ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท

REMOTED KILOWATT - HOUR METER

นายอดิศัย พลอยพราย

นายอรรณพ วงศ์พรภักดี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขเรียกหนังสือ ปพ ศ๒๑๔ ๒๕๔๑
เลขทะเบียน 010577
วัน เดือน ปี ๑๕ ตค ๔๒

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

010577

ปีการศึกษา 2541

เครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท

โดย

นายอดิศัย พลอยพราย

นายอรรณพ วงศ์พรภักดี

อาจารย์ที่ปรึษา

รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท

ผู้จัดทำ

1.นาย อดิศัย พลอยพราย

2.นาย อรรณพ วงศ์พรภักดี

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท

อดิศัย พลอยพราย
อรรณพ วงศ์พรภักดี
รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงงานเครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท ได้นำหลักการสื่อสารข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุมาประยุกต์ใช้งานในการอ่านค่ากำลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ใช้ตามบ้านที่อยู่อาศัย เพื่อทำการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้า จุดมุ่งหมายเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับพนักงานการไฟฟ้า ในการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน แทนการเดินไปจดค่าจากกิโลวัตต์มิเตอร์เป็นการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าผ่านคลื่นวิทยุแทน

ในโครงงานนี้ได้ใช้วิทยุรับ-ส่งข้อมูลย่านความถี่ HF ในการสื่อสารข้อมูลจุดประสงค์เพื่อให้สามารถเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นและในขณะเดียวกันก็จะเป็นการลดต้นทุนในการจัดทำโครงงานลง และได้คิดค้นหาวิธีการสั่งงานปิดเครื่องรับวิทยุเมื่อเกิดฝนฟ้าคะนอง เพื่อป้องกันอันตรายจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า โดยจะอาศัยหลักการตรวจจับความเข้มของแสงแดดในช่วงที่เกิดฝนฟ้าคะนอง มาเป็นคุณสมบัติในการสั่งงานปิดเครื่องรับวิทยุ ส่วนในการเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นก่อนนำชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ไปวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้น โครงงานนี้สามารถเซ็ตค่าได้สูงสุดถึง 99,999 ยูนิต ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ชุดแสดงผลของกิโลวัตต์มิเตอร์สามารถที่จะแสดงค่าได้ จึงทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นเมื่อนำชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ไปวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า นอกจากโครงงานนี้จะสามารถเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าโดยผ่านคลื่นวิทยุแล้ว ยังสามารถสั่งงานตัดต่อการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยผ่านทางคลื่นวิทยุได้อีกเช่นกัน โดยจะใช้ Solid Stage Relay เป็นอุปกรณ์ในการตัดต่อซึ่งจะแก้ปัญหาการสปาร์กของหน้าสัมผัสเมื่อตัดหรือต่อไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เก็บค่ากำลังงานไฟฟ้านั้นปลอดภัยจากการตัดต่อไฟฟ้าในแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOTED KILOWATT - HOUR METER

Adisai Ploypray

Annop Wongpronpukdee

Assoicate Professor Kaset Sirisantisamrid Advisor 1998

Abstract

The Remoted Kilowatt - Hour Meter , using the principle of radio wave communication applies to read the electricity power from the residental Kilowatt - Hour Meter to store its value. The aim is to convenient to the inspector who collects the electricity power each month , instead of walking to keep all data from Kilowatt - Hour Meter to collect them through radio wave signal.

In this project uses the receving and transmitting data on the HF band communication in order to collect the electricity power in the farther distances , at the same time reduce the operation cost . Also invent the method how to turn off the receiven when it rains , to prevent the accident from the thunder . By using the principle of detecting the intensity of sunlight when thunder storm occurs to operate the receiven. Setting the initial electricity power before bringing the Kilowatt - Hour Meter to measure the user is electricity power . This project can be set up to 99,999 units . Which is the maximum display of Kilowatt - Hour Meter being able to display , so that there is not problem about setting the inital electricity power when bringing this equipment to measure the electricity power of use . Not only this project can be keep the electricity power through radio wave , but also cut down the power supply through radio wave , by using Solid Stage Relay . It can be solved the spark of klay when cut ro connect with the non , which is able to prevent the Kilowatt - Hour Meter storing the electricity power , safe from the connect or disconnect each time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่1 บทนำ

1.1 แนวคิดในการจัดทำปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 หลักการของเครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท 1

1.4 องค์ประกอบของปริญญานิพนธ์ 5

บทที่2 ทฤษฎี

2.1 การสื่อสารข้อมูล 6

- อดีต ปัจจุบัน และอนาคต ของการสื่อสารไร้สาย 7
- แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 10
- มิติของความถี่ เวลาและความแรงสัญญาณ 12
- ประวัติความเป็นมาของระบบคลื่นวิทยุ 15
- การมอดูเลชั่น 16
- ฟรีเควนซีมอดูเลชั่น และเฟสมอดูเลชั่น 22
- เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ 31
- เครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุ 33

2.2 แพ็กเก็ตเรดิโอ 37

- ประวัติความเป็นมา ของการสื่อสารแพ็กเก็ตเรดิโอ 38
- ทำไมจึงต้องข้อมูลเป็นแพ็กเก็ต 39

2.3 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม 43

2.4 การเชื่อมต่อแบบอุนกรม 60

2.5 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS – 51 61

2.6 หลักการทำงานของวงจร FSK 62

2.7 ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและหลักการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า 73

บทที่3 โครงสร้างและการทำงานของวงจร

3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ 80

- โครงสร้างและหลักการทำงานชุดรีโมท 80
- หลักการทำงานของชุดรีโมท 81
- โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ 85
- หลักการทำงานของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของวิทยุรับ-ส่ง	91
- การทำงานของภาครับวิทยุ	91
- การทำงานของภาคส่งวิทยุ	92
- แผ่นวงจรพิมพ์และวงจรสมบรูณ์ของวิทยุรับ-ส่ง 27.185 MHz	93
3.3 วงจรควบคุมการสั่งงานการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ	96
3.4 สภาวะการรับ-ส่งข้อมูล	97
บทที่4 การออกแบบและการสร้าง	
4.1 การออกแบบและการสร้างชุดรีโมท	100
- ไมโครคอนโทรลเลอร์	100
- คีย์บอร์ด	104
- จอแสดงผล LCD	104
- การออกแบบวงจร FSK	104
- วิทยุรับ-ส่งข้อมูล	106
- วงจรรวมในการใช้งานของชุดรีโมท	107
4.2 การออกแบบและการสร้างส่วนของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์	109
- ไมโครคอนโทรลเลอร์	109
- ชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC	111
- ชุดเซ็ตหมายเลขเครื่องและจำนวนหน่วยกำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นของการใช้ไฟฟ้า	112
- การออกแบบกิโลวัตต์มิเตอร์	113
- วงจรรวมที่ใช้ในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์	115
4.3 การติดต่อกับคอมพิวเตอร์	116
บทที่5 วิธีการใช้งานและการปรับแต่ง	
5.1 รูปร่างลักษณะของชุดรีโมท (REMOTED)	117
5.2 รูปร่างลักษณะของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ (KILOWATT-HOUR METER)	118
5.3 ฟังก์ชั่นการใช้งานของชุดรีโมท	118
5.4 วิธีการใช้งานชุดรีโมท	119
5.5 การแสดงผลเมื่อมีการใช้งานในฟังก์ชั่นต่างๆ	121
5.6 การปรับแต่งชุดกิโลวัตต์มิเตอร์	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่6 ผลการทดสอบ

6.1 การทดสอบการรับ-ส่ง ค่ากำลังงานไฟฟ้า 125

6.2 การทดสอบการใช้คำสั่ง ON-OFF Kwh 127

6.3 การทดสอบชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่งจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า อันเนื่องมาจากฝนฟ้าคะนอง 129

6.4 สรุปผลและปัญหาที่เกิดขึ้น 130

สรุปผลการพัฒนาโครงงาน

ภาคผนวก ก. FLOW CHART

ภาคผนวก ข. DATA SHEET

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดในการจัดทำปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันจะพบว่าการไฟฟ้าต้องการเก็บค่าไฟฟ้าแต่ละเดือนต้องให้พนักงานการไฟฟ้าเดินจดค่ากำลังงานไฟฟ้าตามมิเตอร์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีเครื่องอำนวยความสะดวกแก่พนักงานการไฟฟ้าแล้วก็ตาม การเก็บข้อมูลจะมีเครื่องบันทึกโดยการเดินไปอ่าน แล้วก็ทำการบันทึกหน่วยผู้ใช้ไฟฟ้า

แต่ในโครงงานนี้การเก็บข้อมูลนั้นไม่จำเป็นต้องเดินไปอ่านที่มิเตอร์ เพียงแต่ป้อนหมายเลขเครื่องของผู้ใช้ไฟฟ้าก็สามารถที่ทราบถึงค่ากำลังงานไฟฟ้าโดยหมายเลขเครื่องและชุดคำสั่งจะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุออกไปยังมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า คลื่นวิทยุที่ใช้ในโครงงานนี้จะอยู่ในย่าน HF ความถี่ 27.185 MHz เมื่อมิเตอร์ไฟฟ้าได้รับหมายเลขเครื่องที่ถูกต้องก็จะส่งกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละเดือนกลับมา เมื่อเก็บข้อมูลครบทุกรายการแล้วสามารถนำเครื่องนี้ไปต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำค่าที่ได้ไป คำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละเดือน และพิมพ์เป็นใบเสร็จค่าไฟฟ้าได้ทันที และในกรณีผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ยอมจ่ายค่าไฟฟ้าก็สามารถนำเครื่องนี้สั่งงดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องไปถอดสายออกเหมือนปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าให้ได้ระยะทางที่ไกลขึ้นกว่าเดิม
2. เพื่อพัฒนาการเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นให้ได้สูงสุดถึง 99,999 ยูนิต
3. เพื่อหาวิธีการป้องกันเครื่องรับ-ส่งวิทยุจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า เมื่อเกิดฝนฟ้าคะนอง
4. เพื่อแก้ปัญหาการสปาร์กหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าใช้กระแสไฟฟ้าในปริมาณที่สูงๆ

1.3 หลักการของเครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท

เครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมทแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ชุดคือ

1. ชุดรีโมทสั่งงานจะเป็นเครื่องส่งและรับข้อมูลในเครื่องเดียวกัน เพื่อให้พนักงานการไฟฟ้านำติดตัวไปใช้ในการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าซึ่งค่าที่เก็บจะเป็นค่ายูนิตหรือหน่วยที่ใช้ไปในแต่ละเดือนคือ เมื่อพนักงานการไฟฟ้าต้องการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้โดยป้อนหมายเลขเครื่องของผู้ใช้ไฟฟ้าและชุดคำสั่ง หมายเลขเครื่องก็จะถูกส่งผ่านคลื่นวิทยุไปยังมิเตอร์

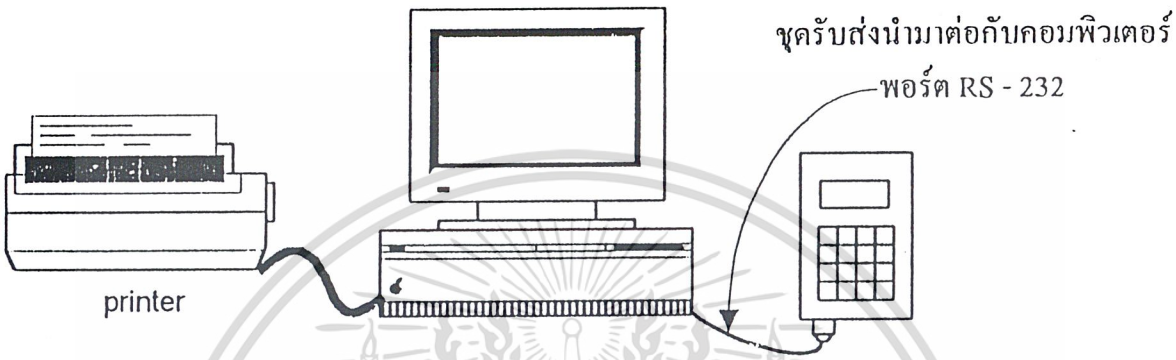
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมิเตอร์ได้รับหมายเลขเครื่องที่ส่งมาก็จะเช็คว่าหมายเลขเครื่องที่ส่งมานั้นตรงกับที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าตรงจะทำการประมวลผลตามคำสั่งนั้นและเมื่อประมวลผลเสร็จก็จะส่งค่ากำลังงานไฟฟ้ากลับมายังชุดรีโมทสั่งงานเพื่อเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นไว้ ดังรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 แสดงการใช้งานชุดรีโมทสั่งงาน

จากนั้นจึงนำค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เก็บมานั้นมาคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าด้วยโปรแกรมการคำนวณค่าไฟฟ้า โดยนำชุดรีโมทสั่งงานมาต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม RS - 232 เพื่อถ่ายข้อมูลจากชุดรีโมทสั่งงานมาเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์ ต่อจากนั้นก็สามารถทำการคำนวณค่าไฟฟ้าได้ทันทีและสามารถพิมพ์เป็นใบเสร็จได้ ซึ่งในโปรแกรมการคำนวณค่าไฟฟ้าสามารถที่จะแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าและรายละเอียดอื่นๆ เช่น ชื่อ ที่อยู่ของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

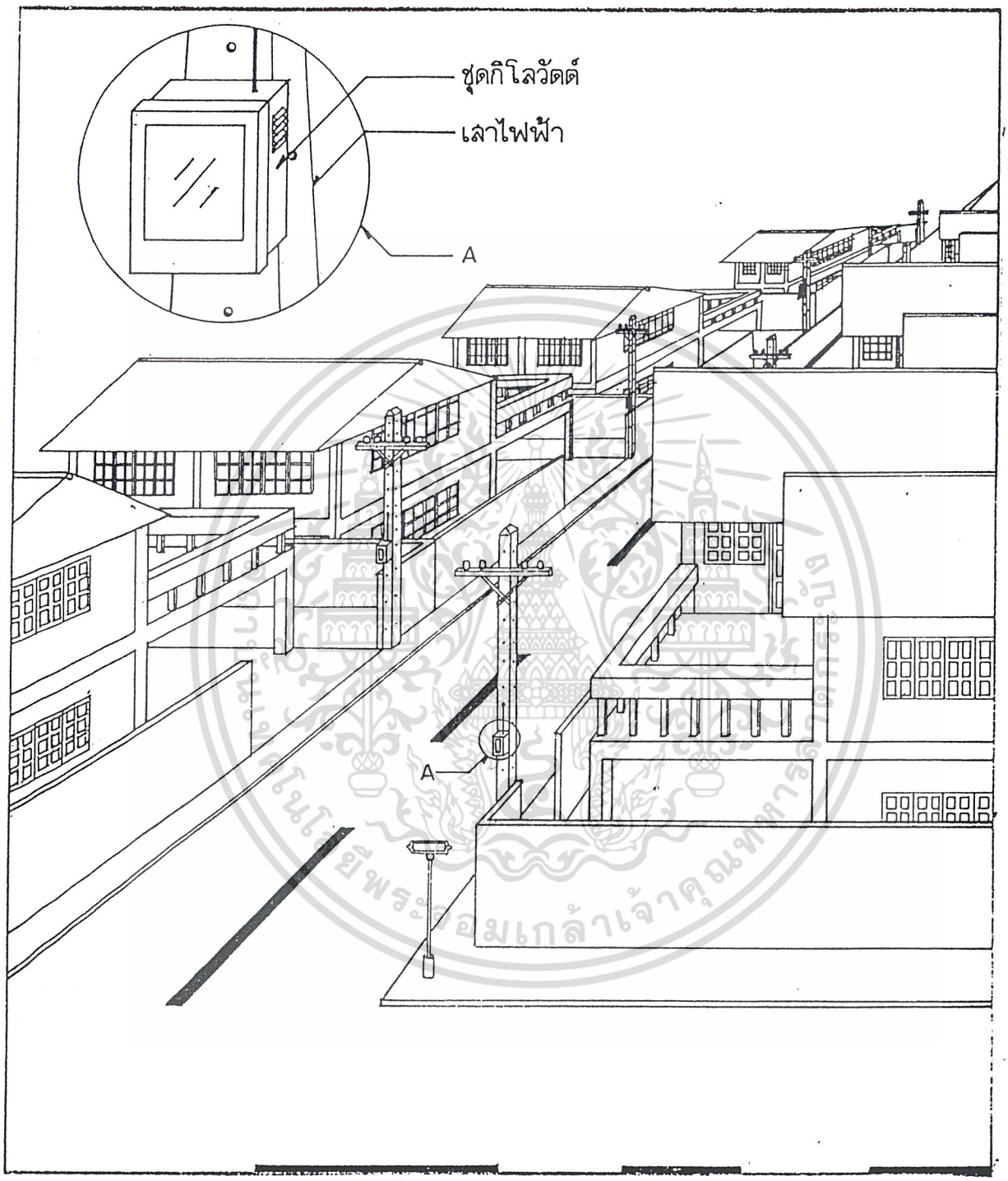
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงการนำชุดรีโมทสั่งงานมาต่อกับคอมพิวเตอร์

2. ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะเป็นเครื่องรับและส่งข้อมูลในตัวเดียวกัน ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะเป็นตัวเก็บข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย โดยนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ และเมื่อได้รับสัญญาณจากตัวรีโมทจากการสั่งงานของพนักงานการไฟฟ้า ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ก็จะส่งข้อมูลที่เก็บไว้โดยผ่านทางคลื่นวิทยุความถี่ 27.185 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ถูกกฎหมายตามพระราชบัญญัติวิทยุโทรคมนาคมและเป็นย่านความถี่ที่สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลๆ ซึ่งข้อมูลก็จะถูกส่งมายังชุดรีโมทเพื่อเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าไว้เพื่อแสดงกับคอมพิเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 องค์ประกอบของปริญญานิพนธ์

สำหรับในส่วนของปริญญานิพนธ์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งปริญญานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็นบทต่างๆดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ แนวคิดในการทำโครงงาน วัตถุ์ประสงค์ของโครงงาน หลักการของเครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมท และองค์ประกอบข้อปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้ เช่น การสื่อสารข้อมูล แพ็กเก็ตเรดิโอ การสื่อสารแบบอนุกรม โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS – 51 หลักการทำงานของ FSK การคิดค่ากระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

บทที่ 3 กล่าวถึง โครงสร้างและการทำงานของวงจร โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดรีโมท โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ โครงสร้างและหลักการทำงานของวิทยุรับ-ส่งความถี่ 27.185 MHz สภาวะการรับ-ส่งข้อมูล

บทที่ 4 กล่าวถึง การออกแบบและการสร้าง การออกแบบและการสร้างชุดรีโมท การออกแบบและการสร้างชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ การติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 กล่าวถึง วิธีการใช้งานและการปรับแต่ง รูปร่างลักษณะของเครื่องชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ฟังก์ชั่นการทำงานของชุดรีโมท วิธีการใช้งานของชุดรีโมท การปรับแต่งชุด กิโลวัตต์มิเตอร์

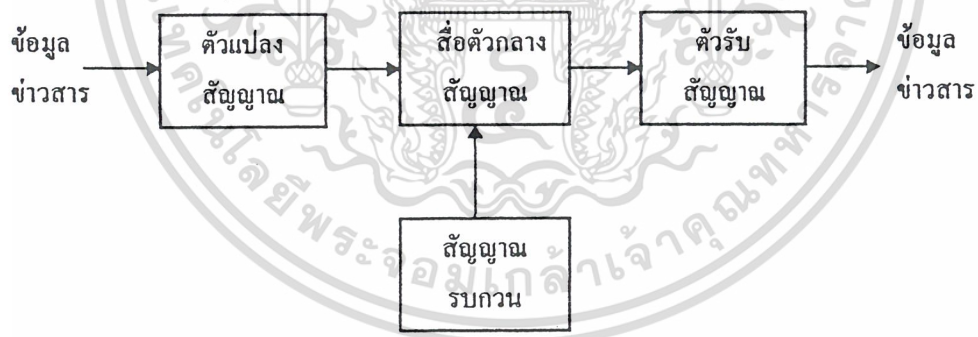
บทที่ 6 กล่าวถึง ผลการทดสอบ การทดสอบการรับ-ส่งค่ากำลังงานไฟฟ้า การทดสอบการใช้คำสั่ง ON-OFF Kwh การทดสอบอุปกรณ์ป้องกันวิทยุรับ-ส่งจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าอันเนื่องมาจากฝนฟ้าคะนอง และสรุปผลและปัญหาที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การสื่อสารข้อมูล (Data Communications)

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย คำว่าการสื่อสารคือ พฤติกรรม ขั้นตอน และเทคโนโลยีต่างๆที่ทำให้สามารถส่งหรือแปลความหมายของข้อมูลข่าวสารได้ เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารกัน เช่นการสื่อสารระหว่างบุคคลเพื่อถ่ายทอดความคิดความรู้สึกไปยังอีกคนหนึ่ง แต่การสื่อสารของคนก็มีขีดจำกัดทางด้านภาษาที่แตกต่างกัน หรืออุปสรรคด้านระยะทางที่ห่างไกลกันมากระหว่างผู้รับสาร ดังนั้นมนุษย์จึงได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการและเทคนิคใหม่ๆขึ้นมาเพื่อลดขีดจำกัดในด้านต่างๆของการสื่อสาร ดังเช่นการพัฒนาของการสื่อสารไร้สาย สำหรับคำว่าไร้สายนั้นแสดงให้ทราบว่าสื่อตัวกลางที่นำพาสัญญาณให้กับระบบสื่อสารนั้นไม่จำเป็นต้องใช้สาย แต่มีการใช้เทคนิคและวิธีการเข้ามาช่วยในการนำพาข้อมูลข่าวสารผ่านตัวกลางที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ก่อนที่จะเริ่มกล่าวต่อไปในรายละเอียดของระบบสื่อสารไร้สาย ขอให้พิจารณาดูองค์ประกอบของระบบสื่อสารไร้สาย ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับองค์ประกอบโดยทั่วไปของการสื่อสารทุกประเภท



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร

จากรูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารไม่ว่าในรูปแบบใดจะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกันอยู่ 4 อย่างดังนี้

1. ตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ตัวส่งสัญญาณวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะแปลงข้อมูลข่าวสารหรือเสียงพูดให้เป็นสัญญาณรูปแบบที่สามารถส่งออกไปในตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือช่องสัญญาณ ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไมโครเวฟ เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง เป็นต้น

2. สื่อกลางหรือช่องสื่อสาร (Communication Channel) เป็นตัวกลางที่ให้สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จากผู้ส่ง ณ สถานที่หนึ่งผ่านไปยังผู้รับในอีกสถานที่หนึ่งได้ ตัวกลางในที่นี้ได้แก่คลื่นวิทยุ และในตัวกลางนี้มีส่วนทำให้สัญญาณที่ถูกส่งลดทอนลงไปได้ส่วนหนึ่ง

3. สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นพลังงานของรูปแบบต่างๆที่มีลักษณะไม่แน่นอนเข้ามาในระบบสื่อสาร มีผลรบกวนสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาในช่องสื่อสาร บางครั้งสัญญาณรบกวนอาจเกิดขึ้นในวงจรของตัวรับสัญญาณก็ได้ สำหรับระบบสื่อสารไร้สายนั้น สัญญาณรบกวนอาจมีอยู่ทั่วไปในอากาศ เช่นปรากฏการณ์จากฟ้าแลบ

4. ตัวรับสัญญาณ (Receiver) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบให้รับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาทางช่องสื่อสาร และทำการแปลงสัญญาณให้กลับไปอยู่ในรูปแบบที่ผู้รับปลายทางสามารถเข้าใจได้ เช่น ตัวรับสัญญาณจากดาวเทียม

อดีต ปัจจุบัน และอนาคต ของการศึกษาไร้สาย

การติดต่อสื่อสารระหว่างจุดสองจุดโดยไม่ต้องใช้สายนั้นสามารถทำได้หลายวิธี หากมองย้อนไปในอดีตของชนพื้นเมืองในซีกโลกต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในป่าก็มีการติดต่อสื่อสารกันโดยอาจใช้กลองส่งสัญญาณติดต่อถึงกัน หากต้องการติดต่อเป็นระยะทางที่ไกลมากก็ต้องมีการทวนสัญญาณกลองเป็นช่วง เพื่อทวนสัญญาณไปให้อีกที่หนึ่งที่ไกลเกินกว่าที่เสียงของกลองตัวแรกจะไปถึง ในยามกลางคืนอาจมีการส่งเป็นสัญญาณแสงไฟที่มีการกระพริบเป็นจังหวะต่าง ๆ กัน ทำให้สื่อสารผ่านระยะทางที่ห่างไกลกันได้ดีเช่นกัน สิ่งเหล่านี้คือจุดเริ่มต้นที่เห็นได้ชัดของการสื่อสารไร้สายที่มีมานาน

ในปัจจุบันมนุษย์ได้สัมผัสกับระบบสื่อสารไร้สายอยู่หลายรูปแบบ เช่นวิทยุกระจายเสียง ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลและข่าวสารในรูปของเสียงจากผู้ส่งที่อยู่ที่สถานีวิทยุไปยังผู้รับหลาย ๆจุดที่อยู่ห่างไกล และมีเครื่องรับวิทยุ หรือจะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลข่าวสารและรายการทางภาพและเสียงดังเช่นสถานีโทรทัศน์

วิวัฒนาการของการสื่อสารที่สามารถสังเกตเห็นได้ใกล้ตัวที่สุดนั่นคือระบบโทรศัพท์ ซึ่งน่าจะเพียงพอสำหรับการสื่อสารเบื้องต้นระหว่างบุคคล แต่มนุษย์ก็มิได้หยุดนิ่ง ยังต้องการความสะดวกเพิ่มขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดที่มีการเชื่อมโยงสายระหว่างผู้ใช้ และการไม่สามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์สื่อสารไปไหนได้สะดวก จึงก่อให้เกิดแนวทางสำหรับการพัฒนาการสื่อสารไร้สายแบบติดตามตัวหรือส่วนบุคคลในยุคถัด ๆ มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ทำให้มีการสื่อสารแบบไร้สายเข้ามามีบทบาทที่สำคัญนั้นด้วยเหตุผลที่ว่าการวางสายสื่อสารแบบที่ต้องเดินสายสัญญาณในบางพื้นที่นั้นไม่สามารถทำได้ หรืออาจทำได้แต่ไม่คุ้มค่าทั้งในแง่การลงทุนและการดูแล การทำการซ่อมบำรุง

จากตัวอย่างระบบโทรศัพท์ที่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่แสดงศักยภาพของประเทศ เมื่อมีการขยายระบบดังกล่าวจะต้องวางสายให้ครอบคลุมพื้นที่บริการทุกแห่งที่มีประชากรอาศัยอยู่ จึงเกิดเป็นการล่าช้าอย่างหนึ่งของระบบสื่อสารที่มีสาย ระบบสื่อสารแบบไร้สายซึ่งสามารถเปิดบริการได้รวดเร็วกว่าจึงเป็นส่วนเสริมและเพิ่มเติมให้กับระบบสื่อสารแบบมีสาย แต่คงไม่สามารถบอกได้ว่าแบบใดมีประสิทธิภาพดีกว่ากัน เป็นเพราะว่าระบบสื่อสารทั้งมีสายและไร้สายต่างมีข้อดีข้อด้อยในแต่ละแบบและสามารถนำมาทดแทนในส่วนที่อีกเทคโนโลยีหนึ่งไม่สามารถทำได้ ในปัจจุบันการติดต่อข้ามซีกโลกทำได้ด้วยการส่งข้อมูลผ่านดาวเทียมอีกหนึ่งดวง แต่ปริมาณข้อมูลและความเร็วในการส่งข้อมูลอาจไม่มากเพียงพอ ในขณะเดียวกันภาคพื้นดินสามารถส่งข้อมูลจำนวนมากด้วยความเร็วสูงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งต้องวางเป็นระยะทางไกลมากถึงจะได้ระยะทางการส่งเท่ากับระบบดาวเทียม

ระบบสื่อสารที่เป็นที่นิยมมากสำหรับคนไทยในปัจจุบัน เห็นจะได้แก่ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบวิทยุตามตัว ในยุคที่การจราจรเป็นปัญหาทำให้ผู้ใช้มีความต้องการติดต่อธุรกิจเร่งด่วนในทุก ๆสถานที่และทุกโอกาส ระบบดังกล่าวได้อำนวยความสะดวกเป็นอย่างมาก แต่สิ่งเหล่านี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการสื่อสารแห่งอนาคตเท่านั้น

เป็นที่ยอมรับว่าในอนาคตอันใกล้นี้ ผู้บริโภคทั้งหลายจะได้พบกับการสื่อสารที่มีให้เลือกมากมายและมีแนวโน้มที่มีราคาถูกลงทุกวัน การติดต่อข้ามประเทศอาจทำได้ในราคาประหยัดขึ้น และไม่ว่าผู้ใช้จะอยู่แห่งใดบนโลกนี้ก็จะสามารถติดต่อกับผู้ใช้อีกซีกโลกหนึ่งได้ การติดต่อกันที่ในอดีตนั้นเห็นว่าเป็นไปได้ยากก็จะเป็นไปได้อย่างง่ายดาย หรืออาจสามารถทำงานและจัดส่งข้อมูลจากกลางป่าดงดิบในลุ่มแม่น้ำซักแห่งหนึ่ง ไปหาผู้รับโดยไม่ต้องมีการเชื่อมโยงสายสัญญาณเข้าหากันให้ขาดความคล่องตัว

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีและการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายที่น่าสนใจ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย

เทคโนโลยีไมโครเวฟ	Microwave
เทคโนโลยีอินฟราเรด	lnfrared
เทคโนโลยีเซลลูล่าร์	Cellular
เทคโนโลยีดาวเทียม	Satellite
เทคโนโลยีการกระจายแถบทางวิทยุ	Spread-spectrum radio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีรับส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุ Packetized data over radio

การประยุกต์ใช้

ระบบวิทยุสื่อสารในแบบสองทิศทาง

ระบบวิทยุติดตามตัว

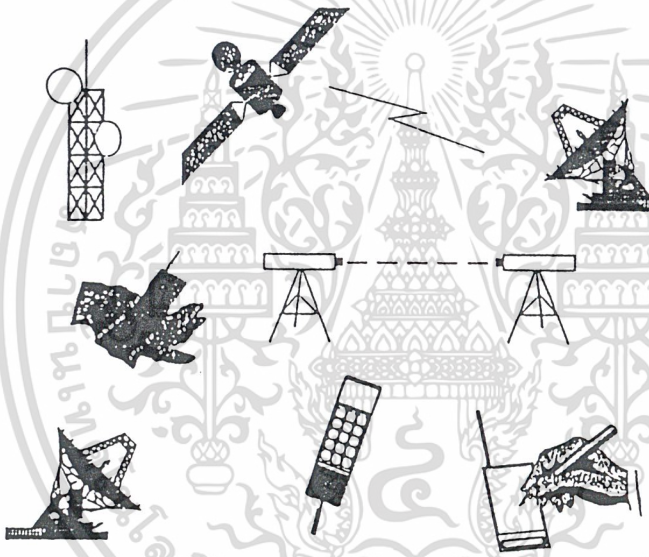
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

ระบบสื่อสารด้วยระบบแสงอินฟราเรด

ระบบสื่อสารส่วนบุคคล PCS/PCN

ระบบวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์



รูปที่ 2.2 แสดงเทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ ไมโครเวฟ ดาวเทียม ฯลฯ

ความรู้พื้นฐาน

การทำความเข้าใจระบบสื่อสารไร้สายควรที่จะทราบว่าสิ่งใดเป็นองค์ประกอบเบื้องต้นบ้าง ความคิดในครั้งแรกนั้นคงสงสัยว่าในเมื่อไม่มีสาย สิ่งใดบ้างที่เป็นสื่อหรือตัวกลางสำหรับระบบ หากพิจารณาย้อนไปในอดีตของวิธีการสื่อสารที่มนุษย์เคยใช้มา จะพบว่ามีรูปแบบการใช้พาหะในการสื่อสารเป็นหลักใหญ่ๆ อยู่สองรูปแบบนั่นคือ

1. ระบบที่ใช้คลื่นวิทยุเป็นพาหะ (Radio Carrier) ได้แก่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ , ระบบวิทยุติดตามตัว , ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม , ระบบวิทยุกระจายเสียง และระบบคลื่นไมโครเวฟ

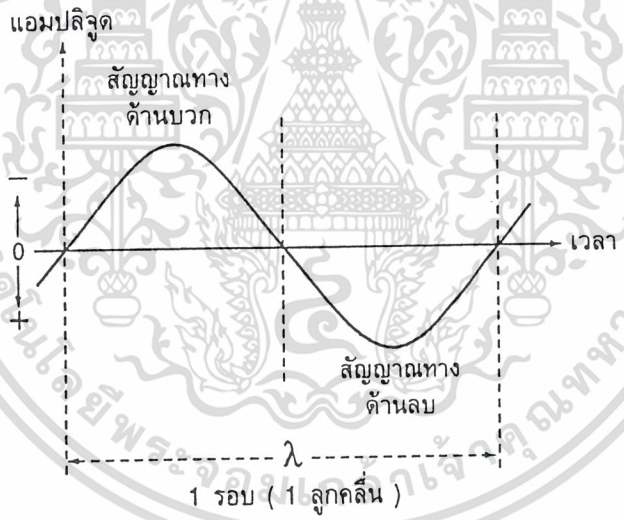
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบที่ใช้คลื่นแสงเป็นพาหะ (Light Carrier) ได้แก่ ระบบสื่อข้อมูลผ่านแสงอินฟราเรดที่นำไปประยุกต์ใช้เช่นระบบโลคอลแอเรียเน็ตเวอร์ก (LAN) ไร้สาย , ระนนสื่อสารผ่านแสงเลเซอร์อินฟราเรด

แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetics Spectrum)

เนื่องจากสื่อตัวกลางทั้งสองแบบมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่ดหล็กไฟฟ้า จะขออธิบายการจัดเรียงความถี่ต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในระบบสื่อสาร ซึ่งเสมือนแผนที่การจัดสรรการใช้ความถี่ที่เป็นทรัพยากรสำคัญมาก เพราะคลื่นวิทยุและคลื่นแสงรวมอยู่ในแถบความถี่ดังกล่าวด้วย ก่อนอื่นคงต้องทราบคำนิยามของความถี่ก่อน

ความถี่ (Frequency) หมายถึงจำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใด ๆ ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยหน่วยของการวัดความถี่นั้นมีค่าเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ส่วนประกอบของสัญญาณความถี่ก็จะมีระดับของสัญญาณหรือที่เรียกว่าแอมปลิจูด และความยาวของคลื่นเรียกว่าแลมด้า



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟรูปสัญญาณซายน์ที่ 1รอบ

แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็นแถบย่อยๆ ดังต่อไปนี้

1. **ช่องความถี่ต่ำสุด (Extremely Low Frequencies)**

ELFs เป็นช่วงความถี่ 30 Hz - 300 Hz มีความยาวคลื่น 10^7 - 10^6 เมตร คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงนี้เป็นสัญญาณเสียงความถี่ต่ำที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน และเป็นช่วงของความถี่ไฟบ้านที่ 50 Hz และ 60 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ช่วงความถี่เสียง (Voice Frequencies)**

VFs เป็นช่วงความถี่ 300 Hz - 3000 Hz มีความยาวคลื่น 10^6 - 10^5 เมตร คลื่นช่วงนี้เป็นช่วง
สัญญาณเสียงพูดปกติของมนุษย์

3. ช่วงความถี่ต่ำมาก (Very Low Frequencies)

VLFs เป็นช่วงความถี่ 3 kHz - 30 kHz มีความยาวคลื่น 10^5 - 10^4 เมตร เป็นช่วงที่สัญญาณเสียงของเครื่องดนตรีและคลื่นสื่อสารของทางทหารใช้

4. ช่วงความถี่ต่ำ (Low Frequencies)

LFs เป็นช่วงความถี่ 30 kHz - 300 kHz มีความยาวคลื่น 10^4 - 10^3 เมตร เป็นช่วงสัญญาณที่ใช้ในการนำร่องของระบบการบินและการเดินเรือ

5. ช่วงความถี่กลาง (Medium Frequencies)

MFs เป็นช่วงความถี่ 300 kHz - 3000 kHz มีความยาวคลื่น 10^3 - 10^2 เมตร ใช้สำหรับคลื่นวิทยุกระจายเสียงในระบบ AM (Amplitude Modulation : 535 - 1605 kHz) และยังใช้สำหรับการสื่อสารในระบบการบินและการเดินเรือ

6. ช่วงความถี่สูง (High Frequencies)

HFs เป็นช่วงความถี่ 3 MHz - 30 MHz มีความยาวคลื่น 10^2 - 10^1 เมตร ความถี่สูงหรือที่เรียกว่าคลื่นสั้นนั้นใช้ในการกระจายเสียงวิทยุคลื่นสั้น เช่น สถานีวิทยุ Voiceof America ใช้ในการสื่อสารคลื่นวิทยุแบบสองทิศทาง ใช้ในวิทยุสื่อสารของทหารและวิทยุสมัครเล่น

7. ช่วงความถี่สูงมาก (Very High Frequencies)

VHFs เป็นช่วงความถี่ 30 MHz - 300 MHz มีความยาวคลื่น 10^1 - 10^1 เมตร เป็นช่วงความถี่ที่มีความหนาแน่นของการใช้งานมาก ได้แก่ วิทยุกระจายเสียงในระบบ FM (Frequencies Modulation : 88 - 108 MHz) มีสถานีโทรทัศน์ช่อง 2 ถึงช่อง 13 มีบางช่วงความถี่สำหรับวิทยุสมัครเล่น และนอกจากนั้นยังมีการใช้งานการสื่อสารของการบินและการเดินเรือ

8. ช่วงความถี่อุลตร้าไฮ (Ultrahigh Frequencies)

UHFs เป็นช่วงความถี่ 300 MHz - 3000 MHz มีความยาวคลื่น 1 - 10^{-1} เมตร เป็นช่วงความถี่ที่มีการใช้งานมากในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ บริการทางด้านโทรศัพท์ระบบเซลลูล่าร์ มีช่องความถี่สำหรับทหาร ระบบนำร่อง (Navigation) และระบบเรดาร์ (Radar) สำหรับความถี่ที่สูงกว่า 1000 MHz หรือ 1 GHz ขึ้นไปจะถูกเรียกว่าคลื่นไมโครเวฟ (Microwave)

9. ช่วงความถี่ซูเปอร์ไฮ (Superhigh Frequencies)

SHFs เป็นช่วงความถี่ 3 GHz - 30 GHz มีความยาวคลื่น 10^{-1} - 10^{-2} เมตร คือย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งถูกใช้งานอย่างมากในระบบสื่อสารของดาวเทียมและระบบเรดาร์

10. ช่วงความถี่สูงสุด (Extremely High Frequencies)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EHFs เป็นช่วงความถี่ 30 GHz - 300 KHz มีความยาวคลื่น 10^{-2} - 10^{-3} เมตร ใช้สำหรับระบบสื่อสารดาวเทียมและระบบเรดาร์ชนิดพิเศษ เนื่องจากอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ในย่านความถี่นี้มีความซับซ้อนมากจึงยังมีการใช้งานในย่านนี้น้อย และสำหรับสัญญาณความถี่ที่อยู่เหนือขึ้นไปขณะนี้จะถูกเรียกว่ามิลลิมิเตอร์เวฟ (Millimeter Wave)

11. ช่วงความถี่อินฟราเรด (Infrared)

มีความยาวคลื่น 0.7 - 100 ไมครอน สำหรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่า 300 GHz จะไม่นับเป็นคลื่นวิทยุ แต่จะมีการตั้งชื่อให้กับแต่ละแถบความถี่ ช่วงความถี่อินฟราเรดนี้อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุที่สูงที่สุดและคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ ความยาวคลื่นอินฟราเรดนั้นมีหน่วยเป็นไมครอน (1 ไมครอนเท่ากับ 1 ในล้าน ส่วนของ 1 เมตร = 10 เมตร) คลื่นอินฟราเรดมักจะแพร่กระจายออกมาพร้อมกับความร้อน นั่นคือวัตถุใดที่กำเนิดความร้อนก็จะมีการแพร่กระจายสัญญาณอินฟราเรด สัญญาณอินฟราเรดสามารถสร้างขึ้นได้ด้วย LED (Light Emitting Diode) ชนิดพิเศษ การใช้งานอินฟราเรดก็เช่นในงานดาราศาสตร์สำหรับการตรวจจับดาวหรือวัตถุในอวกาศ ใช้ในระบบควบคุมระยะไกล (Remote Control) เช่นของโทรทัศน์ นอกจากนี้อินฟราเรดยังมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับแสง โดยสามารถถูกควบคุมด้วยเลนส์และกระจกได้

12. ช่วงความถี่ที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum)

มีความยาวคลื่น 8000 - 40000 อังสตรอม เหนือความถี่ของอินฟราเรด เป็นแถบของคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ นั่นคือแสงมีหน่วยของการวัดความยาวของคลื่นเป็นอังสตรอม (Angstrom) โดย 1 อังสตรอมมีค่าเท่ากับหนึ่งส่วนหมื่นของไมครอน ช่วงของคลื่นแสงสีแดงจะอยู่ที่ช่วงที่ 8000 A˚ ส่วนคลื่นแสงสีม่วงจะอยู่ที่ 4000 A˚ แสงถูกใช้ในการสื่อสารหลายอย่าง เพราะสามารถมอดูเลตและส่งสัญญาณเข้าไปในสายใยแก้วนำแสง (Fiber Optics) ได้แสงมีประโยชน์สูงที่สุด เนื่องจากความถี่มีค่าสูงทำให้สามารถบรรจุข้อมูลจำนวนมากลงไปได้ แสงสามารถส่งออกไปในอากาศได้โดยการเพิ่มความเข้มของแสงและทำให้ลำของแสงมีขนาดเล็กลง ซึ่งเรียกว่า เลเซอร์ (Laser) ทำให้มีการประยุกต์ใช้แสงเลเซอร์ในการมอดูเลตสัญญาณเสียง ภาพและข้อมูลลงไปได้

สำหรับคลื่นแม่เหล็กในความถี่สูงกว่านี้ เช่น เอ็กซ์เรย์ (X-Rays) , แกมม่าเรย์ (Gamma Rays) และคอสมิกเรย์ (Cosmic Rays) ไม่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารจึงไม่ขอกล่าวถึง

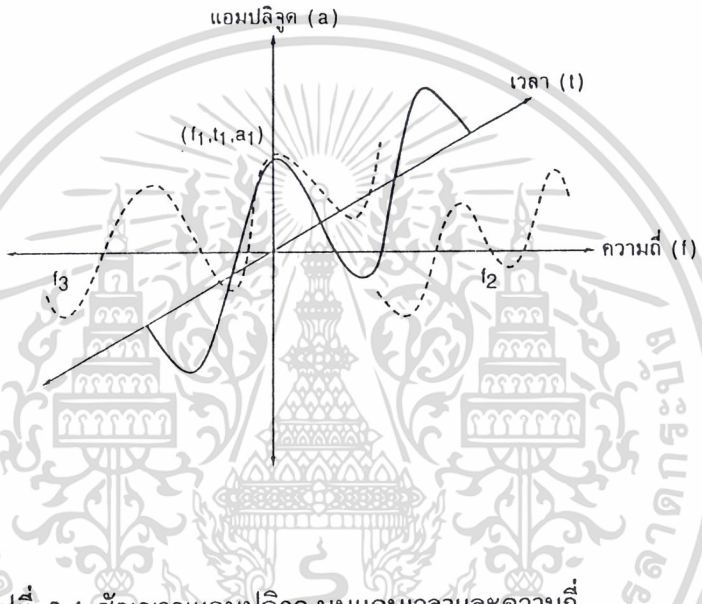
มิติของความถี่ เวลาและความแรงสัญญาณ

เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะการวิเคราะห์สัญญาณหรือคลื่นใด ๆนั้นอาจแยกพิจารณาสัญญาณได้ใน 2 แง่มุมดังต่อไปนี้

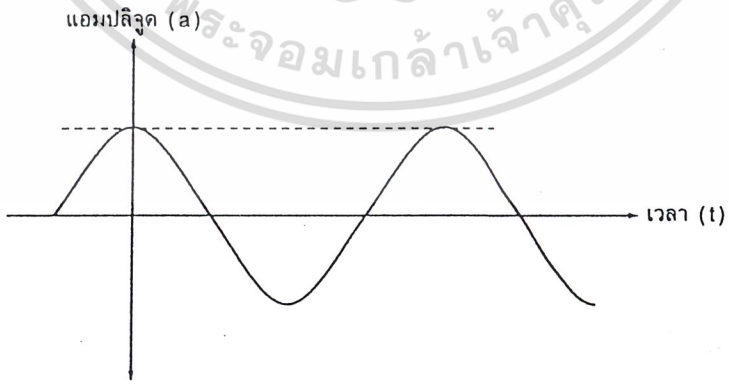
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.) สัญญาณในแกนเวลา (Time Domain) เมื่อมีความสนใจในการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูดของสัญญาณเทียบกับเวลา เป็นรูปสัญญาณที่สามารถวัดได้จากเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ซึ่งทำให้มองเห็นภาพของลูกคลื่นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลง ณ เวลาต่าง ๆ

ข.) สัญญาณในแกนความถี่ (Frequency Domain) เมื่อมีความสนใจในการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูดของสัญญาณเทียบกับความถี่ เป็นรูปสัญญาณที่สามารถวัดได้จากแถบวิเคราะห์ความถี่ (Spectrum Analyzer) ซึ่งแสดงให้เป็นสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆซึ่งอาจเป็นส่วนประกอบอยู่ในสัญญาณที่กำลังสนใจอยู่ ขอให้พิจารณารูป 3 มิติของสัญญาณใด ๆดังต่อไปนี้



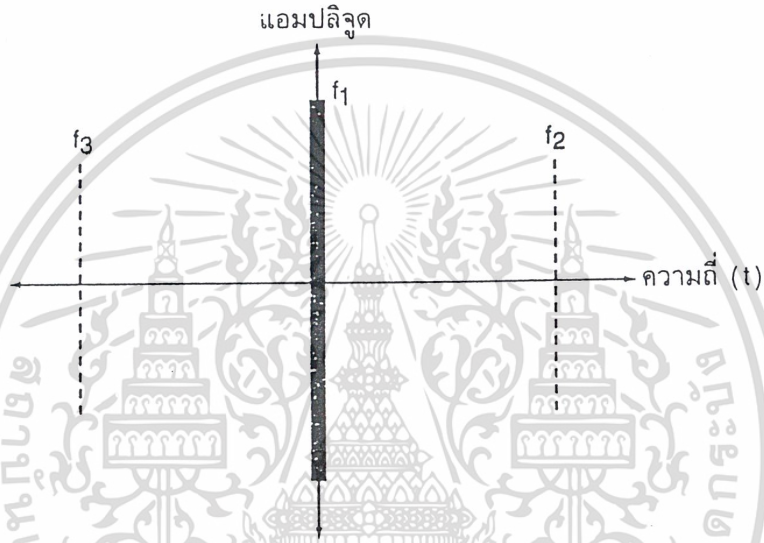
รูปที่ 2.4 สัญญาณแอมปลิจูด บนแกนเวลาและความถี่



รูปที่ 2.5 สัญญาณบนแกนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 แสดงถึงคุณสมบัติของคลื่นที่มีลักษณะของทั้ง 2 อย่างอยู่ หากคลื่นเดินทางไปในอากาศที่เวลาใดเวลาหนึ่งจะมีแอมปลิจูดค่าหนึ่ง และความถี่ประจำตัวอีกค่าหนึ่งเช่นกัน และบ่อยครั้งคลื่นที่กระจายไปในอากาศประกอบด้วยความถี่มากกว่าหนึ่งความถี่ ทำให้รูปสัญญาณบนแกนเวลาไม่เป็นเพียงแค่ รูปคลื่นซายน์ เช่นอาจเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณคลื่นรูปซายน์หลาย ๆลูก หรืออาจมีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะ เมื่อทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyzer) จะสามารถแยกความถี่ที่ประกอบอยู่ในสัญญาณออกมาดังเช่นสัญญาณในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สัญญาณบนแกนความถี่

ระบบคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นวิทยุ (Radio Carier)

การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุอาจเรียกได้ว่าเป็นการพัฒนาให้มนุษย์สามารถส่งข้อมูลหรือเสียงไปได้ไกลโดยไม่ต้องพึ่งสาย โดยธรรมชาติของคลื่นวิทยุนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ขั้นตอนคือมีการแพร่กระจายพลังงานคลื่นจากสายอากาศด้านผู้ส่ง ซึ่งคลื่นสามารถเดินทางได้เร็วเท่าความเร็วของแสง นั่นคือ 186,000 ไมล์ต่อวินาที หรือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงสายอากาศด้านผู้รับจะเกิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจำนวนน้อย ค่าหนึ่ง ซึ่งหากมีการขยายและแปลงสัญญาณที่มีการส่งมาก็จะได้สัญญาณเดิมกลับมา ส่วนข้อมูลข่าวสารหรือเสียงของมนุษย์นั้นมีวิธีการก็คือนำเสียงพูดรวมเข้าไปกับสัญญาณคลื่นวิทยุที่เป็นสื่ออีกช่วงความถี่หนึ่ง เราเรียกขั้นตอนดังกล่าวว่าการมอดูเลชั่น (Modulation) ในที่นี้จะกล่าวถึงในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติความเป็นมาของระบบคลื่นวิทยุ

ปี ค.ศ. 1800 ได้มีการเสนอหลักเบื้องต้นของคลื่นวิทยุที่ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตัวนำเส้นหนึ่งจะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลในเส้นลวดตัวนำอีกเส้นโดยไม่มีการสัมผัสกันระหว่างเส้นลวดทั้งสองเส้น ผู้เสนอคือ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael FARADAY) และโจเซฟ เฮนรี (Joseph HENRY) ในปี ค.ศ. 1820 ฮาน คริสเตียน เออเสต (Hans Christian OERSTED) ได้แสดงให้เห็นว่าถ้ากระแสถูกทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเกิดกระแสในตัวนำอีกตัวหนึ่งซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็กดังกล่าว เรียกว่าการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) หลังจากนั้นได้มีการทดลองขึ้นในปี ค.ศ. 1864 โดย เจมส์ เคลิก แมกซ์เวล (Jame Clerk Maxwell) ซึ่งเขาได้ให้เหตุผลทางทฤษฎีว่า การรบกวนทางไฟฟ้าซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสามารถที่จะแพร่กระจายหรือเดินทางไปในอากาศได้ด้วยความเร็วของแสง เขายังอ้างอีกว่าคลื่นแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า และในปี ค.ศ. 1880 ไฮน์ริช เฮิรตซ์ (Heinrich HERTZ) ก็ได้พิสูจน์ทฤษฎีของ แมกซ์เวลด้วยการสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ที่ประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitors) และขดลวดตัวนำ (Inductors) เพื่อทำการรับและส่งคลื่นวิทยุ จากการที่เขาวัดความยาวคลื่น (แลมด้า Lambda) และความถี่ของคลื่นที่กำเนิด ทำให้สามารถคำนวณความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมการที่ว่า v = f x (lambda) ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าคลื่นเดินทางด้วยความเร็วของแสง

เมื่อมีการค้นคว้าทฤษฎีเป็นที่เรียบร้อยก็ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการสื่อสารระยะไกล โดยกูกลิเอโม มาโคนี่ (Guglielmo MARCONI) ในปี ค.ศ. 1895 เขาได้ประดิษฐ์ระบบสื่อสารแบบโทรเลขไร้สายชุดแรกขึ้นมา ใช้หลักที่ว่าระยะทางสื่อสารยิ่งไกลเท่าใดก็ต้องสร้างสายอากาศให้สูงขึ้นไปเท่านั้น และได้มีการส่งโทรเลขครั้งแรกข้ามช่องแคบอังกฤษในเดือน มีนาคม ค.ศ. 1899 สำหรับการประยุกต์ใช้งานของคลื่นวิทยุในเบื้องต้น ได้มีการใช้ในการส่งสัญญาณฉุกเฉินขอความช่วยเหลือทางทะเล โดยมีการตั้งอุปกรณ์สื่อสารกับเรือในทะเลตามแนวชายฝั่งของอังกฤษ สำหรับการส่งสัญญาณข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกเป็นครั้งแรกนั้นเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 1901 ได้มีการส่งเป็นรหัสมอร์ส (Morse - code) สำหรับข้อความที่ต้องการส่งจากคอร์นเวล (Cornwel) ประเทศอังกฤษไปยัง เซนต์จอห์น (Saint John) มลรัฐนิวฟาวแลนด์ของสหรัฐอเมริกา

วิวัฒนาการของคลื่นวิทยุได้เจริญขึ้นอีกครั้งหนึ่ง เมื่อมีการสร้างหลอดอิเล็กตรอนสำเร็จ ไดโอด (DIODE) ซึ่งถูกสร้างโดยเซอร์ แอมโบรส เฟรมมิ่ง (Sir Ambrose FLEMING) ในปี ค.ศ. 1905 ทำให้สามารถจับคลื่นวิทยุที่ความถี่สูงขึ้นได้ และในปี ค.ศ. 1907 ลี เดอ ฟอเรส (Lee De FOREST) ได้ประดิษฐ์ไตรโอด (TRIODE) ขึ้นทำให้สามารถขยายสัญญาณคลื่นวิทยุและคลื่นเสียงได้ ในยุคนั้นการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุยังอยู่ในรูปแบบของคลื่นวิทยุโทรเลข ตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในข้อความจะถูกส่งโดยระบบแดชดอต (Dash - Dot) เป็นขีดและจุด หรือที่เรียกว่ารหัสมอร์ส (Morse - code) (ปัจจุบันนี้รหัสมอร์สยังคงมีใช้อยู่ในการส่งข้อความของคลื่นสั้น) การสื่อสารด้วยเสียงพูดของคนนั้นเริ่มขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1906 โดยนักฟิสิกส์ รีจินัล ออเบร เฟรสเซนเดน (Reginald Aubrey FESSENDEN) เขาได้พูดผ่านคลื่นวิทยุจากแบรทร็อก (Brant Rock) มลรัฐแมสซาชูเส็ตส์ (Massachusetts) ไปยังเรือในมหาสมุทรแอตแลนติก

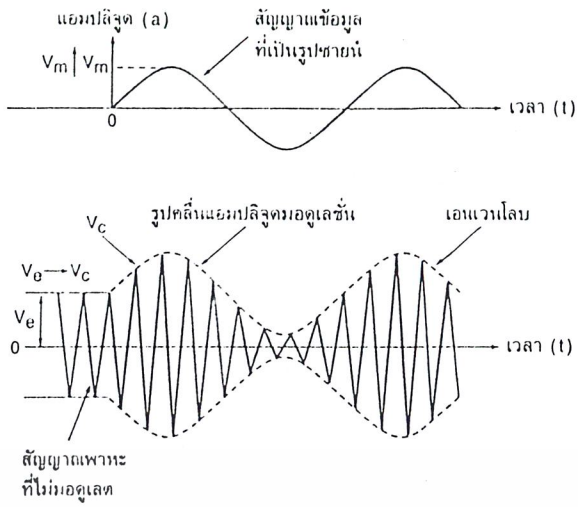
การพัฒนาตัวรับสัญญาณคลื่นรับวิทยุทำขึ้นโดยนักประดิษฐ์ชาวอเมริกาชื่อ เอ็ดวิน อาร์มสตรอง (Edwin ARMSTRONG) ในปี ค.ศ. 1918 เขาได้สร้างวงจรซุปเปอร์เฮตเทอโรไดน์ (Superheterodyne Curcuit) ขึ้น ก่อนหน้านั้นในแต่ละขั้นของการขยายสัญญาณในตัวรับสัญญาณ (Receiver) ต้องมีการหมุนไปยังความถี่ของสถานีส่งที่ต้องการ ซึ่งเป็นวิธีการที่ยุ่งยากในการจูนความถี่ (Tuning) ให้ถูกต้อง หรือที่เรียกว่าตัวรับสัญญาณแบบทีอาร์เอฟ TRF (Tuned-radio-frequency Receiver) ด้วยการใช้หลักการของเฮตเทอโรไดน์ (Heterodyne Principle) สัญญาณที่เข้ามาจะถูกผสมกับค่าสัญญาณความถี่ค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนค่าความถี่ดังกล่าวไป ผลลัพธ์ที่ได้จากการผสม (Mixing) ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา และสัญญาณคงที่ค่าหนึ่งนั้นจะยังคงได้เป็นความถี่กลางค่าหนึ่ง ซึ่งบรรจุข้อมูลข่าวสารของสถานีที่ตัวรับหมุนหรือจูนไปหา และขยายสัญญาณออกมาเป็นเสียงที่ลำโพง

ในการส่งสัญญาณเสียง คลื่นวิทยุต้องถูกทำการมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียง ก่อนหน้าปี ค.ศ. 1937 การมอดูเลตถูกทำด้วยการเปลี่ยนขนาดของคลื่น นั่นคือ แอมปลิจูด (Amplitude) หรือแมกนิจูด (Magnitude) ที่เรียกกันว่าแอมปลิจูดมอดูเลชั่น (Amplitude Modulation , AM) ในปี ค.ศ. 1933 อาร์มสตรองได้ค้นพบวิธีการพาคลื่นเสียงไปบนคลื่นวิทยุโดยการเปลี่ยนหรือการมอดูเลตความถี่ของคลื่นวิทยุตัวนำ และเรียกวิธีการดังกล่าวว่าฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (Frequency Modulation , FM) สำหรับวิธีการ FM นั้นสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนจากคลื่นรบกวน (Noise) และการรบกวนทางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

การมอดูเลชั่น (Modulation Technique)

จากความต้องการติดต่อสื่อสารระยะไกล สัญญาณเสียงพูดของมนุษย์ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ต่ำมีความยาวคลื่นมาก หากต้องการส่งเสียงพูดออกไปในอากาศที่ต้องใช้เสาอากาศที่มีขนาดสูงมาก ซึ่งไม่เหมาะสมและอาจมีสัญญาณรบกวนได้ง่าย จึงมีการคิดค้นเทคนิคที่จะทำให้เปลี่ยนความถี่ของเสียงพูดให้ไปอยู่ในอีกช่วงความถี่หนึ่งบนแถบความถี่ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการออกอากาศ การมอดูเลชั่นเป็นเทคนิคที่สำคัญ เป็นวิธีการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณหนึ่ง (ในที่นี้คือสัญญาณพาหะ Carrier) ให้เป็นไปตามรูปแบบของสัญญาณอีกชุดหนึ่งซึ่งเป็นข้อมูลหรือเสียงพูดที่ต้องการส่ง สัญญาณข้อมูลหรือเสียงพูดจะถูกเรียกว่า **มอดูเลติ้งซิกแนล** (Modulating Signal) ส่วนสัญญาณพาหะถูกเรียกว่า**แคเรียร์**(Carier) หรือมอดูเลตเวฟ (Modulate wave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดง สัญญาณข้อมูล สัญญาณพาหะ และสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จากการมอดูเลต

การมอดูเลชั่นทางแอมปลิจูด (Amplitude Modulation)

แอมปลิจูดมอดูเลชั่นเป็นวิธีการที่คิดค้นได้ก่อนในบรรดาเทคนิคการมอดูเลตอื่น ๆ เป็นการนำสัญญาณ 2 ชุดมาผสมกัน โดยสัญญาณแรกเป็นข้อมูลหรือเสียงที่ต้องการส่ง สัญญาณที่สองเป็นสัญญาณพาหะ แอมปลิจูดมอดูเลชั่นเป็นการนำสัญญาณข้อมูลมาปรับเปลี่ยนขนาดแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะ โดยที่ความถี่ของสัญญาณพาหะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในที่นี้สมมุติว่าสัญญาณข้อมูลที่ต้องการนำมาทำการมอดูเลตมีความถี่ค่าหนึ่งคือ f_s และสัญญาณข้อมูลที่เป็นพาหะมีความถี่อีกค่าหนึ่งคือ f_c ผลลัพธ์จากการมอดูเลชั่นจะเป็นดังรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7 เส้นประที่เกิดจากการต่อของแอมปลิจูดสัญญาณผลลัพธ์ จะมีชื่อเรียกว่าเอนเวนโลป (Envenlope) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับคลื่นของ f_s

ลักษณะของสัญญาณที่ได้รับจากการทำแอมปลิจูดมอดูเลชั่น

สัญญาณรูปซายน์นั้นโดยปกติจะสามารถอธิบายได้ด้วยรูปสมการดังนี้ $V = V\sin(2\pi ft)$ เมื่อกำหนดให้

V_s = แอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_s เป็นความต่างศักย์มีหน่วยเป็น Volt

v_c = แอมปลิจูดของสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_c เป็นความต่างศักย์มีหน่วยเป็น Volt

V_c = แอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณรูปซายน์ความถี่ f_c เป็นความต่างศักย์มีหน่วยเป็น Volt

t = เป็นเวลาใด มีหน่วยเป็นวินาที

จะได้ว่าสัญญาณ $v_s = V_s \sin(2\pi f_s t)$ (1)

$v_c = V_c \sin(2\pi f_c t)$ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต ค่าของแอมปลิจูดสูงสุดของความถี่สัญญาณข้อมูลไม่ควรที่จะมากกว่าแอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณพาหะ (Carier) มิฉะนั้นจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูลได้ หลังจากการทำมอดูเลชั่นหากค่าแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลสูงกว่าของสัญญาณพาหะมาก ๆ จะเรียกได้ว่าการเกิด**โอเวอร์มอดูเลชั่น** (Overmodulation) และความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ของสัญญาณทั้งสองนั้นมีการกำหนดขึ้นเรียกว่า**ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index** บางครั้งก็มีชื่อเรียกดังนี้ Modulation Factor , Modulation Coefficient , Degree of Modulation) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความต่างศักย์ของสัญญาณข้อมูลกับความต่างศักย์ของสัญญาณพาหะดังสมการข้างล่าง

$$m = \frac{V_s}{V_c}$$

ค่าของดัชนีการมอดูเลชั่น (Modulation Index) จะอยู่ในช่วง $0 < m < 1$ เพราะหาก m มากกว่า 1 ก็จะเกิดการโอเวอร์มอดูเลชั่น (Overmodulation) ขึ้น และนิยมคูณ 100 เข้าไปเพื่อแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลชั่น

จากรูปคลื่นผลลัพธ์ทำให้พอสรุปได้ว่าค่าความต่างศักย์ที่เวลาใด ๆ ของสัญญาณเกิดจากผลรวมของค่าแอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณพาหะกับค่าแอมปลิจูดที่เวลาใดของสัญญาณข้อมูล จะได้ค่าตามสมการข้างล่างนี้

$$v_1 = V_C + v_s$$

$$v_1 = V_C + V_S \sin(2\pi f_s t)$$

ค่าของ v_1 เป็นค่าของแอมปลิจูดของสัญญาณผลลัพธ์ตามที่เรียกว่าเอนเวนโลบ (Envenlope)

ดังนั้นสมการที่แสดงถึงรูปคลื่นผลลัพธ์คือ

$$v_2 = v_1 \sin(2\pi f_C t)$$

$$v_2 = [V_C + V_s \times \sin(2\pi f_s t)] \times \sin(2\pi f_C t)$$

$$= V_C \sin(2\pi f_C t) + V_S \sin(2\pi f_s t) \times \sin(2\pi f_C t)$$

หากพิจารณาจากสมการจะได้ว่า สัญญาณพาหะ + (สัญญาณข้อมูล x สัญญาณพาหะ)

นั่นคือส่วนแรกจะเป็นพาหะ และส่วนที่สองจะเป็นผลคูณของสัญญาณพาหะและสัญญาณข้อมูล ดังนั้นวงจรที่นำมาใช้สร้างแอมปลิจูดมอดูเลชั่นจะต้องเป็นวงจรคูณสัญญาณ มีชื่อเรียกวงจรสำหรับทำ AM ว่ามอดูเลเตอร์ (Modulator) และจากสูตรตรีโกณมิติที่ผลคูณของซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sin Ax \sin Bx = \cos \frac{(A-B)}{2} - \cos \frac{(A-B)}{2}$$

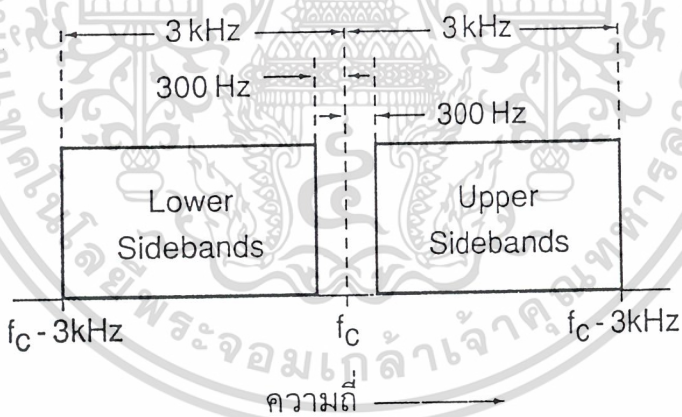
$$V_2 = V_C \sin(2\pi f_C t) + \frac{V_S}{2} \times \cos 2\pi t (f_C - f_S) - \frac{V_S}{2} \times \cos 2\pi t (f_C + f_S)$$

จากสมการข้างต้นชี้ให้เห็นว่าผลที่ได้จากการทำ Amplitude Modulation จะได้สัญญาณที่ความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณพาหะ (Carier) ออกมาด้วย เป็นสัญญาณที่ความถี่ต่ำและสูงกว่าสัญญาณพาหะ เรียกว่า**ไซด์แบนด์หรือไซด์ฟรีเควนซี่** (Sidebands or Side Frequency)

f_{USB} = Upper Sidebands Frequency = $f_C + f_S$

f_{LSB} = Lower Sidebands Frequency = $f_C - f_S$

จากการวัดด้วยออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) สัญญาณที่ได้จะไม่สามารถแยกได้ว่ามีความถี่ใกล้เคียงเกิดขึ้นด้วย แต่ถ้าใช้เครื่องมือสเปกตรัมอะนาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) วิเคราะห์สัญญาณของแอมปลิจูดมอดูเลชั่น (Amplitude Modulation) จะได้รูปกราฟของฟรีเควนซี่โดเมน (Frequency Domain) ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 สัญญาณแอมปลิจูดมอดูเลชั่นในแกนความถี่

จาก รูปที่ 2.8 ทำให้ทราบว่าสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีความถี่ใกล้เคียงเกิดขึ้นด้วยทั้งด้านบนและด้านล่างของความถี่พาหะ (Carrier) และจะได้ว่า AM ใช้ความกว้างของแถบสัญญาณหรือที่เรียกว่า Bandwidth เป็นจำนวนสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณข้อมูล ถ้าหากสัญญาณข้อมูลมีความถี่ fs = 5 kHz จะได้ว่าต้องใช้แบนด์วิดธ์ เท่ากับ 10 kHz สำหรับสัญญาณ AM

เมื่อพิจารณาถึงกำลัง (Power) ที่ส่งออกอากาศ จะประกอบด้วยกำลังของคลื่นพาหะบวกกับกำลังของคลื่นความถี่ข้างเคียงทั้งสองด้าน (Sidebands) เนื่องจากกำลังส่งของความถี่ข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปพ
ม.1818
355m
019577

เดียงมีค่าขึ้นอยู่กับค่าของดัชนีมอดูเลชั่น (m) (Modulation Index) และค่าของกำลังส่งของ Sideband มีค่าดังนี้

$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{Pc(m)^2}{4}$$

เมื่อ Pc = ค่ากำลังส่งของสัญญาณพาหะ (Carrier)

P_{LSB} = ค่ากำลังส่งของสัญญาณด้านที่ต่ำกว่าสัญญาณพาหะ

P_{USB} = ค่ากำลังส่งของสัญญาณด้านที่สูงกว่าสัญญาณพาหะ

จากสมการของกำลังข้างต้นทำให้ทราบว่ายิ่งเปอร์เซ็นต์มอดูเลชั่นยิ่งสูงมากเท่าใด กำลังส่งของสัญญาณความถี่ข้างเดียงก็จะยิ่งสูงมากขึ้น ทำให้การรับและการส่งสัญญาณดีขึ้น

แม้ว่า AM จะมีความง่ายและได้ผลอีกวิธีหนึ่ง แต่ก็เป็นการส่งสัญญาณที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพหากพิจารณาจากกำลังส่งทั้งหมด เมื่อ Pt = กำลังส่งสัญญาณทั้งหมด

$$P_t = P_C + P_{LSB} + P_{USB}$$

$$P_t = P_C + \frac{Pc(m)^2}{4} + \frac{Pc(m)^2}{4}$$

ที่ m = 1 หรือ 100% มอดูเลชั่นจะได้สัญญาณ Sideband ที่มีกำลังส่งสูงสุด

$$P_t = P_C + \frac{Pc}{2}$$

หากกำลังส่งของสัญญาณพาหะ (Carrier) เป็น 100 Watt กำลังส่งของสัญญาณไซด์แบนด์จะมีค่า 50 Watt มีการสูญเสียไปกับกำลังส่งของสัญญาณพาหะถึง 2 ใน 3 ของพลังงานทั้งหมด โดยที่ไม่มีข้อมูลใด ๆ อยู่ในสัญญาณนี้เลย ด้วยสาเหตุข้างต้นจึงมีการลดหรือเอาสัญญาณพาหะออกไป ซึ่งเรียกว่าการ**ซับเพรสชั่น** (Suppression) ทำให้สัญญาณที่ได้มีเฉพาะสัญญาณไซด์แบนด์ สัญญาณ AM ที่มีการเอาสัญญาณพาหะออก เรียกว่า **ดับเบิลไซด์แบนด์ซับเพรสแคร์เรียร์** (Double sideband suppressed carrier : DSSC หรือ DSB เรียกว่าบาลานซ์มอดูเลเตอร์ (Balance Modulator) ด้วยการใช้ DSB จะทำให้กำลังถูกใส่ลงในสัญญาณ Sideband ได้มากขึ้น

และหากพิจารณาต่อไปอีกจะพบว่าสัญญาณข้อมูลนั้นมีอยู่ซ้ำกันทั้งความถี่ด้านบน (Upper Sideband) และความถี่ด้านล่าง (Lower Sideband) จึงมีการคิดค้นให้ส่งสัญญาณเพียงสัญญาณข้างเดียงเพียงด้านเดียว เรียกว่า **ซิงเกิลไซด์แบนด์ซับเพรสแคร์เรียร์** (Single

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sideband Suppressed Carrier SSSC หรือ SSB)เมื่อมีการใช้สัญญาณเพียงข้างเดียวทำให้สามารถประหยัดการครอบครองแถบความถี่ (Spectrum) ไปได้ครึ่งหนึ่ง จากเดิมที่สัญญาณ AM ต้องการใช้

ทั้ง DSB และ SSB มีประสิทธิภาพที่มากกว่าในแง่ของกำลังส่งที่ใช้ เนื่องจากมีการประหยัดกำลังส่งของสัญญาณพาหะ ทำให้สามารถนำกำลังส่งไปใส่เพิ่มในไซด์แบนด์ได้ และคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งคือขณะที่ไม่มีสัญญาณข้อมูลหรือเสียงพูดเข้ามาก็จะไม่มีสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency) ส่งออกมา

สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการมอดูเลชั่นทางความถี่อีกเรื่องหนึ่งคือ ฟรีเควนซี่คอนเวอร์ชั่น (Frequency Conversion) เป็นการแปลงสัญญาณข้อมูลหรือเสียงพูดไปยังความถี่ที่สูงหรือต่ำกว่า ในขณะที่ยังคงรักษาข้อมูลเบื้องต้นไว้ทั้งหมด เป็นเพียงการเลื่อนความถี่ไปเท่านั้น ในการแปลงความถี่ให้สูงขึ้นนั้นมีการใช้งานในการส่งสัญญาณออกอากาศ ส่วนในการแปลงความถี่ให้ต่ำลงนั้นมักมีใช้ในเครื่องรับวิทยุ เพื่อทำให้สามารถเลือกช่องส่งสัญญาณ (Selectivity) ได้สะดวกขึ้น และเพิ่มค่ากำลังขยาย (Gain) ให้ดีขึ้น กล่าวกันว่าฟรีเควนซี่คอนเวอร์ชั่นเป็นรูปแบบหนึ่งของแอมปริจั้นมอดูเลชั่น (Amplitude Modulation) และกระทำได้โดยใช้วงจรที่เรียกว่ามิกเซอร์ (Mixer) ในอุปกรณ์บางชนิด มิกเซอร์หมายถึงตัวแปลง (Converter) และฟังก์ชั่นการทำงานของมิกเซอร์เรียกว่าเฮตเทอโรไดนิ่ง (Heterodyning)

