การสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ

DIGITAL COMMUNICATION BY RADIO FREQUENCY

โดย

นายกฤษฎา สุวรรณรงค์

นายอนุชา สิทธิจินดาวงศ์

วัน เดือน ปี 1 ส.ค. 2540

เลขทะเบียน 037139

เลขเรียกหนังสือ โ 38ส3 ก.274 ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M037139

การสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ

DIGITAL COMMUNICATION BY RADIO FREQUENCY

โดย

นายกฤษฎา สุวรรณรงค์ 35104012

นายอนุชา สิทธิจินดาวงศ์ 35104520

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประภากร สุวรรณะ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ

DIGITAL COMMUNICATION BY RADIO FREQUENCY

ผู้จัดทำ

1. นายกฤษฎา สุวรรณรงค์
2. นายอนุชา สิทธิจินดาวงศ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ประภากร สุวรรณะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ

กฤษฎา สุวรรณรงค์ 35104012
อนุชา สิทธิจินดาวงศ์ 35104520
อ.ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ในรูปของสัญญาณดิจิตอล โดยใช้คลื่นวิทยุ จึงได้มีการออกแบบระบบติดต่อสื่อสารขึ้น 1 ระบบ โครงสร้างของระบบจะประกอบด้วยศูนย์กลางการติดต่อสื่อสารหรืออุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสาร คือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และอุปกรณ์เครือข่ายที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารหรืออุปกรณ์ลูกข่ายการติดต่อสื่อสาร โดยใช้วิธีการรับส่งข้อมูลแบบ FSK เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตัวแม่นั้นและอุปกรณ์ตัวลูกนั้นเป็นไปได้โดยง่าย และไม่ซับซ้อน โดยโครงงานนี้จะเป็นการควบคุมอุณหภูมิในระบบเล็กๆระบบหนึ่งๆให้คงที่ตามที่ต้องการ โดยมีอุปกรณ์ตัวลูกเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ และควบคุมเครื่องทำอุณหภูมิให้ทำงานตามที่คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางหรือตัวแม่ได้สั่งการมา

ผลสรุปของปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้ปรากฏว่า สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิของระบบเล็กๆได้ตามที่ต้องการได้อย่างดี โดยสามารถรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่อยู่ได้ตลอดเวลา แต่การทำงานของเครื่องส่งวิทยุที่สร้างขึ้นนั้นพบกับปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลออกอากาศได้ ส่วนทางด้านเครื่องรับนั้นสามารถรับข้อมูลได้ แต่สัญญาณข้อมูลมีความแรงต่ำ และคุณภาพของข้อมูลที่ได้นั้นไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Communication By Radio Frequency

Krissada Suwannarong 35104012
Anucha Sittijindawong 35104520
Prapakorn Suwanna Advisor

1995

Abstract

This thesis is a study of digital communication between devices by radio. The system are consist of a center of communication that use computer to control them.The network devices that use in communicate with computer are microcontroller.For ease of communication control,this system use Frequency Shift Keying(FSK) method.This thesis want to control the temperature in a small system.At the destination,microcontroller will control the heater and thermo-meter device allow to the command from the user or computer.

The summary of this thesis is it can well control the temperature of the system.The temperature in the system that want to control is stable by the control of the main controller or computer.But Transmitter is work not well.It cannot send the data.The receiver can receive the data,but it signal is small and low quality.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

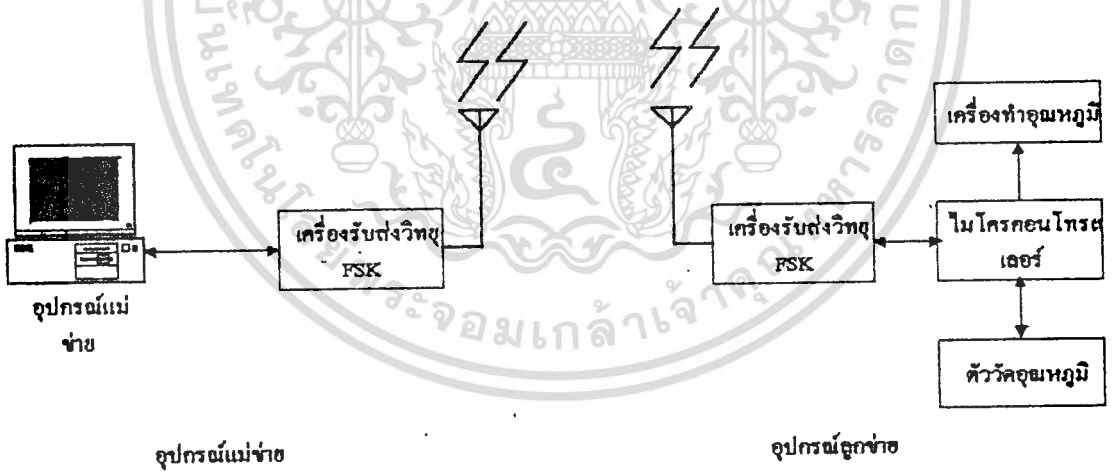
	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	**1**
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบวิทยุสื่อสาร	**7**
2.1 ความสำคัญของระบบสื่อสารวิทยุ	7
2.2 การผสมสัญญาณแบบ AM	9
2.3 การผสมสัญญาณแบบ FM	18
บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51	**28**
บทที่ 4 แนวทางการออกแบบและการสร้าง	**53**
บทที่ 5 เครื่องรับ-เครื่องส่งวิทยุแบบ FSK	**55**
5.1 วงจรเครื่องส่งวิทยุ	55
5.2 วงจรเครื่องรับวิทยุ	60
บทที่ 6 อุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสาร	**62**
บทที่ 7 อุปกรณ์ลูกข่ายการติดต่อสื่อสาร	**72**
บทที่ 8 บทสรุป	**75**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร

สิ่งที่ทำให้โครงงานชิ้นนี้เกิดขึ้นมาได้ และดำเนินไปจนกระทั่งเสร็จสิ้นได้นั้น เนื่องจากผู้จัดทำมีแรงดลใจที่อยากจะรู้ว่าการติดต่อสื่อสารสมัยปัจจุบันที่มีการสื่อสารกันโดยไม่ต้องใช้สายไฟนั้นทำได้อย่างไร ผู้จัดทำจึงตั้งเป้าหมายไปที่การศึกษาการทำงานของระบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบไร้สาย โดยใช้คลื่นวิทยุ และใช้ระบบการรับส่งคลื่นโดยการมอดูเลทแบบ FSK โดยมีความคาดหวังว่าสิ่งที่จะได้รับจากโครงงานชิ้นนี้คือ การที่จะสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่อยู่ห่างกันได้ โดยสามารถทำงานได้ดีเหมือนกับการโยงสายไฟถึงกัน

รูปแบบของระบบที่ได้ออกแบบไว้คือ ต้องการที่จะควบคุมอุณหภูมิในระบบหนึ่งๆให้ได้ตามที่ต้องการ โดยวางอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมไว้ตามจุดต่างๆ ตามความเหมาะสม และทำการควบคุมโดยการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่อยู่ในอีกสถานที่หนึ่งเป็นควบคุมการทำงานของระบบ การทำงานทั้งหมดของระบบสามารถอธิบายอย่างคร่าวๆ ได้โดยใช้บล็อคไดอะแกรมดังรูปคือ



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบสื่อสาร

จากบล็อคไดอะแกรมนั้น ถ้าผู้ควบคุมที่เป็นแม่ข่ายการติดต่อสื่อสารต้องการที่จะสั่งให้อุณหภูมิของห้องเปลี่ยนไปตามที่ต้องการนั้น ผู้ควบคุมจะต้องสั่งการให้อุปกรณ์ปลายทางหรือลูกข่ายการติดต่อสื่อสารวัดอุณหภูมิไปให้ผู้ควบคุมทราบโดยผ่านช่องทางการสื่อสารข้อมูลที่เป็นคลื่นวิทยุ เมื่ออุณหภูมิที่อ่านไม่ได้ตามค่าที่ต้องการ ผู้ควบคุมจะต้องสั่งการให้อุปกรณ์ปลายทางควบคุมเครื่องทำอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ การติดต่อสื่อสารจะทำไปเรื่อยๆ โดยการตรวจสอบอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกว่าอุณหภูมิได้ตามค่าที่ต้องการ ดังนั้นจะเห็นว่าการที่ระบบนี้จะสามารถดำเนินไปได้จะต้องประกอบด้วยส่วนที่สำคัญๆทั้งหมด 5 ส่วน คือ

1.อุปกรณ์ รับ/ส่ง ข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ เป็นทางเดินของข้อมูลในการสื่อสาร ในโครงงานนี้เราจะใช้การแปลงรหัสสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อกที่อยู่ในรูปของคลื่นวิทยุ ในรูปแบบของการเข้ารหัสแบบการเลื่อนความถี่ของข้อมูล(Frequency Shift Keying:FSK)

2.ตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องทำอุณหภูมิ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุม และติดต่อกับอุปกรณ์แม่ข่าย

3.อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ เพื่อวัดอุณหภูมิแล้วส่งค่าที่วัดได้ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ส่งค่าของอุณหภูมิให้กับตัวแม่ข่าย

4.โปรแกรมการติดต่อสื่อสารระหว่างแม่ข่ายหรือ คอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ลูกข่ายทั้งหมดเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะทำการควบคุมการปรับอุณหภูมิในห้องได้อย่างง่ายๆ และไม่มีปัญหา

5.โปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ลูกข่าย ทางด้านของลูกข่ายที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการติดต่อสื่อสารอยู่นั้น จำเป็นที่จะต้องเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะสื่อสารกับอุปกรณ์แม่ข่ายได้อย่างเข้าใจ และไม่มีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของอุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสาร

การทำงานของอุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสารสามารถอธิบายโดยภาพรวมได้จากบล็อกไดอะแกรม ในรูปที่ 1.1 ซึ่งการทำงานจะประกอบด้วยส่วนสำคัญๆทั้งหมด 5 ส่วนคือ

1.ส่วนแปลงระดับสัญญาณระหว่างสัญญาณ TTL กับ สัญญาณ RS-232C

2.วงจรส่งคลื่นวิทยุแบบ FSK

3.วงจรรับคลื่นวิทยุแบบ FSK

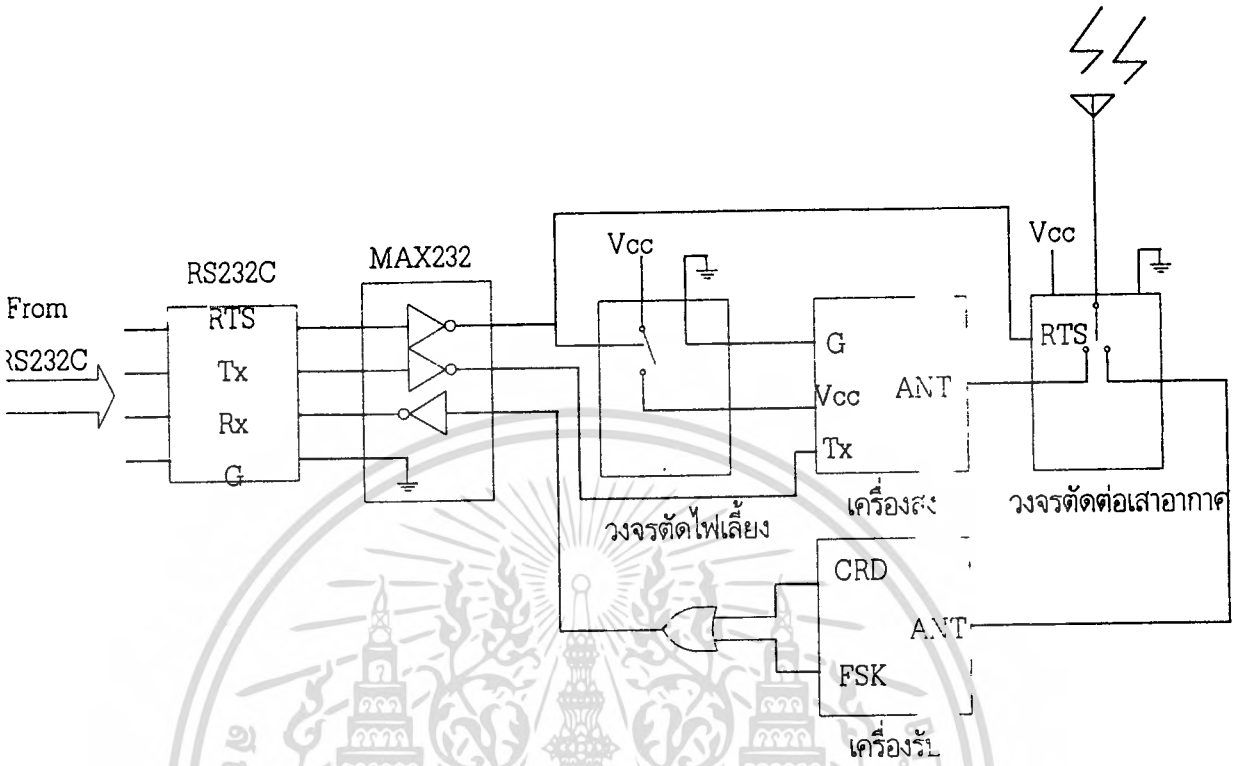
4.วงจรตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่งวิทยุ มีเอาไว้สำหรับตัดคลื่นพาห์ออกเมื่อไม่มีการส่งข้อมูล เพื่อไม่ให้รบกวนการสื่อสารคู่อื่นๆ เนื่องจากปริญญานิพนธ์ ชิ้นนี้ใช้คลื่นความถี่เดียว

5.วงจรตัดต่อเสาอากาศ ใช้สำหรับคอยตัดต่อเสาอากาศเข้ากับวงจรเครื่องส่ง หรือวงจรเครื่องรับ แล้วแต่ว่าเวลาใดส่งหรือเวลาใดรับ

วงจรตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่งวิทยุและวงจรตัดต่อเสาอากาศนั้นใช้สัญญาณควบคุมการทำงานจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ เริ่มแรกนั้นอุปกรณ์แม่ข่ายจะเป็นผู้เริ่มต้นการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นก็จะต้องทำการส่งข้อมูลออกมาทางพอร์ตอนุกรมของเครื่อง สัญญาณจะถูกเปลี่ยนระดับจาก RS-232C เป็นสัญญาณ TTL จากนั้นสัญญาณที่ได้จึงถูกส่งผ่านไปยังเครื่องส่งวิทยุแบบ FSK พร้อมกับสัญญาณควบคุมการตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่ง ให้ส่งคลื่นของสัญญาณข้อมูลออกไป และเสาอากาศก็ถูกควบคุมให้ถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งในเวลาเดียวกัน ข้อมูลจึงสามารถถูกส่งออกอากาศไปได้ และเมื่อไม่มีการส่งข้อมูลออกอากาศ วงจรเครื่องตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่ง และวงจรตัดต่อเสาอากาศจะทำงานทันที โดยจะตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่ง และต่อเสาอากาศไปยังเครื่องรับดังเดิม เพื่อเป็นเตรียมการรับข้อมูลที่จะเข้ามา และตัดปัญหาการรบกวนการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์คู่อื่นๆด้วย เนื่องจากใช้ความถี่เดียวกันทั้งระบบ บางคนอาจจะสงสัยว่าแล้วเมื่อมีการส่งข้อมูลเข้ามา จะรู้ได้อย่างไรว่าขณะนั้นกำลังมีข้อมูลส่งเข้ามาอยู่ คำตอบนี้จะสามารถเข้าใจได้เมื่อท่านได้อ่านบทที่ 6 และบทที่ 7 แล้ว และเมื่อข้อมูลสามารถส่งออกอากาศไปได้โดยไม่เกิดการรบกวนจากคลื่นเดียวกันแล้ว โดยสมมติฐานที่ว่าไม่มีคลื่นที่ความถี่เดียวกันจากระบบภายนอกรบกวนอยู่ นอกจากคลื่นที่กำลังใช้งานอยู่ในระบบนี้ระบบเดียวเท่านั้น ข้อมูลก็จากสามารถส่งออกอากาศออกไปได้โดยไม่มีปัญหาใดๆ และเมื่อสามารถรับข้อมูลได้โดยการตรวจรู้ได้โดยวิธีที่จะกล่าวต่อไป ก็หมายความว่าการติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุนั้นสำเร็จลงได้โดยไม่มีปัญหา เสมือนการส่งข้อมูลผ่านสายไฟเส้นหนึ่งนั่นเองโดยมีเงื่อนไขว่าอุปกรณ์ทุกอย่างในวงจรสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของอุปกรณ์ลูกข่ายการติดต่อสื่อสาร

การทำงานของอุปกรณ์ลูกข่ายการติดต่อสื่อสาร สามารถอธิบายได้ โดยอาศัยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1.2 โดยประกอบด้วยส่วนสำคัญๆ 7 ส่วนคือ

1.เครื่องวัดอุหณภูมิ ใช้วัดอุณหภูมิแล้วแปลงค่าอุณหภูมิให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตอล โดยส่งข้อมูลอนุกรม ให้กับ MCS-51

2.เครื่องทำความความร้อน ทำหน้าที่สร้างความร้อนเมื่อมีสัญญาณจาก MCS-51 ให้ทำงาน

3.ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำหน้าที่ในการแปลคำสั่งจากอุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสารแล้วทำงานตามคำสั่งที่ได้รับมอบหมาย โดยที่คำสั่งนั้นจะเกี่ยวข้องอยู่กับอุปกรณ์ 2 ตัว คือ เครื่องวัดอุณหภูมิและ เครื่องทำความร้อน โดยที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ไม่มีอำนาจหน้าที่ในการตัดสินใจใดๆ

4.เครื่องส่งวิทยุแบบ FSK

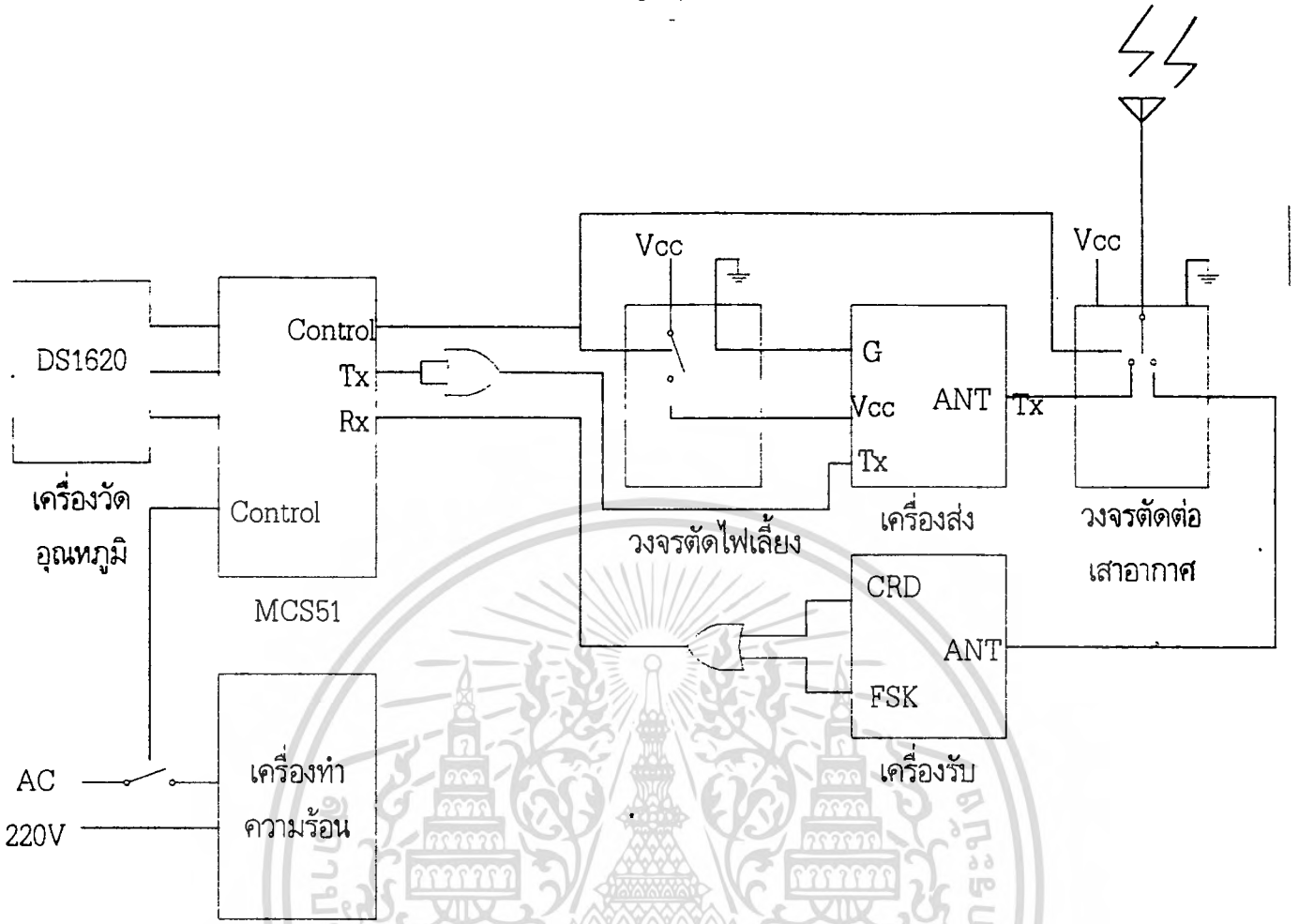
5.เครื่องรับวิทยุแบบ FSK

6.วงจรตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่ง

7.วงจรตัดต่อเสาอากาศ

การทำงานในส่วนของวงจรในข้อ 4-7 นั้นเหมือนกับอุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสารทุกอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์ลูกข่ายการติดต่อสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบวิทยุสื่อสาร

เมื่อทำการส่งสัญญาณทางไฟฟ้าของเสียงหรือสัญญาณวิดีโอ ไปตามสายส่งสัญญาณโดยตรงจะไม่สามารถส่งสัญญาณเหล่านี้ไปได้ไกลๆ เนื่องมาจากผลของการเกิดลดทอนสัญญาณในสาย และเกิดการผิดเพี้ยนทางด้านความถี่ด้วย หรือต้องการส่งสัญญาณเหล่านี้ออกอากาศให้อยู่ในรูปของคลื่นวิทยุโดยต่อโดยตรงเข้ากับเสาอากาศ สัญญาณไฟฟ้าธรรมดาเหล่านี้จะไม่แพร่กระจายออกไปในอากาศได้เหมือนสัญญาณวิทยุ

ด้วยเหตุนี้เองการสื่อสารทางด้านสัญญาณไฟฟ้าจะกระทำได้โดยใช้คลื่นของสัญญาณที่ต้องการติดต่อหรือสื่อสารขี่หรือสอดแทรกไปกับคลื่นความถี่สูงที่มีลักษณะต่อเนื่อง โดยวิธีการนี้คลื่นความถี่สูงแบบต่อเนื่องเรียกว่าคลื่นพาห์ (Carrier Wave) และวิธีการใช้สัญญาณที่ต้องการสื่อสารขี่ไปกับสัญญาณความถี่สูงแบบต่อเนื่องนี้ เรียกว่า การผสมสัญญาณ(Modulation)

คลื่นพาห์ที่ถูกผสมสัญญาณแล้วจะเรียกว่า คลื่นผสม (Modulated Wave) หรือ คลื่นวิทยุ (Radio Wave) จะถูกต่อเข้ากับสายอากาศเพื่อกระจายคลื่นออกอากาศต่อไป เรียกย่านความถี่ที่ส่งออกอากาศนี้ว่า ความถี่วิทยุ (Radio Frequency) และวิธีการแยกเอาสัญญาณออกจากคลื่นผสมเรียกว่า การแยกสัญญาณ (Demodulation)

2.1 หลักการทางคณิตศาสตร์ของการผสมสัญญาณ

คลื่นพาห์ Ic มักจะอธิบายได้ในรูปของสมการที่ (2.1) คือ

$$i_c = I_c \sin(\omega t + \theta) = I_C \sin(2\pi f_c + \theta) \quad \ldots(2.1)$$

เมื่อ i_c : ขนาดของคลื่นพาห์ในขณะนั้น(instantaneous value)

I_C : ขนาดสูงสุดของคลื่นพาห์

ω : ความถี่เชิงมุม (หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นความเร็วเชิงมุม) ของคลื่นพาห์ = $2\pi f_c$

f_c : ความถี่ของคลื่นพาห์

θ : มุมของเฟส

จากสมการที่ (2.1) คุณสมบัติของคลื่นพาห์กำหนดได้ด้วย I_c ,f_c และ θ นั่นคือ ถ้าตัวใดตัวหนึ่งในสามตัวนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่ต้องการนำมาผสม จะทำให้สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณรวมของสัญญาณที่นำมาผสมกับคลื่นพาห์

ถ้าให้สัญญาณที่นำมาผสม i_s มีค่าเป็น

$$i_s = I_s \cos(pt) = I_s \cos(2\pi f_s t) \quad \ldots(2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ i_s : ขนาดของคลื่นสัญญาณในขณะนั้น

I_S : ขนาดของสัญญาณ

p : ความถี่เชิงมุมของสัญญาณ = 2

f_s : ความถี่ของสัญญาณ

เมื่อทำการผสมสัญญาณ i_s นี้เข้ากับสัญญาณของคลื่นพาห์ในสมการที่ (2.1) ค่า i_c จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของ i_s สัญญาณของคลื่นผสมจะเป็น i_{AM} ซึ่งมีค่าเป็น

$$i_{AM} = (I_C + i_s)\sin(\omega t + \theta) = \{I_C + I_S \cos(pt)\}\sin(\omega t + \theta) \quad ...(2.3)$$

การผสมสัญญาณตามลักษณะนี้เรียกว่าการผสมสัญญาณโดยอาศัยขนาดของสัญญาณ (Amplitude Modulation, AM)

เมื่อ $\omega(f_c)$ของสมการที่ (2.1) เปลี่ยนแปลงไปตาม i_sแล้ว ค่า ω ที่เปลี่ยนแปรไปตาม i_s โดยที่มีค่า ω เดิมของมันเป็นจุดกึ่งกลาง แล้วเกิดการเบี่ยงเบนไปจากจุดกึ่งกลางทางด้านบวกและลบ ถ้าให้ความถี่เชิงมุมของคลื่นพาห์ในขณะนั้นมีค่าเป็น ω_s และจำนวนของการเปลี่ยนแปลงของความถี่เชิงมุมที่สอดคล้องกับ i_s มีค่าเป็น $\Delta\omega$ จะได้ว่า

$$\omega_c = \omega + \Delta\omega\cos(pt) \quad ...(2.4)$$

จากสมการที่ (2.4) ความถี่เชิงมุมจะเป็นฟังก์ชันของเวลา มุม Ψ ที่เวลา t สามารถหาได้จากการอินทิเกรต ω_c ด้วยเวลา t ดังนี้

$$\Psi = \int \omega_c dt = \omega t + \frac{\Delta\omega}{p}\sin pt \quad ...(2.5)$$

ดังนั้นสมการทั่วไปของ i_{FM} ซึ่งอยู่ในรูปของ i_c ที่ค่า ω ของ i_c เปลี่ยนแปรขึ้นกับ i_sจะมีค่าเป็น

$$i_{FM} = I_C \sin\left(\omega t + \frac{\Delta\omega}{p}\sin pt + \theta\right) \quad ...(2.6)$$

การผสมสัญญาณในลักษณะที่อธิบายมานี้เรียกว่า การผสมสัญญาณโดยอาศัยความถี่ของสัญญาณ (frequency modulation, FM) และค่า $\Delta\omega/p$ เรียกว่า ดัชนีของการผสมสัญญาณ (modulation index) m_f

เมื่อค่า θ เกิดการเปลี่ยนแปรไปตามค่าของ i_s มุมของเฟส θ ของ i_c จะเปลี่ยนแปรไปมาทั้งด้านบวกและด้านลบ โดยมีมุมของเฟส θ เริ่มแรกเป็นจุดศูนย์กลางถ้าให้ทำการเปลี่ยนแปลงของมุมของเฟสที่สอดคล้องกับ i_sเป็น $\Delta\theta$ ที่เวลาหนึ่งๆ θ_c จะมีค่าเป็น

$$\theta_c = \theta + \Delta\theta\cos pt \quad ...(2.7)$$

สมการทั่วไปของคลื่นผสม จะเป็น

$$i_{PM} = I_C \sin(\omega t + \Delta\theta\cos pt + \theta) \quad ...(2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมสัญญาณในลักษณะที่อธิบายมานี้เรียกว่า การผสมสัญญาณโดยอาศัยเฟสของสัญญาณ (Phase Modulation,PM) และค่า $\Delta\theta$ เรียกว่า ดัชนีของการผสมสัญญาณ m_p

ทำการเปรียบเทียบสมการที่ (2.6) และ (2.8) จะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกัน ถ้าป้อนสัญญาณ i_s เข้าวงจรอินทิเกรตก่อนที่จะนำมาทำการผสมสัญญาณ โดยอาศัยเฟสของสัญญาณแล้วสมการที่ (2.8) และ (2.6) จะมีรูปแบบเหมือนกันทุกประการ โดยที่การผสมสัญญาณแบบอาศัยความถี่ของสัญญาณจะกระทำตรง ๆ โดยไม่ต้องผ่านวงจรอินทิเกรต ด้วยเหตุนี้เองการผสมสัญญาณแบบ PM มักจะถือว่าเป็นชนิดหนึ่งของการผสมสัญญาณแบบ FM

วิธีการผสมสัญญาณต่าง ๆ ที่อธิบายมานี้ ล้วนแล้วแต่ใช้คลื่นพาห์ที่เป็นคลื่นรูปซายน์แบบต่อเนื่องทั้งสิ้น การผสมสัญญาณแบบพัลส์ (Pulse Modulation Methodes) เป็นการผสมสัญญาณที่ใช้คลื่นพาห์เป็นสัญญาณพัลส์ อันได้แก่ PAM, PWM, PPM, PNM, PCM เป็นต้น วิธีการต่างๆที่กล่าวมานี้ วิธี PCM เป็นวิธีที่นำมาใช้ในทางปฏิบัติกันมากที่สุด

2.2 การผสมสัญญาณแบบ AM

1). คลื่นสัญญาณผสม

ตามสมการที่ (2.3) ซึ่งเป็นการผสมสัญญาณแบบ AM ถ้าให้ θ = 0 จะมีผลอะไรเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสมการจะกลายเป็น

$$i_{AM} = \left(I_C + I_S \cos pt\right)\sin\omega t \qquad \text{...(2.9)}$$

สมการที่ (2.9) จะเป็นสมการทั่วไปของคลื่นสัญญาณ AM

(ก) คลื่นพาห์และคลื่นผสม (ข) คลื่นสัญญาณ

รูปที่ 2.1 แสดงการผสมสัญญาณโดยขนาดของสัญญาณ

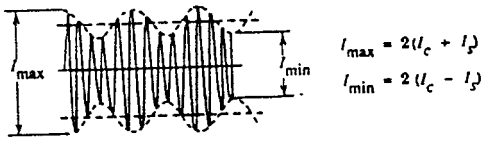
ตามรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นการผสมสัญญาณแบบ AM ขอบของคลื่นผสมจะมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับคลื่นสัญญาณ และจะเห็นได้ว่าขนาดสูงสุดของคลื่นผสมมีค่าเป็น $I_C + I_S$ ขนาดต่ำสุดจะมีค่าเป็น $I_C - I_S$ โดยการเปลี่ยนรูปแบบของสมการที่ (2.9) เล็กน้อยจะได้ว่า

$$i_{AM} = I_C\left(1+\frac{I_s}{I_c}\cos pt\right)\sin\omega t \qquad \text{...(2.10)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการบน $I_S/\ I_C$ เรียกว่าอัตราการผสมสัญญาณ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย m นั่น คือ

$$m = \frac{I_C}{I_S} = \frac{\text{ขนาดของคลื่นสัญญาณ}}{\text{ขนาดของคลื่นพาห์}} \qquad ...(2.11)$$



