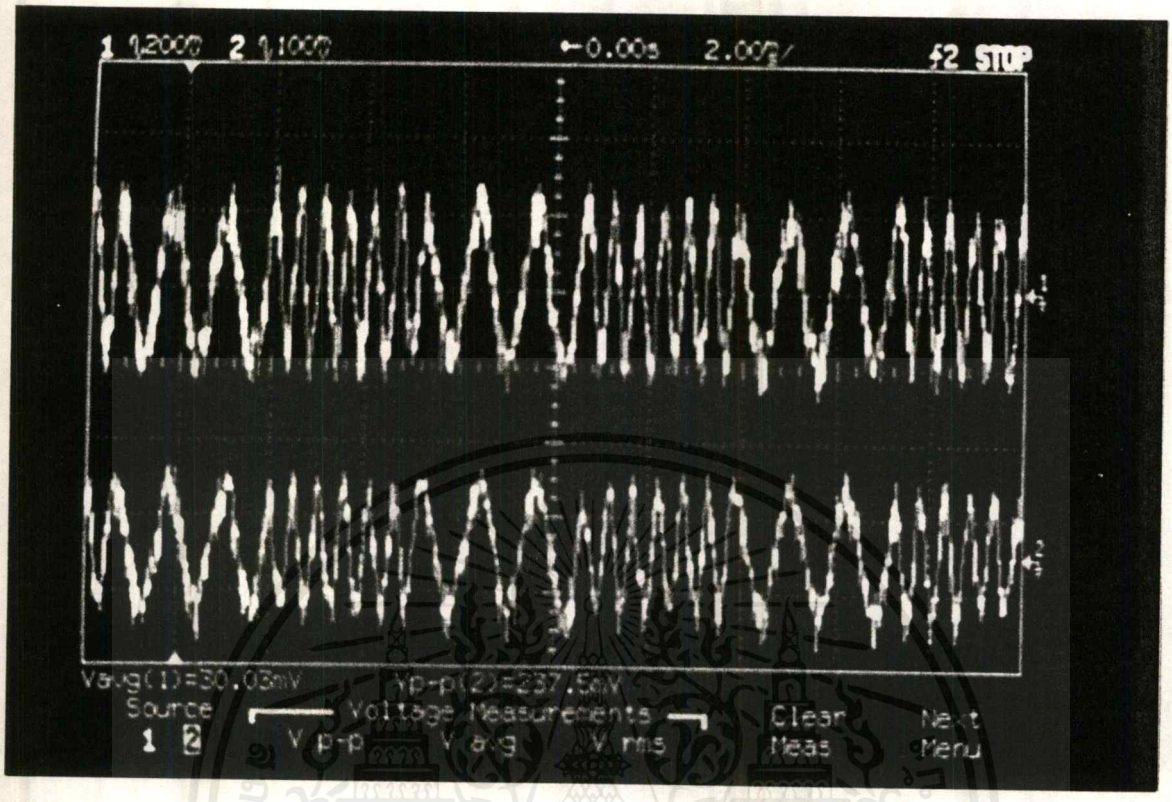


รูปที่ 4.7 รูปแสดงระดับสัญญาณอินพุท และเอาท์พุ ทไซน์เวฟของวงจร FSK SINUSOIDAL GENERATOR กรณีสัญญาณอินพุท Vin > 2 V



รูปที่ 4.8 รูปแสดงสัญญาณอินพุทจากฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์กับเอาท์พุทของวงจร FSK SINUSOIDAL GENERATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

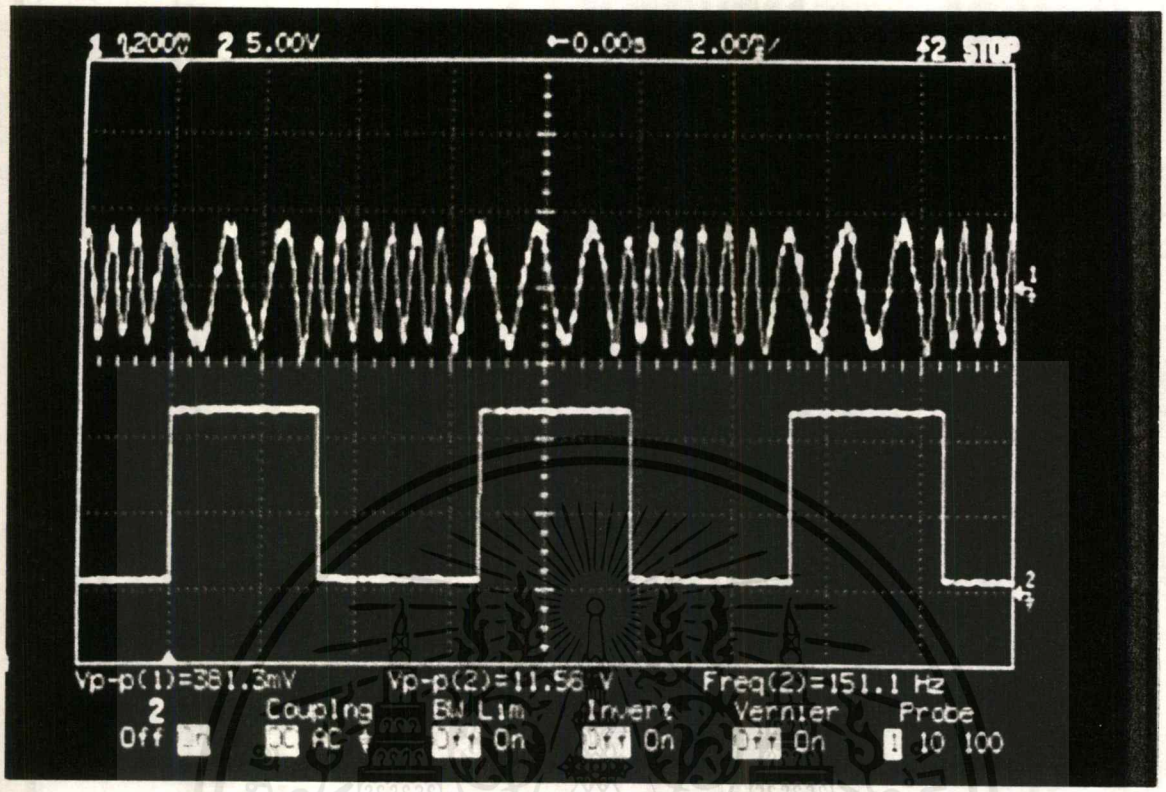


รูปที่ 4.9รูปแสดงสัญญาณอินพุท FM มอดูเลเตอร์ ของไอซี BA 1404 และสัญญาณที่ดีเทคได้โดยใช้ไอซี TDA 7000 ในวงจร FM ดีมอดูเลเตอร์

