

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์ วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาโท

ปริญญาโท เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ

Rain Gauge via FM Radio System

- ชื่อนักศึกษา
1. นายกิตติศักดิ์ โชคสุจริต รหัสประจำตัว 39031101
  2. นายนัทธี ศุภพิโรจน์ รหัสประจำตัว 39031115
  3. นางสาวมยุรี เข้มกลัด รหัสประจำตัว 39031123
  4. นายวุฒินันท์ สุวรรณเจริญ รหัสประจำตัว 39031132

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้คุมปริญญาโท

1. ดร.สุรสิทธิ์ ราษฎร์
2. ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม
3. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์



คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. ดร.สุรสิทธิ์ ราษฎร์	
2. ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม	
3. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
4. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ	
5. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชนฐพิทักษ์สกุล	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 9 เมษายน 2541 เวลา 17.00 น. ถึง 20.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ว/พ.  
ก 675ค

เลขหมาย..... 2540

เลขทะเบียน..... 30148

วัน, เดือน, ปี 8 ส.ย. 2541



ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

คณบดี ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ฉบับนี้จัดทำขึ้นเมื่อวันที่ 7 เดือน 11 พ.ศ. 4/

# ปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ

Rain Gauge via FM Radio System



นายกิตติศักดิ์ โชคสุจริต  
นายนัทธี สุภพิโรจน์  
นางสาวมยุรี เข้มกลัด  
นายวุฒินันท์ สุวรรณเจริญ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

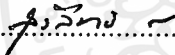
เรื่อง เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ


Rain Gauge via FM Radio System


### ผู้จัดทำ

1. นายกิตติศักดิ์ โชคสุจริต
2. นายনীทธี ศุภพิโรจน์
3. นางสาวมยุรี เข้มกลัด
4. นายวุฒินันท์ สุวรรณเจริญ

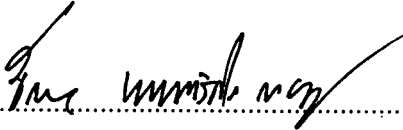
### อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....   
(ดร.สุรสิทธิ์ รัตรี)

ลงนาม.....   
(ผศ. วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....   
(อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

### หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....   
(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสติน ญ อุชฺชา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ

Rain Gauge via FM Radio System

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเรียนรู้หลักการวัดปริมาณน้ำฝน การสื่อสารข้อมูลระยะไกล การเก็บ และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์
2. เพื่อออกแบบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ
3. เพื่อสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ
4. เพื่อทดสอบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
5. เพื่อนำเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ผ่านการทดสอบ ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปใช้งานแทนระบบเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบหลักการวัดปริมาณน้ำฝน การสื่อสารข้อมูลระยะไกล การเก็บ และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์
2. มีทักษะในการออกแบบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ
3. สามารถสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุได้
4. ผลการทดสอบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน
5. คาดว่าเครื่องที่ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไขแล้วจะสามารถนำไปใช้งานแทนระบบเดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ

นายกิตติศักดิ์	โชคสุจริต
นายหน้ทที	ศุภพีโรจน์
นางสาวมยุรี	เข้มกลัด
นายวุฒินันท์	สุวรรณเจริญ

### อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุรสิทธิ์	ราตรี
ผศ. วิสุทธิ์	อชิพรธรรม
อาจารย์พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์
ปีการศึกษา 2540	

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุในแบบเอฟเอ็มย่านความถี่ 80 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยนำสัญญาณดิจิทัลจากวงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวด้วยสวิทช์ตัวนำ นำมามอดูเลตแบบเอฟเอสเคแล้วแพร่กระจายสัญญาณที่ได้ด้วยคลื่นวิทยุแบบเอฟเอ็มไปยังภาครับ และทำการดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเคได้ข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อป้อนให้ชุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป เพื่อไม่ให้เครื่องส่งทำงานตลอดเวลา จึงนำวงจรตรวจจับความชื้นมาใช้ในการควบคุมวงจรเครื่องส่ง โดยทำงานเมื่อมีฝนมาสัมผัสกับตัวตรวจจับความชื้น ทำให้เครื่องส่งทำงาน และเครื่องส่งหยุดทำงานเมื่อตัวตรวจจับความชื้นแห้งสนิท

## Rain Gauge via FM Radio System

MR.KITTISAK	CHOKSUJARIT
MR.NUTTEE	SUTPIROAT
MISS MAYUREE	KHEMKLAD
MR.WUTTINUN	SUWANNACHAROEN

### ADVISORS

DR.SURASIT	RATREE
Assist. Prof. WISUIT	ATIPORNTUM
MR.PEERAWUT	SUWANJAN

1997

### ABSTRACT

This thesis presents the project of rain gauge via FM radio system in 80 MHz range. The digital signals take from lead-switch sensor, modulating in FSK, and radiating it to receiver. Then, it is demodulated by FSK demodulation. The digital signal, which came from demodulation circuit is sent to computer by direct interface circuit to estimate quantity of rain. In order to save power in circuit, it uses moisture sensor to on or off transmitter, so it will work when the rain touch moisture sensor cause transmitter on, and transmitter off when the moisture sensor is dry.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความอนุเคราะห์ของ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้กรุณา ให้คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ คุณอรุณฤทธิ์ นิ่มเสมอ หัวหน้างานตรวจสอบและ สอบเทียบเครื่องมือ รวมถึงเจ้าหน้าที่ของกรมอุตุนิยมวิทยาทุกท่าน ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ใน การสร้าง และปรับแต่งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน คุณสันติ สถิตวรธนะ ผู้ให้คำปรึกษาด้าน โปรแกรม ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ให้การเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทุกอย่างที่ เกี่ยวกับการศึกษาของลูกๆ ทุกคน จนลูกๆ ได้มีโอกาสกระทำในสิ่งที่ถูกต้องเสมอมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IV

### สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญาโท	1
1.2 ชี้แจงความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 การวัดหยาดน้ำฟ้า	3
2.1.1 ข้อกำหนดโดยทั่วไป	3
2.1.2 การวัดจำนวนน้ำฝน	3
2.1.3 เครื่องวัดฝนแบบจดบันทึกที่รายงานได้ด้วยตัวเอง	9
2.2 วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ	14
2.2.1 วงจรขยายอาร์เอฟ	14
2.2.2 วงจรมิกเซอร์	15
2.2.3 วงจรขยายไอเอฟ	16
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	23
3.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	23
3.2 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ	23
3.2.1 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2.2 วงจรหน่วงเวลา	24
3.2.3 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค	25
3.2.4 วงจรตรวจจับความถี่	26
3.2.5 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม	27
3.3 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ	29
3.3.1 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม	29
3.3.2 วงจรคีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค	30
3.4 วงจรรวมภาคส่ง และรับสัญญาณวิทยุ	32
3.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรม	33
<b>บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง</b>	<b>35</b>
4.1 บทนำ	35
4.2 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค	35
4.2.1 การทดลอง	35
4.2.2 ผลการทดลอง	36
4.3 วงจรคีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค	37
4.3.1 การทดลอง	37
4.3.2 ผลการทดลอง	37
4.4 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม	38
4.4.1 การทดลอง	38
4.4.2 ผลการทดลอง	39
4.5 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม	40
4.5.1 การทดลอง	40
4.5.2 ผลการทดลอง	40
4.6 วงจรตรวจจับความถี่	42

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.6.1 การทดลอง	43
4.6.2 ผลการทดลอง	43
4.7 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน	43
4.7.1 การทดลอง	44
4.7.2 ผลการทดลอง	44
4.8 วงจรหน่วงเวลา	44
4.8.1 การทดลอง	45
4.8.2 ผลการทดลอง	45
4.9 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	45
4.9.1 การทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	46
4.9.2 การสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	49
<b>บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา</b>	<b>56</b>
5.1 บทสรุป	56
5.2 ปัญหา	57
5.3 แนวทางการแก้ไข	57
5.4 แนวทางการพัฒนา	58
ภาคผนวก ก รูปต้นแบบ	59
ภาคผนวก ข โปรแกรมการทำงาน	65
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้	101
ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์	111
ภาคผนวก จ วงจรพิมพ์	116
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์	122
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>161</b>

## VII

### สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	47
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ระยะทางต่างๆ	48
ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนเล็กน้อย	51
ตารางที่ 4.4 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนปานกลาง	52
ตารางที่ 4.5 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนหนัก	53
ตารางที่ 4.6 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนหนักมาก	54



## VIII

### สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องวัดฝนแบบแก้วดวง	7
รูปที่ 2.2 แก้วดวงน้ำฝนแบบต่างๆ	7
รูปที่ 2.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด	9
รูปที่ 2.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบไซฟอน	10
รูปที่ 2.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tilting Bucket	11
รูปที่ 2.6 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Weighing Type	12
รูปที่ 2.7 เครื่องวัดความแรงของฝนแบบยาร์ดี้	13
รูปที่ 2.8 วงจรขยายอาร์เอฟที่ใช้ทรานซิสเตอร์	15
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่ง	16
รูปที่ 2.10 วงจรขยายไอเอฟที่ใช้หม้อแปลงจูนระหว่างภาค	17
รูปที่ 2.11 วงจรขยายไอเอฟแบบที่ใช้คริสตอลฟิลเตอร์ควบคุมคุณสมบัติ การเลือกรับสัญญาณ	17
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์	18
รูปที่ 2.13 วงจรผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ	19
รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่มีกระแสเอมิเตอร์ ในค่าต่างๆ	20
รูปที่ 2.15 วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติต่างๆ ในเครื่องรับ ชนิดซูเปอร์เฮเทอโรไดน์	21
รูปที่ 2.16 ลักษณะการควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับโดยวงจรควบคุม อัตราขยายอัตโนมัติ	22
รูปที่ 3.1 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน	23
รูปที่ 3.2 วงจรหน่วงเวลาโดยใช้ IC 555	24
รูปที่ 3.3 วงจรมอดูเลตแบบเอพเอสเค	26

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับความชื้น	27
รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม	28
รูปที่ 3.6 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม	29
รูปที่ 3.7 วงจรคีมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	30
รูปที่ 3.8 วงจรรวมภาคส่งสัญญาณวิทยุ	32
รูปที่ 3.9 วงจรรวมภาครับสัญญาณวิทยุ	33
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรม	34
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	36
รูปที่ 4.2 การต่อวงจรเพื่อทดลองการใช้งานวงจรมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	37
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	38
รูปที่ 4.4 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม	39
รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณความถี่ที่เครื่องส่งส่งออกมา ณ ความถี่ 80 เมกกะเฮิรตซ์	39
รูปที่ 4.6 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม	40
รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	
(ก) สัญญาณอินพุตมีอัตราบิต 5 บิตต่อวินาที	41
(ข) สัญญาณอินพุตมีอัตราบิต 20 บิตต่อวินาที	41
(ค) สัญญาณอินพุตมีอัตราบิต 96.7 บิตต่อวินาที	42
รูปที่ 4.8 วงจรตรวจจับความชื้น	42
รูปที่ 4.9 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน	43
รูปที่ 4.10 วงจรหน่วงเวลา	44
รูปที่ 4.11 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ	45

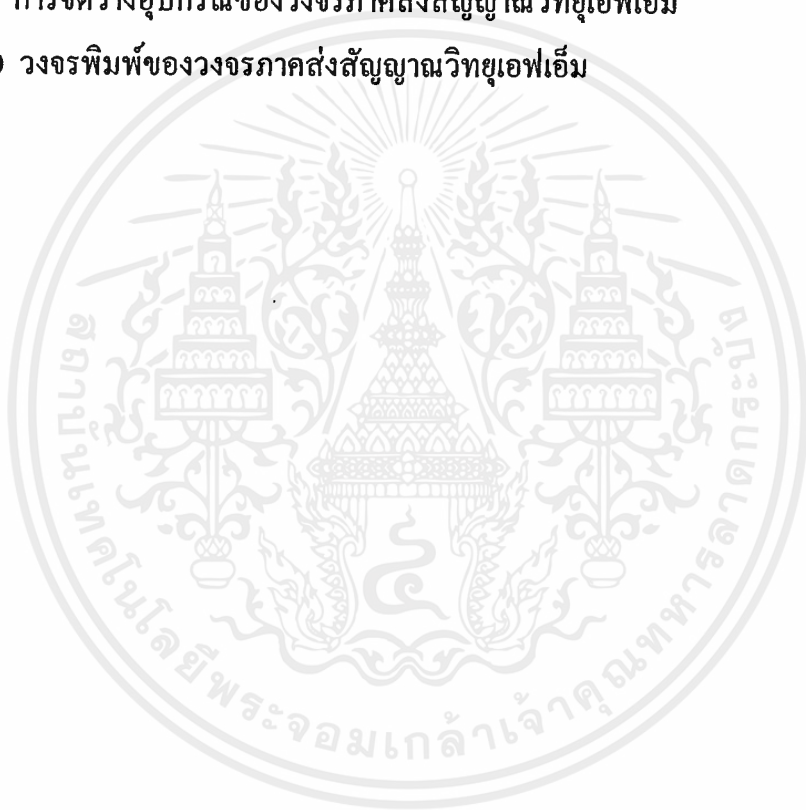
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.12 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	46
รูปที่ 4.13 การทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO	49
รูปที่ 4.14 การสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น	50
รูปที่ 4.15 ทดลองรับสัญญาณจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น	51
รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดลองของตารางที่ 1 และ 2	55
รูปที่ 4.17 กราฟผลการทดลองของตารางที่ 3 และ 4	55
รูปที่ ก.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และชุดเครื่องส่งวิทยุ	60
รูปที่ ก.2 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และเครื่องส่งวิทยุมองจากด้านบน	60
รูปที่ ก.3 กรวยของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว	61
รูปที่ ก.4 กระเบื้องของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	61
รูปที่ ก.5 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	62
รูปที่ ก.6 วงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	62
รูปที่ ก.7 วงจรรวมภาคส่งสัญญาณ	63
รูปที่ ก.8 เครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	63
รูปที่ ก.9 วงจรเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	64
รูปที่ ก.10 วงจรภายในของเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	64
รูปที่ จ.1 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	117
รูปที่ จ.2 วงจรพิมพ์ของวงจรเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	117
รูปที่ จ.3 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรภาครับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	118
รูปที่ จ.4 วงจรพิมพ์ของวงจรภาครับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	118
รูปที่ จ.5 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรคีมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	119
รูปที่ จ.6 วงจรพิมพ์ของวงจรคีมอตุเลตแบบเอฟเอสเค	119

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ จ. 7 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค	120
รูปที่ จ. 8 วงจรพิมพ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค	120
รูปที่ จ. 9 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรภาคส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	121
รูปที่ จ.10 วงจรพิมพ์ของวงจรภาคส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม	121



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่หนึ่งพื้นที่ใดนั้นจะต้องมีเครื่องมือที่คอยตรวจจับ หรือวัดปริมาณของน้ำฝนที่ตกในพื้นที่นั้น และนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดนี้มาประมวลผลเพื่อพยากรณ์ แต่เนื่องจากการวัดปริมาณน้ำฝนในปัจจุบัน ยังใช้แรงงานคนในการรวบรวมข้อมูลโดยใช้บีกเกอร์ในการตวงน้ำฝนในแต่ละครั้งนำมาบันทึกเวลา และข้อมูลซึ่งการบันทึกข้อมูลจะห่างกันครั้งละ 1-3 ชั่วโมง จากข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่หายขาด เพราะจะทราบแค่ข้อมูล 1-3 ชั่วโมงต่อครั้งเท่านั้น และเมื่อนำมาประมวลผลจะเกิดการผิดพลาดไม่มีความเที่ยงตรงเท่าที่ควร จากสาเหตุนี้จึงได้มีความคิดที่จะสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบนี้ขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวก และลดปัญหาการใช้แรงงานคนที่ต้องคอยเดินเก็บข้อมูลเมื่อเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนตั้งอยู่ที่พื้นที่ไกลๆ แล้วข้อมูลที่ได้จะมีความเที่ยงตรง เพราะจะแสดงผลออกมาเป็นกราฟทุกๆ 10 วินาที อีกทั้งยังสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถประมวลผลได้อย่างถูกต้อง

### 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังต่อไปนี้

1. สามารถวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุเอฟเอ็ม ความถี่ 80 เมกกะเฮิรตซ์ กำลังไฟฟ้า 3 วัตต์ ระยะทางไม่เกิน 1 กิโลเมตร
2. สามารถวัดปริมาณน้ำฝนได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน
3. สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่สามารถนำมาประมวลผลได้
4. ใช้วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค ที่มีความเร็วในการส่ง 300 บิตต่อวินาที โดยมีค่าความถี่  $F_m = 2025$  เฮิรตซ์ และ  $F_s = 2225$  เฮิรตซ์
5. สามารถแสดงผลในรูปของกราฟแท่ง และตัวเลขเป็นข้อมูลรายวัน และรายเดือน

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญญาสิทธิบัตรฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษา และทำความเข้าใจ ในแต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ความเข้าใจที่เป็นพื้นฐานเสียก่อน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานจริงต่อไป

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน กล่าวถึงการออกแบบ และการสร้างด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ รวมทั้งหลักการในส่วนต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้ผู้อ่านมีความเข้าใจการทำงานโดยรวมของโครงการนี้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ของโครงการนี้ เพื่อตรวจสอบว่าโครงการนี้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา เป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนวทางในการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโปรแกรม และรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จัดทำโครงการดังนี้

ภาคผนวก ก รูปต้นแบบ

ภาคผนวก ข โปรแกรมการทำงาน

ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ง รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก จ วงจรพิมพ์

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดของอุปกรณ์

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และหลักการ

#### 2.1 การวัดปริมาณน้ำฝน

##### 2.1.1 ข้อกำหนดโดยทั่วไป

จำนวนทั้งหมดของปริมาณน้ำฝน ซึ่งตกลงมาจากบรรยากาศสู่พื้นผิว โลกนั้นใช้วัดเป็นความลึก หรือความหนาของปริมาณน้ำฝนบนพื้นระดับเรียบ โดยสมมุติว่าปริมาณน้ำฝนนั้นไม่มีการระเหย หรือซึมออกไป และถ้าเป็นปริมาณหิมะ หรือน้ำแข็งจะต้องไม่ละลายเสียก่อน และการวัดปริมาณหิมะต้องวัดเป็นความลึกของหิมะที่ตกใหม่ๆ บนพื้นระดับเรียบ สำหรับประเทศไทยเราไม่เคยปรากฏว่ามีหิมะตกเลย ส่วนลูกเห็บอาจมีบ้างเป็นครั้งคราว โดยมากเมื่อเกิดพายุฟ้าคะนองอย่างแรง ดังนั้น จึงต้องการวัดแต่ปริมาณน้ำฝนอย่างเดียว และโดยที่ประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรม ปริมาณน้ำฝนย่อมมีความสำคัญมาก

ดังที่กล่าวแล้วว่า การวัดปริมาณน้ำฝนนั้นใช้วัดเป็นความลึกของน้ำฝนที่ตกลงมาในเนื้อที่จำกัดอันหนึ่ง โดยคิดว่าน้ำฝนนั้นไม่มีการระเหย หรือไหลซึมหนีไปไหน โดยที่รู้เนื้อที่ของปากถัง ดังนั้น เมื่อต้องการวัดความสูง (หรือความลึก) ของน้ำฝน จึงสามารถใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัดความสูงได้ หรือจะทำเป็นแก้วสำหรับตวงน้ำฝนต่างหากก็ได้

หน่วยที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ใช้วัดเป็นมิลลิเมตร การอ่านค่าของปริมาณน้ำฝนนั้นต้องวัดให้ได้ใกล้เคียงถึง 0.2 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณน้ำฝน 10 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า แต่ถ้าปริมาณฝนมากกว่านี้ ขอมให้ค่าใกล้เคียง 2 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฝนทั้งหมด ในบางประเทศใช้หน่วยที่วัดเป็นนิ้ว ซึ่งเทียบค่าได้ 1 นิ้วเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร

##### 2.1.2 การวัดปริมาณน้ำฝน

###### 1. เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge)

เริ่มแรกในการวัดปริมาณน้ำฝนนั้น Castelli ได้เป็นผู้คิดสร้างเครื่องวัดขึ้นในประเทศอิตาลีเมื่อปี ค.ศ. 1639 ตัวเครื่องประกอบด้วยแก้วทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางปากกระบอกประมาณ 5 นิ้ว และลึก 9 นิ้ว ต่อมาจึงได้มีการวิวัฒนาการเรื่อยมาจนถึงขนาดให้จดรายงานได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยตัวเอง เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนธรรมดาที่ใช้เป็นประจำวันนั้นเป็นรูปทรงกระบอก และมีกรวยต่อลงไปยังที่รองรับภายใน ขนาดของถังรับน้ำฝนภายนอกนี้ไม่สำคัญ แต่เนื้อที่ของบริเวณที่รับน้ำควรจะอยู่ระหว่าง 200 ถึง 500 ตารางเซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของถังรองรับน้ำฝนภายในควรเท่ากับ  $1/10$  ของเส้นผ่าศูนย์กลางของถังภายนอก โดยทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปากถังภายนอกเป็น 5 นิ้ว, 6 นิ้ว และ 8 นิ้ว อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้เป็นประจำวันนั้นจะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่สำคัญดังนี้

- ขอบของปากถังด้านนอกต้องคม โดยทำให้ด้านในเป็นแนวคิงตั้งตรง ส่วนด้านนอกลาดเอียงลงเป็นแนวชันมาก
- ต้องรู้เนื้อที่ของช่องปากถัง และเนื้อที่นี้จะต้องคงที่อยู่ตลอดไป
- ถังภายนอกต้องออกแบบให้กันการกระเซ็นของน้ำฝนทั้งเข้า และออก ซึ่งทำได้โดยการทำให้ตัวถังเป็นแนวคิงลึกลงไปพอสมควร และต้องมีแนวลาดเอียงของกรวยอย่างน้อย 45 องศา
- ถังรองรับภายในควรทำให้เป็นคอแคบๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำฝนระเหยออกไปเนื่องจากการแพร่กระจาย

## 2. การวัดฝน

การวัดฝนตามวิธีธรรมดาโดยทั่วไปนั้นมีอยู่สองวิธี คือแบบใช้แก้วดวง และแบบใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด แก้วที่ใช้ดวงต้องเป็นแก้วใส และมีสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวต่ำ และต้องบอกให้ชัดเจนด้วยว่าใช้กับเครื่องวัดฝนขนาดใด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแก้วดวงต้องไม่เกินกว่าประมาณ  $1/3$  ของปากถังของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และถ้าจะให้ดีแล้วควรให้เล็กกว่าขนาดดังกล่าว

สเกลที่แบ่งไว้ที่แก้วดวงนั้นต้องขีดให้ชัดเจน โดยทั่วไปขีดไว้ทุกๆ 0.2 มิลลิเมตร และเส้นจำนวนเต็มของสเกลต้องเขียนเลขกำกับไว้ด้วย เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุด ควรขีดสเกลให้อ่านได้ถึง 0.1 มิลลิเมตร เมื่อจำนวนฝนเกินกว่า 2 มิลลิเมตร ควรจะอ่านไม่ให้อัตราผิดพลาดเกินกว่า  $\pm 0.05$  มิลลิเมตร และเมื่อจำนวนฝนน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ควรจะอ่านไม่ให้อัตราผิดพลาดเกินกว่า  $\pm 0.02$  มิลลิเมตร

เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำจริงๆ เมื่อมีจำนวนฝนน้อย จึงทำกระบอกแก้วดวง  
 ตอนกันสุดให้เรียวเล็กลง ในการตรวจทุกครั้งต้องถือแก้วดวงให้ได้แนวดิ่งจริงๆ เพื่อระดับ  
 น้ำในแก้วดวงจะได้อยู่ในแนวนอนตามขีดของสเกล ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอัตราผิดพลาด  
 เนื่องจากการเหลื่อม (Parallax errors) และควรขีดสเกลเฉพาะเลขหลักใหญ่ซ้ำอีกทางด้าน  
 ตรงกันข้ามด้วย

ไม้บรรทัดหยั่งวัดนั้นควรทำด้วยไม้สีดา (Cedar wood) หรือวัสดุที่เหมาะสมอื่น เช่น  
 ไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ดูดน้ำ ขีดสเกลนั้นควรทำไว้อย่างน้อยทุกๆ 10 มิลลิเมตร  
 อัตราผิดพลาดสูงสุดของขีดสเกลต้องไม่เกิน  $\pm 0.5$  มิลลิเมตร ในการวัดด้วยไม้บรรทัดหยั่งวัด  
 ควรจะทำการเทียบกับการวัดด้วยกระบอกแก้วดวงด้วยก็จะดี

### 3. การติดตั้งเครื่องมือ

จำนวนน้ำฝนซึ่งเข้าไปในถังนั้นจะขึ้นอยู่กับลม, วิธีการในการติดตั้ง และความสูงของ  
 สิ่งที่อยู่แวดล้อม ค่าที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นเหตุมาจากลม และส่วนใหญ่เป็นลมหวนรอบๆ  
 ถังวัดฝนนั้น โดยถ้ากระแสอากาศไหลขึ้นจะทำให้ได้จำนวนฝนน้อยลง และถ้ากระแสอากาศ  
 ไหลลงจะทำให้ได้จำนวนฝนมากขึ้นกว่าความเป็นจริง หากมีลมหวนรุนแรง และบ่อย  
 จำนวนฝนที่ได้จะยิ่งน้อยกว่าความเป็นจริงยิ่งขึ้น โดยความแรง และความถี่ของลมหวนนี้ขึ้น  
 อยู่กับความแรงของลม, ลักษณะโดยทั่วไปของพื้นดินรอบๆ เครื่องวัด, ความห่าง และความ  
 สูงของสิ่งที่อยู่แวดล้อมเครื่องวัด และความสูงของเครื่องซึ่งตั้งอยู่เหนือระดับพื้นดิน ดังนั้น  
 จึงจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบผลการตรวจของสถานีต่างๆ ด้วยว่าเป็นอย่างไร เมื่อสถานี  
 ต่างๆ เหล่านี้สามารถติดตั้งเครื่องมือเป็นแบบเดียวกัน

ตามมติคณะกรรมการว่าด้วยเครื่องมือตรวจอากาศ และวิธีการตรวจในการประชุม  
 สมัยที่ 3 ณ กรุงนิวเดลี เมื่อปี ค.ศ. 1962 ได้กำหนดให้ติดตั้งเครื่องวัดฝนไว้บนพื้นดินที่มี  
 ระดับเรียบ และสูงจากพื้นดิน 1 เมตร เป็นระดับมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก ห้ามไม่ให้ตั้งบน  
 พื้นทีลาดชัน หรือพื้นที่ยกขึ้นมาอยู่ระดับสูงบนกำแพง หรือบนหลังคา ต้องไม่ติดตั้งในที่  
 ลาดชันมากๆ ทางด้านซึ่งมีลมพัดอยู่เป็นประจำ และระยะห่างของเครื่องต้องอยู่ห่างจาก  
 สิ่งกีดขวางแวดล้อม 4 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางนั้นๆ

ฐานรองรับเครื่องอาจหล่อด้วยปูนซีเมนต์ ทำเป็นโครงรับให้พอดีกับเครื่อง และให้มี  
 รูสำหรับระบายน้ำออก ฐานแทนให้ติดอยู่กับพื้นดิน เพื่อป้องกันการเอนเอียง หรือการล้มของ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเมื่อมีลมแรง พื้นดินต้องเป็นหญ้าที่ตัดสั้น ถ้าไม่สามารถจะติดตั้งในพื้นที่หญ้าสั้นได้ อาจตั้งไว้บนพื้นราบแข็งๆ เช่น ลานคอนกรีต ซึ่งจะทำให้น้ำฝนที่ตกลงมากระเซ็นขึ้นไปเข้าเครื่องรับ ทำให้จำนวนฝนมากกว่าความเป็นจริง

ปากถังจะต้องตั้งให้ได้ระดับนอนจริงๆ ไม่เอียงเอียง โดยจับด้วยระดับน้ำ ในที่ซึ่งมีลมแรงมากๆ มักใช้ขวดพลาสติกกรองรับน้ำฝนภายใน เพราะสะดวกต่อการตรวจวัดจำนวนน้ำฝนขณะที่มีลมแรงๆ

ควรหมั่นตรวจดูถังน้ำภายนอก และภายในเป็นระยะๆ เพราะถ้าหกรั่ว หรือชำรุด จะทำให้ผลการตรวจผิดไป แก้วตวงก็เช่นเดียวกัน เมื่อเห็นสิ่งใดชำรุด ให้รีบจัดการแก้ไข เสียโดยด่วน หรือถ้าแก้ไขไม่ได้ ก็ให้จัดการเปลี่ยนใหม่

ในประเทศที่มีกิจกรรมบ้านชองหนาแน่น เช่น ในยุโรป สหรัฐอเมริกา มักนำเครื่องไปติดตั้งไว้บนหลังคาที่เป็นคานฟ้า แต่การติดตั้งไว้เช่นนี้จำนวนน้ำฝนที่ตรวจได้ย่อมผิดกับที่พื้นดินประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับประเทศไทยยังไม่มีควมจำเป็นเช่นนั้น จึงกำหนดให้ติดตั้งไว้บนพื้นดินทั้งสิ้น

#### 4. เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบแก้วตวง

แบบนี้เป็นที่นิยมกันแพร่หลาย รูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกกลมตลอด หรือบางทีทำให้ก้นผายออก เพื่อให้ตั้งได้มั่นคงยิ่งขึ้น ตัวเครื่องทำด้วยเหล็กเคลือบ หรือทองแดงที่ไม่เป็นสนิมได้ง่าย ตอนขอบบนของเครื่องทำเป็นปากรับน้ำฝนที่มีขนาดแน่นอน (โดยมากนิยมแบบขนาดของปากถัง 8 นิ้ว) ที่ขอบของปากถังต้องทำให้แน่นอนเป็นพิเศษ เพื่อกันไม่ให้บวมเปียว หรือเสียรูปทรงไป ใต้ปากถังลงไปมีปากกรวยสำหรับรับน้ำฝนให้ไหลลงไปทางรูกรวยลงไปยังที่รองรับภายใน หรือทำเป็นขวดพลาสติกซึ่งวางอยู่ในกระบอกอันใหญ่ การที่ ทำเป็นกรวยเช่นนี้ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการระเหยได้ง่าย กระบอกเล็กหรือขวดที่วางอยู่ภายใน ทำไว้ เพื่อรักษาตัวกระบอกภายนอกให้มีความคงทนถาวรใช้ได้นาน เมื่อจะวัดจำนวนน้ำฝน ก็ยกฝาครอบตอนบนออก แล้วยกกระบอกเล็ก หรือขวด เอนน้ำฝนมาตวงด้วยแก้วตวง ซึ่งทำไว้สำหรับใช้เฉพาะแต่ละขนาดกว้างของปากถังนั้นๆ

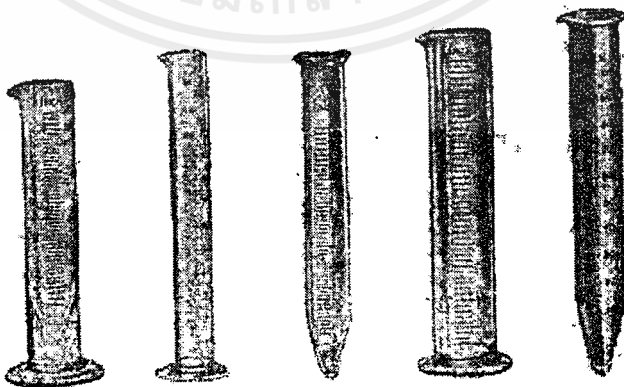
เนื่องจากแก้วตวงเป็นสิ่งบอบบาง อาจแตกได้ง่าย ดังนั้น ต้องระมัดระวังให้ดี โดยให้จับแก้วตวงด้วยนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ให้แก้วตั้งตรงแนวดิ่ง หรือถ้าเป็นแบบที่ตั้งได้ ให้ตั้ง

พื้นราบที่สม่ำเสมอ ระดับสายตาต้องอยู่พอดีกับระดับน้ำในแก้ว และต้องอ่านให้ได้ค่าใกล้  
เคียง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว



รูปที่ 2.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบแก้วตวง

แก้วตวงมีหลายแบบต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สเกลแบ่งไว้เป็นมิลลิเมตร หรือ  
นิ้ว ซึ่งแก้วตวงที่นิยมใช้ และมีความถูกต้องแม่นยำดีกว่าแบบอื่นๆ ได้แก่ แบบก้นสอบ



รูปที่ 2.2 แก้วตวงน้ำฝนแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัดค่าของน้ำฝนได้ 0.05 มิลลิเมตร หรือ 0.005 นิ้ว ให้รายงานค่าเป็น 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว แต่ถ้าอยู่ในสองกรณีที่จะกล่าวต่อไปนี้ ให้รายงานเป็น “trace”

- เมื่อวัดค่าได้ต่ำกว่า 0.05 มิลลิเมตร และพนักงานตรวจแน่ใจว่าภายหลังจากที่ได้ทำการตรวจครั้งที่แล้วมามีฝนตก

- เมื่อไม่มีจำนวนน้ำฝนอยู่ในถังเลย แต่พนักงานตรวจรู้จากการตรวจของตนเองว่ามีฝนตกหลังจากการตรวจครั้งที่แล้ว กรณีนี้อาจเกิดขึ้นได้ในวันที่มีอากาศร้อน และแห้ง โดยที่ถังไม่มีรอยน้ำฝนเลย ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำได้ระเหยไปเสียก่อนที่จะตกลงถึงถังรองรับ การจดยางานในสมุดตรวจ ห้ามไม่ให้จดน้ำฝน 0.05 มิลลิเมตร หรือ 0.005 นิ้ว แต่ให้จด “trace”

ถ้ามีน้ำฝนในถังรองรับมีมาก ให้ตวงหลายๆ ครั้ง โดยตวงครั้งแรกให้น้ำสูงขึ้นมาเกือบถึงปากแก้วตวง จดค่าไว้ แล้วเทน้ำในแก้วใส่เหยือกไว้ จึงทำการตรวจครั้งต่อไปจนหมด แล้วคิดผลรวม ตัวอย่างเช่น  $9.7 + 9.8 + 2.3 = 21.8$  มิลลิเมตร เป็นต้น

ถ้าไม่แน่ใจว่าผลการตรวจจะถูกต้องหรือไม่ ให้ตวงวัดอีกครั้งหนึ่ง โดยนำน้ำในเหยือกที่เก็บไว้มาตวง ถ้าผลที่ได้ตรงกับครั้งแรกแสดงว่าถูก จำไว้ว่าแก้วเป็นสิ่งบอบบางแตกง่าย ดังนั้น จึงต้องระมัดระวังให้ดี นอกจากนั้น ต้องหมั่นเช็ดแก้วให้สะอาดอยู่เสมออย่าให้สกปรกเลอะเทอะ เพราะอาจทำให้ขีดสเกลลบเลือนได้ง่าย และเมื่อไม่ใช้ก็ให้นำแก้วตวงนั้นไปเก็บรักษาไว้ในที่ๆ ปลอดภัย

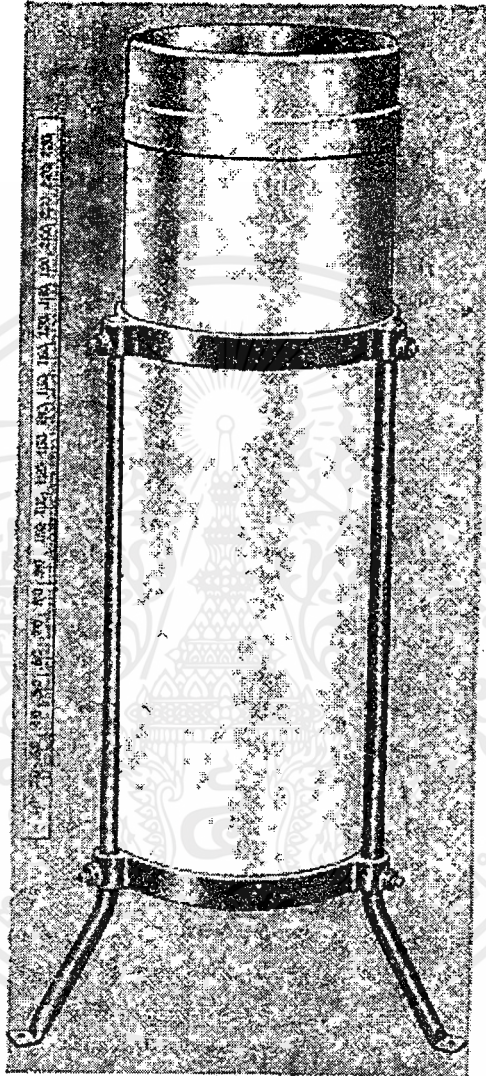
##### 5. เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด

เครื่องแบบนี้นิยมใช้กันมากที่สหรัฐอเมริกา และฟิลิปปินส์ ตัวเครื่อง และส่วนประกอบอื่นๆ คล้ายคลึงกันกับแบบใช้แก้วตวง แต่กระบอกเล็กชั้นในมีขนาดเป็น 1 ใน 10 ของกระบอกชั้นนอก ทั้งนี้เพื่อความมุ่งหมายในการที่จะทำให้ขีดสเกลขยายออกนั่นเอง น้ำฝนตกลงในปากถังของกระบอกชั้นนอกมีกรวยรองรับให้น้ำไหลลงไปยังกระบอกเล็กชั้นในเช่นเดียวกัน

การวัดความสูงของน้ำฝนให้ยกกรวยฝาครอบออก แล้วนำไม้บรรทัดซึ่งทำไว้โดยเฉพาะหยั่งลงไปวัด จะได้ค่าความสูงของน้ำฝนที่ต้องการเป็นนิ้ว หรือมิลลิเมตร

รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นเครื่องวัดฝนแบบใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด ซึ่งตั้งอยู่บนฐานโครงที่ทำไว้พอดีกัน ข้างๆ เป็นไม้บรรทัดหยั่งวัด สเกลแบ่งไว้เป็นมิลลิเมตร และอีกด้านหนึ่งเป็น

นิ้ว และที่ขาสามขาที่มียึดติดกับพื้นฐาน เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องเอนเอียงไป หรือสำหรับยึดเครื่องไว้ขณะที่มีพายุหรือลมแรงๆ



รูปที่ 2.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด

### 2.1.3 เครื่องวัดฝนแบบจดบันทึกรายงานได้ด้วยตัวเอง (Self-Recording Rain Gauge)

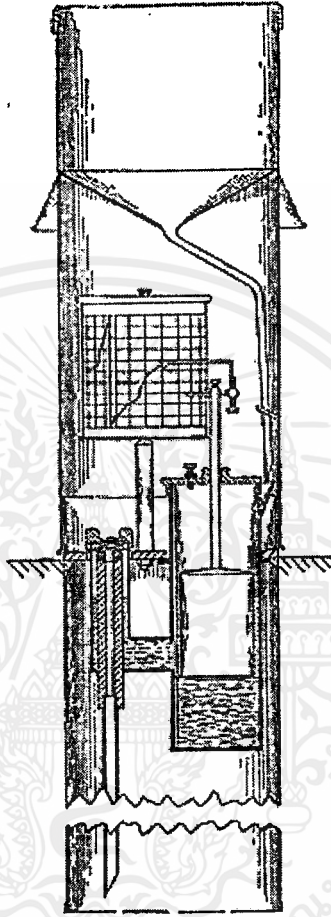
เครื่องวัดฝนแบบจดบันทึกรายงานได้ด้วยตัวเอง แบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆ คือ

#### 1. เครื่องจดบันทึกรายงานแบบใช้วัดจำนวนของน้ำฝน (Rainfall Recorders)

มีอยู่หลายแบบต่างๆ กัน ในที่นี้จะกล่าวเพียง 3 แบบ ซึ่งนิยมใช้แพร่หลายอยู่ในขณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบ Natural Siphon Gauge or Float Type.