การทำงานของมิกเซอร์เหมือนกับตัวแอมปลิจูดมอดูเลเตอร์ (Amplitude Modulator) คือจะทำการคูณสัญญาณอะนาลอกของสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณความถี่อ้างอิง (Local Oscillator) ผลลัพธ์ที่ได้จากมิกเซอร์ประกอบไปด้วยสัญญาณความถี่ดังต่อไปนี้

f_s = ความถี่ของสัญญาณข้อมูล

f_o = ความถี่ของสัญญาณจากความถี่อ้างอิง (Local Oscillator)

$f_o + f_s$ = ความถี่ผลรวมของสัญญาณข้อมูลและสัญญาณอ้างอิง

$f_o - f_s$ หรือ $f_s - f_o$ = ความถี่ผลต่างของสัญญาณข้อมูลและสัญญาณอ้างอิง

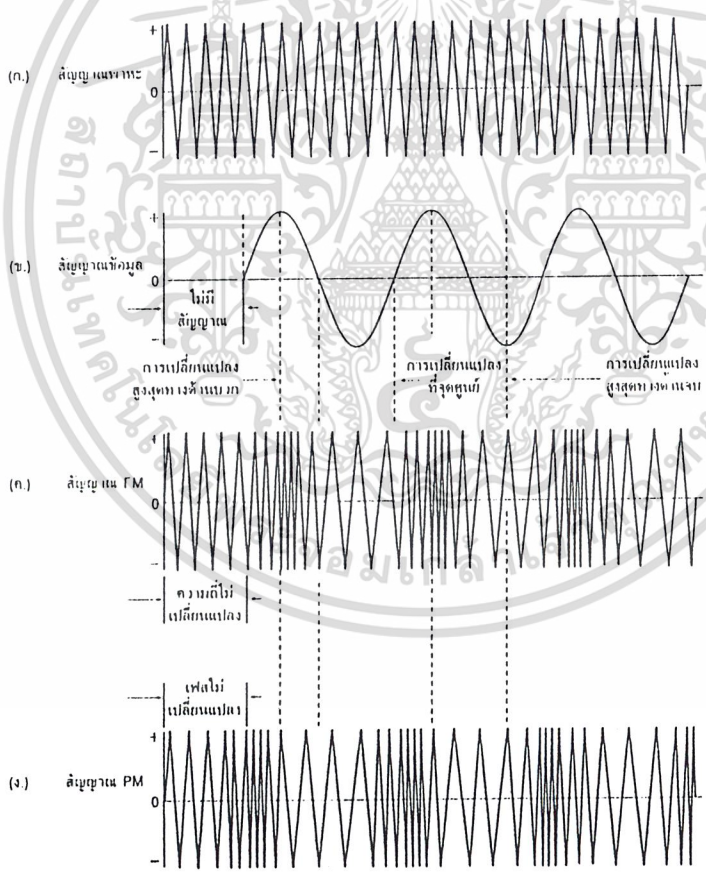
ผลที่ได้คือสามารถเปลี่ยนความถี่ไปเป็นความถี่ที่สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ และหากใช้วงจรกรอง (Filter)กรองเอาเฉพาะสัญญาณที่ต้องการมาก็จะได้สัญญาณที่จะถูกเลื่อนไปอยู่อีกความถี่หนึ่ง ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนไปยังความถี่อื่นแต่ผลจากการทำมอดูเลชั่นก่อนหน้าเข้าวงจรมิกเซอร์ก็ยังคงปรากฏอยู่ในสัญญาณผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟรีเควนซี่มอดูเลชั่นและเฟสมอดูเลชั่น (Frequency Modulation และ Phase Modulation)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสัญญาณพาหะที่เป็นคลื่นรูปซายน์ ทำให้ทราบว่าสามารถทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาหะได้อีกสองวิธีการคือ การเปลี่ยนความถี่ (Frequency) เรียกว่า**ฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น** (Frequency Modulation) และการเลื่อนเฟส (Phase Shift) เรียกว่า **เฟสมอดูเลชั่น** (Phase Modulation) และจากการเปลี่ยนการเลื่อนเฟสของสัญญาณก็ทำให้เกิดการมอดูเลตทางความถี่ได้ด้วย ทั้งสองวิธีต่างก็เป็นการมอดูเลตทางมุม (Angle Modulation)

สังเกตจากสมการ $v_s \approx V_s \sin(2\pi f_s t) \approx V_s \sin \Omega_s t$



รูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณพาหะ สัญญาณข้อมูลและสัญญาณ FM และ PM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (Frequency Modulation)

เป็นการเปลี่ยนสัญญาณความถี่ของสัญญาณพาหะตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล โดยที่ค่าแอมปลิจูดของสัญญาณยังคงที่ การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณพาหะจะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล เช่นเมื่อสัญญาณข้อมูลมีแอมปลิจูดสูงสัญญาณพาหะก็จะมีความถี่สูงขึ้นด้วย ขณะที่ไม่มีสัญญาณข้อมูลเข้ามาทำการมอดูเลตของสัญญาณพาหะจะมีค่าความถี่กลางอยู่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า**เซนเตอร์ฟรีเควนซี่** (Center Frequency) เมื่อมีสัญญาณข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้เกิดความถี่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงจากค่าความถี่กลางนี้ ปริมาณที่เปลี่ยนไปของความถี่ดังกล่าวซึ่งเกิดจากสัญญาณข้อมูลจะถูกเรียกว่า**ค่าเบี่ยงเบนความถี่** (Frequency Deviation) ค่าสูงสุดของการเบี่ยงเบนความถี่จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณข้อมูลมีแอมปลิจูดสูงสุด ความถี่ของสัญญาณข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดให้ทราบถึงจำนวนครั้งในหนึ่งวินาทีที่เกิดการเบี่ยงเบนของความถี่ขึ้นไปสูงและต่ำกว่าค่าความถี่กลาง และอัตราดังกล่าวถูกเรียกว่า**อัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่** (Frequency Deviation Rate) ความถี่ของสัญญาณข้อมูลจะมีผลต่ออัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่ดังกล่าว แต่จะไม่มีผลต่อปริมาณของความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าความถี่กลางซึ่งขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลเท่านั้น

การแสดงให้ทราบถึงปริมาณการเบี่ยงเบนทางความถี่ก็จะเป็นปริมาณของความถี่ที่เลื่อนสูงขึ้นหรือต่ำลงไปจากค่าความถี่กลาง เช่นหากมีค่าความถี่กลางเป็น 900 MHz และมีค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 200 kHz หมายความว่าสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วจะมีค่าความถี่สูงสุดเท่ากับ 900.2 MHz และต่ำสุดเท่ากับ 899.8 MHz

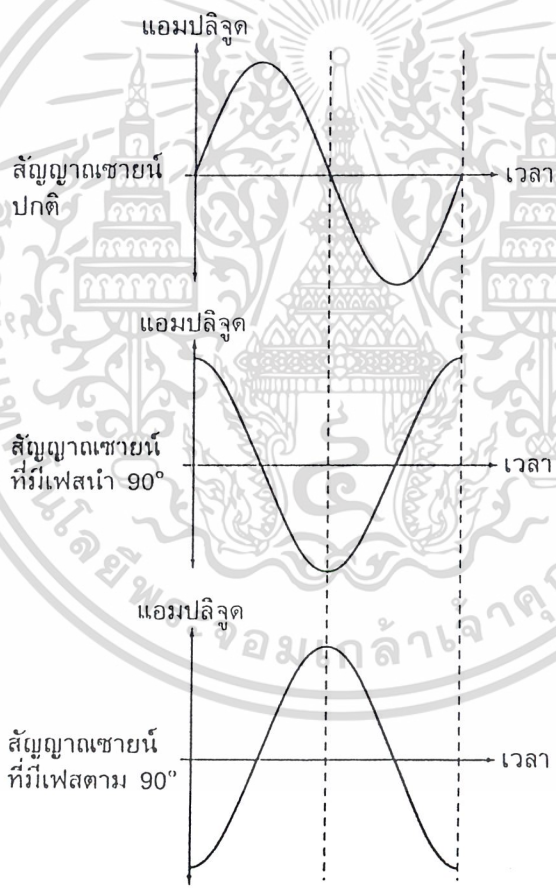
เฟสมอดูเลชั่น (Phase Modulation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของการเลื่อนเฟส (Phase shift) ของความถี่คงที่ของสัญญาณพาหะตามสัญญาณข้อมูล การเลื่อนเฟสหมายถึงการเวลาที่แตกต่างกันระหว่างคลื่นซายน์สองลูกที่มีความถี่เดียวกัน คลื่นลูกหนึ่งที่มีเฟสนำ (Leading) หมายความว่าเป็นสัญญาณที่เวลาก่อนหน้าของสัญญาณอีกลูกหนึ่ง หรือการที่มีเฟสตาม (Lagging) จะหมายความว่าเป็นสัญญาณที่เกิดที่เวลาหลังจากสัญญาณอีกลูกหนึ่ง โปรดพิจารณารูปคลื่นสัญญาณสามรูปจากรูปที่ 2.10 เพื่อทำความเข้าใจกับความแตกต่างทางเฟส

สำหรับการมอดูเลตทางเฟสนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของสัญญาณพาหะจะขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงทางบวกของสัญญาณข้อมูลอาจทำให้เกิดการเลื่อนเฟสตาม ส่วนสัญญาณทางลบอาจทำให้เกิดการเลื่อนเฟสนำ เมื่อสัญญาณเพิ่มขึ้นทางบวก (โดยไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณของแอมปลิจูด) ปริมาณของเฟสตามก็จะเพิ่มขึ้นพร้อมกับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลสัญญาณพาหะก็จะทำให้ถูกหน่วงเวลาไป เป็นผลให้สัญญาณที่ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นเป็นสัญญาณพาหะที่ความถี่คงที่ซึ่งถูกยืดออก หรืออาจกล่าวได้ว่าความถี่ต่ำลง เมื่อสัญญาณข้อมูลลดลงทางลบเฟสก็จะเปลี่ยนเป็นเฟสนำในช่วงนี้สัญญาณพาหะก็จะถูกเร่งความเร็วขึ้น นั่นคือความถี่ของพาหะก็จะสูงขึ้น จากปริมาณการเลื่อนเฟสมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ของสัญญาณพาหะ เกิดเป็นการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม (Indirect FM) ที่ได้จากการมอดูเลตทางเฟส (PM) แต่การมอดูเลตทางความถี่จะเกิดเมื่อมีการเลื่อนเฟสมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เท่านั้น หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสการเปลี่ยนแปลงความถี่ก็จะไม่เกิดขึ้น หากพิจารณาสัญญาณข้อมูลขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดแอมปลิจูด การเปลี่ยนแปลงทางความถี่จะเกิดขึ้นจากตัวมอดูเลตทางเฟสหรือตัวเลื่อนเฟส และหากสัญญาณข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด สัญญาณพาหะจะไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลง จะเป็นสัญญาณพาหะที่ความถี่เดิมที่ถูกเลื่อนเฟสไปค่าหนึ่งเท่านั้น



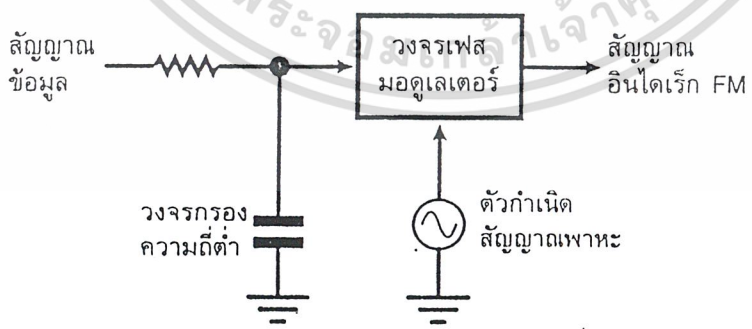
รูปที่ 2.10 สัญญาณซายน์ปกติ สัญญาณซายน์ที่มีเฟสนำ 90 องศา และสัญญาณซายน์ที่มีเฟสตาม 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการมอดูเลตทางเฟสค่าเบี่ยงเบนความถี่มากที่สุดจะปรากฏในช่วงที่สัญญาณข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราสูงสุด เช่น ณ จุดที่สัญญาณข้อมูลรูปซายน์มีการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์จากบวกไปหาลบหรือจากลบไปหาบวก หรือจุดที่สัญญาณตัดกับแกนเวลาและมีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์นั่นเอง (Zero Crssingpoints) แต่สำหรับการมอดูเลตทางความถี่ ค่าเบี่ยงเบนความถี่มากที่สุดจะเกิดในช่วงของแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลมีค่าสูงสุดทั้งทางบวกและทางลบ ถึงแม้ว่าตัวมอดูเลตทางเฟสจะสร้างสัญญาณแบบมอดูเลตทางความถี่ (FM) แต่ค่าเบี่ยงเบนความถี่จะปรากฏที่คนละช่วงเวลากัน นั่นคือความแตกต่างของการมอดูเลตทั้งสองแบบ

ในการมอดูเลตทางเฟส (PM) ค่าของเฟสนำและเฟสตามที่มากที่สุดจะปรากฏที่แอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณข้อมูล และค่าเบี่ยงเบนความถี่ที่สัญญาณขาออกของวงจรของวงจรเลื่อนเฟสจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูล ยิ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมีค่าสูงมากค่าเบี่ยงเบนความถี่จะยิ่งมาก ทำให้พอจะสรุปได้ว่าในการมอดูเลตทางเฟสนั้นการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสองอย่างคือ ความถี่และแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล ในขณะที่การมอดูเลชั่นทางความถี่ (FM) จะมีค่าความเบี่ยงเบนความถี่ขึ้นอยู่กับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลเพียงอย่างเดียว

จากความแตกต่างดังกล่าว เมื่อนำสัญญาณข้อมูลมาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำซึ่งทำให้สัญญาณที่ความถี่สูงถูกลดทอนแอมปลิจูดลงไปและต่อเข้าวงจรมอดูเลตทางเฟส ผลของสัญญาณข้อมูลที่ความถี่สูงซึ่งทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่มากก็จะลดลงเนื่องจากวงจรกรองเป็นตัวชดเชย เป็นผลให้ความถี่สูงที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความถี่มากลดลง ผลลัพธ์ของสัญญาณที่ได้ก็จะเหมือนกับสัญญาณมอดูเลตทางความถี่ หรือที่เรียกว่าการมอดูเลตทางความถี่โดยอ้อม (Indirect FM)



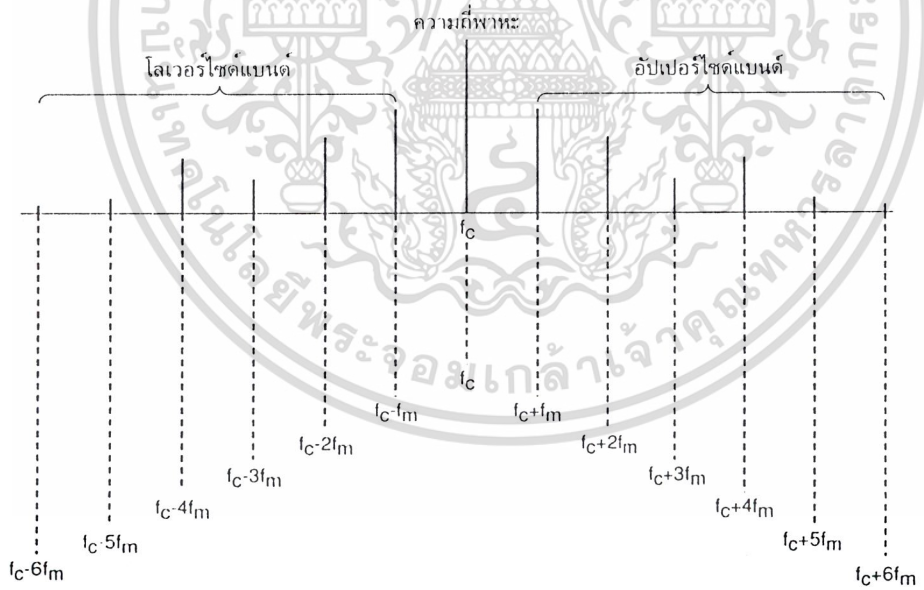
รูปที่ 2.11 วงจร Indirect FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในระบบสื่อสารส่วนใหญ่จะเป็นวงจรมอดูเลตทางเฟสมากกว่า เนื่องจากมีตัวคริสตอลออสซิลเลเตอร์ ทำให้สามารถสร้างสัญญาณพาหะที่มีความถี่เที่ยงตรงและเสถียรได้ดี ในขณะที่วงจรมอดูเลตทางความถี่จะต้องการตัวสร้างสัญญาณความถี่ในช่วงกว้าง ๆ ซึ่งตัวคริสตอลออสซิลเลเตอร์ไม่สามารถทำได้ แต่จากตัวอย่างข้างต้นสัญญาณมอดูเลตทางความถี่ก็ถูกสร้างได้จากวงจรมอดูเลชั่นทางเฟส และยิ่งกว่านั้นวงจรมอดูเลชั่นทางเฟสก็สามารถสร้างได้ง่ายกว่าวงจรมอดูเลชั่นทางความถี่

ความถี่ข้างเคียงและดัชนีความถี่มอดูเลชั่น

ผลจากการมอดูเลตไม่ว่าด้วยวิธีการใดจะทำให้เกิดความถี่ข้างเคียงขึ้น ในการมอดูเลตทางความถี่และทางเฟสก็เกิดความถี่ข้างเคียงที่เป็นความถี่ของผลรวมและผลต่างของสัญญาณพาหะและสัญญาณข้อมูลขึ้นเช่นกัน ตามทฤษฎีแล้วจะเกิดคู่ของความถี่ข้างเคียงขึ้นเป็นจำนวนอนันต์ทั้งด้านบนและด้านล่างของความถี่กลาง ทำให้สัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่และเฟสมีการใช้งานแถบความถี่ (Spectrum) มากกว่าสัญญาณที่มอดูเลตทางแอมปลิจูด



รูปที่ 2.12 แสดงแถบความถี่ของสัญญาณ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 แถบความถี่ของสัญญาณมอดูเลตทางความถี่โดยทั่วไป ที่สัญญาณพาหะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณรูปซายน์ที่ความถี่เดียว จะมีลักษณะที่น่าสังเกตคือความถี่ข้างเคียงจะเว้นระยะห่างจากสัญญาณความถี่พาหะและความถี่ข้างเคียงด้วยกัน เป็นระยะเท่าๆ กัน เท่ากับความถี่สัญญาณข้อมูลหากความถี่สัญญาณข้อมูลมีค่าเท่ากับ 500 Hz สัญญาณความถี่ข้างเคียงคู่แรกจะอยู่สูงกว่าและต่ำกว่าสัญญาณพาหะอยู่ 500 Hz และแอมปลิจูดของสัญญาณข้างเคียงจะไม่เท่ากัน หากสมมุติว่าสัญญาณความถี่ข้างเคียงต่างๆ เป็นสัญญาณรูปซายน์ที่มีความถี่และแอมปลิจูดเฉพาะตัว เมื่อนำมารวมกันจะได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่นั่นเอง

ลักษณะต่างๆ ของจำนวนความถี่ข้างเคียง ขนาดแอมปริลจูดของความถี่ข้างเคียงและระยะห่างระหว่างความถี่ จะขึ้นอยู่กับค่าเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation) และความถี่ของสัญญาณข้อมูล แม้ว่าสัญญาณมอดูเลชั่นทางความถี่จะมีความถี่ข้างเคียงจำนวนอนันต์ แต่ความถี่ข้างเคียงที่มีแอมปลิจูดสูงเพียงพอนั้นจึงจะถือว่าเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลอยู่ โดยปรกติสัญญาณที่มีแอมปลิจูดตกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณพาหะที่ยังไม่ถูกมอดูเลต จะถือว่าไม่มีความสำคัญ

จากความสัมพันธ์ข้างต้น ทำให้เกิดอัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนความถี่กับความถี่ของสัญญาณข้อมูล ซึ่งเรียกดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) มีตัวย่อว่า m

$$m = \frac{fd}{fm}$$

เมื่อ fd = ค่าเบี่ยงเบนความถี่

fm = ค่าความถี่ของสัญญาณข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะและสัญญาณไซด์แบนด์ตามค่าดัชนีการมอดูเลชั่น คำนวณตามฟังก์ชั่นเบสเซลล์

ดัชนีมอดูเลชั่น	พาหะ	ไซด์แบนด์ (เป็นคู่)															
		1sh	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10 th	11 th	12 th	13 th	14 th	15 th	16 th
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.50	0.94	0.24	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0.40	0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0.18	0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.15	0.28	0.24	0.11	0.36	0.25	0.25	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-	-
7	0.30	0.00	0.30	0.17	0.16	0.34	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-
8	0.17	0.23	0.11	0.29	0.10	0.34	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	-	-	-	-	-
9	0.09	0.24	0.14	0.18	0.27	0.20	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	-	-	-
10	0.25	0.04	0.25	0.06	0.22	0.01	0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	-	-
12	0.05	0.22	0.08	0.20	0.18	0.07	0.24	0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15	0.01	0.21	0.04	0.19	0.12	0.13	0.21	0.03	0.17	0.22	0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12

ค่าเบี่ยงเบนความถี่และค่าความถี่ของสัญญาณข้อมูลมักจะใช้ค่ามากที่สุด เพื่อนำมาคำนวนดัชนีการมอดูเลต และนอกจากนั้นค่าดัชนีดังกล่าว (m) ก็ถูกเรียกว่าอัตราการเบี่ยงเบนด้วย ตัวอย่างของค่าดัชนี เช่นในวิทยุกระจายเสียงระบบ FM จะมีค่าเบี่งเบนความถี่ได้มากที่สุด 75 kHz และมีค่าความถี่ของสัญญาณข้อมูลสูงสุด 15 KHz ดังนั้นจะได้ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ

$$m = \frac{75}{15} = 5$$

เมื่อทราบค่าดัชนีการมอดูเลตจะทำให้สามารถทราบจำนวนและขนาดของแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่ข้างเคียงได้ด้วยการคำนวนสมการฟังก์ชั่นเบสเซล (Bessel function) ซึ่งค่อนข้างซับซ้อน ผลที่ได้จะออกมาในรูปของข้อมูลในตารางที่ 5 คอลัมน์ซ้ายมือสุดเป็นค่าดัชนีการมอดูเลต และคอลัมน์ที่เหลือเป็นแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะและสัญญาณข้างเคียงทั้งสองด้าน โดยสัญญาณข้างเคียงที่มีแอมปลิจูดต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณพาหะจะไม่ถูกแสดงบนตาราง ขอให้สังเกตว่าสัญญาณข้างเคียงและพาหะบางตัวมีค่าแอมปลิจูดลบ ซึ่งแสดงว่ามีการเลื่อนเฟสไป 180 องศา หรือกลับเฟสนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ถูกมอดูเลตทางความถี่ (FM) จะใช้แถบความถี่กว้างเท่าใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลตด้วยเช่นกัน หากค่าดัชนีการมอดูเลตมากก็จะใช้แถบความถี่กว้างมาก ดังนั้นสามารถประหยัดแถบความถี่ได้ด้วยการจำกัดค่าของดัชนีการมอดูเลต ความกว้างของแถบความถี่สามารถหาได้จากค่าดัชนีการมอดูเลตและผลจากตารางที่ 2.1 ดังสมการดังนี้

แถบความกว้างของความถี่ (Bandwidth) = $2f_m$ x จำนวนของความถี่ข้างเคียงที่สำคัญ

เมื่อ f_m = ความถี่ของสัญญาณข้อมูล

จากตารางมีข้อมูลน่าสังเกตอย่างหนึ่งคือ เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นสัญญาณของพาหะจะมีขนาดแอมปลิจูดลดลง และแอมปลิจูดของสัญญาณข้างเคียงก็จะมีค่ามากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่มีแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะหายไป เปรียบเทียบกับสัญญาณในแบบมอดูเลชั่นทางแอมปลิจูด ปริมาณการมอดูเลตจะแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นอัตราส่วนของแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลกับแอมปลิจูดของสัญญาณพาหะ หากปริมาณทั้งสองเท่ากันอัตราส่วนจะเป็นหนึ่ง เป็นผลให้เกิดการมอดูเลตขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่หากสัญญาณข้อมูลมีค่าสูงกว่าจะทำให้เกิดการมอดูเลตมากเกินไป (Overmodulation) และเกิดความเพี้ยนของสัญญาณขึ้น สำหรับการมอดูเลตทางความถี่และเฟสการที่แอมปลิจูดและความถี่ของสัญญาณข้อมูลสูงขึ้นจะไม่ทำให้เกิดการมอดูเลตมากเกินไป หรือสัญญาณผิดเพี้ยนแต่อย่างไร แต่จะทำให้เกิดค่าเบี่ยงเบนความถี่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ค่าดัชนีการมอดูเลตทางความถี่สูงขึ้น และต้องใช้แถบความถี่กว้างมากขึ้น ปริมาณการมอดูเลตในแบบความถี่สามารถหาได้จากอัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนความถี่ที่เกิดขึ้นจริงต่อค่าสูงสุดของค่าเบี่ยงเบนความถี่ที่ยอมรับได้

เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตทางความถี่ = (ค่าเบี่ยงเบนความถี่จริง / ค่าเบี่ยงเบนที่สูงสุด) x 100

ค่าเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวไม่ควรเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสถานีส่งสัญญาณแบบ FM ถูกกำหนดให้ใช้แถบความถี่เพียงช่วงหนึ่ง หากเกินกว่านี้ก็จะไปรบกวนช่องสัญญาณอื่นที่อยู่ข้างเคียง

เปรียบเทียบฟรีเควนซี่มอดูเลชั่นกับแอมปลิจูดมอดูเลชั่น

กล่าวได้ว่าการมอดูเลตทางความถี่นั้นมีข้อดีกว่าการมอดูเลตทางแอมปลิจูดหลายอย่างดังต่อไปนี้

1. สัญญาณ FM มีความทนต่อการรบกวนของสัญญาณรบกวน (Noise) ได้ดีกว่าสัญญาณแบบ AM สัญญาณรบกวนมักมีลักษณะเป็นสัญญาณแคบที่มีแอมปลิจูดสูง และมีความถี่สูงด้วย หากสัญญาณรบกวนมีความแรงมากพอ เมื่อมันรวมเข้ากับสัญญาณที่ถูกมอดูเลตก็อาจจะลบล้างสัญญาณข้อมูลที่ต้องการออกไปได้ โดยส่วนใหญ่สัญญาณรบกวนจะมีการเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงทางแอมปลิจูดมาก สัญญาณ FM ซึ่งมีค่าแอมปลิจูดคงที่ และในวงจรเครื่องรับสัญญาณก็จะมีการจำกัดขนาดแอมปลิจูดของสัญญาณดังนั้นผลของสัญญาณรบกวนจะมีน้อยมาก

2. หากสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแต่มีความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน สัญญาณที่มีความแรงมากกว่าสองเท่าจะสามารถจองช่องสัญญาณได้ และกำจัดสัญญาณที่อ่อนกว่าออกไปได้ เป็นปรากฏการจองช่องสัญญาณ เรียกว่า**แคบเจอร์เอฟเฟกต์** (Capture effect) เนื่องจากในเครื่องรับแบบ FM มีวงจรจำกัดสัญญาณ (Limiters) ซึ่งจะกำจัดสัญญาณที่ความถี่เดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากขนาดความแรงทั้งสองสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกันอาจจะเกิดเหตุการณ์ที่มีการสลับช่องสัญญาณที่รับได้ไปมา เมื่อสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งรับได้อ่อนกว่าอีกสัญญาณหนึ่ง

3 . ระบบเครื่องส่งสัญญาณมอดูเลชั่นทางความถี่จะมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากสัญญาณ FM มีค่าแอมปลิจูดของสัญญาณคงที่ จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้วงจรขยายเชิงเส้นในการขยายกำลังของสัญญาณ สัญญาณ FM มักถูกสร้างที่สัญญาณระดับต่ำ และขยายด้วยวงจรขยายคลาสซี (Class C) หลายๆ ชุดเพื่อเพิ่มกำลังส่ง ทำให้การขยายสัญญาณมีประสิทธิภาพมากกว่าในเครื่องส่งสัญญาณมอดูเลตทางแอมปลิจูดซึ่งต้องการรักษาข้อมูลไว้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วงจรขยายเชิงเส้นคลาสเอ (Class A) หรือคลาสบี (Class B) ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่า

ถึงแม้ว่าการมอดูเลตทางความถี่จะมีข้อดีกว่าแต่ก็ยังมีข้อเสียเช่นเดียวกัน ดังนี้

1. แม้ว่าสัญญาณ FM จะทนต่อการรบกวนของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า แต่หากสัญญาณรบกวนนั้นเป็นสัญญาณที่ความถี่สูงซึ่งมีแอมปลิจูดขนาดใหญ่กว่าสัญญาณของข้อมูลที่มีความถี่สูง ก็จะทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนได้ เพราะสัญญาณรบกวนอาจกำจัดสัญญาณข้อมูลส่วนที่ความถี่สูงดังกล่าวออกไปได้วิธีการแก้ไขอาจสามารถทำได้โดยการเพิ่มวงจรเน้นสัญญาณก่อนเข้าวงจรมอดูเลตความถี่ หรือที่เรียกว่า**ทคนิคปรีเอ็มฟาซิส** (Pre – emphasis) ในวงจรเครื่องส่งก็จะมีวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่สูงก่อนเข้าวงจรมอดูเลต และวงจรดังกล่าวจะเพิ่มพลังงานให้กับสัญญาณที่ความถี่สูงให้มีความแรงสัญญาณมากกว่าสัญญาณรบกวน สำหรับในเครื่องรับก็จะมีวงจรลดสัญญาณ ใช้เทคนิคที่เรียกว่า**ดีเอ็มฟาซิส** (Deemphasis) เพื่อจะลดสัญญาณที่ถูกขยายที่ความถี่สูงลงเป็นการชดเชยสัญญาณ ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเพิ่มอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนขึ้น และทำให้สัญญาณมีความถูกต้องมากขึ้น

2. ข้อเสียที่สำคัญของสัญญาณมอดูเลตทางความถี่ก็คือ สัญญาณ FM จะใช้แถบความถี่มากกว่าสัญญาณที่มอดูเลตทางแอมปลิจูด แบนด์วิดธ์ของสัญญาณ FM จะกว้างกว่าสัญญาณ AM ที่ส่งข้อมูลในแบบเดียวกัน แม้ว่าค่าดัชนีการมอดูเลตทางความถี่จะสามารถจำกัดให้น้อยที่สุด แต่แบนด์วิดธ์ของสัญญาณก็ยังมากกว่าในสัญญาณมอดูเลตทางแอมปลิจูด และการลดค่าดัชนีการมอดูเลตความถี่จะทำให้ความทนต่อสัญญาณรบกวนน้อยลงด้วย

3. วงจรที่ใช้ในการมอดูเลตทางความถี่มีความซับซ้อนกว่าการมอดูเลตทางแอมปลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Transmitters)

จุดเริ่มต้นส่งของการส่งคลื่นวิทยุนั้นประกอบด้วยการสร้างสัญญาณที่เป็นสื่อหรือพาหะที่เรียกว่าแคร์เรียร์เจเนอเรชั่น (Carrier generation) นำสัญญาณมามอดูเลตกับสัญญาณข้อมูลหรือเสียง แล้วจึงทำการขยายสัญญาณเพื่อส่งออกไปยังสายอากาศหรือตัวนำคลื่นเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) ขอยกตัวอย่างเช่นเครื่องส่งสัญญาณรหัสมอร์สหรือเครื่องส่งสัญญาณแบบคลื่นต่อเนื่อง (CW. Continuous Wave) ที่ให้สัญญาณแบบสั้นและยาวที่เรียกว่า **ดอตส์แอนด์แดชส์** (Dots and Dashs) โดยมีวงจรสร้างสัญญาณพาหะก็คือออสซิลเลเตอร์ ซึ่งต่อเชื่อมเข้ากับวงจรขยายเพื่อเพิ่มกำลังส่งออกไปกับสายอากาศ ส่วนที่สร้างสัญญาณข้อมูลเพียงต่อสัญญาณสัญญาณที่ได้จากออสซิลเลเตอร์เข้ากับสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ ที่ต่อสัญญาณลงกราวด์ จากตัวอย่างดังกล่าวทำให้พอที่จะมองภาพของส่วนประกอบของเครื่องส่งสัญญาณได้ดังนี้

1. วงจรสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier Generator) โดยส่วนมากจะเป็นวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) ซึ่งจะให้สัญญาณความถี่ที่ต้องการได้เที่ยงตรงและมีเสถียรภาพดี โดยส่วนมากมักมีการต่อวงจรขยายแบบบัฟเฟอร์เข้าไปเพื่อแยกวงจรออสซิลเลเตอร์ออกจากโหลด เป็นการป้องกันการเปลี่ยนความถี่เนื่องจากค่าโหลดของวงจรออสซิลเลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไป

2. วงจรมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) ทำการแปลงคุณสมบัติของสัญญาณพาหะให้มีลักษณะตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือเสียงพูดที่ต้องการส่ง จากตัวอย่างข้างต้นก็เสมือนกับสวิตช์ที่ต่อลงกราวด์หรือจะเป็นวงจรมอดูเลตในวิธีการต่างๆ เช่นแอมปลิจูดมอดูเลชั่น (AM) หรือฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (FM) ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา

3. วงจรขยาย (Amplifier) เป็นการขยายสัญญาณในรูปแบบต่างๆ ในขั้นตอนที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่นวงจรขยายภาคสุดท้ายก่อนที่จะออกไปที่สายอากาศ สำหรับวงจรขยายมีการจัดออกเป็นหลายแบบมีการเรียกเป็นคลาส (Class) ตามวิธีการไบแอสวงจรขยาย ดังต่อไปนี้

3.1 วงจรขยายคลาสเอ (Class A) เป็นวงจรขยายที่ต่อทรานซิสเตอร์แบบที่มีการไบแอสให้วงจรทรานซิสเตอร์มีกระแสไหลผ่านขาคอลเล็กเตอร์(Collector)หรือที่เรียกว่ากระแสเดรน (Drain Current)ตลอดเวลา เป็นวงจรขยายแบบเชิงเส้น (Linear Amplifier) เนื่องจากสัญญาณที่ได้ในขาออกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณขาเข้า แต่วงจรคลาสเอก็เป็นวงจรขยายที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวงจรมีการขยายสัญญาณโดยทำงานตลอดลูกคลื่นสัญญาณซายน์ขาเข้า หรือที่เรียกว่าครบ 360 องศา ดังนั้นวงจรขยายคลาสเอจึงไม่เหมาะที่จะเป็นวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier) เพราะโดยปรกติมักใช้ในวงจรขยายชั้นต้นที่มีสัญญาณความต่างศักย์ต่ำหรือวงจรขยายต่ำ (Low – Power Amplifier) ตัวอย่างเช่นวงจรขยายแบบบัฟเฟอร์ (Buffer Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรขยายคลาสบี (Class B) เป็นวงจรขยายที่ต่อทรานซิสเตอร์แบบที่มีการไบแอสให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงคัตออฟ (Cutoff) เป็นภาวะที่ไม่มีกระแสไหล โดยปรกติเมื่อไม่มีสัญญาณขาเข้าก็จะไม่มีกระแสไหลที่ขาคอลเล็กเตอร์ ตัวทรานซิสเตอร์จะทำงานนำกระแสเพียงช่วงครึ่งลูกของสัญญาณซายน์คือการทำงานเพียง 180 องศาของสัญญาณขาเข้า มีเพียงสัญญาณครึ่งลูกเท่านั้นที่ถูกขยาย ดังนั้นในเวลาที่ต้องการขยายสัญญาณเต็มลูกคลื่นจึงมีการต่อวงจรแบบที่เรียกว่า**พุชแอนด์พูล** (Push and Pull) โดยใช้วงจรขยายคลาสบีสองชุดทำงานทั้งในช่วงสัญญาณบวกและสัญญาณลบสลับต่อเนื่องกันไป วงจรขยายคลาสบีมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาสเอ เนื่องจากการไหลของกระแสไฟจะเกิดเพียงช่วงหนึ่งของสัญญาณเท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับวงจรขยายกำลัง (Power Amplifier) แต่สัญญาณที่ได้ก็ยังมีความเพี้ยนผิดรูปแบบ (Distortion) ไป ดังนั้นจึงมีการต่อวงจรขยายแบบพุชแอนด์พูลเพื่อลดความเพี้ยนของสัญญาณด้วย

3.3 วงจรขยายคลาสเอบี (Class AB) เป็นวงจรขยายที่มีการไบแอสทรานซิสเตอร์ให้อยู่ในช่วงที่เกือบจะคัตออฟ (Cutoff) จึงมีกระแสไหลที่ขาคอลเล็กเตอร์เพียงเล็กน้อย ทำให้เมื่อมีสัญญาณขาเข้ามาถึงก็จะทำงานของสัญญาณที่มากกว่า 180 องศา แต่ไม่ถึง 360 องศาของลูกคลื่นซายน์และก็มักมีการต่อใช้ในรูปแบบของวงจรขยายแบบพุชแอนด์พูลเช่นเดียวกับคลาสบี ซึ่งทำให้มีความเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณน้อยกว่าในแบบคลาสบี นั่นคือมีความเป็นเชิงเส้นมากกว่า แต่ก็ยังมีประสิทธิภาพน้อยกว่าในแบบคลาสบี

วงจรขยายในแบบคลาสเอ. คลาสบี และคลาสเอบี เป็นวงจรขยายเชิงเส้นที่มักใช้ในการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด เช่นวงจรขยาย AM แบบกำลังต่ำหรือแบบซิงเกิลไซด์ แบนด์ (SSB. Sigle SideBand) วงจรขยายแบบไม่เชิงเส้นเช่นวงจรขยายคลาสซี (Class C) ที่เป็นวงจรซึ่งใช้มากในเครื่องส่งแบบ AM และ FM สำหรับการขยายกำลัง (Power Amplifier) ในรูปของวงจรขับ (Driver) วงจรคูณความถี่ (Frequency Multiplier) และวงจรขยายภาคสุดท้าย (Final Amplifier)

3.4 วงจรคลาสซี (Class C) เป็นวงจรทรานซิสเตอร์ที่ถูกไบแอสที่ทำให้มีการนำสัญญาณเพียงส่วนที่น้อยกว่า 180 องศาของลูกคลื่นซายน์ขาเข้า วิธีการไบแอสทรานซิสเตอร์สำหรับคลาสซีมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือไบแอสด้วยสัญญาณ (Signal Bias) ไบแอสด้วยวงจรภายนอก (External Bias) ไบแอสด้วยตนเอง (Self Bias) และปรกติมีมุมช่วงทำงานของวงจรอยู่ในช่วง 90 องศาถึง 150 องศานั่นหมายถึงมีเพียงสัญญาณเพียงพัลส์เล็กๆ เท่านั้นออกมาที่ขาออก ดังนั้นการทำให้มีสัญญาณขยายเต็มลูกคลื่นจะต้องมีการนำวงจรจูนเรโซแนนซ์ (Resonant Tuned circuit) มาต่อเข้าที่ขาออกเพื่อที่จะได้สัญญาณลูกคลื่นซายน์เต็มลูกคลื่น ตัวอย่างเช่นการทำงานของวงจรจูนแบบคู่ขนาน (Parallel Tuned Circuit) ที่จะให้กำเนิดสัญญาณความถี่ที่ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อใดก็ตามที่ได้รับสัญญาณพัลส์จากวงจรขยาย วงจรจูนแบบคู่ขนานประกอบไปด้านคาปาซิเตอร์ (Capacitor) และลวดตัวนำ (Inductor) เมื่อได้รับสัญญาณพัลส์ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างคาปาซิเตอร์และตัวนำ ซึ่งเรียกว่า**ปรากฏการณ์ฟลายวีล** (Fly Wheel Effect) ซึ่งจะสร้างสัญญาณลูกคลื่นซายน์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ขณะเดียวกันวงจรจูนดังกล่าวก็ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ฮาร์มอนิกที่ไม่ต้องการออกไปด้วย วงจรขยายคลาสซีสามารถใช้เป็นวงจรคูณความถี่ก็ได้ โดยการต่อเข้ากับวงจรเรโซแนนซ์ที่สร้างความถี่ที่เป็นจำนวนเต็มเท่าของสัญญาณความถี่ขาเข้า และที่เหนือกว่าคลาสอื่นๆ ก็คือคลาสซีมีการขยายสัญญาณขาเข้าเพียงช่วงสั้นๆ เท่านั้นจึงมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในบรรดาวงจรขยายทั้งหมด

4. วงจรอิมพีแดนซ์แมตชิ่ง (Impedance Matching circuit) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างวงจรขยายความถี่วิทยุ (RF amplifier) ในแต่ละภาคเพื่อให้ได้กำลังส่งมากที่สุด การที่จะทำให้มีการถ่ายพลังงานมากที่สุดจากวงจรขยายชุดหนึ่งไปยังอีกชุดหนึ่งจะต้องมีค่าของอินพีแดนซ์ของวงจรแรกเท่ากับค่าอินพีแดนซ์ขาเข่าของวงจรถัดไป วงจรอิมพีแดนซ์แมตชิ่งโดยทั่วไปเป็นวงจรของตัวนำและตัวเก็บประจุ LC (Inductors and Capacitors) ที่มีรูปแบบการต่อต่างๆ กัน เช่นโครงข่ายรูป L และโครงข่ายรูป T หรืออาจจะเป็นหม้อแปลงรูปโดนัทที่เป็นแกนผงเหล็กเรียกทอรอยด์ (Toroid)

5. วงจรกระบวนการเสียง (Speech Processing Circuit) เป็นวงจรอีกส่วนหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับเสียงในระบบของเครื่องส่ง เช่น ในเครื่องส่งอาจมีวงจรที่ใช้สำหรับป้องกันการมอดูเลชั่นมากเกินไป (OverModulation) หรือตัวอย่างของวงจรกระบวนการเสียง เช่นวงจรจำกัดขนาดของเสียง (Voice Clipper) ซึ่งใช้ไดโอดในการลดแอมปลิจูดของสัญญาณในการมอดูเลตสัญญาณเสียง

เครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุ (Communicaitions Receivers)

หน้าที่ของเครื่องรับสัญญาณคือทำการเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการออกมาจากสัญญาณอื่นๆ ที่ถูกส่งออกมาในอากาศ และขยายสัญญาณกลับไปเป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาได้ โดยปรกติเครื่องรับจะมีปัจจัย 2 ประการที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

1. ค่าซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) หมายถึงความสามารถในการรับสัญญาณโดยเลือกเอาเฉพาะช่องสัญญาณที่ต้องการเข้ามาเท่านั้น หากค่าเครื่องรับสัญญาณมีค่าซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) ที่ดีก็จะสามารถรับสัญญาณช่องที่ต้องการและกำจัดช่องสัญญาณข้างเคียงออกไปได้

2. ค่าเซนซิติวิตี้ (Sensitivity) หมายถึงความสามารถในการรับสัญญาณที่ต้องการที่มีขนาดเล็กหรือสัญญาณอ่อนแล้วนำมาขยายให้ได้สัญญาณที่มีความแรงมากขึ้น โดยปรกติค่าเซนซิติวิตี้จะแสดงถึงการขยายสัญญาณด้วย นั่นคือยิ่งมีกำลังขยายมากค่าเซนซิติวิตี้ก็ยิ่งดี และจะแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในรูปของค่าแรงดันของสัญญาณขาเข้าที่มีขนาดเล็กที่สุดซึ่งจะสามารถขยายสัญญาณได้มากกว่า 10 เท่าของสัญญาณรบกวน

สำหรับเครื่องรับที่มีรูปแบบง่ายได้แก่เครื่องแบบจูนความถี่วิทยุ TRF (Tuned radio frequency receiver)ซึ่งมีการทำงานดังนี้ สัญญาณที่รับเข้ามาทางสายอากาศจะถูกต่อเข้ากับวงจรจูนซึ่งมีการต่อกับวงจรขยายที่เป็นวงจรสำหรับภาคความถี่ย่านคลื่นวิทยุ วงจรจูนอาจมีการต่อขนานกันหลายชั้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าซีเล็กติวิตี้ให้กับเครื่องรับ ส่วนวงจรขยายสัญญาณภาคความถี่ย่านคลื่นวิทยุ (RF Radio Frequency Amplifier) ก็ได้ช่วยให้เครื่องรับมีค่าเซนซิติวิตี้ดีขึ้น เป็นการขยายสัญญาณที่รับเข้ามาก่อนที่จะนำไปเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณ (Detector) ผลที่ได้ก็จะเป็นสัญญาณข้อมูลหรือสัญญาณเสียงที่สามารถนำมาขยายต่อในวงจรขยายภาคสัญญาณความถี่เสียง (AF Audio frequency Amqlifier) ให้ได้สัญญาณออกมาที่ลำโพง วงจรเครื่องรับในแบบ TRF นั้นยังมีความยุ่งยากในการปรับความถี่อยู่มากเนื่องจากการปรับวงจรจูนที่มีหลายชุดต่อๆ กันจะต้องทำการปรับหลายครั้ง ต่อมาในภายหลังจึงมีการต่อวงจรจูนหลายๆ ชุดเข้าด้วยกัน ทำให้การปรับเครื่องรับสัญญาณง่ายขึ้น ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างของเครื่องรับสัญญาณแบบ TRF ก็คือค่าซีเล็กติวิตี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความถี่ของสัญญาณที่สูงขึ้น ค่าซีเล็กติวิตี้จะมีค่าดีที่ความถี่ต่ำ

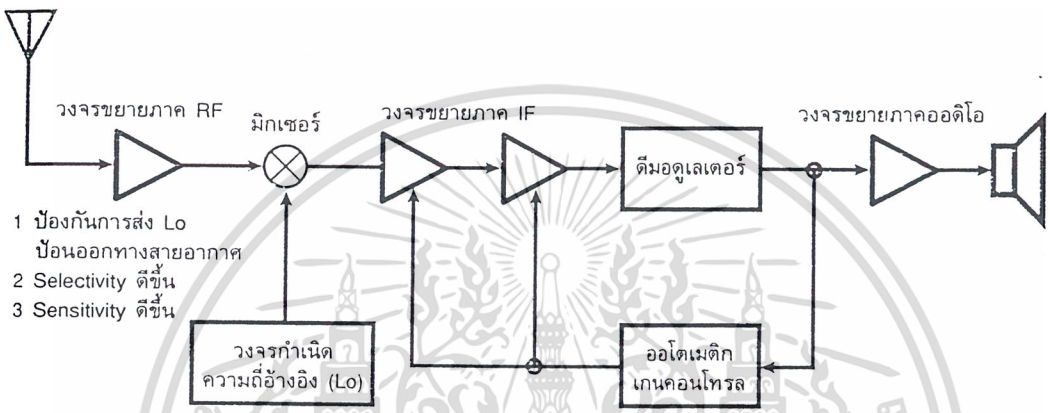
เครื่องรับที่มีการแก้ไขปัญหาข้างต้นได้อย่างดีก็คือเครื่องรับในแบบที่ เรียกว่า ซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ (Superheterodyne) หลักการของวงจรซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ก็คือการแปลงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาให้เป็นความค่ากลางค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า**ความถี่ไอเอฟ** (IF Intermediate Frequency)

วงจรเปอร์เฮตเทอโรไดน์สามารถใช้วงจรขยายเพียงชุดเดียวก็สามารถให้ค่าซีเล็กติวิตี้และค่าเซนซิติวิตี้ที่ดีได้ วงจรหลักในเครื่องรับซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ก็คือวงจรมิกเซอร์ ซึ่งทำการแปลงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา โปรดดูรูปไดอะแกรมของวงจรซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ดังรูปที่ 2.13

วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุให้ค่ากำลังขยายและค่าซีเล็กติวิตี้ในช่วงแรกที่ เรียกว่า **ปรีซีเล็กเตอร์** (Preselector) ถัดมาในภาคที่สองเป็นวงจรจูน (Tuned Circuit) สำหรับช่วยในการเลือกสัญญาณที่ต้องการหรือช่วงสัญญาณที่ต้องการ วงจรจูนอาจสร้างให้มีค่า Q สูงๆ ทำให้มีค่าซีเล็กติวิตี้ดีขึ้น แต่โดยปรกติแล้ววงจรจูนในภาคนี้มักต้องทำงานในช่วงความถี่กว้าง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้หลายช่อง ในเครื่องรับบางเครื่องอาจไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุในชุดแรกเนื่องจากไม่มีความจำเป็น เพราะความแรงของสัญญาณที่ได้รับอาจมีมากอยู่แล้ว เช่นในสัญญาณความถี่ต่ำแต่จะไปขยายสัญญาณอีกครั้งในภาคความถี่ตัวกลาง (IF amplifier) แต่โดยทั่วไปจะเป็นการดีกว่าที่จะมีวงจรขยายความถี่วิทยุอยู่เพื่อเพิ่มค่าเซนติวิตี้ เนื่องจากว่าจะได้กำลังขยายมากขึ้นและเพิ่มค่าซีเล็กติวิตี้เพราะเป็นวงจรจูนอยู่ด้วยส่วนหนึ่ง และทำให้อัตราส่วนของสัญญาที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้นด้วย (Signal / Noise Ratio) อีกเหตุผลหนึ่งที่ควรจะมีวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายความถี่วิทยุเพราะจะช่วยแยกสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นได้กับเครื่องรับข้างเคียงที่เป็นผลมาจากการแพร่กระจายของสัญญาณจากวงจรโลคอลออสซิสเลเตอร์ (Local Oscillator) ที่อาจผ่านไปทางสายอากาศได้ สัญญาณจากLOมีความแรงมากอาจจะรั่วไหลและไปเข้าที่ขาเข้าของวงจรมิกเซอร์ได้ ในการสร้างวงจรขยายและวงจรมิกเซอร์หากใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ชนิดมอสเฟต (MOSFET) ก็จะช่วยลดสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (Bipolar Transistor)



รูปที่ 2.13 วงจรซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์

สัญญาณที่ได้ออกมาจากมิกเซอร์จะเป็นผลรวมและผลต่างของความถี่ของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณความถี่คงที่จาก LO และจะมีวงจรจูนซึ่งเป็นวงจรกรองเพื่อเลือกเอาสัญญาณผลต่างของความถี่ที่ต้องการออกมา นั่นคือค่าความถี่กลาง (Intermediate Frequency) วงจรของมิกเซอร์อาจสร้างจากไดโอดหรือบาลานซ์มอดูเลเตอร์ (Balanced Modulator) สำหรับเครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณได้ในช่วงความถี่หนึ่งๆ วงจร LO จะต้องสามารถจูนได้ ความถี่ของวงจรต้องสามารถเปลี่ยนได้ในช่วงความถี่ที่ค่อนข้างกว้าง เพื่อที่จะทำให้วงจรมิกเซอร์สามารถแปลงความถี่ที่เข้ามาให้เป็นความถี่กลาง IF ได้ ในวงจรทั่วไปมิกเซอร์และ LO จะเป็นวงจรแยกกัน แต่สำหรับวงจรความถี่ต่ำมิกเซอร์อาจจะรวมกับ LO ได้ ซึ่งเรียกว่าเป็นวงจรแปลง (Converter)

สัญญาณขาออกของมิกเซอร์เป็นสัญญาณที่ความถี่กลาง (Intermediate Frequency) ซึ่งมีคุณสมบัติของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตจากทางด้านเครื่องส่งเช่นเดียวกับสัญญาณที่ถูกส่งมาจะถูกขยายโดยวงจรขยายความถี่กลางอีกหลายชุด และในเครื่องรับส่วนใหญ่จะมีวงจรขยายอยู่ในภาคความถี่กลางนี้เมื่อ IFมักอยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่าสัญญาณขาเข้า วงจรขยายความถี่กลางก็จะถูกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบได้ง่ายกว่าและมีค่าซีเล็กติวิตี้ดีกว่า พร้อมกันนี้ก็จะมีการสร้างวงจรจูนในภาคนี้ด้วย ซึ่งก็จะให้ค่าซีเล็กติวิตี้ที่ดีขึ้นอีกระดับหนึ่ง วงจรจูนในที่นี้ก็คือวงจรกรองแบบคริสตอล (Crystal) เมคานิคอล (Mechanical) และแบบเซรามิก (Ceramic)

สัญญาณ IF จะถูกส่งต่อไปเข้าวงจรตรวจจับหรือดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่เข้ามาให้กลับคืนเป็นสัญญาณข้อมูลเดิมหรือคือเสียงพูดจากต้นทาง ผลลัพธ์เป็นสัญญาณที่ได้มักจะถูกต่อเข้ากับวงจขยายสัญญาณคลื่นถี่เสียง (Audio amplifier) เพื่อให้ได้ค่าความแรงของสัญญาณที่เพียงพอจะออกไปที่ลำโพง

วงจรอีกชุดหนึ่งในเครื่องรับแบบซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ก็คือ วงจรควบคุมกำลังขยายอัตโนมัติ AGC (Autometic Gain Control) ขนาดของสัญญาณที่ออกมาจากวงจรดีมอดูเลเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสัญญาณขาเข้าที่รับเข้ามา สัญญาณที่ได้ออกมาเป็นสัญญาณในแบบไฟสลับจะถูกปรับและกรองให้เป็นสัยญาณไฟตรง ซึ่งไฟตรงนี้จะถูกป้อนกลับ (Feed back) ไปยังวงจรขยายความถี่กลาง หรือในบางครั้งอาจเป็นวงจรขยายความถี่วิทยุ เพื่อควบคุมกำลังขยายของเครื่องรับวัตถุประสงค์ของ AGC ก็เพื่อช่วยควบคุมค่าผลลัพธ์ของสัญญาณขาออกให้คงที่ตลอดช่วงระดับของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุที่เข้ามา

ค่าแอมปลิจูดของสัญญาณคลื่นวิทยุสายอากาศของเครื่องรับสามารถมีค่าตั้งแต่ระดับไมโครโวลต์ไปจนถึงระดับหลายโวลต์ ซึ่งแสดงถึงช่วงกว้างของสัญญาณที่เรียกว่าช่วงไดนามิก (Dynamic Range) โดยปกติเครื่องรับมักมีกำลังขยาย (Gain) เพื่อที่จะรับสัญญาณที่มีระดับอ่อนได้ดี แต่ถ้าหากสัญญาณขาเข้ามีแอมปลิจูดสูงมากก็จะทำให้วงจรขยายมากเกิดโอเวอร์โหลด (Over Load) เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณและทำให้ไม่สามารถเข้าใจข้อความที่ถูกส่งมาได้ โดยการใช้วงจรควบคุมกำลังขยายอัตโนมัติ กำลังขยายโดยรวมของเครื่องรับจะสามารถปรับโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณขาเข้า หากสัญญาณที่ออกมาหลังวงจรตรวจจับสูงมาก วงจร AGC จะให้กำเนิดสัญญาณไฟกระแสตรงที่มีค่าความต่างศักย์ค่าหนึ่งซึ่งจะถูกป้อนไปลดกำลังขยายของวงจรขยายความถี่กลาง

ปัญหาที่พบและสำคัญมากในวงจรซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์เมื่อความถี่กลางมีค่าต่ำก็คือเรื่องของ **อิมเมจฟรีเควนซี่** (Image Frequency) ซึ่งมีลักษณะเป็นความถี่ที่อยู่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการแต่อยู่สูงขึ้นไปสองเท่าของความถี่กลาง IF และอยู่ต่ำกว่าความถี่ที่ต้องการสองเท่า เมื่อความถี่อิมเมจฟรีเควนซี่เข้ามาในวงจรมิกเซอร์และได้ผลลัพธ์ของสัญญาณความถี่กลางที่มีค่าความถี่เช่นเดียวกันกับสัญญาณจริง ทำให้สัญญาณที่ถูกเลือกมาผิดค่าเกิดเป็นสัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่ต้องการ สัญญาณอิมเมจอาจเกิดได้ในกรณีที่แถบความถี่มีการใช้งานอย่างหนาแน่น สัญญาณอีกช่องหนึ่งอาจเข้ามากวนสัญญาณช่องที่ต้องการก็ได้

วิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นก็อาจใช้วงจรจูนเพื่อเลือกเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการเข้ามาในเครื่องรับเท่านั้น และกำจัดสัญญาณอิมเมจออกไป แต่การแก้ไขดังกล่าวก็ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำได้ในวงจรเครื่องรับที่ต้องการใช้กับความถี่ในช่องกว้าง วิธีการที่สองที่ใช้ในการแก้ปัญหาก็คือเพิ่มค่าความถี่กลาง IF ให้มากขึ้นจนอิมเมจฟรีเควนซี่อยู่ห่างมากจนเลยออกนอกวงจรจูนไป แต่เมื่อค่าความถี่กลางสูงขึ้นก็จะทำให้ออกแบบวงจรยากขึ้น ดังนั้นการออกแบบวงจรซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ต้องออกแบบให้ความถี่กลางมีค่ามากที่สุดเพื่อลดผลของอิมเมจฟรีเควนซี่ และในขณะเดียวกันต้องทำให้มีค่าน้อยที่สุดเพื่อที่จะให้ออกแบบวงจรได้ง่ายขึ้นที่ความถี่ต่ำ วิธีแก้ปัญหาสัญญาณอิมเมจสุดท้ายที่นิยมก็คือใช้วงจรแปลงความถี่สองครั้งที่เรียกว่า **ดูออลคอนเวอร์ชั่นซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์** (Dual Conversion Superheterodyne Receiver) ซึ่งมีการแปลงความถี่กลาง 2 ชุด ด้วยวงจรมิกเซอร์สองชุด ชุดแรกมี LO ที่สามารถปรับค่าได้ ส่วน LO ชุดที่สองคงที่เพื่อปรับค่าเล็กน้อย มิกเซอร์ชุดแรกจะแปลงให้สัญญาณมาอยู่ในความถี่กลางค่าสูง โดยจะช่วยในการลดปรากฏการณ์อิมเมจฟรีเควนซี่ ส่วนมิกเซอร์ชุดที่สองจะแปลงสัญญาณ IF ชุดแรกให้ต่ำลงเป็นสัญญาณ IF ความถี่ที่สองซึ่งให้ค่าซีเล็กติวิตี้ที่ดีกว่า วงจรดูออลคอนเวอร์ชั่น(Dual conversion) มักใช้ในวงจรเครื่องรับความถี่คลื่นสั้น (Short Wave Receiver) เครื่องรับคลื่น VHF UHF และไมโครเวฟ

เครื่องรับแบบ AM จะมี IF ที่ 455 kHz 30 MHz 3385 kHz 9 MHz

เครื่องรับแบบ FM จะมี IF ที่ 10.7 MHz

เครื่องรับโทรทัศน์ จะมี IF ที่ 40 - 50 MHz

เครื่องรับเรดาห์ จะมี IF ที่ 60 MHz

เครื่องรับดาวเทียม จะมี IF ที่ 70 MHz 140 MHz

2.2 แพ็กเก็ตเรดิโอ

แพ็กเก็ตเรดิโอเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล ซึ่งนิยมใช้งานในหมู่นักวิทยุสมัครเล่น (HAM) โดยอาศัยการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐาน ซึ่งเทียบได้กับการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาเชื่อมต่อกับโมเด็ม เพื่อใช้โมเด็มเป็นกลางในการแปลงสัญญาณดิจิตอลจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาเป็นสัญญาณอะนาลอกก่อนที่จะส่งผ่านไปสู่คู่สายโทรศัพท์ แต่สำหรับแพ็กเก็ตเรดิโอคู่สายโทรศัพท์จะถูกแทนที่ด้วยเครื่องรับส่งวิทยุ ซึ่งรับสัญญาณคลื่นความถี่สูงในย่าน VHF หรือ UHF อุปกรณ์โมเด็มก็ถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกว่า Terminal Node Controller หรือ TNC (รูปที่ 2.14) การสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ตเรดิโอเป็นการนำข้อมูลไบนารีจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาทำการมอดูเลตก่อนที่จะส่งไปออกอากาศผ่านทางเครื่องรับส่งวิทยุไปสู่สถานีรับปลายทาง โดยข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์จะถูกนำมาแบ่งเป็นกลุ่ม

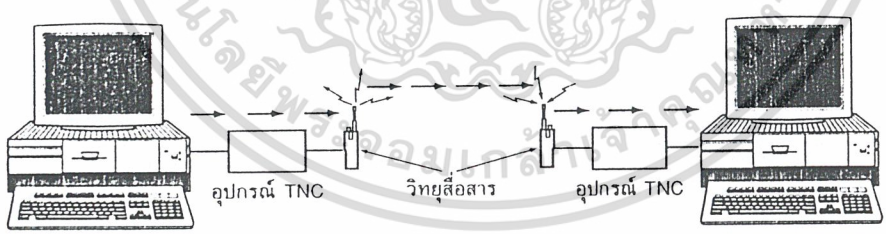
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเป็นกลุ่มละ100ไบต์ เป็นต้น ก่อนที่จะนำไปส่งออกอากาศเรียกกลุ่มข้อมูลเหล่านี้ว่าแพ็กเก็ต ซึ่งเป็นที่มาของการสื่อสารชนิดนี้

ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารแพ็กเก็ตเรดิโอ

เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต ได้ถูกพัฒนาขึ้นใช้งานช่วงกลางปีพ.ศ. 2503 และถูกกำหนดให้ใช้งานในเครือข่าย ARPANET (เครือข่ายอินเตอร์เน็ตในปัจจุบัน) ในปี พ.ศ. 2512 ต่อมาในปี พ.ศ.2513 ที่มหาวิทยาลัยฮาวายได้มีการพัฒนาเครือข่าย ALOHANET ซึ่งนับได้ว่าเป็นโครงการแรกที่ได้สร้างแพ็กเก็ตเรดิโอที่มีขนาดใหม่มาก การนำแพ็กเก็ตเรดิโอไปใช้งานในวงการวิทยุสมัครเล่นเริ่มขึ้นที่นครมอนทรีออล ประเทศคานาดา ในวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2521 หลังจากนั้นไม่นานก็ได้มีการดำเนินการสร้างอุปกรณ์ TNC ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครื่องเทอร์มินอลและวิทยุสื่อสารตามขึ้นมา โดยกลุ่มสื่อสารดิจิตอลสมัครเล่นแห่งนครแวนคูเวอร์ (Vancouver Amatuer Digital Communication Group - VADCG) ในปี พ.ศ. 2523

(ก) การรับส่งข้อมูลผ่านคู่สายโทรศัพท์



(ข) การรับส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุโดยใช้แพ็กเก็ตเรดิโอ

รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบการใช้งานแพ็กเก็ตเรดิโอกับการใช้งานโมเด็มรับส่งข้อมูล

มาตรฐาน TNC ได้รับการพัฒนาขึ้นนับตั้งแต่ได้มีการจัดสัมมนาโดยสมาคมคอมพิวเตอร์ของ IEEE ในปี พ.ศ. 2524 โดยหลังจากการสัมมนาประมาณ 1 สัปดาห์ได้มีผู้เข้าร่วมสัมมนาจำนวน 6 หน่วยงานร่วมกันจัดอภิปรายถึงความเป็นไปได้ในการจัดสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ TNC สำหรับใช้งานในกิจการวิทยุสมัครเล่นด้วยราคาต่อเครื่องที่ไม่แพงมากนัก ซึ่งบริษัท Tucson Amateur Packet Radio (TAPR) เป็นผู้รับโครงการนี้ไปดำเนินการ ในวันที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิถุนายน พ.ศ. 2525 ไลน์ จอห์น และเดน คอนเนอร์ส ก็สามารถดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถติดต่อกับ TAPR ได้สำเร็จ โครงการได้ดำเนินต่อไปจากเครื่องต้นแบบได้ถูกพัฒนามาเป็น TNC - 1 และเป็น TNC - 2 ซึ่งเป็นพื้นฐานของอุปกรณ์ TNC ที่ใช้กันทั่วโลกในที่สุด

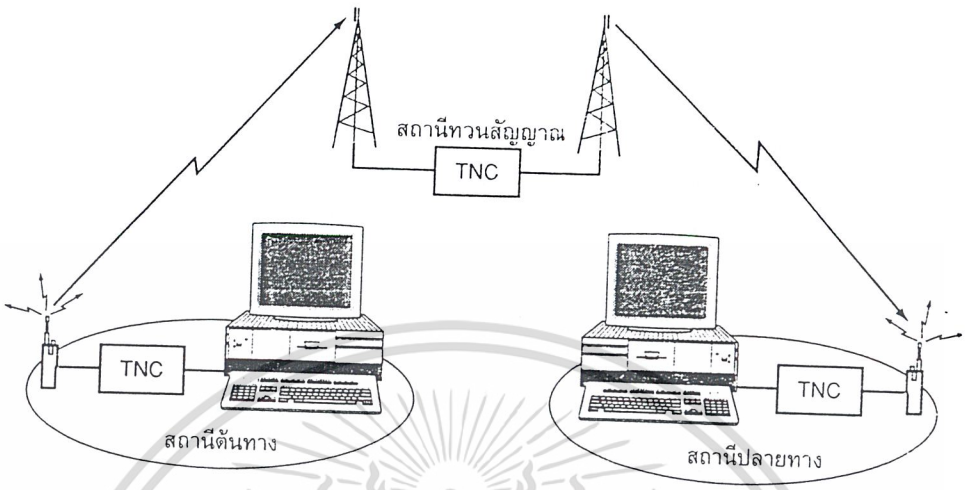
ทำไมจึงต้องส่งข้อมูลเป็นแพ็กเก็ต

การรับส่งข้อมูลเป็นแพ็กเก็ตมีข้อดีเหนือกว่าการรับส่งข้อมูลชนิดดิจิตอลแบบอื่นๆ อยู่ 3 ประการ คือ ความโปร่งใส (transparency) ของข้อมูลที่ส่งผ่านระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง การควบคุมความผิดพลาดของข้อมูล (error correction) และการควบคุมการรับส่งแบบอัตโนมัติ (automatic control)

การทำงานของสถานีรับส่งแพ็กเก็ตเรดิโอจะเป็นลักษณะที่โปร่งใสต่อผู้ใช้งาน กล่าวคือผู้ใช้งานเพียงแต่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน พิมพ์หรือเตรียมข้อความที่ต้องการจะส่ง ข้อความนั้นจะถูกส่งไปโดยอัตโนมัติไม่จำเป็นที่ผู้ใช้งานจะต้องมาเป็นธุระในการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปแบบข้อมูลให้เป็นแพ็กเก็ตหรือควบคุมลำดับการรับส่งแต่อย่างใดอุปกรณ์ TNC จะทำหน้าที่แบ่งข้อมูลที่ต้องการจะส่งออกเป็นแพ็กเก็ต ย่อยๆ ติดต่อกับเครื่องรับวิทยุ และส่งแพ็กเก็ตนั้นโดยอัตโนมัติ ในด้านสถานีรับข้อมูลอุปกรณ์ TNC จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูลจากแพ็กเก็ตที่ได้รับ ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลและแสดงข้อความที่ได้รับโดยผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่ปลายทาง

การสื่อสารแบบแพ็กเก็ตเรดิโอเป็นการสื่อสารที่ปราศจากความผิดพลาดของข้อมูลหรือหากจะมีก็อยู่ในระดับที่ต่ำมากๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีการกำหนดกระบวนวิธีในการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในอุปกรณ์ TNC โดยที่หากสถานีวิทยุได้รับข้อมูลแพ็กเก็ตข้อมูลมาจากสถานีส่งต้นทาง จะมีการตรวจสอบหาความผิดพลาดของข้อมูล และแสดงข้อความที่ได้รับผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ข้อมูลที่ได้รับไม่มีความผิดปกติใดๆ นอกจากนั้นยังสามารถนำอุปกรณ์ TNC มาใช้งานเป็าสถานีทวนสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบแพ็กเก็ตเรดิโอได้อีกประการหนึ่ง ซึ่งบางครั้งเรียกว่า digipeater (รูปที่ 2.15) นับเป็นการเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลให้กว้างไกลขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แนวทางการใช้งานอุปกรณ์ TNC ในสถานีงานและสถานีทวนสัญญาณ

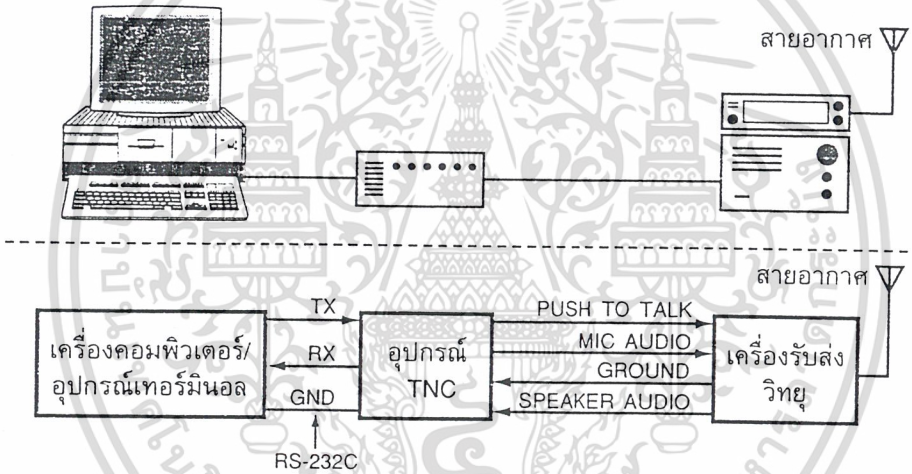
ผู้ใช้งานสามารถทำการติดต่อสื่อสารไปยังอุปกรณ์ TNC ของผู้อื่นได้ตลอดเวลาตามที่ต้องการอุปกรณ์ TNC บางรุ่นสามารถรับการฝากข้อความไว้ในเครื่องได้ด้วย ดังนั้นผู้ใช้บริการรายอื่นๆ จึงสามารถฝากข่าวสารผ่านมาเก็บไว้ใน TNC ได้ ในกรณีที่เจ้าของเครื่องไม่อยู่บ้าน ข้อดีอีกประการหนึ่งของแพ็กเก็ตเรดิโอก็คือ ประสิทธิภาพในการใช้งานความถี่ร่วมกัน ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการส่งข้อมูลเป็นแบบแพ็กเก็ตซึ่งส่งกันเป็นช่วงๆ ดังนั้นผู้ใช้งานหลายๆ รายจึงสามารถใช้ความถี่วิทยุเดียวกันเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลได้ทั้งนี้อาจเกิดเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการมากกว่าสองรายขึ้นไปส่งแพ็กเก็ตออกมาพร้อมกันที่ความถี่เดียวกันก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูลขึ้น (collision) ซึ่งมีผลทำให้ต้องมีการส่งแพ็กเก็ตของแต่ละคนออกมาใหม่ อัตราการเกิดการชนของข้อมูลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งแพ็กเก็ต ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป และจำนวนผู้ใช้งานในช่วงความถี่เดียวกันว่ามีมากหรือน้อย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร

ในการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ตเรดิโอ สถานีสื่อสารแต่ละแห่งจะต้องมีการเตรียมอุปกรณ์สำหรับสนับสนุนการสื่อสารให้เป็นไปตามที่แสดงใน รูปที่ 2.16 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อุปกรณ์ TNC (Terminal Node Controller) ภายในอุปกรณ์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วยโมเด็ม ไมโครโปรเซสเซอร์และวงจรไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงรูปแบบข้อมูลที่วิ่งจากพอร์ตเชื่อมต่ออนุกรม (มักเป็น RS - 232) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ไปเป็นข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องรับส่งวิทยุในช่วงที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลและในทางกลับกันสำหรับกรณีที่รับข้อมูล ทั้งนี้ อุปกรณ์ TNC จะนำข้อมูลที่ถูกส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาแบ่งให้เป็นแพ็กเก็ตย่อยๆ คำนวนหากลุ่มบิตควบคุมความผิดพราดโดยใช้วิธีแบบ CRC (Cyclic Redundancv Check) ของแต่ละแพ็กเก็ต แล้วนำข้อมูลทั้งสองส่วนมารวมกันก่อนที่จะส่งไปผ่านการมอดูเลตแพ็กเก็ตนั้นๆ ให้อยู่ในย่านความถี่เสียง จากนั้นจึงทำการส่งสัญญาณแจ้งไปยังปลายทางเพื่อให้เตรียมรับส่งแพ็กเก็ตไปบนวงจรเชื่อมต่อทางวิทยุ ในทางกลับกันกรณีที่เป็นการรับข้อมูล TNC จะทำการแปลงข้อมูลสัญญาณเสียงซึ่งได้รับจากสถานีอื่นมาเป็นกลุ่มข้อมูลไบนารีก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 2.16 โครงสร้างและส่วนประกอบของสถานีงานแพ็กเก็ตเรดิโอ

สำหรับอุปกรณ์ TNC ซึ่งมีใช้งานในกิจการวิทยุสมัครเล่นส่วนใหญ่จะรองรับอัตราเร็วของข้อมูลได้ 1200 บิตต่อวินาทีสำหรับการรับส่งแพ็กเก็ตในย่านความถี่ VHF และย่าน UHF และอัตราเร็วจะตกลงเป็น 300 บิตต่อวินาทีหากใช้ส่งในย่าน HF ในกรณีที่ต้องการสื่อสารระยะไกล สำหรับ TNC ที่รองรับข้อมูลอัตราเร็วสูงกว่านี้ในย่าน VHF และ UHF หรือย่านไมโครเวฟจะมีราคาแพงและต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมประกอบ

2. เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่เป็นเทอร์มินอลให้สำหรับผู้ใช้งาน ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีโปรแกรมประเภท teminal emulation ซึ่งถูกเขียนขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้ใช้งานได้กับแพ็กเก็ตเรดิโอทำงานอยู่บางครั้งสามารถใช้โปรแกรมสื่อสารทางโมเด็มทั่วๆ ไป เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

procomm + Bitcom หรือ Cross Talk ประยุกต์ใช้กับการสื่อสารแพ็กเก็ตได้ ในกรณีที่ไม่สามารถหาเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้งานได้ก็อาจใช้จอเทอร์มินอลทั่วๆ ไปแทนได้ซึ่งนับเป็นทางเลือกที่ค่อนข้างประหยัด แต่อาจมีข้อจำกัดหลายประการในการใช้งาน เช่น ผู้ใช้ไม่สามารถเลื่อนเคอร์เซอร์ขึ้นลงได้ ไม่สามารถสร้างบัฟเฟอร์ไว้เก็บสิ่งที่ปรากฏบนหน้าจอได้ อีกทั้งยังไม่สามารถสั่งการให้อุปกรณ์สื่อสารทำการรับหรือส่งข้อมูลได้

3. อุปกรณ์วิทยุสื่อสาร ในกรณีของการรับส่งข้อมูลอัตราเร็ว 1200 หรือ 2400 บิตต่อวินาทีมักใช้วิทยุสื่อสารย่านความถี่ VHF หรือ UHF ซึ่งมีการมอดูเลตสัญญาณแบบ FM แบนด์แคบเป็นอุปกรณ์รับส่ง สำหรับการรับส่งข้อมูลอัตราเร็ว 300 บิตต่อวินาทีมักนิยมใช้วิทยุสื่อสารย่านความถี่ HF ซึ่งมีการมอดูเลตแบบซิง เกิลไซด์แบนด์ (Single Sideband Modulation - SSB) ในกรณีที่ต้องการรับส่งข้อมูลแพ็กเก็ตอัตราเร็วสูงมาก (ตั้งแต่ 9600 บิตต่อวินาทีขึ้นไป) จะใช้เครื่องรับส่งวิทยุชนิดพิเศษ หรือไม่เช่นนั้นก็จะใช้เครื่องรับส่งวิทยุแบบ FM ซึ่งถูกปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้งานเป็นการเฉพาะแทน สำหรับชุดรับส่ง แพ็กเก็ตเรดิโอทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์ TNC ซึ่งใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ AFSK รับส่ง ข้อมูลอัตราเร็ว 1200 บิตต่อวินาที และใช้วิทยุสื่อสารย่านความถี่ 144 - 148 เมกะเฮิรตซ์

ข้อจำกัดด้านระยะทางในการส่ง

เนื่องจากการส่งข้อมูลโดยใช้แพ็กเก็ตเรดิโอเป็นการใช้งานย่านความถี่สูงมาก ซึ่งก็คือย่าน VHF หรือ UHF จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในด้านของระยะทางสูงสุดที่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ โดยทั่วไปสามารถคิดคร่าวๆ ได้ว่าขอบเขตของระยะทางที่สามารถใช้ติดต่อสื่อสารได้มีค่าเท่ากับระยะทางตามแนวระดับสายตาเท่าที่คลื่นสามารถเดินทางไปได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ มากั้น บวกระยะทางคลาดเคลื่อนประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ระยะทางในการสื่อสารยังถูกกำหนดด้วยกำลังส่งของเครื่องรับวิทยุ ประเภทและตำแหน่งการติดตั้งสายอากาศ ความถี่ที่ใช้ส่งข้อมูลออกอากาศ และความยาวของสายส่งที่ลากจากเครื่องรับส่งวิทยุไปถึงสายอากาศอีกด้วย ทั้งนี้ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะทางในการรับส่ง ซึ่งก็คือสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ภูเขา กลุ่มตึก หรืออาคารสูง เป็นต้น สามารถประมาณได้คร่าวๆ ว่าในการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตเรดิโอโดยใช้วิทยุสื่อสารที่ทำงานในย่านความถี่ 144 ถึง 148 เมกกะเฮิรตซ์จะสามารถส่งได้ระยะในช่วง 15 ถึง 150 กิโลเมตรขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

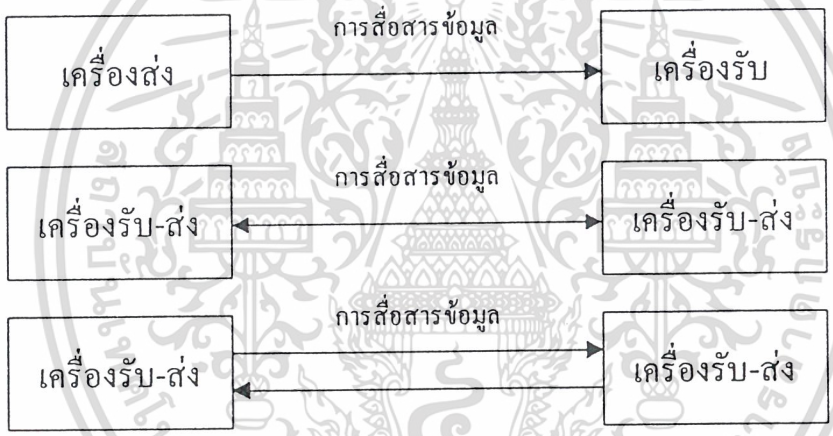
2.3 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมอาจจะแบ่งตามรูปลักษณะได้ 3 แบบ ตามรูปที่ 2.17

1. แบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ข้อมูลส่งได้ในทางเดียวเท่านั้นบางครั้งก็เรียกว่าการส่งทิศทางเดียว (Unidirectional data bus)

2. แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half duplex) ข้อมูลสามารถส่งได้ทั้งสองสถานี แต่จะต้องผลัดกันรับผลัดกันส่ง จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้

3. แบบฟลูดูเพล็กซ์ (Full duplex) ทั้งสองสถานีสามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.17 รูปแบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

มาตรฐาน RS-232-C

เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันทำงานด้วยกันได้ มาตรฐานหลายชนิดจึงได้รับการออกแบบขึ้น มาตรฐานที่ใช้กันกว้างขวางที่สุดคือ RS-232-C ถูกประกาศในปี 1969 โดย Electronic Industries Association มาตรฐาน RS-232-C ที่ร่างขึ้นในตอนเริ่มแรกสำหรับกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินัล (Terminal) และโมเด็มระบุคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรระหว่างอุปกรณ์สองตัว และกำหนดชื่อและหมายเลขแก่สายที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมต่อวงจร ชื่อวงจรตามมาตรฐาน RS-232-C (AA , ABเป็นต้น) จำได้ยากในทางปฏิบัติจึงใช้ชื่อย่อแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น สายเส้นที่ 2 มีชื่อ BA แต่ใช้กันทั่วไปว่า TXD (Transmitted Data) ตามมาตรฐาน RS-232-C สายเส้นที่ 2 นำข้อมูลจากเทอร์มินัลไปสู่โมเด็ม เพื่อให้การทำงานถูกต้อง เทอร์มินัลต้องส่งเอ้าต์พุทออกที่สายเส้นที่ 2 และโมเด็มต้องรับข้อมูลบนสายเส้นที่ 2 เพราะฉะนั้น สายเส้นที่ 2 เป็นสายส่งข้อมูลของอุปกรณ์บางอย่างและเป็นสายรับข้อมูลสำหรับอุปกรณ์อย่างอื่น การเชื่อมต่อโดยตรงของสายเส้นที่ 2 บนอุปกรณ์หนึ่งเข้ากับสายเส้นที่ 2 บนอุปกรณ์อีกตัวหนึ่ง สามารถทำได้เมื่ออุปกรณ์หนึ่งส่งข้อมูลบนสายเส้นที่ 2 และอีกตัวหนึ่งรับข้อมูลบนสายเส้นที่ 2

เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลบนสายเส้นเดียวกัน อุปกรณ์จึงแบ่งออกเป็นสองชนิด อุปกรณ์อย่างเช่นเทอร์มินัล ซึ่งใช้สายเส้นที่ 2 สำหรับเอ้าต์พุท เรียกว่า DTE (Data Terminal Equipment) อุปกรณ์อย่างเช่นโมเด็มซึ่งใช้สายเส้นที่ 2 สำหรับอินพุท เรียกว่า DCE (Data communication Equipment)

อุปกรณ์ DTE และ DCE

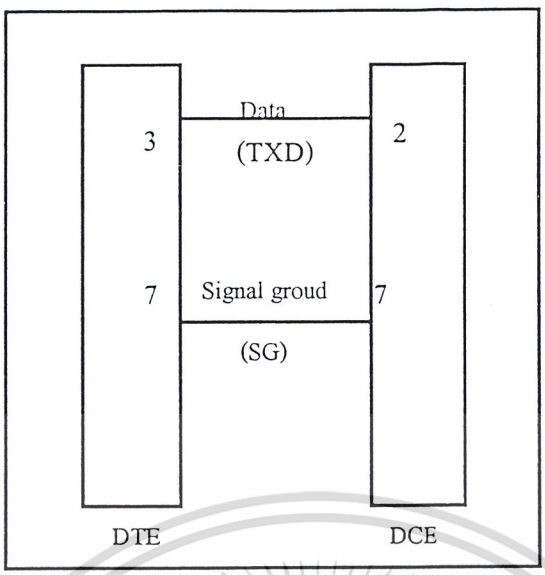
ตามมาตรฐาน RS-232-C อุปกรณ์ DTE ควรใช้หัวต่อตัวผู้ และอุปกรณ์ DCE ควรใช้หัวต่อตัวเมีย อย่างไรก็ตามผู้ผลิตไม่ได้ปฏิบัติตามกฎนี้เสมอดังนั้นจึงไม่อาจแยกแยะอุปกรณ์ DTE และ DCE โดยการมองผ่าน ๆ ได้เสมอไป

เมื่อทราบว่าอุปกรณ์หนึ่งเป็น DTE และอีกตัวหนึ่งเป็น DCE ในทางทฤษฎีแล้วสามารถเชื่อมต่อได้อย่างง่ายดาย โดยการเชื่อมต่อสายที่มีหมายเลขตรงกัน เช่น เส้นที่ 2 กับ 2 , 3 กับ 3 เป็นต้น เรียกว่าการเชื่อมต่อแบบตรงไปตรงมาแต่มีผู้ผลิตบางรายที่ไม่ได้ทำตามมาตรฐานและทำให้เกิดปัญหาหลายอย่าง ปัญหาเหล่านี้จะได้รับการกล่าวถึงในภายหลัง เช่นเดียวกับการจัดการรับสถานการณ์ที่อุปกรณ์ทั้งสองเป็น DTE หรือ DCE เหมือนกัน ในตอนนี้ให้ถือว่าอุปกรณ์หนึ่งเป็น DTE และอีกตัวหนึ่งเป็น DCE และแต่ละฝ่ายส่งสัญญาณที่อีกฝ่ายต้องการรับสายที่ตรงกัน

การสื่อสารทางเดียว

วงจรหลักที่ถูกใช้สำหรับการสื่อสารมีอยู่สามวงจร คือสายเส้นที่ 2 สำหรับข้อมูลจาก DTE ไปยัง DCE สายเส้นที่ 3 สำหรับข้อมูลจาก DCE ไปยัง DTE และสายเส้นที่ 7 สำหรับซิกแนลกราวด์ (signal ground) ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงร่วมสำหรับขั้วและแรงดันไฟฟ้าของสายอื่น ในกรณีที่ง่ายที่สุดซึ่งมีเพียงอุปกรณ์หนึ่งส่งและอีกตัวรับใช้สายเพียงสองเส้นก็เพียงพอ คือสายเส้นที่ 2 หรือ 3 และสายเส้นที่ 7 ดังในรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่อทางเดียวอย่างง่าย

ฮารด์แวร์แฮนด์เช็คกิ้ง

ในหลาย ๆกรณี อุปกรณ์ฝ่ายส่งจำเป็นต้องรู้ว่าอุปกรณ์ฝ่ายรับพร้อมที่จะรับข้อมูลทั่วไป ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์ ความเร็วของการสื่อสารอาจเร็วกว่าความเร็วของเครื่องพิมพ์ เครื่องพิมพ์อาจระงับการส่งข้อมูลทางคอมพิวเตอร์จนกว่ามันพร้อมที่จะรับข้อมูล ในทำนองเดียวกันกับการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง และคอมพิวเตอร์ตัวที่สองไม่สามารถประมวลผลข้อมูลได้เร็วเท่ากับอัตราข้อมูลที่ส่งเข้ามา

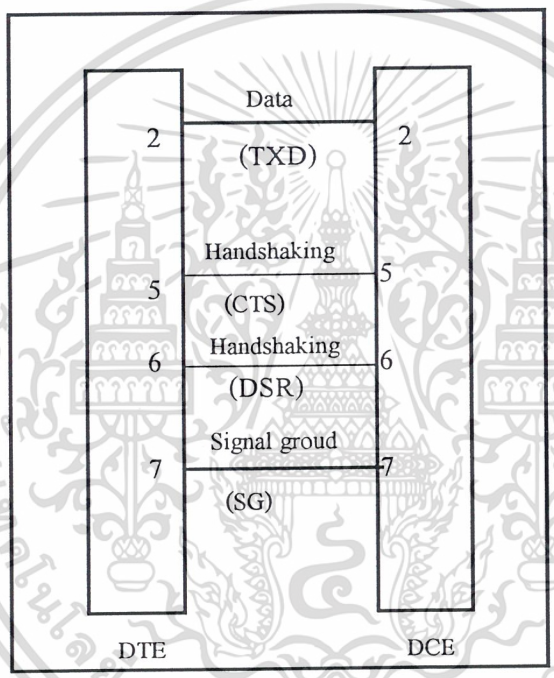
ทั้งสองกรณี ต้องมีข่าวสารถูกส่งกลับจากอุปกรณ์ฝ่ายรับไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่ง เพื่อแจ้งว่ามันพร้อมหรือไม่ ข่าวสารนี้เรียกว่า โฟลว์คอนโทรล

จาก DTE ไปสู่ DCE

เมื่ออุปกรณ์ DTE ส่งข้อมูลไปที่อุปกรณ์ DCE ข้อมูลถูกส่งไปตามสายเส้นที่ 2 และใช้สายเส้นที่ 7 ซิกแนลกราวด์ ตามปกติอุปกรณ์ DCE ควบคุมการส่งแฮนด์เช็คกิ้งจากอุปกรณ์ DTE บนสายเส้นที่ 6 มีชื่อว่า DER(Data Set Ready) ถ้าเครื่องพิมพ์เป็น DCE และคอมพิวเตอร์เป็น DTE สายเส้นที่ 6 บนคอมพิวเตอร์ควรถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายเส้นที่ 6 บนเครื่องพิมพ์ และเครื่องพิมพ์จะรักษาแรงดันไฟฟ้าบวกบนสายเส้นที่ 6 ตราบเท่าที่มันสามารถรับข้อมูล เมื่อมันต้องการที่จะบอกคอมพิวเตอร์ให้หยุดการส่งข้อมูลมันจะลดแรงดันไฟฟ้าบนสายเส้นที่ 6 ให้เป็นสถานะลบ บ่อยครั้งที่วงจรแฮนด์เช็คกิ้งชุดที่สอง คือสายเส้นที่ 5 ถูกใช้โดยอุปกรณ์ DCE เพื่อควบคุมการส่งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ DTE วงจรนี้มีชื่อว่า CTS (Clear to Send) เมื่อสายแฮนด์เช็คกิ้งสองเส้นถูกใช้อุปกรณ์ DTE ต้องได้รับการออกแบบให้ส่งข้อมูลก็ต่อเมื่อสายทั้งสองเป็นไฮ (high) หรือแรงดันไฟฟ้าบวก บางครั้งสายนั้นอาจมีความหมายต่างไป เช่นเส้นหนึ่งอาจบอกอุปกรณ์ฝ่ายส่งให้หยุดการพิมพ์จนกระทั่งข้อมูลถูกพิมพ์ไปได้จำนวนหนึ่ง และเส้นที่เหลืออาจจะถูกแจ้งว่ากระดาษของเครื่องพิมพ์หมด อย่างไรก็ตามความหมายเหล่านี้ไม่ได้มีมาตรฐาน เนื่องจากคอมพิวเตอร์หลายชนิดถูกโปรแกรมไม่ให้ส่งข้อมูล ถ้าสายแฮนด์เช็คกิ้งทั้งสองไม่เป็น High แม้แต่กับเครื่องพิมพ์ที่ไม่ได้กำหนดความหมายพิเศษกับสายชุดที่สองอย่างน้อยก็ควรรักษาแรงดันไฟฟ้าบวกไว้ อย่างไรก็ตามบางครั้งสัญญาณชุดที่สองต้องถูกสร้างหลอกขึ้นมาโดยการต่อมันเข้ากับชุดแรก



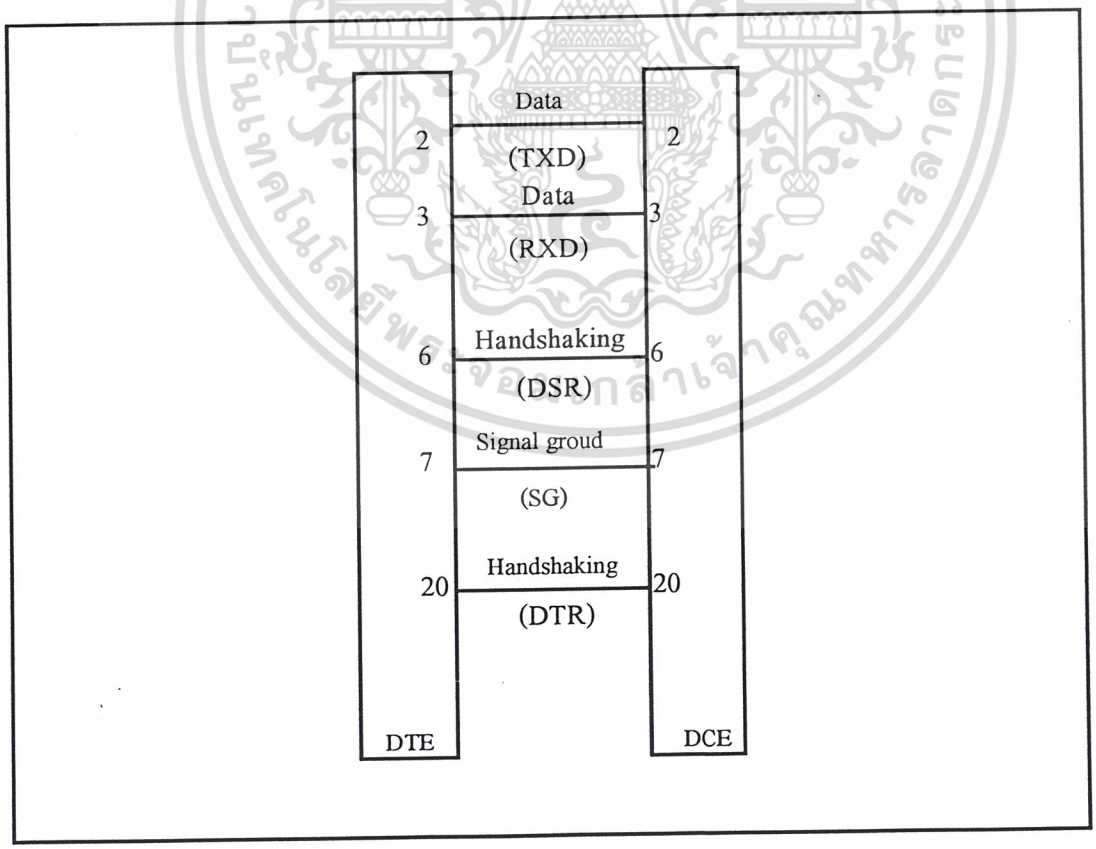
รูปที่ 2.19 การสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็คกิ้งจาก DTE ไปยัง DCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารสองทาง

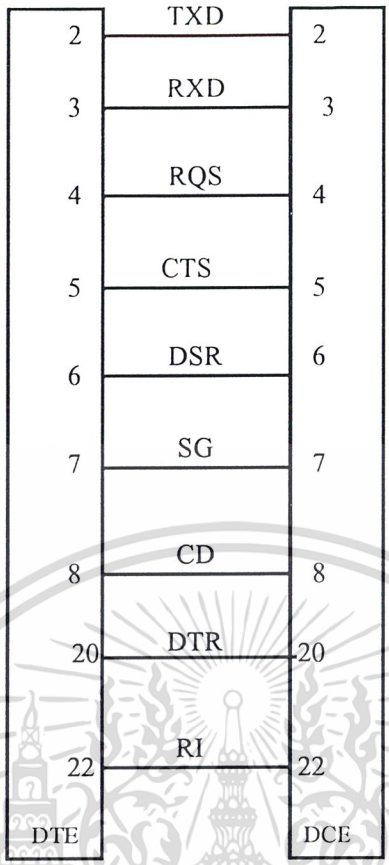
ในหลายกรณีที่ข้อมูลถูกส่งผ่านในสองทิศทาง โดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์สองตัวสื่อสารกัน รวมทั้งในกรณีที่ใช้ซอฟต์แวร์แฮนด์เช็คกิ้งด้วยเช่นกัน จำนวนสายที่น้อยที่สุดที่จำเป็นในการสื่อสารสองทางคือ สามเส้น ได้แก่ สายข้อมูลในแต่ละทิศทาง และซิกแนลกราวด์ การเพิ่มเติมสายแฮนด์เช็คกิ้งในแต่ละทิศทาง ทำให้จำนวนสายรวมเป็นห้าเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เมื่อสายแฮนด์เช็คกิ้งชุดที่สองถูกนำมาใช้เพิ่มเติมลงในแต่ละทิศทาง สายทั้งหมดที่ใช้คือเจ็ดเส้น บางครั้งอาจมีการเพิ่มสายอีกสองเส้น เพื่อทำให้โมเด็มสามารถให้ข้อมูลมากขึ้นแก่คอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินัล ได้แก่ CD (Carrier Detect) ถูกเชื่อมต่อเข้ากับขา 8 เพื่อแจ้งการคงอยู่ของสัญญาณพาหะ และ RI (Ring Indicator) ถูกเชื่อมต่อกับขา 22 เพื่อแสดงว่าโมเด็มกำลังถูกเรียกโดยอุปกรณ์ระยะไกลซึ่งก็คือการตรวจสอบสัญญาณกริ่งของโทรศัพท์นั่นเอง จำนวนวงจรทั้งหมดจะกลายเป็นเก้าตามรูปที่ 2.9

แม้ว่ามีวงจรอื่นอีกหลายวงจรถูกกำหนดโดย RS-232-C แต่ทั้งเก้าวงจรนี้ถูกใช้กันมากที่สุด และ เป็นเพียงชุดเดียวที่โดยปกติถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเหตุผลที่ไมโคคอมพิวเตอร์ใช้หัวต่อ 9 ขาแทนหัวต่อ 25 ขาสำหรับนำพาสัญญาณที่จำเป็นทั้งหมดของวงจรRS-232-C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 การสื่อสารสองทางพร้อมด้วยวงจรแฮนด์เช็คกิ้งหลัก



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่อ RS-232-C แบบมาตรฐานเก้าเส้น

สัญญาณทางไฟฟ้า

มาตรฐาน RS-232-C กำหนดคุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการเชื่อมต่ออนุกรมโดยตรง มีเพียงสองลักษณะคือ SPACE แสดงถึง ไบนารี 0 หรือแรงดันไฟฟ้าบวกและ MARK แสดงถึงไบนารี 1 หรือแรงดันไฟฟ้าลบ

บนสายข้อมูล (เช่นสาย 2 และ 3) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงถึงค่าลอจิก (logic) 0 และแรงดันไฟฟ้าลบแสดงถึงค่าลอจิก 1 บนสายแฮนด์เช็คกิ้ง (เช่น DTR และ DSR) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงว่าส่งข้อมูลได้ ส่วนแรงดันไฟฟ้าลบหมายถึงหยุดข้อมูล

แรงดันไฟฟ้าบวก (สถานะ SPACE) อยู่ระหว่าง + 5 ถึง + 15 โวลต์สำหรับเอ้าต์พุต และระหว่าง +3 และ +15 โวลต์สำหรับอินพุท ความแตกต่างมีไว้เผื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายส่งสัญญาณ ในทำนองเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าลบ (สถานะ MARK) ถูกกำหนดไว้ระหว่าง -5 ถึง -15 โวลต์สำหรับเอาต์พุท และ -3 ถึง -15 โวลต์สำหรับอินพุท

สังเกตว่าถ้าให้สายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมได้ นอกจากนี้ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ โดยทำให้การเปลี่ยนสถานะจากแรงดันไฟฟ้าบวกไฟฟ้าลบไม่ชัดเจน RS-232-C ไม่ได้มุ่งหวังให้นำไปใช้ในระยะทางไกล และโดยทั่วไประยะทาง 50 ฟุต เป็นระยะทางไกลที่สุดในการใช้สายสัญญาณปกติที่อัตราการส่งข้อมูลปกติ ถ้าอุปกรณ์อยู่ห่างกันมากอาจจำเป็นต้องใช้โมเด็มหรือวิธีการอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อ RS-449 และ RS-232-C

มันเป็นไปได้ที่จะเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ RS-449 และ RS-232-C EIA กล่าวถึงวิธีการไว้ในเอกสาร " Application Notes on Interconnection between Interface Circuit Using RS-449 and RS-232-C " หรือ Industrial Electrical Bullitin No. 12 เอกสารนี้ประยุกต์กับวงจร RS-423 เท่านั้น

รูปแบบข้อมูลในคอมพิวเตอร์

การที่จะทำความเข้าใจการส่งผ่านข้อมูล สิ่งแรกคือต้องทำความเข้าใจกับวิธีที่ข้อมูลถูกเก็บไว้ภายในคอมพิวเตอร์ก่อน

บิตและไบต์

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

ตัวเลขศูนย์หรือแต่ละตัวในเลขฐานสองเรียกว่า บิต (bit) 8 บิตจะเป็น 1 ไบต์ (Byte) ผลที่ตามมาคือ ค่าของหนึ่งไบต์จึงเป็นได้ตั้งแต่ 0000000000 ถึง 000000000 หรือ 0 ถึง 255 ในฐานสิบ

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

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

ตารางที่ 2.2 แสดงจำนวน 35 ในฐานสอง

คอมพิวเตอร์เกือบทั้งหมดทำงานในระบบเลขฐานสอง เพราะว่ามันเป็นการง่ายที่จะแปลงรหัส 0 และ 1 เป็นแรงดันไฟฟ้าบวกและลบ ในคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่หน่วยที่เล็กที่สุดของหน่วยความจำอ้างถึงโดยการอ้างแอดเดรสคือไบต์ ดังนั้นเมื่อข้อมูลถูกเก็บและจัดการในคอมพิวเตอร์ตามปกติจึงถูกแปลให้เป็นไบต์ที่เรียงลำดับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้ารหัสข้อความ

เมื่อข้อความ (อักขระเครื่องหมายวรรคตอน และอื่น ๆ) ถูกเก็บในคอมพิวเตอร์ แต่ละตัวอักษรที่แตกต่างกันจะถูกแทนด้วยจำนวนที่ต่างกันจำนวนเหล่านี้โดยปกติมีค่า 0 ถึง 127 หรือ จาก 0 ถึง 255 เนื่องจากไบต์หนึ่งมสามารถมีค่าจาก 0 ถึง 255 มันจึงเป็นธรรมชาติที่จะให้หนึ่งไบต์แทนตัวอักษรหรือเครื่องหมายวรรคตอนแต่ละตัวในข้อมูลที่เป็นข้อความ มีสองวิธีที่ต่างกันสำหรับการจับคู่ตัวอักษรกับจำนวน คือ EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) ซึ่งถูกใช้ใน
คอมพิวเตอร์ชนิดอื่นของ IBM ยกเว้น IBM PC และ ASCII (American Standard Code for Information Interchange) ซึ่งถูกใช้ในคอมพิวเตอร์อื่นส่วนใหญ่ เราจะเกี่ยวข้องกับ ASCII เท่านั้นในหนังสือเล่มนี้

ตาราง ASCII อย่างเป็นทางการให้จำนวนระหว่าง 32 ถึง 126 แทนตัวเลข ตัวอักษร เครื่องหมายวรรคตอนและสัญลักษณ์ที่ใช้กันทั่วไปอื่น ๆ จำนวนจาก 0 ถึง 31 และ 127 มีความหมายพิเศษเช่น Cariage return , Line feed และตัวอักษรที่ไม่สามารถแสดงผลอื่น ๆ ได้

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

เนื่องจากจำนวน 127 ในฐานสองใช้เพียงเจ็ดบิต ตัวอักษรทั้งหมดถูกแทนด้วย 0 ถึง 127 สามารถถูกเก็บในหนึ่งไบต์ โดยจะเหลืออีกหนึ่งบิตเนื่องจากเราให้ชื่อบิตในไบต์หนึ่งตั้งแต่ศูนย์ถึงเจ็ด จะเห็นได้ว่ารหัส ASCII ใช้เพียงบิตศูนย์ถึงหก บิตเจ็ดถูกสำรองไว้

คอมพิวเตอร์หลายชนิดใช้เต็มที่ทั้งแปดบิตสำหรับการเข้ารหัส ทำให้มีรหัสที่แตกต่างกัน 256 ตัว 128 ตัวแรกเป็นไปตาม ASCII และส่วนที่เหลือถูกใช้สำหรับอักขระต่างชาติ สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ อักขระกราฟฟิก และอื่น ๆ ตามแต่การออกแบบ โชคไม่ดีที่ไม่มีมาตรฐานสำหรับอักขระเพิ่มเติม (extented character) เหล่านี้ซึ่งมักจะมีความหมายแตกต่างกันบนคอมพิวเตอร์คนละชนิด

รหัส ASCII ชนิดพิเศษ

รหัส 32 ตัวแรกในตาราง ASCII มีความหมายพิเศษ ดังในตารางที่ 2.3 มีหลายตัวได้รับการออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ทางการสื่อสารโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 รหัส ASCII ชนิดพิเศษ

รหัส	อักขระ	ความหมาย
0	NULL	วิธีหนึ่งที่จะทำให้เกิดการหน่วงเวลาอย่างจงใจ ในอดีตมันมีความจำเป็นที่จะส่ง null หลังจาก Carriage return เพื่อให้เครื่องพิมพ์ปัดแคร่ไปทางซ้ายสุดของกระดาษปัจจุบันเครื่องพิมพ์ทำงานได้เร็วขึ้น null จึงถูกใช้สำหรับจุดประสงค์อื่นมากมายอย่าง
1	SOH	Start of heading แสดงว่าข้อความที่ตามมาเป็นส่วนหนึ่งของหัวข้อ
2	STX	Start of text แสดงจุดเริ่มต้นของข้อความจริงของข่าวสาร
3	ETX	End of text แสดงจุดสิ้นสุดของข้อความ
4	EOT	End of transmission แสดงการสิ้นสุดของการส่ง
5	ENQ	Enquiry โดยปกติถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้งในการขอให้คอมพิวเตอร์ฝ่ายรับค้อนรับการได้รับข่าวสาร
6	ACK	Acknowlage การตอบรับการได้รับข่าวสาร
7	SO	Shift out กำหนดจุดเริ่มต้นของรหัสควบคุมพิเศษบ่อยครั้งที่ใช้ ESC แทน
8	BAL	ส่งเสียงออกทางเทอร์มินัล
9	BS	Backspace
10	HT	Horizontal tab
11	LF	Line feed ทำให้ขึ้นบรรทัดใหม่ในตำแหน่งเดิม
12	VT	Vertical tab
13	FF	Form feed เลื่อนหน้ากระดาษไปหนึ่งหน้า
14	CR	Carriage return เลื่อนไปที่ต้นบรรทัด บางครั้งทำให้เกิด Line feed ด้วยเช่นกัน
15	SI	Switch in กำหนดจุดสิ้นสุดของรหัสควบคุมที่เริ่มต้นโดย SO
16	DLE	Data link escape เหมือนกับ Esc
17	DC_1	Device control 1 ถึง 4 รหัสที่สำรองไว้ให้ใช้ตามความต้องการบางครั้งใช้ในซอฟแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง
18	DC_2	
19	DC_3	
20	DC_4	
21	NAK	Negative acknowledgement บ่งชี้ว่าข้อมูลที่ส่งนั้นไม่ได้ถูกรับอย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น พบความผิดพลาดทางพาริตี้
22	SYN	Synchronous idle เหมือนกับ NULL แต่ถูกใช้ในการสื่อสารแบบซิงโครนัส เพื่อดูแลให้อุปกรณ์สองตัวซิงโครไนซ์กันระหว่างการส่ง
23	ETB	End of transmission block ถูกใช้ในที่ซึ่งการส่งข้อมูลถูกแบ่งเป็นบล็อก เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบข้อผิดพลาด
24	CAN	Cancel บ่งชี้ว่าข้อมูลที่ถูกส่งไปควรถูกทิ้งไป
25	EM	End of medium บ่งชี้ว่ามาถึงปลายทางของเทปกระดาษ
26	SUB	Substitute แก้ไขตัวอักษรที่ถูกส่งมาผิดพลาด ถูกใช้เพื่อบ่งชี้จุดสิ้นสุดของการส่งด้วยเช่นกัน
27	Esc	Escape บ่งชี้จุดเริ่มต้นของตัวอักษรที่ตีความมาว่ามีความหมายพิเศษ
28	FS	
29	GS	File group , Record และ Unit separator ตามลำดับใช้เพื่อกำหนดของเขตระหว่างส่วนของข้อความ
30	RS	
31	US	
32	DEL	บ่งชี้ว่าตัวอักษรที่มาก่อนมันควรถูกลบ

รหัส 1 ถึง 26 ถูกอ้างถึงเป็น Ctrl - A ถึง Ctrl - Z ด้วยเช่นกัน และพวกมันสามารถถูกสร้างด้วยแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ โดยการกดปุ่ม Ctrl ค้างไว้ และกดปุ่มตัวอักษรที่เหมาะสมพร้อมกัน (ดังนั้น 1 = Ctrl - A , 2 = Ctrl - B เป็นต้น) บางรหัสสามารถถูกป้อนเข้าโดยการกดปุ่มเฉพาะ เช่น Tab สำหรับรหัส 9 หรือ Return สำหรับรหัส 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงเป็นรูปแบบอนุกรม

คอมพิวเตอร์เกือบทั้งหมดเก็บและจัดการข้อมูลในแบบขนาน หมายความว่าเมื่อไบต์หนึ่งถูกส่งจากส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์ไปยังส่วนอื่น มันไม่ได้ถูกส่งไปครั้งละหนึ่งบิต แต่จะถูกส่งไปหลายบิตพร้อมกันผ่านตัวนำในแบบขนาน จำนวนบิตที่ถูกส่งในครั้งหนึ่งแปรผันไปตามเครื่อง แต่โดยปกติจะเป็นแปดหรือทวีคูณของแปด เพราะฉะนั้น คอมพิวเตอร์สามารถทำงานกับหนึ่งไบต์เป็นอย่างน้อยในครั้งหนึ่ง ๆเนื่องจากการสื่อสารจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์อื่นหลายชนิดเป็นแบบอนุกรม หมายความว่าข้อมูลถูกส่งไปทีละหนึ่งบิต ตัวเชื่อมต่อการสื่อสารต้องสามารถนำไบต์ที่รับมาแบบขนานส่งออกไปทีละบิตได้

จากที่กล่าวมาแล้วว่าสายข้อมูลในการสื่อสารแบบอนุกรม มีเพียงสภาวะ MARK และ SPACE ซึ่งในกรณีของการเชื่อมต่อโดยตรงเท่ากับแรงดันไฟฟ้าลบหรือบวกตามลำดับ ข้อมูลใด ๆที่ถูกส่งต้องแปลงให้เป็นลำดับของ MARK และ SPACE ก่อน สำหรับการส่งข้อมูล MARK แทนค่าหนึ่งและ SPACE แทนค่าศูนย์

การสื่อสารแบบซิงโครนัสและอะซิงโครนัส

เมื่อข้อมูลถูกแปลงเป็นรูปแบบอนุกรมแล้ว มีวิธีการส่งข้อมูลอยู่สองแบบคือ ซิงโครนัส (Synchronous) และอะซิงโครนัส (Asynchornous)

เมื่อข้อมูลถูกส่งมาจากการพิมพ์ที่แท่นการพิมพ์ การส่งและรับจะเป็นแบบอะซิงโครนัส คือคนที่พิมพ์ไม่สามารถที่จะพิมพ์ได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อคอมพิวเตอร์รับตัวอักษรแต่ละตัวจะมีช่องว่างระหว่างตัวอักษรที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้อุปกรณ์ฝ่ายรับไม่อาจคาดหมายได้ว่า ตัวอักษรต่อไปจะมาถึงเมื่อใด จากการขาดความต่อเนื่องนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องใส่บิตพิเศษก่อนและหลังตัวอักษรแต่ละตัวเพื่อบ่งบอกจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของตัวอักษร บิตพิเศษนี้เรียก บิตเริ่มต้น (Start bit) นอกจากนี้ ยังมีอีกบิตหนึ่งคือ บิตพาริตี้ (Parity bit) ที่มักจะถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อใช้ตรวจสอบความผิดพลาด วิธีนี้เรียกว่า การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous communication)

เมื่อตัวอักษรถูกส่งไปยังกลุ่มตามความเร็วของเครื่อง ช่วงห่างระหว่างกันก็จะสม่ำเสมอจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีบิตเริ่มต้นและบิตจบสำหรับตัวอักษรแต่ละตัว เพราะว่าเมื่อตัวอักษรแรกถูกรับไป อุปกรณ์ฝ่ายรับสามารถคาดหมายการมาถึงของตัวอักษรถัดไปได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือมันสามารถเข้าจังหวะตัวมันเองกับคอมพิวเตอร์ฝ่ายส่งได้ วิธีแบบนี้เรียกว่า การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous communication)

เนื่องจากการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสต้องการบิตเริ่มต้นและบิตจบเพิ่มเข้าไปในแต่ละตัวอักษร จึงมีความยาวในการส่งไฟลต์มากกว่าการสื่อสารแบบซิงโครนัส ประมาณ 20 % ความแตกต่างนี้อาจสังเกตไม่เห็นเมื่อแหล่งข้อมูลที่ส่งมาจากการพิมพ์ที่เทอร์มินัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากในโลกของ IBM เมนเฟรมซึ่งเทอร์มินัลแบบซิงโครนัสเป็นอุปกรณ์สามัญ การสื่อสารแบบอนุกรมส่วนใหญ่เกิดขึ้นในแบบอะซิงโครนัสซึ่งประยุกต์กับการสื่อสารเกือบทั้งหมดระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์เทอร์มินัล และระบบยูนิกซ์ ด้วยเหตุนี้ส่วนที่เหลือของบทนี้จะให้ความสนใจที่การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสเป็นหลัก

การจัดเฟรม

ในกรณีการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส บิตที่เป็นตัวแทนของไบต์ ซึ่งเรียกว่า บิตข้อมูล (Data bit) จะถูกนำและตามด้วยบิตเริ่มต้น บิตจบและบิตพาริตี้ กระบวนการนี้เรียกว่า การจัดเฟรม (Framing)

จำนวนของบิตที่แทนหนึ่งตัวอักษรแปรผันไปตามโปรโตคอลสื่อสารที่ใช้จำนวนที่ว่า หมายถึง จำนวนของบิตข้อมูล หรือความยาวเวิร์ด (Word length) โดยปกติจะเป็นเจ็ดหรือแปดบิต แต่ละตัวอักษรจะถูกส่งออกไปเป็นกลุ่มที่ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น ตัวอักษร (บิตข้อมูล) บิตพาริตี้ซึ่งสามารถเลือกได้ และบิตจบหรือสองบิต เพื่อความชัดเจน เราจะเรียกกลุ่มของตัวอักษรและบิตเหล่านี้ว่า เฟรม (Frame) เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนกับคำว่าตัวอักษรที่บางครั้งอ้างถึงบิตข้อมูลและบางครั้งอ้างถึงกลุ่มพร้อมด้วยบิตเริ่มต้น บิตจบ และบิตพาริตี้ ตัวอย่างของเฟรมที่ถูกส่ง

Start Bite

บิตเริ่มต้นถูกใส่เพิ่มที่จุดเริ่มต้นของเฟรมเสมอ เพื่อเตือนอุปกรณ์ของฝ่ายรับว่าข้อมูลกำลังมาถึงและเพื่อเข้าจังหวะกลไกที่แยกแต่ละบิต บิตเริ่มต้นคือ SPACE หรือ ไบนารี 0

ในการเชื่อมต่อโดยตรง SPACE หรือ 0 ถูกส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าบวก แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟรมจะเป็นลบ ดังนั้นที่จุดเริ่มต้นของแต่ละเฟรมแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนจากลบเป็นบวก

Data Bite

มาตรฐานหรือโปรโตคอลการสื่อสารแบบอนุกรม ทำให้เกิดการส่งตัวอักษรที่ยาวต่างกัน เมื่อซอฟแวร์สื่อสารให้คุณเลือกความยาวเวิร์ด มันกำลังถามว่าคุณต้องการส่งตัวอักษรเจ็ดบิตหรือแปดบิต (บางครั้งความยาวอื่นก็ถูกใช้แต่แทบไม่ค่อยมี) ถ้ามีข้อมูลทั้งหมดถูกส่งในรูปแบบ ASCII เวิร์ดขนาดเจ็ดบิตก็เพียงพอ จำไว้ว่าตาราง ASCII กำหนดจำนวนจาก 0 ถึง 127 ซึ่งทั้งหมดสามารถแทนได้ด้วยเจ็ดบิต

ถ้าข้อมูลที่ถูกส่งไปไม่ใช่ ASCII (เช่นข้อความที่ใช้ชุดอักขระเพิ่มเติมหรือข้อมูลไบนารี) ทั้งแปดบิตของแต่ละไบต์จึงมีความจำเป็น คุณไม่สามารถใช้โปรโตคอลเจ็ดบิตได้ ถ้าข้อมูลไม่ถูกแปลงเป็นรูปแบบเจ็ดบิตเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parity Bite

การตรวจสอบพาริตี้เป็นวิธีหนึ่งในการทดสอบว่า ข้อมูลที่ได้ถูกรับไปอย่างถูกต้องหรือไม่ อุปกรณ์ฝ่ายส่งจะเพิ่มบิตพาริตี้อีกบิตหนึ่ง เป็นค่า 0 หรือ 1 ซึ่งขึ้นอยู่กับบิตข้อมูล อุปกรณ์ฝ่ายรับจะตรวจสอบว่าบิตพาริตี้มีความสัมพันธ์ที่ถูกต้องกับบิตอื่นหรือไม่ ถ้าไม่แสดงว่าบางสิ่งต้องผิดพลาดในระหว่างการส่ง พาริตี้สามารถคำนวณได้จากวิธีต่อไปนี้

- พาริตี้คู่ (Even Parity) หมายความว่า จำนวนของบิตข้อมูลที่เป็น 1 และค่าของบิตพาริตี้รวมกันเป็นจำนวนคู่ เช่น ตัว A ในฐานสอง คือ 01000001 เมื่อจำนวนนับของบิตที่เป็น 1 จะได้ 2 ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นบิตพาริตี้ต้องเป็น 0 ถ้าตัวอักษร A ที่รับได้มีพาริตี้เป็น 1 แสดงว่าเกิดความผิดพลาดในระหว่างการส่ง

- พาริตี้คี่ (Odd Parity) หมายความว่า จำนวนทั้งหมดของบิตข้อมูลที่เป็น 1 บวกกับค่าของบิตพาริตี้ เป็นจำนวนคี่ ดังนั้นสำหรับตัวอักษร A บิตพาริตี้ควรถูกเซตเป็น 1 เพื่อให้จำนวนของบิตที่เป็น 1 ทั้งหมดเป็น 3 ซึ่งเป็นจำนวนคี่

- ไม่มีพาริตี้ (Null Parity) หมายถึงไม่มีบิตพาริตี้

- SPACE (บางครั้งเรียกว่า Bit Trimming) คือบิตพาริตี้ที่เป็น 0 เสมอ มีประโยชน์ในการตรวจสอบข้อผิดพลาดบางอย่าง เมื่อการส่งข้อมูลเป็นขยะมาก บางครั้งพาริตี้อาจกลายเป็น 1 แสดงว่าเกิดข้อผิดพลาด พาริตี้แบบนี้สามารถใช้เพื่อส่งอักษรเจ็ดบิตให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการตัวอักษรแปดบิตได้เช่นกัน อุปกรณ์ฝ่ายรับจะถือว่าบิตพาริตี้เป็นบิตสุดท้ายของข้อมูล

- Mark (บางครั้งเรียกว่า Bit Forcing) ทำงานเหมือนกับพาริตี้แบบ SPACE ยกเว้นแต่บิตพาริตี้จะเป็น 1 เสมอ เนื่องจาก 1 ในตำแหน่งนั้นสามารถที่จะถูกตีความรวมเข้ากับค่าของจำนวนได้ อุปกรณ์ หรือ คอมพิวเตอร์ฝ่ายรับต้องถูกโปรแกรมไม่ให้สนใจมัน

Stop Bite

ที่ท้ายของแต่ละเฟรม บิตจบจะถูกส่งออกมา บิตจบมีทั้งแบบหนึ่งบิต หนึ่งบิตครึ่ง หรือสองบิต อย่างน้อยต้องมีหนึ่งบิตเสมอ เพื่อประกันว่ามีแรงดันไฟฟ้าลบอย่างน้อยเป็นช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่เฟรมต่อไปจะมาถึง เพื่อที่สามารถแยกแยะเฟรมถัดไปได้จากบิตเริ่มต้นที่เป็นกระบวนการของมัน บิตจบมากกว่าหนึ่งบิตโดยทั่วไปจะใช้เมื่ออุปกรณ์ฝ่ายรับต้องการเวลาเพิ่มขึ้นก่อนที่มันจะสามารถจัดการกับตัวอักษรที่เข้ามาตัวถัดไปได้

หนึ่งบิตครึ่ง หมายความว่าความยาวของบิตนั้นมากกว่าบิตปกติ บิตจบบังคับให้มีช่องว่างอย่างน้อยระหว่างเฟรน พวกมันถูกส่งเป็นไบนารีหนึ่งซึ่งในการเชื่อมต่อโดยตรงจะเป็นแรงดันไฟฟ้าลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตจบสองบิตมักจะถูกใช้ที่อัตราบอด 10 ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดที่ใช้กันทั่วไปเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของเครื่องโทรพิมพ์รุ่นเก่าซึ่งใช้อัตราบอดต่ำและต้องการเวลาพิเศษเพื่อประมวลตัวอักษร

Baud Rate

อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate) แสดงจำนวนของสัญญาณแต่ละหน่วยในหนึ่งหน่วยวินาทีมันถูกตั้งชื่อตาม Baudot ซึ่งเป็นผู้บุกเบิกการสื่อสารชาวฝรั่งเศษ ในการส่งแบบไบนารีมันเป็นสิ่งเดียวกับบิตต่อวินาที (bps) หรือจำนวนของเลขฐานสองที่ถูกส่งในหนึ่งวินาที ทั้งสองคำนี้มีความแตกต่างกัน แต่มันมักจะทำให้สับสน ผู้คน 200,000 คน อาจบอกว่าพวกเขามีโมเด็ม 1200 บอด และไม่มีสักคนที่มีจริงๆ แล้วพวกเขามีโมเด็ม 1200 bps

ในการเชื่อม RS - 232 โดยตรง สัญญาณจะเป็นหนึ่งในสองสถานะในเวลาขณะใดขณะหนึ่ง อัตราบอดและ bps จึงเท่ากัน อย่างไรก็ตามในบทที่ 4 เราจะเห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณหนึ่งถูกส่งผ่านระหว่างโมเด็มมันสามารถเป็นหนึ่งในหลายสถานะ ความยาวของสัญญาณอาจเป็น 1 / 600 วินาที (600 บอด) แต่เนื่องจากมากกว่าสองบิตของข้อมูลสามารถถูกส่งไปพร้อมกันการเปลี่ยนแปลงแต่ละสภาวะ อัตราบิตต่อวินาทีจะสูงกว่าอัตราบอด

มีจุดน่าสังเกตคืออัตราบอดและ bps อ้างถึงอัตราที่บิตภายในหนึ่งเฟรมถูกส่ง ช่องว่างระหว่างเฟรมอาจมีความยาวแปรเปลี่ยนได้ เช่น จากการพิมพ์ตัวอักษรด้วยอัตราแตกต่างกัน ดังนั้นทั้ง Baud Rate และ bps จึงไม่ได้หมายถึงอัตราที่ข้อมูลถูกส่งไปจริงๆ

อัตราบิตต่อวินาที โดยทั่วไปอยู่ในอนุกรม 110 , 150 , 300 , 600 , 1200 , 2400 , 4800 , 9600 และ 19200 อัตราที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับการสื่อสารทางโมเด็มคือ 1200 และ 2400 อัตรา 1200 ใช้กันมาก สำหรับการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์ และ 9600 ใช้กันมากสำหรับการเชื่อมต่อเทอร์มินัลกับคอมพิวเตอร์

การแก้ปัญหา

เมื่ออุปกรณ์สองตัวสื่อสารซึ่งกันและกัน พวกมันต้องตกลงกันในเรื่องอัตราบอด ความยาวเวิร์ด จำนวนบิตจบ และพาริตี้ ถ้าพบว่าไม่ได้รับอะไรเลย ความผิดพลาดอาจอยู่ที่การเชื่อมต่อทางกายภาพ เช่น ข้อมูลกำลังถูกส่งบนสายเส้น สายขาด หรือไม่ได้รับสัญญาณแอนด์เช็คกิ้งที่ถูกต้อง ถ้าได้รับขยะ ความผิดพลาดอาจอยู่ในหัวข้อที่กล่าวต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baud Rate ไม่ตรงกัน

ถ้าอุปกรณ์สองตัวถูกตั้ง Baud Rate ต่างกัน อุปกรณ์ฝ่ายรับอาจพยายามที่จะแปลข้อมูล (ถ้ามันไม่ได้ถูกโปรแกรมให้รายงานข้อผิดพลาดทางพาริตี้และทางเฟรม) โดยปกติคุณจะเห็นว่าจำนวนข้อมูลที่ได้รับแตกต่างจากที่ถูกส่งมา

Buffer

บัฟเฟอร์ข้อมูลคือ พื้นที่ของหน่วยความจำซึ่งตัวอักษรที่รับเข้ามาได้ หรือตัวอักษรที่ถูกส่งจะถูกเก็บพักไว้ชั่วคราว การใช้บัฟเฟอร์จะลดจำนวนของสัญญาณแฮนด์เช็คกิ้งที่ต้องถูกส่ง เนื่องจากข้อมูลสามารถส่งเป็นบล็อกขนาดใหญ่แทนที่จะส่งทีละตัวอักษร

บัฟเฟอร์ข้อมูลเข้า

บัฟเฟอร์ข้อมูลเข้า (Input Buffer) ถูกใช้เมื่ออุปกรณ์ ฝ่ายรับกำลังรับตัวอักษรเร็วกว่าที่มันสามารถประมวลผลได้ ตัวอย่างเช่น เครื่องพิมพ์อาจกำลังรับตัวอักษรที่ 1200 บอด แต่พิมพ์ออกไปที่ 300 บอด แทนที่เครื่องพิมพ์จะส่งให้คอมพิวเตอร์ผ่ายส่งหยุดส่งหลังจากการส่งตัวอักษรแต่ละตัวจนกว่ามันจะถูกพิมพ์นักออกแบบเครื่องพิมพ์มักจะกันพื้นที่หน่วยความจำภายในเครื่องพิมพ์ เพื่อใช้เก็บพักตัวอักษรที่เข้ามาได้จำนวนหนึ่ง พื้นที่ของหน่วยความจำนี้เรียกว่าบัฟเฟอร์ข้อมูล บัฟเฟอร์นี้เปรียบได้กับน้ำซึ่งมีน้ำไหลเข้าทางด้านบนและในขณะเดียวกันก็ไหลออกทางด้านล่างสัญญาณหยุดจะถูกส่งเมื่อบัฟเฟอร์เกือบจะเต็ม สัญญาณเริ่มต้นใหม่ถูกส่งเมื่อบัฟเฟอร์เกือบจะว่าง ถ้าเครื่องพิมพ์รอจนกระทั่งบัฟเฟอร์เต็มก่อนที่จะบอกให้หยุดส่ง และบอกให้เริ่มส่งในทันทีที่มีที่ว่าง การทำบัฟเฟอร์จะประสบความล้มเหลวในทันทีที่บัฟเฟอร์เต็มเป็นครั้งแรก เพราะว่าหลังจากนั้นมันจะบอกให้หยุดส่งทุกตัวอักษรที่ได้รับ และให้ส่งใหม่ทุกครั้งที่ประมวลผลเหมือนกันตอนไม่มีบัฟเฟอร์

อีกเหตุผลหนึ่งสำหรับการสั่งสัญญาณหยุดส่งก่อนที่ บัฟเฟอร์จะเต็มคือ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญหายของตัวอักษรที่อาจได้รับมาพร้อมกับที่สัญญาณหยุดถูกส่ง

ถ้าใช้ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง สัญญาณหยุดมักจะทำให้อุปกรณ์ฝ่ายส่งหยุดการส่งทันทีอย่างไรก็ตาม การใช้ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง จะมีเวลาหน่วงค่าหนึ่งก่อนที่คำสั่งหยุดจะมีผล เพราะว่าคำสั่งหยุดต้องถูกนำไปประมวลผลโดยเครื่องฝ่ายส่งก่อน และในระหว่างนั้นตัวอักษรสามารถถูกส่งออกไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ถึง 3.5 แสดงสถานะต่างๆ ในการใส่ข้อมูลเข้าและดึงข้อมูลออกจากบัฟเฟอร์ของเครื่องพิมพ์ รูปที่ 3.3 แสดงบัฟเฟอร์ที่เต็มครึ่งหนึ่งซึ่งเป็นลักษณะที่มีทั้งการรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์และส่งออกไปยังกลไกการพิมพ์ รูปที่ 3.4 แสดงบัฟเฟอร์ที่ใกล้เต็ม เมื่อเครื่องพิมพ์ขอให้คอมพิวเตอร์หยุดการส่งข้อมูล โดยลดระดับแรงดันไฟฟ้าบนสายแฮนด์เช็คกิ้งหรือส่ง XOFF รูปที่ 3.5 แสดงบัฟเฟอร์ที่ใกล้ว่าง เมื่อเครื่องพิมพ์สั่งให้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลต่อไปโดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของสายแฮนด์เช็คกิ้งหรือส่ง XON

บัฟเฟอร์ข้อมูลออก

บัฟเฟอร์ข้อมูลขาออก (Output Buffer) เป็นพื้นที่ซึ่งข้อมูลถูกเก็บไว้ก่อนที่จะถูกส่งออกไปซึ่งช่วยลดความไม่สะดวกของพนักงาน เช่น สมมติว่าคุณกำลังพิมพ์ที่แป้นพิมพ์ และตัวอักษรที่พิมพ์จะถูกส่งไปยังเครื่องพิมพ์หรืออุปกรณ์อื่นโดยตรง เมื่อเครื่องพิมพ์ได้รับข้อมูลทั้งหมดที่มันสามารถจัดการได้แล้วส่งสัญญาณจนกระทั่งเอ้าต์พุทบัฟเฟอร์เต็ม ในทางปฏิบัติคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่มีบัฟเฟอร์ข้อมูลเข้าของแป้นพิมพ์ด้วย สำหรับเก็บตัวอักษรที่ถูกพิมพ์โปรแกรมจะรับค่าอินพุทของมันจากบัฟเฟอร์ของแป้นพิมพ์อีกที

อินไลน์บัฟเฟอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ระหว่างคอมพิวเตอร์ และมีบัฟเฟอร์ขนาดใหญ่ อินไลน์บัฟเฟอร์ (In - Line Buffer) เหล่านี้รับตัวอักษรจากคอมพิวเตอร์และส่งพวกมันไปให้เครื่องพิมพ์ อินไลน์บัฟเฟอร์รับข้อมูลได้เร็วกว่าเครื่องพิมพ์มาก และสามารถส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์ด้วยอัตราบอดที่เหมาะสมจากมุมมองของเครื่องคอมพิวเตอร์ มันเพียงแต่ส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์เร็วมากตัวหนึ่ง การทำงานเสร็จสมบูรณ์ในทันทีที่เอกสารถูกส่งไปที่บัฟเฟอร์ (สมมติว่า เอกสารใส่ลงในบัฟเฟอร์ได้ทั้งหมด) และสามารถทำงานต่อไปได้ในขณะที่เอกสารกำลังถูกพิมพ์อินไลน์บัฟเฟอร์ที่ซับซ้อนบางชนิดสามารถทำงานพิเศษ เช่น แปลงจากอนุกรมเป็นขนาด สลับเครื่องพิมพ์ พิมพ์เอกสารหลายๆ ชุด และเก็บข้อมูลที่ได้รับจากโมเด็มเพื่อการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมอะซิงโครนัส

ก่อนที่จะได้เรียนรู้ถึงการทำงานของพอร์ตแบบอนุกรมนั้น ควรจะได้ทำความเข้าใจกับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (asynchronous) เสียก่อน ในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่านพอร์ตแบบอนุกรมครั้งละ 1 บิต ซึ่งแตกต่างจากการส่งแบบขนานที่ส่งครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 1 ไบต์ และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสแต่ละไบต์นั้น ไม่จำเป็นต้องเท่ากันจึงได้ชื่อว่าการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

ในการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลแต่ละไบต์จะประกอบด้วย

1. บิตเริ่มต้น (start bit) 1 บิต
2. บิตข้อมูล (data bit) 7 หรือ 8 บิต
3. พาริตี้บิต (parity bit) (จะมีหรือไม่มีก็ได้)
4. บิตสิ้นสุด (stop bit) 1 หรือ 2 บิต

สถานะของสายส่งในขณะที่ไม่มีข้อมูลจะมีสถานะเป็นสูง สถานะทางดิจิตอลมี 2 สถานะ คือ สูง (high) และต่ำ (low) ข้อมูลบิตใดมีค่า 0 จะทำให้สายส่งมีสถานะต่ำ ข้อมูลบิตใดมีค่า 1 ก็จะทำให้สายส่งมีสถานะสูงอยู่เช่นเดิม บิตเริ่มต้นใช้สำหรับบอกจุดเริ่มต้นของไบต์ของข้อมูล โดยการทำให้สถานะของสายส่งมีค่าต่ำ เป็นเวลา 1 รอบ (cycle) จากนั้นจะเป็นบิตของข้อมูล ตามด้วยพาริตี้บิต ซึ่งจะมีหรือไม่ก็ได้ สุดท้ายคือ บิตสิ้นสุด ซึ่งจะมี 1 หรือ 2 บิตก็ได้ขึ้นกับว่าจะใช้เท่าใด

พาริตี้บิต ถ้าหากมีในไบต์ข้อมูล ก็จะทำหน้าที่ตรวจเช็คความผิดพลาดของข้อมูล พาริตี้มีค่า 2 อย่างคือ เป็น คู่ หรือ คี่ (even or odd) ถ้าเป็นคู่ หมายความว่า เมื่อรวมพาริตี้บิตแล้ว จำนวนบิตข้อมูลที่มีค่า 1 จะเป็นจำนวนคู่ และถ้าพาริตี้เป็นคี่ หมายความว่าเมื่อรวมพาริตี้บิตแล้วจำนวนของบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 จะเป็นจำนวนคี่

อัตราการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น baud (bit per second) ค่า baud rate ที่ต่ำที่สุดที่มีใช้กันคือ 300 baud ซึ่งจะใช้กับโมเด็มรุ่นเก่า (โมเด็มรุ่นใหม่มักจะใช้ 1200 - 2400 baud) ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับ IBM PC สามารถใช้ค่า baud rate ได้สูงถึง 9600 baud

มาตรฐาน RS - 232

การที่จะเข้าใจว่าปัญหามากมายที่เกิดกับพอร์ตแบบอนุกรมนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร และทำไมถึงเกิดขึ้นได้ จะต้องเข้าใจมาตรฐานของการสื่อสารแบบอนุกรมอะซิงโครนัสของ RS - 232 มากพอสมควร ถึงแม้ว่าจะไม่ลงไปในรายละเอียดมากนักก็ตาม

พอร์ตแบบอนุกรมส่วนใหญ่ จะมีรูปร่างขึ้นอยู่กับมาตรฐานของ RS - 232 คือ มี ขา 25 ขาที่คอนเน็กเตอร์แต่ละปลายสายส่ง (แต่ IBM AT จะมีเพียง 9 ขา) แต่ถึงแม้ว่าจะมีขาจำนวนเท่ากันแต่พอร์ตส่วนใหญ่จะมีสัญญาณที่ไม่เหมือนสัญญาณของ RS - 232 ทั้งหมด เพราะว่าบางสัญญาณไม่จำเป็นต้องใช้ หรือบริษัทผู้ผลิตบางบริษัทตั้งใจจะตัดสัญญาณบางสัญญาณออกไป เพื่อลดค่าใช้จ่ายสัญญาณพื้นฐานของ RS - 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณทั้งหมดมีมากกว่านี้ เพราะว่าแรกเริ่มนั้น พอร์ตอนุกรมถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับโมเด็ม ดังนั้นเมื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์อื่น บางสัญญาณจึงไม่จำเป็น เพราะสัญญาณเหล่านี้มีเพื่อใช้เป็นข้อตกลงระหว่างโมเด็มและคอมพิวเตอร์

1. คอมพิวเตอร์จะไม่ส่งข้อมูลให้แก่โมเด็มก่อนที่โมเด็มจะพร้อมส่งข้อมูล
2. คอมพิวเตอร์จะไม่อ่านข้อมูลจากโมเด็มก่อนที่โมเด็มจะพร้อม

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล

ความผิดพลาดของกรอบข้อมูล (framing error) คือ ความผิดพลาดของการส่งข้อมูลที่เกิดจากสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้ง 2 ด้านมีค่าไม่เท่ากัน เพราะว่าจากการทำงานของพอร์ตอนุกรม เมื่อพอร์ตได้รับบิตเริ่มต้นก็จะสุ่มอ่านค่าจากส่วนรับข้อมูล 1 ครั้งต่อ 1 รอบ เพื่ออ่านบิตต่อไป ซึ่งระยะเวลาในการสุ่มอ่านแต่ละรอบกำหนดได้จาก baud rate ถ้าหากว่าคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง มีสัญญาณนาฬิกาไม่ตรงกัน คอมพิวเตอร์ด้านรับ ก็จะอ่านข้อมูลจากส่วนรับข้อมูลของตน ช้าเกินไปหรือเร็วเกินไป ก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ด้านส่งทำให้เกิดเฟรมมิงเออร์เรอร์ขึ้น

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้ง (hardware handshaking) คือ วิธีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านพอร์ตอนุกรม โดยจะต้องตรวจดูสถานะของคอมพิวเตอร์ด้านของการรับข้อมูลว่าพร้อมจะรับข้อมูลหรือไม่เมื่อคอมพิวเตอร์ด้านส่งพร้อมจะส่งข้อมูลให้ ดังนั้นข้อมูลจะต้องไม่ถูกส่งออกไปจนกว่าสัญญาณพร้อมจะส่งข้อมูลให้ ดังนั้นข้อมูลจะต้องไม่ถูกส่งออกไปจนกว่าสัญญาณพร้อมรับข้อมูลจะถูกส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์รับสัญญาณเตรียมพร้อมที่รับข้อมูลของคอมพิวเตอร์ด้านรับคือ clear to send (CTS)

โปรแกรมจำลองการรับส่งข้อมูล จะมีรูปแบบดังนี้คือ

```
while ( not ) wait ;
send  ( byte ) ;
while ( bytes to send ) ;
```

หมายความว่า จะมีการตรวจสถานะ CTS ตลอดเวลาว่า พร้อมจะรับข้อมูลหรือไม่ ถ้าไม่พร้อมก็จะรอไปเรื่อยๆ แต่ถ้าพร้อมก็จะส่งข้อมูลไปให้ จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดที่ยังมีข้อมูลที่จะต้องส่งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาของการสื่อสาร

เพื่อที่จะให้การสื่อสารผ่านโมเด็มเป็นไปอย่างถูกต้อง สัญญาณหลายๆ สัญญาณถูกใช้เพื่อตรวจดูว่า ข้อมูลจะพร้อมเมื่อใดหรือข้อมูลไบต์ต่อไปจะถูกส่งมาเมื่อใด แต่ต่อมาเมื่อมีการสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์ สัญญาณบางสัญญาณได้ถูกตัดทิ้งไป เพื่อว่าสายสัญญาณจะได้ลดน้อยลงและลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสายส่ง สัญญาณจึงเหลือเพียง GRD, Txd และ RxD ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว เมื่อคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งพร้อมที่จะส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์อีกเครื่องจะต้องพร้อมที่จะรับข้อมูล แต่เมื่อลดสายสัญญาณลงแล้ว จะทำให้เกิดปัญหาตามมามากมาย ที่ยุ่งยากที่สุดปัญหาหนึ่งก็คือ ปัญหาของข้อมูลถูกเขียนทับ (overrun error)

ปัญหาข้อมูลถูกทับ เมื่อการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมใช้สายส่งเพียง 2 สายนั้น จะต้องใช้กรรมวิธีพิเศษเล็กน้อยเพื่อให้พอร์ตตัวส่งเข้าใจว่าพอร์ตด้านรับพร้อมที่จะรับข้อมูลเสมอ โดยการต่อขา 6 , 8 และ 20 ของคอนเน็กเตอร์เข้าด้วยกัน วิธีการเช่นนี้เป็นการตัดฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกิ้งไปนั่นเอง

แต่การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดปัญหาข้อมูลถูกเขียนทับได้ง่าย ซึ่งก็คือความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลอย่างหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากการที่คอมพิวเตอร์เครื่องส่ง ส่งข้อมูลใหม่มาใหม่มาให้คอมพิวเตอร์ด้านรับ ในขณะที่คอมพิวเตอร์ด้านรับยังไม่พร้อมจะรับข้อมูล

2.4 การต่อเชื่อมแบบอนุกรม

พอร์ตอนุกรมเป็นแบบ Full Duplex สามารถที่จะส่งและรับพร้อมกันได้ โดยทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์การรับ หมายถึง พอร์ตสามารถที่จะรับไบต์ที่สองก่อนที่ตัวแรกจะถูกรับไปจากเรจิสเตอร์ตัวรับ อย่างไรก็ตามไบต์ตัวแรกจะต้องถูกอ่านไปก่อนที่ช่วงเวลาการรับไบต์ตัวที่สองจะสิ้นสุดมิฉนั้นไบต์ตัวแรกจะถูกซ้อนและสูญหายได้ในพอร์ตอนุกรมเรจิสเตอร์รับและส่งจะเข้าถึงติดต่อกันด้านเรจิสเตอร์ SBUF ใน SFR แม้ว่าทางโครงสร้างเรจิสเตอร์ทั้งสองจะแยกกันอยู่ก็ตาม พอร์ตอนุกรมสามารถที่เลือกทำงานในโหมดต่างๆ ได้สี่โหมด

โหมด 0 : ข้อมูลจะเข้าออกผ่าน RDX TXD ด้วยการเลื่อนสัญญาณนาฬิกาเอ้าต์พุท ข้อมูลลักษณะแปดบิต ในการรับส่งแต่ละครั้งโดยที่ส่งค่า LSB ก่อนอัตราบ๊อตจะคงที่ที่ 1 / 12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

โหมด 1 : จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด 10 บิตผ่านออก TXD หรือรับเข้ามาผ่าน RXD โดยรูปแบบบิตจะประกอบด้วยหนึ่งบิต Start เป็น “ 0 “ แปดบิตข้อมูลโดย LSB เป็นตัวแรกที่รับส่งข้อมูลนี้ และอีกหนึ่งบิต Stop มีค่าเป็น “ 1 “ การรับบิต Stop จะนำไปเก็บที่บิต RB 8 ของ SFR เรจิสเตอร์ SCON อัตราบ๊อดแปรผันได้ตามการตั้งตัวจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 2 : เป็นการส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ผ่านออกขา TXD หรือรับเข้ามาผ่านขา RXD ประกอบด้วยหนึ่งบิต Start มีค่า " 0 " แปดบิตข้อมูลโดย LSB เป็นตัวแรกที่รับและส่งข้อมูลบิตที่เก้าของข้อมูลสามารถที่จะโปรแกรมเลือกได้และบิต Stop ค่า " 1 " อีกหนึ่งบิต ในการส่งบิตที่เก้าที่อยู่ในบิต TB 8 ของเรจิสเตอร์ SCON สามารถที่จะกำหนดเลือกเป็น " 1 " หรือ " 0 " ได้ ตัวอย่างเช่น การใช้งานเป็นบิตพาริตี้ โดยการเลื่อนเอาบิต P ของ PSW มาไว้ใน TB 8 เพื่อเป็นการส่งข้อมูลแบบมีการตรวจพาริตี้ของข้อมูลที่ส่ง ในการรับข้อมูลบิตที่เก้าจะเข้าไปเก็บที่ RB 8 ใน SFR เรจิสเตอร์ SCON ขณะที่บิต Stop จะไปรับเข้ามาเก็บ อัตราบ๊อดสามารถเลือกเป็น 1 / 32 หรือ 1 / 64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ SCON เป็น SFB ที่ใช้ในการติดตั้งโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม เช่น การกำหนดค่า RB 8 จะเป็นการใช้ตัวรับบิตที่เก้าด้วยหรือไม่

โหมด 3 : เป็นการส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ผ่านออกค่า TXD หรือรับเข้ามาผ่านขา RXD ประกอบด้วยบิต Start มีค่าเป็น 0 ข้อมูลแปดบิตโดย LSB เป็นบิตแรกที่รับและส่งข้อมูลที่เก้าของข้อมูลสามารถที่จะโปรแกรมเลือกได้และบิต Stop อีกหนึ่งบิตในความเป็นจริง โหมด 3 จะคล้ายกับโหมด 2 ทุกประการ ยกเว้นอัตราบ๊อด โดยอัตราบ๊อดในโหมด 3 จะแปรผันได้ไปตามการโปรแกรมการเลือกตัวจับเวลาทั้งสี่โหมดนี้ การส่งข้อมูลจะเริ่มติดตั้ง Initiales ด้วยคำสั่งใด ๆ ที่ใช้ตัวเรจิสเตอร์ ตัวรับข้อมูลจากพีซียู และในโหมด 0 การรับข้อมูลเริ่มติดตั้งด้วยการใช้สถานะ RI = 0 และ REN = 1 ส่วนโหมดอื่นการรับข้อมูลจะเริ่มติดตั้งด้วยการรับบิต Start เข้ามาตรวจสอบถ้า REN = 1

2.5 โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS - 51

ลักษณะหลักทั่ว ๆ ไปของ MCS - 51 จะประกอบด้วย

1. ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 v เพียงแหล่งเดียว
2. ซีพียูมีขนาดค่า 8 บิต
3. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรนาฬิกาบนชิป
4. ชุดแบงค์ (BANK) เรจิสเตอร์มี 4 ชุด แต่ละชุดมีเรจิสเตอร์ 8 ตัว
5. มีตัวจับเวลา / ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนานสองทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่จะเหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น จะใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะกินเวลา 1 ไมโครวินาทีด้วยการใช้คริสตอล 12 เม็กกะเฮิรตซ์

9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์

10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์

11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง

12. มีซอฟต์แวร์บิตแฟลกสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต

13. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง

14. ตัวโพรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้สำหรับการใช้แบบกระบวนการงานควบคุม

15. มีคำสั่งคูณและหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำได้ใน 4 ไมโครวินาที

16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ในระบบไบนารีและเดซิมัล

17. การใช้พื้นที่สแตกสำหรับโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ทำได้กว้างกว่า MCS - 48

18. ชุดคำสั่ง MCS - 51 จะมีความสามารถสูงกว่าคำสั่งของ MCS - 48

ตระกูล MCS - 48 จะมีทั้งแบบ ROM ในตัว หรือมี EPROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน ตารางที่ 2.4 แสดงถึงตารางรายละเอียดของเบอร์ต่าง ๆ ในตระกูล MCS - 51 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตัวจับเวลา / ตัวนับจำนวน	อินเตอร์รัพต์
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052 AH	8K x 8 ROM	256 x 8 ROM	3 x 16 BIT	6
8051 AH	4K x 8 ROM	128 x 8 ROM	2 x 16 BIT	5
8051	4K x 8 ROM	128 x 8 ROM	2 x 16 BIT	5
8032 AH	NO ROM	256 x 8 ROM	3 x 16 BIT	6
8031 AH	NO ROM	128 x 8 ROM	2 x 16 BIT	5
8031	NO ROM	128 x 8 ROM	2 x 16 BIT	5
8751 H	4K x EPROM	128 x 8 ROM	2 x 16 BIT	5
8752 H	8K x EPROM	256 x 8 ROM	3 x 16 BIT	6