รูปที่ 2.2 แสดงค่าจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นของคลื่นผสม

ตามรูปที่ 2.2 ถ้าค่าสูงสุดจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่น (peak to peak) ของขอบคลื่นผสมเป็น I_{max} และค่าต่ำสุดจากยอดคลื่นเป็น I_{min} จะได้ว่า

$$I_{max} = 2(I_C + I_S)$$
$$I_{min} = 2(I_C - I_S)$$

นั่นคือ

$$I_{max} - I_{min} = 4I_C$$
$$I_{max} + I_{min} = 4I_S$$

ค่า m จะหาได้เป็น

$$\frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = m \qquad ...(2.12)$$

สมการที่(2.12) จะเห็นว่าสามารถทำการวัดอัตราการผสมสัญญาณได้ด้วยออสซิลโลสโคป เมื่ออัตราการผสมสัญญาณอธิบายอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่าเปอร์เซ็นต์ของการผสมสัญญาณ (modulation percentage)

เมื่อป้อนสัญญาณที่มีคาบแน่นอนเข้าไปยังตัวผสมสัญญาณจนทำให้ค่า I_{min} มีค่าเป็นศูนย์ การผิดเพี้ยนของสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาทันที ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การผสมสัญญาณที่มากเกินไป (overmodulation)

สมการที่ (2.10) เมื่ออธิบายในรูปของค่า m จะได้ว่า

$$i_{AM} = I_C(1 + m\cos pt)\sin\omega t = I_C \sin\omega t + I_C m \cos pt \sin\omega t \qquad ...(2.13)$$

โดยอาศัยสมการของตรีโกณมิติ ทำการจัดเทอมที่สองด้านขวามือได้เป็น

$$\cos pt \sin\omega t = \frac{1}{2}\{\sin(\omega + p)t + \sin(\omega - p)t\} \qquad ...(2.14)$$

ซึ่งจะได้ค่า i เป็น

$$i_{AM} = I_C \sin\omega t + \frac{m}{2} I_C \sin(\omega + p)t + \frac{m}{2} I_C \sin(\omega - p)t \qquad ...(2.15)$$

องค์ประกอบสามเทอมทางด้านขวามือของสมการที่ (2.15) เรียกดังนี้

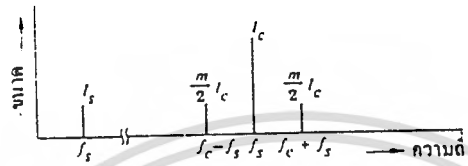
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. $I_C \sin \omega t$: องค์ประกอบของคลื่นพาห์

2. $\frac{m}{2} I_C \sin(\omega + p)t$: องค์ประกอบของไซด์แบนด์ (sindband) ด้านสูง

3. $\frac{m}{2} I_C \sin(\omega - p)t$: องค์ประกอบไซด์แบนด์ด้านต่ำ

แถบความถี่ขององค์ประกอบของสัญญาณเหล่านี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแถบความถี่ของคลื่นผสม

ต่อไปจะได้ศึกษาถึงอัตราส่วนกำลังขององค์ประกอบทั้งสามของคลื่นผสม ถ้าให้ความต้านทานของโหลดเป็น R กำลังของคลื่นพาห์เป็น P_c กำลังของไซด์แบนด์ด้านสูงเป็น P_{c+s} และกำลังของไซด์แบนด์ด้านต่ำเป็น P_{c-s} จะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$$P_c = \left(\frac{I_C}{\sqrt{2}}\right)^2 R = \frac{1}{2} I_C{}^2 R \qquad \text{...(2.16)}$$

$$P_{c+s} = \left(\frac{m}{2} \bullet \frac{I_C}{\sqrt{2}}\right)^2 R = \frac{m^2}{4} P_c \qquad \text{...(2.17)}$$

$$P_{c-s} = \left(\frac{m}{2} \bullet \frac{I_C}{\sqrt{2}}\right)^2 R = \frac{m^2}{4} P_c$$

จะได้ว่ากำลังของคลื่นผสมทั้งหมด P มีค่าเป็น

$$P = P_c\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \qquad \text{...(2.18)}$$

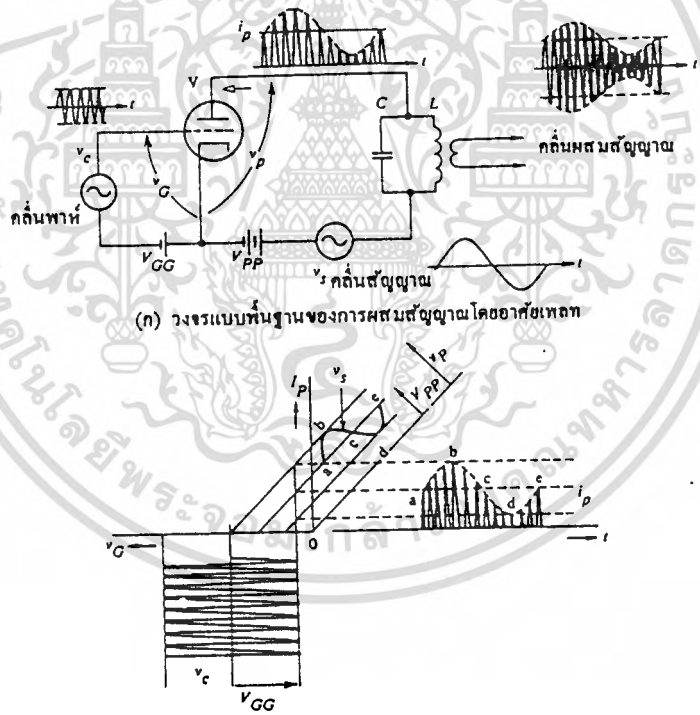
จากสมการเหล่านี้จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของสัญญาณจะปรากฏอยู่ในเฉพาะส่วนของไซด์แบนด์เท่านั้น แต่จะไม่มีอยู่ในส่วนของคลื่นพาห์เลย ดังนั้นในการส่งสัญญาณออกอากาศจึงไม่จำเป็นที่ต้องส่งส่วนของคลื่นพาห์ออกไปด้วย อย่างไรก็ตามจากสมการที่ (2.18) กำลังของส่วนคลื่นพาห์จะมากกว่า 2/3 ของกำลังทั้งหมด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณออกอากาศจะต่ำ เนื่องจากสูญเสียกับส่วนของคลื่นพาห์มาก ในปัจจุบันการสื่อสารมักจะใช้เป็นแบบไม่ใช้ส่วนของคลื่นพาห์ แต่เลือกให้เฉพาะไซด์แบนด์ด้านสูงหรือต่ำด้านใดด้านหนึ่งส่งออกอากาศ ระบบการสื่อสารในลักษณะนี้เรียกกันว่า ระบบการสื่อสารแบบไซด์แบนด์ด้านเดียว (single sideband communication systems) และการผสมสัญญาณในลักษณะของระบบนี้เรียกว่า การผสมแบบไม่ส่งคลื่นพาห์ (carrier suppressed modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). *วงจรผสมสัญญาณโดยอาศัยความถี่*

การผสมสัญญาณแบบ AM โดยใช้วงจรหลอดสุญญากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ การผสมสัญญาณโดยอาศัยกริด และการผสมสัญญาณโดยอาศัยเพลท แต่การผสมสัญญาณโดยอาศัยกริด มักจะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณสูงจึงไม่ค่อยใช้กัน สำหรับในกรณีของวงจรทรานซิสเตอร์ สามารถทำได้ทั้งทางเบส อิมิตเตอร์ และคอลเลคเตอร์ ระหว่างวิธีการทั้งสามเหล่านี้มักจะเลือกใช้วงจรที่ทำการผสมสัญญาณด้านคอลเลคเตอร์มากที่สุด เพราะให้การผิดเพี้ยนของสัญญาณต่ำเช่นเดียวกับการผสมสัญญาณโดยอาศัยเพลท

จากรูปที่ 2.1 การผสมสัญญาณแบบ AM จะมีการผสมสัญญาณสูงสุดเมื่อค่ากำลังทางด้านพีค (peak) มีค่าสูงเป็น 4 เท่าของกำลังของคลื่นพาห์ ในกรณีของทรานซิสเตอร์ที่กำหนดให้ทำงาน โดยมีค่าต่าง ๆ สูงสุดที่จะทนได้ (ศักดาของพีคและกระแสของพีค)



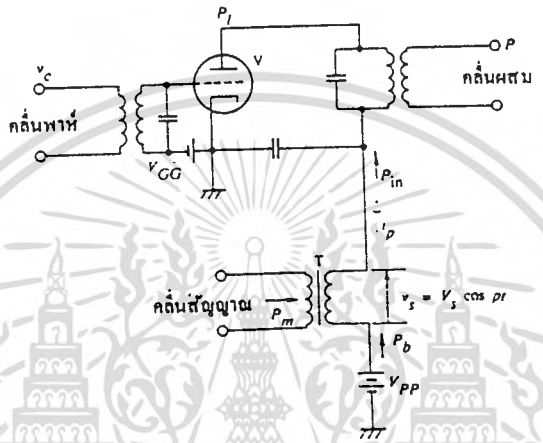
รูปที่ 2.4 แสดงหลักการผสมสัญญาณโดยอาศัยเพลท

รูปที่ 2.4 (ก) แสดงหลักการขั้นพื้นฐานของวงรผสมสัญญาณโดยอาศัยเพลท ศักดาสัญญาณ v_s ที่ขึ้อยู่บนระดับศักดาไฟตรง V_{PP} ถูกป้อนให้กับเพลทของหลอดสุญญากาศที่ใช้ผสมสัญญาณศักดาของคลื่นพาห์ที่ขึ้อยู่บนระดับไปตรง V_{GG} ถูกป้อนให้กับกริดของหลอด โดยที่ทำการไบอัสให้อยู่ในคลาสซี กระแส i_p จะมีขนาดสอดคล้องกับ v_s และเป็นคลื่นที่ถูกเรคติไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบครึ่งคลื่น รูปคลื่นของ i_p ซึ่งอยู่ในลักษณะที่ไม่สมดุลมีเฉพาะด้านบนหรือด้านล่าง จะถูกทำให้สมดุลกัน โดยวงจรกำธรแบบ LC ทำให้ได้คลื่นผสมออกมาอยู่ถูกต้อง

การผสมสัญญาณโดยอาศัยเพลท ยังทำได้อีกหลายแบบ เช่น โดยอาศัยทรานฟอเมอร์โช้ค (choke) และการผสมสัญญาณแบบอนุกรม (series modulation methods) รูปที่ 2.5 แสดงวงจรพื้นฐานของการผสมสัญญาณโดยอาศัยทรานฟอเมอร์



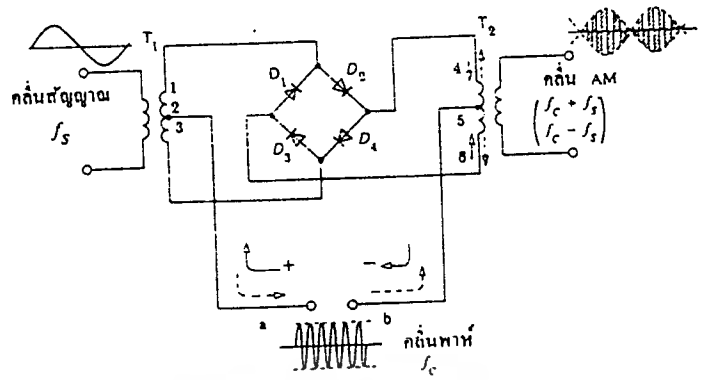
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรผสมสัญญาณโดยอาศัยทรานฟอเมอร์

3). วงจรผสมสัญญาณแบบกดคลื่นพาห์

จากสมการที่ (2.18) จะเห็นได้ว่ากำลังของคลื่น AM จะสูญเสียไปถึง 2/3 กับส่วนของคลื่นพาห์โดยไม่มีผลเกี่ยวกับการส่งสัญญาณที่ต้องการสื่อสารเลย ฉะนั้นวิธีการส่งคลื่น AM ออกอากาศจึงไม่จำเป็นต้องส่งในส่วนของคลื่นพาห์ที่ไม่มีสัญญาณสื่อสารออกอากาศ เลือกส่งเฉพาะไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งออกอากาศไปเท่านั้น แล้วทำการสร้างคลื่นพาห์ใหม่ทางด้านรับสัญญาณ โดยไม่ขึ้นกับคลื่นพาห์ของทางด้านส่ง คลื่นพาห์ที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะถูกนำไปประกอบเข้าไปในคลื่น AM ที่รับได้อีกทีหนึ่ง ระบบการสื่อสารในลักษณะนี้เรียกว่า ระบบการสื่อสารแบบไซด์แบนด์ด้านเดียวโดยกดคลื่นพาห์ (carriersuppressed-single-sideband(SSB) communication system) การผสมสัญญาณแบบนี้เรียกว่า การผสมสัญญาณแบบกดคลื่นพาห์

เมื่อเปรียบเทียบระบบ AM แบบธรรมดาแล้ว ระบบที่ส่งไซด์แบนด์ด้านเดียวจะดีกว่า เพราะประสิทธิภาพในการแหล่งจ่ายไฟจะดีกว่า ขณะเดียวกันจะใช้แบนด์วิดธ์เพียงครึ่งเดียวของระบบธรรมดาเท่านั้น ทำให้การรบกวนระหว่างกันและกันมีน้อยมาก ส่วนข้อเสียก็คือ อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งทางด้านเครื่องรับและเครื่องส่งจะมีมากขึ้นด้วย ทำให้เกิดความยุ่งยากมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรผสมสัญญาณแบบวงแหวน

รูปที่ 2.6 แสดงจากวงจรผสมสัญญาณแบบกดคลื่นพาห์ที่ใช้กันทั่วไป เรียกกันว่า วงจรผสมสัญญาณแบบวงแหวน (ring modulater circuit) ในวงจรนี้เมื่อคลื่นสัญญาณ f_s ถูกป้อนเข้าไปทางขดลวดปฐมภูมิของทรานฟอเมอร์ T_1 คลื่นพาห์ถูกป้อนเข้าไปยังจุดแท็ปกึ่งกลาง 2 และ 5 ของทรานฟอเมอร์ T_1 และ T_2 คลื่น AM ที่ได้จะถูกกดคลื่นพาห์ลง หรือพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่า ส่วนของ $f_c + f_s$ และ $f_c - f_s$ จะปรากฏที่จุดสัญญาณออก

ต่อไปลองพิจารณาการทำงานของวงจรดู โดยเริ่มจากป้อนเฉพาะคลื่นพาห์เข้าวงจรทำให้เกิดกระแสเนื่องจาก f_c ไหลดังเส้นประและเส้นเต็มเข้าออกวงจรดังรูปที่จุด a และ b เมื่อกระแสเหล่านี้ไหลผ่านไดโอดแล้วจะผ่านไปเข้าขอปฐมภูมิของ T_2 ตามเส้นเต็มและเส้นประที่แสดงไว้ จะเห็นได้ว่ากระแสเหล่านี้ไหลในทิศทางตรงข้ามกันจากจุดแท็ปกึ่งกลางที่ 5 ดังนั้นจึงหักล้างกันหมดไป ส่วนของ f_c จึงไปปรากฏที่จุดสัญญาณออก

เมื่อป้อนเฉพาะสัญญาณอย่างเดียว คู่ของไดโอด D_1 และ D_4 กับคู่ D_2 และ D_3 จะเกิดการนำกระแสสลับกันไปมา ยังผลให้ขดทุติยภูมิของ T_1 เสมือนลัดวงจร ดังนั้นจะไม่มีสัญญาณไปปรากฏที่จุดสัญญาณออกเช่นกัน

ตามที่ได้อธิบายมานี้ จะเห็นว่าวงจรนี้จะเกิดการสมดุลขึ้นทั้งกรณีของคลื่นพาห์และคลื่นสัญญาณ จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรผสมสัญญาณแบบสมดุลคู่ (dual balanced modulator circuit)

เมื่อคลื่นสัญญาณ f_s และคลื่นพาห์ f_c ถูกป้อนเข้าวงจรในเวลาเดียวกัน ไดโอดจะถูกบังคับให้ทำงานเหมือนกับสวิตช์โดย f_c เมื่อ f_c ที่จุดสัญญาณเข้าครึ่งช่วงคลื่นที่ทำให้ a(+)และ b(-) ไดโอด D_2 และ D_3 จะทำงาน ส่วนไดโอด D_1 และ D_4 จะไม่ทำงาน เมื่อ a(-)และ b(+) ไดโอด D_2 และ D_3 จะไม่ทำงาน ส่วนไดโอด D_1 และ D_4 จะทำงาน เนื่องจากผลของการสวิตช์ในลักษณะนี้ แต่ละครึ่งช่วงคลื่นของ f_c เฟสของ f_s จะถูกกลับทางและป้อนเข้ากับขดลวดปฐมภูมิของ T_2 ผลอันนี้จะทำให้แถบเหมือนกับรูปคลื่นดังแสดงไว้ในรูปขึ้นที่จุดสัญญาณออก

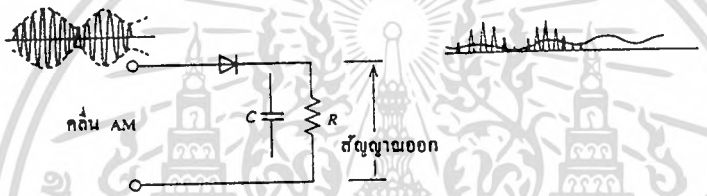
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

ส่วนประกอบของความถี่ของคลื่นสัญญาณนี้จะเป็น $f_c + f_s$ และ $f_c - f_s$ เพื่อที่จะให้ได้คลื่นของ SSB จากคลื่น AM ที่จุดสัญญาณออก จำเป็นต้องเอาคลื่นที่สูงหรือต่ำค่าใดค่าหนึ่งออกไป โดยอาศัยวงจรกรองความถี่แบบยอมให้ช่วยความถี่ผ่าน (bandpass filter, BPF)

4) วงจรแยกสัญญาณของคลื่น AM

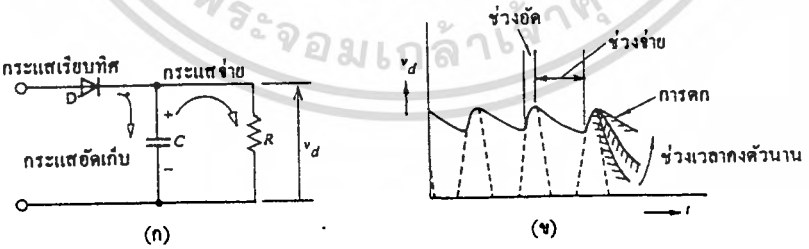
1.การแยกสัญญาณโดยใช้ค่าเฉลี่ยและการแยกสัญญาณเอาเฉพาะขอบคลื่น

การแยกสัญญาณคือการแยกเอาสัญญาณที่ต้องการสื่อสารออกจากคลื่น AM โดยทั่วๆไป มักจะใช้คุณสมบัติการไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์มาใช้ให้เป็นประโยชน์ เช่น การนำเอาคลื่น AM มาทำการเรคติไฟ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการแยกสัญญาณโดยใช้ค่าเฉลี่ย

จุดสัญญาณออกของตัวแยกสัญญาณจะได้มาจากกระแสเฉลี่ยของการเรคติไฟ ประสิทธิภาพของการแยกสัญญาณ โดยใช้ค่าเฉลี่ยนี้จะมีค่าต่ำ ในวงจรที่ใช้งานจริงมักจะใช้ตัวเก็บประจุ C ต่อขนานกับความต้านทาน R การกระทำในลักษณะนี้ สัญญาณออกที่ได้จากจุดสัญญาณออกโดยประมาณจะเท่ากับขอบของคลื่น AM การแยกสัญญาณชนิดนี้เรียกว่า การแยกสัญญาณเอาขอบของคลื่น ลักษณะการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการแยกสัญญาณเอาขอบของคลื่น

จากรูปที่ 2.8 ค่ากระแสที่ได้จากการเรคติไฟ โดยไดโอดจะถูกประจุให้กับตัวเก็บประจุ C เมื่อศักดาที่จุดสัญญาณเข้าเป็นบวกเพิ่มขึ้นเรื่อย โดยมีค่าเวลาคงที่สูงสุดเท่ากับค่าเวลาคงที่ของวงจรCR คือ τ (τ = CR : ค่าเวลาคงที่) การแยกสัญญาณในลักษณะนี้จะมีค่าประมาณเท่ากับขอบของคลื่นที่ป้อนเข้าวงจร

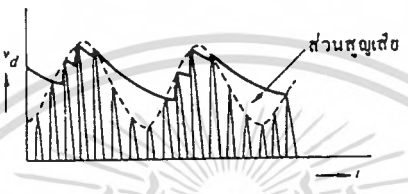
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเลือกใช้ค่า RC ที่ใหญ่เกินไป สัญญาณออกที่ได้จากตัวแยกสัญญาณจะไม่สามารถแปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ใช้สื่อสารกันได้ทัน จึงทำให้การแยกสัญญาณ

ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ปรากฏการณ์ในลักษณะนี้สัญญาณจะถูกตัดจนมีลักษณะคล้ายเส้นทแยงมุมซึ่งกันและกันดังรูปที่ 2.9

เพื่อหลบเลี่ยงปัญหานี้ ต้องเลือกค่าคงที่ของ CR ให้เหมาะสม ถ้าค่าความถี่เชิงมุมของคลื่นสัญญาณเป็น ω_{max} ค่าเวลาคงที่ของ CR ควรเลือกให้เป็นไปตามสมการที่ (2.19)

$$CR \leq \frac{1}{\omega_{max}} \qquad ...(2.19)$$



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการเกิดการตัดสัญญาณคล้ายเส้นทแยงมุม

2.การแยกสัญญาณแบบเฮทเทอโรดายน์(Heterodyne detection)

ในการสื่อสารแบบโทรเลขการส่งและการรับข้อมูลบางครั้งกระทำได้ง่ายๆ โดยการปิดเปิดคลื่นพาห์เป็นช่วง ๆ เป็นไปตามรหัสของโทรเลข (รหัสมอร์ส (Morse code))ในกรณีเช่นนี้การแยกสัญญาณทางด้านรับทำได้ง่ายที่สุดเพราะต้องการเฉพาะสัญญาณไฟตรงที่มีลักษณะสูงต่ำเท่านั้น สัญญาณที่ได้ไม่ได้เป็นสัญญาณเสียง

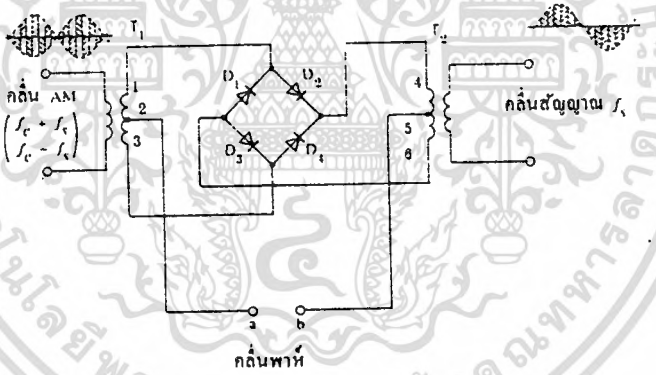
ด้านเครื่องรับจะต้องสร้างวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (local oscillator circuit) ขึ้นมา โดยนำสัญญาณจากด้านสัญญาณออกที่มีความถี่ f_1และคลื่นที่รับได้จากสายอากาศมีความถี่ f_2 ป้อนเข้าไปยังวงจรที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นทำการแยกสัญญาณ ถ้าเลือกให้เหมาะสมแล้วความถี่ที่ได้จากผลต่างของ f_2 และ f_1 จะอยู่ในช่วงความถี่ที่สามารถได้ยินได้ นั่นหมายความว่าจะสามารถรับฟังรหัสมอร์สได้เช่นกัน การแยกสัญญาณในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การแยกสัญญาณแบบเฮทเทอโรดายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรผสมสัญญาณแบบวงแหวน

โดยอาศัยการแยกสัญญาณแบบธรรมดา จะไม่สามารถแยกสัญญาณออกจากคลื่น AM แบบกดคลื่นพาห์ได้ จะต้องใช้คลื่นพาห์ที่มีความถี่เดียวกับที่ใช้ผสมสัญญาณป้อนเข้าไปในวงจรแยกสัญญาณ การทำลักษณะนี้จะเหมือนกับการแยกสัญญาณแบบเฮทเทอโรดายน์ที่ได้ศึกษาผ่านมาแล้วในหัวข้อที่ [2] หรือกล่าวได้ว่า เมื่อศักดาของโลคัลออสซิลเลเตอร์ $v_2 = V_2 \cos\omega_c t$ ถูกป้อนเข้ารวมกับศักดาของไซด์แบนด์ด้านบน $v_1 = V_1 \cos(\omega_c + p)t_1$ ของคลื่น AM แบบกดคลื่นพาห์ สัญญาณจะถูกแยกออกมาดังสมการที่ (2.31) ซึ่งอยู่ในรูปของผลต่างของความถี่

อย่างไรก็ตาม การแยกสัญญาณแบบเฮทเทอโรดายน์ตามที่ได้อธิบายมาแล้ว มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณสูง และประสิทธิภาพของการแยกสัญญาณต่ำ ดังนั้นในวงจรที่ใช้งานจริง จึงเลือกใช้การแยกสัญญาณของ SSB เป็นวงจรแยกสัญญาณแบบวงแหวน (ring demodulator circui) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรแยกสัญญาณแบบวงแหวน

ตามรูปที่ 12.10 เพื่อช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น สัญญาณของไซด์แบนด์ทั้งสองข้างคือ $f_c + f_s$ และ $f_c - f_s$ ถูกป้อนสัญญาณเข้าวงจรพร้อมกัน คลื่นพาห์ f_c ถูกป้อนเข้าที่จุด a และ b ไดโอด D_1 ถึง D_4 จะทำตัวเป็นสวิตช์กลับไปกลับมาในแต่ละครึ่งช่วงของ f_c โดยนัยนี้คลื่นของสัญญาณเข้าที่ป้อนให้ T_2 จะมีทิศทางกลับไปกลับมาด้วยเช่นกัน เมื่อนำเอาแถบของสัญญาณเล็กๆเหล่านี้มารวมกันเข้าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณเริ่มแรกก่อนนำเข้าผสมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การผสมสัญญาณแบบ FM

ระบบการส่งวิทยุ FM (Frequency Modulation) ซึ่งเริ่มต้นคิดค้นโดยนายเอ็ดวิน เอช อาร์มสตรอง แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย สหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2477 ได้มีบทบาทสำคัญในการสื่อสารทางวิทยุอย่างมาก อาร์มสตรองมีความเชื่อว่าสัญญาณรบกวนต่างๆซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับนั้นเป็นการรบกวนทางด้านขนาด(amplitude) ของคลื่นวิทยุ ดังนั้นถ้าระบบการผสมคลื่นและระบบการรับเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาดของคลื่นแล้ว การรบกวนในลักษณะดังกล่าวย่อมจะไม่มีผลต่อการสื่อสาร ซึ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายทอดข่าวสารสูงขึ้นกว่าระบบผสมคลื่นแบบ AM (Amplitude Modulation) ซึ่งใช้อยู่ในขณะนั้นได้มาก

เขาได้ทำการทดลองจริงๆในภาคสนาม เมื่อปี พ.ศ. 2479 และพบว่าระบบ FM เป็นระบบที่เอาชนะการรบกวนต่างๆ ได้จริงสามารถใช้ในรถยนต์ได้ดีซึ่งในขณะนั้นระบบ AM ที่ใช้กันอยู่จะมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนจากไฟฟ้าสถิต และสัญญาณรบกวนจากระบบจุดระเบิดซึ่งสัญญาณรบกวนเหล่านี้ทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียลงมาก และมีระยะทางในการติดต่อไม่ไกลเท่าที่ควร

การที่เรานำ FM มาใช้กับวิทยุกระจายเสียงก็เพราะข้อดีของ FM ในเรื่องสัญญาณรบกวนต่ำบวกกับการที่ FM สามารถพาสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างๆไปได้) จึงทำให้ FM มีประโยชน์อย่างยิ่งกับการกระจายเสียงทางด้านบันเทิงและยังไม่มีระบบการผสมคลื่นแบบใดที่ให้คุณภาพทัดเทียมกันด้วยราคาประหยัดกว่า

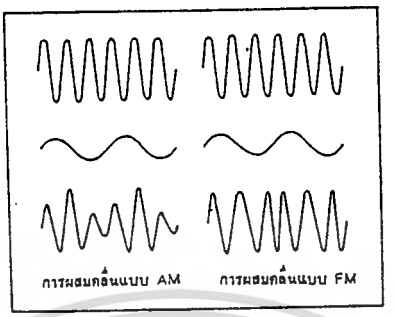
การพัฒนาระบบ FM ในเวลาต่อมาหลังจากการบุกเบิกของอาร์มสตรองเพื่อการสื่อสารทำให้เกิดระบบ Narrow -Band FM ขึ้นคือเป็นระบบ FM ที่ผสมสัญญาณเช่นเสียงพูดส่งออกอากาศไปโดยทำให้มี แถบความถี่ (bandwidth) แคบๆหมายความว่าในย่านความถี่กำหนดอันหนึ่ง ๆ จะสามารถบรรจุการติดต่อ สื่อสารโดยวิธีผสมคลื่นแบบนี้ได้หลายๆช่อง ในปัจจุบันระบบนี้มีที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากในย่านความถี่ VHF และ UHF ในกิจการสื่อสารต่างๆ เช่น ดับเพลิง ตำรวจ รถแท็กซี่ และวิทยุสมัครเล่น เป็นต้น

1) ผสมคลื่นแบบ FM เป็นอย่างไร

เพื่อให้เข้าใจง่ายลองมาดูที่จุดเริ่มต้นบทความในเดือนก่อนๆ ท่านคงทราบแล้วว่าในการผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นวิทยุนั้น ทำได้โดยการทำให้ความแรงของคลื่นวิทยุเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณเสียง ซึ่งเรียกว่า Amplitude Modulation (AM) และ AM ก็ได้รับการปรับปรุงให้เป็นซิงเกิลไซด์แบนด์ (SSB) สำหรับ FM นั้นก็เพียงทำให้ความถี่ของคลื่นวิทยุเปลี่ยนแปลงไปตามคลื่นเสียงที่ต้องการแล้วจึงส่งไปยังปลายทาง ถ้าสัญญาณเสียงในชั่วขณะหนึ่งมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงมากคลื่นวิทยุก็จะมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ไปจากเดิมเมื่อไม่มีสัญญาณเสียงมาก ขนาดของสัญญาณเสียงและความถี่ของคลื่นวิทยุจะเป็นอัตราส่วนกันตลอดเวลา



รูปที่ 2.11 แสดงการผสมคลื่นแบบ AM และ FM

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสำหรับระบบ FM นั้นขนาดของคลื่นวิทยุจะคงที่เสมอไม่ว่าสัญญาณเสียงจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ส่วนที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์เท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของความถี่ตามความแรงของเสียงนั้นมีศัพท์เฉพาะเรียกว่าการเบี่ยงเบนของความถี่ (Frequency deviation) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาห์มาก ค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่จะมีค่าสูงเป็นอัตราส่วนโดยตรงต่อกัน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อไม่มีสัญญาณเสียงเครื่องส่งวิทยุสร้างความถี่ 1000 KHz แต่เมื่อมีสัญญาณเสียงมาและมีการผสมคลื่นแบบ FM ความถี่สูงขึ้นเป็น 1010 KHz แล้วค่อยๆลดลงมาเป็น 1000 KHz ลดต่ำลงจนเป็น 999 KHz แล้วเพิ่มขึ้นไปเป็น 1000KHz ใหม่ ใน 1 ช่วงคลื่นของสัญญาณเสียงที่ต้องการส่งจะเรียกได้ว่าการผสมคลื่นแบบ FM ในเครื่องส่งเครื่องนี้มีการเบี่ยงเบนของความถี่ 10 KHz

