สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

T 037214

**ชื่อหัวข้อ** เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมส่งผ่านคลื่นวิทยุ

Win Profiler via Radio System

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อนักศึกษา** | 1. นายไกรยศ | แซ่เจี๋ย | รหัสประจำตัว 41031202 |
| | 2. นายนันทวัฒน์ | จ้างมีศิลป์ | รหัสประจำตัว 41031210 |
| | 3. นางสาวนันทิยา | จันทร์ประดับ | รหัสประจำตัว 41031211 |
| | 4. นายเริงชัย | หนูจิตต์ | รหัสประจำตัว 41031222 |

**หลักสูตร** ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

**อาจารย์ที่ปรึกษา** อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

| คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| 1. อาจารย์พีระวุฒิ | สุวรรณจันทร์ | ..... |
| 2. อาจารย์ปิยะ | ศุภวราสุวัฒน์ | ..... |
| 3. ผศ.วิสุทธิ์ | อธิพรธรรม | ..... |
| 4. อาจารย์อมรชัย | ชัยชนะ | ..... |
| 5. อาจารย์สุระชัย | พิมพ์สาลี | ..... |

**วัน/เดือน/ปีที่สอบ** วันเสาร์ที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 เวลา 10.00 น.

**สถานที่สอบ** ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 4 เดือน ก.ย. พ.ศ. 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37214
วัน, เดือน, ปี 5 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือนำไปเผยแพร่ ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

# ปริญญานิพนธ์

## เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลมส่งผ่านคลื่นวิทยุ

## WIND PROFILER VIA RADIO SYSTEM


นายไกรยศ แซ่เจี๋ย

นายนันทวัฒน์ จ้างมีศิลป์

นางสาวนันทิยา จันทร์ประดับ

นายเริงชัย หนูจิตต์


ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมผ่านคลื่นวิทยุ

Wind Profiler Via Radio System

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการวัดความเร็วและทิศทางลม การสื่อสารข้อมูลระยะทางไกล การเก็บ และประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์
2. เพื่อออกแบบเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ
3. เพื่อสร้างเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ
4. เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมที่สร้างกับเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
5. เพื่อนำเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมที่ผ่านการทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขแล้วไปใช้งานแทนระบบเดิมที่ใช้ในระบบปัจจุบัน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เรื่องหลักการวัดความเร็วและทิศทางลม การสื่อสารข้อมูลระยะไกล การเก็บและประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์
2. มีทักษะในการออกแบบเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ
3. สามารถสร้างเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุได้
4. ได้เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
5. เครื่องที่ทดสอบปรับปรุงแก้ไข สามารถนำไปใช้งานแทนระบบเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **ชื่อหัวข้อ** | เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมส่งผ่านคลื่นวิทยุ |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายไกรยศ แซ่เจี๋ย |
| | นายนันทวัฒน์ จ้างมีศิลป์ |
| | นางสาวนันทิยา จันทร์ประดับ |
| | นายเริงชัย หนูจิตต์ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** | อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ |
| **หลักสูตร** | ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโทรคมนาคม |
| **ปีการศึกษา** | 2542 |


## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุในแบบเอฟเอ็มย่านความถี่ 462 เมกกะเฮิรตซ์ โดยนำสัญญาณดิจิตอลจากวงจรตรวจจับความเร็วลมด้วยตัวตรวจจับแสงและทิศทางลมด้วยโพเทนทิโอมิเตอร์และนำมามอดูเลตแบบเอฟเอสเคแล้วแพร่กระจายสัญญาณที่ได้ด้วยคลื่นวิทยุแบบเอฟเอ็มไปยังภาครับ และทำการดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเคได้ข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อป้อนให้ชุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Wind Profiler Via Radio System |
| **Students** | Mr.Kriyos Sajear |
| | Mr.Nuntawat Changmeesilp |
| | Miss Nantita Janpradab |
| | Mr.Reangchai Nujit |
| **Advisor** | Mr.Peerawut Suwanjan |
| **Co-Advisor** | Mr.Piya Supawarasuwat |
| **Education Level** | Bachelor of Science in industrial Education |
| **Program in** | Telecomunication Engineering |
| **Academic Year** | 1999 |


## ABSTRACT

This thesis presents the project of Wind Profiler Via Radio System in 462 MHz range.The digital signals take from speed sensor by opto and take from direct sensor by Potentiometer Modulate in FSK, and radiating it to receiver. Then, It is demodulate by FSK demodulation.The digital signal , which came from demodulation circuit is sent to computer by direct interface circuit to estimate quantity of speed and direct.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ คุณอำรุงฤทธิ์ นิ่มเสมอ หัวหน้างานสอบตรวจและสอบเทียบเครื่องมือ รวมถึงเจ้าหน้าที่ของกรมอุตุนิยมวิทยาทุกท่าน ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการสร้าง และปรับแต่งเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทุกอย่างที่เกี่ยวกับการศึกษาของลูกๆ ทุกคน จนลูกๆ ได้มีโอกาสกระทำในสิ่งที่ถูกต้องเสมอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VIII |
| สารบัญรูป | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน | 1 |
| 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 4 |
| 2.1 กล่าวนำ | 4 |
| 2.2 การวัดลมผิวพื้น | 4 |
| 2.2.1 กล่าวโดยทั่วไป | 4 |
| 2.2.2 การวัดทิศทางลม | 4 |
| 2.2.3 การวัดความเร็วลม | 7 |
| 2.2.4 การวัดความเร็ว และการคาดคะเนความเร็วลม | 16 |
| 2.3 วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ | 16 |
| 2.3.1 วงจรขยายอาร์เอฟ | 16 |
| 2.3.2 วงจรมิกเซอร์ | 17 |
| 2.3.3 วงจรขยายไอเอฟ | 18 |
| 2.4 การรับส่งข้อมูลดิจิตอล FSK และแนวทางการออกแบบใช้งาน | 24 |
| 2.4.1 ตัวกำเนิดสัญญาณ | 25 |
| 2.4.2 ความกว้างของสัญญาณเอฟเอสเค | 26 |
| 2.5 ไมโครคอนโทลเลอร์ MCS-51 | 29 |
| 2.5.1 โครงสร้างของ MCS-51 | 29 |
| 2.5.2 การจัดขาต่าง ๆ ของ MCS-51 | 31 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 2.5.3 โครงสร้างของพอร์ตอินพุต เอาต์พุต | 34 |
| 2.5.4 พื้นฐานการรับส่งข้อมูล | 35 |
| 2.5.5 รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม | 36 |
| 2.5.6 MCS-51 กับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม | 37 |
| 2.5.7 การเชื่อมต่อ 8255 กับ MCS-51 | 38 |
| 2.6 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ | 42 |
| 2.6.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล | 43 |
| 2.7 อินเตอร์เฟสพื้นฐาน | 44 |
| 2.6.1 การสร้างพอร์ตเพื่ออินเตอร์เฟส | 45 |
| 2.8 โปรแกรมวิชวลเบสิค | 47 |
| 2.8.1 ความเป็นมา | 47 |
| 2.8.2 ภาพรวมของวิชวลเบสิค | 48 |
| 2.8.3 หลักการโปรแกรมเชิงภาพของวิชวลเบสิค | 48 |
| บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน | 51 |
| 3.1 เครื่องวัดความเร็วลม และทิศทางลม | 51 |
| 3.2 ภาคส่งสัญญาณวิทยุ | 51 |
| 3.2.1 วงจรวัดความเร็วลม | 51 |
| 3.2.2 วงจร์วัดทิศทางลม | 52 |
| 3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล | 52 |
| 3.2.4 วงจรนับ | 53 |
| 3.2.5 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 54 |
| 3.2.6 วงจรมัลติเพล็กซ์ | 55 |
| 3.2.7 วงจรเครื่องส่งวิทยุ | 56 |
| 3.3 ภาครับสัญญาณวิทยุ | 56 |
| 3.3.1 วงจรเครื่องรับวิทยุ | 56 |
| 3.3.2 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 56 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 3.3.3 วงจรดีมัลติเพล็กซ์ | 58 |
| 3.3.4 วงจรอินเตอร์เฟส | 59 |
| บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง | 60 |
| 4.1 บทนำ | 60 |
| 4.2 วงจรวัดความเร็วลม | 60 |
| 4.2.1 การทดลอง | 60 |
| 4.2.2 ผลการทดลอง | 62 |
| 4.3 วงจรวัดทิศทางลม | 62 |
| 4.3.1 การทดลอง | 62 |
| 4.3.2 ผลการทดลอง | 62 |
| 4.4 วงจรนับ | 63 |
| 4.4.1 การทดลอง | 63 |
| 4.4.2 ผลการทดลอง | 63 |
| 4.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล | 64 |
| 4.5.1 การทดลอง | 64 |
| 4.5.2 ผลการทดลอง | 65 |
| 4.6 วงจรมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ | 65 |
| 4.6.1 การทดลอง | 65 |
| 4.6.2 ผลการทดลอง | 66 |
| 4.7 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 66 |
| 4.7.1 การทดลอง | 66 |
| 4.7.2 ผลการทดลอง | 67 |
| 4.8 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 69 |
| 4.8.1 การทดลอง | 69 |
| 4.8.2 ผลการทดลอง | 69 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 4.9 เครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม | 69 |
| 4.9.1 การทดลอง | 69 |
| 4.9.2 ผลการทดลอง | 70 |
| บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา | 71 |
| 5.1 บทสรุป | 71 |
| 5.2 ปัญหา | 71 |
| 5.3 แนวทางแก้ไข | 72 |
| 5.4 แนวทางการพัฒนา | 72 |
| ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ | 73 |
| ภาคผนวก ข ผังการทำงาน และโปรแกรม | 78 |
| ภาคผนวก ค วงจรพิมพ์ และแผ่นวงจรพิมพ์ | 97 |
| ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์ | 109 |
| ภาคผนวก จ รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์ | 114 |
| ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน | 155 |
| ภาคผนวก ช การสอบเทียบเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลมกับกรมอุตุนิยมวิทยา | 161 |
| บรรณานุกรม | 163 |
| ประวัติผู้แต่ง | 164 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตาราง | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 2.1 เลขรหัส, ทิศนับเป็นองศาจริง ละป้อยท์ของเข็มทิศ | 5 |
| ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของหน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการวัดลม | 8 |
| ตารางที่ 2.3 ไมโครคอนโทลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ต่างๆ | 30 |
| ตารางที่ 2.4 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ต 3 | 32 |
| ตารางที่ 2.5 การเลือกพอร์ตของ 8255 | 41 |
| ตารางที่ 2.6 การจัดตำแหน่งพอร์ตของระบบ | 44 |
| ตารางที่ 2.7 การถอดรหัสแอดเดรสพอร์ต | 47 |
| ตารางที่ 4.1 ผลของการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลม | 70 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูป | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 ศรลมแบบต่างๆ | 7 |
| รูปที่ 2.2 เครื่องวัดลมแบบแผ่นกระดก | 9 |
| รูปที่ 2.3 เครื่องวัดความเร็วลมชนิดลูกถ้วย 3 ใบ รูปครึ่งทรงกลม | 10 |
| รูปที่ 2.4 เครื่องวัดลมแบบใช้ลูกถ้วยชนิดต่างๆ | 11 |
| รูปที่ 2.5 เครื่องวัดลมแบบแอโรเวน | 12 |
| รูปที่ 2.6 กระดาษกราฟสำหรับบันทึกรายการ | 13 |
| รูปที่ 2.7 เครื่องวัดลมแบบไดน์ | 14 |
| รูปที่ 2.8 วงจรขยายอาร์เอฟที่ใช้ทรานซิสเตอร์ | 17 |
| รูปที่ 2.9 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับ และภาคเครื่องส่ง | 18 |
| รูปที่ 2.10 วงจรขยายไอเอฟที่ใช้หม้อแปลงจูนระหว่างภาค | 19 |
| รูปที่ 2.11 วงจรขยายไอเอฟแบบใช้คริสตอลฟิลเตอร์ควบคุมคุณสมบัติการเลือกรับสัญญาณ | 19 |
| รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์ | 20 |
| รูปที่ 2.13 วงจรผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ | 21 |
| รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่กระแสอิมิตเตอร์ในค่าต่างๆ | 22 |
| รูปที่ 2.15 วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติต่างๆ ในเครื่องรับชนิดเฮเทอโรดายน์ | 23 |
| รูปที่ 2.16 ลักษณะการควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับโดยวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ | 24 |
| รูปที่ 2.17 การส่งสัญญาณดิจิตอล | 25 |
| รูปที่ 2.18 มอดูเลเตอร์เอฟเอสเค | 27 |
| รูปที่ 2.19 การเบี่ยงเบนความถี่ | 27 |
| รูปที่ 2.20 โครงสร้างภายในของ MCS-51 | 30 |
| รูปที่ 2.21 ขาต่างๆ ของ 8051 | 31 |
| รูปที่ 2.22 ขาของ MCS-51 ที่ใช้ต่อกับ XTAL | 33 |
| รูปที่ 2.23 โครงสร้างพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51 | 34 |
| รูปที่ 2.24 การต่อพอร์ตเข้ากับระบบบัสภายใน MCS-51 | 35 |
| รูปที่ 2.25 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน | 35 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูป | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.26 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม | 36 |
| รูปที่ 2.27 บิตต่างๆ ของข้อมูลที่ส่งแบบอนุกรม | 37 |
| รูปที่ 2.28 การรับส่งข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับบัสภายใน | 38 |
| รูปที่ 2.29 โครงสร้างของไอซี 8255 | 40 |
| รูปที่ 2.30 ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอล | 42 |
| รูปที่ 2.31 ขาสัญญาณบนสล็อต และการ์ดอินเตอร์เฟส | 46 |
| รูปที่ 2.32 วงจรพอร์ตหมายเลข 27CH-27FH | 46 |
| รูปที่ 2.33 การเขียนโปรแกรมแบบธรรมดา กับแบบอีเว้น-ไดร์ฟเว้น | 50 |
| รูปที่ 3.1 วงจรตรวจจับแสงที่ใช้ในการวัดความเร็วลม | 51 |
| รูปที่ 3.2 วงจรวัดทิศทางลม | 52 |
| รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล | 53 |
| รูปที่ 3.4 วงจรนับ | 53 |
| รูปที่ 3.5 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 54 |
| รูปที่ 3.6 วงจรมัลติเพล็กซ์ | 55 |
| รูปที่ 3.7 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 57 |
| รูปที่ 3.8 วงจรดีมัลติเพล็กซ์ | 58 |
| รูปที่ 3.9 วงจรอินเตอร์เฟส | 59 |
| รูปที่ 4.1 วงจรวัดความเร็วลม | 60 |
| รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณพัลซ์ที่เกิดจากการตรวจจับแสงของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ | 61 |
| รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับแสง | 61 |
| รูปที่ 4.4 วงจรวัดทิศทางลม | 62 |
| รูปที่ 4.5 วงจรนับ | 63 |
| รูปที่ 4.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล | 64 |
| รูปที่ 4.7 การต่อใช้งานเพื่อทดลองวงจรมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ | 65 |
| รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค เมื่อป้อนลอจิก “1” ความถี่มาร์คมีค่า 1,200 Hz | 67 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูป | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค เมื่อป้อนลอจิก “0” ความถี่สเปซมีค่า 2200 Hz | 68 |
| รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณที่ได้จากการป้อนความถี่ด้วยฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ขนาด 300 bits / s ค่าแรงดัน 2 โวลต์ | 68 |
| รูปที่ ก.1 เครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม และชุดเครื่องส่งวิทยุ | 74 |
| รูปที่ ก.2 ชุดวัดความเร็วลม และทิศทางลม | 74 |
| รูปที่ ก.3 เครื่องส่งวิทยุ | 75 |
| รูปที่ ก.4 วงจรภายของเครื่องส่งวิทยุ | 75 |
| รูปที่ ก.5 วงจรภาคอินเตอร์เฟสสัญญาณ | 76 |
| รูปที่ ก.6 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ | 76 |
| รูปที่ ก.7 วงจรภายในของเครื่องรับสัญญาณวิทยุ | 77 |
| รูปที่ ข.1 ผังงานของโปรแกรมมัลติเพล็กซ์สัญญาณ | 79 |
| รูปที่ ข.2 ผังงานของโปรแกรมภาคดีมัลติเพล็กซ์ | 82 |
| รูปที่ ข.3 ผังงานโปรแกรมของการแสดงผลหน้าจอคอมพิวเตอร์ | 84 |
| รูปที่ ค.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล | 98 |
| รูปที่ ค.2 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล | 98 |
| รูปที่ ค.3 วงจรพิมพ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล | 99 |
| รูปที่ ค.4 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 99 |
| รูปที่ ค.5 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 100 |
| รูปที่ ค.6 วงจรพิมพ์ของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 100 |
| รูปที่ ค.7 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 101 |
| รูปที่ ค.8 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 101 |
| รูปที่ ค.9 วงจรพิมพ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค | 102 |
| รูปที่ ค.10 วงจรตรวจจับแสง | 102 |
| รูปที่ ค.11 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรตรวจจับแสง | 103 |
| รูปที่ ค.12 วงจรพิมพ์ของวงจรตรวจจับแสง | 103 |
| รูปที่ ค.13 วงจรมัลติเพล็กซ์ | 104 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูป | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ ค.14 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์ | 104 |
| รูปที่ ค.15 วงจรพิมพ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์ทางด้านบน | 105 |
| รูปที่ ค.16 วงจรพิมพ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์ทางด้านล่าง | 105 |
| รูปที่ ค.17 วงจรอินเตอร์เฟส | 106 |
| รูปที่ ค.18 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรอินเตอร์เฟส | 106 |
| รูปที่ ค.19 วงจรพิมพ์ของวงจรอินเตอร์เฟสทางด้านบน | 107 |
| รูปที่ ค.20 วงจรพิมพ์ของวงจรอินเตอร์เฟสทางด้านล่าง | 108 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในการพยากรณ์ความเร็วและทิศทางของลมในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งนั้น จะต้องมีเครื่องมือที่ทำหน้าที่ตรวจจับ หรือวัดความเร็วหรือทิศทางของลมที่เคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่นั้น และนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดนั้นมาประมวลผลเพื่อพยากรณ์ แต่เนื่องจากเครื่องวัดความเร็วของลมในปัจจุบันเครื่องหนึ่งๆ จะเป็นเครื่องวัดความเร็วลมเพียงอย่างเดียว และระบบการส่งผ่านข้อมูลความเร็วลมยังคงใช้สายเคเบิลเป็นตัวกลางส่งผ่านข้อมูลอยู่ ซึ่งทำให้ยุ่งยากในการติดตั้งและเชื่อมต่อระหว่างตัววัดที่ติดตั้งอยู่นอกสนามกับตัวแสดงผลภายในอาคาร จากสาเหตุนี้จึงได้มีความคิดที่จะสร้างเครื่องมือวัดความเร็วลม โดยมีขีดความสามารถในการบอกความเร็วและทิศทางลมอยู่ด้วยกัน และใช้ระบบส่งผ่านข้อมูลโดยคลื่นวิทยุ อีกทั้งยังสามารถเก็บข้อมูลไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย

## 1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1) สามารถวัดความเร็วและทิศทางลม โดยส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 462 MHz กำลังไฟฟ้า 3 วัตต์

2) สามารถวัดความเร็วและทิศทางลมได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลมที่ใช้งานในปัจจุบัน

3) สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ และสามารถนำมาประมวลผลได้ โดยใช้วงจรมอดูเลตแบบ FSK มีความเร็วในการส่ง 1,200 บิต/วินาที โดยมีความถี่ FM=1,200 Hz

4) สามารถแสดงผลในรูปของกราฟ และตัวเลขเป็นข้อมูลรายวัน และรายเดือน

## 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของปริญญานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย 7 เรื่อง ดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การวัดผิวลม ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเนื้อหาในส่วนของมาตรฐานการวัด ความเร็ว และทิศทางลมของกรมอุตุนิยมวิทยารวมทั้งวิวัฒนาการของเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลมแบบต่างๆ ที่มีใช้งานตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบัน

2) เครื่องรับส่งวิทยุเอฟเอ็มจะกล่าวถึงพื้นฐานของวงจรเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม ส่วนประกอบของวงจร และการทำงานของส่วนต่างๆ

3) การรับส่งข้อมูลดิจิตอลแบบเอฟเอสเค กล่าวถึงการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล และหลักการพื้นฐานของการมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

4) การมัลติเพล็กซ์สัญญาณใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ตระกูล MCS-51 กล่าวถึงองค์ประกอบพื้นฐานของไมโครคอนโทลเลอร์ ตระกูล MCS-51 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม และการเชื่อมต่อ MCS-51 กับอุปกรณ์ภายนอก

5) ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ ประกอบด้วยการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ชนิดต่างๆ

6) การอินเตอร์เฟสพื้นฐาน กล่าวถึงการออกแบบวงจรอินเตอร์เฟสเข้ากับ เครื่องไมโคร-คอมพิวเตอร์โดยใช้การ์ด ใช้ไอซี เบอร์ 8255 และการใช้ 74LS138 เป็นตัวถอดรหัส รวมทั้งพอร์ตต่างๆ ที่ใช้งาน

7) โปรแกรมวิชวลเบสิค ประกอบด้วยความเป็นมา และลักษณะโดยรวมของโปรแกรมวิชวลเบสิค การสร้างภาพจากวิชวลเบสิค

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง กล่าวถึงการออกแบบ และการสร้างวงจร แบ่งออกเป็น 10 วงจร คือ วงจรวัดความเร็วและทิศทางลม, วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล, วงจรนับ, วงจรมัลติเพล็กซ์แบบใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ตระกูล MCS-51, วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค, วงจรเครื่องส่งวิทยุ, วงจรเครื่องรับวิทยุ, วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค และวงจรอินเตอร์เฟส รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างภาพให้เกิดขึ้นบนจอไมโครคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง มีเนื้อหาเกี่ยวกับการตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรภาคต่างๆ ผลที่ได้รับ และการทดลองเมื่อนำเอาส่วนต่างๆ รวมเข้าด้วยกัน

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไข และพัฒนากล่าวถึงสมรรถภาพการทำงาน, ความผิดพลาด และจุดบกพร่องที่พบในวงจร หรือโปรแกรมที่จัดทำขึ้น รวมถึงที่มาของสาเหตุ และแนวทางแก้ไข

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข ผังการทำงาน และโปรแกรมการทำงาน

ภาคผนวก ค วงจรพิมพ์ และแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก จ รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎี และหลักการ

## 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่นำมาใช้ประกอบในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งเนื้อหาต่างๆ จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

## 2.2 การวัดลมผิวพื้น

### 2.2.1 กล่าวโดยทั่วไป

คำว่า "ลม" หมายถึง การเคลื่อนไหวของอากาศเฉพาะในทางแนวนอน (Horizontal Component) แต่ทางเดียว การวัดลมนี้ต้องให้ได้ค่าของทิศทางลม (Direction) และความเร็วลม (speed or force) ด้วย ลมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว เรียกว่า "ลมกระโชก" (Gustiness) การวัดทิศทาง, ความเร็ว และลมกระโชกจะให้ได้ผลแน่นอนดีนั้นต้องใช้เครื่องมือวัด แต่ถ้าไม่อาจทำได้เช่นนี้ให้ใช้วัดเอาด้วยการกะประมาณ (Estimation), ถ้าไม่มีการเคลื่อนไหวของลม หรือถ้าลมมีความเร็วน้อยกว่า 2 นอตแล้วเรียกว่า "ลมสงบ"

### 2.2.2 การวัดทิศทางลม

1) นิยาม

ทิศทางลมนั้นถือเอาลมที่พัดผ่านเข้าสถานีเป็นเกณฑ์ โดยใช้วัดเป็นองศาตามเข็มนาฬิกา โดยใช้ทิศทางเหนือจริงของสถานีเป็นหลัก คือ นับจาก 0 จนถึง 360 องศา นั่นเอง หรืออาจใช้นับเป็นป้อยท์ของเข็มทิศ ก็ได้ เช่น 8, 16 และ 32 ป้อยท์ เป็นต้น สุดแล้วแต่ความละเอียดของการที่ต้องการวัด

สำหรับรายงานทิศทางลมโดยรหัสนั้น ให้รายงานเป็นรหัส 00–36 ตารางต่อไปนี้เป็นเลขรหัส, ทิศนับเป็นองศาจริง และป้อยท์ของเข็มทิศ

2) ศรลม

ศรลมที่ใช้วัดทิศทางลมผิวพื้นนั้น ไม่ว่าจะเป็นแบบใดๆ ก็ตามจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

2.1) ต้องหมุนรอบแกนได้คล่อง โดยมีความฝืดแต่น้อยที่สุด การนี้ควรใช้แบริ่งแบบตลับลูกปืน

2.2) ศรลมต้องติดตั้งให้สมดุลย์กับแกนจริงๆ มิฉะนั้นอาจเอียงไปทางทิศหนึ่งทิศใด ถ้าแกนไม่ตั้งตรงแนวดิ่งอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) ต้องออกแบบให้มีแรงหมุนรอบตัวได้ในอัตราที่สูงที่สุด เพราะเมื่อลมเปลี่ยนทิศทางไปย่อมมีความเกี่ยวข้องอยู่กับความเฉื่อยของเครื่องด้วย

2.4) เมื่อลมเปลี่ยนทิศทางไปตามธรรมชาติ ศรลมต้องไม่สั่น

2.5) การติดตั้งต้องระวังเป็นพิเศษ เพื่อให้แน่ใจว่าแกนของเครื่องตั้งตรงดิ่งจริง และทิศต้องชี้ถูกต้อง โดยถือทิศเหนือจริงเป็นหลัก

**ตารางที่ 2.1** เลขรหัส, ทิศนับเป็นองศาจริง และป้อยท์ของเข็มทิศ

| Compass direction | Exact equivalent in degrees | Code figure | Compass direction | Exact equivalent in degeees | Code figure |
|---|---|---|---|---|---|
| Calm | - | 00 | | | |
| N by E | 11.25 | 01 | S by W | 191.25 | 19 |
| NNE | 22.5 | 02 | SSW | 202.5 | 20 |
| NE by N | 33.75 | 03 | SW by S | 213.75 | 21 |
| NE | 45 | 05 | SW | 225 | 23 |
| NE by E | 56.25 | 06 | SW by W | 236.25 | 24 |
| ENE | 67.5 | 07 | WSW | 247.5 | 25 |
| E by N | 78.5 | 08 | W by S | 258.75 | 26 |
| E | 90 | 09 | W | 270 | 27 |
| E by S | 101.25 | 10 | W by N | 281.25 | 28 |
| ESE | 112.5 | 11 | WNW | 292.5 | 29 |
| SE by E | 123.75 | 12 | NW by W | 303.75 | 30 |
| SE | 135 | 14 | NW | 315 | 32 |
| SE by S | 146.25 | 15 | NW by N | 326.25 | 33 |
| SSE | 157.5 | 16 | NNW | 337.5 | 34 |
| S by E | 168.75 | 17 | N by W | 348.75 | 35 |
| S | 180 | 18 | N | 360 | 36 |
| | | | Variable | - | 99 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ N หมายถึง North

E หมายถึง East

W หมายถึง West

S หมายถึง South

**3) เครื่องบันทึกรายงานและหน้าปัทม์ทิศทางลม**

สำหรับการตรวจเพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นต้องการทิศทางลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนทำการตรวจ โดยอ่านจากศรลมชนิดบันทึกรายงานด้วยตัวเอง สำหรับความมุ่งหมายในการเดินอากาศต้องการทิศทางลมจากเครื่องมือที่จดรายงานได้ในระยะไกล และเครื่องต้องมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลม คือ เมื่อลมเปลี่ยนทิศโดยฉับพลันในความเร็ว 5 นอต ศรลมต้องทำงานได้ในเวลาไม่เกิน 1 วินาที และเมื่อลมแรงมากๆ แล้วสัมประสิทธิ์ในการล้าหลังต้องมีน้อยลงอีก

**4) การกะประมาณทิศทางลม**

ศรลมส่วนมากจะไม่เปลี่ยนไปตามทิศทางของลมได้ดีนัก เมื่อลมมีความเร็วน้อยกว่า 3 นอต ในกรณีนี้ หรือเมื่อไม่มีเครื่องมือตรวจ หรือเครื่องมือชำรุดต้องกะประมาณทิศทางของลมเอาเอง โดยตรวจจากถุงกระบอกผ้าวัดทิศทางลมที่ติดตั้งไว้ใกล้ทางวิ่งของสนามบิน แนวเอียงของควันซึ่งออกจากปล่องสูงๆ หรือจากการเคลื่อนไหวของใบไม้ เป็นต้น ตามเรือใหญ่ๆ จะสังเกตทิศทางของลมได้จากธง ซึ่งติดอยู่บนยอดเสาก็ได้

ในกรณีเหล่านี้ย่อมมีอัตราผิดอันเกิดจากระยะที่ปรากฏแก่สายตาได้ เว้นเสียว่าผู้ตรวจจะยืนอยู่ในแนวดิ่งตั้งตรงจากสิ่งเหล่านั้น ต้องระมัดระวังกระแสลมผวนอันเกิดจากอาคารสิ่งก่อสร้างและสิ่งอื่นๆ ด้วย ผู้ตรวจต้องจำไว้ว่า (ก) ในตำบลที่ใกล้เคียงโดยเฉพาะด้านปลายลมของบ้านเรือน, ต้นไม้, ภูเขา หรือสิ่งกีดขวางทางลมเช่นนั้นลมย่อมเหไปจากทิศทางเดิมของมัน ให้ถือว่าทิศทางลมที่ตรวจได้นั้นผิด (ข) ทิศทางลมนั้นไม่เคยพัดอยู่คงที่ แต่จะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาทั้งสองข้างของทิศเฉลี่ย การรายงานทิศทางลมจึงให้รายงานทิศเฉลี่ย (Mean Direction)

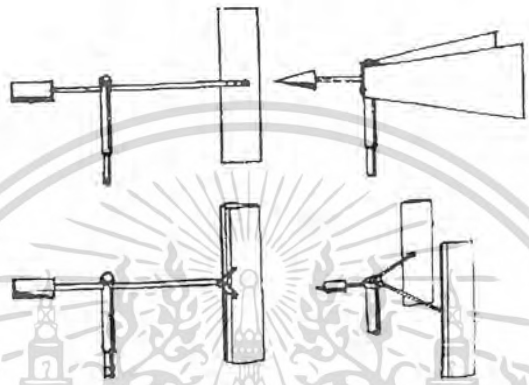
ในที่ๆ เปิดโล่งการคาดคะเนทิศทางลม ให้ผู้ตรวจหันหน้าเข้าหาลมจะได้ทิศทางลมที่ถูกต้องแน่นอนดีกว่า

**5) แบบของศรลม**

แบบของศรลมมีต่างๆ กัน ที่ใช้กันแพร่หลายในขณะนี้มีดังแสดงในรูปที่ 2.1 ศรลมที่ใช้กันทั่วไปมักทำเป็นรูปศร มีปลายแหลม หรือไม่ก็ทำเป็นรูปทรงกระบอก ดังเช่นแบบของเครื่องวัดลมแบบไดน์ ปลายศรมักหันลมได้รอบทิศ โดยมีหางลมบังคับ หางลมทำเป็นรูปต่างๆ กัน เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปหางปลาบ้าง รูปกงจักรบ้าง บางทีก็ทำเป็นสองหางคู่กันจรดกันเป็นมุมประมาณ 22 องศา ปลายเปิดบานออก นับว่าเป็นแบบที่ได้ประโยชน์ดีกว่าแบบอื่น คือ ได้รับลมปะทะทั้งสองด้าน เมื่อศรลมหันตรงลมจึงเลี้ยงให้นิ่งได้ แม้ว่ามีลมกระโชก และเวลาลมเบามากๆ อาจหันตามไปได้รวดเร็ว ตรงกลางที่สวมอยู่กับแบริ่งทำฝาครอบไว้เพื่อกันน้ำฝน หรือผงฝุ่นเข้าไปทำให้เกิดความฝืด



**รูปที่ 2.1** ศรลมแบบต่างๆ

### 2.2.3 การวัดความเร็วลม

โดยที่การรายงานความเร็วลมเพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นใช้เป็นนอต ดังนั้น เครื่องวัดความเร็วลม จึงควรแบ่งสเกลเป็นนอตด้วย สำหรับรายงานเพื่อการพยากรณ์อากาศต้องการค่าของความเร็วลมผิวพื้นเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนการตรวจ หรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต และต้องอ่านให้ได้ค่าใกล้เคียงนอตที่สุดถ้าลมมีความเร็วน้อยกว่า 1 นอต ให้รายงานว่า “ลมสงบ”

1) วิธีที่วัดด้วยเครื่องมือ

เครื่องวัดความเร็วลมที่เหมาะสำหรับความมุ่งหมายเพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องเป็นเครื่องที่อ่านได้หรือบันทึกรายการได้ในที่ทำการสำนักงาน เพื่อว่าจะได้เป็นการสะดวกในการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในช่วง 10 นาที หรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต การนี้ควรใช้เครื่องวัดความเร็วลมที่สามารถบันทึกรายงานได้ด้วยตัวเอง แทนเครื่องวัดความเร็วลมแบบธรรมดา ค่าของความเร็วลมและทิศทางลมที่ขีดบนกระดาษกราฟต่อเนื่องกันนั้น จะมีความกว้างมากน้อยไม่เท่ากัน การหาค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสองให้ใช้เส้นกลางของความกว้างของรอยขีดนั้นๆ

เพื่อความมุ่งหมายทางการเดินอากาศต้องการใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบบันทึกรายงานได้ในระยะไกล คือเดินสายไฟจากเครื่องมายังหน้าปัทม์ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ทำการ และเครื่องมือจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วัดลมกระโชกได้ด้วย ในการนี้เครื่องจะต้องมีความไวดี (มีสัมประสิทธ์ในการล้าหลังน้อยมาก) คือเมื่อลมเปลี่ยนความเร็วโดยฉับพลัน เครื่องจะต้องทำงานไม่เกิน 1 วินาที ถ้าลมยิ่งมีความเร็วทวีขึ้น สัมประสิทธ์ในการล้าหลังต้องน้อยลง

ถ้าเครื่องทั้งแบบธรรมดา และแบบที่จดบันทึกได้ด้วยตนเองมีอัตราแก้ ให้เขียนอัตราแก้ประจำเครื่องได้ด้วย เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแน่นอนดีถึง 1 นอต การหาอัตราแก้หาได้จากการทดลองกับอุโมงค์ลม หรือสอบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน

เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมประจำวันนั้น แบ่งเป็นแบบใหญ่ๆ ได้สองแบบด้วยกัน คือ แบบใช้ลูกถ้วยหมุนหรือแบบใบพัดกับแบบใช้ท่อความกด สำหรับแบบที่ใช้อาการกระดกของแผ่นโลหะนั้นใช้ได้เพียงหยาบๆ เท่านั้น

**2) หน่วยที่ใช้ในการวัด**

หน่วยที่ใช้วัดค่าของความเร็วลมนั้น อาจทำการวัดได้หลายหน่วย ดังนี้

2.1) นอต (หรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง)

2.2) เมตรต่อวินาที

2.3) กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.4) ไมล์ต่อชั่วโมง

2.5) ฟุตต่อวินาที

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆ เหล่านี้แสดงให้เห็นดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.2** แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการวัดลม

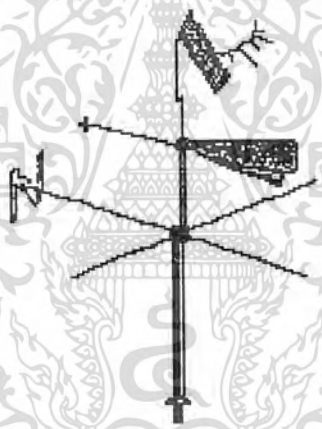
| kt. (นอต) | m/sec. (เมตรต่อวินาที) | m.p.h (ไมล์ต่อชั่วโมง) | km/hr. (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) | ft/sec. (ฟุตต่อวินาที) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.515 | 1.152 | 1.853 | 1.689 |
| 1.943 | 1 | 2.237 | 3.600 | 3.281 |
| 0.868 | 0.447 | 1 | 1.609 | 1.467 |
| 0.540 | 0.278 | 0.622 | 1 | 0.911 |
| 0.592 | 0.305 | 0.682 | 1.097 | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3) เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้อาการกระดก**

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด แต่ความถูกต้องแม่นยำในการวัดใช้ได้ดีพอประมาณ ส่วนประกอบของเครื่องทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม เป็นไม้ หรือเป็นโลหะอย่างเบาติดที่อยู่ที่ยอดศรลม มีบานพับติดห้อยอยู่ให้หันไปได้กับศรลม และหันทางแบนของแผ่นโลหะหรือไม้ให้ได้ฉากกับศรลม ดังนั้นแผ่นสี่เหลี่ยมนี้จึงหันหน้ารับลมอยู่เสมอ เมื่อลมพัดมาปะทะกับแผ่นสี่เหลี่ยมนี้ก็จะกระดกขึ้น มีก้านกำหนดสเกลของความเร็วต่างๆ ของลมไว้ให้เห็นได้ชัดจากเบื้องล่างตรงโคนเสาวัดลม

การอ่านค่าของสเกลนั้น เนื่องจากลมมิได้มีความเร็วคงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นแผ่นไม้หรือโลหะย่อมแกว่งไปแกว่งมา ให้สังเกตดูว่าแกว่งอยู่ระหว่างก้านกำหนดสเกลเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น แผ่นไม้หรือแกว่งโลหะนั้นแกว่งอยู่ระหว่างก้านสเกลที่ 1 กับที่ 3 ให้ถือเอาความเร็วเฉลี่ยที่ก้านกำหนดสเกลที่ 2 เป็นเกณฑ์ดังนี้เป็นต้น พนักงานพึงเข้าใจว่าก้านกำหนดสเกลนี้ไม่ใช่อ่านเป็นมาตราโบฟอร์ด



รูปที่ 2.2 เครื่องวัดลมแบบแผ่นกระดก

**4) เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้ลูกถ้วยและใบพัด**

เครื่องแบบนี้ใช้อาการหมุนของลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย ซึ่งใช้ได้ดีกว่าลูกถ้วยครึ่งทรงกลมและขอบปากถ้วยทำให้นูนขึ้นมา แบบที่เป็นลูกถ้วย 3 ใบนั้นมีแรงเหวี่ยงหมุนรอบตัวสูงที่สุด และโดยใช้ลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยจะลดอัตราผิดได้มากเมื่อลมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนขอบที่นูนขึ้นมานั้นจะช่วยให้รักษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความเร็วที่ลูกถ้วยหมุนให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แบริ่งที่แกนหมุนนั้นต้องออกแบบอย่างดี เพื่อให้ทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ และขณะเดียวกันก็ต้องให้ง่ายสำหรับการหยอดน้ำมันหล่อลื่นด้วย ได้มีผู้ออกแบบเครื่องวัดลมเช่นนี้ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน โดยใช้อาการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเล็กๆ ต่อกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปเข้าหน้าปัทม์ ซึ่งแบ่งสเกลไว้เป็นค่าของความเร็วลม

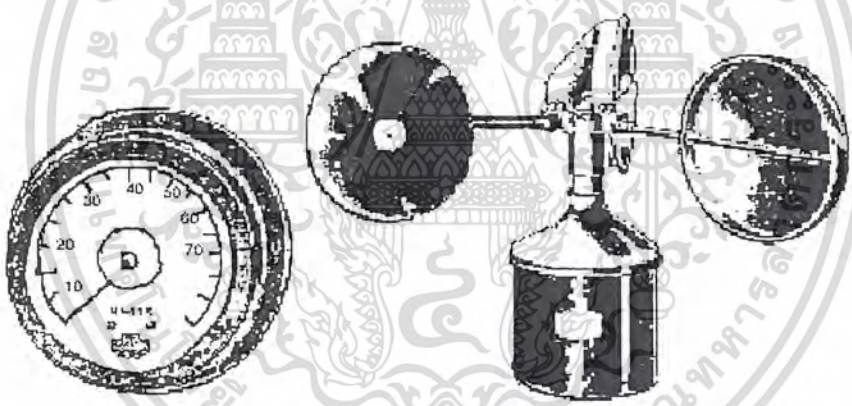
ข้อเปรียบเทียบของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย 3 ใบกับเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 4 ใบ

1) แบบที่ใช้ลูกถ้วย 3 ใบ ดีกว่า 4 ใบ เพราะแรงเหวี่ยงรอบตัวของแบบ 3 ใบได้ระเบียบดีกว่า และถ้าใช้โลหะอย่างเดียวกัน แบบ 3 ใบให้แรงเหวี่ยงต่อน้ำหนักหน่วยมากกว่า

2) ถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยดีกว่าถ้วยรูปครึ่งทรงกลม

3) ขอบของถ้วยทำให้เป็นรูปนูนขึ้นมา ทำให้มีความไวต่ออาการผกผันของกระแสลมน้อยกว่าขอบเรียบธรรมดา

ในการทดลองต่อๆ มาปรากฏว่าคุณสมบัติที่ดีของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยนี้เป็นแบบที่เบาและมีขนาดเล็ก เพราะสามารถใช้วัดลมที่มีกำลังอ่อนมากๆ ได้



รูปที่ 2.3 เครื่องวัดความเร็วลมชนิดลูกถ้วย 3 ใบ รูปครึ่งทรงกรวย

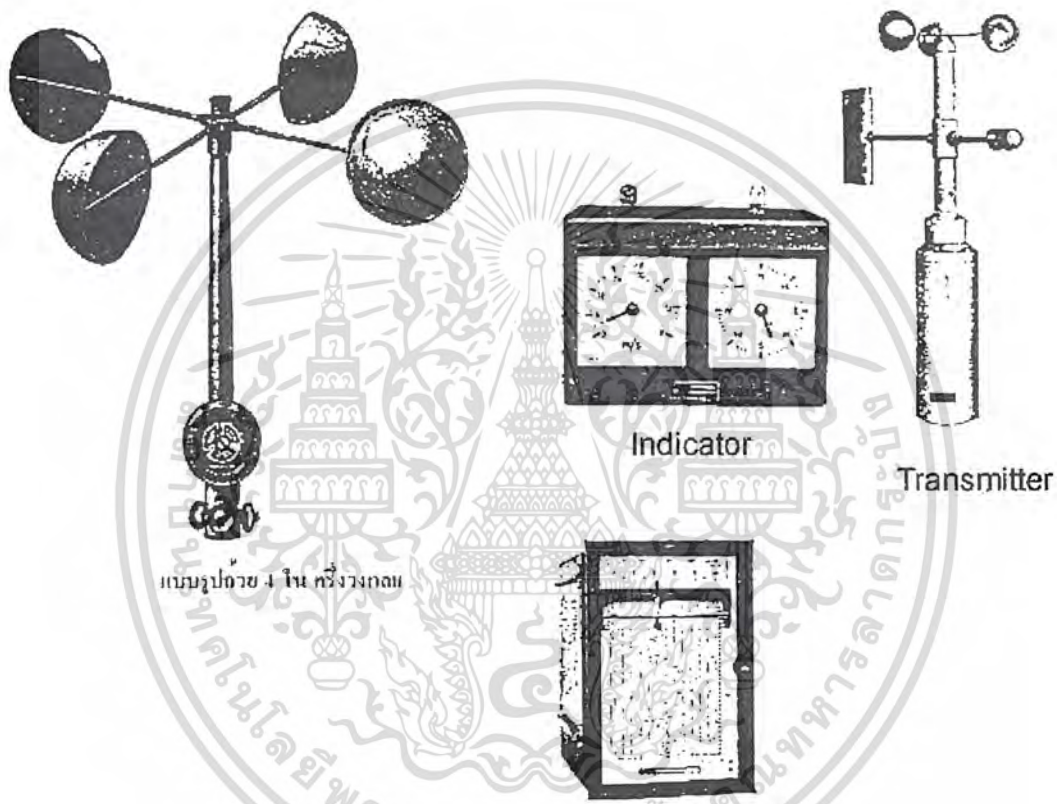
**5) เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด**

เครื่องแบบนี้ใช้อาการหมุนของใบพัดสำหรับวัดความเร็วลม ส่วนทิศทางลมนั้นเขาทำศรลมคล้ายรูปเครื่องบิน เครื่องชนิดนี้มีทั้งเครื่องที่ใช้กับไฟฟ้า เรียกว่าแบบ “Aerovane” กับแบบที่ไม่ต้องใช้กับไฟฟ้า แต่ใช้ความกดของอากาศแทน เรียกว่าแบบ “Aerolog” ทั้งสองแบบสร้างโดยบริษัท Bendix and Friez Instrument Company, U.S.A

เครื่องแบบแอโร่เวนประกอบด้วยใบพัด 3 ใบ โครงเครื่องคล้ายกับเครื่องบินขนาดเล็ก ทำหน้าที่เป็นศรลมติดอยู่ปลายยอดเสา เครื่องแบบนี้ใช้อาการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับแบบลูกถ้วย ต่อสายไฟมายังหน้าปัทม์บอกความเร็ว ซึ่งแบ่งสเกลเป็นไมล์ต่อชั่วโมง หรือนอต และเมื่อศรลม (ตัวคล้ายรูปเครื่องบิน) หันไปตามทิศทางของลมในทิศต่างๆ ก็จะส่งอาการของไฟฟ้าลงมายังหน้าปัทม์บอกทิศทางลมด้วย