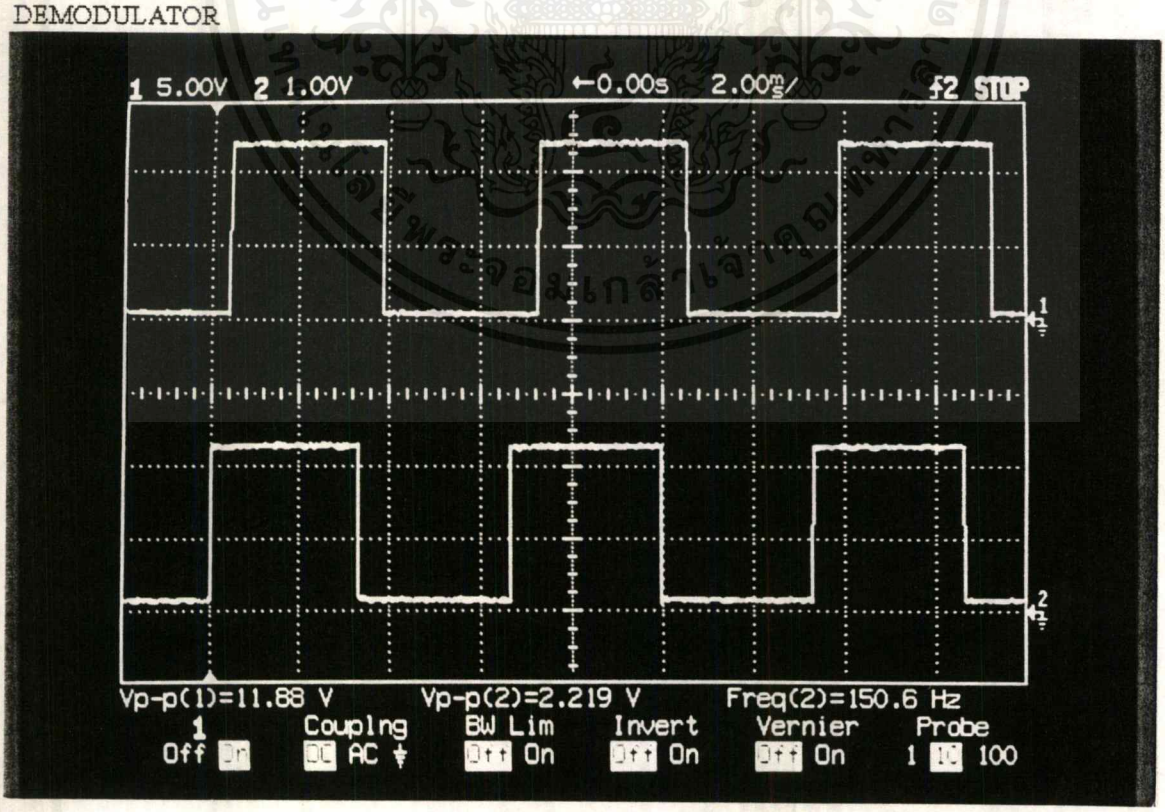
สัญญาณ FSK ที่ได้จากไอซี XR 2206 จะถูกส่งเข้าไปมอดูเลททางความถี่กับคลื่นพาหะ 49 MHz แล้วส่งออกอากาศ ทางภาครับจะดีมอดูเลทสัญญาณข้อมูล FSK ออกมา แสดงดังรูปที่ 4.9 โดย ch1 เป็นสัญญาณ FSK ที่ดีมอดูเลทออกมาจากไอซี TDA 7000 ch2 เป็นสัญญาณ FSK ที่เป็นสัญญาณข้อมูลอินพุทของไอซี BA1404

สัญญาณ FSK ที่ดีมอดูเลทออกมาได้จากไอซี TDA 7000 จะถูกส่งเข้าวงจร 1 FSK ดีมอดูเลเตอร์ที่ใช้ไอซี XR 2211 ได้สัญญาณสแควร์เวฟออกมา ดังรูปที่ 4.10 สัญญาณสแควร์เวฟนี้มีความถี่และแอมปลิจูดเช่นเดียวกับสัญญาณอินพุท จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ที่ป้อนเข้ามาเป็นสัญญาณข้อมูลทางด้านภาคส่ง แสดงดังรูปที่ 4.10 โดย ch1 เป็นสัญญาณอินพุทจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ และ ch2 เป็นสัญญาณเอาท์พุทจากการดีมอดดูเลทของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