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบไซฟอน

แบบนี้ใช้อาคารไซฟอน (ลักษณะคล้ายกับการถ่ายเทน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำกว่าโดยใช้สายยาง) ควบให้น้ำไหลออกจากถังลุลอยเมื่อน้ำฝนตกลงไปจนเต็มถังแล้ว ในรูปที่ 2.4 จะเห็นท่อที่ดูค้ำน้ำออกอยู่ภายใน และมีท่ออันนอกหุ้มอยู่ ต่อไปยังห้องลุลอย ตอนบนของท่ออันนอกมีฝาครอบแก้วเป็นรูปโค้งนูนครอบอยู่ และท่อที่ดูค้ำน้ำออกต่อขึ้นขึ้นมาเล็กน้อย เมื่อระดับน้ำในท่ออันนอกสูงขึ้นจนถึงยอด และไหลท่วมส่วนที่โค้งตอนบนจะทำให้อากาศถูกดันออก และไหลลงท่อไปทางด้านล่าง ดังนั้น จึงทำให้น้ำเริ่มไหลลงออกจากถังลุลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

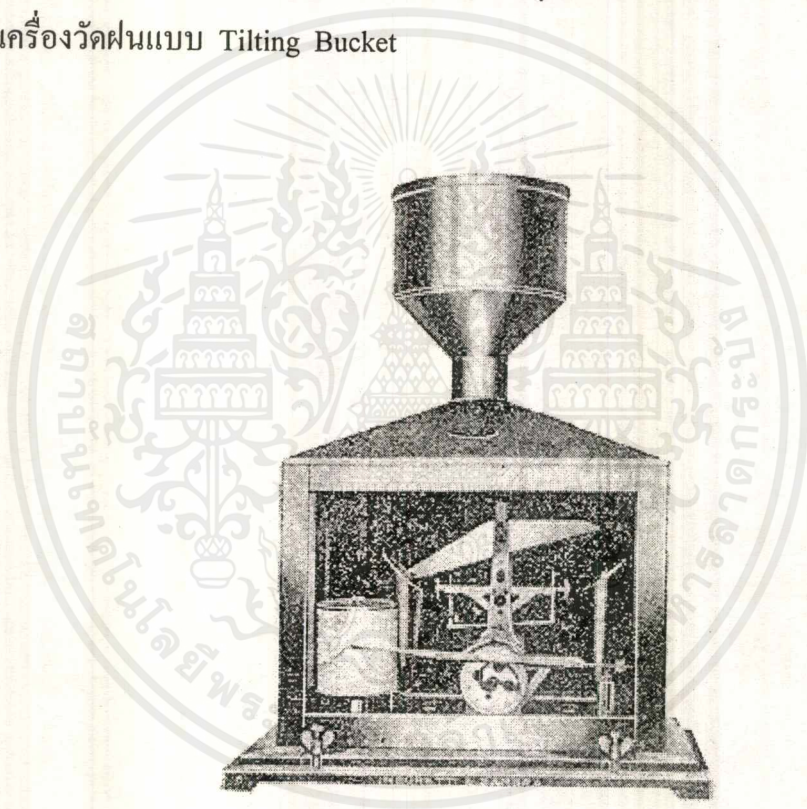
จนหมด ทำนองเดียวกัน เมื่อจวนจะหมดอาการของไซฟอน อากาศจะขึ้นมาอยู่เต็มที่ยอดของท่อ อาการไซฟอนก็จะหยุดโดยทันทีทันใด

ขณะที่น้ำไหลออกโดยอาการไซฟอนนั้น ปากกาจะตกลงไปอยู่ที่ค่า 0 แต่ไม่ออกนอกกระดาษกราฟ โดยจำนวนฝนสามารถตรวจสอบได้จากกราฟ

ในห้องลูกลอย มีลูกลอยซึ่งภายในกลวง และมีน้ำหนักเบา เคลื่อนขึ้น-ลงในแนวดิ่งตามระดับของน้ำในห้องลูกลอยนั้น

อาการไซฟอนของเครื่องแบบนี้ ตั้งแต่เริ่มจนหยุดไม่ควรเกิน 10-15 วินาที

- เครื่องวัดฝนแบบ Tilting Bucket



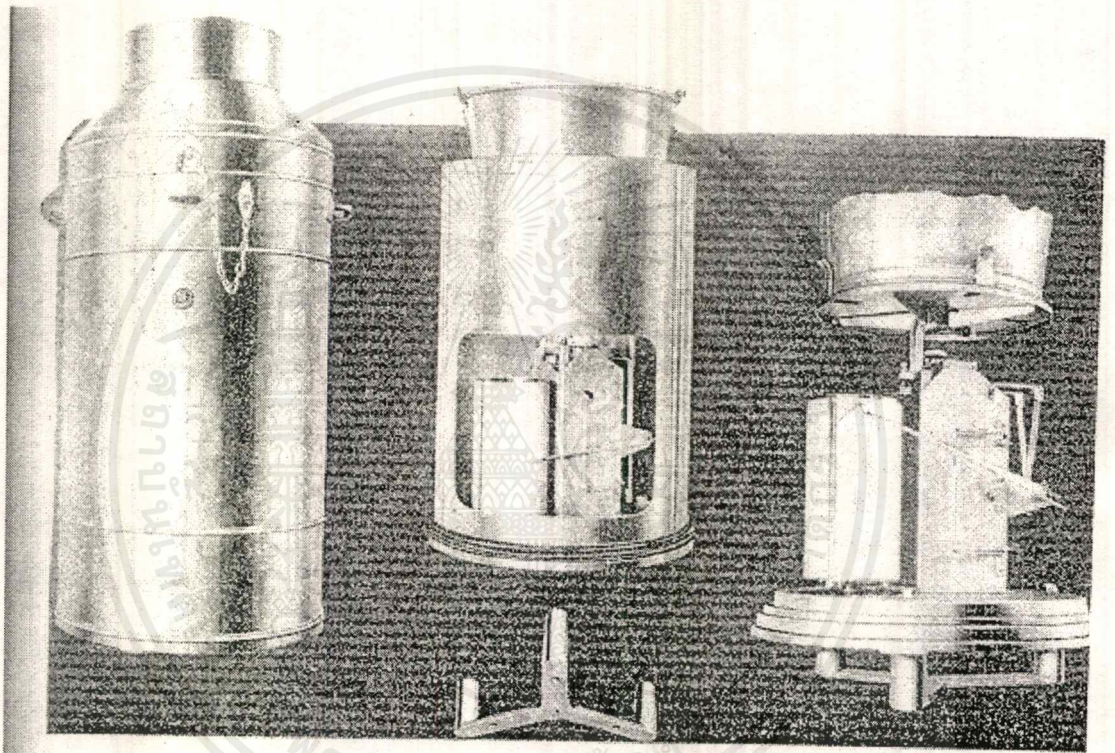
รูปที่ 2.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tilting Bucket

เครื่องแบบนี้เป็นเครื่องที่ออกแบบง่าย ๆ โดยน้ำฝนเข้าไปในถังทางปากถังตอนบน ภายในถังเป็นที่รองรับน้ำฝนทำแบ่งไว้เป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ตรงกลางมีแกนกระเดื่อง เมื่อฝนตกลงมา 0.01 นิ้ว ที่รองรับข้างหนึ่งจะกระดกเทน้ำออก โดยอาการของฟันเฟืองสลักกันไปมาอยู่เช่นนี้ตลอดเวลาที่มีฝนตก ฟันเฟืองติดอยู่กับลูกเบี้ยว และลูกเบี้ยวสัมผัสอยู่กับแขนปากกา ปากกาจะขีดค่าของฝนเป็นจังหวะ ๆ ทุก ๆ 0.01 นิ้ว ขึ้นไปจนถึง 1 นิ้ว เมื่อจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนฝนได้ 1 นิ้ว (หกดสเกลของกระดาษกราฟ) แขนปากกาจะหลุดออกจากแ่งบนสุดของลูกเบี้ยว แล้วตกลงมาชี้ที่ 0 ใหม่ เป็นการเริ่มต้นจกรายงานจำนวนฝนครั้งต่อไปติดต่อกันตลอดเวลาที่มีฝนตกอยู่

- เครื่องวัดฝนแบบ Weighing Type

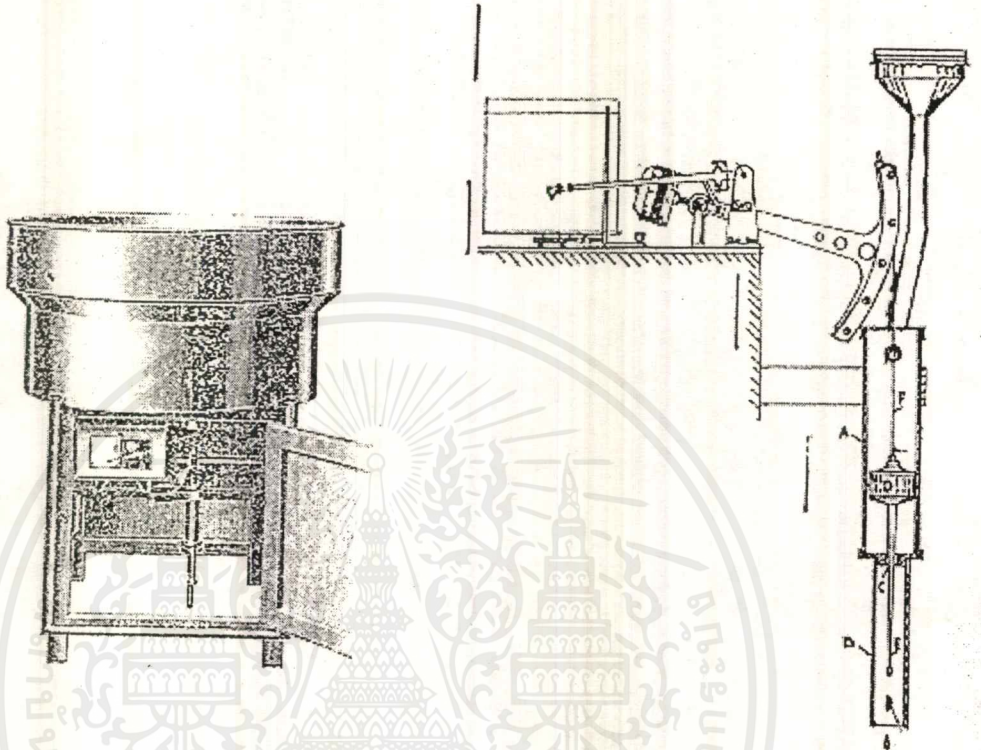


รูปที่ 2.6 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Weighing Type

เครื่องแบบนี้ใช้น้ำหนักของถังรองรับน้ำรวมกับน้ำหนักของฝนที่ตกลงมาไปกระทำต่อกลไกของสปริง หรือโดยระบบสมดุลย์ของน้ำหนัก (Balance weight) เครื่องแบบนี้ไม่มีระบบการระบายน้ำออกได้เองเมื่อน้ำฝนเต็มถึงที่รองรับ แต่โดยการทำงานของกลไก ทำให้จดบันทึกรายงานได้ถึง 4 ครั้ง จนกว่าจะถึงขีดจำกัดสูงสุดของรายงาน เครื่องแบบนี้ออกแบบเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำให้ลดน้อยลงได้ โดยการเติมน้ำมัน (Sufficient oil) ปริมาณพอสมควร ลงไปในถังรองรับน้ำฝนภายใน เพื่อให้เป็นฝ้าหนา 1 มิลลิเมตร เคลือบผิวหน้าน้ำฝนนั้นไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เครื่องจดบันทึกรายงานแบบใช้ความแรงของฝน (Rate of Rainfall Recorder)



รูปที่ 2.7 เครื่องวัดความแรงของฝนแบบยาร์ดี้

เพื่อช่วยในการพิจารณาในการจัดระบบการระบายน้ำออก เช่น การวางผังเมือง, สนามบิน และพื้นที่กสิกรรม เป็นต้น ดังนั้น จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เครื่องสำหรับวัดความแรงของฝนขึ้น หน่วยที่ใช้ในการวัดใช้เป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง เครื่องที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ เครื่องแบบยาร์ดี้ (Jardi) ของบริษัท Casella ประเทศอังกฤษ

ตัวเครื่องประกอบด้วยถังสำหรับรองรับน้ำ ซึ่งมีขนาดโตกว่าเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนธรรมดา คือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปากถัง 38 นิ้ว วัดได้ระยะช่วง 10 ถึง 160 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความแรงของฝนแต่ละท้องถิ่น (ย่านที่มีความแรงมากใช้ปากถังขนาดเล็ก ย่านที่มีความแรงน้อยใช้ปากถังขนาดใหญ่) จากปากถังมีกรวยสำหรับรองรับ จากกรวยมีท่อต่อให้น้ำไหลลงไปถึงห้องลูกลอย (A) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ที่ตอนล่างสุดของห้องลูกลอยต่อยื่นลงไปอีก เป็นห้องลูกลอย (B) แต่มีขนาดเล็กกว่า (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร) ระหว่างห้อง (A) และ (B) มีช่องกลมเจาะไว้คือช่อง (C) เมื่อไม่มีฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกกลอย (D) ซึ่งมีเข็ม (E) ขึ้นลงไปในห้อง (B) นั้นจะอยู่ตรงช่องของมัน (C) ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มตรงที่ติดกับลูกลอยได้ขนาดพอดีกับช่องที่เจาะเอาไว้ เพื่อจะได้ปิดกั้นระหว่างสองห้องพอดี ลูกลอยและเข็มติดต่อกับแขนของคันกระเดื่อง โดยโยงด้วยสายโลหะเงินเยอรมัน (F) น้ำหนักที่ถ่วงอยู่อีกด้านหนึ่งของแขนกระเดื่องนี้ได้สมดุลพอดีกับน้ำหนักของลูกลอย, เข็ม และสายโลหะเงินเยอรมัน

เมื่อฝนตกลงมา น้ำฝนจะไหลออกจากห้องลูกลอยไปได้เฉพาะทางช่องว่าง ซึ่งอยู่ระหว่างเข็มกับช่องที่เจาะเอาไว้ ดังนั้น ระดับน้ำในห้องลูกลอยจะสูงขึ้น และลูกลอยจะลอยตามขึ้นมา จนกระทั่งอัตราที่น้ำไหลออกเท่ากับอัตราที่น้ำไหลเข้า นั่นคือ อัตราความแรงของฝน

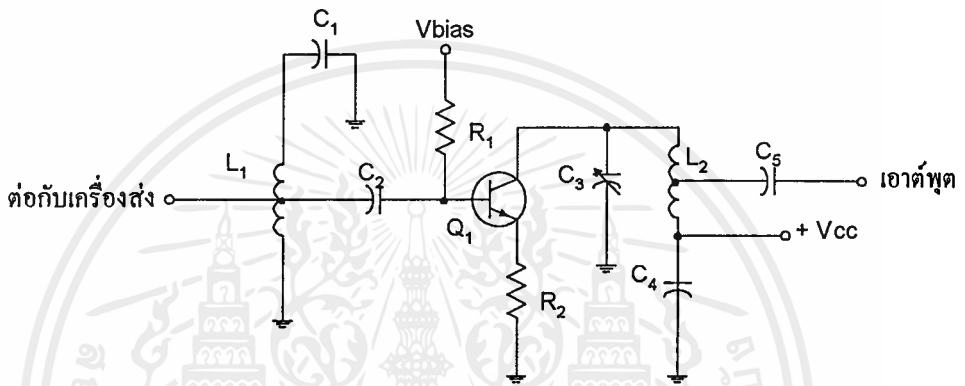
## 2.2 วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ

ถึงแม้ว่าภายในแผงผังของเครื่องส่งวิทยุจะมีความแตกต่างกัน แต่ความจริงแล้วมีวงจรพื้นฐานเหมือนกับที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นตัวอย่างที่ใช้ในเครื่องรับ และเครื่องส่งวิทยุแต่ละวงจรจะมีข้อดีข้อเสียประจำตัวมันเอง ซึ่งไม่ได้หมายความว่า วงจรหนึ่งจะดีกว่าอีกวงจรหนึ่งเสมอไป นอกจากวงจรมอดูเลต และวงจรดีมอดูเลตแล้ว ยังมีวงจรหลักๆ ที่สำคัญอีกหลายวงจร เช่น วงจรขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการ เช่น วงจรขยายอาร์เอฟ, วงจรขยายไอเอฟ และวงจรขยายเสียง เป็นต้น วงจรมิกเซอร์ซึ่งทำหน้าที่ผสมคลื่นสัญญาณ 2 คลื่น คือ คลื่นที่ต้องการจะผสม และคลื่นออสซิลเลเตอร์ โดยวงจรออสซิลเลเตอร์จะทำหน้าที่ในการกำเนิดคลื่นที่มีความถี่พอเหมาะในการผสมคลื่น, วงจรคูณ (Multiplier) ทำหน้าที่คูณความถี่อาร์เอฟ, วงจรขยายกำลังสัญญาณความถี่สูงซึ่งนิยมเรียกว่า PA โดยย่อมาจาก Power Amplifier วงจรจ่ายไฟ และวงจรด้านอื่นๆ เช่น วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (Automatic gain control) และวงจรกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise limiter) เป็นต้น

### 2.2.1 วงจรขยายอาร์เอฟ

วงจรขยายอาร์เอฟที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 แบบ คือ วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม วงจรขยายเบสร่วม และวงจรขยายแบบคาสโคด (Cascode) ในรูปที่ 2.8 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม ซึ่งจะไบแอสให้ทำงานอยู่ในคลาส A โดยตัวความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  โดยมีวงจรจูนทั้งทาง

ด้านอินพุต และทางเอาต์พุต เพื่อที่จะขยายสัญญาณที่มีความถี่อยู่ในย่านความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน (วงจรแทงก์) วงจรขยาย อาร์เอฟประเภทนี้ต้องมีการสะเทิน (Neutralize) เพื่อให้วงจรถ่ายเกิดการออสซิลเลต จากการป้อนกลับแบบบวกระหว่างอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการทำให้วงจรถ่ายเกิดการออสซิลเลตที่ความถี่สูงได้ วิธีการสะเทินวงจรทำได้โดยการป้อนกลับแบบลบ เพื่อไปหักล้างกับการป้อนกลับแบบบวก



รูปที่ 2.8 วงจรขยายอาร์เอฟที่ใช้ทรานซิสเตอร์

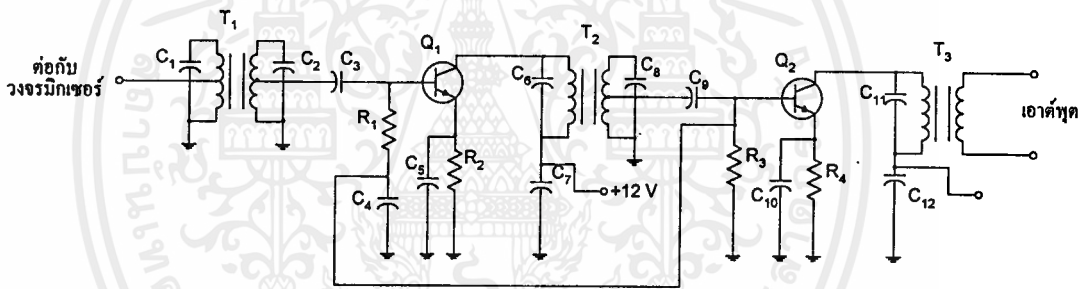
### 2.2.2 วงจรมิกเซอร์

วงจรมิกเซอร์ ทำหน้าที่นำสัญญาณ 2 ความถี่มาทำการผสมกัน และได้ความถี่ผลต่างของสัญญาณทั้งสองความถี่แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแอกทีฟ (Active) โดยใช้ทรานซิสเตอร์ หรือไอซี รวมทั้งอุปกรณ์อื่นๆ ที่ให้อัตราการขยายแก่วงจรมิกเซอร์ ซึ่งใช้ในการผสมคลื่นความถี่ และอีกประเภทหนึ่ง คือ ประเภทพาสซีฟ (Passive) โดยใช้ไดโอด ซึ่งจะไม่มีการขยายสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งวงจรมิกเซอร์ได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบสมดุล (Balance) กับแบบไม่สมดุล (Unbalance) วงจรมิกเซอร์จะไม่เกิดปฏิกริยาซึ่งกันและกัน คือ สัญญาณไม่เล็ดลอดระหว่างขั้ว คุณสมบัตินี้เรียกว่าการแยกระหว่างขั้ว หรือการแยกโคเดเคียว (Isolation) จากรูปที่ 2.9 ลองพิจารณาในกรณีของภาคเครื่องรับจะเห็นว่าการแยกระหว่างขั้วอาร์เอฟ และขั้วออสซิลเลเตอร์จะช่วยมิให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ย้อนกลับออกไปสู่สายอากาศ ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นออกไปได้ และการแยกระหว่างขั้วอาร์เอฟกับ

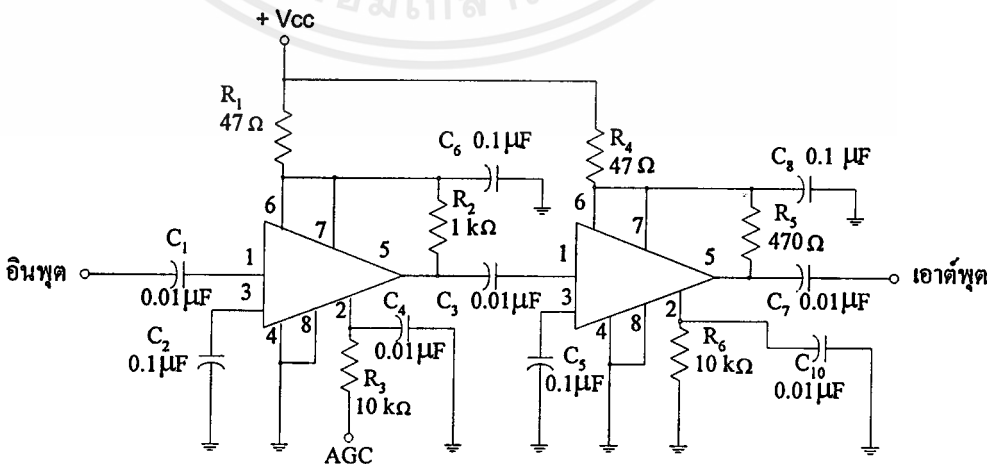


วงจรขยายไอเอฟแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้วงจรขยายหลายภาคร่วมกันเพื่อเสริมกันให้ได้อัตราขยาย และการเลือกรับสัญญาณได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจะเรียกววงจรประเภทนี้ว่าประเภทอัตราขยายแบ่งเฉลี่ย (Distributed gain) อีกประเภทหนึ่ง คือ ใช้วงจรชุดเดียวทำหน้าที่ขยาย และใช้วงจรอีกชุดหนึ่งทำการเลือกรับสัญญาณโดยเฉพาะ เช่น วงจรกรอง (Filter) ไม่ต้องอาศัยการเสริมกันของการเลือกรับสัญญาณ เรียกววงจรประเภทนี้ว่าประเภทอัตราขยายเป็นก้อน (Lumped Gain)

ในรูปที่ 2.10 แสดงวงจรขยายไอเอฟประเภทแบ่งเฉลี่ย จะเห็นว่าจะใช้หม้อแปลงดับเบิลจูน (จูน 2 ด้าน คือ การจูนทั้งด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ) ต่อเชื่อมระหว่างภาค คุณสมบัติของการเลือกรับสัญญาณจึงขึ้นอยู่กับวงจรจูนทั้ง 3 ชุด วงจรประเภทนี้ ถ้าทำงานในย่านความถี่ต่ำๆ จะมีคุณสมบัติการเลือกรับสัญญาณด้อยกว่าประเภทที่ใช้คริสตอลฟิลเตอร์



รูปที่ 2.10 วงจรขยายไอเอฟที่ใช้หม้อแปลงจูนระหว่างภาค



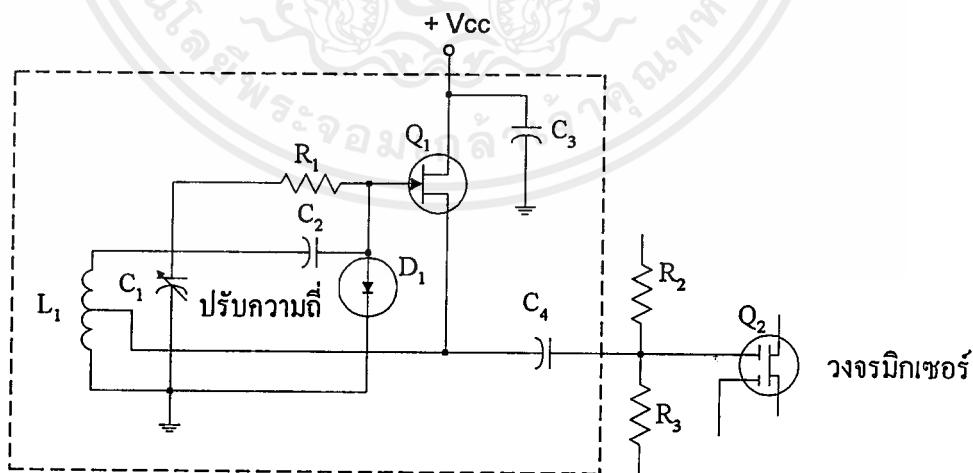
รูปที่ 2.11 วงจรขยายไอเอฟแบบใช้คริสตอลฟิลเตอร์ควบคุมคุณสมบัติการเลือกรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของซิงเกิลคอนเวอร์ชันจะมีวงจรคริสตอลฟิลเตอร์ และวงจรไอเอฟต่อถัดมาจากวงจรมิกเซอร์ แต่ถ้าในกรณีของดับเบิลคอนเวอร์ชันจากมิกเซอร์ที่หนึ่ง จะเป็นคริสตอลฟิลเตอร์ผ่านวงจรไอเอฟค่าสูง และเข้าสู่วงจรมิกเซอร์ที่สอง และผ่านเข้าเซรามิกฟิลเตอร์กับวงจรไอเอฟค่าต่ำตามลำดับ

ในระบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ อัตราขยายส่วนใหญ่มักจะมาจากรวมของไอเอฟ ในยุคแรกๆ เครื่องรับมักใช้หลอด หรือทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีหม้อแปลงเชื่อมต่อระหว่างภาค แต่ยุคหลังนี้ภาคไอเอฟจะมีค่าต่ำ จึงนิยมใช้ไอซีเพียงตัวเดียวทำหน้าที่เป็นไอเอฟ และดีมอดูเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่สูง เพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับวงจรอื่นๆ ภายในเครื่อง เช่น ในการมอดูเลต การผสมคลื่น รวมทั้งใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง ออสซิลเลเตอร์แต่ละวงจรต่างก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ ในเครื่องรับวิทยุติดตามตัว การออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์จะอาศัยหลักการของการป้อนกลับแบบบวก วงจรที่เป็นตัวกำหนดความถี่อาจเป็นวงจรจูน LC หรือใช้คริสตอลก็ได้ โดยค่าตัวประกอบคุณภาพ (Quality factor) ของวงจรยิ่งมาก ความถี่ที่วงจรจะออสซิลเลตก็จะยิ่งคงที่ไม่มีการเลื่อนไปได้ง่าย สำหรับวงจร LC มีค่าตัวประกอบคุณภาพน้อยกว่าคริสตอล ดังนั้นเสถียรภาพทางความถี่ของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์จึงดีกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์

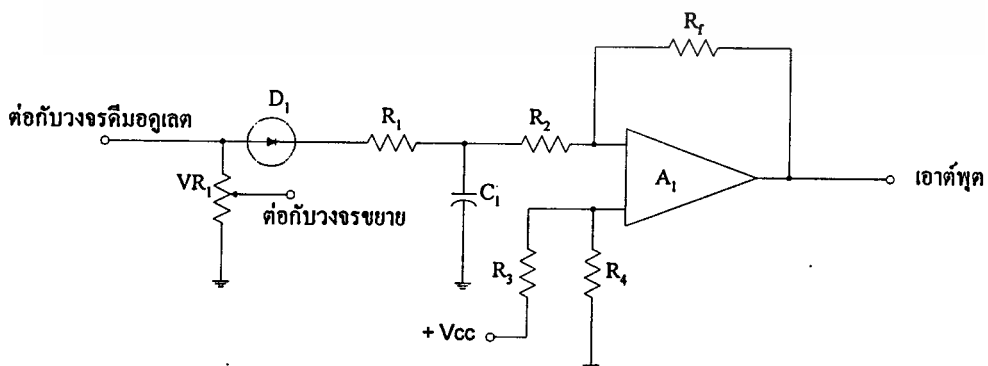
เครื่องรับส่วนใหญ่มักจะมีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ เพื่อรักษาอัตราขยายของเครื่องรับให้คงที่ ไม่ว่าจะรับคลื่นได้แรง หรืออ่อนก็ตาม

หลักการผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีผลิตจากสัญญาณพาหะ
2. วิธีผลิตจากสัญญาณเสียง

เครื่องรับส่วนใหญ่จะใช้วิธีผลิตจากสัญญาณพาหะ ซึ่งเหมาะสมกับการรับสัญญาณ เอเอ็ม เพราะสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณพาหะ แต่ในกรณีของการมอดูเลตแถบข้างเดียว (Single sideband modulation) คลื่นที่ส่งมาจะไม่มีพาหะ เพราะได้ถูกกำจัดพาหะออกไปที่เครื่องส่งแล้ว ดังนั้น ถ้าสัญญาณที่ไม่ต้องการเล็ดลอดเข้าไปยังวงจรขยายไอเอฟ หรือวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติได้ อัตราขยายของเครื่องรับก็จะลดลงไป ทั้งๆ ที่เครื่องรับอาจรับสัญญาณได้ดีในขณะนั้น ทำให้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติมิได้ทำงานตามความแรงของสัญญาณที่รับได้ เครื่องรับบางชนิดอาจใช้วิธีหยุดการทำงานวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ ในกรณีที่วงจรรองความถี่ทำงาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้สัญญาณที่ไม่ต้องการ เข้าไปทำให้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติเกิดการ ทำงานผิดพลาดได้ ในกรณีนี้จะใช้วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบบปรับด้วยมือแทนปุ่มปรับ

ในรูปที่ 2.13 เป็นวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติที่ผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจากสัญญาณเสียง วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติชนิดนี้จะมีการทำงานเหมือนกับวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติชนิดแรก แต่ใช้สัญญาณเสียงเป็นอินพุตแทน ส่วนค่าคงตัวเวลาที่เลือกใช้ก็อาศัยหลักการเดียวกัน



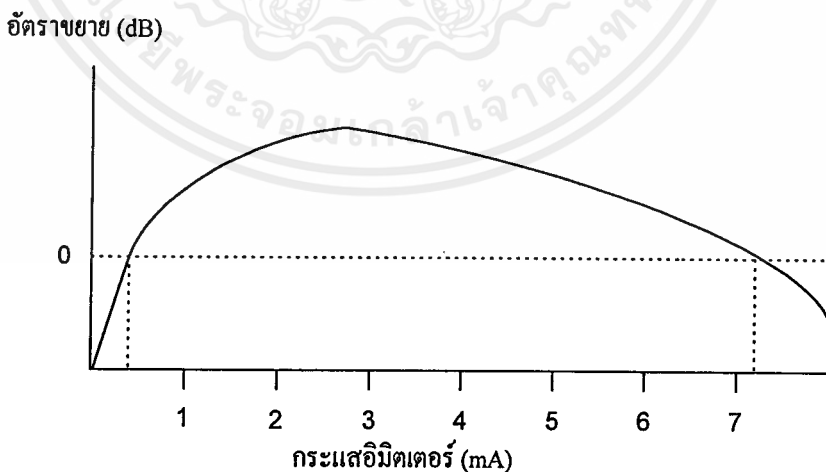
รูปที่ 2.13 วงจรผลิตสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ

หากไม่มีวงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติ การรับสัญญาณจะเกิดปัญหาดังนี้

1. การรับสัญญาณจากสถานีบางสถานีจะรับได้แรง หรือบางสถานีจะรับได้อ่อน เป็นผลทำให้ต้องปรับความดังให้เข้ากับสัญญาณที่รับเข้ามา แต่ถ้ามีวงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติ ความดังจะคงที่ แม้เปลี่ยนไปรับสถานีอื่นๆ ที่มีความแรงของสัญญาณต่างกัน

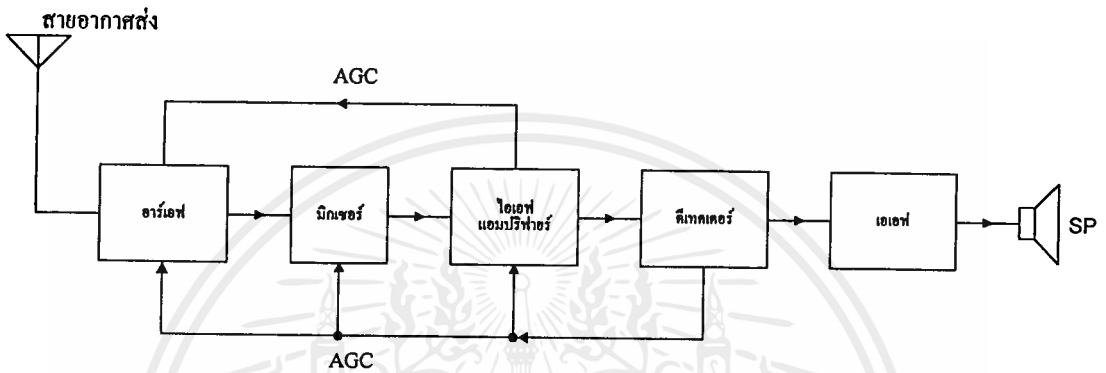
2. สัญญาณที่รับได้บางครั้งมีการจางหาย (Fading) หรือบางครั้งแรงขึ้นมาเอง ทั้งนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศที่คลื่นเดินทางมายังเครื่องรับ วงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติสามารถช่วยรักษาระดับความดังให้คงที่ ถึงแม้ในบางกรณีจะมีการจางหายของสัญญาณ

3. ในกรณีที่ เป็นวิหตุติครยนต์ซึ่งเคลื่อนที่ไปมา สัญญาณที่รับได้จะมีความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน วงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะช่วยชดเชยให้ระดับความดังเท่าเดิม การควบคุมอัตราการขยายของวงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะใช้วิธีการป้อนไฟไบแอส ซึ่งอาจจะใช้วิธีไบแอสตรง ซึ่งเรียกว่าวงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติโดยตรง (Forward automatic gain control) หรืออาจใช้วิธีไบแอสกลับทาง ซึ่งเรียกว่าวงจรถวลคุมอัตราขยายอัตโนมัติกลับทาง (Reverse automatic gain control) สังเกตว่าอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์นั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามจุดทำงาน หรือกระแสอิมิตเตอร์ ดังรูปที่ 2.14 ถ้าเราลดกระแสไบแอสลง หรือเพิ่มกระแสไบแอสขึ้น อัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ก็จะลดลง



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่กระแสอิมิตเตอร์ในค่าต่างๆ

ในระบบเอฟเอ็ม วงจรจำกัดค่า (Limiter) จะทำหน้าที่เป็นตัวจำกัดขนาดของสัญญาณอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติอีก เว้นแต่ต้องการป้องกันการโหลดเกิน (Overload) วงจรส่วนหน้า เช่น ทำการลดทอนสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่วงจรรขยายอาร์เอฟ



รูปที่ 2.15 วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติต่างๆ ในเครื่องรับชนิดซูเปอร์เฮเทอโรไดน์

