# เครื่องแสดงการติดตามด้วยคอมพิวเตอร์


โดย

ชาญแรงค์ อ่างทอง

ธัชพงศ์ ฉายชยานนท์

ยุทธนา ศิริแสงมงคล


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเลคทรอนิคส์

สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032553

ปีการศึกษา 2535

# เครื่องแสดงการติดตามด้วยคอมพิวเตอร์

โดย


ชาญแรงค์ อ่างทอง

ธัชพงศ์ ฉายชยานนท์

ยุทธนา ศิริแสงมงคล


อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032553

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา อิเล็กทรอนิคส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแสดงการติดตามด้วยคอมพิวเตอร์


ผู้จัดทำ

| | | |
|---|---|---|
| 1.ชาญณรงค์ | อ่างทอง | 321076 |
| 2.ธัชพงศ์ | ฉายชยานนท์ | 321120 |
| 3.ยุทธนา | ศิริแสงมงคล | 321251 |


..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องแสดงการติดตามเครื่องส่ง

โดย นายชายณรงค์ อ่างทอง 321076
นายธัชพงศ์ ฉายชยานนท์ 321120
นายยุทธนา ศิริแสงมงคล 321251
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยเครื่องส่ง เครื่องรับ เสาอากาศและคอมพิวเตอร์ ดังนี้ เครื่องส่งจะส่งสัญญาณข้อมูลที่ modulate แบบ FM ด้วยกำลังส่งออกอากาศประมาณ 0.8 watts ผ่านเข้าเสาอากาศที่มีทิศทางแบบ YAKI ARRAY และหลักการ NULL PEAK มาช่วยเพิ่มความถูกต้องยิ่งขึ้น สำหรับการวัดระยะทางอาศัยหลักการเดียวกับหลักการวัดขนาดของเวอร์เนียร์แคลลิปเปอร์ เครื่องรับจะรับสัญญาณดังกล่าว เพื่อทำการ demodulate แล้วนำข้อมูลผ่านเข้าไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์ แล้วแสดงผลทางมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# The Computer Display Of A Tracked transmitter

By Chanarong aungtong 321076

Thatchapong chaychayanon 321120

Yuttana sirisangmongkol 321251

Advisor: Dr.Manus sungworasilapha

Abstract

This thesis is composed of transmitter , reciever , antenna and computer. Transmitter will send a modulated data (FM type) with a RF power transmitters (0.8 watts). There for,it is feeded through a director antenna system (YAKI ARRAY type) and used the NULL PEAK theory to increase more accurate direction.For a measured distance theory,will use measure the same to a measured size theory of a vernior calipper and then the reciever will recieve the data to demodulate and send the data to process at computer that display on monitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการสื่อสารทางดาวเทียม ไม่เพียงแต่ถูกนำมาใช้เฉพาะแต่ในด้านการติดต่อสื่อสารกันเท่านั้น ในอีกแง่มุมหนึ่งของประโยชน์การสื่อสารทางดาวเทียมก็คือ การนำมาใช้คู่กับการหาตำแหน่งของรถยนต์ที่ถูกขโมย ซึ่งมีบริษัทหัวใสในญี่ปุ่นได้เสนอระบบการกันขโมยรถยนต์ให้กับลูกค้าเป็นลักษณะที่ว่า เจ้าเครื่องตัวนี้จะสามารถส่งสัญญาณติดต่อกับดาวเทียมได้ ซึ่งจะสามารถถูกระบุตำแหน่งได้บนแผนที่ เพราะฉะนั้นจึงไม่ต้องกังวลอีกว่าเจ้ารถคันเก่งของเราวันดีคืนดีจะขอลาโลก(โลกของเรา) จากเจ้าของสุดที่รักไปลับ และนอกจากนั้นเจ้าเครื่องที่ว่านี้ ยังมีใช้กันในหนังประเภทสืบสวนสอบสวนอีกด้วย ซึ่งจากสองประเด็นหลัก ๆ นี้เอง ที่เป็นที่มาของ project ชิ้นนี้ โดยใน project นี้ไม่ได้ใช้การรับส่งโดยผ่านดาวเทียมหลอก แต่เป็นการใช้คลื่นในย่าน UHF. ช่วงต้นเท่านั้นเอง ซึ่งประกอบด้วย เครื่องส่ง, เครื่องรับ และเครื่องคอมพิวเตอร์

เนื้อหาในรายงานนี้ พยายามกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐาน ทั้งทางด้านเครื่องรับ-ส่งวิทยุเอยเสา อากาศเอย ฯลฯ และสิ่งที่เป็นอุปสรรคมาก ในการสร้างเจ้าเครื่อง project ที่ว่านี้ขึ้นมาได้นั้นคือ อุปกรณ์ค่าต่าง ๆ ซึ่งกว่าจะหาครบ หาตัวแทนได้นั้นเสียเวลามาก

ถ้าหากบุญกุศลอันใดจะเกิดขึ้นจากประโยชน์ของรายงาน project ชิ้นนี้ ขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่เกี่ยวข้องกับผู้ทำ project ชิ้นนี้ขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 1 ลักษณะทั่วๆไปของ project | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีเครื่องรับ-ส่งวิทยุ | 3 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีเสาอากาศ | 58 |
| บทที่ 4 หลักการของ project | 73 |
| 4.1 เรื่องเกี่ยวกับเสาอากาศ | 73 |
| 4.2 เรื่องเกี่ยวกับการวัดระยะทาง | 83 |
| 4.3 เรื่องเกี่ยวกับเครื่องส่ง | 89 |
| 4.4 เรื่องเกี่ยวกับเครื่องรับ | 93 |
| 4.5 เรื่องเกี่ยวกับการประมวลผลสัญญาณ | 98 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง | 114 |
| บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ | 117 |
| กิตติกรรมประกาศ | 118 |
| หนังสืออ้างอิง | 119 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1 ลักษณะทั่ว ๆไปของ PROJECT

เครื่องแสดงการติดตามเครื่องส่ง (The Computer Display Of A Tracked tranmitter)มีหลักการของระบบ ดังในรูปที่ 1.1