รูปที่ 2.4 เครื่องวัดลมแบบใช้ลูกถ้วยชนิดต่างๆ

เพื่อต้องการให้จดบันทึกรายงานของทิศทางและความเร็วลมให้ต่อเนื่องกัน ใช้ต่อสายไฟไปเข้าเครื่องจดรายงาน ซึ่งมีปากกาขีดไปบนกระดาษกราฟจดบันทึกทิศทางและความเร็วลมให้ติดต่อเนื่องกันไปตลอดเวลา

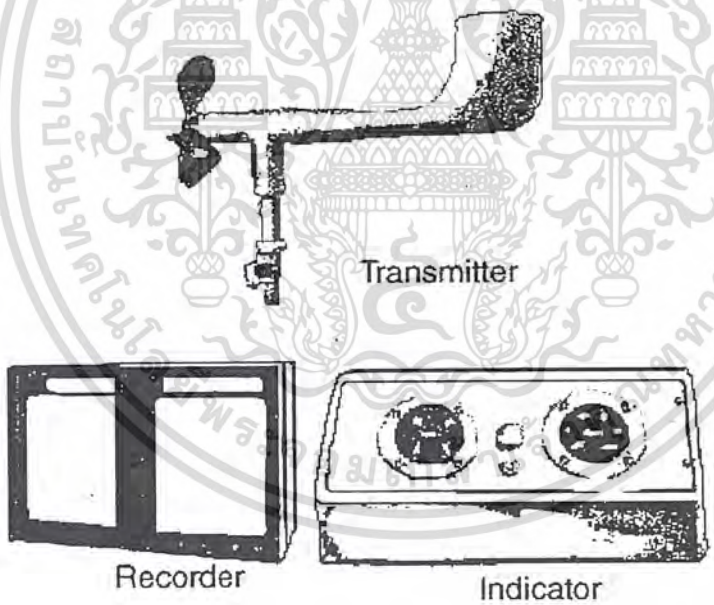
กระดาษกราฟรูปซ้ายมือจดบันทึกรายงานความเร็วลมเป็นไมล์ต่อชั่วโมง

กระดาษกราฟรูปขวามือจดบันทึกทิศทางของลมบนกระดาษกราฟ ด้านซ้ายเป็นลมฝ่ายตะวันตก และด้านขวามือเป็นลมฝ่ายตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

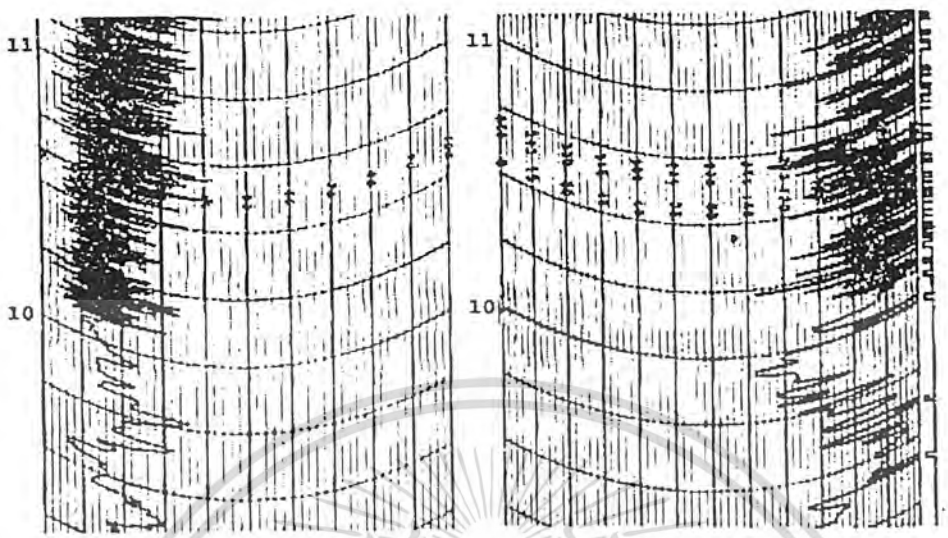
**6) เครื่องวัดความเร็วลมจำพวกใช้ความกด**

เป็นแบบที่ดีที่สุดและมีความถูกต้องแม่นยำดีกว่าแบบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว แบบที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือแบบ "มุนโรไดน์" เครื่องประกอบด้วยท่อรับลม ซึ่งติดต่อมาจากหัวศรลมลงมาเบื้องล่างของถังน้ำภายใต้ลูกลอย ดันลูกลอยให้สูงขึ้นตามกำลังของลม ลมเหนือลูกลอยในถังหนีออกได้อีกท่อหนึ่ง ซึ่งเป็นท่อระบายลม การเลื่อนขึ้นลงของลูกลอยติดต่ออาการไปยังแขนปากกาปากกาขีดไปบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันอยู่รอบกระบอกนาฬิกา เครื่องแบบนี้ทำได้จากการคำนวณเลขตามความกด, ขนาดของท่อ และอื่นๆ ได้ทั้งความกดและความเร็วลม และศรลมยังใช้วัดทิศทางลมอีกด้วยในคราวเดียวกัน เครื่องแบบนี้ไม่มีอาการเกี่ยวกับไฟฟ้า จึงใช้ได้สะดวก แม้ในที่ไกลๆ การคมนาคม และใช้วัดลมกระโชกได้ดีมาก




**รูปที่ 2.5** เครื่องวัดลมแบบแอโรเวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.6 กระดาษกราฟสำหรับบันทึกรายงาน

**6.1) เครื่องวัดแบบไดน์**

เป็นเครื่องวัดลมประเภทใช้แรงกดดังที่ได้กล่าวมาแล้วประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ประการ คือ

1) ส่วนบนของศรลม

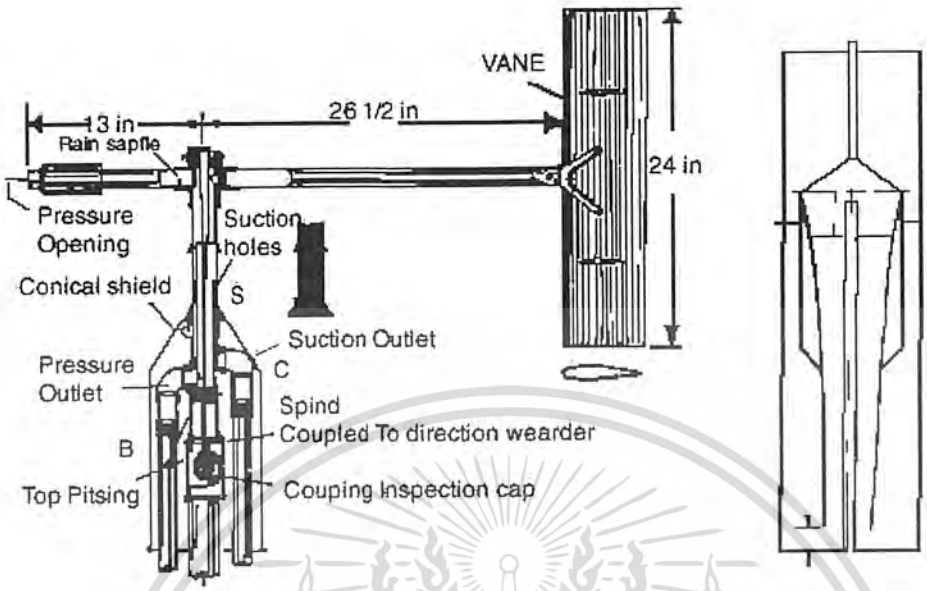
2) เสาหรือหอคอย สำหรับติดตั้งแกนส่งหรือเครื่องวัดทิศทางท่อความกด และท่อดูด และเป็นเครื่องยึดส่วนบนด้วย

3) เครื่องจดบันทึกรายงานทิศทางและความเร็วลม ซึ่งต้องตั้งอยู่ในแนวดิ่งกับศรลม และมีห้องกั้นอย่างมิดชิด มีหลังคากันแดดและฝนด้วย

**6.2) ส่วนบนและศรลม**

ในรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นส่วนบนและศรลม A เป็นท่อปลายศรลมซึ่งอากาศจะเข้าไปทางท่อนี้ ศรลมนี้จะหันหน้ารับลมอยู่เสมอ โดยมีหางบังคับ เมื่อลมพัดเข้าไปในท่อ A จะก่อให้เกิดความกดส่งผ่านไปยัง Pressure outler B, และมีท่อต่อไปเข้าเครื่องจดรายงานเบื้องล่างที่ Pressure cock (a). ท่ออันกลางหุ้มไว้ด้วยท่ออีกชั้นหนึ่งคือ S ซึ่งเจาะรูเล็กๆ ไว้รอบๆ หลายรู ทำหน้าที่เป็น Suction holes, C เป็น Suction Cock (b).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.7 เครื่องวัดลมแบบไดน์

6.3) แกน

จากศรลมนี้ต่ออาการลงไปยังเครื่องจดรายงานทิศทางของลมซึ่งอยู่รวมกันกับเครื่องจดบันทึกรายงานความเร็วลม

6.4) เครื่องจดรายงานและความเร็วลม

เครื่องภายในประกอบด้วยเครื่องลูกลอย ซึ่งลอยอยู่เหนือน้ำ (น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำกลั่น หรือน้ำสะอาดบริสุทธิ์ หรือน้ำฝนก็ได้) ท่อความกดติดอยู่กับช่องว่างภายในลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวหน้าน้ำ โดยมีท่อตั้งขึ้นมาจากตรงกลางของถัง ท่อดูด (Suction tube) ส่งอาการต่อไปยังที่ว่างภายนอกลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวหน้าน้ำ

ที่ตรงกลางตอนบนของลูกลอยซึ่งอยู่เหนือผิวน้ำนั้นมีก้านต่อขึ้นมายังตอนบนของถังที่ก้านลูกลอยนี้มีปากกาติดอยู่ ซึ่งจะขีดไปบนกระดาษกราฟบอกค่าของความเร็วลม ตอนปลายสุดของก้านมีถ้วยเล็กๆ สำหรับใส่ลูกปืน เพื่อความมุ่งหมายในการตั้งขีด 0 ของเครื่องวัดความเร็วลม

ตอนล่างสุดของเครื่องมีท่อระบายน้ำออก (drainage plug) เพราะน้ำฝนอาจเข้ามาตามท่อปลายศรลมเข้ามาในเครื่องได้ หรือไม่ก็เมื่อพนักงานมีความสะเพร่ายกลูกลอยขึ้นลง อาจทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นมาจนล้นท่อตรงกลางเครื่องก็ได้

เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกลอยหมุนไป หรือเอนเอียงไป เขาทำที่บังคับไว้ และที่ข้างๆ ถังภายนอกเขาทำหลอดแก้วไว้ เพื่อสะดวกในการที่จะได้ทราบระดับน้ำในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ทฤษฎีของเครื่อง**

ความแตกต่างกันในความกด P อันเกิดจากปลายท่อความกดของเครื่อง สำหรับลมที่มีความเร็ว V ในอากาศซึ่งมีความแน่น หาได้ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} K \quad (v^2) \tag{2.1}$$

ซึ่ง K เป็นตัวประจำ คำนวณได้จากขนาดของหัวศรลม (head)

จาก Wind tunnel calibration ณ กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศอังกฤษ ซึ่งออกแบบเช่นเดียวกันกับปลายศรลม ได้ค่าของ K = 1.49 และความหนาแน่นมาตรฐานของอากาศ 1.226 $gm / m^3$ ปรากฏผลดังนี้

$p = 0.00103 \quad (v^2)$ for p in inches of water and v in knots. (2.2)

$p = 0.0261 \quad (v^2)$ for p in millimeters of water and v in knots. (2.3)

$p = 0.093 \quad (v^2)$ for p in millimeters of water and v in meters/sec. (2.4)

และโดยการทดลองของ Mr.W.H.Dines ซึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องวัดลมแบบนี้ ปรากฏว่า เมื่อกำหนดให้ p เป็นความต่างกันของความกดเป็นนิ้วของน้ำ และ V เป็นความเร็วลม เป็นไมล์ต่อชั่วโมง จะได้

$$p = 0.00073 \ K \quad (v^2) \tag{2.5}$$

และถ้าให้ p เป็นมิลลิเมตรของน้ำ สูตรใหม่จะได้ดังนี้

$$p = 0.0186 \quad (v^2) \tag{2.6}$$

หรือ

$$p = 0.136 \quad (v) \tag{2.7}$$

ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดนับว่าตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4 การวัดความเร็วลมและการคาดคะเนความเร็วลม

การวัดความเร็วลมนั้น โดยทั่วไปใช้วัดเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือไมล์ต่อชั่วโมง (บางทีก็วัดเป็นนอต) ในบางกรณีใช้วัดความเร็วเป็นฟุตต่อวินาที หรือเป็นเมตรต่อวินาทีก็มี

สำหรับการคาดคะเนความเร็วนั้น ประมาณเอาจากอาการของสิ่งที่รับลมทั้งหลาย ในการนี้ พลเรือเอกโบฟอร์ต แห่งราชนาวีอังกฤษได้เป็นผู้กำหนดการกะประมาณความเร็วลมไว้เป็น 12 มาตรา ตั้งแต่ปี ค.ศ.1805 โดยถือเอาอาการที่ใบเรือรับลมต่างๆ เป็นหลัก ต่อมาจึงได้เปรียบเทียบตามกำลังของลมโดยอาการของควันบ้าง ธงบ้าง หรือต้นไม้ และอาคารบ้านเรือนเป็นเครื่องกำหนดโดยประมาณบนพื้นดิน แล้วเทียบเป็นอัตราโบฟอร์ต ต่อมาองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้ปรับปรุงการคาดคะเนความเร็วของลมจนถึงมาตรา 17 โบฟอร์ต และได้ถือเป็นหลักปฏิบัติกันโดยทั่วไป

## 2.3 วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ

ถึงแม้ว่าภายในแผนผังของเครื่องส่งวิทยุจะมีความแตกต่างกัน แต่ความจริงแล้วมีวงจรพื้นฐานเหมือนกับที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุแต่ละวงจรมีข้อดีข้อเสียประจำตัวมันเอง ซึ่งไม่ได้หมายความว่าวงจรหนึ่งจะดีกว่าอีกวงจรหนึ่งเสมอไป นอกจากวงจรมอดูเลตและวงจรดีมอดูเลตแล้วยังมีวงจรหลักๆ ที่สำคัญอีกหลายวงจร เช่นวงจรขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการ เช่นวงจรขยายอาร์เอฟ, วงจรขยายไอเอฟ และวงจรขยายเสียง เป็นต้น วงจรมิกเซอร์ซึ่งทำหน้าที่ผสมคลื่นสัญญาณ 2 คลื่น คือคลื่นที่ต้องการผสม และคลื่นออสซิลเลเตอร์โดยวงจรออสซิลเลเตอร์จะทำหน้าที่กำเนิดคลื่นที่มีความถี่ที่พอเหมาะในการผสมคลื่น, วงจรคูณทำหน้าที่คูณความถี่อาร์เอฟ, วงจรขยายกำลังสัญญาณความถี่สูงที่นิยมเรียกว่า PA โดยย่อมาจาก Power Amplifier วงจรจ่ายไฟ และวงจรด้านอื่นๆ เช่น วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ และวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน เป็นต้น

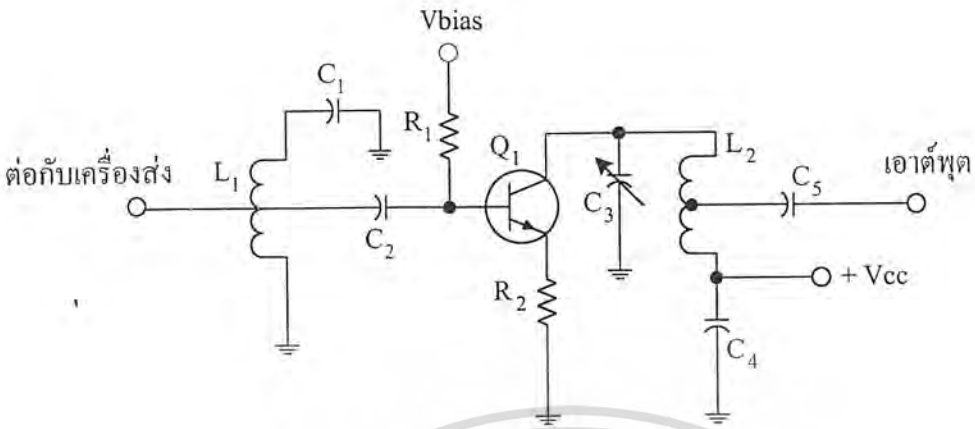
### 2.3.1 วงจรขยายอาร์เอฟ

วงจรขยายอาร์เอฟที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 แบบคือ วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม วงจรขยายเบสร่วม และวงจรขยายแบบคาสโคด ในรูปที่ 2.8 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม ซึ่งจะไบแอสให้ทำงานอยู่ในคลาส A โดยตัวต้านทาน $R_1$ และ $R_2$ โดยมีวงจรจูนทั้งทางด้านอินพุต และทางเอาต์พุต เพื่อที่จะขยายสัญญาณที่มีความถี่อยู่ในย่านความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน (วงจรแทงก์) วงจรขยายอาร์เอฟประเภทนี้ ต้องมีการสะเทิน เพื่อมิให้วงจรขยายเกิดการออสซิลเลตจากการป้อนกลับแบบบวกระหว่างอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการทำให้วงจรขยายเกิดการออสซิลเลตที่ความถี่สูงได้ วิธีการสะเทินวงจรทำได้โดยการป้อนกลับแบบลบ เพื่อไปหักล้างกับการป้อนกลับแบบบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง






รูปที่ 2.8 วงจรขยายอาร์เอฟที่ใช้ทรานซิสเตอร์

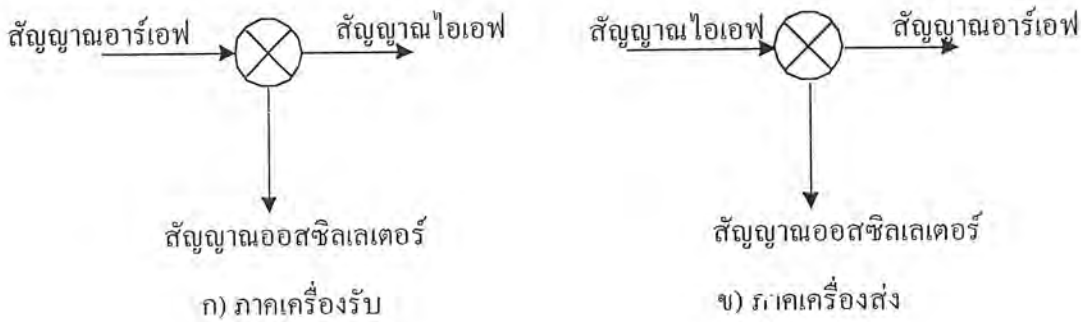
### 2.3.2 วงจรมิกเซอร์

วงจรมิกเซอร์ทำหน้าที่นำสัญญาณ 2 ความถี่มาทำการผสมกัน และได้ความถี่ผลต่างของสัญญาณทั้งสองความถี่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแอกทีฟ โดยใช้ทรานซิสเตอร์หรือไอซี รวมทั้งอุปกรณ์อื่นๆ ที่ให้อัตราการขยายต่อวงจรมิกเซอร์ ซึ่งใช้ในการผสมคลื่นความถี่ และอีกประเภทหนึ่งคือ ประเภทพาสซีฟ โดยใช้ไดโอด ซึ่งไม่มีการขยายสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งวงจรมิกเซอร์ได้เป็น 2 ประเภท คือแบบสมดุลย์ กับแบบไม่สมดุลย์ วงจรมิกเซอร์จะไม่เกิดปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน คือสัญญาณไม่เล็ดลอดระหว่างขั้ว คุณสมบัตินี้เรียกว่าการแยกระหว่างขั้ว หรือการแยกโดดเดี่ยว ดูรูปที่ 2.9 ลองพิจารณาในกรณีของภาคเครื่องรับจะเห็นว่าการแยกระหว่างขั้วอาร์เอฟ และขั้วออสซิลเลเตอร์จะช่วยมิให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ย้อนกลับไปสู่อากาศทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นออกไปได้ และการแยกระหว่างขั้วอาร์เอฟกับขั้วไอเอฟจะช่วยมิให้สัญญาณที่มีความถี่พอดีตรงกับความถี่ไอเอฟเล็ดลอดเข้าไปสู่วงจรขยายไอเอฟ ในกรณีของภาคส่งจะมีการพิจารณาในทำนองเดียวกัน

สำหรับวงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุลย์นั้นจะมีคุณสมบัติในการแยกระหว่างขั้วได้ไม่ดีเหมือนกับวงจรมิกเซอร์แบบสมดุลย์ ดังนั้น ถ้าหากต้องการให้มีการแยกสัญญาณได้ดีจะต้องใช้วงจรฟิลเตอร์ช่วยในการกรองสัญญาณต่างหากอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37214




รูปที่ 2.9 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่ง

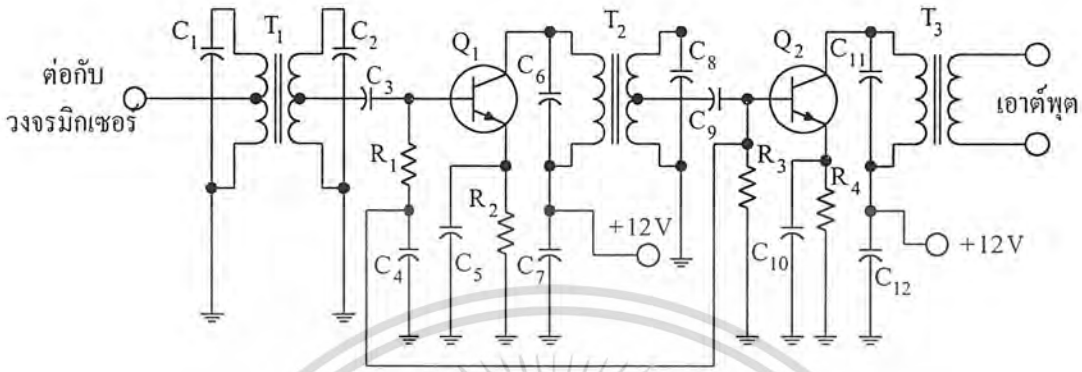
### 2.3.3 วงจรขยายไอเอฟ

วงจรขยายไอเอฟของภาคเครื่องรับเหมือนกับวงจรขยายอาร์เอฟเพียงแต่มีหน้าที่การทำงานแตกต่างกัน กล่าวคือ วงจรขยายอาร์เอฟทำหน้าที่ขยายสัญญาณ โดยให้มีสัญญาณรบกวนต่ำ ความเพี้ยนต่ำ และจะทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงมาก หรือน้อยก็ได้คือ จะมีช่วงไดนามิกที่กว้าง ซึ่งวงจรขยายไอเอฟจะทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณ โดยคำนึงถึงการเลือกรับสัญญาณเป็นหลัก และทำให้มีคุณสมบัติสัญญาณรบกวนที่ต่ำ ความเพี้ยนต่ำเป็นรอง ส่วนใหญ่แล้วอัตราขยายของวงจรขยายอาร์เอฟจะมีค่า 10 ถึง 15 เดซิเบล ส่วนอัตราขยายของวงจรขยายไอเอฟจะมีค่ามากกว่า 60 เดซิเบล

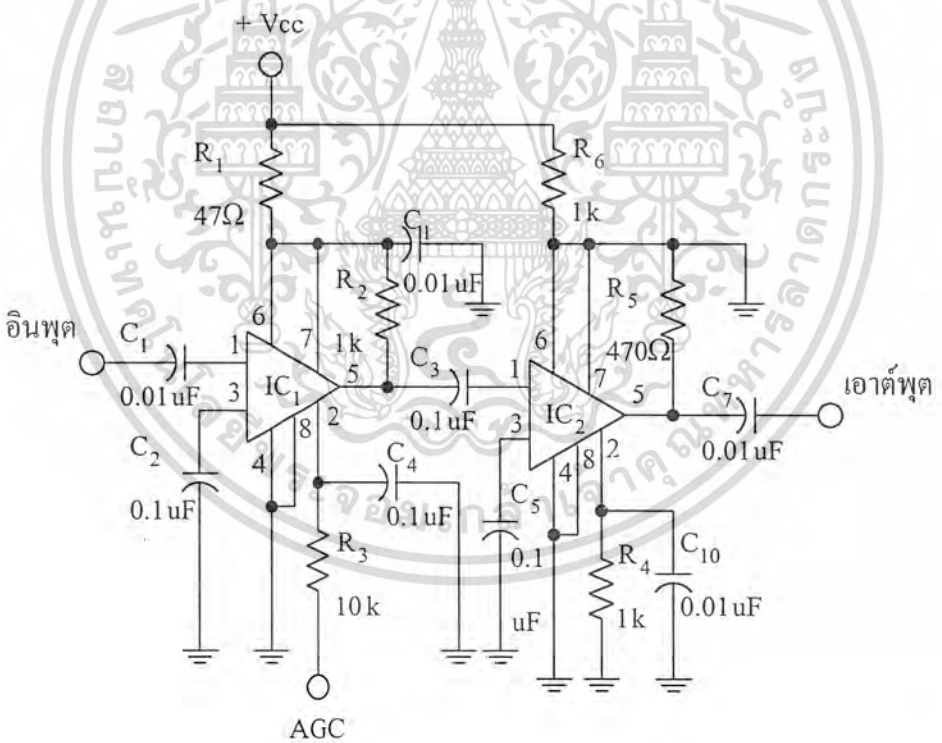
วงจรขยายไอเอฟแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ใช้วงจรขยายหลายภาคร่วมกันเพื่อเสริมกันให้ได้อัตราขยาย และการเลือกรับสัญญาณได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจะเรียกวงจรประเภทนี้ว่าประเภทอัตราขยายแบบเฉลี่ย อีกประเภทหนึ่งคือ ใช้วงจรชุดเดียวทำหน้าที่ขยาย และใช้วงจรอีกชุดหนึ่งทำการเลือกรับสัญญาณโดยเฉพาะ เช่นวงจรกรองไม่ต้องอาศัยการเสริมกันของการเลือกรับสัญญาณ เรียกวงจรประเภทนี้ว่าประเภทอัตราขยายเป็นก้อน

ในรูปที่ 2.10 แสดงวงจรขยายไอเอฟประเภทแบ่งเฉลี่ย จะเห็นว่าจะใช้หม้อแปลงดับเบิลจูน (จูน 2 ด้าน คือการจูนทั้งด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ) ต่อเชื่อมระหว่างภาค คุณสมบัติของการเลือกรับสัญญาณจึงขึ้นอยู่กับวงจรจูนทั้ง 3 ชุด วงจรประเภทนี้ถ้าทำงานในย่านความถี่ต่ำๆ จะมีคุณสมบัติการเลือกรับสัญญาณด้วยกว่าประเภทที่ใช้คริสตอลฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.10** วงจรขยายไอเอฟที่ใช้หม้อแปลงจูนระหว่างภาค



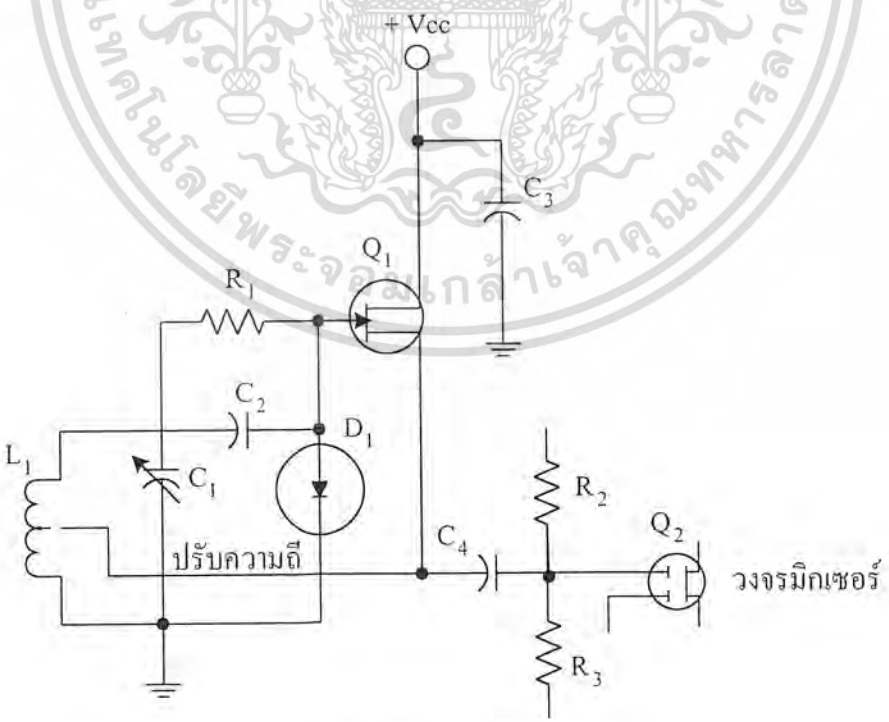

**รูปที่ 2.11** วงจรขยายไอเอฟแบบใช้คริสตอลฟิลเตอร์ควบคุมคุณสมบัติการเลือกรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของซิงเกิลคอนเวอร์ชันจะมีวงจรคริสตอลฟิลเตอร์ และวงจรไอเอฟต่อถัดมาจากวงจรมิกเซอร์ แต่ถ้าในกรณีของดับเบิลคอนเวอร์ชันจากมิกเซอร์ที่หนึ่ง จะเป็นคริสตอลฟิลเตอร์ผ่านวงจรไอเอฟค่าสูง และเข้าสู่วงจรมิกเซอร์ที่สอง และผ่านเข้าเซรามิกฟิลเตอร์กับวงจรไอเอฟค่าต่ำตามลำดับ

ในระบบซูเปอร์เฮเทอโรดายน์ อัตราขยายส่วนใหญ่มักจะมาจากภาคไอเอฟ ในยุคแรกๆ เครื่องรับมักใช้หลอด หรือทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีหม้อแปลงต่อระหว่างภาค แต่ยุคหลังนี้ภาคไอเอฟจะมีค่าต่ำจึงนิยมใช้ไอซีเพียงตัวเดียวทำหน้าที่เป็นไอเอฟ และดีมอดูเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่สูง เพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับวงจรอื่นๆ ภายในเครื่อง เช่นในการมอดูเลต การผสมคลื่นรวมทั้งใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง ออสซิลเลเตอร์แต่ละวงจรต่างก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ ในเครื่องรับวิทยุติดตามตัว การออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์จะอาศัยหลักการของการป้อนกลับแบบบวก วงจรที่เป็นตัวกำเนิดความถี่อาจเป็นวงจรจูน LC หรือใช้คริสตอลก็ได้ โดยค่าตัวประกอบคุณภาพ ของวงจรยิ่งมากความถี่ที่วงจรจะออสซิลเลตก็จะยิ่งคงที่ไม่มีการเลื่อนไปได้ง่าย สำหรับวงจร LC มีค่าตัวประกอบคุณภาพน้อยกว่าคริสตอล ดังนั้นเสถียรภาพทางความถี่ของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์จึงดีกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC




**รูปที่ 2.12** ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับส่วนใหญ่มักมีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติเพื่อรักษาอัตราขยายของเครื่องรับให้คงที่ ไม่ว่าจะรับคลื่นได้แรงหรืออ่อนก็ตาม

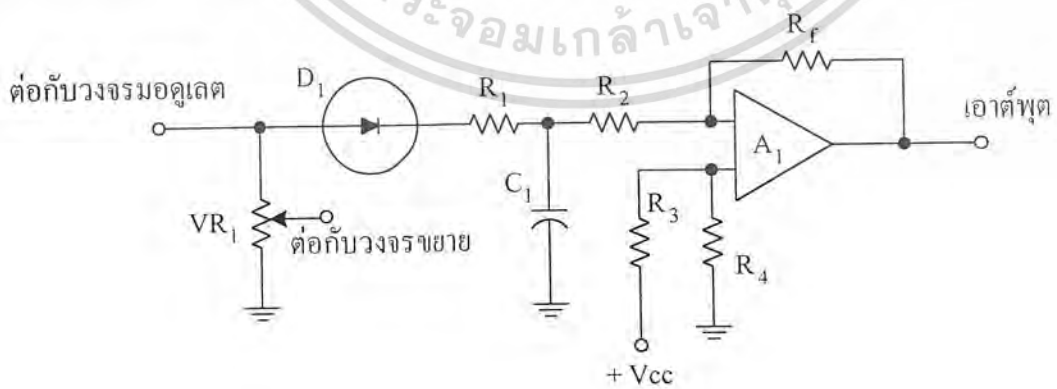
หลักการผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1) วิธีผลิตจากสัญญาณพาหะ

2) วิธีผลิตจากสัญญาณเสียง

เครื่องรับส่วนใหญ่จะใช้วิธีผลิตจากสัญญาณพาหะ ซึ่งเหมาะสมกับการรับสัญญาณ AM เพราะสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณพาหะ แต่ในกรณีของการมอดูเลตแถบข้างเดียว คลื่นที่ส่งมาจะไม่มีพาหะ เพราะได้ถูกกำจัดพาหะออกไปที่เครื่องส่งแล้ว ดังนั้น ถ้าสัญญาณที่ไม่ต้องการเล็ดลอดเข้าไปยังวงจรขยายไอเอฟ หรือวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติได้ อัตราขยายของเครื่องรับก็จะลดลงไป ทั้งๆ ที่เครื่องรับอาจรับสัญญาณได้ต่ำในขณะนั้น ทำให้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติมิได้ทำงานตามความแรงของสัญญาณที่รับได้ เครื่องรับบางชนิดอาจใช้วิธีหยุดการทำงานวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ ในกรณีที่วงจรกรองความถี่ทำงาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้สัญญาณที่ไม่ต้องการเข้าไปทำให้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติเกิดการทำงานผิดพลาดได้ ในกรณีนี้จะใช้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบบปรับด้วยมือแทนปุ่มปรับ

ในรูปที่ 2.13 เป็นวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ ที่ผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจากสัญญาณเสียง วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติชนิดนี้จะมีการทำงานเหมือนกับวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติชนิดแรก แต่ใช้สัญญาณเสียงเป็นอินพุตแทน ส่วนค่าคงตัวเวลาที่เลือกใช้ก็อาศัยหลักการเดียวกัน




**รูปที่ 2.13** วงจรผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ

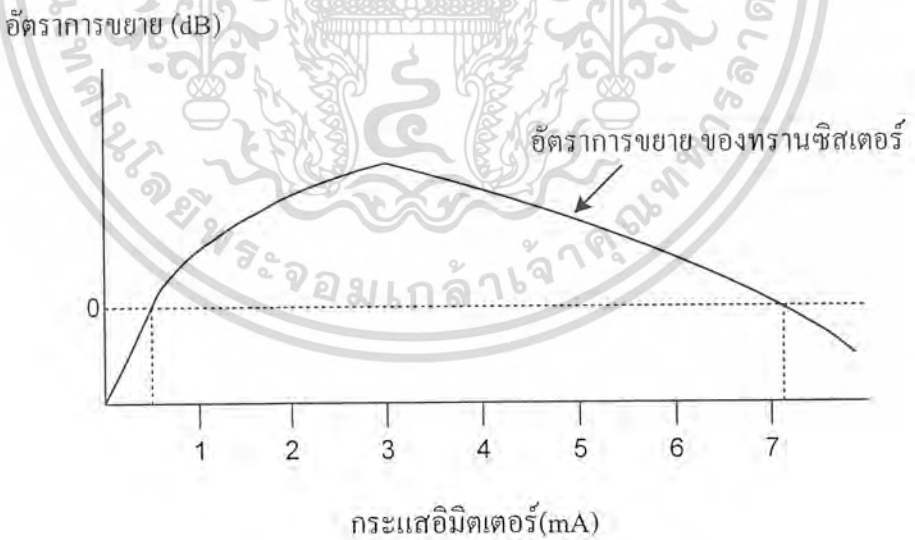
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากไม่มีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ การรับสัญญาณจะเกิดปัญหาดังนี้

1) การรับสัญญาณบางสถานีจะรับได้แรง หรือบางสถานีจะรับได้อ่อน เป็นผลทำให้ต้องปรับความดังให้เข้ากับสัญญาณที่รับเข้ามา แต่ถ้ามีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติความดังจะคงที่แม้เปลี่ยนไปรับสถานีอื่นๆ ที่มีความแรงของสัญญาณต่างกัน

2) สัญญาณที่รับได้บางครั้งมีการจางหาย หรือบางครั้งแรงขึ้นมาเอง ทั้งนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศที่คลื่นเดินทางมายังเครื่องรับ วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติสามารถช่วยรักษาระดับความดังให้คงที่ ถึงแม้ในบางกรณีจะมีการจางหายของสัญญาณ

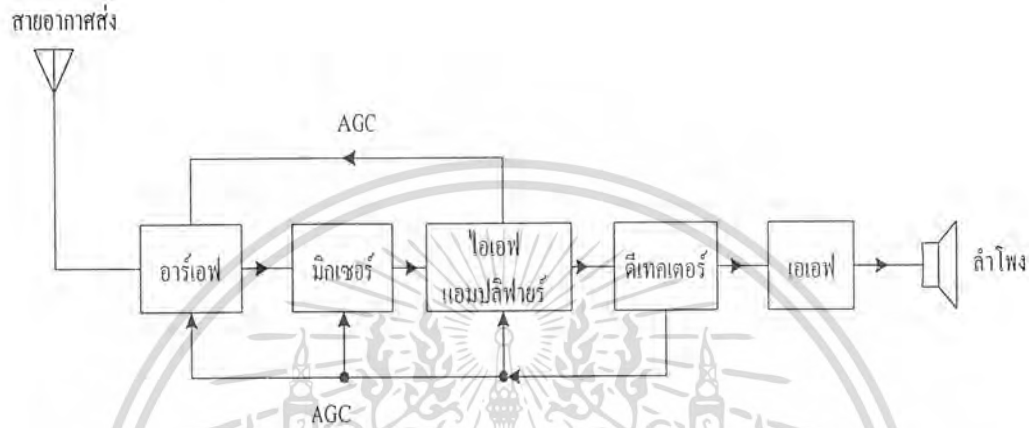
3) ในกรณีที่เป็นวิทยุติดรถยนต์ ซึ่งเคลื่อนที่ไปมา สัญญาณที่รับได้จะมีความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะช่วยชดเชยระดับความดังเท่าเดิม การควบคุมอัตราการขยายของวงจรจะใช้วิธีป้อนไฟไบแอส ซึ่งอาจจะใช้วิธีไบแอสตรง ซึ่งเรียกว่าวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติโดยตรง หรืออาจใช้วิธีไบแอสกลับทาง ซึ่งเรียกว่าวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติกลับทางสังเกตว่าอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์นั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามจุดทำงาน หรือกระแสอิมิตเตอร์ ดูรูปที่ 2.14 ถ้าเราลดกระแสไบแอสลง หรือเพิ่มกระแสไบแอสขึ้นอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ก็จะลดลง




**รูปที่ 2.14** การเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่กระแสอิมิตเตอร์ในค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ FM วงจรกำจัดค่า จะทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดขนาดของสัญญาณอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องมีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติอีก เว้นแต่ต้องการป้องกันการโหลดเกิน วงจรส่วนหน้า เช่น ทำการลดทอนสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่วงจรขยายอาร์เอฟ




**รูปที่ 2.15** วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติต่างๆ ในเครื่องรับชนิดซูเปอร์เฮเทอโรดายน์

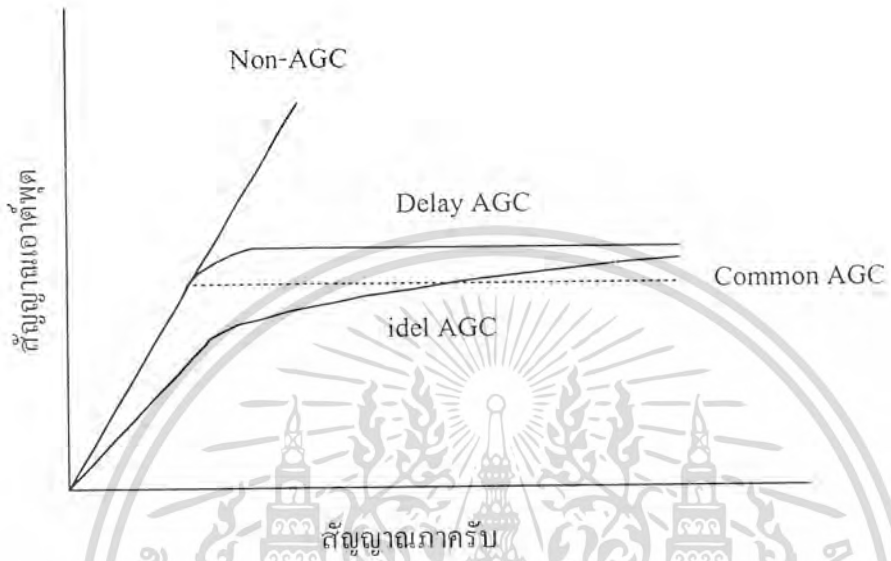
ในรูปที่ 2.15 แสดงแผนผังของวงจรภาครับ จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติกำเนิดได้โดยวิธีการดีเทกต์ แล้วส่งไปแอสไปควบคุมอัตราขยายของวงจรขยายอาร์เอฟ และไอเอฟแต่ละภาค วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติส่วนนี้เป็นวงรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติหลักของเครื่องรับ แต่ยังมีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตมัติส่วนหนึ่งเป็นวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติเสริมจากวงจรขยายไอเอฟ ย้อนไปควบคุมอัตราขยายของวงจรขยายอาร์เอฟเพื่อป้องกันการโหลดเกินของภาคอาร์เอฟ

วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติที่ดีควรมีคุณสมบัติในการทำงานดังนี้ คือเมื่อสัญญาณอินพุตของเครื่องรับแรงขึ้นระดับความดังของเสียงจะมากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่ง ซึ่งถ้าสัญญาณอินพุตแรงถึงจุดนี้จะเกิดโหลดเกิน วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะควบคุมอัตราการขยายของเครื่องรับไว้มิให้ระดับความดังของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นอีก

จากรูปที่ 2.16 เป็นกราฟแสดงลักษณะการควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับ โดยวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติชนิดต่างๆ กัน เช่น เส้นแสดงวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติอุดมคติ วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบบประวิง กล่าวคือวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะถูกหน่วงเอาไว้จนกว่าระดับสัญญาณอินพุตจะแรงขึ้นถึงระดับหนึ่ง สำหรับวงจรควบคุมอัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตโนมัติแบบง่าย หลักการทำงานจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับความดัง โดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงไม่มีการหน่วงเวลา




รูปที่ 2.16 ลักษณะการควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับโดยวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ

## 2.4 การรับส่งข้อมูลดิจิตอล FSK และแนวทางออกแบบการใช้งาน

การรับ – ส่งข้อมูลในรูปของสัญญาณดิจิตอล สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการทางไบนารี คือ สัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งไปยังปลายทางได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านขบวนการแปลงสัญญาณอย่างใด ดังรูปที่ 2.17 (ก) และวิธีการทางแอนะลอกคือสัญญาณดิจิตอลจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแอนะลอกก่อนแล้วจึงส่งออกไปยังปลายทางดังรูปที่ 2.17 (ข)

วิธีการในลักษณะแรกจะกระทำในลักษณะที่มีการติดต่อในระยะทางสั้นๆ และให้ความรวดเร็วมากกว่า ส่วนวิธีการในลักษณะหลังจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะการเชื่อมโยง สัญญาณเข้ากับระบบสื่อสารทั่วๆ ไป ลักษณะทั้ง 2 วิธีแสดงในรูปที่ 2.17

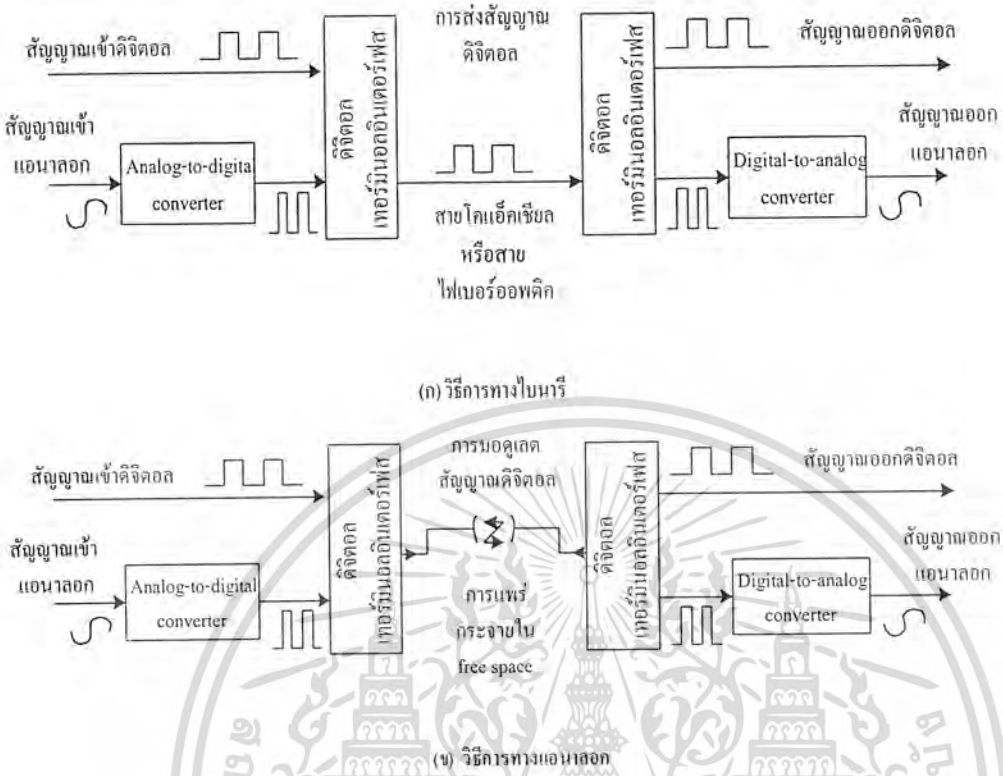
การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ในการสร้างสัญญาณแอนะลอกที่มีผลมาจากสัญญาณดิจิตอล หรือสัญญาณข่าวสารในรูปอื่นจะได้มาจากหลักการพื้นฐานของวิธีการ 3 แบบ คือ