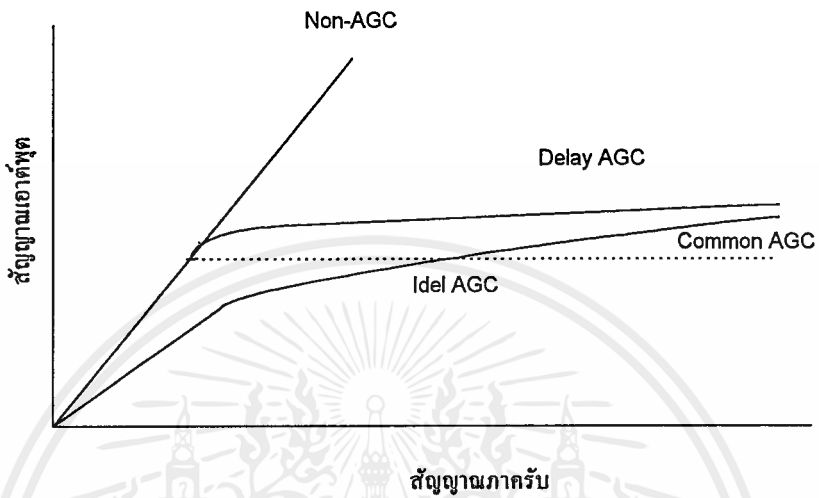
ในรูปที่ 2.15 แสดงแผนผังของวงจรภาครับ จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติกำเนิดได้โดยวิธีการดีเทกต์ แล้วส่งไปควบคุมอัตราขยายของวงจรรขยายอาร์เอฟ และไอเอฟแต่ละภาค วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติส่วนนี้เป็นวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติหลักของเครื่องรับ แต่ยังมีวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติส่วนหนึ่งเป็นวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติเสริมจากวงจรรขยายไอเอฟ ย้อนไปควบคุมอัตราขยายของวงจรรขยายอาร์เอฟเพื่อป้องกันการโหลดเกินของภาคอาร์เอฟ

วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติที่ดีควรมีคุณสมบัติในการทำงานดังนี้ คือ เมื่อสัญญาณอินพุตของเครื่องรับแรงขึ้น ระดับความดังของเสียงจะมากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่ง ซึ่งถ้าสัญญาณอินพุตแรงถึงจุดนี้ก็จะเกิดโหลดเกิน วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะควบคุมอัตราการขยายของเครื่องรับไว้ มิให้ระดับความดังของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นอีก

จากรูปที่ 2.16 เป็นกราฟแสดงลักษณะการควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับ โดยวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติชนิดต่างๆ กัน เช่น เส้นแสดงวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติอุดมคติ วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบบประวิง (Delay automatic gain control) กล่าวคือ วงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติจะถูกหน่วงเอาไว้จนกว่าระดับสัญญาณอินพุตจะแรงขึ้นถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับหนึ่ง สำหรับวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติแบบง่าย หลักการทำงานของงานจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับความดัง โดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงไม่มีการหน่วงเวลา



รูปที่ 2.16 ลักษณะการควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับ โดยวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ

## บทที่ 3

### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

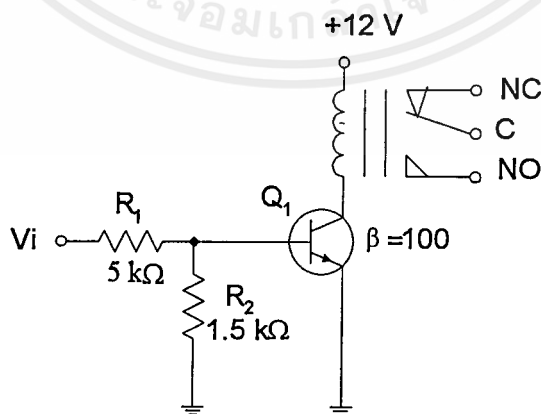
#### 3.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เครื่องต้นแบบจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนซึ่งใช้หลักการนับครั้งการกระดกของกระเบื้อง คล้ายกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tilting Bucket (ดังรายละเอียดในบทที่ 2)

#### 3.2 ภาคส่งสัญญาณวิทยุ

ภาคส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณซึ่งผ่านการมอดูเลตแบบเอฟเอสเคผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยอาศัยการนับสัญญาณเป็นพัลส์ แล้วนำมอดูเลตเพื่อส่ง การทำงานทั้งหมดจะเริ่มขึ้นเมื่อแผ่นรับความชื้นได้รับความชื้นมากพอ ส่วนประกอบในส่วนของภาคส่งสัญญาณวิทยุนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

##### 3.2.1 วงจรควบคุมสวิทช์ด้วยแรงดัน

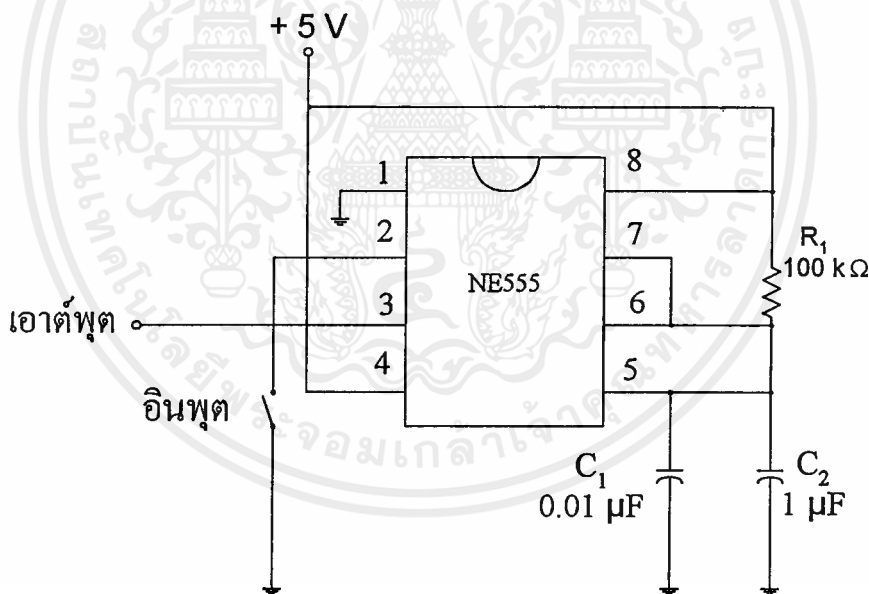


รูปที่ 3.1 วงจรควบคุมสวิทช์ด้วยแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรดังรูป เมื่อมีสัญญาณไฟ +5 โวลต์ เข้ามาที่  $V_i$  จะทำให้เกิดการนำกระแส ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเมื่อไม่มีสัญญาณ (0 โวลต์) ทรานซิสเตอร์จะไม่นำกระแส เมื่อ  $V_i$  ได้รับสัญญาณไฟ +5 โวลต์ จะมีกระแสไหลผ่าน  $R_1$  แบ่งแรงดันให้กับ  $R_2$  ซึ่งเป็นตัวให้ไบแอสกับทรานซิสเตอร์ และเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ซึ่งจะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าในรีเลย์ เกิดสนามแม่เหล็กชั่วคราวดูดให้ขา C ของรีเลย์มาต่อกับขา  $N_0$  ทำให้มีกระแสไปจ่ายที่โหลด ในกรณีตรงข้ามคือ ไม่มีสัญญาณ (0 โวลต์) จะไม่มีไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ รีเลย์จึงอยู่ในสถานะ  $N_c$  โดยปกติรีเลย์จะไม่แสดงสถานะเป็นสวิตช์ที่ใช้เปิดวงจร

### 3.2.2 วงจรหน่วงเวลา



รูปที่ 3.2 วงจรหน่วงเวลาโดยใช้ IC 555

จากวงจรในรูปที่ 3.2 เมื่อจ่ายแรงดัน +5 โวลต์ ให้กับ IC 555 และป้อนสัญญาณอินพุต โดยที่ขา 2 ของ IC 555 จะต่อกับสวิตช์ตัวนำดังรูป จะทำให้ขา 2 ต่อดึงกราวด์ กระแสไหลผ่านขา 2 ของ IC 555 ทำให้ IC 555 ทำงาน โดยขา 3 จะผลิตสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า  $R_1$  ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 8 และขา 6 ซึ่งต่อร่วมกับขา 7 และค่าของ  $C_2$  ที่ต่อระหว่างขา 6 กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราวด์ ซึ่งถ้าค่าของ  $R_1$  และ  $C_2$  มีค่ามาก สัญญาณเอาต์พุตจะมีพัลส์ที่กว้างมากตามไปด้วย ส่วน  $C_1$  มีไว้เพื่อส่งผ่านสัญญาณที่ไม่ต้องการลงกราวด์

### 3.2.3 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

การมอดูเลตแบบเอฟเอสเคสำหรับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนนี้เลือกใช้ค่าอัตราการส่งสัญญาณ, ความถี่มาร์ค และความถี่สเปซตามมาตรฐาน V 21 ของ CCITT คือ

$$\text{อัตราการส่งสัญญาณ} = 300 \text{ บิตต่อวินาที}$$

$$\text{ความถี่มาร์ค (} F_m \text{)} = 2025 \text{ เฮิรตซ์}$$

$$\text{ความถี่สเปซ (} F_s \text{)} = 2225 \text{ เฮิรตซ์}$$

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรที่ใช้สำหรับการมอดูเลตแบบเอฟเอสเค ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ไม่ได้กำหนดค่าไว้ คือ ตัวความต้านทาน  $R_3$ ,  $R_4$  และตัวเก็บประจุ  $C$  ซึ่งคำนวณหาค่า  $R_3$ ,  $R_4$  และ  $C$  ได้จาก

$$F_m = 1/R_3 C$$

$$F_s = 1/R_4 C$$

ดังนั้น จากค่า  $F_m$  และ  $F_s$  ที่เลือกไว้สามารถคำนวณหาค่า  $R_3$  และ  $R_4$  ได้โดยเลือกใช้ค่า

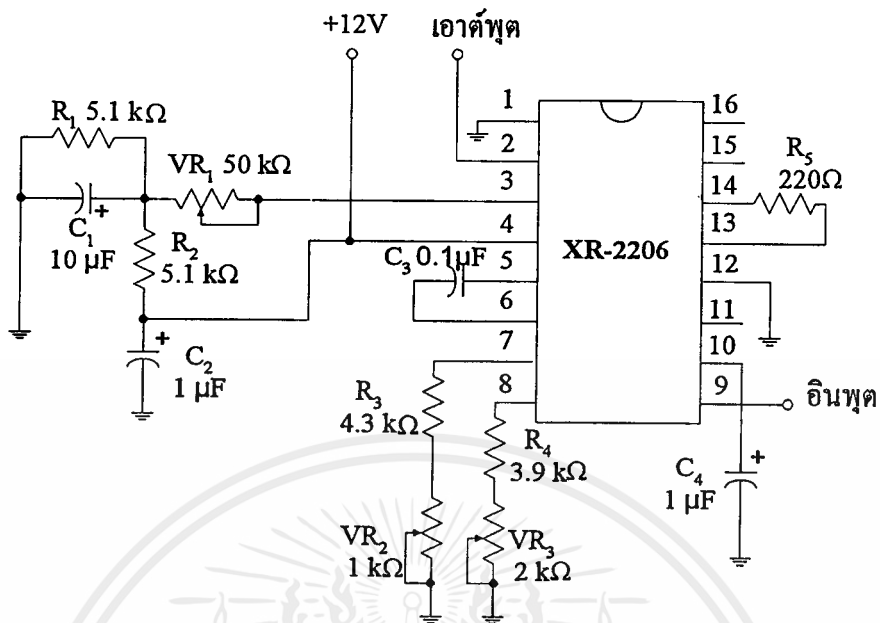
$$C = 0.1 \text{ ไมโครฟารัด}$$

$$R_3 = 1/F_m C = 1/(2025 \times 0.1) = 4.94 \text{ กิโลโอห์ม}$$

$$R_4 = 1/F_s C = 1/(2225 \times 0.1) = 4.49 \text{ กิโลโอห์ม}$$

การสร้างวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเคจากค่า  $R_3$  และ  $R_4$  ที่คำนวณได้ จะเลือกใช้ตัวความต้านทานแบบค่าคงที่ต่ออนุกรมกับตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ โดยควรเลือกใช้ชนิดที่ปรับค่าแบบละเอียด เพื่อให้มีค่าความต้านทานใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณมากที่สุด ส่วนตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรชนิดไม่มีขั้ว ควรจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดไมลาร์

ในการสร้างวงจรจะต้องทำการปรับแต่งวงจรให้ได้ความถี่มาร์ค และความถี่สเปซตรงกับค่าที่ได้กำหนดไว้ในการออกแบบ

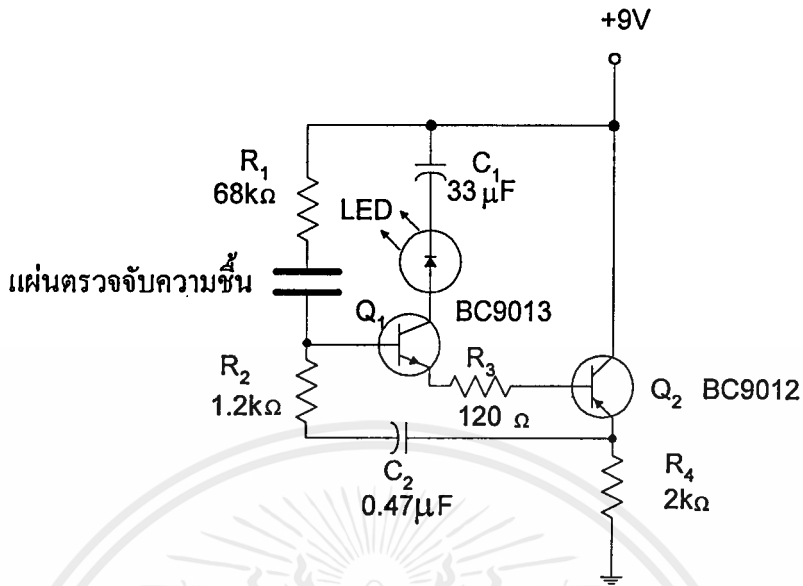


รูปที่ 3.3 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเดค

### 3.2.4 วงจรตรวจจับความชื้น

วงจรถวจจับความชื้นในรูปที่ 3.4 จะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว โดยเป็นชนิด NPN 1 ตัว และชนิด PNP 1 ตัว จะทำงานเมื่อแผ่นรับความชื้น ซึ่งเป็นแผ่นทองแดงที่มีลายทองแดงเกือบจะชิดกันมีหยดน้ำฝนมาสัมผัส หยดน้ำจะนำไฟฟ้า ทำให้ลายทองแดงเชื่อมต่อกัน ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ได้รับไบแอสที่ขาเบสจะมีกระแสไหลผ่านจากแหล่งจ่าย +9 โวลต์ ผ่านตัวต้านทานค่า 68 กิโลโอห์ม ทำให้  $Q_1$  ทำงานแสดงผลโดยไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode) จะสว่างขึ้น  $C_1$  ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าจากการที่  $Q_1$  ทำงาน กระแสจะไหลจากขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_1$  ผ่านตัวต้านทาน  $R_2$  เข้าไปยังขาเบสของ  $Q_2$  ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณจาก  $Q_1$  ให้เพิ่มขึ้น และจะมีเอาต์พุตออกจากขาอิมิตเตอร์ เพราะว่าเป็นการต่อแบบคอลเลคเตอร์ร่วม

แรงดันตกคร่อมที่ตัวความต้านทาน  $R_4$  จะนำไปกระตุ้นวงจรถวบคุมสวิตช์ด้วยแรงดันต่อไป ส่วนตัวความต้านทาน  $R_2$  และตัวเก็บประจุ  $C_2$  ใช้เพื่อเป็นตัวกั้นสัญญาณเสียงย้อนกลับไปสู่  $Q_1$  อีกครั้ง



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับความชื้น

### 3.2.5 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม

เครื่องส่งเอฟเอ็มในย่านกระจายเสียง 88-108 เมกะเฮิรตซ์ ในวงจรนี้ ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์ที่นิยมสร้างกันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากจะเป็นวงจรที่ออกแบบให้สร้างได้ในขนาดเล็กกระทัดรัด เพื่อให้เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นไมโครโฟนไร้สาย ซึ่งวงจรเหล่านี้จะมีกำลังส่งไม่มากนัก ระยะการส่งอยู่ในช่วง 50-200 เมตร เท่านั้น

ในการที่จะทำให้อุปกรณ์มีกำลังออกอากาศมากขึ้น เพื่อให้รัศมีการกระจายคลื่นไกลออกไปสามารถทำได้โดยการออกแบบหลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ สำหรับใช้เป็นขดลวดในวงจร การปรับแต่งวงจรทำได้โดยการปรับที่ทริมเมอร์ TC<sub>1</sub> และ TC<sub>2</sub> ในวงจร เครื่องส่งนี้ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์ทั้งหมด 4 ตัวเป็นทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้เป็นภาคขยายสัญญาณเสียง 2 ตัว ส่วนอีก 2 ตัว เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในภาคขยายกำลังความถี่วิทยุของเครื่องรับส่งวิทยุแบบมือถือ อุปกรณ์ทั้งหมดประกอบลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 4x12.5 เซนติเมตร วงจรเครื่องส่งแสดงอยู่ในรูปที่ 3.5



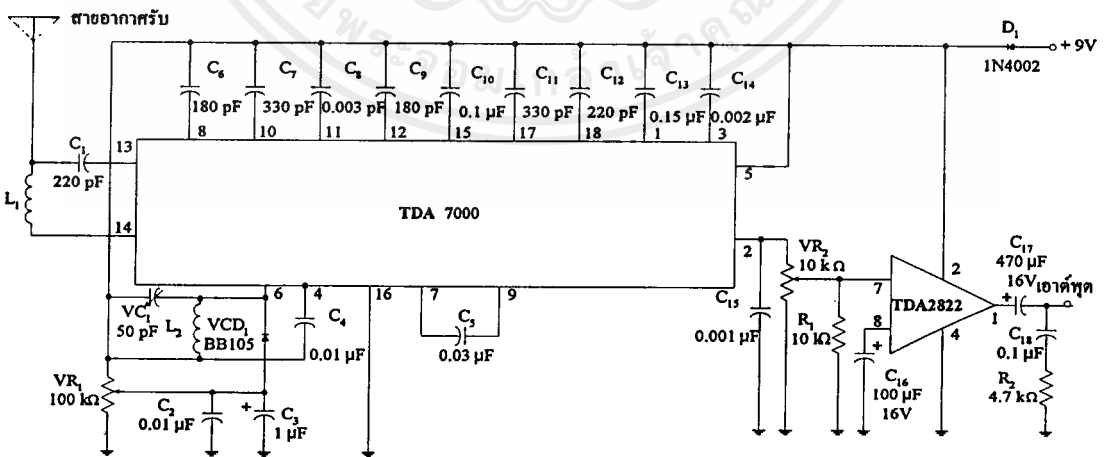
ตามอินพุต สัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตที่ภาคอาร์เอฟจะทำให้ความถี่คลื่นพาห์ที่ส่งออก อากาศของวงจรเปลี่ยนแปลงไปด้วยตามหลักการมอดูเลตสัญญาณในการส่งคลื่นออกอากาศ แบบเอฟเอ็ม ที่ทริมเมอร์ TC<sub>2</sub> จะเป็นตัวส่งผ่านสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังสายอากาศ และทำหน้าที่เป็นตัวจูนสายอากาศไปด้วย ในตัวไดโอด D<sub>1</sub> ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการจ่ายแรงดันไฟกลับขั้วให้กับวงจร ถ้ามีการป้อนไฟผิดขั้ว ไดโอด D<sub>1</sub> จะไม่นำกระแส ทำให้ไม่เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในวงจร

### 3.3 ภาครับสัญญาณวิทยุ

ภาครับสัญญาณวิทยุจะรับสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่ง เพื่อทำการดีมอดูเลตให้ได้ สัญญาณที่เป็นดิจิทัลออกมา โดยจะมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

#### 3.3.1 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม

วงจรเครื่องรับเอฟเอ็มซึ่งใช้ในโครงการนี้ใช้ไอซีเบอร์ TDA 7000 ทำหน้าที่เป็น ภาครับของวิทยุเอฟเอ็ม ภายในประกอบด้วยภาคโคลลออสซิลเลเตอร์, มิกเซอร์, ภาคขยาย ไอเอฟควอเทรเจอร์, ดีเทกเตอร์ และภาคมอดูเลต จากรูปสัญญาณความถี่วิทยุจากสายอากาศ จะผ่าน C<sub>1</sub> ไปเข้าวงจรกรองความถี่แบบแบนด์พาสฟิลเตอร์ L<sub>1</sub> เข้าขา 13 และขา 14 C<sub>2</sub> จะ



รูปที่ 3.6 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม

ทำหน้าที่คัปปลิงสัญญาณ  $C_5 - C_{10}$  ทำหน้าที่ฟิลเตอร์ให้กับวงจรขยาย และวงจรดีมอดูเลตขา 6 ของไอซีจะเป็นขาสำหรับจูนหาสถานี ซึ่งจะมี  $C_{11}, L_2$  และ  $TC_1$  ทำหน้าที่ปรับแต่ง และจูนหาสถานีตามต้องการ ขา 16 จะต่อกับไฟลบ ขา 5 จะต่อกับไฟบวก ขา 2 จะเป็นขาเอาต์พุต ส่วน  $C_3$  จะทำหน้าที่ฟิลเตอร์  $C_4$  จะขยายพาสความถี่สูงลงกราวด์  $C_{12}$  จะทำหน้าที่แก้การเน้น (De-emphasis) ของสัญญาณเสียงผ่าน  $C_{13}$  ผ่าน  $VR_1$  ซึ่งจะทำหน้าที่เร่งหรือหรี่สัญญาณที่รับเข้ามา และที่จุดเอาต์พุตจะต่อเข้าวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเคต่อไป

### 3.3.2 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

การดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเคจะใช้ IC เบอร์ XR-2211 ซึ่งเป็น IC สำหรับการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเคโดยเฉพาะ

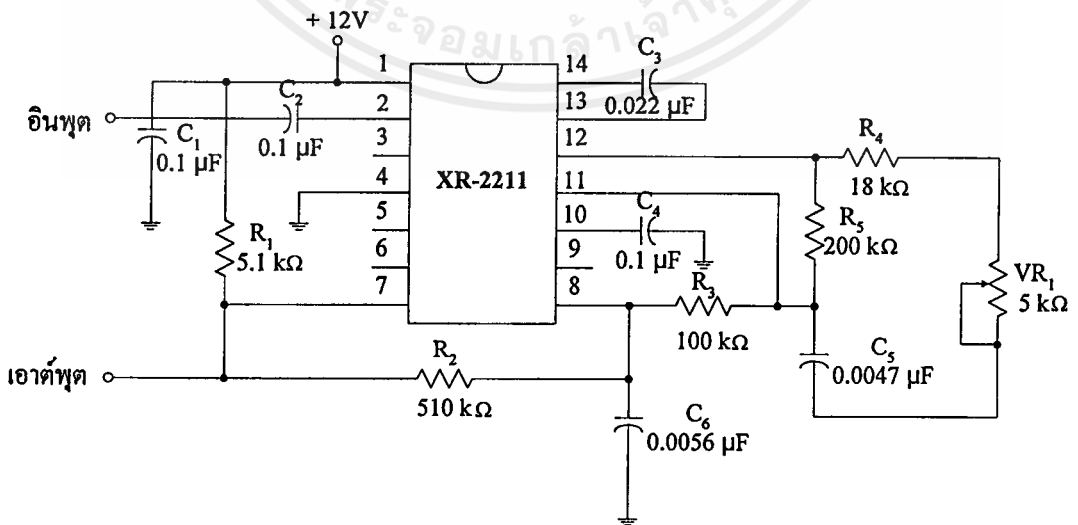
วงจรสำหรับดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเค แสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมีค่าอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการออกแบบวงจรคือ  $R_0, R_1, R_F, C_0, C_1$  และ  $C_F$  โดยที่

$R_0$  และ  $C_0$  กำหนดความถี่กลางของวงจรออสซิลเลเตอร์ควมคุมด้วยแรงดัน

$R_1$  กำหนดแบนด์วิดท์ของระบบ

$C_1$  กำหนดค่าคงตัวเวลาของลูปฟิลเตอร์ และลูปแคมบิ้งแฟคเตอร์ (Loop damping factor)

$R_F$  และ  $C_F$  เป็นวงจรกรองสัญญาณเอฟเอสเคเอาต์พุต



รูปที่ 3.7 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ไม่ทราบค่าสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$C_3 = 1/R_3 F_0 \quad (3.1)$$

โดยที่  $F_0$  คือ ความถี่กลางของวงจรรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันซึ่งหาได้จาก

$$F_0 = (F_m + F_s)/2$$

$$R_4 = R_3 [ F_0 / (F_m - F_s) ] \quad (3.2)$$

$$C_5 = C_3 / 4 \quad (3.3)$$

สมการที่ 3.3 กรณีที่รูปแค้มป์มีค่าเท่ากับ 0.5

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

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

ข้อมูลของ XR-2211 ได้กำหนดค่าอุปกรณ์เหล่านี้ สำหรับอัตราการส่งสัญญาณ 300 บิตต่อวินาที,  $F_m = 2025$  เฮิร์ตซ์ และ  $F_s = 2225$  เฮิร์ตซ์ ไว้แล้ว ซึ่งจะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$$R_3 = 18 \text{ กิโลโอห์ม}$$

$$R_4 = 200 \text{ กิโลโอห์ม}$$

$$C_3 = 0.02 \text{ ไมโครฟารัด}$$

$$C_5 = 0.0047 \text{ ไมโครฟารัด}$$

$$C_6 = 0.005 \text{ ไมโครฟารัด}$$

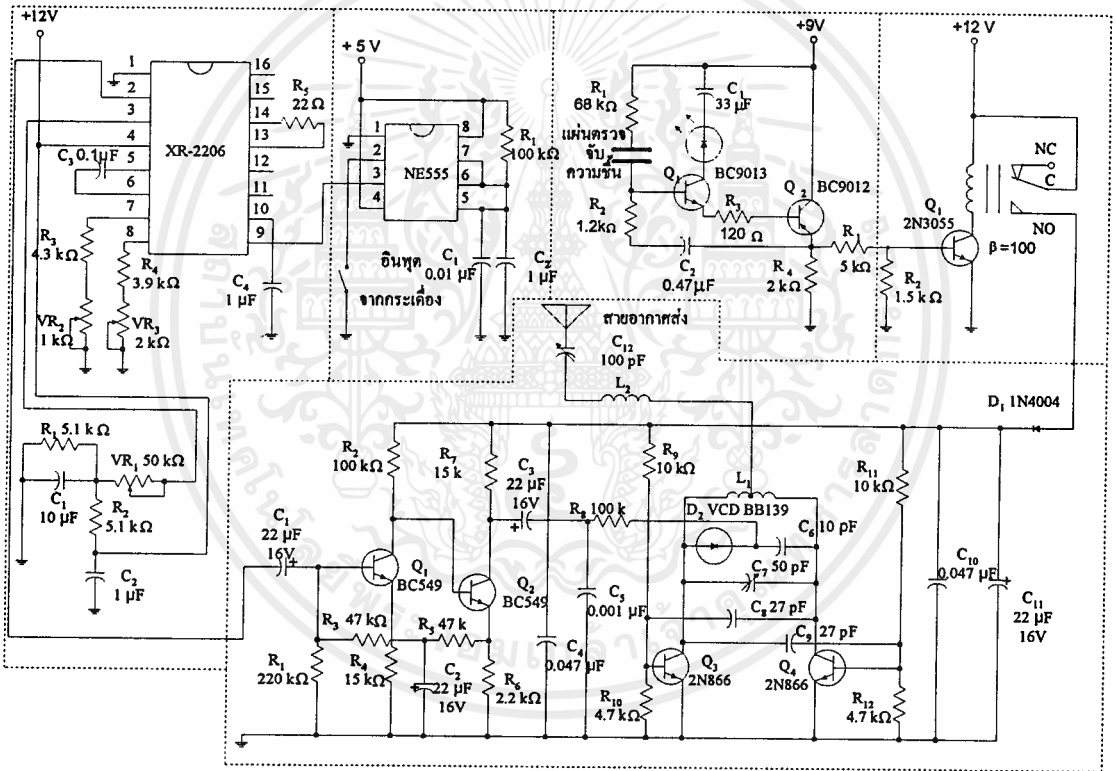
ส่วนค่า  $R_F$  ใช้ค่า 100 กิโลโอห์ม เพื่อให้สอดคล้องกับสมการที่ 3.4

จากการออกแบบจะได้วงจรสำหรับการดีมอดูเลตสัญญาณเอฟเอสเค ดังรูปที่ 3.7 โดยค่า  $R_0$  จะเลือกใช้ตัวความต้านทานแบบคงที่อนุกรมกับตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อให้สามารถที่จะปรับค่าความถี่กลางของวงจรรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันให้ตรงกับค่าที่ต้องการ สำหรับการปรับความถี่กลางของวงจรรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน ให้มีค่าตามความต้องการสามารถทำได้ โดยการไม่ป้อนสัญญาณอินพุต และต่อขา 2 เข้ากับขา 10 วัดสัญญาณเอาต์พุตของความถี่กลางที่ขา 3 แล้วทำการปรับความถี่กลางที่เครื่องรับจนได้ความถี่ตามต้องการ

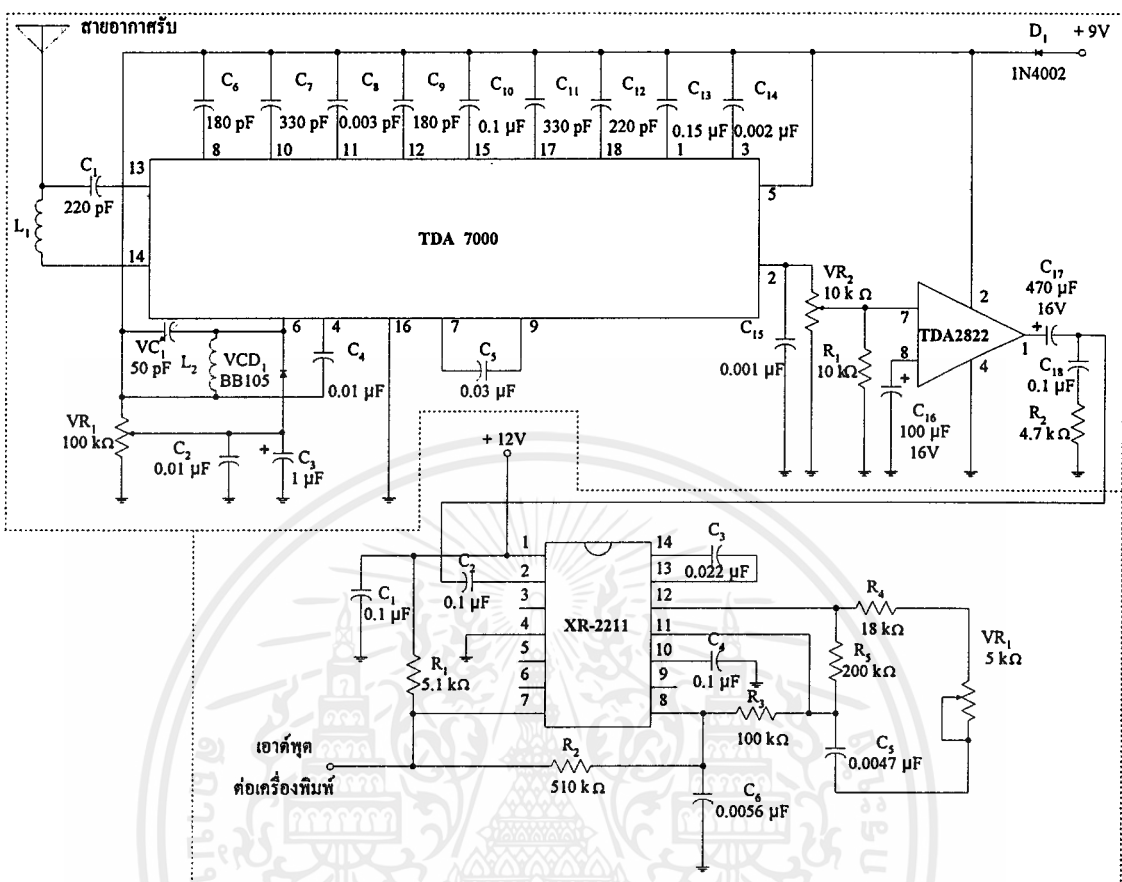
### 3.4 วงจรรวมภาคส่ง และรับสัญญาณวิทยุ

ในภาคส่งสัญญาณวิทยุประกอบด้วย วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน, วงจรหน่วงเวลา, วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค, วงจรตรวจจับความถี่ขึ้น และวงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม ซึ่งทั้งหมดนี้ได้นำมารวมเป็นวงจรเดียวกันเพื่อให้เครื่องมีขนาดที่พอเหมาะ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

ในส่วนของภาครับสัญญาณวิทยุประกอบด้วย วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม และวงจรคิมมอดูเลตแบบเอฟเอสเค วงจรรวมแสดงในรูปที่ 3.9



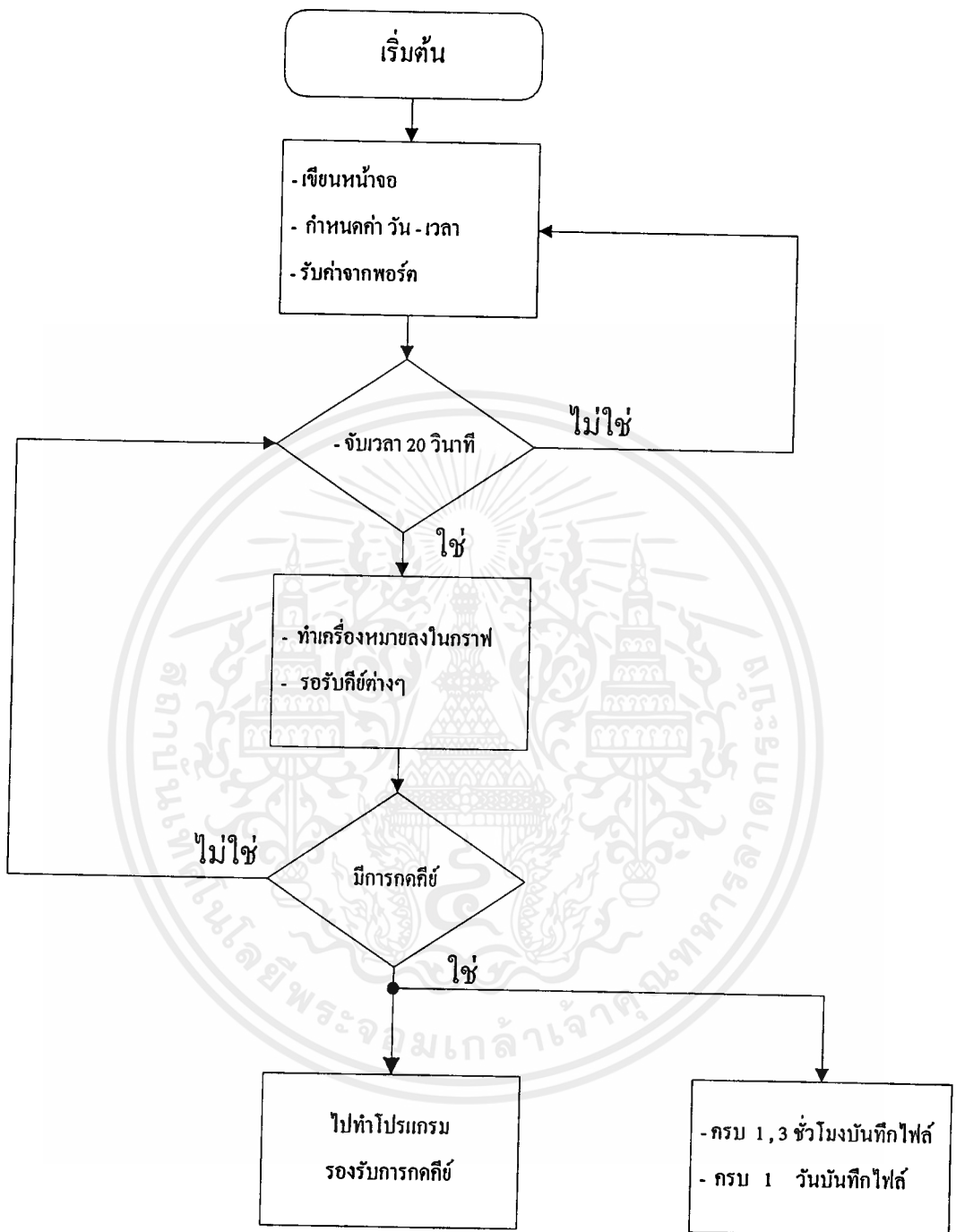
รูปที่ 3.8 วงจรรวมภาคส่งสัญญาณวิทยุ



รูปที่ 3.9 วงจรรวมภาครับสัญญาณวิทยุ

### 3.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรม

ในรูปที่ 3.10 เป็นแผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรม เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมจะทำการจัดหน้าจอขึ้น หลังจากนั้นจะรอรับค่าพัลส์ที่เข้ามาที่พอร์ตอินพุทของเครื่อง โดยจะจับเวลา 20 วินาที ว่ามีพัลส์ที่รูปคลื่นก็จะดูค่าคงที่ และทำการพล็อตจุดลงบนกราฟแสดงผลที่หน้าจอ ในขณะเดียวกันจะรอรับคีย์ที่จะกดว่าทำงานในส่วนของโปรแกรมรองรับหรือไม่ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปตามค่าที่กำหนด เช่น 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง เป็นต้น จะทำการบันทึกเป็นไฟล์ข้อมูลโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง และผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลองของวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน รวมทั้งการทดลอง ผลการทดลองของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