เครื่องส่ง (transmitter) จะส่งสัญญาณวิทยุออกมา ซึ่งสัญญาณวิทยุดังกล่าวมีการเข้ารหัสไว้ เพื่อป้องกันความสับสนในการรับสัญญาณ เนื่องจากในปัจจุบันมีการส่งสัญญาณวิทยุเพื่อใช้งานในด้านต่างๆมากมาย โดยปกติแล้วเครื่องส่งจะมีขนาดไม่ใหญ่โตมากนัก จึงสามารถติดไปกับสิ่งที่ต้องการติดตาม เช่น บุคคลที่ต้องการติดตาม หรือ พาหนะยานยนต์ที่ถูกโจรกรรม เป็นต้น

ระบบด้านเสาอากาศ (antenna system) เป็นระบบที่สำคัญ ทำหน้าที่รับสัญญาณวิทยุเพื่อส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องรับ (reciever) เหตุที่ต้องมีระบบด้านเสาอากาศ คือ ต้องการให้มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณวิทยุมากที่สุด

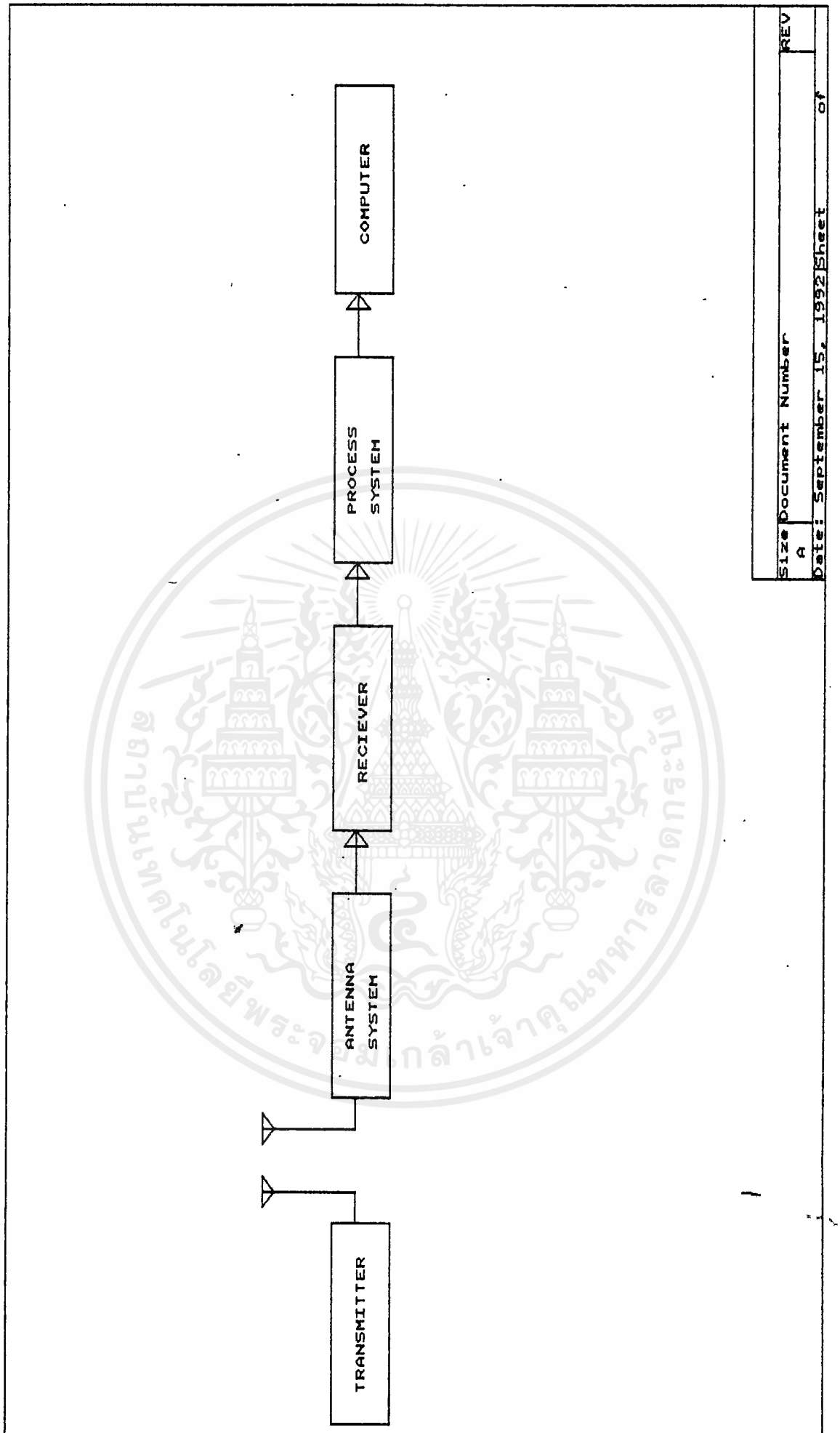
เครื่องรับ (reciever) จะรับสัญญาณวิทยุจากระบบด้านเสาอากาศ แล้วนำสัญญาณที่ได้มาถอดรหัสนำข้อมูลส่งต่อไปให้ระบบประมวลผล (process system)

ระบบประมวลผล (process system) จะนำสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับแล้วทำการประมวลผลด้านฮาร์ดแวร์ ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บลงสู่หน่วยความจำภายนอก (static RAM)

คอมพิวเตอร์ (computer) จะนำข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก ไปประมวลผลด้านซอฟท์แวร์ แล้วแสดงผลทางมอนิเตอร์

สำหรับรายละเอียดในแต่ละภาคการทำงานจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 1.1 ระบบของเครื่องแสดงการติดตามเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2 ทฤษฎีเครื่องรับ-ส่ง วิทยุ

## 2.1 คลื่นวิทยุหรือความถี่วิทยุ (RADIO WAVE OR RADIO FREQUENCY)

คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำขึ้น ซึ่งมีความเร็วคงที่อยู่ในย่านความถี่ 10 KHz-300 GHz เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 186,000 ไมล์ต่อวินาที หรือประมาณ $3 * 10^8$ เมตรต่อวินาที ความถี่มีความสัมพันธ์กับความเร็วและความยาวคลื่นดังนี้

$$F = V / \lambda \quad \text{Hz}$$

F = ความถี่ (FREQUENCY) หน่วย เฮริทซ์ (Hz)

V = ความเร็ว (VELLOCITY) ของคลื่นวิทยุ ประมาณ $3 * 10^8$ (m/s)