ตารางที่ 2.4 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS - 51

2.6 หลักการทำงานของ FSK

ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog Converter)

ในการสร้างสัญญาณอนาล็อกที่เป็นผลมาจากสัญญาณดิจิตอล หรือสัญญาณข่าวสารในรูปอื่นจะได้มาจากหลักการพื้นฐานของวิธีการ 3 แบบคือ

1. หลักการของแอมปลิจูดมอดูเลต (Amplitude Modulaion)
2. หลักการของฟรีเควนซีมอดูเลต (Frequency Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หลักการของแอมปลิจูดมอดูเลต (Amplitude Modulaion)

2. หลักการของฟรีเควนซีมอดูเลต (Frequency Modulation)

3. หลักการเฟสมอดูเลต (Phase Modulation)

โดยสัญญาณที่จะถูกส่งออกไป (สัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณข่าวสารต่างๆ) จะถูกมอดูเลตทางด้านรับ เพื่อแยกสัญญาณข่าวสารเดิมที่ส่งมาออกจากสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) เทคนิคการรวมสัญญาณทางดิจิตอล (Digital Modulation Techniques) ที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางคือ

1. แบบ FSK หรือ Frequency Shift Keying

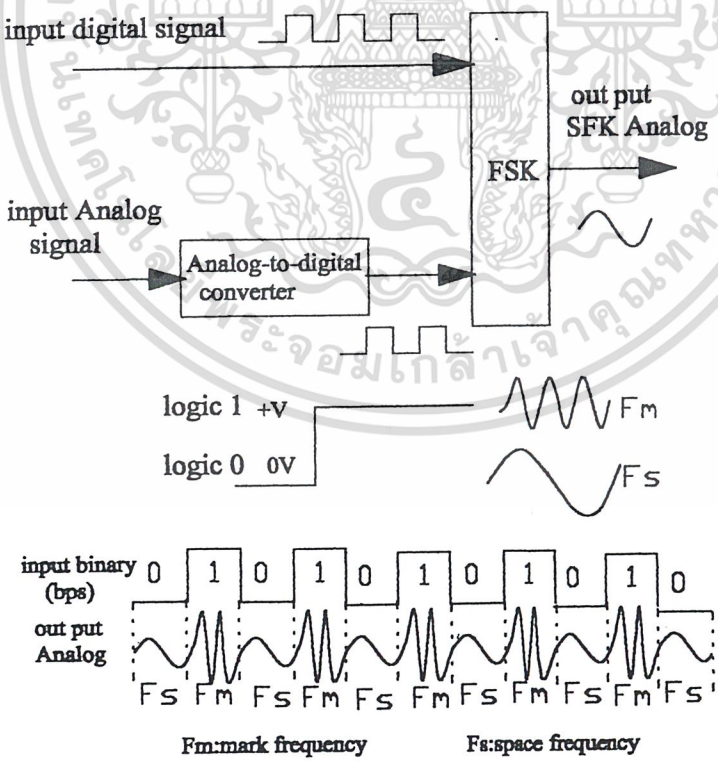
2. แบบ PSK หรือ Phase Shift Keying

3. แบบ QAM หรือ Quadcature Amplitude Modulation

เนื่องจาก FSK คือหัวข้อที่กำลังกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ดังนั้นหลังจากนี้ไปศึกษาเรื่อง FSK เพียงอย่างเดียว

กำเนิดสัญญาณ FSK (FSK generator)

หลักการและสัญญาณอินพุทของ FSK แสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 หลักการและสัญญาณอินพุท เอ้าท์พุทของ FSK

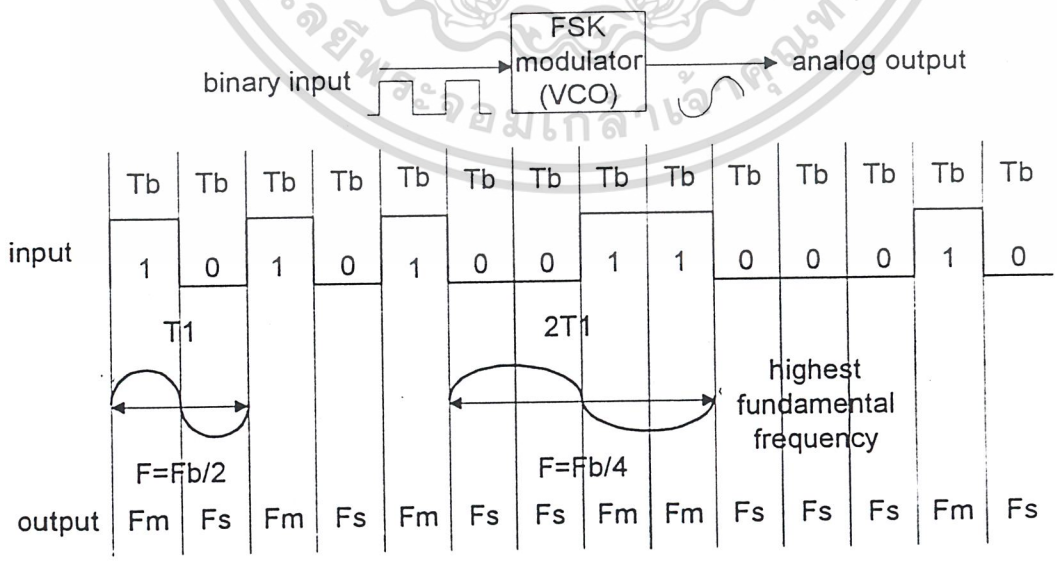
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกำเนิดสัญญาณ FSK ก็คือตัวสัญญาณ FSK (FSK Transmitter) ซึ่งมีหลักการที่ว่าเมื่อข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลไบนารีจะทำให้เกิดความถี่เลื่อนหรือเบี่ยงเบนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไบนารีที่เข้ามา ดังนั้นสัญญาณทางเอ้าท์พุทของตัวกำเนิด FSK จะอยู่ในรูปของความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Frequency Continuous) เมื่อข้อมูลไบนารีด้านอินพุทเปลี่ยนแปลงจากสถานะโลจิก " 1 " เป็นโลจิก " 0 " (หรือในทางกลับกันคือโลจิก " 0 " เป็นโลจิก " 1 ") สัญญาณเอ้าท์พุทจาก FSK ก็จะเลื่อนความถี่ระหว่าง 2 ความถี่ด้วยกัน คือความถี่ที่โลจิก " 1 " หรือ Mark Frequency (fm) และความถี่ที่โลจิก " 0 " หรือ Space Frequency (fs)

การเปลี่ยนแปลง (หรือการเลื่อน) ของความถี่แต่ละครั้งจะเกิดขึ้นเมื่อสถานะของโลจิกด้านสัญญาณเข้าเปลี่ยนแปลงนั้นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณออกจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเข้า ซึ่งในดิจิตอลมอดูเลชั่นนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านอินพุทของ FSK Generator จะเรียกว่า " อัตราบิต " หรือ Bit Rate มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bps.) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านเอ้าท์พุทของ FSK Genertor เรียกว่า " อัตราบอร์ด " หรือ Baud Rate ดังนั้นในการส่งข้อมูลด้านเทคนิค FSK อัตราบิตจะเท่ากับอัตราบอร์ดเสมอ

FSK Bandwidth

ในการสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณความถี่นั้นแบนด์วิท (Bandwidth) เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เนื่องจากวิธีการของ FSK อยู่บนพื้นฐานเดียวกันกับวิธีการของ FM ดังนั้นการอธิบายถึงสูตรต่าง ๆ ก็ใช้หลักการของ FM ทุกอย่าง



รูปที่ 2.23 FSK Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

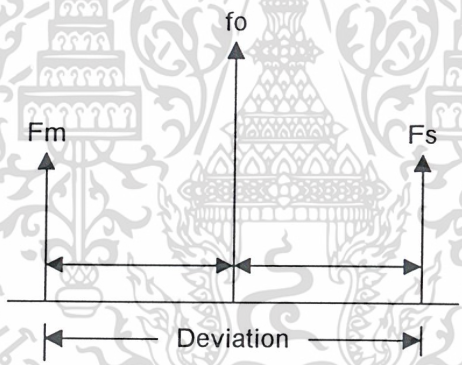
จากรูปที่ 2.11 แสดงถึงตัว FSK Modulator ซึ่งใช้หลักการเดียวกับ FM Modulator คือใช้หลักการของ VCO (Voltage Control Oscillator) จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วที่สุดของสัญญาณอินพุทจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลไบนารีมีลักษณะเป็น 1 และ 0 สลับกัน ซึ่งก็คือสัญญาณสี่เหลี่ยมนั้นเอง (Square Wave) ตามตัวอย่างในรูป เป็นสัญญาณในช่วง T 1

ความถี่หลักของคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ Bit Rate ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะความถี่หลักเพียงอย่างเดียวแล้ว ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการนำมามอดูเลตแบบ FSK จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของ Bit Rate คือ

$$F_{a\ max} = \text{Bit Rate} / 2$$

เมื่อ $F_{a\ max}$ = ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่จะนำมามอดูเลต

ความถี่กลาง (Center Frequency = f o) ของ VCO จะอยู่ในตำแหน่งกลางระหว่าง Mark Frequency (fm) กับ Space Frequency (fs) ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 2.24 การเบี่ยงเบนความถี่

โลจิก 1 ด้านอินพุทจะเลื่อนความถี่ของ VCO จาก f 0 ไปเป็น fs จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไบนารีด้านอินพุทจาก " 1 " ไป " 0 " หรือ " 0 " ไป " 1 " จะทำให้ความถี่เอาท์พุทของ VCO เลื่อนหรือเบี่ยงเบนกลับไปมา ระหว่าง f m กับ f s เนื่องจากได้กล่าวมาแล้ว FSK นั้นก็คือการมอดูเลตแบบ FM ดังนั้น ดัชนีการมอดูเลต (Modulate Index = MI) ใน FSK ก็ทำได้จาก FM

$$MI = \Delta F / Fa$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ MI = ดัชนีการมอดูเลต

ΔF = การเบี่ยงเบนของความถี่ใด ๆ จากความถี่กลาง (Hz)

Fa = ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Hz)

ค่า MI ที่ยอมให้มีได้สูงสุดคือค่า MI ที่ทำให้แบนด์วิทกว้างที่สุดซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการเบี่ยงเบนของความถี่ถูกมอดูเลตแล้วและความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าสูงสุด

ใน FSK มอดูเลตค่า ΔF เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุด (Peak Frequency Deviation) ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลต ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง fm หรือ fo กับ fs ซึ่งก็คือครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่าง fm กับ fs นั่นคือ

$$\Delta F = \frac{fs - fm}{2}$$

การเบี่ยงเบนของความถี่สูงขึ้นอยู่กับขนาดหรือแอมปลิจูดสัญญาณที่นำมามอดูเลต (สัญญาณดิจิตอล) เมื่อสถานะทางโลจิกเป็น " 1 " จะให้แรงดันออกมาค่าหนึ่งคงที่ตาม (เช่น 5 V) หรือถ้าในโลจิก " 0 " แรงดันออกมาคงที่ในระดับโลจิกเช่นกัน (เช่น 0 V)

Fa เป็นความถี่ของข้อมูลไบนารีด้านอินพุท ซึ่งจะทำให้แบนด์วิทกว้างที่สุดเมื่อ Fa = Bit Rate / 2 เท่านั้น เพราะฉะนั้นเราสามารถหาค่า MI ได้จาก

$$MI = \frac{fs - fm}{2} \Big/ \frac{Fb}{2}$$

$$MI = \frac{fs - fm}{Fb}$$

เมื่อ fs - fm = ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

Fb = อัตราบิตของไบนารีอินพุท

ในการส่งสัญญาณ FM โดยทั่ว ๆ ไป ความกว้างของแบนด์วิทจะแปรผันตรงกับค่า MI ซึ่งเช่นเดียว กับ FSK ที่ค่า MI โดยทั่ว ๆไป จะต้องมีค่าต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้เป็นเอฟเอ็มแบบแคบ (Narrow band FM) ค่าแบนด์วิทที่แคบที่สุดเรียก Minimum Nyquist Bandwidth (Fn) ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลแบบ FSK มีความถี่กลาง (fo) = 7 KHz ความถี่สเปส (fs) = 6 KHz และความถี่มาร์ค (fm) = 8 KHz ข้อมูลไบนารีอินพุทมี Bit Rate = 2 KHz สามารถหา FM ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MI = \frac{fs - fm}{Fb}$$

$$MI = \frac{6\ KHz - 8\ KHz}{2\ KHz}$$

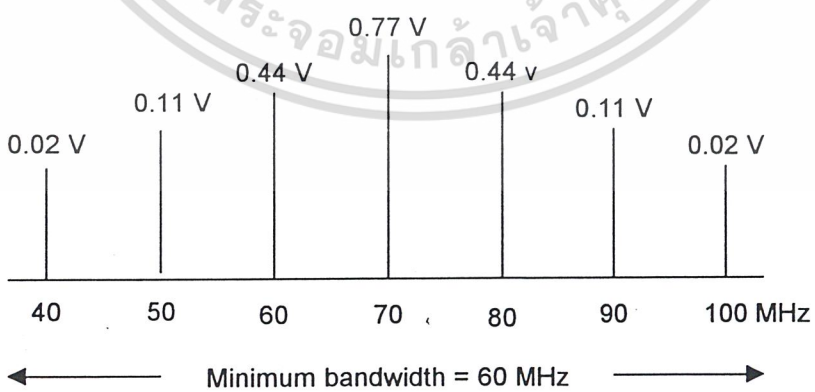
$$MI = \frac{2\ KHz}{2\ KHz}$$

$$MI = 1.0$$

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

ตารางที่ 2.5 Bassel Function Table

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



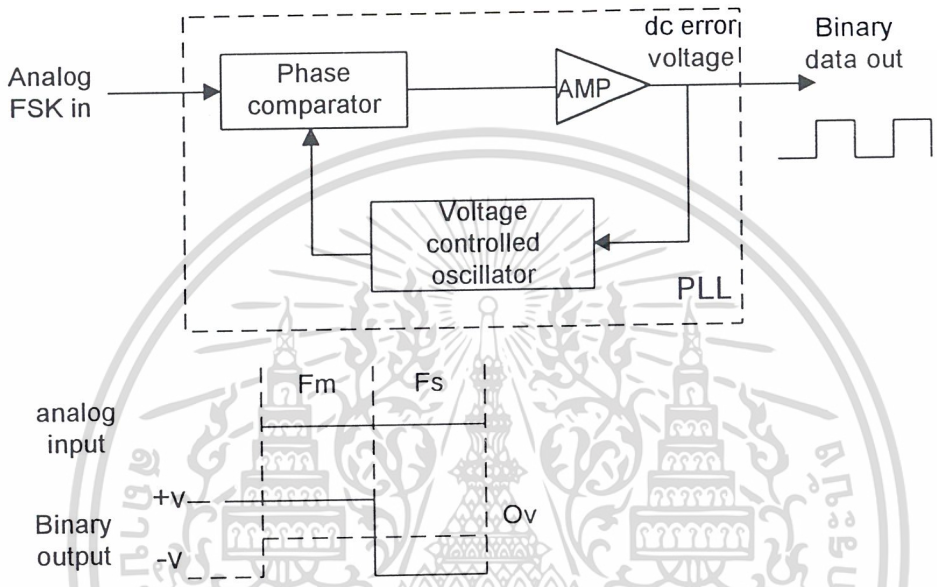
รูปที่ 2.25 สเปคตรัมความถี่ของตัวอย่างที่ 1

มีข้อน่าสังเกตคือ MI มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 จะทำให้แบนด์วิทมีค่าประมาณ 2-3 เท่าของ Bit Rate เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FSK ดีมอดูเลเตอร์ (FSK Demodulator)

FSK Demodulator คือตัวรับสัญญาณ FSK (FSK Receiver) จะเป็นตัวแยกสัญญาณไบนารีออกจากสัญญาณ FSK โดยส่วนมากจะใช้วงจร PLL (Phase lock loops) ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 PLL - FSK Demodulator

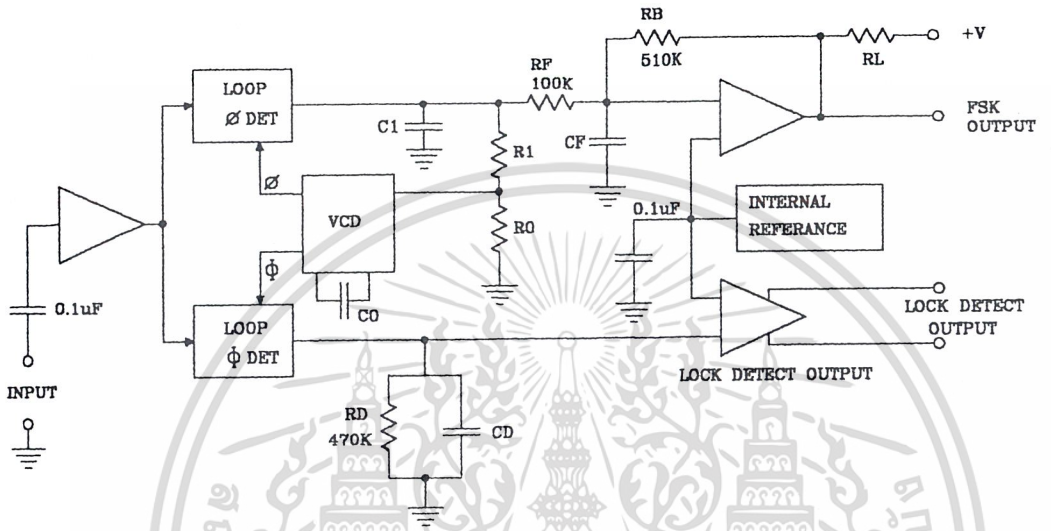
PLL ใน FSK demodulator มีหลักการทำงานเหมือนกับ PLL ใน FM Detector ทุกอย่าง คือจะมีความถี่ฟรีรันนิ่งเท่ากับ Center Frequency (fo) และในขณะที่ความถี่อินพุทของ PLL เลื่อนไปมาระหว่างfm กับ fs จะทำให้เกิดแรงดันคลาดเคลื่อนไฟตรง (DC Error Voltage) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปรียบเทียบทางเฟส (Phase Comporator) ของสัญญาณอินพุท เนื่องจากความถี่อินพุทที่เข้ามายัง PLL มีเพียง 2 ความถี่คือ fm และ fs ดังนั้นค่าแรงดันดังกล่าวจึงมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น ซึ่งสามารถแทนค่าโลจิก " 1 " และโลจิก " 0 " เมื่อความถี่ทางอินพุทเป็น fm และ fs ตามลำดับ เราจึงได้สัญญาณเอ้าท์พุทจาก PLL กลับมาเป็นข้อมูลไบนารีเหมือนกับตอนแรกที่ส่งมาทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ FSK Demodulator

FSK Demodulator จะออกแบบกับไอซีเบอร์ XR - 2211 ซึ่งเป็นโมโนลิธิคเฟสล็อคลูป โดยมีย่านความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 0.01 Hz จนถึง 300 Hz

โครงสร้างภายในของ XR - 2211 เมื่อประยุกต์วงจรเป็น FSK Demodulator จะเป็นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 โครงสร้างภายใน FSK Demodulator

ส่วนประกอบของ RLL ใน XR - 2211 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

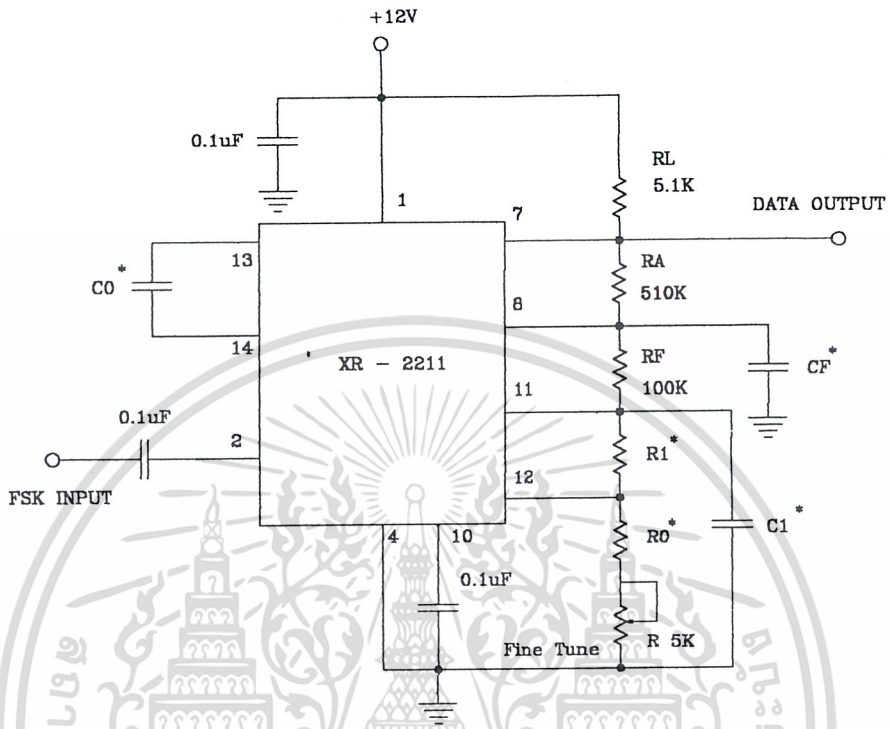
1. Signal Pre - Amp มีหน้าที่จำกัดขนาดของสัญญาณอินพุทให้อยู่ในค่าประมาณ 2 mV rms. และขยายอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เป็นสัญญาณระดับสูง

2. VCO (Voltage Control Oscillator) มีเฟส ดีเทคเตอร์ เป็นภาคแรก โดยเอ้าท์พุทจะได้เป็นความถี่ผลบวก (Sum frequency) และความถี่ผลต่าง (Difference frequency) คือ 2 f และ OHz ตามลำดับเมื่อ Phase Detect อยู่ในสถานะ Sum frequency ก็ได้ DC Error Voltage ออกไปยัง VCO เพื่อควบคุมการผลิตความถี่ออกมาค่าหนึ่งในภาวะปกติความถี่ฟรีรันนิ่ง (fo) จะ set ค่าโดยความต้านทาน Ro และคาปาซิเตอร์ Co โดยขับผ่านความต้านทาน R1 ซึ่งสามารถหา fo ได้จาก

$$Fo = 1 / Ro\ Co\ Hz$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดในการออกแบบ (FSK demodulator)



รูปที่ 2.28 วงจร FSK Demodulator

จากวงจรในรูปที่ 2.28 อุปกรณ์ภายนอกคือ Ro Co จะ set Free running frequency หรือ center frequency (fo) ของ PLL , R1 จะเซ็ทแบนด์วิท C1 เซ็ท Damping factor หรือ filter time constant Cf และ Rf สำหรับเซ็ท Data FSK output ค่าความต้านทาน R8 (S 10 K) ระหว่างขา 7 กับขา 8 เป็นตัวป้อนกลับทางบวกเพื่อให้ Transition Time ของเอ้าท์พุท FSK เร็วขึ้น

ดังนั้นการออกแบบวงจรจะต้องหาค่าอุปกรณ์ภายนอกที่จะนำมาต่อดังนี้คือ

1. คำนวณค่า Center frequency (fo) ของ PLL จาก

$$fo = \frac{fm + fs}{2}$$

2. เลือก Tinning Resistor (R_o) ซึ่งจะต้องอยู่ช่วง 10 K ถึง -100 K

3. หาค่า Co จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_O = 1 / fo\ R_O$$

4. หาค่า R1 เพื่อตั้ง bandwidth จาก

$$R_1 = \frac{(R_O)\ fo}{\Delta f}$$

เมื่อ

$$\Delta f = \left| fo - fm \right|$$

5. หาค่า C1 เพื่อตั้ง Damping factor จาก

$$\text{Damping factor} = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{C_O}{C_1}}$$

โดยทั่ว ๆไป Damping factor กำหนดให้เป็น 1/2 เพราะฉะนั้น

6. หาค่า Cf = 100 K R8 = 510 K จะหา Cf ได้จาก

$$C_F = \frac{3}{\text{Band Rate}} \quad (\mu F)$$

ค่าอุปกรณ์ทุกตัวจะต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานทั่ว ๆไป ยกเว้น Ro ซึ่งเป็น Fine - Tune Adjust เราะ Ro จะอนุกรมกับ Rx ซึ่งจะกล่าวได้ต่อไป

จากการออกแบบ FSK Generator มาแล้ว ณ ความเร็ว 1,200 Band เราก็สามารถเอาข้อมูลต่าง ๆมาออกแบบ FSK Demodulator ได้ดังนี้

1. หา fo ;

$$fo = \frac{1200 + 2200}{2}$$

$$fo = 1700\ Hz$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนด Ro ให้เป็น 20 KΩโดยใช้โพเท็นซิโอมิเตอร์ 5 KΩ อนุกรมกับ 18 KΩ

3. หา Co;

$$Co = 1 / f_o R_o$$

$$Co = 1 / 1700 \quad 20\ K\Omega$$

$$Co = 0.03\ \mu F$$

Co ใช้ค่า 0.027 μF

4. หาค่า R1;

$$R1 = \frac{R_o f_o}{\Delta f}$$

$$R1 = \frac{20\ K\Omega \times 1700}{1\ KHz}$$

$$R1 = 34\ K\Omega$$

5. หา C1

$$C_1 = C_o / 4$$

$$C_1 = \frac{0.027}{4}\ \mu F$$

C_1 ใช้ค่า 0.0007 μF

6. หา Cf;

$$C_F = \frac{3}{1200\ Band}$$

$$C_F = 0.0025\ \mu F$$

C_F ใช้ค่า 0.0027 μF

วงจรที่ได้จากการออกแบบจะเป็นดังรูป 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ FSK Band ในคู่มือ XR - 2211 ได้กำหนดค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ณ ความเร็วในการส่งข้อมูลต่าง ๆกัน ในตารางที่ 2.6

FSK BAND	ค่าอุปกรณ์
75 Band fm = 1110 Hz fs = 1170 Hz	C_0 = 0.044 µF C_1 = 0.011 µF C_F = 0.04 µF R_0 = 18 KΩ R_1 = 380 KΩ
300 Band fm = 1070 Hz fs = 1270 Hz	C_0 = 0.039 µF C_1 = 0.01 µF C_F = 0.005 µF R_0 = 13 KΩ R_1 = 100 KΩ
FSK BAND	ค่าอุปกรณ์
1200 Band fm = 1200 Hz fs = 2200 Hz	c_0 = 0.027 µF c_1 = 0.01 µF c_F = 0.0022 µF R_0 = 18 KΩ R_1 = 30 KΩ

ตาราง 2.6 FSK BAND และค่าอุปกรณ์ภายนอก

2.7 ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและหลักการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า

ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 บ้านที่อยู่อาศัย

ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่างๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า
5หน่วย (Kilowatt Hour) แรก (หน่วยที่1-5)	เป็นเงิน 4.96 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6 - 15)	หน่วยละ 0.7124 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 - 25)	หน่วยละ 0.8993 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 - 35)	หน่วยละ 1.1516 บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 - 100)	หน่วยละ 1.5348 บาท
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 - 150)	หน่วยละ 1.6282 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ 2.1329 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 ขึ้นไป)	หน่วยละ 2.4226 บาท

ตาราง 2.7 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : เดือนละ 4.67 บาท

1.2 ใช้ไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยปริมาณการต่อเดือน

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า
35 หน่วยต่อไป (Kilowatt Hour) แรก (หน่วยที่ 1 - 35)	เป็นเงิน 85.21 บาท
115 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 35 - 150)	หน่วยละ 1.1236 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ 2.1329 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 ขึ้นไป)	หน่วยละ 2.4226 บาท

ตาราง 2.8 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : เดือนละ 83.18 บาท

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า ขนาด 5 แอมป์ 220 โวลต์ 1 เฟส 2 สายจะถูกจัดให้อยู่ใน ประเภทที่ 1 ข้อ 1.1 แต่ถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือนติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดอยู่ในประเภทที่ 1 ข้อ 1.2 และถ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน ในเดือนถัดไปจัดอยู่ในประเภทที่ 1 ข้อ 1.1

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดเครื่องวัดไฟฟ้า ขนาดเกินกว่า 5 แอมป์ 220 โวลต์ 1 เฟส 3 สาย จะถูกจัดให้อยู่ในประเภทที่ 1 ข้อ 1.2 ตลอดไป

3. สถานที่ ๆ ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องสามารถเลือกใช้ไฟฟ้าอัตราไฟฟ้าประเภทที่ 6 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการใช้ไฟฟ้า : สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบการธุรกิจ ธุรกิจร่วมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรมและหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดที่ 30 Kilowatt โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า
35 หน่วยต่อไป (Kilowatt Hour) แรก (หน่วยที่ 1 - 35)	เป็นเงิน 89.89 บาท
115 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 35 - 150)	หน่วยละ 1.1236 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ 2.1329 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 ขึ้นไป)	หน่วยละ 2.4226 บาท

ตาราง 2.9 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับธุรกิจร่วมอยู่กับที่อยู่อาศัย

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : เดือนละ 87.85 บาท

หมายเหตุ

ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 นี้หากในรอบเดือนใดมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงตั้งแต่ 30 Kilowatt ขึ้นไป จะจัดอยู่ในประเภทที่ 3 ประเภทที่ 4 และประเภทที่ 5 แล้วแต่กรณีจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 อีกต่อเมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวลดต่ำกว่า 30 Kilowatt ติดต่อกันนาน 12 เดือน

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ลักษณะการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรมและหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดในช่วง 15 นาทีสูงสุด 30 - 1999 Kilowatt และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 355000 หน่วยต่อเดือน 3.1 อัตราปกติ

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า	
	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า บาท / กิโลวัตต์	ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท / หน่วย
แรงดัน 69 Kilovolt Up	175.70	1.0208
แรงดัน 12 - 24 Kilovolt Up	196.26	1.0582
แรงดันต่ำกว่า 12 Kilovolt	221.50	1.0862

ตาราง 2.10 แสดงอัตราการใช้ไฟฟ้าของกิจการขนาดกลาง

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปปัดเป็น 1 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time Of Use Rate : TOU Rate)

อัตราแรงเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า				
	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า บาท /กิโลวัตต์		ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท / หน่วย		ค่าบริการ บาท / เดือน
	1 *	1*	2*	3*	
แรงดัน 115 KV ขึ้นไป	102.80	1.1534	0.6671	0.6062	400.00
แรงดัน 69 KV	158.88	1.6292	0.6769	0.6153	400.00
แรงดัน 12 - 24 KV	200.93	1.7736	0.6861	0.6236	850.00
แรงดันต่ำกว่า 12 KV	214.95	1.8891	0.7283	0.6616	850.00

ตาราง 2.11 แสดงอัตราช่วงเวลาของผู้ใช้ไฟฟ้า

1* วันจันทร์ - วันเสาร์ เวลา 09.00 - 22.00 น. (On peek)

2* วันจันทร์ - วันเสาร์ เวลา 22.00 - 09.00 น. (On peek)

3* วันอาทิตย์ เวลา 00.00 - 24.00 น. (On peek)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงทีสุดในช่วง On peek ในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 ตัดทิ้ง แต่ถ้าเกิน 0.5 คิดเป็น 1 หน่วย

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา (สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน)

ค่า POWER FACTOR : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่า Power factor (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟมีค่าความต้องการไฟฟ้า Reactive เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด เมื่อคิดเป็น KVAR เกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้า Active เฉลี่ยในช่วง 15 นาทีสูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้วเฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่า Power factor ในอัตรา KVAR ละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนนั้นเศษของ KVAR ถ้าไม่ถึง 0.5ตัดทิ้งเกินปัดเป็น 1

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าในประเภทที่ 3 นี้จะจัดให้เข้าอยู่ในประเภทที่ 3 ข้อ 3.1 และหากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 250000 หน่วยต่อเดือนสามารถที่จะเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 3 ข้อ 3.2 ได้ทั้งนี้หากเกิดใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมไม่ได้

2. ส่วนราชการที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 250000 หน่วยต่อเดือน จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 นี้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือน ตุลาคม 2540 โดยจัดอยู่ในประเภทที่ 3 ข้อ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผู้ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลา 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2 หรือประเภทที่ 6 แล้วแต่กรณี และจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 อีกเมื่อมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวตั้งแต่ 30 - 1999 กิโลวัตต์

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ประสงค์ที่จะใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 ข้อ 3.2 ต้องติดต่อแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวงก่อน

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ลักษณะการใช้ : สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 2000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 355000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time Of Day Rate : TOD Rate)

อัตรารายเดือน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า บาท / กิโลวัตต์			ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท / หน่วย
	1*	2*	3*	
แรงดัน 69 Kilovolt Up	224.30	29.91	0	1.0208
แรงดัน 12 - 24 Kilovolt Up	285.05	58.88	0	1.0582
แรงดันต่ำกว่า 12 Kilovolt	332.71	68.22	0	1.0862

ตาราง 2.12 แสดงอัตราตามช่วงเวลาของวัน

1* เวลา 18.30 - 21.30 น. (On peek)

2* เวลา 08.00 - 18.30 น. (Partial peek) คิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกินจากช่วง On peek

3* เวลา 21.30 - 08.00 น. (Off peek) ไม่คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดของแต่ช่วงเวลาในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ถ้าเกิน 0.5 คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time Of Use Rate : TOU Rate)

อัตราเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า				
	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า บาท / กิโลวัตต์		ค่าพลังงานไฟฟ้า บาท / หน่วย		ค่าบริการ บาท /เดือน
	1*	1*	2*	3*	
แรงดัน 115 KV ขึ้นไป	102.80	1.1534	0.6671	0.6062	400.00
แรงดัน 69 KV	158.88	1.6292	0.6769	0.6153	400.00
แรงดัน 12 - 24 KV	200.93	1.7736	0.6861	0.6236	850.00
แรงดันต่ำกว่า 12 KV	214.95	1.8891	0.7283	0.6616	850.00

ตาราง 2.13 แสดงอัตราช่วงเวลาใช้

1* วันจันทร์ - วันเสาร์ เวลา 09.00 - 22.00 น. (On peek)

2* วันจันทร์ - วันเสาร์ เวลา 22.00 - 09.00 น. (On peek)

3* วันอาทิตย์ เวลา 00.00 - 14.00 น. (On peek)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดในช่วง On peek ในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 ตัดทิ้ง แต่ถ้าเกิน 0.5 คิดเป็น 1 หน่วย

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือน ต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการ พลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงที่สุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา (สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน)

ค่า POWER FACTOR : สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่า Power factor (lag) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการไฟฟ้า Reactive เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด เมื่อคิดเป็น KVAR เกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้า Active เฉลี่ยในช่วง 15 นาทีสูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้วเฉพาะส่วนเกินจะต้องเสียค่า Power factor ในอัตรา KVAR ละ 14.02 บาทสำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนนั้นเศษของ KVAR ถ้าไม่ถึง 0.5 ตัดทิ้ง เกิน 0.5 ปัดเป็น 1

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าในประเภทที่ 4 นี้จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ข้อ 4.1 ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือน มกราคม 2540 และสามารถเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 ข้อ 4.2 ได้ ดังนั้น ถ้าเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมไม่ได้ แม้ว่าต่อไปมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดต่ำกว่า 2000 กิโลวัตต์ หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 355000 หน่วยต่อเดือนก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามนอกจากจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน หรือได้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้า

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดเข้าอยู่ใน ประเภทที่ 4 ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนตุลาคม 2540 จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ข้อ 4.2 แม้ว่าต่อไปจะมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดต่ำกว่า 2000 กิโลวัตต์ หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 355000 หน่วยต่อเดือน นอกจากจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน หรือ มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ไฟฟ้า

3. ส่วนราชการที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 355000 หน่วยต่อเดือน จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 นี้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือน ตุลาคม 2540 โดยจัดอยู่ในประเภทที่ 4 ข้อ 4.2

4. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ติดต่อกัน 12 เดือนในเดือนถัดไปจะจัดให้อยู่ใน ประเภทที่ 2 หรือ 6 แล้วแต่กรณี และจะจัดเข้ามาอยู่ในประเภทที่ 4 อีกเมื่อมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 30 - 1999 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 355000 หน่วยต่อเดือน

5. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดใน 15 นาที 2000 กิโลวัตต์ขึ้นไปในเดือนใดหรือมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 35500 หน่วยต่อเดือน จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ในเดือนถัดไปหลังจากติดตั้งหน่วยเครื่องวัดไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวัน(TOD Meter) หรือเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Meter) หากยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าดังกล่าว อนุโลมให้ใช้การคิดอัตราค่าไฟฟ้าเดิมไปก่อน

6. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ประสงค์จะเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 ข้อ 4.2 ต้องแจ้งการไฟฟ้านครหลวง

หมายเหตุ ในโครงการนี้ใช้การคำนวณอ้างอิงถึงประเภทที่ 1 ข้อ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างและหลักการทำงานของวงจร

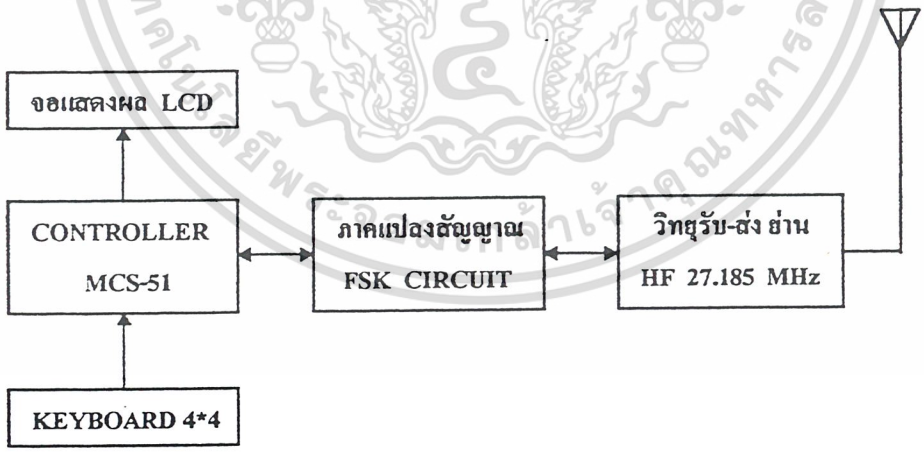
ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรในส่วนต่างๆโดยแบ่งออกเป็น โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ โครงสร้างและหลักการทำงานของวิทยุรับ-ส่งข้อมูล หลักการทำงานของวงจรควบคุมการสั่งงานการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ และหลักการของสภาวะในการรับส่งข้อมูล ซึ่งรายละเอียดในส่วนต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดรีโมท ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51
2. ภาคแปลงสัญญาณ FSK
3. วิทยุรับ-ส่งข้อมูล ความถี่ 27.185 MHz
4. จอแสดงผลแบบ LCD 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร
5. คีย์บอร์ดขนาด 4 * 4



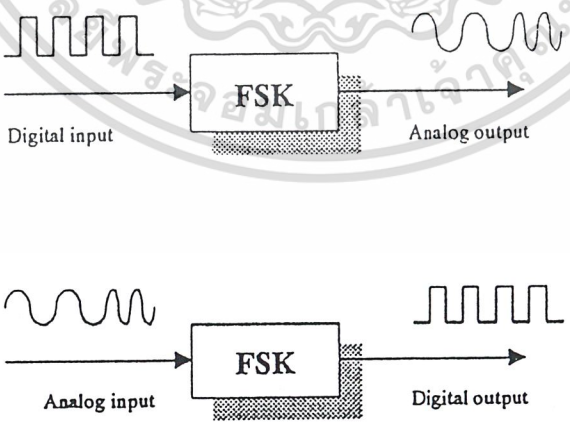
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของชุดรีโมท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของชุดรีโมท

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) จะทำหน้าที่ควบคุมการรับ - ส่ง โดยจะรับหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์และชุดคำสั่งจากคีย์บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจำนวน 4 ไบต์ ส่งออกทางพอร์ตอนุกรมที่ขา TX ของไมโครคอนโทรเลอร์ ที่อัตราการรับส่งข้อมูล 1200 บิต ต่อ วินาที ที่โหมด 1 (DATA 8 บิต 1 START บิต 1 STOP บิต) ข้อมูลส่งออกทางขา TX จะเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มาตรฐาน RS - 232 ส่งต่อไปยังภาคแปลงสัญญาณ FSK เพื่อแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อก เพื่อนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะของวิทยุรับ-ส่ง ในการส่งข้อมูลออกสู่อากาศ และในขณะเดียวกัน ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะรับข้อมูลที่ส่งกลับมาจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ โดยจะรับข้อมูลเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมที่ขาRX จำนวน 9 ไบต์ โดยที่ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลที่ผ่านการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่มาตราฐาน RS - 232 แล้ว และไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ในขณะเดียวกันก็จะแสดงข้อมูลที่รับเข้ามาที่จอแสดงผล LCD ให้ผู้ที่ใช้งานทราบ

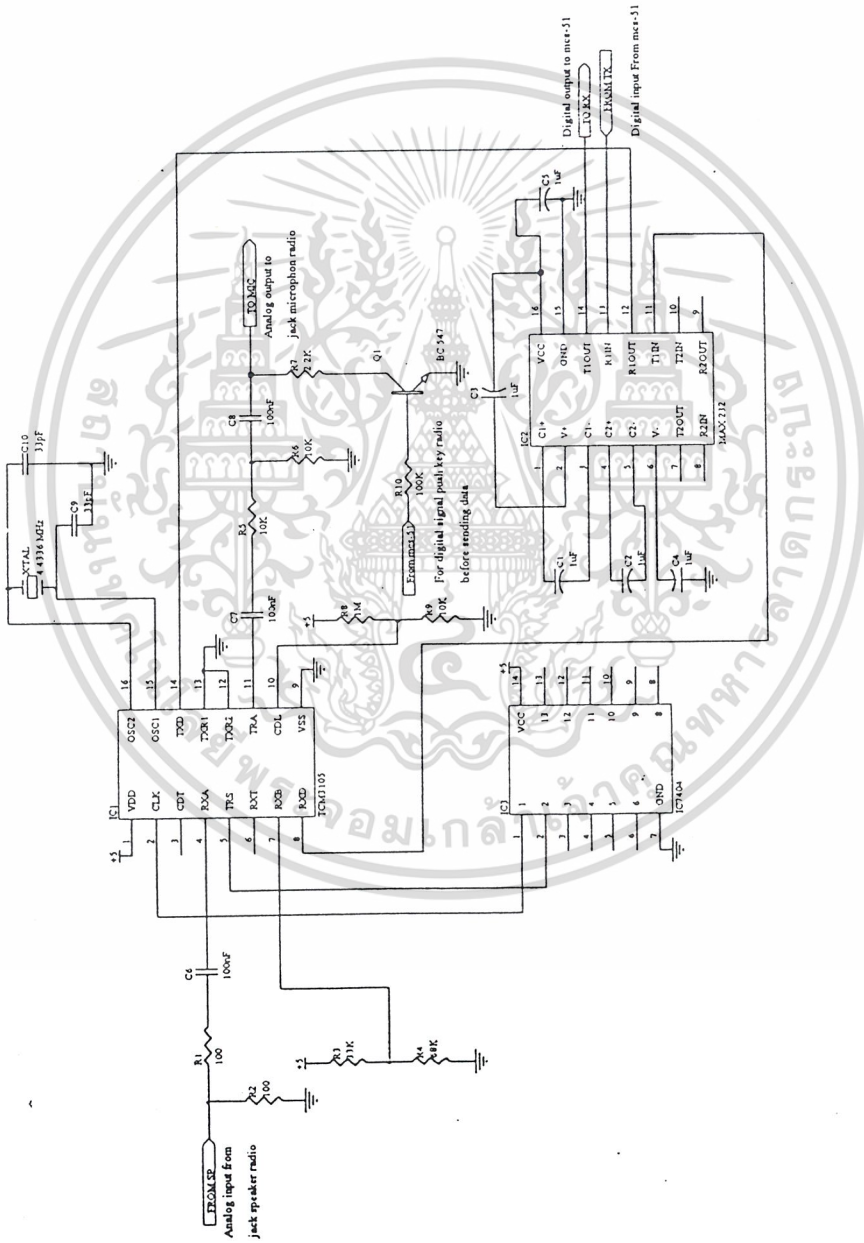
ภาคแปลงสัญญาณ วงจร FSK CIRCUIT(Frequency Shift Keying)จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อก 2 ความถี่คือถ้าสัญญาณดิจิตอลเป็น " 1 " จะให้ความถี่ 1200 Hz และถ้าสัญญาณดิจิตอลเป็น " 0 " จะให้ความถี่ 2200 Hz ซึ่งหลักการแปลงสัญญาณจะใช้หลักการของวงจร FSK (Frequency Shift Keying) และยังสามารถทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลได้อีกด้วย ถ้าสัญญาณอนาล็อกมีความถี่ 1200 Hz จะให้สัญญาณดิจิตอลเป็น " 1 " ถ้าสัญญาณอนาล็อกมีความถี่ 2200 Hz จะให้สัญญาณดิจิตอลเป็น " 0 " ซึ่งหลักการแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนจาก Digital เป็น Analog และ Analog เป็น Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในรูปที่ 3.3 เป็นวงจร FSK CIRCUIT (Frequency Shift Keying) ซึ่งเป็นวงจรในภาคแปลงสัญญาณที่ใช้ในโครงงานจะนำมาใช้ทั้งชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ในวงจรจะมีส่วนที่สำคัญอยู่สองส่วนคือ ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นอนาล็อกจะใช้ไอซีเบอร์ TCM 3105 และส่วนเปลี่ยนระดับสัญญาณ จะใช้ไอซี MAX 232 เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้มาตรฐาน RS - 232 ในการรับ - ส่งข้อมูลแบบอนุกรม จึงต้องนำสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาเปลี่ยนเป็นระดับสัญญาณ TTL ก่อนที่จะนำมาแปลงสัญญาณ เนื่องจากไอซี TCM 3105 จะทำงานในระดับ 5 โวลต์ และ 0 โวลต์



รูปที่ 3.3 วงจร FSK CIRCUIT (Frequency Shift Keying)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณดิจิตอลที่เป็นข้อมูลส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา TX จะมาเข้าที่ขา 13 (R1IN) ของ IC MAX 232 สัญญาณที่ออกจากขา 12 (R1OUT) จะเป็นระดับสัญญาณ TTL และจะไปเข้าขา 14 (TXD) ของ IC 1 (TMC 3105) เพื่อทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก สัญญาณที่เป็นอนาล็อกจะออกที่ขา 11 (TRA) ผ่าน R5 และ R6 เพื่อปรับระดับสัญญาณอนาล็อกก่อนที่จะส่งเข้าวิทยุรับ - ส่งเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่เหมาะสม ถ้าปรับระดับสัญญาณไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการขลิบสัญญาณอันเป็นเหตุให้การมอดูเลตข้อมูลกับคลื่นพาหะในเครื่องส่ง เกิดการ Over Modulation ได้สัญญาณอนาล็อกที่ได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.4

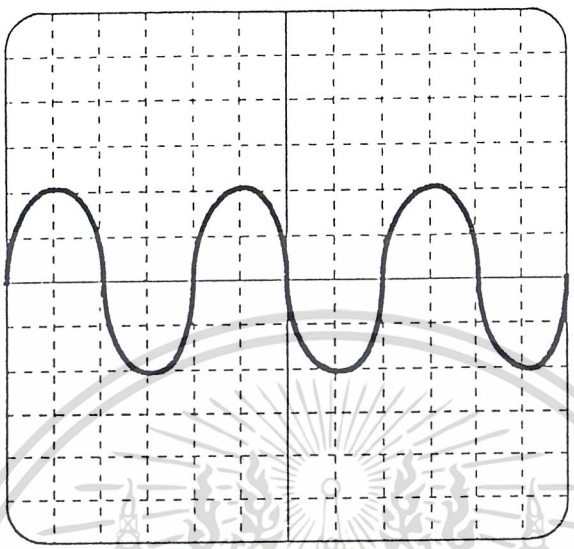
สัญญาณที่ถูกเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่จะมีความถี่ 1200 Hz และ 2200 Hz ซึ่งเป็นย่านความถี่เสียง ช่วง 300 Hz - 3000 Hz จะเป็นสัญญาณเสียงพูดปกติของมนุษย์ สัญญาณเสียงจะถูกส่งไปยังแจ็คไมค์ของวิทยุรับ - ส่งเพื่อทำการ Modulation ข้อมูลกับคลื่นพาหะของวิทยุต่อไป โดยปกติการที่จะส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณเสียงผ่านทางวิทยุได้นั้นจะต้องทำการกดคีย์ที่วิทยุก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล เพราะตามปกตินั้นวิทยุรับ - ส่งในสภาวะปกติจะอยู่ในสภาพรอรับข้อมูลดังนั้นถ้าไม่ทำการกดคีย์ที่วิทยุข้อมูลก็จะไม่ถูกส่งออกไป

การกดคีย์เพื่อนำสัญญาณที่เป็นข้อมูลมา Modulation กับคลื่นพาหะนั้นทำได้โดยต่อวงจรที่จุดต่อไมค์เพื่อให้สัญญาณนั้นลงกราวด์โดยผ่าน R7 เมื่อสัญญาณดิจิตอลที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น " 1 " จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานและสัญญาณอนาล็อกที่เป็นข้อมูลก็จะถูกต่อลงกราวด์ที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำสัญญาณอนาล็อกนั้นไป Modulation กับคลื่นพาหะในวิทยุรับ - ส่งข้อมูลทั้งหมดก็จะถูกส่งผ่านคลื่นวิทยุออกไปเมื่อทำการส่งข้อมูลเสร็จไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณดิจิตอลเป็น " 0 " วิทยุก็จะหยุดการส่งข้อมูลและจะกลับมาอยู่ในสภาวะเดิมคือสภาวะรอรับข้อมูล

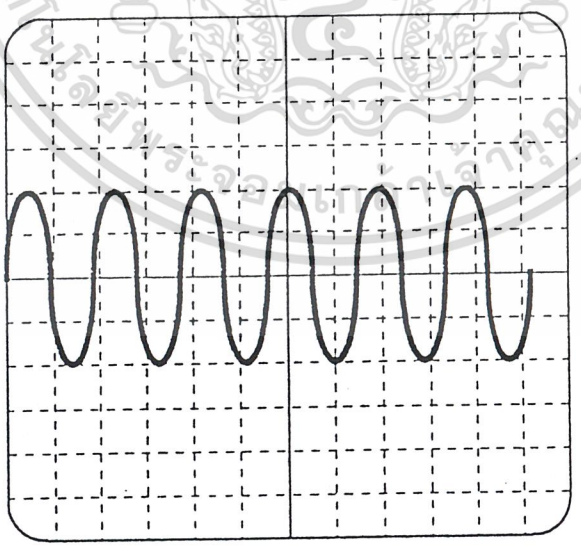
ในวงจรรูปที่ 3.3 วงจร FSK ยังแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากจุดต่อลำโพงเป็นสัญญาณดิจิตอล ในสภาวะรอรับข้อมูลวิทยุที่ส่งมาจากกิโลวัตต์ วิทยุจะทำการ Demodulation สัญญาณที่เป็นข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ สัญญาณที่ได้จะออกมายังที่แจ็คลำโพงของวิทยุ สัญญาณอนาล็อกจากจุดต่อลำโพงที่เป็นข้อมูลจะเข้ามาที่ขา 4 (RXA) ของไอซี TCM 3105 โดยจะถูก R2 และ R1 ปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะเข้าวงจรเพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

สัญญาณดิจิตอลที่ได้จะออกที่ขา 8 (RXD) ที่อัตราการส่งข้อมูล 300 บิตต่อวินาที แล้วไปเข้าขา 11 (TIIN) ของ IC 2เพื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก TTL เป็นระดับมาตรฐาน RS - 232 สัญญาณดิจิตอลจะออกที่ขา 14 (TIOUT) ของ IC 2 ไปเข้าขา RX ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะนำสัญญาณดิจิตอลที่เป็นข้อมูลไปประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 สัญญาณที่ได้จาก FSK ขณะ INPUT เป็น " 1 " จะมีความถี่ประมาณ 1200 Hz



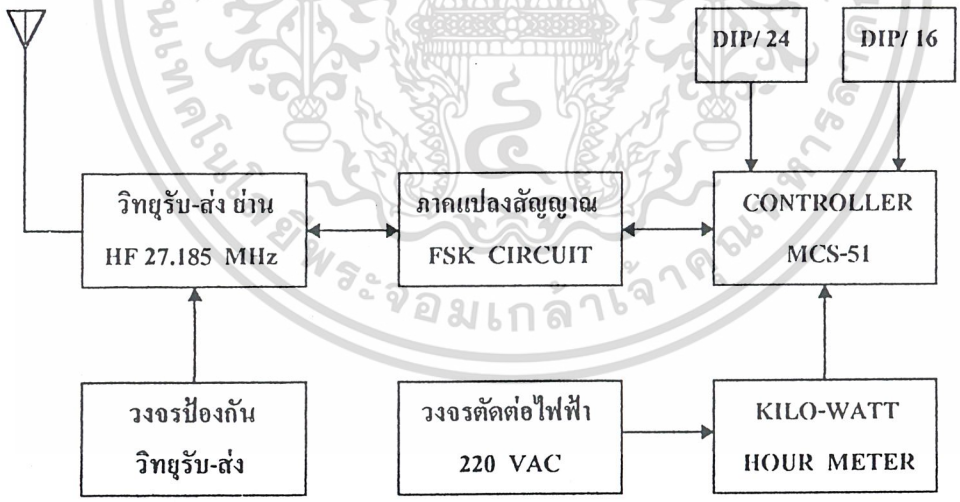
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 สัญญาณที่ได้จาก FSK ขณะ INPUT เป็น " 0 " จะมีความถี่ประมาณ 2200 Hz

<u>วิทยุรับ - ส่ง</u> จะใช้วิทยุรับ-ส่ง ย่านความถี่ HF ส่งข้อมูลที่ความถี่ 27.185 MHz โดยวิทยุจะทำหน้าที่นำสัญญาณที่เป็นข้อมูลไปมอดูเลทกับคลื่นพาหะเพื่อนำสัญญาณส่งผ่านคลื่นวิทยุไป การมอดูเลทจะเป็นแบบซิงเกิลไซด์แบนด์ SSB (Single Sideband Modulation) ในขณะเดียวกันวิทยุจะรอรับคลื่นจากชุดกิโลวัตต์ที่ส่งมา และทำการดีมอดูเลทเพื่อแยกสัญญาณที่เป็นข้อมูลออกจากคลื่นพาหะสัญญาณที่ได้จะออกทางจุดต่อลำโพงเพื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้ส่งต่อไปยัง วงจร FSK เพื่อแปลงสัญญาณต่อไป

<u>3.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์</u> ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51
2. ภาคแปลงสัญญาณ FSK
3. วิทยุรับ-ส่ง ความถี่ 27.185 MHz
4. KILO WATT-HOUR METER
5. DIP SWICTH จำนวน 2 ชุด
6. ชุดป้องกันเครื่องรับ-ส่ง วิทยุอันเนื่องจากฝนฟ้าคะนอง
7. ชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC



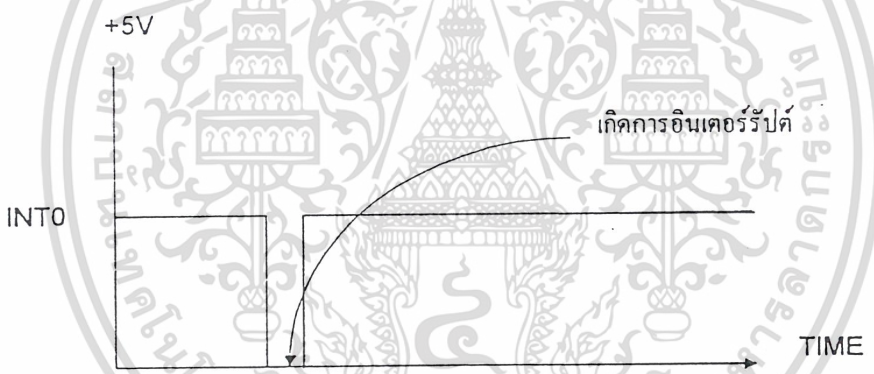
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)จะทำหน้าที่ควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล และเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์มิเตอร์ ในขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ ซึ่งมีหลักการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าดังนี้คือ

การเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าจากกิโลวัตต์มิเตอร์ โดยปกติการทำงานของมิเตอร์นั้น เมื่อมีการใช้ไฟฟ้าจานหมุนของมิเตอร์จะหมุนโดยใช้หลักการการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อทำให้จานหมุนนั้นหมุน และไปขับเฟืองของชุดแสดงผลของตัวกิโลวัตต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนับรอบของจานหมุนโดยใช้ตัวออฟโต้ไดโอดเป็นตัว SENSOR เพื่อทำการนับรอบจานหมุน สัญญาณจากตัว SENSOR เป็นพลั้นซ์ซึ่งสัญญาณนี้จะต่อเข้ากับ ขา INTO ของ EXP 6 ซึ่งเป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกโดยเมื่อรูที่จานหมุนหมุนผ่านตัว SENSOR จะทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก " 1 " เป็น " 0 " ก็จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดการอินเตอร์รัปต์ โปรแกรมก็จะทำการเก็บค่าทุกๆ รอบที่จานหมุนหมุนไปไว้ในหน่วยความจำ จำนวนรอบที่นับได้จะเป็น UNIT ที่ใช้ไปเมื่อจานหมุนหมุนครบ 300 รอบก็จะมีค่าเท่ากับ 1 UNIT หรือ 1 kWh



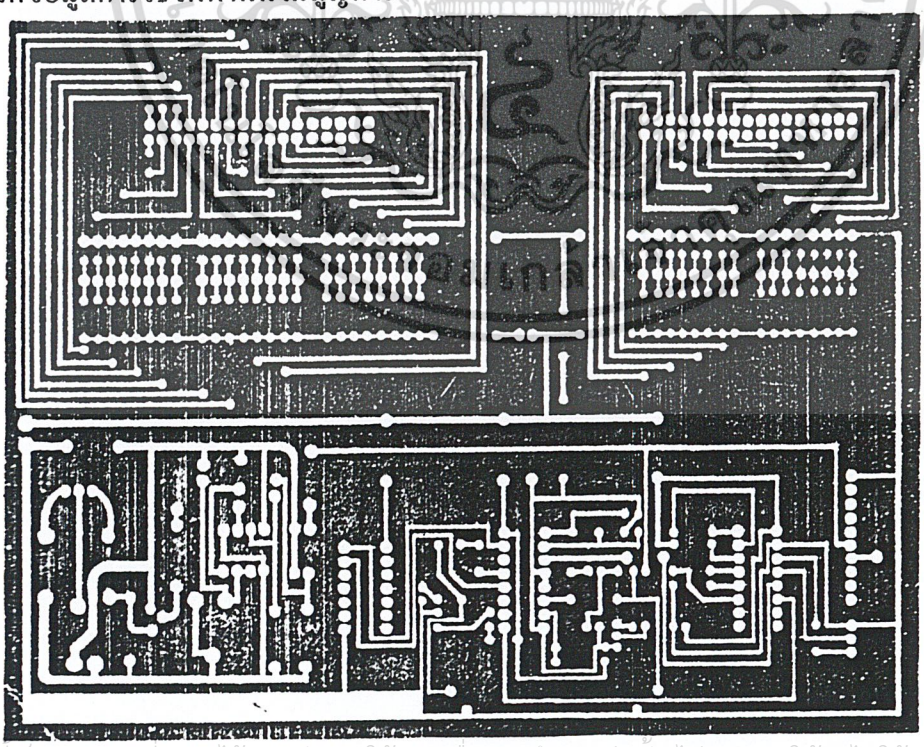
รูปที่ 3.7 สัญญาณอินเตอร์รัปต์จาก SENSOR

ภาคแปลงสัญญาณ FSK จะใช้วงจร FSK ซึ่งมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วเมื่อมีการส่งหมายเลขเครื่องและชุดคำสั่งจากชุดรับส่งมายังเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าก็จะได้สัญญาณอนาล็อกที่จุดต่อลำโพงของวิทยุรับ-ส่ง เข้าขา4 (RXA) ของ IC 1 โดยมี R1 และ R2 เป็นตัวแบ่งแรงดันเพื่อให้ IC 1 ได้รับแรงดันอินพุทที่เหมาะสม ซึ่ง IC 1 จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่เป็นสัญญาณอนาล็อกที่เข้าทางขา 4 (RXA) ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลออกทางขา8 (RXD) แล้วต่อไปยังวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณของ IC 2 ที่ขา 11 (TI IN) โดยสัญญาณที่ออกจากขา14 (TI OUT) จะถูกต่อไปยังขา RX ของไมโครเพื่อประมวลผลต่อไป เมื่อไมโครประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสร็จก็จะส่งข้อมูล เป็นดิจิตอลออกมาทางขา TX มาเข้าวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ และเข้าวงจร FSK เพื่อทำการแปลงสัญญาณข้อมูลที่เป็นดิจิตอลเป็นอนาล็อก 2 ความถี่ คือถ้าข้อมูลเป็นลอจิก " 1 " จะได้สัญญาณอนาล็อกความถี่ 1200 Hz และถ้าข้อมูลเป็นลอจิก " 0 " จะได้สัญญาณอนาล็อก 2200 Hz สัญญาณอนาล็อกที่ได้จากแปลงจะถูกส่งออกทางขา 11 (TRA) สัญญาณที่ได้จะส่งเข้าวิทยุเพื่อทำการส่งข้อมูลต่อไป

DIP SWITCH จะแบ่งออกเป็น 2 ชุด DIP SWITCH ชุดที่ 1 ใช้DIP SWITCH 16 BIT ทำหน้าที่เซ็ตหมายเลขเครื่องชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ซึ่งสามารถเซ็ต ได้สูงสุด 65535 เครื่อง และ DIP SWITCH ชุดที่ 2 ใช้ DIP SWITCH 24 BIT ทำหน้าที่ เซ็ตหน่วยค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้น เมื่อนำไปติดตั้งซึ่งสามารถเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นสูงสุดได้ 99999 หน่วย DIP SWITCH ทั้ง 2 ชุดนี้ จะต่อกับ INPUT PORT 8255 ของบอร์ด MCS - 51 ซึ่งในส่วนของการเซ็ต ค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าที่ทำการเซ็ต จาก DIP SWITCH 24 BIT จากนั้นจะนำข้อมูลที่อ่านค่าได้มาเก็บไว้ใน RAM และเมื่อมีการนับจำนวนรอบของจานหมุนครบ 300 รอบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการเซ็ต ค่าเป็น 1 หน่วยและนำค่านี้เก็บไว้ใน RAM ซึ่งเป็นการเพิ่มค่ากำลังงานไฟฟ้าขึ้นอีก 1 หน่วยจากค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เซ็ตค่าไว้เริ่มต้น ซึ่งค่ากำลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 1 หน่วย เมื่อจานหมุนๆ ครบทุกๆ 300 รอบในกรณีที่เกิดไฟฟ้าดับจะมีระบบ BACK UP ข้อมูลไว้ แต่ถ้าถ่าน BACK UP หมดก็สามารถที่จะเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปมาเก็บไว้ใน RAM ใหม่ได้ โดยอ่านค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปจากชุดแสดงผลที่ตัวมิเตอร์แล้วนำมาเซ็ตค่าใหม่ได้ก็สามารถที่จะทำให้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้านั้นไม่สูญหาย

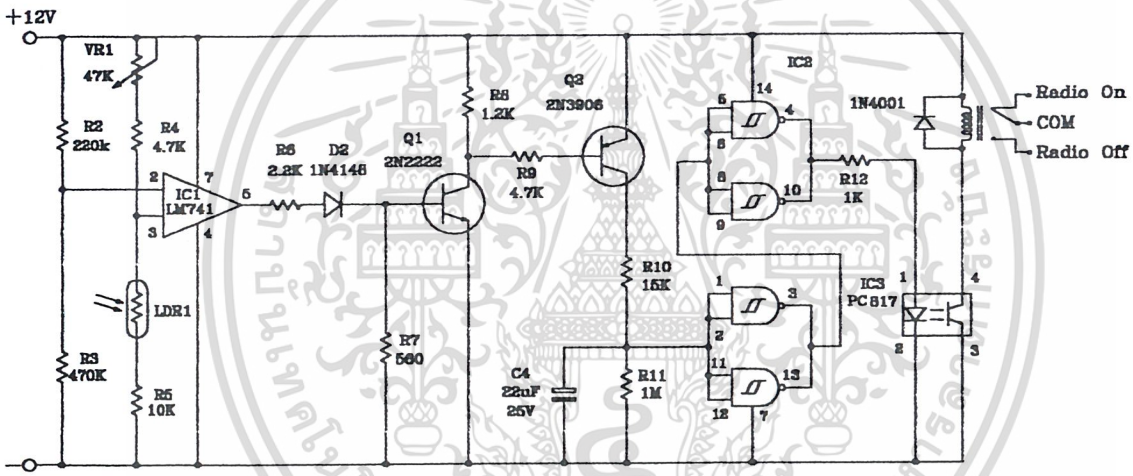


รูปที่ 3.8 วงจรพิมพ์ของชุด FSK และ DIP SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วิทยุรับ-ส่ง</u> จะใช้วิทยุรับ-ส่ง ย่านความถี่ HF ส่งข้อมูลที่ความถี่ 27.185 MHz เช่นเดียวกับชุดรีโมทดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

<u>ชุดป้องกันเครื่องรับวิทยุเนื่องจากฝนฟ้าคะนอง</u> เนื่องจากโครงงานนี้ในส่วนชุดของกิโลวัตต์มิเตอร์ ในช่วงที่ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้น เครื่องรับวิทยุที่อยู่กับชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะอยู่ในสภาวะรับคลื่นวิทยุอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจจะมีปัญหาเกิดขึ้นหากเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่า ในขณะที่ฝนฟ้าคะนองซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ได้ ดังนั้นจึงได้คิดวิธีการป้องกันอันตรายอันเนื่องมาจากฟ้าผ่า คือจะใช้วิธีการตรวจจับความเข้มของแสงแดดในการสั่งงานให้เครื่องรับวิทยุหยุดการทำงานซึ่งวิธีการก็คือเมื่อก่อนที่ฝนจะตกสภาพอากาศจะมืดสลัว ซึ่งเราจะใช้คุณลักษณะนี้มาเป็นตัวสั่งการให้เครื่องรับวิทยุหยุดทำงานโดยตัดแหล่งจ่ายไฟที่เลี้ยงให้กับเครื่องรับวิทยุออก ซึ่งตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ก็คือตัว LDR หรือตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามความเข้มของแสงสว่าง ซึ่งมีหลักการและวงจรทำงานดังนี้



รูปที่ 3.9 วงจรควบคุมการปิด - เปิดเครื่องรับ - ส่งวิทยุโดยใช้ความเข้มแสง

<u>หลักการทำงาน</u>

เริ่มด้วย IC_1 ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันไฟที่กำหนดค่าไว้แล้วที่ขาอินเวอร์ติ้งกับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าตามแสงสว่างที่ขานอนอินเวอร์ติ้ง ที่ขาอินเวอร์ติ้งได้กำหนดแรงดันไว้คงที่โดยใช้ R_2 และ R_3 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันไว้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ส่วนที่ขานอนอินเวอร์ติ้งจะต่อกับ R_4 , R_5 , VR_1 และ LDR ตัวแปรสำคัญที่ทำให้สวิทต์รีเลย์ทำงานตามความเข้มของแสงได้นั้นคือตัว LDR โดยในขณะที่เป็นช่วงเวลากลางวันตัว LDR จะได้รับแสงมากระทบกับตัวมันทำให้ค่าความต้านทานของ LDR มีค่าต่ำเป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขานอนอินเวอร์ติ้งมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟที่ขาอินเวอร์ติ้ง เอ้าท์พุทจากการเปรียบเทียบแรงดันของ IC_1 ในกรณีนี้จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

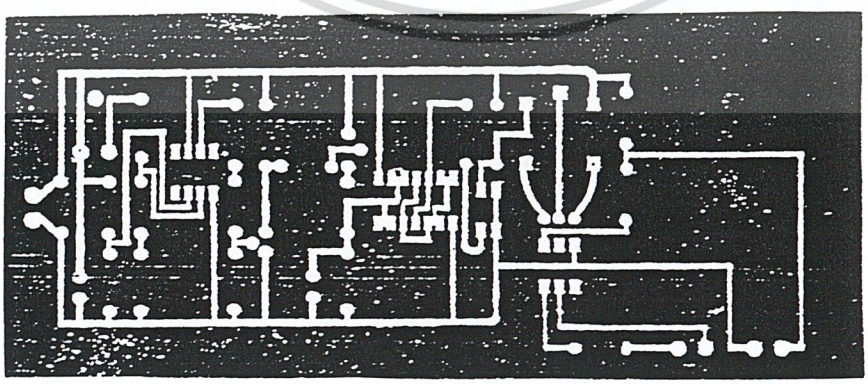
เป็นแรงดันไฟต่ำทำให้ Q_1 ไม่ทำงาน ส่งผลให้วงจรในส่วนควบคุมการสั่งปิดเครื่องรับ - ส่ง ไม่ทำงาน เครื่องรับวิทยุก็ยังอยู่ในสภาวะรับคลื่นอยู่ตลอดเวลา

ในช่วงเวลาฟ้ามืดสลัวอันเนื่องมาจากฝนฟ้าคะนองหรือฝนตกหรือในเวลากลางคืน ตัว LDR จะได้รับแสงสว่างน้อยทำให้ค่าความต้านทานของตัว LDR มีค่ามากขึ้นเป็นผลให้แรงดันไฟที่ขานอนอินเวอร์ติ้งมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟที่ขาอินเวอร์ติ้ง เอ้าท์พุทจากการเปรียบเทียบแรงดันของ IC_1 ในกรณีนี้จะได้เป็นแรงดันไฟสูง ทำให้ Q_1 ทำงานส่งผลให้ Q_2 ทำงานนำกระแสไหลผ่าน R_{10} และไปชาร์จประจุให้กับ C_4 เวลาในการชาร์จประจุจะสั้นมาก ทำให้อินพุทของ $IC_{2/1}$ และ $IC_{2/4}$ ได้รับโลจิกไฮและทำให้เอ้าท์พุทของ $IC_{2/2}$ และ $IC_{2/3}$ เป็นโลจิกไฮด้วย R_{12} ทำหน้าที่จำกัดกระแสไหลผ่าน LED ภายใน IC_3 ซึ่งเป็นออฟโต้คัปเปอร์เบอร์ PC 817

เอ้าท์พุทของ IC_3 เป็นทรานซิสเตอร์ดังนั้นเมื่อมีสัญญาณมาไบอัส LED ภายในจะทำให้เกิดการส่งผ่านควบคุมทางแสงไปควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ส่งผลให้รีเลย์ทำงานตัดสวิทช์ในสภาวะเปิดเครื่องรับวิทยุมาเป็นการปิดเครื่องรับวิทยุแทนเมื่อเวลาเกิดฝนฟ้าคะนองเพื่อป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า ส่วนเมื่อเวลาสภาวะปกติอากาศแจ่มใสมีแสงแดดวงจรก็จะสั่งให้รีเลย์กลับสภาวะมาต่อวงจรให้เครื่องรับวิทยุทำงานตามเดิม

ส่วนในเวลาที่มีแสงมาตกกระทบ LDR เพียงชั่วขณะที่วงจรสั่งให้รีเลย์ปิดเครื่องรับวิทยุหรือตอนที่ไม่มีแสงแดดวงจรจะไม่สั่งให้รีเลย์กลับสภาวะมาเปิดเครื่องรับวิทยุทันที ในขณะนี้เอง C_4 จะทำการคายประจุผ่าน R_{11} จนกระทั่ง C_4 คายประจุหมดจึงจะทำให้รีเลย์หยุดทำงานการปิดเครื่องรับวิทยุ ดังนั้นถ้าหากแสงจากที่ใดมาตกกระทบ LDR ชั่วขณะ ถ้าหากแสงนั้นตกกระทบเป็นเวลานานพอ (นานกว่าระยะเวลาการคายประจุของ C_4) จะทำให้ Q_3 หยุดทำงานรีเลย์จึงสั่งเปิดเครื่องรับวิทยุให้ทำงาน แต่ถ้ามีแสงตกกระทบเพียงช่วงเวลาสั้นๆ รีเลย์ไม่สั่งเปิดเครื่องรับวิทยุ