#### 4.2 วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

ในการทดลองขั้นแรก จะต้องทำการปรับความถี่ที่ใช้ในสถานะสัญญาณดิจิทัลที่เป็นศูนย์ และที่เป็นหนึ่งเสียก่อน ซึ่งเรียกว่าความถี่มาร์ค และความถี่สเปซ ตามลำดับดังนี้

การปรับความถี่มาร์ค จะต้องทำการปลด  $R_4$  ออกจากวงจร แล้วป้อนสัญญาณดิจิทัลเข้าทางอินพุตของวงจร จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร ซึ่งจะต้องเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่มาร์คที่ได้คำนวณไว้ข้างต้น โดยสามารถปรับความถี่ได้ที่  $VR_1$

การปรับความถี่สเปซ จะต้องทำการปลด  $R_3$  ออกจากวงจร แล้วป้อนสัญญาณดิจิทัลเข้าทางอินพุตของวงจร จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร ซึ่งจะต้องเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่สเปซที่ได้คำนวณไว้ข้างต้น โดยสามารถปรับความถี่ได้ที่  $VR_2$

##### 4.2.1 การทดลอง

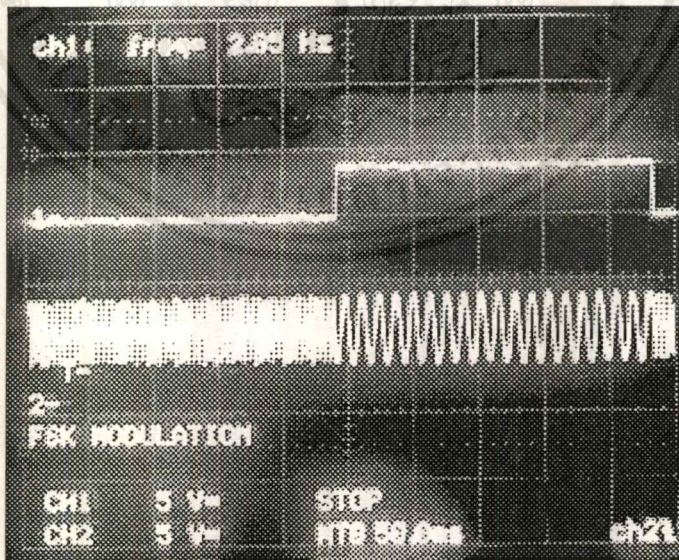
1. ป้อนสัญญาณอินพุตจากเครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีอัตราบิต 2 บิตต่อวินาทีให้กับวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดโดยออสซิลโลสโคปที่มีความละเอียดสูง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณทางอินพุต จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามสถานะสัญญาณอินพุตที่เข้ามา โดยในสถานะสัญญาณอินพุตเป็นศูนย์ สัญญาณคลื่นไซน์จะมีความถี่เท่ากับความถี่สเปซ คือ 2,225 เฮิรตซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในสภาวะสัญญาณอินพุตเป็นหนึ่ง สัญญาณคลื่นไซน์จะมีความถี่เท่ากับความถี่มาร์ค คือ มีค่า 2,025 เฮิรตซ์

2. ป้อนสัญญาณอินพุตจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน จะได้สัญญาณทางเอาต์พุตเป็นสัญญาณคลื่นไซน์คล้ายกับ ข้อ 1 ตามสภาวะสัญญาณทางอินพุตที่เข้ามาแต่จะแตกต่างกันตรงที่สัญญาณอินพุตที่เข้ามามีอัตราบิตที่ไม่แน่นอนแตกต่างกัน

#### 4.2.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค รูปสัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคลื่นไซน์สองความถี่ที่ใช้เป็นคลื่นพาหะเมื่อสัญญาณดิจิทัลทางอินพุตเปลี่ยนแปลงไป และวงจรสามารถที่จะตอบสนองอัตราบิตของสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุตสูงสุดประมาณ 300 บิตต่อวินาที โดยวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเคยังสามารถที่จะดีมอดูเลตสัญญาณกลับคืนมาได้ โดยลักษณะที่ได้จากการมอดูเลตแบบเอฟเอสเคสามารถที่จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1



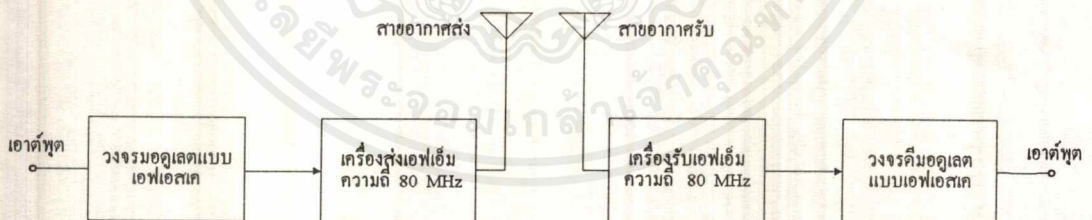
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

### 4.3 วงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

ก่อนทำการทดลองวงจรจะต้องปรับความถี่กลางของวงจรรอสซิชิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันให้ได้ที่ความถี่ 2,125 เฮิร์ตซ์ เสียก่อน ซึ่งจะปรับที่ความต้านทานแบบปรับค่าได้ค่า 5 กิโลโอห์ม ในส่วนของวงจรจะต้องต่อขา 2 ของไอซีเข้ากับขา 10 แล้ววัดสัญญาณความถี่กลางของวงจรรอสซิชิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน ที่ขา 3 โดยใช้ออสซิลโลสโคปที่มีความละเอียดสูง ซึ่งสัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นสัญญาณดิจิทัลความถี่ 2,125 เฮิร์ตซ์ เมื่อปรับแต่งวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเคเรียบร้อยแล้วจึงนำมาทดลองป้อนสัญญาณ

#### 4.3.1 การทดลอง

1. ป้อนสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการมอดูเลตแบบเอฟเอสเคเข้าที่อินพุตของวงจรที่มีอัตราบิต 5 บิตต่อวินาที แล้ววัดสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจร
2. ป้อนสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับเอฟเอ็มเป็นสัญญาณอินพุตของวงจร (เครื่องรับต้องได้รับการปรับแต่งเรียบร้อยแล้ว) และใช้เครื่องส่งส่งสัญญาณดิจิทัลที่ถูกมอดูเลตมาแล้วโดยส่งที่ความถี่ 80 เมกะเฮิร์ตซ์ จากนั้น วัดสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเคลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 4.2



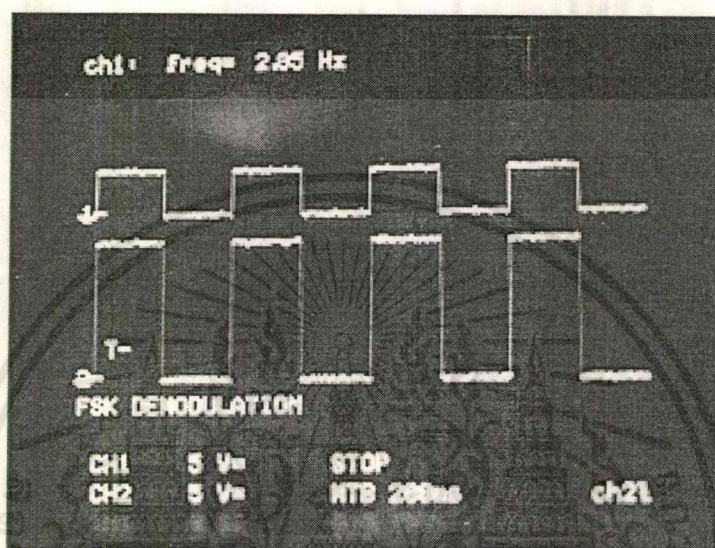
รูปที่ 4.2 การต่อวงจรเพื่อทดลองการใช้งานวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

#### 4.3.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เหมือนกับทางอินพุต แต่อาจจะมีการหน่วงเวลา เนื่องจากการเดินทางของคลื่นสัญญาณ ถ้าสัญญาณทางอินพุตนั้นมีอัตราบิตต่ำ การหน่วงของสัญญาณทางเอาต์พุตจะไม่ค่อยมี ซึ่งวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คีมอคูเลตจะมีอัตราการส่งสัญญาณ 300 บิตต่อวินาที ถ้าสัญญาณทางอินพุตมีอัตราบิตที่สูงกว่า 300 บิตต่อวินาที วงจรจะไม่สามารถคีมอคูเลตสัญญาณออกมาได้ สัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรคีมอคูเลตแบบเอฟเอสเค

จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสเหมือนกับสัญญาณอินพุตที่อัตราบิตต่ำ และค่าแรงดันที่ได้จะมีค่าประมาณ 12 โวลต์ โดยถ้านำไปใช้งานกับคอมพิวเตอร์จะต้องทำการลดแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์

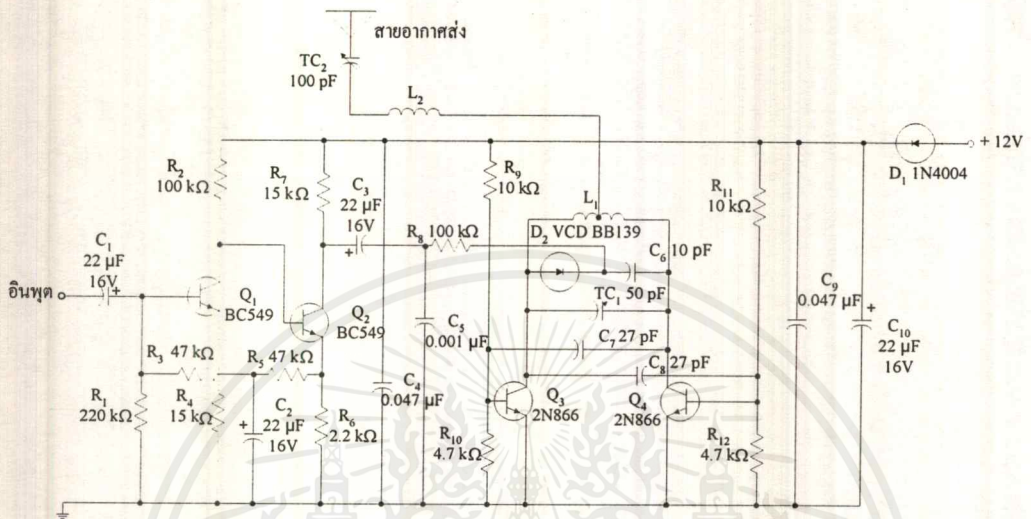
#### 4.4 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม

ในการทดลองวงจรเครื่องส่งเอฟเอ็มนี้จะส่งที่ความถี่ 80 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยสาเหตุที่เลือกความถี่นี้ เพราะเป็นความถี่ที่ไม่มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ และด้านอื่นๆ

##### 4.4.1 การทดลอง

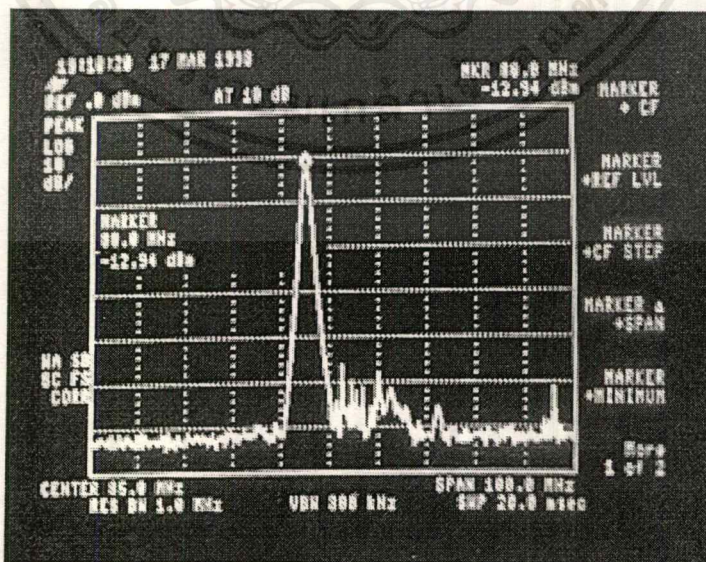
ทดลองโดยการไม่ป้อนสัญญาณทางอินพุตของวงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม และทำการวัดสัญญาณทางเอาต์พุต ที่เครื่องส่งเอฟเอ็มส่งออกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Spectrum Analyzer) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

analyzer)  $TC_1$  และ  $TC_2$  ใช้ปรับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้เท่ากับอิมพีแดนซ์ของวงจรเครื่องส่งมากที่สุด ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม

4.4.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณความถี่ที่เครื่องส่งส่งออกมา ณ ความถี่ 80 เมกกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

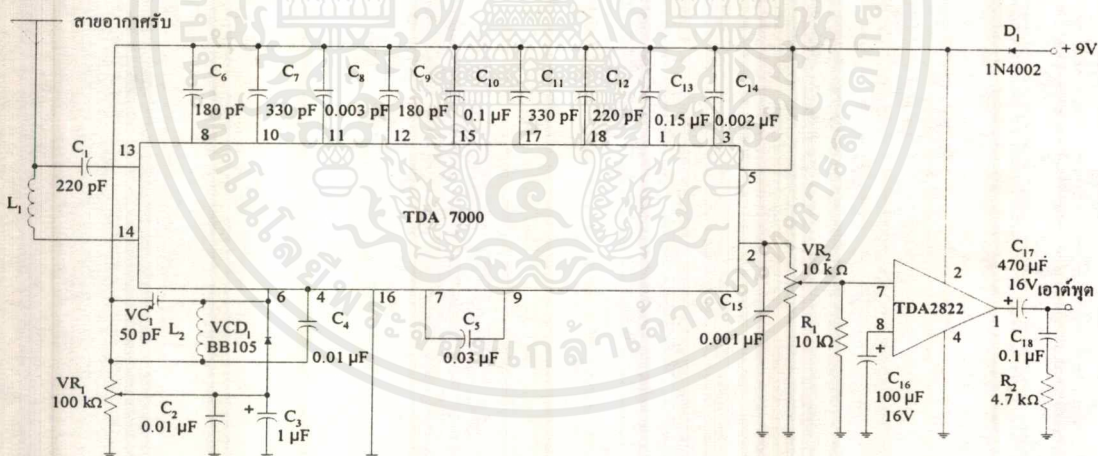
จากการทดลองเครื่องส่งจะมีฮาร์มอนิกข้างเคียงอยู่บ้าง แต่เนื่องจากเครื่องส่งมีกำลังส่งเพียง 2 วัตต์ จึงไม่รบกวนความถี่ข้างเคียงที่มีการใช้งานอยู่ โดยมีระยะส่งประมาณ 700 เมตร ลักษณะรูปสัญญาณสเปกตรัมความถี่ที่วัดได้จากเครื่องส่งนี้แสดงดังรูปที่ 4.5

จากรูปจะเห็นว่าความถี่ที่เครื่องส่งส่งออกมานั้นจะมีความถี่ข้างเคียงอยู่บางส่วน ซึ่งความถี่ข้างเคียงที่เกิดขึ้นนี้ จะเป็นสาเหตุจากการทำงานของทรานซิสเตอร์ภาคเอาต์พุต ที่จะทำงานสลับกันเพื่อกำเนิดความถี่ 80 เมกกะเฮิร์ตซ์ ขึ้นมา

## 4.5 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม

### 4.5.1 การทดลอง

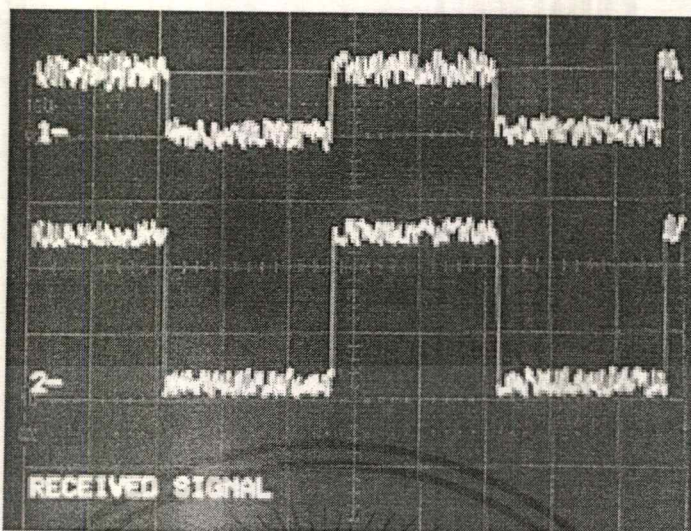
ในการทดลองเครื่องรับ จะต้องปรับความถี่ให้เครื่องรับรับสัญญาณที่ความถี่ 80 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยการปรับที่คาปาซิเตอร์แบบปรับค่าได้  $TC_1$  และตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้  $VR_1$  แล้ววัดสัญญาณทางเอาต์พุตที่เครื่องรับ



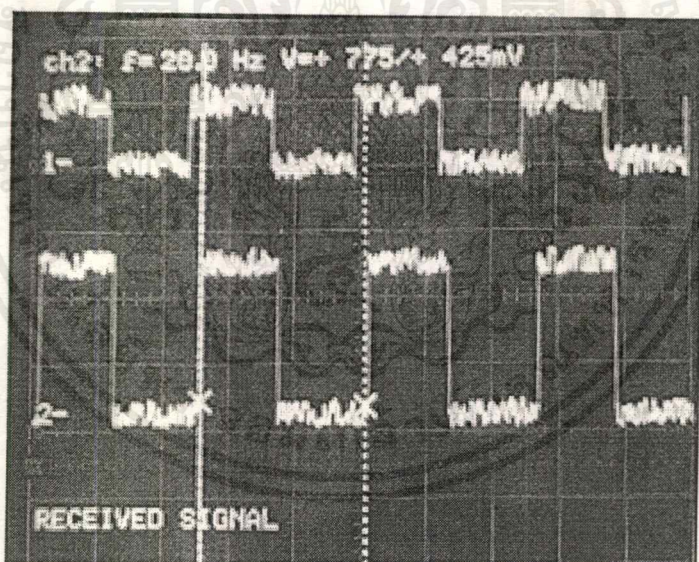
รูปที่ 4.6 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม

### 4.5.2 ผลการทดลอง

สัญญาณที่ได้จากเครื่องรับเมื่อต่อผ่านวงจรคิมอคูเลตแบบเอฟเอสเคแล้ว จะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เหมือนกับทางอินพุต ซึ่งรูปสัญญาณนี้แสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4.7



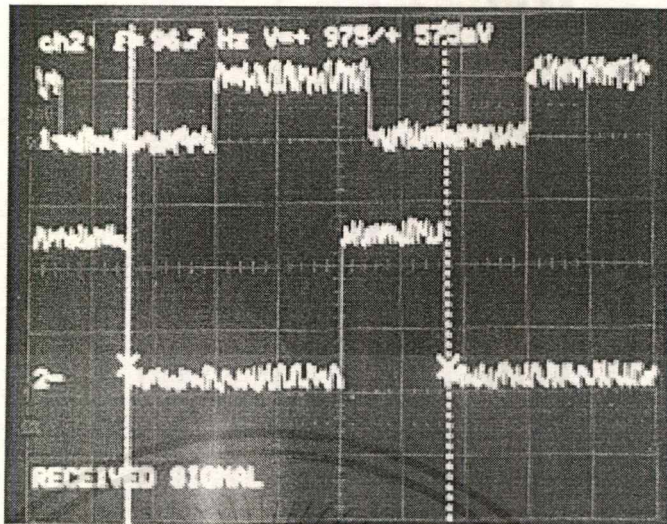
(ก) กรณีสัญญาณอินพุตมีอัตราบิต 5 บิตต่อวินาที



(ข) กรณีสัญญาณอินพุตมีอัตราบิต 20 บิตต่อวินาที

รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

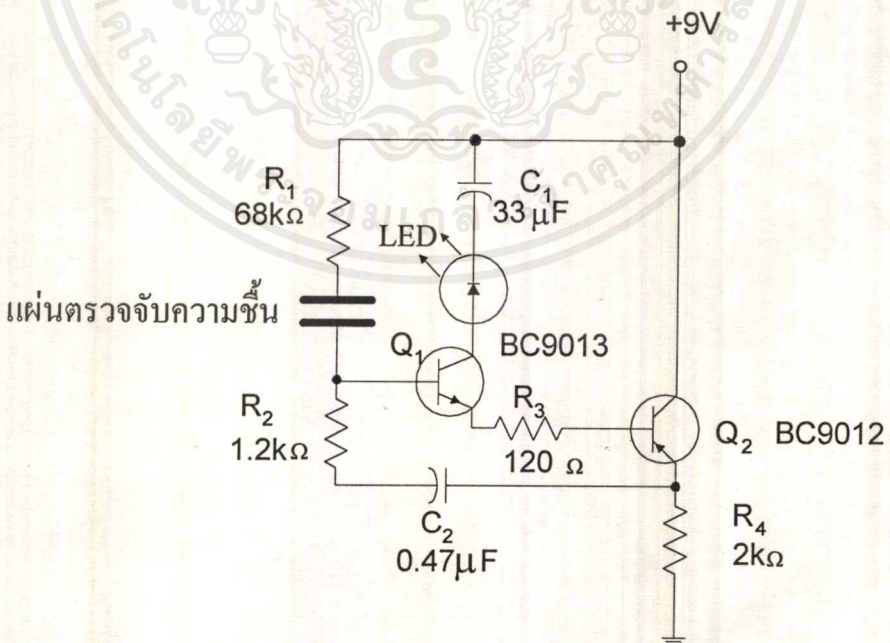
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กรณีสัญญาณอินพุตมีอัตราบิต 96.7 บิตต่อวินาที

รูปที่ 4.7 (ต่อ) สัญญาณเอาต์พุตของวงจรคิมอูลิตแบบเอฟเอสเค

#### 4.6 วงจรตรวจจับความชื้น



รูปที่ 4.8 วงจรตรวจจับความชื้น

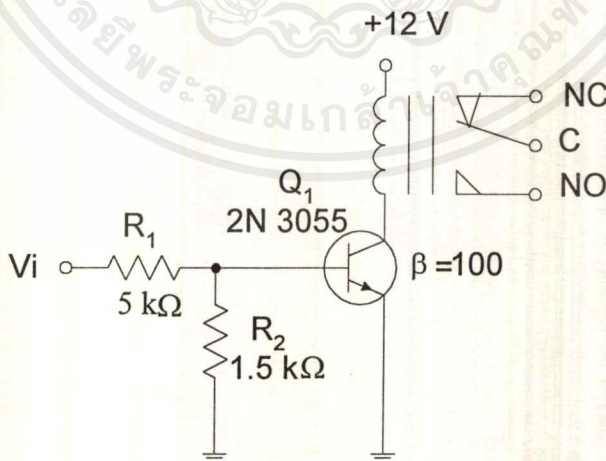
#### 4.6.1 การทดลอง

1. ประกอบวงจรตรวจจับความชื้น ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมด
2. ป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 9 โวลต์ ที่ขาบวกของคาปาซิเตอร์ 33 ไมโครฟารัด / 10 โวลต์
3. หยคน้ำลงบนแผ่นตรวจจับความชื้น
4. สังเกตว่าไดโอดเปล่งแสงสว่างหรือไม่ ถ้าไม่สว่างให้ตรวจสอบการทำงานของวงจรทั้งหมด พร้อมทั้งตรวจสอบทรานซิสเตอร์ BC 9012 และ BC 9013
5. วัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม ว่ามีค่า 8 โวลต์ หรือไม่ เนื่องจากจะต้องนำไปป้อนให้กับวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน

#### 4.6.2 ผลการทดลอง

เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 9 โวลต์ และมีหยคน้ำมาสัมผัสแผ่นตรวจจับความชื้นแล้ว ไดโอดเปล่งแสงจะสว่างขึ้น และเมื่อวัดแรงดันตกคร่อมที่ตัวความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม มีแรงดันตกคร่อม 8 โวลต์ แสดงว่าวงจรนี้สามารถทำงานได้ตามปกติ

#### 4.7 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน



รูปที่ 4.9 วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

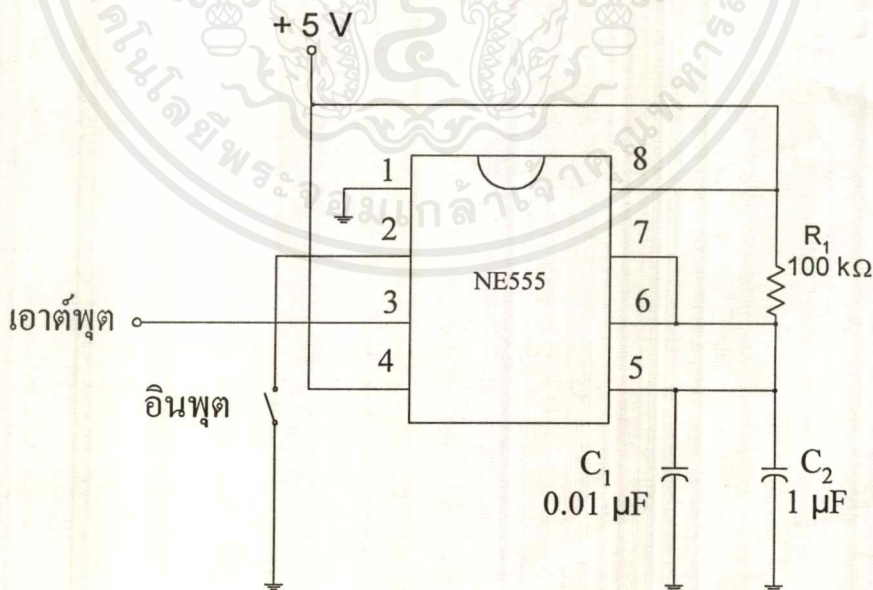
#### 4.7.1 การทดลอง

1. ประกอบวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยแรงดัน ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมด
2. ป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์เป็นไฟเลี้ยงให้กับรีเลย์ และวงจร
3. ป้อนแรงดันทางอินพุตที่ขาดัวความต้านทาน 5 กิโลโอห์ม ที่ต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์
4. วัดที่ขา C และ NO ของรีเลย์ว่าต่อดังกันหรือไม่เมื่อมีแรงดันอินพุตเข้ามา หากขา C และ NO ของรีเลย์ไม่ต่อดังกัน ให้ตรวจสอบทรานซิสเตอร์ 2N 3055

#### 4.7.2 ผลการทดลอง

เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 9 โวลต์ และป้อนแรงดันอินพุตให้กับทรานซิสเตอร์ เมื่อวัดที่ขา C และ NO ของรีเลย์จะต่อดังกัน สวิตช์มีสถานะเป็น ON และเมื่อไม่ป้อนแรงดันอินพุตที่ขา C และ NO จะไม่ต่อดังกัน สวิตช์มีสถานะเป็น OFF

#### 4.8 วงจรหน่วงเวลา



รูปที่ 4.10 วงจรหน่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8.1 การทดลอง

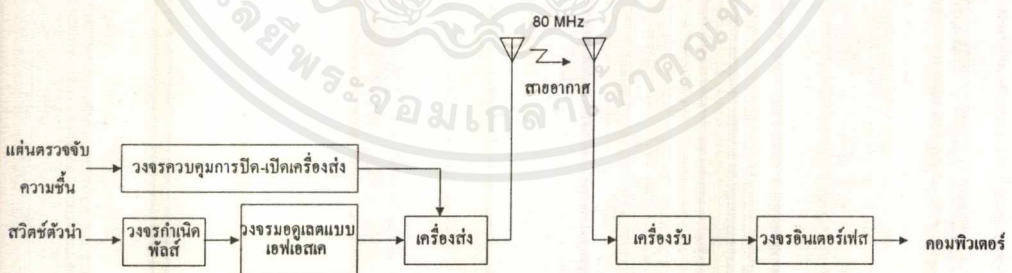
1. ประกอบวงจรหน่วงเวลา ตรวจสอบความเรียบร้อยทั้งหมด
2. ป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับวงจร
3. กดสวิตช์ที่อินพุตให้ขา 2 ของ IC 555 ลงกราวด์
4. วัดสัญญาณที่ขา 3 ของ IC 555 ออกตามต้องการหรือไม่

#### 4.8.2 ผลการทดลอง

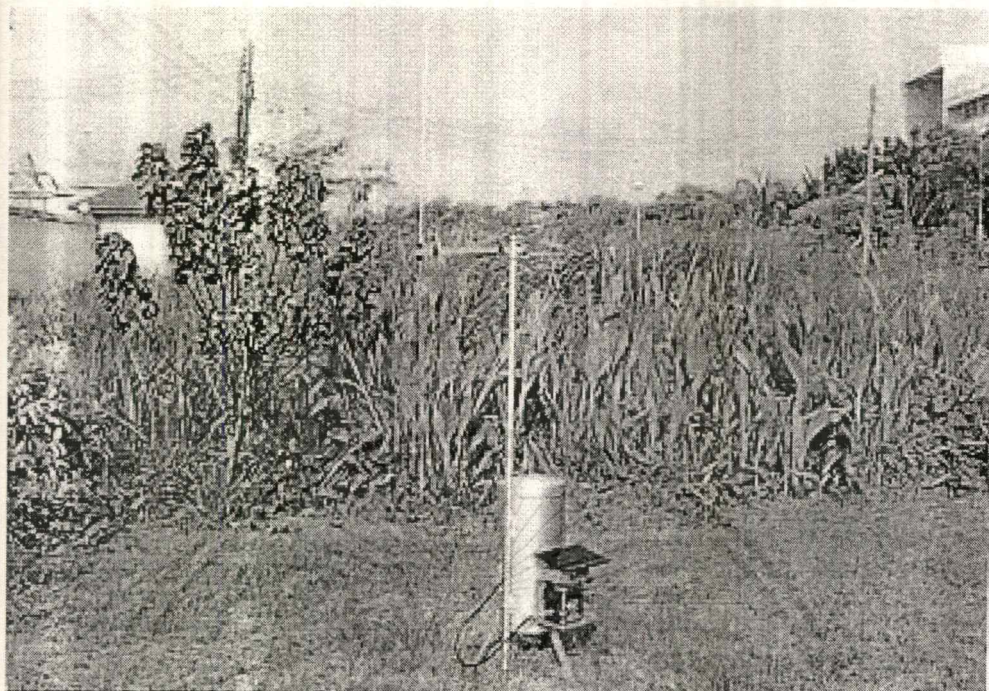
หลังจากประกอบวงจรหน่วงเวลา และป้อนไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับวงจร เมื่อทำการกดสวิตช์จะมีสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 ของ IC 555 ความกว้างของพัลส์ประมาณ 330 มิลลิวินาที ซึ่งสามารถนำไปใช้กับการมอดูเลตสัญญาณแบบเอพเอสเคได้ตามต้องการ

#### 4.9 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เมื่อทำการทดลองในส่วนต่างๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำแต่ละส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันตามแผนผังการทำงานในรูปที่ 4.11 เพื่อทำการทดลองการวัดปริมาณน้ำฝนต่อไป



รูปที่ 4.11 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน โดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ



รูปที่ 4.12 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

#### 4.9.1 การทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

การทดลองในส่วนของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ทำการทดลองโดยเทน้ำในปริมาณ 10 มิลลิเมตร จำนวน 15 ครั้ง นับจำนวนครั้งที่กระดิ่งกระดก นำจำนวนครั้งการกระดก คูณกับ 0.2 จะได้เป็นปริมาณน้ำฝนที่เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนวัดได้ ซึ่งค่า 0.2 นี้คือปริมาณน้ำที่ทำให้กระดิ่งกระดก 1 ครั้ง

ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ทำการทดลองในวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2541 ที่ ลาดกระบัง ในการเทน้ำปริมาณ 10 มิลลิเมตร กระดิ่งกระดก 47 ครั้ง จากการเทน้ำ 15 ครั้ง คิดเป็นค่าผิดพลาดร้อยละ 6 ในการคำนวณปริมาณน้ำฝนทำได้โดยใช้สมการที่ 4.1

$$\text{จำนวนครั้งที่กระดก} \times 0.2 = \text{ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)} \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เทน้ำปริมาณ 10 มิลลิเมตร			
ครั้งที่	จำนวนครั้งที่กระดก	ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ (มม.)	ผิดพลาดร้อยละ
1	47	9.4	6
2	47	9.4	6
3	47	9.4	6
4	47	9.4	6
5	47	9.4	6
6	47	9.4	6
7	47	9.4	6
8	47	9.4	6
9	47	9.4	6
10	47	9.4	6
11	47	9.4	6
12	47	9.4	6
13	47	9.4	6
14	47	9.4	6
15	47	9.4	6

จากการทดลอง กระดกกระดก 47 ครั้ง ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้คือ

$$47 \times 0.2 = 9.4 \text{ มิลลิเมตร}$$

อีกสิ่งหนึ่งที่จะทำการทดลอง คือ เรื่องของระยะทางในการส่ง ว่าระยะทางที่ต่างกัน จะมีผลต่อการส่งสัญญาณหรือไม่ อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

การทดลองจะทำโดยติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และเครื่องรับในระยะทางต่างๆ แล้วทดลองส่งสัญญาณเมื่อเทน้ำในปริมาณ 10 มิลลิเมตร ในแต่ละครั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนวัดค่าได้เท่าไร ทำการบันทึก และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ระยะทางต่างๆ

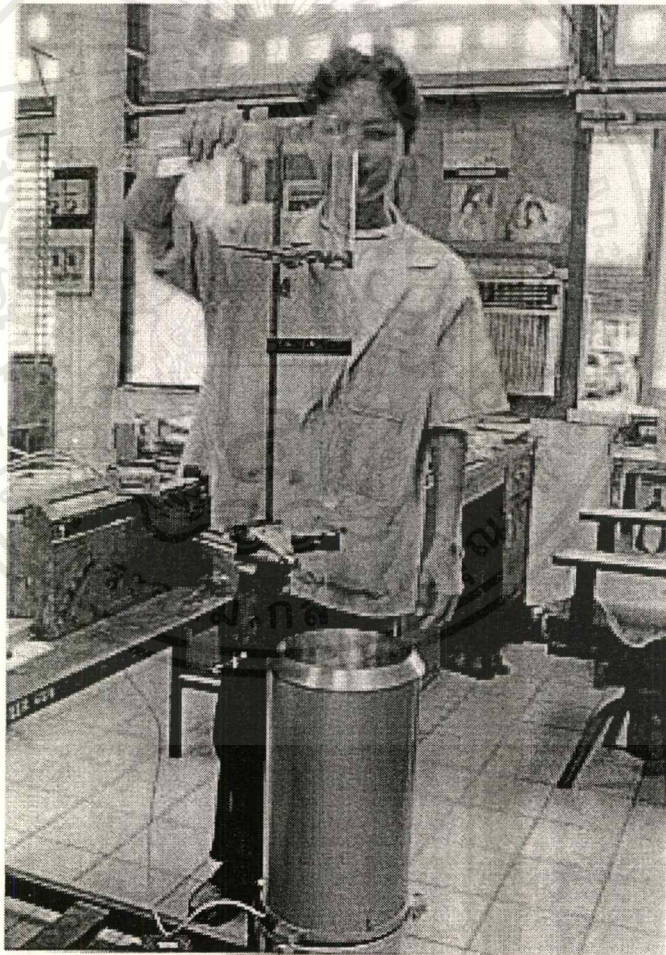
ระยะทาง (ม.)	ปริมาณน้ำที่ทดลอง (มม.)	ปริมาณน้ำที่วัดได้ (มม.)	ผิดพลาดร้อยละ
100	10	9.4	6
200	10	9.4	6
300	10	9.4	6
400	10	9.4	6
500	10	9.4	6
600	10	9.4	6
700	10	9.4	6
800	10	9.2	8
900	10	9.2	8
1,000	10	7.6	24
1,200	10	3.2	68
1,500	10	0	100

จากการทดลองและผลการทดลองที่ได้ ทำให้ทราบว่าความสามารถในการส่งสัญญาณข้อมูลในการวัดปริมาณน้ำฝนของเครื่องส่ง มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระยะทางตั้งแต่ 100 เมตร ถึง 700 เมตร เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการส่งจะลดลงตามลำดับ และจะไม่สามารถส่งสัญญาณมาถึงเครื่องรับได้เมื่อระยะทางไกลถึง 1,500 เมตร เนื่องจากกำลังส่งของเครื่องส่งไม่เพียงพอ

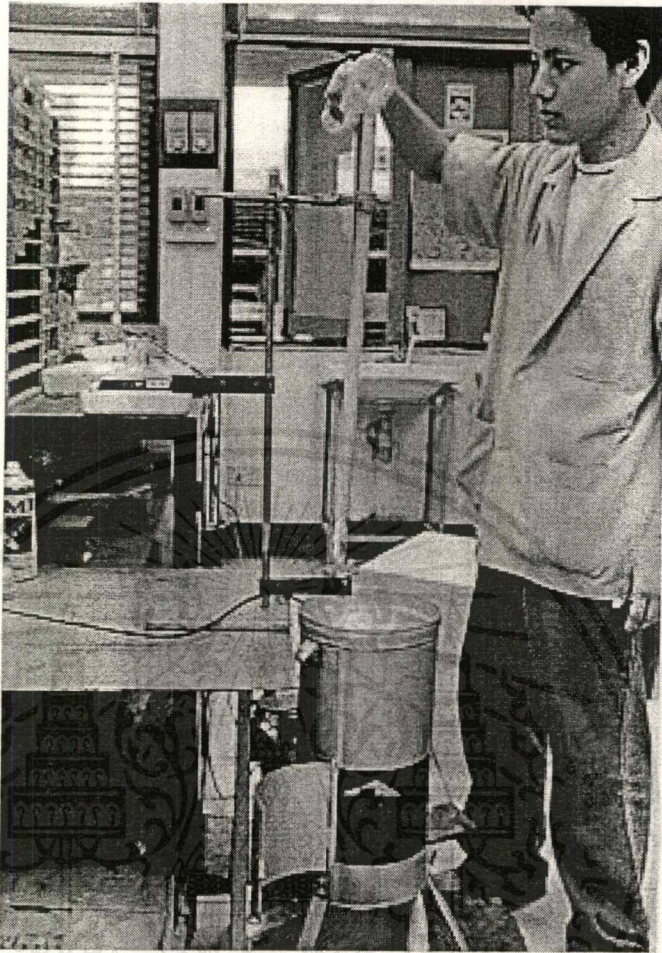
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่จะนำไปใช้งาน จะต้องผ่านการสอบเทียบจากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อปรับแต่งให้สามารถตรวจวัดได้อย่างถูกต้อง