$\lambda$ = ความยาวคลื่น (WAVELENGTH) หน่วย เมตร (m)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ELECTROMAGNETIC WAVE) คือคลื่นเกิดขึ้นจากการผสมกันระหว่างกระแสที่ไหลผ่านเข้าไปในสายอากาศวิทยุทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (MAGNETIC FIELD)และแรงดันที่ตกคร่อมคร่อมสายอากาศวิทยุทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (ELECTRIC FIELD) มีความถี่ดังตารางที่ 1.1

**ตารางที่ 1.1 ตารางจำแนกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**

| ชนิดของคลื่น | ย่านความถี่ (F) | ย่านความยาวคลื่น |
|---|---|---|
| 1.คลื่นความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง | 0-400 Hz. | $\infty$-750 km. |
| 2.คลื่นความถี่เสียง | 20 Hz.-20 KHz. | 15,000 km-15 km. |
| 3.คลื่นความถี่วิทยุ | 3 KHz.-3 THz. | 100 km-0.1 mm. |
| 4.คลื่นความร้อนหรือการแพร่กระจายของแสงอินฟราเรด | 300 GHz.-375 THz. | 1mm.-0.8 $\mu$m. |
| 5.คลื่นการแพร่กระจายของแสง | 375 THz.-750 THz. | 0.8 $\mu$m.-0.4 $\mu$m. |
| 6.คลื่นรังสีอุลตราไวโอเลต | 750 THz.-$3*10^7$THz. | 0.4 $\mu$m.-10 nm. |
| 7.คลื่นรังสีเอ็กซ์ (X-RAYS) | $3*10^3$ THz.-$3*10^7$THz | 100 nm.-10 pm. |
| 8.คลื่นรังสีแกรมมา (GAMMA RAYS) | $3*10^6$ THz.-$3*10^9$THz | 100 pm.-0.1 pm. |
| 9.คลื่นรังสีคอสมิค (COSMIC RAYS) | $6*10^8$ THz. เป็นต้นไป | 0.5 pm. ลงมา |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจำแนกรายละเอียดเฉพาะคลื่นวิทยุที่ใช้งานในระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ตารางจำแนกคลื่นวิทยุ

| ชื่อ | ย่านความถี่ (F) | ความยาวคลื่น( ) | การนำไปใช้งาน |
|---|---|---|---|
| 1.VERY LOW FREQUENCY(VLF) | 3 KHz-30 KHz | 100km.-10km. | คลื่นเสียงที่ทำให้หูมนุษย์ได้ยิน การสื่อสารระยะไกลจากจุดหนึ่งถึงจุดหนึ่ง |
| 2.LOW FREQUENCY (LF) | 30 KHz-300KHz | 10km.-1km. | ใช้ส่งวิทยุคลื่นยาว, วิทยุเดินเรือ, และการติดต่อสื่อสารระยะทางใกล้ๆ |
| 3.MEDIUM FREQUENCY (MF) | 300 KHz.-3 MHz | 1Km.-100m. | ส่งวิทยุในย่านกระจายเสียงทั่วไป (BROADCAST BAND, AM)และเรือบ |
| 4.HIGH FREQUENCY (HF) | 3 MHz.-30 MHz. | 100m.-10m. | ใช้ในการส่งวิทยุคลื่นสั้น, ในทางอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และวิทยุสมัครเล่น |
| 5.VERY HIGH FREQUENCY(VHF) | 30 MHz-300 MHz | 10m.-1m. | ใช้ส่ง T.V. ช่อง 2-13 ส่งวิทยุ FM.วิทยุเดินเรือ และวิทยุสมัครเล่น |
| 6.ULTRA HIGH FREQUENCY(UHF) | 300 MHz-3 GHz. | 1m.-10cm. | ใช้ส่ง T.V. ช่อง 14-83,เรดาร์ และไมโครเวฟ |
| 7.SUPER HIGH FREQUENCY (SHF) | 3GHz.-30GHz. | 10cm.-1cm. | เรดาร์, ไมโครเวฟ, สื่อสารดาวเทียม, ค้นคว้าทดลอง |
| 8.EXTREMELY HIGH FREQUENCY (EHF) | 30GHz.-300GHz. | 1cm.-1mm. | ค้นคว้าทดลอง |
| 9.ย่านที่ยังไม่มีชื่อ | 300GHz.-3THz. | 1mm.-0.1mm. | ค้นคว้าทดลอง |

หมายเหตุ

1.หน่วยความถี่ที่สูงกว่าเฮริทซ์ (HERTZ) ขึ้นไปแบ่งเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.กิโลเฮริทซ์ (KILO Hz),KHz = $10^{3}$ Hz.

1.เม็กกะเฮริทซ์ (MEGA Hz),MHz = $10^{6}$ Hz.

1.จิกกะเฮริทซ์ (GIGA Hz),GHz = $10^{9}$ Hz.

1.เทราเฮริทซ์ (TERA Hz),THz = $10^{12}$ Hz.

2.หน่วยความยาวคลื่นที่สูงกว่าและต่ำกว่าเมตรแบ่งเป็นดังนี้

1.กิโลเมตร (KILOMETER),km = $10^{3}$ เมตร (METER),m.

1.เซนติเมตร (CENTIMETER),cm. = $10^{-2}$ m.

1.มิลลิเมตร (MILLIMETER),mm. = $10^{-3}$ m.

1.ไมโครเมตร (MICROMETER),$\mu$m = $10^{-6}$ m.

1.นาโนเมตร (NANOMETER),nm. = $10^{-9}$ m.

1.พิกโคเมตร (PICOMETER),pm. = $10^{-12}$ m.