ยังมีตัวเลขทางเทคนิคอีกหลายตัวที่ใช้อธิบายลักษณะหรือบอกถึงคุณสมบัติของ FM เช่น ค่าดัชนีการผสมคลื่น(modulation Index) , ค่าอัตราส่วนการเบี่ยงเบน(deviation ratio) แต่สำหรับในการทำความเข้าใจในเบื้องต้นยังไม่เป็นสิ่งจำเป็นนัก

2). วิธีการผสมคลื่นแบบ FM

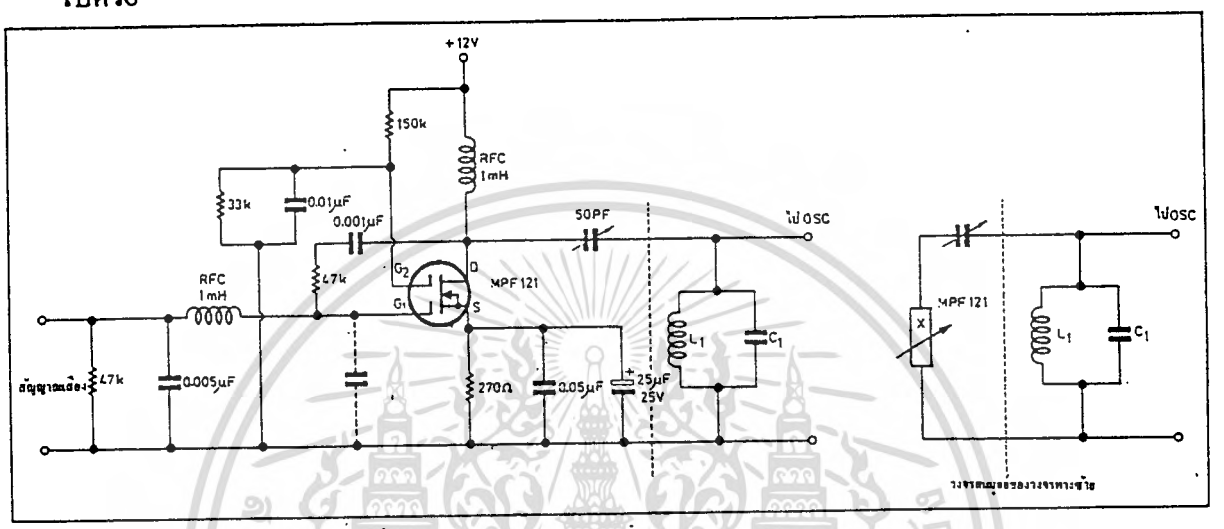
การผสมคลื่นแบบ FM ก็คือการทำให้ความถี่ของคลื่นวิทยุเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของคลื่นเสียง ดังนั้นการผสมคลื่นจะทำที่วงจรกำเนิดคลื่น (oscillator) และเนื่องจากขนาดของสัญญาณวิทยุยังมีระดับต่ำ จึงต้องการระดับความแรงของสัญญาณเสียงไม่มาก ก็พอเพียงที่จะมีการเบี่ยงเบนของความถี่ในระดับที่ต้องการ แล้วจึงนำสัญญาณที่ผสมคลื่นแล้วเข้าวงจรคูณ (multiplier) และวงจรขยายกำลังเพื่อส่งออกทางสายอากาศต่อไปใน

ทางปฏิบัติมีวิธีการที่สำคัญอยู่ 2 วิธีในการผสมคลื่น คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037139

1.การผสมคลื่นโดยตรง(Direct FM) ในวงจรกำเนิดคลื่นไม่ว่าจะเป็นแบบใด ความถี่ของคลื่นที่สร้างขึ้นจะขึ้นอยู่กับวงจรเลือกความถี่ (tune circuit) ซึ่งประกอบด้วยขดลวด และตัวเก็บประจุ ถ้าค่ารีแอคแตนซ์ของวงจรเลือกความถี่นี้เปลี่ยนแปลง ความถี่ของคลื่นวิทยุก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

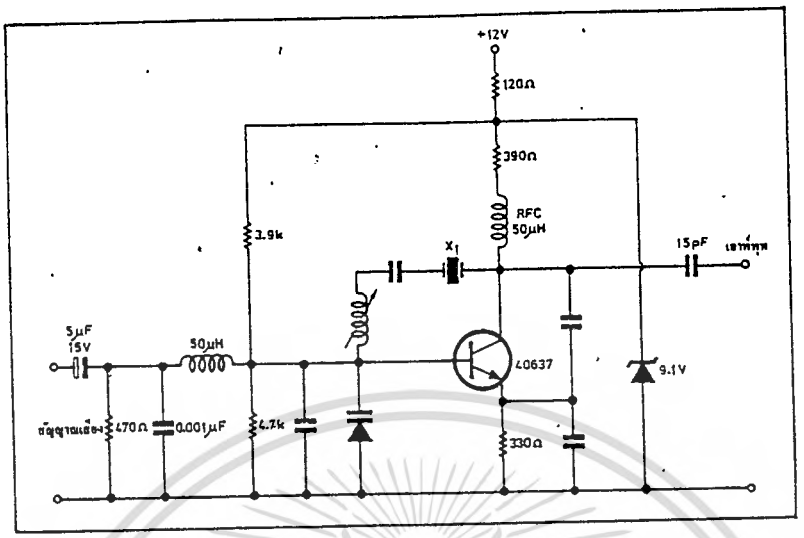


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวงจรผสมคลื่น FM แบบโดยตรง

จากวงจรตัวอย่างในรูปที่ 2.14 L_1 และ C_1 เป็นขดลวดและตัวเก็บประจุต่อแบบขนานกัน ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความถี่ของวงจรกำเนิดคลื่น ทรานซิสเตอร์ Mosfet เบอร์ MPF121 จะเป็นตัวรีแอคแตนซ์ที่เปลี่ยนค่าได้ต่อขนานกับวงจรเลือกความถี่ L_1C_1 โดยผ่านตัวเก็บประจุเล็กๆปรับค่าได้ (trimmer) ขนาด 50 pF รีแอคแตนซ์รวมทั้งหมดจะกำหนดความถี่ของวงจรกำเนิดคลื่น สัญญาณเสียงถูกส่งเข้าทางขาเกท G1 ของ Mosfet จะทำให้รีแอคแตนซ์ของ Mosfet เปลี่ยนแปลง นั่นก็คือทำให้ความถี่ของคลื่นที่วงจรกำเนิดคลื่นสร้างขึ้นเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของคลื่นเสียงที่ป้อนเข้าไปทางขา G1 ความเบี่ยงเบนของความถี่ของคลื่นจะขึ้นกับขนาดของสัญญาณเสียงและการปรับตัวเก็บประจุ 50pF ซึ่งต่ออนุกรมกับรีแอคแตนซ์ของ Mosfet

ในกรณีที่วงจรกำเนิดคลื่นเป็นแบบควบคุมความถี่ด้วยผลึกควอทซ์ ก็ใช้หลักการเดียวกัน เพราะผลึกควอทซ์ก็แสดงคุณสมบัติเป็นวงจรเลือกความถี่ซึ่งมีค่า Q สูงมากนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างวงจรผสมคลื่น FM แบบโดยตรงใช้ผลึกควอทซ์

จากรูปที่ 2.13 เป็นวงจรกำเนิดคลื่นที่ใช้ผลึกควอทซ์ X_1 เป็นตัวกำหนดความถี่ ไดโอด D_1 เป็นวาริแคปไดโอด(varicap-diode) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุที่มีความจุเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียงที่ป้อนมาจากทางเข้า การเปลี่ยนแปลงของค่าความจุของไดโอด D_1 จะมีผลทำให้ความถี่ที่วงจรสร้างขึ้นเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดของสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้า

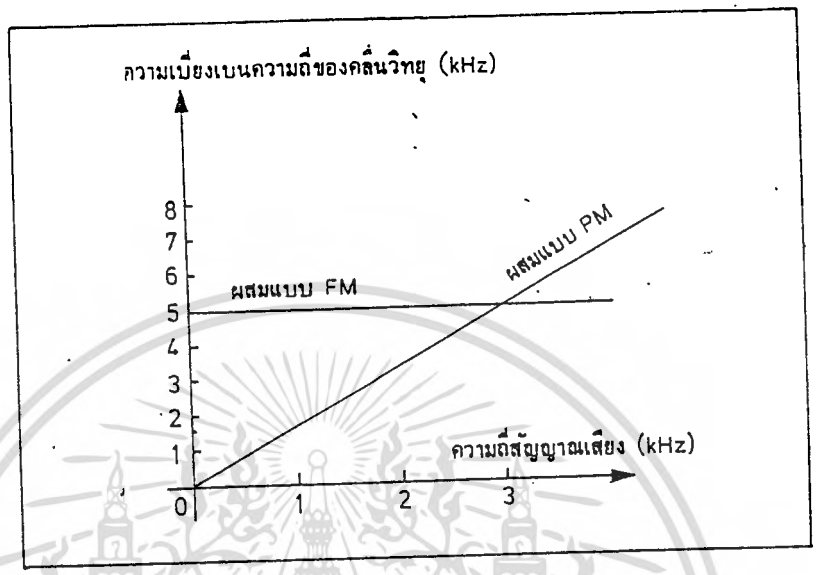
2. *การผสมคลื่นทางอ้อม(Indirect FM)* เนื่องจากการผสมคลื่นในวงจรกำเนิดคลื่นซึ่งใช้ผลึกควอทซ์แบบโดยตรงนั้นจะได้ค่าการเบี่ยงเบนความถี่ต่ำเพราะผลึกควอทซ์มีค่า Q สูงมากอยู่แล้ว ซึ่งเป็นข้อเสียของการผสมคลื่นแบบทางตรงของวงจรแบบนี้ ถ้าต้องการให้มีการเบี่ยงเบนความถี่สูงขึ้นเราเปลี่ยนมาใช้การผสมคลื่นแบบทางอ้อมคือ คลื่นทางเฟส (Phase Modulator PM) วงจรนี้จะทำให้เฟสของคลื่นจากวงจรกำเนิดคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณเสียง การเปลี่ยนเฟสของคลื่นออกจะเข้าใจได้ยากแต่อาจอธิบายได้ว่า หมายถึงเป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นตามขนาดและความถี่ของเสียงสองอย่างพร้อมๆกัน ซึ่งถ้าเราต้องการให้ผลของการผสมเป็น FM แล้วก็เพียงแต่ลดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นวิทยุของเสียงให้น้อยที่สุดโดยผ่านสัญญาณเสียงเข้าวงจรจัดรูป (wave shaping) เสียใหม่แล้วจึงส่งเข้าวงจรผสมคลื่นทางเฟส

ในรูปที่ 2.14 จะแสดงให้เห็นความแตกต่างของ FM กับ PM จะเห็นว่าสำหรับ FM แล้วไม่ว่าความถี่ของสัญญาณเสียงเป็นเท่าไร การเบี่ยงเบนของคลื่นวิทยุจะคงที่เสมอ แต่ในกรณีของ PM สัญญาณเสียงที่มีความถี่สูงจะให้การเบี่ยงเบนความถี่เพิ่มเป็นอัตราส่วนกัน

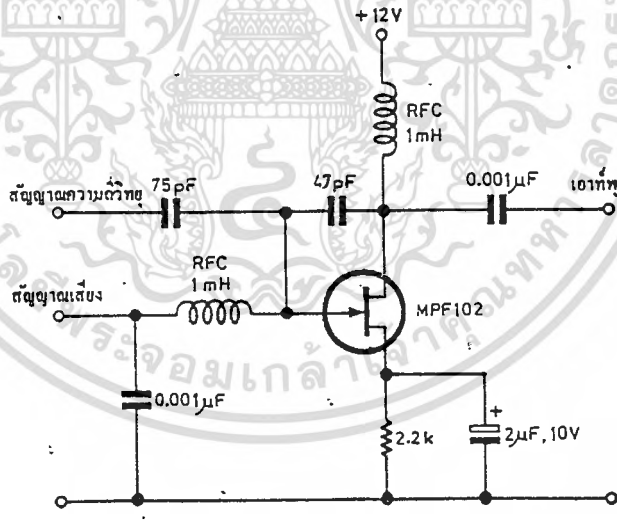
ในรูปที่ 2.15 เป็นตัวอย่างวงจรผสมคลื่นทางเฟส(PM) ซึ่งจะต่ออยู่หลังวงจรกำเนิดคลื่นทำหน้าที่ผสมคลื่นทางเฟส ถ้าต้องการให้เอาท์พุทเป็น FM สัญญาณเสียงต้องผ่าน วงจรจัดรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมถึงการนำไปดัดแปลงเนื้อหาและการอ้างอิงในรูปแบบต่างๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(wave shaping) ที่ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุซึ่งจะลดขนาดของสัญญาณลงแบบเชิงเส้นตามความถี่ที่พอเหมาะจะสามารถทำให้การเบี่ยงเบนของความถี่ของคลื่นตามความถี่ของเสียงหมดไปได้



รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบความเบี่ยงเบนของคลื่นวิทยุ ระหว่าง FM กับ PM



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างวงจรผสมคลื่นทางเฟส

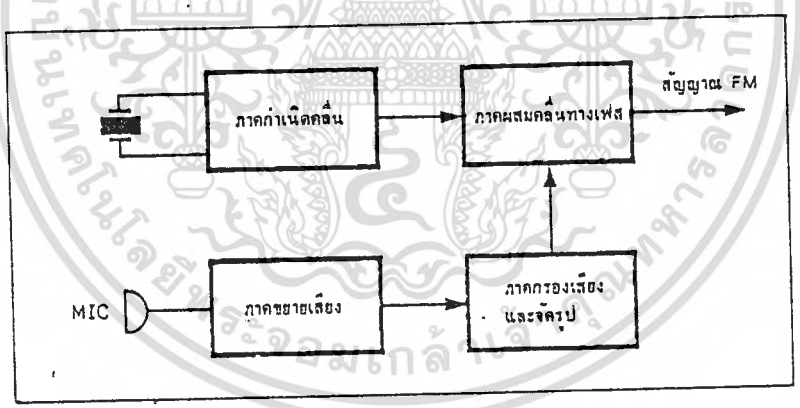
3). การทำงานของเครื่องส่งวิทยุ FM

ตามรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นขั้นตอนการทำงานของเครื่องส่งวิทยุแบบ FM ซึ่งใช้การผสมคลื่นแบบโดยตรงสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนจะถูกป้อนเข้าวงจรขยายเสียง แล้วผ่านเข้าวงจรขลิบ(Clipper) เพื่อตัดสัญญาณเสียงส่วนที่มีความแรงมากเกินไป และจะมีวงจรกรองสัญญาณเสียงให้ความถี่ซึ่งอยู่ในย่าน 300-3,000 Hz เท่านั้นไปเข้าวงจรกรองความถี่ได้ สาเหตุที่ต้องกรอง

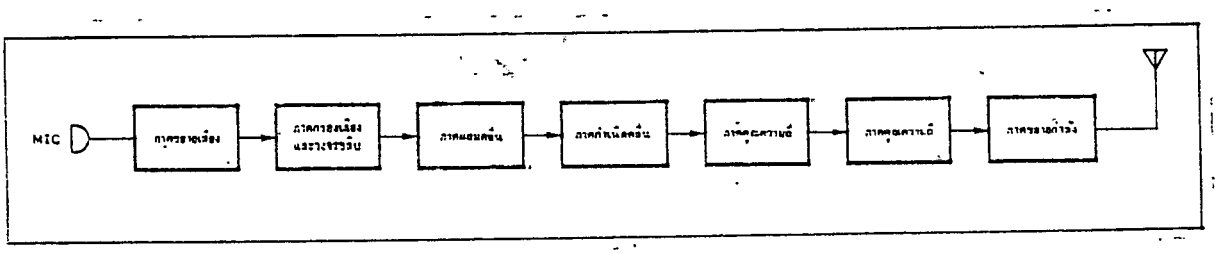
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมถึงการนำไปเผยแพร่ในรูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ทุกรูปแบบ

ความถี่นอกจากนี้ออกก็เพื่อให้แถบความถี่ (Bandwidth) ของคลื่นแคบเข้า และยังคงให้คุณภาพของเสียงพูดดีพอประมาณในแง่ของการสื่อสาร ซึ่งความถี่ของเสียงพูดส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านนี้

เมื่อสัญญาณเสียงถูกป้อนเข้าสู่วงจรผสมคลื่นแบบ Reactance Modulator เพื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรกำเนิดคลื่นแล้ว ที่ทางออกของวงจรกำเนิดคลื่นเราจะได้คลื่นวิทยุที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามเสียงพูด แล้วหลังจากนั้นเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการส่งออกอากาศก็จะต้องส่งผ่านเข้าวงจรคูณความถี่(multiplier) ซึ่งเป็นวงจรที่ให้สัญญาณออกมีความถี่เป็นผลคูณของความถี่ของสัญญาณเข้ากับตัวเลขจำนวนเต็ม เช่น วงจรคูณ 3 จะให้สัญญาณออกเป็น 300 KHz ถ้าสัญญาณเข้าเป็น 100KHz เป็นต้น สาเหตุที่ต้องใช้วงจรคูณเนื่องจากวงจรกำเนิดคลื่นส่วนใหญ่เป็นวงจรแบบที่ใช้ผลึกควอทซ์ ค่าการเยี่ยงเบนความถี่ที่ได้มีค่าต่ำมากผ่านวงจรคูณขึ้นไปด้วย เมื่อได้ความถี่และการเบี่ยงเบนของความตามต้องการแล้วก็ส่งเข้าวงจรขยายสัญญาณวิทยุให้มีกำลังตามที่ต้องการด้วยวงจรขยายแบบ Class C ซึ่งเหมาะสมกับการขยายสัญญาณแบบ FM มาก เพราะมีประสิทธิภาพสูงพอสมควรคือประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ เครื่องส่งแบบ FM นี้ไม่ต้องการภาคขยายที่มีความเพี้ยนต่ำเหมือนเครื่องส่งที่มีการผสมคลื่นแบบอื่น เพราะความเพี้ยนของภาคขยายจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านความถี่ของคลื่นวิทยุเลย



รูปที่ 2.16 แผนผังการทำงานของการผสมคลื่น FM แบบทางตรง

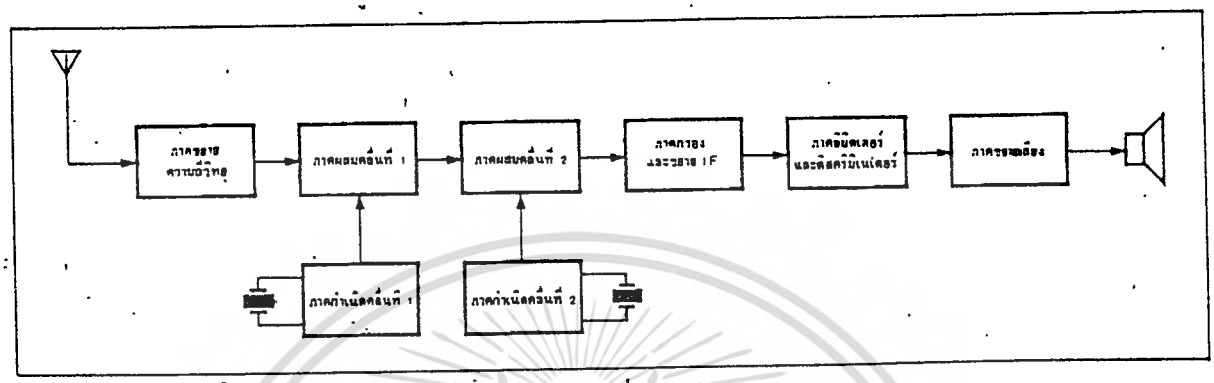


รูปที่ 2.17 แผนผังการทำ างานของเครื่องส่งวิทยุ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4). การทำงานด้านเครื่องรับ.

ในการรับวิทยุแบบ Narrow-band FM เครื่องรับวิทยุจะใช้วงจรแบบซูเปอร์เฮทเทอโรดายน์เหมือนเครื่องรับทั่วๆไป

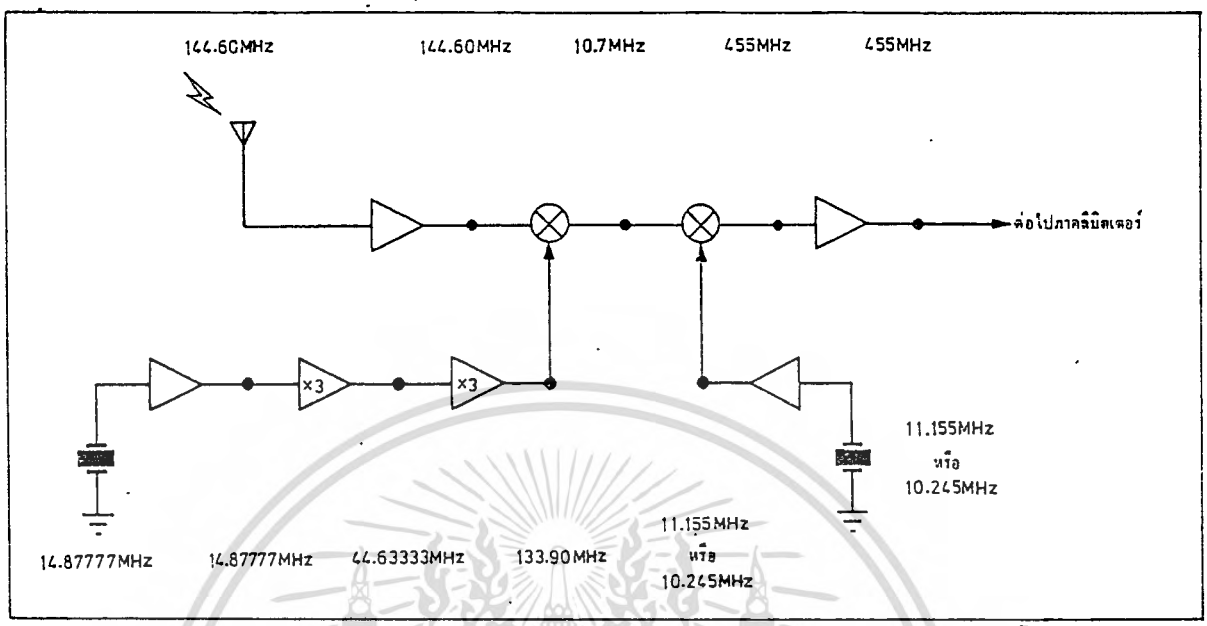


รูปที่ 2.18 แผนผังการทำงานของเครื่องรับ Narrow-band FM

ในรูปที่ 2.18 เป็นแผนผังการทำงานของเครื่องรับแบบนี้ คลื่นวิทยุจากสายอากาศจะถูกขยาย โดยภาคขยายความถี่วิทยุแล้วผสมกับสัญญาณจากวงจรกำเนิดคลื่น Local oscillator (LO) ในภาคผสมคลื่น(mixer) เพื่อลดความถี่ของสัญญาณลงเป็นความถี่กลาง(Intermediate Frequency) หรือ IF ความถี่ IF ส่วนมากจะเป็น 10.7 MHz ความถี่ของวงจรกำเนิดคลื่นจะเท่ากับความถี่ที่ต้องการรับบวกหรือลบ 10.7 MHz และก่อนที่จะส่งความถี่ IF ไปขยายจะผ่านวงจรกรองคลื่น (filter) ก่อนเพื่อกรองเอาเฉพาะคลื่นที่ต้องการจริงๆ โดยมีแถบความถี่พอเหมาะกับค่าความเบี่ยงเบนความถี่ของเครื่องส่งวงจรกรองที่ใช้มีอยู่ 2 แบบคือ แบบเซรามิค (ceramic filter) และแบบผลึกควอทซ์ (crytal filter)

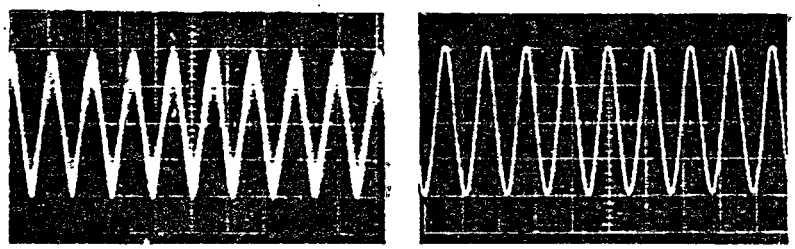
กิจการสื่อสารแบบ Narrow-band FM นี้ แถบกว้างของคลื่นจะใช้กันอยู่ในระหว่าง 12-30 KHz แล้วแต่ความเบี่ยงเบนความถี่ของเครื่องส่ง การขยายสัญญาณ IF มักจะทำได้ดีที่ความถี่ต่ำ เครื่องรับส่วนมากจึงมักจะมีภาค IF 2 ภาค คือ สัญญาณจากภาค IF 10.7 MHz จะผ่านภาคผสมคลื่นที่ 2 เพื่อลดความถี่ลงเป็นความถี่ IF ที่ 2 ซึ่งนิยมใช้ความถี่ 455 KHz แล้วจึงทำการขยายด้วยวงจรขยายที่มีอัตราการขยายสูงความถี่ของสัญญาณจากวงจรกำเนิดคลื่นที่ 2 ในกรณีนี้จะมีค่า 10.7 MHz บวกหรือลบ 455 KHz เพื่อให้ได้ความถี่ IF สุดท้ายเป็น 455 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แผนผังการแปลงความถี่ของเครื่องรับแบบแปลงความถี่ 2 ครั้ง

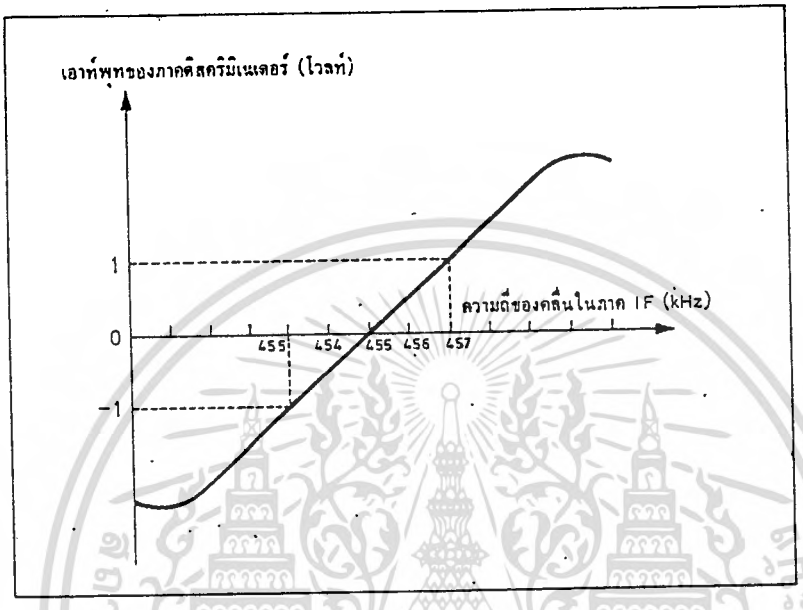
สมมติว่าเราต้องการรับความถี่ VHF ในย่านวิทยุสมัครเล่นที่เรียกว่าความยาวคลื่น 2 เมตร (two meters band) ซึ่งมีความถี่จาก 144.00 MHz ถึง 144.60 MHz ด้วยเครื่องรับแบบมีการแปลงความถี่ 2 ครั้ง(Double Conversion Receiver) ความถี่ IF แรกเท่ากับ 10.7 MHz และความถี่ IF ที่ 2 เป็น 455 KHz จะมีแผนผังการแปลงความถี่ตามรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นขั้นตอนของการรับคลื่นความถี่จากสายอากาศเพื่อเปลี่ยนเป็นความถี่ IF ก่อนส่งเข้าภาคลิมิตเตอร์ (limiter) และภาคดิสคริมิเนเตอร์(Discriminator) เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณเสียงต่อไป หลังจากสัญญาณ IF ความถี่ 455 KHz ถูกขยายด้วยภาคขยาย IF แล้วจะผ่านเข้าไปยังภาคลิมิตเตอร์เพื่อตัดส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาดของคลื่นออก เช่น สัญญาณรบกวนที่เข้ามาทางสายอากาศและสัญญาณรบกวนประเภทที่เกิดจากการสปาร์คของหัวเทียนรถยนต์จากไฟฟ้าสถิต เป็นต้น



รูปที่ 2.20 (ซ้าย) แสดงให้เห็นสัญญาณก่อนเข้าภาคซึ่งมีสัญญาณรบกวนและสัญญาณ AM ปนอยู่ (ขวา) เป็นสัญญาณซึ่งผ่านภาคลิมิตเตอร์ออกมาแล้วซึ่งสัญญาณ AM และ สัญญาณรบกวนจะถูกกำจัดออกไป

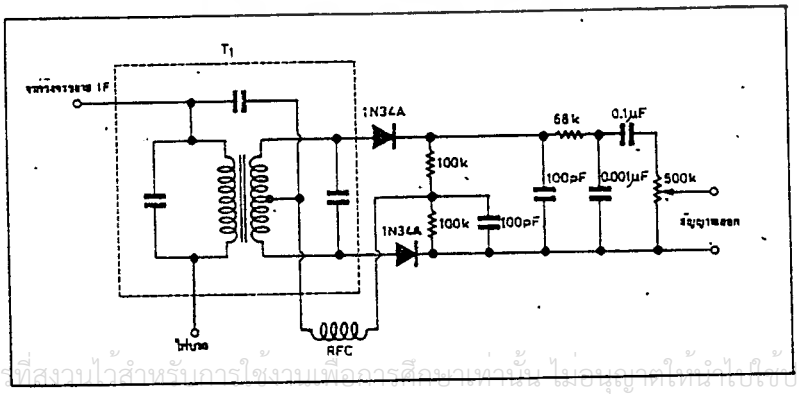
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคสุดท้ายของเครื่องรับ Narrow-band FM ก่อนที่จะเข้าสู่ภาคขยายเสียงก็คือภาคดีเทคเตอร์(Detector) โดยทั่วไปนิยมใช้วงจรที่เรียกว่าดิสคริมิเนเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงทางด้านความถี่ของคลื่นให้กลายเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาด (Amplitude)



รูปที่ 2.21 ลักษณะสมบัติของวงจรดิสคริมิเนเตอร์

ในรูปที่ 2.21 เป็นตัวอย่างเส้นโค้งแสดงลักษณะสมบัติของภาคลิสคริมิเนเตอร์ของวงจรตามรูปที่ 2.22 โดยสมมติว่าความถี่ของภาค IF มีความถี่กลางขณะที่ไม่มีการผสมคลื่นเป็น 455 KHz เมื่อมีการผสมคลื่นด้วยสัญญาณเสียงทำให้สัญญาณมีการเบี่ยงเบนสูงสุดทางด้านสูงเป็น 457 KHz จะเห็นว่าเราจะได้สัญญาณออกจากภาคนี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง +1 และ -1 โวลท์ ซึ่งสัญญาณนี้ก็คือสัญญาณเสียงก่อนถูกส่งนั่นเอง เมื่อนำสัญญาณนี้เข้าสู่ภาคขยายเสียงก็จะได้เสียงที่ต้องการออกทางลำโพง



รูปที่ 2.22 วงจรดิสคริมิเนเตอร์ ใช้เป็นดีเทคเตอร์ของ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกเอาสัญญาณเสียงออกจากคลื่นแบบ FM ยังทำได้อีกหลายวิธี เช่น แบบเรโชดีเทคเตอร์ (Ratio Detector) ซึ่งนิยมใช้กับเครื่องรับ FM ในกิจการกระจายเสียงแบบไม่ต้องการภาคลิมิตเตอร์ เพราะทำหน้าที่นี้ในตัวเองได้ แต่ไม่มีประสิทธิภาพพอสำหรับกิจการสื่อสาร นอกจากนี้ก็มีวงจรดิสคริมิเนเตอร์แบบที่ใช้ผลึกควอทซ์แทนวงจรเลือกความถี่ (T1ในรูป 2.21) และดีเทคเตอร์แบบที่ใช้เฟสล็อกลูป (phase lock loop) ซึ่งไม่ต้องการวงจรเลือกความถี่ และในระยะหลังบริษัทผู้ผลิตไอซีบรรจุวงจรนี้เข้าในไอซีตัวเดียว ทำให้ลดความยุ่งยากของภาคนี้ไปได้มาก