ในการสอบเทียบกระทำโดย เทน้ำด้วยความแรงที่ต่างกัน จากนั้นนับจำนวนครั้งที่กระเบื้องเกิดการกระดก นำจำนวนครั้งที่นับได้คูณกับปริมาณน้ำฝนในการกระดก 1 ครั้ง คือ ครั้งละ 0.2 มิลลิเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่เท เพื่อหาค่าผิดพลาดที่ระดับความแรงต่างๆ และปรับแต่งให้ถูกต้องมากที่สุด

ความแรงของน้ำฝนแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ ฝนเล็กน้อย ฝนปานกลาง ฝนหนัก และ ฝนหนักมาก ในแต่ละระดับจะทำการทดลองคล้ายกัน ต่างกันที่ความแรงของน้ำ



รูปที่ 4.13 การทดลองเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO



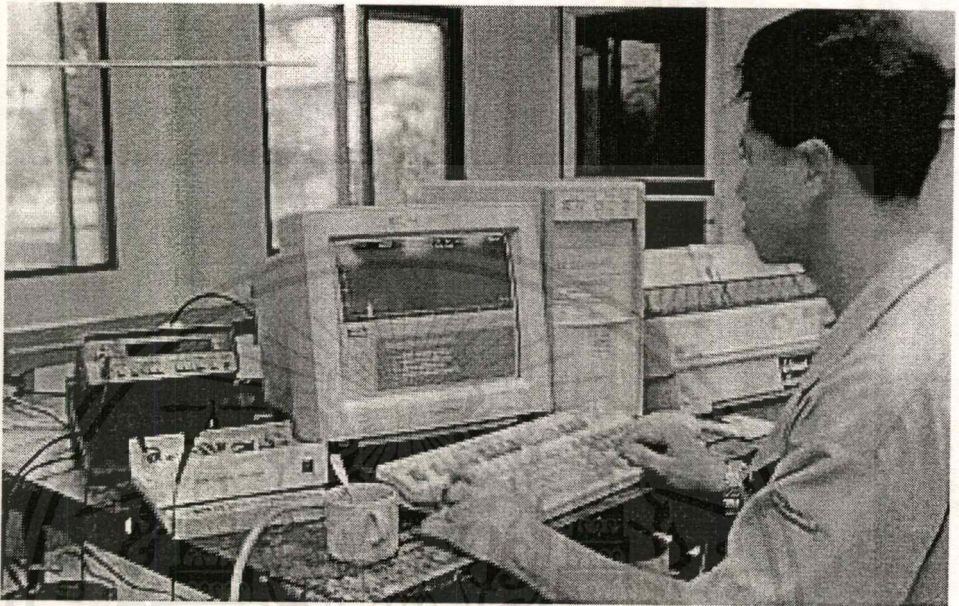
รูปที่ 4.14 การสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น

- ฝนเล็กน้อย

ความแรงของน้ำฝนในระดับฝนเล็กน้อย คือมีปริมาณน้ำ 0.5 - 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีลำดับขั้นในการสอบเทียบดังนี้

1. เทน้ำปริมาณ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ให้กับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO ซึ่งเป็นเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ได้มาตรฐาน และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
2. บันทึกค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น บันทึกผล

ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนดังตารางที่ 4.3 - 4.6 ทำการสอบเทียบในวันที่ 30-31 มีนาคม พ.ศ. 2541 ที่กรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 4.15 ทดลองรับสัญญาณจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนเล็กน้อย

ฝนเล็กน้อย (0.5 - 5 มม. ต่อชม.)				
ปริมาณน้ำที่ใช้วัด (มม.)	เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO (มม.)	เครื่องวัด KMIT ' L 98 - 1 FM (มม.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	1	0.8	1	0.9
2	2	2.8	3	2.9
3	3	4.8	5	4.9

จากผลการทดลองเมื่อหน้า 1 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM (เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น) วัดได้ 0.9 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 10, หน้า 2 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 2.9 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 3.33 , เมื่อเทน้ำ 3 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 4.9 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 2

เมื่อนำค่าผิดพลาดทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยรวมจะได้ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ ความแรงระดับฝนเล็กน้อย ร้อยละ 5.11

#### - ฝนปานกลาง

ความแรงของน้ำฝนในระดับฝนปานกลาง คือมีปริมาณน้ำ 5.1-25.0 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมงมีลำดับขั้นในการสอบเทียบดังนี้

1. เทน้ำปริมาณ 7, 15 และ 23 มิลลิเมตร ให้กับเครื่องวัดปริมาณ น้ำฝน MUNRO และเทน้ำให้กับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
2. บันทึกค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ที่สร้างขึ้น
3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น บันทึกผล

ตารางที่ 4.4 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนปานกลาง

ฝนปานกลาง (5.1 - 25 มม. ต่อชม.)				
ปริมาณน้ำที่ใส่วัด (มม.)	เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO (มม.)	เครื่องวัด KMIT ' L 98 - 1 FM (มม.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
7	6.8	6.4	6.6	6.5
15	14.4	14	14.4	14.2
23	22	21	21.6	21.3

จากผลการทดลองเมื่อเทน้ำ 7 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM (เครื่องวัด ปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น) วัดได้ 6.5 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 7.14, เทน้ำ 15 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 14.2 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาด

ร้อยละ 5.33 , เทน้ำ 23 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 21.3 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 7.39

เมื่อนำค่าผิดพลาดทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยรวมจะได้ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนเล็กน้อย ร้อยละ 6.62

#### - ฝนหนัก

ความแรงของน้ำฝนในระดับฝนหนัก คือมีปริมาณน้ำ 25.1 - 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีลำดับขั้นในการสอบเทียบดังนี้

1. เทน้ำปริมาณ 30, 36 และ 48 มิลลิเมตร ให้กับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO และเทน้ำให้กับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
2. บันทึกค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น บันทึกผล

ตารางที่ 4.5 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนหนัก

ฝนหนัก (25.1 - 50 มม. ต่อชม.)				
ปริมาณน้ำที่ใช้วัด (มม.)	เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO (มม.)	เครื่องวัด KMIT ' L 98 - 1 FM (มม.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
30	28.8	26.8	27.8	27.3
36	34.4	31.4	33.8	32.6
48	46	41.2	45.6	43.4

จากผลการทดลองเมื่อเทน้ำ 30 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM (เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น) วัดได้ 27.3 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 9, เทน้ำ 36 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 32.6 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาด

ร้อยละ 9.4 , เทน้ำ 48 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 43.4 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 9.58

เมื่อนำค่าผิดพลาดทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยรวมจะได้ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนเล็กน้อย ร้อยละ 9.33

#### - ฝนหนักมาก

ความแรงของน้ำฝนในระดับฝนหนัก คือมีปริมาณน้ำ 50.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป มีลำดับขั้นในการสอบเทียบดังนี้

1. เทน้ำปริมาณ 55, 60 และ 70 มิลลิเมตร ให้กับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO และเทน้ำให้กับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
2. บันทึกค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO และเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น
3. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น บันทึกผล

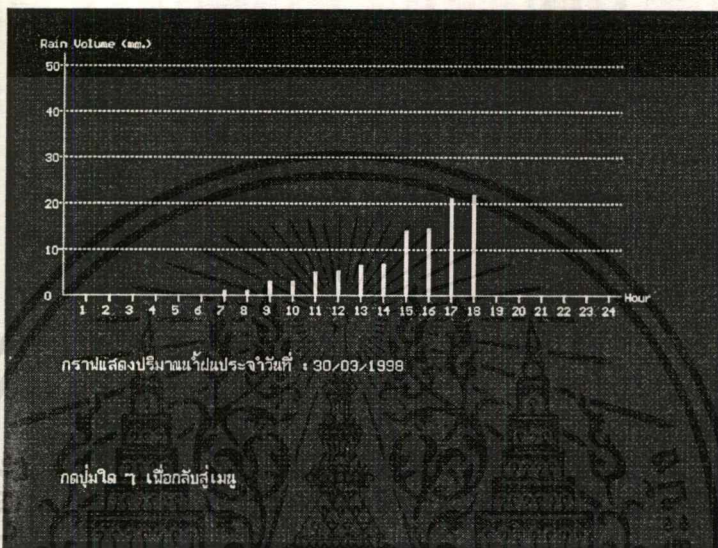
ตารางที่ 4.6 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ความแรงระดับฝนหนักมาก

ฝนหนักมาก (50 มม. ต่อชม. ขึ้นไป)				
ปริมาณน้ำที่ใช้วัด (มม.)	เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน MUNRO (มม.)	เครื่องวัด KMIT ' L 98 - 1 FM (มม.)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
55	49.5	46	48.2	47.1
60	54	50.6	52	51.3
70	63	55.8	60.4	58.1

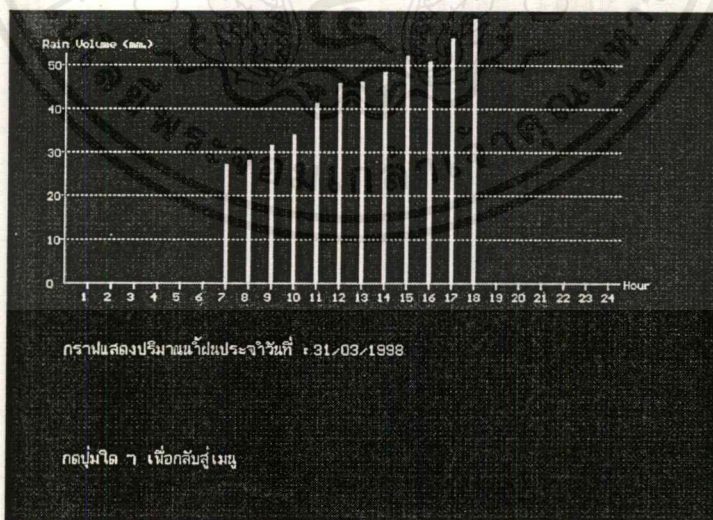
จากผลการทดลองเมื่อเทน้ำ 55 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM (เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่สร้างขึ้น) วัดได้ 47.1 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ผิดพลาดร้อยละ 14.36, เทน้ำ 60 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98 - 1 FM วัดได้ 51.3 มิลลิเมตร เฉลี่ยจาก 2 ครั้ง

ผิวดลาดร้อยละ 14.5, เทน้ำ 70 มิลลิเมตร เครื่องวัด KMIT'L 98-1 FM วัดได้ 58.1 มิลลิเมตร  
 เหลือจาก 2 ครั้ง ผิวดลาดร้อยละ 17

เมื่อนำค่าผิวดลาดทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยรวมจะได้ค่าผิวดลาดของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่  
 ความแรงระดับฝนเล็กน้อย ร้อยละ 15.28



รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดลองของตารางที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.17 กราฟผลการทดลองของตารางที่ 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

โครงการนี้เป็นการพัฒนาจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบใช้กระเบื้องวัดค่า ซึ่งจะกระดกเมื่อมีฝนตกทุก 0.2 มิลลิเมตร โดยเพิ่มประโยชน์ และความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น กล่าวคือ สามารถวัดปริมาณน้ำฝนได้ตามปกติโดยไม่ต้องใช้บุคลากรเป็นคนตรวจวัด, สามารถวัดได้ทุกพื้นที่, เคลื่อนย้ายได้สะดวก, เก็บค่าที่วัดได้เป็นข้อมูลสามารถประมวลผล และแสดงผลเป็นกราฟทุกๆ 20 วินาที, ติดตั้งเครื่องวัดไว้ห่างจากสถานีวัดได้ โดยขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเครื่องส่งว่าเครื่องส่งสามารถส่งได้ระยะทางเท่าใด, สามารถเก็บข้อมูลใส่ในฮาร์ดไดรฟ์ของคอมพิวเตอร์ได้, สามารถเรียกดูข้อมูลในรูปของตัวเลข กราฟประจำวัน และกราฟประจำเดือนได้ และสามารถใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติดังในภาคผนวก ค. อีกทั้งไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่มีอยู่เดิมของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังนั้น สะดวกอย่างยิ่งในการนำไปใช้งานจริง ในบริเวณที่เจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัดได้ยากลำบาก เช่น หุบเขา, ยอดเขา เป็นต้น และบริเวณพื้นที่ที่ใช้ตรวจวัดตามปกติก็สามารถตรวจวัดได้

ผลการทดลองของเครื่องรับ-ส่ง และระบบการวัดค่าเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง เนื่องจากค่าผิดพลาดจากการวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ใช้ระบบในการวัดเดียวกัน โดยผิดพลาดประมาณ 5-7% จากปริมาณที่ฝนตกจริง เนื่องจากฝนบางส่วนจะตกค้างอยู่ที่วัตถุที่รองรับ ซึ่งเป็นหยดน้ำเล็กๆ ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งค่าผิดพลาดเหล่านี้ถือว่าเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานแล้วเป็นที่ยอมรับได้ ส่วนการตรวจวัดในกลางทะเลต้องใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอีกแบบหนึ่ง เนื่องจากการตรวจวัดค่าของปริมาณน้ำฝนกลางทะเลนั้น จำเป็นจะต้องติดตั้งไว้บนเรือ ซึ่งเรือจะมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาตามคลื่นหรือกระแสน้ำ ซึ่งการตรวจวัดจะเกิดค่าที่ผิดพลาดเป็นอย่างมาก

การสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนโดยส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ เป็นการพัฒนาจากระบบเดิมที่ใช้งานอยู่ให้สะดวกขึ้น ซึ่งจะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อย เนื่อง

เอกสารจากทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบอีก และเลือกระบบการใช้งานที่ประหยัดงบประมาณค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างที่สุด ทำให้ระบบนี้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกในทุกพื้นที่ และมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาที่ต่ำ

## 5.2 ปัญหา

1. วงจรมอดุลเตตแบบเอฟเอสเคไม่สามารถปรับค่า  $F_m$  (Mark frequency) ได้ เนื่องจากเครื่องวัดสัญญาณไม่สามารถวัดค่าที่ละเอียดได้
2. สเปกตรัมข้างเคียงของสัญญาณ  $F_m$  ของเครื่องส่งมีมาก
3. สายอากาศส่งไม่สมดุลย์ทางอิมพีแดนซ์
4. การสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนไม่ได้มาตรฐาน
5. เครื่องตรวจจับความเคลื่อนไหวอินฟราเรดติดตั้ง และตรวจจับได้ยาก
6. ในขณะที่กระเบื้องเกิดการกระดก สวิตช์ตัวน้ำจะต้อวงจร แต่ไม่เสถียรภาพ ทำให้เกิดช่องประกายในการเชื่อมต่อ (Spark gap)
7. ผิวของวัสดุที่นำมาทำกระเบื้อง และ กรวยรับน้ำฝน มีความเรียบไม่มากพอที่จะทำให้น้ำไหลโดยไม่ตกค้าง

## 5.3 แนวทางการแก้ไข

1. ใช้ฮอสซิลโลสโคปที่สามารถวัดค่าที่ละเอียดได้ เช่น DSO (Digital Storage Oscilloscope)
2. ใช้วงจรแบนพาสฟิลเตอร์กรองเอาเฉพาะความถี่ที่ต้องการส่งออกเท่านั้น แต่ไม่สามารถกรองออกได้ทั้งหมด
3. เพิ่มค่าคาปาซิเตอร์ที่ปรับค่าได้ต่อเข้ากับเอาต์พุตของเครื่องส่ง หลังจากนั้น ปรับค่าคาปาซิเตอร์จนมีการสมดุลย์ทางอิมพีแดนซ์ที่รูปสัญญาณดีที่สุด
4. นำเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนไปปรับแต่งใหม่ โดยอยู่ในการควบคุมดูแลของเจ้าหน้าที่กองช่างเครื่องมือ กรมอุตุนิยมวิทยา อย่างใกล้ชิดเพื่อการปรับแต่งที่ได้มาตรฐาน
5. เปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้สวิตช์ตัวน้ำ ซึ่งใช้หลักการของสนามแม่เหล็กในการสับสวิตช์ ซึ่งเป็นระบบที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้อยู่
6. เปลี่ยนระบบการตรวจจับการกระดกของกระเบื้อง โดยใช้ไดโอดพลังแสง (Photodiode) แทน
7. ใช้วัสดุที่มีความเรียบเพื่อให้น้ำไม่เกาะที่ผิววัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 แนวทางการพัฒนา

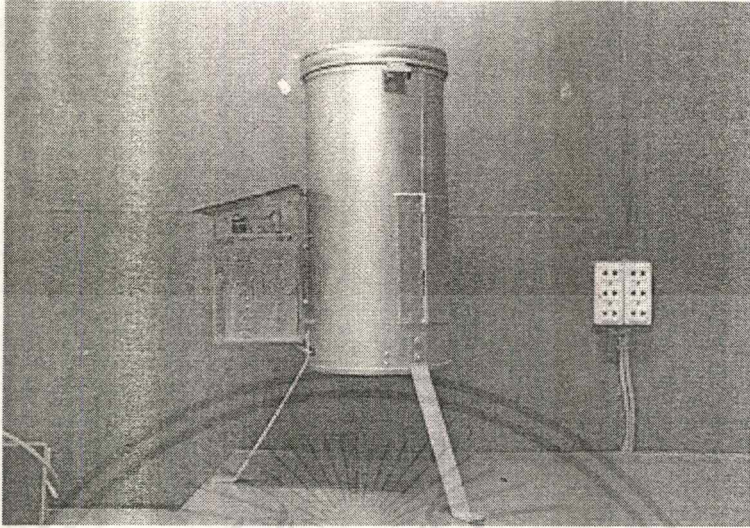
1. สามารถเพิ่มจำนวนช่องในการตรวจวัดสัญญาณได้มากกว่า 1 ช่องสัญญาณ อาจจะได้ถึง 4 - 8 ช่องสัญญาณ โดยสามารถนำไปวัดความชื้น, ความกดอากาศ, ความเร็วลม และ อุณหภูมิใต้ดิน เป็นต้น
2. สามารถเพิ่มการตรวจจับในระบบเอฟเอ็มโดยมอดูเลตแบบเอฟเอสเคได้หลายช่องสัญญาณตามต้องการ โดยเพิ่มเครื่องรับ - ส่งที่มีความถี่แตกต่างกันออกไป
3. สามารถขยายการแสดงผลบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงโปรแกรมการแสดงผลบางส่วนเท่านั้น
4. สามารถเพิ่มกำลังส่ง เพื่อขยายระยะทางในการวัดได้
5. ป้องกันเครื่องส่งด้านความร้อนที่เกิดจากแสงแดด, ความชื้นที่เกิดจากบรรยากาศ และน้ำฝน
6. การสร้างเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องวัดสากล เพื่อการวัดที่ออกมาเป็นไปอย่างถูกต้อง



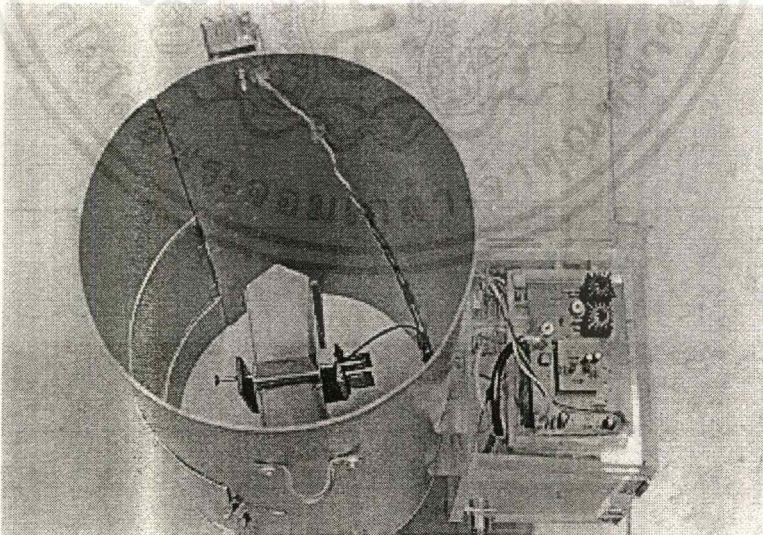
ภาคผนวก ก

รูปต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

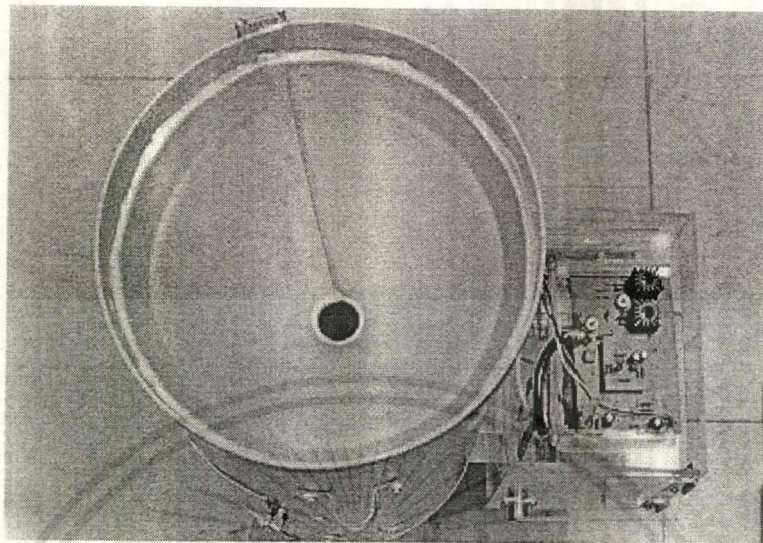


รูปที่ ก.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และชุดเครื่องส่งวิทยุ

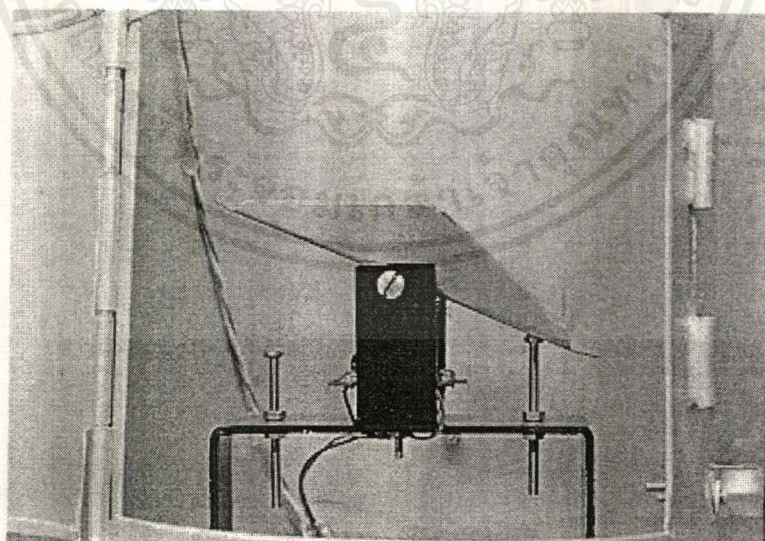


รูปที่ ก.2 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และเครื่องส่งวิทยุมองจากด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 กรวยของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว

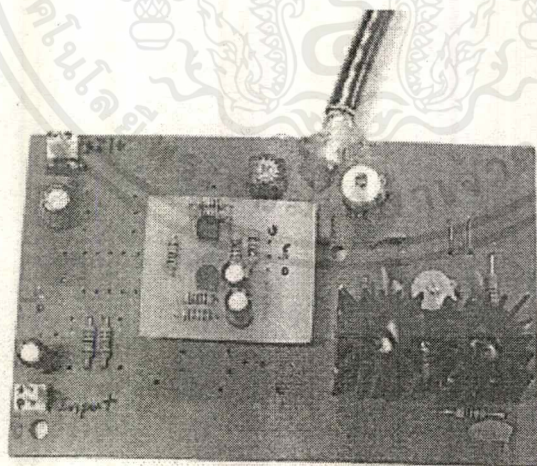


รูปที่ ก.4 กระเดื่องของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

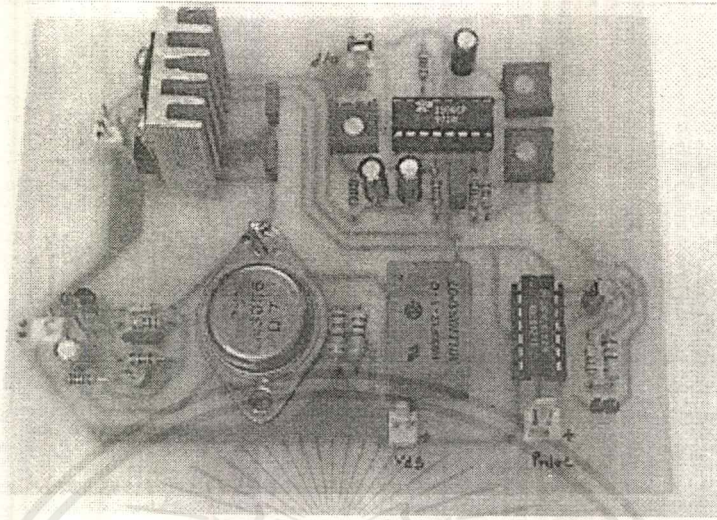


รูปที่ ก.5 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม

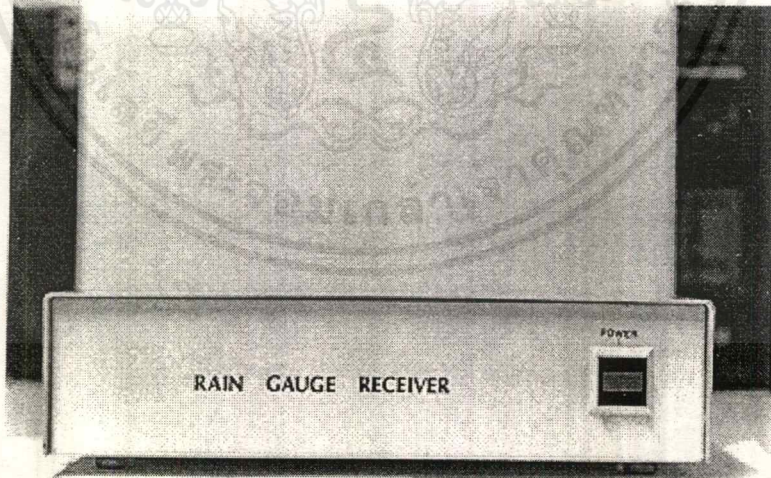


รูปที่ ก.6 วงจรเครื่องส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

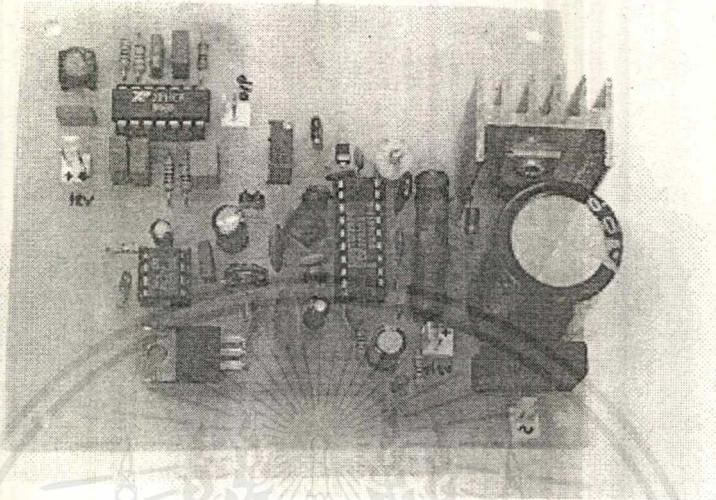


รูปที่ ก.7 วงจรรวมภาคส่งสัญญาณ

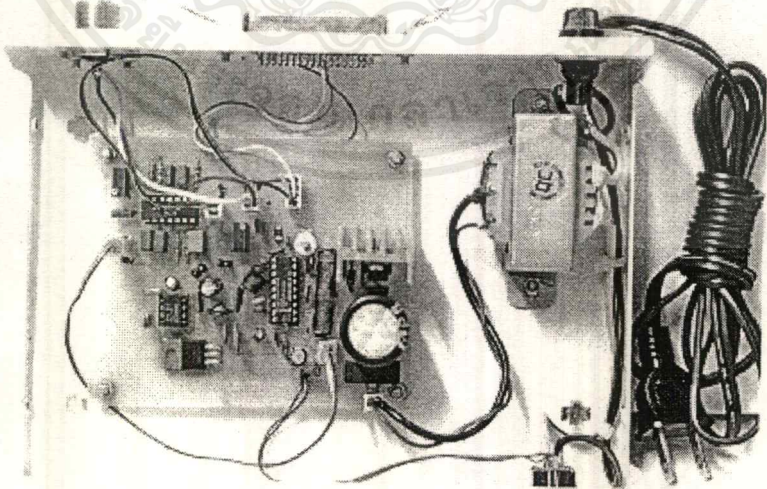


รูปที่ ก.8 เครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 วงจรเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม



รูปที่ ก.10 วงจรภายในของเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Program rain02;
uses Crt,Graph,Grnew,dos,thaikm;
const int_Vector = $1c;
type data_rec = record
    data_time : word;
    data_rain : real;
end;
var
    ch      : char;
    g,x,y   : integer;
    f,h,m,s,sec,houer,min : word;
    st: string;
    ST_TOTAL :string;
    initialx,initialy :integer;
    volt,rest,old : integer;
    vector:pointer;
    filename :string[8];
    rain_Volume : real;
    flag : integer;
{=====FILE=====}
    count_data : real;
    once,record_rain : integer;
    rec_var      : data_rec;
    file_var     : file of data_rec;
    data_hour    : array[1..24] of word;
    data_h       : array[1..24] of real;
    year,month,day,dayofweek: word;
    yearst      : string[4];

```

```

monthst,dayst : string[2];
i,c           : integer;
data         : real;
FI_REC_NUMBER : STRING[10];
TOTAL_DATA_RAIN : REAL;
{=====Error Count=====}
CO_ER       : integer;
CO_ER_OLD   : integer;
Filter      : word;

Procedure GETDATA(flags,cs,ip,ax,bx,cx,dx,si,di,ds,es,bp :word);
Interrupt;
begin
  inline($FA); {CLI : Disable interrupts}
  rest:=port[889];
  co_er:=co_er+1;
  if co_er>300 then co_er:=0;
  if (old=127)and(rest<>127)then
    begin
      IF filter=1 then
        begin
          if co_er > co_er_old then
            begin
              if (co_er-co_er_old) > 7 then volt:=volt+1
            end
          else
            begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        end;
        co_er_old:=co_er;
        co_er:=0;
    end
    else volt:=Volt+1;
    end;
    old:=rest;
    Inline($FB);
end;

Procedure Norm_display;
Begin
    ClearCrt(7);
    boxdn(10,10,GetmaxX-10,250,1,0);
    upln(100,255,GetmaxX-10,292,1);
    dnln(103,258,GetmaxX-13,289,1);
    boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,1);
    writeth(230,264,1,1,'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง');
    setcolor(6);
    line(30,30,30,230); {Rain axis}
    for f:=19 downto 1 do
        begin
            line(30,30+(10*f),27,30+(10*f));
        end;
    for g:= 2 downto 0 do
        begin
            x:= 10;
            setcolor(7);

```

```

line(33,30+(100*g),27,30+(100*g));
end;
setcolor(6);
line(30,230,580,230); {Time axis}
for f:=1 to 180 do
begin
line(30+(3*f),230,30+(3*f),233);
end;
for g:=1 to 60 do
begin
setcolor(7);
line(30+(9*g),227,30+(9*g),233);
end;
settextstyle(2,0,4);
outtextxy(20,12,'Rain volume (mm.)');
outtextxy(15,25,'20');
outtextxy(15,125,'10');
outtextxy(15,230,'0');
outtextxy(570,208,'Time (min.)');
outtextxy(115,235,'10');
outtextxy(205,235,'20');
outtextxy(295,235,'30');
outtextxy(385,235,'40');
outtextxy(475,235,'50');
outtextxy(565,235,'60');
outtextxy(getmaxx-125,15,'TIME ');
outtextxy(getmaxx-220,15,'DATE ');
setcolor(14);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

getdate(year,month,day,dayofweek);
str(day,st);ST_TOTAL:=ST+'/'
str(month,st);ST_TOTAL:=ST_TOTAL+ST+'/'
str(year,st);ST_TOTAL:=ST_TOTAL+ST;
FI_REC_NUMBER:=ST_total;
outtextxy(getmaxx-220,15,' '+ST_TOTAL);
setcolor(15);
outtextxy(150,15,'COUNTER P/20s. Rain volume mm');
outtextxy(150,30,' Total Rain volume mm/H');
Inbox(10,255,93,GetmaxY-10);
dnln(20,265,83,460,1);
boxdn(22,268,81,295,1,4);
setttextstyle(3,0,1);
write3d(32,267,14,0,'MENU');
For i:=0 to 2 Do
    Begin
        upln(22,328+(40*i),80,358+(40*i),1);
        Inbox(24,330+(40*i),78,356+(40*i));
    End;
Settextstyle(12,0,1);
Setcolor(4);
writeth(35,332,0,1,'ข้อมูล');
writeth(30,372,0,1,'ตั้งค่า');
writeth(37,410,0,1,'ออก');
outthaixy(130,315,12,'ยินดีต้อนรับสู่โปรแกรมวัดปริมาณน้ำฝนรุ่นที่ ๑);
outthaixy(155,350,15,'--> ปุ่ม F1 สำหรับรายการข้อมูล);
outthaixy(155,370,15,'--> ปุ่ม F2 สำหรับการตั้งวันเวลา);
outthaixy(155,390,15,'--> ปุ่ม F3 สำหรับโครงการงาน);

```

```

outthaixy(155,410,15,'--> ปุ่ม Esc สำหรับออกจากโปรแกรม');
settextstyle(12,0,4);
setcolor(14);
if filter=1 then outtextxy(getmaxx-125,35,'FILTER ON');
settextstyle(10,0,4);
End;

```

```

Procedure plot_rain;
var Putx,Puty : integer;
    couPx,couPy : integer;
    Ploty : real;
    old_x,old_y : integer;
    LineX : integer;
begin
    Putx:=30+(((m*60)+s) div 20)*3;;
    LineX:=putx;
    Puty:=70;
    setcolor(12);
    ploty:=230-(volt*1.85);
    str(ploty:2:0,st);
    val(st,puty,i);
    putpixel(putx,puty,10);
    setcolor(14);
    line(putx,puty,LineX,230);
end;

```

**Procedure chktime:**ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

var oldvolt: integer;
begin
    once:=0;
    gettime(h,m,s,f);
    setfillstyle(1,0);
    settextstyle(2,0,4);
    setcolor(14);
    str(h,st);
    if (sec<s)or(houer<h)or(min<m) then bar(getmaxx-100,15,getmaxx-30,30);
    if h<10 then outtextxy(getmaxx-90,15,'0'+st+':')
        else outtextxy(getmaxx-90,15,st+':');
    str(m,st);
    if m<10 then outtextxy(getmaxx-73,15,'0'+st+':')
        else outtextxy(getmaxx-73,15,st+':');
    str(s,st);
    if s<10 then outtextxy(getmaxx-53,15,'0'+st)
        else outtextxy(getmaxx-53,15,st);
    sec:=s;houer:=h;min:=m;
    setfillstyle(1,1);
    if oldvolt<>volt then bar(195,15,225,25);
    if volt<>0 then
        begin
            rain_volume:=volt*0.2;
            once:=once+1;
        end;

    str(volt,st);
    outtextxy(205,15,st);

```

```
if (((sec=20)or(sec=40)or(sec=0)) or ((sec=59)and(m=59))) and (flag=0) then
```

```
begin
```

```
  .if (sec=59) and (m=59) then s:=s+1;
```

```
  if once>=1 then
```

```
    begin
```

```
      TOTAL_DATA_RAIN:=TOTAL_DATA_RAIN+RAIN_VOLUME;
```

```
      count_data:=count_data+rain_volume;
```

```
    end;
```

```
  if flag=0 then
```

```
    begin
```

```
      bar(335,15,375,25);
```

```
      str(rain_volume:2:2,st);
```

```
      outtextxy(340,15,st);
```

```
      str(total_data_rain:2:2,st);
```

```
      bar(335,30,375,40);
```

```
      outtextxy(340,30,st);
```

```
      plot_rain;
```

```
      flag:=1;
```

```
      {Save to Disk}
```

```
    if count_data>0 then
```

```
      begin
```

```
        getdate(year,month,day,dayofweek);
```

```
        str(year,st); if year<10 then st:='0'+st;
```

```
        filename:= st;
```

```
        str(month,st); if month<10 then st:='0'+st;
```

```
        filename:= filename+st;
```

```
        str(day,st); if day<10 then st:='0'+st;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

filename:= filename+st;
assign(file_var,'DATARAIN/'+filename);
{$i-}
reset(file_var);
{$i+}
if ioresult <> 0 then
begin
rewrite(file_var);
close(file_var);
reset(file_var);
end;
seek(file_var,filesize(file_var));
with rec_var do
begin
data_time:=h+1;
data_rain:=count_data;
end;
write(file_var,rec_var);
close(file_var);
count_data:=0;
sound(500);delay(100);nosound;
end;
end;
record_rain:=0;
rain_volume:=0;
oldvolt:=volt;
volt:=0;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ((sec=38)or(sec=58)or(sec=18)) then flag:=0;
```

```
settextstyle(12,0,1);
```

```
{=====FILE REC CORD=====}
```

```
if (m=59)and(s=59)and(f>90) then
```

```
begin
```

```
    sound(500);delay(500);nosound;
```

```
    count_data:=0;
```

```
    Norm_display;
```

```
end;
```

```
if ((h=23)and(m=59)and(s=59)and(f > 90))and(record_rain=0) then
```

```
begin
```

```
    getdate(year,month,day,dayofweek);
```

```
    settextstyle(2,0,4);
```

```
    setfillstyle(1,0);
```

```
    setcolor(14);
```

```
    setcolor(15);
```

```
    TOTAL_DATA_RAIN:=0;
```

```
    for i:= 1 to 24 do data_h[i]:=0;
```

```
    record_rain:=1;
```

```
    sound(2500);delay(500);nosound;
```

```
end;
```

```
end;
```