1) หลักการของการมอดูเลตทางขนาด (Amplitude modulation)

2) หลักการของการมอดูเลตทางความถี่ (Frequency modulation)

3) หลักการของการมอดูเลตทางเฟส (Phase modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.17** การส่งสัญญาณดิจิตอล

โดยสัญญาณที่ส่งออกไป (สัญญาณดิจิตอล หรือสัญญาณข่าวสารต่างๆ ) จะถูกมอดูเลตทางด้านส่ง และดีมอดูเลตทางด้านรับ เพื่อแยกสัญญาณข่าวสารเดิมที่ส่งออกมาจากสัญญาณพาห์ เทคนิคการรวมสัญญาณทางดิจิตอล ที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางคือ

1) แบบ FSK หรือ Frequency Shift Keying

2) แบบ PSK หรือ Phase Shift Keying

3) แบบ QAM หรือ Quadrature Amplitude Modulation

### 2.4.1 ตัวกำเนิดสัญญาณ FSK (FSK Generator)

ตัวกำเนิดสัญญาณ FSK คือตัวส่งสัญญาณเอฟเอสเค ซึ่งมีหลักการคือเมื่อข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลเลขฐานสอง ทำให้ความถี่เลื่อน หรือเบี่ยง เบนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเลขฐานสองที่เข้ามา ดังนั้นสัญญาณทางเอาต์พุตของตัวกำเนิด FSK จะอยู่ในรูปของความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อข้อมูลเลขฐานสองด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงจากสถานะลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 (หรือในทางกลับกัน คือลอจิก 0 เป็นลอจิก 1) สัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก FSK จะเลื่อนความถี่ระหว่าง 2 ความถี่ด้วยกัน คือความถี่ที่ลอจิก 1 Mark frequency (fm) และความถี่ที่ลอจิก 0 Space frequency (fs)

การเปลี่ยนแปลง (หรือการเลื่อน) ของความถี่แต่ละครั้งจะเกิดขึ้นเมื่อสถานะของลอจิกด้านสัญญาณเข้าเปลี่ยนแปลง นั่นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณออกจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเข้า ซึ่งในการมอดูเลทแบบดิจิตอลนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านอินพุตของตัวกำเนิดสัญญาณ FSK เรียกว่าอัตราบิต (Bit rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second ; bps) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านเอาต์พุตของตัวกำเนิดสัญญาณ FSK เรียกว่า อัตราบอร์ด (Baud rate) ดังนั้นในการส่งข้อมูลด้วยเทคนิค FSK อัตราบิตจะเท่ากับ อัตราบอร์ดเสมอ

### 2.4.2 ความกว้างของสัญญาณ FSK

ในระบบการสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณอนาลอก หรือสัญญาณความถี่นั้น แบนด์วิดท์เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก เนื่องจากวิธีการของ FSK อยู่บนพื้นฐานเดียวกันกับวิธีการของ FM ดังนั้นการอธิบายถึงสูตรต่างๆ จะใช้หลักการของ FM ทุกอย่าง

จากรูปที่ 2.18 แสดงถึงตัวมอดูเลทแบบเอฟเอสเค ซึ่งใช้หลักการเดียวกับเอฟเอ็มมอดูเลเตอร์ คือใช้หลักการของ จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วที่สุดของสัญญาณอินพุตจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลเลขฐานสองมีลักษณะเป็น 1 และ 0 สลับกัน ซึ่งคือสัญญาณสี่เหลี่ยมนั่นเอง ตามตัวอย่างในรูปที่ 2.18 เป็นสัญญาณในช่วง $T_1$

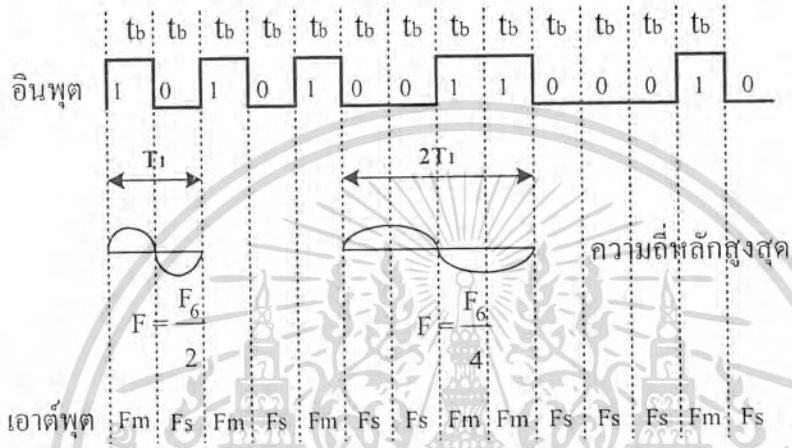
ความถี่หลักของคลื่นสี่เหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราบิต ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะความถี่หลักเพียงอย่างเดียวแล้วความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการนำมามอดูเลตแบบ FSK จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราบิตคือ

$$Fa_{max} = \frac{\text{อัตราบิต}}{2} \qquad (2.8)$$

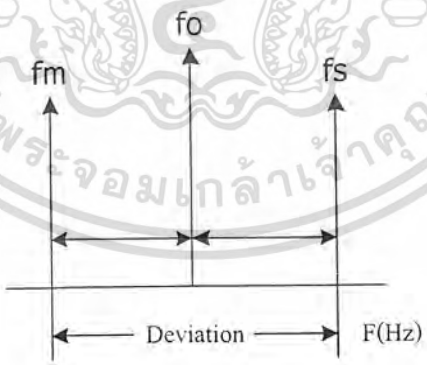
เมื่อกำหนดให้ $Fa_{max}$ = ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่จะนำมามอดูเลต

ความถี่กลางของ VCO จะอยู่ในตำแหน่งกลางระหว่าง fm กับ fs ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.18** มอดูเลเตอร์เอฟเอสเค




**รูปที่ 2.19** การเบี่ยงเบนความถี่

ลอจิก 1 ด้านอินพุตจะเลื่อนความถี่ของ VCO จาก fo ไปเป็น fs จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเลขฐานสองด้านอินพุตจาก 1 ไป 0 หรือ 0 ไป 1 จะทำให้ความถี่เอาต์พุตของ VCO เลื่อนหรือเบี่ยงเบนกลับไปมาระหว่าง fm กับ fs เนื่องจากได้กล่าวมาแล้วว่า FSK นั้นคือการมอดูเลตแบบ FM ดังนั้นดัชนีการมอดูเลต (Modulate Index ; MI) ใน FSK ได้จาก FM คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MI = \frac{\Delta F}{Fa} \quad (2.9)$$

โดยที่ $\Delta F$ = การเบี่ยงเบนของความถี่ใด ๆ จากความถี่กลาง (Hz)

Fa = ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Hz)

ค่า MI ที่ยอมให้มีได้สูงสุดคือ MI ที่ทำให้แบนด์วิดท์กว้างที่สุด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการเบี่ยงเบนของความถี่ถูกมอดูเลทแล้วความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลทมีค่าสูงสุด

ในการมอดูเลตแบบเอฟเอสเคค่า $\Delta F$ เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุด ซึ่งคือครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่าง fm กับ fs นั่นคือ

$$\Delta F = \frac{fs - fm}{2} \quad (2.10)$$

การเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณที่นำเข้ามามอดูเลท (สัญญาณดิจิตอล) เมื่อสถานะทางลอจิกเป็น 1 จะทำให้แรงดันออกมามีค่าคงที่ตามสถานะ (เช่น 5 โวลต์) หรือถ้าเป็นลอจิก 0 แรงดันออกมาคงที่ในระดับลอจิก 0 เช่นกัน เช่น 0 โวลต์ ดังนั้นความถี่เบี่ยงเบนของ FSK มอดูเลตเบี่ยงเบนคงที่ และอยู่ในระดับการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดเสมอ

Fa เป็นความถี่หลักของข้อมูลเลขฐานสองด้านอินพุต ซึ่งทำให้แบนด์วิดท์กว้างที่สุดเมื่อ

$$Fa = \frac{\text{อัตราบิต}}{2} \quad (2.11)$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่า MI ได้จาก

$$MI = \frac{(fs - fm / 2)}{(fb / 2)} \quad (2.12)$$

$$MI = \frac{fs - fm}{fb} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ fs – fm = ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

Fb = อัตราบิตของเลขฐานสองอินพุต

ในการส่งสัญญาณ FM โดยทั่วๆ ไป ความกว้างของแบนด์วิดท์จะแปรผันตรงกับค่า MI ซึ่งเช่นเดียวกับ FSK ที่ค่า MI โดยทั่วๆ ไปจะต้องมีค่าต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้เป็นเอฟเอ็มแบบแคบ ค่าแบนด์วิดท์ที่แคบที่สุดเรียกว่า Minimum Nyquist Bandwidth (Fn) ตัวอย่างเช่นการส่งข้อมูลแบบ FSK มีความถี่กลาง (fo) = 7 kHz, ความถี่สเปซ (fs) = 6 kHz และความถี่มาร์ค (fm) = 8 kHz ข้อมูลเลขฐานสองอินพุตมีอัตราบิต = 2 kHz สามารถหา FM ได้ดังนี้

จากสมการที่ 2.13

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

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

$$MI = 1.0$$

## 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### 2.5.1 โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

1) มีหน่วยความจำ ROM 4K byte
2) มีหน่วยความจำ RAM 128 byte
3) มีพอร์ท I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
4) มี Timer 16 บิต 2 ตัว
5) สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง
6) มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรนาฬิกาบนชิพ
7) มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
8) อ้างตำแหน่งหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K
9) อ้างตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K
10) สามารถประมวลผลทีละบิตได้

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

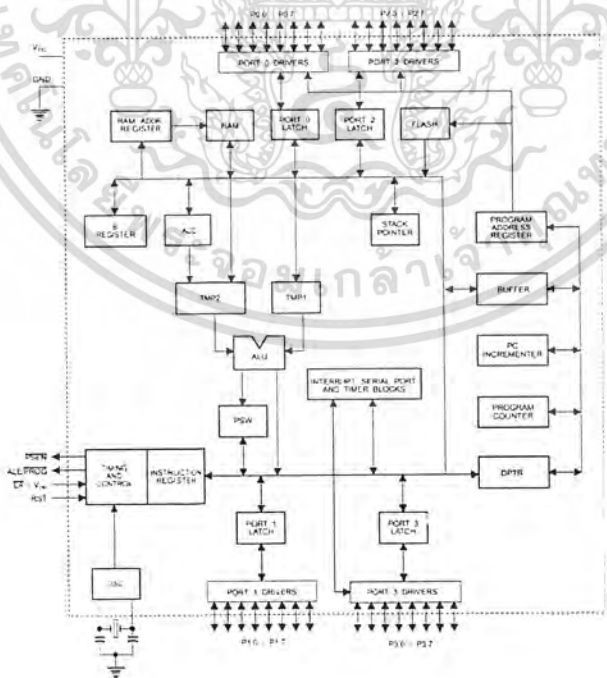
11) สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง

12) หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และลักษณะต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 สำหรับโครงสร้างไดอะแกรมภายในแสดงได้ดังรูปที่ 2.20

**ตารางที่ 2.3** ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ต่างๆ

| เบอร์ | หน่วยความจำโปรแกรมบนชิพ | หน่วยความจำข้อมูลบนชิพ | TIMERS |
|---|---|---|---|
| 8051 | 4K ROM | 128 byte | 2 |
| 8031 | - | 128 byte | 2 |
| 8751 | 4K EPROM | 128 byte | 2 |
| 8052 | 8K ROM | 256 byte | 3 |
| 8032 | - | 256 byte | 3 |
| 8752 | 8K EPROM | 256 byte | 3 |

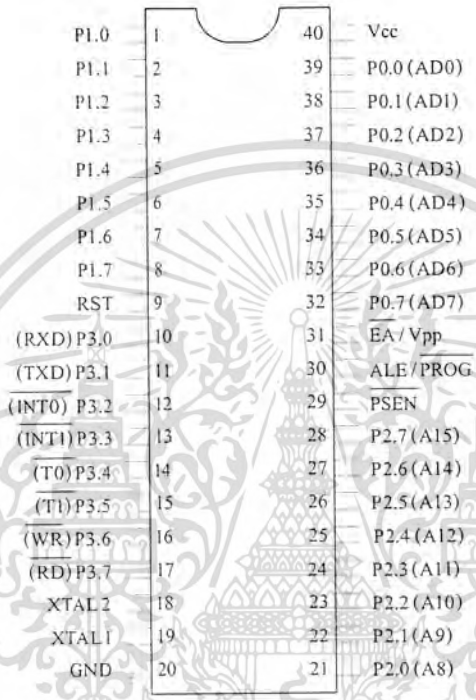



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.20** โครงสร้างภายในของ MCS-51

### 2.5.2 การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 โครงสร้าง IC เป็นแบบ DIP มีทั้งหมด 40 ขาโดยขาต่างๆ จะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุต, เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และขาข้อมูลดังรูปที่ 2.21




**รูปที่ 2.21** ขาต่างๆ ของ 8051

ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

**1) พอร์ต 0 (Port 0)**

พอร์ต 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุต เอาต์พุตได้ นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

**2) พอร์ต 1 (Port 1 )**

พอร์ท 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้คือ P1.0, P1.1,...etc

**3) พอร์ต 2 (Port 2)**

พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าที่ คือใช้เป็นพอร์ท 8 บิตกับใช้งานเป็นขาแอดเดรส 8 บิต ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4) พอร์ต 3 (Port 3)**

พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งาน 2 หน้าที่คือ เป็นพอร์ตอินพุต และเอาต์พุต และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** บิตและหน้าที่ต่างๆ ของพอร์ต 3

| บิต | ชื่อ | หน้าที่พิเศษ |
|---|---|---|
| P3.0 | RXD | ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม |
| P3.1 | TXD | ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม |
| P3.2 | $\overline{\text{INT0}}$ | อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0 |
| P3.3 | $\overline{\text{INT1}}$ | อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1 |
| P3.4 | T0 | ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0 |
| P3.5 | T1 | ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1 |
| P3.6 | $\overline{\text{WR}}$ | สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก |
| P3.7 | $\overline{\text{RD}}$ | สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก |

**1) $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable)**

ขา $\overline{\text{PSEN}}$ เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขา 29 ขานี้จะแอคทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา $\overline{\text{PSEN}}$ จะต่อกับขา Output Enable ($\overline{\text{OE}}$) ของ EPROM

**2) $\overline{\text{ALE}}$ (Address Latch Enable)**

เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา $\overline{\text{ALE}}$ ได้แก่ขา 30 ขานี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น จะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง Port 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ $\overline{\text{ALE}}$ มา Latch อุปกรณ์ภายนอกให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3) $\overline{EA}$ (External Access)**

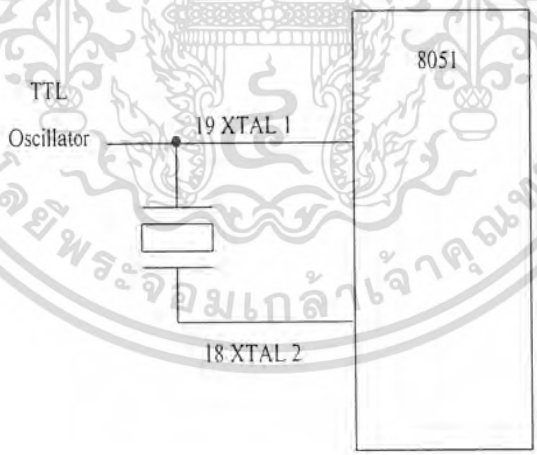
ขา $\overline{EA}$ ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก "1" จะใช้เบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก "0" จะบอกให้ MCS –51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา $\overline{EA}$ เป็น "0" ขา $\overline{PSEN}$ จะแอคทีฟ) ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา EA จะเป็น "0"เสมอเพราะว่าไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายใน แต่ถ้าใช้เบอร์ 8051 / 8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในและให้ขา $\overline{EA}$ เป็น "0" ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

**4) RST (Reset)**

ขา RST ได้แก่ขา 9 จะใช้ในการรีเซต MCS-51 โดยจธใช้ขานี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะรีเซตระบบได้

**5) ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ (On-chip OscillatorInputs)**

เป็นวงจร Oscillator บนชิพ ได้แก่ขา 18-19 โดยต่อ Crytal เข้ากับขานี้ โดยปกติมักจะใช้ Crytal ความถี่ 12 MHz กับตัวเก็บประจุหรืออาจใช้สัญญาณนาฬิกาจาก TTL Clock Source ต่อกับ XTAL1 และ XTAL2 ดังรูปที่ 2.22




**รูปที่ 2.22** ขาของ MCS-51 ที่ใช้ต่อกับ XTAL

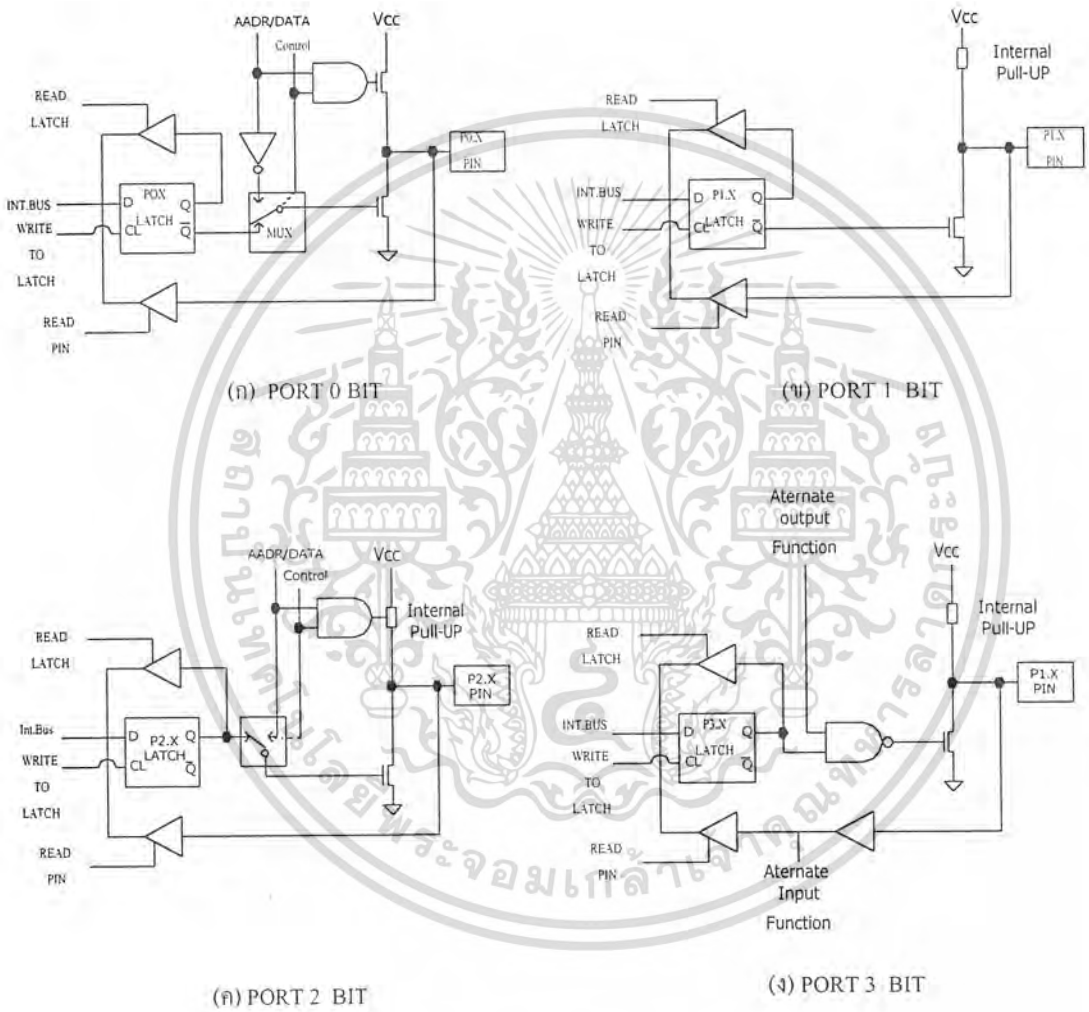
**10) Power Connections**

ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 V ต่อเข้ากับขา Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) จะต่อลง Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 โครงสร้างของพอร์ตอินพุต เอาต์พุต (I/O Port Structure)

ขาของพอร์ตจะแสดงโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ 2.23 โดยมีโครงสร้างเป็น Field-effect Transistor ต่ออยู่กับขาภายนอก และมีความต้านทานต่อ Pull-up อยู่สำหรับพอร์ท 1, 2, 3 แต่ถ้าเป็นพอร์ต 0 จะไม่มีตัวต้านทาน Pull-up ภายใน เพราะว่าต้องใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus




(ก) PORT 0 BIT (ข) PORT 1 BIT

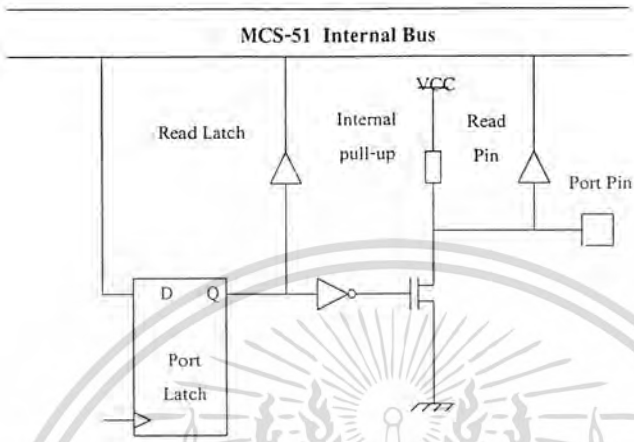
(ค) PORT 2 BIT (ง) PORT 3 BIT

**รูปที่ 2.23** โครงสร้างพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51

พอร์ตนี้สามารถใช้เป็นอินพุต เอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ตจะอ่านได้สองแบบคือ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึงการอ่านข้อมูลที่ถูก Latch เอาไว้เข้าสู่บัสภายในของ MCS-51 แต่ถ้าเป็นการ Read Pin จะเป็นการใช้พอร์ตแนอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะอ่านค่าจากขาของไอซีเข้าสู่บัสภายใน โดยการอ่านแบบ Read Latch และ Read Pin จะมีสัญญาณมาควบคุมที่บัฟเฟอร์ดังรูปที่ 2.24




รูปที่ 2.24 การต่อพอร์ตเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51

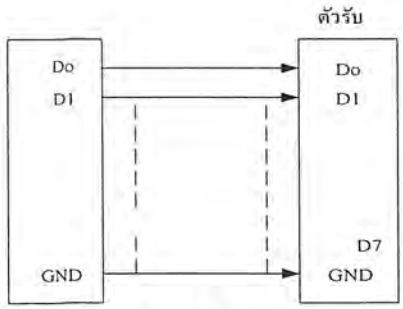
## 2.5.4 พื้นฐานการรับส่งข้อมูล

การรับส่งข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปจะหมายถึง การรับส่งข้อมูลเป็นจำนวนไบต์ๆ ให้กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจแบ่งประเภทของการรับส่งข้อมูลได้ 2 แบบ

1) การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel)

2) การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial)

การรับส่งข้อมูลแบบขนานจะเป็นการับข้อมูลจำนวน 1 ไบต์ ออกไปทางพอร์ต ในเวลาเดียวกัน ในระบบคอมพิวเตอร์ 1 ไบต์จะมีจำนวน 8 บิต คือ $D_0$-$D_7$ ถ้ามีการรับส่งข้อมูลแบบขนานจะใช้สายสัญญาณอย่างน้อย 9 เส้น คือสาย Data 8 เส้น และสายกราวด์ 1 เส้นดังรูปที่ 2.25



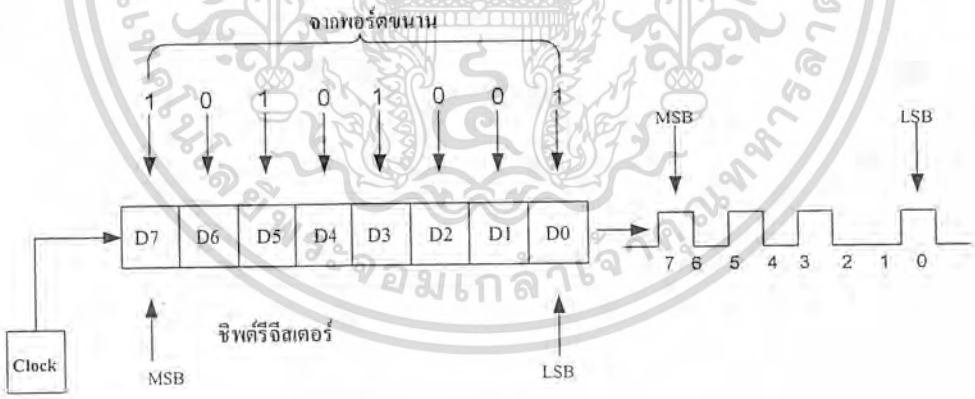

รูปที่ 2.25 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมคือ การรับส่งข้อมูลทีละบิตจนครบ 1 ไบต์ ถ้าต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์ คือ $D_0$-$D_7$ อาจจะส่งข้อมูลบิต $D_0$ ออกไปก่อนแล้วตามด้วย $D_1$ ไปเรื่อยๆ จนถึง $D_7$ การรับส่งข้อมูลทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันคือ การส่งแบบขนาน สามารถส่งข้อมูลได้เร็วคือส่งทีเดียวจะได้ข้อมูลครบ 1 ไบต์ แต่ถ้าต้องส่งเป็นระยะไกลๆ จะสิ้นเปลืองสายสัญญาณมาก ถ้าเป็นการส่งแบบอนุกรม เมื่อต้องการส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกลๆ จะช่วยประหยัดสายสัญญาณเนื่องจากจะใช้สายอย่างน้อยเพียง 2 เส้น คือสายสัญญาณกับสายกราวด์ แต่การรับส่งข้อมูลจะใช้เวลานานเนื่องจากเป็นการส่งทีละบิต

### 2.5.5 รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการจะรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ตัวไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปทางพอร์ท ซึ่งเป็นพอร์ตแบบขนานก่อน จากนั้นจะมีอุปกรณ์มาต่อที่พอร์ตเพื่อแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมอีกทีหนึ่ง (Parallel-to-serial Conversion) ตัวแปลงข้อมูลนี้อาจพิจารณาง่ายๆ ว่าเป็น Shift Register ดังรูปที่ 2.26 เมื่อข้อมูลที่จะส่งอยู่ใน Shift Register แล้วตัวสัญญาณนาฬิกาจะเป็นตัวกระตุ้นให้ส่งข้อมูลบิตต่ำออกไปในเวลาแรก จากนั้นจะส่งบิตต่อไปตามออกมา จากรูปที่ 2.26 จะเป็นการส่งข้อมูล A9H ออกไป




**รูปที่ 2.26** การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

สำหรับตัวรับข้อมูลแบบอนุกรม เมื่อตัวรับรับข้อมูลจะเป็นการรับเข้ามาใน Shift Register แล้วส่งข้อมูลให้ไมโครคอมพิวเตอร์แบบขนานอีกทีหนึ่ง (Serial-to-Pasallel) ระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะมีตัวแปลง Parallel-to-Serial และ Serial-to-Parallel อยู่ในชิพไอซีเรียกว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นจะต้องมีการเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลบางอย่างเข้าไปเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำงานได้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีการเติมค่าบิตต่างๆ เข้าไป ตามรูปที่ 2.27

| Stop | P | $D_7$ | $D_6$ | $D_5$ | $D_4$ | $D_3$ | $D_2$ | $D_1$ | $D_0$ | Start |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

**รูปที่ 2.27 บิตต่างๆ ของข้อมูลที่ส่งแบบอนุกรม**

ถ้ามีการส่งข้อมูลแบบ 8 บิต จะต้องส่งบิตแรกออกไปก่อน เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start Bit) ถ้ามีการส่งข้อมูลหลายๆ บิตออกมา บิตนี้จะเป็นตัวบอกว่า มีข้อมูลใหม่มาแล้ว โดยทั่วไปบิตเริ่มต้นมักมีระดับลอจิกเป็น "0" ต่อจากบิตเริ่มต้นจะเป็นข้อมูลบิต $D_0$-$D_7$ จากนั้นจะตามด้วยบิตตรวจสอบความถูกต้อง (Parity Bit) ถ้าข้อมูล 8 บิตที่ส่งออกมา จำนวนของบิตมีค่าเป็น "1" เป็นจำนวนคู่ บิตนี้จะมีค่าเป็น "0" แต่ถ้าจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น "1" เป็นคี่ บิตนี้จะมีค่าเป็น "1" จากนั้น ข้อมูลที่ส่งออกไปจะตามด้วยบิตสิ้นสุดข้อมูล (Stop Bit) เพื่อเป็นการบอกว่าข้อมูลที่ส่งมา 8 บิตนั้นหมดแล้ว ตัวบิต Stop อาจมีจำนวนมากกว่า 1 บิต ก็ได้ เช่น 1 ½ บิต, 2 บิต

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นความเร็วของการส่งจะมีค่าเป็น บิตต่อวินาที เรียกว่า "Baud Rate"

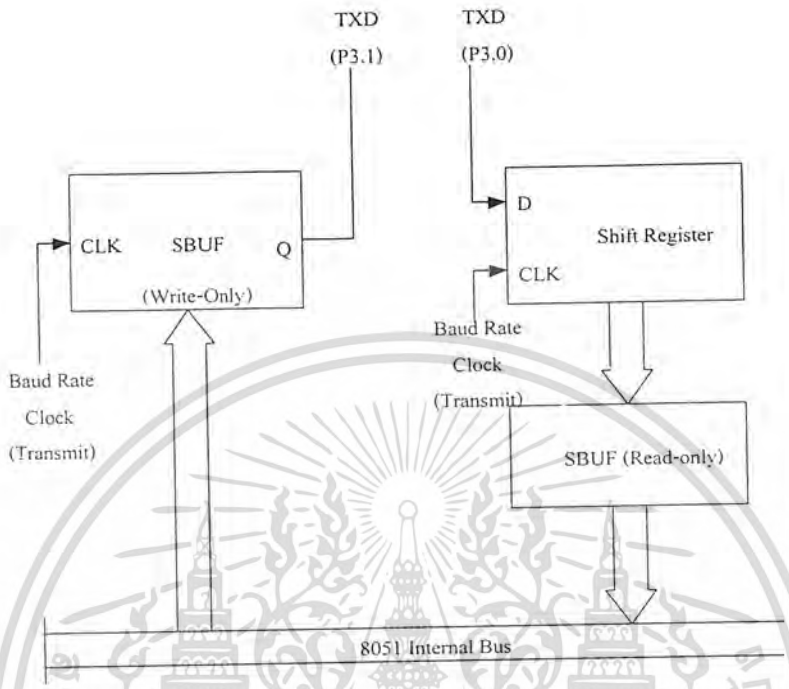
### 2.5.6 MCS-51 กับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้น ภายในชิพ MCS-51 จะมี UART อยู่ในตัว ซึ่งเป็นข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ เช่น Z-80 ถ้าต้องการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะต้องนำชิพ UART มาประกอบด้วย

พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 จะใช้ขา TXD และ RXD ในการรับส่งข้อมูล โดยขาทั้งสองจะอยู่ในพอร์ท 3 คือ P3.1 หรือขา 11 เป็น TXD และ P3.0 หรือขา 10 เป็น RXD พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานแบบ Full Duplex ได้ คือสามารถส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ โดยในการรับส่งข้อมูลจะมีบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลให้ใช้

รีจิสเตอร์ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูลคือ SBUF และ SCON ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่อยู่ใน Special Function Register โดยรีจิสเตอร์ Serial Port Buffer (SBUF) จะอยู่ในตำแหน่ง 99H ถ้าเขียนข้อมูลไปที่ตำแหน่งนี้ จะเป็นการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรม และการอ่านข้อมูลจากตำแหน่งนี้จะเป็นการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม โดยใน SBUF จะประกอบไปด้วยบัฟเฟอร์ 2 ตัว สำหรับส่งและรับข้อมูล ดังรูปที่ 2.28

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.28 การรับส่งข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับบัสภายใน

สำหรับ Serial Port Control Register (SCON) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 98H จะเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ รีจิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่ควบคุมและบอกสถานะต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอุกรม

สำหรับความเร็วการส่งข้อมูล (Baud Rate) สามารถหาได้จากการหารสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับ MCS-51

### 2.5.7 การเชื่อมต่อ 8255 กับ MCS-51

ไอซี 8255 เป็นไอซีที่เป็นพอร์ตขนานที่สามารถโปรแกรมให้ทำงานเป็นพอร์ตอินพุต หรือเอาต์พุตได้ เป็นไอซี 40 ขา ซึ่งได้รับการออกแบบมาให้มีสัญญาณเชื่อมโยงกับไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8080 แต่ก็เหมาะที่จะใช้กับ MCS-51 เช่นเดียวกัน ไอซีนี้เป็นไอซีที่ต่อเป็นพอร์ตให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 3 พอร์ต การเรียกพอร์ตของ 8255 จะเรียกว่าพอร์ต A, B และ C โดยแต่ละพอร์ตจะมีขนาด 8 บิต และพอร์ต C จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ PC0-PC3 เรียกว่าพอร์ต C ล่าง จำนวน 4 บิต และพอร์ต C บน คือ PC4-PC7 ที่พิเศษคือพอร์ททุกพอร์ตเป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุต ลักษณะของ 8255 แสดงได้ดังรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1) ขาต่างๆ ของ 8255**

**$D_0$-$D_7$** เป็นขาข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ $D_0$-$D_7$ จึงเป็นส่วนที่จะต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ตผ่านทางบัสนี้

**$\overline{CS}$** ขานี้เป็นจาอินพุตที่จะรับสัญญาณจากภายนอกเพื่อเลือกชิพ 8255 โดยเมื่อขานี้เป็นลอจิก "0" จะทำให้ 8255 ต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครคอนโทรลเลอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ตได้

**$\overline{RD}$** ขาสัญญาณการอ่าน เป็นสัญญาณอินพุตที่ส่งมาจาก CPU เมื่อสัญญาณนี้เป็น "0" และ $\overline{CS}$ เป็น "0" ด้วย ตัว 8255 จะทำให้ตัว CPU อ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ทอินพุต

**$\overline{WR}$** ขาสัญญาณการเขียน จะแอคทีฟเมื่อสัญญาณ WR เป็น "0" และ $\overline{CS}$ เป็น "0" สัญญาณนี้มาจาก CPU เมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงพอร์ตที่กำหนด

**$A_0$-$A_1$** ขาแอดเดรส ลอจิกของทั้งสองขานี้จะถอดรหัสออกมาได้ 4 ค่าเพื่อกำหนดค่ารีจิสเตอร์ภายในที่เชื่อมต่อเข้ากับพอร์ตอินพุต และเอาต์พุตของ 8255 เพื่อเลือกใช้พอร์ต A, B และ C

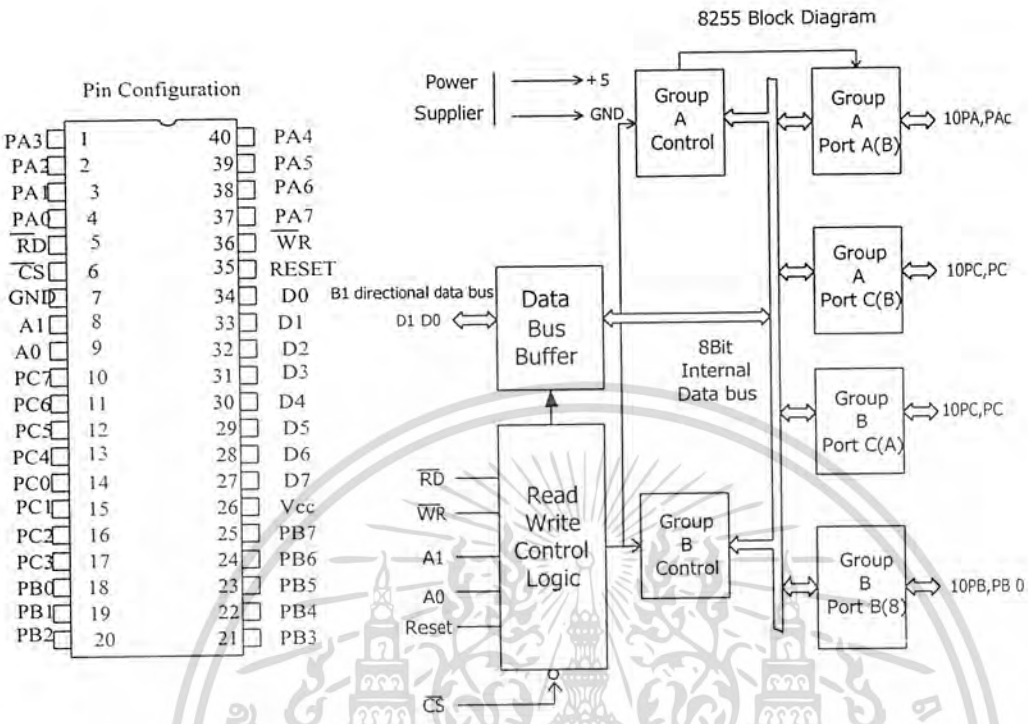
**RESET** ขารีเซต เป็นขาสัญญาณที่ส่งมาจากภายนอกเพื่อทำการรีเซต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆ ของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซต มันจะกลับเข้าสู่โหมดอินพุต หรือทุกพอร์ทเป็นพอร์ตอินพุต

**$PA_0$-$PA_7$** เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ชื่อพอร์ต A การเลือกพอร์ทจะเลือกโดยขา $A_0$-$A_1$

**$PB_0$-$PB_7$** เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ชื่อพอร์ต B การเลือกพอร์ตจะเลือกโดยขา $A_0$-$A_1$

**$PC_0$-$PC_7$** เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ทของ 8255 การกำหนดพอร์ตนี้จะได้รับการกำหนดโดยขาแอดเดรส $A_0$-$A_1$ พอร์ต C นี้แบ่งออกได้สองกลุ่มคือกลุ่ม $PC_0$-$PC_3$ และกลุ่ม $PC_4$ -$PC_7$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**Pin Name**

| | |
|---|---|
| D7-D0 | Data Bus (Bi-Directional) |
| RESET | Reset Input |
| CS | Chip Select |
| RD | Read Input |
| WR | Write Input |
| A0,A1 | Port Address |
| PA7-PA0 | Port A (Bit) |
| PB7-PB0 | Port B (Bit) |
| PC7-PC0 | Port C (Bit) |
| VCC | +5 Volt |
| GND | O Volt |

**รูปที่ 2.29** โครงสร้างของไอซี 8255

ถ้าต้องการให้ 8255 ทำงานจะต้องทำให้ขา $\overline{CS}$ แอคทีฟ จากนั้นเลือกพอร์ตที่จะติดต่อโดย $A_0$-$A_1$ รีจิสเตอร์แต่ละตัวใน 8255 จะได้รับการกำหนดค่าควบคู่กับสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ เพื่อแสดงการทำงานต่างๆ ดังนั้นสัญญาณต่างๆ ของขาควบคุมที่นำมาประกอบกันจะมีความหมายดังตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การเลือกพอร์ทของ 8255

| RD | WR | A0 | A1 | ความหมาย |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | ส่งข้อมูลไปที่พอร์ต A |
| 0 | 1 | 0 | 0 | อ่านข้อมูลจากพอร์ต B |
| 1 | 0 | 0 | 1 | ส่งข้อมูลไปที่พอร์ต B |
| 0 | 1 | 0 | 1 | อ่านข้อมูลจากพอร์ต B |
| 1 | 0 | 1 | 0 | ส่งข้อมูลไปที่พอร์ต C |
| 0 | 1 | 1 | 0 | อ่านข้อมูลจากพอร์ต C |
| 1 | 0 | 1 | 1 | เขียนข้อมูลซึ่งเป็นรหัสควบคุม |
| 0 | 1 | 1 | 1 | ไม่ใช้ |

การทำงานของไอซีเบอร์ 8255 จะทำงานได้ 3 โหมดคือ

1. Mode O: Basic I/O

2. Mode 1: Strobed I/O

3. Mode 2: Bidirectional Bus

การให้ 8255 ทำงานแต่ละโหมดจะเลือกได้โดยการโปรแกรมให้กับ8255 คำสั่งที่โปรแกรมจะมี 8 บิต แต่ละบิตมีความหมายดังนี้

**บิต D7** เป็นบิตแสดงรหัสคำสั่งควบคุม ถ้าบิตนี้เป็น " 1" จะหมายถึงรหัสควบคุมนี้มีผลต่อการเซตโหมดต่างๆ ของ 8255

**บิต D6 และ D5** เป็นโหมดของพอร์ต A ซึ่งมีการทำงาน 3 โหมด คือ โหมด 0,1 และ 2

**บิต D4** ถ้ามีค่าเท่ากับ " 0 " หมายถึงการกำหนดพอร์ต A เป็นเอาต์พุต ถ้ามีค่าเป็น " 1" จะกำหนดให้พอร์ต A เป็นพอร์ตอินพุต

**บิต D3** เป็นบิตที่บอกการเซตพอร์ต C บน ถ้าเป็น "0" จะทำให้พอร์ต C บนเป็นเอาต์พุต

**บิต D2** เป็นบิตที่บอกการเซตโหมดของพอร์ต B ถ้าเป็น "0" หมายถึงเลือกพอร์ต B เป็นโหมด 0 และเป็น "1" คือการเลือกโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต D1** เป็นการกำหนดอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต B ถ้าเป็น " 0" คือพอร์ตเอาต์พุต และถ้าเป็น "1" คือพอร์ตอินพุต

**บิต Do** เป็นบิตที่บอกการเซตพอร์ท C ล่าง ถ้าเป็น "0" จะทำให้พอร์ต C ล่างเป็นเอาต์พุต

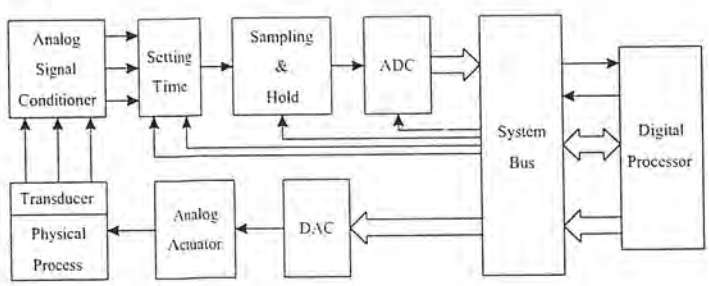
**2) การเชื่อมต่อ 8255 กับ MCS-51**

การออกแบบให้ MCS-51 ติดต่อกับ 8255 ก็เหมือนกับการออกแบบให้ติดต่อกับพอร์ตทั่วๆ ไป คือมอง 8255 เหมือนกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ซึ่งเป็นหน่วยความจำขนาด 4 ไบต์ คือ พอร์ต A พอร์ท B พอร์ต C และพอร์ตควบคุม โดยสัญญาณที่ได้จากวงจรถอดรหัสพอร์ตจะนำมาต่อกับขา $\overline{CS}$ ส่วนขา $\overline{RD}$, $\overline{WR}$ ,Ao,A1ของ 8255 สามารถต่อโดยตรงกับ MCS-51 โดยตรงได้

## 2.6 ทฤษฎีการแปลงสัญญาณ (Data Acquistion and Conversion)

ในอดีตรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าโดยมากมักจะอยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอก การนำเอาสัญญาณไฟฟ้ามาประมวลผล เพื่อให้เกิดรูปแบบที่ต้องการนั้นต้องใช้อุปกรณ์ทางแอนะลอก แต่ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางด้านดิจิตอลก้าวหน้าไปมาก ทำให้การประมวลผลสัญญาณทางดิจิตอลสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นการแปลงรูปแบบสัญญาณ (Conversation) จึงมีความจำเป็นในการแปลงสัญญาณแอนะลอกที่มีอยู่แล้วให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยอุปกรณ์การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณเป็นดิจิตอล และจะถูกประมวลผลโดยตัวประมวลสัญญาณดิจิตอล เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น จากผลลัพธ์ที่อาจถูกนำมาแสดงผลโดยตรงเลย หรืออาจถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอกที่ใช้งานได้ การที่จะแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลได้นั้น สามารถทำโดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกสำหรับระบบที่มีการประมวลผลสัญญาณข้อมูลทางดิจิตอล แสดงดังรูปที่ 2.30