ที่กล่าวมาเป็นหลักการทำงานของ Narrow-band FM ในกิจการสื่อสารโดยสังเขปเพื่อเป็นพื้นฐานในการเริ่มต้นทำความเข้าใจ เนื่องจาก Narrow-band FM นี้เป็นขบวนการสื่อสารทางวิทยุที่แพร่หลายมากอันหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็น วงการธุรกิจ-การบันเทิง หน่วยงานราชการ กิจการด้านการทหาร วงการวิทยุสมัครเล่น ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นการรวมระบบทั้งหมดของไมโครโปรเซสเซอร์ ได้แก่ ROM (หรือ EPROM) ,RAM ,พอร์ตขนาน ,วงจรนาฬิกา ,และพอร์ตอนุกรม ฯลฯ ลงในชิปเพียงตัวเดียว ทำให้บางครั้งจะเรียกว่า "ไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดียว" เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการนำระบบไมโครโปรเซสเซอร์ไปใช้ในงานผลิตสินค้า และความสะดวกในการนำไปใช้งานทั่ว ๆ ไป

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS -51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ตระกูลหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูง และได้รับความนิยมความนิยมสูงสุดในการใช้งานทั่วไป

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ตระกูล MCS -51 มีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ แต่เบอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ เบอร์ 8051 โดยทั่ว ๆ ไปจึงนิยมเรียกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยรวม ๆ ว่า "8051"

3.1 สถาปัตยกรรมของ 8051 และโปรแกรมมิ่งโมเดล

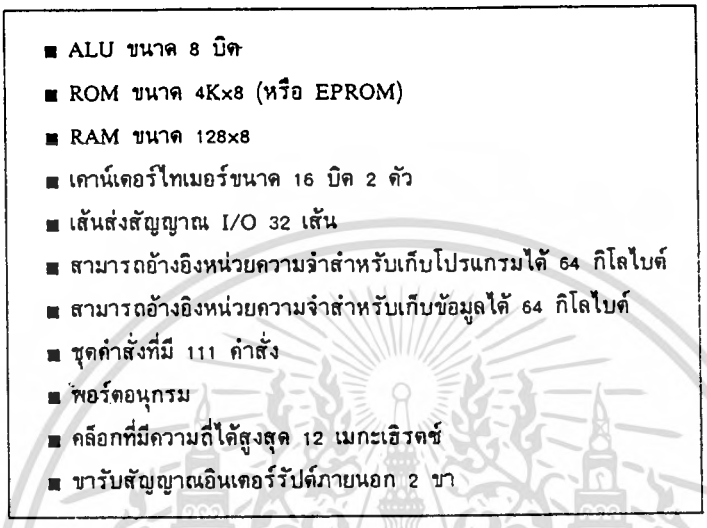
8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวขนาด 8 บิต ยุคที่สอง ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตรุ่นแรกที่ผลิตโดยบริษัทอินเทล ก็คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวเบอร์ 8048 ในเวลาต่อมาบริษัทอินเทลได้เปิดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวเบอร์ 8049 ซึ่งมีขนาด 8 บิต ที่มีขนาดของ ROM และ RAM มากกว่ารุ่น 8048 ถึงสองเท่า นอกจากข้อแตกต่างนี้แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8048 และ 8049 นี้จะมีสถาปัตยกรรมที่เหมือนกัน

สถาปัตยกรรมและชุดคำสั่งใน 8051 ถูกพัฒนาให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นและได้มีการรวมพอร์ตอนุกรมอย่างสมบูรณ์เข้าไปในชิป แต่การเพิ่มคุณสมบัติเหล่านี้เข้าไปทำให้สถาปัตยกรรมของ 8051 มีความแตกต่างจากสถาปัตยกรรมที่พบได้ใน 8048 และ 8049 ในเวลาต่อมาได้มีการเปิดตัวชิปเบอร์ 8052 ซึ่งนอกจากจะมีการเพิ่มขนาดของ ROM และ RAM แล้ว สถาปัตยกรรมในด้านอื่นของชิปตัวนี้ก็ยังคงเหมือนกับสถาปัตยกรรมของ 8051

รูปที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติสำคัญของชิปเบอร์ 8051 ซึ่งรวมถึงพอร์ต I/O ที่มีความสามารถซับซ้อน ROM (หรือ EPROM) ขนาด 4 กิโลไบต์ RAM ขนาด 128 ไบต์ และเคาน์เตอร์ไทเมอร์ขนาด 16 บิต 2 ตัว อุปกรณ์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมมิ่งโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเราจะพบส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ได้ในตัวชิป 8051 เราสามารถทำการอ้างอิงแอดเดรสของส่วนเหล่านี้ได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้คำสั่งที่เกี่ยวกับ I/O



รูปที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติส าคัญในไมโครโปรเซสเซอร์ชิปเดี่ยวเบอร์ 8051

8051 สามารถทำการอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้ถ้า RAM หรือ ROM ภายในนั้นมีขนาดไม่เพียงพอ โดยจะใช้พอร์ต 2 ตัวในการทำหน้าที่อ้างอิงข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกซึ่งการทำเช่นนี้จะส่งผลให้พอร์ตที่ทำหน้าที่เป็น I/O มีจำนวนลดลง แต่ 8051 จะมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากขึ้น

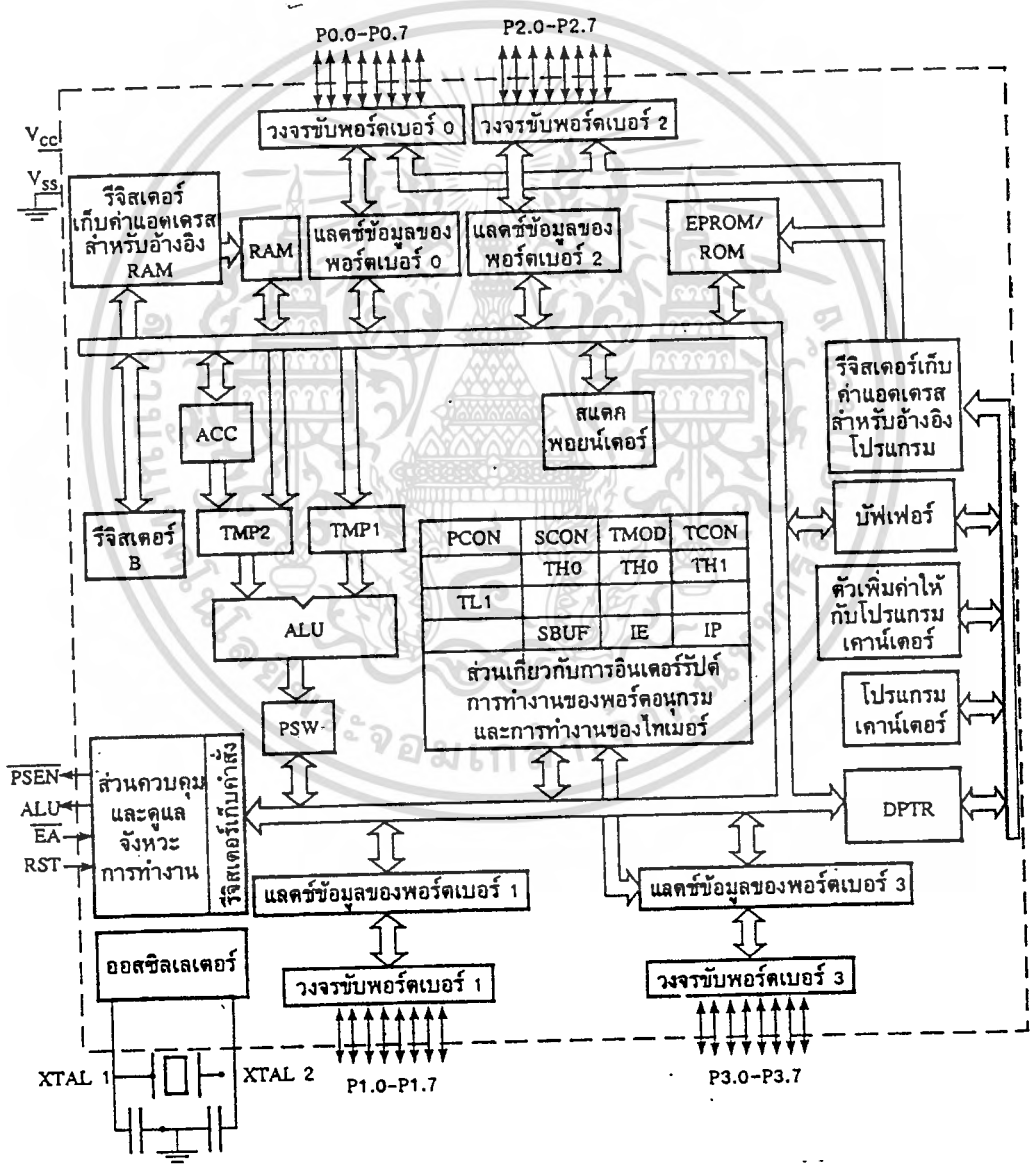
รูปที่ 3.2 เป็นบล็อกไดอะแกรม ซึ่งแสดงถึงสถาปัตยกรรมของ 8051 เราจะเห็นว่าการเชื่อมต่อของชิปกับภายนอกนั้นไม่มีความซับซ้อนมากนัก ตัวชิปดังแสดงในรูปจะมีขาสัญญาณจำนวน 32 ขา สำหรับใช้เป็นพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต ที่สามารถส่งข้อมูลได้สองทิศทาง นอกจากนี้ตัวชิปยังมีขาสำหรับป้อนไฟเลี้ยง ขาสำหรับใช้เชื่อมต่อกับคริสตอลที่สร้างสัญญาณนาฬิกา และขาส่งสัญญาณกำกับจังหวะการทำงาน และขาส่งสัญญาณควบคุมเมื่อเราเปรียบเทียบชิป 8051 กับ Z80 ที่มีขาเกี่ยวกับการควบคุม และขาให้จังหวะการทำงานมากมายนั้นเราจะพบว่า 8051 มีโครงสร้างภายนอกที่ไม่สลับซับซ้อน ซึ่งก็หมายความว่าเราจะต้องเพิ่มอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ชิ้นในการที่จะทำให้ระบบที่ใช้ 8051 ทำงาน

แต่ในทางกลับกัน โครงสร้างภายนอกของ 8051 จะมีความสลับซับซ้อนพอสมควร เราจะพบส่วนที่ทำหน้าที่สำคัญในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ในตรงกลางบล็อกไดอะแกรมซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึง ALU แอกคิวมูเลเตอร์ สแตกพอยน์เตอร์ รีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่ทั่วไปต่าง ๆ (เช่น รีจิสเตอร์ B) โดยส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะเชื่อมต่อกับบัสภายในของ 8051

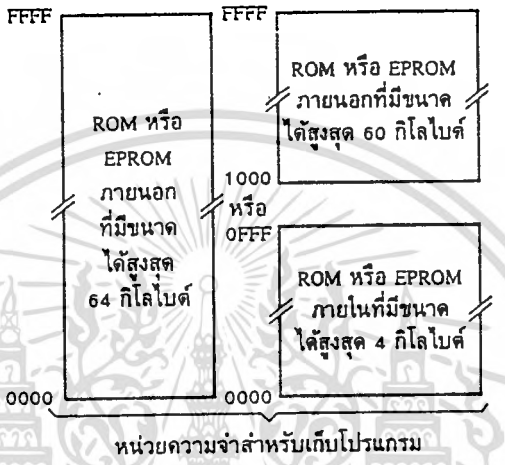
พอร์ต I/O แต่ละตัวจะถูกเชื่อมต่อกับบัสข้อมูลภายในขนาด 8 บิต โดยผ่านรีจิสเตอร์ที่ต่ออนุกรมกันดังรูป รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการโอนย้ายข้อมูลของ I/O และควบคุมการทำงานของพอร์ต I/O จากบล็อกไดอะแกรมนี้ยังแสดงถึง ROM และ RAM ของ 8051 ด้วย



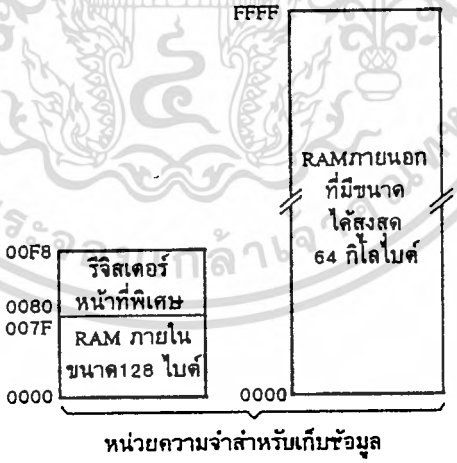
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสถาปัตยกรรมของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพการจัดสรรหน่วยความจำ-รีจิสเตอร์ (memory-register-map) ของ 8051 จากรูปเราจะเห็นได้ว่า 8051 มี ROM ภายในขนาด 4 กิโลไบต์ RAM ภายในขนาด 128 ไบต์ และยังมีรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษรวมอยู่ภายในด้วย สำหรับส่วนของ ROM และ RAM ภายนอกนั้นเป็นส่วนที่เราต้องทำการเพิ่มเข้าไปเอง



(ก) เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว ดังนั้นเราจะพบเฉพาะ ROM และ EPROM ในหน่วยความจำส่วนนี้



(ข) เป็นหน่วยความจำที่อ่านและเขียนข้อมูลลงไปได้ ดังนั้นหน่วยความจำนี้จึงเป็น RAM โดยเราสามารถอ้างอิง RAM ภายในขนาด 128 ไบต์เป็นรีจิเตอร์หรือเป็นหน่วยความจำปกติได้

รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพการจัดสรรหน่วยความจำ-รีจิสเตอร์ (memory register map)

แผนภาพการจัดสรรหน่วยความจำรีจิสเตอร์ยังแสดงถึงคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของ 8051 ที่ทำให้มันแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่ว ๆ ไป โดย 8051 นี้ จะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ประเภท ประเภทแรกเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และอีกประเภทเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงได้ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมนั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหน่วยความจำที่เราสามารถทำการอ่านข้อมูลได้อย่างเดียว เราอ่านคำสั่งของโปรแกรมได้ แต่ไม่สามารถสั่งให้หน่วยประมวลผลทำการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำประเภทนี้ได้ ROM ภายในของ 8051 จะถูกกำหนดให้เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และไมโครคอนโทลเลอร์จะทำการเฟตช์คำสั่งทุกคำสั่งจากหน่วยความจำประเภทนี้เท่านั้น

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลเป็นหน่วยความจำประเภทที่สามารถทำการอ่านและเขียนข้อมูลได้ หน่วยประมวลผลสามารถทำการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำประเภทนี้ แต่ไม่สามารถทำงานตามคำสั่งของโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำประเภทนี้ได้ เราจะพบว่า RAM ภายในของ 8051 จะถูกกำหนดให้เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

8051 มี RAM ภายในขนาด 128 ไบต์ (อยู่ในตำแหน่งตั้งแต่ 00H จนถึง 7FH ของหน่วยความจำ) สำหรับใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลทั่ว ๆ ไป ถึงแม้เราจะกล่าวว่า 8051 มี RAM ภายในขนาด 128 ไบต์ แต่ในบางครั้งส่วนของหน่วยความจำนี้อาจจะถูกนำมาอ้างอิงเป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ทั่วไป เราจะศึกษารายละเอียดของรีจิสเตอร์เหล่านี้ในหัวข้อต่อไป สิ่งสำคัญที่เราควรเข้าใจก็คือ เราสามารถอ้างอิง RAM ภายในของ 8051 บางส่วนเป็นรีจิสเตอร์ได้

8051 มีรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจำนวน 22 ตัว รีจิสเตอร์เหล่านี้ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของ RAM ภายในที่มีขนาด 128 ไบต์ รีจิสเตอร์เหล่านี้จะอยู่ในพื้นที่ของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลซึ่งมีตำแหน่งตั้งแต่ 80H ถึง F8H ถึงแม้ว่าเราจะสามารถอ้างอิงรีจิสเตอร์เหล่านี้ได้เหมือนกับการอ้างอิงหน่วยความจำ แต่รีจิสเตอร์เหล่านี้มีไว้เพื่อทำหน้าที่พิเศษของมันเท่านั้น ในกรณีที่เราต้องการเพิ่มหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เราสามารถทำการขยายหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมที่มีขนาด 4 กิโลไบต์ ให้เป็นหน่วยความจำที่มีขนาดได้ถึง 64 กิโลไบต์ โดยการเพิ่มหน่วยความจำอีก 60 กิโลไบต์ หรือเราอาจทำการขยายหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมโดยการต่อขา EA ลงกราวด์ซึ่งจะทำให้ 8051 ไม่ใช้ ROM ภายในขนาด 4 กิโลไบต์ของมันแต่จะใช้หน่วยความจำภายนอกซึ่งตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกจะเริ่มจากตำแหน่งที่ 0000H และมีขนาดสูงสุดได้ถึง 64 กิโลไบต์

หมายเหตุ ชิปเบอร์ 8031 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวอีกรุ่นหนึ่งในตระกูลเดียวกับ 8051 ซึ่งไม่มี ROM ภายใน และมันต้องใช้หน่วยความจำภายนอกเพื่อเก็บโปรแกรม ในกรณีนี้เราต้องต่อขา EA ของ 8031 ลงกราวด์ตลอดเวลา

เอกสารนี้ [illegible] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเพิ่มหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกได้ถ้าเราต้องการ RAM จำนวนมากขึ้น จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าเราสามารถทำการอ้างอิงพื้นที่ในหน่วยความจำภายนอกสำหรับเก็บข้อมูลได้ถึง 64 กิโลไบต์ การอ้างอิงแอดเดรส RAM ภายในขนาด 128 ไบต์ ดังนั้นเราจะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 64 กิโลไบต์ +128 ไบต์

โดยทั่วไปแล้ว 8051 จะทำงานโดยมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแยกออกจากกัน แต่ในงานบางชนิดอาจมีความต้องการให้หน่วยความจำทั้งสองประเภทนี้ทำงานรวมกันเหมือนเป็นหน่วยความจำทั่วไป ซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้ 8051 มีหน่วยความจำภายนอกเพียง 64 กิโลไบต์เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีการนี้แล้วจะทำให้ 8051 สามารถทำการรับข้อมูลเป็นบล็อกผ่านพอร์ตแบบอนุกรม นำข้อมูลนี้ไปเก็บในหน่วยความจำและทำการเอ็กซีคิวต์ข้อมูลนี้เป็นโปรแกรมได้ ขั้นตอนนี้เรียกว่า *การดาวน์โหลดโปรแกรม (download program)* เทคนิคนี้นิยมใช้ในการเปลี่ยนโปรแกรมของระบบควบคุมในระยะทางไกลที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นพื้นฐาน โดยปกติแล้วโปรแกรมที่กำกับขั้นตอนการดาวน์โหลดโปรแกรมจะถูกเก็บในหน่วยความจำแบบ ROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 RAM ภายในและรีจิสเตอร์ของ 8051

เพื่อให้การเขียนโปรแกรมนั้นเป็นไปได้อย่างคล่องตัว 8051 จึงสนับสนุนชุดคำสั่งที่ช่วยให้โปรแกรมเมอร์สามารถทำการอ้างอิงแอดเดรสของ RAM ภายในได้หลายวิธี โดยเราสามารถอ้างอิง RAM 32 ตำแหน่งแรกเป็นรีจิสเตอร์ หรืออ้างอิงเป็นตำแหน่งหนึ่งในหน่วยความจำก็ได้ การเข้าถึงข้อมูลในตำแหน่งที่ถูกอ้างอิงเป็นรีจิสเตอร์นั้นเราสามารถทำได้โดยใช้คำสั่งที่มีขนาดเพียงแค่ 1 ไบต์ ซึ่งการใช้คำสั่งชนิดนี้จะช่วยให้นักโปรแกรมเมอร์สามารถเขียนโปแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

RAM ของ 8051 นี้จะมีพื้นที่ส่วนหนึ่งขนาด 16 ไบต์ ซึ่งเราสามารถทำการอ้างอิงข้อมูลใน RAM ส่วนนี้ทีละบิตหรือทีละไบต์ก็ได้ โดยคำสั่งทั่วไปจะสามารถทำการอ้างอิงข้อมูลทีละไบต์จากหน่วยความจำส่วนนี้ แต่ถ้าเราต้องการอ้างอิงข้อมูลทีละบิตในหน่วยความจำส่วนนี้เราจะต้องใช้คำสั่งพิเศษ คำสั่งพิเศษนี้มีประโยชน์มากเมื่อเราต้องการทำการประมวลข้อมูลที่รับมาจากอุปกรณ์ภายนอก เช่น ในงานที่มีการใช้ระบบควบคุม ในหัวข้อต่อไปเราจะพบว่าคำสั่งที่ติดต่อกับ I/O เพื่อทำการเคลื่อนย้ายข้อมูลของ 8051 สามารถเคลื่อนย้ายข้อมูลที่มีขนาดเป็นไบต์หรือบิตก็ได้

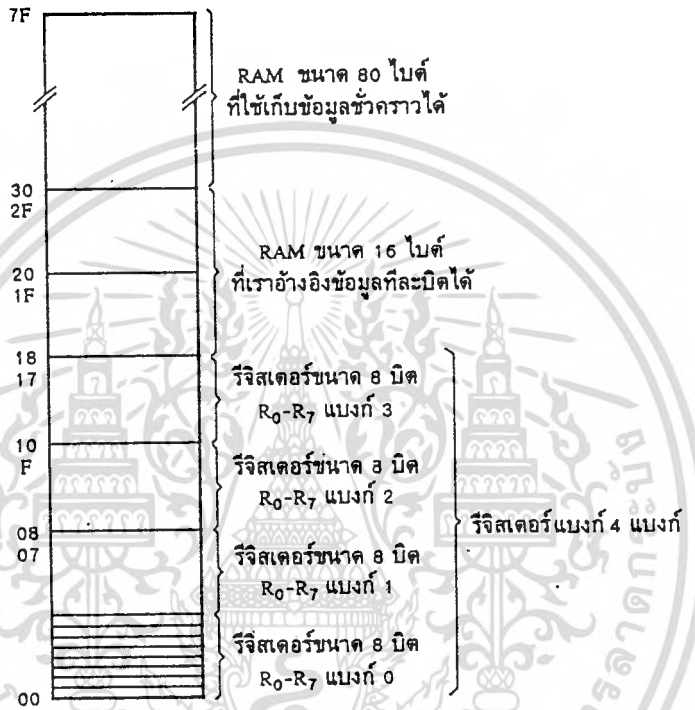
รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพการจัดสรรหน่วยความจำภายในช่วง 128 ตำแหน่งแรกของ 8051 จากรูปเราจะพบว่า 32 ตำแหน่งแรกในหน่วยความจำจะถูกกำหนดให้เป็น *รีจิสเตอร์แบงก์ (register bank)* จำนวน 4 แบงก์ ในแต่ละแบงก์จะมีรีจิสเตอร์ 8 ตัว รีจิสเตอร์ในที่นี้เป็นตำแหน่งในหน่วยความจำสำหรับเขียนและอ่านข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งเราสามารถอ้างอิงได้โดยใช้คำสั่งที่มีขนาด 1 ไบต์ และเนื่องจากว่าคำสั่งขนาด 1 ไบต์นี้จะใช้บิตเพียงแค่ 3 บิต ในการระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่เราต้องการ ดังนั้นเราจึงใช้คำสั่งนี้อ้างรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกันได้เพียง $2^3 = 8$ ตัว

เราจะทราบได้อย่างไรว่าแบงก์รีจิสเตอร์แบงก์ใดถูกนำมาใช้งาน แบงก์รีจิสเตอร์ที่กำลังถูกใช้งานอยู่ในขณะนั้นจะถูกเลือกโดยการตั้งค่าที่แฟลกสำหรับเลือกแบงก์ (แฟลก คือ บิตสถานะที่ระบุรูปแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์) เมื่อแบงก์รีจิสเตอร์หนึ่ง ๆ ถูกเลือกแล้ว การเคลื่อนย้ายข้อมูลจะเกิดขึ้นกับรีจิสเตอร์ R_0 และ R_7 ของแบงก์นั้น ถ้าเราต้องการเปลี่ยนไปใช้รีจิสเตอร์ในแบงก์อื่น เราต้องเปลี่ยนค่าในแฟลกสำหรับเลือกแบงก์ก่อนเพื่อแบงก์ที่จะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแตกพอยน์เตอร์ของ 8051จะชี้ไปที่ตำแหน่งเริ่มต้นของสแตกซึ่งก็คือตำแหน่ง 08H (เป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R_0 ของแบงก์ที่ 1) เพื่อที่จะใช้เก็บข้อมูลไบต์แรก หลังจากที่ได้มีการเก็บข้อมูลนี้แล้ว สแตกพอยน์เตอร์จะถูกเพิ่มค่าขึ้นเพื่อชี้ตำแหน่งสำหรับเก็บข้อมูลชิ้นต่อ

ไปในสแตก ซึ่งก็หมายความว่าโดยปกติพื้นที่ในหน่วยความจำส่วนที่เป็นสแตกจะเริ่มที่แบงก์เบอร์ 1 แต่ถ้าเราไม่ต้องการให้สแตกมีพื้นที่อยู่ในหน่วยความจำส่วนที่อ้างอิงเป็นรีจิสเตอร์ เราก็จะต้องสร้างสแตกไว้ที่ตำแหน่งอื่นภายใน RAM



รูปที่3.4 แสดงแผนภาพการจัดสรรหน่วยความจำ RAM ภายในของ 8051

ที่จริงแล้วรีจิสเตอร์ในแบงก์เบอร์ 0 ถึง เบอร์ 3 เป็นเพียง 32 ตำแหน่งแรกของหน่วยความจำภายในแบบ RAM ของ 8051 เหตุผลที่เราเรียกตำแหน่งเหล่านี้ว่าเป็นรีจิสเตอร์ เนื่องจากมีโหมดอ้างอิงแอดเดรสโหมดหนึ่งที่สามารถทำการอ้างอิงตำแหน่งที่หน่วยความจำเหล่านี้เป็นรีจิสเตอร์ได้

รูปที่ 3.4 แสดงพื้นที่ขนาด 16 ไบต์ ในหน่วยความจำตั้งแต่ตำแหน่งที่ 20H ถึง 30H ซึ่งเป็นส่วนของ RAM ที่เราสามารถอ้างอิงข้อมูลเป็นบิตได้ โดยเราสามารถใช้คำสั่งพิเศษเพื่ออ้างอิงข้อมูลในหน่วยความจำส่วนนี้ทีละบิต หรือใช้คำสั่งทั่วไปเพื่ออ้างอิงข้อมูลทีละไบต์ก็ได้ หรือการทำ AND บิตหนึ่งกับอีกบิตหนึ่งที่อยู่ในแอกคิวมูเลเตอร์ หรือ อยู่ในรีจิสเตอร์สถานะ เป็นต้น

พื้นที่ส่วนสุดท้ายใน RAM ที่มีขนาด 80 ไบต์ นั้นมีชื่อว่า *พื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราว (scratch pad)* ซึ่งโปรแกรมเมอร์สามารถนำข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงได้ไปเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต ถ้าเราต้องการเซตค่าของสแตกพอยน์เตอร์ให้อยู่ในช่วงของหน่วยความจำส่วนนี้เราต้องตรวจดูให้แน่ใจก่อนว่าข้อมูลที่เขียนลงสแตกนั้นจะไม่ทับส่วนที่เป็นข้อมูลของหน่วยความจำและการเขียนข้อมูลของหน่วยความจำจะไม่เป็นการเขียนทับข้อมูลที่อยู่ในสแตก เพราะถ้าเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ขึ้นระบบจะทำงานผิดพลาดได้

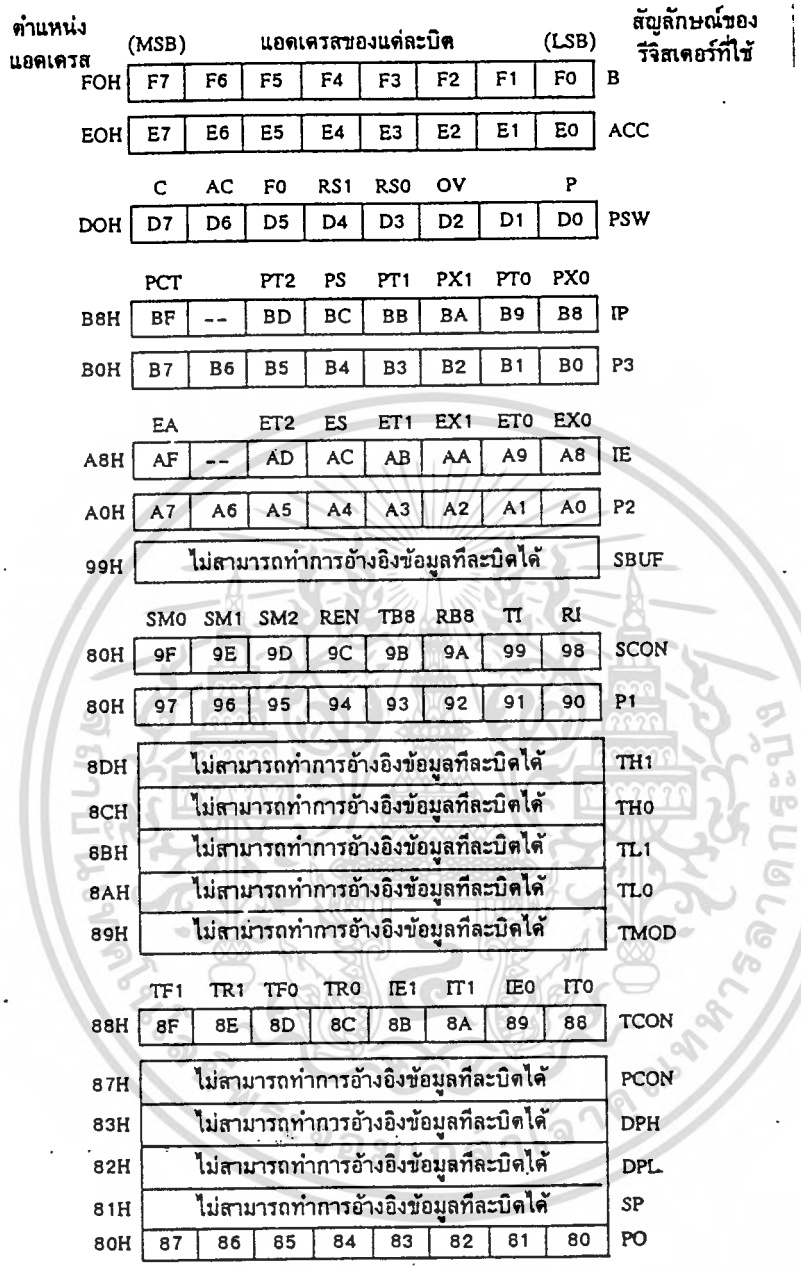
รูปที่ 3.5 แสดงตารางจัดสรรหน่วยความจำส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษใน 8051 รีจิสเตอร์แต่ละตัวจะมีหน้าที่พิเศษเพียงหน้าที่เดียวเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับการทำงานของ I/O ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาถึงรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษที่ใช้ในการทำงานภายในไมโครโปรเซสเซอร์เท่านั้น ส่วนรีจิสเตอร์ที่ทำงานกับพอร์ต I/O จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษของไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ แอกคิวมูเลเตอร์ (accumulator : แทนด้วยสัญลักษณ์ ACC และอยู่ในตำแหน่ง E0H ในหน่วยความจำ) รีจิสเตอร์ B (สัญลักษณ์ B อยู่ที่ตำแหน่ง F0H) โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (program status word : สัญลักษณ์ PSW อยู่ที่ตำแหน่ง D0H) สแตกพอยน์เตอร์ (stack pointer : สัญลักษณ์ SP อยู่ที่ตำแหน่ง 81H) ดาต้าพอยน์เตอร์ (data pointer : DPTR) ซึ่งแบ่งได้เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 1 ไบต์ 2 ตัว (สัญลักษณ์ของรีจิสเตอร์ตัวแรกคือ DPL อยู่ที่ตำแหน่ง 82H รีจิสเตอร์ตัวที่สองมีสัญลักษณ์เป็น DPH อยู่ที่ตำแหน่ง 83H) และรีจิสเตอร์ควบคุมกำลัง (power control register : PCON อยู่ที่ตำแหน่ง 87H) รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษบางตัวสามารถอ้างอิงข้อมูลได้ทีละบิตหรือทีละไบต์ก็ได้แต่ก็มีบางตัวที่อ้างอิงข้อมูลได้ทีละไบต์เท่านั้น