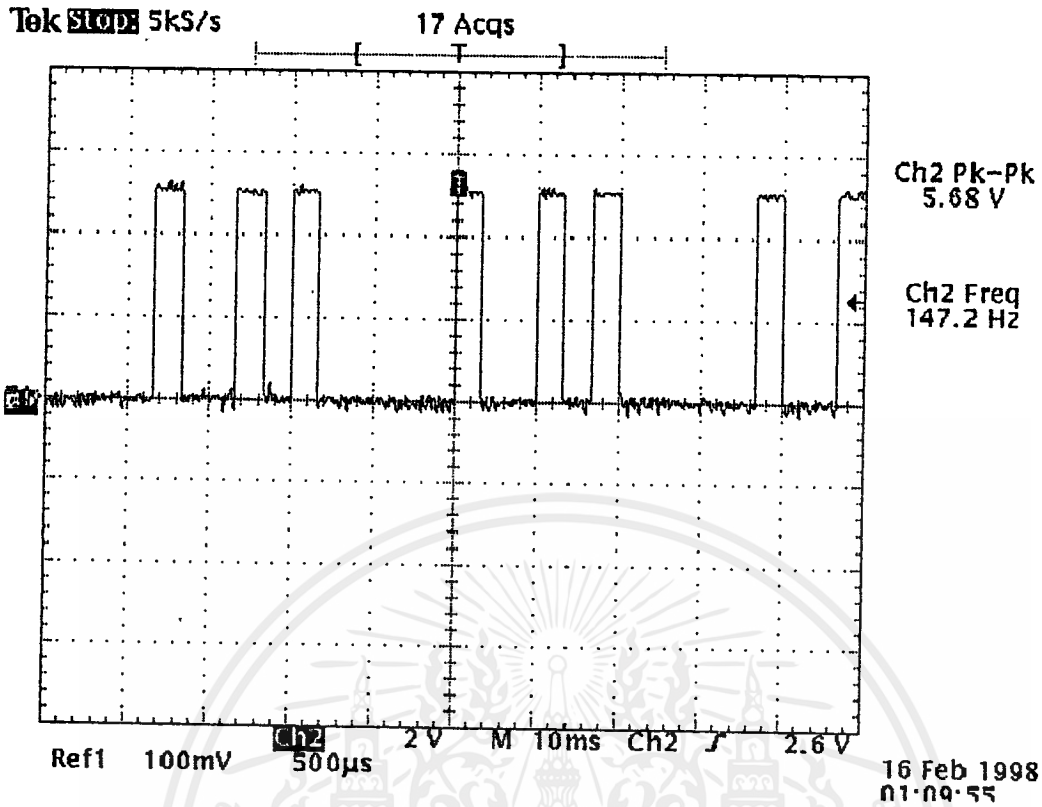


รูปที่ 4.10 รูปแสดงสัญญาณข้อมูลที่ดีเทคได้จากไอซี TDA 7000 และสัญญาณเอาท์พุท จากวงจร FSK DEMODULATOR

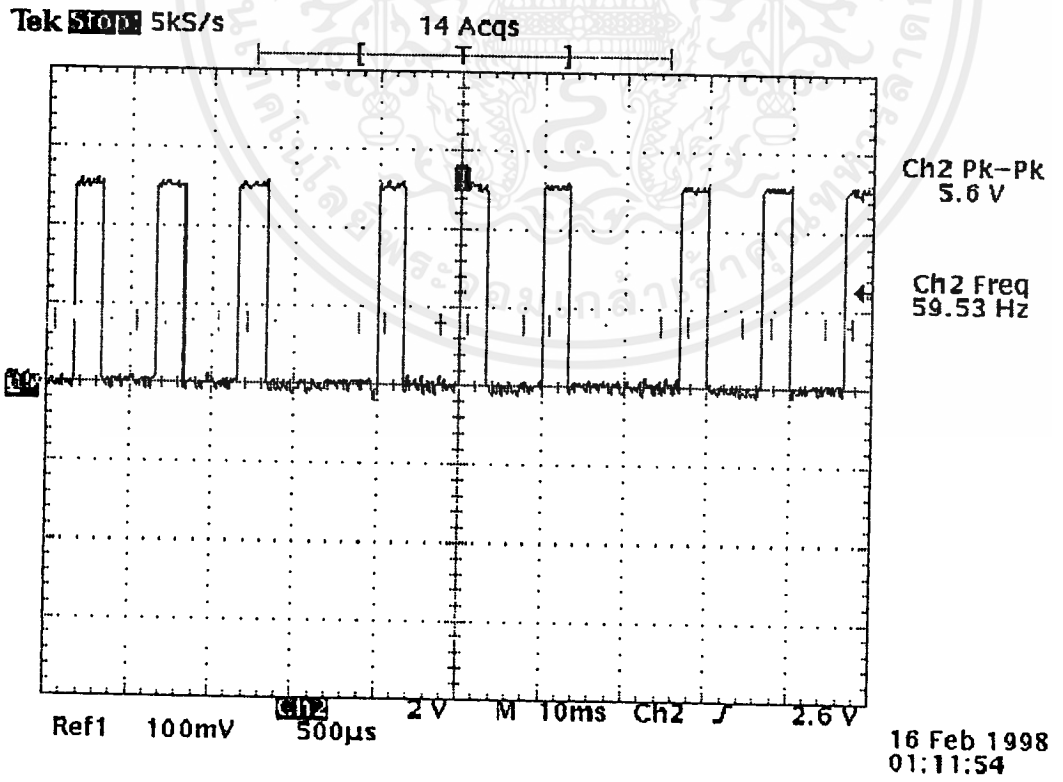


รูปที่ 4.11 รูป แสดงสัญญาณเอาท์พุทจากวงจร FSK DEMODULATOR เทียบกับสัญญาณข้อมูลที่เป็นอินพุทจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปแสดงสัญญาณข้อมูลของตัวอักษร 'A'