**รูปที่ 2.30** ระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลทางดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.30 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในลักษณะใดๆ ก็ตาม เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความเร็ว จะถูกเปลี่ยนให้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะลอก โดยทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีการสุ่มมีรูปแบบเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพนั้นๆ จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าก็จะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมก่อน โดยวงจรต่างๆ เช่นวงจรขยาย หรือวงจรกรองสัญญาณ เป็นต้น วงจรแซมปลิ้งแอนด์โฮลด์จะสุ่มขนาดของสัญญาณแอนะลอกมา แล้วจะทำการโฮลด์สัญญาณนั้นไว้ชั่วขณะ โดยไม่จำเป็นต้องใช้วงจร ADC แล้วข้อมูลทางดิจิตอลจะถูกส่งต่อไปยังบัสของระบบ จากนั้นตัวโปรเซสเซอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลกลับมาเพื่อควบคุมกิจการทางกายภาพของระบบโดยผ่านตัวกระทำทางกล (Analog Actuator)

## 2.6.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การติดต่อระหว่างมนุษย์ส่วนมากจะใช้สัญญาณต่อเนื่อง (Analog) เป็นสัญญาณติดต่อกัน แต่ว่าการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณเป็นช่วงดิจิตอลเป็นสัญญาณในการทำงาน ดังนั้นถ้าเราต้องการที่จะให้คอมพิวเตอร์ช่วยเราทำงานแล้ว เราจึงต้องเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกที่เราใช้อยู่ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อให้คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องประมวลผลสัญญาณดิจิตอลรับรู้ได้ เมื่อประมวลสัญญาณเสร็จก็จะส่งข้อมูลออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากที่เราจะเข้าใจข้อมูลนั้น ดังนั้นเราจึงเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณแอนะลอก เพื่อให้มนุษย์เข้าใจในข้อมูลนั้นดังนั้นพอสรุปได้ว่าการเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลและการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ซึ่งเป็นการประสานโลกของคอมพิวเตอร์เข้ากับโลกมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์ได้ใช้คอมพิวเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเรียกว่า Analog To Digital Conversion (ADC) หรือเรียกย่อๆ ว่า A TO D หรือ A/D ในทำนองเดียวกัน การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก เรียกว่า Digital To Analog Conversion (DAC) เรียกย่อๆ ว่า D TO A หรือ D/A

การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล A/D มีขบวนการอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดี และข้อเสียรวมทั้งราคาที่แตกต่างกันออกไป จึงขอกล่าววิธีแปลงสัญญาณอย่างคร่าวๆ ซึ่งมีหลักการดังนี้

**1) A/D แบบเซอร์โว (Servo)**

เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุด แต่การทำงานไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจากอุณหภูมิ เวลา และความไวในการรับสัญญาณอินพุต

**2) A/D แบบดูอัล – สโลป อินทีเกรต (Dual – Slope Intergrator)**

เป็นแบบที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ราคาค่อนข้างแพง ทางด้านอุณหภูมิมีผลน้อย แต่มีความเร็วในการทำงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3) A/D แบบซัคเซสซีพ – แอพพร็อกซิเมชั่น (Succesive – Approximation)**

เป็นแบบที่ใช้งานกันทั่วไป และเป็นแบบซึ่งทำงานได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องสูง แต่การสร้างวงจรนั้นต้องใช้ D/A

**4) A/D แบบคอมพาราเตอร์ขนาน (Parallel – Comparator)**

เป็นแบบที่มีความเร็วในการทำงานสูงแบบหนึ่ง แต่ราคาก็สูงที่สุดในบรรดา A/D ทุกชนิด หลักการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องใช้ส่วนประกอบอื่นค่อนข้างมาก

## 2.7 การอินเตอร์เฟสพื้นฐาน

เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทุกรุ่น (PC/AT 286, 386,486) จะมีหมายเลขพอร์ตสำหรับใช้งานต่างๆ ดังตารางที่ 2.3 จะเห็นว่ามีบางพอร์ตที่ไม่ได้ถูกใช้งาน เช่น 360H–36FH, 3C0H–3CFH เราสามารถที่จะนำหมายเลขพอร์ตเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ หรือจะใช้หมายเลขพอร์ตที่ถูกกำหนดเอาไว้แล้ว

**ตารางที่ 2.6** การจัดตำแหน่งพอร์ตของระบบ

| หมายเลขพอร์ต | การใช้งาน |
|---|---|
| 000H – 01FH | ตัวควบคุมดีเอ็มเอ 1, 8237A – 5 |
| 020H – 03FH | ตัวควบคุมอินเตอร์รัปต์ 1, 8259 (มาสเตอร์) |
| 040H – 05FH | ตัวควบคุมไทเมอร์เคาน์เตอร์ 8254 - 2 |
| 060H – 06FH | ตัวควบคุมพอร์ตขนานและคีย์บอร์ด 8042 |
| 070H – 07FH | Real Time Clock, NMI ของระบบ |
| 080H – 09FH | ดีเอ็มเอเพจรีจิสเตอร์ 74LS612 |
| 0A0H – 0BFH | ตัวควบคุมอินเตอร์รัปต์ 2, 8259 (สเลฟ) |
| 0C0H – 0D0H | ตัวควบคุมดีเอ็มเอ 1, 8237A - 5 |
| 0F0H | เคลียร์แมธโคโปรเซสเซอร์ |
| 0F1H | รีเซตแมธโคโปรเซสเซอร์ |
| 0F8H – 0FFH | แมธโคโปรเซสเซอร์ 80287 |
| 1F0H – 1FBH | ฮาร์ดดิสก์ |
| 200H – 207H | เกมอินพุต/เอาต์พุต |
| 278H – 27FH | เครื่องพิมพ์ขนาน พอร์ต 2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.6 (ต่อ)** การจัดวางตำแหน่งพอร์ตของระบบ

| | |
|---|---|
| 2F8H – 2FFH | เครื่องพิมพ์อนุกรม พอร์ต 2 |
| 300H – 31FH | การ์ดโปรโตไทป์ (prototype) |
| 360H – 36FH | สงวนไว้ |
| 378H – 37FH | เครื่องพิมพ์ขนาน พอร์ต 1 |
| 380H – 38FH | SDLC ไบต์ซิงโครไนซ์ 1 |
| 3A0H – 3AFH | อะแดปเตอร์สี/กราฟฟิกส์ |
| 3F0H – 0F7H | ตัวควบคุมดิสก์ไดรฟ์ |
| 3F8H – 3FFH | พอร์ตอนุกรม |

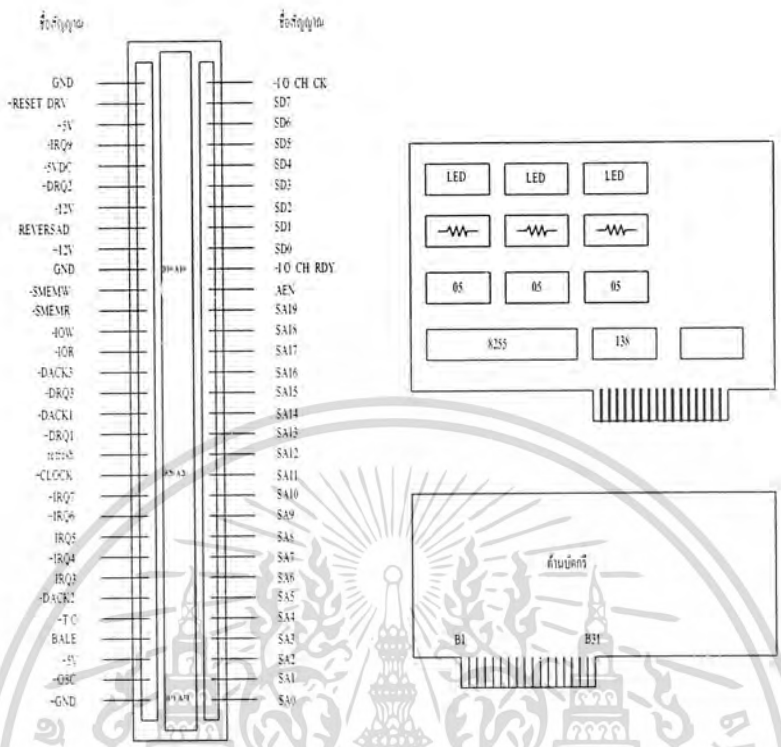
การใช้งานพอร์ตสามารทำได้โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ตนั้นๆ สามารถจะใช้ภาษาเบสิก, ภาษาซี, ภาษาปาสคาล และแอสแซมบลี ก่อนอื่นจะต้องทราบหมายเลขพอร์ตที่จะใช้งาน แล้วศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ในพอร์ตนั้น ว่ามีการทำงานอย่างไร จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของพอร์ตนั้น

### 2.7.1 การสร้างพอร์ตเพื่ออินเตอร์เฟส

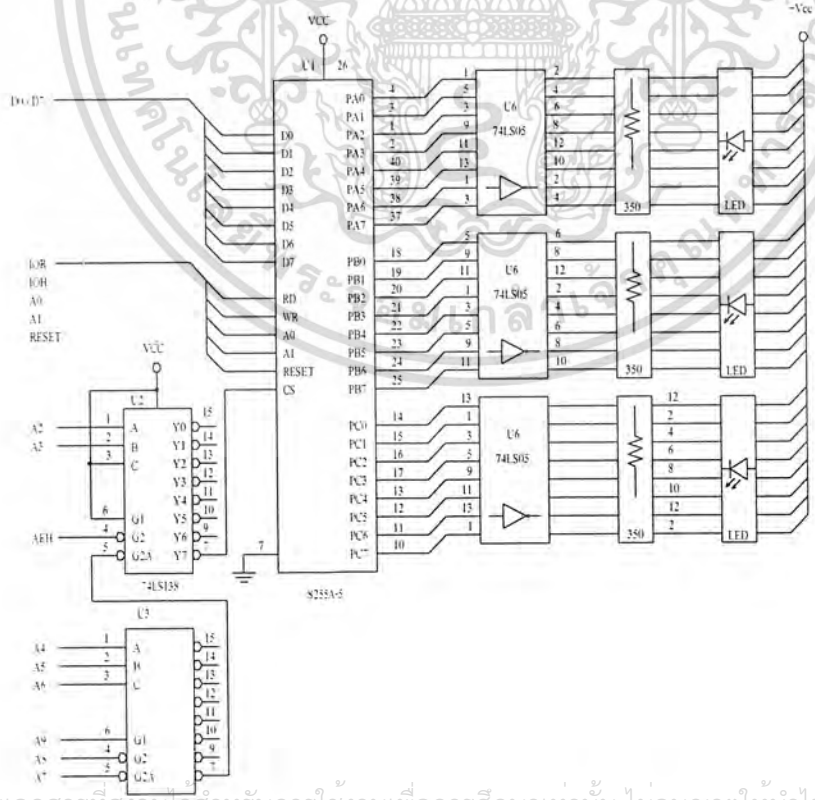
การอินเตอร์เฟสหรือการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก สามารถสร้างขึ้นมาได้ โดยชิป 8255 ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ซึ่งมีระดับสัญญาณเป็น TTL เช่นกัน จะเป็นการ์ดอินเตอร์เฟสเอนกประสงค์ ซึ่งใช้งานกับไมโครคอมพิวเตอร์ PC/XT/AT ได้ทุกรุ่น ซึ่งจะต้องนำสัญญาณควบคุมบัสข้อมูล แอดเดรสบัสสัญญาณรีเซสไฟ VCC กราวด์ของไมโครคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับการ์ดนี้ให้ถูกต้องเสียก่อน

การต่อสายสัญญาณ แอดเดรสบัส, ดาต้าบัส, สัญญาณควบคุม และสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต ควรใช้สายวางแล็บอย่างสังกะสี เพื่อสะดวกในการตรวจสอบ เมื่อต่อสายสัญญาณต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรจะใช้มัลติมิเตอร์วัดสัญญาณต่างๆ ที่ต่อไว้ว่าถูกต้องตามวงจรหรือไม่ และที่สำคัญระวังอย่าให้ไฟ VCC กับกราวด์ลัดวงจรเป็นอันขาด เพราะจะทำให้ตัวอุปกรณ์ และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.31** ขาสัญญาณบนสล็อต และการ์ดอินเตอร์เฟส




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.32** วงจรพอร์ตหมายเลข 27CH–27FH

จากวงจรรูปที่ 2.32 จะเห็นว่าใช้ 74LS138 ในการถอดรหัสหมายเลข 27X และเมื่อรวม A0 – A1 จะได้เป็นหมายเลข 27CH – 27FH ดังตารางที่ 2.7

ทดลองโดยเสียบลงบนสล็อตของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ การเสียบการ์ดลงบนสล็อตหรือดึงการ์ดออกจากสล็อตจะต้องปิดสวิทช์ Power ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ก่อนทุกครั้ง จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมทดสอบพอร์ตต่อไป

ตารางที่ 2.7 การถอดรหัสแอดเดรสพอร์ต

| A9 | A8 | A7 | A6 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | A0 | หมายเลขพอร์ต | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | $G2_A$ | $G2_2$ | $C_2$ | $B_2$ | $A_2$ | $B_1$ | $A_1$ | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 27CH | พอร์ต A |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 27DH | พอร์ต B |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 27EH | พอร์ต C |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 27H | พอร์ต D |

## 2.8 โปรแกรมวิชวลเบสิค

### 2.8.1 ความเป็นมา

วิชวลเบสิคเวอร์ชั่นแรกที่ออกมานั้นเป็นเวอร์ชั่นบนวินโดวส์ออกสู่สายตาผู้ใช้เมื่อปี 1991 เป็นเพียงเครื่องมืออย่างง่ายสำหรับการสร้างแอพพลิเคชั่นบนวินโดวส์มากกว่าองค์ประกอบหรือ Object ที่ใช้ได้ก็มีแค่องค์ประกอบพื้นฐานของวินโดวส์ เช่น Text Box, List Box เท่านั้น

ในอนาคตคาดว่าวิชวลเบสิคจะมีบทบาทต่อผู้ใช้วินโดวส์มากขึ้น เพราะต่อไปแอพพลิเคชั่นของ Microsoft ทุกตัวบนวินโดวส์จะมีภาษามาโครเดียวกันหมด คือ Visual Basic For Application (VBA) นั่นคือ แทนที่ผู้ใช้จะรู้ภาษามาโครของ Word For Window, Excel หรือโปรแกรมอื่นของ Microsoft แต่ละตัวก็จะเป็นการเรียนรู้ VBA เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากความง่ายของภาษาประสิทธิภาพ และความนิยมของผู้ใช้ รวมทั้งยังเป็นการสร้างมาตรฐานของภาษาแอพพลิเคชั่นบนวินโดวส์อีกด้วย ในลักษณะเดียวกันกับภาษา REXX ของ OS/2 นอกจากนี้ยังมีข่าวพัฒนาวิชวลเบสิคบนแฟรตฟอร์มอื่นออกมาเป็นระยะๆ ด้วย ฉะนั้นถือได้ว่าการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิชวลเบสิค ทำให้เราก้าวไปสู่การใช้แอพพลิเคชั่นสำเร็จรูปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกเหนือจากการพัฒนาแอพพลิเคชั่นขึ้นมาใช้เอง

### 2.8.2 ภาพรวมของวิชวลเบสิค

วิชวลเบสิคมีสภาพแวดล้อมสำหรับการพัฒนาโปรแกรมบนวินโดวส์ ประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ครบถ้วนไม่ว่าจะเป็นส่วนของการออกแบบ User Interface, ส่วนออกแบบเมนู (Menu Designer), การสร้างรายงาน (Report Writer) อิดิเตอร์สำหรับป้อนโปรแกรม และ Debugger เพื่อการตรวจหาข้อผิดพลาดในโปแกรม องค์ประกอบเหล่านี้นับว่าเอื้ออำนวยต่อการทำงานของโปรแกรมเมอร์เป็นอย่างมาก

ในด้านตัวภาษาวิชวลได้นำไวยกรณ์ของ Basic และ GW – Basic มาใช้โดยสนับสนุนความสามารถเดิมเกือบทั้งหมด นอกจากนี้ยังได้เพิ่มโปรแกรมแบบมีโครงสร้างของ Quick Basic ซึ่งคล้ายกับภาษาที่มีโครงสร้าง เช่น Pascal หรือ C เข้าไปด้วย

นอกจากนี้ยังเพิ่มคำสั่ง และฟังก์ชันเกี่ยวกับ Object และการเรียกฟังก์ชันของระบบปฏิบัติการ (API) เพื่อให้การทำงานกว้างขวางขึ้น รวมทั้งสนับสนุนความสามารถของระบบ เช่น OLD, DDE และการใช้คลิปบอร์ด เป็นต้น

ด้วยความสามารถของภาษาวิชวลเบสิค ผู้ใช้สามารถสร้างแอพพลิเคชั่นได้หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมวาดภาพ, การคำนวณทางเงิน หรือแม้แต่โปรแกรม Cardfile ซึ่งเป็นโปรแกรมมาตรฐานในวินโดวส์โดยไม่ต้องใช้ชุด SDX เลย

วิชวลเบสิคแต่ละเวอร์ชันจะมี 2 Edition คือ Standard และ Professional Edition ซึ่งข้อแตกต่างคือ ในชุด Professional นั้นจะมี Custom Control (Object ที่สามารถนำมาใช้ในฟอร์ม) มากกว่า และจะมีเครื่องมืออื่นๆ เช่น Help Complier สำหรับการสร้างข้อความอธิบายการใช้ Setup Kit เพื่อทำส่วนของการติดตั้งแอพพลิเคชั่น (Installing) และ Report Writer พร้อมข้อมูลเพิ่มเติมอื่นสำหรับผู้พัฒนา แต่ในด้านความสามารถของภาษาจะเหมือนกันทั้ง 2 Edition

### 2.8.3 หลักการโปรแกรมเชิงภาพของวิชวลเบสิค

ในวิชวลเบสิคนั้น การพัฒนาและการเขียนโปรแกรมจะเป็นไปในอีกรูปแบบหนึ่ง กล่าวคือ ในการเขียนโปรแกรมเดิมนั้นเราจะต้องมานั่งออกแบบหน้าจอ ระบุตำแหน่งการแสดงผล คิดหาขั้นตอนการทำงาน และอื่นๆ จากนั้นจึงจะทำการเขียนโปรแกรม โปรแกรมที่จะได้อธิบายและสั่งงานคอมพิวเตอร์เป็นลำดับไป แต่ในวิชวลเบสิคจะใช้หลักของภาพ และการมองเห็นโดยเริ่มจากออกแบบวินโดวส์ย่อย หรือที่ในวิชวลเบสิคเรียกว่า *ฟอร์ม* ในฟอร์มจะประกอบด้วยสิ่งต่างๆ ที่เราจะทำงานด้วย หรือเรียกว่าเป็น Object เช่นข้อความ, ช่องรับข้อความ, Scroll Bar หรือปุ่ม

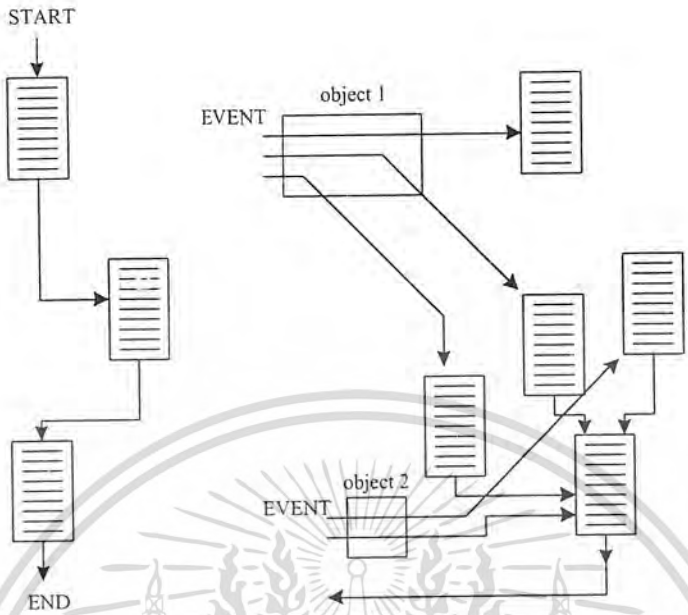
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดสิ่งเหล่านี้ครบตามต้องการแล้ว จึงระบุว่าองค์ประกอบแต่ละอย่างว่าจะทำงานอย่างไร โดยเขียนโปรแกรมย่อยๆ ปะเข้าไปกับ Object เหล่านี้ ที่ต้องทำแบบนี้ก็เพราะว่าการทำงานในวินโดวส์เป็นแบบที่เรียกว่า อีเว้นท์ – ไดเว้นท์ คือขึ้นกับเหตุการณ์ (Event) การเขียนโปรแกรมแบบเดิมคือ การสั่งงานตามลำดับจะยุ่งยากมาก หรือบางกรณีอาจทำไม่ได้เลย เพราะอย่าลืมว่าในขณะใดขณะหนึ่งนั้น ในระบบไม่ใช่จะมีเพียงโปรแกรมประยุกต์ของเราเท่านั้นที่ทำงาน วินโดวส์จะต้องจัดการกับทุกโปรแกรมที่ทำงานขณะนั้นทั้งหมดไปพร้อมๆ กัน ในขณะที่โปรแกรมแสดงหน้าจอสำหรับรับอินพุต อาจพิมพ์ข้อมูลเข้าไป ใช้เมาส์เลื่อนไปคลิกตรงนั้นตรงนี้ได้โดยอิสระ ทำให้ยากที่จะเขียนโปรแกรมธรรมดาให้คอยดักเส้นทางการทำงาน ในการรับอินพุตว่าจะเกิดอะไรขึ้นตรงไหนก็ได้ จึงต้องใช้รูปแบบการโปรแกรมในลักษณะ อีเว้นท์ – ไดเว้นท์ ดังกล่าว ซึ่ง Object แต่ละตัวก็จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นได้หลายอย่าง

นอกจาก Object จะมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ ที่กำหนดแล้ว ยังมีอีกเรื่องหนึ่งที่จะขอกล่าวคือ ทุก Object จะมีลักษณะหรือคุณสมบัติ (Property) ของตัวเอง เช่น ช่องรับข้อความ (Text Box) จะมีชื่อ, ข้อความในนั้น, ความกว้าง, ความสูง, สี โดยเราสามารถอ้างถึงหรือเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านี้ได้ขณะที่โปรแกรมทำงานอยู่ เป็นต้นว่า หากไม่มีการป้อนข้อมูลจะแสดงด้วยสีหนึ่ง หรืออาจไม่ต้องแสดงบนจอภาพเลย

ในการที่กระทำสิ่งหนึ่งสิ่งใดกับ Object นั้น จะมีสิ่งที่เรียกว่า Method ซึ่งเปรียบเทียบเป็นกระบวนการทำงานของ Object ซึ่ง Object แต่ละแบบก็อาจจะมี Method ที่แตกต่างกันออกไปเช่น ถ้าต้องการสั่งให้เลื่อนตำแหน่งของข้อความ (Label) ก็จะมีกระบวนการ หรือ Method ชื่อ Move ของ Label เพื่อทำงานนี้โดยสั่งว่า *Label.Move = ตำแหน่งที่ย้ายไป* หรือการสั่งพิมพ์ก็มี Method ชื่อ Print เป็นต้น ถ้าจะพูดไปแล้ว Method ฯ ก็คล้ายๆ กับคำสั่งที่ใช้ได้กับ Object จะมีคุณลักษณะเฉพาะที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ของตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.33** การเขียนโปแกรมแบบธรรมดากับแบบอีเว้นท์ – ไดร์ฟเว้น

การทำงานกับ Object ไม่ว่าจะเป็นการอ้างถึงคุณสมบัติ หรือใช้ Method ในบางครั้งเราสามารถอ้างถึง Object ได้ (ถ้าหาก Visual Basic เข้าใจได้ว่าจะทำงานกับ Object ใด) เช่น คำสั่ง Print "Hi!" Visual Basic จะเข้าใจเองว่าเป็นการใช้ Method Print กับฟอร์มที่กำลังทำงานอยู่ อย่างไรก็ตามเราควรระบุชื่อ Object ทุกครั้งที่ทำงานด้วย ไม่ว่าจะเป็นการอ้างถึงคุณสมบัติหรือใช้ Method เพื่อไม่ให้เกิดความคลุมเครือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

## 3.1 เครื่องวัดความเร็วลม และทิศทางลม

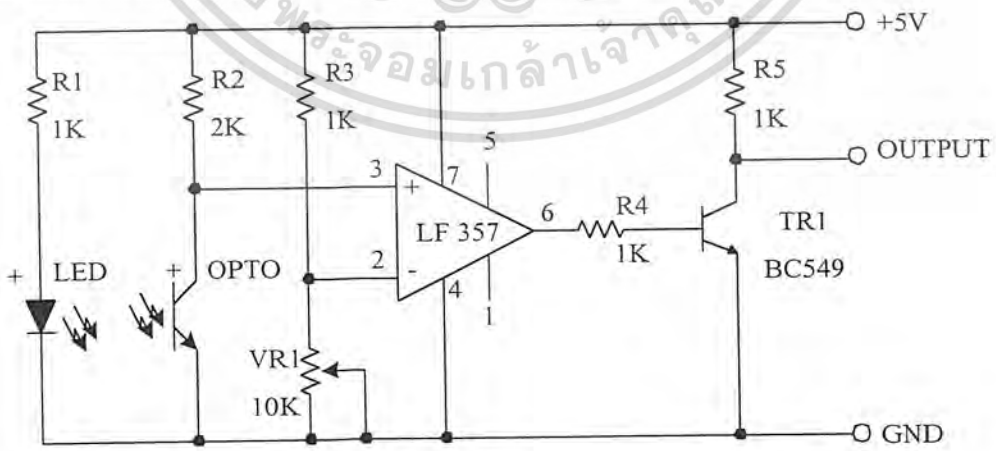
เครื่องวัดความเร็วลมที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เครื่องต้นแบบจากเครื่องวัดความเร็วลม ซึ่งใช้หลักการของการตรวจจับแสงเมื่อแสงเดินทางผ่าน ส่วนเครื่องวัดทิศทางลมใช้หลักการของการเปลี่ยนค่าความต้านทานของตัวโพเทนทิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

## 3.2 ภาคส่งสัญญาณวิทยุ

ภาคส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณโดยจะนำสัญญาณทั้งสองคือสัญญาณที่ได้จากตัววัดความเร็วลม และสัญญาณที่ได้จากตัววัดทิศทางลม ซึ่งได้จากมาโดยอาศัยการนับสัญญาณพัลส์ มาผ่านการมัลติเพล็กซ์แบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แล้วมาผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอสเคผ่านทางคลื่นวิทยุเพื่อส่งออก ส่วนประกอบในส่วนของภาคส่งสัญญาณวิทยุนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

### 3.2.1 วงจรวัดความเร็วลม

วงจรวัดความเร็วลมนี้ใช้หลักการของการตรวจสอบแสงที่ผ่านเข้าตัวโฟโต้ทรานซิสเตอร์ เพื่อกำเนิดเป็นแรงดันแล้วส่งเข้าออปแอมป์ เพื่อทำการขยายสัญญาณ




**รูปที่ 3.1** วงจรตรวจจับแสงที่ใช้ในการวัดความเร็วลม

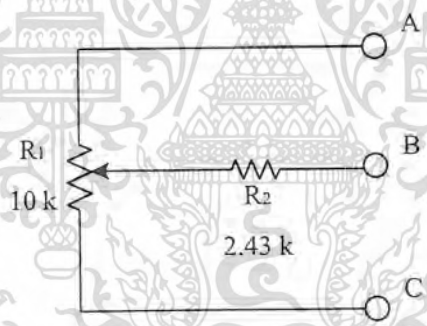
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจ่ายไฟบวก 5 โวลต์ ให้แก่แอลอีดีอินฟาเรด จะมีกระแสไหลผ่านตัวแอลอีดีอินฟาเรด ทำให้แอลอีดีอินฟาเรดปล่อยแสงออกมา ส่วนทางด้านรับแสงคือโฟโต้ทรานซิสเตอร์ เมื่อรับแสงมาได้แล้วจะทำการส่งเข้าอินพุตขา 3 ของออปแอมป์ LF 357 ทำการขยายสัญญาณที่ได้รับมา แล้วส่งต่อสัญญาณไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ BC 549 มีสัญญาณเอต์พุตเป็น "1" ออกมา

แต่ถ้าหากว่าตัวโฟโต้ทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับแสงจากตัว แอลอีดีอินฟาเรด จะไม่มีสัญญาณส่งเข้าออปแอมป์ จึงไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมาไบอัสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ เอาต์พุตที่ได้ออกมาจึงมีสถานะเป็น "0"

### 3.2.2 วงจรวัดทิศทางลม

วงจรนี้จะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบโพเทนชิโอมิเตอร์ค่า 10 k เป็นหัวใจหลักของวงจร โดยตัวโพเทนทิโอมิเตอร์นี้ จะสามารถหมุนได้รอบทิศทาง หรือ 360 องศา และที่ขา 2 ของโพเทนทิโอมิเตอร์จะต่อตัวต้านทาน R2 ไว้เพื่อจำกัดกระแส แล้วต่อออกคอนเน็คเตอร์เพื่อใช้งานต่อไป




**รูปที่ 3.2** วงจรวัดทิศทางลม

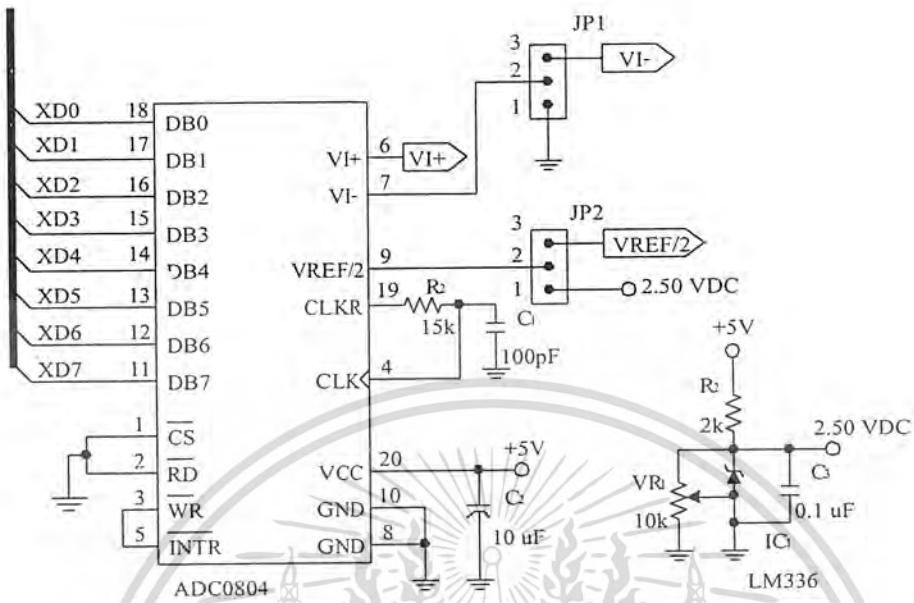
### 3.2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลนี้ จะใช้ชิพเบอร์ ADC0804 ซึ่งเป็นชิพแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต โดยต่อสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา 6 ของชิพ แรงดันอ้างอิงของชิพ ADC0804 ถูกกำหนดให้เลือกได้ระหว่างค่า 2.5 โวลต์ และค่าแรงดันอ้างอิง/2 จากภายนอก ส่วนแรงดัน VI- ก็เช่นกันสามารถเลือกได้ 2 ตัว คือ VI- จากภายนอก และกราวด์

เอาต์พุตของชิพ ADC0804 ออกมาที่ขา DB0-DB7

แรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ ที่ใช้ในวงจรได้มาจาก IC เบอร์ LM336 ต่อร่วมกับ R4, C3 และ VR1

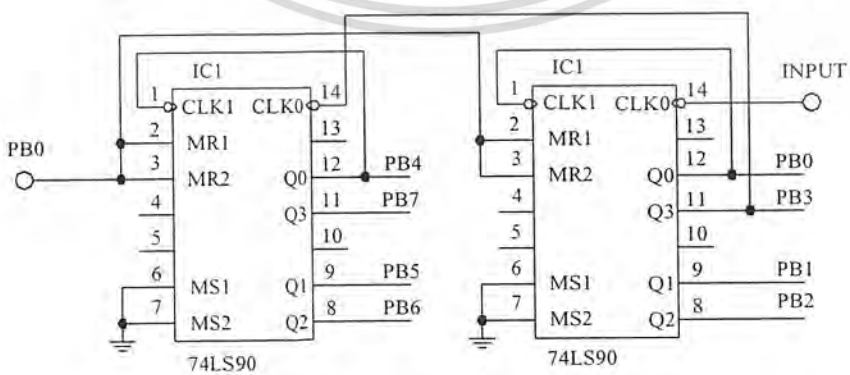
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.3** วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

### 3.2.4 วงจรนับ

วงจรนับนี้ใช้ IC สำเร็จรูปเบอร์ 74LS90 เป็นไอซีสำเร็จรูปที่ใช้ในวงจรนับสิบ ซึ่งเราจะใช้ทั้งหมด 2 ตัว เพื่อให้วงจรนับนี้สามารถนับได้ถึง 100 โดยจะทำการป้อนอินพุตให้แก่วงจรที่ขา 14 ของไอซีตัวที่ 1 และนำเอาต์พุตของไอซีตัวที่ 1 จำนวน 1 อินพุต ซึ่งก็คือ Q3 ของไอซี 1 มาป้อนเป็นอินพุตให้กับไอซีตัวที่ 2 โดยไอซีตัวที่ 1 จะแสดงถึงการนับหลักหน่วย และไอซีตัวที่ 2 แสดงถึงการนับหลักสิบ ไอซีทั้งสองตัวจะมีเอาต์พุตออกที่ Q0, Q1, Q2 และ Q3




**รูปที่ 3.4** วงจรนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

การมอดูเลตแบบเอฟเอสเคสำหรับเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลมนี้ เลือกใช้ค่าอัตราการส่งสัญญาณ, ความถี่มาร์ค และความถี่สเปซตามมาตรฐาน V 21 ของ CCITT คือ

อัตราการส่งสัญญาณ = 1,200 บิตต่อวินาที

ความถี่มาร์ค (Fm) = 1,200 เฮิรตซ์

ความถี่สเปซ (Fs) = 2,200 เฮิรตซ์

รูปที่ 3.5 แสดงวงจรที่ใช้สำหรับการมอดูเลตแบบเอฟเอสเค ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ไม่ได้กำหนดค่าไว้ คือ ตัวความต้านทาน $R_3$, $R_4$ และตัวเก็บประจุ C ซึ่งคำนวณหาค่า $R_3$, $R_4$ และ C ได้จาก

$$Fm = \frac{1}{R_3}C$$

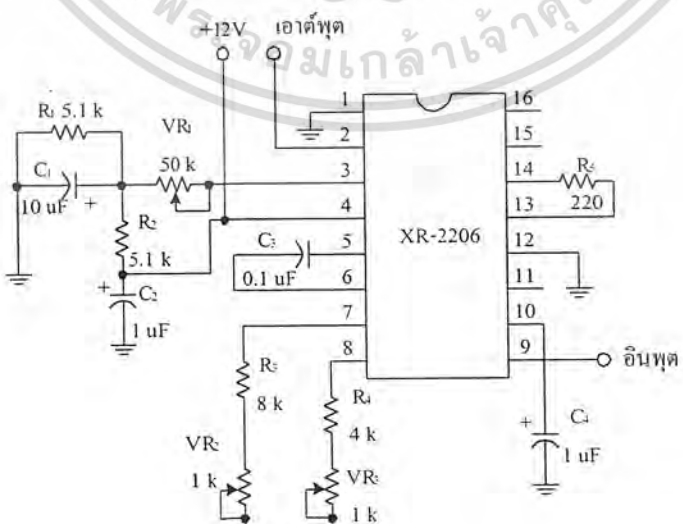
$$Fs = \frac{1}{R_4}C$$

ดังนั้น จากค่า Fm และ Fs ที่เลือกไว้สามารถคำนวณหาค่า $R_3$ และ $R_4$ ได้โดยเลือกใช้ค่า

$C = 0.1$ ไมโครฟารัด

$$R_3 = \frac{1}{FmC} = \frac{1}{(1200 \times 0.1)} = 8.333 \text{ กิโลโอห์ม}$$

$$R_4 = \frac{1}{FsC} = \frac{1}{(2200 \times 0.1)} = 4.545 \text{ กิโลโอห์ม}$$




**รูปที่ 3.5** วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

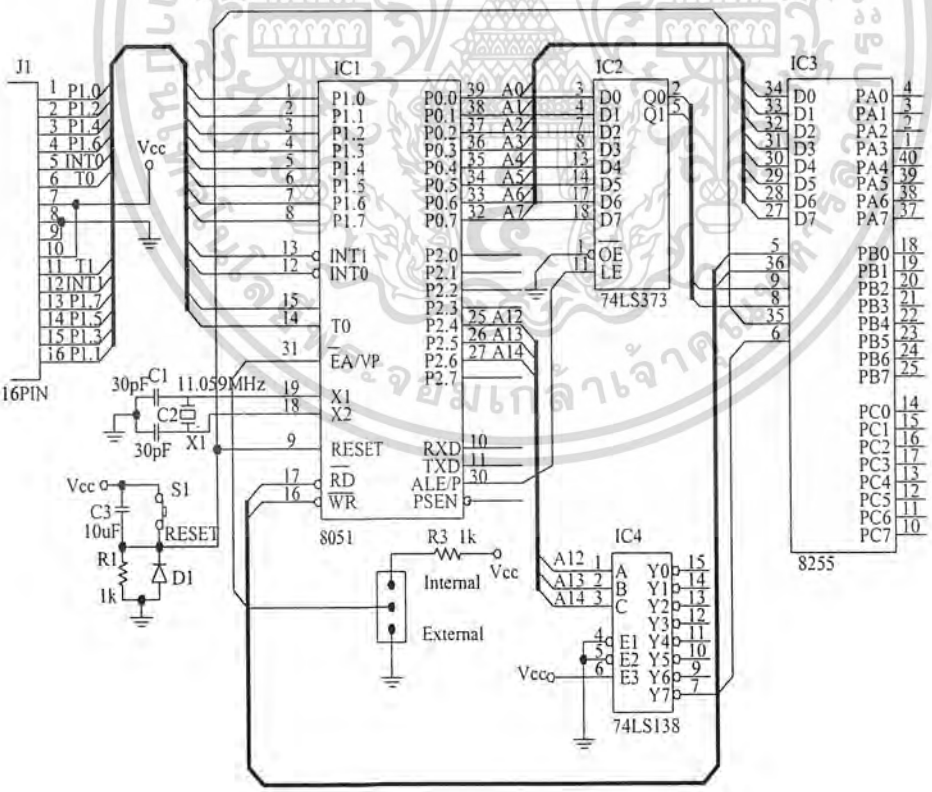
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเคจากค่า $R_3$ และ $R_4$ ที่คำนวณได้ จะเลือกใช้ตัวความต้านทานแบบค่าคงที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้โดยการเลือกใช้ชนิดที่ปรับค่าแบบละเอียด เพื่อให้มีค่าความต้านทานใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณมากที่สุด ส่วนตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรชนิดไม่มีขั้ว ควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดไมล่าร์

ในการสร้างวงจรจะต้องทำการปรับแต่งวงจรให้ได้ความถี่มาร์ค และความถี่สเปซตรงกับค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบ

### 3.2.6 วงจรมัลติเพล็กซ์

วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณนี้ จะทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่ได้จากตัววัดความเร็วลม และตัววัดทิศทางลมเข้าด้วยกัน เพื่อส่งออกจากเครื่องส่ง โดยใช้ IC ตระกูล MCS-51 ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณข้อมูลจากตัววัดความเร็วลม และตัววัดทิศทางลมเข้ามาที่ขา P10-P17 ของชิพเบอร์ 8951 สัญญาณออกที่ขา P00-P07 เข้าขา D0-D7 ของชิพเบอร์ 74LS373 เพื่อ Latch ข้อมูลไว้ ส่วนสัญญาณ




**รูปที่ 3.6** วงจรมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ขา P20-P27 เข้าที่ขา A, B และ C ของชิพเบอร์ 74LS138 ซึ่งเป็นไอซีถอดรหัส ทำการถอดรหัสให้ได้ตำแหน่งแอดเดรสที่ต้องการ

สัญญาณที่ออกจากขา Q0-Q7 ของชิพเบอร์ 74LS373 จะต่อเข้าขา D0-D7 ของชิพเบอร์ 8255 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขยายพอร์ต โดยที่ขา RD และ WR ของชิพเบอร์ 8255 จะต่อกับขา RD และ WR ของชิพเบอร์ 8951 ด้วย

สัญญาณที่ออกจากชิพเบอร์ 8255 จะมีทั้งหมด 3 พอร์ต คือ PA0-PA7 สำหรับการวัดความเร็วลม พอร์ต PB0-PB7 สำหรับการวัดทิศทางลม และพอร์ต PC0-PC7 เป็นพอร์ตสำหรับการควบคุม

### 3.2.7 วงจรเครื่องส่งวิทยุ

วงจรเครื่องรับ และเครื่องส่งวิทยุที่เลือกใช้นี้ เลือกใช้เป็นเครื่องรับเครื่องส่งแบบวิทยุรับส่งที่เรียกว่า CB ยี่ห้อ COBRA รุ่น TK-14 ความถี่ใช้งาน 462 MHz โดยหัวใจหลักของวงจรอยู่ที่ชิพเบอร์ 108 ซึ่งเป็นชิพไอซีขนาด 80 ขา และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ จะใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรความถี่สูงทั้งหมด

## 3.3 ภาครับสัญญาณวิทยุ

ภาครับสัญญาณวิทยุจะรับสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่งเพื่อทำการดีมอดูเลตให้ได้สัญญาณดิจิตอลออกมา ส่งเข้าวงจรอินเตอร์เฟสสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยจะมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

### 3.3.1 วงจรเครื่องรับวิทยุ

วงจรเครื่องรับวิทยุจะใช้วงจรเดียวกันกับวงจรเครื่องส่งวิทยุ เพียงแต่ทำการกำหนดค่าให้ต่างกัน โดยให้ตัวใดตัวหนึ่งเป็นเครื่องส่ง และให้อีกเครื่องหนึ่งเป็นเครื่องรับ

### 3.3.2 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

การดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเคจะใช้ IC เบอร์ XR-2211 ซึ่งเป็น IC สำหรับการการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเคโดยเฉพาะ

วงจรสำหรับดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเคแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมีค่าอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการออกแบบวงจรคือ $R_0, R_1, R_F, C_0, C_1$ และ $C_F$ โดยที่

$R_0$ และ $C_0$ กำหนดความถี่กลางของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน

$R_1$ กำหนดแบนด์วิดท์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_1$ กำหนดค่าคงตัวของลูปฟิลเตอร์ และลูปแดมปิ้งแฟคเตอร์ (Loop damping factor)

$R_F$ และ $C_F$ เป็นวงจรกรองสัญญาณเอฟเอสเคเอาต์พุต

อุปกรณ์ที่ไม่ทราบค่าสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$C_3 = \frac{1}{R_3 F_0} \quad (3.1)$$

โดยที่ $F_0$ คือ ความถี่กลางของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันซึ่งหาได้จาก

$$F_0 = \frac{(F_m + Fs)}{2}$$

$$R_4 = R_3 [\frac{F_0}{(F_m - F_s)}] \quad (3.2)$$

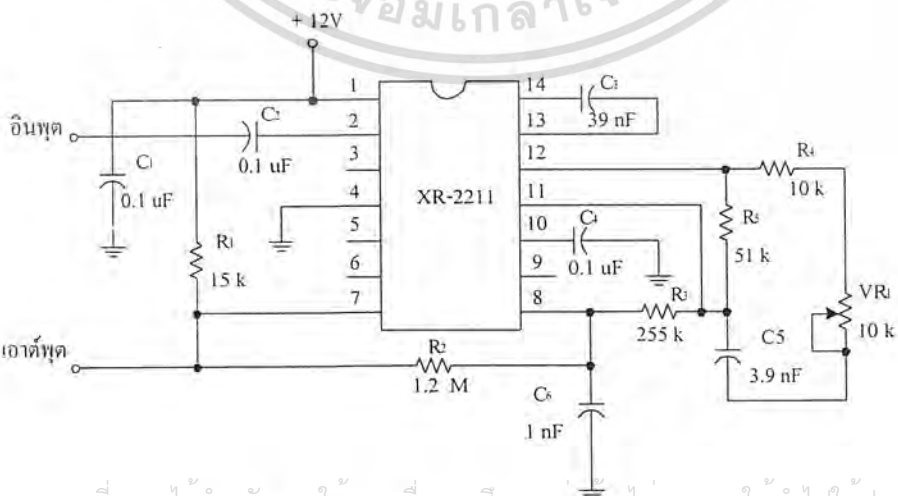
$$C_5 = \frac{C_3}{4} \quad (3.3)$$

สมการที่ 3.3 กรณีที่ลูปแดมปิ้งมีค่าเท่ากับ 0.5

$$C_6 \approx \frac{3}{(\text{Baud rate})} \text{ ไมโครฟารัด} \quad (3.4)$$

สมการที่ 3.4 สำหรับค่า $R_5$ = 100 กิโลโอห์ม และ $R_2$ = 510 กิโลโอห์ม

ข้อมูลของ XR-2211 ได้กำหนดค่าอุปกรณ์เหล่านี้ สำหรับอัตราการส่งสัญญาณ 1,200 บิตต่อวินาที, $F_m$ = 1,200 เฮิรตซ์ และ $F_s$ = 2,200 เฮิรตซ์ ไว้แล้ว ซึ่งได้ค่าต่างๆ ดังนี้