3.รังสีแกมมา(GAMMA RAYS) คือคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถูกส่งออกมาโดยเครื่องกำเนิดรังสีแกมมา มีความยาวคลื่นสั้น มาก มีอำนาจทะลุทะลวงมากกว่ารังสีเอ็กซ์เรย์ (X-RAY)

4.รังสีคอสมิก (COSMIC RAYS) คือรังสีที่มีความถี่สูงกว่ารังสีแกรมมา มีอำนาจทะลุทะลวงสูงยิ่งไม่ทราบที่มาแน่นอน แหล่งรังสีอยู่ในระหว่างกลุ่มดาวในอวกาศ สามารถทะลุทะลวงแท่งตะกั่วหนึ่งได้ลึกถึง 1.5 ฟุต หรือประมาณ 200 ฟุตในน้ำ

2.2 <u>ชั้นบรรยากาศ</u> (ATMOSPHERE)

ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกจะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุเป็นอย่างมาก บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกเราอยู่แบ่งออกได้หลายชั้น โดยแบ่งตามความสามารถที่จะเป็นตัวนำได้ เมื่อเกิดมีอนุของรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่มาชนจะทำให้บรรยากาศเกิดการไอโอไนซ์ (IONIZING) ของก๊าซในชั้นบรรยากาศนั้น จากคุณสมบัติเป็นตัวนำในขณะเกิดไอโอไนซ์ ชั้นบรรยากาศเหล่านี้จึงมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นวิทยุได้ ความสูงของชั้นบรรยากาศชั้นต่างๆจากพื้นดิน จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ โดยขึ้นอยู่กับความเข้มของการไอโอไนซ์ และส่วนประกอบอื่นๆเช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, แรงกดดัน ฯลฯ ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก แบ่งออกได้เป็นสามชั้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ชั้นโทรโพสเฟียร์ (TROPOSPHERE) มีระยะอยู่สูงจากพื้นผิวโลกโดยประมาณ 0-15 กม. ชั้นนี้สภาพโดยทั่วไปไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันตลอด แต่มีสภาพปั่นป่วน วุ่นวายอยู่ตลอดเวลา เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยา, ความชื้น, ความดัน และอื่น ๆ ทำให้ดัชนีหักเหของคลื่นวิทยุเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และความเป็นสูญญากาศ ค่าดัชนีหักเหของคลื่นวิทยุมีผลต่อการกระจายคลื่นในชั้นบรรยากาศต่ำ ๆ อย่างนี้

2.2.2 ชั้นสตาร์โทสเฟียร์ (STARTOSPHERE) ระยะสูงจากพื้นโลกประมาณ 15-50 กม. เป็นชั้นบรรยากาศซึ่งอุตุนิยมวิทยาจะไม่เปลี่ยนแปลง

2.2.3 ชั้นไอโอโนสเฟียร์ (IONOSPHERE) ระยะอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 50-500 กม. บรรยากาศในชั้นนี้ อากาศจะเต็มไปด้วยอิออน (ION) มีคุณสมบัติในการดูดกลืนหรือสะท้อนคลื่นวิทยุด้วยที่มีบทบาทคือความเข้มของตัวอิเล็คตรอนอิสระ (FREE ELECTRON DENSITY) บรรยากาศในชั้นนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นชั้นย่อย ๆ ได้อีกดังนี้

**ชั้น D (D-LAYER)** มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 50-90 กม. จะปรากฏบรรยากาศชั้นนี้เฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น และความเข้มของการไอโอไนซ์ จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงของดวงอาทิตย์ ชั้นนี้มีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง และดูดกลืนคลื่นวิทยุย่านความถี่ต่ำ

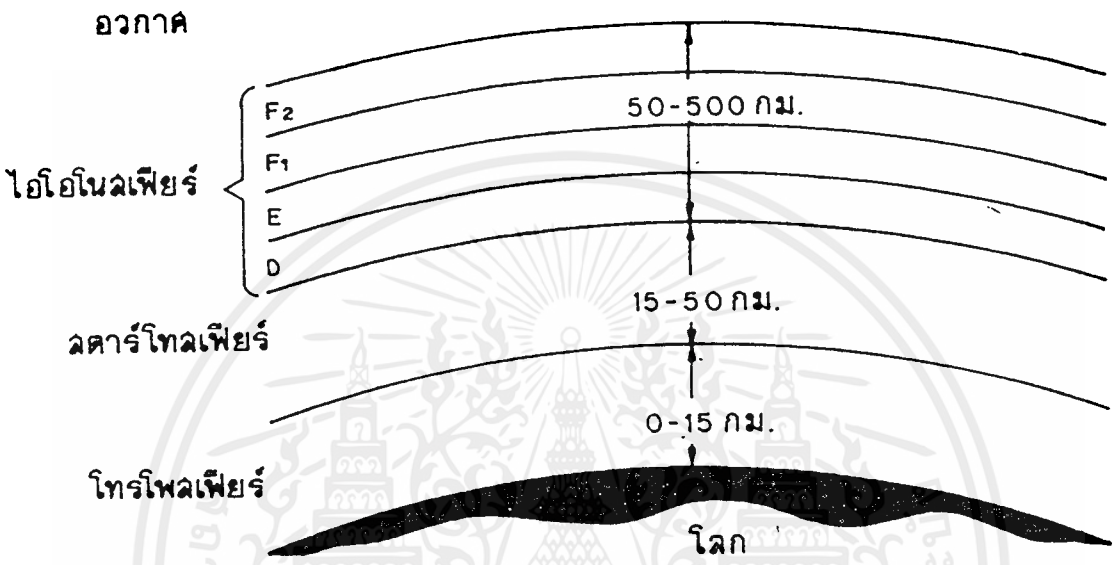
**ชั้น E (E-LAYER)** มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 110 กม. มีผลในการสะท้อนกลับของคลื่นวิทยุสู่ผิวโลกได้ ชั้นนี้จึงใช้ประโยชน์ในการรับส่งวิทยุระยะไกล ๆ ได้ความหนาแน่นของอากาศน้อยลง การชนกันระหว่างอิเล็กตรอนในอณูของอากาศจะลดลง ยกเว้นในกรณีที่มีช่วงมีเวลาการไอโอไนซ์มาก ๆ เช่นตอนบ่าย ๆ ชั้น E ก็ดูดกลืนคลื่นวิทยุได้เหมือนกัน

**ชั้น F (F-LAYER)** มีความสูงประมาณ 175-250 กม. มีการไอโอไนซ์ตลอดเวลามากที่สุดในตอนบ่าย ความสูงของชั้นนี้เปลี่ยนแปลงไปบ้าง ขึ้นอยู่กับจุดดับในดวงอาทิตย์ ฤดู และเวลาในวันหนึ่ง ๆ ด้วย คุณสมบัติของ $F_1$ ใช้ในการสะท้อนคลื่นวิทยุในการรับส่งระยะไกล แต่มีการดูดกลืนคลื่นวิทยุบ้างเล็กน้อย

**ชั้น $F_2$ ($F_2$-LAYER)** มีความสูงประมาณ 250-400 กม. ชั้นนี้มีบทบาทในการสื่อสารอย่างยิ่ง ชั้นนี้สูงที่สุดที่เกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุ มีการไอโอไนซ์อย่างรุนแรง แต่เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศเบาบางมาก จึงทำให้การไอโอไนซ์ที่เกิดขึ้นค้างอยู่ได้เป็นเวลานาน การไอโอไนซ์จะรุนแรงมากในตอนบ่าย แล้วค่อย ๆลดลงจนน้อยที่สุดก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างรวดเร็วในตอนเช้า ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีประโยชน์มากที่สุดในการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระยะไกล (HF) ความสูงของชั้น $F_2$ ฤดูร้อนจะสูงกว่าในฤดูหนาว ในเวลากลางคืนชั้น $F_1$ และ $F_2$ จะรวมกันเหลือเพียงชั้นเดียว เรียกว่าชั้น F มีสูงประมาณ 300 กม.