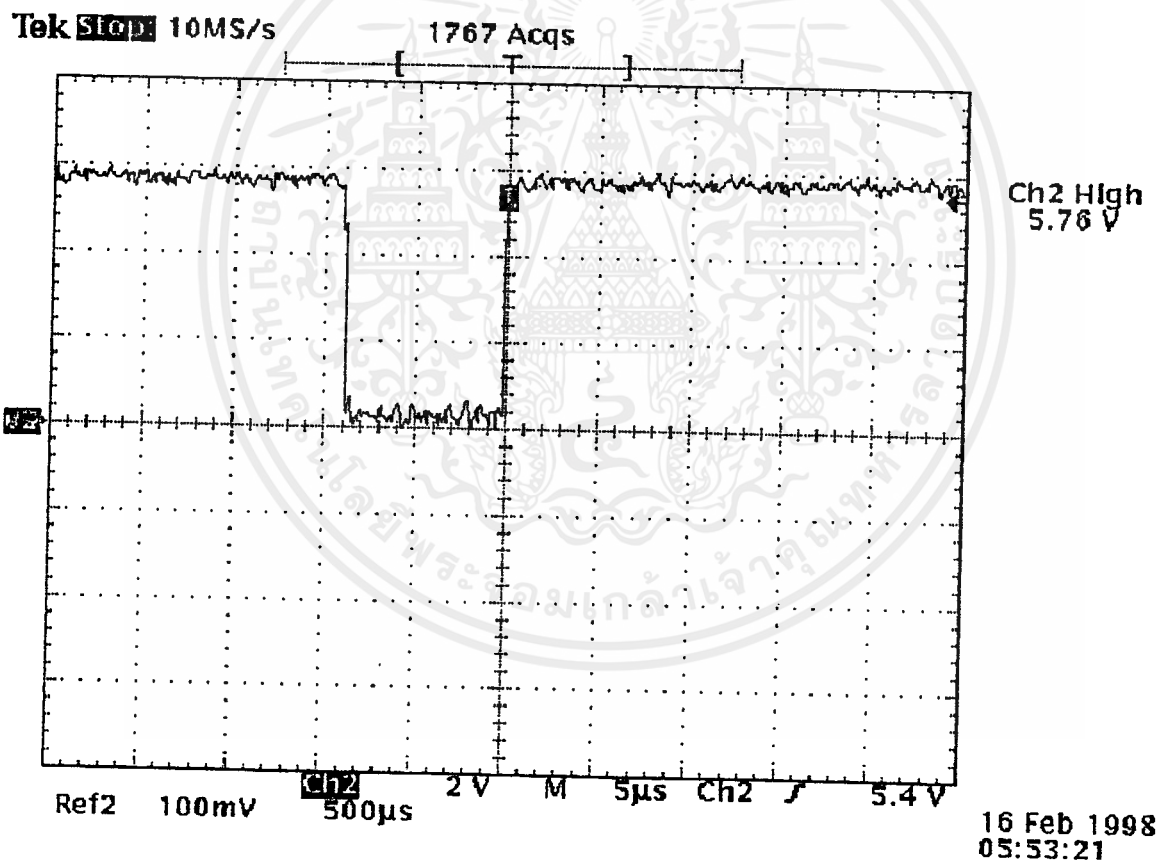


รูปที่4.13 รูปแสดงสัญญาณข้อมูลของตัวอักษร 'B'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นรูปแสดงสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งส่งออกมาจาก Tx (ขา 12 ของไอซี 8031) กรณีที่ส่งตัวอักษร 'A' และ 'B' มาทำการพิมพ์ โดยอักษร 'A' และ 'B' มีรหัสแอสกีเป็น 41H และ 42H ตามลำดับ จากรูปที่ 4.12 เป็นสัญญาณข้อมูลอนุกรมของอักษร 'A' 1 ตัวอักษรมี11 บิต บิตแรกเป็นบิตเริ่มต้น(START BIT) ระดับสัญญาณเป็นระดับต่ำ 8 บิตถัดมาเป็นรหัสแอสกีของ 'A' โดยเรียงจากบิตที่มีความสำคัญสูงสุด (MSB) ไปจนถึงบิตที่มีความสำคัญต่ำสุด (LSB) คือ 0100 0001 บิตที่ 10 คือ พาริตี้บิต โดยทำการเซ็ตที่รีจีสเตอร์ PCON ให้เป็น 0 หรือ 1 ได้ บิตที่ 11 คือสต็อปบิต (STOP BIT) เป็นระดับลอจิกสูง

กรณีส่งตัวอักษร 'B' มาทำการพิมพ์ก็เช่นเดียวกัน 1 ตัวอักษรประกอบด้วย 11 บิต บิตเริ่มต้นอยู่ที่ระดับลอจิกต่ำ 8 บิตถัดมาเป็นรหัสแอสกี 0100 0010 บิตที่ 10 คือ พาริตี้บิต และบิตที่ 11 คือสต็อปบิตอยู่ที่ระดับลอจิกสูง

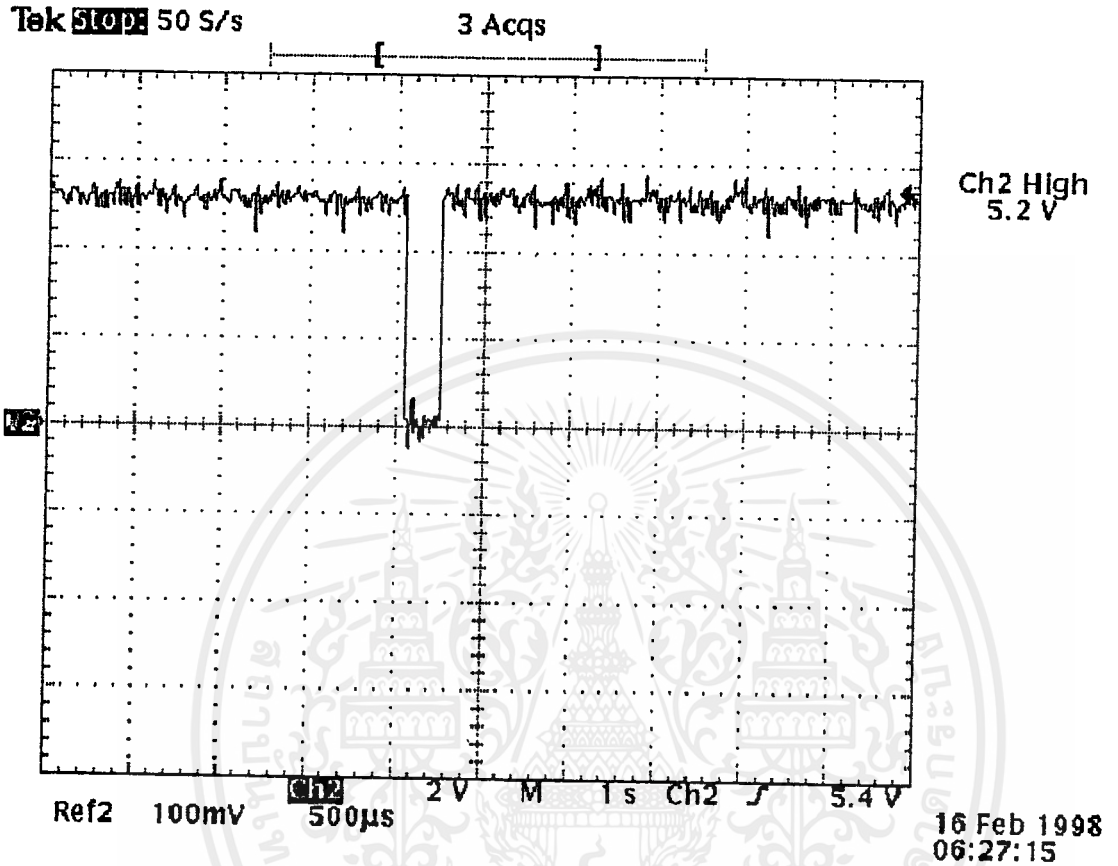


รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่ขา $\overline{\text{INT0}}$ ของ 8031 ทางด้านส่ง