**รูปที่ 3.7** วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_3$ = 255 กิโลโอห์ม

$R_4$ = 10 กิโลโอห์ม

$C_3$ = 39 นาโนฟารัด

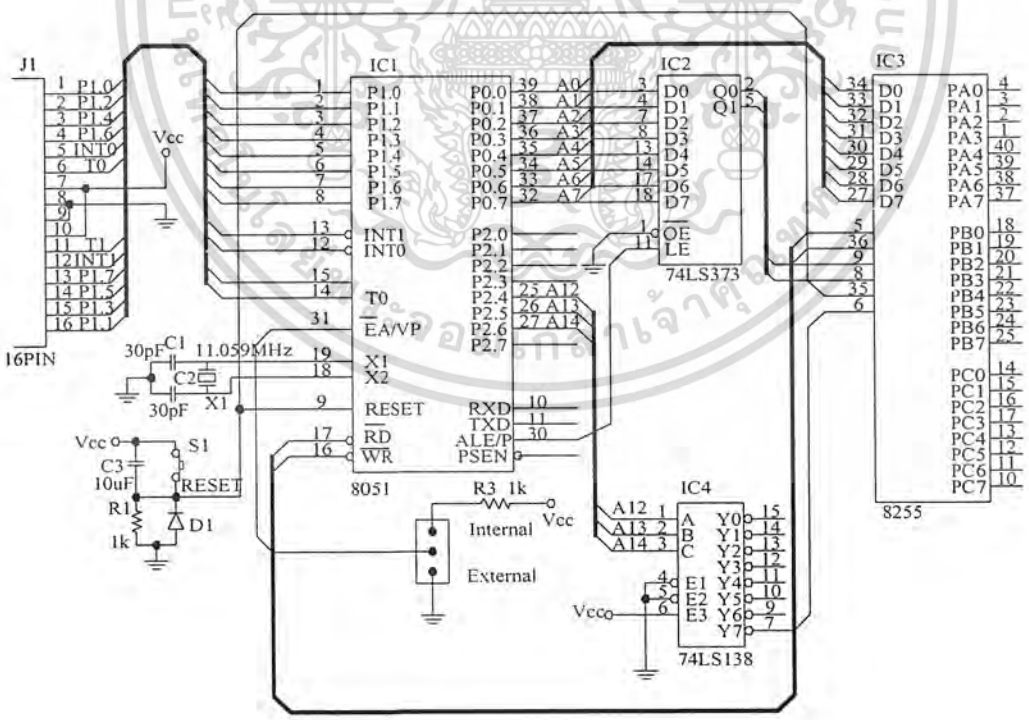
$C_5$ = 39 นาโนฟารัด

$C_6$ = 1 นาโนฟารัด

ส่วนค่า $R_F$ ใช้ค่า 100 กิโลโอห์ม เพื่อให้สอดคล้องกับสมการที่ 3.4

จากการออกแบบจะได้วงจรสำหรับการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเค ดังรูปที่ 3.7 โดยค่า $R_0$ จะเลือกใช้ตัวต้านทานแบบคงที่อนุกรมกับตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อให้สามารถที่จะปรับค่าความถี่กลางของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันให้ตรงกับค่าที่ต้องการ สำหรับการปรับความถี่กลางของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน ให้มีค่าตามความต้องการสามารถทำได้โดยการไม่ป้อนสัญญาณอินพุต และต่อขา 2 เข้ากับขา 10 วัดสัญญาณเอาต์พุตของความถี่กลางที่ขา 3 แล้วทำการปรับความถี่กลางที่เครื่องรับจนได้ความถี่ตามต้องการ

### 3.3.3 วงจรดีมัลติเพล็กซ์



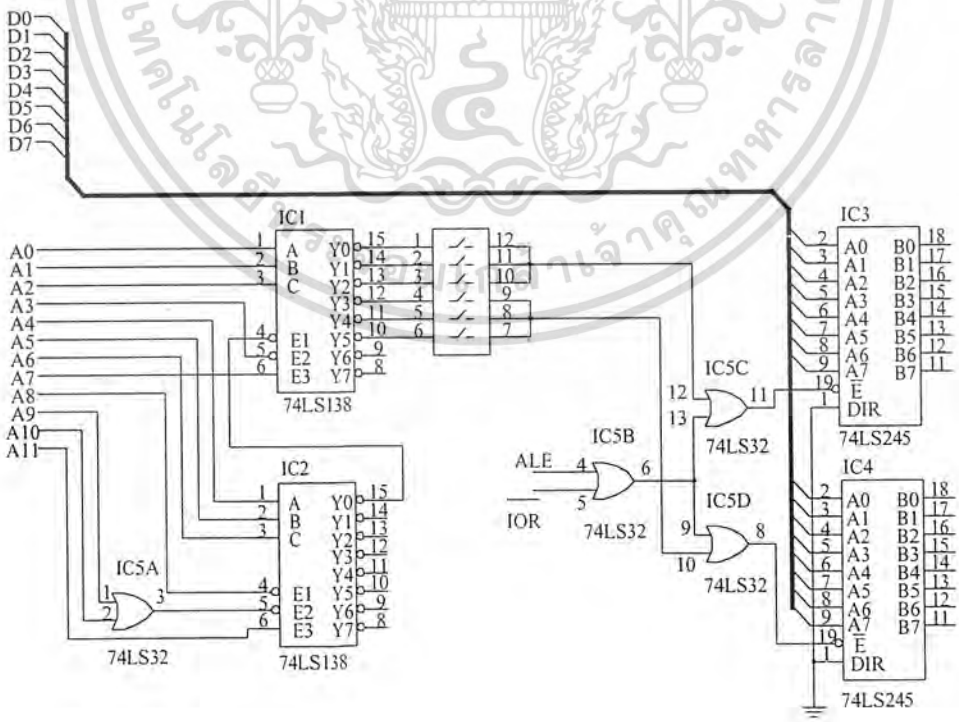

**รูปที่ 3.8 วงจรดีมัลติเพล็กซ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรดีมัลติเพล็กซ์จะใช้วงจรเดียวกันกับวงจรมัลติเพล็กซ์ทุกอย่างคือใช้ไอซีเบอร์ 8951 ในการดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณ วงจรจะรับสัญญาณอินพุตที่มาจากวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค มาทำการแยกสัญญาณของการวัดความเร็วลม และสัญญาณจากการวัดทิศทางลมออกจากกัน จากนั้นจึงนำสัญญาณเข้าไปอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ วงจรดีมัลติเพล็กซ์แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

### 3.3.4 วงจรอินเตอร์เฟส

ตำแหน่งพอร์ตที่ใช้งานเลือกใช้ที่ตำแหน่ง 0880H-0885H โดยที่ตำแหน่ง 0880H-0882H เป็นพอร์ต 1 รับข้อมูลของตัววัดทิศทางลม และตำแหน่ง 0883H-0885H เป็นพอร์ต 2 รับข้อมูลของตัววัดความเร็วลมโดยใช้ตัวถอดรหัส 74LS138 2 ตัว ถอดรหัสออกมาให้ได้ตำแหน่ง 0880H-0885H เมื่อถอดรหัสออกมาแล้วจะได้ตำแหน่งแอดเดรสออกมา 6 ตำแหน่งต่อเข้าสวิตช์เพื่อจัดตำแหน่งแอดเดรสให้เป็นกลุ่มคือ 0880H-0882H และตำแหน่ง 0883H-0885H เสร็จแล้วแต่ละกลุ่มต่อเข้า AND Gate U1C และ U1D เบอร์ 7432 1 อินพุต ส่วนอีก 1 อินพุต ได้จากเอาต์พุตของ AND Gate U1B ซึ่งมาจากขาควบคุมของพอร์ตคอมพิวเตอร์ เอาต์พุตของ U1C และ U1D ต่อเข้าขา E ของชิพเบอร์ 74LS245 จำนวน 2 ตัว โดยชิพ 74LS245 นี้จะรับข้อมูล 8 บิต ซึ่งเป็นข้อมูลของการวัดความเร็วลม 4 บิต และอีก 4 บิต รับข้อมูลของการวัดทิศทางลม โดยรับทาง B0-B7 และส่งข้อมูลออกทาง D0-D7 เพื่อเข้าพอร์ตของคอมพิวเตอร์




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.9** วงจรอินเตอร์เฟส

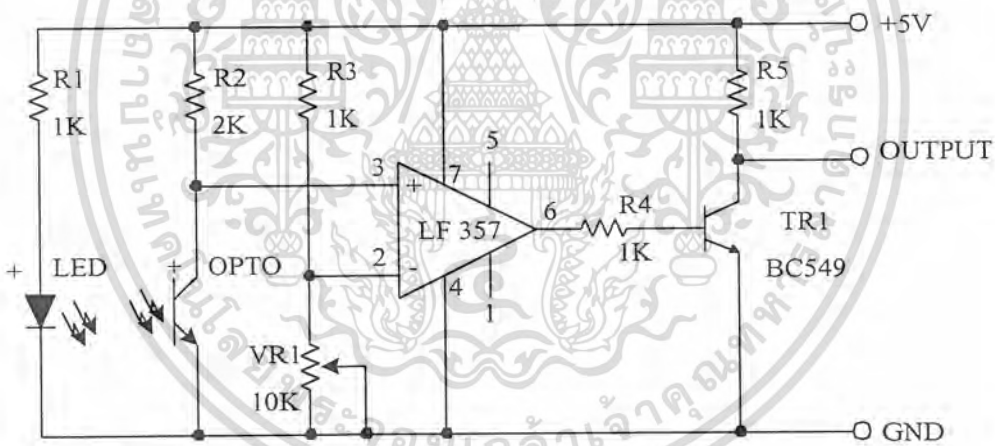
# บทที่ 4

# การทดลอง และผลการทดลอง

## 4.1 บทนำ

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลองของวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม รวมทั้งการทดลองผลการทดลองของเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม และผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม

## 4.2 วงจรวัดความเร็วลม




รูปที่ 4.1 วงจรวัดความเร็วลม

### 4.2.1 การทดลอง

1) ประกอบวงจรวัดความเร็วลม ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมด

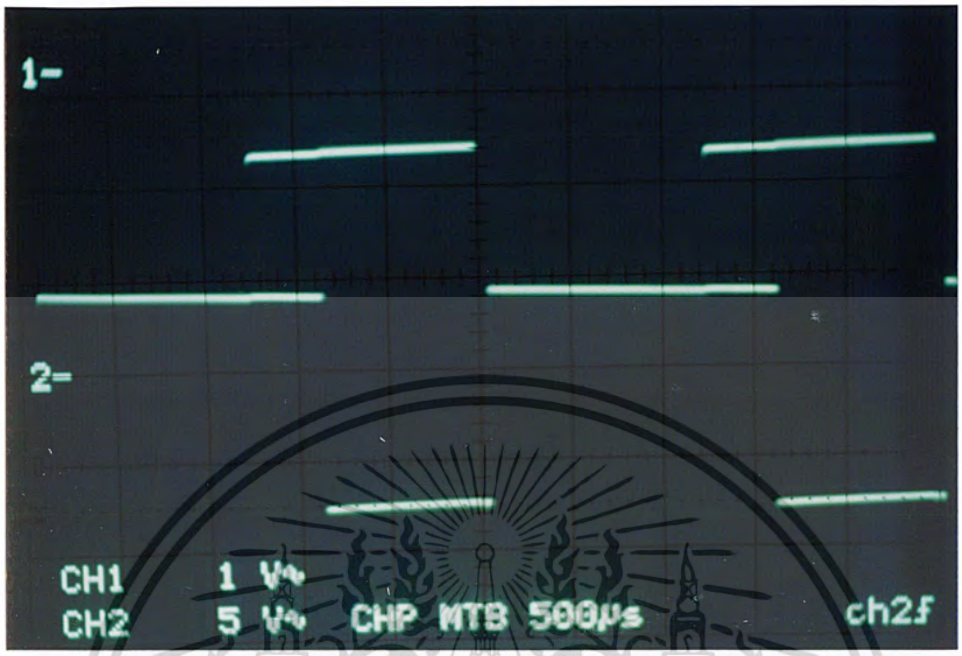
2) ป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ที่ขาของ $R_5$ ค่า 1k

3) ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตที่ขา 3 ของไอซี LF 357

4) ใช้แผ่นพลาสติกทึบแสงตัดผ่านระหว่างไดโอดเปล่งแสง และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ สังเกตที่หน้าจอออสซิลโลสโคปจะมีสัญญาณพัลซ์สี่เหลี่ยมเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.2

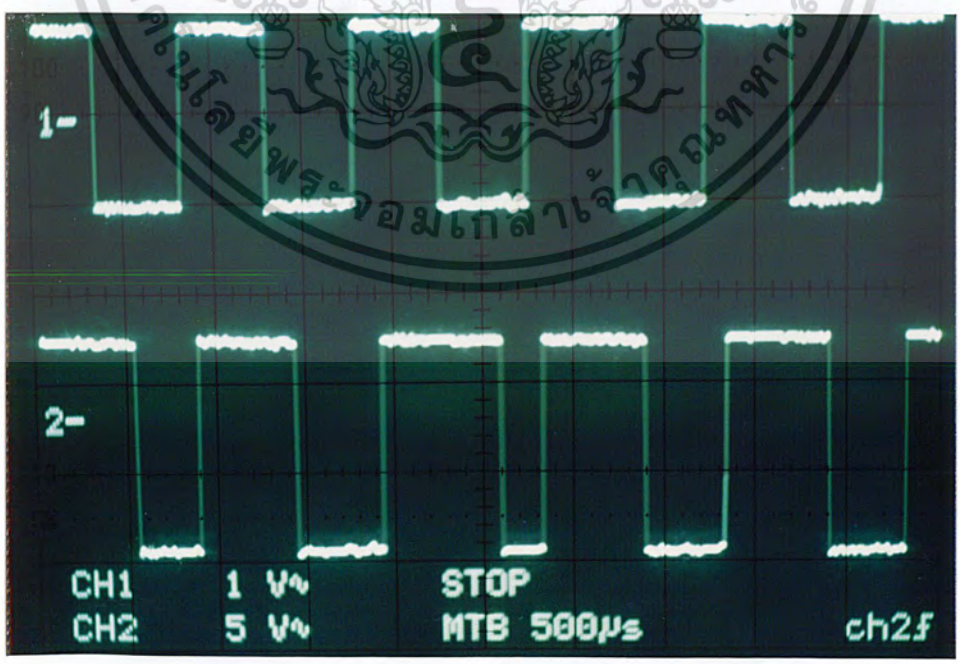
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) นำออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ BC549




รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณพัลซ์ที่เกิดจากการตรวจจับแสงของโฟโต้ทรานซิสเตอร์

6. ทำการปรับแต่งสัญญาณเอาต์พุต โดยปรับที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ $VR_1$ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตโดยให้สัญญาณมีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังแสดงดังรูปที่ 4.3



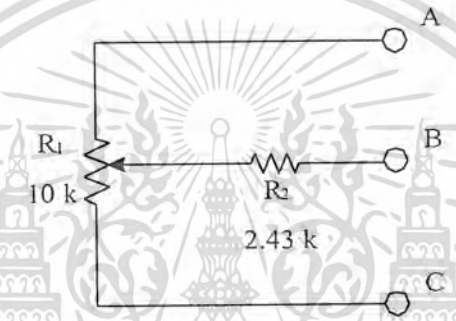

รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.2 ผลการทดลอง

เมื่อป้อนไฟกระแสตรง 5 โวลต์ และมีแผ่นพลาสติกทึบแสงมาตัดผ่านระหว่างตัวไดโอดเปล่งแสง และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ที่เอาต์พุตของวงจรจะมีสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเกิดขึ้น โดยจำนวนรูปคลื่นของสัญญาณขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการตัดแสงแต่ละครั้ง รูปคลื่นเอาต์พุตที่ได้นี้จะนำส่งต่อเข้าวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณต่อไป

## 4.3 วงจรวัดทิศทางลม




**รูปที่ 4.4** วงจรวัดทิศทางลม

### 4.3.1 การทดลอง

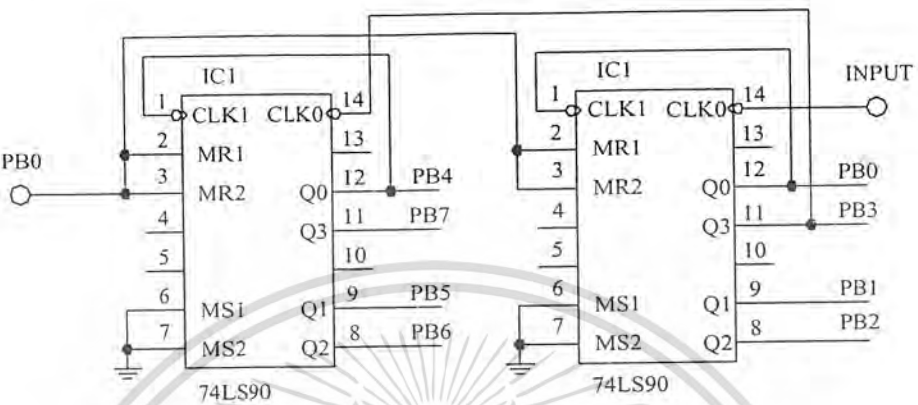
วงจรนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่วัดได้จากการหมุนโพเทนทิโอมิเตอร์ ขั้นแรกต้องทำการปรับแต่งโพเทนทิโอมิเตอร์ให้เริ่มค่าที่ 00โวลต์ โดยใช้มัลติมิเตอร์ในการวัด และต้องทำการกำหนดทิศทางเริ่มแรกของโพเทนทิโอมิเตอร์ให้มีทิศทางอ้างอิงไปทางทิศทางเหนือก่อนต่อมาทำการจ่ายไฟกระแสตรง 12 โวลต์ ให้แก่โพเทนทิโอมิเตอร์ เสร็จแล้วทำการปรับโพเทนทิโอมิเตอร์แล้วใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าแรงดันที่ได้จากการที่ปรับโพเทนทิโอมิเตอร์ สังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับโพเทนทิโอมิเตอร์ไปจนถึงค่าๆ หนึ่งแล้ว เข็มของมัลติมิเตอร์จะตีกลับมาที่ค่าเริ่มต้น

### 4.3.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองปรับตัวโพเทนทิโอมิเตอร์และวัดค่าแรงดันออกมาเราจะได้ค่าแรงดันต่างๆ แล้วแต่การปรับเพื่อนำค่าแรงดันที่ได้นี้ส่งต่อเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 วงจรนับ




**รูปที่ 4.5** วงจรนับ

### 4.4.1 การทดลอง

1) ต่อสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรตรวจจับแสงเข้ากับอินพุตของวงจรนับและสังเกตการทำงานของวงจร โดยต่อ LED เข้าที่ขา $Q_0$, $Q_1$, $Q_2$ และ $Q_3$ ของไอซี 74LS90 ทั้งสองตัว

2) ทำการต่อขา RS0 และ RS1 ลงกราวด์ เพื่อสั่งให้วงจรเริ่มทำการนับ

3) สังเกตผลของ LED จะเริ่มนับจาก 00000000H ไปจนถึง 10011001H จากนั้นจะทำการรีเซตตัวเองกลับมานับที่ 00000000H ใหม่

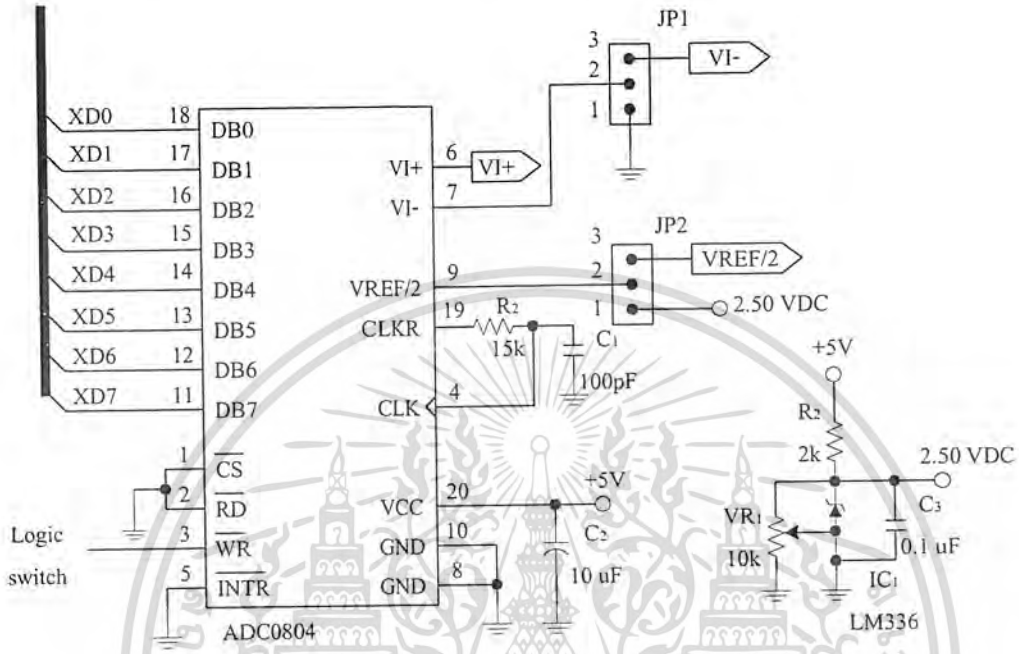
4) ถ้าทำการป้อนไฟกระแสตรง 5 โวลต์ให้กับขา RS0 และ RS1 วงจรนับจะทำการรีเซตกลับมาเริ่มนับที่ 00000000H ใหม่

### 4.4.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการต่อขา RS0 และ RS1 ของไอซี 74LS90 ลงกราวด์ วงจรนับจะทำการเริ่มนับที่ 00000000H หรือรูปคลื่นที่ 0 ไปจนถึง 10011001H หรือรูปคลื่นที่ 99 แล้วจะทำการรีเซตตัวเองกลับมาเริ่มนับที่ 00000000H ใหม่ และถ้าต้องการจะทำการรีเซตวงจรก็สามารถทำได้โดยทำการจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ให้แก่ขา RS0 และ RS1 ของไอซี 74LS90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล




**รูปที่ 4.6** วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

### 4.5.1 การทดลอง

1) ต่อวงจรตามรูปที่ 4.6 โดยที่ขา 6 ให้ต่อกับเอาต์พุตของวงจรตรวจจับทิศทางลม สำหรับขา 3 ของ IC เบอร์ ADC0804 ให้ต่อกับลอจิกสวิชต์ และเอาต์พุต $D_0$-$D_7$ ต่อเข้ากับแอลอีดีแสดงผล

2) ทำการปรับโพเทนทิโอมิเตอร์ของวงจรตรวจจับทิศทางลม จากนั้นทำให้ที่ขา 3 เป็น "0" ชั่วขณะ แล้วกลับมาเป็น "1" สังเกตผลที่ได้

3) ปรับโพเทนทิโอมิเตอร์ไปที่ค่าต่าง ๆ แล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้น

4) ปลดขา $\overline{\text{INTR}}$ หรือขา 5 ออกจากกราวด์ และปลดขา $\overline{\text{WR}}$ หรือขา 3 ออกจากสวิชต์ โดยนำขาทั้งสองมาต่อเข้าด้วยกัน

5) ทำการปรับตัวโพเทนทิโอมิเตอร์ไปที่ค่าต่าง ๆ สังเกตผลทางเอาต์พุต

6) เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ของการต่อขา $\overline{\text{WR}}$ ต่อเข้ากับลอจิกสวิชต์ และการต่อขา $\overline{\text{WR}}$ เข้ากับขา $\overline{\text{INTR}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5.2 ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากกรณีทั้งสองจะแตกต่างกันตรงที่ $D_1$-$D_0$ เพราะชุดทดลองไม่สามารถจับความไวในการทดลองได้ หรือค่า $D_1$ และ $D_0$ เป็นค่าน้อยมากๆ จึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และส่วนหลักที่สูงไปคือ $D_2$-$D_7$ จะเหมือนกันเพราะเป็นหลักที่สูง จึงทำให้ชุดทดลองสามารถแสดงผลได้ และโดยสรุปแล้วเอาต์พุตจะเหมือนกัน

## 4.6 วงจรมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์

### 4.6.1 การทดลอง

1) ทำการต่อวงจรตรวจจับความเร็วลมเข้ากับวงจรนับแล้วนำสัญญาณเอาต์พุตของวงจรนับทั้ง 8 เส้น เข้ากับพอร์ต PA ของ IC เบอร์ 8255 ของภาคมัลติเพล็กซ์

2) ทำการต่อวงจรตรวจจับทิศทางลม เข้ากับวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วนำเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อเข้าพอร์ต PC ของ IC เบอร์ 8255 ของภาคมัลติเพล็กซ์

**รูปที่ 4.7** การต่อใช้งานเพื่อทดลองวงจรมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์

3) ต่อLED เข้ากับพอร์ต PA และพอร์ต PC ของ IC เบอร์ 8255 ของภาคดีมัลติเพล็กซ์ เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลของความเร็วลม และทิศทางลม โดยพอร์ต PA แสดงข้อมูลของความเร็วลม และพอร์ต PC แสดงข้อมูลของทิศทางลม

4) ทำการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดมัลติเพล็กซ์กับบอร์ดดีมัลติเพล็กซ์ โดยต่อขา TX ของ IC เบอร์ AT89C51 ของบอร์ดมัลติเพล็กซ์เข้ากับขาRX ของ IC AT89C51ของบอร์ดดีมัลติเพล็กซ์

5) ทำการป้อนไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ให้แก่วงจร กดสวิตช์รีเซ็ตของทั้งสองบอร์ด

6) ทำการหมุนตัวตรวจจับความเร็วลม และทิศทางลมเพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร ทั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.6.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองผลที่ได้คือข้อมูลที่ได้จากวงจรนับจะต้องมีค่าเหมือนกับข้อมูลที่ได้จากพอร์ต PA ของ IC เบอร์ 8255 ของภาคดีมัลติเพล็กซ์ และข้อมูลที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลต้องเหมือนกับข้อมูลที่ได้จากพอร์ต PC ของ IC เบอร์ 8255 ของภาคดีมัลติเพล็กซ์

## 4.7 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

ในการทดลองขั้นแรกจะต้องทำการปรับความถี่ที่ใช้ในสภาวะสัญญาณดิจิตอลเป็นศูนย์และที่เป็นหนึ่งเสียก่อน ซึ่งเรียกว่าความถี่มาร์ค และความถี่สเปซตามลำดับดังนี้

การปรับความถี่มาร์ค ให้ทำการป้อนสัญญาณที่มีลอจิก "1" ตลอด หรือต่อแรงดันไฟกระแสตรงของแหล่งจ่ายเข้ากับขาอินพุตของวงจร จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร ซึ่งจะต้องเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่มาร์คที่คำนวณไว้ข้างต้น โดยสามารถปรับความถี่ได้ที่ $VR_2$

การปรับความถี่สเปซ ให้ทำการป้อนสัญญาณที่มีลอจิก "0" ตลอด หรือต่อกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับอินพุตของวงจร จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร ซึ่งจะต้องเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่สเปซที่ได้คำนวณไว้ข้างต้น โดยสามารถปรับความถี่ได้ที่ $VR_3$

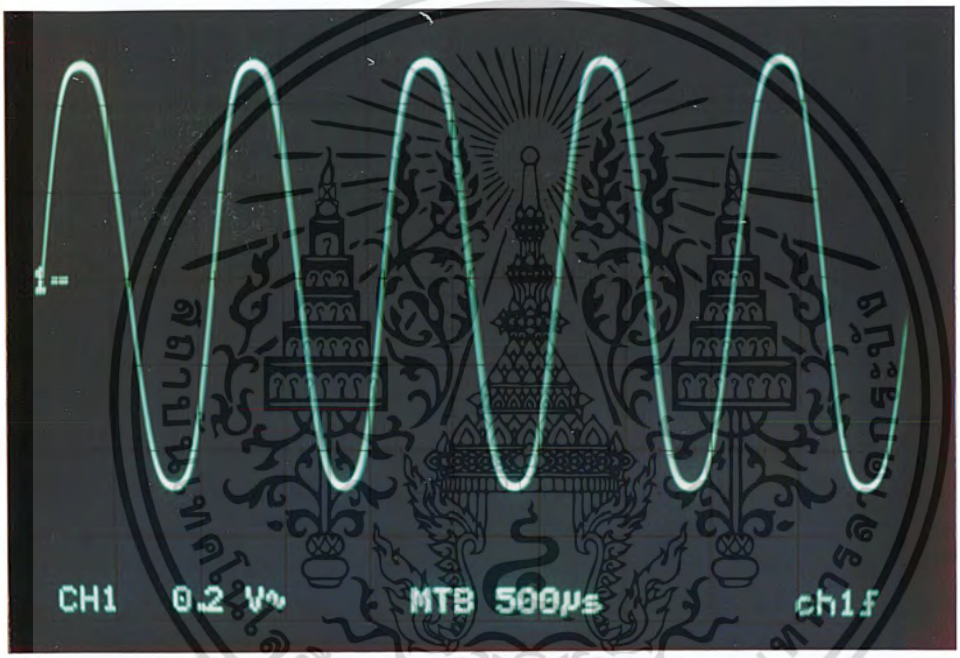
### 4.7.1 การทดลอง

ป้อนสัญญาณอินพุตจากเครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิตอลซึ่งมีอัตราบิต 2 บิตต่อวินาที ให้กับวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดโดยออสซิลโลสโคปที่มีความละเอียดสูง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณทางอินพุต จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความเปลี่ยนแปลงตามสภาวะสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา โดยในสภาวะสัญญาณอินพุตเป็นศูนย์สัญญาณคลื่นไซน์จะมีความถี่เท่ากับความถี่สเปซ คือ 2,200 เฮริตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

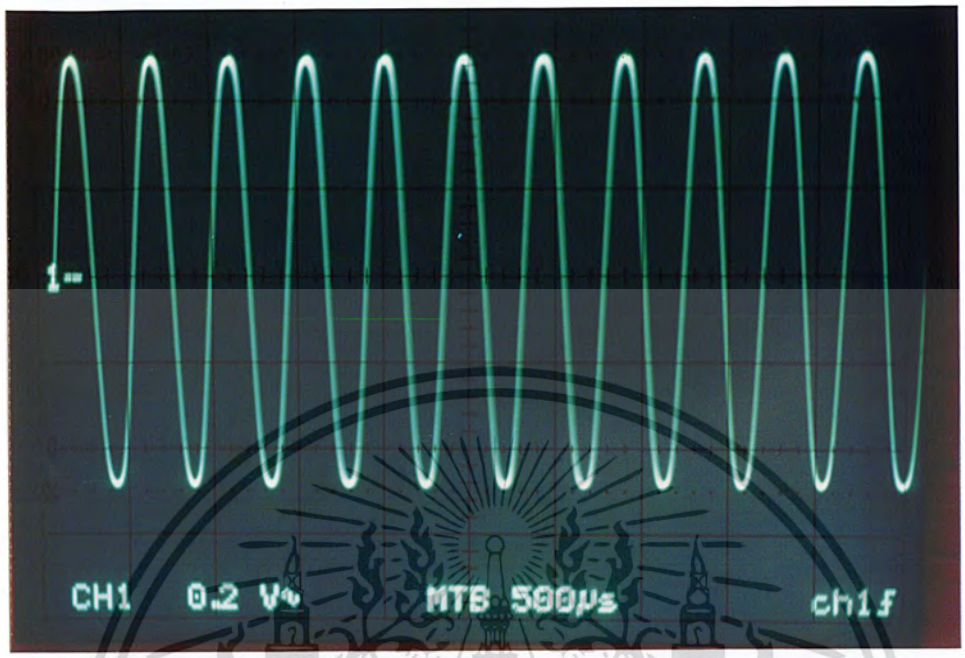
### 4.7.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค รูปสัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณคลื่นไซน์ที่ใช้เป็นพาหะเมื่อสัญญาณดิจิตอลทางอินพุตเปลี่ยนแปลงไป โดยลักษณะที่ได้จากการมอดูเลตแบบเอฟเอสเคสามารถแสดงให้เห็นในรูปที่ และรูปที่ 4.9

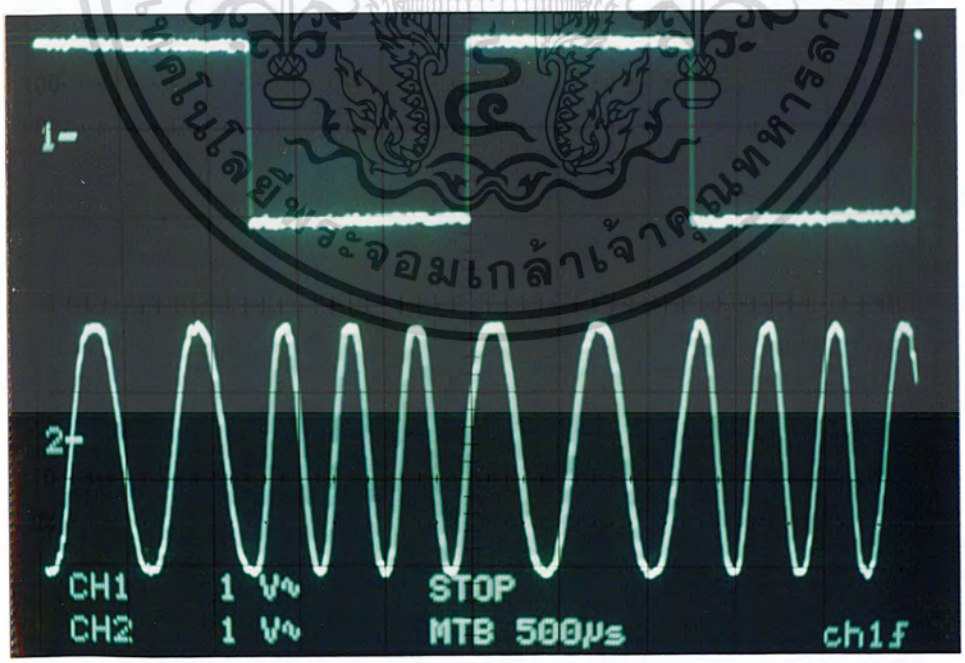



รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค เมื่อป้อนลอจิก “1” ความถี่มาร์คมีค่า 1200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.9** รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค เมื่อป้อนลอจิก “0”
ความถี่สเปซมีค่า 2200 Hz




**รูปที่ 4.10** แสดงรูปสัญญาณที่ได้จากการป้อนความถี่ด้วยฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์
ขนาด 300 bits / s ค่าแรงดัน 2V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.8 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

### 4.8.1 การทดลอง

1) ทำการต่อเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเคเข้ากับอินพุตของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

2) ป้อนสัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ขนาด 1,077 Hz 2V ที่อินพุตของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

3) สังเกตการทดลอง

### 4.8.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองจะได้ว่าสัญญาณที่ออกจากเอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค จะมีลักษณะเหมือนกันกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ หรือลักษณะของรูปสัญญาณอาจมีลักษณะเพี้ยนไปบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

## 4.9 เครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม

### 4.9.1 การทดลอง

ได้นำตัววัดความเร็ว และทิศทางลมไปทำการสอบเทียบกับเครื่องของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยได้มีการปล่อยลมที่ค่าต่างๆ ให้แก่ตัววัดความเร็วลม ด้วยค่าลมต่างๆ จำนวน 15 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.9.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลของการสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลม

| ลมที่จ่ายให้ตัววัดความเร็วลม (m/sec) | ค่าของจำนวนลมที่วัดได้จากเครื่องที่จัดทำขึ้น (m/sec) | ค่าผิดพลาด |
|---|---|---|
| 1.00 | 0.00 | 100 % |
| 2.00 | 2.00 | 0 % |
| 3.00 | 3.08 | 2.66 % |
| 4.00 | 4.07 | 1.75 % |
| 5.00 | 5.00 | 0 % |
| 6.00 | 6.01 | 0.16 % |
| 7.00 | 7.02 | 0.28 % |
| 8.00 | 8.07 | 0.87 % |
| 9.00 | 8.67 | 3.66 % |
| 10.00 | 9.67 | 3.66 % |
| 11.00 | 10.67 | 3.66 % |
| 12.00 | 11.67 | 3.66 % |
| 13.00 | 13.00 | 0 % |
| 14.00 | 14.00 | 0 % |
| 15.00 | 15.00 | 0 % |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

## 5.1 บทสรุป

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาถึงโครงสร้างและการทำงานของเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยเลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่าย ประหยัดและสามารถสร้างขึ้นใช้งานได้จริงในระดับหนึ่ง ซึ่งจะเพิ่มความสะดวกในการใช้งานมากขึ้นกล่าวคือสามารถดูการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมด้วยกราฟที่ได้จากการประมวลผลค่าความเร็วออกมาในหน่วยของ เมตรต่อวินาที ส่วนของทิศทางลมสามารถดูการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมด้วยรูปจำลอง โดยทิศทางลมจะแทนด้วยหัวลูกศรที่ชี้ทำมุมกับทิศต่างๆอีกทั้งจะแสดงเป็นค่าตัวเลขบอกกับผู้ใช้ทำให้ง่ายในการอ่านค่าความเร็วและทิศทางลมด้วย นอกจากนี้สามารถเก็บข้อมูลไว้ในฮาร์ดไดรฟ์ของคอมพิวเตอร์ได้สามารถเรียกดูในรูปของตัวเลข ณ เวลาปัจจุบัน จากนั้นจะนำค่า ในเวลาปัจจุบันนี้ไปทำการเฉลี่ยและเก็บค่าเป็นรายวันและจะทำการเฉลี่ยค่าข้อมูลรายวันเพื่อเก็บเป็นข้อมูลรายเดือนและรายปี

ผลการทดลองของระบบการวัดค่าเป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากค่าผิดพลาดจากการวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกับกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในระบบการวัดเดียวกัน โดยผิดพลาดประมาณ 4-5 % จากความเร็วลมจริงเนื่องจากการนำวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐานมาประยุกต์ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงสียดทานและความไม่สมดุลย์ จึงทำให้มีความผิดพลาดซึ่งเป็นค่าผิดพลาดที่น้อยมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานแล้วเป็นที่ยอมรับได้

การสร้างเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมโดยส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ เป็นการพัฒนาระบบเดิมที่มีอยู่ให้สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งจะใช้ค่าใช้จ่ายในการผลิตขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบ และวัสดุที่ประหยัดงบประมาณอย่างที่สุด ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 5.2 ปัญหา

1) วงจรมอดูเลตแบบ FSK และ DFSK ไม่เสถียรภาพ

2) เครื่องรับเครื่องส่งมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณขณะรับส่งมาก

3) ความฝืดของโพเทนทิโอมิเตอร์ที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ไม่สามารถวัดค่าความเร็วลมที่มีค่าเกินกว่า 15 เมตรต่อวินาทีได้

5) ส่วนประกอบของใบพัดและแกนของตัวตรวจจับยังขาดความสมดุล

## 5.3 แนวทางการแก้ไข

1) ใช้วงจรมอดูเลตที่สามารถรับค่าความถี่สูงๆ ได้

2) ทำการดัดแปลงแก้ไขดัดแปลงวงจรเครื่องรับ เครื่องส่งบางส่วน

3) หาวัสดุที่มีความฝืดน้อยหรือใช้ตัวตรวจวัดความเร็วแบบอื่นเช่นหลักการการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าหรือแบบตรวจวัดอุณหภูมิ หรือใช้การชดเชยจากการเขียนโปรแกรม

4) ออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและใช้วัสดุที่มีความทนทานสูง

5) ในขั้นตอนการประกอบควรใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงและความละเอียดในการวัดชิ้นส่วนต่างๆ

## 5.4 แนวทางการพัฒนา

1) สามารถเพิ่มจำนวนช่องในการตรวจวัดสัญญาณได้มากกว่าสองช่องสัญญาณเช่น นำไปวัดค่าความชื้น ความกดอากาศอุณหภูมิ

2) สามารถเพิ่มการตรวจจับสัญญาณในระบบ FM โดยมอดูเลตแบบ FSK ได้หลายช่องสัญญาณโดยเพิ่มเครื่องรับส่งที่มีความถี่ที่แตกต่างกันออกไป

3) สามารถขยายการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงโปรแกรมการแสดงผลบางส่วนเท่านั้น

4) สามารถเพิ่มกำลังส่งเพื่อขยายระยะทางในการวัดได้

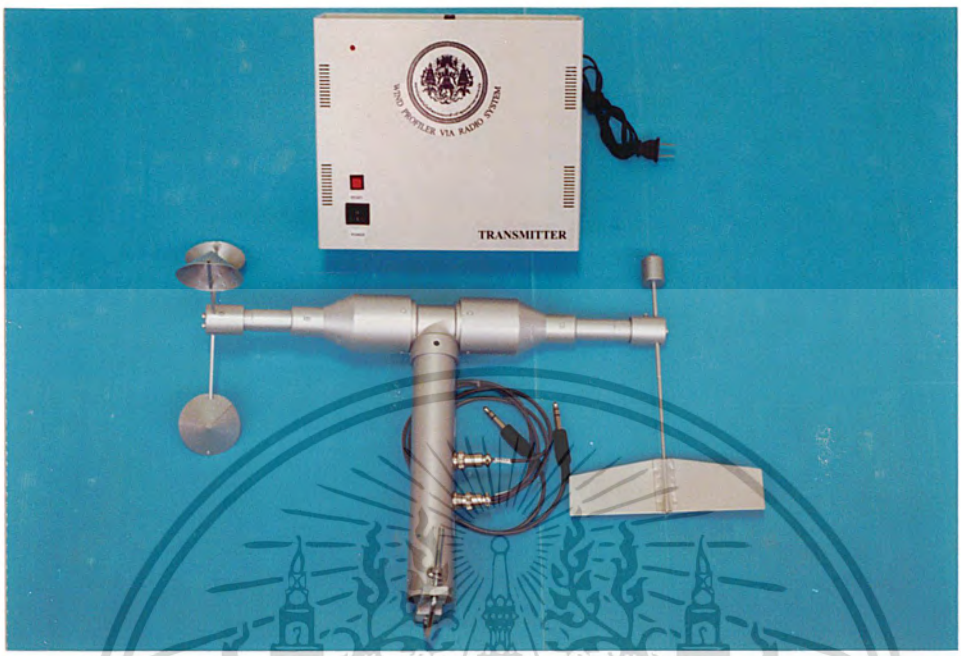
5) ป้องกันเครื่องส่งด้านความร้อนที่เกิดจากแสงแดด และความชื้นที่เกิดจากบรรยายกาศที่เกิดจากน้ำฝน

6) การสร้างเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องวัดสากลเพื่อการวัดที่ออกมาเป็นไปอย่างถูกต้อง

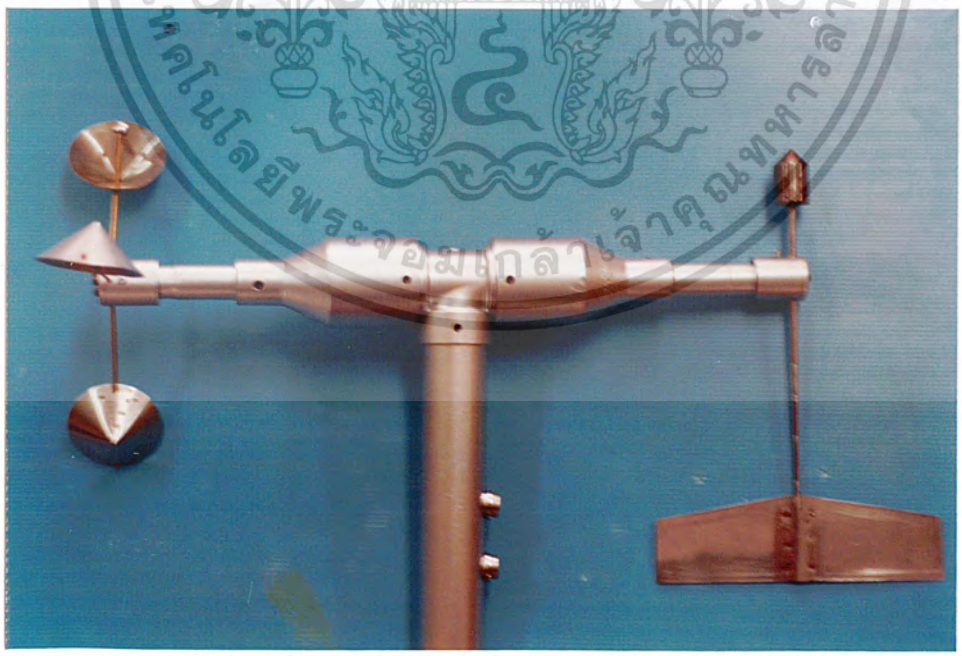
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



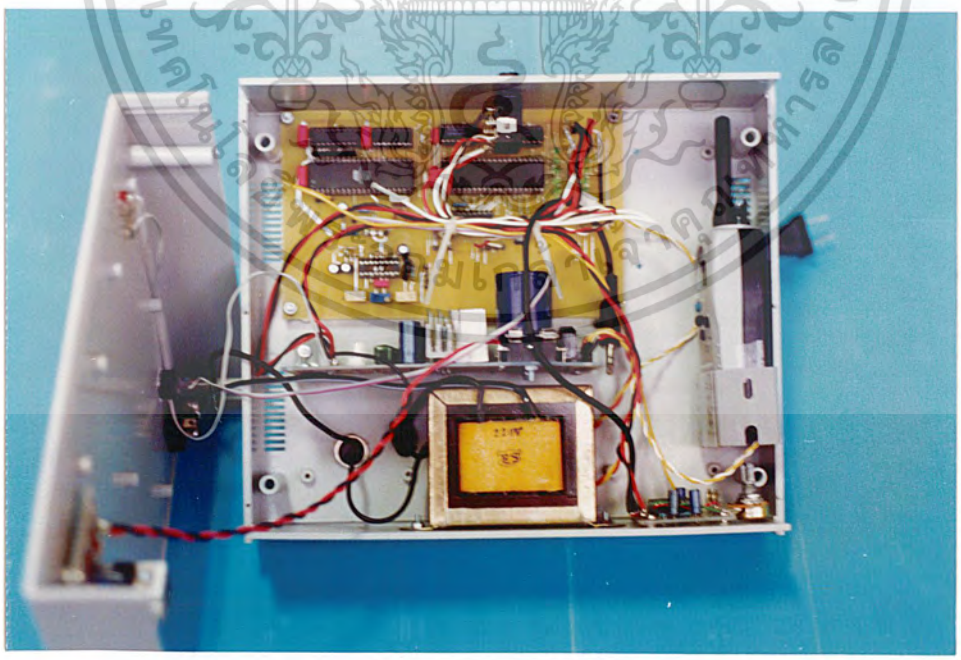

รูปที่ ก.1 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม และชุดเครื่องส่งวิทยุ