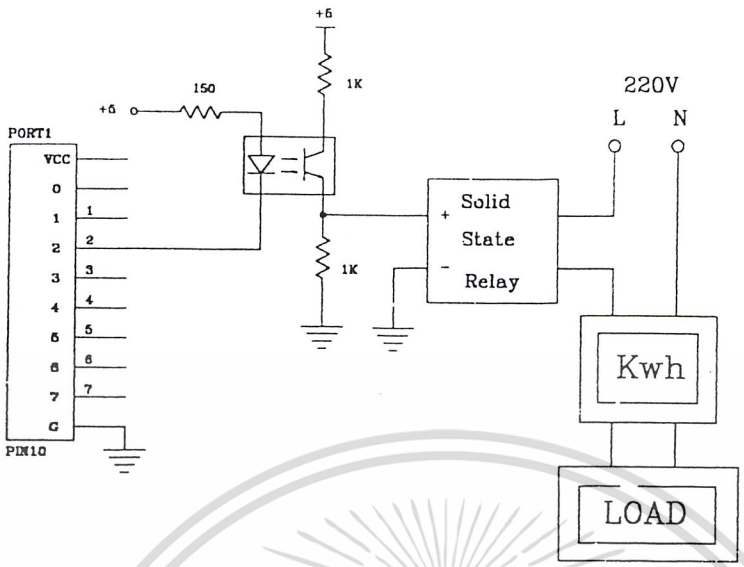
สำหรับ VR_1 ทำหน้าที่ปรับระดับความเข้มของแสงที่จะทำให้รีเลย์สั่งปิดหรือเปิดเครื่องรับวิทยุดังนั้นก่อนการนำไปติดตั้งจะต้องปรับระดับความเข้มของแสงก่อนตามความต้องการ



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรพิมพ์ของชุดควบคุมการปิด-เปิดเครื่องรับ-ส่งวิทยุ และวงจรพิมพ์ของชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรการควบคุมการตัด-ต่อการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ

หลักการทำงานในการควบคุม

ในวงจรการทำงานจะประกอบไปด้วย ออฟโต้ทรานซิสเตอร์และ Solid Stage Relay เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุม ซึ่งการควบคุมการ ON - OFF Kwh จะถูกควบคุมโดยชุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะใช้ควบคุมการทำงานออกทางพอร์ตที่ 1 โดยการเซ็ตค่า บิตที่ 2 ให้เป็น 0 หรือ 1 นั่นคือเมื่อชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับคำสั่ง N (ON Kwh) ก็จะเซ็ตให้บิตที่ 2 มีค่าเป็น 0 ทำให้ ออปโต้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ซึ่งในส่วนนี้จะแยกกราวด์ออกจากกันทำให้ชุดควบคุมมีความปลอดภัยจากแรงดันไฟสูง เมื่อออฟโต้ทรานซิสเตอร์ทำงานก็จะมีแรงดันอินพุทไบอัสให้กับ Solid Stage Relay ซึ่งแรงดันไฟฟ้าไบอัสนี้สามารถที่จะไบอัสได้ตั้งแต่ 4 - 32 VDC ซึ่ง Solid Stage Relay ก็ทำหน้าที่เป็นสวิทต์ต่อแรงดันไฟฟ้า 220 VAC เข้าตัว กิโลวัตต์มิเตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟต่อไป

ส่วนในกรณีที่ต้องการตัดการจ่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าไม่จ่ายค่าไฟ ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องได้รับคำสั่ง F (OFF Kwh) ซึ่งจะทำให้ บิตที่ 2 ของพอร์ต 1 เซ็ตค่าเป็น 1 ทำให้ออฟโต้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานแรงดันไบอัส Solid Stage Relay จึงเป็น 0 โวลท์ Solid Stage Relay จึงไม่ทำงาน ทำให้แรงดันไฟฟ้า 220 VAC ไม่สามารถต่อเข้าตัวกิโลวัตต์มิเตอร์ได้ จึงทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถจะใช้ไฟฟ้าได้

ในส่วนของ Solid Stage Relay นี้สามารถที่จะทนกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 15 Amp และจะไม่มีปัญหาในเรื่องเกี่ยวกับการสปาร์คของหน้าสัมผัสเหมือนกับ Magnetic Contactorในกรณีที่ใช้กับโหลดที่กินกระแสสูง ๆ

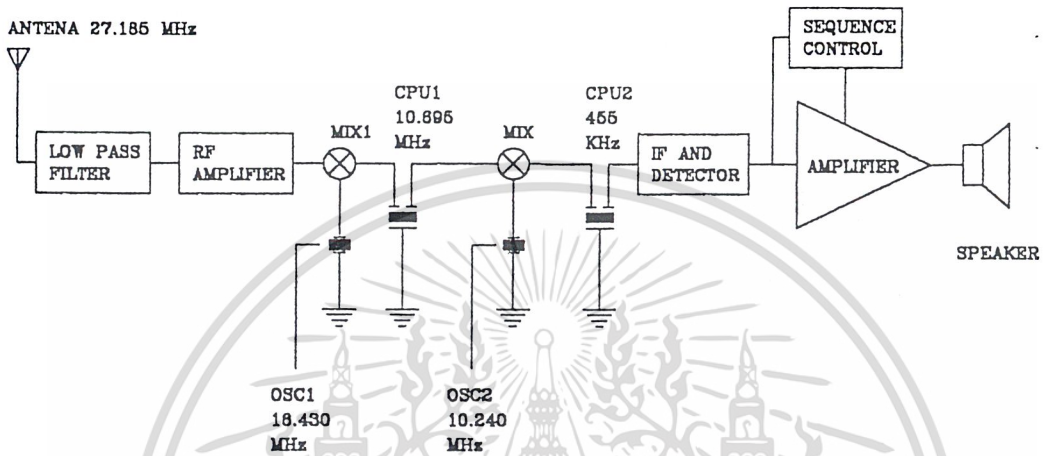
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของวิทยุรับ-ส่ง

ซึ่งจะประกอบไปด้วย

3.2.1 การทำงานของภาครับวิทยุ

ลักษณะโครงสร้างของภาครับระบบดับเบิลคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงไว้ในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมภาครับแบบดับเบิลคอนเวอร์เตอร์

ตามการทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังแสดงไว้ในรูป 3.11 เริ่มจากสายอากาศซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่วิทยุ RF ที่ส่งจากเครื่องส่งอีกชุดหนึ่งมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ที่ต้องการ (27.185 MHz) ซึ่งอาจจะมีความถี่ใกล้เคียงแทรกเข้ามาบางส่วนแล้วทำการขยายความถี่วิทยุภาคขยาย RF อีกทีเรียกว่าฟรอนต์เอ็นทำการขยายความถี่ให้แรงขึ้นในระดับหนึ่งสัญญาณที่ผ่านการขยายที่ภาคขยาย RF แล้วจะถูกนำมารวมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่สร้างขึ้นเองด้วยคริสตอลที่ภาคมิกเซอร์ ความถี่ออสซิลเลเตอร์มูลฐานนี้เป็นความถี่ออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 1 มีความถี่เท่ากับ 16.430 MHz การผสมกันของความถี่ RF และความถี่ออสซิลเลเตอร์จะทำให้เกิดความถี่ใหม่ขึ้นมาทั้งความถี่ RF ดังนั้นความถี่ที่ออกมาจากภาคมิกเซอร์จะเท่ากับ 27.185 MHz ลบด้วย 16.430 MHz จะได้ความถี่ไอเอฟเท่ากับ 10.775 MHz หรือประมาณ 10.7 MHz

ความถี่เอ้าท์พุทของมิกเซอร์ชุดที่ 1 จะถูกเซรามิกฟิลเตอร์ CFU_1 บล็อกเอาเฉพาะความถี่ตามค่าของ CFU_1 เท่านั้นในที่นี้ใช้ค่า 10.775 MHz ดังนั้นความถี่สูงหรือต่ำกว่านี้จะไม่สามารถผ่านชุดฟิลเตอร์นี้ไปได้ ความถี่ไอเอฟ 10.775 MHz ผ่าน CFU_1 และถูกทำการรวมความ

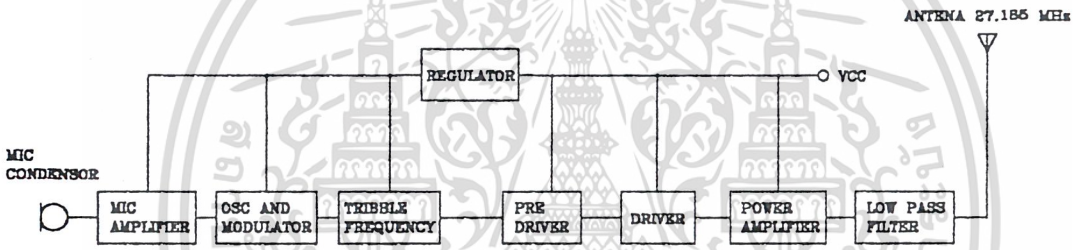
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถี่เข้ากับความถี่ออสซิลเลเตอร์มูลฐานอีกในภาคคอนเวอร์เตอร์หรือมิกเซอร์หรือมิกเซอร์ชุดที่ 2 เพื่อทำการลดทอนความถี่ไอเอฟลงให้เหลือ 455 KHz

ความถี่ไอเอฟ 10.755 MHz เมื่อรวมกับความถี่มูลฐานภาคออสซิลเลเตอร์กำหนดขึ้นมามีค่าเท่ากับ 10.240 MHz เมื่อรวมกับภาคมิกเซอร์แล้วความถี่ไอเอฟที่ออกไปจากภาคมิกเซอร์ชุดนี้จะมีค่าความถี่เท่ากับ 455 KHz ผ่าน CFU_2 เพื่อบล็อกเอาเฉพาะความถี่ไอเอฟ 455 KHz นี้เท่านั้นเข้าไปทำการขยายความแรงและทำการดีเทคเอาความถี่เสียงออกมาที่ภาคขยายไอเอฟดีเทคเตอร์สัญญาณที่ออกจากภาคนี้เป็นความถี่เสียงเข้าทำการขยายออกสู่ลำโพงต่อไป

3.2.2 การทำงานของภาคส่งวิทยุ

บล็อกไดอะแกรมของภาคส่งนั้นแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 บล็อกไดอะแกรมของภาคส่งวิทยุ

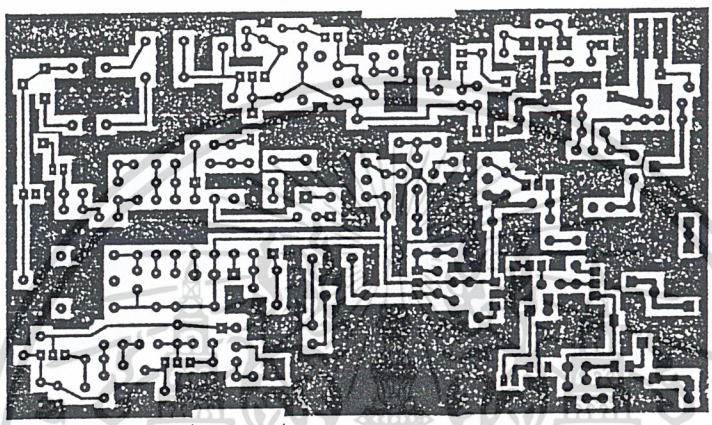
เริ่มจากสัญญาณเสียงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยคอนเด็นเซอร์ไมค์แล้วทำการขยายสัญญาณเสียงนั้นให้มีความแรงสูงขึ้น สัญญาณที่ถูกขยายนี้จะถูกนำไปทำการมอดูเลตความถี่วิทยุหรือความถี่ RF ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากภาคออสซิลเลเตอร์มีความถี่เท่ากับ 9.061 MHz เมื่อทำการทวีคูณความถี่เป็น 3 เท่า ก็จะเท่ากับ 27.185 MHz ตามที่ต้องการ แล้วส่งไปทำการขยายที่ภาคปรีไดเวอร์และภาคปรีไดเวอร์ก่อนที่จะไปสู่ภาคขยายความถี่ RF ต่อไป การมอดูเลตในภาคนี้จะเป็นการมอดูเลตความถี่หรือ FM

เอ้าท์พุทที่ได้จากภาคขยายความถี่ RF สุดท้าย จะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านส่งออกสู่สายอากาศเพื่อให้เฉพาะความถี่ RF 27.185 MHz เท่านั้นที่จะถูกส่งออกไป และในบล็อกไดอะแกรมใน 3 บล็อกแรกจะใช้แรงดันไฟเลี้ยงที่ผ่านการเร็กกูเลทเสียก่อนเพื่อรักษาแรงดันให้คงที่เพื่อการดำเนินความถี่ที่เที่ยงตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

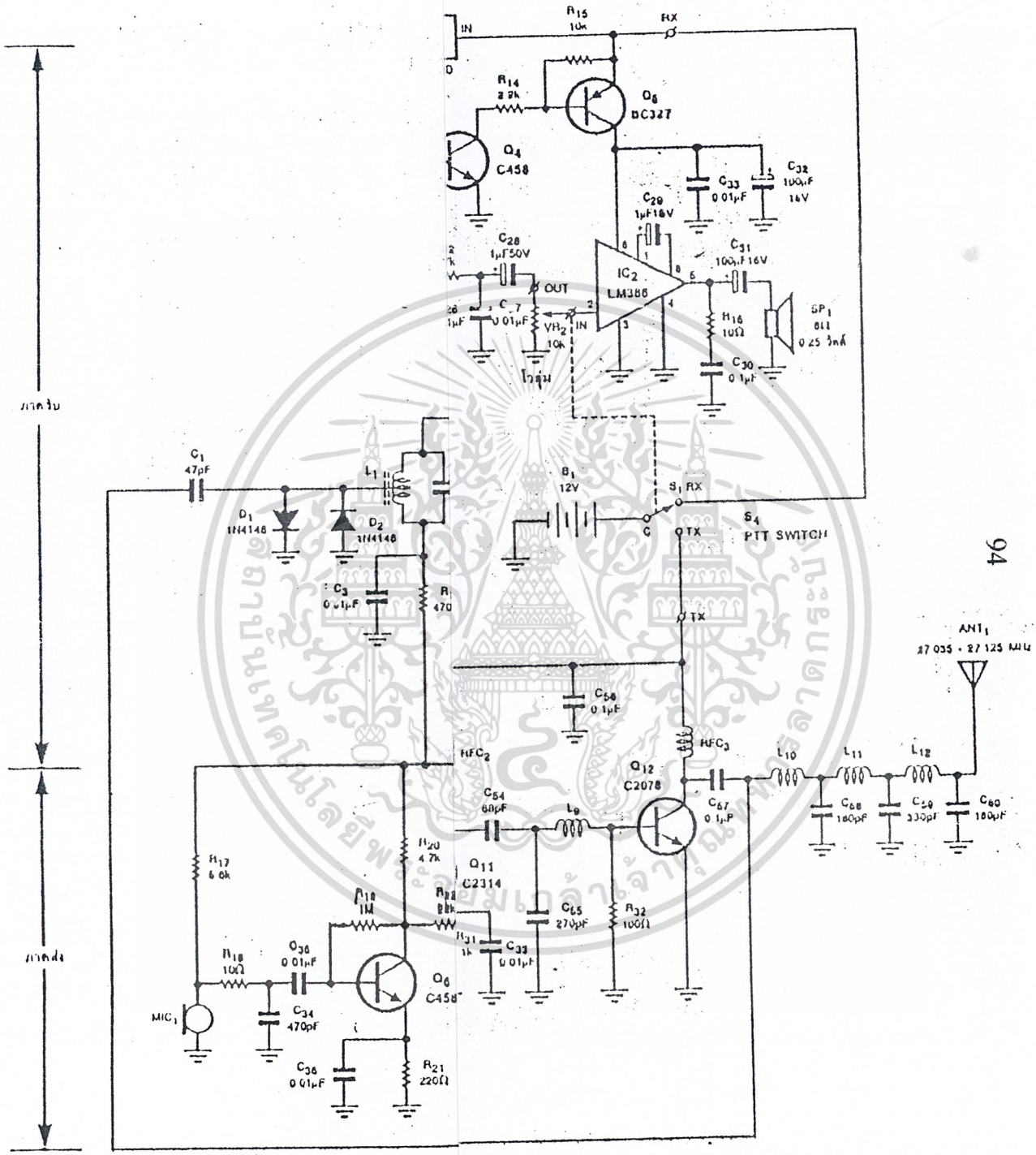
3.2.3 แผ่นวงจรพิมพ์และวงจรสมบรูณ์ของวิทยุรับ-ส่ง 27.185 MHz

ลายแผ่นวงจรพิมพ์และวงจรสมบรูณ์ของวิทยุรับ-ส่ง แสดงไว้ในรูปที่ 3.14 และ รูปที่ 3.15 ตามลำดับ



รูปที่ 3.14 แผ่นวงจรพิมพ์ของวิทยุรับ - ส่ง 27.185 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 เป็นวงจรสมบรูณ์ของวิทยุรับ-ส่ง ย่านความถี่ HF ส่งข้อมูลที่ความถี่ 27.185 MHz ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนของภาครับวิทยุ (RX) และส่วนของภาคส่งวิทยุ (TX) โดยที่ในการสั่งงานให้วิทยุทำหน้าที่เป็นเครื่องรับวิทยุหรือเครื่องส่งวิทยุนั้นจะใช้รีเลย์เป็นอุปกรณ์ควบคุมสั่งงาน โดยการตัดและต่อการจ่ายแบตเตอร์รี่ให้กับวงจรในส่วนของภาครับและภาคส่งของวิทยุในช่วงที่ต้องการรับข้อมูลหรือส่งข้อมูลออกสู่อากาศ ซึ่งหลักการในการควบคุมการสั่งงานให้รับข้อมูลหรือส่งข้อมูลนั้นจะกล่าวในหัวข้อของวงจรควบคุมการสั่งงานการรับ-ส่งของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ โดยที่ข้อมูลทางเทคนิคของวิทยุรับ-ส่ง ความถี่ 27.185 MHz มีข้อมูลดังนี้คือ

ข้อมูลทั่วไป

ช่องความถี่	:	1 ช่อง
ย่านความถี่	:	27.185 MHz
ระบบการติดต่อ	:	ซิมเพล็กซ์
อิมพีแดนซ์สายอากาศ	:	50 โอห์ม ปลั๊ก BNC
เพาเวอร์ซัพพลาย	:	7.2 -15 โวลท์ดีซี
กระแสใช้งาน	:	12 มิลลิแอมป์ ขณะสแตนด์บาย 250 มิลิแอมป์ที่กำลังส่ง 1วัตต์ ที่แรงดัน 13.8 โวลท์ 750 มิล-ลิแอมป์ ที่กำลังส่ง 6 วัตต์ ที่แรงดัน 13.8 โวลท์

ภาครับวิทยุ

ความไวในการรับ	:	0.3 ไมโครดวลต์ที่ 13 เดซิเบล
ระบบของภาครับ	:	Superhcterodync double conver-sion
ความถี่ไอเอฟ	:	10.775 MHz สเต็ปที่ 1 455 MHz สเต็ปที่ 2
การควบคุมความถี่	:	ควบคุมความถี่ด้วยคริสตอล

ภาคส่งวิทยุ

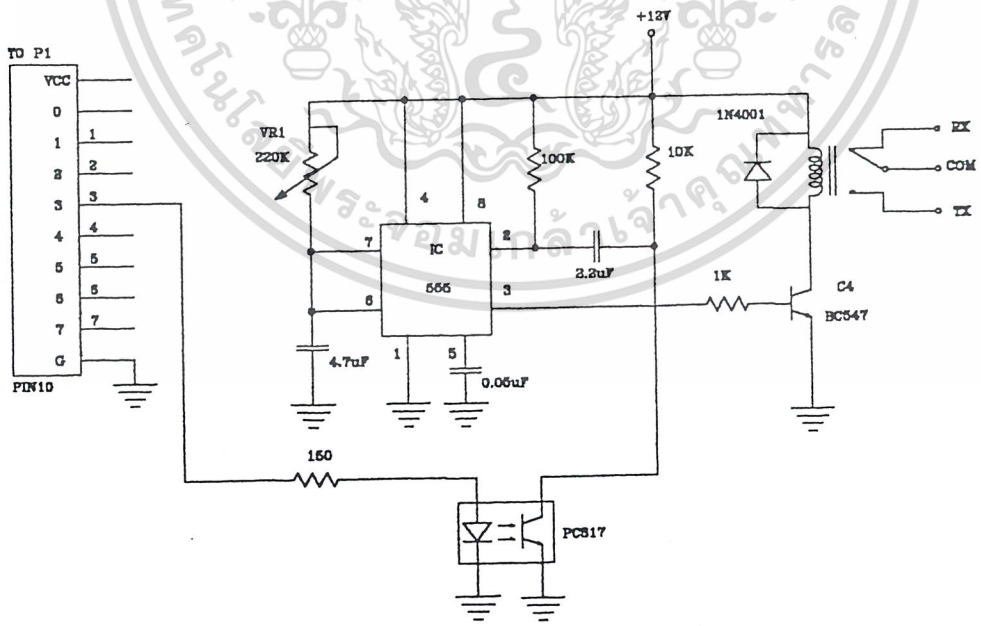
ระบบการผสมสัญญาณ	:	FM 16 F3
การควบคุมความถี่	:	ควบคุมความถี่ด้วยคริสตอล
กำลังทางเอ้าท์พุท	:	1 วัตต์ ที่แรงดัน 12 โวลท์ ดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3หลักการทำงานของวงจรควบคุมการสั่งงานการรับ-ส่งของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ

<u>หลักการทำงาน</u>

เริ่มจากในสภาวะเริ่มต้นชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะอยู่ในสภาวะการรอรับคำสั่งจากชุดรีโมท นั่นคือตำแหน่งที่รีเลย์ของวิทยุรับ - ส่ง ที่ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะอยู่ในตำแหน่ง RX คือจะทำหน้าที่เป็นเครื่องรับวิทยุอยู่ตลอดเวลาเพื่อรอรับคำสั่ง เมื่อมีคำสั่ง K (KEEP DATA) ส่งมาจากชุดรีโมทโดยพนักงานการไฟฟ้า ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในส่วนของกิโลวัตต์มิเตอร์จะประมวลผล และเซ็ตให้ บิตที่ 3 ของพอร์ต 1 เซ็ตค่าเป็น 1 เป็นผลให้ออฟโต้ทรานซิสเตอร์เบอร์ PC 817 ทำงาน จึงทำให้รีเลย์ทำงานมาอยู่ในตำแหน่ง TX ทำให้เครื่องรับวิทยุเปลี่ยนสภาวะเป็นเครื่องส่งวิทยุ TX โดยส่งข้อมูลค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไปออกผ่านคลื่นวิทยุ ซึ่งชุดสั่งงานการควบคุมการรับ - ส่งข้อมูลของเครื่องรับ - ส่งวิทยุนี้จะใช้ IC 555 เป็นตัวควบคุมโดยที่สามารถปรับเวลาในการส่งข้อมูล TX ได้โดยการปรับค่าที่ VR1 และเมื่อสิ้นสุดเวลาในการส่งข้อมูลที่ตั้งไว้ รีเลย์ก็จะหยุดทำงาน กลับมาอยู่ในตำแหน่ง RX ตามเดิมโดยอัตโนมัติเพื่อตัดต่อให้วิทยุทำหน้าที่เป็นเครื่องรับวิทยุเหมือนเดิม สำหรับรอรับคำสั่งจากชุดรีโมทต่อไป ซึ่งวงจรการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.16

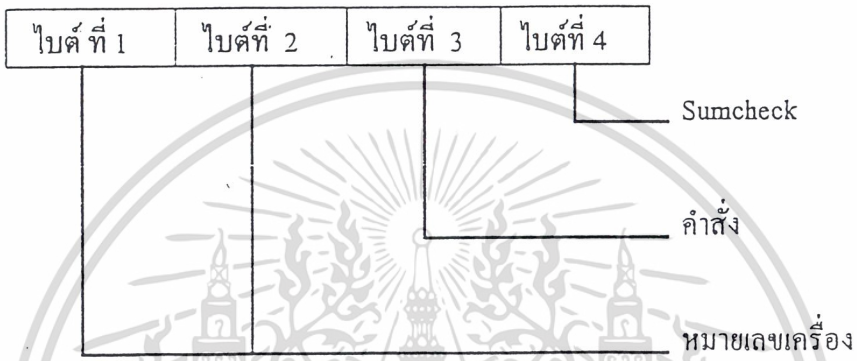


รูปที่ 3.16 วงจรควบคุมการสั่งงานการรับ-ส่งของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการของสภาวะในการรับ-ส่งข้อมูล

<u>การทำงานสภาวะการส่งข้อมูลของชุดรีโมท</u> เริ่มจากชุดควบคุมจะรอรับหมายเลขๆ เครื่องจากพนักงานและชุดคำสั่ง เพื่อส่งข้อมูลออกไปทางพอร์ตอนุกรมข้อมูลหมดจะประกอบไปด้วยหมายเลขเครื่อง 2 ไบต์ คำสั่ง 1 ไบต์ และ SUMCHECK อีก 1 ไบต์ จะเป็นไบต์ที่ทำการตรวจเช็คความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 3.17 แสดงจำนวนไบต์ในการส่งข้อมูล

หมายเลขเครื่องที่รอรับจากคีย์บอร์ด 5 หลักจะถูกคอนโทรลเลอร์แปลงเป็นเลขฐาน 16 และแปลงจากฐาน 16 เป็นฐาน 2 ดังนั้นหมายเลขเครื่องจะมีข้อมูลที่เป็นดิจิตอล 16 บิต หรือ เท่ากับ 2 ไบต์ ส่วนชุดคำสั่งการเก็บข้อมูลค่าไฟฟ้า คำสั่งการตัดการจ่ายไฟฟ้าและคำสั่งการเปิดให้ผู้ใช้ไฟตามปกติ จะเป็นรหัส ASCII ซึ่งจะเป็นอักษร K , F, N จำนวน 1 ไบต์ ไบต์สุดท้ายจะเป็น Sumcheck การ Sumcheck นั้นจะเป็นการนำข้อมูล ไบต์ที่ 1 และไบต์ที่ 2 มาทำการ Exclusive - OR ผลที่ได้จะนำมา Exclusive - OR กับไบต์ที่ 3 อีกครั้งและผลที่ได้จะนำมาส่งเป็นไบต์ที่ 4 เพื่อที่ว่ามิเตอร์รับข้อมูลและจะทำการเซตข้อมูลที่รับมานั้นผิดพลาดหรือไม่

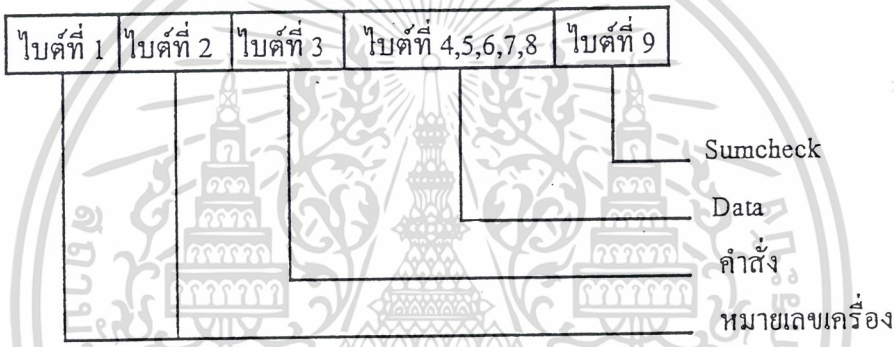
การตรวจเช็คความผิดพลาดกระทำได้โดยเมื่อมิเตอร์ได้รับข้อมูลครบทั้ง 4 ไบต์ ก็ทำการ Sumcheck ข้อมูลไบต์ที่ 1 , 2 , 3 ว่ามีค่าเท่ากับไบต์ที่ 4 ที่ได้รับมาหรือไม่ถ้าเท่ากันแสดงว่าข้อมูลที่ได้รับมาถูกต้อง และถ้าเท่ากันแสดงว่าข้อมูลที่ได้รับมาเกิดการผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลเกิดขึ้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการส่งข้อมูลใหม่อีกครั้ง

ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งสัญญาณดิจิตอล 5 ไบต์ ออกทางพอร์ตอนุกรมไปยังวงจร FSK เพื่อแปลงสัญญาณดิจิตอล เป็นอนาล็อก และส่งสัญญาณอนาล็อกไปยังวิทยุทำการส่งข้อมูลผ่านคลื่นไปยังมิเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานสภาวะรับข้อมูลของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ หลักการทำงานในสภาวะรับข้อมูลเมื่อมิเตอร์ได้สัญญาณจากชุดส่งที่ส่งมา 4 ไบต์ ก็จะทำการตรวจเช็คหมายเลขเครื่องก่อนว่าหมายเลขเครื่องตรงกับที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าไม่ตรงกันที่ตั้งไว้ก็จะไม่รับข้อมูลในไบต์ต่อไป แต่ถ้าตรงกับที่ตั้งไว้ ก็จะทำการรับข้อมูลที่เหลืออีก 2 ไบต์ และก็ทำการเช็คความผิดพลาดในการรับข้อมูล ถ้าข้อมูลที่ได้รับมาไม่ผิดพลาดก็จะประมวลผลตามคำสั่งที่รับมาและจะส่งข้อมูลกลับไปแต่ถ้าทำการเช็คข้อมูลแล้วเกิดการผิดพลาดก็จะไม่ทำการส่งข้อมูลตอบกลับไป

สภาวะการทำงานการส่งข้อมูลของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ เมื่อมิเตอร์ได้รับข้อมูลที่ส่งมาก็จะตอบกลับมายังชุดรับ - ส่ง ข้อมูลที่ส่งมาจากมิเตอร์จะประกอบไปด้วย หมายเลขเครื่อง 2 ไบต์ ชุดคำสั่ง 1 ไบต์ และส่วนที่เป็น ข้อมูล 5 ไบต์ และ Sumcheck อีก 1 ไบต์ รวมเป็นทั้งหมด 9 ไบต์



รูปที่ 3.18 แสดงข้อมูลที่ถูกส่งมาจากกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สภาวะการรับส่งข้อมูลของชุดรีโมท</u> เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับข้อมูลที่เป็นดิจิตอลเข้ามา จะตรวจ สอบข้อมูล 3 ไบต์แรกก่อนว่าหมายเลขเครื่องที่ได้รับมาและคำสั่งที่ได้รับมาตรงกับที่ส่งออกไปหรือไม่ ถ้าตรงกันก็จะรับอีก 6 ไบต์และตรวจเช็คความผิดพลาดกับไบต์สุดท้าย ถ้าเช็คแล้วเกิดการผิดพลาด ก็จะนำผลที่ได้มาแสดงที่จอ LCD ต่อไป

ชุดคำสั่งต่างๆ จะประกอบไปด้วย

1. การเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้า
2. การเปิดจ่ายไฟฟ้าตามปกติ
3. การตัดจ่ายไฟฟ้าในกรณีที่ไม่จ่ายค่าไฟฟ้าตามกำหนด

ชุดคำสั่ง	รหัส ASCII	เลขฐาน 16
1. การเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้า	K	4BH
2. การจ่ายไฟฟ้าตามปกติ	N	4EH
3. การตัดจ่ายไฟฟ้า	F	46H

ตารางที่ 3.1 รหัสของชุดคำสั่งที่ใช้ในการรับ-ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและการสร้าง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างในส่วนของชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ โดยจะแยกอธิบายออกเป็นส่วนๆ ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ต่างๆ แสดงตำแหน่งและหน้าที่ของขาต่างๆของอุปกรณ์ที่นำมาสร้าง ตลอดจนจะแสดงถึงวงจรรวมที่ใช้งานจริงของชุดรีโมทและชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ซึ่งรายละเอียดต่างๆนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

4.1 การออกแบบและการสร้างชุดรีโมท

ในโครงงานการออกแบบและการสร้างชุดรีโมทจะประกอบไปด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรแปลงสัญญาณ FSK , วิทยุสื่อสารความถี่ 27.185 MHz โดยจะมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

4.1.1ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะติดต่อกับคีย์บอร์ดและจอแสดงผล LCD พอร์ตอินพุทและเอ้าท์พุท ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานการรับส่ง การเก็บข้อมูลไว้ในชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงงานนี้จะใช้บอร์ดรุ่น CP-SB31 ซึ่งเป็นบอร์ดสำหรับใช้เพื่อการศึกษาของบริษัท ETT ซึ่งจะเป็นบอร์ดที่สามารถนำมาเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสแซมบี้หรือภาษา BASIC ได้ ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะของบอร์ดมีดังนี้

<u>ลักษณะของบอร์ด CP - SB31</u>

- CPU 8031 (ON BOARD) OR 8032 , 8052 , 8751 MEMORY
- SOCKET ขนาด28 PIN 2 ตัวสามารถใส่หน่วยความจำได้สูงสุด96KB I/O PORT
- 8 X 3 BIT INPUT/OUTPUT PORT (8255)
- 8 X 1 BIT INPUT/OUTPUT (PORT 1)
- 1 SERIAL PORT (RS - 232)
- 10 VDC POWER SUPPLY JACK
- 5 VDC (REGULATE) 7805 ON BOARD

<u>คุณลักษณะของ CP - SB31</u>

- หน่วยความจำ สามารถติดตั้งได้ทั้งขนาด , ตำแหน่ง และลักษณะการทำงาน (DATA MEMORY , CODE MEMORY , CODE & DATA MEMORY)
- สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ทั้งภาษาแอสแซมบลี้ ร่วมกับ DEBUGGER OR ET EPROM EMULATOR ไว้
- ต่อกับ LCD ได้ทันที โดยไม่ต้องใช้ I / O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มี I/O พอร์ต ขนาด 8 บิท ถึง 4 พอร์ตการติดตั้งหน่วยความจำให้กับ CP-SB31

เนื่องจาก CP-SB31 ถูกสร้างมาให้เป็นอิสระในการเลือกให้หน่วยความจำได้หลายขนาด ทั้ง EPROM และ RAM รวมทั้งตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำผู้ใช้ก็ยังสามารถกำหนดได้ตามต้องการ ซึ่งทั้งหมดนี้จะขึ้นอยู่กับการใส่ตำแหน่งของ JUMPER ต่างๆ ให้ถูกต้อง ซึ่ง U3 และ U4 จะถูกควบคุมด้วย JUMPER ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

U3

JP3 เลือกเบอร์ของชิปหน่วยความจำที่ใส่อยู่บน U3 (2764 , 27256 , 27512 , 6264 , 62556) ในโครงงานจะใช้เบอร์ 27256

JP4 สำหรับเลือกว่าจะให้หน่วยความจำที่ U3 เป็น DATA MEMORY หรือ CODE MEMORY ในโครงงานจะเลือกให้เป็น CODE MEMORY

JP7 เลือกตำแหน่งเริ่มต้นและขนาดของหน่วยความจำ U3

U4

JP5 เลือกเบอร์ของชิปหน่วยความจำที่ใส่อยู่บน U4 (27256 , 6116 , 6264 , 62256) ในโครงงานจะใช้เบอร์ 6116

JP6 เลือกลักษณะการทำงานของ U4 ว่าจะให้เป็น DATA MEMORY หรือ CODE MEMORY ในโครงงานจะให้เป็น DATA MEMORY

JP8 เลือกตำแหน่งเริ่มต้นและขนาดของหน่วยความจำ U4

JP9 เลือกว่าจะอนุญาตให้มีการใช้ I/O พอร์ต (8255)ภายนอกอีกหรือไม่ ถ้าไม่มีพอร์ตภายนอก U4 จะมีขนาดสูงสุด 32 KB

PORT 8255 DECODE

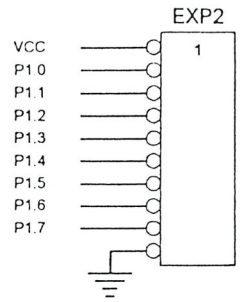
PORT A	=	E0E0H
PORT B	=	E0E1H
PORT C	=	E0E2H
CONTROL PORT	=	E0E3H

รายละเอียดเกี่ยวกับ CONNECTOR

CP-SB31 ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้กับบอร์ดอินเตอร์เฟสต่างๆ ของบริษัท ETT โดยเฉพาะแต่จะขอกล่าวส่วนที่ใช้เฉพาะในโครงงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

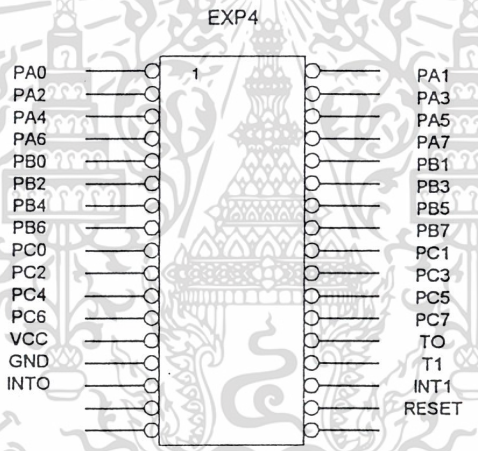
EXP.2 เป็น INPUT/OUTPUT เป็นพอร์ตขนาด 8 บิต ซึ่งจะถูกต่อในวงจรกับ KEYBOARD ทำหน้าที่เป็น INPUT รับค่าจากคีย์บอร์ดมาประมวลผล ตำแหน่งของขาต่างๆ ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



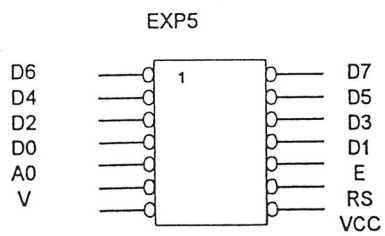
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของขาต่างๆ ของ PORT 1

EXP. 4 เป็น CONNECTOR ขนาด 34 ขา จะถูกใช้เป็นอินพุทและเอ้าท์พุท ซึ่ง PA0 จะต่อเป็น OUTPUT ทำหน้าที่กดคีย์วิทยุ เพื่อส่งสัญญาณออกผ่านทางคลื่นวิทยุ PB0 เป็น INPUT จะติดต่อกับ COMPUTER หรือนำไปใช้งานลักษณะขาของ EXP.4 ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งขาของ EXP.4

EXP.5 เป็น CONNECTOR ขนาด 14 ขาใช้ต่อกับ LCD ได้โดยตรง มีขาดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งขา EXP.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXP.5 ถูก EECODE ไว้ที่พอร์ตหมายเลขดังนี้

E0C0H = พอร์ตเกี่ยวกับการเขียนคำสั่งไปยัง LCD (R3 , R / W = 00)

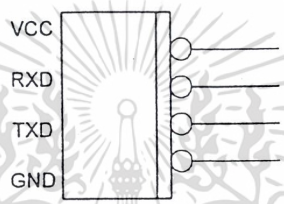
E0C1H = พอร์ตอ่าน BUSY FLAG และแอดเดรสของ CURSOR

(R , R / W = 01)

E0C2H = พอร์ตเขียนข้อมูลไปยัง DD RAM หรือ CG RAM(RS , R / W = 10)

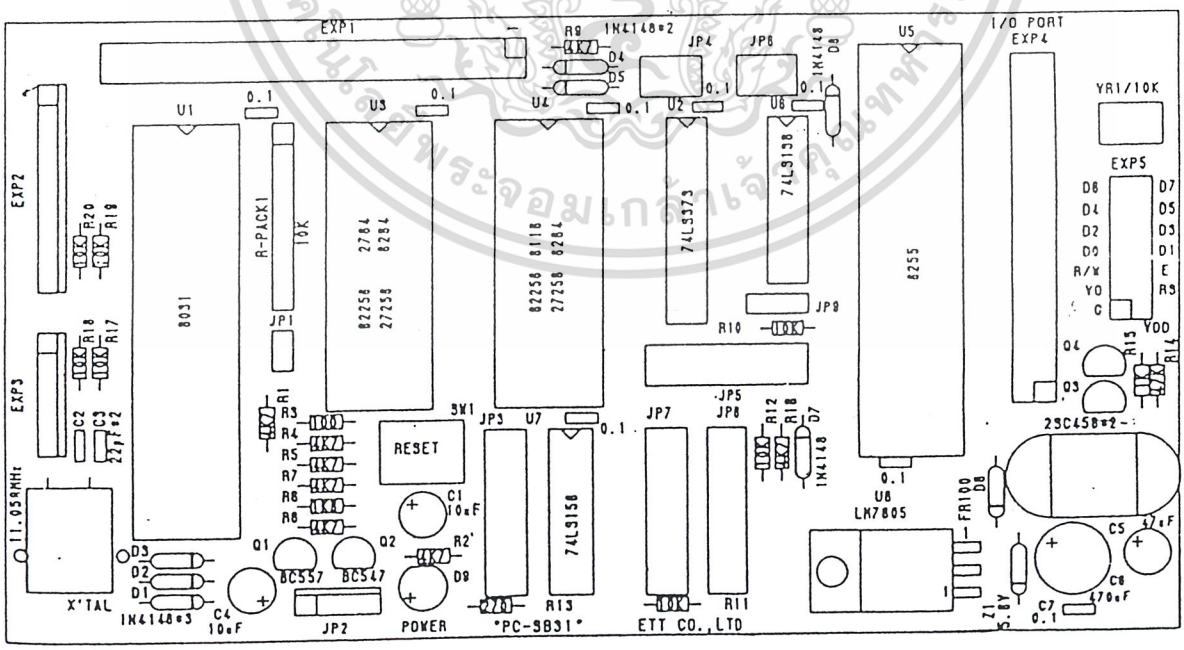
E0C3H = พอร์ตอ่านข้อมูลจาก DD RAM หรือ CG RAM (RS , R / W = 11)

JP2 เป็น CONNECTOR 4 ขา เป็นพอร์ตทำหน้าที่รับส่งข้อมูลมาตรฐาน RS - 232 มีตำแหน่งดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งขาพอร์ตอนุกรม

ตำแหน่งต่างๆ ของพอร์ต CP-SB31 จะมีอุปกรณ์ และตำแหน่งของ JUMPER และ CONNECTOR ต่างๆ ดังรูปที่ 4.5

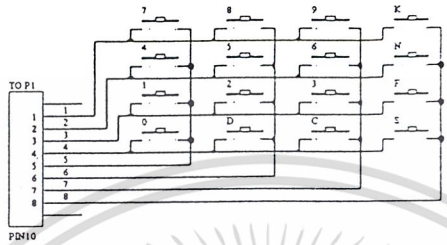


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ตำแหน่งต่างๆ บนบอร์ดรุ่น CP-SB31

4.1.2 คีย์บอร์ด

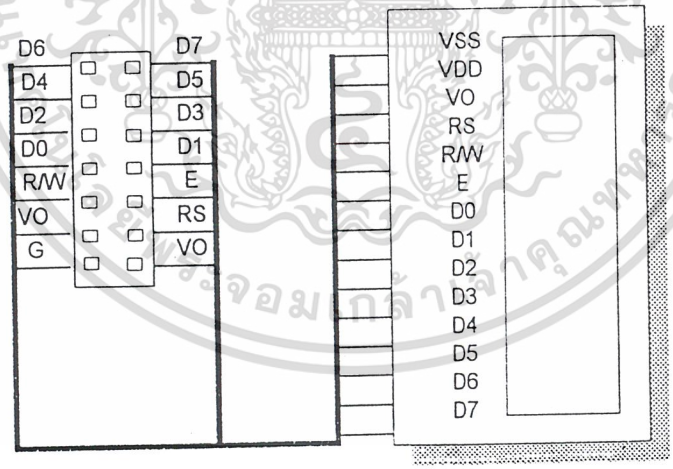
จะทำหน้าที่รับหมายเลขเครื่องและชุดคำสั่ง จะเป็นแบบ MATRIX 4 x 4 ขนาด 16 KEYS ซึ่งจะถูกต่อเข้ากับพอร์ต 1 ของบอร์ด CP - SP31 ซึ่งจะใช้โปรแกรมสแกนคีย์บอร์ดในการสแกน คีย์บอร์ดจะมีการต่อกับพอร์ต ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงการต่อแบบ MATRIX 4 x 4

4.1.3 จอแสดงผล LCD

จอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดจะแสดงผลต่าง ๆ ของการทำงานซึ่งจะติดต่อกับ บอร์ด CP - SB31 ที่ EXP 5 ได้ทันทีจะมีการต่อดังรูป



รูปที่ 4.7 แสดงการต่อ LCD MODULE กับ EXP 5 ของบอร์ด CP - SB31

4.1.4 การออกแบบวงจร FSK

วงจร FSK จะเป็นวงจรส่วนของภาคแปลงสัญญาณและส่วนเปลี่ยนระดับสัญญาณของภาคแปลงสัญญาณ ในโครงงานจะใช้ชิป TCM 3105 ในกระบวนการมอดูเลตสัญญาณแบบเลื่อนความถี่ (FSK) ในย่านความถี่เสียงโดยมีโครงสร้างแบบ CMOS เป็นชิปแบบตะขาบ 16 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้ได้กับมาตรฐาน Bell 202 หรือ CCITTV .23 ในโครงงานนี้จะใช้มาตรฐาน Bell 202 ซึ่งสัญญาณดิจิตอลเป็น 1 มีความถี่ 1200 Hz ถ้าเป็น 0 มีความถี่ 2200 Hz ขาสำคัญที่ควรรู้จัก มีดังนี้

VCC (ขา 1) : สัญญาณไฟเลี้ยง 5 V

VSS (ขา 9) : กราวด์

TXD (ขา 14) : ข้อมูลที่ส่งมาแบบดิจิตอลจะถูกส่งเข้ามอดูเลต สัญญาณระดับสูงจะใช้ความถี่ มาร์คออกมา และสัญญาณระดับต่ำจะใช้ความถี่สเปส

TXA (ขา 11) : จะส่งสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณออกมา

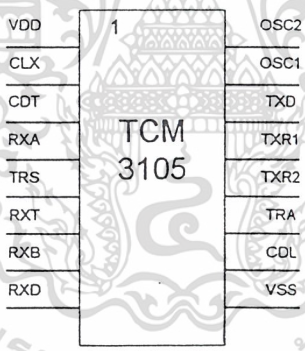
RXA (ขา 4) : รับสัญญาณอนาล็อกเข้ามา

RXD (ขา 8) : ส่งสัญญาณดิจิตอลที่ทำการดีมอดูเลตแล้วออกไป ที่ความถี่มาร์คจะให้สัญญาณระดับสูง และความถี่สเปสให้สัญญาณระดับต่ำ

OSC1 (ขา 5) : ตัวสร้างความถี่ขาออก

OSC2 (ขา 16) : ตัวสร้างความถี่ขาเข้า

TXR1 , TXR2 (ขา 13,14) : เลือกบิตเลท และความถี่มาร์คกับสเปต



รูปที่ 4.8 IC TCM 3105

<u>การเปลี่ยนระดับสัญญาณ</u>

การเปลี่ยนระดับสัญญาณจาก RS - 232 เป็น TTL สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจร FSK ซึ่ง วงจร FSK จะใช้สัญญาณในการทำงานที่ระดับ 5 โวลต์ กับ 0 โวลต์ เท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี วงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับสัญญาณซึ่งจะใช้ IC MAX 232 เป็นตัวเปลี่ยนระดับสัญญาณดังกล่าว ซึ่ง IC MAX 232 เป็น TTL และจาก TTL เป็น RS 232 ในตัวเดียวกันเป็นชิปแบบตะขาบ 16 ขา ขาที่สำคัญที่ใช้งานมีดังนี้

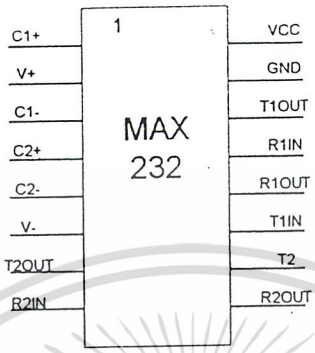
ขา 10 , 11 : เป็น TTL / CMOS INPUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 7 , 14 : เป็น RS - 232 OUTPUT

ขา 8 , 13 : เป็น RS - 232 INPUT

ขา 9 , 12 : เป็น TTL / CMOS OUTPUT



รูปที่ 4.9 IC MAX 232

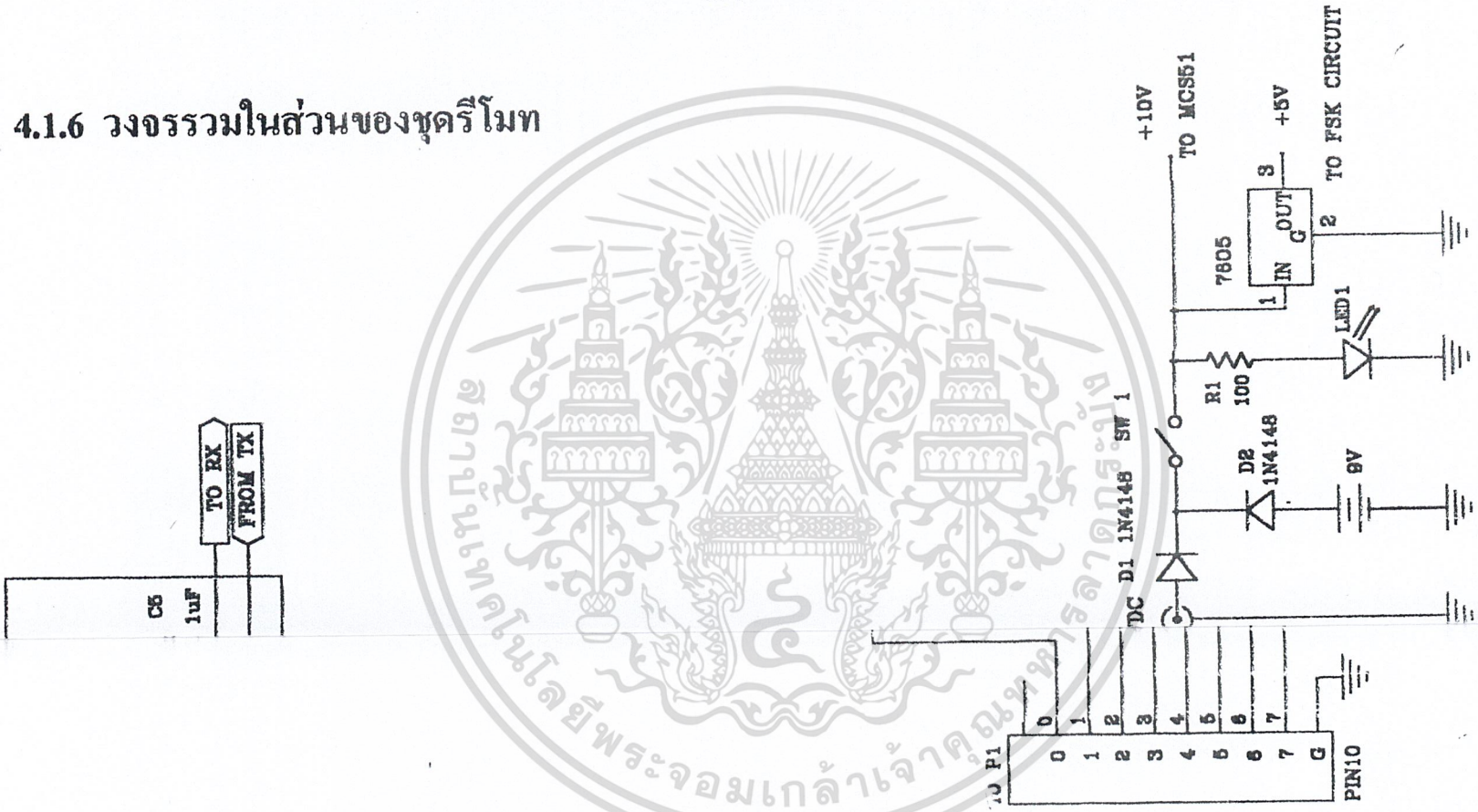
4.1.5 วิทยุรับ-ส่ง ข้อมูล

วิทยุรับ-ส่ง ข้อมูล ในโครงงานจะใช้วิทยุรับ-ส่ง ย่านความถี่ HF โดยมีหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณข่าวสารข้อมูลต่างๆ ในกิจการวิทยุสมัครเล่นที่ ความถี่ 27.185 MHz ที่ตัววิทยุจะมีรูสำหรับต่อแจ็คไมค์และลำโพงสำหรับส่งข้อมูลออกสู่อากาศและรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ในชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะต่ออยู่กับวงจรแปลงสัญญาณ FSK รูปร่างลักษณะของวิทยุจะมีดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 รูปร่างลักษณะของวิทยุรับ - ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 วงจรรวมในส่วนของชุดรีโมท



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรรวมในส่วนของชุดรีโมท

จากรูปที่ 4.11 เป็นวงจรรวมที่ใช้ในส่วนของชุดรีโมท ซึ่งจะประกอบไปด้วย วงจรการแปลงสัญญาณ FSK ซึ่งจะใช้ไอซีเบอร์ TCM 3105 วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณซึ่งจะใช้ไอซีเบอร์ MAX 232 ชุดคีย์บอร์ดและชุดสั่งงานการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ และสุดท้ายเป็นวงจรส่วนของภาคจ่ายไฟและหลอดไฟ LED แสดงสถานะการใช้งาน ซึ่งการทำงานสำหรับการส่งข้อมูลและรับข้อมูลมีดังนี้คือ

<u>การทำงานในการส่งข้อมูล</u> คือจะเริ่มจากการป้อนหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ต้องการเก็บข้อมูล จากนั้นกด K (KEEP DATA) ข้อมูลชุดคำสั่งก็จะออกมายังพอร์ตอนุกรมที่ขา TX ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะเดียวกันชุดสั่งงานการรับ-ส่ง ข้อมูลของวิทยุรับส่งข้อมูลก็จะทำงานสั่งงานให้วิทยุทำงานเป็นเครื่องส่งวิทยุเพื่อส่งข้อมูลชุดคำสั่งออกสู่อากาศข้อมูลชุดคำสั่งที่ออกจากขา TXของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งมาเข้าที่ขา13(R1 IN)ของไอซี MAX 232 และออกที่ขา 12 (R1 OUT) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นแบบ TTL สำหรับติดต่อสื่อสารกับวงจรแปลงสัญญาณ FSK จากนั้นสัญญาณที่ออกมาจากไอซี MAX 232 ซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูลชุดคำสั่งที่เป็นดิจิตอลก็จะมาเข้าที่ขา 14 (TXD) ของไอซี TCM 3105 ซึ่งเป็นไอซีวงจรแปลงสัญญาณ FSK เพื่อแปลงสัญญาณชุดคำสั่งที่เป็นสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อก โดยสัญญาณที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกจะออกมาจากขา 11 (TRA) เพื่อนำสัญญาณชุดคำสั่งที่เป็นอนาล็อกนี้ไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะของวิทยุรับ-ส่ง เพื่อส่งข้อมูลออกสู่อากาศโดยต่อเข้าทางจุดต่อไมค์ของวิทยุรับ-ส่ง ซึ่งจะมีทรานซิสเตอร์ Q1 เบอร์ BC 547 เป็นตัวควบคุมการส่งข้อมูลชุดคำสั่งที่เข้าไปมอดูเลตในวิทยุรับ-ส่ง โดยที่จะใช้พอร์ตเอ บิต 0 ของ เอาท์พุทพอร์ต 8255 เป็นตัวไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ซึ่งบิต 0 ของพอร์ตเอ จะเซ็ตค่าเป็น 1 เมื่อมีการกดคำสั่ง K (KEEP DATA) จากคีย์บอร์ด ดังนั้นชุดคำสั่งก็จะถูกส่งออกอากาศเพื่อไปสั่งงานให้ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ส่งข้อมูลค่ากำลังงานไฟฟ้ากลับมายังชุดรีโมท

<u>การทำงานในการรับข้อมูล</u> ในช่วงที่รีโมทรอรับข้อมูลจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ชุดสั่งงานการรับ-ส่งข้อมูลของวิทยุรับ-ส่งจะสั่งงานให้วิทยุรับ-ส่งทำงานเป็นเครื่องรับวิทยุ เมื่อเครื่องรับวิทยุของชุดรีโมทได้รับสัญญาณวิทยุจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ก็จะทำการดีมอดูเลตคลื่นพาหะออกจากข้อมูลที่ส่งมาจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ หลังจากนั้นข้อมูลนั้นจะถูกส่งออกมาทางลำโพงของเครื่องรับวิทยุซึ่งเป็นสัญญาณข้อมูลที่เป็นอนาล็อก จากนั้นข้อมูลจะส่งมายังขาที่ 6 (RXA) ของไอซี TCM 3105 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณ FSK เพื่อแปลงสัญญาณข้อมูลที่เป็นอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นข้อมูลจะออกมาจากขาที่ 8 (RXD) ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจะเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบ TTL จากนั้นสัญญาณนี้จะไปต่อเข้ากับขา 11 (T1 IN) และออกที่ขา 14 (T1 OUT) ของไอซี MAX 232 เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นมาตราฐาน RS-232 และต่อเข้าที่พอร์ตอนุกรมของชุดไมโคคอนโทรลเลอร์ที่ขา RX เพื่อที่จะนำข้อมูลมาเก็บไว้ในหน่วยความจำและแสดงผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบและการสร้างส่วนของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

ในโครงงานส่วนของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะเป็นส่วนที่จะติดตั้งอยู่กับเสาไฟฟ้า ซึ่งจะต้องมีการดัดแปลงชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ที่จะทำให้สามารถติดต่อกับชุดรีโมทได้ โดยจะประกอบไปด้วย ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรแปลงสัญญาณ FSK, วิทยุสื่อสารความถี่ 27.185 MHz และกิโลวัตต์มิเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่วัดกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งการออกแบบวงจรส่วนของวงจรแปลงสัญญาณ FSK และวิทยุรับ-ส่งจะใช้เหมือนกับกับส่วนที่ใช้ในชุดรีโมท ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึง โดยที่รายละเอียดในส่วนต่างๆมีดังนี้

4.2.1ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งจะติดต่อกับ DIP SWITCH สองชุดและทำหน้าที่เก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าไว้ในหน่วยความจำและควบคุมการรับ-ส่ง ในโครงงานจะใช้บอร์ดรุ่น CPAT-32 ซึ่งเป็นบอร์ดที่ใช้สำหรับเพื่อการศึกษาของบริษัท ETT ซึ่งเป็นบอร์ดที่สามารถนำมาเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบี้หรือภาษา BASIC ได้โดยจะมีคุณลักษณะของบอร์ดดังนี้

<u>คุณลักษณะของบอร์ด CPAT 32</u>

- CPU 80C154 (8032)
- WATCH DOG สามารถเลือกใช้ทั้งแบบ 8 , 16 , 32 บิต
- RS 232 / RS4221 CHANNEL
- PROGRAMABLE PORT 8255 X 3 (72 บิท I/O)
- ขั้วต่อ LCD ทั้งแบบ CHARACTER และ GRAPHIC
- 8 บิต I/O PORT 1
- หน่วยความจำภายนอก 3 SOCKET สามารถเลือกขนาดและตำแหน่งได้ (8KB / 32KB)
- อินพุท / เอ้าท์พุท CPAT32 มีอินพุท เอ้าท์พุท พอร์ตแบบขนาน 8255 ถึง 3 ตัว โดยมีตำแหน่ง ADDRESS แต่ละตัวดังนี้

U6 พอร์ต E0B0H - E0B3H

U7 พอร์ต E0A0H - E0A3H

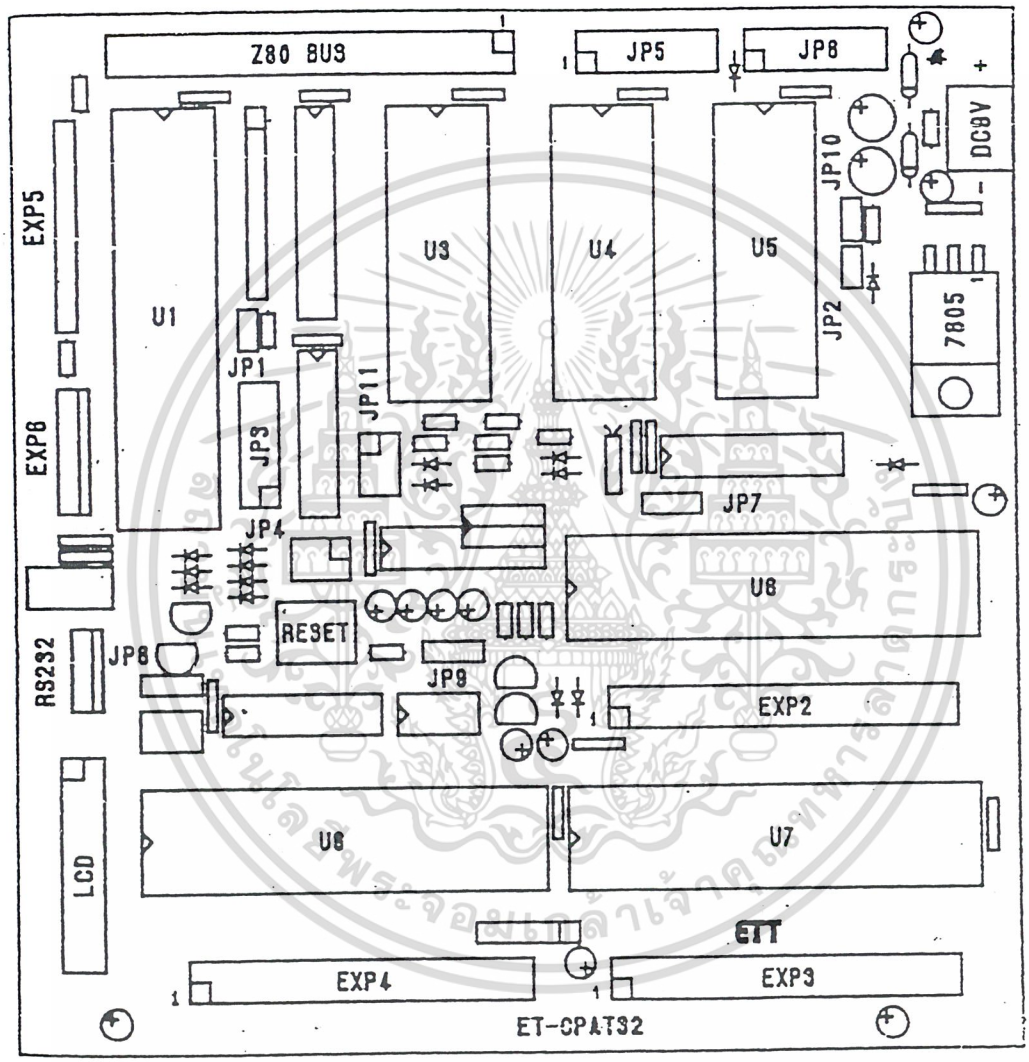
U8 พอร์ต E0C0H - E0C3H

ในโครงการงานจะใช้ U7 และ U8 ทำหน้าที่เป็นพอร์ต อินพุท ทำหน้าที่เซ็ตหมายเลขเครื่องของผู้ใช้ไฟฟ้า และเซ็ตค่าเริ่มต้นของกำลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไป และใช้เซ็ตในกรณีไฟดับและถ่าน BACK UP ข้อมูลหมด

นอกจากนี้ยังใช้ พอร์ต 1 ขนาด 8 บิต แต่ใช้เพียง 2 บิต เท่านั้นจะ ทำการควบคุมการรับ - ส่งข้อมูล และการตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC ของผู้ใช้ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ BACK UP ข้อมูล เมื่อต้อง BACK UP ข้อมูล U4 เมื่อใช้ RAM หรือใช้ RTC ต้องใส่แบตเตอร์รี่ขนาด 3.6 V เพื่อเลี้ยงส่วนของ RAM ซึ่งจะทำหน้าที่เก็บหน่วยของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น UNIT จะตรงกับมิเตอร์ของผู้ใช้ไฟ เมื่อถ่าน BACK UP หมดสามารถที่จะเซ็ตใหม่ได้ที่ DIP SWITCH 24 BIT ซึ่งการเซ็ตค่าต่างๆ จะกล่าวถึงในหัวข้อการใช้งานและการปรับแต่ง

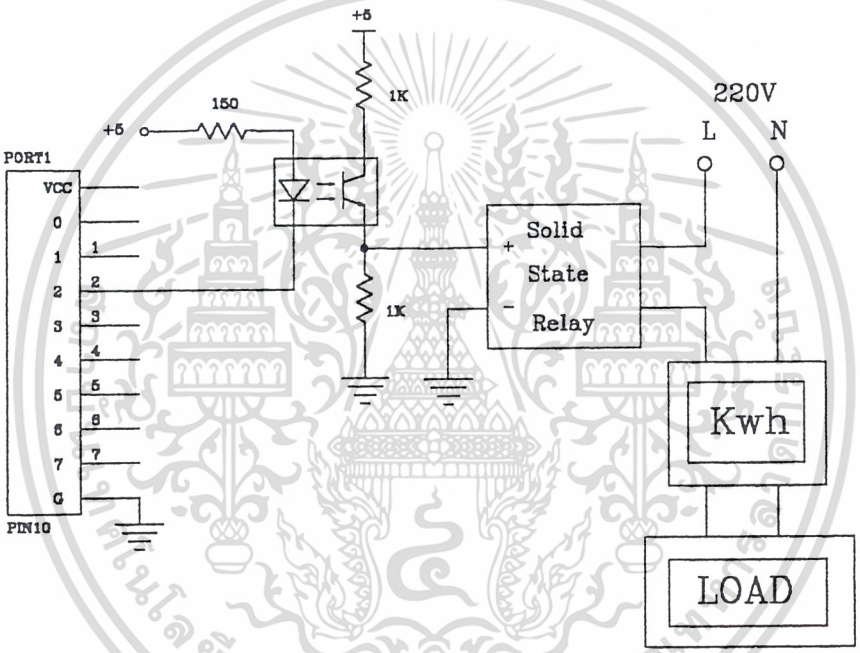


รูปที่ 4.12 ตำแหน่ง IC , JUMPER และCONNECTOR ต่างๆของบอร์ดรุ่น CPAT-32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC

จะใช้ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ยอมจ่ายค่าไฟฟ้า ซึ่งชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC จะอำนวยความสะดวกต่อพนักงานการไฟฟ้า โดยที่พนักงานการไฟฟ้าไม่จำเป็นที่จะต้องมาปลดสายไฟออกจากมิเตอร์เหมือนในปัจจุบันแต่จะใช้ Solid Stage Relay ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตัดต่อแรงดันไฟฟ้า 220 VAC ในลักษณะเช่นเดียวกันกับ Magneticontactor ทั้งนี้จะไม่มีการตัดต่อแบบหน้าสัมผัส จึงตัดปัญหาเรื่องไฟสปาค์ก ทำให้มีอายุการใช้งานได้นานกว่า และไม่เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถควบคุมด้วยสัญญาณระดับ TTL ได้โดยตรง ในโครงงานจะใช้ตัว Solid Stage Relay ที่สามารถทนกระแสได้สูง 15 Amp เป็นตัวตัดต่อ ซึ่งวงจรการใช้งาน ดังรูปที่ 4.13



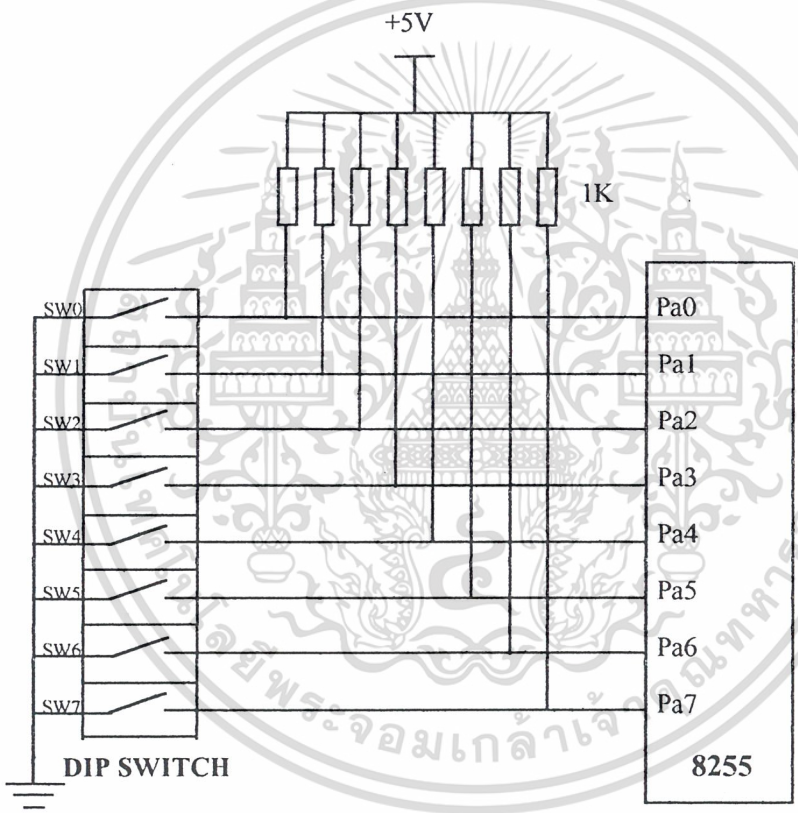
รูปที่ 4.13 วงจรการตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ชุดเซ็ตหมายเลขเครื่องและจำนวนหน่วยกำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นของการใช้ไฟฟ้า

ชุดเซ็ตหมายเลขเครื่อง จะใช้ DIP SWICTH 8 X 2 ต่อกับ INPUT PORT (U7) เบอร์ 8255 PORT ที่ใช้คือ Pa และ Pb ดังนั้นจะต้องใช้ PORT จำนวน 2 ชุด ในการใช้งาน ซึ่งบนบอร์ด ET-CPAT32 มีให้ใช้อยู่แล้ว การต่อ DIP SWICTH จะเป็นดังรูปที่ 4.14

ชุดเซ็ตจำหน่วยกำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นของการใช้ไฟฟ้าจะใช้ DIP SWITCH 8 X 3 ต่อกับ INPUT PORT (U8) เบอร์ 8255 PORT ที่ใช้คือ Pa ,Pb และ Pc ดังนั้นจะต้องใช้ PORT จำนวน 3 ชุด ในการใช้งาน ซึ่งบนบอร์ดรุ่น CPAT-32 มีให้ใช้อยู่แล้ว การต่อ DIP SWICTH จะต่อแบบเดียวกับชุดเซ็ตหมายเลขเครื่องดังรูปที่ 4.14

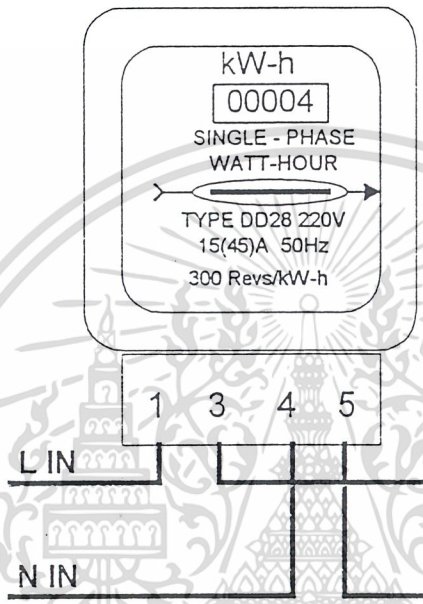


รูปที่ 4.14 การต่อ INPUT PORT 8255 กับ DIP SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การออกแบบกิโลวัตต์มิเตอร์

ตามปกติมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามบ้านนั้นจะเป็นแบบจานหมุน ซึ่งจะขับเฟืองและแสดงผลโดยกลไกต่างๆ จะถูกสร้างมาโดยบริษัทที่ออกแบบและสร้างมาดังนั้น การหมุนของมิเตอร์ก็จะมีผลต่อค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปหรือคิดง่ายๆ คือ ถ้ามิเตอร์หมุน 300 รอบ ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 kWh หรือเท่ากับ 1 UNIT ที่ตัวมิเตอร์จะมีชุดแสดงผลเป็นตัวเลข 5 หลัก ซึ่งหลักที่ 1 นั้นจะมีค่าเป็น UNIT เมื่อมิเตอร์หมุนครบ 300 รอบ

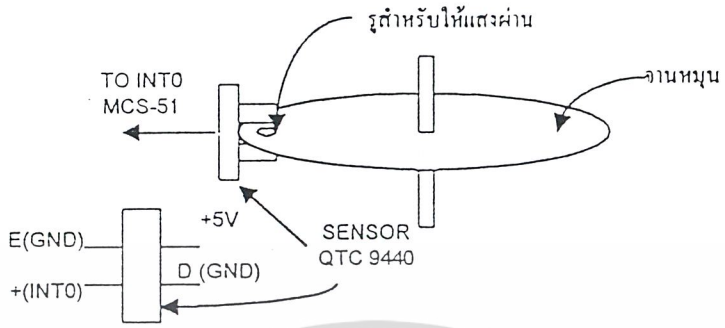


รูปที่ 4.15 แสดง KILO WATT HOUR ที่ใช้ตามบ้าน

ตามปกติกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ใช้อยู่ตามบ้านนั้นมีหลายขนาด ซึ่งการเลือกขนาดนั้นแล้วแต่ผู้ออกแบบ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้มิเตอร์ 2 ขนาดคือ 5 (10) A และ 15 (45) A ซึ่งจะมีอัตราการหมุนของจานหมุน คือ 1200รอบ / KWh และ 300 รอบ / KWh ตามลำดับ