รูปที่ 4.14 เป็นรูปแสดงสัญญาณอินเตอร์รัปต์ที่เข้ามาที่ขา $\overline{\text{INT0}}$ (ขา 12 ของ 8031) จากวงจรอินเตอร์เฟซทางด้านส่ง เมื่อทำการสั่งพิมพ์ข้อมูล คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ $\overline{\text{STROBE}}$ มาให้ PC_2 ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

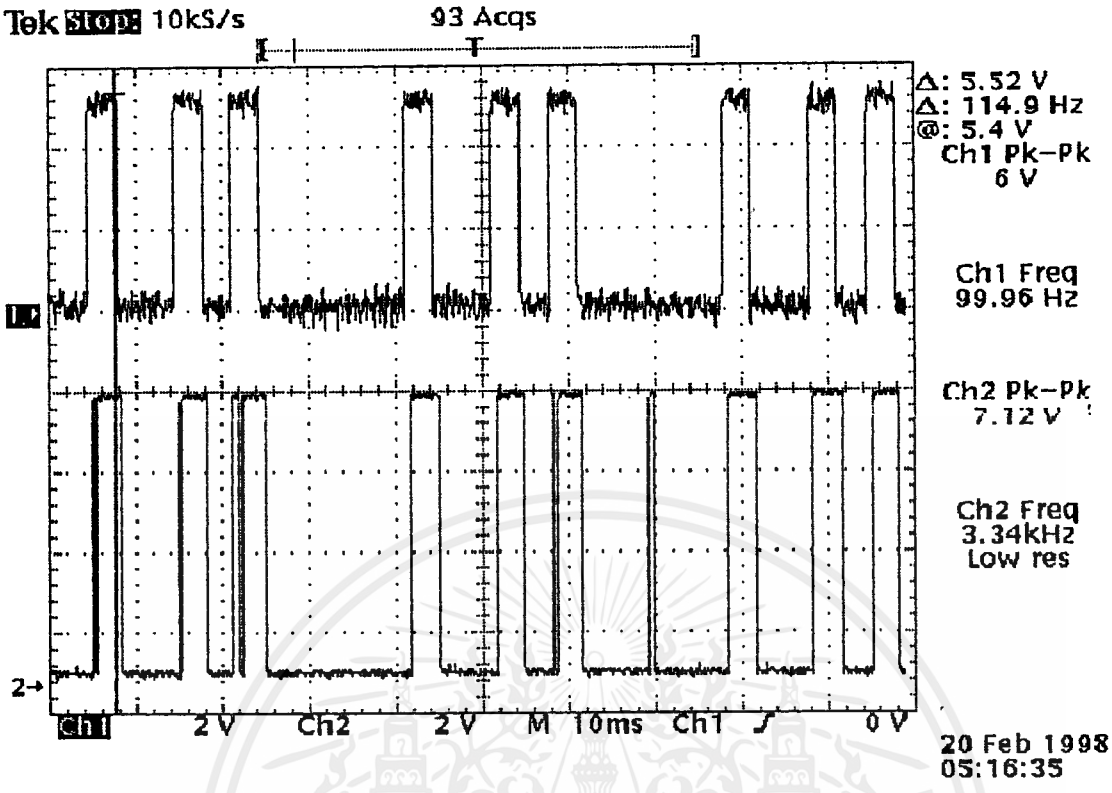
8255 แล้วจะมีระดับสัญญาณลอจิกสูงออกมาจาก PC_1 ผ่านอินเวอร์เตอร์เป็นสัญญาณระดับต่ำมาเข้าขา INT0 ของ 8031 ทำให้ 8031 เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น



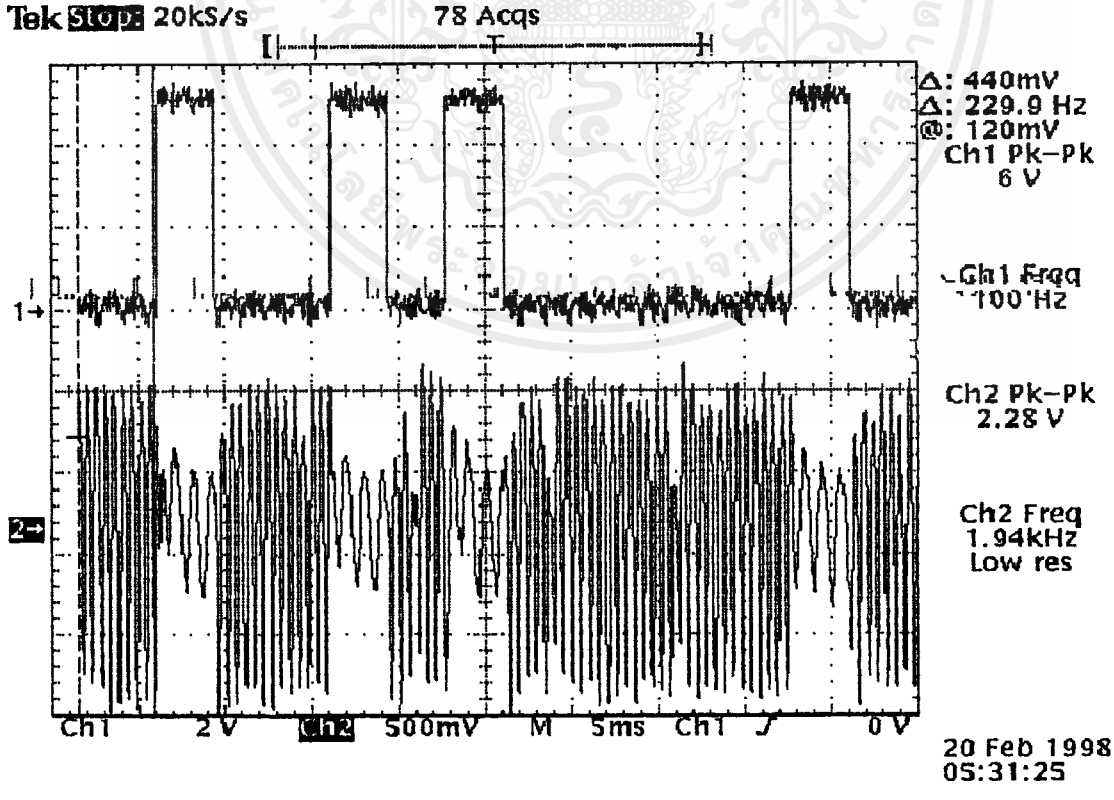
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณสโตรปที่ส่งมาจากวงจรอินเตอร์เฟซทางด้านรับไปยังพรินเตอร์