**Procedure SET\_UP;**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Procedure set_date;
```

```
begin
```

```
  write('ใส่ปีค.ศ.: ');
```

```
  readln(year);
```

```
  write('ใส่เดือน <01-12>: ');
```

```
  readln(month);
```

```
  write('ใส่วัน <01-31>: ');
```

```
  readln(day);
```

```
  setdate(year,month,day);
```

```
  getdate(year,month,day,dayofweek);
```

```
  TOTAL_DATA_RAIN:=0;
```

```
  for i:= 1 to 24 do data_h[i]:=0;
```

```
  write('วัน เดือน ปี ที่ตั้งคือ ',day,'/',month,'/',year);
```

```
  repeat until keypressed;
```

```
  opengraph;
```

```
end;
```

```
Procedure set_time;
```

```
begin
```

```
  write('ใส่ชั่วโมง<1-24>: ');
```

```
  readln(h);
```

```
  write('ใส่นาที<00-59>: ');
```

```
  readln(m);
```

```
  write('ใส่วินาที<00-59>: ');
```

```
  readln(s);
```

```
  settime(h,m,s,f);
```

```
  gettime(h,m,s,f);
```

```
  write('เวลาที่ได้ตั้งคือ ',h,':',m,':',s);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

repeat until keypressed;
opengraph;
end;

begin
  dln(100,297,GetmaxX-10,GetmaxY-10,2);{display area}
  boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,12);
  outthaixy(120,310,1,'ตั้งค่าต่อไปนี้ ');
  outthaixy(150,330,1,'1> ตั้งค่าวัน เดือน ปี ');
  outthaixy(150,350,1,'2> ตั้งค่าเวลา');
  outthaixy(150,370,1,'3> ออกจากระบบตั้งค่า);
  outthaixy(170,400,1,'กรุณาเลือกหมายเลขที่ต้องการ');
  ch:=readkey;
  if ch in['1'..'2'] then
    begin
      closegraph;
      clrscr;
    end;
  if ch='3' then
    begin
      outthaixy(130,315,12,'ยินดีต้อนรับสู่โปรแกรมวัดปริมาณน้ำฝนรุ่นที่ ๑);
      outthaixy(155,350,15,'--> ปุ่ม F1 สำหรับรายการข้อมูล);
      outthaixy(155,370,15,'--> ปุ่ม F2 สำหรับการตั้งวันเวลา);
      outthaixy(155,390,15,'--> ปุ่ม F3 สำหรับโครงการ);
      outthaixy(155,410,15,'--> ปุ่ม Esc สำหรับออกจากโปรแกรม);
    end;
  if ch='1' then set_date;
  if ch='2' then set_time;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
settextstyle(12,0,3);
```

```
Norm_display;
```

```
end;
```

```
procedure setzero;
```

```
begin
```

```
  for c:=1 to 24 do
```

```
    begin
```

```
      data_hour[c]:=0;
```

```
      data_h[c]:=0;
```

```
    end;
```

```
end;
```

```
Procedure VIEW;
```

```
Procedure heure;
```

```
var Cou:integer;
```

```
  M_COU:integer;
```

```
begin
```

```
  boxdn(5,3,GetmaxX-125,25,1,2);
```

```
  boxdn(5,27,GetmaxX-3,getmaxy-1,1,1);
```

```
  outtextxy(10,10,'Station: BANGKOK METROPOLIS
```

Hourly rainfall

```
(mm));
```

```
  outthaixy(530,2,15,'Esc = ออก');
```

```
  settextstyle(2,0,4);
```

```
  outtextxy(9,30,'Day ');
```

```
  for i:= 1 to 24 do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    str(i,st);
    if i<0 then st:='0'+st;
    x:=6+(i*25)+8;
    outtextxy(x,30,st)
end;

for i:= 1 to 31 do
    begin
        str(i,st);outtextxy(9,32+i*14,st);
    end;
cou:=31;
if monthst ='04' then cou:=30;
if monthst ='06' then cou:=30;
if monthst ='09' then cou:=30;
if monthst ='11' then cou:=30;
if monthst ='02' then cou:=28;

for i:= 1 to cou do
    begin
        y:=32+i*14;
        x:=0;
        str(i,st);
        if i<10 then st:='0'+st;
        filename:=yearst+monthst+st;
        assign(file_var,'datarain/'+filename);
        {$i-}
        reset(file_var);
        {$i+}
    end;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

IF IORESULT = 0 THEN
    BEGIN
        setzero;
        c:=0;
        while not eof(file_var) do
            begin
                read(file_var,rec_var);
                with rec_var do
                    begin
                        c:=data_time;
                        data_h[c]:=data_rain;}
                    data_h[c]:=data_h[c]+data_rain;
                    end;
                end;
            close(file_var);
            for c:=1 to 24 do
                begin
                    x:=10+(c*25);
                    str(data_h[c]:3:1,st);
                    outtextxy(x,y,st);
                end;
            END
        ELSE
            BEGIN
                setcolor(14);
                {outtextxy(x+40,y,'File not found '); }
                setcolor(15);

```

```

END;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
repeat if keypressed then ch:=readkey until ch=#27;
end;

Procedure heure_3;
var H_3 : integer;
ans : real;
Total : real;
HT : array [1..8] of real;
HTS : array [1..8] of integer;
cou:integer;

begin
boxdn(5,3,GetmaxX-125,25,1,2);
boxdn(5,27,GetmaxX-125,getmaxy-1,1,1);
outtextxy(10,10,'Station: BANGKOK METROPOLIS Hourly rainfall
(mm)');
outthaixy(530,2,15,'Esc = ออก');
settextstyle(2,0,4);
outtextxy(9,30,'Day 0100 0400 0700 1000 1300 1600 1900 2200
Total' );

for i:= 1 to 31 do
begin
str(i,st);outtextxy(9,32+i*14,st);
end;

for i:= 1 to 8 do
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

HTs[i]:=0; HT[i]:=0;
end;
cou:=31;
if monthst ='04' then cou:=30;
if monthst ='06' then cou:=30;
if monthst ='09' then cou:=30;
if monthst ='11' then cou:=30;
if monthst ='02' then cou:=28;
for i:= 1 to cou do
begin
y:=32+i*14;
x:=0;
ans:=0;
str(i,st);
total:=0;
if i<10 then st:='0'+st;
filename:=yearst+monthst+st;
assign(file_var,'datarain/'+filename);
{$i-}
reset(file_var);
{$i+}
IF IORESULT = 0 THEN
BEGIN
setzero;
c:=0;
while not eof(file_var) do
begin
read(file_var,rec_var);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนหรือเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

with rec_var do
    begin
        c:=data_time;
        {
            data_h[c]:=data_rain;}
        data_h[c]:=data_h[c]+data_rain;
    end;
end;
close(file_var);
h_3:=0;
ans:=0;
for c:=1 to 24 do
    begin
        if h_3<3 then
            begin
                ans:=ans+data_h[c];
                total:=total+data_h[c];
                h_3:=h_3+1;
            end;
        if h_3=3 then
            begin
                x:=6+(c*50) div 3;
                str(ans:3:1,st);
                outtextxy(x,y,st);
                h_3:=0;
                ans:=0;
            end;
        end;
    end;
    str(total:3:2,st);

```

```

if (total<>0) then
    outtextxy(472,y,st)
else
    outtextxy(472,y,'T');
{endif}
total:= 0;

END
ELSE
BEGIN
    setcolor(14);
    {outtextxy(x+40,y,'File not found ');}
    setcolor(15);
END;
end;
repeat if keypressed then ch:=readkey until ch=#27;
end;

Procedure View_graph;
var H8_3    : integer;
    ans     : real;
    Total   : real;
    HT      : array [1..8] of real;
    HTS     : array [1..8] of integer;

Procedure View_day;
var k,p :integer;
    v    :real;
    o    :integer;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    writeln;
    writeln;
    write('ใส่ปีค.ศ. :');
    readln(yearst);
    write('ใส่เดือน <01-12> :');
    readln(monthst);
    write('ใส่วัน <01-31> :');
    readln(dayst);
    filename:=yearst+monthst+dayst;
    writeln('กำลังค้นหาเพิ่มข้อมูล : '+filename);
    filename:=yearst+monthst+dayst;
    assign(file_var,'datarain/'+filename);
    {$i-}
    reset(file_var);
    {$i+}
    IF IORESULT < 0 THEN
        begin
            Writeln; Writeln; Writeln;
            Writeln('          Can not Open file');
            Readln;
            Opengraph;
            Norm_display;
        end
    ELSE
        BEGIN
            setzero;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while not eof(file_var) do
    begin
        read(file_var,rec_var);
        with rec_var do
            begin
                c:=data_time;
                data_h[c]:=data_rain;}
            data_h[c]:=data_h[c]+data_rain;
        end;
    end;
close(file_var);
opengraph;
boxdn(0,0,GetmaxX,GetmaxY,1,1);{พื้นที่แบ็คกราวนด์}
setcolor(12);
line(50,40,50,250);{Rain Volume axis}
setcolor(15);
settextstyle(2,0,4);
outtextxy(30,25,'Rain Volume (mm.)');
outtextxy(35,45,'50');
outtextxy(35,85,'40');
outtextxy(35,125,'30');
outtextxy(35,165,'20');
outtextxy(35,205,'10');
outtextxy(35,245,'0');
for k:= 4 downto 0 do
    begin
        setcolor(15);
        line(45,50+(40*k),50,50+(40*k));

```

```

setlinestyle(1,0,1);
line(50,50+(40*k),540,50+(40*k));
end;
setcolor(12);
setlinestyle(0,0,1);
line(50,250,540,250);{Time axis}
setcolor(15);
settextstyle (2,0,4);
outtextxy(545,245,'Hour');
outtextxy(65,257,'1');outtextxy(85,257,'2');
outtextxy(105,257,'3');outtextxy(125,257,'4');
outtextxy(145,257,'5');outtextxy(165,257,'6');
outtextxy(185,257,'7');outtextxy(205,257,'8');
outtextxy(225,257,'9');outtextxy(245,257,'10');
outtextxy(265,257,'11');outtextxy(285,257,'12');
outtextxy(305,257,'13');outtextxy(325,257,'14');
outtextxy(345,257,'15');outtextxy(365,257,'16');
outtextxy(385,257,'17');outtextxy(405,257,'18');
outtextxy(425,257,'19');outtextxy(445,257,'20');
outtextxy(465,257,'21');outtextxy(485,257,'22');
outtextxy(505,257,'23');outtextxy(525,257,'24');
outthaixy(50,300,15,'กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนประจำวันที่ :');
st:=dayst+'/'+monthst+'/'+yearst;
outthaixy(50,400,14,'กดปุ่มใด ๆ เพื่อกลับสู่เมนู');
settextstyle(2,0,5);
outtextxy(270,303,st);
settextstyle(2,0,4);
for p:= 1 to 24 do

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    setcolor(15);
    line(50+(20*p),250,50+(20*p),255);
    setcolor(14);
    v:=data_h[p]*4;
    k:=0;
    while v>0.00 do
        begin
            v:=v-1;
            k:=k+1;
            end;
            line(50+(20*p)-1,250-k,50+(20*p)-1,250);
            line(50+(20*p),250-k,50+(20*p),250);
            line(50+(20*p)+1,250-k,50+(20*p)+1,250);
        end;
        repeat until keypressed;
        Norm_display;
    END;
end;

```

```

Procedure View_month;

```

```

var H_3 : integer;

```

```

ans : real;

```

```

Total : real;

```

```

HT : array [1..8] of real;

```

```

HTS : array [1..8] of integer;

```

```

total_day : array [1..31] of real;

```

```

cou:integer;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

k,p      :integer;
v        :real;
begin
  writeln;
  writeln;
  write('ใส่ปีค.ศ. :');
  readln(yearst);
  write('ใส่เดือน <01-12> :');
  readln(monthst);
  filename:=yearst+monthst;
  writeln('กำลังค้นหาเพิ่มข้อมูล :'+filename);

  for i:= 1 to 8 do
    begin
      HTs[i]:=0; HT[i]:=0;
    end;
  for i:=1 to 31 do total_day[i]:=0;
  cou:=31;
  if monthst ='04' then cou:=30;
  if monthst ='06' then cou:=30;
  if monthst ='09' then cou:=30;
  if monthst ='11' then cou:=30;
  if monthst ='02' then cou:=28;
  for i:= 1 to cou do
    begin
      y:=32+i*14;
      x:=0;
      ans:=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str(i,st);
total:=0;
if i<10 then st:='0'+st;
filename:=yearst+monthst+st;
assign(file_var,'datarain/'+filename);
{$i-}
reset(file_var);
{$i+}
IF IORESULT = 0 THEN
BEGIN
  setzero;
  c:=0;
  total := 0;
  while not eof(file_var) do
  begin
    read(file_var,rec_var);
    with rec_var do
    begin
      total:=total+data_rain;
    end;
  end;
  total_day[i]:=total;
  close(file_var);
END;
END;
opengraph;
boxdn(0,0,GetmaxX,GetmaxY,1,1);{พื้นที่แบ็คกราวนด์}
setcolor(12);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

line(50,40,50,250);{Rain Volume axis}
setcolor(15);
settextstyle(2,0,4);
outtextxy(30,25,'Rain Volume (mm.)');
outtextxy(35,45,'50');
outtextxy(35,85,'40');
outtextxy(35,125,'30');
outtextxy(35,165,'20');
outtextxy(35,205,'10');
outtextxy(35,245,'0');
for k:= 4 downto 0 do
begin
setcolor(15);
line(45,50+(40*k),50,50+(40*k));
setlinestyle(1,0,1);
line(50,50+(40*k),540,50+(40*k));
end;

setcolor(12);
setlinestyle(0,0,1);
line(50,250,540,250);{Time axis}
setcolor(15);
settextstyle (2,0,4);
outtextxy(545,245,'Day');
outtextxy(60,257,'1');outtextxy(75,257,'2');
outtextxy(90,257,'3');outtextxy(105,257,'4');
outtextxy(120,257,'5');outtextxy(135,257,'6');
outtextxy(150,257,'7');outtextxy(165,257,'8');

```

```

outtextxy(180,257,'9');outtextxy(195,257,'10');
outtextxy(210,257,'11');outtextxy(225,257,'12');
outtextxy(240,257,'13');outtextxy(255,257,'14');
outtextxy(270,257,'15');outtextxy(285,257,'16');
outtextxy(300,257,'17');outtextxy(315,257,'18');
outtextxy(330,257,'19');outtextxy(345,257,'20');
outtextxy(360,257,'21');outtextxy(375,257,'22');
outtextxy(390,257,'23');outtextxy(405,257,'24');
outtextxy(420,257,'25');outtextxy(435,257,'26');
outtextxy(450,257,'27');outtextxy(465,257,'28');
outtextxy(480,257,'29');outtextxy(495,257,'30');
outtextxy(510,257,'31');
outthaixy(50,300,15,'กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนประจำเดือน :');
outthaixy(50,400,14,'กดปุ่มใด ๆ เพื่อกลับสู่เมนู ');
settextstyle(2,0,5);
st:=monthst+'/'+yearst;
outtextxy(275,303,st);
settextstyle(2,0,4);

for p:= 1 to 31 do
begin
setcolor(15);
line(50+(15*p),250,50+(15*p),255);
v:=total_day[p]*4;
k:=0;
while v>0.00 do
begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        k:=k+1;
    end;
    setcolor(14);
    line(50+(15*p)-1,250-k,50+(15*p)-1,250);
    line(50+(15*p),250-k,50+(15*p),250);
    line(50+(15*p)+1,250-k,50+(15*p)+1,250);
end;
repeat until keypressed;
Norm_display;
END;

begin
    repeat
        boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,3);
        outthaixy(150,310,14,'รายการกราฟข้อมูล');
        outthaixy(150,335,14,'1) กราฟข้อมูลรายวัน ');
        outthaixy(150,355,14,'2) กราฟข้อมูลรายเดือน ');
        outthaixy(150,375,14,'3) ออกจากเมนูย่อย ');
        outthaixy(150,395,14,'กดเลือกหมายเลขที่ต้องการ ');
        ch := readkey;
        if ch in['1'..'2'] then
            begin
                closegraph;
                clrscr;
            end;
        if ch='3' then
            begin
                boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,3);

```

```

writeth(35,332,4,1,'ข้อมูล');
outthaixy(120,310,10,'รายการข้อมูลที่จัดเก็บ...');
outthaixy(150,335,14,' 1) ปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง');
outthaixy(150,355,14,' 2) ปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมง');
outthaixy(150,375,14,' 3) กราฟข้อมูล ');
outthaixy(150,395,14,' 4) ออกจากระบบรายการข้อมูล');

end;

if ch='1' then View_day;
if ch='2' then View_month;
setttextstyle(12,0,3);
until ch='3';
end;

Procedure monthly;
begin
outtextxy(250,10,' MONTHLY RAINFALL MILLIMETRE');
outtextxy(10,30,'STATION : 455201 Bangkok Metropolis');
outtextxy(10,40,'PROVINCE : Bangkok Metropolis ');
line(20,70,getmaxx-38,70);
line(20,100,getmaxx-38,100);
line(20,270,getmaxx-38,270);
line(20,330,getmaxx-38,330);

outtextxy(20,80,'YEAR      JAN FEB  MAR  APR  MAY  JUN  JUL  AUG
SEP  OCT  NOV  DEC  ANNUAL ');

repeat ch:=readkey ;until ch=#27;

end;

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

repeat
if ch=#27 then Norm_display;
if ch in ['1'..'3'] then
else
begin
    boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,3);
    writeth(35,332,4,1,'ข้อมูล');
    outthaixy(120,310,10,'รายการข้อมูลที่จัดเก็บ...');
    outthaixy(150,335,14,' 1) ปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง');
    outthaixy(150,355,14,' 2) ปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมง');
    outthaixy(150,375,14,' 3) กราฟข้อมูล ');
    outthaixy(150,395,14,' 4) ออกจากระบบรายการข้อมูล');
end;
ch:=readkey;
if ch in ['1'..'2'] then
begin
    closegraph;
    clrscr;
    writeln;
    writeln;
    if ch='1' then writeln('ใส่เดือนและปีที่ต้องการ ');
    if ch='2' then writeln('ใส่เดือนและปีที่ต้องการ ');
    if ch in ['1','2'] then
begin
        write('ปีค.ศ. : ');
        readln(yearst);
        write(' เดือน<01-12> : ');
        readln(monthst);

```

```

end
else
begin
    write('เดือน<01-12> : ');
    readln(st);
    filename:=st;
end;
textcolor(12);
gotoxy(30,10);
filename:=yearst+monthst;
write('กำลังค้นหาเพิ่มข้อมูล : '+filename);
textcolor(15);
opengraph;
boxdn(1,1,GetmaxX,GetmaxY,1,3);
settextstyle(2,0,4);
end;
if ch='4' then
begin
    outthaixy(130,315,12,'ยินดีต้อนรับสู่โปรแกรมวัดปริมาณน้ำฝนรุ่นที่ ๑');
    outthaixy(155,350,15,'--> ปุ่ม F1 สำหรับรายการข้อมูล');
    outthaixy(155,370,15,'--> ปุ่ม F2 สำหรับการตั้งวันเวลา');
    outthaixy(155,390,15,'--> ปุ่ม F3 สำหรับโครงการ');
    outthaixy(155,410,15,'--> ปุ่ม Esc สำหรับออกจากโปรแกรม');
end;
if ch='1' then HOURE;
if ch='2' then HOURE_3;
if ch='3' then View_graph;
settextstyle(12,0,3);

```

```
until ch='4';
```

```
Norm_display;
```

```
end;
```

```
Procedure Hide;
```

```
begin
```

```
  dlnln(100,297,GetmaxX-10,GetmaxY-10,2);{display area}
```

```
  boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,1);
```

```
  outthaixy(130,315,4,'รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ');
```

```
  outthaixy(140,335,15,'คณะผู้จัดทำโครงการ');
```

```
  outthaixy(150,355,15,'๑.นายกิตติศักดิ์ โชคสุจริต รหัส ๓๕๐๓๑๑๐๑');
```

```
  outthaixy(150,375,15,'๒.นายณัทที สุภพิโรจน์ รหัส ๓๕๐๓๑๑๑๕');
```

```
  outthaixy(150,395,15,'๓.นางสาวมยุรี เข้มกลัด รหัส ๓๕๐๓๑๑๒๓');
```

```
  outthaixy(150,415,15,'๔.นายวุฒินันท์ สุวรรณเจริญ รหัส ๓๕๐๓๑๑๓๒');
```

```
  outthaixy(160,440,12,'กดปุ่มใดๆเพื่อออกจากรายการ');
```

```
  repeat until keypressed;
```

```
end;
```

```
Procedure PowerOn;
```

```
Begin
```

```
  flag:=0;
```

```
  repeat
```

```
    chktime;
```

```
  if keypressed then
```

```
    begin
```

```
      ch:=readkey;
```

```
      ch:=upcase(ch);
```

```
      if (ch in [#59,#60,#61,#73,#81])or(ch=#27) then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  if ch=#73 then
    begin
      filter:=1;
      outtextxy(getmaxx-125,35,'FILTER ON');
    end;
  if ch=#81 then
    begin
      filter:=0; setcolor(0);
      outtextxy(getmaxx-125,35,'FILTER ON');
      setcolor(15);
    end;
    sound(2500);delay(100);nosound;
    if ch = #59 then {View botton key F1}
      begin
        boxdn(22,328,80,358,1,7);
        lnbox(24,330,78,356);
        writeth(35,332,4,1,'ข้อมูล');
        delay(100);
        VIEW;
        boxup(22,328,80,358,1,7);
        lnbox(24,330,78,356);
        writeth(35,332,0,1,'ข้อมูล');
        setcolor(14);
        dnln(100,297,GetmaxX-10,GetmaxY-10,2);{display area}
        boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,1);
      end;
    if ch = #60 then {setup button key F2}

```

```

begin
    boxdn(22,328+(40),80,358+(40),1,7);
    lnbox(24,330+(40),78,356+(40));
    writeth(30,372,4,1,'ตั้งค่า');
    delay(100);
    set_up;
    boxup(22,328+(40),80,358+(40),1,7);
    lnbox(24,330+(40),78,356+(40));
    writeth(30,372,0,1,'ตั้งค่า');
    setcolor(14);
end;
if ch = #61 then {credit button key F3}
begin
    hide;
    setcolor(14);
    dln(100,297,GetmaxX-10,GetmaxY-10,2);{display area}
    boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,1);
end;
outthaixy(130,315,12,'ชนิดีตื้อนรับสูัโปรแกรมวักปริมานน้ำฝรุ่นที่ ๑');
outthaixy(155,350,15,'--> ปุ่ม F1 สำหรับรายการข้อมูล');
outthaixy(155,370,15,'--> ปุ่ม F2 สำหรับการตั้งวันเวลา');
outthaixy(155,390,15,'--> ปุ่ม F3 สำหรับ โครรงงาน');
outthaixy(155,410,15,'--> ปุ่ม Esc สำหรับออกจากโปรแกรม');
end;
end;{IF KEYPRESSED}
until ch = #27;
END;{Power on}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Begin{Main}
```