รูปที่ ก.2 ชุดวัดความเร็วลม และทิศทางลม

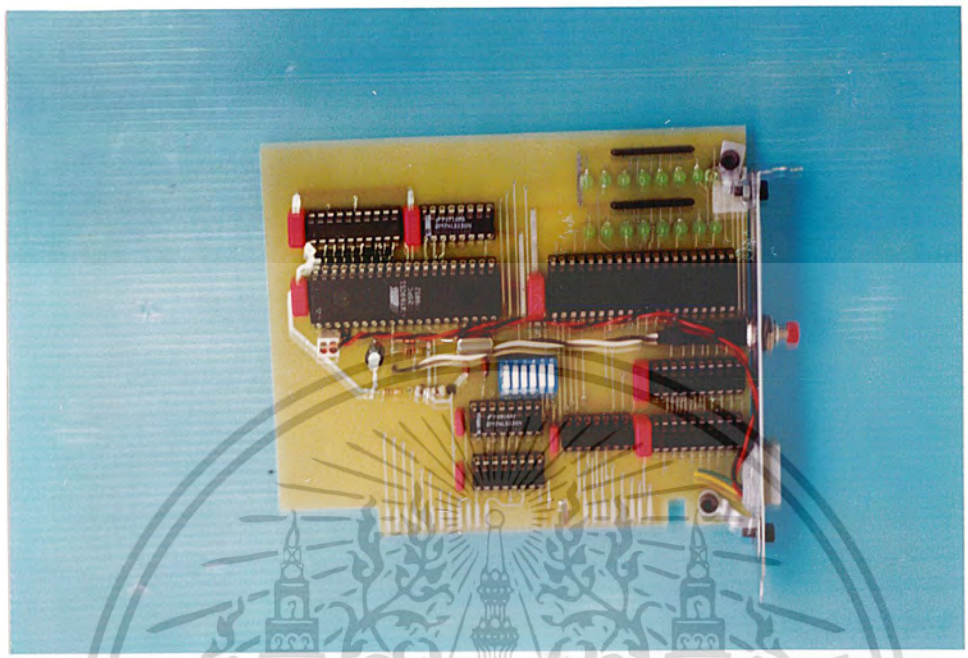
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3 เครื่องส่งวิทยุ



รูปที่ ก.4 วงจรภายในของเครื่องส่งวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ ก.5** วงจรภาคอินเตอร์เฟสสัญญาณ

**รูปที่ ก.6** เครื่องรับสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.7 วงจรภายในของเครื่องรับสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

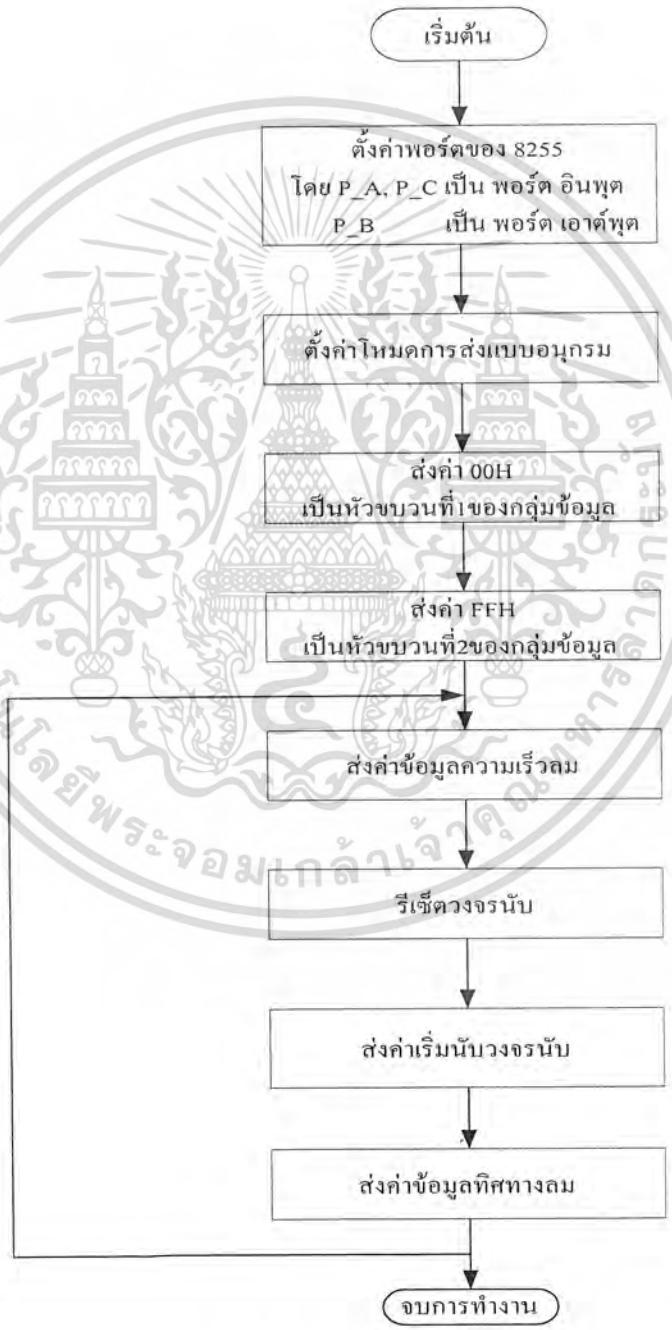
# ภาคผนวก ข

## ผังการทำงาน และโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ผังการทำงาน และโปรแกรม

ส่วนของการเขียนโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของโปรแกรมมัลติ-เพล็กซ์สัญญาณ และส่วนของโปรแกรมแสดงผลหน้าจอคอมพิวเตอร์




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ข.1** ผังงานของโปรแกรมมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

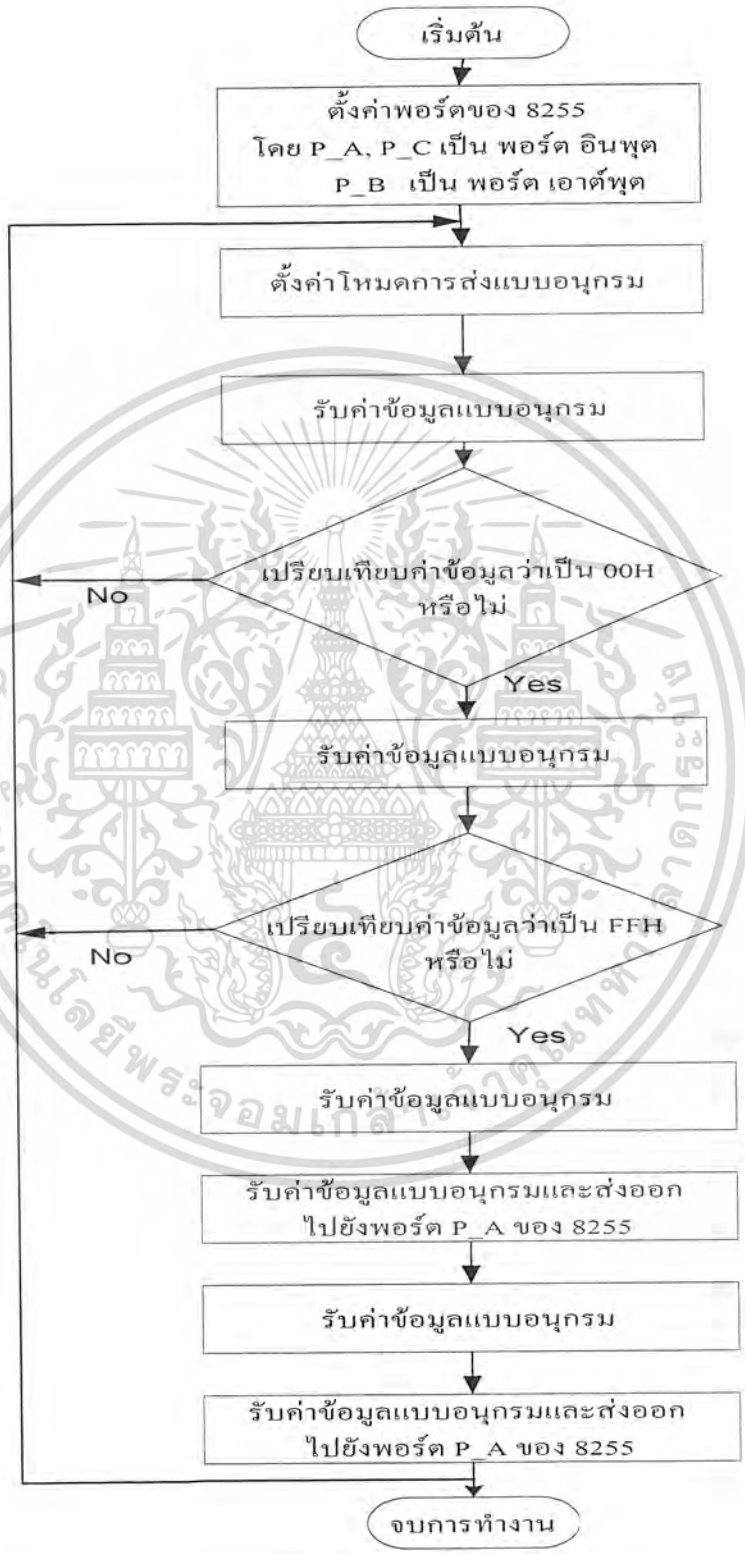
จากรูป ข.1 เป็นแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ทางภาคมัลติเพล็กซ์ โดยเริ่มต้นจะต้องทำการกำหนดค่าให้พอร์ตของไอซี 8255 โดยกำหนดให้พอร์ต PA และ PC เป็นพอร์ตรับข้อมูลทางอินพุต ส่วนพอร์ต PB เป็นพอร์ตที่ใช้ในการควบคุม เสร็จแล้วจึงทำการตั้งค่าให้แก่โหมดอนุกรม แล้วกำหนดหัวขบวนของสัญญาณทั้ง 2 สัญญาณ คือสัญญาณของการวัดความเร็วลม และสัญญาณที่ได้จากการวัดทิศทางลม เพื่อเข้าวงจรนับ แล้วจึงเริ่มรับค่าที่นับ เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการทำงานของภาคมัลติเพล็กซ์

```
ORG     0000H
        P_A     EQU     4000H
        P_B     EQU     4001H
        P_C     EQU     4002H
        CNTR    EQU     4003H
        SJMP    MAIN
        ORG     0030H
MAIN:
;----------------
; INITIAL 8255
;----------------

        MOV     DPTR,   #CNTR
        MOV     A,      #99H
;P_A,P_C: INPUT :,P_B: OUTPUT
        MOVX    @DPTR,  A
        LCALL   INIT
START:  NOP
        NOP
        NOP
        MOV     A,      #00H
        LCALL   LOOP
        MOV     A,      #0FFH
        LCALL   LOOP

DATA1:  MOV     DPTR,   #P_A
        MOVX    A,      @DPTR
        LCALL   LOOP
        MOV     DPTR,   #P_B
        MOV     A,      #02H
        MOVX    @DPTR,  A
        RL      A
        MOVX    @DPTR,  A

DATA2:  MOV     DPTR,   #P_C
        MOVX    A,      @DPTR
        LCALL   LOOP
        SJMP    START
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;---- PROCEDURE ----
INIT:
      MOV     SCON,   #01010010B
      MOV     TMOD,   #20H
      MOV     TH1,    #0E8H
      SETB    TR1
      RET

;---- SENDING_DELAY----
LOOP:
      LCALL   SEND
      MOV     R4,     #0B6H
      MOV     R7,     #02H
    LOOP_IN:
      MOV     R6,     #0FFH
     LOOP_IN2:
      MOV     R5,     #0E0H
      DJNZ    R5,     $
      DJNZ    R6,     LOOP_IN2
      DJNZ    R7,     LOOP_IN
      DJNZ    R4,     $
      RET

;---- SEND ----
SEND:

      JNB     TI,     SEND          ;CHECK BUFFER
      CLR     TI
      MOV     SBUF,   A
      RET

       END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.2** ผังของโปรแกรมภาคดีมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ข.2 แผนผังการทำงานจะเริ่มจากการที่ทำการกำหนดค่าพอร์ต ให้แก่ไอซี 8255 เช่นเดียวกับภาคมัลติเพล็กซ์ เสร็จแล้วทำการรับข้อมูลเข้ามาจากภาคมัลติเพล็กซ์ ทำการตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นของสัญญาณใด แล้วทำการส่งต่อไปให้แก่พอร์ตของไอซี 8255

```
ORG     0000H
        P_A     EQU     0A000H
        P_B     EQU     0A001H
        P_C     EQU     0A002H
        CNTR    EQU     0A003H
        AJMP    MAIN

        ORG     0030H                   ;INTERRUPT JUMP ZONE
MAIN:
;----------------
; INITIAL 8255
;----------------

    MOV     A,      #82H            ;P_A,P_C:
    OUTPUT :,P_B: INPUT
        MOV     DPTR,   #CNTR
        MOVX    @DPTR,  A
        LCALL   INIT
;--------------------------
; RECIVE DATA AND DISPLAY
;--------------------------
LOOP:
        LCALL   RECIVE
        CJNE    A,      #00H,   LOOP
        LCALL   RECIVE
        CJNE  A,    #0FFH,      LOOP
        LCALL   RECIVE
        LCALL DATA1
        LCALL   RECIVE
        LCALL DATA2
        SJMP    LOOP
;-------------------------
INIT:
        MOV     SCON,   #01010010B
        MOV     TMOD,   #20H
        MOV     TH1,    #0E8H
        SETB    TR1
        RET

RECIVE:
        JNB     RI,     $
        CLR     RI
        MOV     A,      SBUF
        RET
ATA1:  MOV  DPTR, #P_A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVX    @DPTR,      A           ;SEND DATA TO P_A
    RET

    DATA2:  MOV     DPTR,   #P_C
            MOVX    @DPTR,      A           ;SEND DATA TO P_C
    RET
    END
```

**รูปที่ ข.3** ผังโปรแกรมของการแสดงหน้อจอคอมพิวเตอร์

จากรูป ข.3 ที่การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มที่การแสดงหน้าจอที่ประกอบไปด้วยเมนู ให้เลือกกด เมื่อทำการกดปุ่มใดปุ่มหนึ่ง โปรแกรมจะทำการตรวจสอบปุ่มนั้น ถ้าสมมุติว่าปุ่มที่กดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูต้องการวัดความเร็วลม โปรแกรมจะเข้าไปที่รับค่าลมมาทำการพล็อตกราฟจากค่าลมที่รับได้ หรือถ้าเมนูที่กดคือเมนูวัดทิศทางลม โปรแกรมก็จะเข้าไปทำการแสดงทิศทางลม เสร็จแล้วจะทำการรับค่าที่วัดได้มาทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูล

```
From Main
Private Sub cmdData_Click()
Load frmData
frmData.Show
End Sub

Private Sub cmdExit_Click()
End
End Sub

Private Sub cmdSpdirect_Click()
Load frmSpdirect
frmSpdirect.Show
End Sub

From  Spdirect
'รับค่าport0880-0885
Option Explicit
Private Declare Function Inport Lib "Vbio32.dll" (ByVal
portid%) As Integer
Private Declare Function InportW Lib "Vbio32.dll" (ByVal
portid%) As Integer
Dim DataSpeed(1 To 110) As Integer

Private Sub Form_Load()
    lblDate.Caption = "" & Format(Date, "Short Date")
    Data1.DatabaseName = App.Path & "\datspeed.mdb"
    Data2.DatabaseName = App.Path & "\datspeed.mdb"
    Data3.DatabaseName = App.Path & "\datspeed.mdb"
    DateCheck = Format(Date, "Short Date")
    If OptMs.Value = True Then
          Label26.Caption = "M/Sec"
    End If
End Sub

Private Sub mnuData_Click()
Load frmData
frmData.Show
End Sub

Private Sub mnuMain_Click()
Load frmMain
frmMain.Show
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub OptMs_Click()
End Sub

If OptMs.Value = True Then
     If b >= 100 Then
        b = 100
    Else        b = b + 1
    End If

      'รับค่าจากพอร์ท #883
       Randomize
       sp = Val(Right(Hex(Inport(&H883)), 2))
      'ปรับเทียบค่าเครื่องวัดจริง
       If sp <= 4 Then
       sp = (sp / 2)
       ElseIf sp <= 8 Then
       sp = (sp / 2.6)
       ElseIf sp <= 11 Then
       sp = (sp / 2.7)
       ElseIf sp <= 14 Then
       sp = (sp / 2.8)
       ElseIf sp <= 17 Then
       sp = (sp / 2.83)
       ElseIf sp <= 24 Then
       sp = (sp / 2.85)
       Else
       sp = (sp / 3)
       End If
      'แปลงหน่วย
       If OptMs.Value = True Then Spd = sp
       If OptKm.Value = True Then Spd = sp * 3.6
       If OptKnots.Value = True Then Spd = sp * 1.943
      'นับเวลาในการหาค่าเฉลี่ย
       If opt2ms.Value = True Then
       Checkrefresh = 2
       Else
       Checkrefresh = 10
       End If
       If Countrefresh >= Checkrefresh Then
       Countrefresh = 0
       Mindata = sp
       Maxdata = sp
       End If
       Countrefresh = Countrefresh + 1
      'หาค่าสูงสุดต่ำสุด

       If Mindata > sp Then Mindata = sp'ค่าความเร็วต่ำสุด
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If Maxdata < sp Then Maxdata = sp'ค่าความเร็วสูงสุด
      Text2.Text = Format(Maxdata, "#0.00")
       Text3.Text = Format(Mindata, "#0.00")
       Label3.Caption = Format(Spd, "#0.00")

       DoEvents
         Picture1.Cls
       Shiftdata2 1, b, 100 - sp, DataSpeed
        If b > 1 Then
        For a = 2 To b
            Picture1.Line ((a - 2) * 1, DataSpeed(a - 1) * 1)-((a -
1) * 1, DataSpeed(a) * 1)
        Next
        End If
        CounterTime = CounterTime + 1
        Label5.Caption = CounterTime
        If CounterTime > 8 Then ' บันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 วินาที (+2)
        CounterTime = 0
      'แปลงค่าเลขทิศทางเป็นอักษร
        If (direct >= 0 And direct < 22.5) Or (direct >= 337.6 And
direct <= 359) Then
            Wdr = "N"
       ElseIf direct >= 22.6 And direct <= 67.5 Then
            Wdr = "NE"
       ElseIf direct >= 67.6 And direct <= 112.5 Then
            Wdr = "E"
       ElseIf direct >= 112.6 And direct <= 157.5 Then
            Wdr = "SE"
       ElseIf direct >= 157.6 And direct <= 202.5 Then
            Wdr = "S"
       ElseIf direct >= 202.6 And direct <= 247.5 Then
            Wdr = "SW"
       ElseIf direct >= 247.6 And direct <= 292.5 Then
            Wdr = "W"
       ElseIf direct >= 292.6 And direct <= 337.5 Then
            Wdr = "NW"
       End If
        Data1.Recordset.AddNew
        Data1.Recordset.Fields("Date") = Date'วันที่
        Data1.Recordset.Fields("Time") = Time'เวลา
        Data1.Recordset.Fields("Speed_M/S") = sp 'ค่าความเร็ว
        Data1.Recordset.Fields("Anounce") = KindWind(sp) 'พยากรณ์
        Data1.Recordset.Fields("Direct") = Wdr'ทิศทางลม
        Data1.Recordset.Update
        End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If DateCheck <> Format(Date, "Short Date") Then
        Timer2.Enabled = False
        On Error Resume Next
        Data1.Recordset.MoveFirst
        On Error GoTo 0
        Avgspeed = 0
        While Not Data1.Recordset.EOF
        Data2.Recordset.AddNew
        Data2.Recordset.Fields("Date") = Data1.Recordset.Fields
("Date")'วันที่
        Data2.Recordset.Fields("Time") = Data1.Recordset.Fields
("Time") 'เวลา
        Data2.Recordset.Fields("Speed_M/S") = Data1.Recordset.Fields
("Speed_M/S")   ' ค่าความเร็ว
        Data2.Recordset.Fields("Anounce") = Data1.Recordset.Fields
("Anounce") 'พยากรณ์
        Data2.Recordset.Fields("Direct") = Data1.Recordset.Fields
("Direct") 'ทิศทางลม
         Avgspeed = Avgspeed + Data1.Recordset.Fields("Speed_M/S")
         Data2.Recordset.Update
         Data1.Recordset.MoveNext
         Wend
         If Data1.Recordset.RecordCount Then
         Data3.Recordset.AddNew
         Data3.Recordset.Fields("Date") = DateCheck 'วันที่
         Data3.Recordset.Fields("Speed_M/S") = Avgspeed /
         Data1.Recordset.RecordCount ' ค่าความเร็ว
         Data3.Recordset.Fields("Anounce") = KindWind(Avgspeed) '
พยากรณ์ KindWind(sp)
         Data3.Recordset.Update
         End If
         sql = "DELETE  FROM "sql = sql & " dataspeed_in_day "
         Set DbSpeed = OpenDatabase(App.Path & "\datspeed.mdb")
         DbSpeed.Execute sql
         DbSpeed.Close
         Data1.Refresh
         Data2.Refresh

         Timer2.Enabled = True
         DateCheck = Format(Date, "Short Date")
         End If
         If Month(DateCheck) = Month(Date) Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub Timer3_Timer()
'รับค่าจากพอร์ท #880
direct = (Inport(&H880) And &HFF) * (360 / 256)
Text5.Text = Format(direct, "#0.00")
DoEvents
Line3.X2 = (1680 * Cos((direct * 0.0174533) + (270 *
.0174533))) + 8280
Line3.Y2 = (1680 * Sin((direct * 0.0174533) + (270 *
.0174533))) + 3120
End Sub

Private Sub Shiftdata2(ByVal StartData As Integer, ByVal
StopData As Integer, ByVal DataS As Integer, ADA)
Dim Shiftdata As Integer
Dim i As Integer
Dim buffer1 As Integer
Dim buffer2 As Integer
buffer1 = DataS
For i = StartData To StopData
buffer2 = ADA(i)
ADA(i) = buffer1
buffer1 = buffer2
Next
End Sub
Function KindWind(ByVal Speed As Long) As String
Dim St As String
KindWind = "Not Data"
If Speed >= 0 And Speed <= 0.2 Then
KindWind = "Calm"
ElseIf Speed >= 0.3 And Speed <= 1.5 Then
KindWind = "Light air"
ElseIf Speed >= 1.6 And Speed <= 3.3 Then
KindWind = "Light beeze"
ElseIf Speed >= 3.4 And Speed <= 5.4 Then
KindWind = "Gentle breeze"
ElseIf Speed >= 5.5 And Speed <= 7.9 Then
KindWind = "Moderate breeze"
ElseIf Speed >= 8 And Speed <= 10.7 Then
KindWind = "Fresh breeze"
ElseIf Speed >= 10.8 And Speed <= 13.8 Then
KindWind = "Strong Breeze"
ElseIf Speed >= 13 And Speed <= 17.1 Then
KindWind = "Near gale"
ElseIf Speed >= 17.2 And Speed <= 20.7 Then
KindWind = "Gale"
ElseIf Speed >= 20.8 And Speed <= 24.4 Then
KindWind = "Strong gale"
ElseIf Speed >= 24.5 And Speed <= 28.4 Then
KindWind = "Storm"
ElseIf Speed >= 28.5 And Speed <= 32.6 Then
KindWind = "Violent storm"
ElseIf Speed >= 32.7 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    KindWind = "Hurricane"
    End If
    ElseIf Speed >= 32.7 Then
End Function

Private Sub Timer4_Timer() 'การตัดการนับเวลาของเครื่อง
  Static CheckData As Integer
  Static Buffer As Integer
  Label6.Caption = Buffer
  If CheckData = sp Then
  Buffer = Buffer + 1  If Buffer > 300 Then 'นับเวลาการซ้ำกันของข้อมูล
If Timer2.Enabled Then Timer2.Enabled = False
End If
Else
Buffer = 0
If Not Timer2.Enabled Then Timer2.Enabled = True
CheckData = sp
End If
End Sub


From  Data
Option Explicit
Dim Smenu As Integer
Private Sub cmdbackSpDirect_Click()
    Load frmSpdirect
    frmSpdirect.Show
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Smenu = 3
    Data1.DatabaseName = App.Path + "\datspeed.mdb"
    Data2.DatabaseName = App.Path + "\datspeed.mdb"
    Data3.DatabaseName = App.Path + "\datspeed.mdb"
    Data1.RecordSource = ""
    Data2.RecordSource = ""
    Data1.Refresh
End Sub
Private Sub mnuMain1_Click()
Load frmMain
frmMain.Show
End Sub

Private Sub mnuSpDirect_Click()
Load frmSpdirect
frmSpdirect.Show
End Sub
Private Sub Option1_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
    ActionOb Index
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub ActionOb(ByVal Indexdata As Integer)
    Dim data As String
    Dim Outdata As Boolean
    Smenu = Indexdata
    Select Case Indexdata

        Case 0:  'ข้อมูลรายวัน
            Outdata = True
           data = InputBox("กรุณาป้อนวันที่ต้องการดูข้อมูล" & vbCrLf & "ดูข้อมูล:
เดือน / วัน/ ค.ศ.")
           If Len(data) Then
      While Not IsDate(data) And Outdata = True
           If MsgBox("ท่านป้อนวันที่ไม่ถูกต้อง" & vbCrLf & "ท่านต้องการป้อนใหม่
หรือไม่ ?", vbYesNo) = vbYes Then
           data = InputBox("กรุณาป้อนวันที่ต้องการดูข้อมูล" & vbCrLf & "ดูข้อมูล:
เดือน / วัน/ ค.ศ.")
            Else
           Outdata = False
           data = ""
           End If
           Wend
           End If
           Data1.RecordSource = "dataspeed_all_day"
           If Len(data) Then
           Data1.RecordSource = "SELECT *  FROM dataspeed_all_day
Where Date=#" & data & "#"
           Data1.Refresh
           If Data1.Recordset.RecordCount < 1 Then
           MsgBox "ไม่พบข้อมูลที่ต้องการแสดง"
           End If
           End If
           Data2.RecordSource = ""
           Data1.Refresh
           Data2.Refresh


        Case 1:  'ข้อมูลรายเดือน
            Outdata = True
           data = InputBox("กรุณาป้อนเข้อมูลที่ต้องการดูข้อมูล" & vbCrLf & "ดูข้อ
มูล: เดือน / วัน/ ค.ศ.")
            If Len(data) Then
           While Not IsDate(data) And Outdata = True
           If MsgBox("กรุณาป้อนเข้อมูลที่ต้องการดูข้อมูล" & vbCrLf & "ท่านต้องการ
ป้อนใหม่หรือไม่ ?", vbYesNo) = vbYes Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            data = InputBox("กรุณาป้อนเข้อมูลที่ต้องการดูข้อมูล" & vbCrLf & "ดูข้อ
            Else
มูล: เดือน / วัน/ ค.ศ.")        Outdata = False
            data = ""
            End If
            Wend
            End If
            Data1.RecordSource = "Dataspeed_Mounth"
            If Len(data) Then
            Data1.RecordSource = "SELECT *  FROM Dataspeed_Mounth
Where month(Date)=" & Month(data) & "and  year(Date) =" & Year(data)
            Data1.Refresh
            If Data1.Recordset.RecordCount < 1 Then
            MsgBox "ไม่พบข้อมูลที่ต้องการแสดง"
             End If
            End If
            Data2.RecordSource = ""
            Data1.Refresh
            Data2.Refresh

        Case 2:     'ข้อมูลรายปี
            Data1.RecordSource = ""
            Data1.RecordSource = "DataSpeed_year"
            Data2.RecordSource = ""
            Data1.Refresh
            Data2.Refresh

        Case 3:   'ข้อมูลปัจจุบัน
            Data1.RecordSource = ""
            Data2.RecordSource = ""
            Data1.Refresh
            Data2.Refresh

    End Select
End Sub

Private Function DivideStr(ByVal DatStr As String, str1 As String,
str2 As String) As Boolean
        If InStr(DatStr, "-") > 0 And Len(DatStr) > 0 Then
            str1 = Left(DatStr, InStr(DatStr, "-") - 1)
            str2 = Right(DatStr, (Len(DatStr) - InStr(DatStr, "-")))
            DivideStr = True
            If Not (IsDate(str1) And IsDate(str2)) Then
                DivideStr = False
                MsgBox "การใส่ข้อมูลผิดพลาด" & vbCrLf & "ควรใส่ข้อมูลดังนี้ xx-xx
หรือ m/d/yyyy - m/d/yyyy"
        End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            DivideStr = False
        ElseMsgBox "การใส่ข้อมูลผิดพลาด" & vbCrLf &"ควรใส่ข้อมูลดังนี้ xx-xx หรือ
m/d/yyyy - m/d/yyyy"
        End If
End Function

Private Function M1(Speed As Integer) As Boolean
      If IsDate(frmSpdirect.lblDate.Caption) Then
     Data2.RecordSource = "SELECT Avg(Speed_M/S) AS AvgOfSpeed FROM
dataspeed_in_day  Where  Date_speed=#" & frmSpdirect.lblDate.Caption
& "#"
            Data2.Refresh
            If Not IsNull(Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed")) Then
                    Speed = Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed")
            End If
            M1 = Not IsNull(Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed"))
    Else
            M1 = False
    End If
End Function

Private Function M2(Speed As Integer, ByVal StartD As String, ByVal
EndD As String) As Boolean
            Data2.RecordSource = "SELECT Avg(Speed) AS AvgOfSpeed
FROM dataspeed_all_day  Where Date Between #" & StartD & "#  And  #"
& EndD & "#"
            Data2.Refresh
            If Not IsNull(Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed")) Then
                    Speed = Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed")
            End If
                    M2 = Not IsNull(Data2.Recordset.Fields
("AvgOfSpeed"))
 End Function


Private Function M3(Speed As Integer)
        Data2.RecordSource = "SELECT Avg(Speed) AS AvgOfSpeed FROM
Dataspeed_Mounth  Where  year='" & frmSpdirect.Label3.Caption & "'"
        Data2.Refresh
        If Not IsNull(Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed")) Then
                Speed = Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed")
        End If
        M3 = Not IsNull(Data2.Recordset.Fields("AvgOfSpeed"))
End Function

Private Function searchStID(ByVal St As String, ByVal TypeFields As
String, dataCon As Control) As Boolean
  St = TypeFields & "='" & St & "'"
        dataCon.Recordset.FindFirst St
        searchStID = Not dataCon.Recordset.NoMatch
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Function searchDate(ByVal St As String, ByVal TypeFields As
String, dataCon As Control) As Boolean
  St = TypeFields & "=#" & St & "#"
        dataCon.Recordset.FindFirst St
        searchDate = Not dataCon.Recordset.NoMatch
End Function

Private Sub Option1_Mouseup(Index As Intege , Button As Integer,
Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    ActionOb Index
End Sub
Private Sub Option2_KeyPress(Index As Integer, KeyAscii As Integer)
    Dim DbSpeed As Database
    Dim DbSpeed1 As Database
    Dim buff As Long
    Dim sql As String
    Dim sql1 As String
    Dim StartStr As String
    Dim EndStr As String
    Dim data As String
    data = InputBox("กรุณาป้อนวันที่ต้องการลบข้อมูล" & vbCrLf & "ลบข้อมูล: เดือน /
วัน/ ค.ศ. - เดือน / วัน / ค.ศ.")
     If data <> "" Then
   If DivideStr(data, StartStr, EndStr) Then
       sql = "DELETE  FROM "
       sql1 = "Select  *  FROM "
       StartStr = Trim(StartStr)
       EndStr = Trim(EndStr)
       Select Case Index
                Case 0:      'ข้อมูลรายวัน
          sql = sql & " Dataspeed_all_day  Where Date Between #" &
StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
                             sql1 = sql1 & " Dataspeed_all_day  Where
Date Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
              Case 1:    'ข้อมูลรายเดือน
                             sql = sql & " Dataspeed_Mounth Where Date
Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
                             sql1 = sql1 & " Dataspeed_Mounth Where
Date Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
       End Select
     Data3.RecordSource = sql1
   Data3.Refresh
     If Data3.Recordset.RecordCount Then
           Set DbSpeed = OpenDatabase(App.Path & "\datspeed.mdb")
           DbSpeed.Execute sql
           DbSpeed.Close
           Data1.Refresh
           Data2.Refresh
     Else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  End If
    End If          MsgBox "ไม่พบข้อมูลที่ต้องการลบ"
End If
End Sub

Private Sub Option2_MouseUp(Index As Integer, Button As Integer,
Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    Dim DbSpeed As Database
    Dim buff As Long
    Dim sql As String
    Dim sql1 As String
    Dim StartStr As String
    Dim EndStr As String
    Dim data As String
  data = InputBox("กรุณาป้อนวันที่ต้องการลบข้อมูล" & vbCrLf & "ลบข้อมูล: เดือน / วัน/
ค.ศ. - เดือน / วัน / ค.ศ.")
  If data <> "" Then
   If DivideStr(data, StartStr, EndStr) Then
       sql = "DELETE  FROM "
       sql1 = "Select  *  FROM "
       StartStr = Trim(StartStr)
   EndStr = Trim(EndStr)
       Select Case Index
              Case 0:     'ข้อมูลรายวัน
                          sql = sql & " Dataspeed_all_day  Where
Date Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
                          sql1 = sql1 & " Dataspeed_all_day  Where
Date Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
              Case 1:     ' ข้อมูลรายเดือน
                          sql = sql & " Dataspeed_Mounth Where Date
Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
                          sql1 = sql1 & " Dataspeed_Mounth Where
Date Between #" & StartStr & "#  And  #" & EndStr & "#"
       End Select
     Data3.RecordSource = sql1
     Data3.Refresh
     If Data3.Recordset.RecordCount Then
            Set DbSpeed = OpenDatabase(App.Path & "\datspeed.mdb")
            DbSpeed.Execute sql
            DbSpeed.Close
     Data1.Refresh
            Data2.Refresh
    Else
                MsgBox "ไม่พบข้อมูลที่ต้องการลบ"
    End If
    End If
End If
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

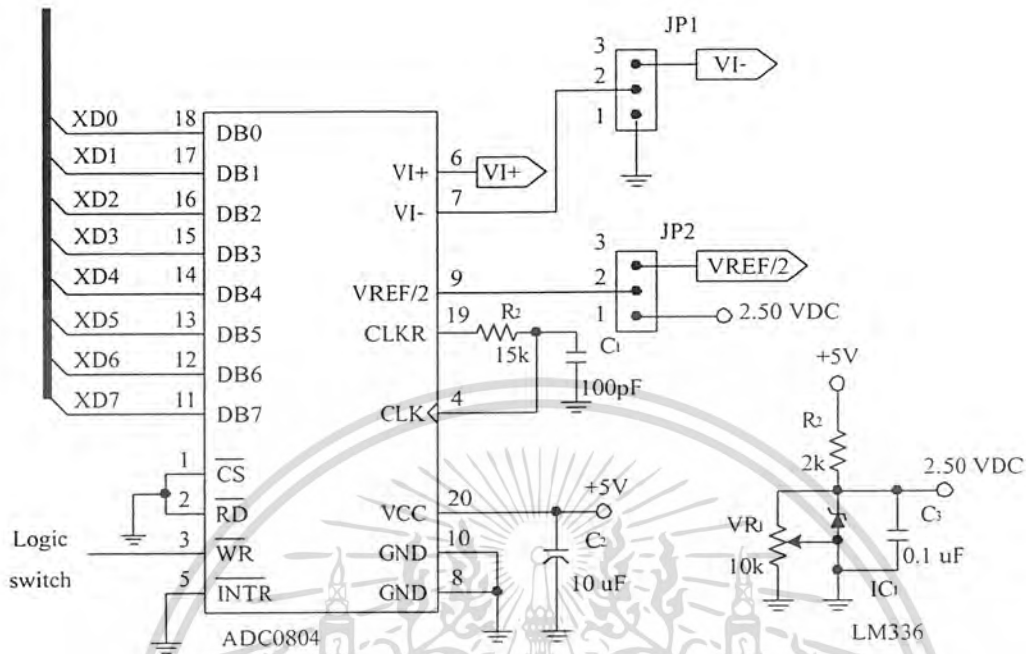
```
    If Smenu = 3 Then  'ปรับปรุงข้อมูล
    Data1.RecordSource = "dataspeed_in_day"
          Data1.Refresh
          On Error Resume Next
             Data1.Recordset.MoveLast
          On Error GoTo 0
    End If
End Sub
```



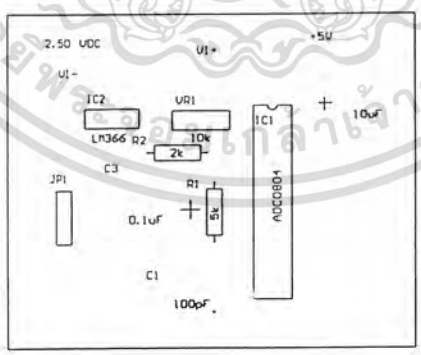
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค
# วงจรพิมพ์ และแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