รูปที่ 4.15 เป็นรูปแสดงสัญญาณสโตรปที่ออกมาจากขา PC_1 ซึ่งเป็น $\overline{OBF_B}$ ของ 8255 ในวงจรอินเตอร์เฟซทางด้านรับ เมื่อรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ในแรม 6264 แล้วทำการส่งออกพอร์ท B ของ 8255 ไปเข้าพรินเตอร์ 8255 จะทำการส่งสัญญาณ สโตรปไปให้พรินเตอร์ผ่านทางขา 1 ของคอนเนคเตอร์ 36 ขา เพื่อบอกว่ามีข้อมูลส่งมาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 รูปแสดงสัญญาณข้อมูลตัวอักษร 'A' ที่ดีเทคได้ก่อนเข้าวงจรอินเตอร์เฟซ



รูปที่ 4.17 รูปแสดงสัญญาณข้อมูลตัวอักษร 'A' ที่ดีเทคจากคลื่นพาหะ 49 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 แชนแนล 1 เป็นรูปแสดงสัญญาณ ข้อมูลตัวอักษร 'A' ที่ส่งมาจากขา T_{XD} ทางภาคส่ง แชนแนล 2 เป็นรูปแสดงสัญญาณข้อมูลตัวอักษร 'A'ที่ดีเทคได้จากไอซี TDA7000 และ XR 2211 เพื่อส่งไปให้ขา R_{XD}ทางภาครับ เพื่อนำไปทำการพิมพ์ต่อไป สำหรับรูปที่ 4.17 แชนแนล 1 เป็นรูปสัญญาณข้อมูลตัวอักษร 'A' ที่ส่งออกมาจากขา T_{XD} จากภาคส่ง แชนแนล 2 เป็นรูปสัญญาณข้อมูลเอ็ฟเอสเคที่ไอซี TDA7000 สามารถดีเทคได้ ก่อนที่จะส่งไปให้กับไอซี XR-2211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการจัดทำโครงงานพรินเตอร์ไร้สายโดยใช้ความถี่พาหะ 49 MHz ทั้ง 2 ภาคการศึกษานี้ ผู้จัดทำได้ประสบปัญหาทั้งเนื่องจากซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์ เนื่องจากโครงงานนี้เป็นเพียงการจำลองการทำงานระหว่างคอมพิวเตอร์ และพรินเตอร์โดยปราศจากสายเชื่อมต่อระหว่าง 2 อุปกรณ์นี้ ระบบการทำงานของโครงงานนี้จึงเป็นเพียงการสื่อสารทางเดียว จากด้านส่งไปยังด้านรับเท่านั้น จึงทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นมา คือ กรณีที่การทำงานทางด้านรับประสบปัญหา เช่น พรินเตอร์เกิดเออเรอร์ขึ้น กระดาษหมด หรือ แรมเก็บข้อมูลเต็ม ทางด้านส่งก็จะไม่สามารถรับรู้ได้ ทางด้านส่งก็ยังคงทำการส่งข้อมูลเข้ามาอยู่เรื่อยๆ ทำให้ข้อมูลที่ส่งมาไปทับข้อมูลที่เก็บอยู่ในแรมที่ด้านรับ การทำงานเกิดความผิดพลาดขึ้น

แนวทางการพัฒนาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำได้โดยสร้างวงจรรับส่งสัญญาณเอ็ฟเอ็ม(FM-TRANCEIVER) คือมีการส่งสัญญาณแฮนด์เช็คทั้งไปและกลับจากพรินเตอร์มายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการส่งสัญญาณมายังด้านส่งเพื่อบอกว่าเกิดความผิดพลาดที่พรินเตอร์ให้ทางด้านส่งรับทราบ ทางด้านส่งก็จะได้หยุดส่งข้อมูล รอจนกว่าจะมีการส่งสัญญาณมาใหม่จากทางด้านรับว่าเคลียร์เออเรอร์หมด และพิมพ์ข้อมูลที่ค้างอยู่ในแรมหมดเรียบร้อยแล้ว ทางด้านส่งก็จะได้ทำการส่งข้อมูลที่ต้องทำการพิมพ์ต่อไป

นอกจากนี้อัตราความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลสำหรับโครงงานนี้เป็น 300 บอด เราสามารถเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลให้สามารถส่งข้อมูลได้เร็วขึ้นได้ โดยพัฒนาวงจรดีมอดดูเลทสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟท์คีย์อิ่งให้สามารถดีเทคสัญญาณที่ความถี่สูงกว่า 150 Hz และทำการเปลี่ยนแปลงค่าบอดเรท ของซอฟท์แวร์ก็จะทำให้อัตรการส่งข้อมูลที่ต้องการพิมพ์จากด้านส่งไปยังด้านรับเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;RECEIVE DATA FROM PC MODE1 AND SEND SERIAL DATA TO Tx
PORTA     EQU     4000H
PORTB     EQU     4001H
PORTC     EQU     4002H
CTRLPORT  EQU     4003H
SFLAG             EQU    00H     ;Flag for sending serial data
RAMFULL           EQU    01H     ;Flag for full ram
TBAUD300          EQU    0A0H    ;Use 300 baudrate
RAMSTART          EQU    21H
RAMEND            EQU    7FH