จากหลักการของมิเตอร์นั้นจึงจำเป็นต้องจะต้องทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นรู้ว่ามิเตอร์นั้นหมุนไปกี่รอบแล้ว สามารถทำได้โดยการติดตั้ง ออฟโต้ไดโอดเป็น SENSOR นับรอบของจานหมุน ตัวออฟโต้ไดโอดนั้นเป็น SENSOR ทางแสง หลักการทำงาน เมื่อมีวัตถุมาบดบังทางเดินของแสงจะทำให้ SENSOR มีสถานะเป็น 1 ถ้าไม่มีอะไรมาบดบังทางเดินของแสงนั้นจะทำให้ SENSOR มีสถานะเป็น 0 ในโครงงานนี้จะใช้เบอร์ QTC 9440 ดังนั้นจึงนำมิเตอร์ไปติดตั้งที่จานหมุนดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

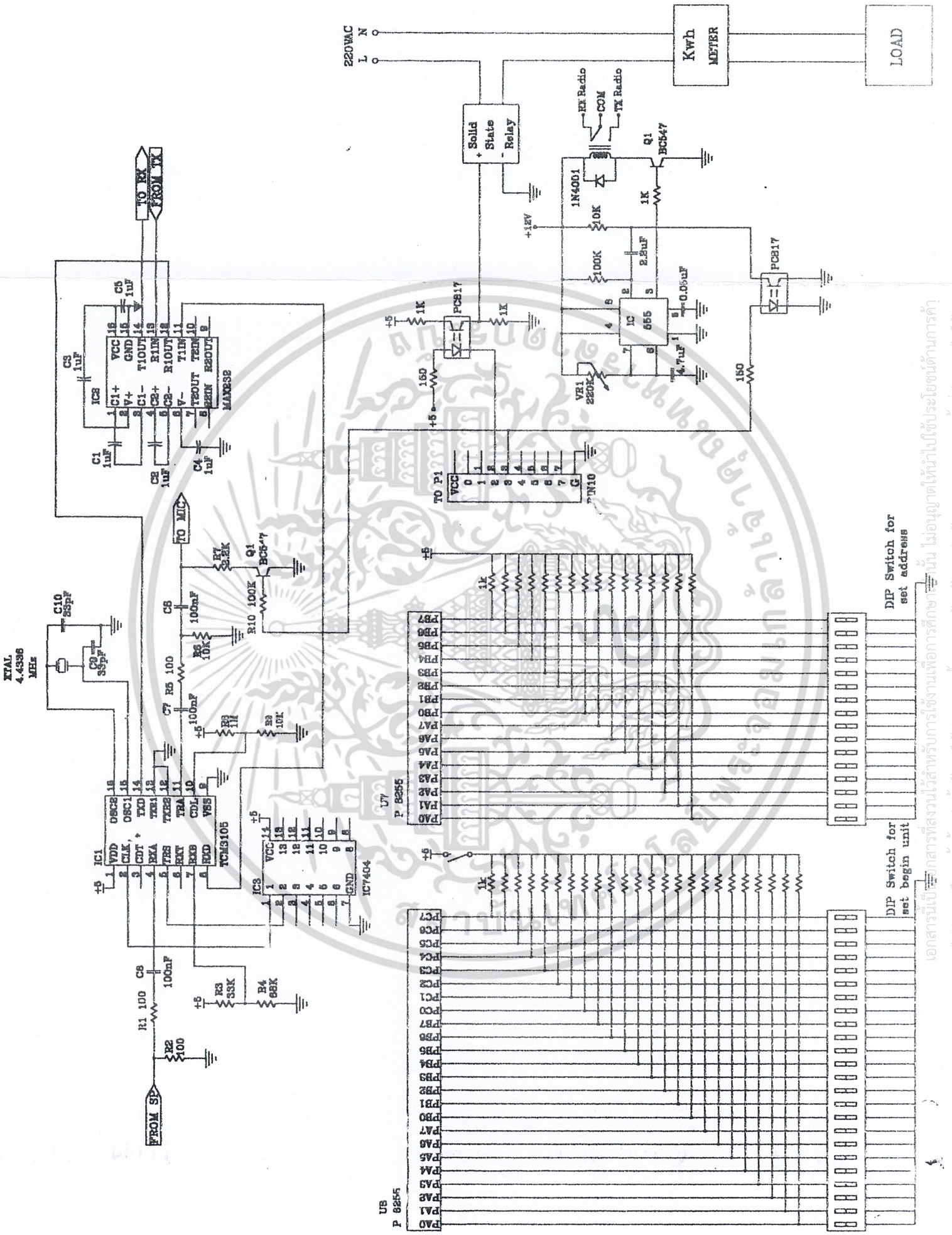


รูปที่ 4.16 การติดตั้ง SENSOR กับจานหมุนเพื่อนับรอบ

ที่มิเตอร์นั้นปกติแล้วบางรุ่นจะมีรูที่จานหมุนรูนี้มีประโยชน์สำหรับต้านการเลื่อนไถลของจานหมุนเมื่อไม่มีการต่อใช้งานหรือการต่อโหลด ดังนั้นจึงสามารถใช้รูนี้มาเป็นประโยชน์ในการมาบดบังแสงจาก SENSOR และให้แสงรอดผ่าน เพื่อที่จะทำการนับรอบของจานหมุนทุกๆ รอบที่หมุนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 วงจรรวมที่ใช้ในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์



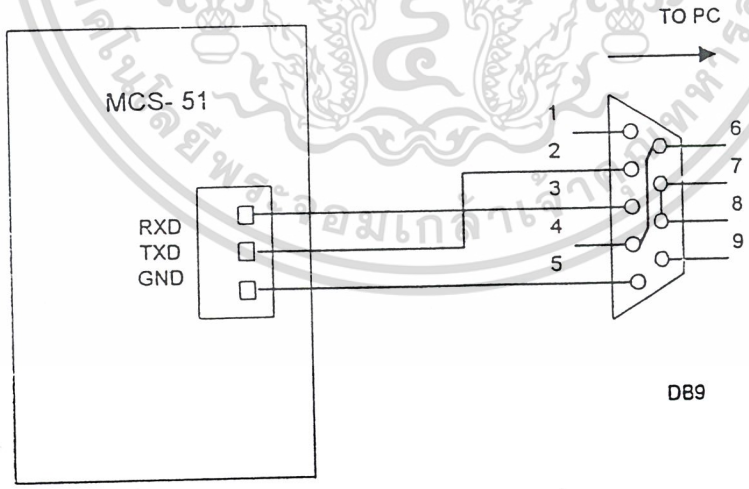
รูปที่ 4.17 วงจรรวมที่ใช้ในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 แสดงวงจรรวมที่ใช้ในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนของวงจรแปลงสัญญาณ FSK ซึ่งจะใช้เป็นไอซีเบอร์ TCM 3105 วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ จะใช้ไอซีเบอร์ MAX 232 ซึ่งในส่วนนี้หลักการทำงานจะเหมือนกันกับชุดรีโมท นอกจากนั้นจะมีชุดควบคุมการสั่งงานการรับ-ส่งของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมให้วิทยุรับ-ส่งทำงานเป็นเครื่องรับหรือเครื่องส่งวิทยุเมื่อได้รับคำสั่งจากชุดรีโมท และยังมีชุด DIP SWITCH 2 ชุด โดยที่ชุดแรกจะมีจำนวน 24 บิต ต่ออยู่กับพอร์ตอินพุทเบอร์ 8255 (U8) ของบอร์ด CPAT-32 ซึ่งจะทำหน้าที่เซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้น ส่วนชุดที่ 2 มีจำนวน 16 บิต ต่ออยู่กับพอร์ตอินพุทเบอร์ 8255 (U7) ของบอร์ด CPAT-32 ซึ่งจะทำหน้าที่เซ็ตหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ และสุดท้ายเป็นส่วนของวงจรควบคุมการตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC ซึ่งใช้ Solid Stage Relay เป็นอุปกรณ์ในการตัดต่อไฟฟ้า โดยการควบคุมด้วยออฟโต้ทรานซิสเตอร์เบอร์ PC 817 ซึ่งการทำงานในส่วนต่างๆ นั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่4

4.3 การติดต่อกับคอมพิวเตอร์

เมื่อทำการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว นำค่าที่เก็บมาได้มาคำนวณค่าไฟฟ้าของผู้ใช้แต่ละรายได้ โดยการนำชุดรีโมทนั้น มาต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ก็สามารถที่จะทำงานได้ทันที ข้อมูลที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะถูกถ่ายไปยังคอมพิวเตอร์ และก็จะคำนวณและปริ้นออกมาเป็นใบเสร็จค่าไฟฟ้าได้ทันที



รูปที่ 4.18 การติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

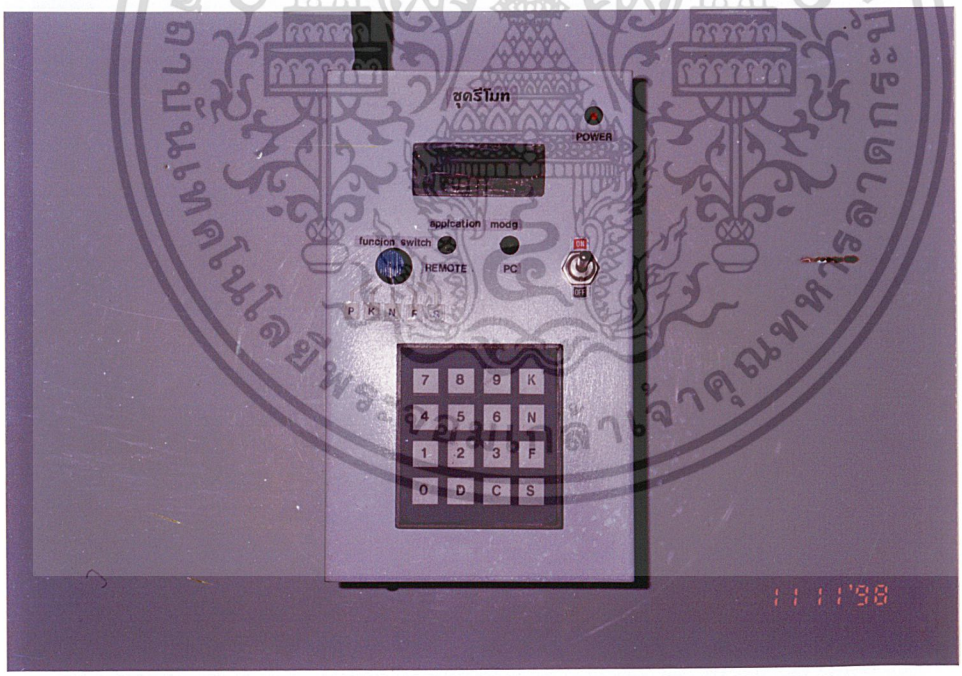
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีการใช้งานและการปรับแต่ง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการใช้งานและการปรับแต่งชุดรีโมทและกิโลวัตต์มิเตอร์ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง โดยที่จะแสดงถึงลักษณะรูปร่างของแต่ละส่วน อธิบายฟังก์ชั่นการใช้งาน วิธีการใช้งาน การแสดงผลเมื่อมีการใช้งานในฟังก์ชั่นต่างๆของชุดรีโมท รวมทั้งจะอธิบายวิธีการปรับแต่ง การเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้น การเซ็ตหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ก่อนที่จะนำไปติดตั้งวัดค่ากำลังงานไฟฟ้า โดยที่รายละเอียดในส่วนต่างๆ มีดังนี้

5.1 รูปร่างลักษณะของชุดรีโมท (REMOTED)

ชุดรีโมท (REMOTED)จะอยู่กับพนักงานการไฟฟ้าหรือผู้ที่เก็บข้อมูล ซึ่งสามารถที่จะเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้า ตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าว่า ON หรือ OFF อยู่และสามารถควบคุมการตัดต่อการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ โดยที่ชุดรีโมทจะมีลักษณะรูปร่างดังรูปที่ 5.1

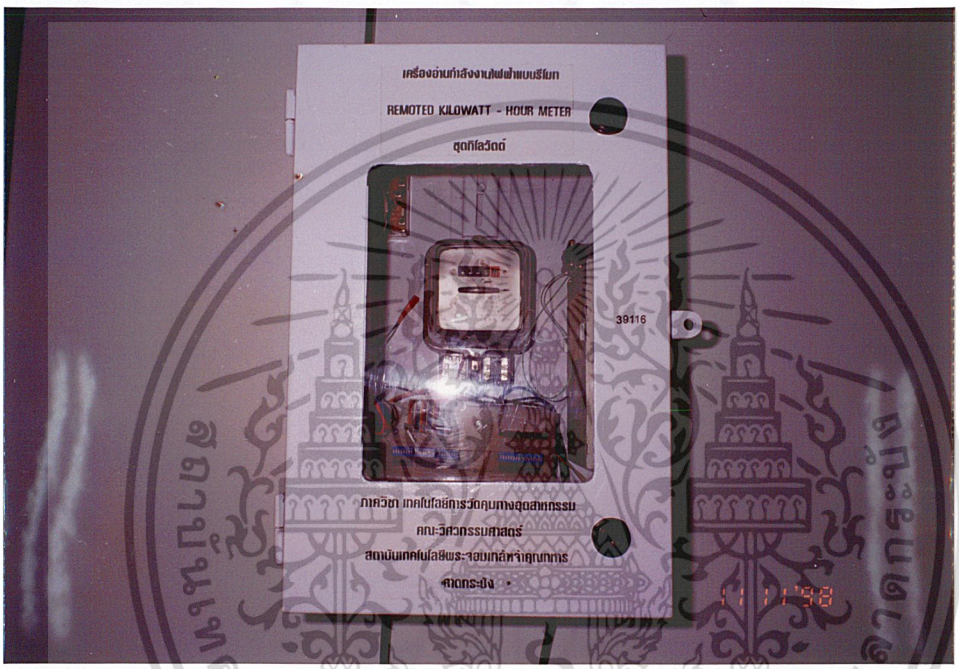


รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะรูปร่างของชุดรีโมทรับ-ส่งข้อมูล (REMOTED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 รูปร่างลักษณะของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ (KILOWATT - HOUR METER)

ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะติดตั้งอยู่กับเสาไฟฟ้าเพื่อวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไปในแต่ละเดือน ซึ่งชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะรอรับคำสั่งจากชุดรีโมท โดยผ่านทางคลื่นวิทยุแล้วนำคำสั่งที่ได้รับนั้นไปประมวลผล แล้วทำงานตามคำสั่งนั้นต่อไป ซึ่งภายในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะมีส่วนชุดตัดต่อการใช้ไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่จ่ายค่าไฟฟ้า และในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ยังมีชุดการสั่งงานปิด-เปิด เครื่องรับ-ส่งวิทยุ เพื่อป้องกันอันตรายให้กับเครื่องรับ-ส่งวิทยุในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าเนื่องจากฝนฟ้าคะนอง ซึ่งส่วนของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์จะมีลักษณะรูปร่างดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ (KILOWATT - HOUR METER)

5.3 ฟังก์ชั่นการใช้งานของชุดรีโมท (*REMOTED*)

5.2.1 ฟังก์ชั่นการใช้งานในการรับ-ส่งข้อมูล และแสดงสถานะเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า

K ; (KEEP DATA) ทำหน้าที่เก็บค่ากำลังงานไฟฟ้า

N ; (ON Kwh) ทำหน้าที่ในการต่อไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าตามปกติ

F ; (OFF Kwh) ทำหน้าที่ตัดไฟฟ้าในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่จ่ายค่าไฟฟ้า

S ; (STATUS) ทำหน้าที่แสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เก็บมาแล้ว และแสดงสถานะว่ากิโลวัตต์มิเตอร์ปิดหรือเปิดอยู่

5.2.2 ฟังก์ชั่นเกี่ยวกับการโปรแกรมหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

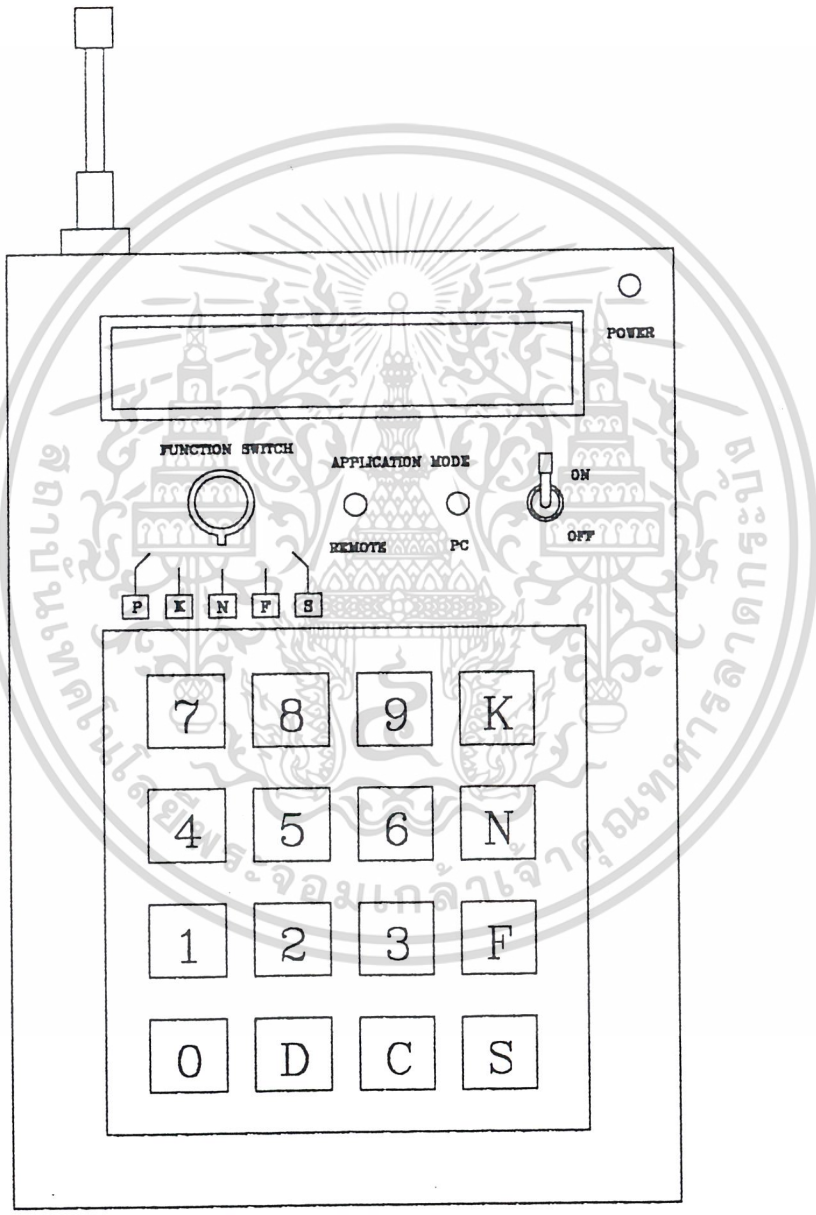
(0-9) ; (NUMBER) ทำหน้าที่สำหรับการป้อนหมายเลขเครื่องชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D : (DEL)ทำหน้าที่ในการลบหมายเลขเครื่องชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ในกรณีที่ป้อนหมายเลขเครื่องผิด โดยที่จะลบออกทีละหลัก

C : (CONTINUE) CLEAR หน้าจอ LCD ใช้ในกรณีที่เก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าเสร็จแล้วและต้องการที่จะเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นอีกต่อไป

5.4 วิธีการใช้งานชุดรีโมท



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของตัวรีโมท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วิธีการใช้งานชุดรีโมท</u> สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เสียบปลั๊ก DC 10 Volt

2. ตัวเครื่องรีโมทจะมีสวิทต์อยู่ 2 ตัว คือ สวิทต์ ON - OFF และสวิทต์เลือกการใช้งานเป็น REMOTED หรือ ติดต่อกับ COMPUTER (PC)

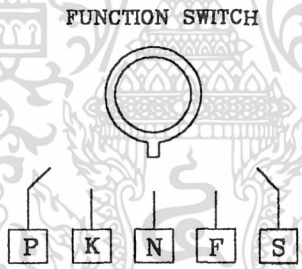
3. เลือกการใช้งานเป็น REMOTED ให้เลือกสวิทต์มาที่ตำแหน่ง REMOTED จะมีข้อความปรากฏที่จอ LCD NUMBER Kwh ; พร้อมที่จะรอรับหมายเลขเครื่องได้ทันที

4. ให้ทำการเลือกฟังก์ชั่นสวิทต์มาที่ตำแหน่ง P (PROGRAM) เพื่อทำการโปรแกรมหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ต้องการเก็บข้อมูล

5. ป้อนหมายเลขเครื่อง 5 ตัวให้ตรงกับหมายเลขเครื่องที่ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

6. เมื่อป้อนหมายเลขเครื่องผิดพลาดสามารถกด D (DEL) เครื่องจะทำการลบหมายเลขเครื่องที่ป้อนผิดทีละหลักและสามารถป้อนหมายเลขใหม่ได้

7. ให้เลือก ฟังก์ชั่น สวิทต์ (FUNCTION SWITCH) ตามลักษณะความต้องการใช้งานของผู้เก็บข้อมูล เช่น ถ้าต้องการเก็บข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าให้เลือก ฟังก์ชั่นสวิทต์มาที่ตำแหน่ง K (KEEP DATA) ดังรูป



รูปที่ 5.4 ลักษณะของ FUNCTION SWITCH

8. กด K (KEEP) เพื่อเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

9. กด N (ON Kwh) เมื่อต้องการต่อการจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าตามปกติ

10. กด F (OFF Kwh) เมื่อต้องการตัดการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

11. เมื่อทำการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าเสร็จก็ กด C (CONTINUE) เพื่อทำการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้า ของผู้ใช้ไฟฟ้ารายต่อไป

12. เมื่อทำการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้ามาแล้วและต้องการที่จะย้อนกลับดูข้อมูลที่เก็บมาก็สามารถทำได้โดยการป้อนหมายเลขเครื่องที่ต้องการดูข้อมูล และกด S (STATUS) เครื่องจะแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เก็บออกมาให้ดู 2 วินาที และถ้าไม่มีข้อมูลอยู่จะแสดงข้อความ ON DATA แสดงว่าหมายเลขเครื่องนี้ยังไม่ได้มีการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้ามาเก็บไว้

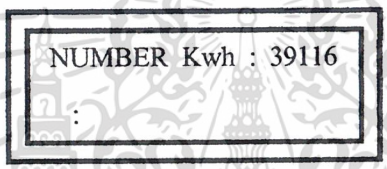
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ การใช้งานฟังก์ชั่น N (ON Kwh), F (OFF Kwh) ก่อนใช้งานจะต้องเลือก FUNCTION SWITCH ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องก่อน เช่น ON Kwh จะต้องเลือก FUNCTION SWITCH ในตำแหน่ง N ก่อน จึงจะสั่งการได้ ซึ่งกรณีฟังก์ชั่นอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน ส่วนในการโปรแกรมหมายเลขเครื่องกิโลวัตต์มิเตอร์ก่อนจะโปรแกรมก็ต้องเลือก FUNCTION SWITCH มาที่ตำแหน่ง P (PROGRAM) ก่อนเช่นกัน

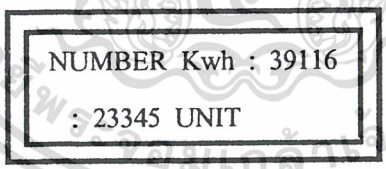
5.5 การแสดงผลเมื่อมีการใช้งานในฟังก์ชั่นต่างๆ

1. KEEP DATA (K)

1. ป้อนหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ต้องการเก็บข้อมูล

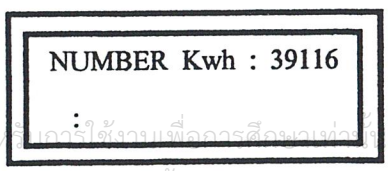


2. กด K เครื่องจะรอรับข้อมูลและแสดงผล ถ้าส่งข้อมูลแล้วไม่ตอบกลับให้กด K อีกครั้งจนกว่าเครื่องจะแสดงผล



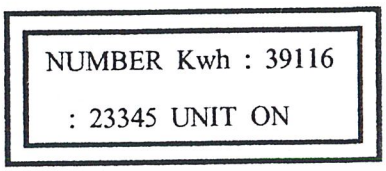
2. ON-Kwh และ OFF-Kwh

1. ป้อนหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ต้องการต่อการจ่ายไฟฟ้าหรือตัดการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า

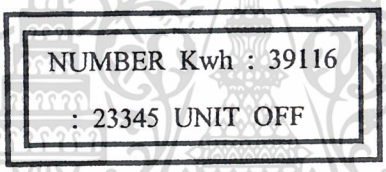


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กด N หรือ F เครื่องจะส่งข้อมูลไปทำการต่อหรือตัดการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า และแสดงผล ถ้า กด N จะเป็นการจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้ได้ตามปกติ

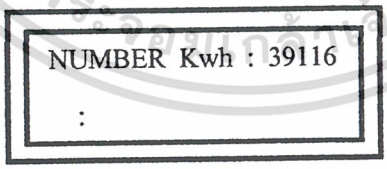


กด F จะเป็นการตัดการจ่ายไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ยอมจ่ายค่าไฟฟ้า ซึ่งถ้าส่งข้อมูลคำสั่งแล้ว เครื่องยังไม่ทำงานตอบกลับให้กดซ้ำอีกครั้ง

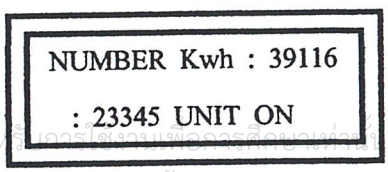


3. STATUS (S)

1. ป้อนหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ที่ต้องการดูลักษณะการทำงาน



2. กด S เครื่องจะอ่านข้อมูลจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์มาแสดงผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การปรับแต่งชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

การเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นให้กับชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ (SET UNIT)

1. ให้ดูค่ากำลังงานไฟฟ้าที่แสดงบนมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เราจะนำชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ไปติดตั้งว่ามีค่ากี่ UNIT

2. สมมุติว่าบนมิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแสดงค่ากำลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 85412 UNIT ให้ทำการแปลงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่แสดงนั้นเป็นเลขฐาน 16 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 014DA4 H

3. แบ่งค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เป็นเลขฐาน 16 ออกเป็นสามกลุ่มจะได้คือ 01 ,4D และ A4 ต่อจากนั้นทำการแปลงค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เป็นเลขฐาน 16 ในแต่ละกลุ่มนั้นให้เป็นเลขฐาน 2 จะได้คือ

01 = 00000001

4D = 01001101

A4 = 10100100

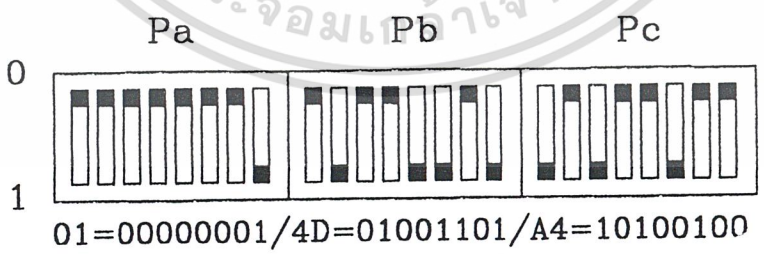
4. ต่อจากนั้นนำเลขฐาน 2 ที่แปลงได้จากเลขฐาน 16 ในแต่ละกลุ่มไปเซ็ตค่ากำลังงาน ไฟฟ้าเริ่มต้นกับชุด DIP SWITCH 24 BIT โดยที่

01 = 00000001 เซ็ตค่าที่ DIP SWITCH พอร์ตเอ (Pa)

4D = 01001101 เซ็ตค่าที่ DIP SWITCH พอร์ตบี (Pb)

A4 = 10100100 เซ็ตค่าที่ DIP SWITCH พอร์ตซี (Pc)

ซึ่งวิธีการเซ็ตค่าแต่ละพอร์ตนั้นแสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงการเซ็ตค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้น

5. ใส่ JUMPER ข้าง DIP SWITCH แล้วกด SWITCH RESET ที่แผงไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำ JUMPER ออก ก็จะทำให้ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่แสดงบนมิเตอร์วัดกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้น เก็บไว้ในชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ ซึ่งจะเป็นค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นให้กับชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ จากนั้นก็นำชุดกิโลวัตต์มิเตอร์นี้ไปติดตั้งวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายนั้นได้เลย

<u>การเซ็ตค่าหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์</u> (SET ADDRESS)

1. กำหนดหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์เอง แต่ไม่เกิน 65535 หมายเลข เช่น กำหนดหมายเลขเครื่องเป็น 39116

2. ทำการแปลงหมายเลขเครื่อง 39116 ให้เป็นเลขฐาน 16 จะได้เป็น 98CC H

3. แบ่งหมายเลขเครื่องที่เป็นเลขฐาน 16 ที่ค่าเท่ากับ 98CC H ออกเป็น 2 กลุ่ม จะได้คือ 98 และ CC จากนั้นแปลงให้เป็นเลขฐาน 2 จะได้คือ

98 = 10011000

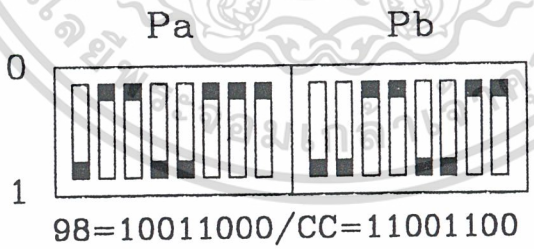
CC = 11001100

4. นำหมายเลขเครื่องแต่ละกลุ่มที่แปลงเป็นเลขฐาน 2 แล้วไปเซ็ตค่าที่ชุด DIP SWITCH 16 BIT โดยที่

98 = 10011000 เซ็ตค่าที่ DIP SWITCH พอร์ตเอ (Pa)

CC = 11001100 เซ็ตค่าที่ DIP SWITCH พอร์ตบี (Pb)

ซึ่งวิธีการเซ็ตค่าแต่ละพอร์ตนั้นแสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงการเซ็ตหมายเลขเครื่องของชุดกิโลวัตต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการทดสอบ

ในบทนี้ได้ทำการทดสอบการใช้งานเครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมทซึ่งการทดสอบนั้นได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การทดสอบการรับ-ส่ง ค่ากำลังงานไฟฟ้า
2. การทดสอบการใช้คำสั่ง ON-OFF Kwh
3. การทดสอบชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่ง จากเหตุการณ์ฟ้าผ่าอันเนื่องมาจากฝนฟ้าคะนอง

6.1 การทดสอบการรับ-ส่ง ค่ากำลังงานไฟฟ้า

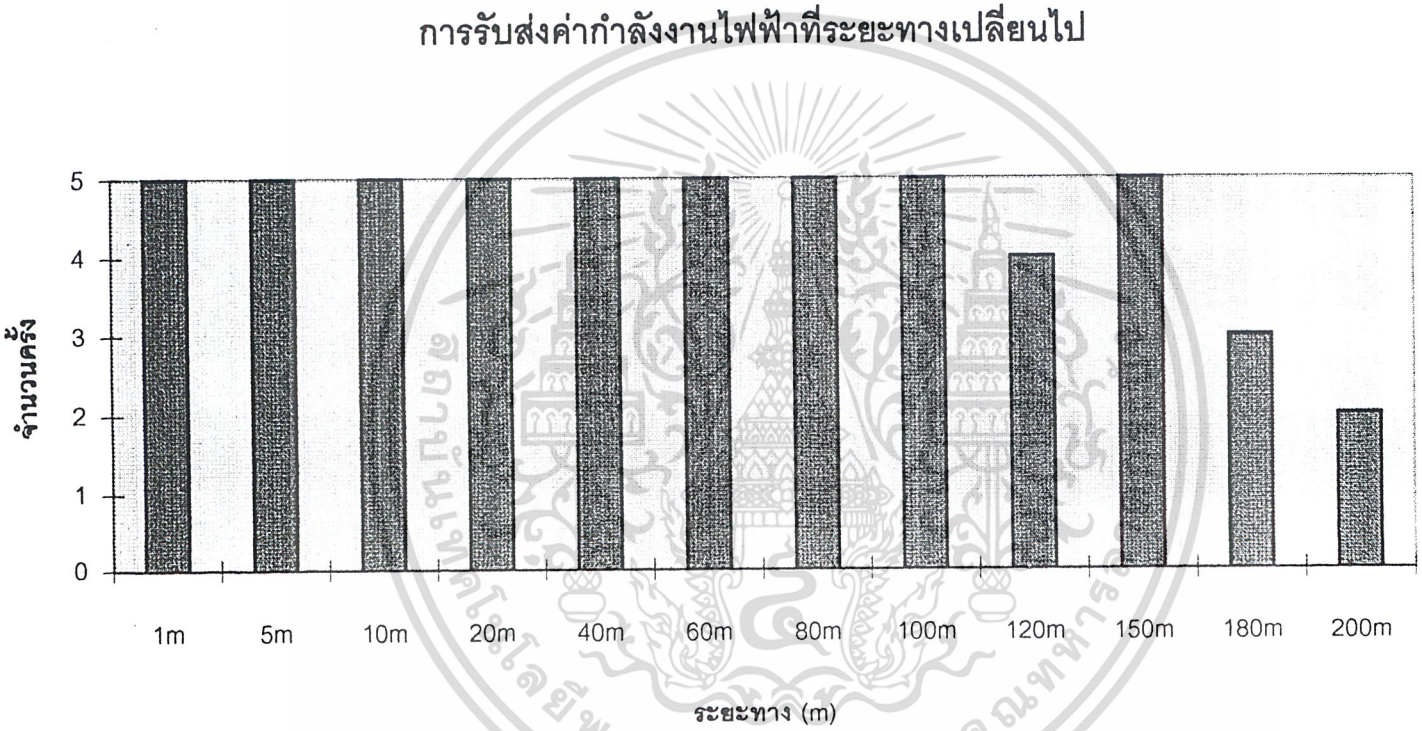
เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการรับ-ส่งค่ากำลังงานไฟฟ้าของตัวรีโมทกับตัวกิโลวัตต์มิเตอร์ การทดลองทำได้โดยเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าจำนวน 5 ครั้ง โดยผลที่ออกมาจะสามารถเก็บได้หรือไม่ได้โดยจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางผลที่ได้ดังตารางที่ 6.1

<u>ผลการทดสอบ</u>

ตารางที่ 6.1 การเก็บข้อมูลที่มีระยะทางเปลี่ยนไป

ครั้งที่ / ระยะทาง (m)	1	2	3	4	5	รวม
1	✓	✓	✓	✓	✓	5
5	✓	✓	✓	✓	✓	5
10	✓	✓	✓	✓	✓	5
20	✓	✓	✓	✓	✓	5
40	✓	✓	✓	✓	✓	5
60	✓	✓	✓	✓	✓	5
80	✓	✓	✓	✓	✓	5
100	✓	✓	✓	✓	✓	5
120	✓	✓	✓	✓		4
150	✓	✓	✓	✓	✓	5
180	✓	✓		✓		3
200	✓	✓				2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงจำนวนครั้งที่เก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าได้ต่อระยะทาง

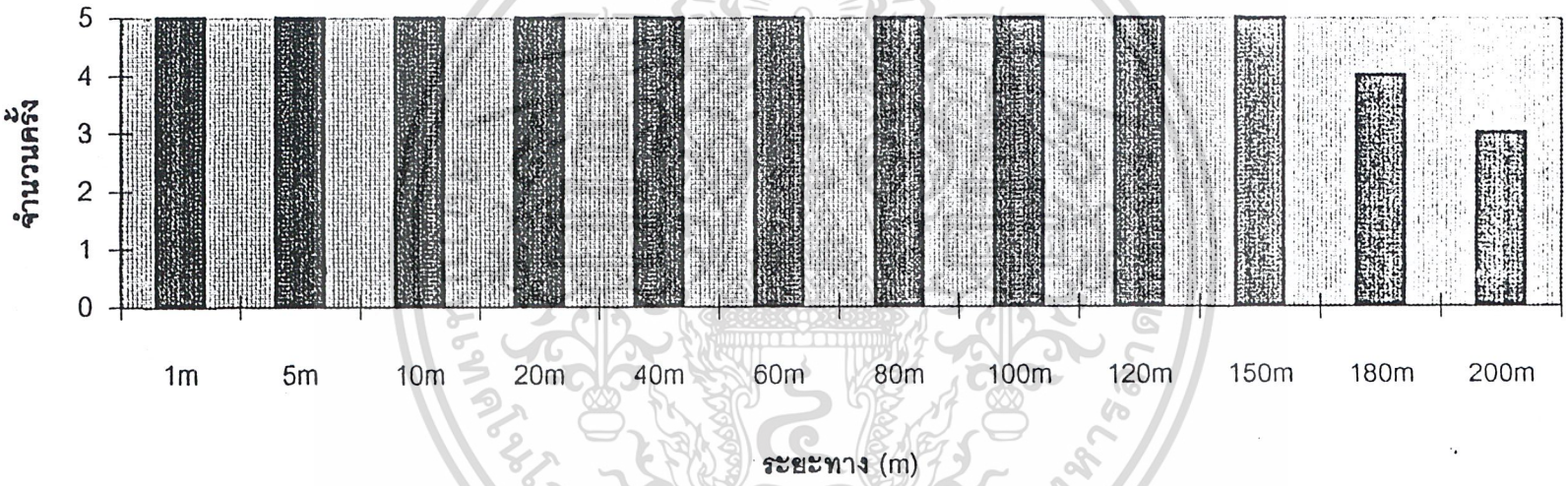
6.2 การทดสอบการใช้งานคำสั่ง ON-OFF Kwh

ในการทดสอบการใช้งานคำสั่ง ON-OFF Kwh เป็นการทดสอบการตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ยอมจ่ายค่าไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบนั้นจะใช้หลอดไฟ ทำหน้าที่เป็นโหลดไฟฟ้า โดยการตรวจสอบนั้นจะดูจากการติดและดับของหลอดไฟ ซึ่งการทดสอบนี้จะทำการทดสอบสั่งงานจำนวน 5 ครั้ง โดยการเทียบกับระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.2 การทดสอบการใช้งานคำสั่ง ON-OFF Kwh

ครั้งที่	1	2	3	4	5	รวม
ระยะทาง (m)	ON-OFF Kwh	ON-OFF Kwh	ON-OFF Kwh	ON-OFF Kwh	ON-OFF Kwh	ON-OFF Kwh
1	✓	✓	✓	✓	✓	5
5	✓	✓	✓	✓	✓	5
10	✓	✓	✓	✓	✓	5
20	✓	✓	✓	✓	✓	5
40	✓	✓	✓	✓	✓	5
60	✓	✓	✓	✓	✓	5
80	✓	✓	✓	✓	✓	5
100	✓	✓	✓	✓	✓	5
120	✓	✓	✓	✓	✓	5
150	✓	✓	✓	✓	✓	5
180	✓	✓	✓		✓	4
200	✓	✓		✓		3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงจำนวนครั้งในการ ON-OFF Kwh ต่อระยะทาง

6.3 การทดสอบชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่งจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าอันเนื่องมาจากฝนฟ้าคะนอง

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่ง จากเหตุการณ์ฟ้าผ่าเมื่อเกิดฝนฟ้าคะนอง เพื่อจะทดสอบว่าชุดป้องกันอันตรายวิทยุรับ-ส่งมีประสิทธิภาพในการสั่งปิดเครื่องรับวิทยุที่ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ว่าได้ผลเป็นอย่างไร โดยที่ชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่งนี้จะอาศัยหลักการตรวจจับความเข้มของแสงแดดมาเป็นตัวสั่งงานปิด-เปิดเครื่องรับ-ส่งวิทยุ โดยที่ในช่วงที่แสงแดดมีความเข้มของแสงต่ำ คือช่วงที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม ช่วงเวลาเย็น ช่วงเวลากลางคืน และช่วงเช้าที่ยังไม่มีแสงแดด ชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่งจะสั่งปิดเครื่องรับวิทยุและจะสั่งเปิดเครื่องรับวิทยุโดยอัตโนมัติเมื่อมีแสงแดดตามปกติ ซึ่งวิธีการทดสอบนั้นได้ทำการทดลองติดตั้งชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่งไว้ภายนอกอาคาร โดยการทดสอบในช่วงฤดูฝนใช้เวลาในการทดสอบ 7 วัน ได้ผลการทดสอบ ช่วงเวลาการเปิด-ปิดเครื่องรับวิทยุในช่วงเช้าและเย็นในแต่ละวัน และในช่วงที่เกิดฝนตกฟ้าคะนองในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบได้ผลดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่ง

วัน/เดือน/ปี ที่ทดสอบ	เวลาเปิด-ปิด เครื่องรับวิทยุในแต่ละวัน		ทดสอบการปิด-เปิด เครื่องรับวิทยุเมื่อเกิดฝนฟ้าคะนอง		หมายเหตุ
	ช่วงเช้า(เปิด)	ช่วงเย็น(ปิด)	ปิดวิทยุ	เปิดวิทยุ	
2 / 8 /41	7.35 น.	17.15 น.	✓		ฝนตก
3 / 8 /41	7.50 น.	17.40 น.		✓	ฝนไม่ตก
4 / 8 /41	8.10 น.	17.35 น.		✓	ฝนไม่ตก
5 / 8 /41	7.45 น.	18.10 น.		✓	ฝนไม่ตก
6 / 8 /41	7.40 น.	16.50 น.	✓		ฝนตก
7 / 8 /41	8.20 น.	18.20 น.		✓	ฝนไม่ตก
8 / 8 /41	7.55 น.	18.35 น.		✓	ฝนไม่ตก

<u>หมายเหตุ</u> ในการใช้งานชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่ง เมื่อเกิดฝนฟ้าคะนองโดยอาศัยหลักการของการตรวจจับความเข้มของแสงแดด เราสามารถที่จะปรับแต่งการสั่งงานในการที่จะให้วิทยุรับ-ส่ง ปิดหรือเปิดที่ระดับความเข้มของแสงแดดเท่าใดก็ได้โดยการปรับที่วอลลุ่มเกือกม้าในวงจรชุดป้องกันวิทยุรับ-ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 สรุปผลและปัญหาที่เกิดขึ้น

1. การทดสอบการรับส่งค่ากำลังงานไฟฟ้า

ในโครงงานนี้ได้ทำการเปลี่ยนวิทยุรับส่งข้อมูลใหม่ จุดประสงค์เพื่อการส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นและเพื่อที่จะลดต้นทุนในการจัดทำโครงงานลง แต่ปัญหาที่ตามมาก็คือในการควบคุมการสั่งงานให้วิทยุรับส่งให้ทำงานเป็นเครื่องส่งวิทยุในขณะที่ต้องการส่งข้อมูลของค่ากำลังงานไฟฟ้าออกสู่อากาศในชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ซึ่งจะมีปัญหาก็คือว่า ข้อมูลของค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ชุดกิโลวัตต์มิเตอร์เมื่อได้รับคำสั่ง KEEP DATA (K) จากชุดรีโมท ข้อมูลจะเข้าไป มอดูเลตกับคลื่นพาหะของเครื่องส่งวิทยุเร็วกว่าการทำงานของวงจรควบคุมการสั่งงานให้วิทยุเปลี่ยนสถานะจากการทำหน้าที่เป็นเครื่องรับวิทยุเป็นเครื่องส่งวิทยุ ทำให้ข้อมูลพลาดออกไปเมื่อวิทยุส่งคลื่นออกสู่อากาศจึงทำให้ชุดรีโมทไม่สามารถรับข้อมูลได้ ซึ่งเมื่อทำการศึกษาจากโครงงานเดิมพบว่าโครงงานเดิมใช้วิทยุรับส่งของ ICOM รุ่น 2GE ซึ่งจะมีแจ็คสำหรับเสียบไมค์และลำโพงในการรับข้อมูลและส่งข้อมูลอยู่แล้ว ซึ่งการทำงานของวิทยุรับส่งของโครงงานเดิมเมื่อมีสัญญาณข้อมูลการใช้ค่ากำลังงานไฟฟ้าเข้าที่แจ็คไมค์ของวิทยุ วิทยุก็จะทำงานเป็นเครื่องส่งวิทยุโดยอัตโนมัติและจะกลับมาเป็นเครื่องรับวิทยุทันทีเมื่อไม่มีสัญญาณข้อมูลการใช้ค่ากำลังงานไฟฟ้าเข้าที่แจ็คไมค์ของวิทยุ ทำให้ข้อมูลการใช้ค่ากำลังงานไฟฟ้าส่งผ่านคลื่นวิทยุออกสู่อากาศได้

ส่วนในการใช้คำสั่ง NO Kwh (N) หรือ OFF Kwh (F) ถ้าใช้วิทยุรับส่งที่เปลี่ยนใหม่ย่าน HF รับส่งข้อมูลที่ความถี่ 27.185 MHz ซึ่งก็จะสามารถสั่งงานได้เช่นเดียวกันกับวิทยุรับส่งย่าน VHF รับส่งข้อมูลที่ความถี่ 146.75 MHz แต่ข้อมูลเพื่อแสดงสถานะว่าชุดกิโลวัตต์มิเตอร์นั้น ON หรือ OFF นั้นไม่สามารถส่งกลับมาแสดงยังชุดรีโมทได้ ซึ่งสาเหตุมาจากปัญหาเช่นเดียวกันคือข้อมูลที่ส่งออกจากชุดกิโลวัตต์มิเตอร์เข้าไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะของวิทยุรับส่งเร็วกว่าวิทยุจะทำงานเป็นเครื่องส่งวิทยุเพื่อส่งข้อมูลออกสู่อากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการหน่วงข้อมูลการใช้ค่ากำลังงานไฟฟ้าให้ช้าลงและในขณะเดียวกันก็จะต้องควบคุมให้วิทยุรับส่งข้อมูลทำงานเป็นเครื่องส่งวิทยุเร็วขึ้นเมื่อได้รับคำสั่งจากชุดรีโมทจึงจะสามารถทำการรับส่งข้อมูลค่ากำลังงานไฟฟ้า ด้วยวิทยุรับส่งย่าน HF ความถี่ 27.185 MHz ได้

2. ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด

จากการทดสอบ ACCURACY ของเครื่องวัดซึ่งผลที่ได้นั้นมิเตอร์ทั้งสองเครื่องหมุนแตกต่างกันเนื่องจาก

2.1 จากความต่างเฟส ได้กล่าวมาแล้วว่าเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กขนานจะมีมุมต่างเฟสกับแรงดัน 90 องศา แต่ที่จริงแล้วไม่เป็นเช่นนั้น เพราะว่าในขดลวดขนานนั้นยังมีค่าความต้านทานรวมอยู่ด้วยเพราะฉะนั้นที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ศูนย์ แรงบิดจะมีค่าไม่เป็นศูนย์ ความคลาดเคลื่อนอันนี้แก้ได้โดยการปรับตำแหน่งของแหวนทองแดง (Shading ring) ที่สวมอยู่บนแกนแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กขนาน ดังนั้นจึงเรียกแหวนทองแดงนี้ว่า เครื่องแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor Compensator)

2.2 จากความเร็ว ถ้าใช้เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าไปวัดกำลังงานไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว เครื่องวัดจะมีความเร็วสูงเกินไปจากความเป็นจริง แต่เราก็สามารถที่จะปรับความเร็วได้ โดยการปรับตำแหน่งของแม่เหล็กหน่วง (Braking Magnet) ที่เป็นแม่เหล็กถาวรให้เลื่อนเข้าหรือเลื่อนออกจากจานหมุนถ้าปรับตำแหน่งของแม่เหล็กหน่วงให้เข้าใกล้กับจุดศูนย์กลางของจานจะทำให้แรงหน่วงงลดลงและถ้าดึงแม่เหล็กออกจะทำให้แรงหน่วงเพิ่มขึ้น

2.3 จากความเสียดทาน ความเสียดทานที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากแบริ่งที่รองรับระบบเคลื่อนที่และเกิดจากชุดบอกกำลังงานไฟฟ้า แรงเสียดทานหรือความเสียดทานที่เกิดขึ้นนี้อาจจะทำให้ลดลงได้โดยทำให้อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็ก ฟลักซ์ 1 และ ฟลักซ์ 2 มีค่ามากขึ้นโดยใช้แหวนทองแดงสองชุดเข้าช่วยแหวนทองแดงนี้จะสวมอยู่ที่ปลายของแกนสองแกนที่อยู่ด้านข้างทั้งสองของแม่เหล็กขนาน ดังนั้นจะเห็นว่าจะมีกระแสไหลวนเกิดขึ้นในแหวนทองแดงทั้งสองนี้ด้วย ผลอันนี้จะทำให้เกิดแรงบิดบ่ายเบนขึ้นที่จานด้วยแรงบิดบ่ายเบนที่ทำให้เกิดขึ้นเพื่อแก้แรงเสียดทานนี้จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับการปรับตำแหน่งของแกนสองแกนที่อยู่ด้านข้างของแม่เหล็กขนาน วิธีแก้ความเสียดทานนี้จะต้องทดลองทำในขณะที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับมิเตอร์อย่างเดียวเท่านั้น โดยจะต้องไม่ให้ระบบเคลื่อนที่ หรือจานอลูมิเนียมหมุน

2.4 เมื่อระบบเคลื่อนที่หมุนช้าๆ (Creeping or Slow) แต่หมุนติดต่อกันเรื่อยไปในขณะที่ยังไม่มีกระแสของโหลด (ป้อนแต่แรงดันไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว) อาการแบบนี้อาจจะเกิดเนื่องจากการแก้แรงเสียดทานไม่ถูกต้องหรือเกิดจากการสั่น (vibration) จากที่อื่น หรือจากสนามแม่เหล็กรั่วไหลจากที่อื่นหรือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้สูงกว่าปกติ วิธีการแก้ไขก็คือเจาะรูสองรูบนจานหมุน ให้อยู่ในแนวเดียวกันแต่ละด้านของเพลา การเจาะรูก็เพื่อทำให้สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กขนานเกิดการบิดเบนตัว (distortion) เมื่อรูหนึ่งบนจานเคลื่อนที่ผ่านขั้วแม่เหล็กขนาน ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ป้องกันไม่ให้จานหมุนเมื่อยังไม่มีโหลด

2.5 สาเหตุอื่นๆ เช่น มิเตอร์ที่นำมาทดลองมีทั้งเก่าและใหม่ ขนาดของมิเตอร์ที่ใช้มาตรฐานของแต่ละบริษัทที่ผลิต และคุณภาพของมิเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการพัฒนาโครงงาน

โครงงานเครื่องอ่านกำลังงานไฟฟ้าแบบรีโมทได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการพัฒนาการเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าแทนการเดินเก็บข้อมูลมาเป็นการเก็บข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผนักงานการไฟฟ้า สิ่งที่ได้ทำการปรับปรุงพัฒนาขึ้นจากโครงงานเดิมก็คือ

1. การตั้งค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้น ซึ่งสามารถที่จะตั้งค่าของกำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นในกรณีที่จะนำเครื่องไปติดตั้งใช้งานจริงได้สูงสุดถึง 99999 หน่วย ซึ่งจากเดิมสามารถตั้งค่าของกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้เพียง 65535 หน่วย ซึ่งจะมีปัญหาเกิดขึ้นได้ในกรณีที่มิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ที่จะนำเครื่องไปติดตั้งใช้งานจริง มีค่าหน่วยของกำลังงานไฟฟ้าสูงเกินกว่า 65535 หน่วย ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถนำเครื่องไปติดตั้งได้ เพราะจะทำให้การเก็บข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าเกิดความผิดพลาดไปจากค่าความเป็นจริง ซึ่งโครงงานนี้สามารถแก้ไขให้ตั้งค่าสูงสุดได้ 99999 หน่วย ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่มิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าสามารถที่จะแสดงได้จึงทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องการตั้งค่ากำลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นถ้าจะนำเครื่องไปติดตั้งวัดกำลังงานไฟฟ้าใช้งานจริง

2. ในการนำชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ไปติดตั้งใช้งานจริงกับเสาไฟฟ้านั้น อาจจะทำให้เครื่องรับส่งวิทยุได้รับอันตรายจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า เมื่อเกิดฝนฟ้าคะนอง ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้คิดวิธีการป้องกันอันตรายเครื่องรับส่งวิทยุจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า โดยการใช้คุณสมบัติของตัว LDR (Ligth Dependent Resistor) มาเป็นตัวตรวจจับความเข้มของแสงแดด ในช่วงที่ก่อนจะเกิดเหตุการณ์ ฝนตก ฟ้าคะนอง มาเป็นตัวสั่งงานให้เครื่องรับส่งวิทยุ ปิด หรือ เปิด โดยอัตโนมัติ ตามความเข้มของแสงแดด ซึ่งจะช่วยป้องกันวิทยุรับส่งให้ปลอดภัยจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าเมื่อเกิดฝนฟ้าคะนองได้ดีพอสมควร โดยที่ในชุดป้องกันวิทยุรับส่งนี้สามารถที่จะปรับความเข้มของแสงแดดได้ว่าจะให้สั่งปิด หรือ เปิด วิทยุรับส่งที่ระดับความเข้มของแสงแดดที่เหมาะสมได้

3. ในส่วนของอุปกรณ์การตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC เพื่อจ่ายไฟฟ้า หรือ หยุดการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ที่ใช้ไฟฟ้า ที่ไม่ยอมจ่ายค่าไฟฟ้า ซึ่งจากเดิมใช้ Magneticontactor เป็นอุปกรณ์ในการตัดต่อซึ่งจะมีปัญหาในเรื่องการสปาร์กของหน้าสัมผัส เมื่อจ่ายโหลดที่กินกระแสไฟฟ้าที่สูงๆ ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อชุดกิโลวัตต์มิเตอร์ได้ ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้แก้ปัญหานี้โดยการใช้อุปกรณ์Solid Stage Relay มาเป็นอุปกรณ์ในการตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC แทน Magneticontactor ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาการสปาร์กของหน้าสัมผัสได้ และสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าค่าต่ำๆ ในการควบคุมการทำงาน จึงทำให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เก็บข้อมูลค่าของกำลังงานไฟฟ้าปลอดภัยจากแรงดันไฟฟ้าค่าสูงๆ และยังสามารถลดปัญหาสนามแม่เหล็กที่เกิดจากคอยล์ของ Magneticontactor ได้อีกด้วย ทำให้สามารถลดคลื่นสนามแม่เหล็กรบกวนวิทยุรับส่งข้อมูลได้อีกวิธีหนึ่งด้วย

4. จากโครงงานเดิมได้ใช้วิทยุรับส่งข้อมูล ย่านความถี่ VHF ซึ่งมีข้อจำกัดของระยะทางในการรับส่งข้อมูล ซึ่งการรับส่งข้อมูลไม่สามารถที่จะส่งได้เป็นระยะทางที่ไกลๆ เนื่องจากเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดเฉพาะของย่านความถี่ VHF นี้ และข้อเสียอีกประการหนึ่งของวิทยุรับส่งที่ใช้ในโครงงานเดิมก็คือวิทยุเดิมเป็นวิทยุที่มีหลายช่องความถี่แต่ในการใช้งานจะใช้งานที่ช่องความถี่เดียวคือ 146.75 MHz ซึ่งเป็นการใช้งานที่ไม่คุ้มค่าและอีกอย่างหนึ่งก็คือวิทยุเดิมมีราคาต่อเครื่องสูงมาก ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงวิทยุรับส่งข้อมูลใหม่ โดยการใช้ วิทยุรับส่งย่าน HF ซึ่งมีคุณสมบัติคือ สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลกว่าย่าน VHF ซึ่งเป็นวิทยุสมัครเล่นทั่วไป เป็นวิทยุที่มีช่องความถี่เดียวคือ 27.185 MHz ซึ่งต้นทุนในการนำมาใช้ทำโครงงานจะต่ำกว่าวิทยุที่ใช้งานเดิมอย่างมาก และยังเป็นความถี่ที่ถูกต้องตามกฎหมายพระราชบัญญัติวิทยุโทรนาคม ซึ่งจากการทดลองใช้วิทยุรับส่งย่าน HF ที่ความถี่ 27.185 MHz รับส่งข้อมูลผลปรากฏว่าสามารถใช้ในการรับส่งข้อมูลได้เช่นเดียวกันกับวิทยุรับส่งย่าน VHF โดยการทดสอบใช้คำสั่ง ON Kwh และ OFF Kwh สั่งงานไปยังชุดกิโลวัตต์ซึ่งสามารถสั่งงานให้ชุดตัดต่อไฟฟ้า 220 VAC ทำงานได้เป็นอย่างดี แต่จะมีปัญหาอยู่ที่ในช่วงที่ชุดกิโลวัตต์ได้รับคำสั่งจากชุดรีโมทแล้วจะทำการประมวลผลคำสั่งแล้วส่งข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้ากลับมายังชุดรีโมทเพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล ซึ่งการส่งข้อมูลของค่ากำลังงานไฟฟ้าจากตัวไมโครคอนเลอร์ที่ชุดกิโลวัตต์มิตอร์ กับการสั่งงานให้วิทยุรับส่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งวิทยุนั้นยังไม่สัมพันธ์กันทำให้ข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าพลาดออกไปกับช่วงที่วิทยุรับส่งทำหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุกลับไปยังชุดรีโมท ทำให้ข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าไม่สามารถส่งกลับมาแสดงผลที่ชุดรีโมทได้ ซึ่งถ้าหากแก้ปัญหาจุดนี้ได้ การเก็บค่ากำลังงานไฟฟ้าก็จะสามารถเก็บค่าได้เหมือนกับวิทยุรับส่งเดิม ซึ่งจะต้องทำการพัฒนากันอีกต่อไปเป็น

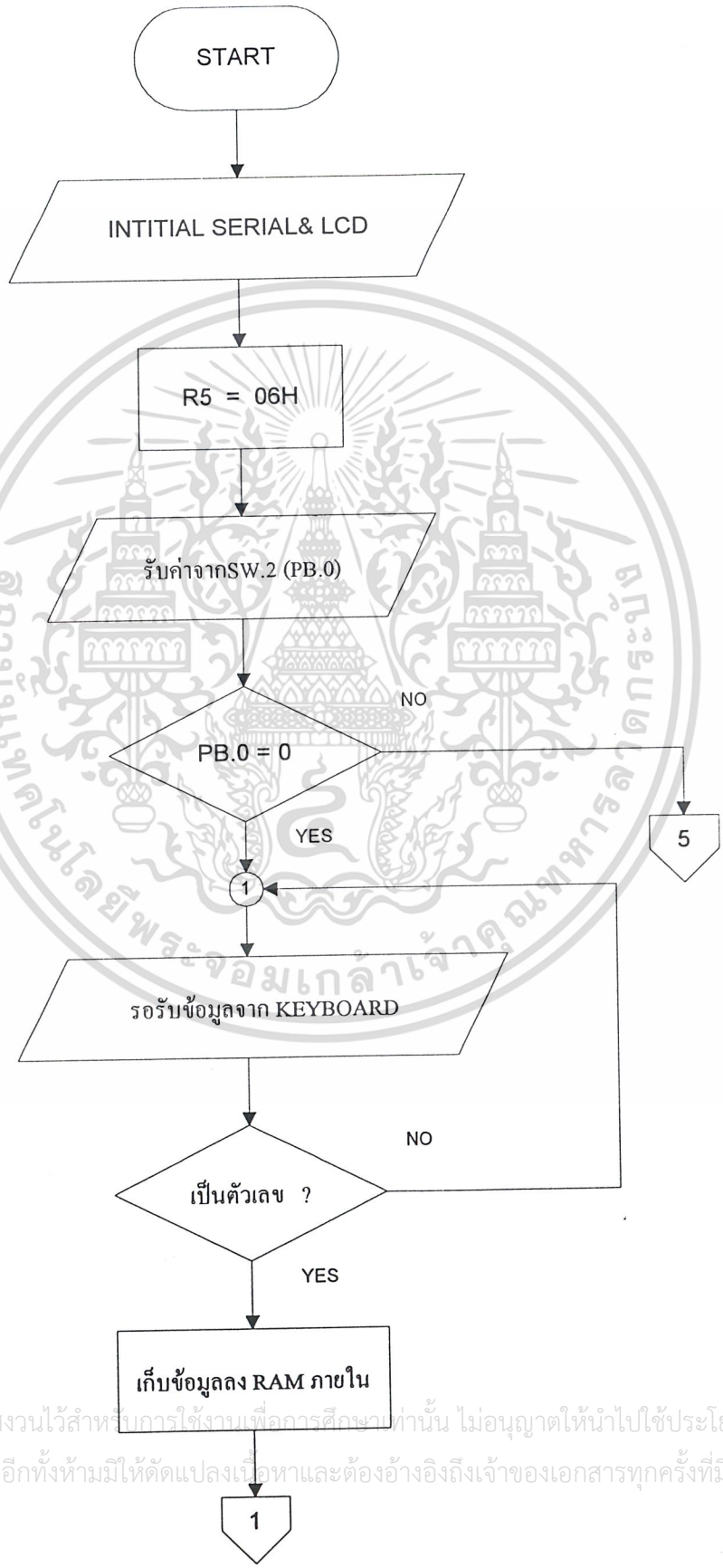
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

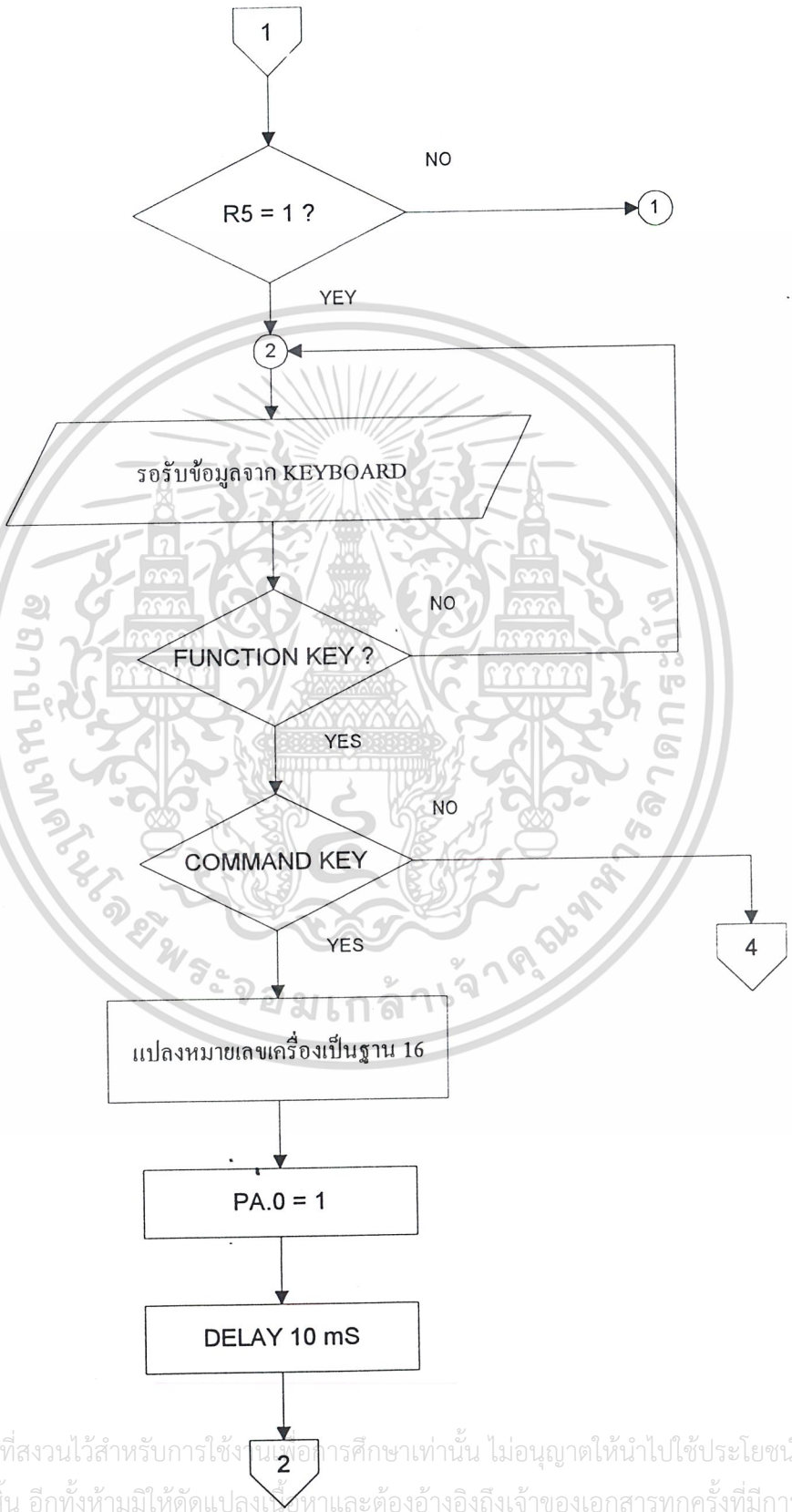
FLOW CHART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

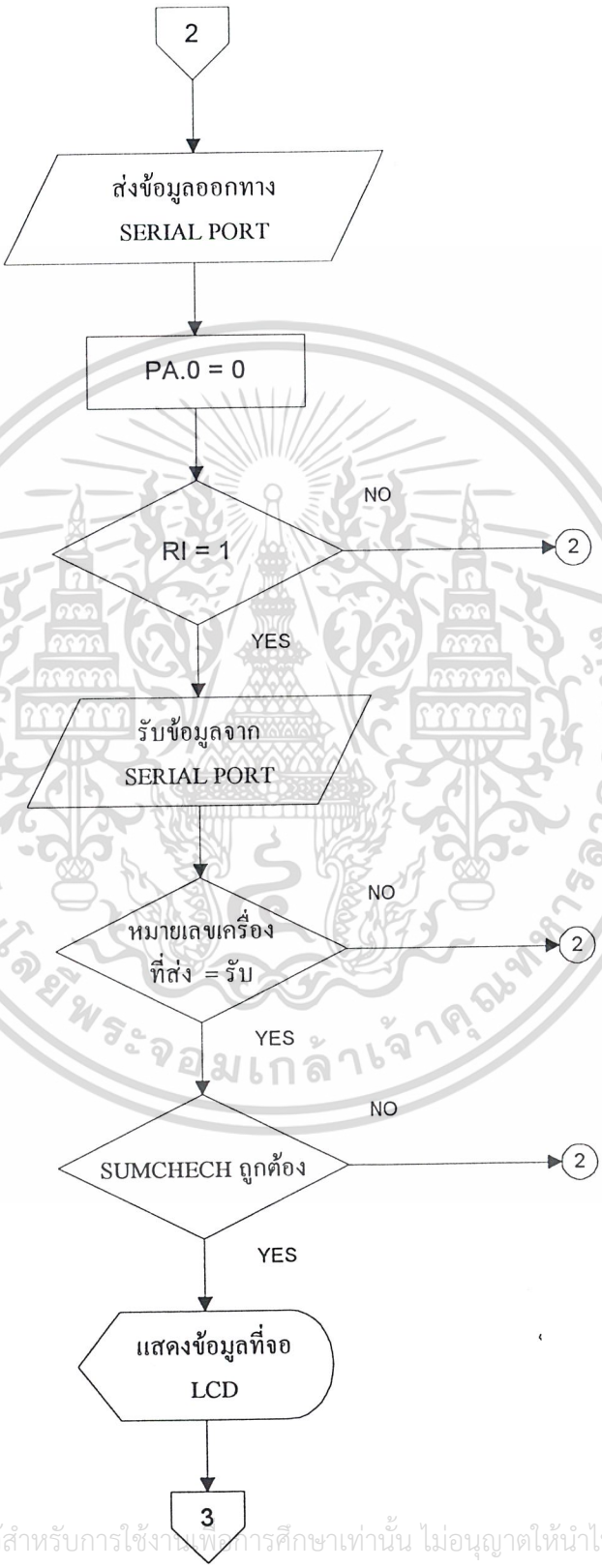
FLOWCHART ของโปรแกรมส่วน KEYBOARD



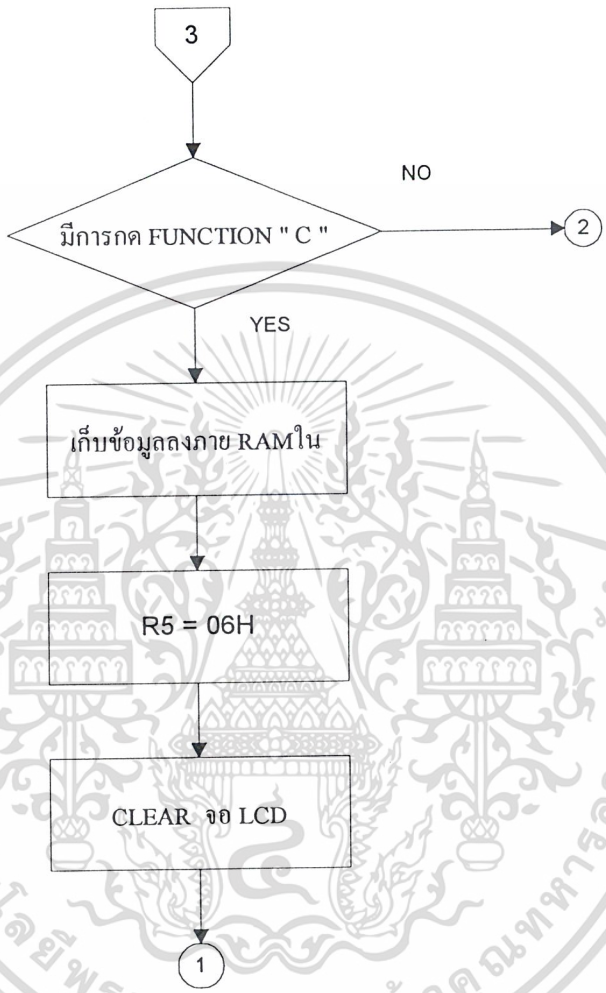
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



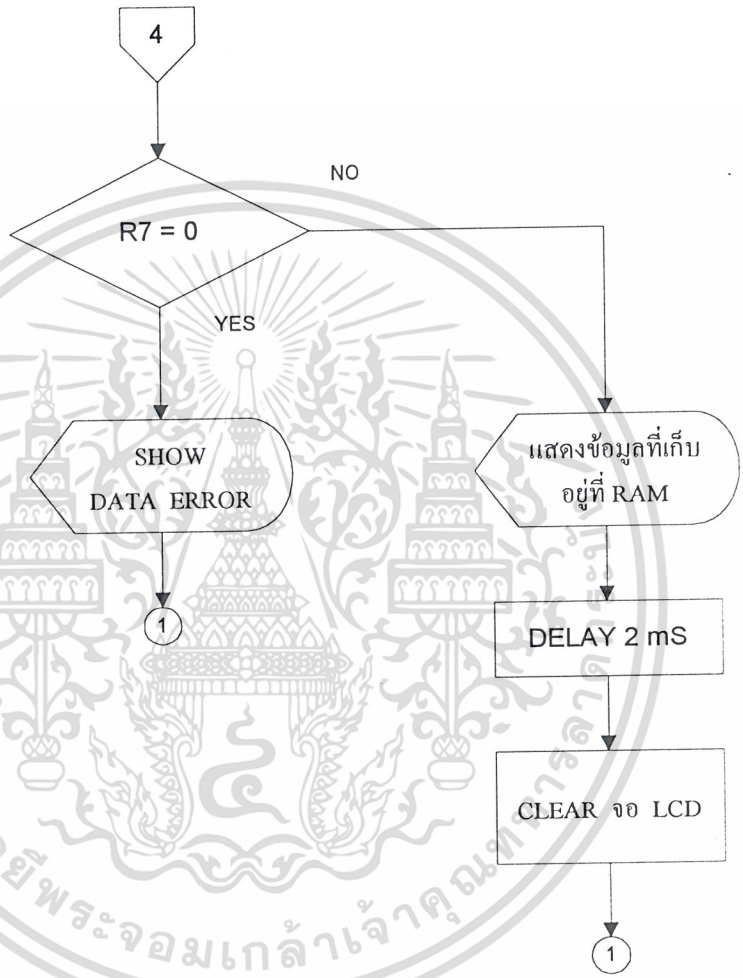
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