```
record_rain:=0;
```

```
volt:=0;
```

```
old:=port[889];
```

```
co_er:=0;
```

```
co_er_old:=0;
```

```
count_data:=0;
```

```
for i:= 1 to 24 do data_h[i]:=0;
```

```
getdate(year,month,day,dayofweek);
```

```
getintvec(int_vector, vector);
```

```
setintvec(int_vector,@Getdata);
```

```
Opengraph;
```

```
readfont_thaixy;
```

```
gettime(h,m,s,f);
```

```
Norm_display;
```

```
powerOn;
```

```
writeth(37,410,4,1,'ออก');
```

```
boxdn(101,298,GetmaxX-11,GetmaxY-11,1,1);
```

```
setcolor(15);
```

```
outthaixy(getmaxx-390,getmaxy-140,15,'...กำลังออกจากโปรแกรม...');
```

```
closegraph;
```

```
setintvec(int_vector,vector);
```

```
write(#07);
```

```
End.
```

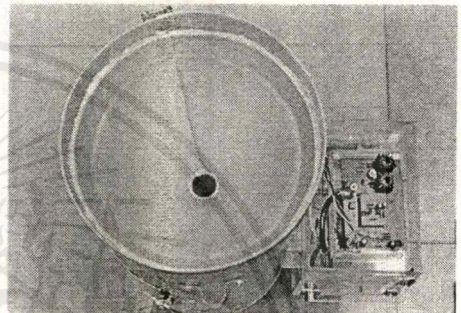
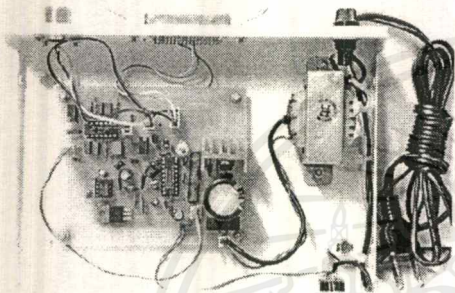
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการใช้งาน

### การต่อใช้งาน



นำสายอากาศเครื่องส่งต่อกับเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่คอนเนคเตอร์ของเครื่องส่ง ด้านข้างของกล่อง ส่วนเครื่องรับนำไปต่อกับ RS-232 ของ พอร์ตเครื่องพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

### คู่มือการใช้เครื่อง

1. นำเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนไปวาง ณ จุดที่ต้องการวัดในรัศมีหนึ่งกิโลเมตร
2. เครื่องวัดจะทำงานโดยอัตโนมัติโดยส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุเฟรม และเครื่องส่งจะทำงานเมื่อมีฝนตกลงมาเท่านั้น
3. เปิดเครื่องรับ (Rain gauge receiver)
4. ต่อเอาต์พุตด้านหลังเครื่องรับเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน RS - 232 พอร์ตของพอร์ตเครื่องพิมพ์
5. เข้าไปยังโปรแกรมที่เตรียมไว้ในส่วนของหน้าจอแสดงผล โดยการพิมพ์คำสั่ง Rain ในไดเรกทอรี Rain01
6. ทำการตั้งค่าวันเวลาตามขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดสอบ

1. จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ให้กับเครื่อง
2. สวิตช์จะปิดวงจรเมื่อมีฝนตกมาสัมผัสกับแผ่นตรวจจับความชื้น
3. เครื่องรับจะได้รับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ซึ่งจะแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จะต้องเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ตลอดเวลาพร้อมกับเครื่องส่ง เพื่อทำการรับข้อมูลที่ส่งมา
4. ทดลองกดกระดิ่งขึ้นลงเพื่อตรวจสอบสถานะการรับส่งของข้อมูล ว่าทางด้านของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถรับและประมวลผลได้หรือไม่

## โปรแกรมประมวลผลสำหรับเครื่องรับปริมาณน้ำฝน

หลักการทำงานของโปรแกรม จะทำการรับสัญญาณจากพอร์ตอินพุตของเครื่องพิมพ์จำนวน 1 บิต ซึ่งทางซอฟต์แวร์จะมีการตรวจสอบค่าจากพอร์ตตลอดเวลา และมีฐานเวลาจากเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดการเก็บค่าปริมาณน้ำฝน โดยตั้งไว้ที่ทุกๆ 20 วินาที จะทำการเก็บ 1 ค่า เมื่อครบจำนวน 1 ชั่วโมง จะบันทึกลงในแฟ้มข้อมูล ที่มีบันทึกของปริมาณน้ำฝนทุก 1 ชั่วโมง, ทุก 3 ชั่วโมง และปริมาณน้ำฝนรายวัน ซึ่งจะสามารถเรียกดูรายงานได้จากเมนูชื่อ “ข้อมูล” ในโปรแกรมจะมีเมนูให้เลือกใช้งาน 3 รายการคือ

1. ข้อมูล : เป็นการขูดข้อมูลปริมาณน้ำฝนตามตัวเลือกโดยจะต้องใส่ เดือน ปี ที่ต้องการดูเพื่อค้นหา
2. ตั้งค่า : เป็นส่วนของการตั้งค่าวัน เดือน ปี และเวลาใหม่ หากว่าฐานเวลาของคอมพิวเตอร์ไม่ถูกต้อง
3. ออก : เป็นการออกจากโปรแกรมโดยสมบูรณ์  
ซึ่งในแต่ละเมนูจะมีรายการย่อยๆ เพื่อให้เลือกใช้งานอีกด้วย

## คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้มีดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ IBM PC หรือเทียบเท่าที่มีหน่วยประมวลผลกลางเบอร์ 386DX เป็นอย่างต่ำ

2. มีหน่วยความจำอย่างน้อย 4 Mbyte

3. มีฮาร์ดดิสก์

4. จอภาพระดับความละเอียด VGA 640\*480 จุด สามารถแสดงสีได้อย่างน้อย 16 สี

5. พอร์ตเครื่องพิมพ์อย่างน้อย 1 พอร์ต

6. ระบบปฏิบัติการดอสรุ่น 6.22 ขึ้นไป

7. คีย์บอร์ด

8. ฟลอปปีดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว อย่างน้อย 1 ช่อง

9. หากต้องการแก้ไขซอร์สโค้ดของโปรแกรม ควรจะมีตัวคอมไพเลอร์โปรแกรม

ภาษาปาสคาลรุ่น 7 เป็นอย่างต่ำ

## การติดตั้งโปรแกรม

ในการติดตั้งจะใช้แผ่นฟลอปปีดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ซึ่งบรรจุโปรแกรมอยู่เพียง 1 แผ่น มีขั้นตอนการติดตั้ง ดังนี้

1. ต่อสายสัญญาณจากเครื่องรับเข้าสู่พอร์ตเครื่องพิมพ์

2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

3. ใส่แผ่นฟลอปปีดิสก์ที่มีชื่อไฟล์ Rain.EXE เข้าสู่ดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว

4. ทำการติดตั้งโดยใช้คำสั่ง A:> install แล้วกด Enter โปรแกรมติดตั้งจะทำการคัด

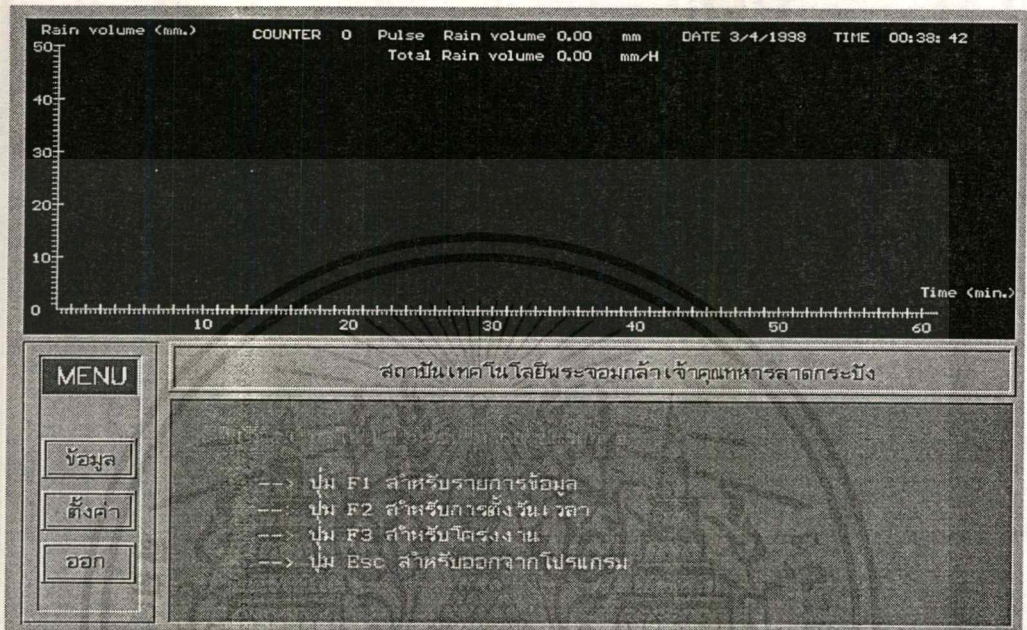
ลอกแฟ้มข้อมูลที่จำเป็นลงในฮาร์ดดิสก์

5. นำแผ่นดิสก์ออกจากดิสก์ไดรฟ์

6. เรียกรันโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง Rain แล้วกด Enter

## การใช้งานเบื้องต้น

การเข้าสู่โปรแกรม : ใช้คำสั่ง Rain จะปรากฏหน้าจอดังรูป



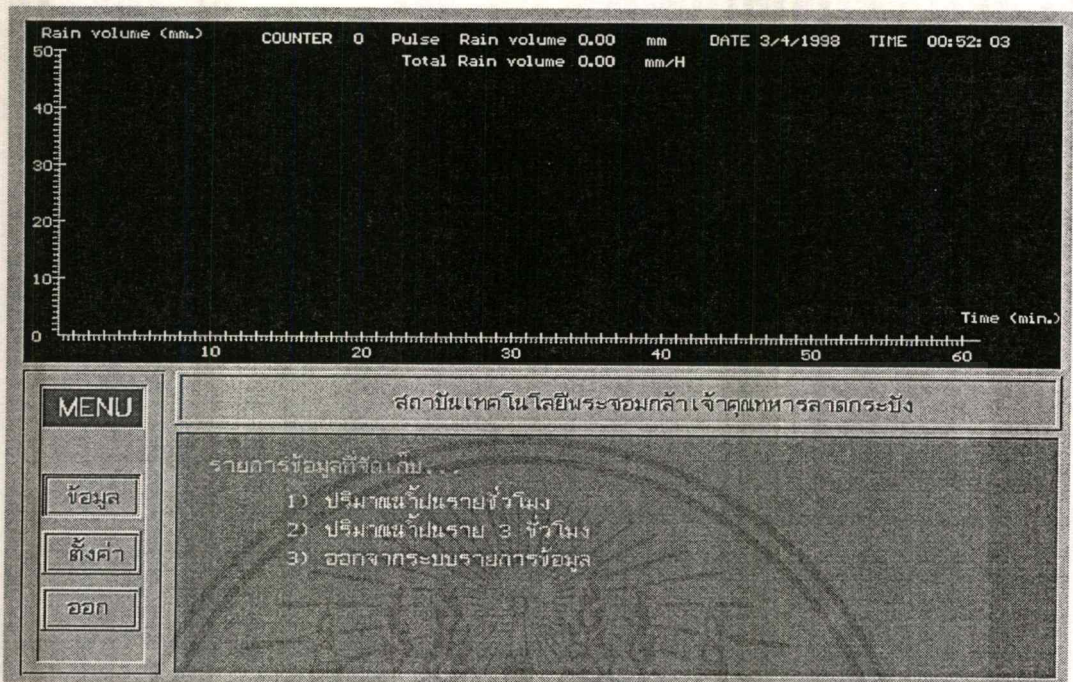
### เมนูบาร์

เมนูบาร์หรือแถบเครื่องมือในโปรแกรมมีอยู่ 3 รายการ คือ

1. ข้อมูล : มีไว้สำหรับการเรียกดูปริมาณน้ำฝนตามวัน เดือน ปี ที่ต้องการ ซึ่งจะมีข้อมูลชนิดรายชั่วโมง ราย 3 ชั่วโมง รายวัน และรายเดือน รวมทั้งกราฟข้อมูลชนิดแท่ง
2. ตั้งค่า : มีไว้สำหรับการเข้าสู่การตั้งค่าวัน เดือน ปี เวลา ด้วยตัวเองในกรณีพื้นฐาน เวลาของคอมพิวเตอร์เกิดผิดพลาด
3. ออก : เป็นการออกจากโปรแกรม

### การเรียกดูข้อมูล

ในการเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำฝนตาม วัน เดือน ปี ที่ต้องการจะใช้เมนูนี้โดยการกดแป้น F1 จะปรากฏเมนูย่อยดังรูป



ซึ่งเมนูย่อยจะมีรายการดังนี้

1. ข้อมูลรายชั่วโมง
2. ข้อมูลราย 3 ชั่วโมง
3. กราฟข้อมูล
4. ออกจากเมนูย่อย

### การเรียกดูข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

หลังจากกดเลข 1 แล้วจะเข้าสู่หน้าจอใหม่ ให้ใส่ ปี ค.ศ และเดือนที่ต้องการ

ข้อมูลรายชั่วโมง : จะแสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวมรายชั่วโมงของทุกวันในเดือนนั้นๆ

### การเรียกดูข้อมูลราย 3 ชั่วโมง

หลังจากกดเลข 2 แล้วจะเข้าสู่หน้าจอใหม่ ให้ใส่ ปี ค.ศ. และเดือนที่ต้องการ

ข้อมูลราย 3 ชั่วโมง : จะแสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวม 3 ชั่วโมง ของทุกวันในเดือนนั้นๆ

### การเรียกดูข้อมูลรายวัน

ข้อมูลรายวัน : จะรวมอยู่ในข้อมูลราย 3 ชั่วโมง อยู่แล้ว ผู้ใช้สามารถทราบได้ทันที

### การเรียกดูข้อมูลรายเดือน

ข้อมูลรายเดือน : จะเป็นข้อมูลหลักในการแสดงผล และในข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ผู้ใช้สามารถทราบข้อมูลรายเดือนได้

### การเรียกดูกราฟข้อมูล

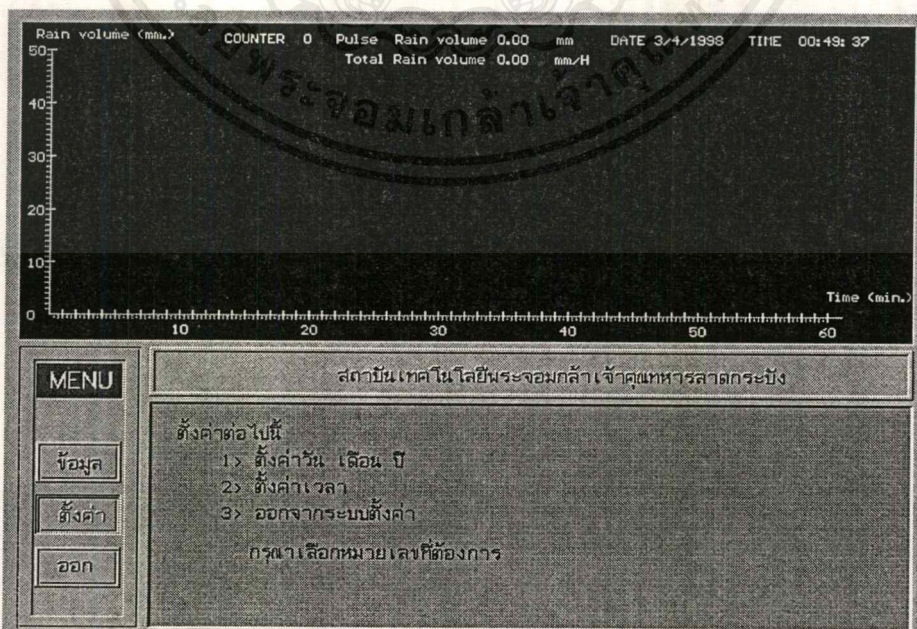
กราฟข้อมูล : จะเป็นการเรียกดูข้อมูลประจำวัน หรือ เดือน โดยแสดงอยู่ในรูปของกราฟแท่ง

### การออกจากระบบการเรียกดูข้อมูล

ในขณะที่อยู่ในเมนูการเรียกดูข้อมูล ให้กดเลข 4 และ โปรแกรมจะออกสู่เมนูหลัก

### การตั้งค่า

การตั้งค่าจะเป็นการตั้งค่าวัน เดือน ปี และเวลา ทำได้โดยการกดปุ่ม F2 จากเมนูหลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบรายการย่อยของเมนู

1. ตั้งค่าวัน เดือน ปี
2. ตั้งค่าเวลา
3. ออกจากเมนูการตั้งค่า

### การตั้งค่าวัน เดือน ปี

การตั้งค่าวัน เดือน ปี ให้กับระบบ หลังจากกดปุ่ม F2 แล้ว จะเข้าสู่เมนูการตั้งค่า ให้เลือกข้อ 1 โดยกดหมายเลข 1 โปรแกรมจะตัดเข้าสู่หน้าจอการตั้งค่าวัน เดือน ปี โดยให้ผู้ใช้ใส่ ปี ค.ศ. แล้วตามด้วยเดือน และวันที่ ตามลำดับ โปรแกรมจะตั้งค่าวัน เดือน ปี ตามต้องการ และจะกลับเข้าสู่เมนูการตั้งค่าโดยอัตโนมัติ

### การตั้งค่าเวลา

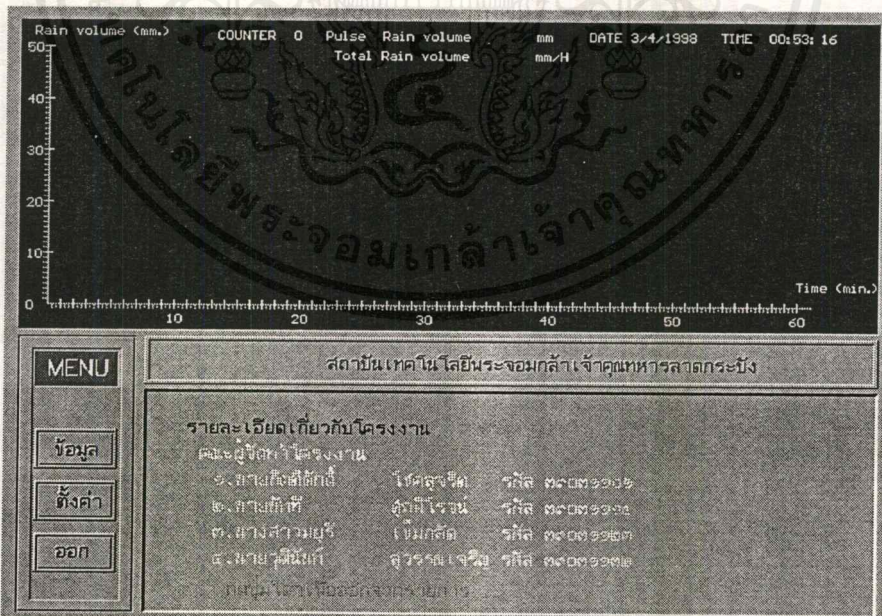
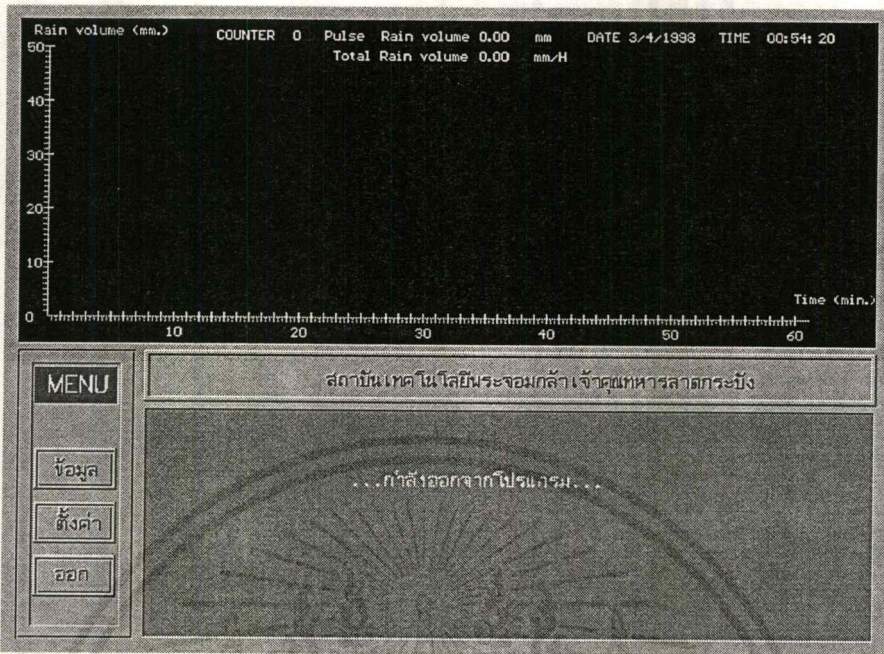
การตั้งค่าเวลาให้กับระบบ หลังจากกดปุ่ม F2 แล้ว จะเข้าสู่เมนูการตั้งค่า ให้เลือกข้อ 2 โดยกดหมายเลข 2 โปรแกรมจะตัดเข้าสู่หน้าจอการตั้งค่าเวลา โดยให้ผู้ใช้ใส่ค่าชั่วโมง นาที และวินาที ตามลำดับ โปรแกรมจะตั้งค่าเวลาให้ตามต้องการ และตัดเข้าสู่เมนูการตั้งค่าโดยอัตโนมัติ

### การออกจากเมนูการตั้งค่า

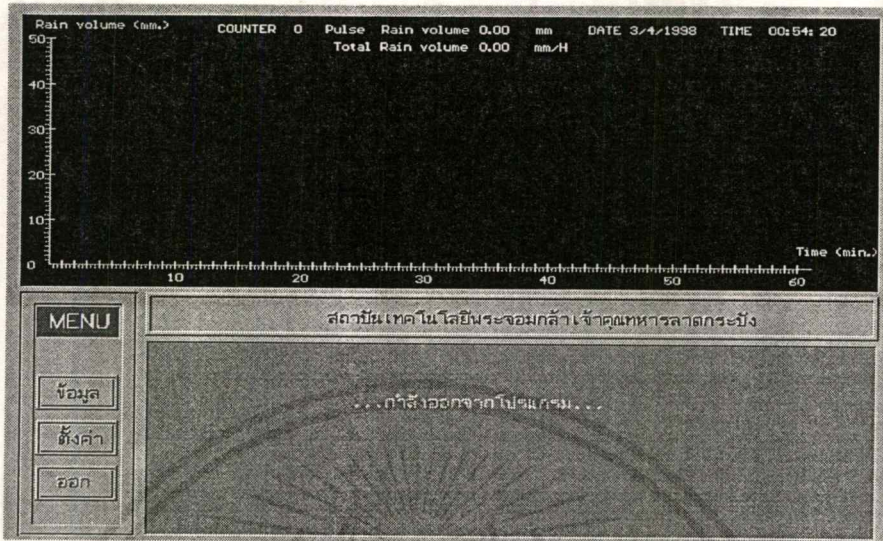
ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับการเรียกดูข้อมูล คือ กดหมายเลข 3 โปรแกรมจะเข้าสู่เมนูหลัก

### การออกจากโปรแกรม

เป็นการออกแบบจากโปรแกรมเข้าสู่ระบบปฏิบัติการดอสโดยตรง ระบบทั้งหมดจะหยุดทำงานโดยสิ้นเชิง ทำได้โดยการกดปุ่ม Esc จะปรากฏหน้าจอดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์

### วงจรตรวจจับความชื้น

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R <sub>1</sub> 68 kΩ	1
R <sub>2</sub> 1.2 kΩ	1
R <sub>3</sub> 120 kΩ	1
R <sub>4</sub> 2 kΩ	1
C <sub>1</sub> 33 μF	1
C <sub>2</sub> 0.47 μF	1
LED	1
Q <sub>1</sub> # BC9013	1
Q <sub>2</sub> # BC9012	1
แผ่นทองแดง sensor	1

### วงจรแหล่งจ่ายไฟ

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
Diode bride 400V 1.5A	1
C <sub>1</sub> 0.1 uF	3
C <sub>2</sub> 470 uF / 16V	2
C <sub>3</sub> 2200 uF / 16V	1
IC <sub>1</sub> # 7805	2
IC <sub>2</sub> # 7809	2
หม้อแปลง 12 VDC 2A	1

### วงจรควบคุมสวิทช์ด้วยแรงดัน

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R <sub>1</sub> 5 kΩ	1
R <sub>2</sub> 1.5 kΩ	1
Q # 2N3055	1
Relay 12 VDC	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรเครื่องส่งเอฟเอ็ม

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R <sub>1</sub> 220 kΩ	1
R <sub>2</sub> , R <sub>8</sub> 100 kΩ	2
R <sub>3</sub> , R <sub>5</sub> 47 kΩ	2
R <sub>4</sub> , R <sub>7</sub> 15 kΩ	2
R <sub>6</sub> 2.2 kΩ	1
R <sub>9</sub> , R <sub>11</sub> 10 kΩ	2
R <sub>10</sub> , R <sub>12</sub> 4.7kΩ	2
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>10</sub> 22 μF	4
C <sub>4</sub> , C <sub>9</sub> 0.047 μF	2
C <sub>5</sub> 0.001 μF	1
C <sub>6</sub> 10 pF	1
C <sub>7</sub> , C <sub>8</sub> 27 pF	2
Q <sub>1</sub> , Q <sub>2</sub> # BC549	2
Q <sub>3</sub> , Q <sub>4</sub> # 2N866	2
TC <sub>1</sub> 50 pF	1
TC <sub>2</sub> 100 pF	1
D <sub>1</sub> 1N4004	1
VCD BB139	1
LED	1
L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub>	2

## วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R <sub>1</sub> 4.7 k $\Omega$	1
C <sub>1</sub> , C <sub>12</sub> 220 pF	2
C <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> 0.01 $\mu$ F	2
C <sub>3</sub> 1 $\mu$ F / 50V	1
C <sub>5</sub> 0.03 $\mu$ F	1
C <sub>6</sub> , C <sub>9</sub> 180 pF	2
C <sub>7</sub> , C <sub>11</sub> 330 pF	2
C <sub>8</sub> 0.003 pF	1
C <sub>10</sub> , C <sub>18</sub> 0.1 $\mu$ F	2
C <sub>13</sub> 0.15 $\mu$ F	1
C <sub>14</sub> 0.002 $\mu$ F	1
C <sub>15</sub> 0.001 $\mu$ F	1
C <sub>16</sub> 100 $\mu$ F/16 V	1
C <sub>17</sub> 470 $\mu$ F/16 V	1
VR <sub>1</sub> 100 k $\Omega$	1
VR <sub>2</sub> 10 k $\Omega$	1
TC <sub>1</sub> 50 pF	1
L <sub>1</sub>	1
L <sub>2</sub>	1
D <sub>1</sub> 1N4002	1
VCD BB105	1
IC # TDA 7000	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> 5.1 kΩ	2
R <sub>3</sub> 4.3 kΩ	1
R <sub>4</sub> 3.9 kΩ	1
R <sub>5</sub> 200 Ω	1
VR <sub>1</sub> 50 kΩ	1
VR <sub>2</sub> 1 kΩ	1
VR <sub>3</sub> 2 kΩ	1
C <sub>1</sub> 10 μF	1
C <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> 1 μF	2
C <sub>3</sub> 0.1 μF	1
IC # XR-2206	1

## วงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

ชื่ออุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
R <sub>1</sub> 5.1 kΩ	1
R <sub>2</sub> 510 kΩ	1
R <sub>3</sub> 100 kΩ	1
R <sub>4</sub> 18 kΩ	1
R <sub>5</sub> 200 kΩ	1
VR <sub>1</sub> 5 kΩ	1
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> 0.1 μF	3
C <sub>3</sub> 0.022 μF	1
C <sub>5</sub> 0.0047 μF	1
C <sub>6</sub> 0.0056 μF	1
IC # XR-2211	1

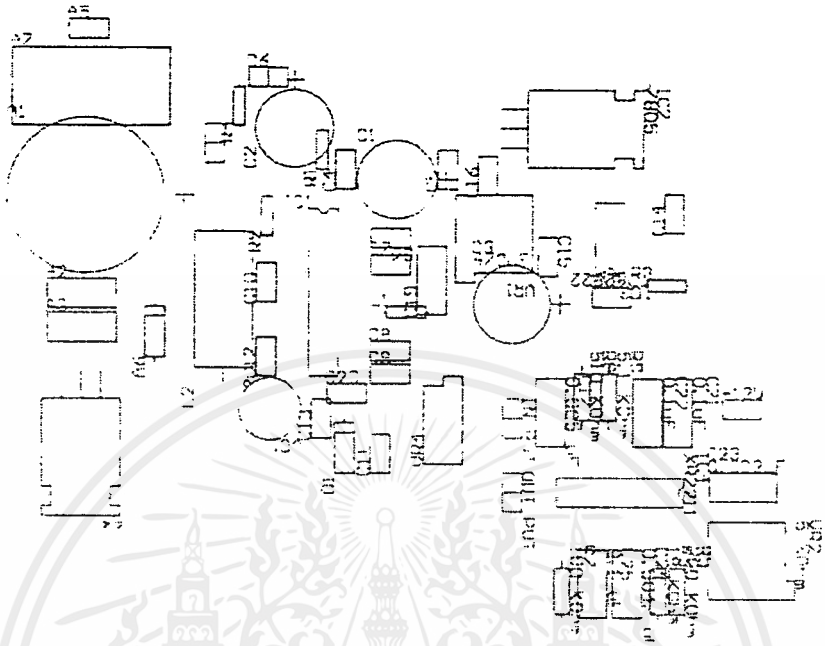


ภาคผนวก จ

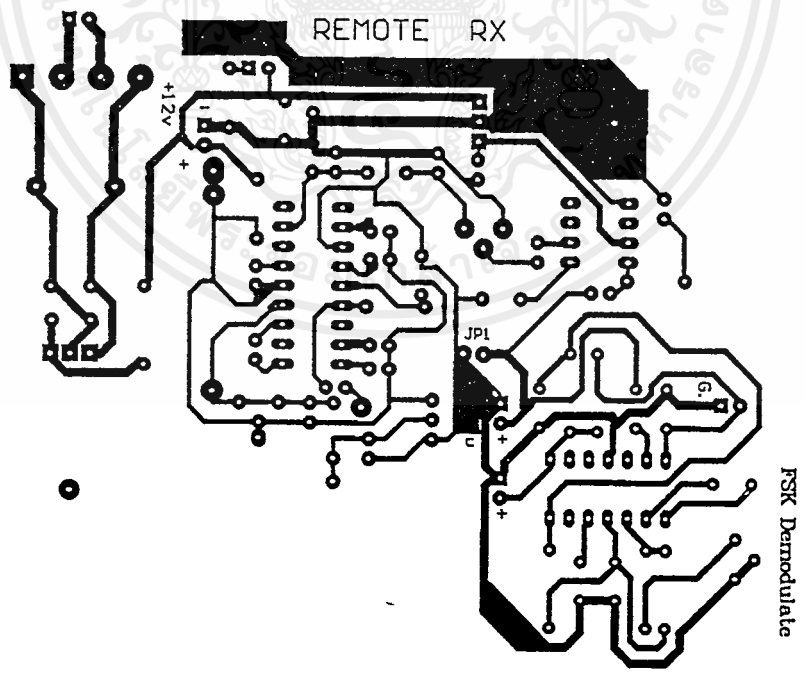
วงจรมพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



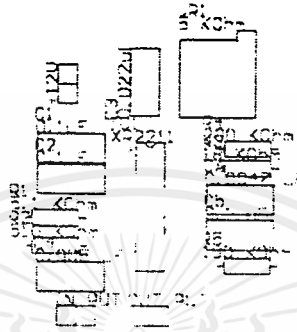


รูปที่ จ.3 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรภาครับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม

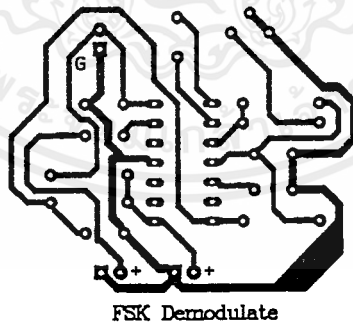


รูปที่ จ.4 วงจรพิมพ์ของวงจรภาครับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

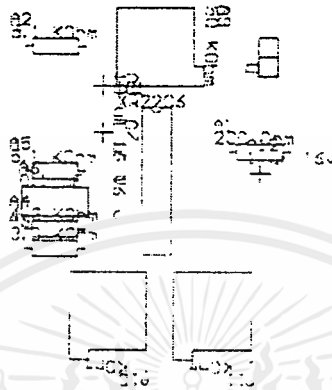


รูปที่ จ.5 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

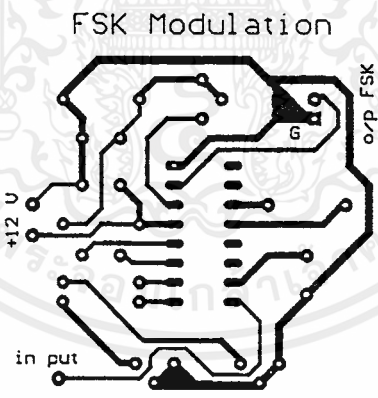


รูปที่ จ.6 วงจรพิมพ์ของวงจรดีมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.7 การจัดวางอุปกรณ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค



รูปที่ จ.8 วงจรพิมพ์ของวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# XR-2211

## FSK Demodulator/ Tone Decoder

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,  $\pm 1\%$  to 80%
- Excellent Temp. Stability,  $\pm 50$ ppm/ $^{\circ}$ 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 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C
XR-2211N	14 Pin CDIP (0.300")	-40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C
XR-2211P	14 Pin PDIP (0.300")	-40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C
XR-2211D	14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")	-40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C

## BLOCK DIAGRAM

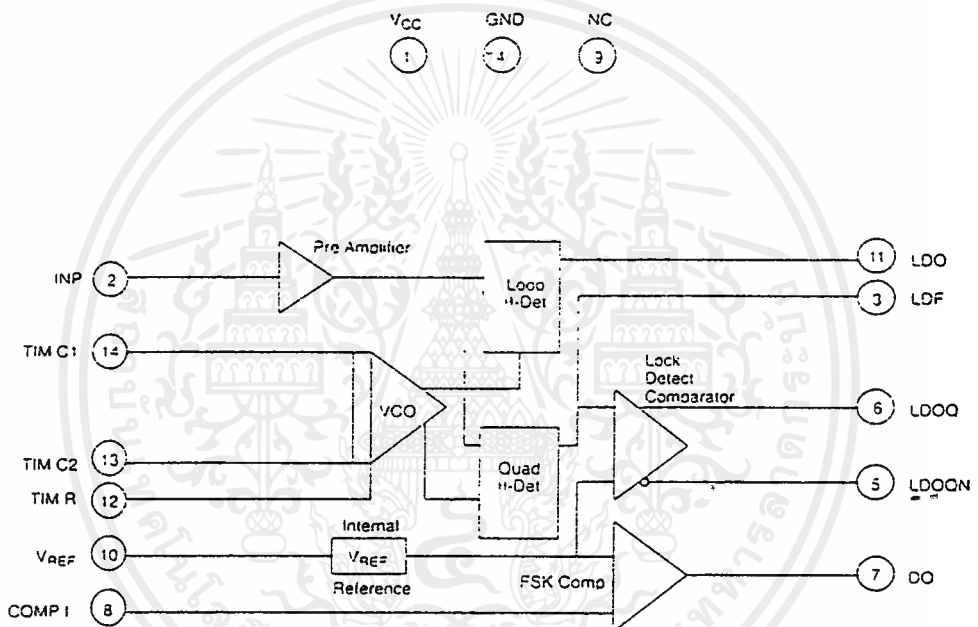
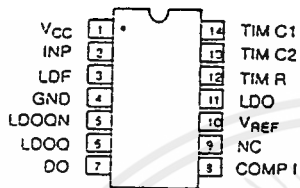
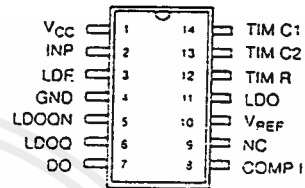


Figure 1. XR-2211 Block Diagram

## PIN CONFIGURATION



14 Lead CDIP, PDIP (0.300")



14 Lead SOIC (Jedec, 0.150")

## PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	V <sub>CC</sub>		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	LDOO	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 <sub>REF</sub>	O	Internal Voltage Reference. The value of V <sub>REF</sub> is V <sub>CC</sub> /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.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions:  $V_{CC} = 12V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ ,  $R_O = 30K\Omega$ ,  $C_O = 0.033\mu F$ , unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
<b>General</b>					
Supply Voltage	4.5		20	V	
Supply Current		4	7	mA	$R_O \geq 10K\Omega$ . See <i>Figure 4</i> .
<b>Oscillator Section</b>					
Frequency Accuracy		$\pm 1$	$\pm 3$	%	Deviation from $f_O = 1/R_O C_O$
Frequency Stability					
Temperature		$\pm 20$	$\pm 50$	ppm/ $^\circ C$	See <i>Figure 8</i> .
Power Supply		0.05	0.5	%/V	$V_{CC} = 12 \pm 1V$ . See <i>Figure 7</i> .
		0.2		%/V	$V_{CC} = \pm 5V$ . See <i>Figure 7</i> .
Upper Frequency Limit	100	300		kHz	$R_O = 9.2K\Omega$ , $C_O = 400pF$
Lowest Practical Operating Frequency			0.01	Hz	$R_O = 2M\Omega$ , $C_O = 50\mu F$
Timing Resistor, $R_O$ - See <i>Figure 5</i>					
Operating Range	5		2000	K $\Omega$	
Recommended Range	5			K $\Omega$	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i> .
<b>Loop Phase Detector Section</b>					
Peak Output Current	$\pm 150$	$\pm 200$	$\pm 300$	$\mu A$	Measured at Pin 11
Output Offset Current		1		$\mu A$	
Output Impedance		1		M $\Omega$	
Maximum Swing	$\pm 4$	$\pm 5$		V	Referenced to Pin 10
<b>Quadrature Phase Detector</b>					
					Measured at Pin 3
Peak Output Current	100	300		$\mu A$	
Output Impedance		1		M $\Omega$	
Maximum Swing		11		V <sub>pp</sub>	
<b>Input Preempt Section</b>					
					Measured at Pin 2
Input Impedance		20		K $\Omega$	
Input Signal					
Voltage Required to Cause Limiting		2	10	mV rms	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Test Conditions:  $V_{CC} = 12V$ ,  $T_A = +25^\circ C$ ,  $R_O = 30K\Omega$ ,  $C_O = 0.033\mu F$ , unless otherwise specified.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
<b>Voltage Comparator Section</b>					
Input Impedance		2		M $\Omega$	Measured at Pins 3 and 8 $R_L = 5.1K\Omega$ $I_C = 3mA$ $V_O = 20V$
Input Bias Current		100		nA	
Voltage Gain	55	70		dB	
Output Voltage Low		300	500	mV	
Output Leakage Current		0.01	10	$\mu A$	
<b>Internal Reference</b>					
Voltage Level	4.9	5.3	5.7	V	Measured at Pin 10
Output Impedance		100		$\Omega$	AC Small Signal
Maximum Source Current		80		$\mu A$	

**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	Package Power Dissipation Ratings	
Input Signal Level	3V rms	CDIP	750mW
Power Dissipation	900mW	Derate Above $T_A = 25^\circ C$	8mW/ $^\circ C$
		PDIP	800mW
		Derate Above $T_A = 25^\circ C$	60mW/ $^\circ C$
		SOIC	390mW
		Derate Above $T_A = 25^\circ C$	5mW/ $^\circ C$

## 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 ( $I_O$ ) set by a resistor ( $R_O$ ) to ground and its driving current with a resistor ( $R_I$ ) 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).

## PRINCIPLES OF OPERATION

**Signal Input (Pin 2):** Signal is AC coupled to this terminal. The internal impedance at pin 2 is 20K $\Omega$ . 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 0.1 $\mu F$  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:

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

where  $C_0$  is the timing capacitor across pins 13 and 14. For optimum temperature stability,  $R_0$  must be in the range of 10K $\Omega$  to 100K $\Omega$  (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  $\leq 3mA$  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 10 $\mu F$ .

**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.

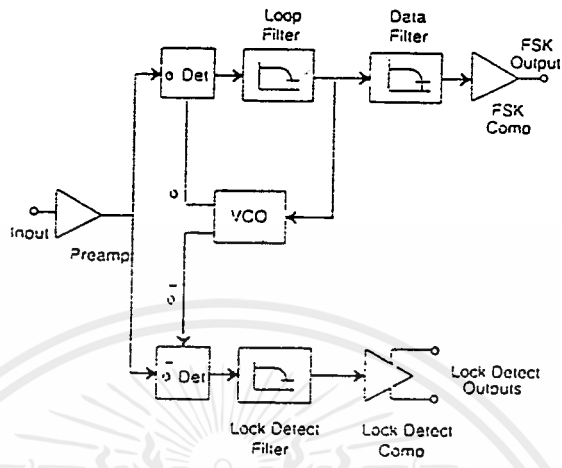


Figure 2. Functional Block Diagram of a Tone and FSK Decoding System Using XR-2211

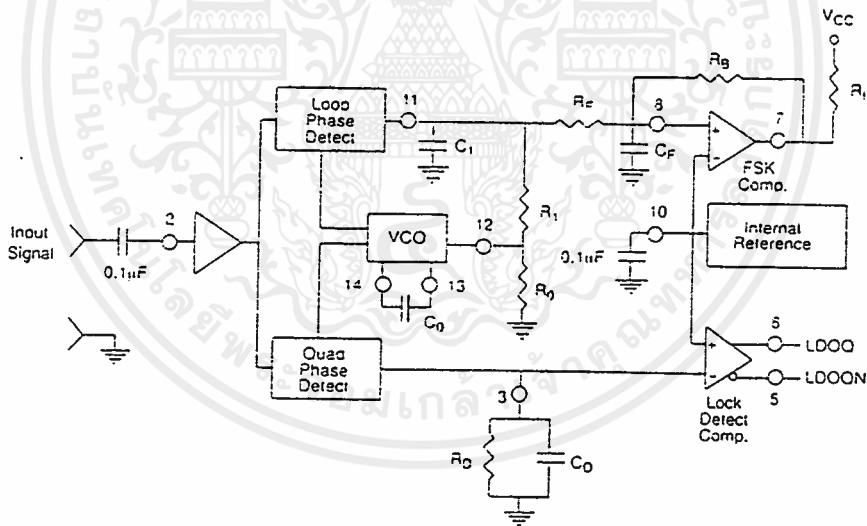


Figure 3. Generalized Circuit Connection for FSK and Tone Detection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DESIGN EQUATIONS

(All resistance in  $\Omega$ , all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

(See *Figure 3* for definition of components)

1. VCO Center Frequency,  $f_0$ :

$$f_0 = \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$$

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

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

3. Loop Low-Pass Filter Time Constant,  $\tau$ :

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

where:

$$R_{DP} = \left( \frac{R_1 \cdot R_C}{R_1 + R_F} \right)$$

if  $R_F$  is  $\infty$  or  $C_F$  reactance is  $\infty$ , then  $R_{DP} = R_1$

4. Loop Damping,  $\zeta$ :

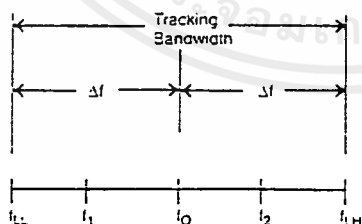
$$\zeta = \sqrt{\left( \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot C_1} \right)}$$

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

5. Loop-tracking

bandwidth,  $\pm = \frac{\Delta f}{f_0}$

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{R_2}{R_1}$$



6. FSK Data filter time constant,  $\tau_F$ :

$$\tau_F = \frac{R_3 \cdot R_F}{(R_3 + R_F)} \cdot C_F \text{ (seconds)}$$

7. Loop phase detector conversion gain,  $K_d$ : ( $K_d$  is the differential DC voltage across pin 10 and pin 11, per unit of phase error at phase detector input):

$$K_d = \frac{V_{REF} \cdot R_1}{10,000 \cdot \pi} \left[ \frac{\text{volt}}{\text{radian}} \right]$$

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

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

$$K_o = \frac{-2\pi}{V_{REF} \cdot C_2 \cdot R_2} = \left( \frac{\text{radian/second}}{\text{volt}} \right)$$

9. The filter transfer function:

$$\bar{A}(s) = \frac{1}{1 + sR_1 \cdot C_1} \text{ at 0 Hz. } \quad S = j\omega \text{ and } \omega = 0$$

10. Total loop gain,  $K_T$ :