แอกคิวมูเลเตอร์เป็นรีจิสเตอร์ที่เราอ้างอิงข้อมูลได้ทีละไบต์หรือทีละบิตก็ได้ มันจะถูกนำมาใช้ในการเก็บค่าโอเปอแรนด์ที่ใช้ในการคำนวณหรือการประมวลผลทางตรรกะ และเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลนั้น คำสั่งโดยทั่วไปจะแทนแอกคิวมูเลเตอร์ด้วยสัญลักษณ์ A

รีจิสเตอร์ B จะถูกนำมาใช้ในการคูณหรือหาร เช่น เก็บข้อมูลเริ่มต้นตัวหนึ่งขนาด 8 บิต และเก็บส่วนที่เป็นไบต์ของผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าเราไม่นำรีจิสเตอร์ B มาใช้ในการคูณหรือหาร เราอาจนำมันมาใช้เป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลชั่วคราว (scratch pad register) เพื่อใช้กับคำสั่งที่สามารถทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลที่ตำแหน่ง F0H ในหน่วยความจำได้ (ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์ B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษใน 8051 รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตทั้ง 21 ตัว

โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW) ทำหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์สถานะใน 8051 รูปที่ 3.6 แสดงความหมายของบิตต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ตัวนี้ เราสามารถทำการอ้างอิงข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้ได้ทีละบิต เราจะเห็นว่าหน้าที่ของบิตต่าง ๆ จะคล้ายคลึงกับหน้าที่ของบิตที่พบได้ในรีจิสเตอร์สถานะของ Z80 หรือ 6802 แต่จำนวนบิตที่ใช้ใน 8051 จะมีจำนวนน้อยกว่า เช่น PSW ใน 8051 จะไม่มีบิตศูนย์ สำหรับบิต RS0 และ RS1 จะเป็นบิตพิเศษที่ระบุรีจิสเตอร์แบงก์ที่ 8051 ใช้โดยเราสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าของบิตทั้งสองนี้เพื่อให้ 8051 ทำงานกับรีจิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบงก์ที่เราต้องการ หรือเราอาจอ่านค่าในบิตทั้งสองนี้เพื่อตรวจสอบดูว่า 8051 กำลังทำงานกับรีจิสเตอร์แบงก์ใด

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

CY	แฟลกตัวทด (carry flag)
AC	แฟลกตัวทดช่วย (auxiliary carry flag)
F0	เราสามารถใช้แฟลกนี้ทำหน้าที่ที่ต้องการได้
RS1	บิต 1 ที่เลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (register bank select bit 1)
RS0	บิต 0 ที่เลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (register bank select bit 0)
OV	แฟลกโอเวอร์โฟลว์ (overflow)
—	ไม่ใช้งาน
P	แฟลกพาริตี้ (parity flag) ฮาร์ดแวร์จะเซตหรือเคลียร์ค่าในบิตนี้เมื่อข้อมูลมีค่าพาริตี้เป็นคู่หรือคี่

รูปที่ 3.6 เวิร์ดข้อมูลในโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด(program status word:PSW)

สแตกพอยน์เตอร์ใน 8051 เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มันจะเพิ่มค่าตัวมันเองก่อนที่ข้อมูลจะถูกเก็บลงสแตกเมื่อมีการใช้คำสั่ง push หรือ call หรือเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ สแตกพอยน์เตอร์ใน 8051 มีข้อแตกต่างจากสแตกพอยน์เตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิตทั่วไป อย่างแรกคือ สแตกพอยน์เตอร์ใน 8051 มีขนาดเพียง 8 บิต เมื่อเทียบกับสแตกพอยน์เตอร์ใน Z80 ที่มีขนาด 16 บิต เนื่องจากมันต้องอ้างอิงหน่วยความจำภายในที่มีขนาดเพียง 128 ไบต์เท่านั้น ซึ่งหมายความว่าขนาดของสแตกใน 8051 จะมีขนาดที่จำกัดกว่าสแตกของ Z80

ความแตกต่างอีกข้อหนึ่งก็คือ สแตกพอยน์เตอร์ใน 8051 จะเพิ่มค่าแทนที่จะลดค่า (ใน Z80 และ 6802 สแตกพอยน์เตอร์จะลดค่า) เมื่อมีข้อมูลถูกนำไปเก็บในสแตก

สแตกพอยน์เตอร์ใน 8051 จะมีค่าเริ่มต้นเป็น 07H เมื่อ 8051 ถูกรีเซตนั่นก็หมายความว่าข้อมูลชิ้นแรกจะถูกเก็บลงสแตก ณ ตำแหน่ง 08H ในหน่วยความจำ ถ้าโปรแกรมเมอร์ไม่ต้องการให้ตำแหน่งเริ่มต้นของสแตกเป็น 08H ค่าของสแตกพอยน์เตอร์จะต้องถูกกำหนดใหม่ก่อนที่จะนำสแตกไปใช้งาน

ดาต้าพอยน์เตอร์ (DPTR) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งแบ่งได้เป็นส่วนที่เป็นไบต์บน (DPH) และส่วนที่เป็นไบต์ล่าง (DPL) ดาต้าพอยน์เตอร์นี้จะเก็บค่าแอดเดรสขนาด 16 บิต สำหรับใช้อ้างอิงหน่วยความจำภายนอก เราสามารถใช้คำสั่งของ 8051 อ้างอิงรีจิสเตอร์นี้เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต 1 ตัว หรือเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัวก็ได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้จะช่วยให้โปรแกรมเมอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเราสามารถเลือกทำงานกับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้

ในคาต้าพอยน์เตอร์ส่วนที่เป็นไบต์บนหรือส่วนที่เป็นไบต์ล่างได้โดยใช้คำสั่งที่มีขนาด 1 หรือ 2 ไบต์ และถ้าเราต้องการอ่านค่าใหม่เข้าไปเก็บในคาต้าพอยน์เตอร์เราก็สามารถทำได้โดยใช้คำสั่งที่มีขนาด 3 ไบต์

SMOD	—	—	—	GF1	GF0	PD	IDL

SMOD	บิตเพิ่มอัตราบอดเป็น 2 เท่า ถ้าไทเมอร์เบอร์ 1 ถูกนำมาใช้สร้างอัตราบอด และบิต SMOD มีค่าเป็น 1 อัตราบอดจะเพิ่มเป็น 2 เท่า เมื่อพอร์ตอนุกรมทำงานในโหมด 1, 2 หรือ 3
GF1	แฟลกที่ทำหน้าที่ทั่วไป
GF0	แฟลกที่ทำหน้าที่ทั่วไป
PD	บิต power down ถ้าบิตนี้ถูกเซต ไมโครโปรเซสเซอร์ 80C51 (8051 รุ่นที่สร้างจากเทคโนโลยี CMOS) จะทำงานในโหมด power down เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน
IDL	บิต idle ถ้าบิตนี้ถูกเซต ไมโครโปรเซสเซอร์ 80C51 จะทำงานในโหมด idle เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

รูปที่ 3.7 รีจิสเตอร์ควบคุมกำลัง (power control register)

รูปที่.3.7 แสดงรีจิสเตอร์ควบคุมกำลัง (PCON) บิต PD (power down) และบิต IDL (idle) จะถูกนำมาใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 รุ่นที่สร้างจากเทคโนโลยีแบบ CMOS เท่านั้น บิตทั้งสองนี้จะทำให้ไมโครคอลโทรลเลอร์สามารถเปลี่ยนการทำงานไปอยู่ในโหมดพิเศษต่างๆ ที่จะช่วยประหยัดพลังงานจนกว่าจะมีคำสั่งให้มันทำงานอีกครั้ง สำหรับบิต GF1 และ GF0 เป็นแฟลกที่มีหน้าที่ทั่วไปซึ่งโปรแกรมเมอร์สามารถนำมาใช้เก็บข้อมูลขนาด 1 บิตได้ บิต SMOD มีหน้าที่ควบคุมการเชื่อมต่อแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรล-เลอร์ เราจะศึกษาการทำงานของบิตนี้เมื่อเรากล่าวถึงการทำงานของพอร์ตอนุกรม

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษอื่น ๆ ของ 8051 จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่อไปนี้ พอร์ต I/O อุปกรณ์ที่รับ/ส่งสัญญาณแบบอนุกรม เคาน์เตอร์ไทเมอร์ และระบบอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 พอร์ต I/O ของ 8051

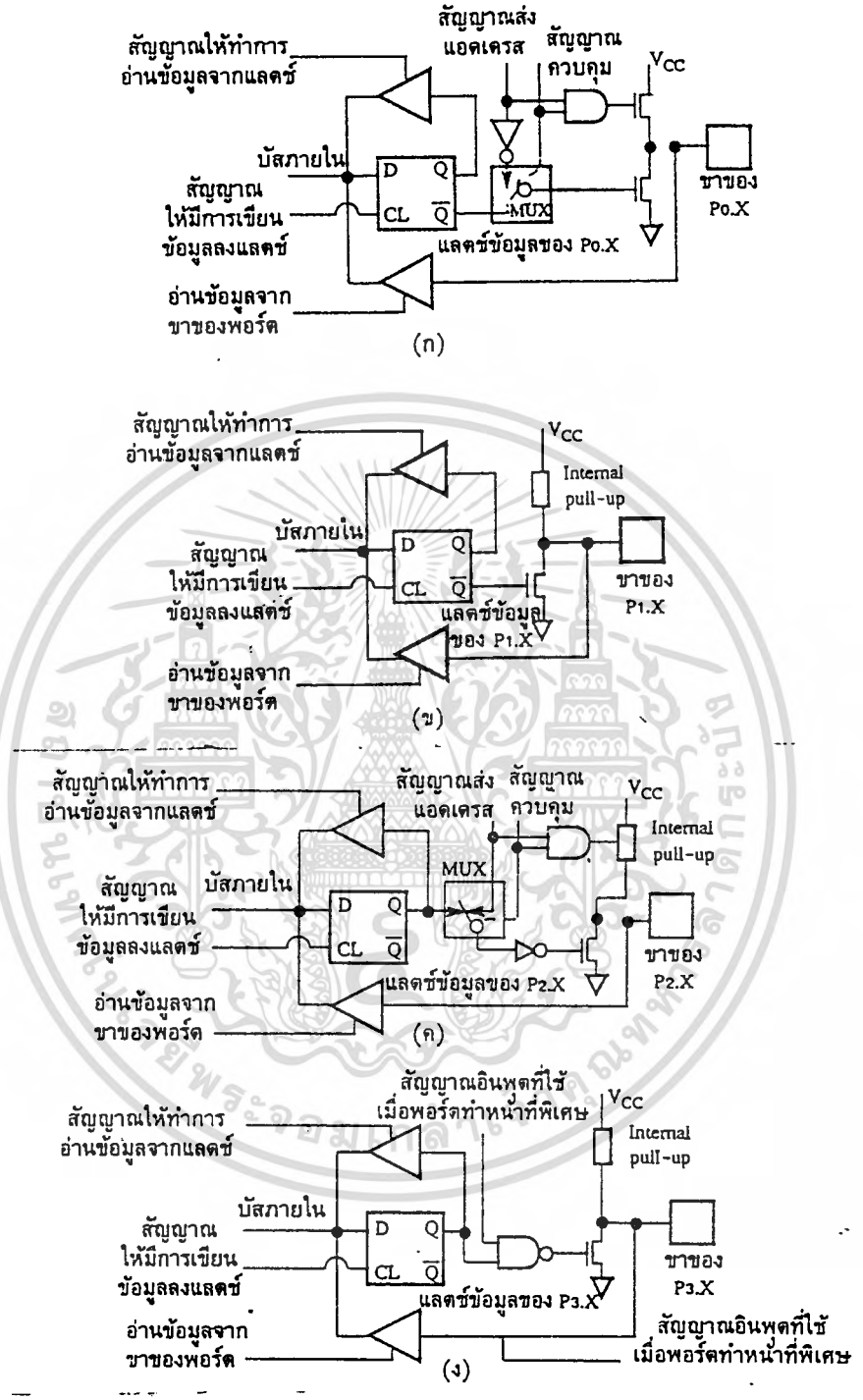
จากบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสถาปัตยกรรมของ 8051 เราจะพบว่ามีพอร์ต I/O ที่รับส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง ขนาด 8 บิต อยู่ 4 พอร์ต ซึ่งพอร์ตแต่ละตัวนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว รูปที่ 8 แสดงแผนภาพทางตรรกะสำหรับบิตหนึ่ง ๆ ในพอร์ตแต่ละตัว เราจะเห็นได้ว่าพอร์ตเหล่านี้ (P0 - P3) มีคุณสมบัติทางตรรกะและทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันเล็กน้อย พอร์ตแต่ละตัวจะมีแลตช์ข้อมูล (latch) ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เข้าหรือออกจากพอร์ต โดยแลตช์ข้อมูลนี้สามารถนำข้อมูลจากขาของพอร์ตหรือจากบัสข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาเก็บได้ และแลตช์ข้อมูลนี้ยังสามารถทำการส่งข้อมูลไปยังบัสข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไปยังขาของพอร์ตได้

เราจะเห็นได้จากรูปที่ 3.8 (ก) และ (ค) ว่าบิตในพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 มี controlled pull-up ซึ่งรูปแบบการทำงานของมันจะขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของพอร์ต

ถ้ามีการเชื่อมต่อ 8051 กับหน่วยความจำภายนอก (ซึ่งอาจเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล) เราจะนำพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 มาใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสที่ใช้อ้างอิงหน่วยความจำนี้ นอกจากนี้เรายังจะนำพอร์ตเบอร์ 0 มาใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยความจำนี้ด้วย ซึ่งหมายความว่าพอร์ตเบอร์ 0 จะมี 2 หน้าที่ หน้าที่แรกคือ ทำการส่งค่าไบต์ล่างของแอดเดรสขนาด 16 บิต (ที่เป็นตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการอ้างอิงถึง) หน้าที่ที่สองคือ ทำการรับข้อมูลจากหน่วยความจำหรือส่งข้อมูลไปยังหน่วยความจำที่อ้างอิง

พอร์ตเบอร์ 0 เพียงตัวเดียวสามารถทำงานทั้งสองอย่างได้อย่างไร เราทราบดีว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ้างอิงหน่วยความจำในไซเกิลแรก และแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยความจำในไซเกิลที่ 2 ของการทำงาน เพราะฉะนั้นการอ้างอิงหน่วยความจำและการส่งข้อมูลจะเกิดในเวลาที่ต่างกัน เราจึงสามารถกำหนดบัสที่เชื่อมต่อกับพอร์ตเบอร์ 0 ทำหน้าที่เป็นบัสข้อมูลในเวลาหนึ่งและเป็นบัสแอดเดรสในอีกเวลาหนึ่งได้ การทำงานแบบสลับหน้าที่นี้เรียกว่า *การมัลติเพลกซ์ (multiplex)* และเรียกบัสที่ทำงานเช่นนี้ว่า *บัสแอดเดรสข้อมูลร่วม (multiplexedaddress data bus)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงแผนผังทางตรรกะสำหรับบิตหนึ่ง ๆ ในพอร์ตแต่ละตัว เนื่องจากการทำงานของพอร์ตที่มีรูปแบบแตกต่างกันมันจึงมีโครงสร้างที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในตอนแรกเราจะนำค่าแอดเดรสขนาด 16 บิต ที่ใช้ในการอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกไปให้กับไบต์บนและไบต์ล่างของบัสแอดเดรส ต่อมาเราจะนำค่าแอดเดรสไบต์ล่างขนาด 8 บิตไปเก็บลงในแลตช์ข้อมูล (ที่เป็นหน่วยความจำภายนอก) และในช่วงไซเกิลที่สอง

ของการทำงานเราจะนำ 8 บิตล่างของบัสแอดเดรสนี้มาใช้เป็นบัสข้อมูลเพื่อใช้ในการโอนย้ายข้อมูล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีบัสแบบแอดเดรสข้อมูลร่วม จะใช้สัญญาณ ALE (address latch enable) ในการบอกกับแลตช์แอดเดรส (address latch) ว่าให้มันทำการเก็บค่าแอดเดรส 8 บิตล่างที่อยู่ในพอร์ตเบอร์ 0 และหลังจากที่แลตช์แอดเดรสได้ทำการเก็บค่าแอดเดรส 8 บิตล่างลงในหน่วยความจำแล้ว 8 บิตล่างของบัสก็จะเปลี่ยนหน้าที่เป็นบัสข้อมูล แต่บัสแอดเดรส 8 บิตบน ที่เชื่อมต่อกับพอร์ตเบอร์ 2 จะไม่ถูกเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเราไม่มีการนำบัสแอดเดรส 8 บิตบนนี้ไปทำหน้าที่เป็นบัสข้อมูล ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการเก็บค่าแอดเดรส 8 บิต บนนี้

เราจะพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8085 ของบริษัทอินเทล ได้นำบัสแอดเดรสข้อมูลร่วมนี้มาใช้เช่นเดียวกัน เทคนิคนี้จะช่วยลดจำนวนขาที่ต้องใช้สำหรับบัสแอดเดรสและบัสข้อมูลได้

เราสามารถนำพอร์ตเบอร์ 3 มาทำงานเป็นพอร์ต I/O สองทิศทางแบบขนานได้ดังพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 และเรายังสามารถนำพอร์ตเบอร์ 3 นี้มาใช้งานในหน้าที่พิเศษอื่น ๆ ได้ด้วย

รูปที่ 3.9 แสดงหน้าที่ต่าง ๆ ของแต่ละบิตในพอร์ตเบอร์ 3 ในโหมดการทำงานปกติและโหมดการทำงานพิเศษ

เบอร์ขาของพอร์ต	หน้าที่ปกติ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	บิต 0	RXD (พอร์ตอนุกรมที่ทำหน้าที่รับข้อมูล)
P3.1	บิต 1	TXD (พอร์ตอนุกรมที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูล)
P3.2	บิต 2	$\overline{INT0}$ (สัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกเบอร์ 0)
P3.3	บิต 3	$\overline{INT1}$ (สัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกเบอร์ 1)
P3.4	บิต 4	T0 (สัญญาณอินพุตเบอร์ 0 ที่ป้อนให้กับเคาน์เตอร์ไทเมอร์)
P3.5	บิต 5	T1 (สัญญาณอินพุตเบอร์ 1 ที่ป้อนให้กับเคาน์เตอร์ไทเมอร์)
P3.6	บิต 6	$\overline{WR}$ (สัญญาณให้ทำการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำภายนอกที่ใช้เก็บข้อมูล)
P3.7	บิต 7	$\overline{RD}$ (สัญญาณให้ทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกที่ใช้เก็บข้อมูล)

รูปที่ 3.9 แสดงหน้าที่พิเศษของขาต่าง ๆ ในพอร์ตเบอร์ 3

ขา 2 ขาของพอร์ตเบอร์ 3 จะถูกนำมาใช้งานร่วมกับพอร์ตเบอร์ 0 และพอร์ตเบอร์ 2 เมื่อ 8051 มีการใช้หน่วยความจำภายนอกซึ่งได้แก่ ขา P3.6 โดยขานี้จะเป็นขาส่งสัญญาณให้ทำการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำภายนอก (ขา /WR) และขา P3.7 โดยขานี้เป็นขาส่งสัญญาณให้ทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก (ขา /RD) เราจะไม่นำขาทั้งสองนี้มาใช้ถ้าหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจำภายนอกเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เนื่องจากว่าเราไม่สามารถเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำประเภทนี้ แต่เราจะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมนี้ได้โดยใช้สัญญาณควบคุม /PSEN

ขาอื่น ๆ ในพอร์ตเบอร์ 3 จะถูกนำมาใช้ในการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม (ขา P3.0 และขา P3.1) รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก (ขา INT0 และขา INT1) และป้อนสัญญาณอินพุตจากภายนอกไปให้กับเคาน์เตอร์ไทเมอร์ ขนาด 16 บิต (ขา T0 และขา T1) จากรูป 3.8 (ข) เราจะพบว่าในพอร์ตเบอร์ 1 มี controlled pull-up ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกใช้ในการโอนย้ายข้อมูลแบบขนานที่ละ 8 บิต

จากบล็อกไดอะแกรมที่แสดงสถาปัตยกรรมของ 8051 เราจะเห็นได้ว่าไม่มีรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ต I/O แต่ละตัวเลข พอร์ต I/O เหล่านี้จะรู้ได้อย่างไรว่ามันต้องทำงานในโหมดอ่านหรือเขียนข้อมูล คำตอบคือ คำสั่งที่ใช้งานพอร์ต I/O จะทำให้ 8051 ทำการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O และคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ในพอร์ตส่งข้อมูลออกก็จะเป็นการเขียนข้อมูลลงในพอร์ตส่งข้อมูลออกของ I/O

มีคำสั่ง 2 ชนิดที่เราสามารถใช้ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O คำสั่งชนิดแรกจะทำการอ่านข้อมูลจากแลตช์ข้อมูล ซึ่งเราสามารถใช้คำสั่งนี้ในการอ่านข้อมูลจากแลตช์ข้อมูล เปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อ่านได้ (ถ้าจำเป็น) และเก็บข้อมูลลงในแลตช์ข้อมูลตามเดิมได้ คำสั่งชนิดนี้มีชื่อว่า คำสั่งอ่าน-เปลี่ยนแปลง-เขียน (read-modify-write) รูปที่ 3.10 แสดงคำสั่งชนิดนี้ที่ทำงานกับพอร์ต I/O ของ 8051 คำสั่งชนิดนี้มีทั้งรูปแบบที่สามารถทำการอ้างอิงข้อมูลทีละไบต์ และรูปแบบที่ทำการอ้างอิงข้อมูลทีละบิต

คำสั่งอีกชนิดที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ต I/O จะทำการอ่านข้อมูลจากขาของพอร์ตโดยตรง เหตุผลที่เรามีคำสั่งในการอ้างอิง I/O ถึง 2 ชนิด เนื่องจากคำสั่งแบบอ่านเปลี่ยนแปลง เขียนที่ทำการอ้างอิงข้อมูลจากแลตช์ข้อมูลนั้นสามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากระดับศักดาไฟฟ้าที่ขาของพอร์ตได้ เช่น ถ้าเรานำบิตหนึ่งของพอร์ตมาเชื่อมต่อกับขาของเบสทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งโดยทรานซิสเตอร์จะทำงานเมื่อเรากำหนดให้บิตนั้นมีค่าทางตรรกะเป็น 1 เมื่อ 8051 ใช้คำสั่งที่ทำการอ่านค่าจากขาของพอร์ตโดยตรง ค่าที่อ่านได้จะมีค่าทางตรรกะเป็น 0 เนื่องจากข้อต่อระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่เป็นการไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด (forward bias) จะไม่ให้ระดับศักดาไฟฟ้าที่ขาของพอร์ตมีขนาดเกิน 0.7 โวลท์ แต่ถ้าเราใช้คำสั่งที่อ่านค่าของบิตนี้จากแลตช์ข้อมูลในพอร์ตเราจะได้ค่าทางตรรกะเป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANL	ทำการ AND เช่น ANL P1, A
ORL	ทำการ OR เช่น ORL P2, A
XRL	ทำการ EX-OR เช่น XRL P3, A
JBC	ทำการ jump ถ้าบิตมีค่าเป็น 1 และเคลียร์ค่าในบิต เช่น JBC P1.1 ตำแหน่งที่ต้องการ
CPL	ทำการคอมพลีเมนต์ค่าในบิต เช่น CPL P3.0
INC	ทำการเพิ่มค่า เช่น INC P2
DEC	ทำการลดค่า เช่น DEC P2
DJNZ	ทำการลดค่าและ jump ถ้าผลลัพธ์ไม่เป็น 0 เช่น DJNZ P3 ตำแหน่งที่ต้องการ jump
MOV PX.Y, C	นำค่าในบิตตัวทดไปเก็บในบิตที่ Y ของพอร์ตเบอร์ X
CLR PX.Y	เคลียร์ค่าบิต Y ในพอร์ต X
SET PX.Y	เซตค่าบิต Y ในพอร์ต X

รูปที่ 3.10 คำสั่งแบบอ่าน-เปลี่ยนแปลง-เขียน (read-modify-write)

พอร์ตอนุกรมของ 8051

คุณสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งของ 8051 คือ พอร์ตอนุกรมที่มีอยู่ในตัวชิป 8051 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไป การเพิ่มพอร์ตอนุกรมต้องเพิ่ม UART และต่อวงจรคุมหรือไอซีที่สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความซับซ้อนและมีราคาค่อนข้างสูง การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของ 8051 นั้นเป็นแบบสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (full duplex) ซึ่งหมายความว่ามันสามารถทำการรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน การเชื่อมต่อแบบอนุกรมนี้จะมีการพักข้อมูลที่รับเข้ามา (receive-buffered) ซึ่งหมายความว่าก่อนที่ข้อมูลชิ้นแรกจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ พอร์ตอนุกรมจะสามารถรับข้อมูลอนุกรมชิ้นที่สองได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลชิ้นแรกจะต้องถูกส่งไปยังไมโครคอลโทรลเลอร์ก่อนที่ข้อมูลชิ้นที่สองที่รับเข้ามาจะถูกนำไปเก็บในแลตช์ข้อมูล มิฉะนั้นข้อมูลชิ้นแรกที่อยู่ในนั้นจะถูกเขียนทับ

การเชื่อมต่อแบบอนุกรมนี้มีวิธีการใช้รีจิสเตอร์ 2 ตัว ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูล เราติดต่อกับรีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้ได้โดยการอ้างอิงรีจิสเตอร์พิเศษตัวหนึ่งที่มีชื่อว่า SBUF ถ้าเราทำการเขียนข้อมูลลง SBUF แสดงว่าเราได้เขียนข้อมูลลงรีจิสเตอร์ส่งข้อมูล แต่ถ้าเราทำการอ่านข้อมูลจาก SBUF แสดงว่าเราอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์รับข้อมูล จะเห็นได้ว่ารีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลทั้งสองนี้มีค่าแอดเดรสค่าเดียวกัน (เนื่องจากเราสามารถอ้างอิงรีจิสเตอร์ทั้งสองนี้ได้โดยใช้ค่าแอดเดรสที่เป็นตำแหน่งของ SBUF เพียงค่าเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม (serial port control register : SCON) จะเก็บข้อมูลที่ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม รูปที่ 3.11 แสดงความหมายของบิตแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0 SCON.7 กำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม (ดูตารางข้างล่าง)

SM1 SCON.6 กำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม (ดูตารางข้างล่าง)

SM2 SCON.5 บิตนี้จะถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัวในโหมดการทำงานที่ 2 และ 3 สำหรับในโหมด 2 หรือโหมด 3 นี้ถ้าบิต SM2 มีค่าเป็น 1 บิต RI จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง หากค่าในบิตที่ 9 ที่รับเข้ามามีค่าเป็น 0 สำหรับในโหมด 1 ถ้าบิต SM2 มีค่าเป็น 1 บิต RI จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าเกิดการรับบิตสตอปผิด สำหรับในโหมด 0 บิต SM2 จะมีค่าเป็น 0

REN SCON.4 บิตนี้จะถูกเซตหรือเคลียร์โดยโปรแกรมเพื่อทำการรับ/ไม่รับข้อมูล

TB8 SCON.3 บิตที่ 9 ในข้อมูลอนุกรมที่จะถูกส่งไป

RB8 SCON.2 บิตนี้จะมีค่าเท่ากับบิตที่ 9 ในข้อมูลอนุกรมที่รับเข้ามาในโหมดที่ 2 และโหมดที่ 3 สำหรับในโหมดที่ 1 ถ้าบิต SM2 มีค่าเป็น 0 บิต RB8 จะมีค่าเท่ากับค่าในบิตสตอปของข้อมูลที่รับเข้ามา สำหรับในโหมด 0 บิต RB8 จะไม่ถูกนำมาใช้งาน

TI SCON.1 แฟลก transmit interrupt จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ หลังจากได้มีการเลื่อนข้อมูลขนาด 8 บิตออกในโหมด 0 หรือเมื่อได้ทำการส่งข้อมูลจนพบบิตสตอปในโหมดอื่น หลังการส่งข้อมูลแบบอนุกรมค่าในบิตนี้จะถูกเคลียร์โดยซอฟต์แวร์

รูปที่ 3.11 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม (serial port control register: SCON)

บิต SM0 และ SM1 จะใช้ในการกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม (ซึ่งมีทั้งหมด 4 โหมด คือ โหมด 0,1,2 และ 3)

ในโหมด 0 พอร์ตอนุกรมจะเป็นเหมือนรีจิสเตอร์ที่เลื่อนค่าได้ (shift register) ซึ่งจะเลื่อนค่าตามสัญญาณนาฬิกาที่มีอัตราความถี่เท่ากับ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ใน 8051 สัญญาณนาฬิกานี้เป็นตัวกำหนดอัตราความเร็วในการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมที่เราเรียกว่า *อัตราบอด (baud rate)*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโหมดที่ 1 พอร์ตอนุกรมจะรับและส่งข้อมูลขนาด 10 บิต ซึ่งข้อมูลขนาด 10 บิตนี้ประกอบด้วยบิตสตาร์ต บิตข้อมูลขนาด 8 บิต และบิตสตอป 1 บิต ในโหมดการทำงานนี้

ไทเมอร์ (timer) ตัวหนึ่งใน 8051 จะถูกนำมาใช้กำหนดอัตราเร็วในการเคลื่อนย้ายข้อมูลของพอร์ตอนุกรม (หรือกำหนดอัตราบอด)

ในโหมดที่ 2 พอร์ตอนุกรมจะทำการรับและส่งข้อมูลทีละ 11 บิต ซึ่งข้อมูลขนาด 11 บิตนี้ประกอบด้วย ข้อมูลขนาด 8 บิต บิตที่ 9 (เป็นบิตที่เราสามารถกำหนดค่าได้) บิตสตาร์ต และบิตสตอป โดยบิตที่ 9 นี้จะมีค่าตรงกับบิต TB8 ของรีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตแบบอนุกรม (SCON) ในโหมดการทำงานนี้เราสามารถเลือกอัตราบอดให้มีค่าเป็น 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ใน 8051 ได้

การทำงานของพอร์ตอนุกรมในโหมดที่ 3 จะทำการรับและส่งข้อมูลทีละ 11 บิต และมีบิตที่ 9 ที่กำหนดค่าได้ โดยบิตนี้จะมีค่าตรงกับบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตแบบอนุกรม (SCON) โหมดที่ 3 นี้ทำหน้าที่เช่นเดียวกับโหมดที่ 2 ยกเว้นอัตราเร็วในการเคลื่อนย้ายข้อมูลจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 หลายตัวสามารถติดต่อกันได้โดยการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม เมื่อมีข้อมูลส่งมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดียว (จากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวอื่น) บิตที่ 9 ในข้อมูลที่รับเข้ามาจะทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ซึ่งจะบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดียวรู้ว่าพอร์ตอนุกรมของมันได้ทำการรับข้อมูลเข้ามาเก็บในที่พักข้อมูลและมันควรทำการโอนย้ายข้อมูลนี้เพื่อนำไปใช้ต่อไป