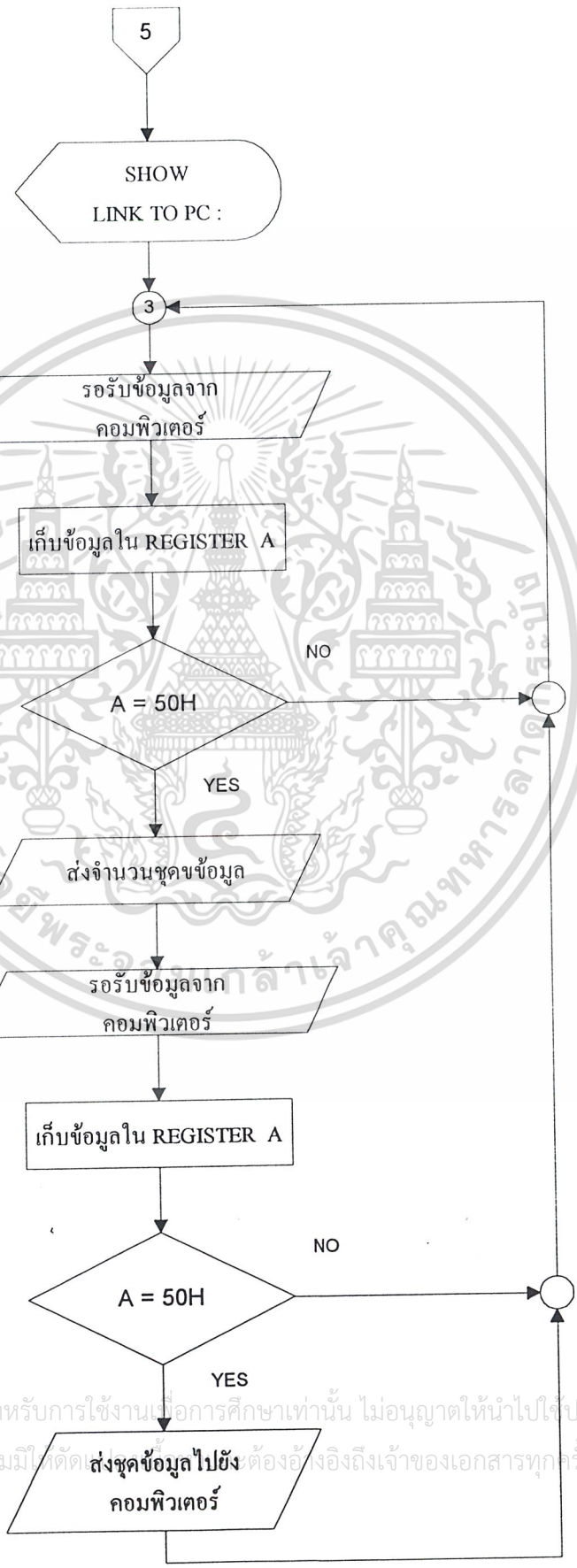
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

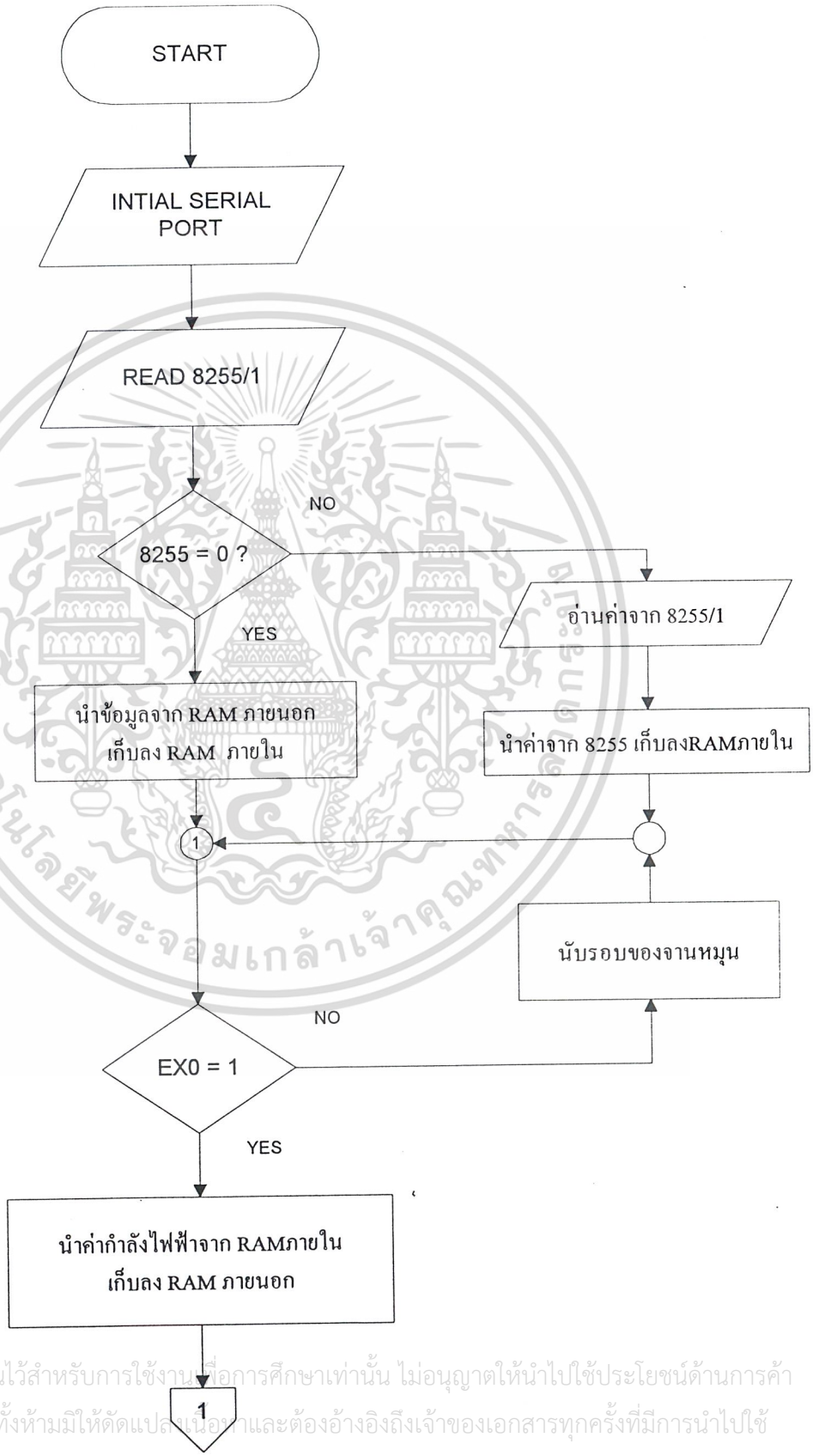


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



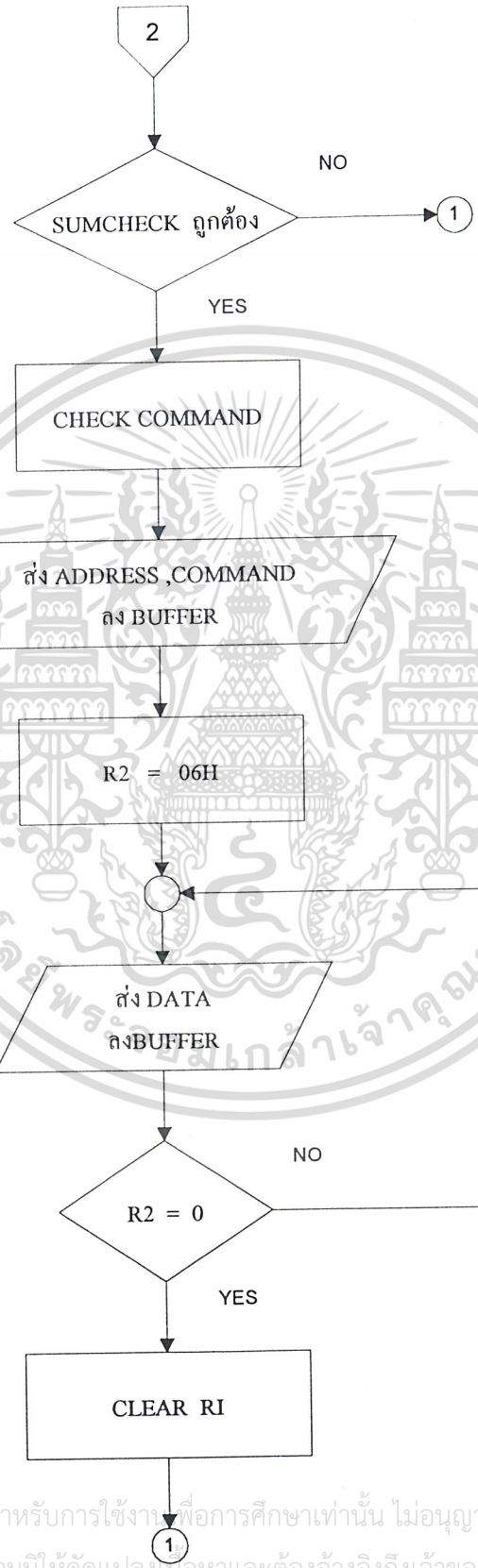
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWCHART ของโปรแกรมส่วน KILOWATT METER



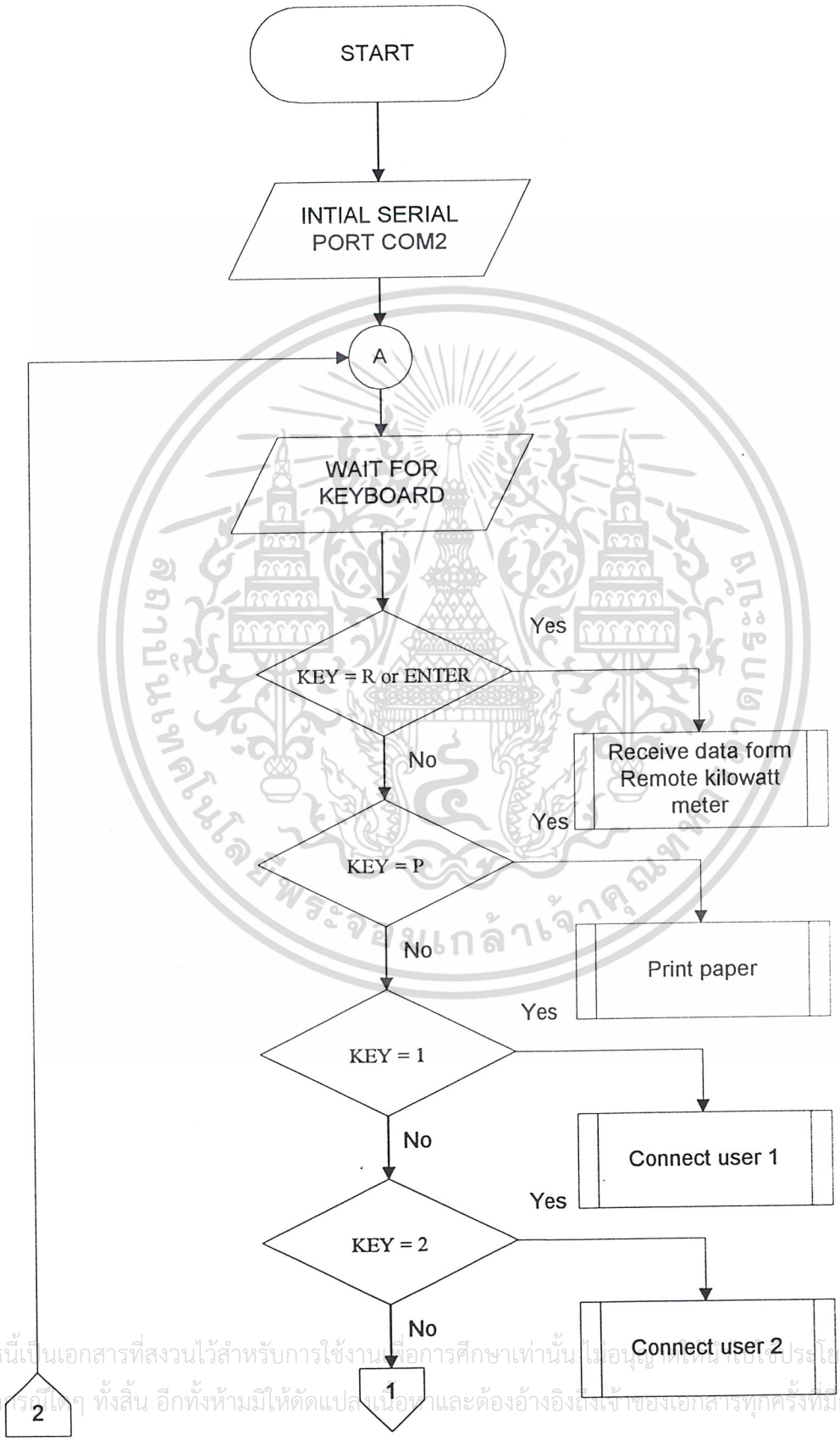
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

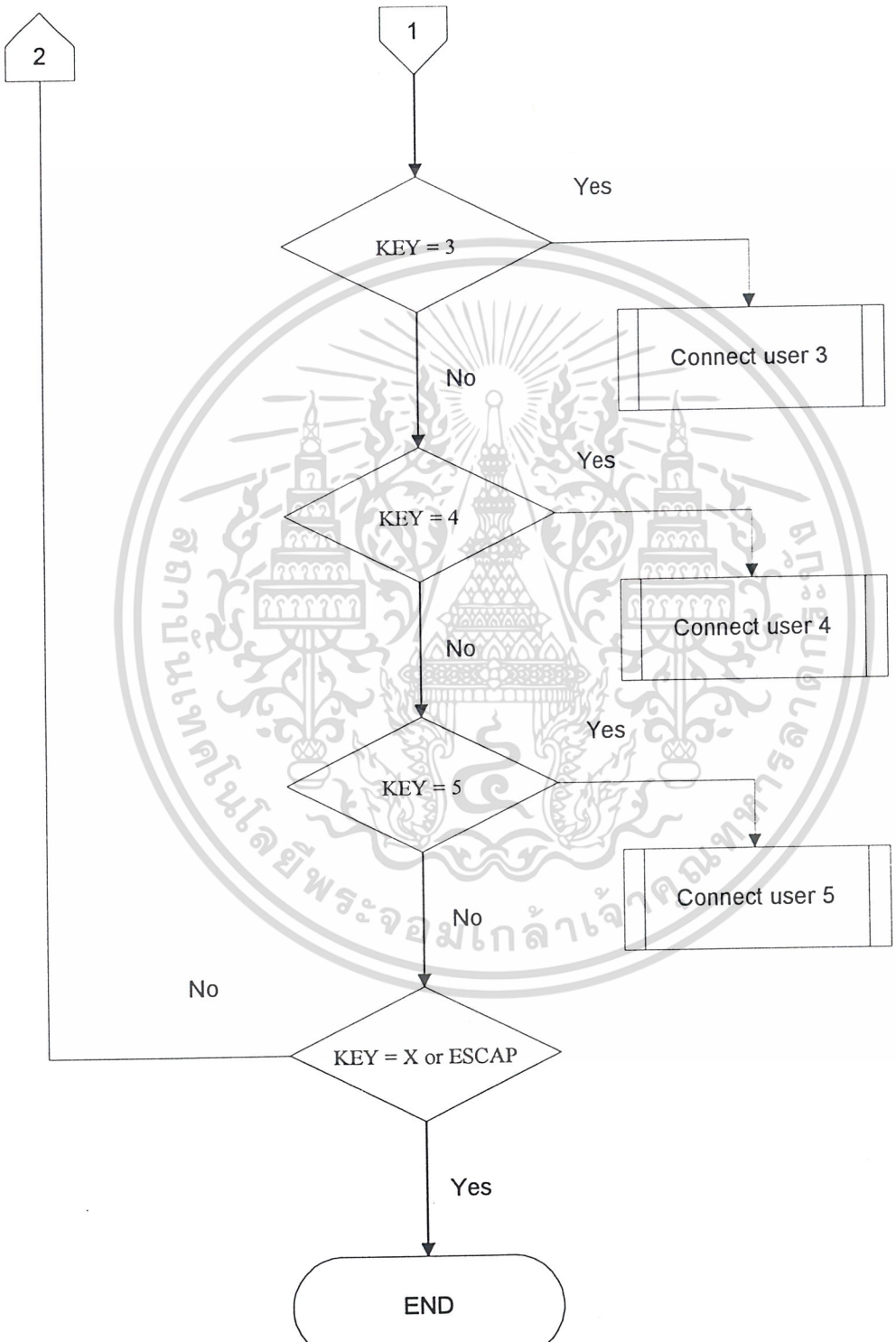


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

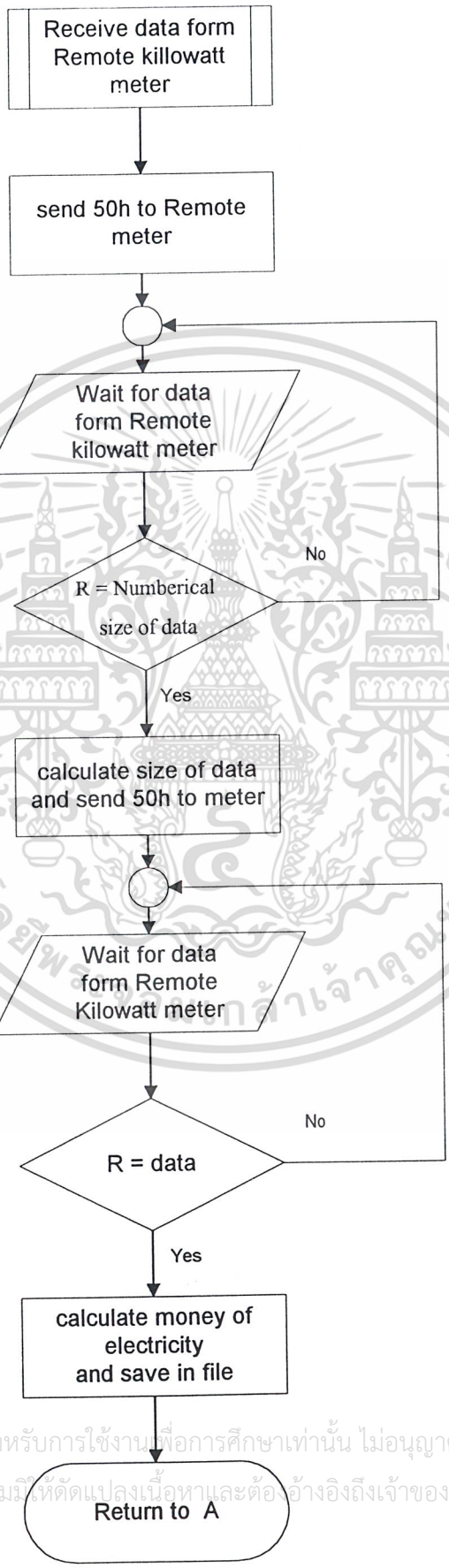
FLOWCHART ของโปรแกรมคำนวณค่าไฟฟ้า



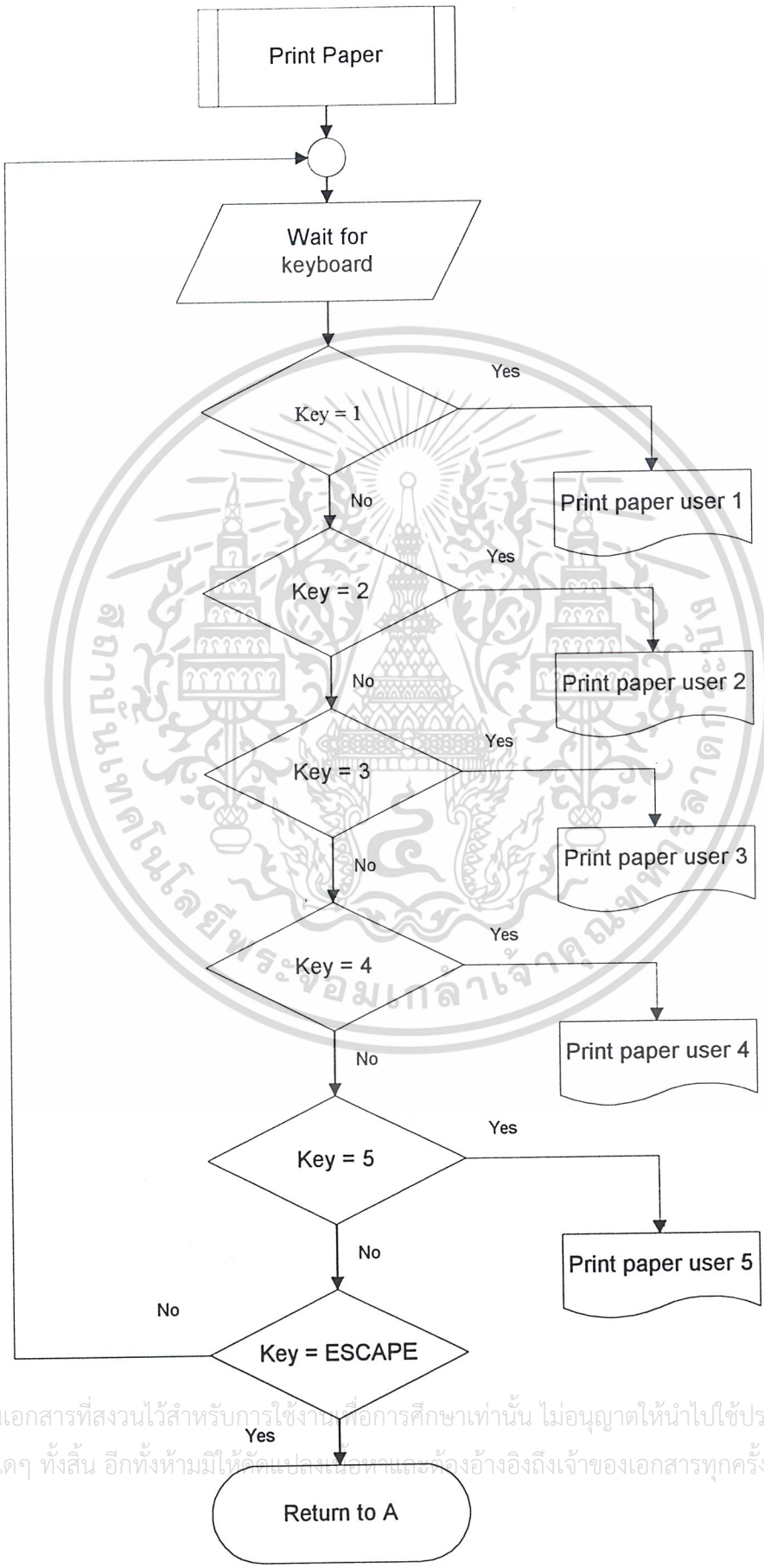
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



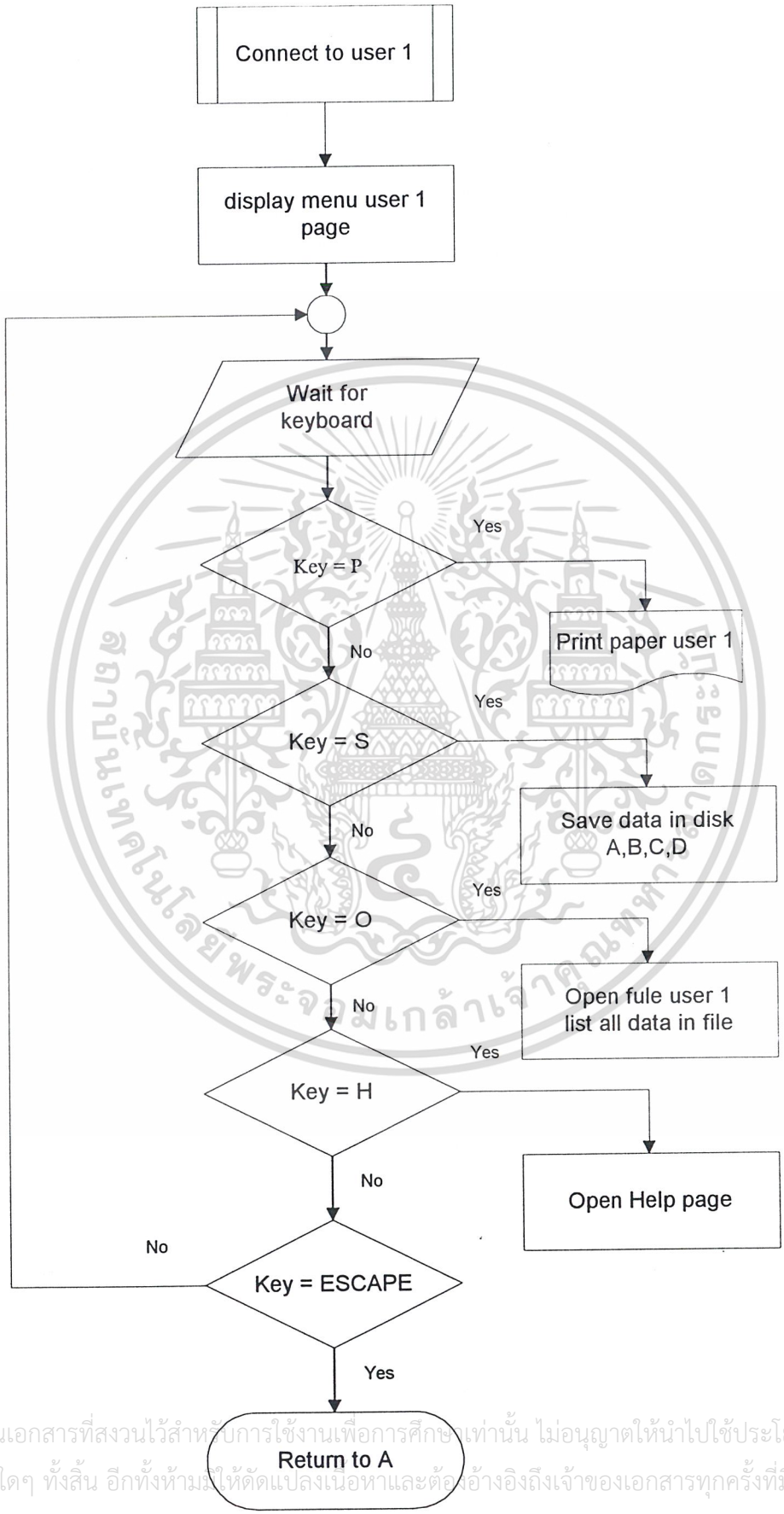
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



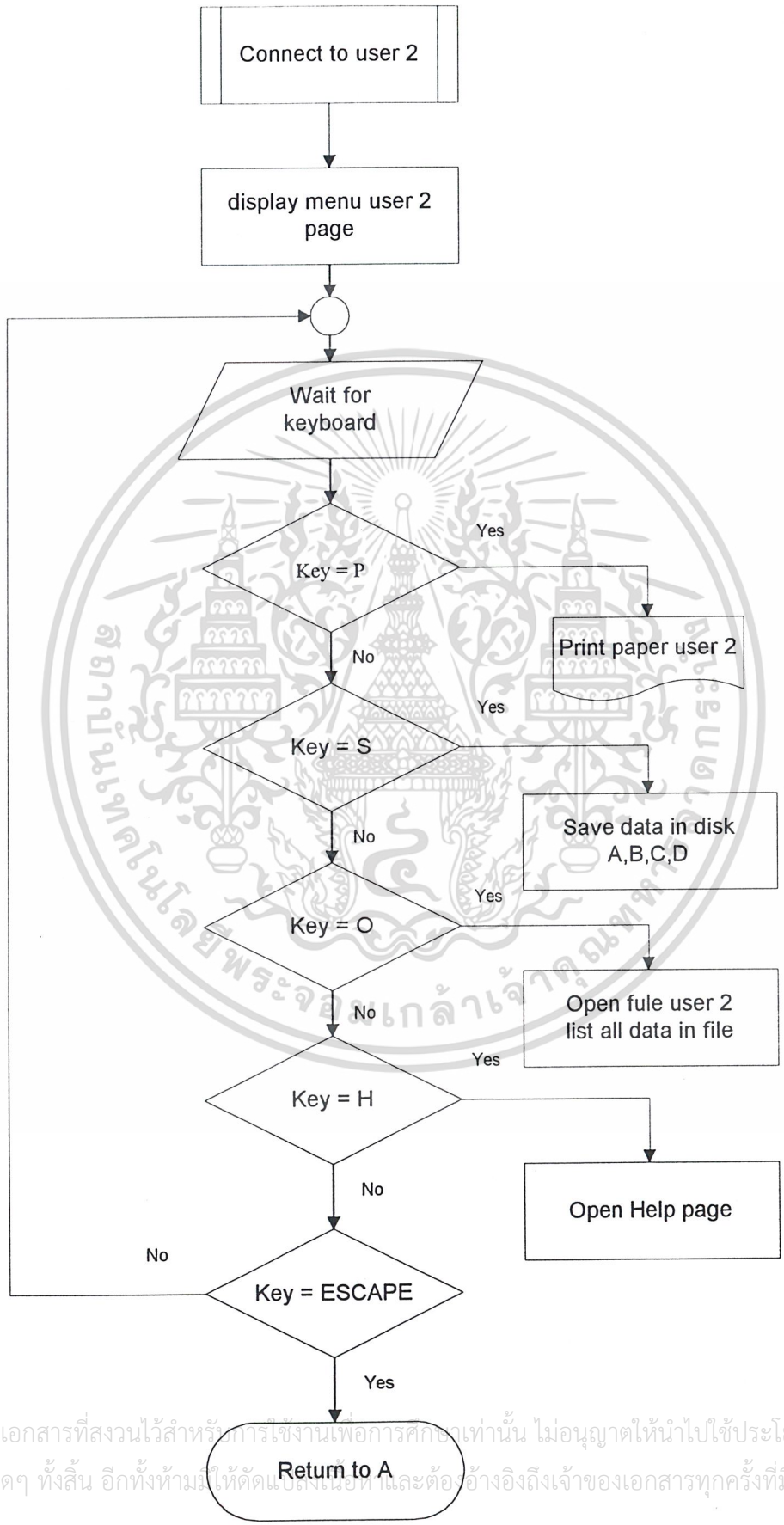
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



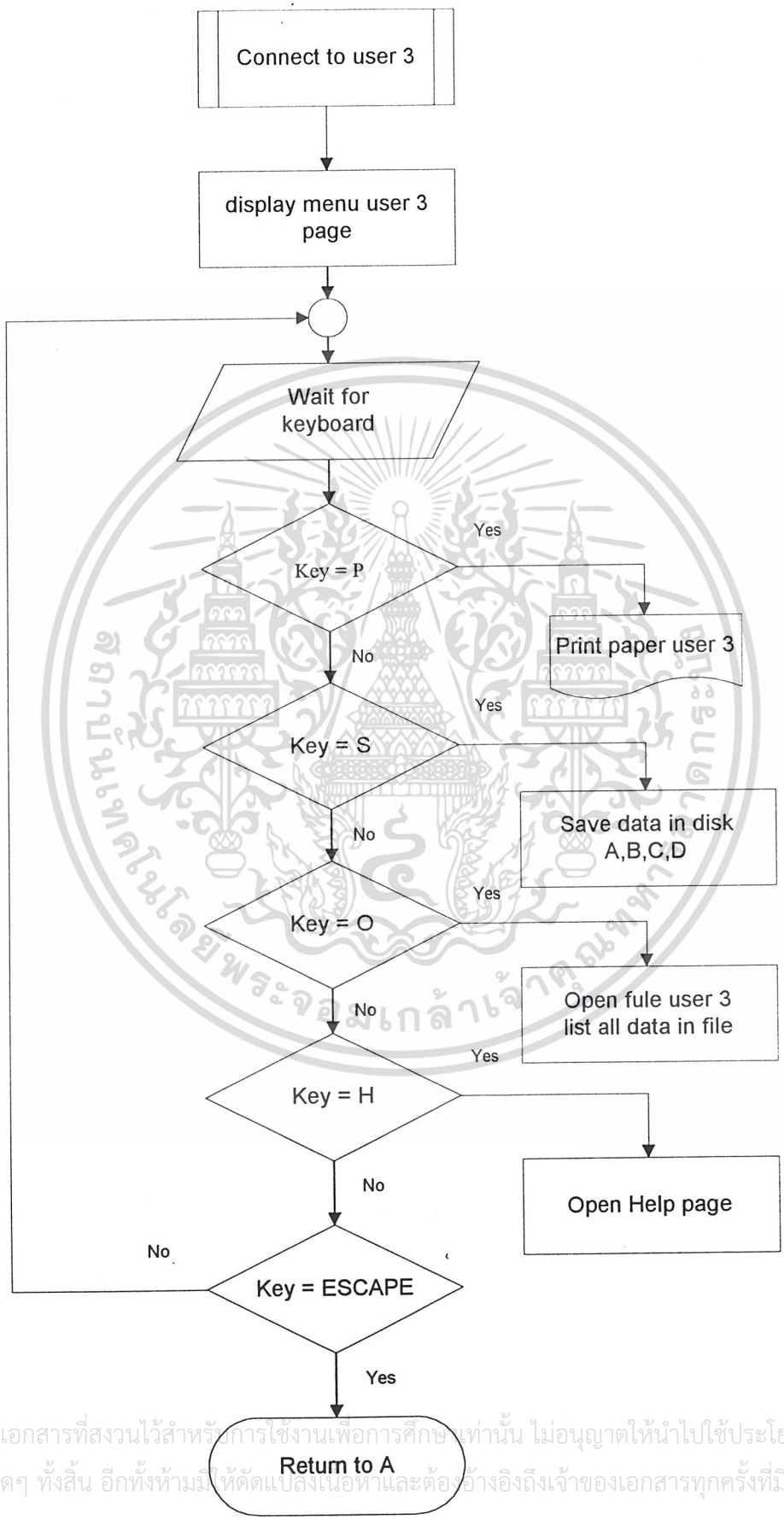
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



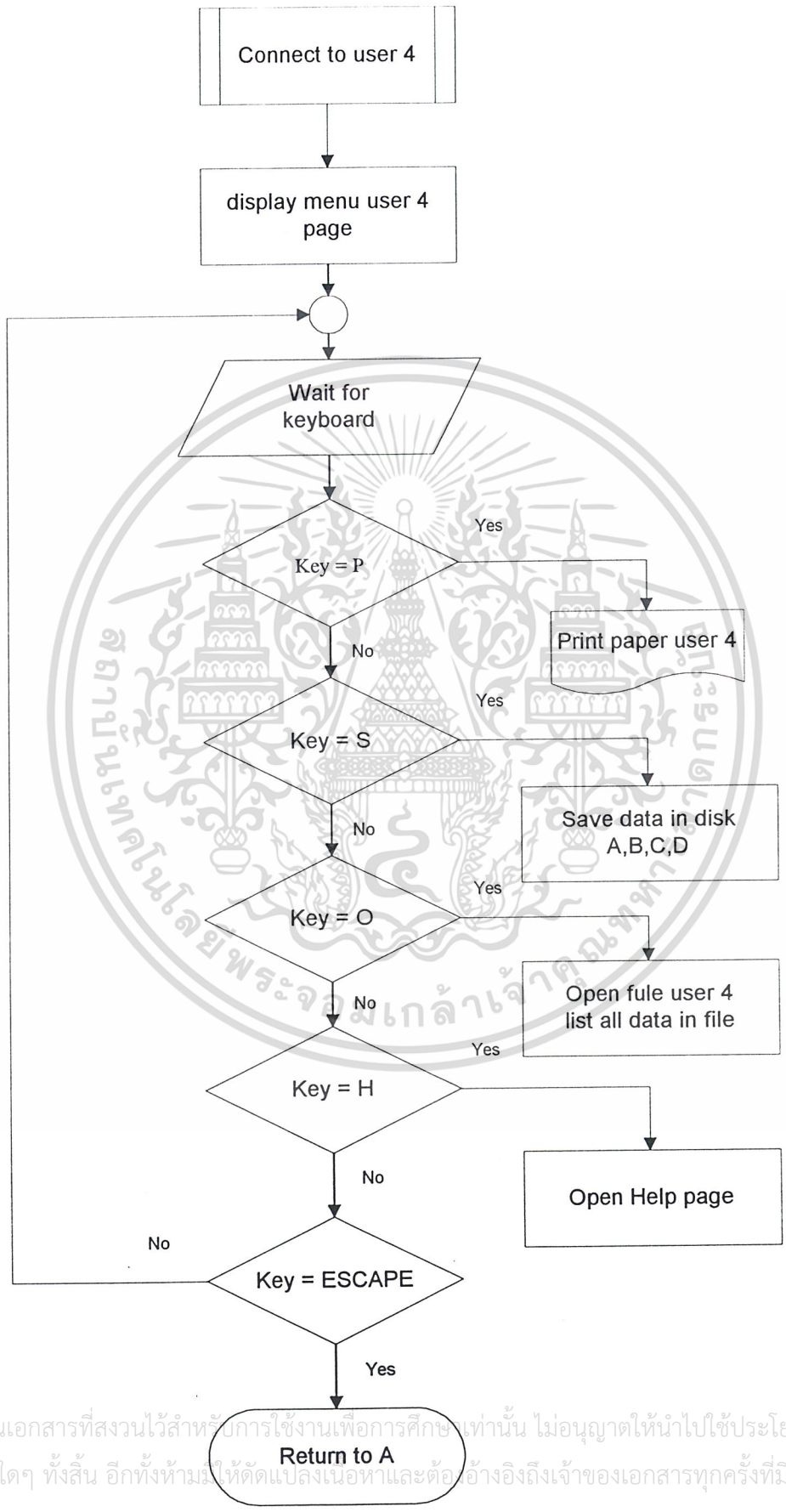
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



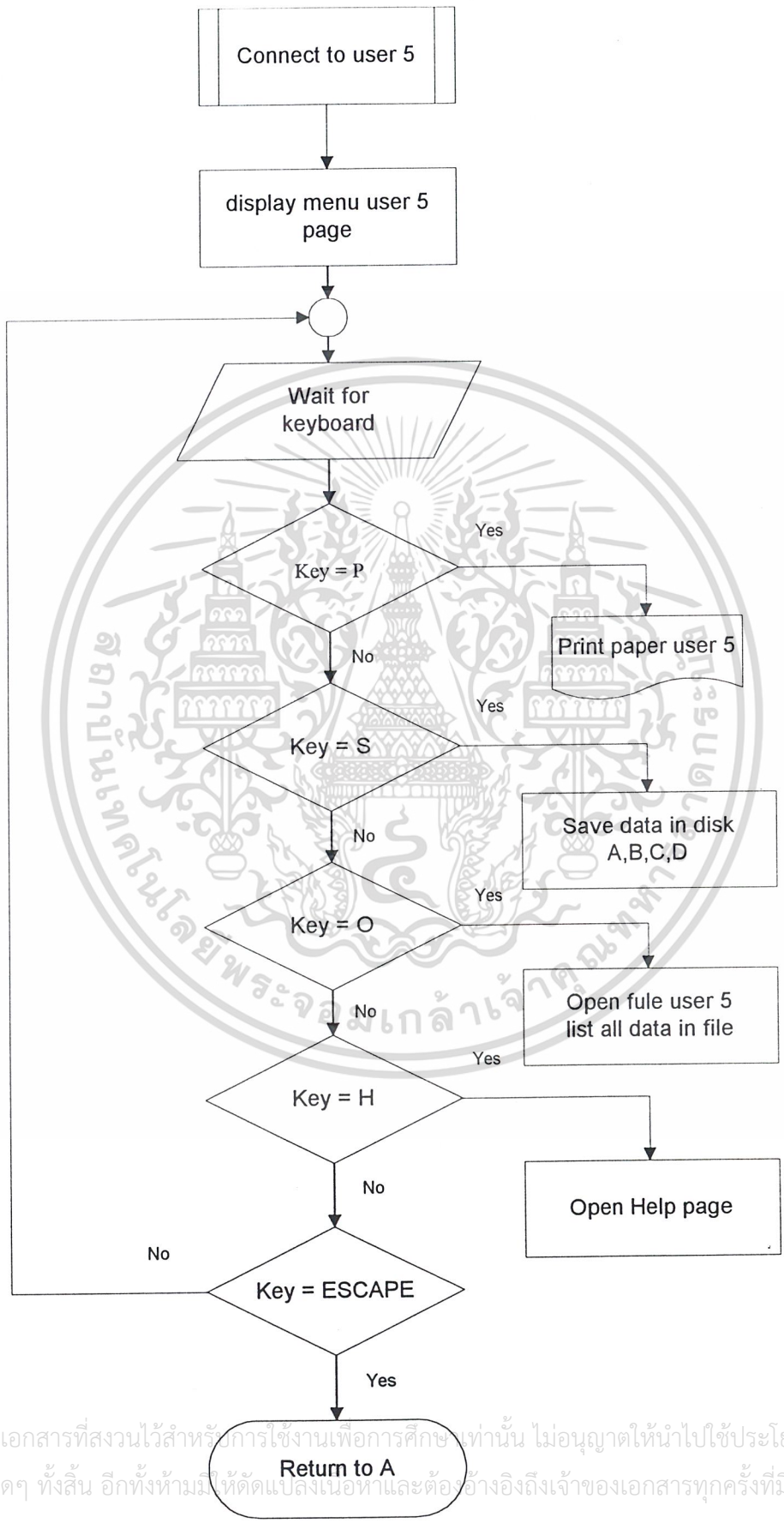
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

DATA SHEET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

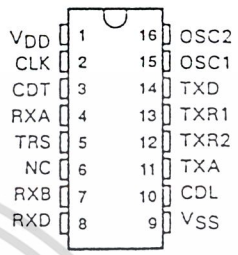
DATA SHEET

FSK TCM 3105

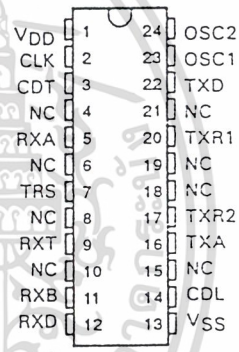
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Single-Chip Frequency-Shift-Keying (FSK) Modem
- Meets Both Bell 202 and CCITT V23 Specifications
- Transmit Modulation at 75, 150, 600, and 1200 Baud
- Receive Demodulation at 5, 75, 150, 600, and 1200 Baud
- Half-Duplex Operation Up to 1200 Baud Transmit and Receive
- Full-Duplex Operation Up to 1200 Baud Transmit and 150 Baud Receive
- On-Chip Group Delay Equalization and Transmit/Receive Filtering
- Carrier-Detect-Level Adjustment and Carrier-Fail Output
- Single 5-V Power Supply
- Low Power Consumption
- Reliable CMOS Silicon-Gate Technology

J OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



DW PACKAGE
(TOP VIEW)



NC—No internal connection

D packages are available taped and reeled. Add "R" suffix to device type (e.g., TCM3105DWLR)

Caution. These devices have limited built-in gate protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

description

The TCM3105 is a single-chip asynchronous Frequency Shift Keying (FSK) voiceband modem that uses silicon gate CMOS technology to implement a switched capacitor architecture. It is pin selectable (TXR1, TXR2, and TRS inputs) for a wide range of transmit/receive baud rates and is compatible with the applicable BELL 202 or CCITT V23 standards. Operation is fully reversible, thereby allowing both forward and backward channels to be used simultaneously.

The transmitter is a programmable frequency synthesizer that provides two output frequencies (on TXA), representing the 'marks' and 'spaces' of the digital signal present on the TXD input.

The receive section is responsible for the demodulation of the analog signal appearing at the RXA input and is based on the principle of frequency-to-voltage conversion. This section contains a group delay equalizer (to correct phase distortion), automatic gain control, carrier detect level adjustment, and bias distortion adjustment, thereby optimizing performance and giving the lowest possible bit error rate.

PRODUCTION DATA documents contain information current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1990, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

description (continued)

Carrier-detect information is given to the system by means of the carrier-detect circuits, which set a flag on the CDT output if the level of received in-band energy falls below a value set on the CDL input for a specified minimum duration.

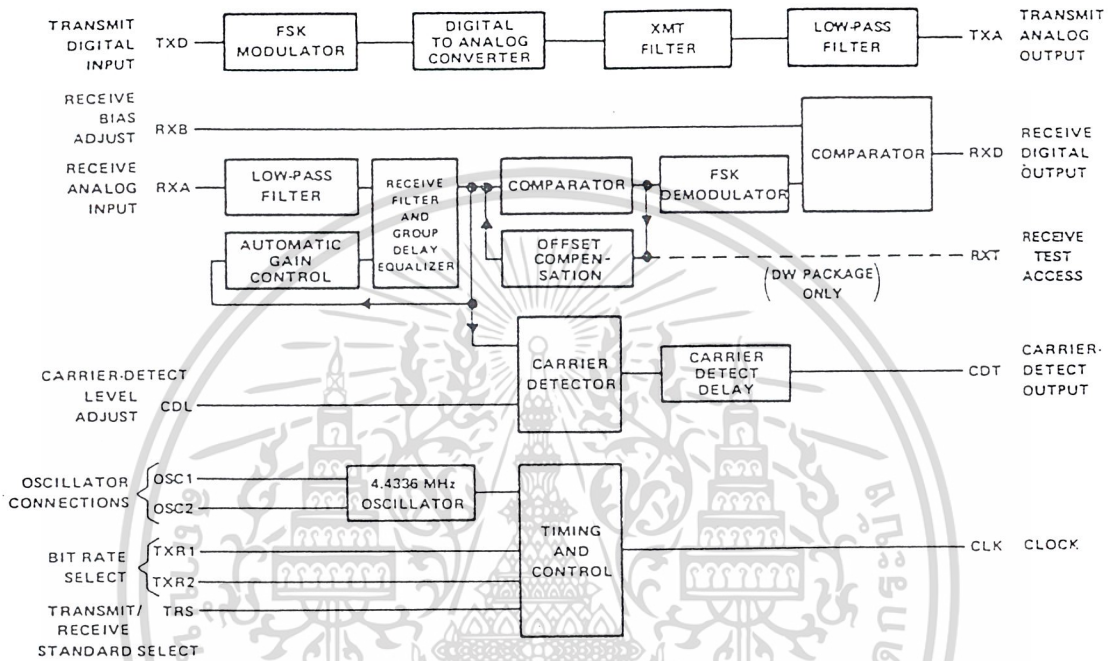
The TCM3105DWE, TCM3105JE, and TCM3105NE are characterized for operation from −40°C to 85°C. The TCM3105DWL, TCM3105JL, and TCM3105NL are characterized for operation from 0°C to 70°C.

TERMINAL FUNCTIONS

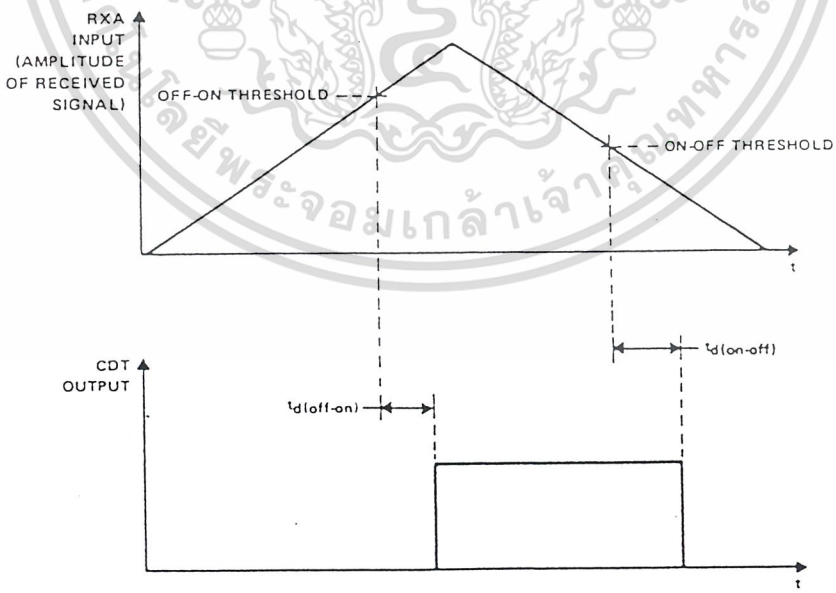
PIN NAME	PIN NO.		DESCRIPTION
	DW	J OR N	
CDL	14	10	Carrier Detect Level Adjust for external adjustment of carrier detect threshold
CDT	3	3	Carrier-Detect Output. A low-level output indicates carrier failure
CLK	2	2	Output for a continuous clock signal at 16 times the highest selected (transmit or receive) bit rate
NC	4, 6, 8, 10, 15, 18, 19, 21	6	No internal connection
OSC1	23	15	Oscillator connections. The crystal (typically 4.4336 MHz) is connected to these pins. If an external clock is used, OSC2 is left open and the clock is connected to OSC1.
OSC2	24	16	
RXA	5	4	Receive Analog Input to which the received line signal must be ac coupled
RXB	11	7	Receive Bias Adjust for external adjustment of the decision threshold of the final comparator to minimize bias distortion
RXD	12	8	Receiver Digital Output for the demodulated received data in positive logic. The high logic level is a mark and the low logic level is a space.
RXT	9	—	Receive test access. Output of limiter is available on this pin. (DW only)
TRS	7	5	Transmit/Receive Standard Select Input, which with TXR1 and TXR2, sets the standard bit rates and mark/space frequencies
TXA	16	11	Transmit Analog Output for the modulated signal, which must be ac coupled
TXD	22	14	Transmit Digital Input for input data to the transmitter in positive logic. The high logic level is a mark and the low logic level is a space. The data can be accepted at any speed from zero to the selected speed and may be totally asynchronous.
TXR1	20	13	Bit Rate Select 1 input, which, along with TXR2 and TRS, sets the bit rates and mark/space frequencies
TXR2	17	12	Bit Rate Select 2 input, which, along with TXR1 and TRS, sets the bit rates and mark/space frequencies
V_{DD}	1	1	Positive supply voltage
V_{SS}	13	9	Most negative supply voltage (normally ground); connected to substrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

functional block diagram



timing diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over free-air operating temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1) . . . . . −0.3 V to 10 V
Input voltage, V_I (any input) . . . . . −0.3 to V_{DD}
Operating free-air temperature range: TCM3105DWL, TCM3105JL, TCM3105NL . . . . . −10°C to 70°C
TCM3105DWE, TCM3105JE, TCM3105NE . . . . . −55°C to 85°C
Storage temperature range . . . . . −55°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: DW or N package . . . . . 260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: J package . . . . . 300°C

NOTE 1: All voltage values are with respect to V_{SS}.

recommended operating conditions

	TCM3105DWE, TCM3105JE, TCM3105NE			TCM3105DWL, TCM3105JL, TCM3105NL			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{DD}	4	5	5.5	4	5	5.5	V
High-level input voltage, V_{IH}	2		V_{DD}	2		V_{DD}	V
Low-level input voltage, V_{IL}	0		0.8	0		0.8	V
Analog input level, peak-to-peak (ac coupled)		0.30	0.78		0.30	0.78	V
Clock frequency, f_{clock}	4.4334	4.4336	4.4338	4.4334	4.4336	4.4338	MHz
Analog load impedance at TXA	50			50			kΩ
Operating free-air temperature range, T_A	−40		85	0		70	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS		TCM3105DWE, TCM3105JE, TCM3105NE			TCM3105DWL, TCM3105JL, TCM3105NL			UNIT
					MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
V_{OH}	High-level output voltage	RXD, CDT, CLK	I_{OH} = −100 µA		2.4		V_{DD}	2.4		V_{DD}	V
V_{OL}	Low-level output voltage	RXD, CDT, CLK	I_{OL} = 1.6 mA		V_{SS}		0.4	V_{SS}		0.4	V
	Analog output voltage level, peak-to-peak	TXA	V_{DD} = 4 V	R_L = 50 kΩ, C_L = 100 pF		1.55			1.55		V
			V_{DD} = 5 V		1.4	1.9	2.3	1.4	1.9	2.3	
			V_{DD} = 5.5 V			2.1			2.1		
	Adjust voltage	RXB	V_{DD} = 5 V		2.3	2.7	3.1	2.3	2.7	3.1	V
		CDL			2.8	3.3	3.9	2.8	3.3	3.9	
	Analog output dc offset	TXA				$V_{DD}/2$			$V_{DD}/2$		V
	Digital input current	TXD, TRS, TXR1, TXR2	V_I = 0 to V_{DD}				±1			±1	µA
	Analog input current	RXA					±15			±15	µA
	Bias input current	RXB, CDL	V_I = 3 V				±150			±150	µA
I_{DD}	Supply current		V_{DD} = 4 V			3	6		3	5	mA
			V_{DD} = 5 V			5	10		5	8	
			V_{DD} = 5.5 V			8	16		8	12	
C_I	Input capacitance, all inputs		f = 1 MHz			10			10		pF
C_o	Output capacitance, all inputs		f = 1 MHz			10			10		pF
	Phase jitter						200			200	µs
	Bias distortion‡						±15%			±15%	
	Carrier detect threshold, off-on§				−45.5		−43	−45.5		−43	dBm
	Carrier detect threshold, on-off§				−48		−45.5	−48		−45.5	dBm
	Carrier detect hysteresis				2.5	2.8		2.5	2.8		dBm

†All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
‡Bias distortion is the departure from a 50% duty cycle when a series of alternating mark and space tones is received.
§This is the threshold with the CDL input properly adjusted.

switching characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TCM3105DWE, TCM3105JE, TCM3105NE			TCM3105DWL, TCM3105JL, TCM3105NL			UNIT
			MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
$t_{d(off-on)}$	Carrier detect off-to-on delay time	RX = 600 or 1200 b/s	12		25	12		25	ms
		RX = 5, 75, or 150 b/s	48		80	48		80	
$t_{d(on-off)}$	Carrier detect on-to-off delay time	RX = 600 or 1200 b/s	12		20	12		20	ms
		RX = 5, 75, or 150 b/s	48		75	48		75	
	Transmit frequency deviation from assignment (see Table 1)	f_{clock} = 4.4336 MHz		±1			±1		Hz

†All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

PRINCIPLES OF OPERATION

The TCM3105 FSK modem is made up of four functional circuits. The circuits are the transmitter, the receiver, a carrier detector, and control and timing (See Figure 1).

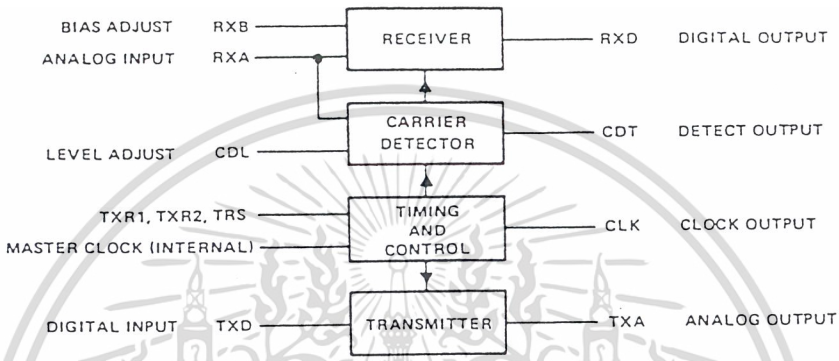


FIGURE 1. TCM3105 SYSTEM PARTITIONING

transmitter

The transmitter comprises a phase coherent FSK modulator, a transmit filter, and a transmit amplifier. The modulator is a programmable frequency synthesizer that drives the output frequencies by variable division of the oscillator frequency (4.4336 MHz). The division ratio is set by the states of the Transmit/Receive Standard input (TRS), the Bit Rate Select inputs (TXR1 and TXR2), and the Digital Data input (TXD).

A switched-capacitor low-pass filter limits the harmonics and noise outside the transmit band and the characteristics of this filter are set by the frequency select inputs as previously described. The harmonics introduced by the transmit filter clock are removed by a continuous low-pass filter.

The transmitter output level varies with power supply voltage and so must be compensated in the 2-wire to 4-wire converter to give a constant output level to the line.

receiver

A continuous low-pass anti-aliasing filter is followed by the receive amplifier, which automatically controls the gain to give a constant output level from the receive filter. The receive filter limits the bandwidth of the signal presented to the demodulator, reducing out-of-band interference, and has very high rejection of the transmit channel frequencies. These are typically present at much higher levels than the received signal.

The group delay equalizer is a switched-capacitor network that compensates the delay introduced by the receive filter and the network. The output from the equalizer is then limited to give an FSK modulated squarewave that is presented to the demodulator.

The demodulator is an edge-triggered multivibrator that triggers off positive and negative going edges. The output of the demodulator is, therefore, a stream of constant-length pulses at a frequency that is double the frequency of the limited input signal. The dc component of this signal is proportional to the received frequency and is extracted by a switched-capacitor, low-pass, post-demodulator filter.

The variation of dc level with received frequency is presented to a comparator that slices at a level externally fixed by the RXB bias adjustment pin. This voltage depends on received bit rate and internal offsets. The comparator output is then the received data at the RXD output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

carrier detect

The carrier detect circuits comprise an energy detector and digital delay. The energy detector compares the total signal level at the output of the receive filter to an externally set threshold level on the CDL input. The comparator has a 2.5-dB hysteresis and a delay to allow for momentary signal loss and to prevent oscillation. The output of the detector is available on the CDT pin where a high level indicates that a carrier is present. The data output is clamped to a MARK condition when the carrier detect output switches off at the end of transmission.

control and timing

An on-chip oscillator runs from an external 4.4336-MHz crystal connected between the OSC1 and OSC2 pins or an external signal driving OSC1. A clock signal equal to 16 times the highest selected bit rate (transmit or receive) is available on the CLK output.

The single-supply rail means that all analog functions are referenced to an internally generated reference. All analog inputs and output must be ac coupled.

transmit and receive modes

The various modes of operation of the TCM3105 are given in Table 1. The data convention is that a logic high is a mark and a logic low is a space.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1. MODES OF OPERATION

STANDARD	TRS	TXR1	TXR2	TRANSMITTED BAUD RATE	RECEIVED BAUD RATE	TRANSMIT FREQUENCY ASSIGNMENTS (Hz)	RECEIVE FREQUENCY ASSIGNMENTS (Hz)	CLK FREQUENCY (kHz)
CCITT V.23	L	L	L	1200	1200	M 1300 S 2100	M 1300 S 2100	19.11
	H	L	L	1200	75	M 1300 S 2100	M 390 S 450	19.11
	L	L	H	600	75	M 1300 S 1700	M 390 S 450	9.56
	H	L	H	600	600	M 1300 S 1700	M 1300 S 1700	9.56
	L	H	L	75	1200	M 390 S 450	M 1300 S 2100	19.11
	H	H	L	75	600	M 390 S 450	M 1300 S 1700	9.56
	L	H	H	75	75	M 390 S 450	M 390 S 450	1.19
BELL 202	$\overline{CLK}$	L	L	1200	1200	M 1200 S 2200	M 1200 S 2200	19.11
	$\overline{CLK/8}$	L	H	1200	150	M 1200 S 2200	M 387 S 487	19.11
	$\overline{CLK/8}$	L	H	1200	5	M 1200 S 2200	M 387 S 0	19.11
	CLK	H	L	150	1200	M 387 S 487	M 1200 S 2200	19.11
	CLK	H	H	150	150	M 387 S 487	M 387 S 487	2.39
	CLK†	H†	L†	5	1200	M 387 S 0	M 1200 S 2200	19.11
	H†	H†	H†					
	H	H	H	Transmit Disabled	1200	Transmit Disabled	M 1200 S 2200	19.11

H = high level, L = low level
†In these modes, the modulation is controlled by the TRS and TXR2 pins. TXD is tied high.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

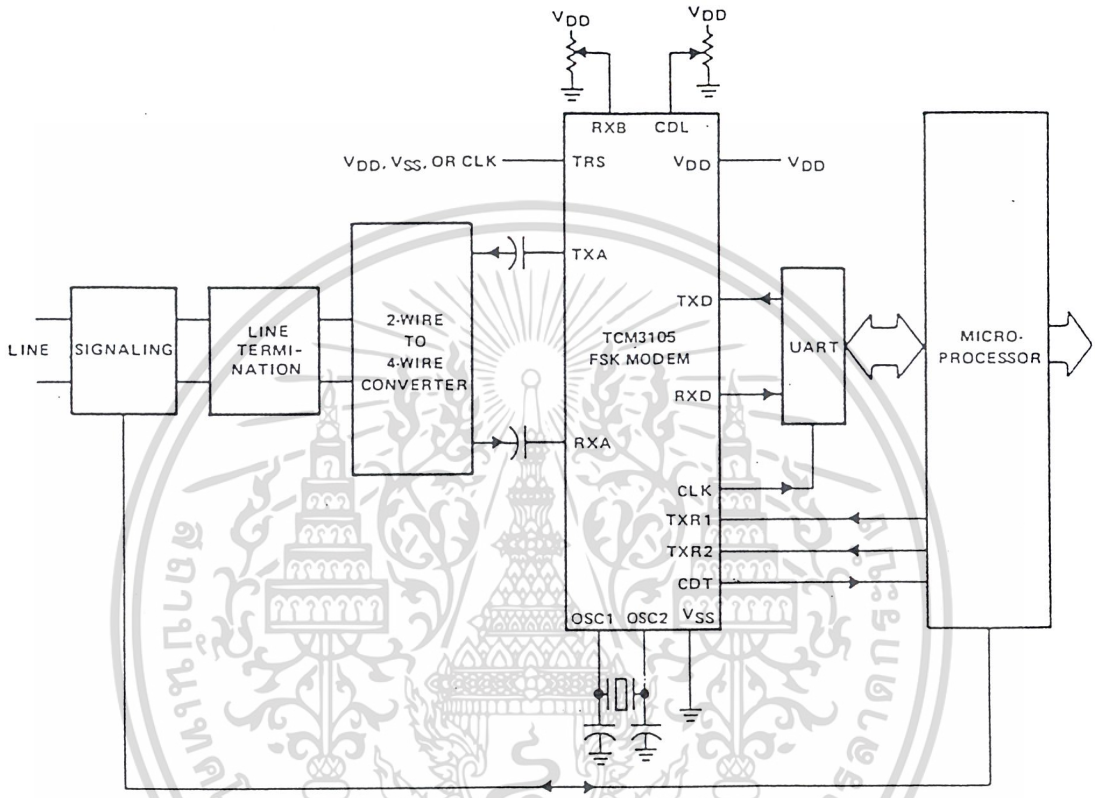


FIGURE 2. TYPICAL SYSTEM CONFIGURATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

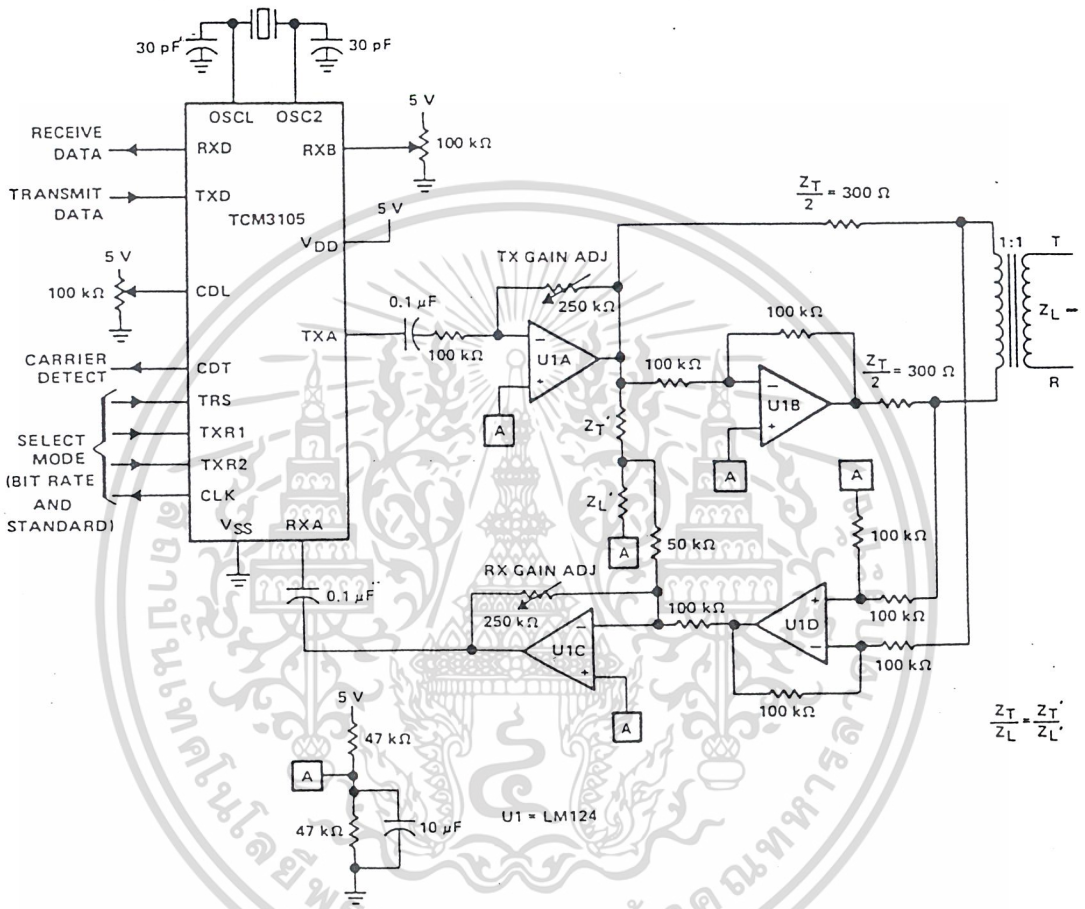


FIGURE 3. TELEPHONE LINE INTERFACE CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

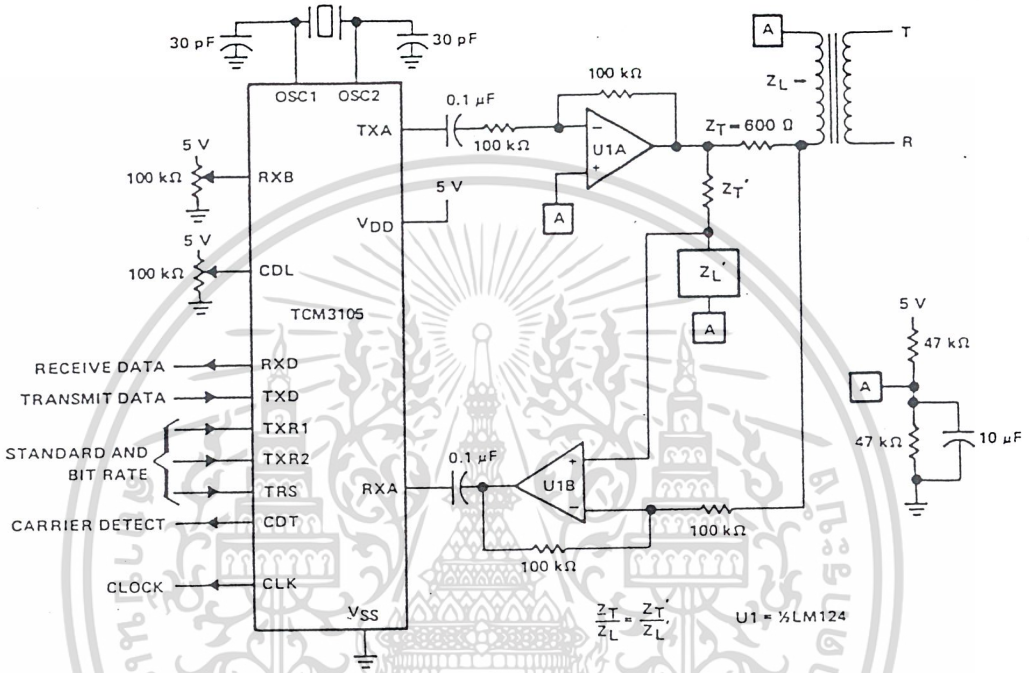


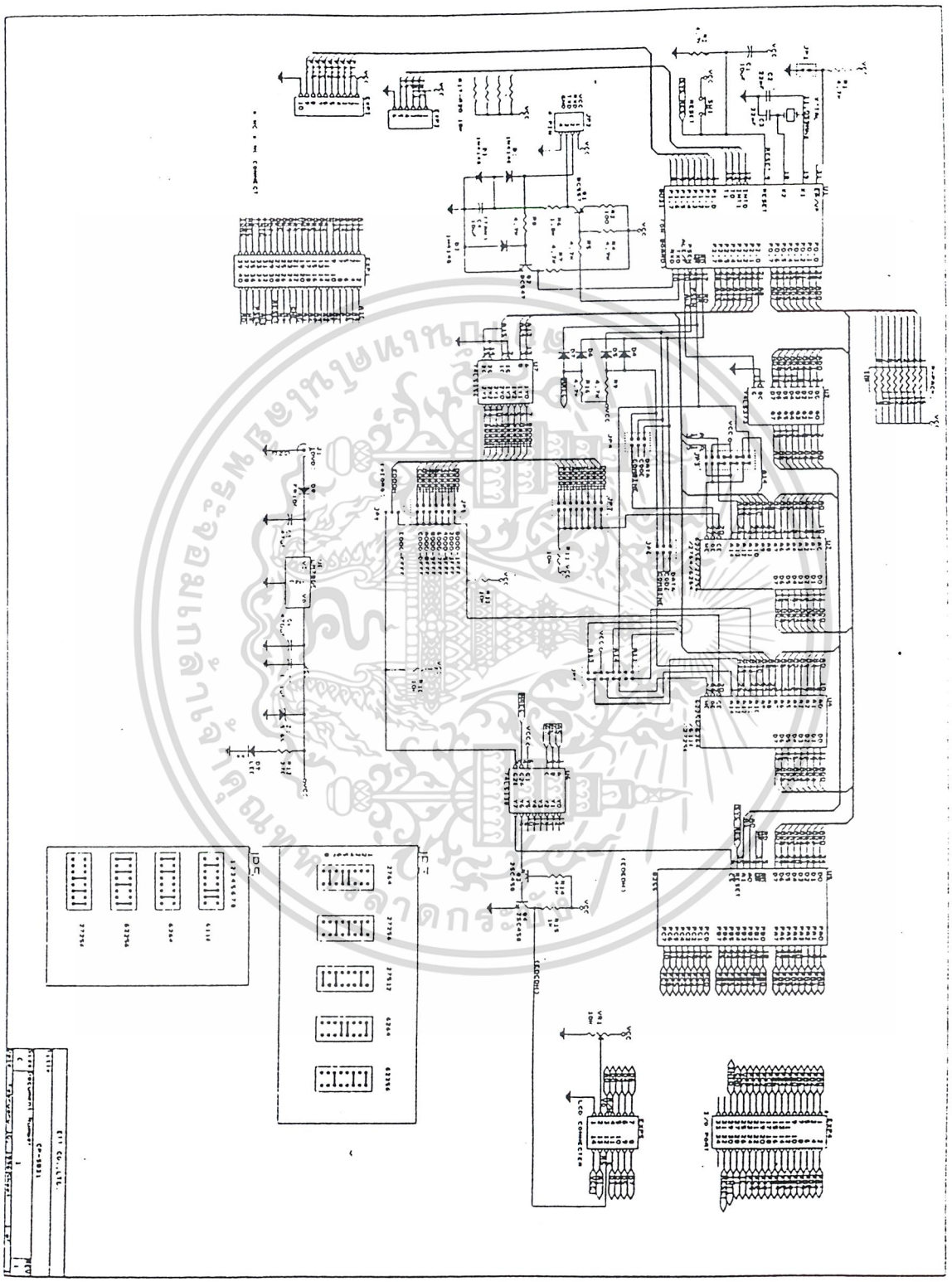
FIGURE 4. SIMPLIFIED TELEPHONE LINE INTERFACE CIRCUIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

CP - SB31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UMC

UM82C55A

CMOS Programmable Peripheral Interface

Features

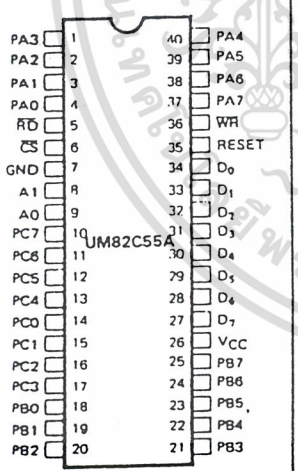
- Pin compatible with NMOS 8255A
- 24 programmable I/O pins
- Fully TTL compatible
- Bus hold circuitry on all I/O ports eliminates pull-up resistors
- High speed, no "wait state" operation with 8MHz 80C86
- Direct bit set/reset capability
- Enhanced control word read capability
- Single 5V power supply
- 2.5mA drive capability on all I/O port outputs
- Low standby power $-I_{CCSB} = 10\mu A$

General Description

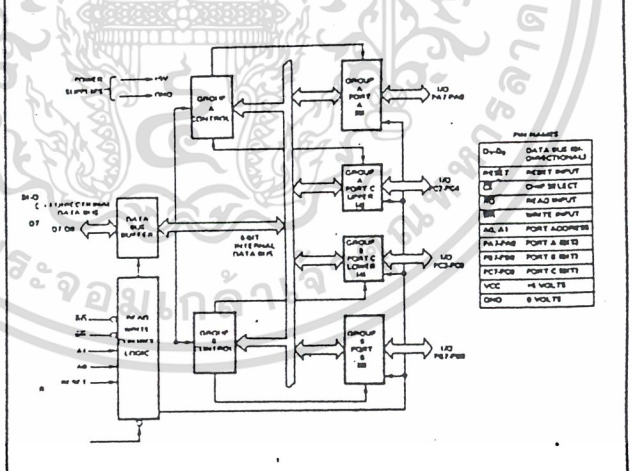
The UM82C55A is a high performance CMOS version of the industry standard 8255A and is manufactured using a selfaligned silicon gate CMOS process. It is a general purpose programmable I/O device which may be used with many different microprocessors. There are 24 I/O pins which may be individually programmed in 2 groups of 12 and used in 3 major modes of operation. The high performance of the UM82C55A make it compatible with microprocessors such as the 8086, 8048, 8051.

Static CMOS circuit design insures low operating power. TTL compatibility of $V_{IH} = 2.0$ volts over the industrial temperature range and bus hold circuitry eliminate the need for pull-up resistors.