;-----------------------------------------------------------
          ORG     0000H
          SJMP    START
          DS      8
          DS      24
          ORG     0003H          ;INT0  Interrupt service
          LCALL   DataPORTB
          RETI
          ORG     0023H          ;TI:send serial data interrupt
          LCALL   SendTx
          RETI

;-----------------------------------------------------------
          ORG     0050H
START:    MOV     R2,#00H          ;Delay for using 8255 port
START1:   MOV     R3,#00H
          DJNZ    R3,$
          DJNZ    R2,START1
          MOV     DPTR,#CTRLPORT
          MOV     A,#10000110B   ;Mode1 A=output B=input
                                 ;Cl=output
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL   DELAY
          MOV     DPTR,#CTRLPORT
          MOV     A,#00000101B   ;Set INTEB
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL   DELAY
          MOV     DPTR,#CTRLPORT
          MOV     A,#00001100B
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL   DELAY
          MOV     SP,#07H
          MOV     TH1,#TBAUD300      ;Load value to TH1
          MOV     SCON,#11010000B    ;Set serial port
                                     ;mode3,ren=1
          MOV     TMOD,#00100000B    ;Set Timer Mode1->Mode2
                                     ;(auto reload)
          MOV     PCON,#00000000B
          SETB    TR1
          MOV     IP,#00010000B      ;Set priority serial
                                     ;interrupt
          MOV     IE,#10010001B      ;Set Enable serial
                                     ;interrupt
          SETB    SFLAG
          MOV     R0,#RAMSTART
          MOV     R1,#RAMSTART
MAIN:     NOP
          MOV     A,SFLAG
          CJNE    A,#01H,N1
          LCALL   PreSendTx
N1:       NOP
          JB      RAMFULL,CHKRAM
N2:       NOP
          SJMP    MAIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------

CHKRAM:         JB      RAMFULL,RETURN1
                LCALL   DataPORTB
RETURN1:        RET

;-------------------------Parallel Interrupt--------------

DataPORTB:      MOV     DPTR,#PORTB
                MOVX    A,@DPTR         ;PORTB get data from PC
                MOV     P1,A
                MOV     @R1,A
                INC     R1
                CJNE    R1,#RAMEND,INPORT ;check receiving
                                          ;data in RAM
                MOV     R1,#RAMSTART;RAM full->start new
                                    ;address
INPORT:         NOP
                MOV     A,R1
                MOV     B,R0
                CJNE    A,B,Axr1        ;check overlapped data
                SETB    RAMFULL
                CLR     EX0
Axr1:           NOP
                RET

;-------------------------Serial Service------------------

PreSendTx:          CLR     REN
                    CLR     SFLAG
SendTx:             JB      RI,Rx_serial ;RI = SCON.0
                    CLR     TI           ;TI = SCON.1
                    MOV     A,R1
                    MOV     B,R0
                    CJNE    A,B,MOV_SBUF
                    SETB    SFLAG
                    RET
MOV_SBUF:           MOV     A,@R0
                    MOV     SBUF,A
                    CLR     RAMFULL
                    SETB    EX0
                    INC     R0
                    CJNE    R0,#RAMEND,RETURN2
                    MOV     R0,#RAMSTART
RETURN2:            RET

;-------------------------DELAY-----------------------

Rx_serial:          RET
DELAY:              MOV     R2,#00H
DELAY1:             MOV     R3,#00H
                    DJNZ    R3,$
                    DJNZ    R2,DELAY1
                    RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;---------Get Serial Data and Send Data to Printer-------

          ORG     0000H
PORTA     EQU     4000H
PORTB     EQU     4001H       ;PORTB send data to PRINTER
PORTC     EQU     4002H
CTRLPORT  EQU     4003H
TBAUD300  EQU     0A0H        ;Use 300 baudrate
OUTRAM1   EQU     04H
OUTRAM2   EQU     05H
EXRAM1    EQU     06H
EXRAM2    EQU     07H
PFLAG     EQU     01H
RAMFULL   EQU     02H
RAMEND1   EQU     0FFH
RAMEND2   EQU     3FH
RAMSTART1 EQU     00H
RAMSTART2 EQU     20H

;-------------------------------------------------------

     SJMP    START
     DS      8
     DS      24
     ORG     0023H         ;Vector address serial interrupt
     LCALL   Receive_Rx
     RETI

;-------------------------SET INTIAL-----------------------

          ORG   0050H
START:    MOV   R2,#00H        ;Delay for using port
START1:   MOV   R3,#00H
          DJNZ  R3,$
          DJNZ  R2,START1
          MOV   SP,#07H
          MOV   EXRAM1,#00H
          MOV   EXRAM2,#00H
          MOV   DPTR,#CTRLPORT
          MOV   A,#10000100B    ;Model A = output
                                ;B = output Cl = output
          MOVX  @DPTR,A
          LCALL DELAY
          MOV   DPTR,#CTRLPORT
          MOV   A,#00001001B    ;Set strobe high
          MOVX  @DPTR,A
          LCALL DELAY
          MOV   TH1,#TBAUD300   ;Load Value to TH1
          MOV   SCON,#11010000B;Set Serial port Mode3 ren=1
          MOV   TMOD,#00100000B;SET Timer Model -> Timer
                                ;Mode2(auto reload)
          MOV   TCON,#00000000B
          MOV   EXRAM1,#RAMSTART1
          MOV   EXRAM2,#RAMSTART2
          MOV   OUTRAM1,#RAMSTART1
          MOV   OUTRAM2,#RAMSTART2
          SETB  PFLAG
          SETB  TR1             ;Set Timer1 Control Bit
          MOV   IP,#00010000B   ;Set Serial Interrupt
                                ;Priority
          MOV   IE,#10010000B   ;Set Serial Interrupt
                                ;Enable_No Interrupt0