*รูปที่ 1.3 ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก*

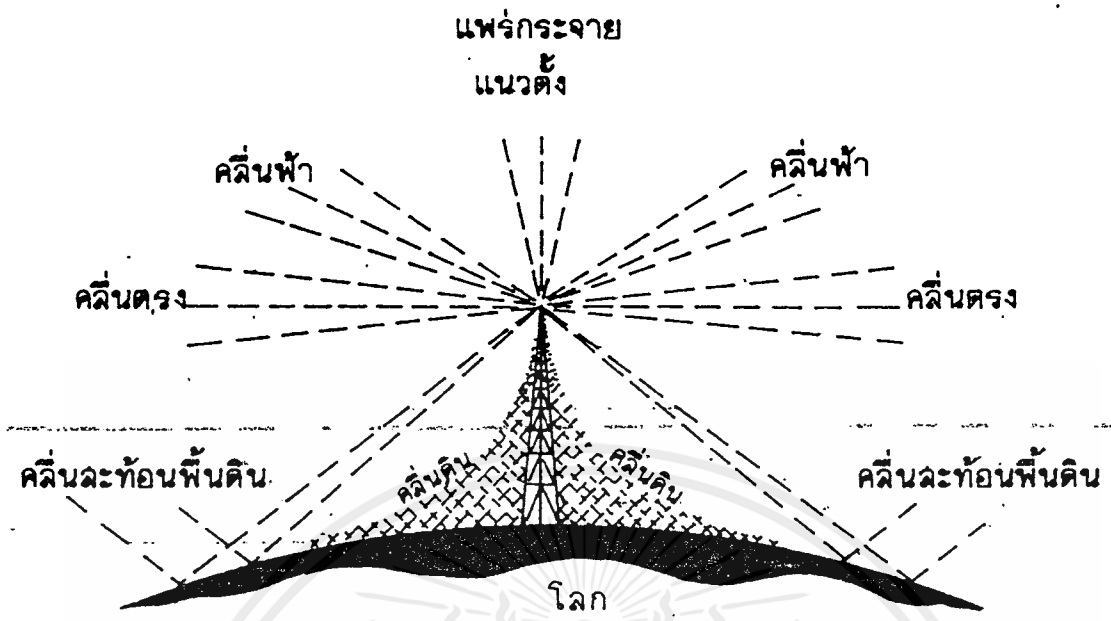
2.3 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุออกไปในบรรยากาศสามารถ แบ่งออกได้ตามลักษณะธรรมชาติจำเพาะของแถบคลื่นในย่านต่าง ๆ ได้ 4 ประเภทดังนี้คือ

1. คลื่นดิน (GROUND WAVE) หรือคลื่นผิว (SURGACE WAVE)

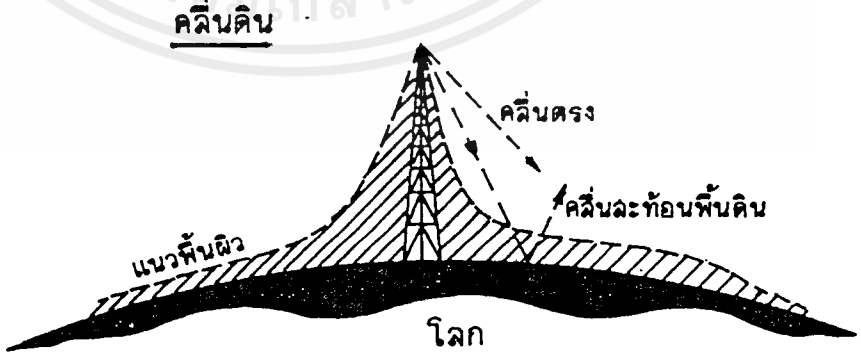
การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้ เกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในย่าน VLF, LF, และ MF เท่านั้น จะแพร่กระจายไปตามระดับพื้นผิวโลก โดยอาศัยพื้นดินเป็นสื่อ ความแรงของสัญญาณจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น เพราะจะถูกลดทอนลงด้วยค่าความต้าน (RESISTIVITY) ของพื้นดินอย่างไรก็ตามถ้าพื้นภูมิประเทศใดมีพื้นดินที่มีความนำ (CONDUCTIVITY) สูง เช่นพื้นดินที่มีความชุ่มชื้นหรือที่เป็นน้ำการแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้จะได้ไกลเพิ่มขึ้นอีก ในทางตรงข้ามถ้าพื้นภูมิประเทศใดมีพื้นดินที่มีความนำต่ำ เช่น พื้นดินที่มีความแห้งแล้ง หรือพื้นภูมิประเทศที่เป็นป่าเขา การแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




*รูปที่ 1.4 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุของสายอากาศในทิศทางต่าง ๆ*

ไปได้ไม่ไกลกำลังส่งออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุก็มีผลทำให้คลื่นเดินทางได้ใกล้หรือไกล การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้ได้แก่วิทยุกระจายเสียงในระบบ AM. (AMPLITUDE MODULATION) หรือย่าน MW (MEDIUM WAVE) และการกระจายเสียงในระบบคลื่นยาว LW. (LONG WAVE) คลื่นดินยังแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ คลื่นผิว (SURFACE WAVE), คลื่นตรง (DIRECT WAVE), และคลื่นสะท้อนพื้นดิน (GROUND REFLECTED WAVE)




*รูปที่ 1.5 การแพร่กระจายคลื่นของคลื่นดินในแต่ละแบบ*

**คลื่นเดินทางได้ 1,600 กม. หรือมากกว่าที่ความถี่ระหว่าง 10 KHz-250 KHz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นเดินทางได้หลายร้อย กม. ที่ความถี่ระหว่าง 250 KHz-3 MHz