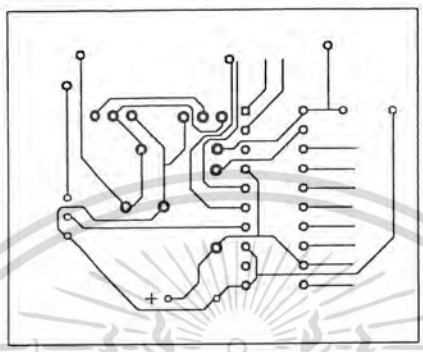



**รูปที่ ค.1** วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

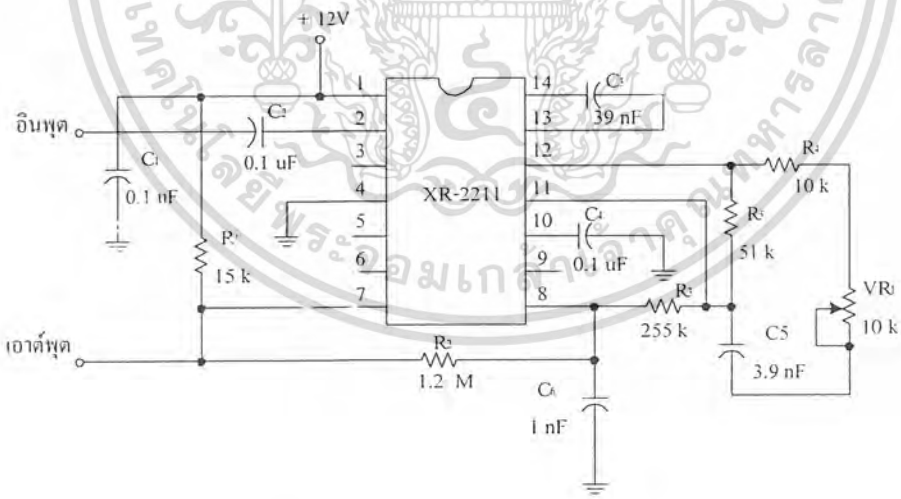



**รูปที่ ค.2** การวางอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

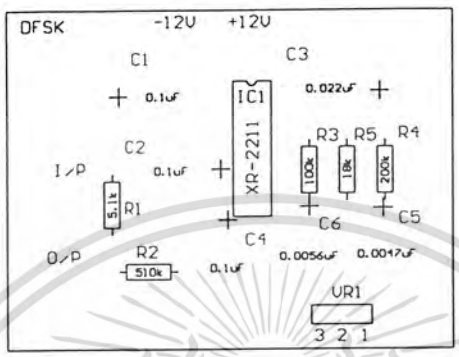


รูปที่ ค.3 วงจรพิมพ์ของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

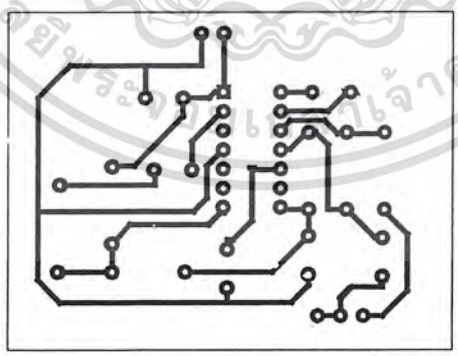



รูปที่ ค.4 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

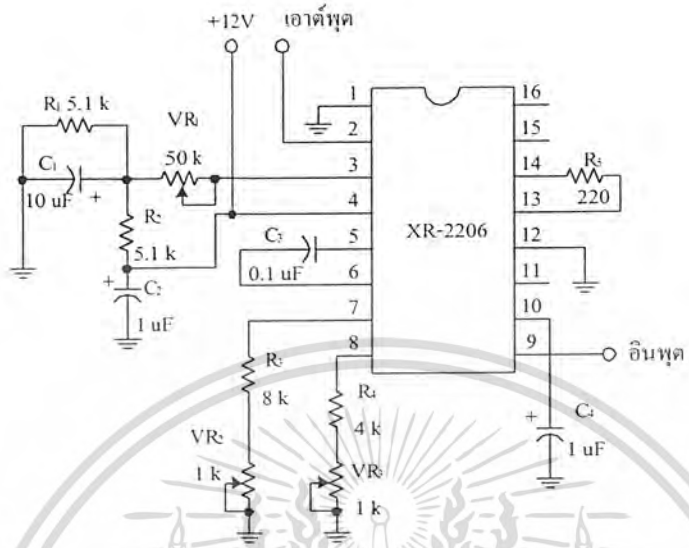



รูปที่ ค.5 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

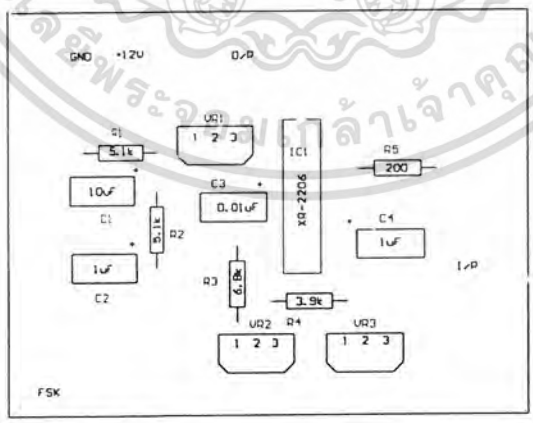


รูปที่ ค.6 วงจรพิมพ์ของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

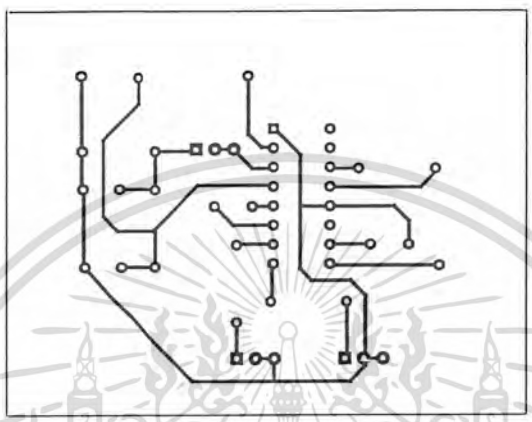



รูปที่ ค.7 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

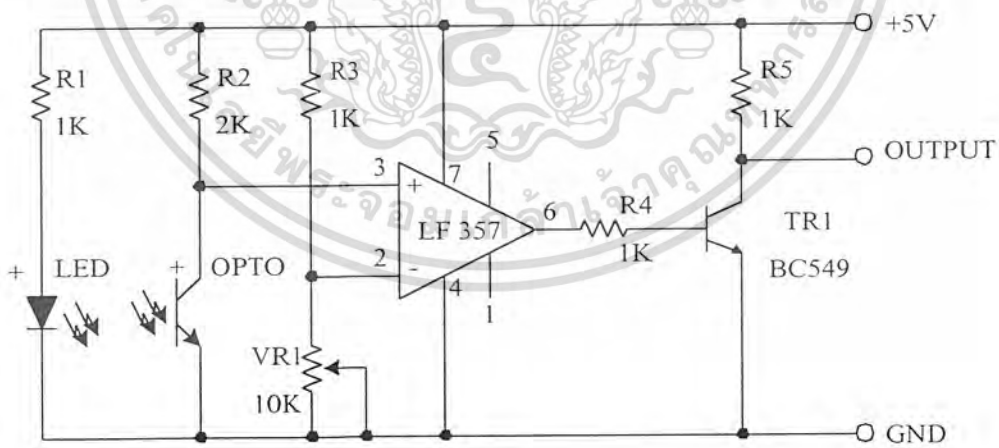



รูปที่ ค.8 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

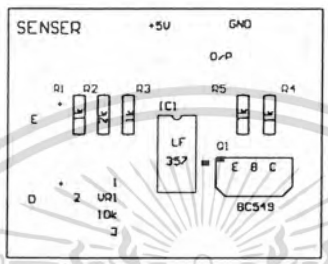


**รูปที่ ค.9** วงจรพิมพ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

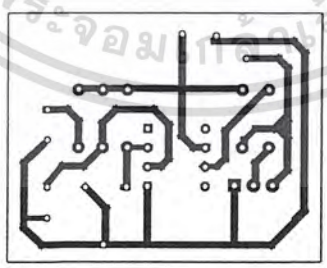



**รูปที่ ค.10** วงจรตรวจจับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

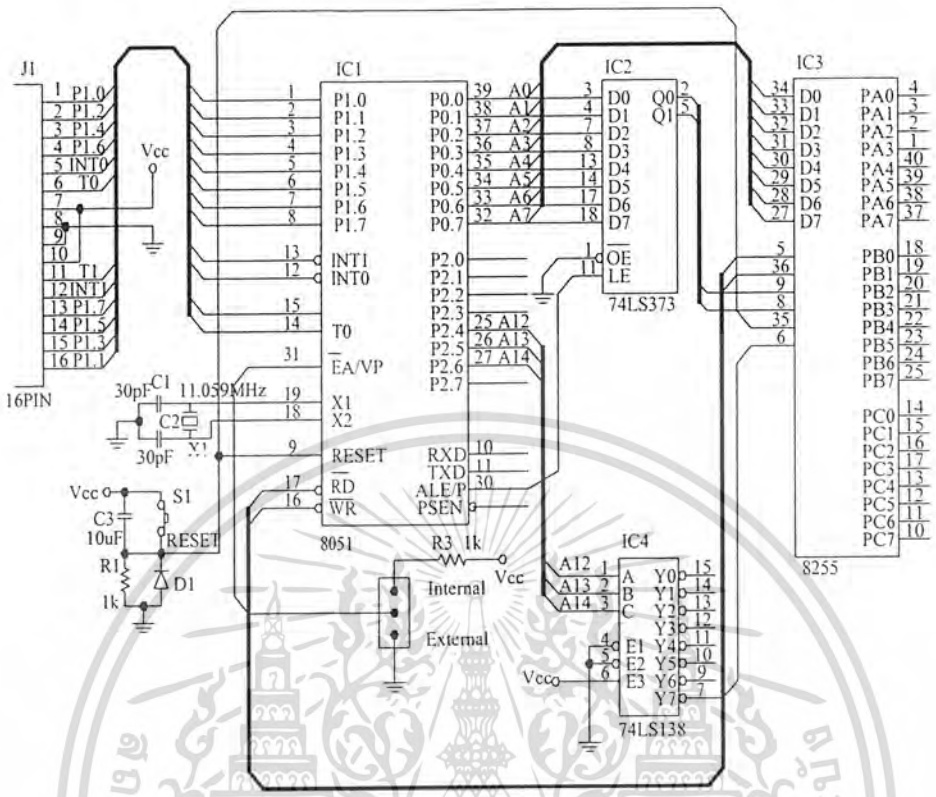



**รูปที่ ค.11** การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรตรวจจับแสง

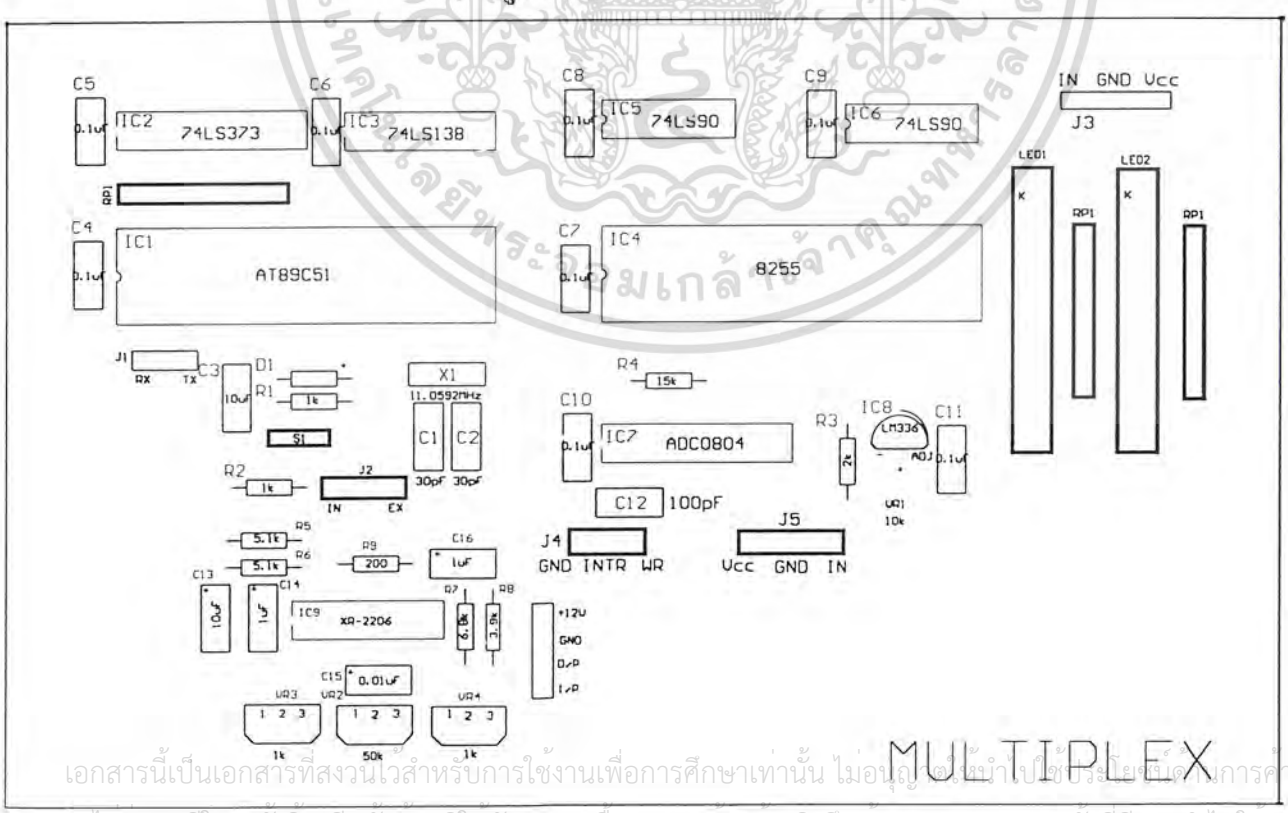


**รูปที่ ค.12** วงจรพิมพ์ของวงจรตรวจจับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

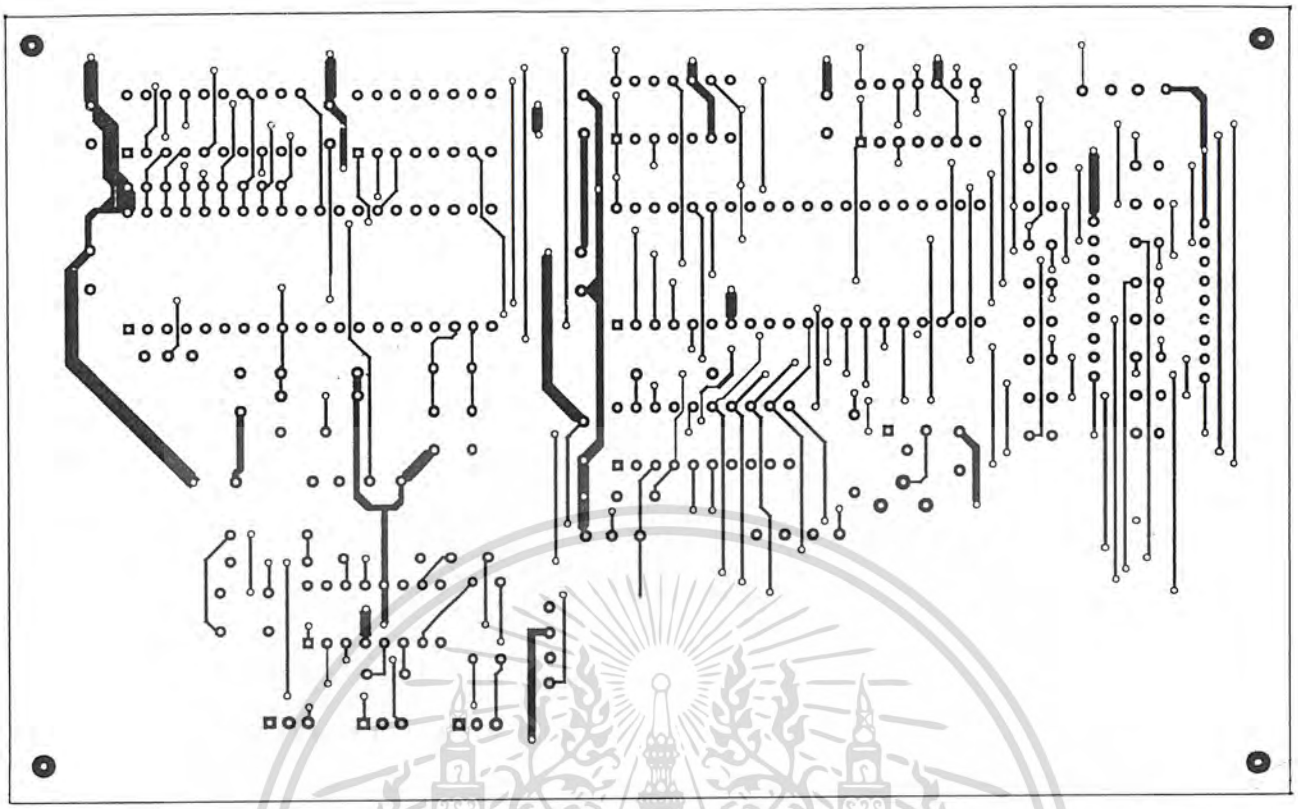



รูปที่ ค.13 วงจรมัลติเพล็กซ์

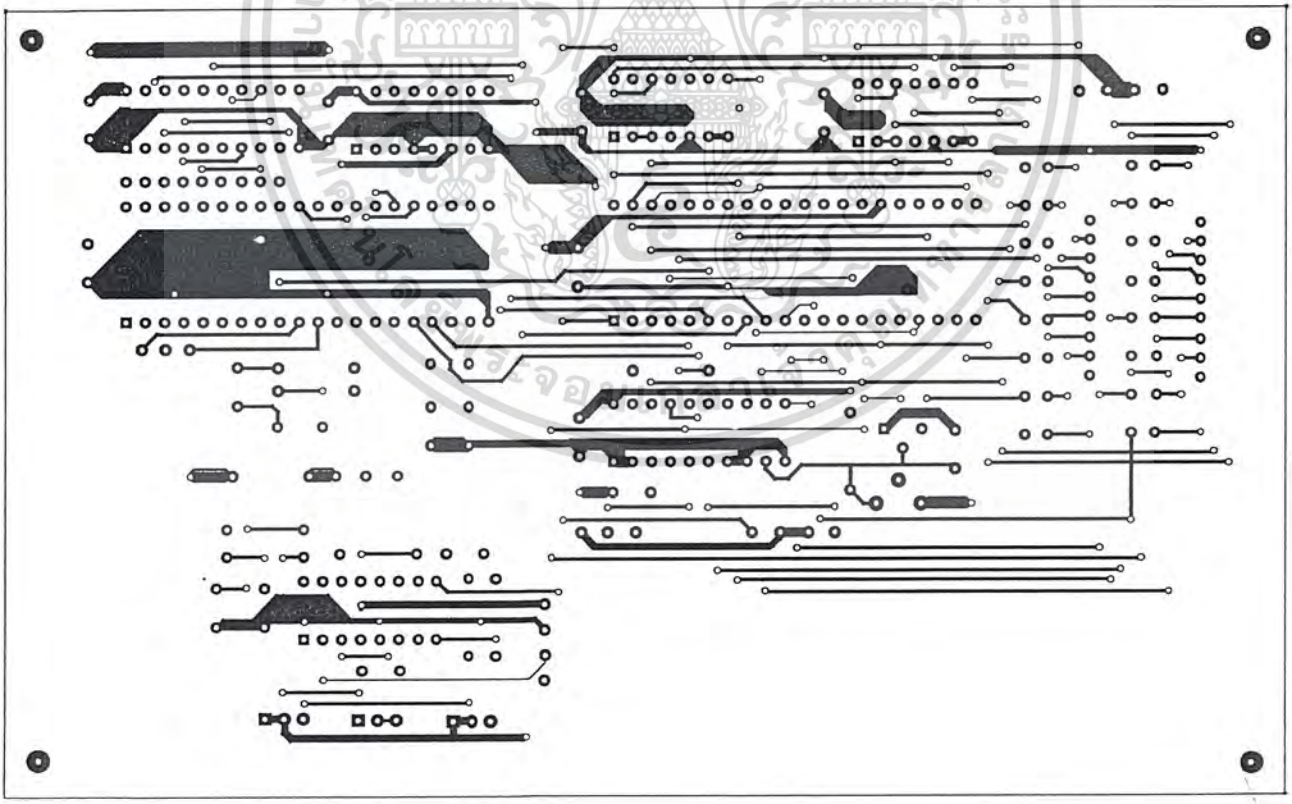



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.14 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์

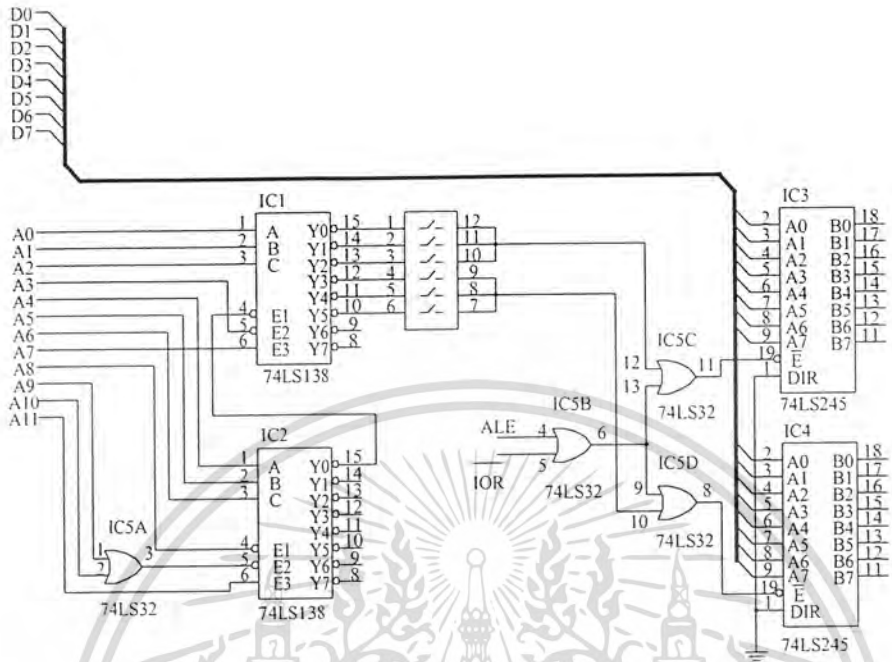


รูปที่ ค.15 วงจรพิมพ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์ทางด้านบน

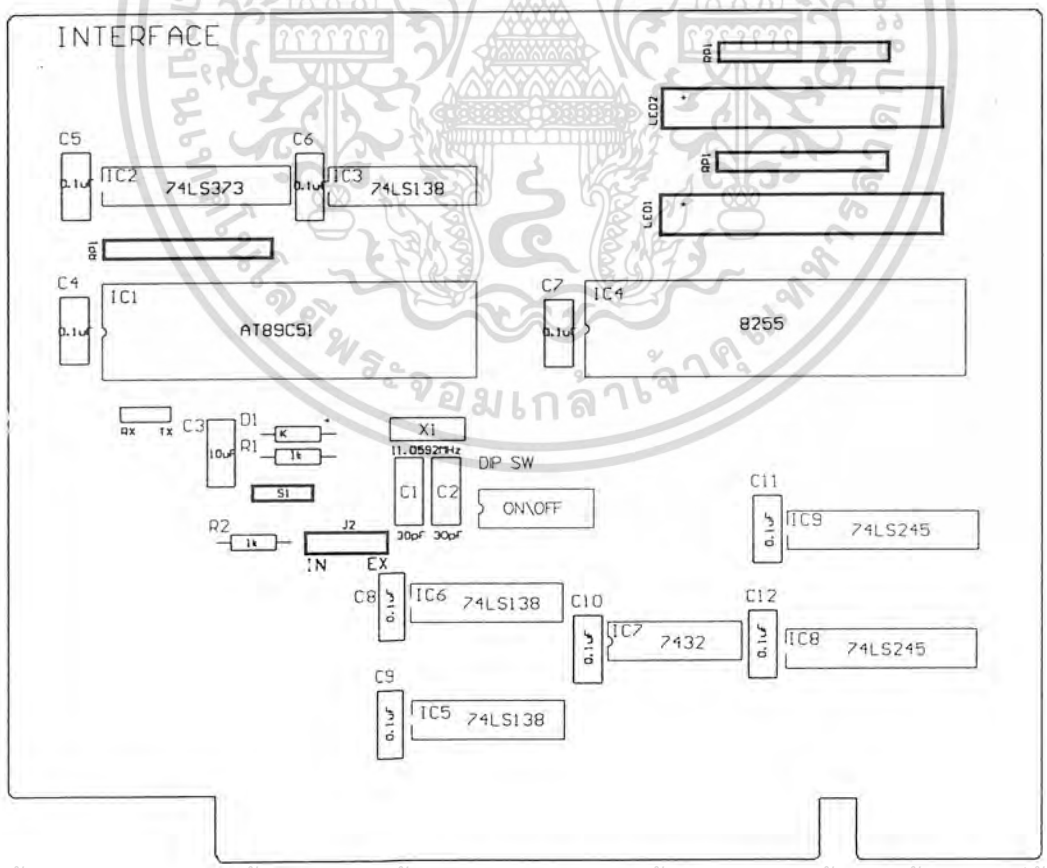


รูปที่ ค.16 วงจรพิมพ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์ทางด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

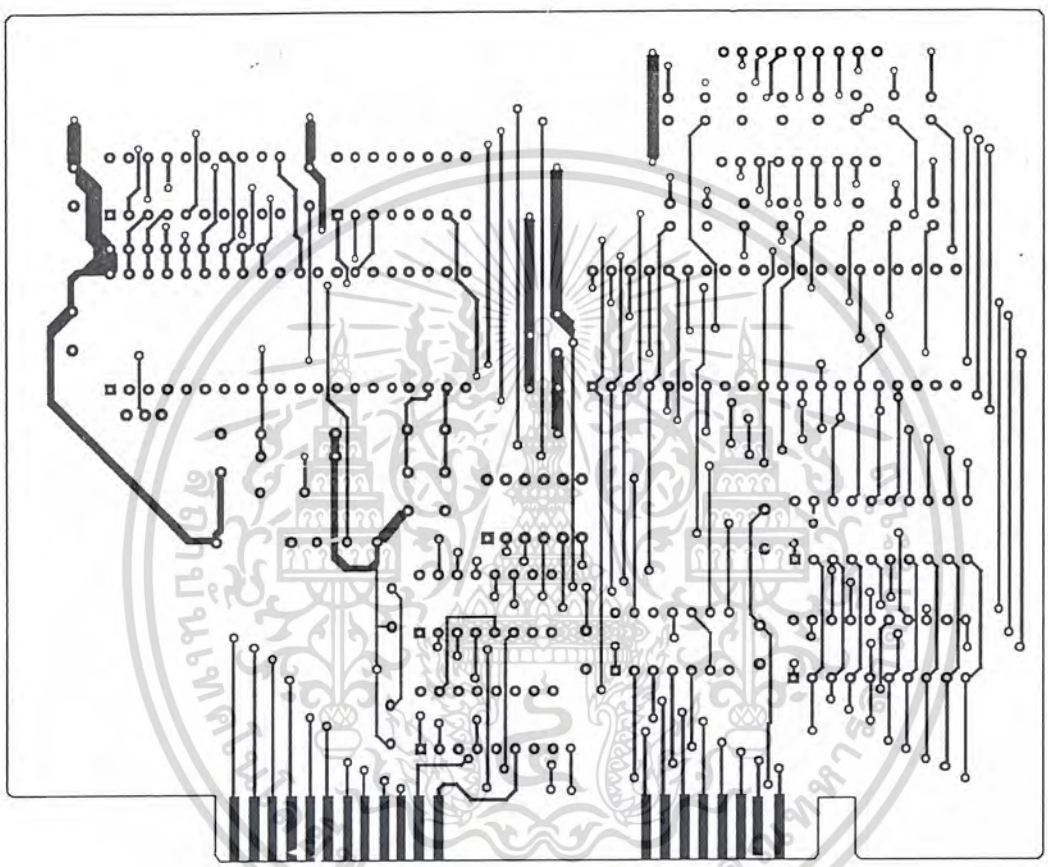



รูปที่ ค.17 วงจรอินเตอร์เฟส



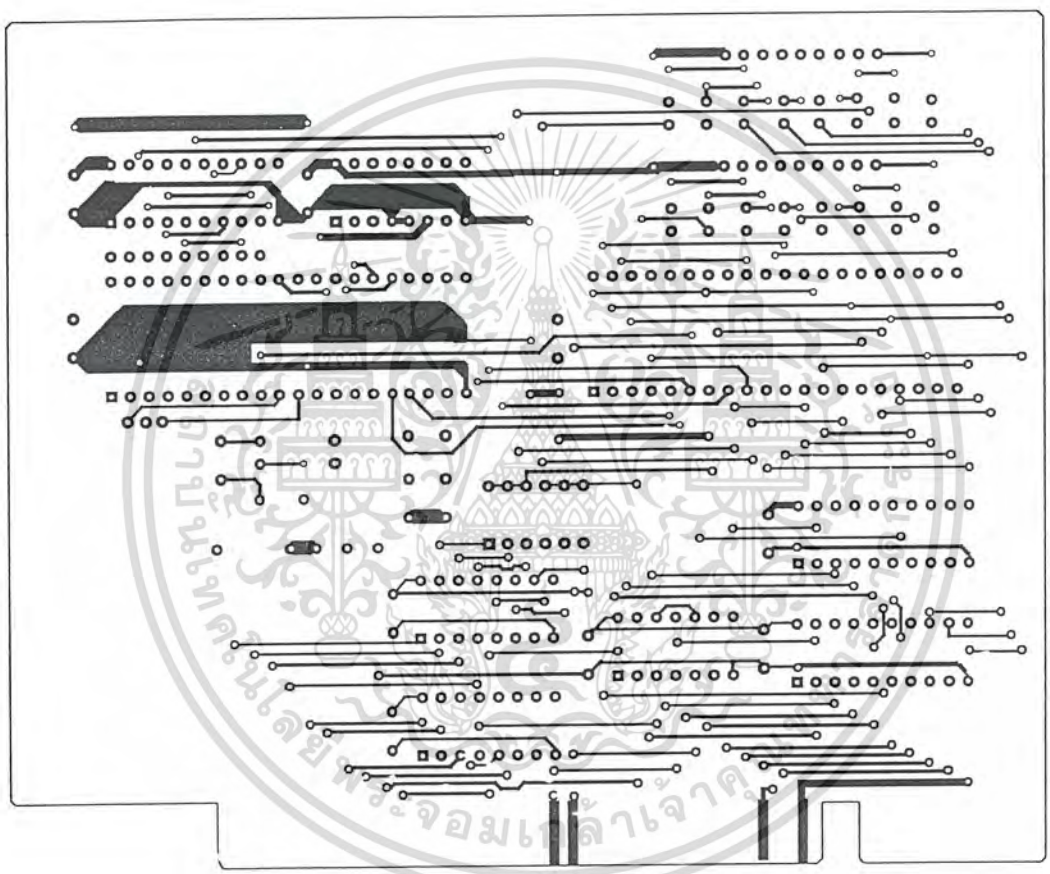

รูปที่ ค.18 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.19 วงจรพิมพ์ของวงจรอินเตอร์เฟสทางด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.20 วงจรพิมพ์ของวงจรอินเตอร์เฟสทางด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

# รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# รายการอุปกรณ์

**วงจรตรวจจับแสง**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| R1, R3, R4, R5 | 1KΩ | 4 |
| R2 | 2 KΩ | 1 |
| VR1 | 10 KΩ | 1 |
| TR1 | BC549 | 1 |
| OPTO | H21A1 | 1 |
| IC1 | LF357 | 1 |

**วงจรตรวจจับทิศทาง**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| R1 | 10 KΩ | 1 |
| R2 | 2.43KΩ | 1 |

**วงจรอินเตอร์เฟส**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| U1A, U1B, U1C, U1D | 7432 | 4 |
| U2, U3 | 74LS138 | 2 |
| U4, U5 | 74LS245 | 2 |
| SW1 | DIP SW-6 | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| R1 | 15 KΩ | 1 |
| R2 | 2KΩ | 2 |
| C1 | 100 pF | 1 |
| C2 | 10 pF | 1 |
| C3 | 0.1 μF | 1 |
| VR1 | 10 KΩ | 1 |
| IC1 | LM336 | 1 |
| IC2 | ADC 0804 | 1 |

**วงจรมัลติเพล็กเซอร์**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| R1,R2 | 1 KΩ | 2 |
| R3, R4 | 33 KΩ | 2 |
| C1,C2 | 30 pF | 1 |
| C3 | 10 pF | 1 |
| D1 | 1N4148 | 1 |
| X1 | 11.059MHz | 1 |
| U1 | AT89C51 | 1 |
| U2 | 74LS373 | 1 |
| U3 | 2764 | 1 |
| U4 | 82C55AC | 1 |
| U5 | 74LS138 | 1 |

**วงจรนับ**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| U1, U2 | 74LS90 | 2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วงจรมอดูเลตแบบ FSK**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| R1, R2 | 1KΩ | 2 |
| R3 | 4.3 KΩ | 1 |
| R4 | 3.9KΩ | 1 |
| R5 | 200 Ω | 1 |
| VR1 | 5 KΩ | 1 |
| VR2 | 1 KΩ | 1 |
| VR3 | 2 KΩ | 1 |
| C1 | 10 µF | 1 |
| C2, C4 | 1 µF | 2 |
| C3 | 0.1 µF | 1 |
| IC | XR-2206 | 1 |

**วงจรดีมอดูเลตแบบ FSK**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| R1 | 15 KΩ | 1 |
| R2 | 1.2MΩ | 1 |
| R3 | 255 KΩ | 1 |
| R4 | 10 KΩ | 1 |
| R5 | 5.1 KΩ | 1 |
| VR1 | 5 KΩ | 1 |
| C1, C2, C4 | 0.1 µF | 3 |
| C3 | 39 nF | 1 |
| C5 | 3.9 nF | 1 |
| C6 | 1 nF | 1 |
| IC | XR-2211 | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วงจรแหล่งจ่ายไฟ**

| ชื่ออุปกรณ์ | | จำนวน(ตัว) |
|---|---|---|
| D1 | Diode Bride | 1 |
| U1 | 7805 | 1 |
| U2 | 7809 | 1 |
| U3 | 7812 | 1 |
| C1, C2 | 4700 µF 50V | 2 |
| C6, C8, C10 | 470 µF 35V | 3 |
| C3, C4, C5, C7,C9 | 0.1 µF | 5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ

# รายละเอียด และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# XR-2206

Monolithic
Function Generator

EXAR ...the analog plus company™

June 1997-3

## FEATURES

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

## APPLICATIONS

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

## GENERAL DESCRIPTION

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

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

## ORDERING INFORMATION

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



©1972

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

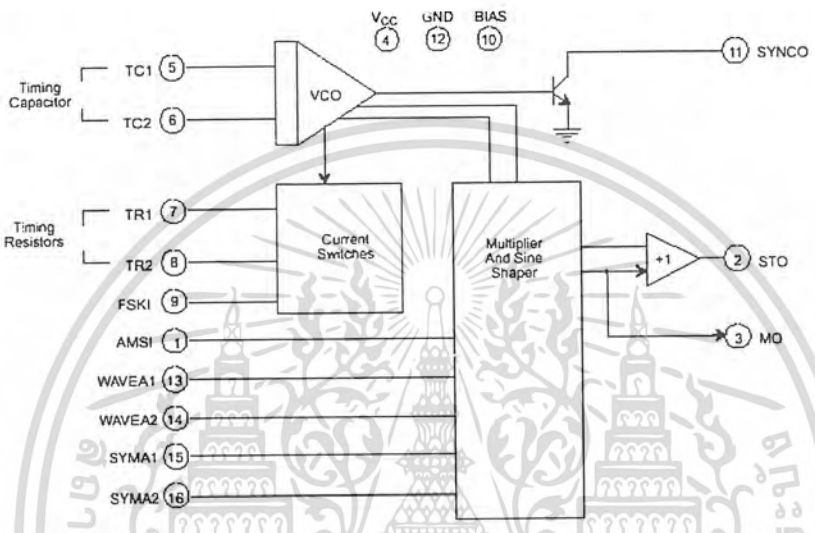
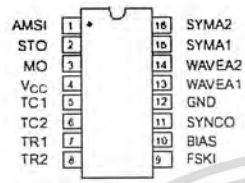


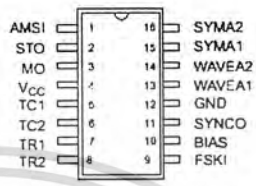

Figure 1. XR-2206 Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




16 Lead PDIP, CDIP (0.300")




16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

**PIN DESCRIPTION**

| Pin # | Symbol | Type | Description |
|---|---|---|---|
| 1 | AMSI | I | Amplitude Modulating Signal Input. |
| 2 | STO | O | Sine or Triangle Wave Output. |
| 3 | MO | O | Multiplier Output. |
| 4 | $V_{CC}$ | | Positive Power Supply. |
| 5 | TC1 | I | Timing Capacitor Input. |
| 6 | TC2 | I | Timing Capacitor Input. |
| 7 | TR1 | O | Timing Resistor 1 Output. |
| 8 | TR2 | O | Timing Resistor 2 Output. |
| 9 | FSKI | I | Frequency Shift Keying Input. |
| 10 | BIAS | O | Internal Voltage Reference. |
| 11 | SYNCO | O | Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to $V_{CC}$. |
| 12 | GND | | Ground pin. |
| 13 | WAVEA1 | I | Wave Form Adjust Input 1. |
| 14 | WAVEA2 | I | Wave Form Adjust Input 2. |
| 15 | SYMA1 | I | Wave Symetry Adjust 1. |
| 16 | SYMA2 | I | Wave Symetry Adjust 2. |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

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

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

Specifications are subject to change without notice

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

## SYSTEM DESCRIPTION

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

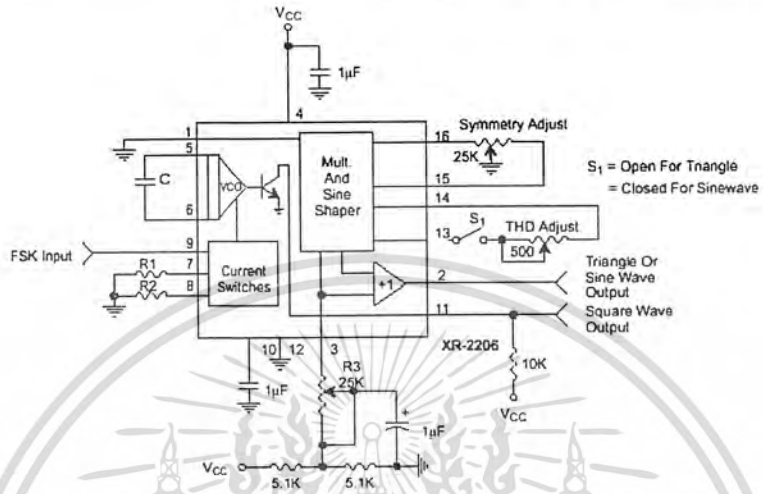



Figure 2. Basic Test Circuit

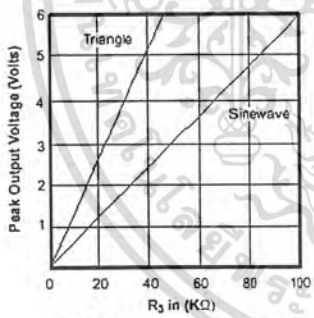



Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

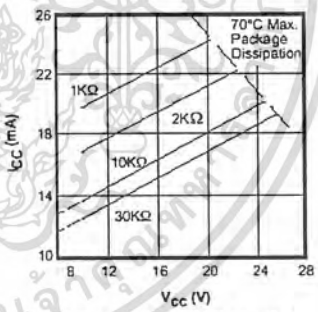



Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

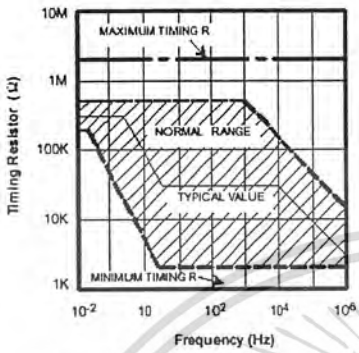



Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

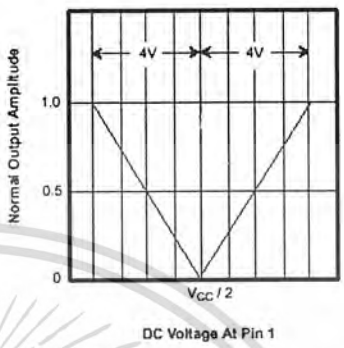



Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

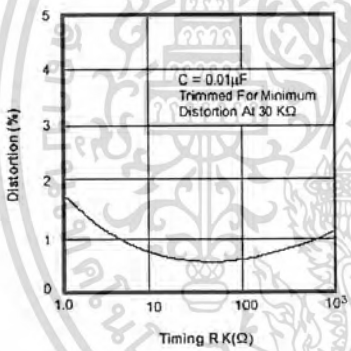



Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

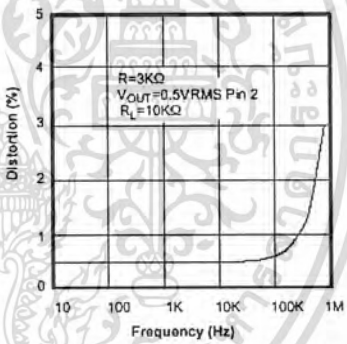



Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

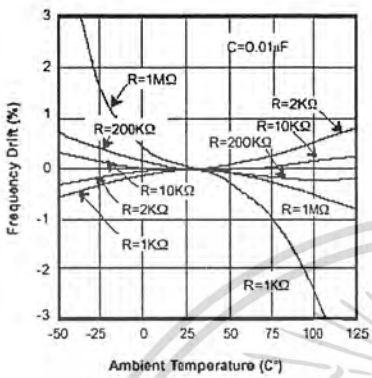



Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

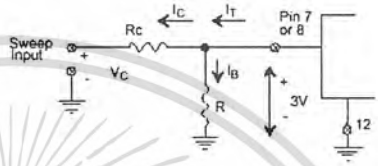



Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

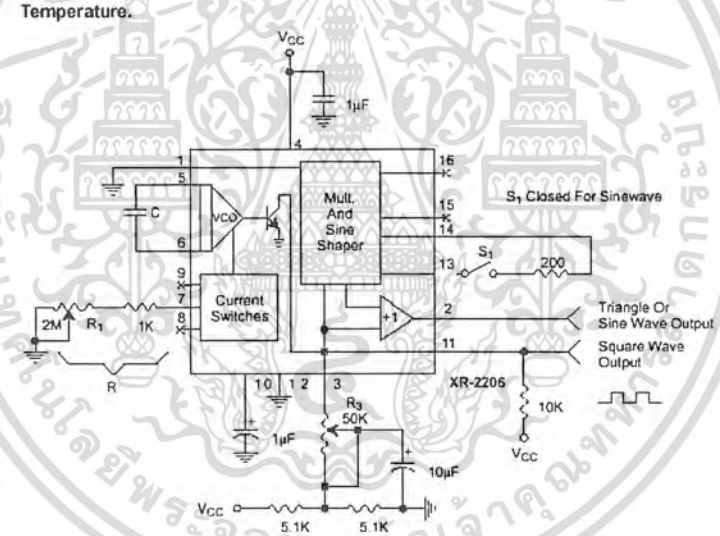



Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See *Figure 3* for Choice of $R_3$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

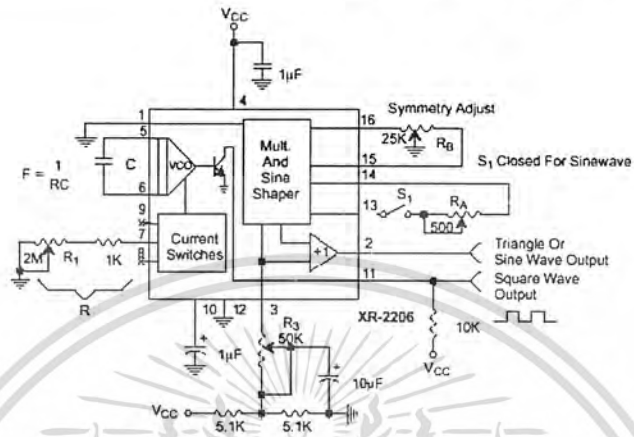



**Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. ($R_3$ Determines Output Swing - See *Figure 3*)**

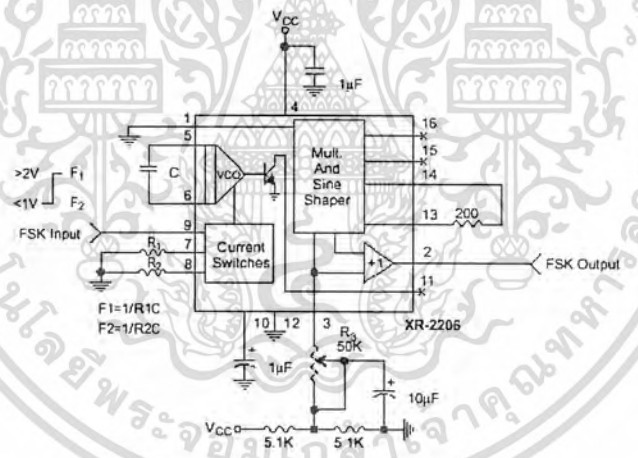



**Figure 13. Sinusoidal FSK Generator**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

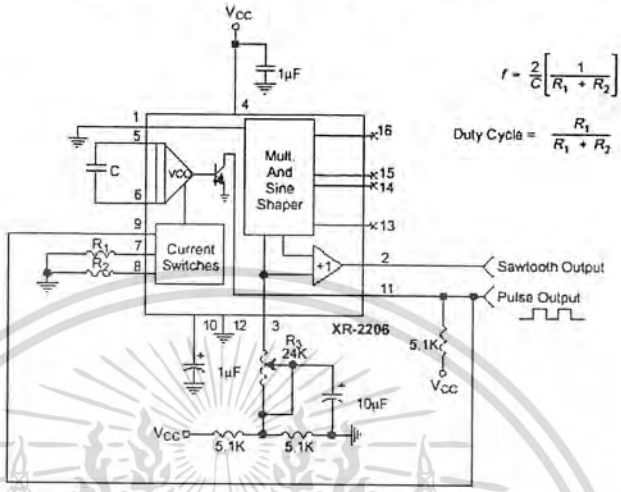



**Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.**

### Frequency-Shift Keying

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

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

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

### Output DC Level Control

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

## APPLICATIONS INFORMATION

### Sine Wave Generation

### Without External Adjustment

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**With External Adjustment:**

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

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

**Triangle Wave Generation**

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

**FSK Generation**

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

**Pulse and Ramp Generation**

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

## PRINCIPLES OF OPERATION

**Description of Controls**

**Frequency of Operation:**

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

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

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

**Frequency Sweep and Modulation:**

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

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

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

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

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Output Amplitude:**

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

**Amplitude Modulation:**

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

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

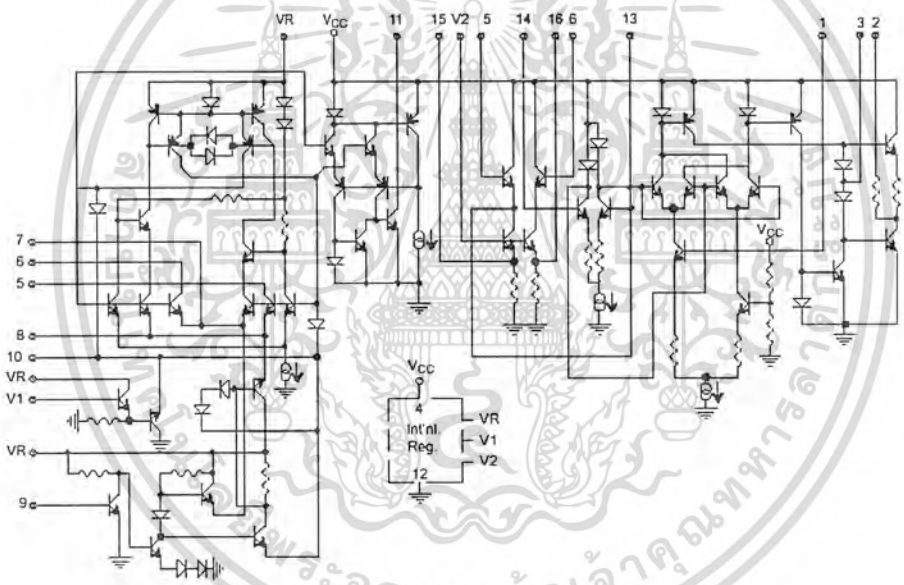


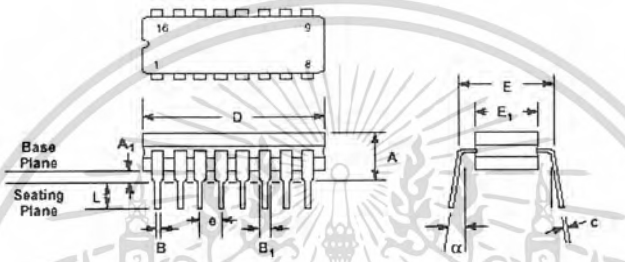

Figure 15. Equivalent Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
## (300 MIL CDIP)

*Rev. 1.00*




| SYMBOL | INCHES MIN | INCHES MAX | MILLIMETERS MIN | MILLIMETERS MAX |
|---|---|---|---|---|
| A | 0.100 | 0.200 | 2.54 | 5.08 |
| $A_1$ | 0.015 | 0.060 | 0.38 | 1.52 |
| B | 0.014 | 0.026 | 0.36 | 0.66 |
| $B_1$ | 0.045 | 0.065 | 1.14 | 1.65 |
| c | 0.008 | 0.018 | 0.20 | 0.46 |
| D | 0.740 | 0.840 | 18.80 | 21.34 |
| $E_1$ | 0.250 | 0.310 | 6.35 | 7.87 |
| E | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| L | 0.125 | 0.200 | 3.18 | 5.08 |
| α | 0° | 15° | 0° | 15° |

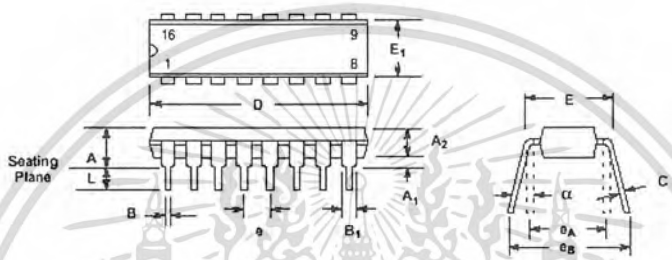
*Note: The control dimension is the inch column*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE (300 MIL PDIP)

*Rev. 1.00*




| SYMBOL | INCHES MIN | INCHES MAX | MILLIMETERS MIN | MILLIMETERS MAX |
|---|---|---|---|---|
| A | 0.145 | 0.210 | 3.68 | 5.33 |
| $A_1$ | 0.015 | 0.070 | 0.38 | 1.78 |
| $A_2$ | 0.115 | 0.195 | 2.92 | 4.95 |
| B | 0.014 | 0.024 | 0.36 | 0.56 |
| $B_1$ | 0.030 | 0.070 | 0.76 | 1.78 |
| C | 0.008 | 0.014 | 0.20 | 0.38 |
| D | 0.745 | 0.840 | 18.92 | 21.34 |
| E | 0.300 | 0.325 | 7.62 | 8.26 |
| $E_1$ | 0.240 | 0.280 | 6.10 | 7.11 |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| $e_A$ | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | |
| $e_B$ | 0.310 | 0.430 | 7.87 | 10.92 |
| L | 0.115 | 0.160 | 2.92 | 4.06 |
| α | 0° | 15° | 0° | 15° |

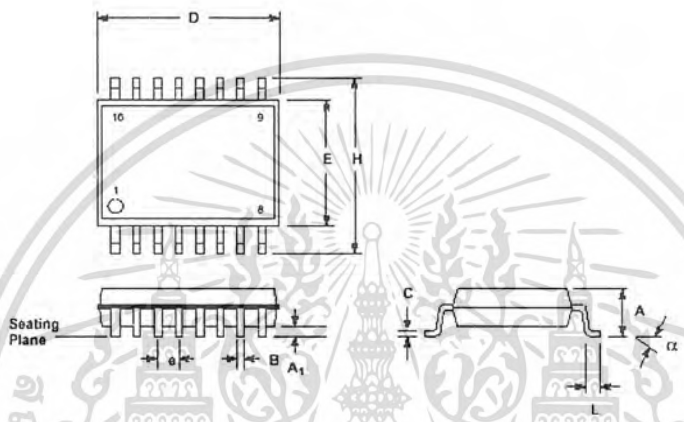
*Note: The control dimension is the inch column*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 16 LEAD SMALL OUTLINE
## (300 MIL JEDEC SOIC)

*Rev. 1.00*




| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.093 | 0.104 | 2.35 | 2.65 |
| $A_1$ | 0.004 | 0.012 | 0.10 | 0.30 |
| B | 0.013 | 0.020 | 0.33 | 0.51 |
| C | 0.009 | 0.013 | 0.23 | 0.32 |
| D | 0.398 | 0.413 | 10.10 | 10.50 |
| E | 0.291 | 0.299 | 7.40 | 7.60 |
| e | 0.050 BSC | | 1.27 BSC | |
| H | 0.394 | 0.419 | 10.00 | 10.65 |
| L | 0.016 | 0.050 | 0.40 | 1.27 |
| α | 0° | 8° | 0° | 8° |

*Note: The control dimension is the millimeter column*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTICE

EXAR Corporation reserves the right to make changes to the products contained in this publication in order to improve design, performance or reliability. EXAR Corporation assumes no responsibility for the use of any circuits described herein, conveys no license under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. Charts and schedules contained here in are only for illustration purposes and may vary depending upon a user's specific application. While the information in this publication has been carefully checked; no responsibility, however, is assumed for inaccuracies.