Pin Configuration



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

Data Bus Buffer
This 3-state bidirectional 8-bit buffer is used to interface the UM82C55A to the system data bus. Data is transmitted or received by the buffer upon execution of input or output instructions by the CPU. Control words and status information are also transferred through the data bus buffer.

Read/Write and Control Logic
The function of this block is to manage all of the internal and external transfers of both Data and Control or Status words. It accepts inputs from the CPU Address and Control busses and in turn, issues commands to both of the Control Groups.

($\overline{CS}$)
Chip Select. A "low" on this input pin enables the communication between the UM82C55A and the CPU.

($\overline{RD}$)
Read. A "low" on this input pin enables the UM82C55A to send the data or status information to the CPU on the data bus. In essence, it allows the CPU to "read from" the UM82C55A.

($\overline{WR}$)
Write. A "low" on this input pin enables the CPU to write data or control words into the UM82C55A.

(A_0 and A_1)
Port Select 0 and Port Select 1. These input signals, in conjunction with the $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$ inputs, control the selection of one of the three ports or the control word registers. They are normally connected to the least significant bits of the address bus (A_0 and A_1).

UM82C55A BASIC OPERATION

A	A_1	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$\overline{CS}$	Input Operation (Read)
0	0	0	1	0	Port A → Data Bus
0	1	0	1	0	Port B → Data Bus
1	0	0	1	0	Port C → Data Bus
1	1	0	1	0	Control Word → Data Bus
					Output Operation (Write)
0	0	1	0	0	Data Bus → Port A
0	1	1	0	0	Data Bus → Port B
1	0	1	0	0	Data Bus → Port C
1	1	1	0	0	Data Bus → Control
					Disable Function
x	x	x	x	1	Data Bus → 3-State
x	x	1	1	0	Data Bus → 3-State

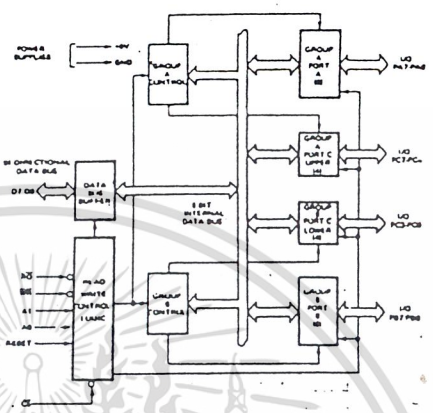


Figure 1. UM82C55A Block Diagram Data Bus Buffer and Read/Write Control Logic Functions

(Reset)
Reset. A "high" on this input clears the control register and all ports (A, B, C) are set to the input mode. "Bus hold" devices internal to the UM82C55A will hold the I/O port inputs to a logic "1" state with a maximum hold current of 300 μA.

Group A and Group B Controls
The functional configuration of each port is programmed by the systems software. In essence, the CPU "outputs" a control word to the UM82C55A. The control word contains information such as "mode", "bit set", "bit reset", etc., that initializes the functional configuration of the UM82C55A.

Each of the Control blocks (Group A and Group B) accepts "commands" from the Read/Write Control Logic, receives "control words" from the internal data bus and issues the proper commands to its associated ports.

Control Group A – Port A and Port C upper (C7-C4)
Control Group B – Port B and Port C lower (C3-C0)

The control word register can be both written and read as shown in the "Basic Operation" table. Figure 4 shows the control word format for both Read and Write operations. When the control word is read, bit D7 will always be a logic "1", as this implies control word mode information.

Ports A, B and C
The UM82C55A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All can be configured to a wide variety of functional characteristics by the system software but each has its own special features or "personality" to further enhance the power and flexibility of the UM82C55A.

Port A — One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input latch. Both "pull-up" and "pull-down" bus-hold devices are present on Port A.

General Purpose Peripheral IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Port B One 8-bit data input/output latch/buffer and one 8-bit data input buffer.

Port C One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input buffer (no latch for input)x This port can be divided into two 4-bit ports under the mode control. Each 4-bit port contains a 4-bit latch and it can be used for the control signal outputs and status signal inputs in conjunction with ports A and B.

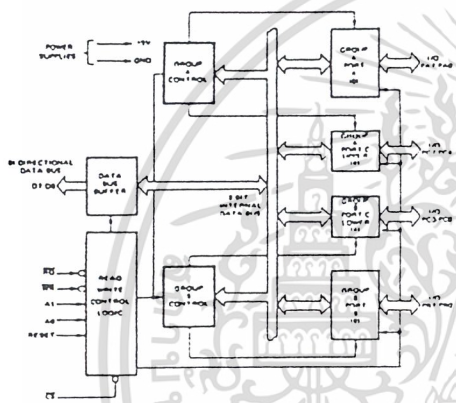


Figure 2. UM82C55A Block Diagram Showing Group A and Group B Control Functions

Operational Description

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

Mode 0 – Basic Input/Output
Mode 1 – Strobed Input/Output
Mode 2 – Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high", all ports will be set to the input mode with all 24 port lines held at a logic "one" level by internal bus hold devices. After the reset is removed, the UM82C55A can remain in the input mode with no additional initialization required. This eliminates the need for pullup or pulldown resistors in all-CMOS designs. During the execution of the system program, any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single UM82C55A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance: Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results, Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

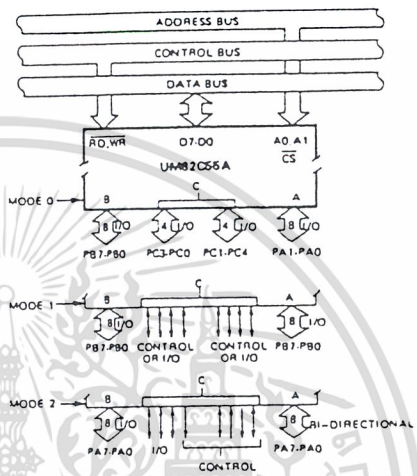


Figure 3. Basic Mode Definitions and Bus Interface

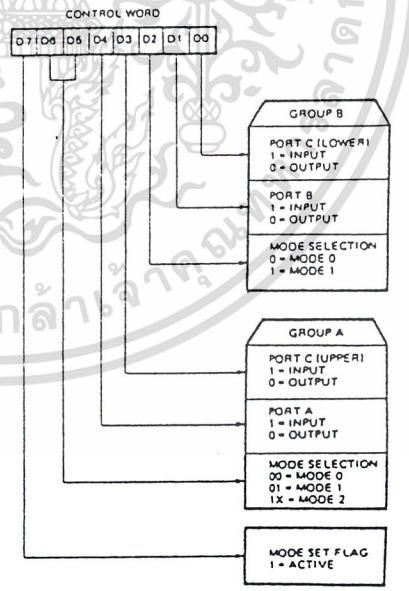


Figure 4. Mode Definition Format

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the UM82C55A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

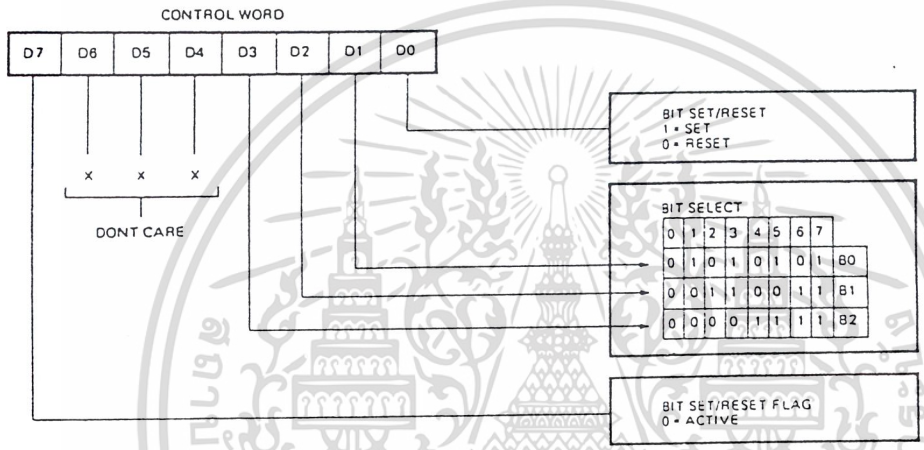


Figure 5. Bit Set/Reset Format

Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUT put instruction. This feature reduces software requirements in control-based applications.

When Port C is being used as status/control for Port A or B, these bits can be set or reset by using the Bit Set/Reset operation just as if they were data output ports.

Interrupt Control Functions

When the UM82C55A is programmed to operate in mode 1 or mode 2, control signals are provided that can be used as interrupt request inputs to the CPU. The interrupt request signals, generated from port C, can be inhibited or enabled by setting or resetting the associated INTE flip-flop, using the bit set/reset function of port C.

This function allows the programmer to enable or disable a CPU interrupt by a specific I/O device without affecting any other device in the interrupt structure.

INTE Flip-flop Definition

(BIT-SET) – INTE is SET – Interrupt enable.
(BIT–RESET) – INTE is RESET – Interrupt disable.

Note: All Mask flip-flops are automatically reset during mode selection and device Reset.

Operating Modes

Mode 0 (Basic Input/Output). This functional configuration provides simple input and output operations for each of the three ports. No handshaking is required, data is simply written to or read from a specific port.

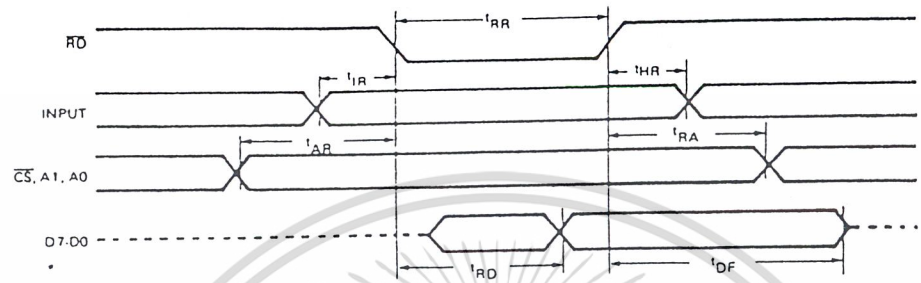
Mode 0 Basic Functional Definitions:

- Two 8-bit ports and two 4-bit ports
- Any port can be input or output
- Outputs are latched
- Inputs are not latched
- 16 different Input/Output configurations possible.

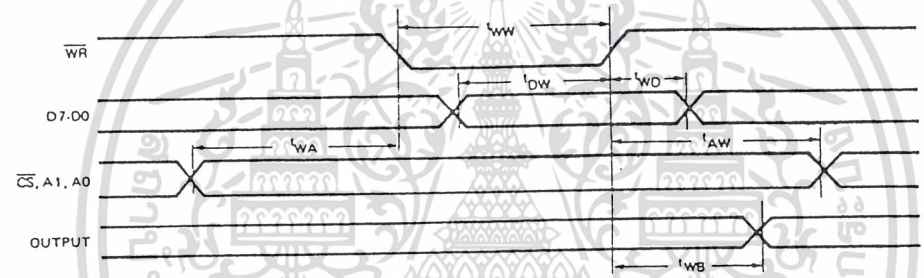
General Purpose Peripheral IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODE 0 (BASIC INPUT)



MODE 0 (BASIC OUTPUT)



Mode 0 Port Definition

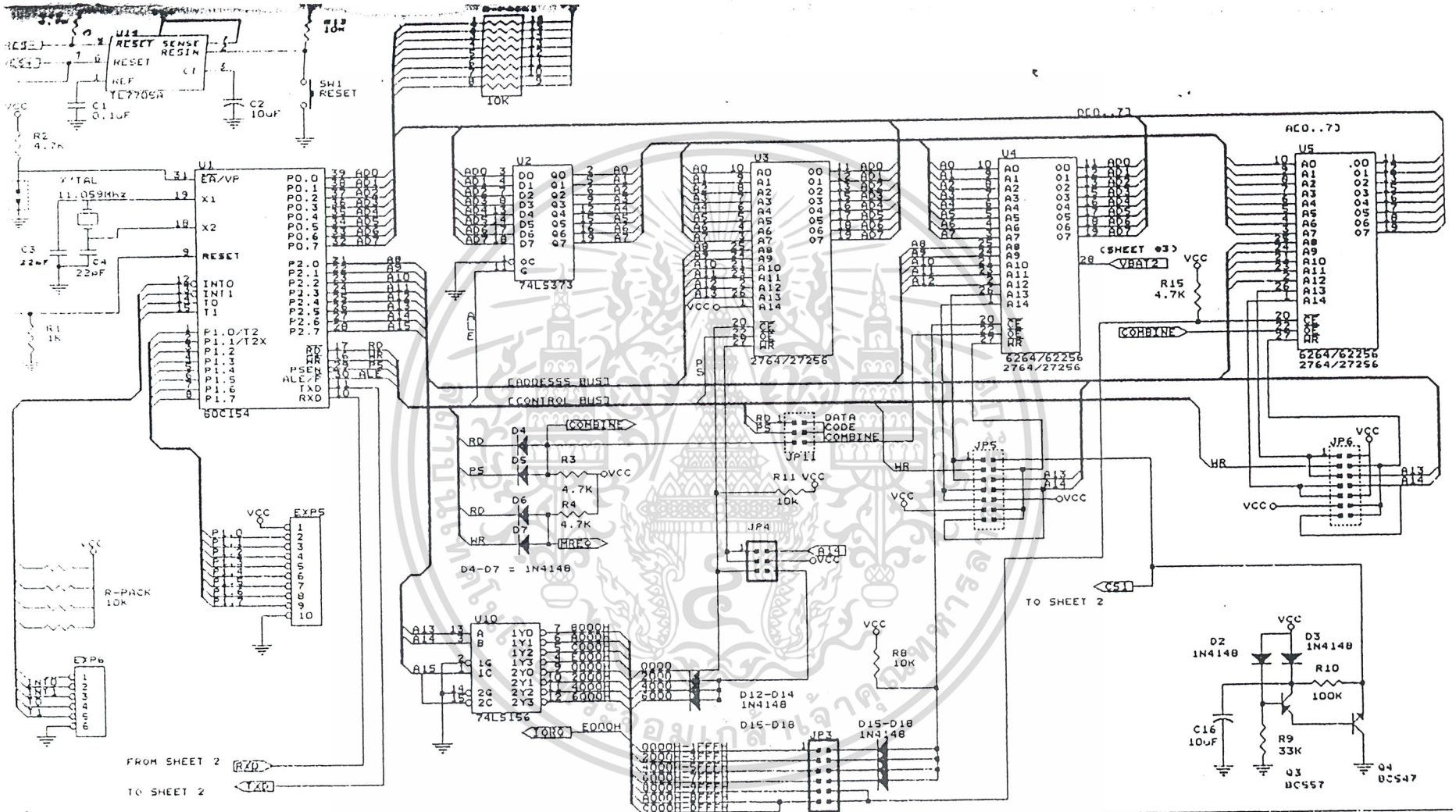
A		B		Group A			Group B	
D_4	D_3	D_1	D_0	Port A	Port C' (Upper)	#	Port B	Port C (Lower)
0	0	0	0	Output	Output	0	Output	Output
0	0	0	1	Output	Output	1	Output	Input
0	0	1	0	Output	Output	2	Input	Output
0	0	1	1	Output	Output	3	Input	Input
0	1	0	0	Output	Input	4	Output	Output
0	1	0	1	Output	Input	5	Output	Input
0	1	1	0	Output	Input	6	Input	Output
0	1	1	1	Output	Input	7	Input	Input
1	0	0	0	Input	Output	8	Output	Output
1	0	0	1	Input	Output	9	Output	Input
1	0	1	0	Input	Output	10	Input	Output
1	0	1	1	Input	Output	11	Input	Input
1	1	0	0	Input	Input	12	Output	Output
1	1	0	1	Input	Input	13	Output	Input
1	1	1	0	Input	Input	14	Input	Output
1	1	1	1	Input	Input	15	Input	Input

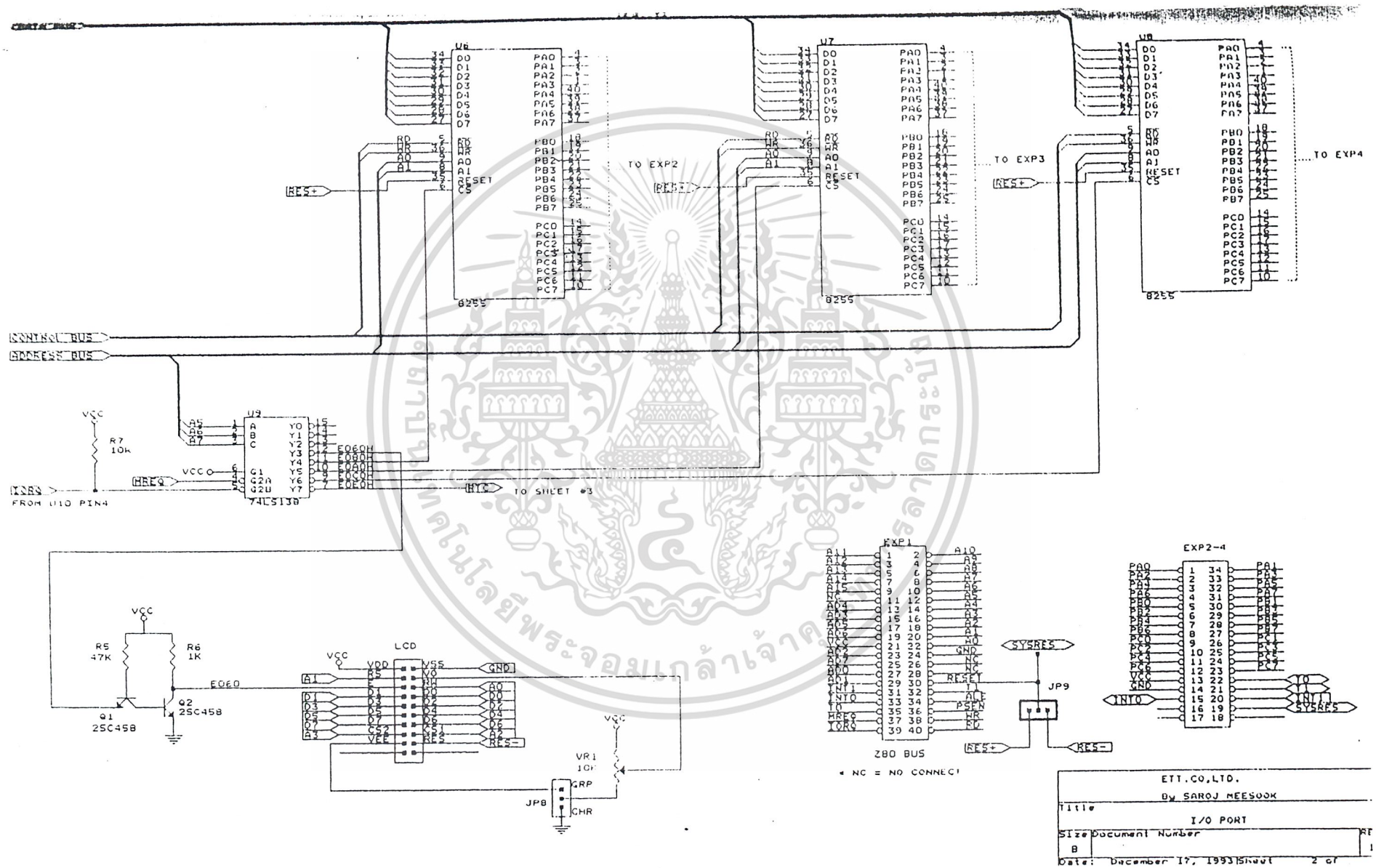
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

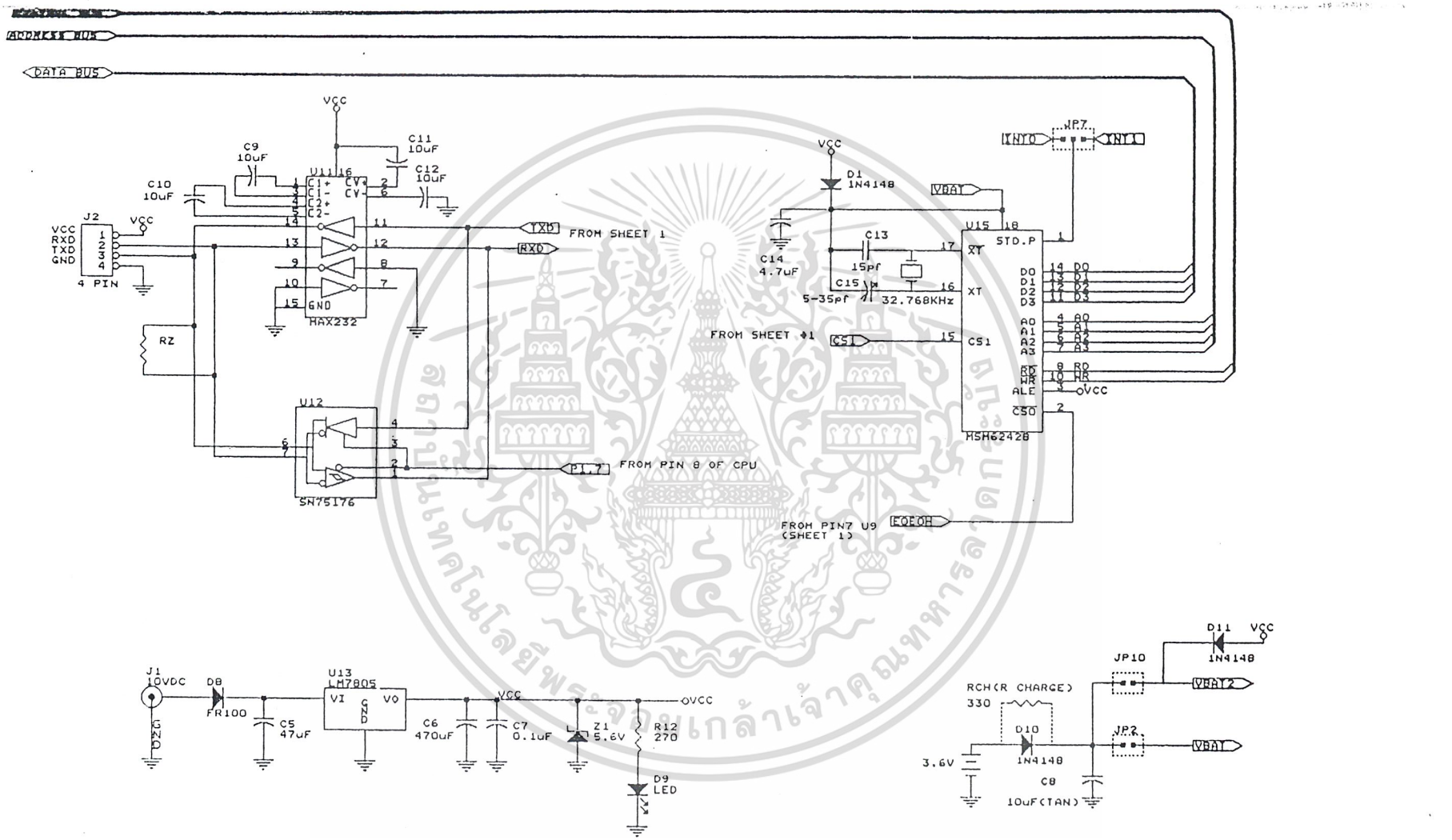
DATA SHEET

CPAT - 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


U12
RESET SENSE
RESIN
RESET
REF
YE7705N
C1
0.1uF
C2
10uF
SW1
RESET
10K
R2
4.7K
VCC
U1
EA/VP
X1
X2
RESET
INT0
INT1
T0
T1
P1.0/T2
P1.1/T2X
P1.2
P1.3
P1.4
P1.5
P1.6
P1.7
P0.0
P0.1
P0.2
P0.3
P0.4
P0.5
P0.6
P0.7
P2.0
P2.1
P2.2
P2.3
P2.4
P2.5
P2.6
P2.7
PSEN
ALE/P
TXD
RXD
80C154
XTAL
11.059MHz
C3
22pF
C4
22pF
R1
1K
U2
74LS373
U3
2764/27256
U4
6264/62256
2764/27256
U5
6264/62256
2764/27256
ADDRESS BUS
CONTROL BUS
COMBINE
D4
D5
D6
D7
R3
4.7K
R4
4.7K
MREQ
D4-D7 = 1N4148
R11
10K
DATA
CODE
COMBINE
JP11
JP5
JP6
JP4
R15
4.7K
(SHEET 03)
VBAT2
EXP5
R-PACK
10K
JP8
U10
74LS156
A000H
C000H
E000H
D12-D14
1N4148
D15-D18
1N4148
JP3
R8
10K
FROM SHEET 2
RXD
TO SHEET 2
TXD
TO SHEET 2
CS1
D2
1N4148
D3
1N4148
R10
100K
C16
10uF
R9
33K
Q3
BC557
Q4
BC547
ETT.CO,LTD.
By SAROJ MEESOOK
Title
SYSTEM
Size
Document Number
Date: December 15, 1992
Sheet 1 of


U6
U7
U8
8255
TO EXP2
TO EXP3
TO EXP4
RES+
CONTROL BUS
ADDRESS BUS
U9
74LS138
R7
10K
VCC
MREQ
IORQ
FROM U10 PIN4
HIC
TO SHEET #3
R5
47K
R6
1K
Q1
2SC458
Q2
2SC458
EO60
LCD
VR1
10K
JP8
GRP
CHR
EXP1
Z80 BUS
NC = NO CONNECT
SYSRES
JP9
EXP2-4
INTO
ETT.CO,LTD.
By SAROJ MEESOOK
Title
I/O PORT
Size
Document Number
B
Date: December 17, 1993
Sheet 2 of



ETT.CO,LTD.	
By SAROJ MEESOOK	
Title	PERIPHERAL
Size B	Document Number
Date: December 17, 1993	Sheet: 3 of

DATA SHEET 83C154

CMOS SINGLE - CHIP 8 BIT MICROCONTROLLER

- 83C154 – CMOS SINGLE-CHIP 8-BIT MICROCONTROLLER with factory mask-programmable ROM
- 83C154F – The internal ROM code cannot be read or dumped after activation of a special protection
- 80C154 – ROMLESS version
- 83C154-1 – 16 MHz version
- 80C154-1 – 16 MHz ROMless version

FEATURES

- 16K x 8 BIT INTERNAL ROM
- 256 x BIT RAM
- 32 PROGRAMMABLE I/O LINES (PROGRAMMABLE IMPEDANCE)
- THREE 16-BIT TIMER/COUNTERS (INCLUDING WATCH DOG AND 32 BIT TIMER)
- 64K PROGRAM MEMORY SPACE
- FULLY STATIC DESIGN
- POWER CONTROL MODES
- INTERRUPT PRIORITY CONTROL
- 0 TO 16 MHz
- BOOLEAN PROCESSOR
- 6 INTERRUPT SOURCES
- PROGRAMMABLE SERIAL PORT
- 64K DATA MEMORY SPACE
- TEMPERATURE RANGE:
  - COMMERCIAL
  - INDUSTRIAL

DESCRIPTION

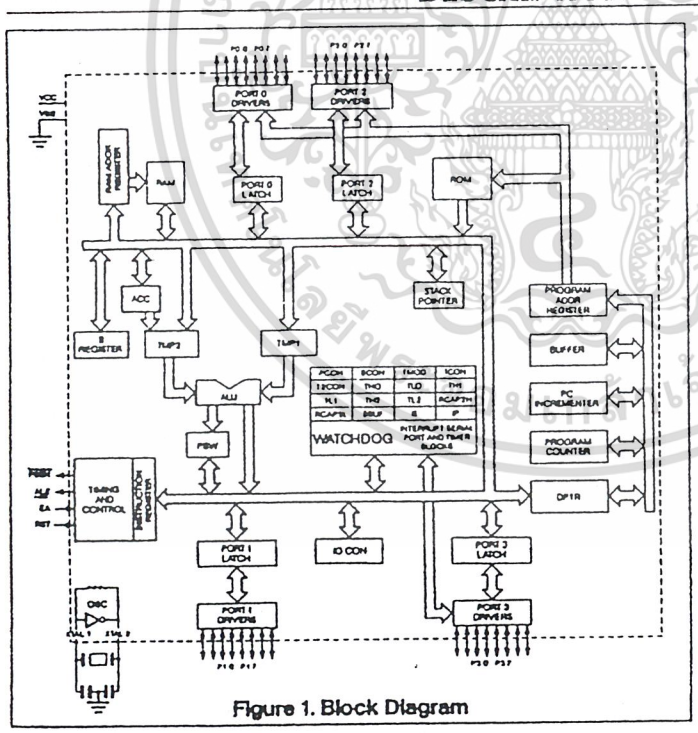


Figure 1. Block Diagram

The 83C154 retains all the features of the MHS 80C52 with extended ROM capacity (16K bytes), 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, a 6-source 2-level interrupts, a full duplex serial port, an on-chip oscillator and clock circuits, three 16 bit timers with extra features: 32 bit timer and watch dog functions. Timer 0 and 1 can be configured by program to implement a 32 bit timer. The watch dog function can be activated either with timer 0, or timer 1 or both together (32 bit timer).

In addition, the 83C154 has two software selectable modes of reduced activity for further reduction of power consumption. In the Idle Mode, the CPU is frozen while the RAM is saved, and the timers, the serial port, and the interrupt system continue to function. In the Power Down Mode, the RAM is saved and the timers, serial port and interrupts continue to function when driven by external clocks. In addition as for the MHS 80C51/C52, the stop clock mode is also available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

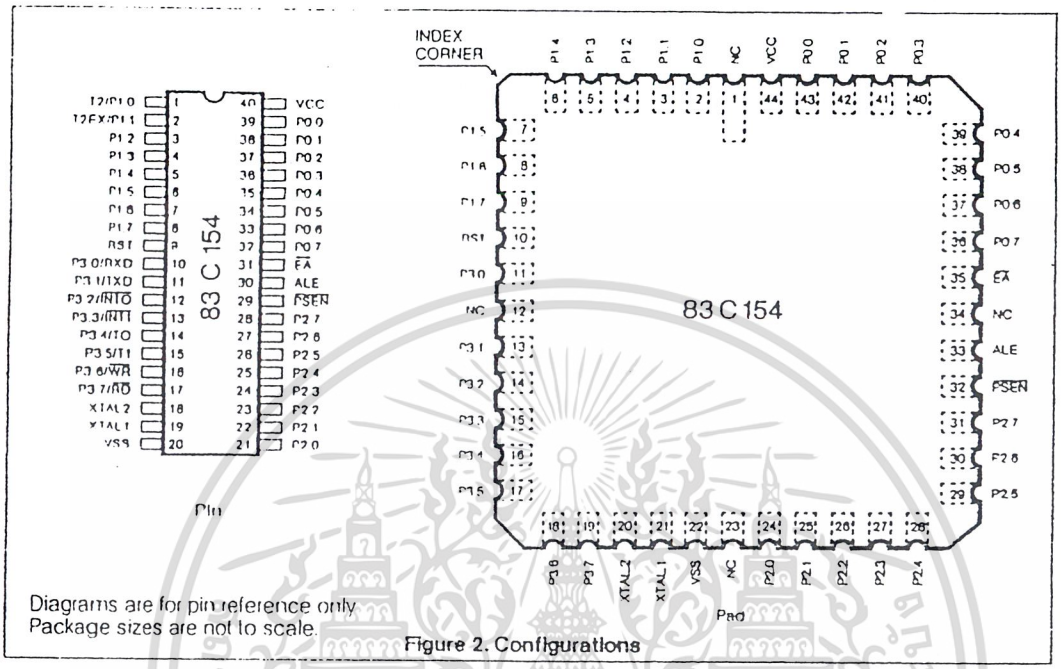


Figure 2. Configurations

IDLE AND POWER DOWN OPERATION

Figure 3 shows the internal Idle and Power Down clock configuration. As illustrated, Power Down operation stops the oscillator. The interrupt, serial port, and timer blocks continue to function only with external clock (INT0, INT1, T0, T1)

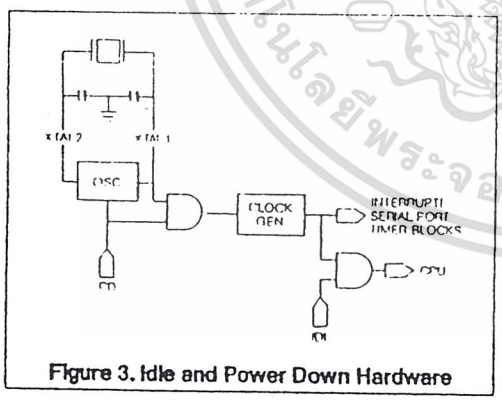


Figure 3. Idle and Power Down Hardware

Idle Mode operation allows the interrupt, serial port, and timer blocks to continue to function with internal or external clocks, while the clock to CPU is gated off. The special modes are activated by software via the Special Function Register, PCON. Its hardware address is 87H. PCON is not bit addressable.

PCON: Power Control Register

(MSB) (LSB)

SMOD	HPD	RPD	-	GF1	GF0	PD	IDL

Symbol	Position	Name and Function
SMOD	PCON.7	Double Baud rate bit. When set to a 1, the baud rate is doubled when the serial port is being used in either modes 1, 2 or 3.
HPD	PCON.6	Hard Power Down bit. Setting this bit allows CPU to enter in Power Down state on an external event (1 to 0 transition) on bit T1 (p. 3-5) the CPU quit the Hard Power Down mode when bit T1 (p. 3-5) go high or when reset is activated.
RPD	PCON.5	Recover from Idle or Power Down bit. When 0 RPD has no effect. When 1, RPD permits to exit from Idle or Power Down with any non enabled interrupt source (except timex 2). In this case the program start at the next address. When interrupt is enabled, the appropriate interrupt routine is serviced.
-	PCON.4	(Reserved)
GF1	PCON.3	General-purpose flag bit.
GF0	PCON.2	General-purpose flag bit.
PD	PCON.1	Power Down bit. Setting this bit activates power down operation.
IDL	PCON.0	Ide mode bit. Setting this bit activates Idle mode operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If 1's are written to PD and IDL at the same time. PD takes, precedence. The reset value of PCON is (000X0000).

IDLE MODE

The instruction that sets PCON.0 is the last instruction executed before the Idle mode is activated. Once in the Idle mode the CPU status is preserved in its entirety: the Stack Pointer, Program Counter, Program Status Word, Accumulator, RAM, and all other registers maintain their data during Idle. In the Idle mode, the internal clock signal is gated off to the CPU, but interrupt, timer and serial port functions are maintained. Table 1 describes the status of the external pins during Idle mode.

There are three ways to terminate the Idle mode. Activation of any enabled interrupt will cause PCON.0 to be cleared by hardware, terminating Idle mode. The interrupt is serviced, and following RETI, the next instruction to be executed will be the one following the instruction that wrote 1 to PCON.0.

The flag bits GF0 and GF1 may be used to determine whether the interrupt was received during normal execution or during the Idle mode. For example, the instruction that writes to PCON.0 can also set or clear one or both flag bits. When Idle mode is terminated by an enabled interrupt, the service routine can examine the status of the flag bits.

The second way of terminating the Idle mode is with a hardware reset. Since the oscillator is still running, the hardware reset needs to be active for only 2 machine cycles (24 oscillator periods) to complete the reset operation.

The third way to terminate the Idle mode is the activation of any disabled interrupt when recover is programmed (RPD = 1). This will cause PCON.0 to be cleared. No interrupt is serviced. The next instruction is executed. If interrupt are disabled and RPD = 0, only a reset can cancel the Idle mode.

POWER DOWN MODE

The instruction that sets PCON.1 is the last executed prior to entering power down. Once in power down, the oscillator is stopped. The contents of the onchip RAM and the Special Function Register is saved during power down mode. The three ways to terminate the Power Down mode are the same than the Idle mode. But since the onchip oscillator is stopped, the external interrupts, timers and serial port must be sourced by external clocks only, via INT0, INT1, T0, T1.

In the Power Down mode, V_{CC} may be lowered to minimize circuit power consumption. Care must be taken to ensure the voltage is not reduced until the power down mode is entered, and that the voltage is restored before the hardware reset is applied which frees the oscillator. Reset should not be released until the oscillator has restarted and stabilized.

When using voltage reduction: interrupt, timers and serial port functions are guaranteed in the V_{CC} specification limits.

Table 1 describes the status of the external pins while in the power down mode. It should be noted that if the power down mode is activated while in external program memory, the port data that is held in the Special Function Register P2 is restored to Port 2. If the port switches from 0 to 1, the port pin is held high during the power down mode by the strong pullup, T1, shown in Figure 4.

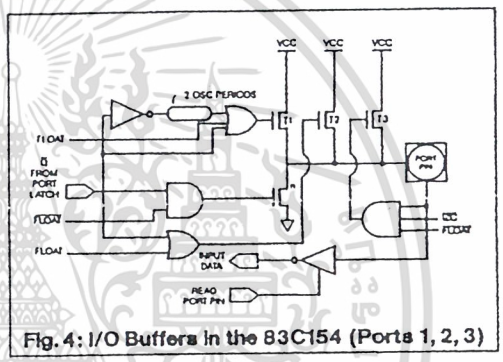


Fig. 4: I/O Buffers in the 83C154 (Ports 1, 2, 3)

STOP CLOCK MODE

Due to static design, the MHS 83C154 clock speed can be reduced until 0 MHz without any data loss in memory or registers. This mode allows step by step utilization, and permits to reduce system power consumption by bringing the clock frequency down to any value. At 0 MHz, the power consumption is the same as in the Power Down Mode.

83C154 I/O PORTS

The I/O drives for P1, P2, P3 of the 83C154 are impedance programmable. The I/O buffers for Ports 1,2 and 3 are implemented as shown in *figure 4*.

When the port latch contains 0, all pFETS in figure 4 are off while the nFET is turned on. When the port latch makes a 0-to-1 transition, the nFET turns off. The strong pullup pFET, T1, turns on for two oscillator periods, pulling the output high very rapidly. As the output line is

Table 1. Status of the external pins during Idle and Power Down modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{PSEN}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Port Data	Port Data	Port Data	Port Data
Idle	External	1	1	Floating	Port Data	Address	Port Data
Power Down	Internal	0	0	Port Data	Port Data	Port Data	Port Data
Power Down	External	0	0	Floating	Port Data	Port Data	Port Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

drawn high, pFET T3 turns on through the inverter to supply the I_{OH} source current. This inverter and T3 form a latch which holds the 1 and is supported by T2. When Port 2 is used as an address port, for access to external program of data memory, any address bit that contains a 1 will have his strong pullup turned on for the entire duration of the external memory access.
When an I/O pin on Ports 1, 2 or 3 is used as an input, the user should be aware that the external circuit must sink current during the logical 1-to-0 transition. The maximum sink current is specified as ITL under the D.C. Specifications. When the input goes below approximately 2V, T3 turns off to save ICC current. Note, when returning to a logical 1, T2 is the only internal pullup that is on. This will result in a slow rise time if the user's circuit does not force the input line high.
The input impedance of Port 1, 2, 3 are programmable through the register IOCON. The ALF bit (IOCON0) set all of the Port 1, 2, 3 floating when a Power Down mode occurs. The P1HZ, P2HZ, P3HZ bits (IOCON1, IOCON2, IOCON3) set respectively the Ports P1, P2, P3 in floating state. The IZC (IOCON4) allows to choose input impedance of all ports (P1, P2, P3). When IZC = 0, T2 and T3 pullup of I/O ports are active; the internal input impedance is approximately 10K. When IZC = 1 only T2 pull-up is active. The T3 pull-up is turned off by IZC. The internal impedance is approximately 100K.

PIN DESCRIPTIONS

VSS
Circuit ground potential.

VCC
Supply voltage during normal, Idle, and Power Down operation.

PORT 0
Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. Port 0 pins that have 1's written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.
Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external Program and Data Memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1's. Port 0 also outputs the code bytes during program verification in the 83C154. External pullups are required during program verification. Port 0 can sink eight LS TTL inputs.

PORT 1
Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 1 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, an in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (IIL, on the data sheet) because of the internal pullups.
Port 1 also receives the low-order address byte during program verification. In the 83C154, Port 1 can sink/source three LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without external pullups.

PORT 2
Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 2 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (ILL, on the data sheet) because of the internal pullups. Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program Memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1's. During accesses to external Data Memory that use 8-bit addresses (MOVX @RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.
It also receives the high-order address bits and control signals during program verification in the 83C154. Port 2 can sink/source three LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without external pullups.

PORT 3
Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. Port 3 pins that have 1's written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (ILL, on the data sheet) because of the pullups. It also serves the functions of various special features of the MCS-51 Family, as listed below.

Port Pin	Alternate Function
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (Timer 0 external input)
P3.5	T1 (Timer 1 external input)
P3.6	WR (external Data Memory write strobe)
P3.7	RD (external Data Memory read strobe)

Port 3 can sink/source three LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without external pullups.

RST
A high level on this for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. An internal pull-down resistor permits Power-On reset using only a capacitor connected to VCC.

ALE
Address Latch Enable output for latching the low byte of the address during accesses to external memory. ALE is activated as though for this purpose at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency except during an external data memory access at which time one ALE pulse is skipped. ALE can sink/source 8 LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without an external pullup.

$\overline{PSEN}$
Program Store Enable output is the read strobe to external Program Memory. PSEN is activated twice each machine cycle during fetches from external Program Memory. (However, when executing out of external Program Memory, two activations of PSEN are skipped during each access to external Data Memory). PSEN is not activated during fetches from internal Program Memory. PSEN can sink/source 8 LS TTL inputs. It can drive CMOS inputs without an external pullup.

$\overline{EA}$
When EA is held high, the CPU executes out of internal Program Memory (unless the Program Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

exceeds 3FFFH). When EA is held low, the CPU executes only out of external Program Memory. EA must not be floated.

XTAL1

Input to the inverting amplifier that forms the oscillator. Receives the external oscillator signal when an external oscillator is used.

XTAL2

Output of the inverting amplifier that forms the oscillator. This pin should be floated when an external oscillator is used.

OSCILLATOR CHARACTERISTICS

XTAL1 and XTAL2 are the input and output respectively, of an inverting amplifier which is configured for use as an on-chip oscillator, as shown in *figure 5*. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used.

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be driven while XTAL2 is left unconnected as shown in *figure 6*. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum high and low times specified on the Data Sheet must be observed.

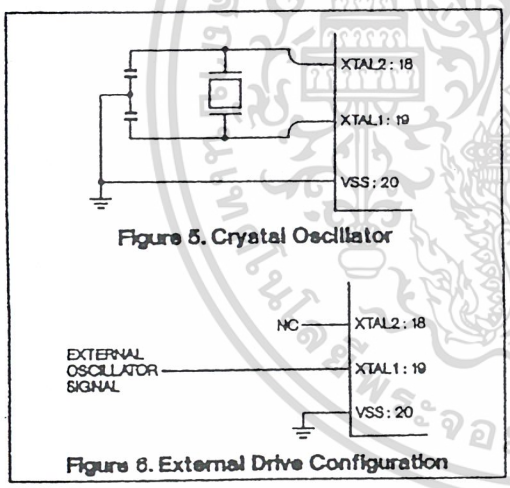


Figure 5. Crystal Oscillator

Figure 6. External Drive Configuration

PORT 1 SECONDARY FUNCTIONS

This is a quasi-bidirectional I/O port, internally pulled up when used as input ports. Two of the ports have been allocated a second function which are :

P1.0 [T2]: External clock input for timer/counter 2.

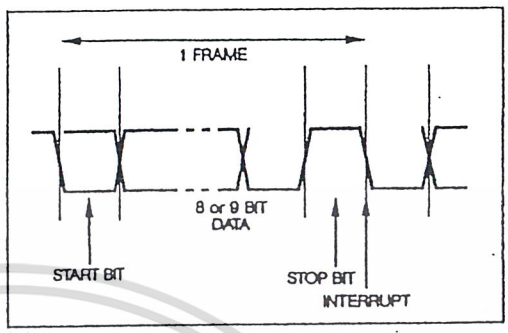
P1.1 [T2EX]: A trigger input for timer/counter 2, to be reloaded or captured causing the timer/counter 2 interrupt.

INTERRUPT MODES

The MHS 80C154/83C154 is capable of handling two external interrupts, three interrupts from the timers, and one interrupt from the serial port, through its incorporated six source, two-level interrupt structure.

SERIAL PORT TIMING

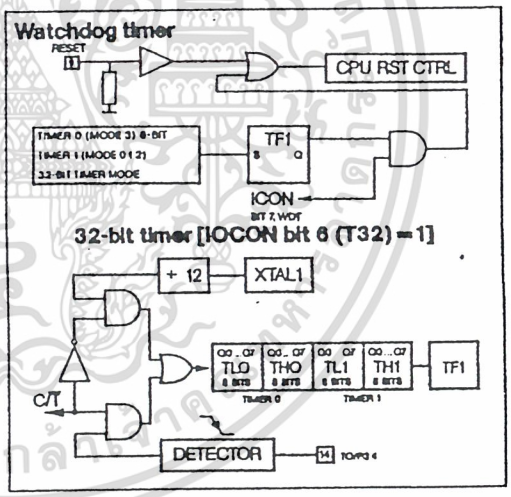
The interrupt is executed after the Stop Bit.



TIMER FUNCTIONS

In fact, timer 0 & 1 can be connected by a software instruction to implement a 32-bit timer function. Timer 0 (mode 3) or timer 1 (mode 0, 1, 2) or a 32-bit timer consisting of timer 0 + timer 1 can be employed in the watchdog mode, in which case a CPU reset is generated upon a TF1 flag.

The internal pull-up resistances at ports 1 ~ 3 can be set to a ten times increased value simply by software.



TIMER/EVENT COUNTER 2

Timer 2 is a 16-bit timer/counter like Timers 0 and 1, it can operate either as a timer or as an event counter. This is selected by bit C/T2 in the Special Function Register T2CON *(Figure 7)*. It has three operating modes: "capture", "autoload" and "baud rate generator", which are selected by bits in T2CON as shown in *Table* 2.

Table 2. Timer 2 Operating Modes

RCLK+TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16 bit auto-reload
0	1	1	16-bit capture
1	X	1	baud rate generator
X	X	0	(off)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In the capture mode there are two options which are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, then Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflowing sets bit TF2, the Timer 2 overflow bit, which can be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, then Timer 2 still does the above, but with the added feature that a 1-to-0 transition at external input T2EX causes the current value in the Timer 2 registers, TL2 ans TH2, to be captured into registers RCAP2L and RCAP2H, respectively. (RCAP2L and RCAP2H are new Special Function Registers in the 80C52). In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set, and EXF2, like TF2, can generate an interrupt.
The capture mode is illustrated in *Figure 8.*
In the auto-reload mode there are again two options, which are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, then when Timer 2 rolls over it not only sets TF2 but also causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2L and RCAP2H, which are preset by software. If EXEN2 = 1, then Timer 2 still does the above, but with the added feature that a 1-to-0 transition at external input T2EX will also trigger the 16-bit reload and set EXF2.
The auto-reload mode is illustrated in *Figure 9.*
The baud rate generator mode is selected by: RCLK = 1 and/or TCLK = 1.

(MSB) (LSB)

TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2

Symbol	Position	Name and Significance
TF2	T2CON.7	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	T2CON.6	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software.
RCLK	T2CON.5	Receive clock flag. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	T2CON.4	Transmit clock flag. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	T2CON.3	Timer 2 external enable flag. When set, allows capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events as T2EX.
TR2	T2CON.2	Start/stop control for Timer 2. A logic 1 starts the timer.
C/T2	T2CON.1	Timer or counter select. (Timer 2) 0 = Internal timer (OSC/12) 1 = External event counter (falling edge triggered).
CP/RL2	T2CON.0	Capture/Reload flag. When set, captures will occur on negative transitions at T2EX if EXEN 2 = 1. When cleared, auto reloads will occur either with Timer 2 overflows or negative transitions at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK = 1 or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

Figure 7. T2CON: Timer/Counter 2 Control Register

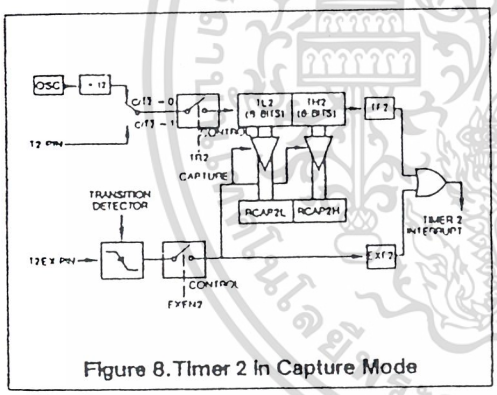


Figure 8. Timer 2 in Capture Mode

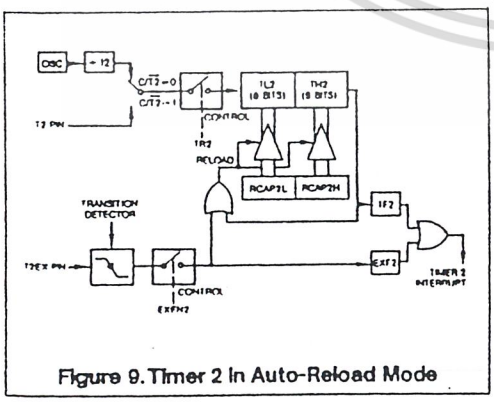
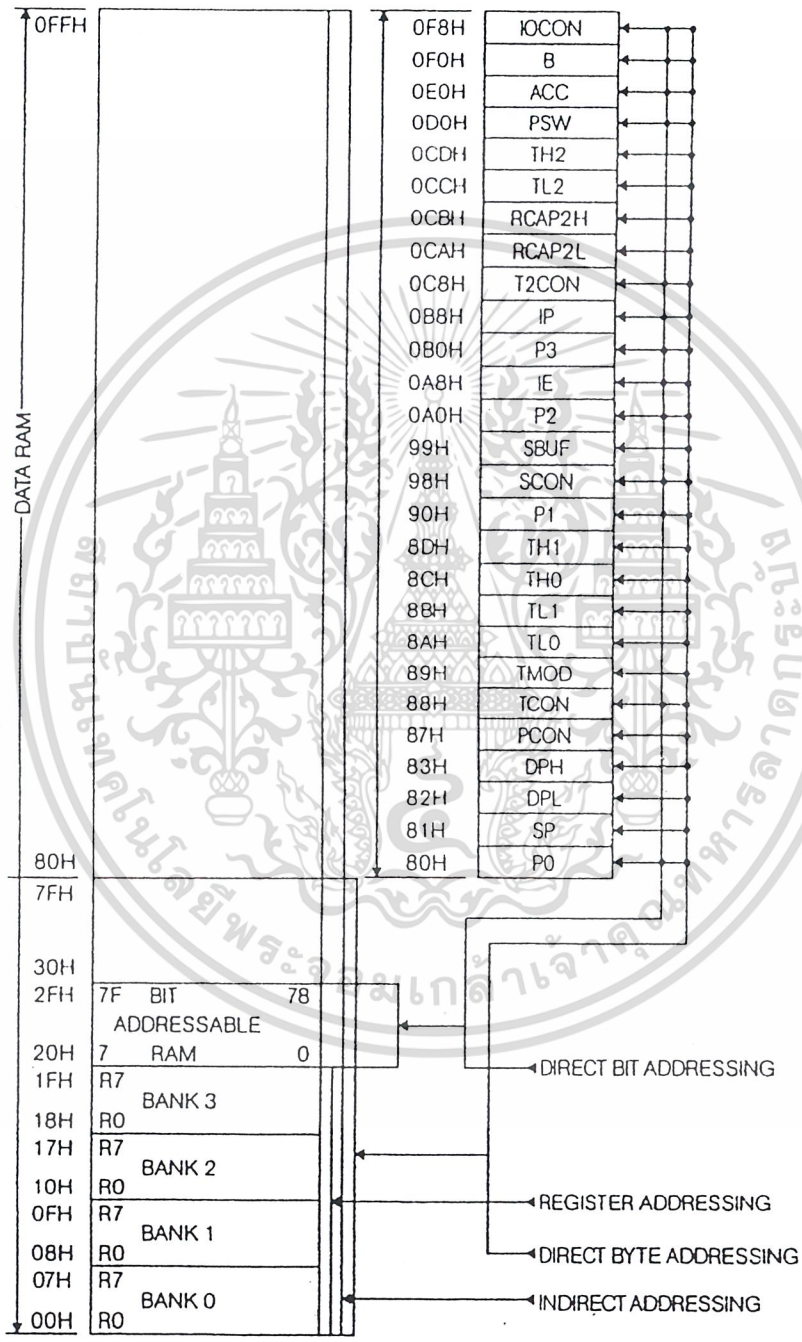


Figure 9. Timer 2 in Auto-Reload Mode

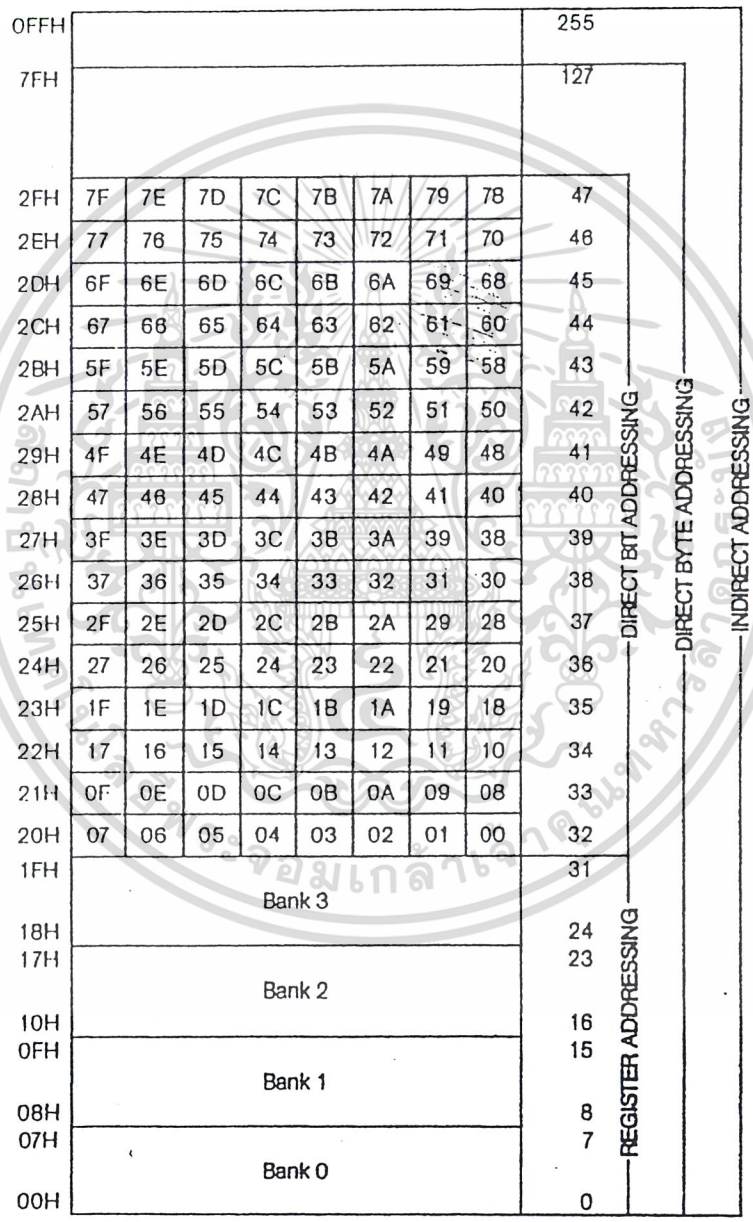
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA MEMORY AND SPECIAL FUNCTION REGISTER LAYOUT DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETAILED DIAGRAM OF DATA MEMORY (RAM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETAILED DIAGRAM OF SPECIAL FUNCTION REGISTERS

Direct Byte Address	Bit Address (MSB)							(LSB)	Special Function Register Symbol
	WDT	T32	SERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF	
0F8H	FF	FE	FD	FC	FB	FA	F9	F8	IOCON
0F0H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	B
0E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	ACC
	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P	
0D0H	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	PSW
0CDH	Not Bit Addressable								TH2
0CCH	Not Bit Addressable								TL2
0CBH	Not Bit Addressable								RCAP2H
0CAH	Not Bit Addressable								RCAP2L
	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$	
0C8H	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8	T2CON
	PCT		PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0	
0B8H	BF	-	BD	BC	BB	BA	B9	B8	IP
0B0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	P3
	EA		ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	
0A8H	AF	-	AD	AC	AB	AA	A9	A8	IE
0A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	P2
99H	Not Bit Addressable								SBUF
	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI	
98H	9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98	SCON
90H	97	96	95	94	93	92	91	90	P1
8DH	Not Bit Addressable								TH1
8CH	Not Bit Addressable								TH0
8BH	Not Bit Addressable								TL1
8AH	Not Bit Addressable								TL0
89H	Not Bit Addressable								TMOD
	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	
88H	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88	TCON
87H	Not Bit Addressable								PCON
83H	Not Bit Addressable								DPH
82H	Not Bit Addressable								DPL
81H	Not Bit Addressable								SP
80H	87	86	85	84	83	82	81	80	P0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIAL FUNCTION REGISTERS

TIME MODE REGISTER (TMOD)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
TMOD	89H	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
TMOD.0	M0	M1	M0	Timer/counter 0 mode setting.					
		0	0	8-bit timer/counter with 5-bit prescalar.					
		0	1	16-bit timer/counter.					
		1	0	8-bit timer/counter with 8-bit auto reloading.					
TMOD.1	M1	1	1	Timer/counter 0 separated into TL0 (8-bit) timer/counter and TH0 (8-bit) timer/counter. TF0 is set by TL0 carry, and TF1 is set by TH0 carry.					
TMOD.2	C/$\overline{T}$	Timer/counter 0 count clock designation control bit. XTAL / 2 divided by 12 clocks is the input applied to timer/counter 0 when C/$\overline{T}$ = "0". The external clock applied to the T0 pin is the input applied to timer/counter 0 when C/$\overline{T}$ = "1".							
TMOD.3	GATE	When this bit is "0", the TR0 bit of TCON (timer control register) is used to control the start and stop of timer/counter 0 counting. If this bit is "1", timer/counter 0 starts counting when both the TR0 bit of TCON and $\overline{INT0}$ pin input signal are "1", and stops counting when either is changed to "0".							
TMOD.4	M0	M1	M0	Timer/counter 1 mode setting.					
		0	0	8-bit timer/counter with 5-bit prescalar.					
		0	1	16-bit timer/counter.					
		1	0	8-bit timer/counter with 8-bit auto reloading.					
TMOD.5	M1	1	1	Timer/counter 1 operation stopped.					
TMOD.6	C/$\overline{T}$	Timer/counter 1 count clock designation control bit. XTAL / 2 divided by 12 clocks is the input applied to timer/counter 1 when C/$\overline{T}$ = "0". The external clock applied to the T1 pin is the input applied to timer/counter 1 when C/$\overline{T}$ = "1".							
TMOD.7	GATE	When this bit is "0", the TR1 bit of TCON is used to control the start and stop of timer/counter 1 counting. If this bit is "1", timer/counter 1 starts counting when both the TR1 bit of TCON and $\overline{INT1}$ pin input signal are "1", and stops counting when either is changed to "0".							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER CONTROL REGISTER (PCON)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
PCON	87H	SMOD	HPD	RPD	–	GF1	GF0	PD	IDL
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
PCON.0	IDL	IDLE mode set when this bit is set to "1". CPU operations are stopped when IDLE mode is set, but XTAL1-2, timer/counters 0, 1, and 2, the interrupt circuits, and serial port remain active. IDLE mode is cancelled when the CPU is reset or when an interrupt is generated.							
PCON.1	PD	PD mode set when this bit is set to "1". CPU operations and XTAL 1-2 are stopped when PD mode is set. PD mode is cancelled when the CPU is reset or when an interrupt is generated.							
PCON.2	GF0	General purpose bit. Testing this flag when IDLE mode is cancelled by an interrupt shows whether the interrupt is a normal interrupt or an IDLE mode release interrupt.							
PCON.3	GF1	General purpose bit. Testing this flag when PD mode is cancelled by an interrupt shows whether the interrupt is a normal interrupt or a PD mode release interrupt.							
PCON.4	–	Reserved bit. The output data is "1" if the bit is read.							
PCON.5	RPD	Bit used to specify cancellation of CPU power down mode (IDLE or PD) by interrupt signal. Power down mode cannot be cancelled by interrupt signal if interrupt is not enabled by IE (interrupt enable register) when this bit is "0". If the interrupt flag is set to "1" by an interrupt request signal when this bit is "1" (even if interrupt is disabled), the program is executed from the next address of the power down mode setting instruction. The flag is reset to "0" by software.							
PCON.6	HPD	The hard power down setting mode is enabled when this bit is set to "1". If the level of the power failure detect signal applied to the HPD1 pin (pin 3.5) is changed from "1" to "0" when this bit is "1", XTAL1-2 oscillation is stopped and the system is put into hard power down mode. HPD mode is cancelled when the CPU is reset, or HPD1 pin go high.							
PCON.7	SMOD	When the time/counter 1 carry signal is used as a clock in mode 1, 2 or 3 of the serial port, this bit has the following functions. The serial port operation clock is reduced by 1/2 when the bit is "0" for delayed processing. And when the bit is "1", the serial port operation clock is normal for faster processing.							

ENABLE	RECOVER	
0	0	PWD not cancelled
1	0	Execute interrupt routine
0	1	Execute next address
1	1	Execute interrupt routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMER CONTROL REGISTER (TCON)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
TCON	88H	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
TCON.0	IT0	External interrupt 0 signal used in level detect mode when this bit is "0", and in trigger detect mode when "1".							
TCON.1	IE0	Interrupt request flag for external interrupt 0. Bit is reset automatically when interrupt is serviced. Bit can be set and reset by software when IT0="1".							
TCON.2	IT1	External interrupt 1 signal used in level detect mode when this bit is "0", and in trigger detect mode when "1".							
TCON.3	IE1	Interrupt request flag for external interrupt 1. Bit is reset automatically when interrupt is serviced. Bit can be set and reset by software when IT1="1".							
TCON.4	TR0	Counting start and stop control bit for timer/counter 0. Timer/counter 0 starts counting when this bit is "1", and stops counting when "0".							
TCON.5	TF0	Interrupt request flag for timer interrupt 0. Bit is reset automatically when interrupt is serviced. Bit is set to "1" when carry signal is generated from timer/counter 0.							
TCON.6	TR1	Counting start and stop control bit for timer/counter 1. Timer/counter 1 starts counting when this bit is "1", and stops counting when "0".							
TCON.7	TF1	Interrupt request flag for timer interrupt 1. Bit is reset automatically when interrupt is serviced. Bit is set to "1" when carry signal is generated from timer/counter 1.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SERIAL PORT CONTROL REGISTER (SCON)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
SCON	98H	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION
SCON.0	RI	"End of serial port reception" interrupt request flag. This flag must be reset by software during interrupt service routine. This flag is set after the eighth bit of data has been received when in mode 0, or by the STOP bit when in any other mode. In mode 2 or 3, however RI is not set if the RB8 data is "0" with SM2 = "1". RI is set in mode 1 if STOP is received when SM2 = "1".
SCON.1	TI	"End of serial port transmission" interrupt request flag. This flag must be reset by software during interrupt service routine. This flag is set after the eighth bit of data has been sent when in mode 0, or after the last bit of data has been sent when in any other mode.
SCON.2	RB8	The ninth bit of data received in mode 2 or 3 is passed to RB8. The STOP bit is applied to RB8 if SM2 = "0" when in mode 1. RB8 can not be used in mode 0.
SCON.3	TB8	The TB8 data is sent as the ninth data bit when in mode 2 or 3. Any desired data can be set in TB8 by software.
SCON.4	REN	Reception enable control bit. No reception when REN = "0". Reception enabled when REN = "1".
SCON.5	SM2	If the ninth bit of received data is "0" with SM2 = "1" in mode 2 or 3, the "end of reception" signal is not set in the RI flag. Nor is the "end of reception" signal set in the RI flag if the STOP bit is not "1" when SM2 = "1" in mode 1.
SCON.6	SM1	SM0 | SM1 | MODE 0 | 0 | 0 — 8-bit shift register I/O. 0 | 1 | 1 — 8-bit UART variable baud rate. 1 | 0 | 2 — 9-bit UART 1/32 XTAL1, 1/64 XTAL1 baud rate. 1 | 1 | 3 — 9-bit UART variable baud rate.
SCON.7	SM0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTERRUPT ENABLE REGISTER (IE)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
IE	0A8H	EA	–	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
IE.0	EX0	Interrupt control bit for external interrupt 0. Interrupt disabled when bit is "0". Interrupt enabled when bit is "1".							
IE.1	ET0	Interrupt control bit for timer interrupt 0. Interrupt disabled when bit is "0". Interrupt enabled when bit is "1".							
IE.2	EX1	Interrupt control bit for external interrupt 1. Interrupt disabled when bit is "0". Interrupt enabled when bit is "1".							
IE.3	ET1	Interrupt control bit for timer interrupt 1. Interrupt disabled when bit is "0". Interrupt enabled when bit is "1".							
IE.4	ES	Interrupt control for serial port. Interrupt disabled when bit is "0". Interrupt enabled when bit is "1".							
IE.5	ET2	Interrupt control bit for timer interrupt 2. Interrupt disabled when bit is "0". Interrupt enabled when bit is "1".							
IE.6	–	Reserved bit. The output data is "1" if the bit is read.							
IE.7	EA	Overall interrupt control bit. All interrupts are disabled when bit is "0". All interrupts are controlled by IE.0 thru IE.5 when bit is "1".							

INTERRUPT PRIORITY REGISTER (IP)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB. 0
IP	0B8H	PCT	–	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
IP.0	PX0	Interrupt priority bit for external interrupt 0. Priority is assigned when bit is "1".							
IP.1	PT0	Interrupt priority bit for timer interrupt 0. Priority is assigned when bit is "1".							
IP.2	PX1	Interrupt priority bit for external interrupt 1. Priority is assigned when bit is "1".							
IP.3	PT1	Interrupt priority bit for timer interrupt 1. Priority is assigned when bit is "1".							
IP.4	PS	Interrupt priority bit for serial port. Priority is assigned when bit is "1".							
IP.5	PT2	Interrupt priority bit for timer interrupt 2. Priority is assigned when bit is "1".							
IP.6	–	Reserved bit. The output data is "1" if the bit is read.							
IP.7	PCT	Priority interrupt circuit control bit. The priority register contents are valid and priority assigned interrupts can be processed when this bit is "0". When the bit is "1", the priority interrupt circuit is stopped, and interrupts can only be controlled by the interrupt enable register (IE).							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM STATUS WORD REGISTER (PSW)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
PSW	0D0H	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P

BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION
PSW.0	P	Accumulator (ACC) parity indicator. "1" when the "1" bit number in the accumulator is an odd number, and "0" when an even number.
PSW.1	F1	User flag which may be set to "0" or "1" as desired by the user.
PSW.2	OV	Overflow flag which is set if the carry C6 from bit 6 of the ALU or CY is "1" as a result of an arithmetic operation. The flag is also set to "1" if the resultant product of executing a multiplication instruction (MUL AB) is greater than 0FFH, but is reset to "0" if the product is less than or equal to 0FFH.
PSW.3	RS0	RAM register bank switch.
PSW.4	RS1	

RS1	RS0	BANK	RAM ADDRESS
0	0	0	00H – 07H
0	1	1	08H – 0FH
1	0	2	10H – 17H
1	1	3	18H – 1FH

PSW.5	F0	User flag which may be set to "0" or "1" as desired by the user.
PSW.6	AC	Auxiliary carry flag. This flag is set to "1" if a carry C_3 is generated from bit 3 of the ALU as a result of executing an arithmetic operation instruction. In all other cases, the flag is reset to "0".
PSW.7	CY	Main carry flag. This flag is set to "1" if a carry C_7 is generated from bit 7 of the ALU as result of executing an arithmetic operation instruction. If a carry C_7 is not generated, the flag is reset to "0".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I/O CONTROL REGISTER (IOCON)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
IOCON	0F8H	WDT	T32	SERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
IOCON.0	ALF	If CPU power down mode (PD, HPD) is activated with this bit set to "1", the outputs from ports 0, 1, 2 and 3 are switched to floating status. When this bit is "0", ports 0, 1, 2 and 3 are in output mode.							
IOCON.1	P1HZ	Port 1 becomes a floating state input port when this bit is "1".							
IOCON.2	P2HZ	Port 2 becomes a floating state input port when this bit is "1".							
IOCON.3	P3HZ	Port 3 becomes a floating state input port when this bit is "1".							
IOCON.4	IZC	The 10 kohm pull-up resistance for ports 1, 2 and 3 is switched off when this bit is "1", leaving only the 100 kohm pull-up resistance.							
IOCON.5	SERR	Serial port reception error flag. This flag is set to "1" if an overrun or framing error is generated when data is received at a serial port. The flag is reset by software.							
IOCON.6	T32	Timer/counters 0 and 1 are connected serially to form a 32-bit timer/counter when this bit is set to "1". TF1 of TCON is set if a carry is generated in the 32-bit timer/counter.							
IOCON.7	WDT	Watchdog timer mode is set when this bit is set to "1". And if TF1 is set to "1" after watchdog timer mode has been set, the CPU is reset and the program is executed from address 0.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMER 2 CONTROL REGISTER (T2CON)

NAME	ADDRESS	MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
T2CON	0C8H	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$
BIT LOCATION	FLAG	FUNCTION							
T2CON.0	CP/$\overline{RL2}$	Capture mode is set when TCLK + RCLK = "0" and CP/$\overline{RL2}$ = "1". 16-bit auto reload mode is set when TCLK + RCLK = "0" and CP/$\overline{RL2}$ = "0". CP/$\overline{RL2}$ is ignored when TCLK + RCLK = "1".							
T2CON.1	C/$\overline{T2}$	Timer/counter 2 count clock designation control bit. The internal clocks (XTAL1-2 ÷ 12, XTAL1-2 ÷ 2) are used when this bit is "0", and the external clock applied to the T2 is passed to timer/counter 2 when the bit is "1".							
T2CON.2	TR2	Timer/counter 2 counting start and stop control bit. Timer/counter 2 commences counting when this bit is "1" and stops counting when "0".							
T2CON.3	EXEN2	T2EX timer/counter 2 external control signal control bit. Input of the T2EX signal is disabled when this bit is "0", and enabled when "1".							
T2CON.4	TCLK	Serial port transmit circuit drive clock control bit. Timer/counter 2 is switched to baud rate generator mode when this bit is "1", and the timer/counter 2 carry signal becomes the serial port transmit clock. Note, however, that the serial ports can only use the timer/counter 2 carry signal in serial port modes 1 and 3.							
T2CON.5	RCLK	Serial port receive circuit drive clock control bit. Timer/counter 2 is switched to baud rate generator mode when this bit is "1", and the timer/counter 2 carry signal becomes the serial port receive clock. Note, however, that the serial ports can only use the timer/counter 2 carry signal in serial port modes 1 and 3.							
T2CON.6	EXF2	Timer/counter 2 external flag. This bit is set to "1" when the T2EX timer/counter 2 external control signal level is changed from "1" to "0" while EXEN2 = "1". This flag serves as the timer interrupt 2 request signal. If an interrupt is generated, EXF2 must be reset to "0" by software.							
T2CON.7	TF2	Timer/counter 2 carry flag. This bit is set to "1" by a carry signal when timer/counter 2 is in 16-bit auto reload mode or in capture mode. This flag serves as the timer interrupt 2 request signal. If an interrupt is generated, TF2 must be reset to "0" by software.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถที่จะสำเร็จลุล่วงไปได้ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเสนอแนะวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา ถึงแม้ว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรแต่ก็สามารถที่จะนำไปศึกษาและพัฒนาต่อไปอีกได้ และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานนี้ให้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ , " หลักการระบบสื่อสาร " , หจก. เอช - เอ็นการพิมพ์ , 383 หน้า , 2533
2. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ และ กมล เขมะรังษี , " เปิดโลกการสื่อสารไร้สาย " , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น , หน้า 219 , 2539
3. ดร. โอซามุ นิชิโนะ , " เครื่องวัดและการวัดทางไฟฟ้า " , สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ , หน้า 62 - 63 , 2519
4. พิพัฒน์ เลาหสงคราม , "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 48 MCS - 51" , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 299 หน้า , 2536
5. ธวัชชัย ศีรประเสริฐ , " เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ " , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น , หน้า 39 - 51 , 2537
6. ธันวา ศีรประมง , " การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม " , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , 739 หน้า , 2539
7. ศิวัฒน์ ศิวะบวร , พรชัย จักรธำรงค์ และจิรศักดิ์ ชัยวิริยะกุล , " การประยุกต์ใช้งานภาษาซี " , สำนักงานซีเอ็ดยูเคชั่น , 2521
8. สมพันธ์ ชาญศิลป์ , " ภาษาซี " , มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2531
9. สุริยัน ศีรสวัสดิ์กุล , " ระบบการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ " , ฟิสิกซ์เซ็นเตอร์ , 208 หน้า
10. Frank R. Dungar , " Electronic Communication System " , Delmar , 1987
11. Kenneth J. Ayala , " The 8051 Microcontroller " , West Publishing Commpany , 241 p. , 1991
12. Wayne Tomasi , " Advance Electronic Communications System " , Simon & Schuster Company , 414 p. , 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้