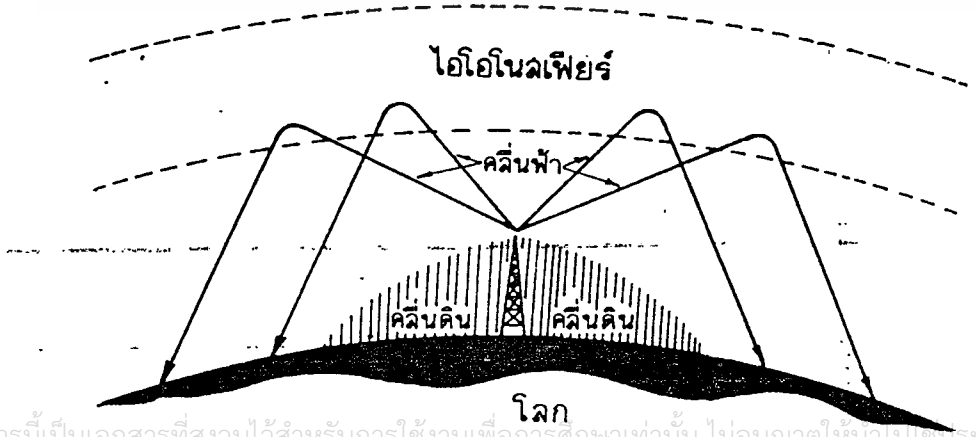
คลื่นเดินทางได้จากระยะทางน้อย ๆ ถึงประมาณ 120 กม. ที่ความถี่ระหว่าง 3 MHz-30 MHz

*รูปที่ 1.6 การแพร่กระจายคลื่นชนิดคลื่นดิน (GROUND WAVE)*

2. คลื่นฟ้า (SKY WAVE) หรือคลื่นไอโอโนสเฟียริค (IONOSPHERIC WAVE)

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในแถบคลื่น HF เท่านั้น การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะเดินทางเป็นเส้นตรงไปถึงชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์แล้ว สะท้อนกลับลงมายังพื้นดินอีกครั้ง ทำให้ระยะการสื่อสารประเภทนี้ไปได้ไกลกว่าคลื่นดินและไกลมากจนสามารถใช้ในกิจการติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศได้ ถ้าหากเลือกมุมยิงจากสายอากาศของเครื่องส่งขึ้นไปหาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ให้เหมาะสมและเลือกตำบลที่จะรับให้ตรงกับจุดตกดีๆ

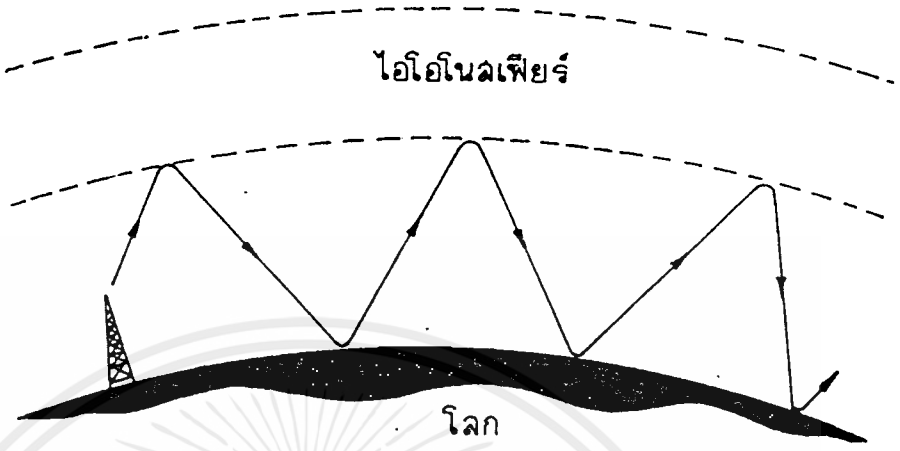
การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในแถบคลื่น HF นี้นอกจากจะเป็นแบบคลื่นฟ้าและยังจะมีคลื่นดินอยู่บ้างแต่น้อยมากแต่ไปได้ไม่ไกล ดังนั้นข้อเสียประการสำคัญของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้ก็คือ ถ้าตำบลที่จะรับคลื่นนั้นจุดตกของคลื่นที่จะสะท้อนลงมาเลยไปเสีย และคลื่นดินเดินทางไปไม่ถึง ดังนั้นตำบลนี้จะไม่สามารถรับคลื่นวิทยุได้




*รูปที่ 1.7 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นฟ้า หรือคลื่นไอโอโนสเฟียริค*

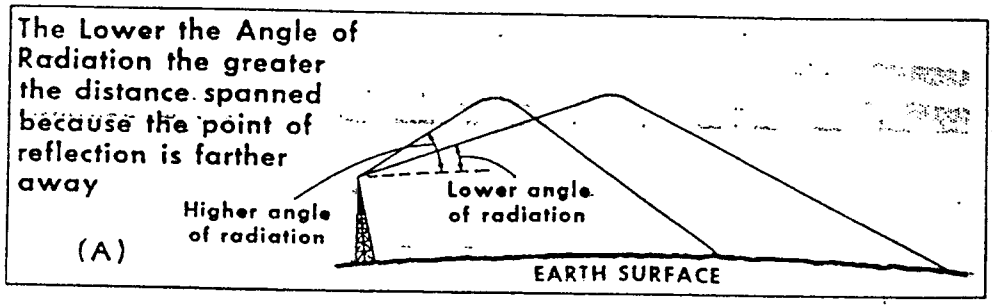
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
032553

การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ บางครั้งคลื่นที่สะท้อนลงมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ถึงผิวโลกแล้ว ยังสามารถจะสะท้อนกลับขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และสะท้อนกลับลงสู่ผิวโลกได้อีก ถ้ามีกำลังส่งสูงพอซึ่งสามารถสะท้อนขึ้นลงได้มากกว่า 1 ครั้ง ทำให้การติดต่อสื่อสารไปได้ไกลมากขึ้น