$$K_T = K_G K_d R(s) = \left( \frac{R_F}{5,000 \cdot C_2 \cdot (R_1 + R_2)} \right) \left[ \frac{1}{\text{seconds}} \right]$$

11. Peak detector current  $I_A$ :

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

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

## 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  $\Omega$ 's, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

- a) Calculate PLL center frequency,  $f_0$ :

$$f_0 = \sqrt{F_1 \cdot F_2}$$

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

$$R_0 = R_X - \frac{R_X}{2}$$

- c) Calculate value of  $C_0$  from design equation (1) or from Figure 7.

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

- d) Calculate  $R_1$  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  $C_1$  to set loop damping. (See design equation 4):

Normally,  $\zeta = 0.5$  is recommended.

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

- 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,  $R_x$ , connected from pin 2 to ground. The value of  $R_x$  is chosen by the equation and the desired minimum signal threshold level.

$$V_{IN} \text{ minimum (peak)} = V_s - V_s = \pm V \pm 2.8mV \text{ offset} = V_{PEF} \frac{20,000}{(20,000 + R_x)} \text{ or } R_x = 20,000 \left( \frac{V_{PEF}}{.1V} - 1 \right)$$

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

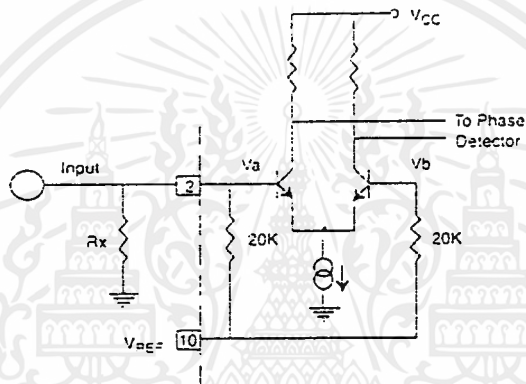


Figure 4. Desensitizing Input Stage

- g) Calculate Data Filter Capacitance,  $C_F$ .

$$R_{sum} = \frac{(R_f + R_1) \cdot R_3}{(R_1 + R_f + R_3)}$$

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

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

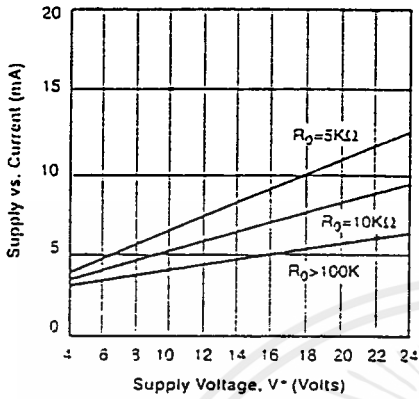


Figure 5. Typical Supply Current vs.  $V_+$  (Logic Outputs Open Circuited)

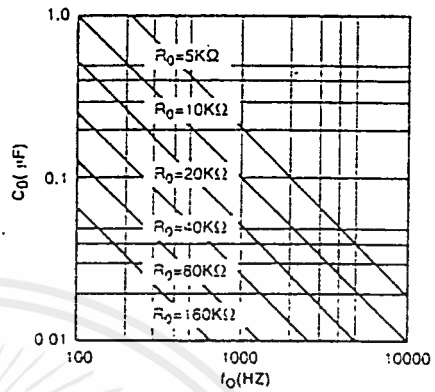


Figure 6. VCO Frequency vs. Timing Resistor

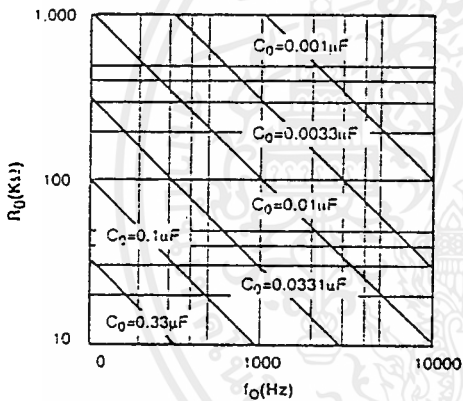


Figure 7. VCO Frequency vs. Timing Capacitor

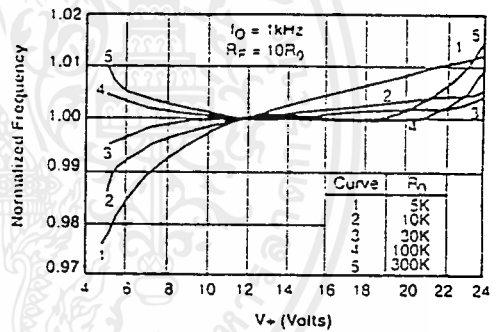


Figure 8. Typical  $f_O$  vs. Power Supply Characteristics

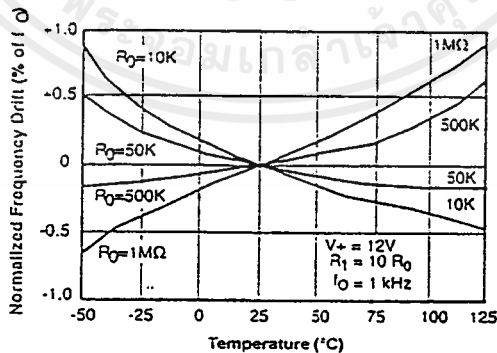


Figure 9. Typical Center Frequency Drift vs. Temperature

*Design Example:*

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

Step 1: Calculate  $f_0$ : from design instructions

$$(a) f_0 = \sqrt{1200 \cdot 2200} = 1624$$

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

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

Step 3: Calculate  $C_0$  from design instructions

$$(c) C_0 = \frac{1}{15000 \cdot 1624} = 39nF$$

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  $R_1$ ,  $R_F = 51,000 \cdot 5 = 255 K\Omega$

Step 7: Calculate  $R_B$ :  $R_B$  should be at least five times  $R_F$ ,  $R_B = 255,000 \cdot 5 = 1.2 M\Omega$

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  $C_F$ :

$$C_F = \frac{0.25}{(R_{SUM} \text{ Baud Rate})} = 1nF$$

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



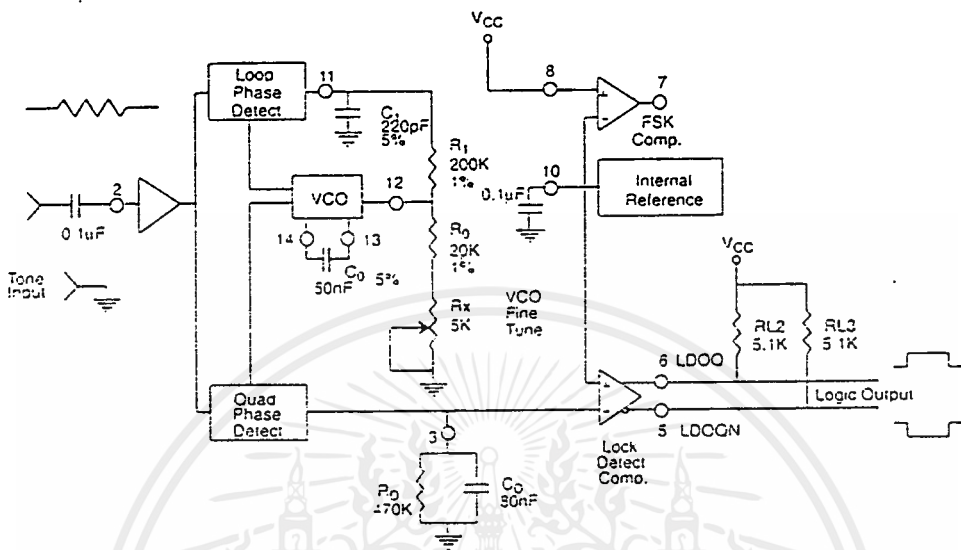


Figure 12. Circuit Connection for Tone Detection

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,  $\pm\Delta f_c$ . 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,  $\Delta f_c > \Delta f/2$ . 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  $\mu F$  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:  $R_D$  and  $C_D$  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.

**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  $\Omega$ 's, all frequency in Hz and all capacitance in farads, unless otherwise specified)

- Choose value of timing resistor  $R_0$  to be in the range of 10K $\Omega$  to 50K $\Omega$ . This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is  $R_0 = 20\text{K}\Omega$ . The final value of  $R_0$  is normally fine-tuned with the series potentiometer,  $R_X$ .
- Calculate value of  $C_0$  from design equation (1) or from *Figure 7*:  $f_S = f_0$ :

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

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

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

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

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

Normally,  $\zeta = 0.5$  is recommended.

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

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

- Calculate value of the filter capacitor  $C_D$ . To avoid chatter at the logic output, with  $R_D = 470\text{K}\Omega$ ,  $C_D$  must be:

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

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

**Design Examples:**

Tone detector with a detection band of  $\pm 100\text{Hz}$ :

- Choose value of timing resistor  $R_0$  to be in the range of 10K $\Omega$  to 50K $\Omega$ . This choice is dictated by the max./min. current that the internal voltage reference can deliver. The recommended value is  $R_0 = 20\text{K}\Omega$ . The final value of  $R_0$  is normally fine-tuned with the series potentiometer,  $R_X$ .
- Calculate value of  $C_0$  from design equation (1) or from *Figure 6*:  $f_S = f_0$ :

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

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

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot f_0 \cdot 2}{\Delta f} = \frac{20,000 \cdot 1,000 \cdot 2}{100} = 400K$$

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.

$$C_0 = \frac{1250 \cdot C_2}{R_1 \cdot \zeta^2} = \frac{1250 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{400,000 \cdot 0.5^2} = 6.25 \mu F$$

Increasing  $C_0$  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  $R_D = 470K\Omega$ ,  $C_D$  must be:

$$C_D = \frac{16}{.1f} \geq \frac{16}{200} \geq 30nF$$

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

- f) Fine tune center frequency with  $5K\Omega$  potentiometer,  $R_X$ .

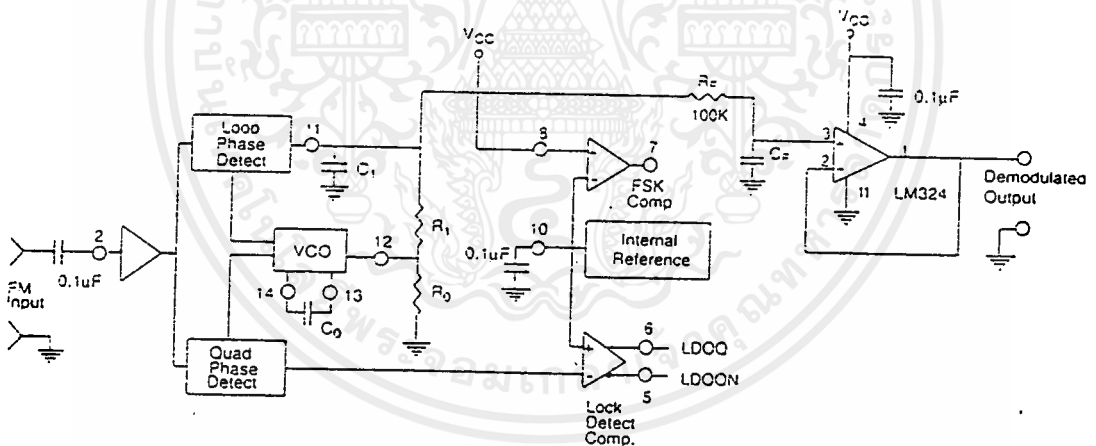


Figure 13. Linear FM Detector Using XR-2211 and an External Op Amp.  
(See Section on Design Equation for Component Values.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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  $V_R$  is the internal reference voltage ( $V_{REF} = V_{CC} / 2 - 650mV$ ). For the choice of external components  $R_1$ ,  $R_0$ ,  $C_0$ ,  $C_1$  and  $C_F$ , see the section on design equations.

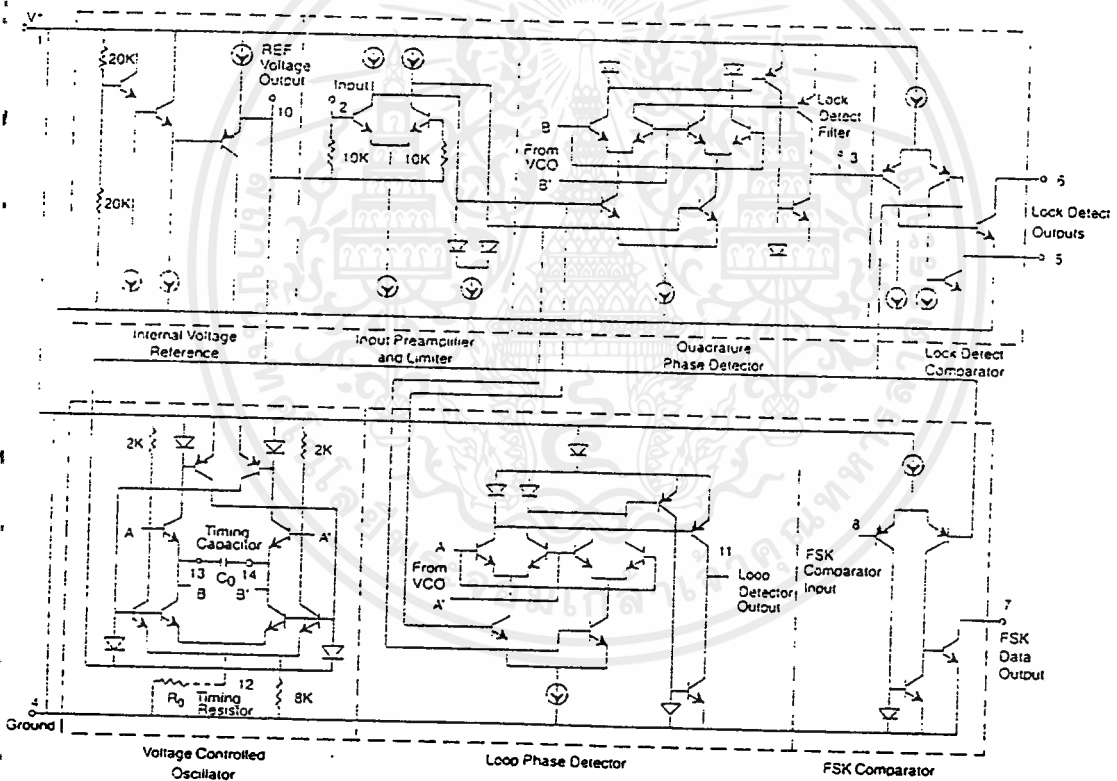
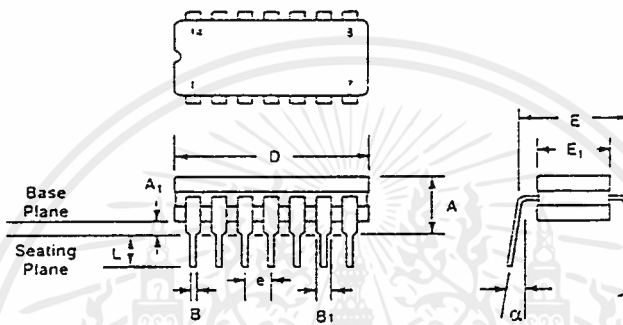


Figure 14. Equivalent Schematic Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่มีการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Rev. 1.00



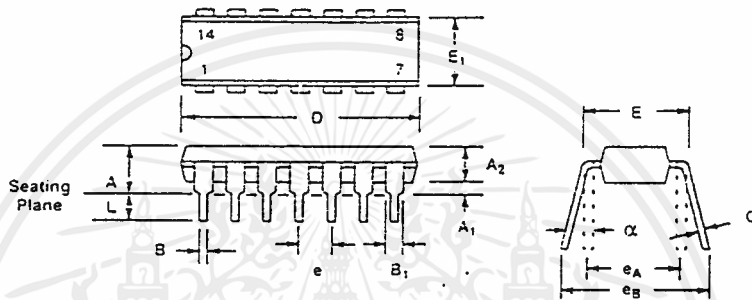
SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A <sub>1</sub>	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.025	0.36	0.66
B <sub>1</sub>	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.685	0.785	17.40	19.94
E <sub>1</sub>	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	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



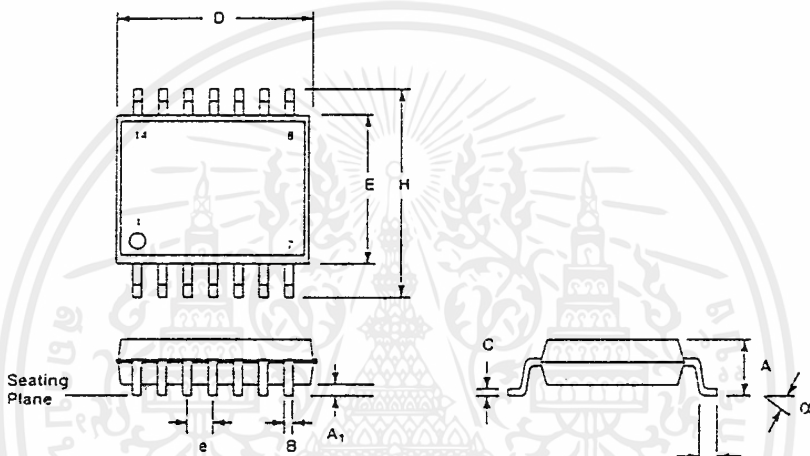
SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A <sub>1</sub>	0.015	0.070	0.38	1.78
A <sub>2</sub>	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B <sub>1</sub>	0.030	0.070	0.75	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.725	0.795	18.42	20.19
E	0.300	0.325	7.62	8.25
E <sub>1</sub>	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e <sub>A</sub>	0.300 BSC		7.62 BSC	
e <sub>a</sub>	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 <sub>1</sub>	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

## 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.

# XR-2206

## Monolithic Function Generator

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

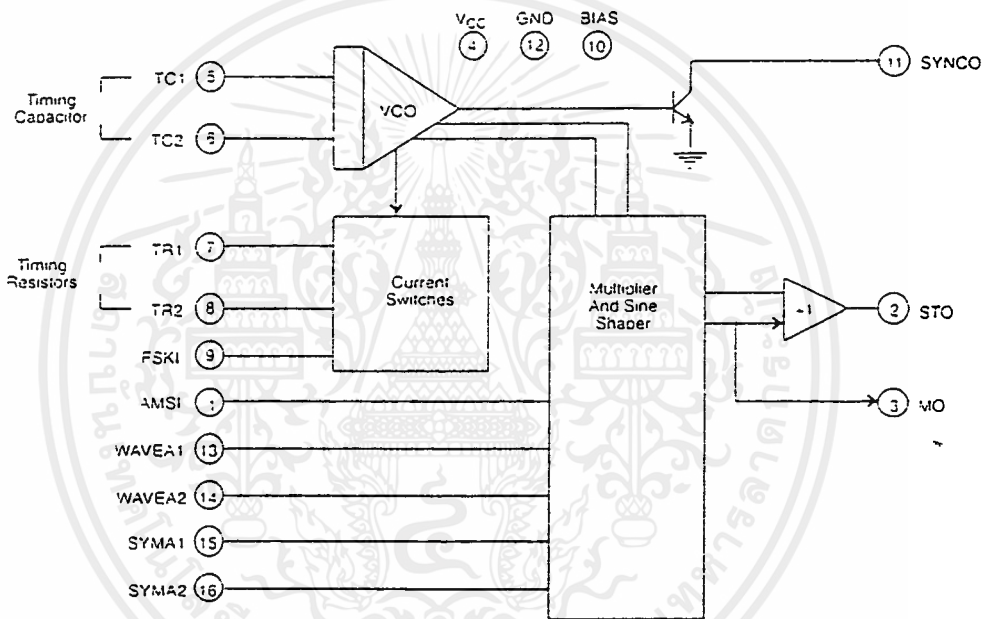
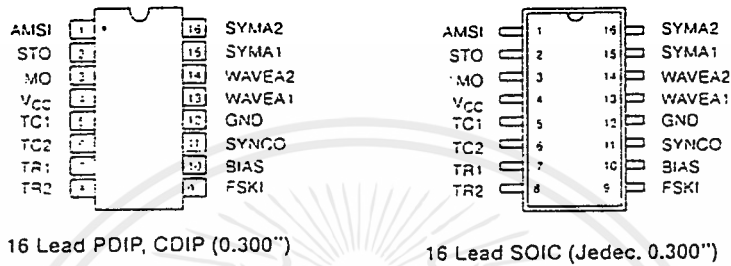


Figure 1. XR-2206 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 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 <sub>CC</sub>		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 <sub>CC</sub> .
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.

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2*  $V_{CC} = 12V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ ,  $C = 0.01\mu F$ ,  $R_1 = 100k\Omega$ ,  $R_2 = 10k\Omega$ ,  $R_3 = 25k\Omega$   
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.		
<b>General Characteristics</b>								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	$\pm 5$		$\pm 13$	$\pm 5$		$\pm 13$	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
<b>Oscillator Section</b>								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$ , $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$ , $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		-1	+4		-2		% of $f_0$	$f_0 = 1/R_1 C$
Temperature Stability Frequency		-10	+50		$\pm 20$		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability <sup>2</sup>		-800			+800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$ , $V_{HIGH} = 20V$ . $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
<b>Sweep Linearity</b>								
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		%	$\pm 10\%$ Deviation
<b>Recommended Timing Components</b>								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	$\mu F$	<i>Figure 5</i>
Timing Resistors: $R_1$ & $R_2$	1		2000	1		2000	$k\Omega$	
<b>Triangle Sine Wave Output<sup>1</sup></b>								<i>Figure 3</i>
Triangle Amplitude		160			160		mV/ $k\Omega$	<i>Figure 2</i> , $S_1$ Open
Sine Wave Amplitude	40	50	80		60		mV/ $k\Omega$	<i>Figure 2</i> , $S_1$ Closed
Max. Output Swing		5			5		Vp-p	
Output Impedance		500			500		$\Omega$	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
<b>Sine Wave Distortion</b>								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i>

**Notes**

<sup>1</sup> Output amplitude is directly proportional to the resistance,  $R_3$ , on Pin 3. See *Figure 3*.

<sup>2</sup> 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.**

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
<b>Amplitude Modulation</b>								
Input Impedance	50	100		50	100		k $\Omega$	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
<b>Square-Wave Output</b>								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11
Rise Time		250			250		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Fall Time		50			50		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2\text{mA}$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = 25\text{V}$
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**

<sup>1</sup> Output amplitude is directly proportional to the resistance,  $R_3$ , on Pin 3. See Figure 3.

<sup>2</sup> 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	Total Timing Current .....	6mA
Power Dissipation .....	750mW	Storage Temperature .....	-65°C to +150°C
Derate Above 25°C .....	5mW/°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.

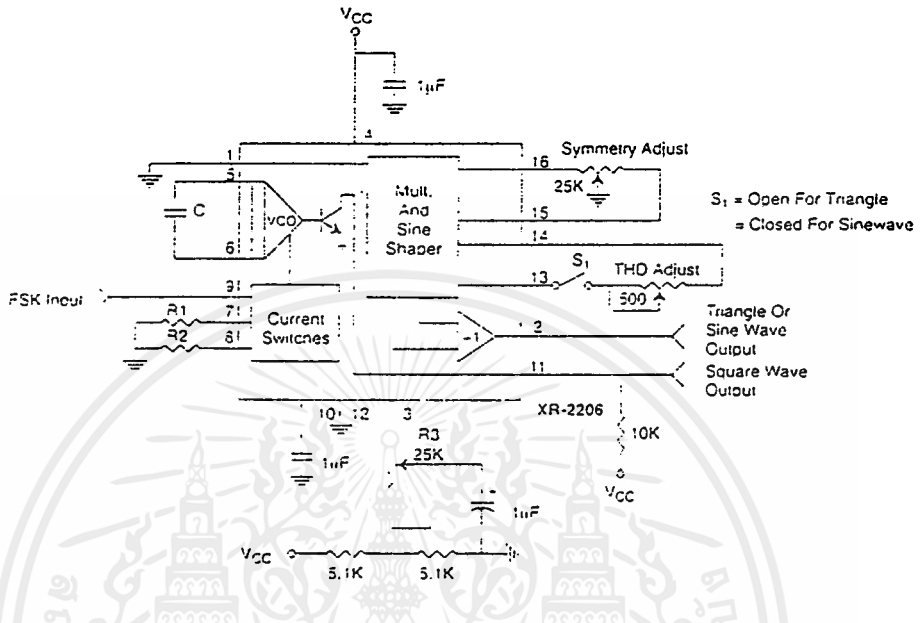


Figure 2. Basic Test Circuit

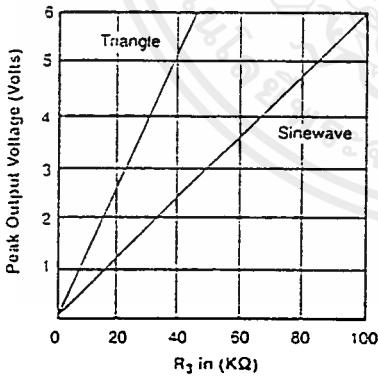


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R<sub>3</sub>, at Pin 3

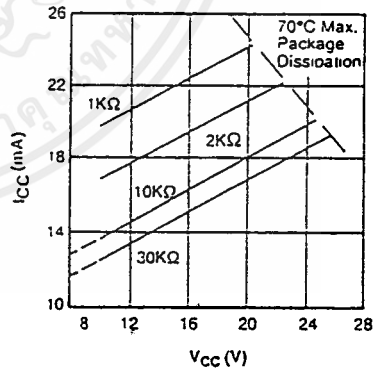


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

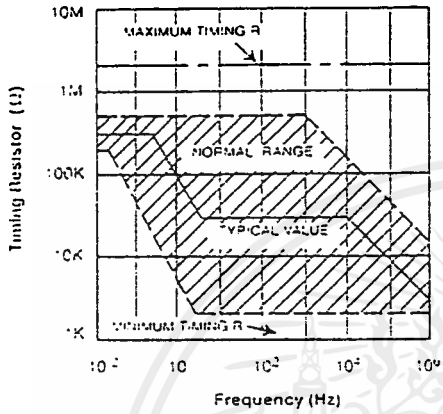


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

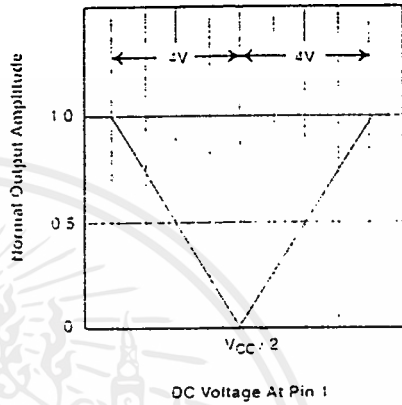


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

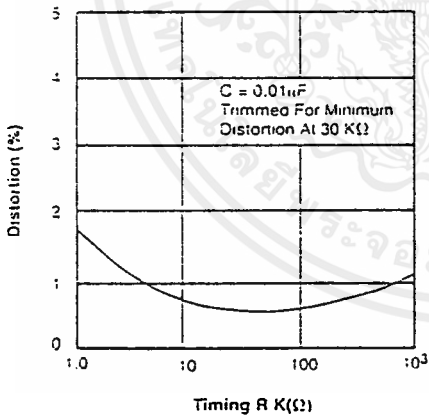


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

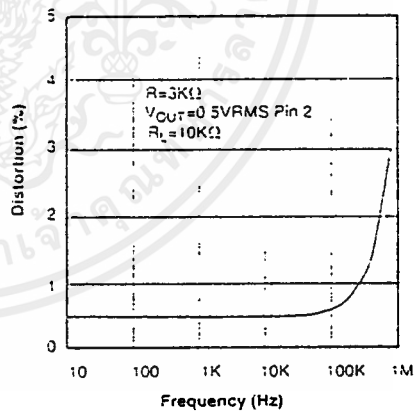


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

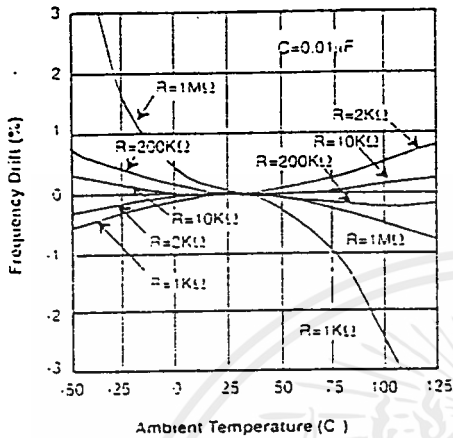


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

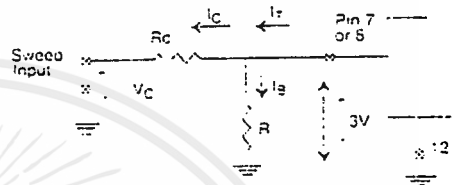


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

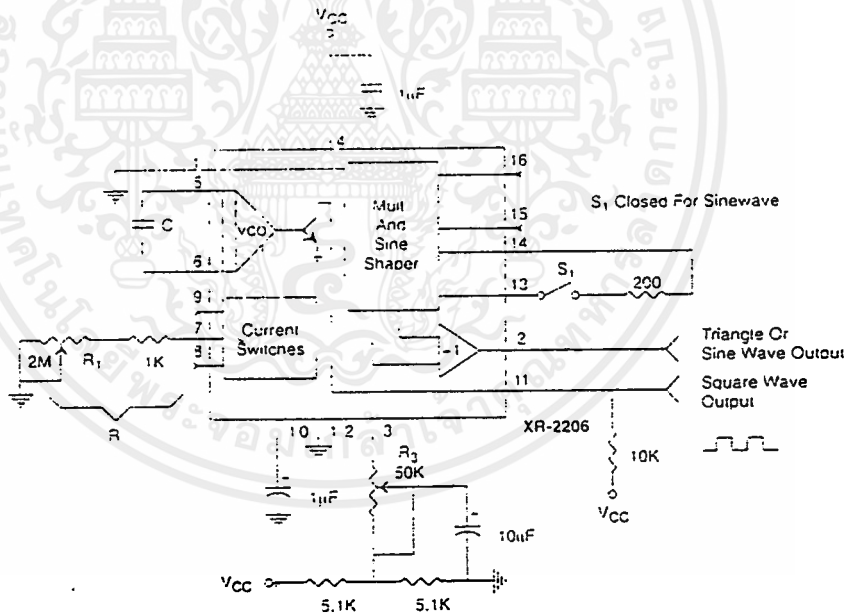


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3 for Choice of  $R_3$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

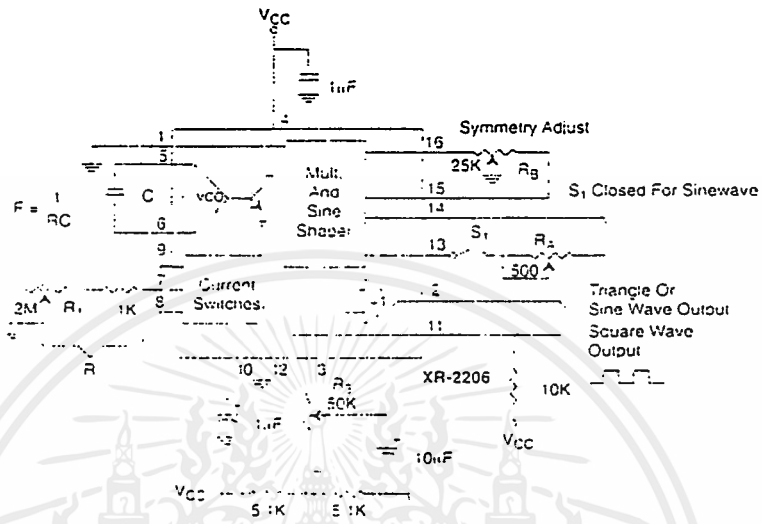


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. ( $R_3$  Determines Output Swing - See Figure 3)

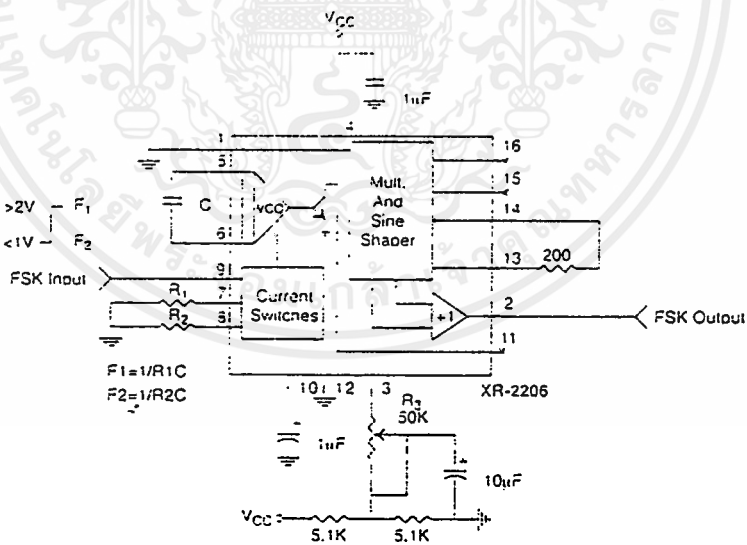


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

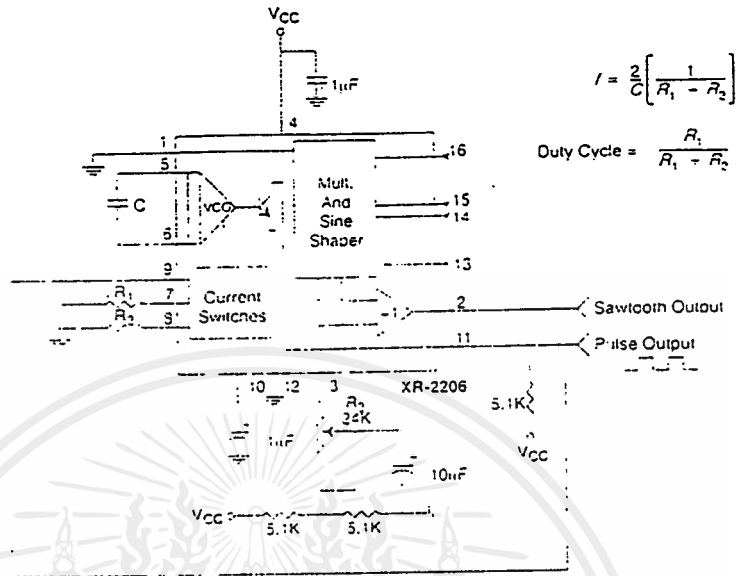


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

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:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

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.

### 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  $1k\Omega$  to  $2M\Omega$ .

## 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:

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

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  $100\mu F$ .

#### Frequency Sweep and Modulation:

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

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

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  $I_T$ , over a wide range of current values, from  $1\mu A$  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  $V_C$  as:

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

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

$$K = \Delta f / \Delta V_C = -\frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$$

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

**Output Amplitude:**

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor,  $R_3$ , connected to Pin 3 (see Figure 5). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per k $\Omega$  of  $R_3$ ; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per k $\Omega$  of  $R_3$ . Thus, for example,  $R_3 = 50k\Omega$  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 100k $\Omega$ . 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  $V_{CC}$ .*

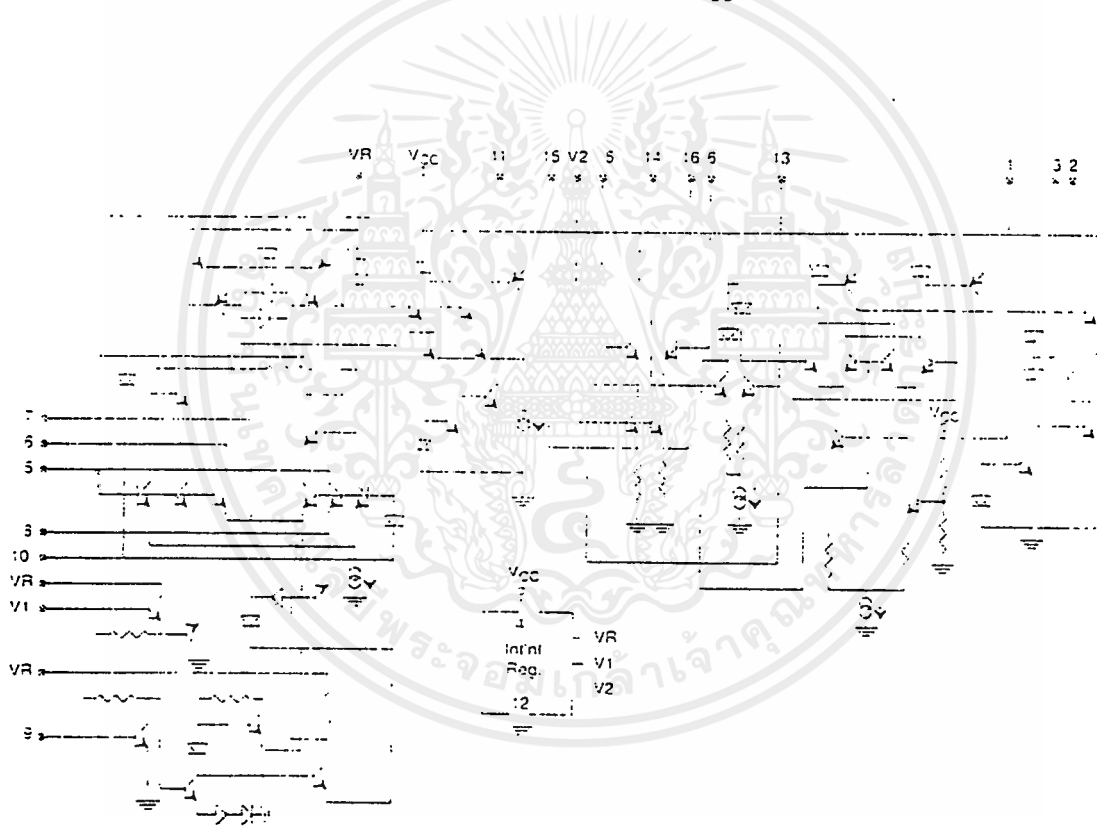
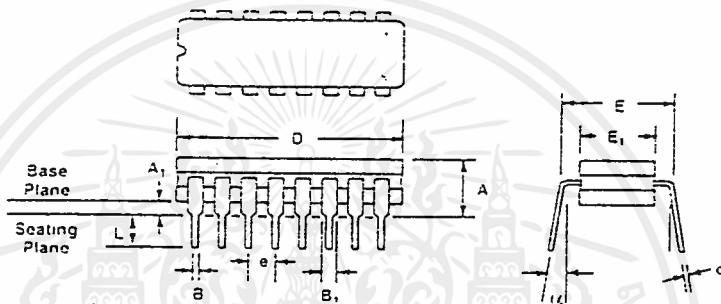


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

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

*Rev. 1.00*



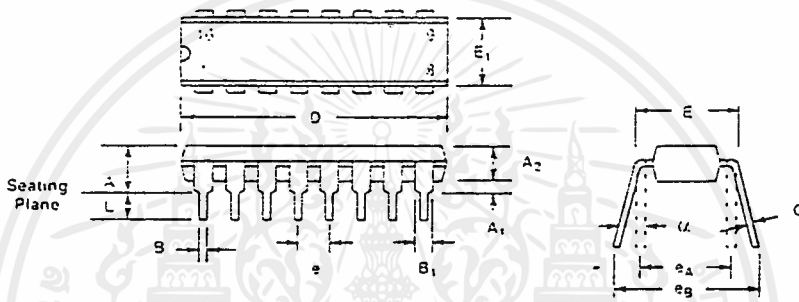
SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A <sub>1</sub>	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.025	0.36	0.66
B <sub>1</sub>	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.740	0.840	18.80	21.34
E <sub>1</sub>	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
∅	0	0.15	0	3.81

*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



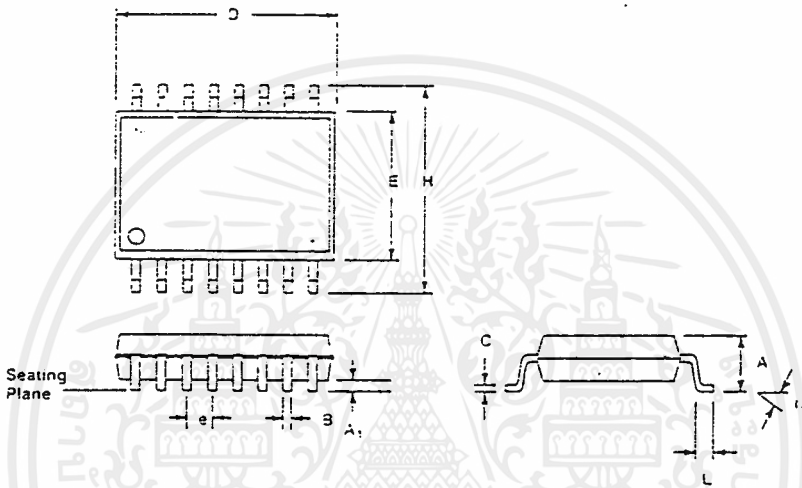
SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A <sub>1</sub>	0.015	0.070	0.38	1.78
A <sub>2</sub>	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.35	0.56
B <sub>1</sub>	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	1.745	0.840	18.92	21.34
E	0.300	0.325	7.62	8.25
E <sub>1</sub>	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e <sub>A</sub>	0.300 BSC		7.62 BSC	
e <sub>B</sub>	0.310	0.430	7.87	10.92
L	0.115	0.150	2.92	4.06
"	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 <sub>1</sub>	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
U	0°	8°	0°	8°

Note: The control dimension is the millimeter column.

## 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.

## บรรณานุกรม

- 1) สวี สุวรรณพงศ์, คู่มือเครื่องตรวจอากาศ, กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักนายกรัฐมนตรี
- 2) นฤกุล กระจาย, การเขียนโปรแกรมและประมวลผลข้อมูลด้วยเทอร์โบปาสคาล, ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร, 2535
- 3) วารสารคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เวสต์, ฉบับที่ 120, กรุงเทพฯ, 2531, หน้า 108-114
- 4) บรรเจิด ตันติกัลยากรณ์, วารสารเครื่องรับส่ง, ฉบับที่ 8, กรุงเทพฯ, หน้า 71-80
- 5) บรรเจิด ตันติกัลยากรณ์, วารสารเครื่องรับส่ง, ฉบับที่ 5, กรุงเทพฯ, หน้า 17-23
- 6) ปริญญาพนธ์, กลยุทธ์ พิมแฉ่ม และสันติ สถิตวรธรณะ, ระบบตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าในระบบสื่อสาร, ปีการศึกษา 2539, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายกิตติศักดิ์ โชคสุจริต
วันเดือนปีเกิด	20 มิถุนายน 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	591 หมู่ 1 ต. กำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
โทรศัพท์	034-351689, 281126
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวันครู
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมัธยมฐานบินกำแพงแสน
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	“ทุกสิ่งทุกอย่างเราเป็นผู้กำหนด จงทำวันนี้ให้ดีที่สุด แล้วค่อยคิดถึงอนาคต”

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายหน้ทที สุภพิโรจน์
วันเดือนปีเกิด	23 กันยายน 2519
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	380/1 หมู่ที่ 10 ต. หนองปรือ อ. บางละมุง จ. ชลบุรี 20260
โทรศัพท์	(038) 410774 , 426880
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนคาราสุมุท ศรีราชา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนคาราสุมุท ศรีราชา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรม โทคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	“เราเท่านั้นที่จะลิขิต ชีวิตตัวเอง”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นางสาวมยุรี เข้มกลัด
วันเดือนปีเกิด	14 เมษายน 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดนนทบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดนนทบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	16/535 ม.พิบูลย์การ์เคนวิลล์ ถ.พิบูลย์สงคราม ต.บางเขน อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทรศัพท์	02-9665951
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนประสาทพร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสตรีนนทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คตินิพนธ์	“คิดดี ทำดี”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายวุฒินันท์ สุวรรณเจริญ
วันเดือนปีเกิด	19 พฤศจิกายน 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดสกลนคร
ภูมิลำเนาเดิม	1055 ถ.เรืองสวัสดิ์ ต.ธาตุเชิงชุม อ.เมือง จ.สกลนคร 47000
ที่อยู่ปัจจุบัน	893 ม.เสนาวิลล่า ซ.24 คลองจั่น บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
โทรศัพท์	375 - 3116 , (042) 714 - 067
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเชิงชุมราษฎร์นุกูล
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คติพจน์	“อดีตไม่ขยัน ปัจจุบันไม่ชวนขาย ไม่ต้องทำนายอนาคต”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้