ใน 8051 อัตราบอดในโหมด 1 และ 3 จะถูกกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์เบอร์ 1 และเราสามารถเพิ่มอัตราบอดให้เป็นสองเท่าได้โดยการกำหนดค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ควบคุมกำลังให้มีค่าเป็น 1 ในรูปที่ 3.12 แสดงอัตราบอดขนาดต่าง ๆ ที่พบได้ในการเชื่อมต่อแบบอนุกรมของ 8051 เราจะเห็นว่าอัตราบอดจะขึ้นกับค่าเริ่มต้นที่ตั้งให้กับไทเมอร์เบอร์ 1 โหมดการทำงานของไทเมอร์ ค่าบิตใน SMOD และความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ 8051 บางครั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ความถี่นาฬิกาที่มีขนาดแปลก ๆ เช่น 11.059 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อให้อัตราบอดที่สร้างขึ้นมานั้นมีขนาดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราบอด	ความถี่ออสซิลเลเตอร์	ค่าในบิต SMOD	ไทเมอร์เบอร์ 1		
			C/$\overline{T}$	โหมด	ค่าที่อ่านไปเก็บใหม่
โหมด 0 สูงสุดได้ถึง 1 MHz	12 MHz	×	×	×	×
โหมด 2 สูงสุดได้ถึง 375 K	12 MHz	1	×	×	×
โหมด 1 และ 3 สูงสุดได้ถึง 62.5 K	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2 K	11.059 MHz	1	0	2	FDH
9.6 K	11.059 MHz	0	0	2	FDH
4.8 K	11.059 MHz	0	0	2	FAH
2.4 K	11.059 MHz	0	0	2	F4H
1.2 K	11.059 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.986 MHz	0	0	2	1DH
110	6 MHz	0	0	2	72H
110	12 MHz	0	0	1	FEEBH

รูปที่ 3.12 อัตราบอดในพอร์ตอนุกรมที่เราสามารถเลือกใช้ได้โดยกำหนดรูปแบบการทำงานของไทเมอร์และความถี่ของสัญญาณคล็อก

เคาน์เตอร์-ไทเมอร์ใน 8051

อุปกรณ์ I/O ชิ้นสุดท้ายที่พบได้ใน 8051 คือ เคาน์เตอร์ไทเมอร์ 8051 มีรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ขนาด 16 บิต 2 ตัว ซึ่งเราอาจเรียกรีจิสเตอร์ทั้งสองว่าเป็นไทเมอร์เบอร์ 0 และไทเมอร์เบอร์ 1 ไทเมอร์ทั้งสองเบอร์นี้สามารถทำงานได้ทั้งโหมดตัวนับ (counter) หรือโหมดตัวจับเวลา (timer)

ในโหมดที่ทำงานเป็นตัวจับเวลา รีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ขนาด 16 บิตจะเพิ่มตัวมันเองในทุก ๆ แมชีนไซเกิลของ 8051 แต่ละแมชีนไซเกิลจะใช้เวลาเท่ากับ 12 คาบของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ นั่นก็หมายความว่า อัตราความถี่ที่ตัวจับเวลาทำงานจะเท่ากับ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

สำหรับโหมดที่ทำงานเป็นตัวนับ รีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ขนาด 16 บิตจะเห็นค่าตัวมันเองเมื่อสัญญาณที่ขา T0 หรือขา T1 ของพอร์ตอนุกรมเบอร์ 3 เปลี่ยนแปลงค่าทางตรรกะจาก 1 ไปเป็น 0 แต่เนื่องจากว่าไทเมอร์ใน 8051 จะทำการตรวจสอบค่าขาทั้งสองนี้เป็นระยะแทนที่จะทำการตรวจสอบค่านี้ตลอดเวลา มันจึงต้องใช้เวลาถึง 2 แมชีนไซเกิลเพื่อที่จะทำการตรวจสอบค่าได้อย่างแน่นอนว่าค่าที่ขามีการเปลี่ยนแปลงค่าทางตรรกะจาก 1 ไปเป็น 0 จริง นั่นก็หมายความว่าความถี่สูงสุดที่ตัวนับทำงานได้คือ 1/24 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต C/T ในรีจิสเตอร์ควบคุมโหมดเคาน์เตอร์ไทเมอร์ (counter-timer control register : TMOD) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ข) จะกำหนดรูปแบบการทำงานของไทเมอร์ทั้งสองให้ทำหน้าที่เป็นตัวนับหรือตัวจับเวลา และบิต M1 และ M0 จะกำหนดโหมดการทำงานของไทเมอร์ซึ่งมีได้ถึง 4 โหมด

ในโหมด 0 ไทเมอร์ของ 8051 นั้นจะทำงานคล้ายกับไทเมอร์ของ 8048 ซึ่งเป็นวงจรนับขนาด 8 บิต ในโหมดนี้รีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์จะทำหน้าที่เหมือนกับเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 13 บิต โดยเมื่อค่าในรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าที่เป็น 1 ทั้งหมดเป็นค่าที่เป็น 0 ทั้งหมด (เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่าโอเวอร์โฟลว์) ก็จะทำการเซตค่าในแฟลกโอเวอร์โฟลว์ การเซตค่าในบิตนี้จะทำให้เกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ซึ่งจะบอกไมโครคอนโทรลเลอร์ให้รู้ว่าการเกิดโอเวอร์โฟลว์ในรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ จากรูปที่ 3.14 (ก) จะเห็นได้ว่าจะมีวงจรเกตที่ควบคุมสัญญาณที่ป้อนเข้ารีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์

ในโหมดที่ 1 จะมีรูปแบบการทำงานคล้ายกับโหมด 0 แต่จะมีข้อแตกต่างที่รีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์จะทำงานโดยใช้ทั้ง 16 บิต แทนที่จะใช้เพียง 13 บิต และในโหมด 1 นี้จะมีวงจรเกตควบคุมสัญญาณที่ป้อนเข้ารีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ (เช่นเดียวกับโหมด 0)

ในโหมด 2 รีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์จะใช้เพียง 8 บิตล่างในการนับ และเมื่อค่าในรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต นี้มีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่า 1 ทั้งหมดไปเป็นค่า 0 ทั้งหมด ก็จะทำให้เกิดการอ่านค่าขนาด 8 บิต จากไบต์บนของรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ไปให้กับไบต์ล่างของรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า *การอ่านค่าใหม่โดยอัตโนมัติ (automatic reload)* ซึ่งเราสามารถใช้คำสั่งในการกำหนดค่าไบต์บนของรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ได้ โหมดการทำงานนี้ทำให้เราสามารถกำหนดการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ในช่วงเวลาที่ต้องการได้ (สัญญาณอินเตอร์รัปต์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ที่ใช้ในการนับเกิดการโอเวอร์โฟลว์) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าออสซิลเลเตอร์ของ 8051 ทำงานที่ความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์ และไทเมอร์จะเพิ่มค่าในทุก ๆ 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ (หรือเพิ่มค่า 1 ล้านครั้งใน 1 วินาที) และถ้าเรากำหนดค่าในไบต์บนของรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ให้เป็น 100 ไทเมอร์นี้ก็จะทำให้เกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ในทุก ๆ 0.1 มิลลิวินาที

ในโหมดที่ 3 ไทเมอร์เบอร์ 1 จะใช้ในการนับได้อย่างเดียว แต่ไทเมอร์เบอร์ 0 จะแบ่งรีจิสเตอร์เคาน์เตอร์ไทเมอร์ขนาด 16 บิตของมันเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัว (เราเรียกรีจิสเตอร์ทั้งสองนี้ว่า TL0 และ TH0) โดยรีจิสเตอร์แต่ละตัวจะทำงานเป็นไทเมอร์ขนาด 8 บิต เพราะฉะนั้นการทำงานในโหมดที่ 3 นี้ เราจะมีเคาน์เตอร์ไทเมอร์ทั้งสิ้นจำนวน 3 ตัว โดยไท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมอร์ TL0 และ TH0 สามารถสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้และไทเมอร์เบอร์ 1 จะสามารถนับเลขที่มีจำนวนถึง 65,535 ได้

มีรีจิสเตอร์ 4 ตัว สำหรับควบคุมการทำงานของเคาน์เตอร์ไทเมอร์ใน 8051 โดยในไทเมอร์แต่ละตัวจะประกอบด้วยรีจิสเตอร์บนและรีจิสเตอร์ล่าง (high-order and low-order register) ซึ่งรีจิสเตอร์เหล่านี้จะเก็บเลขจำนวนหนึ่งขนาด 8 บิตที่สามารถนำไปตั้งค่าเริ่มต้นของวงจรนับซึ่งจะอยู่ในช่วง 00H ถึง FFH ได้

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1 แฟลกโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์เบอร์ 1 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ เมื่อเคาน์เตอร์ไทเมอร์เบอร์ 1 เกิดการโอเวอร์โฟลว์ ค่าในบิตจะถูกเคลียร์เมื่อหน่วยประมวลผลได้ทำการเรียกใช้โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

TR1 แฟลกควบคุมการทำงานของไทเมอร์เบอร์ 1 (run control bit) ซอฟต์แวร์จะเซตหรือเคลียร์ค่าในบิตนี้เพื่อเปิดหรือปิดไทเมอร์เบอร์ 1

TF0 แฟลกโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 0 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ เมื่อเคาน์เตอร์ไทเมอร์เบอร์ 0 เกิดการโอเวอร์โฟลว์ ค่าในบิตจะถูกเคลียร์เมื่อหน่วยประมวลผลได้ทำการเรียกใช้โปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัปต์

TR0 แฟลกควบคุมการทำงานของไทเมอร์เบอร์ 0 (run control bit) ซอฟต์แวร์จะเซตหรือเคลียร์ค่าในบิตนี้เพื่อเปิดหรือปิดไทเมอร์เบอร์ 0

IE1 แฟลกอินเตอร์รัปต์ภายนอกเบอร์ 1 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก (ที่ขา INT1) บิตนี้จะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์เมื่อได้มีการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แล้ว

IT1 บิตกำหนดรูปแบบของอินเตอร์รัปต์เบอร์ 1 จะถูกเซตหรือเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อกำหนดให้อินเตอร์รัปต์เป็นแบบ transition activated หรือเป็นแบบ level activated

IE0 แฟลกอินเตอร์รัปต์ภายนอกเบอร์ 0 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก บิตนี้จะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์เมื่อได้มีการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แล้ว

IT0 บิตกำหนดรูปแบบของอินเตอร์รัปต์เบอร์ 0 จะถูกเซตหรือเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อกำหนดให้อินเตอร์รัปต์เป็นแบบ transition activated หรือเป็นแบบ level activated

(n) รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของเคาน์เตอร์ไทเมอร์ (counter timer control register : TCON) เราสามารถอ้างอิงข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้ทีละบิตได้ บิตต่าง ๆ จะถูกนำมาใช้เพื่อระบุสถานะหรือกำหนดรูปแบบการทำงานของเคาน์เตอร์ไทเมอร์

รูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GATE	C/$\overline{T}$	M1	M2	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0
บิตควบคุม ไทเมอร์เบอร์ 1				บิตควบคุม ไทเมอร์เบอร์ 0			

GATE ถ้า TRx ใน TCON ถูกเซตและ GATE = 1 เคาน์เตอร์ไทเมอร์เบอร์ x ที่ทำหน้าที่เป็นตัวนับหรือตัวจับเวลาจะทำงานเมื่อขา INTx มีค่าเป็น 1 (เป็นการควบคุมการทำงานโดยฮาร์ดแวร์) แต่ถ้า GATE = 0 เคาน์เตอร์ไทเมอร์จะทำงานเมื่อ Trx = 1 (เป็นการควบคุมการทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์)

C/$\overline{T}$ บิตกำหนดให้เคาน์เตอร์ไทเมอร์ทำงานเป็นตัวนับหรือเป็นตัวจับเวลา ค่าในบิตนี้จะถูกเคลียร์เมื่อทำงานเป็นตัวจับเวลา (ซึ่งรับสัญญาณอินพุตจากคล็อก) บิตนี้จะถูกเซตเมื่อทำงานเป็นตัวนับ (ซึ่งรับสัญญาณอินพุตจากขา Tx ของพอร์ตเบอร์ 3)

M1 บิตเลือกโหมดการทำงาน (ดูตารางข้างล่าง)

M0 บิตเลือกโหมดการทำงาน (ดูตารางข้างล่าง)

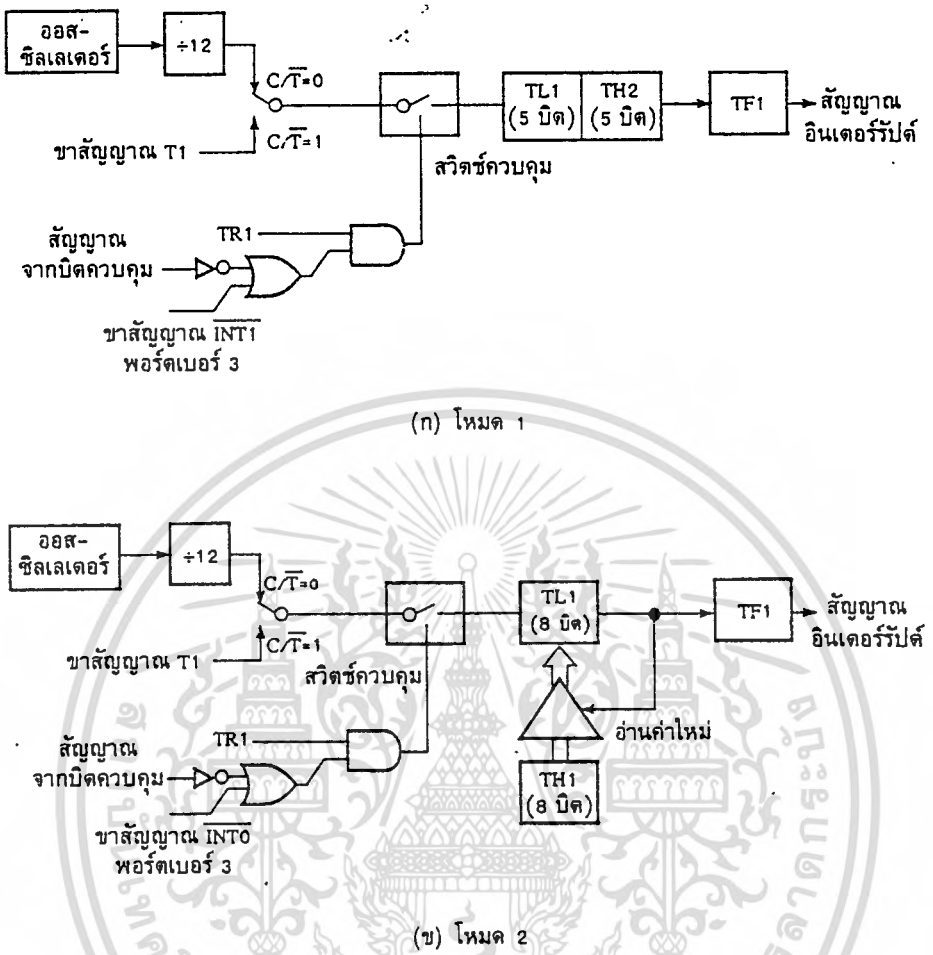
ตารางโหมดการทำงาน

M1	M0	โหมดการทำงานของเคาน์เตอร์ไทเมอร์	รายละเอียด
0	0	0	ตัวนับ/ตัวจับเวลาขนาด 13 บิต
0	1	1	ตัวนับ/ตัวจับเวลาขนาด 16 บิต
1	0	2	ตัวนับ/ตัวจับเวลาขนาด 8 บิต ที่ทำการอ่านค่าใหม่ไปเก็บได้
1	1	3	ไทเมอร์เบอร์ 0 จะแบ่งเป็น
1	1	3	– TL0 ซึ่งเป็นตัวนับ/ตัวจับเวลาขนาด 8 บิต ที่ควบคุมการทำงานโดยบิตควบคุมของไทเมอร์เบอร์ 0 – TH0 เป็นตัวนับ/ตัวจับเวลาขนาด 8 บิต ที่ควบคุมการทำงานโดยบิตควบคุมของไทเมอร์เบอร์ 1

(ข) รีจิสเตอร์ควบคุมโหมดการทำงานของเคาน์เตอร์ไทเมอร์ (counter timer mode control register) บิตควบคุมจะกำหนดโหมดและรูปแบบการทำงานของตัวนับ/ตัวจับเวลาในเคาน์เตอร์ไทเมอร์แต่ละตัว

รูปที่ 3.13 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังวงจรของเคาน์เตอร์

รีจิสเตอร์ควบคุมโหมดเคาน์เตอร์ไทเมอร์ (counter timer mode control register : TMOD) **และรีจิสเตอร์ควบคุมเคาน์เตอร์ไทเมอร์** (counter-timer control register : TCON) **จะถูกนำมาใช้ในการกำหนดโหมดการทำงานของเคาน์เตอร์ไทเมอร์ และควบคุมการทำงานของมัน รูปที่ 3.13 แสดงความหมายของบิตต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ทั้งสอง รูปที่ 3.14 (ก) และ (ข) แสดงแผนผังวงจรของเคาน์เตอร์ไทเมอร์ในโหมดการทำงานโหมด 1 และ โหมด 2**

ในการผลิตสินค้าที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน ถ้าผู้ออกแบบสามารถนำโหมดต่าง ๆ ใน 8051 (ที่ทำงานเกี่ยวกับ I/O) มาใช้ได้อย่างเหมาะสมแล้ว สินค้าที่ผลิตออกมานั้นจะสามารถทำงานได้อย่างมากมาย โดยจะใช้ชิ้นส่วนจำนวนไม่มาก แต่ถ้าผู้ออกแบบไม่เข้าใจโหมดการทำงานต่างๆ ใน 8051 ดีพอเขาก็อาจจะไม่สามารถใช้โหมดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้สินค้าที่ผลิตขึ้นมานั้นต้องใช้ฮาร์ดแวร์ภายนอกสนับสนุนการทำงานมากกว่าที่จำเป็นจริง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

แนวทางการออกแบบระบบ

สำหรับโครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิตอล แบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ ผู้จัดทำจึงได้ทำการสร้างระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิตอลขนาดเล็กขึ้นมาระบบหนึ่งโดยมีแนวทางการสร้างดังนี้

- เป็นการสื่อสารกันในระยะทางประมาณ 100 เมตรขึ้นไป
- อัตราการส่งข้อมูลไม่สูงนัก ประมาณ 300 bps
- รูปแบบการติดต่อสื่อสารเป็นแบบ half duplex ความถี่เดียว
- ออกแบบอัลกอริทึมในการสื่อสารด้วยตัวเอง
- เป็นเครือข่ายเดียว มีอุปกรณ์แม่ข่าย 1 ตัว และอุปกรณ์ลูกข่ายไม่มากนัก

โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

1. สำหรับอุปกรณ์เครื่องรับส่งวิทยุ เนื่องจากผู้จัดทำเพียงต้องการศึกษาระบบการทำงานของเท่านั้น ไม่ได้หวังให้มีอัตราการรับส่งที่สูง หรือมีรัศมีการรับส่งที่ไกลมาก จึงเลือกใช้การผสมสัญญาณแบบ FSK ซึ่งมีอัตราการส่งที่ไม่สูงมากนัก (แบบ PSK,QPSK จะมีอัตราการส่งที่สูงกว่า) แต่เนื่องจากแบบ FSK วงจรจะมีความซับซ้อนน้อยกว่า และอุปกรณ์ก็หาซื้อได้ไม่ยากนัก อีกทั้งเสถียรภาพก็น่าเชื่อถือได้ ซึ่งก็เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นทำโครงงานทางด้าน RF(Radio Frequency) จึงทำให้ผู้จัดทำเลือกใช้การผสมสัญญาณ แบบ FSK ในระบบที่จะสร้างนี้

ชิพที่ใช้สำหรับตัวส่งคือ MC2833 ของ MOTOROLA ส่วนชิพสำหรับตัวรับก็คือ MC3362 ของ MOTOROLA เช่นเดียวกัน เนื่องจากชิพทั้งคู่จะมีส่วนต่างๆ ของวงจรรับ-ส่ง อยู่แล้วในตัว ต่ออุปกรณ์เพิ่มอีกไม่มากนักก็จะสามารถใช้งานได้แล้ว

2. ระบบจะประกอบด้วย แม่ข่าย 1 ตัว ซึ่งจะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่นี้ ส่วนอุปกรณ์ลูกข่ายจะมี 2 ตัว ซึ่งเป็นจำนวนน้อยที่สุดที่ทำให้มั่นใจได้ว่าเมื่อต้องการขยายระบบให้ใหญ่ขึ้น แล้วจะไม่เกิดปัญหา โดยอุปกรณ์ลูกข่ายจะควบคุมด้วย MCS51 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมใช้งานกันทั่วไป

3. เนื่องจากเป็นการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งใช้ความถี่เพียงความถี่เดียวในการสื่อสาร ดังนั้นในขณะใดขณะหนึ่งจะมีอุปกรณ์แม่ข่าย หรือลูกข่ายเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่สามารถส่งข้อมูลออกอากาศได้ โดยอุปกรณ์แม่ข่ายจะเป็นตัวควบคุมการสื่อสารของระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์แม่ข่ายใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง และสามารถเชื่อมต่อกับระบบอื่นได้โดยง่าย

5. อุปกรณ์ลูกข่ายจะประกอบด้วย ตัวอ่านอุณหภูมิ และตัวทำความร้อนโดยอุปกรณ์ลูกข่ายจะส่งค่าอุณหภูมิให้กับอุปกรณ์แม่ข่าย ส่วนนำหน้าในการตัดสินใจว่าจะเปิดหรือปิดเครื่องทำความร้อน จะอยู่ที่อุปกรณ์แม่ข่าย โดยอุปกรณ์แม่ข่ายจะสั่งให้อุปกรณ์ลูกข่ายเปิดหรือปิดเครื่องทำความร้องอีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วงจรรับ-ส่งคลื่นวิทยุ

5. วงจรส่งคลื่นวิทยุ

ในภาคส่งคลื่นวิทยุนี้เราใช้ไอซีของโมโตโลร่าเบอร์ MC2833 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้แหล่งจ่ายไฟเพียง 2.8-9V กินกระแสไฟต่ำ ใช้ในระบบการส่งความถี่ในย่าน FM ใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมเพียงเล็กน้อย ทำให้โอกาสของการเกิดเสียงรบกวนมีน้องลง เนื่องจากวงจรส่วนสำคัญๆที่บรรจุอยู่ในไอซีแล้ว

วงจรส่วนสำคัญในไอซีแบ่งได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ๆคือ

1.ส่วนขยายสัญญาณข้อมูลเข้า ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเข้าให้อยู่ในระดับที่จะสามารถมอดูเลทสัญญาณได้ ในวงจรจะมีออปแอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ อินพุทที่มีขนาดเล็กให้มีขนาดที่จะมอดูเลทได้ (ขา 4 และ 5) ถ้าสัญญาณอินพุทมีขนาดใหญ่อยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใช้ส่วนนี้

2.ส่วนกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุพื้นฐาน(RF Oscillator) มีหน้าที่กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุพื้นฐานให้กับวงจร เพื่อจะนำไปผ่านวงจรคูณความถี่สัญญาณให้มีความถี่ที่สูงขึ้น(ขา 14 และ 15)

3.ส่วนมอดูเลทสัญญาณอินพุทกับคลื่นพาหะ ทำหน้าที่มอดูเลทสัญญาณอินพุทที่เข้ามา (ขา 2) โดยการเปลี่ยนค่าแอคแตนซ์ของวงจรซึ่งทำให้คริสตอลกำเนิดความถี่เบี่ยงเบนจากเดิมตามสัญญาณอินพุท

4.ส่วนขยายความถี่สัญญาณวิทยุ RF ทำหน้าที่เพิ่มความถี่วิทยุที่ผ่านการมอดูเลทแล้ว คือสัญญาณที่ออกมาจาก RF Oscillator โดยในวงจรจะมีวงจรขยายสัญญาณ 3 วงจร โดยการเลือกค่า LC ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ขึ้นทำให้เกิดการขยายสัญญาณวิทยุที่ความถี่ที่ต้องการได้

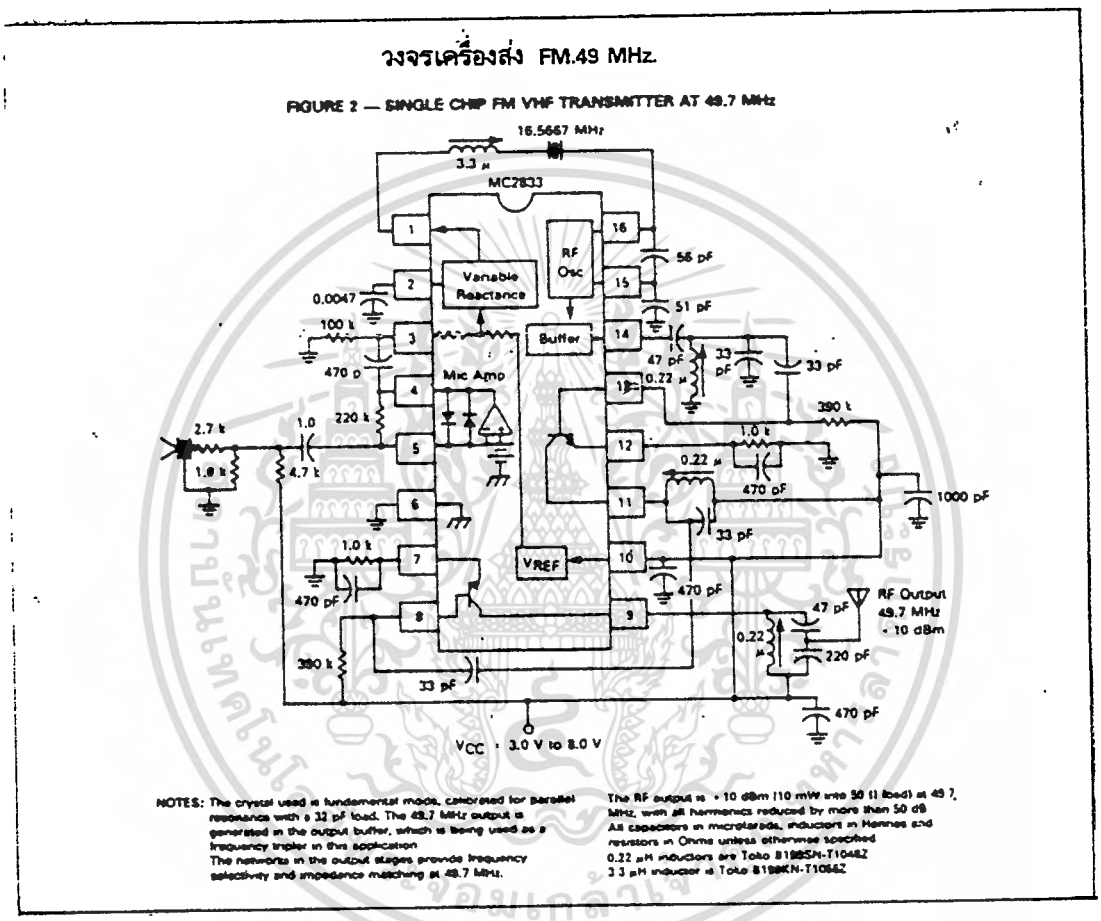
หลักการทำงานของวงจร

การทำงานของวงจรคือ ในขั้นแรกนั้นสัญญาณอินพุทจะเข้ามาที่ขา 5 และจะถูกขยายสัญญาณออกที่ขา 4 จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปมอดูเลทเข้าที่ขา 3 ของไอซี สัญญาณจากขา 3 นี้ จะถูกส่งเข้าไปมอดูเลทเข้ากับความถี่พื้นฐานที่สร้างขึ้นคือ 16.625 Mhz โดยมีส่วนมอดูเลททำหน้าที่นี้โดยค่าความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณอินพุทจะมีผลให้ค่ารีแอคแตนซ์ของวงจรมีค่าเบี่ยงเบนตามไปด้วยซึ่งส่งผลให้เกิดการมอดูเลทกับสัญญาณความถี่พื้นฐานที่สร้างขึ้นที่ขา 1 ทำให้ได้คลื่นวิทยุ RF ที่มอดูเลทแล้ว โดยมีสัญญาณพาหะ 16.625 Mhz เป็นคลื่นพาหะ หลังจากนั้นสัญญาณที่ถูกมอดูเลทแล้วจะถูกคูณความถี่ 3 เท่าแล้วออกมาที่ขา 14 ของไอซี ซึ่งจะได้ความถี่ในขณะนี้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49.875 Mhz จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปผ่านทรานซิสเตอร์อีกสองตัวที่ถูกจัดให้ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ความถี่นี้ให้มีกำลังส่งมากขึ้น

สัญญาณที่ได้ที่ขา 8 จะมีกำลังส่งที่ 10 dBm ที่แรงดันไฟเลี้ยง 5 V และมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม

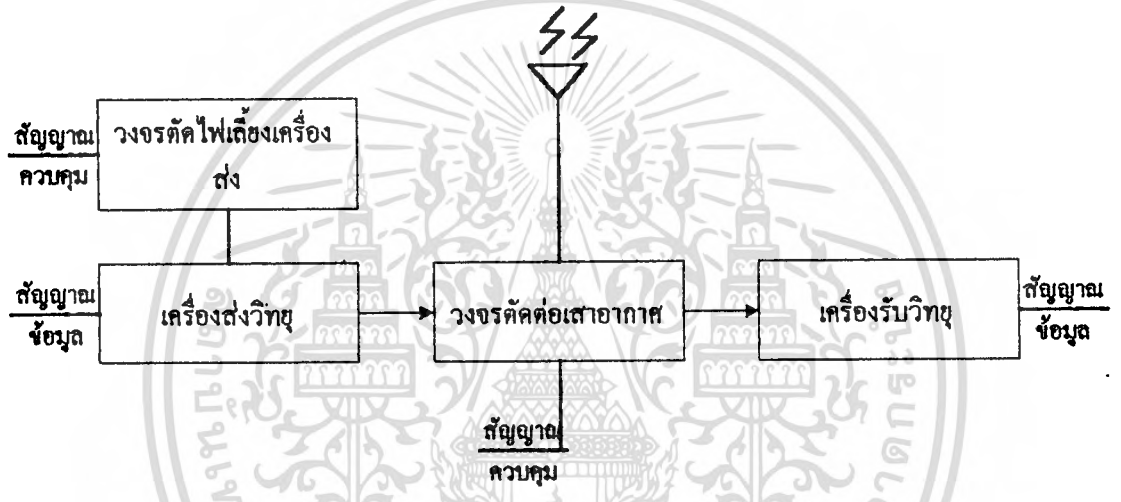


รูปที่ 5.1 วงจรส่งคลื่นวิทยุ FM ที่ 49Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโครงงานชิ้นนี้ใช้ ความถี่ในการติดต่อสื่อสารกัน ในระบบเพียงความถี่เดียว คือ 50 Mhz และเสาอากาศที่ใช้ในการรับส่งนั้นจะใช้เพียง 1 ต้นต่อ 1 ชุด ดังนั้นจึงต้องมีการทำการตัดแหล่งจ่ายไฟของวงจรเครื่องส่งเพื่อของอุปกรณ์ที่ในขณะนั้นไม่ได้มีการใช้ช่องสัญญาณอยู่เพื่อไม่ให้ส่งสัญญาณรบกวนการติดต่อสื่อสารที่กำลังดำเนินไปอยู่ และต้องทำวงจรตัดต่อเสาอากาศขึ้นมา เพื่อให้การส่งคลื่นวิทยุออกอากาศได้ผลที่ดีที่สุด

จากรูปข้างล่างเป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรตัดไฟเลี้ยงของเครื่องส่ง และวงจรตัดต่อเสาอากาศระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ



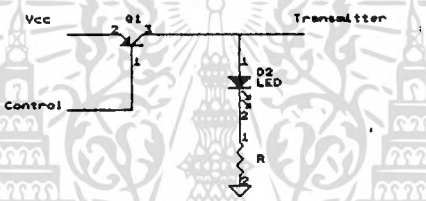
รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมการส่งสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตัดไฟเลี้ยง

ในส่วนนี้จะใช้สัญญาณควบคุมจากส่วนควบคุมของอุปกรณ์ที่อาจจะได้จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์หรือสัญญาณควบคุมที่ได้จากอุปกรณ์ลูกข่ายคือไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวงจรคือ

วงจรจะมีทรานซิสเตอร์หนึ่งตัวต่ออนุกรมกับไฟเลี้ยงของวงจรโดยมีสัญญาณควบคุมต่อเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งโดยปกติที่ไม่มีสัญญาณควบคุมทรานซิสเตอร์จะอยู่ในช่วงคัทออฟทำให้ไม่มีไฟเลี้ยงให้เครื่องส่ง และเมื่อต้องการส่งจะมีสัญญาณควบคุมออกมา ทำให้มีแรงดันไบอัสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว ทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เป็น สวิทช์ ต่อไฟเลี้ยงไปให้วงจรเครื่องส่ง

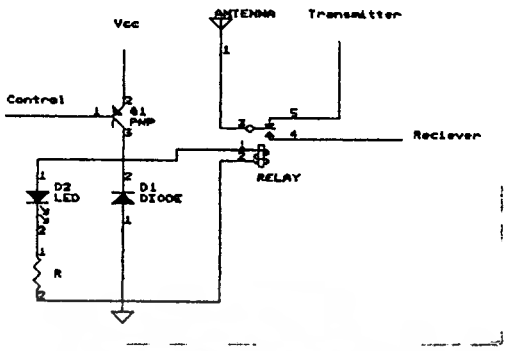


รูปที่ 5.3. วงจรตัดไฟเลี้ยงเครื่องส่ง

วงจรตัดต่อเสาอากาศ

เพื่อไม่ให้ส่วนของวงจรเครื่องส่งมีผลกับวงจรเครื่องรับที่จะทำให้โหลดของวงจรเปลี่ยนไป ถ้าเกิดต่อเอาท์พุทของวงจรเครื่องส่ง และอินพุทของวงจรเครื่องรับเข้ากับสายอากาศตรงๆ อันจะทำให้คุณภาพในการส่งสัญญาณเสียไป จึงจะต้องมีวงจรคอยตัดต่อเสาอากาศ ว่าในเวลาใดวงจรใดจะต้องใช้เสาอากาศก็จะตัดต่อให้ใช้ เพื่อไม่ให้เกิดผลต่อกันได้ โดยการที่จะรู้ได้ว่าจะตัดต่อเสาอากาศเวลาใดนั้นก็จะต้องมีสัญญาณควบคุมที่จะทำหน้าที่นี้ สัญญาณควบคุมที่ได้นี้จะมาจากสายสัญญาณควบคุมจากพอร์ตอนุกรม RS-232 C คือ RTS(Ready To Send) หรือถ้าเป็นอุปกรณ์ลูกข่ายก็จะมีสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4. วงจรต่อเสาอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วงจรเครื่องรับวิทยุแบบ FSK

ปัญหาสำคัญในการทำภาครับคือ การทำภาคโลคัลออสซิลเลเตอร์ที่มีเสถียรภาพดีๆ โดยรวมทั้งภาคขยายสัญญาณที่ดีพอสมควร เพื่อความสะดวกจึงใช้ ไอซีเบอร์ MC3362 ซึ่งมีส่วนต่างๆ ของวงจรเกือบทั้งหมด ต่ออุปกรณ์ภายนอกอีกไม่มากนักก็สามารถทำงานได้แล้ว และมีเสถียรภาพดีกว่าการนำเอาอุปกรณ์เป็นตัวๆ มาต่อเป็นวงจรทั้งหมด

การทำงานของวงจร

สัญญาณจากสายอากาศ 49.875 Mhz จะผ่านวงจรแมชชิ่งอิมพีแดนซ์ ผ่านเข้าขาที่ 1 ของ IC1 เพื่อเป็นการมิกซ์ครั้งที่ 1 กับความถี่โลคัลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 1 โดยความถี่โลคัลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 1 นี้จะควบคุมโดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้ภาคกำเนิดความถี่ควบคุมด้วยแรงดันภายในตัวไอซี โดยมีขดลวด L2 และตัวเก็บประจุ C7 เป็นเรโซแนนซ์แทงค์ ซึ่งจะทำงานที่ความถี่ 39.175 Mhz (วัดที่จุดทดสอบ TP1)

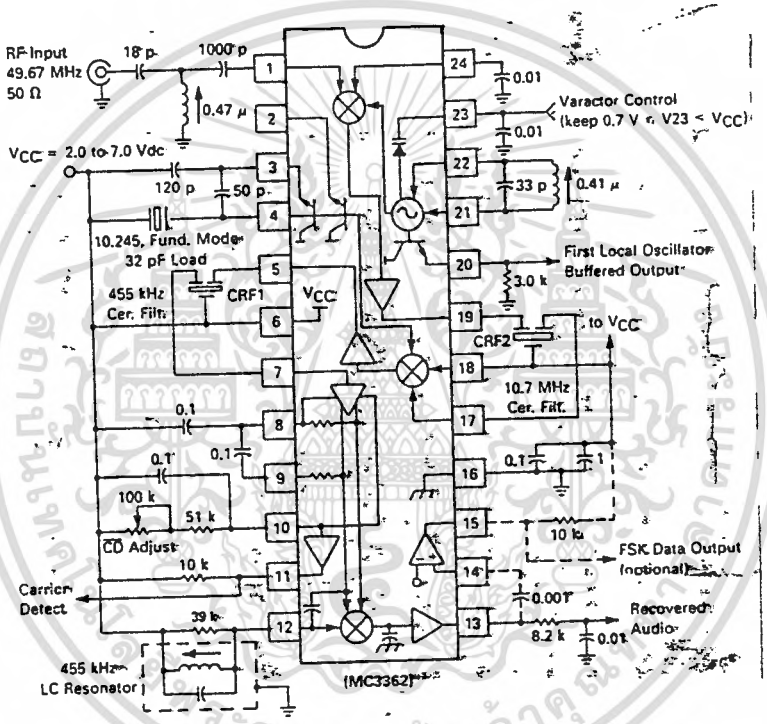
ความถี่ที่ได้จากการมิกซ์ครั้งที่ 1 คือ 10.7 Mhz จะออกมาที่ขา 20 แล้วผ่านตัวกรองความถี่โดยใช้เซรามิกฟิลเตอร์ CRU 1 ขนาด 10.7 Mhz แล้วจึงป้อนกลับเข้าไปในIC1 อีกครั้งหนึ่ง ทางขา 18 และ 19 เพื่อทำการมิกซ์ครั้งที่ 2

วงจรโลคัลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 2 ใช้คริสตอลความถี่ 10.245 Mhz เป็นตัวกำเนิดความถี่ป้อนเข้าที่ขา 3 และขา 4 เพื่อทำการมิกซ์กับความถี่ 10.7 Mhz ได้ความถี่ 455 kHz ออกมาที่ขา 5 ผ่านเซรามิกฟิลเตอร์ 455 kHz ป้อนกลับเข้าที่ขา 7 เพื่อป้อนให้ภาคลิมิเตอร์และดีเทคเตอร์ต่อไป

ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR2 ต่ออยู่ที่ขา 10 อันเป็นจุดตรวจสอบระดับสัญญาณทำหน้าที่เป็นตัวสเควลซ์ คือ จะให้สัญญาณเป็น Hi ออกมาที่ขา 11 หากตรวจจับคลื่นพาห์ไม่ได้

การดีเทคระบบเอฟเอ็มของ MC3362 เป็นแบบควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ มีขดลวด L3 เป็นดิสคริมิเนเตอร์ที่ความถี่ 455 kHz (ซึ่งใช้หม้อแปลง IF ของวิทยุเอเอ็มธรรมดาที่มีแกนปรับ สีดำ) เอาท์พุทที่เป็นสัญญาณความถี่เสียงจะได้ออกมาที่ขา 17 ผ่าน C9 แล้วป้อนกลับเข้าขา 14 เพื่อเข้าวงจรดีเทคเตอร์แบบ FSK ซึ่งอยู่ภายใน IC1 ได้เอาท์พุทออกมาที่ขา 15 เป็นข้อมูลดิจิตอลที่ส่งมากับคลื่นวิทยุ เพื่อใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 วงจรภาครับวิทยุแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การออกแบบอุปกรณ์แม่ข่ายการติดต่อสื่อสาร

ในบทนี้จะเป็นการออกแบบในส่วนของอุปกรณ์แม่ข่ายที่ใช้ในการติดต่อกับลูกข่ายที่ห่างกันโดยระยะทางให้สามารถสื่อสารกันได้อย่างเข้าใจ โดยในส่วนของอุปกรณ์แม่ข่ายจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้คือ

1.เครื่องรับ/ส่งวิทยุ เพื่อใช้ในการนำข้อมูลดิจิตอลของคอมพิวเตอร์ออกอากาศไปหาตัวลูกข่าย

โดยการมอดูเลทแบบ FSK ซึ่งในส่วนนี้ได้กล่าวไว้อย่างชัดเจนแล้วในบทที่ 6

2.วงจรแปลงสัญญาณ RS-232 C เป็นสัญญาณ TTL

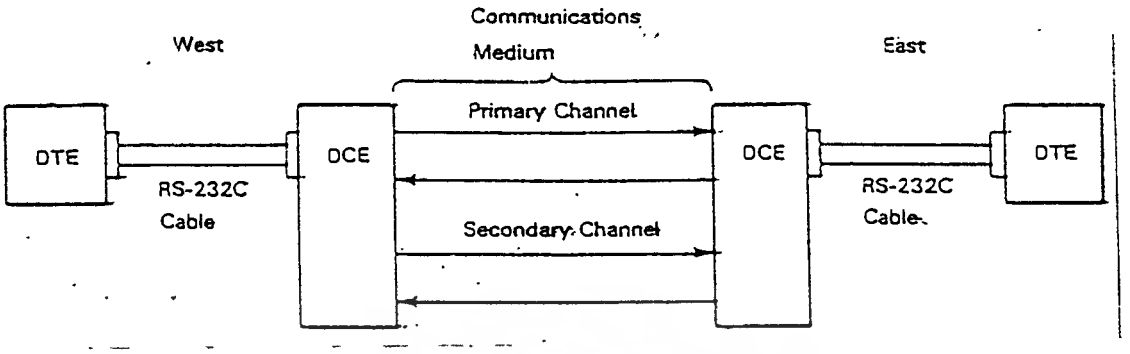
3.อัลกอริทึมการติดต่อสื่อสาร เมื่อสัญญาณไฟฟ้าจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์สามารถออกอากาศผ่านวงจรเครื่องรับ/ส่งวิทยุแล้ว ก็จำเป็นที่จะต้องมีรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนตายตัว ที่เมื่อทางด้านรับนั้นรับข้อมูลไปแล้วสามารถแปลความหมายของสิ่งที่ผู้ส่งต้องการได้ จึงต้องมีการวางรูปแบบการติดต่อสื่อสารให้ชัดเจนตายตัวลงไป เพื่อให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพมากที่สุด

6.1 การอินเตอร์เฟส RS-232 C

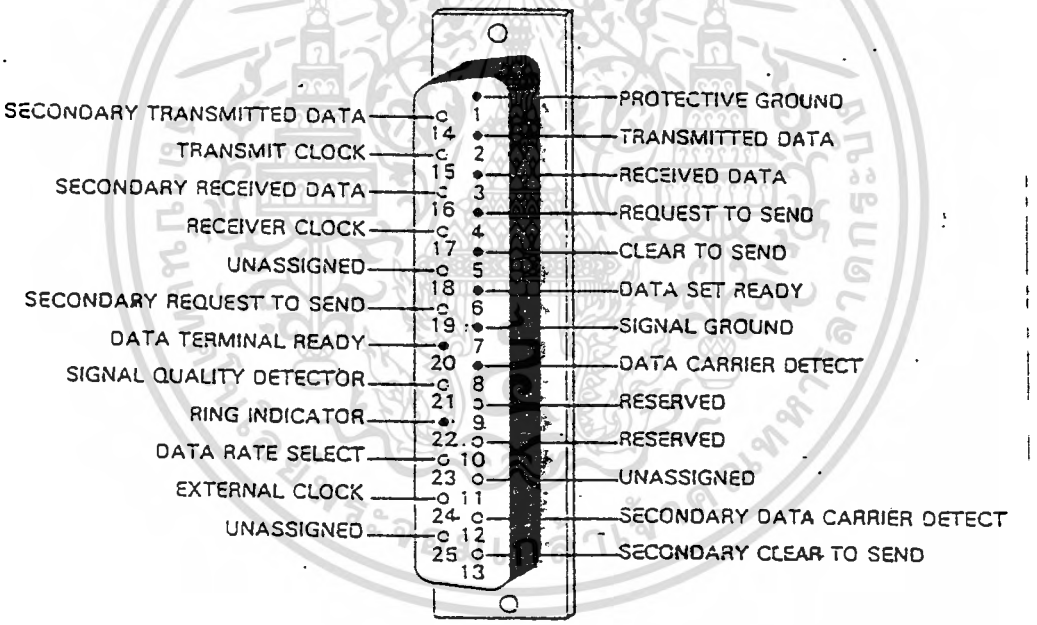
แบบจำลองของวงจรการสื่อสารแบบ RS-232 C

ข้อกำหนดตาม RS-232 C นั้น บอกถึงการเดินสายในเคเบิลที่ต่อระหว่าง DTE กับ DCE เป็นเคเบิลที่ต่อกับปลั๊ก 25 ขาที่เสียบเข้ากับคอนเนคเตอร์ "serial port" ที่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)หรืออุปกรณ์ปลายทางต่างๆ ปลั๊กนี้มีลักษณะดังแสดงในรูป ประการแรกข้อกำหนดจะกำหนดระดับโวลเตจและคุณสมบัติทางไฟฟ้าอย่างอื่นของสายในเคเบิล พร้อมทั้งอธิบายหน้าที่ของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แบบจำลองของวงจรการสื่อสารที่ใช้ RS-232 C

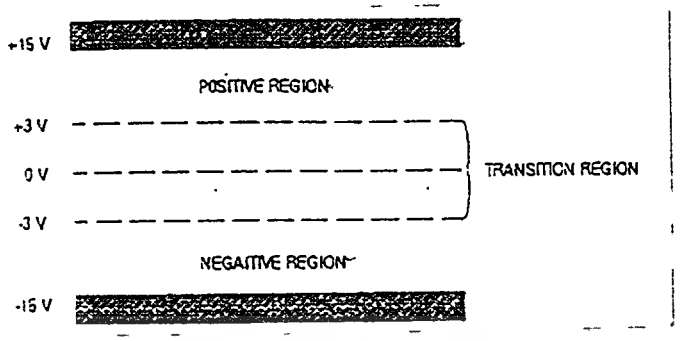


รูปที่ 6.2 RS-232 C Female Connector

ข้อกำหนดทางไฟฟ้า

มีรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของสัญญาณไฟฟ้าบนสายแต่ละสายในเคเบิล RS-232 C คือ ข้อจำกัดเกี่ยวกับโวลเตจซึ่งถูกกำหนดลงในสองบริเวณดังแสดงในรูป บริเวณบวก (positive region) อยู่ระหว่าง +3 โวลท์ถึง +15 โวลท์ DC และบริเวณลบ (negative region) อยู่ระหว่าง -3 โวลท์ ถึง -15 โวลท์ DC บริเวณระหว่าง 3 ถึง +3 ถือเป็นบริเวณเปลี่ยนถ่ายสถานะ (transition region) มีข้อกำหนดให้สัญญาณจะมีสถานะอยู่ในบริเวณนี้ได้ไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ในบริเวณเปลี่ยนถ่ายสถานะนี้จะไม่มีการกำหนดสถานภาพให้กับสัญญาณแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.3 ระดับโวลท์เตจของสัญญาณที่ RS-232 C กำหนดใช้

บริเวณเหล่านี้ใช้เกี่ยวพันกับสถานะไบนารีของสายสัญญาณในลักษณะที่เป็นเอกเทศ การแปลความหมายของระดับโวลท์เตจขึ้นอยู่กับหน้าที่ของสาย ซึ่งกำหนดแบ่งเป็นไปตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 หน้าที่ของสายและความหมายของโวลท์เตจที่กำหนดให้

WIRE FUNCTION	VOLTAGE LEVEL	
	Positive	Negative
data	SPACE (0)	MARK (1)
Modem Control & Timming	On (asserted)	Off (negated)

RS-232 C นั้นจำกัดค่าความจุไฟฟ้าของสายสัญญาณ (วัดเทียบกราวน์) อย่างมากที่สุดคือ 2500 pF สำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวนและช่องว่างระหว่างสายอย่างสามัญทั่วไป สายยาวประมาณ 50 ฟุต จะมีค่าความจุไฟฟ้าประมาณนั้น ดังนั้นถ้าไม่ใช้สายชนิดพิเศษแล้ว ระยะห่างมากสุดระหว่าง DTE และ DCE คือ 50 ฟุต หรือประมาณ 15 เมตร

ขาขั้วต่อ RS-232 C และหน้าที่มีดังนี้

ขาที่ 1 และขาที่ 7 เป็นขากราวน์ โดยขาที่ 1 เป็นกราวน์ของเครื่องเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการป้องกันสัญญาณรบกวนโดยรอบ และลดการสอดแทรกของสัญญาณอันจะเกิดมีขึ้นได้ ขาที่ 7 เป็นขากราวน์ซึ่งใช้เพื่อต่อให้เกิดเส้นทางหรือจุดอ้างอิงร่วมกันของสัญญาณทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลสัญญาณนาฬิกา หรือสัญญาณควบคุมต่างๆ ขา 7 นั้นจำเป็นต้องต่อระหว่าง DTE และ DCE เพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	Signal Name	Direction DTE	Direction DCE	Abbreviation
1	PROTECTIVE (FRAME) GROUND			
2	TRANSMIT DATA	→		XMT
3	RECEIVE DATA		←	RCV
4	REQUEST TO SEND	→		RTS
5	CLEAR TO SEND		←	CTS
6	DATA SET READY		←	DSR
7	SIGNAL GROUND (COMMON RETURN)			GRD
8	CARRIER DETECT		←	CAR_DET
9.	–			
10	–			
11	–			
12	SECONDARY CARRIER DETECT		←	SEC_CAR_DET
13	SECONDARY CLEAR TO SEND		←	SEC_CTS
14	SECONDARY TRANSMIT DATA	→		SEC_XMT
15	TRANSMIT CLOCK (DCE SOURCE)		←	XMT_CLK
16	SECONDARY RECEIVE DATA		←	SEC_RCV
17	RECEIVE CLOCK		←	RCV_CLK
18	–			
19	SECONDARY REQUEST TO SEND	→		SEC_RTS
20	DATA TERMINAL READY	→		DTR
21	SIGNAL QUALITY DETECTOR		←	SQD
22	RING INDICATOR		←	RI
23	DATA RATE SELECTOR	→		DR_SEL
24	TRANSMIT CLOCK (DTE SOURCE)	→		XMT_CLK
25	–			

ตารางที่ 6.2 การกำหนดขาของขั้วต่อ RS-232 C

ขาที่ 2 และขาที่ 3 เป็นขาสำหรับส่งและรับข้อมูลตามลำดับ คำว่าส่งหรือรับในที่นี้ให้ยึดเอาตัว CPU หรือ DTE เป็นหลักว่าเป็นผู้ส่งหรือผู้รับ ตามเกณฑ์ของ RS-232 C DTE จะส่งข้อมูลออกมาที่ขา 2 และรับข้อมูลที่ขา 3

ขาที่ 4 และ 5 คือขา RTS และ CTS สัญญาณบนขา 4 นั้น DTE ใช้แสดงต่อ DCE เมื่อประสงค์จะส่งข้อมูล สัญญาณ RTS นี้อาจใช้เพื่อเปิดเครื่องโมเด็ม DTE จะไม่ส่งข้อมูลจนกระทั่งได้รับสัญญาณ CTS บนขา 5 จาก DCE ซึ่ง CTS เป็นสัญญาณตอบรับจาก DCE ว่าตัว DCE นั้นพร้อมในการสื่อสารแล้ว ในกรณีที่ DCE มีความพร้อม และเตรียมคลื่นพาห์ที่จะใช้ในการส่งข้อมูลอยู่แล้ว ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องหน่วงเวลาระหว่าง RTS และ CTS

ขาที่ 6 และ 20 เป็นขา DSR และ DTR สัญญาณ DTR นั้น DCE ใช้แจ้ง DTE ให้รู้ว่าโมเด็มได้เปิดเครื่องรออยู่แล้ว และก็ไม่ได้ปฏิบัติตัวอยู่ในโหมดทดลอง (test mode) กล่าวคือ ชุดสื่อสาร (communication set) นั้นเตรียมพร้อมอยู่แล้ว สัญญาณ DTR แจ้ง DCE ในการพร้อมที่จะตอบรับการสื่อสารที่จะมีผ่านโมเด็มเข้ามาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาที่ 8 เป็นขาที่ใช้ในการตรวจจับการรับสัญญาณจากสาย บางครั้งอาจเรียกว่า data carrier detect แทนคำว่า carrier detect ที่ใช้ในตาราง modem จะทำการยืนยันด้วยสัญญาณ CAR-DET ในเมื่อมันได้รับสัญญาณคลื่นพาห์ที่มีระดับพอเพียงกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในการรับส่งข้อมูล DTE ส่วนใหญ่ต้องการสัญญาณนี้ ก่อนที่จะมีการยอมส่งหรือรับข้อมูล และด้วยเหตุนี้เอง ในการส่งข้อมูลที่ไม่ผ่านโมเด็ม (การส่งข้อมูลโดยตรงระหว่าง DTE ต่อ DTE) ขาที่ 8 นั้นปรกติจะถูกต่อโดยตรงกับขาที่ 20

ขาที่ 22 เป็นขา RI(Ring Indicator) สัญญาณนี้เป็นสัญญาณที่ DCE บอก DTE ว่ามีการเรียกโทรศัพท์เข้ามาตามสายปรกติ โมเด็มจะถูกออกแบบให้เสมือนต่อโดยตรงอยู่กับสายโทรศัพท์ ในกรณีที่โมเด็มเป็นแบบตอบรับอัตโนมัติ โมเด็มจะมีความสามารถในการตรวจรับสัญญาณเรียกเข้ามาทางโทรศัพท์ได้ และจะส่งสัญญาณ RI สู่ DTE ในขณะที่มีสัญญาณเรียก (ringing tone) เข้ามา และโมเด็มจะทำการตอบรับโดยการจัดวงจรเสมือนมีการยกหูโทรศัพท์รับ เมื่อได้คำสั่งจาก DTE ซึ่งปกติ DTE จะสั่งให้โมเด็มตอบรับการสื่อสารนั้นโดยใช้สัญญาณ DTR ส่งผ่านขาที่ 20

ขาที่ 15,27 และ 24 นั้นจะใช้เมื่อโมเด็มทำงานส่งแบบซิงโครนัส เพราะโมเด็มทางด้านส่งจะต้องส่งข้อมูลบางอย่าง (0 หรือ 1) ที่แต่ละช่วงเวลาบิท (bit time) โมเด็มจะควบคุมจังหวะสัญญาณนาฬิกาที่ร่วมมาด้วยกันออกมาด้วย ขาที่ 15 และขาที่ 17 จะใช้สนองความต้องการเหล่านี้ และในกรณีที่สัญญาณควบคุมไม่ได้เกิดจากโมเด็มทางด้านเครื่องส่ง เช่นในกรณีที่มีการมัลติเพล็กซ์รวมกับสถานีอื่น จะใช้การควบคุมผ่านขาที่ 24 และสำหรับขาที่ 21 นั้นจะใช้เพื่อแสดงว่าคลื่นพาห์ที่รับเข้ามานั้นมีคุณสมบัติเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว

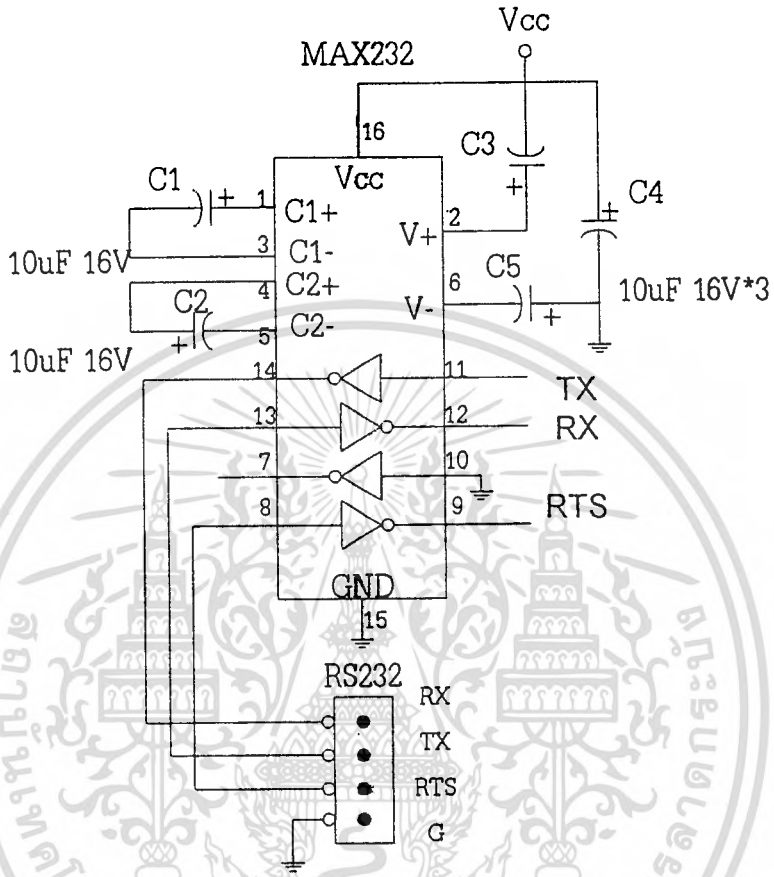
ขาที่ 23 ใช้เพื่อส่งสัญญาณเลือกอัตราการส่งสัญญาณข้อมูล ในกรณีที่โมเด็มเป็นแบบชนิดที่สามารถเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลได้ จะใช้ขาที่ 23 นี้เป็นตัวควบคุม อัตราการส่งข้อมูลที่ใช้นั้นปรกติโมเด็มทางด้านส่งจะเป็นตัวเลือกอัตราการส่งข้อมูลนี้ และจะแจ้งให้ทั้ง DTE ด้านส่งและโมเด็มทางด้านรับให้บอก DTE ด้านรับอีกต่อหนึ่ง

ขาที่ 12,13,14,16 และ 19 เป็นขาสัญญาณที่ใช้กับช่องสัญญาณรอง โมเด็มบางเครื่องจะมีช่องสัญญาณใช้สองช่องคือช่องสัญญาณหลัก และช่องสัญญาณรอง ขาสัญญาณทั้ง 5 ของช่องสัญญาณรองนั้น มีหน้าที่เหมือนกับหน้าที่ทางช่องสัญญาณหลัก ต่างกันแต่ว่าอัตราการส่งสัญญาณทางช่องสัญญาณรองนั้น ปกติมักจะช้ากว่าอัตราการส่งของช่องสัญญาณหลัก และช่องสัญญาณรองนั้นจะมีทิศทางการส่งสัญญาณสวนกันกับทิศทางของช่องสัญญาณหลัก

ลักษณะของข้อมูลที่ส่งผ่านอินเตอร์เฟส RS-232 C นั้นเป็นการส่งแบบลำดับ อาจจะเป็นแบบอะซิงโครนัส หรือแบบซิงโครนัสก็ได้ ขึ้นอยู่กับ DTE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วงจรแปลงระดับสัญญาณ RS-232 C เป็น TTL



6.3 อัลกอริทึมการติดต่อสื่อสาร

6.3.1 รูปแบบคำสั่งที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

เมื่อผู้ใช้ต้องการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ลูกข่าย จะต้องส่งข้อมูลที่มี Packet รูปแบบดังนี้คือ

ID	HOS	COMMAND	SUM	EOT

COMMAND: ASCII 81 Read Temperature

ASCII 82 Read Switch

ASCII 83 ON Switch

ASCII 84 OFF Switch

แต่ละบล็อกมีความยาวของข้อมูล 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายชุดของคำสั่งในการติดต่อสื่อสาร

-ID คือรหัสประจำตัวของอุปกรณ์ลูกข่ายแต่ละตัว ถ้าต้องการติดต่อกับลูกข่ายตัวใดก็ทำการส่ง ID ให้ตรงกับ ID ของลูกข่ายตัวนั้น

-(Head Of Send)HOS รหัส ASCII 01 เป็นไบท์เริ่มต้นของการส่งข้อมูล

-Command เป็นคำสั่งที่ต้องการให้ลูกข่ายทำงานตามที่ต้องการ ประกอบด้วย

-รหัส ASCII 81 เป็นคำสั่งในการบอกให้ลู กข่ายอ่านค่าอุณหภูมิกลับมา

-รหัส ASCII 82 เป็นคำสั่งในการบอกให้ลูกข่ายอ่านค่าของสวิทช์เครื่องทำอุณหภูมิว่าเปิด(OFF) หรือ ปิด(ON)

-รหัส ASCII 83 เป็นรหัสคำสั่งในการให้ลูกข่ายทำการปิดสวิทช์(ON) เครื่องทำอุณหภูมิ

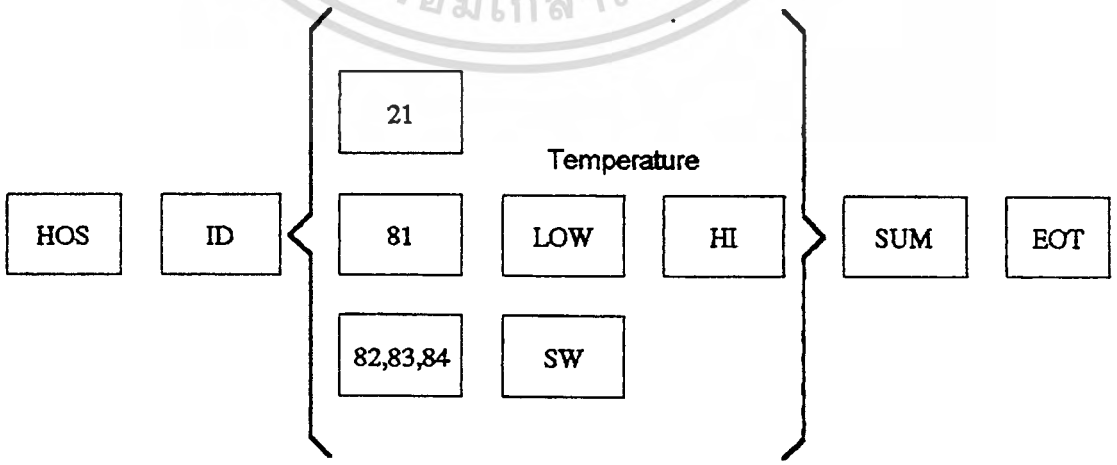
-รหัส ASCII 84 เป็นคำสั่งในการให้ลูกข่ายทำการเปิดสวิทช์(OFF) เครื่องทำอุณหภูมิ

-รหัส ASCII 85 เป็นคำสั่งยกเลิกการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน

-End Of Transmission(EOT) รหัส ASCII 04 เป็นรหัสจบการส่งข้อมูล 1 Packet เพื่อให้รู้ว่าหลังจากไบต์นี้ไม่มีข้อมูลอีกแล้ว จะตามด้วยไบต์ Check Sum เลย0

-Check Sum เป็น ไบต์ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล เกิดจากผลรวมของไบต์หน้าไบต์นี้ทั้งหมดรวมกันแบบไม่สนใจตัวทด