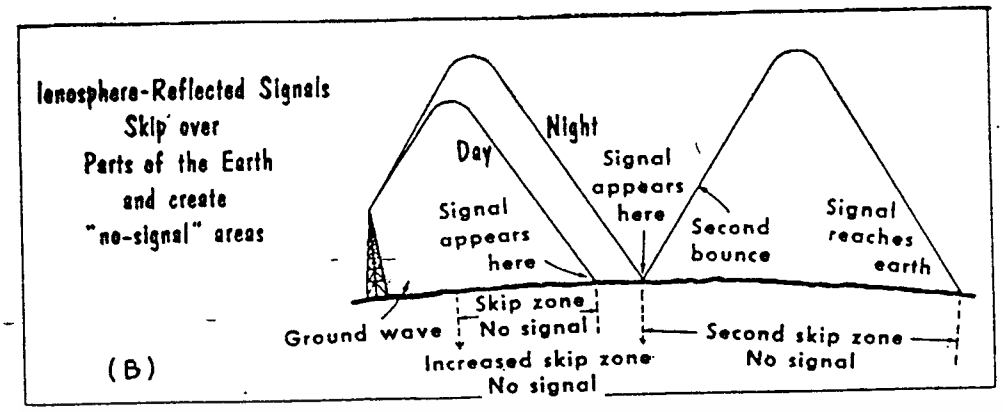

*รูปที่ 1.8 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นฟ้าชนิดการสะท้อนมากกว่า 1 ครั้ง*

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในประเภทนี้ยังมีข้อเสียอีกคือ ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของดวงอาทิตย์ นั่นคือระดับความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าในเวลากลางวัน เวลากลางคืน รอบฤดูกาล แม้กระทั่งการเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์ ฉะนั้นการสื่อสารที่ใช้การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้จึงไม่สู้แน่นอนนักต้องมีการศึกษาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของดวงอาทิตย์ในรอบฤดูกาล ต้องใช้เครื่องมือวัดความสูงของชั้นบรรยากาศชั้นนี้ และใช้การทำนายเหตุการล่วงหน้าจากสถิติที่ได้กระทำไว้เป็นระยะเวลานานหลายปี เลือกใช้ความถี่ให้เหมาะสมกับเวลา ดังนั้นจึงจะทำให้การสื่อสารโดยการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้มีเปอร์เซ็นต์ความแน่นอนสูงขึ้น




*รูปที่ 1.9 (A) แสดงการส่งคลื่นวิทยุไปกระทบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในมุมที่ต่างกัน*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



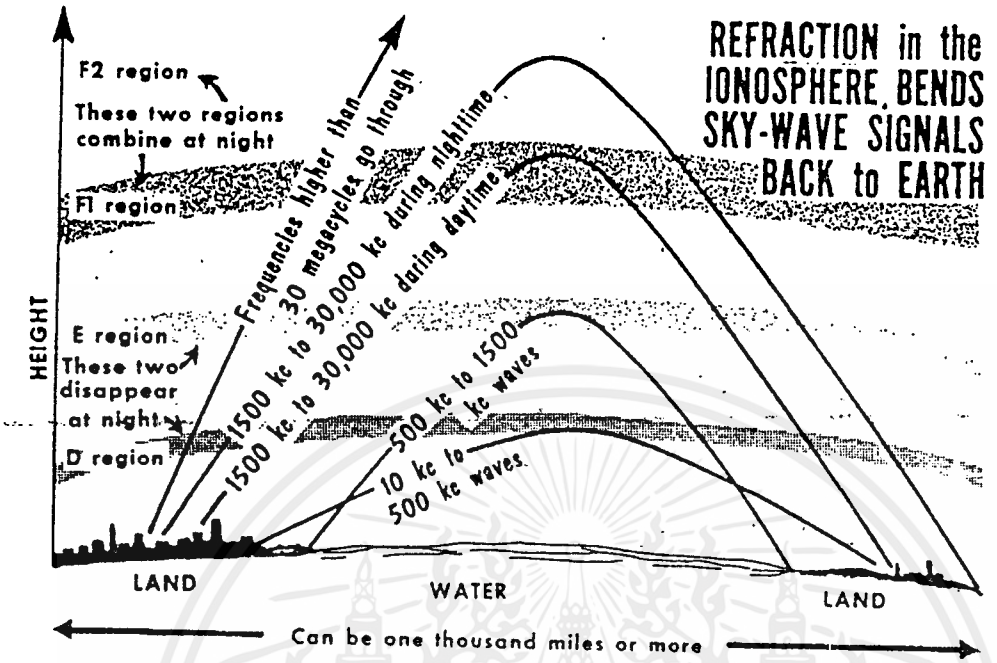

*(B) แสดงการสะท้อนคลื่นวิทยุในเวลากลางวันและเวลากลางคืนต่างกัน*

จากรูป 1.9 (B) จะมีย่านกระโดด (SKIP ZONE) เป็นย่านที่ไม่มีสัญญาณ เพราะคลื่นดินก็เดินทางไม่ถึง คลื่นฟ้าก็ตกกระทบเลยไป ดังนั้นจึงต้องพิจารณาระมัดระวังไม่ใช้ความถี่ที่จะทำให้สถานีรับตกอยู่ในย่านกระโดด

การใช้งานในแถบคลื่น HF สำหรับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นฟ้า ตามปกติใช้ในงานเกี่ยวกับระบบวิทยุโทรศัพท์และวิทยุโทรเลข สำหรับระยะทางไกล ๆ เช่น ภายในประเทศและระหว่างประเทศ ระบบวิทยุกระจายเสียงคลื่นสั้น SW (SHORT WAVE) เช่นที่รับจากต่างประเทศ

เนื่องจากการสื่อสารโดยใช้การแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นฟ้า ซึ่งไม่สู้จะมีความแน่นอนมากนักด้วยเหตุจากธรรมชาติดังกล่าว ในปัจจุบันนี้ได้เกิดระบบสื่อสารดาวเทียมขึ้น มีความแน่นอนมากกว่า ดังนั้นการสื่อสารระหว่างประเทศในปัจจุบันนี้ทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทย ได้เปลี่ยนวงจรการสื่อสารระหว่างประเทศเกือบทั้งหมดไปใช้ระบบดาวเทียมแล้ว ยังคงมีใช้ระบบ HF อยู่เพียงเล็กน้อยสำหรับประเทศที่ยังไม่ได้ติดตั้งสถานีภาคพื้นดิน ส่วนระบบวิทยุโทรเลข และวิทยุโทรศัพท์เป็นบางส่วนภายในประเทศยังคงใช้ระบบ HF อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