;-------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MAIN:    NOP
         JB     RAMFULL,ChkRAM
N1:      NOP
         JB     PFLAG,ChkWantPrn
N2:      NOP
         SJMP   MAIN
;-------------------------------------------------------------

ChkRAM:          JB     RAMFULL,N1
                 SETB   ES          ;Set Serial Port Interrupt
                 SJMP   N1
;-------------------------------------------------------------

ChkWantPrn:      MOV    A,OUTRAM2
                 CJNE   A,EXRAM2,WantPrn
                 MOV    A,OUTRAM1
                 CJNE   A,OUTRAM1,WantPrn
                 AJMP   N2
WantPrn:         CLR    PFLAG
                 LCALL  PRINT_INT
                 SJMP   N2
;-----------------------Serial Service-----------------------

Receive_Rx:      JB     RI,Rx_Receive    ;RI=SCON.0
                 CLR    TI               ;TI=SCON.1
                 SETB   REN              ;REN=SCON.4
RETURN1:         RET
;-------------------------Rx_Serial--------------------------

Rx_Receive:      MOV    A,SBUF
                 MOV    DPL,EXRAM1
                 MOV    DPH,EXRAM2
                 MOVX   @DPTR,A
                 LCALL  StepDATARAM
                 MOV    A,EXRAM2
                 CJNE   A,OUTRAM2,RamNOTfull ;Check Receving
                 MOV    A,EXRAM1             ;Data & Printing
                                             ;Data Address

                 CJNE   A,OUTRAM1,RamNOTfull
                 SETB   RAMFULL
                 CLR    ES
RamNOTfull:      NOP
                 CLR    RI
                 RET

;-------------------------------------------------------------

DataRUNOUT:      SETB   PFLAG
                 RET

;--------------------Print Interrupt Service-----------------

PRINT_INT:       NOP
                 MOV    A,OUTRAM2         ;Check Printing Data
                                          ;          &
                 CJNE   A,EXRAM2,Wait     ;receving Data Address
                 MOV    A,OUTRAM1
                 CJNE   A,EXRAM1,Wait
                 SJMP   DataRUNOUT
Wait:            LCALL  Check_PRN_busy
                 JNZ    Wait
                 MOV    DPL,OUTRAM1
                 MOV    DPH,OUTRAM2
                 MOVX   A,@DPTR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     DPTR,#PORTB     ;PORTB send data to
                                        ;Printer
                MOVX    @DPTR,A
                MOV     P1,A
POST:           LCALL   DELAY
                LCALL   StepPRNRAM
                CLR     RAMFULL
                SJMP    PRINT_INT
RETURN:         RET

;-------------------------------------------------------------

Check_PRN_busy: LCALL   DELAY
                MOV     DPTR,#PORTA
                MOVX    A,@DPTR
                JB      ACC.0,PRN_busy
                MOV     A,#00H
                RET
PRN_busy:       MOV     A,#0FFH
                RET

;-----------------Check Position of Data--------------------

StepDATARAM:    MOV     A,EXRAM1
                CJNE    A,#RAMEND1,Newdata
                MOV     A,EXRAM2
                CJNE    A,#RAMEND2,Newdata ;Check DATA1 reach
                                           ;to end
                MOV     DPH,#RAMSTART2     ;YES
                MOV     DPL,#RAMSTART1
                SJMP    DATARAMBACK
Newdata:        MOV     DPL,EXRAM1
                MOV     DPH,EXRAM2
                INC     DPTR
DATARAMBACK:    MOV     EXRAM1,DPL
                MOV     EXRAM2,DPH
                RET

;-------------Check Position of Printed Data---------------

StepPRNRAM:     MOV     A,OUTRAM1
                CJNE    A,#RAMEND1,Newprint
                MOV     A,OUTRAM2
                CJNE    A,#RAMEND2,Newprint ;Check PRN1 reach
                                            ;to end
                MOV     DPL,#RAMSTART1      ;YES
                MOV     DPH,#RAMSTART2
                SJMP    PRNRAMBACK
Newprint:       MOV     DPL,OUTRAM1         ;NO
                MOV     DPH,OUTRAM2
                INC     DPTR
PRNRAMBACK:     MOV     OUTRAM1,DPL
                MOV     OUTRAM2,DPH
                RET

;----------------------------Delay-----------------------------

DELAY:          MOV     R2,#00H
DELAY1:         MOV     R3,#00H
                DJNZ    R3,$
                DJNZ    R2,DELAY1
                RET

;-------------------------------------------------------------

STOP:           NOP
                END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์และโครงงานนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็ด้วยเพราะอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสามท่านที่ได้ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกต่างๆตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสามท่านคือ รศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน อาจารย์วิภา แสงพิสิทธิ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์สำหรับการทำโครงงานนี้อีกทางหนึ่งด้วย

ขอขอบคุณ คุณคุณากร วิจิตรสมบัติ คุณวรรณดี มณีฉาย พี่ๆห้อง Embeded System ชั้น 3 ตึกคอมพิวเตอร์ และเพื่อนๆน้องๆห้อง T109 ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำในการทำโครงงานนี้และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] ถวิล กิ่งทอง ผศ., " ทฤษฎีและระบบสื่อสาร", โรงพิมพ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ.2535.

[2] จิรศักดิ์ เหลืองอุไร, " คัมภีร์การใช้งานการสื่อสารอนุกรมบน PC ",บริษัทซีเอ็ดยูเคชัน จำกัด , กรุงเทพฯ, พ.ศ.2538.

[3] Kim G. House, "Printer Connection Bible", Howard W. Sam,1989.

[4] Mischa Schwartz,"Information Transmission Modulation and Noise",McGraw-Hill International Edition.

[5] Sergio Franco, " Design with operational Amplifiers and Analog Integrated Circuit ",McGraw-Hill International Edition.

[6] Sidney Soclof , "Applications of analog integrated circuits",Printice-Hall Series in Solid State Physical Electronics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้