เมื่อลูกข่ายตอบรับกลับมาจะส่งรูปแบบของข้อมูลที่เป็น Packet ดังนี้คือ



แต่ละบล็อกมีความยาวของข้อมูล 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-(Head OF Send)HOS รหัส ASCII 01 เป็นไบท์เริ่มต้นของการส่งข้อมูล

-ID คือรหัสประจำตัวของลูกข่าย

-Reply การตอบรับคำสั่งของแม่ข่ายโดยส่งคำสั่งเดิมกลับไปตามคำสั่งที่ได้รับ

-รหัส ASCII 21 เมื่อมีการตรวจสอบพบข้อผิดพลาดของข้อมูล

-รหัส ASCII 81 เพื่อให้แม่ข่ายรู้ว่าเป็นการตอบการอ่านค่าอุณหภูมิ และค่าที่จะตามมาคือ อุณหภูมิที่แม่ข่ายสั่งให้อ่านมา

-รหัส ASCII 82,83,84 เพื่อให้แม่ข่ายรู้ว่าเป็นการตอบการอ่านค่า และเซตค่าของสวิทช์ของเครื่องทำอุณหภูมิแล้ว และค่าที่ตามมาคือสถานะของสวิทช์ในปัจจุบัน

-Data คือข้อมูลที่ลูกข่ายอ่านให้กับแม่ข่าย มีได้ 2 อย่างคือ อุณหภูมิกับ ตำแหน่งของสวิทช์เครื่องทำอุณหภูมิ

-ถ้าเป็นค่าของอุณหภูมิ จะประกอบด้วย 2 ไบต์ โดยไบต์แรกเป็นค่าขนาดของอุณหภูมิ ไบต์ที่ 2 เป็นเครื่องหมายของอุณหภูมิว่าเป็นบวกหรือลบ โดยถ้าเป็น 0 คืออุณหภูมิมีค่าเป็นบวก ถ้าเป็น 1 อุณหภูมิมีค่าเป็นลบ

-ถ้าเป็นค่าของตำแหน่งการปิดหรือเปิดของสวิทช์เครื่องทำอุณหภูมิ จะมี 1 ไบต์ โดยจะใช้บิทที่ 4 เป็นตัวบอกเท่านั้นไม่สนใจบิทอื่นๆ คือถ้าบิท 4 เป็น 1 แสดงว่าเครื่องทำอุณหภูมิกำลังทำงานอยู่ ถ้าบิท 4 เป็น 0 แสดงว่าเครื่องทำอุณหภูมิไม่ทำงาน

-End Of Transmission(EOT) รหัส ASCII 04 เป็นรหัสจบการส่งข้อมูล 1Packet

-Check Sum ใช้ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งไปเหมือนกับกรณีการส่งข้อมูลของแม่ข่าย

6.3.2 เริ่มต้นการติดต่อสื่อสาร

การติดต่อสื่อสารในระบบนี้ได้ออกแบบให้มีการติดต่อสื่อสารโดยให้อุปกรณ์แม่ข่ายเป็นผู้เริ่มต้นและบอกการยกเลิกการสื่อสารเท่านั้น ลูกข่ายไม่มีสิทธิในการเริ่มต้น และบอกยกเลิกการสื่อสารเลย

เมื่อเริ่มต้นที่แม่ข่ายต้องการจะติดต่อกับลูกข่ายตัวใด ทุกๆครั้งจะต้องทำการ initialize port ของคอมพิวเตอร์ให้มีเฟรมของการส่งข้อมูลดังนี้คือ

คือจะต้องเซตให้บิทพาริตี้ มีค่าเป็น 1 เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ปลายทางจะมีฟังก์ชันการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่จะทำการตรวจบิทที่ 9 ของข้อมูลว่าเป็น 1 หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการตรวจสอบไบต์แรกของข้อมูลนั้นว่าใช่รหัส ID ของตนหรือไม่ ถ้าตรวจสอบแล้วว่าใช่ ก็จะนำคำสั่งที่ตามมาไปประมวลผลเพื่อตอบกลับไปยังผู้ใช้งาน แต่ถ้าบิทที่ 9 ไม่ใช่ 1 ไมโครคอนโทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลเลอร์ก็จะไม่มีการตรวจสอบข้อมูลเลย หรือถ้าตรวจสอบแล้วไม่ใช่ข้อมูล ID ของตนเองก็จะไม่มีการตอบกลับออกมา

ต่อจากชุดข้อมูลชุดแรกที่ผู้ใช้ส่งออกไปแล้ว นั้นจะต้องทำการ initialize port เป็นครั้งที่ 2 โดยเซตบิทพาริตี้เป็น 0 เพื่อจะทำการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ลูกข่ายที่ต้องการสื่อสารด้วย และเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ลูกข่ายตัวอื่นๆมีการตรวจสอบรหัส ID เพราะข้อมูลที่รับ/ส่งกันในระหว่างสื่อสารกันอยู่อาจจะตรงกับ ID ของตัวลูกตัวอื่นทำให้ ลูกข่ายตัวอื่นส่งข้อมูลออกมารบกวนการสื่อสาร ทำให้การสื่อสารถูกรบกวนจนเสียหายได้

6.3.3 เมื่อต้องการที่จะยกเลิกการติดต่อสื่อสาร

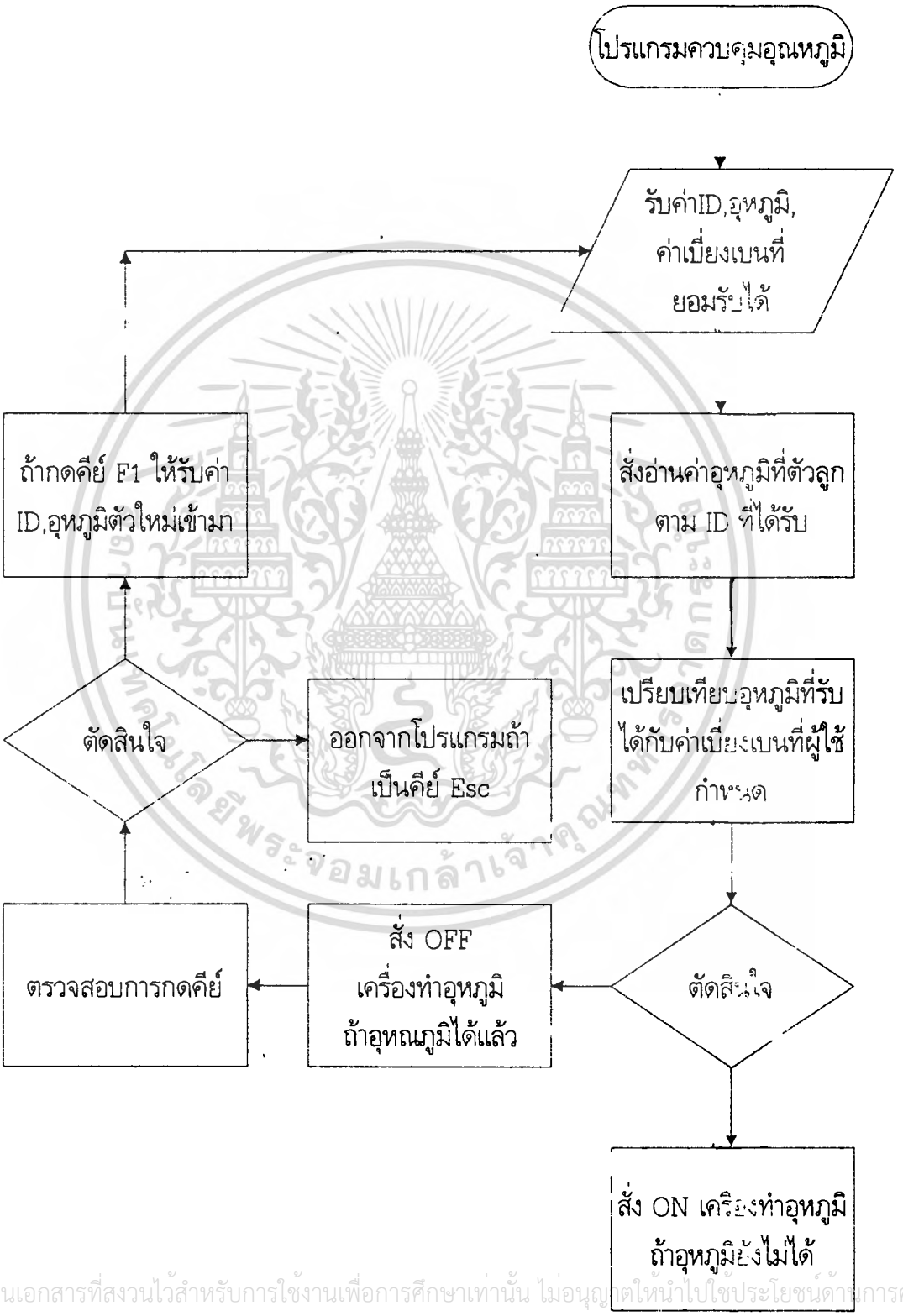
เมื่อต้องการยกเลิกการสื่อสารระหว่างกันอุปกรณ์แม่ข่ายจะเป็นตัวตัดการสื่อสารเอง โดยการส่งรหัสคำสั่งที่หมายถึงการยกเลิกการสื่อสาร เมื่อลูกข่ายได้รับคำสั่งก็จะไม่มีการส่งข้อมูลออกมาอีกเป็นการจบการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน อุปกรณ์แม่ข่ายก็จะสามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารกับลูกข่ายตัวอื่นๆ ได้โดยกลับไปเริ่มต้นในข้อ 1 ใหม่

6.3.4 ตรวจสอบความผิดพลาดจากการส่งข้อมูล

ข้อมูลในแต่ละ packet ของการส่งข้อมูลจะมี ไบต์ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลต่อท้ายเสมอ เพื่อกันความผิดพลาดจากการส่งข้อมูล โดยไบต์สุดท้ายจะเป็นการรวมทางพีชคณิตของไบต์ที่อยู่หน้าไบต์นี้ทั้งหมด โดยที่ถ้าเกิดมีตัวทดขึ้นจะไม่สนใจ เมื่อตัวรับทำการรับข้อมูลเข้ามาก็จะทำการตรวจสอบผลรวมของทุกๆ ไบต์รวมกันว่าเท่ากับไบต์สุดท้ายนี้หรือไม่ ถ้าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นก็จะต้องมีการส่งข้อมูลไปใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.5 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมติอต่อผู้ใช้งาน(User Interface)



รูปที่ 6.5 Flow Chart การทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
อุปกรณ์ลูกข่ายการติดต่อสื่อสาร

อุปกรณ์ลูกข่ายซึ่งถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 80C32 จะทำหน้าที่ในการอ่านค่าอุณหภูมิที่จุดนั้นๆ และรอรับคำสั่งจากอุปกรณ์แม่ข่ายผ่านเครื่องรับ-ส่ง ในการส่งค่าอุณหภูมิกับการเปิด/ปิดตัวทำความร้อน หรือการส่งค่าสถานะของเครื่องทำความร้อนไปยังอุปกรณ์แม่ข่าย โดยมี LED 7 Segment เป็นตัวแสดงค่าอุณหภูมิ และสภาวะของการสื่อสาร และ Dip Switch เป็นตัวกำหนดค่า ID ของอุปกรณ์ลูกข่ายแต่ละตัว

เนื่องจาก 80C32 ต้องใช้พอร์ต 0 และพอร์ต 2 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ทำให้เนื่องจากจำนวนพอร์ตของ 8032 มีไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน จึงจำเป็นต้องใช้ไอซี 8255 ในการเพิ่มจำนวนพอร์ต

การทำงานของวงจร

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8032 (IC1) จะเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์ลูกข่ายนั้นๆทำงานที่ความถี่ 12.00 Mhz โดยมี 74HCT373 (IC2) เป็นตัวมัลติเพล็กซ์ระหว่างสัญญาณ DATA BUS (D0 - D7)กับสัญญาณ LOWER ADDRESS BUS (A0 -A7) ของ 8032 ให้กับ 27C64 ซึ่งเป็น EPROM ที่ใช้ในการเก็บโปรแกรมที่ 8032 ใช้ในการทำงาน

8255(IC4) จะเป็นตัวขยายพอร์ตของระบบ มี ADDRESS อยู่ที่ E000H-E0003H PORT A ใช้ในการเลือกหลักในการแสดงผล โดยมี 74HCT138(IC7) เป็นตัว Decode หลักให้ PORT B เป็นค่าอินพุทของค่าจาก DIP SW เพื่อใช้เป็นค่า ID ของอุปกรณ์ลูกข่ายตัวนั้นๆ ส่วน PORT C เป็นค่าข้อมูลที่ถูกนำมาแสดงที่ LED 7 Segment

MAX 1232(IC5) เป็นชิพสำหรับทำการ RESET ระบบ มี ADDRESS อยู่ที่ A000H โดยจะทำการ POWER ON RESET และทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ผู้พิทักษ์(WATCH DOG) โดยจะทำการ RESET ระบบถ้าหากไม่ได้รับการกระตุ้นภายในเวลา 1.2 วินาที ทำให้ระบบมีเสถียรภาพในการทำงานดีขึ้น

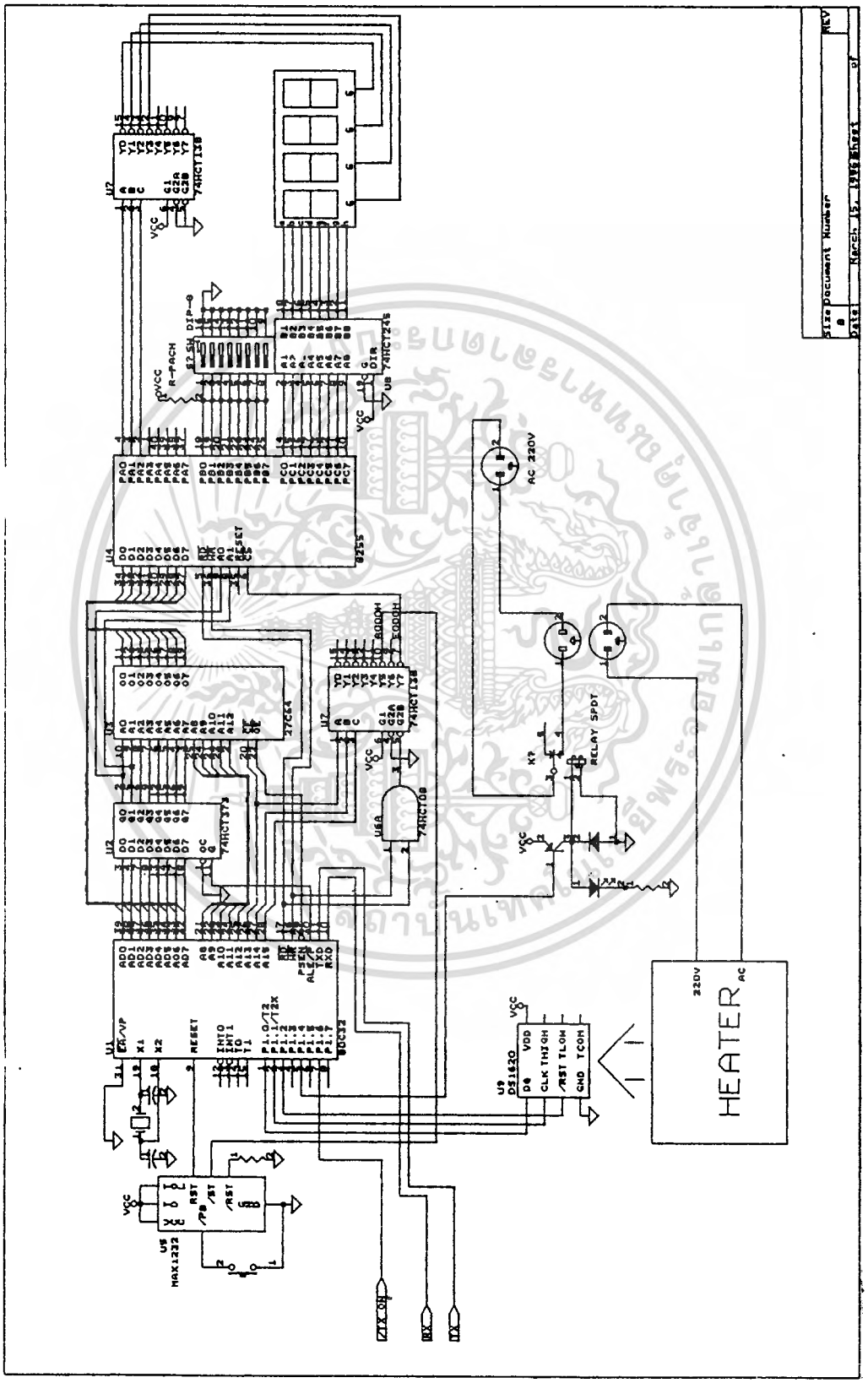
โดยมี 74HCT08(IC6) และ 74HCT138(IC7) เป็นตัว Decode ตำแหน่งของหน่วยความจำให้กับ 27C64,8255 และ MAX1232

DS 1620(IC9) เป็นชิพสำหรับการวัดอุณหภูมิ มีช่วงในการวัดตั้งแต่ -55°C ถึง +125°C โดยมีความละเอียด 0.5 °C จะทำการติดต่อกับ 8032 โดยใช้การจ่ายสัญญาณ 3 เส้น เป็นการติดต่อรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม ต่อกับ 8032 ที่ PORT 1.0 ถึง PORT 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q1 เป็นทรานซิสเตอร์แบบ PNP ต่อกับ PORT 1.4 ของ 8032 จะทำงานที่สภาวะ LOW เป็นตัวขับกระแสให้กับ RELAY RL1 ซึ่งเป็นตัวปิด/เปิด ตัวทำความร้อน โดยมี LED1 เป็นตัวแสดงสภาวะการทำงานของ Q1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 วงจรของอุปกรณ์ลูกข่าย

บทที่ 8
บทสรุป

ผลการทดลอง

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ

1.การทดสอบการทำงานของโปรแกรมการติดต่อสื่อสารและการทำงานของอุปกรณ์ลูกข่าย

2.การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เครื่องรับ/ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ FSK

1.การทดสอบการทำงาน องโปรแกรมติดต่อสื่อสารและการทำงานของอุปกรณ์ลูกข่าย

การทดลองเริ่มต้นด้วยการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แม่ข่าย เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ลูกข่าย ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232C และต่อเครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องทำความร้อนเข้ากับตัวอุปกรณ์ลูกข่าย เมื่อทุกอย่างพร้อมแล้ว จึงเริ่มทำการรันโปรแกรมการติดต่อสื่อสารที่เขียนขึ้น โดยใส่ค่าอินพุทในโปรแกรมดังนี้คือ

1.1ให้ใส่ค่ารหัส ID ของอุปกรณ์ลูกข่ายที่ต้องการจะติดต่อด้วย

1.2ใส่ค่าอุณหภูมิที่ต้องการ

1.3ใส่ค่าเบี่ยงเบนของอุณหภูมิที่ยอมรับได้

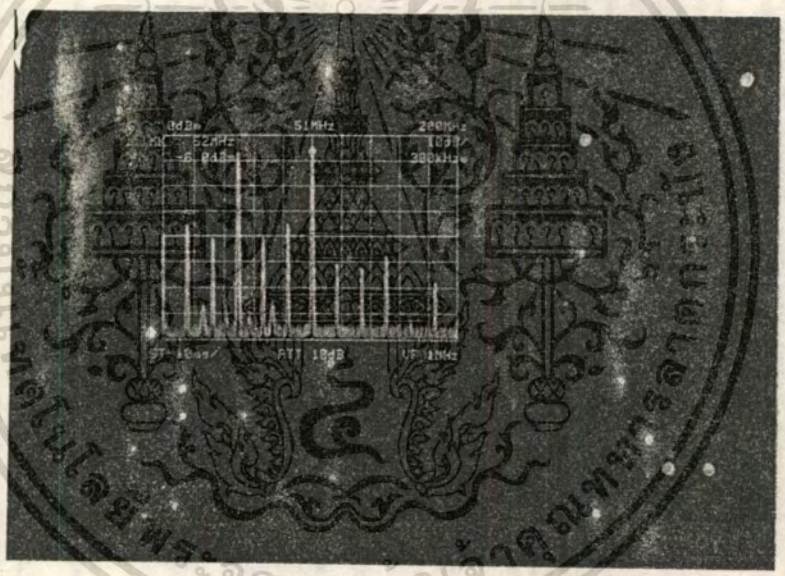
หลังจากใส่ค่าต่างๆที่โปรแกรมต้องการแล้ว การทำงานของโปรแกรมก็จะทำการอ่านค่าอุณหภูมิจากตัวลูกตามค่า ID ของตัวลูกที่ได้รับ แล้วนำค่าอุณหภูมิที่อ่านเข้ามาได้เปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิที่ผู้ใช้ต้องการว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ ถ้าอุณหภูมิที่รับมามีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ โปรแกรมจะสั่งงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการให้เครื่องทำความร้อนทำงานทันที และโปรแกรมก็จะทำการอ่านค่าอุณหภูมิกลับไปตรวจสอบอีกว่าได้ตามค่าที่ต้องการหรือยัง ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกว่าอุณหภูมิจะได้ตามต้องการ เมื่ออุณหภูมิได้ตามต้องการก็จะทำการสั่งให้เครื่องทำความร้อนหยุดทำงาน และก็จะทำตรวจสอบเช่นนี้อยู่เป็นระยะๆ เพื่อรักษาอุณหภูมิทางด้านอุปกรณ์ลูกข่ายให้คงที่อยู่ตลอดเวลา

จากการทดลองนั้นปรากฏว่าการทำงานของโปรแกรมและการทำงานของอุปกรณ์ลูกข่ายเป็นไปได้ตามวัตถุประสงค์ทุกอย่าง คือสามารถควบคุมอุณหภูมิทางด้านอุปกรณ์ลูกข่ายได้คงที่ตลอดเวลาตามต้องการได้จริง เพียงแต่ว่าทางด้านตัวลูกนั้น ไม่มีเครื่องทำความเย็น จึงไม่สามารถลดอุณหภูมิตามที่ต้องการได้ ถ้าอุณหภูมิที่ต้องการต่ำกว่าอุณหภูมิทางด้านตัวลูกขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์รับ/ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ FSK

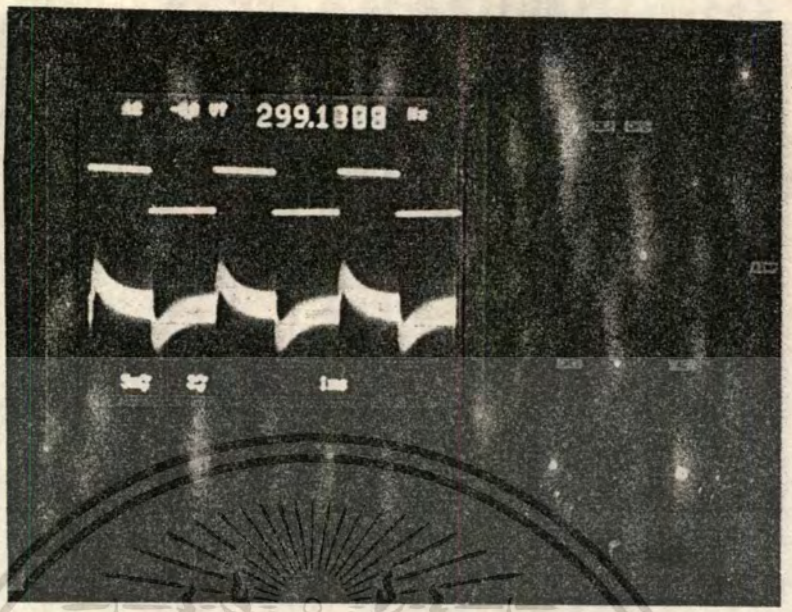
เมื่อทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์รับ/ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุแบบ FSK ที่ทำขึ้น ปรากฏว่าทางด้านอุปกรณ์เครื่องส่งวิทยุแบบ FSK นั้นคลื่นวิทยุที่ส่งออกไปนั้นมีแต่คลื่นพาหะที่ 49.875 Mhz เท่านั้นไม่สามารถส่งข้อมูลออกอากาศไปกับคลื่นพาหะได้ โดยระยะการรับ/ส่งที่ตรวจวัดได้จากคลื่นพาหะนั้นประมาณ 10 เมตร สัญญาณคลื่นพาหะนั้นสามารถที่จะเห็นได้จากรูปที่ 8.1 ซึ่งเป็นสัญญาณคลื่นพาหะที่ความถี่ 49.875 Mhz และมีคลื่นความถี่ฮาร์โมนิคปะปนเข้ามาด้วย จะเห็นรูปคลื่นพาหะได้โดยสังเกตที่จุดสว่างบนยอดสเปกตรัมในรูป จากรูปจะเห็นว่าเราสามารถกำจัดฮาร์โมนิคข้างเคียงออกไปได้มากกว่า 30 dBm ขึ้นไป และสัญญาณคลื่นพาหะนั้นมีความแรงของสัญญาณประมาณ -6 dBm ซึ่งไม่ถึง 0 dBm เมื่อคิดเป็นวัตต์ออกมาแล้วก็ไม่ถึง 1 mW



รูปที่ 8.1 สเปกตรัมของสัญญาณคลื่นพาห์

ส่วนอุปกรณ์เครื่องรับนั้นสามารถที่จะรับคลื่นพาหะได้ และสามารถที่จะรับข้อมูลดิจิตอลได้โดยส่งข้อมูลจากตัวอุปกรณ์เครื่องมือที่เรียกว่า RF Generater เป็นตัวส่งข้อมูล ซึ่งจะสังเกตรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากรูปที่ 8.2 ซึ่งจะเห็นว่าสามารถตรวจรับคลื่นข้อมูลที่ส่งมาได้ แต่สัญญาณข้อมูลที่รับได้นั้นมีระดับสัญญาณที่อ่อนเกินไปที่ดีเทคเป็นสัญญาณ 0 หรือ 1 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 สัญญาณข้อมูลที่ส่งและสัญญาณข้อมูลที่รับได้ทางเครื่องรับวิทยุ FSK

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองนั้นการทำงานของโปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูลและการทำงานของอุปกรณ์ลูกข่ายเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการทุกอย่าง สรุปก็คือการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แม่ข่ายและอุปกรณ์ลูกข่ายเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ส่วนในด้านของอุปกรณ์รับ/ส่งวิทยุแบบ FSK ที่สร้างขึ้นนั้นกลับพบกับปัญหาหลายอย่างที่เกิดขึ้นในการทดลองซึ่งก็คือไม่สามารถส่งข้อมูลออกอากาศพร้อมกับคลื่นพาห์ได้ ระยะทางการรับ/ส่งน้อยเกินไป และข้อมูลที่รับได้ทางเครื่องรับนั้นมีความแรงอ่อนเกินไป ซึ่งปัญหาทั้ง 3 ข้อนี้ นั้นถ้าสามารถแก้ไขได้เราก็จะได้เครื่องรับ/ส่งที่สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ไกลมากขึ้น และสามารถที่จะรับข้อมูลไปดีเทคเป็นข้อมูล 0 หรือ 1 ตามที่ต้องการได้

แนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากปัญหาที่พบ 3 ข้อมีดังนี้คือ

1.ควรใช้คอยล์ที่มีค่าของ Q ที่พอเหมาะ ไม่สูงมากเกินไป เพราะจะทำให้สเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลไม่สามารถส่งออกอากาศไปได้ หรือสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลไปได้ไม่มาก ซึ่งจะทำให้สัญญาณข้อมูลที่ได้เกิดการผิดเพี้ยนได้ ไม่ควรเลือกคอยล์ที่มีค่า Q ที่ต่ำจนเกินไป เพราะจะทำให้สเปกตรัมของฮาร์โมนิคของคลื่นพาห์ปะปนออกมามากหรือแรงจนเกินไปทำให้รบกวนอุปกรณ์เครื่องรับส่งเครื่องอื่นๆที่กำลังใช้ช่องความถี่ที่เป็นฮาร์โมนิคของคลื่นพาห์นี้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการส่งคลื่นฮาร์โมนิคเหล่านี้ออกอากาศด้วยเนื่องจากพลังงานจะสูญเสียไปกับฮาร์โมนิคเหล่านี้ด้วย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง

2.การแก้ปัญหาเรื่องการรับ/ส่งข้อมูลให้ไกลขึ้นทำได้โดยการนำสัญญาณที่เครื่องส่งไปขยายสัญญาณให้แรงขึ้น จากการทดลองเราจะเห็นว่าสเปกตรัมของสัญญาณคลื่นพาห์มีกำลังส่งน้อยมาก(ประมาณ 1 mW) เมื่อต้องการส่งได้ระยะทางประมาณ 100 เมตรขึ้นไปควรจะใช้วงจรขยายสัญญาณวิทยุที่ขยายได้ประมาณ 150 mW ขึ้นไป

3.ควรนำสัญญาณข้อมูลที่รับได้ไปขยายสัญญาณให้แรงขึ้นจนถึงระดับที่สามารถดีเทคเป็นข้อมูลออกมาได้ โดยทำวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ต่ำขึ้นมา

เมื่อแก้ปัญหาทั้งสามข้อนี้ได้แล้ว เราจะได้เครื่องรับ/ส่งที่มีระยะการรับ/ส่งได้ตามวัตถุประสงค์ แต่อัตราการรับ/ส่งข้อมูลจะถูกจำกัดอยู่ที่ความเร็วที่ไม่สูงมากนักเนื่องจากคุณสมบัติของตัวไอซีที่ทำหน้าทีในการส่งข้อมูล

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ที่พบมากที่สุดก็คือ การทำอุปกรณ์เครื่องรับ/ส่ง คือจะมีปัญหาตรงที่ไม่สามารถหาซื้อคอยล์ที่มีช่วงการทำงานที่ต้องการได้ และไม่สามารถรู้ได้ว่าค่า Q ของอุปกรณ์ที่ใช้นั้นมีค่าประมาณเท่าไร จึงต้องอาศัยการทดลองเป็นสำคัญทำให้สูญเสียเวลาไปกับการทดลองการทำงานของอุปกรณ์รับ/ส่งไปมาก ซึ่งวิธีแก้ไขปัญหาก็น่าจะทำได้โดยการพันค่าคอยล์ขึ้นเองซึ่งสามารถกำหนดคุณสมบัติได้โดยประมาณ แต่การพันคอยล์เองนั้นประสิทธิภาพของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มีค่าน้อย แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าไม่สามารถรับ/ส่งกันได้ เพราะทางผู้จัดทำก็เคยใช้วิธีนี้มาแล้ว ก็สามารถรับ/ส่งข้อมูลได้ แต่ประสิทธิภาพจะน้อยคือ ค่า Q ต่ำ และกำลังของคลื่นพาห์มีค่าน้อย สิ่งที่อยากจะขอแนะนำสำหรับผู้ที่คิดจะศึกษาการสื่อสารข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ ก็คือควรที่จะใช้ความถี่ในการสื่อสารที่ต่ำๆถ้าทำได้ เพราะเนื่องจากอุปกรณ์ที่ความถี่ต่ำๆหาซื้อง่าย และการทำก็ไม่ยากเกินไปด้วย และเหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สิทธิชัย โภไคยอุดม, " ทฤษฎีและการคำนวณวงจรอีเล็กทรอนิคส์", ซีเอ็ดยูเคชั่น,หน้า 355,2521

[2] กฤษฎา ณ ตะกั่วทุ่ง, " Narrow Band Fm", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อีเล็กทรอนิคส์, ฉบับที่ 58 หน้า 70-76,2533

[3] อาณัติ พงษ์สุทธิรักษ์, " ออกแบบสร้างเครื่องรับวิทยุสมัครเล่น 142-148 Mhz" วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อีเล็กทรอนิคส์,ฉบับที่ 112 หน้า 48-53,2534

[4] พันจันทร์ ธนวัฒนเสถียร,คงสวัสดิ์ ลอรัตนเรืองกิจ, "ไมโครโปรเซสเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน"

[5] บรรเจิด ตันติกัลยาภรณ์, "เครื่องรับส่ง เล่ม 6"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้