EXAR Corporation does not recommend the use of any of its products in life support applications where the failure or malfunction of the product can reasonably be expected to cause failure of the life support system or to significantly affect its safety or effectiveness. Products are not authorized for use in such applications unless EXAR Corporation receives, in writing, assurances to its satisfaction that: (a) the risk of injury or damage has been minimized; (b) the user assumes all such risks; (c) potential liability of EXAR Corporation is adequately protected under the circumstances.

Copyright 1972 EXAR Corporation
Datasheet June 1997
Reproduction, in part or whole, without the prior written consent of EXAR Corporation is prohibited.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# XR-2211

FSK Demodulator/
Tone Decoder

EXAR ...the analog plus company™

June 1997-3

## FEATURES

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

## APPLICATIONS

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

## GENERAL DESCRIPTION

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

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

## ORDERING INFORMATION

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



©1992

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BLOCK DIAGRAM

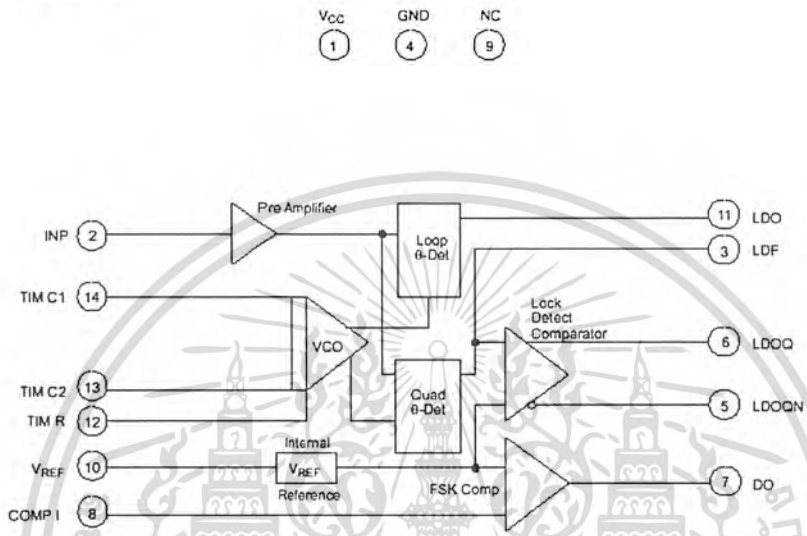
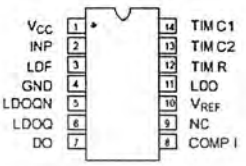



Figure 1. XR-2211 Block Diagram

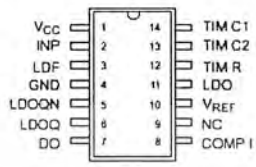


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIN CONFIGURATION




14 Lead CDIP, PDIP (0.300")




14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")

## PIN DESCRIPTION

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

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

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

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

Specifications are subject to change without notice

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

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

## SYSTEM DESCRIPTION

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PRINCIPLES OF OPERATION

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

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

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

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

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

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

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

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

**VCO Control Input (Pin 12):** VCO free-running frequency is determined by external timing resistor, $R_0$, connected from this terminal to ground. The VCO free-running frequency, $f_0$, is:

$$f_0 = \frac{1}{R_0 C_0} \; Hz$$

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

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

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

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

**VCO Free-Running Frequency, $f_0$:** XR-2211 does not have a separate VCO output terminal. Instead, the VCO outputs are internally connected to the phase detector sections of the circuit. For set-up or adjustment purposes, the VCO free-running frequency can be tuned by using the generalized circuit in *Figure 3*, and applying an alternating bit pattern of 0's and 1's at the known mark and space frequencies. By adjusting $R_0$, the VCO can then be tuned to obtain a 50% duty cycle on the FSK output (pin 7). This will ensure that the VCO $f_0$ value is accurately referenced to the mark and space frequencies.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

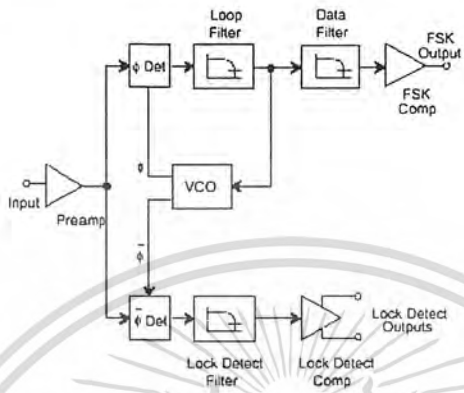



**Figure 2. Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211**

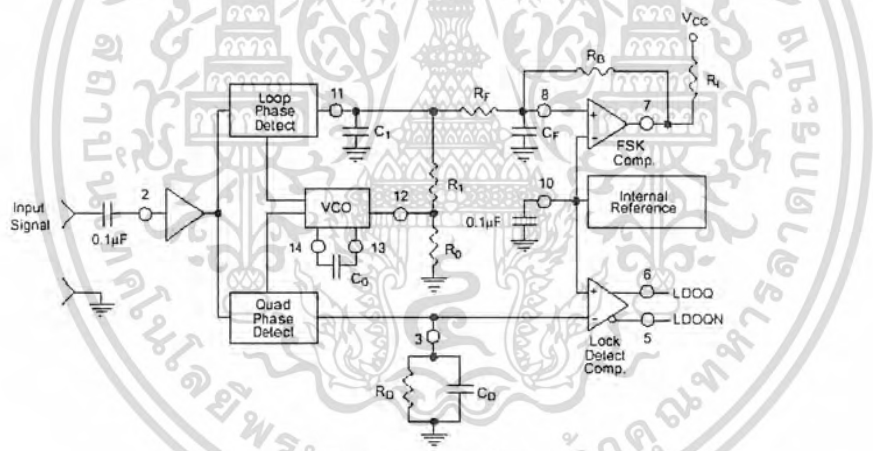



**Figure 3. Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DESIGN EQUATIONS

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

(See *Figure 3* for definition of components)

1. VCO Center Frequency, $f_0$:

$$f_0 = \frac{1}{R_0 \cdot C_0}$$

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

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

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

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

where:

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

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

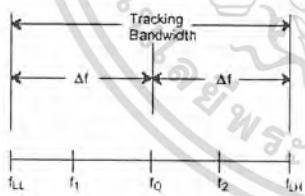
4. Loop Damping, ς:

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

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

5. Loop-tracking bandwidth, $= \frac{\Delta f}{f_0}$

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






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. FSK Data filter time constant, tF:

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

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

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

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

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

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

9. The filter transfer function:

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

10. Total loop gain, $K_T$:

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

11. Peak detector current $I_A$:

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATIONS INFORMATION

### FSK Decoding

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

### Design Instructions:

The circuit of *Figure 10* can be tailored for any FSK decoding application by the choice of five key circuit components: $R_0$, $R_1$, $C_0$, $C_1$ and $C_F$. For a given set of FSK mark and space frequencies, $f_0$ and $f_1$, these parameters can be calculated as follows:

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

a) Calculate PLL center frequency, $f_0$:

$$f_o = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

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

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

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

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

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

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

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

Normally, $\varsigma = 0.5$ is recommended.

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

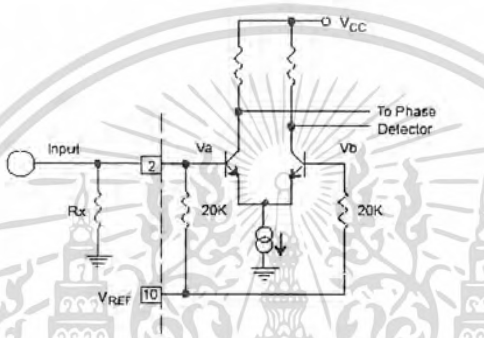



**Figure 4. Desensitizing Input Stage**

g) Calculate Data Filter Capacitance, $C_F$:

$$R_{sum} = \frac{(R_F - R_1)\cdot R_0}{(R_1 - R_F - R_0)}$$

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

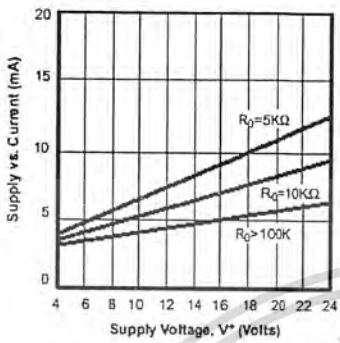



Figure 5. Typical Supply Current vs. V+ (Logic Outputs Open Circuited)

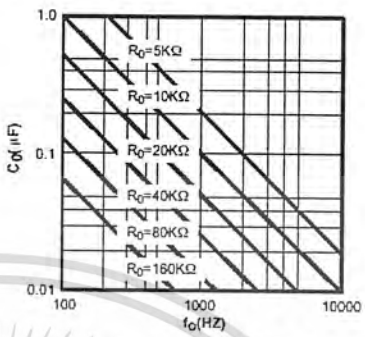



Figure 6. VCO Frequency vs. Timing Resistor

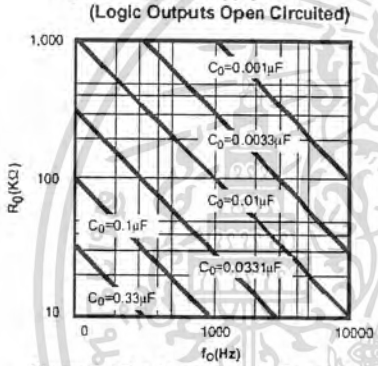



Figure 7. VCO Frequency vs. Timing Capacitor

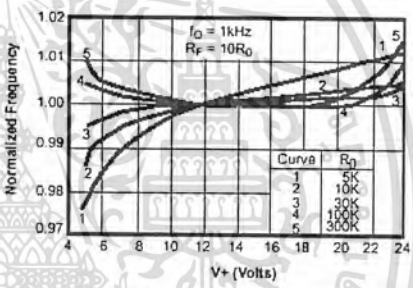



Figure 8. Typical $f_O$ vs. Power Supply Characteristics

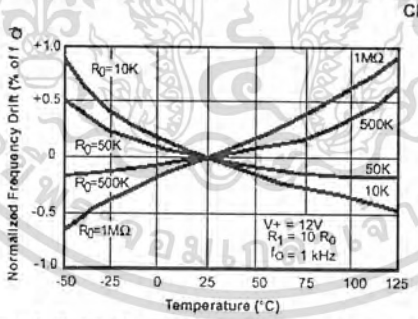



Figure 9. Typical Center Frequency Drift vs. Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***Design Example:***

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

Step 1: Calculate $f_O$: from design instructions

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

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

(b) $R_r = 10 = \frac{10}{2} = 15K$

Step 3: Calculate $C_0$ from design instructions

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

Step 4: Calculate $R_1$ : from design instructions

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

Step 5: Calculate $C_1$ : from design instructions

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

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

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

Step 8: Calculate $R_{SUM}$ :

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

Step 9: Calculate $C_F$ :

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

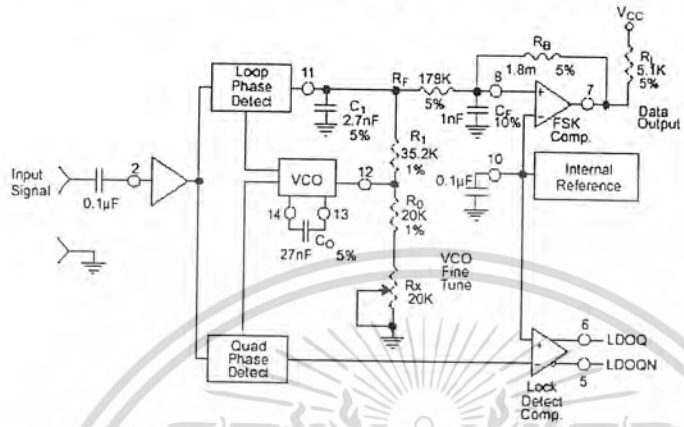



**Figure 10. Circuit Connection for FSK Decoding of Caller Identification Signals (Bell 202 Format)**

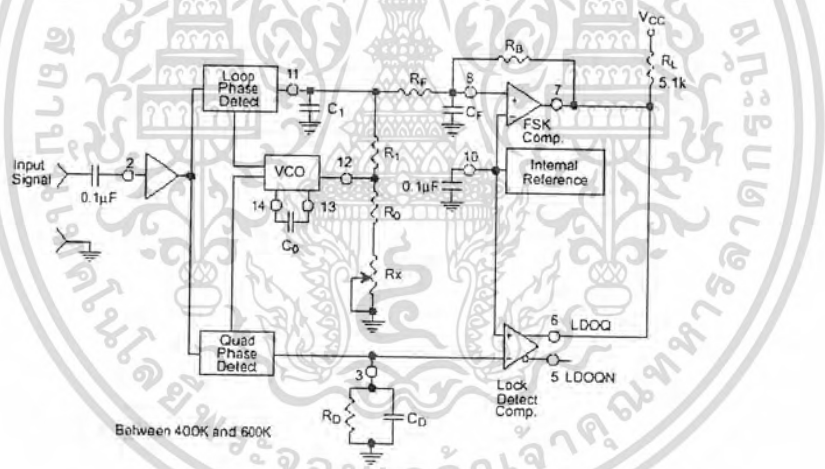



**Figure 11. External Connectors for FSK Demodulation with Carrier Detect Capability**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

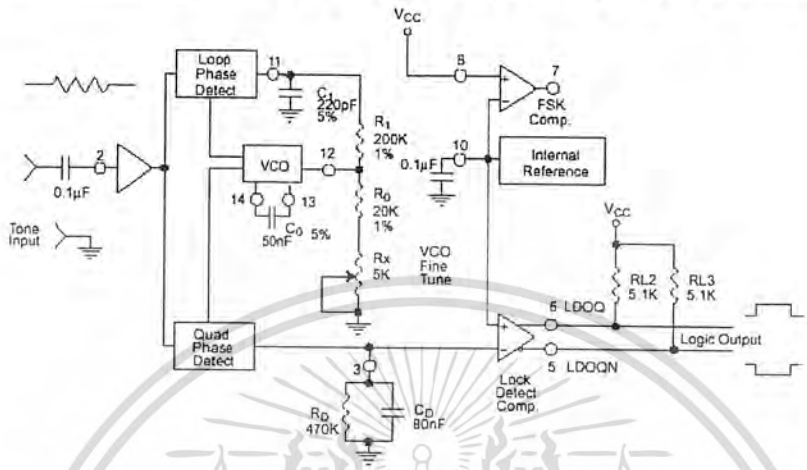



**Figure 12. Circuit Connection for Tone Detection**

### FSK Decoding with Carrier Detect

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

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

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

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

C in µF and f in Hz.

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

### Tone Detection

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Design Instructions:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Normally, $\varsigma$ = 0.5 is recommended.

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

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

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

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

Increasing $C_D$ slows down the logic output response time.

**Design Examples:**

Tone detector with a detection band of ± 100Hz:

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

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

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot f_0 \cdot 2}{\Delta f} = \frac{20,000 \cdot 1,000 \cdot 2}{100} = 400K$$

***Note:*** *The total detection bandwidth covers the frequency range of $f_0 \pm \Delta f$*

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

Normally, $\zeta = 0.5$ is recommended.

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

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

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

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

Increasing $C_D$ slows down the logic output response time.

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

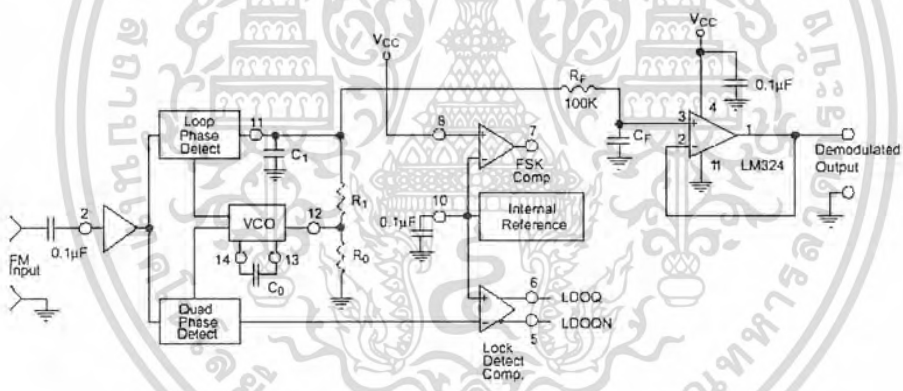



**Figure 13. Linear FM Detector Using XR-2211 and an External Op Amp. (See Section on Design Equation for Component Values.)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Linear FM Detection

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

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

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

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

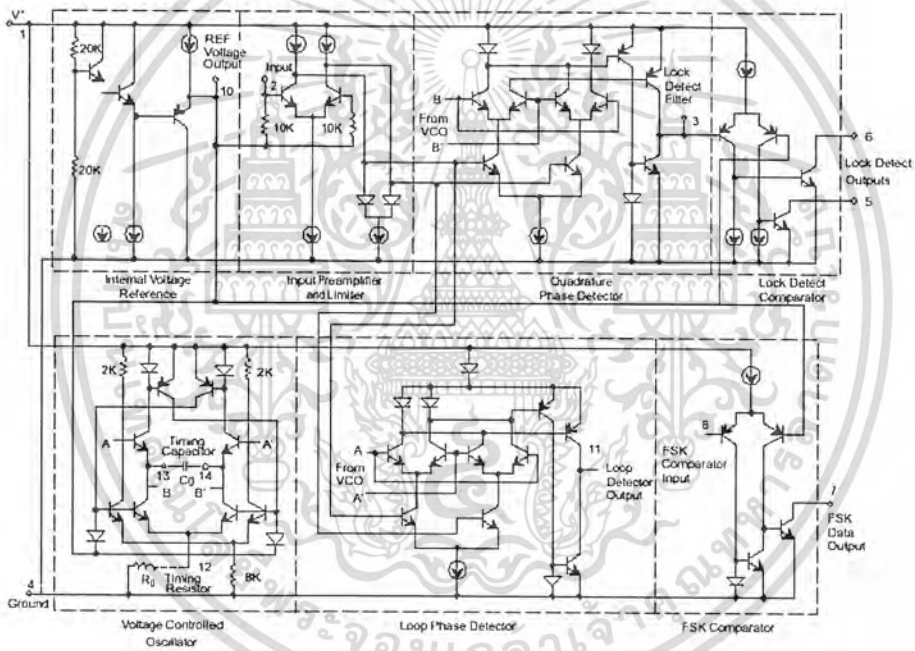


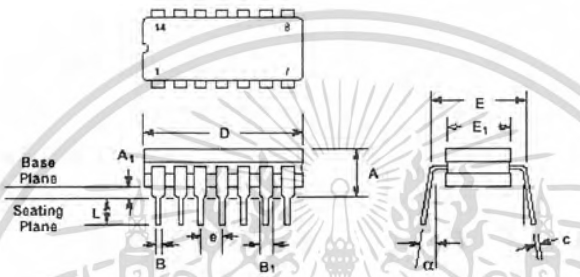

**Figure 14. Equivalent Schematic Diagram**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 14 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
## (300 MIL CDIP)

*Rev. 1.00*




| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.100 | 0.200 | 2.54 | 5.08 |
| $A_1$ | 0.015 | 0.060 | 0.38 | 1.52 |
| B | 0.014 | 0.026 | 0.36 | 0.66 |
| $B_1$ | 0.045 | 0.065 | 1.14 | 1.65 |
| c | 0.008 | 0.018 | 0.20 | 0.46 |
| D | 0.685 | 0.785 | 17.40 | 19.94 |
| $E_1$ | 0.250 | 0.310 | 6.35 | 7.87 |
| E | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| L | 0.125 | 0.200 | 3.18 | 5.08 |
| α | 0° | 15° | 0° | 15° |

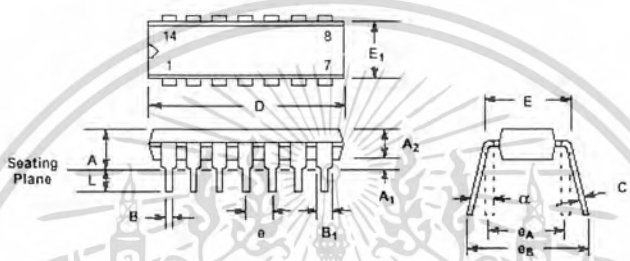
*Note: The control dimension is the inch column*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 14 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE (300 MIL PDIP)

*Rev. 1.00*




| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.145 | 0.210 | 3.68 | 5.33 |
| $A_1$ | 0.015 | 0.070 | 0.38 | 1.78 |
| $A_2$ | 0.115 | 0.195 | 2.92 | 4.95 |
| B | 0.014 | 0.024 | 0.36 | 0.56 |
| $B_1$ | 0.030 | 0.070 | 0.76 | 1.78 |
| C | 0.008 | 0.014 | 0.20 | 0.38 |
| D | 0.725 | 0.795 | 18.42 | 20.19 |
| E | 0.300 | 0.325 | 7.62 | 8.26 |
| $E_1$ | 0.240 | 0.280 | 6.10 | 7.11 |
| e | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| $e_A$ | 0.300 BSC | | 7.62 BSC | |
| $e_B$ | 0.310 | 0.430 | 7.87 | 10.92 |
| L | 0.115 | 0.160 | 2.92 | 4.06 |
| α | 0° | 15° | 0° | 15° |

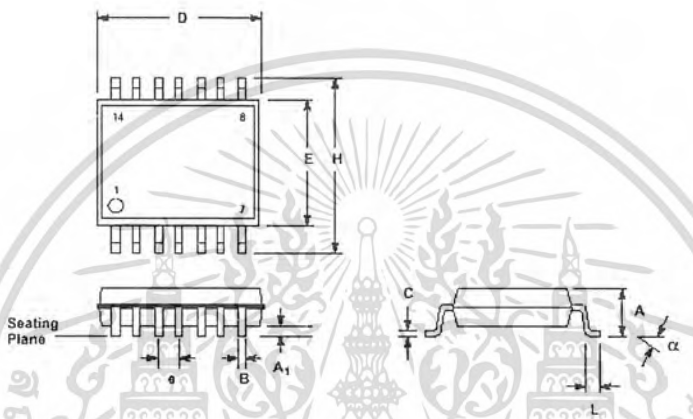
*Note: The control dimension is the inch column*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 14 LEAD SMALL OUTLINE
## (150 MIL JEDEC SOIC)

*Rev. 1.00*




| SYMBOL | INCHES | | MILLIMETERS | |
|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.053 | 0.069 | 1.35 | 1.75 |
| $A_1$ | 0.004 | 0.010 | 0.10 | 0.25 |
| B | 0.013 | 0.020 | 0.33 | 0.51 |
| C | 0.007 | 0.010 | 0.19 | 0.25 |
| D | 0.337 | 0.344 | 8.55 | 8.75 |
| E | 0.150 | 0.157 | 3.80 | 4.00 |
| e | 0.050 BSC | | 1.27 BSC | |
| H | 0.228 | 0.244 | 5.80 | 6.20 |
| L | 0.016 | 0.050 | 0.40 | 1.27 |
| α | 0° | 8° | 0° | 8° |

*Note: The control dimension is the millimeter column*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Notes





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Notes





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTICE

EXAR Corporation reserves the right to make changes to the products contained in this publication in order to improve design, performance or reliability. EXAR Corporation assumes no responsibility for the use of any circuits described herein, conveys no license under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. Charts and schedules contained here in are only for illustration purposes and may vary depending upon a user's specific application. While the information in this publication has been carefully checked; no responsibility, however, is assumed for inaccuracies.

EXAR Corporation does not recommend the use of any of its products in life support applications where the failure or malfunction of the product can reasonably be expected to cause failure of the life support system or to significantly affect its safety or effectiveness. Products are not authorized for use in such applications unless EXAR Corporation receives, in writing, assurances to its satisfaction that: (a) the risk of injury or damage has been minimized; (b) the user assumes all such risks; (c) potential liability of EXAR Corporation is adequately protected under the circumstances.

Copyright 1995 EXAR Corporation
Datasheet June 1997
Reproduction, in part or whole, without the prior written consent of EXAR Corporation is prohibited.



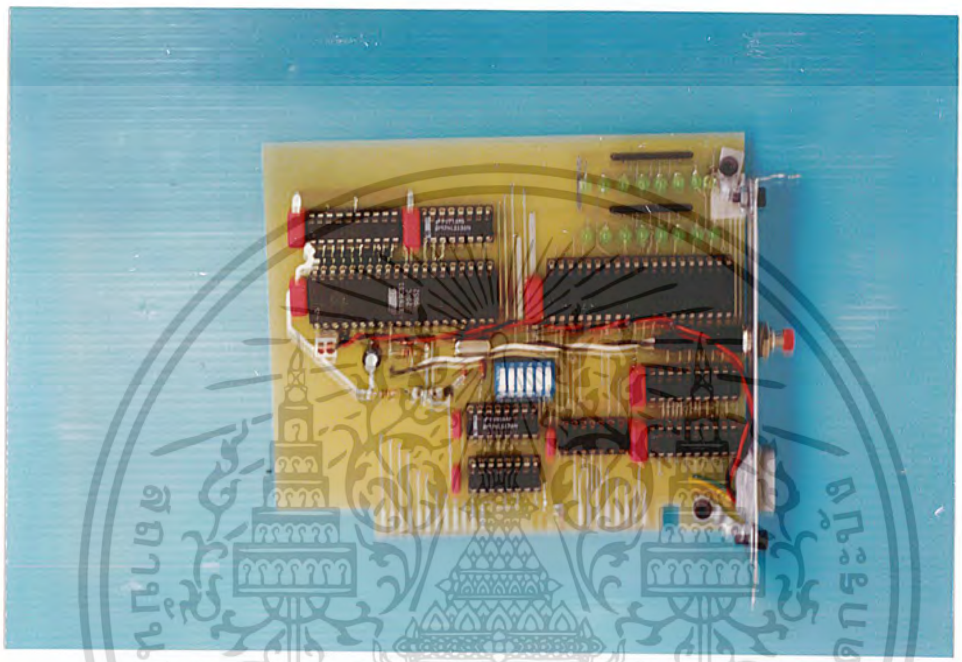
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ
# คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการใช้งาน

## การต่อใช้งาน



นำเครื่องส่งต่อกับเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม เครื่องรับต่อกับการ์ดอินเตอร์เฟส โดยเสียบการ์ดที่ช่อง ISA ของเครื่องคอมพิวเตอร์

## คู่มือการใช้งาน

1. นำเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมไปติดตั้งไว้ที่เสา ณ. จุดที่ต้องการ โดยตั้งในแนวดิ่งและตั้งฉาก

2. เปิดเครื่องส่งให้ทำงาน

3. เปิดเครื่องรับ

4. ต่อเอาต์พุตด้านหลังเครื่องรับเข้ากับการ์ดอินเตอร์เฟส

6. กดปุ่ม Reset ที่เครื่องส่ง, เครื่องรับ และการ์ดอินเตอร์เฟส

5. เปิดคอมพิวเตอร์เข้าไปยังโปรแกรม wind

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมเข้ากับเครื่องส่ง

2. จ่ายไฟให้กับเครื่องรับและเครื่องส่ง

3. ทดลองหมุนเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมด้วยมือ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของหลอดไดโอดเปล่งแสงว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรืออาจดูการเปลี่ยนแปลงของหน้าจอคอมพิวเตอร์

## โปรแกรมเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม

หลักการทำงานของโปรแกรม จะทำการรับข้อมูลจากการ์ดอินเตอร์เฟสจำนวน 8 บิต ซึ่งทางซอฟแวร์จะมีการตรวจสอบค่าจากพอร์ตตลอดเวลาและมีฐานเวลาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นตัวกำหนดการเก็บค่าความเร็วลม โดยตั้งไว้ที่ทุก 10 วินาทีจะทำการเก็บค่า 1 ค่า จะเป็นข้อมูลปัจจุบันซึ่งเก็บและแสดงข้อมูลอัตโนมัติทุก 10 วินาที นอกจากนี้สามารถปรับปรุงข้อมูลในช่วงของแต่ละวันเป็นรายวันโดยจะอ้างอิงวันเมื่อเปลี่ยนวันก็จะทำการลบข้อมูลปัจจุบันและจะเก็บข้อมูลของวันนั้นตลอด 24 ชั่วโมงเป็นข้อมูลรายวัน และทำการเฉลี่ยเพื่อปรับปรุงเป็นข้อมูลรายเดือน เรียกดูได้จากฟอร์มดูข้อมูล โดยจะมีให้เลือก 3 รายการ

1. ข้อมูลปัจจุบัน : เป็นการดูข้อมูลความเร็วลมในเวลาปัจจุบันทุก 10 วินาทีดูได้ทันทีโดยเลือกปุ่มข้อมูลปัจจุบัน และสามารถลบข้อความซึ่งจะต้องระบุ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการลบข้อมูล

2. ข้อมูลรายวัน : เป็นการดูข้อมูลความเร็วลมของแต่ละวันโดยจะต้องใส่ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการดูข้อมูล และสามารถลบข้อมูลซึ่งจะต้องระบุ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการลบข้อมูล

3. ข้อมูลรายเดือน : เป็นการดูข้อมูลความเร็วลมที่เฉลี่ยข้อมูลความเร็วลมรายวันเป็นรายเดือน โดยจะต้องกำหนดเดือนที่ต้องการดูข้อมูล และสามารถลบข้อมูลซึ่งจะต้องระบุ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการลบข้อมูล

## คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่มีหน่วยประมวลผลกลางรุ่น Pentium 90 MHz หรือสูงกว่า

2. มีหน่วยความจำ 24 MB สำหรับ Windows 95, 32 MB สำหรับ Windows NT Version 4.0 หรือสูงกว่า

3. มีฮาร์ดไดรฟ์

4. จอภาพระดับความละเอียด VGA 640 X 480 จุด สามารถแสดงสีได้อย่างน้อย 16 สี

5. มีช่อง ISA อย่างน้อย 1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของ[illegible] ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในด้านการค้า

6. ระบบปฏิบัติการ Windows 95หรือสูงกว่า หรือระบบปฏิบัติการ Windows NT Version 4.0 หรือสูงกว่า

7. คีย์บอร์ด

8. ฟลอปปี้ดิสค์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้วอย่างน้อย 1 ช่อง

9. หากต้องการแก้ไขซอร์สโค้ดของโปรแกรมความจะมีโปรแกรม Visual BasicVersion6

## การติดตั้งโปรแกรม

ในการติดตั้งใช้แผ่นฟลอปปี้ดิสค์ขนาด 3.5 นิ้ว ซึ่งบรรจุโปรแกรมจำนวน 1 แผ่น มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. ต่อสายสัญญาณจากเครื่องรับเข้าการ์ดอินเตอร์เฟส

2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

3. ใส่แผ่นฟลอปปี้ดิสค์ที่มีชื่อไฟล์ Wind.Exe เข้าดิสค์ไดร์ขนาด 3.2 นิ้ว

4. จากนั้นเข้าที่ Start Menu เลือก Run คลิกเข้าไปแล้วพิมพ์ A:\wind.exe กด OK จะเข้าสู่ WinZip Self-Extrector กด Unzip เมื่อเสร็จแล้วจะแสดงไดอะล็อกบ็อก กด OK จากนั้นมาที่ ที่ Start Menu เลือก Wind เพื่อทดสอบโปรแกรม

5. นำแผ่นดิสค์ออกจากดิสไดรฟ์

## การใช้งานเบื้องต้น

การเข้าสู่โปรแกรมคลิก Start Menu เลือก Wind จะปรากฏหน้าจอดังรูป

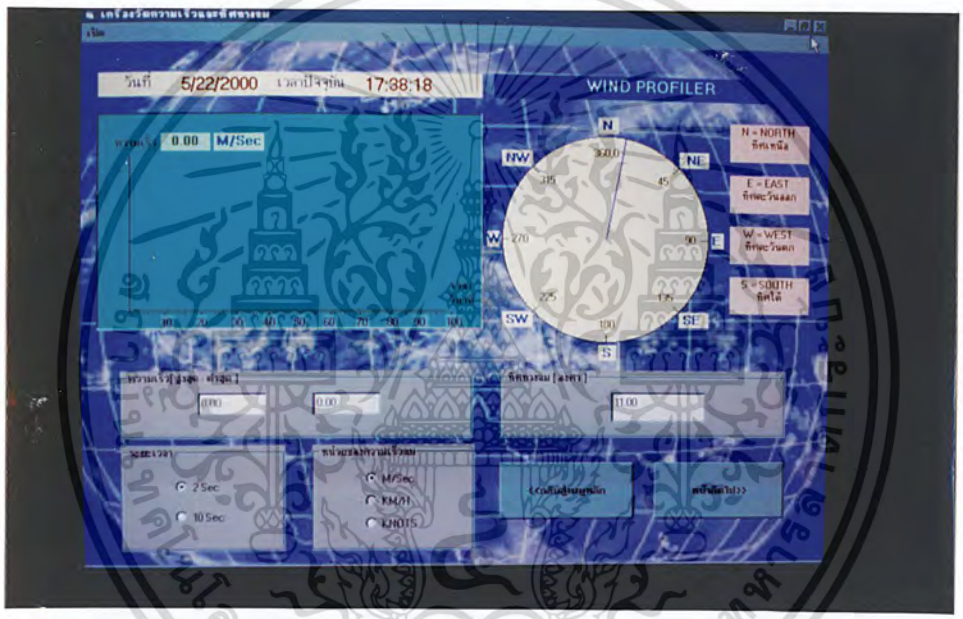
เอกสารนี้ ... ยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าก ... มีการนำไปใช้

## ปุ่มควบคุม

ปุ่มควบคุมมีอยู่ 3 รายการ

1. ความเร็ว/ทิศทางลม : มีไว้สำหรับการเรียกดูฟอร์มความเร็วลมและทิศทางลม
2. ดูข้อมูล : มีไว้สำหรับการเรียกดูข้อมูลความเร็วลมตาม วัน เดือน ปี ที่ต้องการ
3. จบการทำงาน : เป็นการออกจากโปรแกรม

## การเรียกดูความเร็วและทิศทางลม




## การกำหนดค่าระยะเวลา

ในเฟรมของระยะเวลาจะมี 2 รายการ

1. 2 Sec : มีไว้สำหรับเลือกระยะเวลาที่จะแสดงการหาค่าความเร็วสูงสุดและต่ำสุดในทุก 2 วินาที
2. 10 Sec : มีไว้สำหรับเลือกระยะเวลาที่จะแสดงการหาค่าความเร็วสูงสุดและต่ำสุดในทุก 10 วินาที

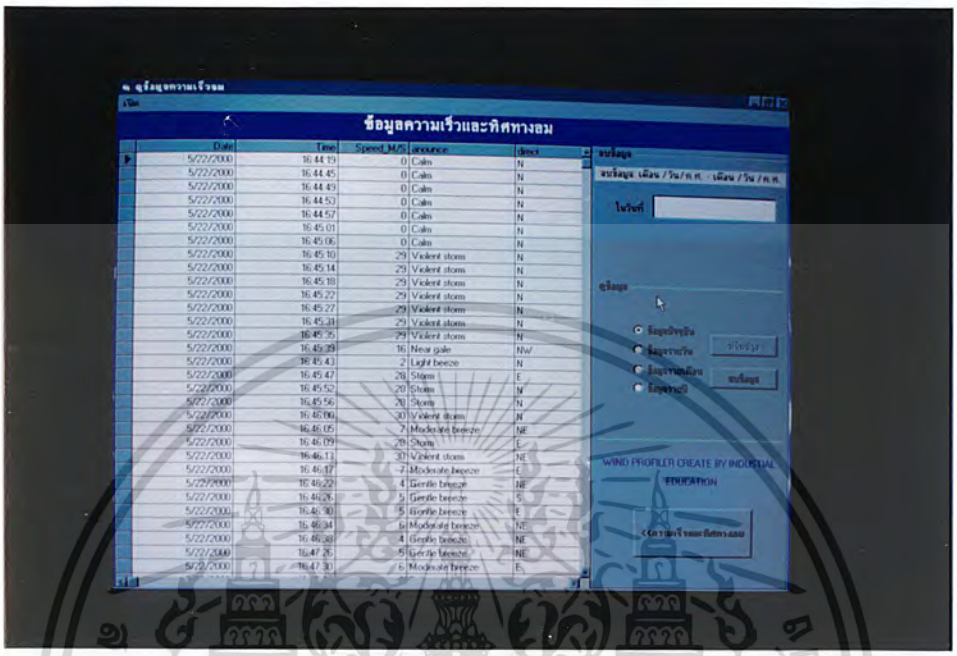
## การกำหนดหน่วยความเร็วลม

ในเฟรมของหน่วยความเร็วลมจะมี 3 รายการ

1. M/Sec : ไว้สำหรับการกำหนดหน่วยของความเร็วลมมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
2. KM/H : ไว้สำหรับการกำหนดหน่วยของความเร็วลมมีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. KNOTS : ไว้สำหรับการกำหนดหน่วยของความเร็วลมมีหน่วยเป็น น็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเรียกดูข้อมูล




### ดูข้อมูล

ในเฟรมดูข้อมูลจะประกอบด้วย 3 รายการ

1. ข้อมูลปัจจุบัน : เป็นการดูข้อมูลความเร็วลมในเวลาปัจจุบันทุก 10 วินาทีดูได้ทันทีโดยเลือกปุ่มข้อมูลปัจจุบัน และสามารถลบข้อความซึ่งจะต้องระบุ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการลบข้อมูลแล้วกด ปุ่ม OK

2. ข้อมูลรายวัน : เป็นการดูข้อมูลความเร็วลมของแต่ละวันโดยจะต้องใส่ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการดูข้อมูลแล้วกดปุ่ม OK ถ้ากด CANCEL จะแสดงข้อมูลทั้งหมด และสามารถลบข้อมูลซึ่งจะต้องระบุ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการลบข้อมูลแล้วกด ปุ่ม OK

3. ข้อมูลรายเดือน : เป็นการดูข้อมูลความเร็วลมที่เฉลี่ยข้อมูลความเร็วลมรายวันเป็นรายเดือน โดยจะต้องกำหนดเดือนที่ต้องการดูข้อมูลแล้วกดปุ่ม OK ถ้ากด CANCEL จะแสดงข้อมูลทั้งหมด และสามารถลบข้อมูลซึ่งจะต้องระบุ เดือน/วัน/ปี ที่ต้องการลบข้อมูลแล้วกด ปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ช
# การสอบเทียบเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม
# กับกรมอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

## *Calibration Certificate*

## ตารางแสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดลม

TESTED ANEMOMETER : Wind Profiler Via Radio System : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

UNIT OF MEASUREMENT : m/sec

REFERENCE ANEMOMETER : Thermal Anemometer 642 S/N 91563 ได้รับการรับรองจาก WMO

: Micromanometer FCO 14 S/N FC 9310119 ได้รับการรับรองจาก WMO

**DATE :** 09 May 2000

| FAN | 642 | FCO14 | | REFERENCE | | TESTED ANEMOMETER | | | | ROOM CONDITION | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SPEED | SPEED | SPEED | HEAD | SPEED | VOLTAGE | SPEED | | VOLTAGE | | PRESSURE | TEMPERATURE | | Hum. |
| rpm | m/sec | m/sec | mm.Wc | m/sec | mV | m/sec | Error | mV | Error | hPa | dry °C | wet °C | % R.H. |
| 60 | 1.00 | | | 1.00 | | 0.00 | - | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 75 | 2.00 | | | 2.00 | | 2.00 | 0.00 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 105 | 3.00 | | | 3.00 | | 3.08 | -0.08 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 138 | 4.00 | | | 4.00 | | 4.07 | -0.07 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 168 | 5.00 | | | 5.00 | | 5.00 | 0.00 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 198 | 6.00 | | | 6.00 | | 6.01 | -0.01 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 236 | 7.00 | | | 7.00 | | 7.02 | -0.02 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 272 | 8.00 | | | 8.00 | | 8.07 | -0.07 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 298 | 9.00 | | | 9.00 | | 8.67 | 0.33 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 331 | 10.00 | | | 10.00 | | 9.67 | 0.33 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 364 | 11.00 | | | 11.00 | | 10.67 | 0.33 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 400 | 12.00 | | | 12.00 | | 11.67 | 0.33 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 433 | 13.00 | | | 13.00 | | 13.00 | 0.00 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 470 | 14.00 | | | 14.00 | | 14.00 | 0.00 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |
| 801 | 15.00 | | | 15.00 | | 15.00 | 0.00 | | - | 1008.00 | 27.0 | 20.0 | 49.9 |

ลงชื่อ.....ผู้สอบเทียบ

( นายสนธยา ทองสิมา )

นายช่างไฟฟ้า 3

งานตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องมือ

ฝ่ายมาตรฐานเครื่องมือ

กองช่างเครื่องมือ

โทร. 396-0156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


1) ปริญานิพนธ์, กลยุทธ์ พิมแย้ม และสันติ สถิตวรรณะ. **"ระบบตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าในระบบสื่อสาร"** ปีการศึกษา 2539, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2) ยืน ภู่วรวรรณ. **"วารสารเซมิคอนดัดเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 77"** , 2530
3) สไว สุวรรณพงศ์. **"คู่มือเครื่องตรวจอากาศ"**, กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักนายกรัฐมนตรี
4) อภินันท์ มัณยานนท์. **"การสื่อสารเส้นใยแสง"**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์ | นายไกรยศ แซ่เจี๋ย |
| วันเดือนปีเกิด | 13 กันยายน พ.ศ. 2521 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดพังงา |
| ภูมิลำเนาเดิม | 118 หมู่ 13 ต.โคกกลอย อ.ตะกั่วทุ่ง<br>จังหวัดพังงา 82140 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 118 หมู่ 13 ต.โคกกลอย อ.ตะกั่วทุ่ง<br>จังหวัดพังงา 82140 |
| โทรศัพท์ | 076-581855 |

**ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| ประถมศึกษา | โรงเรียนโคกกลอยวิทยา<br>จังหวัดพังงา |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนทุ่งโพธิ์วิทยา<br>จังหวัดพังงา |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) | วิทยาลัยเทคนิคพังงา |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) | วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร<br>ลาดกระบัง |
| คติพจน์ | “จงทำอย่างใจคิด ถึงถูกผิดก็ชีวิตเรา” |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์ | นายนันทวัฒน์ จ้างมีศิลป์ |
| วันเดือนปีเกิด | 28 มีนาคม พ.ศ. 2521 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดพังงา |
| ภูมิลำเนาเดิม | 4/3 หมู่ 4 ต.ท่านา อ.กะปง<br>จังหวัดพังงา 82170 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 42/5 หมู่ 7 ต.ศรีสุนทร อ.ถลาง<br>จังหวัดภูเก็ต 83110 |
| โทรศัพท์ | 076-272536 |

**ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| ประถมศึกษา | โรงเรียนบ้านปากพู่รองหงษ์ทองรัฐรังสรรค์<br>จังหวัดพังงา |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนตะกั่วป่าเสนานุกูล<br>จังหวัดพังงา |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) | วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) | วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร<br>ลาดกระบัง |
| คติพจน์ | "เวลาทุกนาทีมีค่า จงอย่าทำตนให้ไร้ค่าตาม<br>เวลาที่เสียไป" |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์ | นางสาวนันทิยา จันทร์ประดับ |
| วันเดือนปีเกิด | 4 ธันวาคม พ.ศ. 2520 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดอ่างทอง |
| ภูมิลำเนาเดิม | 4/1 หมู่ 3 ต.ตรีณรงค์ อ.ไชโย<br>จังหวัดอ่างทอง 14140 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 4/1 หมู่ 3 ต.ตรีณรงค์ อ.ไชโย<br>จังหวัดอ่างทอง 14140 |
| โทรศัพท์ | 01-6660767 |

**ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| ประถมศึกษา | โรงเรียนวัดบ้านป่า<br>จังหวัดอ่างทอง |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนราชสถิตวิทยา<br>จังหวัดอ่างทอง |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) | วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) | วิทยาลัยเทคนิคอ่าทอง |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร<br>ลาดกระบัง |
| คติพจน์ | “ชีวิตเรา เรากำหนดเอง” |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้แต่ง

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์ | นายเริงชัย หนูจิตต์ |
| วันเดือนปีเกิด | 26 มกราคม พ.ศ. 2520 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดตรัง |
| ภูมิลำเนาเดิม | 2 หมู่ 7 ต.เกาะเปียะ อ.ย่านตาขาว<br>จังหวัดตรัง 92140 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 2 หมู่ 7 ต.เกาะเปียะ อ.ย่านตาขาว<br>จังหวัดตรัง 92140 |
| โทรศัพท์ | - |

**ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| ประถมศึกษา | โรงเรียนวัดดิตถาราม<br>จังหวัดตรัง |
| มัธยมศึกษาตอนต้น | โรงเรียนทุ่งโพธิ์วิทยา<br>จังหวัดพังงา |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) | วิทยาลัยเทคนิคพังงา |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) | วิทยาลัยเทคนิคพังงา |
| ปริญญาตรี | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร<br>ลาดกระบัง |
| คติพจน์ | “คำๆ นั้นสำคัญไฉน หากไม่กระทำ” |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้