*รูปที่ 1.10 การสะท้อนกลับของคลื่นในย่านความถี่ต่าง ๆ*

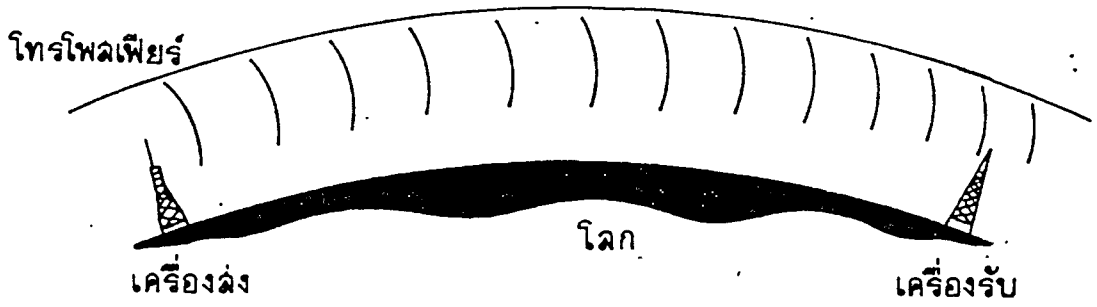
3. คลื่นโทรโพสเฟียริค (TROPOSPHERIC WAVE)

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในย่าน VHF และตอนต้นของย่าน UHF เท่านั้น ลักษณะการแพร่กระจายขึ้นในประเภทนี้จะเดินทางออกจากสายอากาศของเครื่องส่งไปเส้นโค้งเล็กน้อยเกือบจะเป็นเส้นตรง ไปตามสภาพอากาศปกติของชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์แล้วกลับเข้าหาพื้นโลก การแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ถ้ามีสิ่งกีดขวางเช่นภูเขาหรือสิ่งก่อสร้างแล้วคลื่นจะเดินทางผ่านไปไม่ได้ ดังนั้นอุปสรรคสำคัญของระยะการติดต่อสื่อสารการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ก็คือการกำบังของส่วนโค้งของโลกตามปกติระยะทางการติดต่อสื่อสารในแถบคลื่น VHF ในระดับพื้นที่ราบ เมื่อความสูงของเสาอากาศปกติจะอยู่ในราวประมาณ 80-100 กม. เท่านั้น ถ้าจะให้ได้ไกลกว่านี้อาจทำได้ 2 วิธี คือ

3.1 ยกสายอากาศของเครื่องส่งหรือรับหรือทั้งสองอย่างให้มีความสูงมาก หรือตั้งสถานีบนยอดเขา

3.2 ใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณหรือสถานีทวนสัญญาณ (RELAY OR REPEATER STATION)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




*รูปที่ 1.11 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นโทรโพสเฟียริค*

ตัวอย่างการใช้ความถี่แถบคลื่น VHF ที่ใช้การแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นโทรโพสเฟียริคคือการกระจายเสียงในระบบ FM (FREQUENCY MODULATION) และโทรทัศน์เป็นต้นจะเห็นได้ว่าผู้ที่มีเครื่องรับโทรทัศน์หรือวิทยุ FM ที่อยู่ห่างไกลออกไปจะต้องพยายามยกระดับสายอากาศรับให้สูงขึ้นมาก ๆ และถ้าอยู่ไกลมาก ๆ ก็ไม่สามารถรับได้ทางด้านสถานีส่งก็แก้ปัญหาโดยการติดตั้งเสาให้สูงขึ้น และติดตั้งสถานีถ่ายทอดสัญญาณตามจุดต่าง ๆ เพื่อขยายเขตของผู้รับให้กว้างขวางมากขึ้นดังที่รู้จักและได้ยินคำว่าสถานีโทรทัศน์ ทรานสเลเตอร์ (TV. TRANSLATOR)

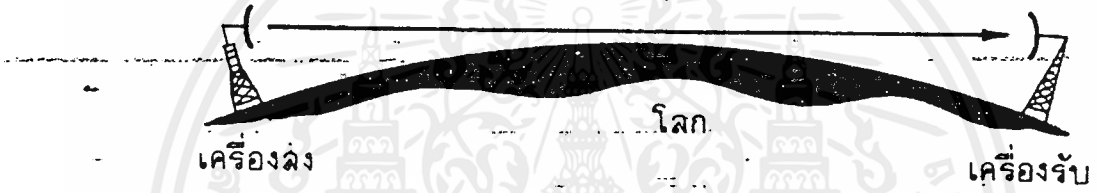
*รูปที่ 1.12 การแพร่กระจายคลื่นประเภทคลื่นโทรโพสเฟียริค โดยใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณหรือสถานีทวนสัญญาณ*

4. คลื่นตรง (DIRECTED WAVE) หรือคลื่นอวกาศ (SPACE WAVE)

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะเกิดขึ้นตั้งแต่ตอนปลายของแถบคลื่น UHF ตลอดย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHFและ EHF ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้จะแพร่กระจายออกไปเป็นแนวเส้นตรงคล้ายกับการแพร่กระจายของแสงหรือตามแนวของเส้นระดับสายตา (LINE OF SIGHT) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับแสงคือถ้ามีวัตถุมาขวางกั้นหรือมาก่าบังแล้ว คลื่นวิทยุจะไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ ตามปกติการแพร่กระจายคลื่นวิทยุประเภทนี้จะสามารถเดินทางไปได้ไกลแสนไกล และสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศทั้งสามชั้นผ่านเข้าไปในอวกาศได้ดังนั้นระบบการสื่อสารกับยานอวกาศหรือการสื่อสารดาวเทียมก็ใช้ลักษณะการกระจายคลื่นประเภทนี้ แต่สำหรับการสื่อสารในระดับบนผิวโลกแล้วระยะทางการสื่อสารจะมีขีดจำกัดขึ้นอยู่กับส่วนโค้งของโลก และสิ่งกีดขวาง ระยะทางการสื่อสารบนพื้นผิวโลกของการแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้ตามปกติจะอยู่ในราว 80 กม. เท่านั้น ซึ่งระยะห่างจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงของสายอากาศ และสิ่งกีดขวางถ้าต้องการจะให้ได้ระยะทางการสื่อสารไกลกว่านี้ก็สามารถทำได้สามวิธี คือ




*รูปที่ 1.13 การแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นตรง (DIRECTED WAVE)*

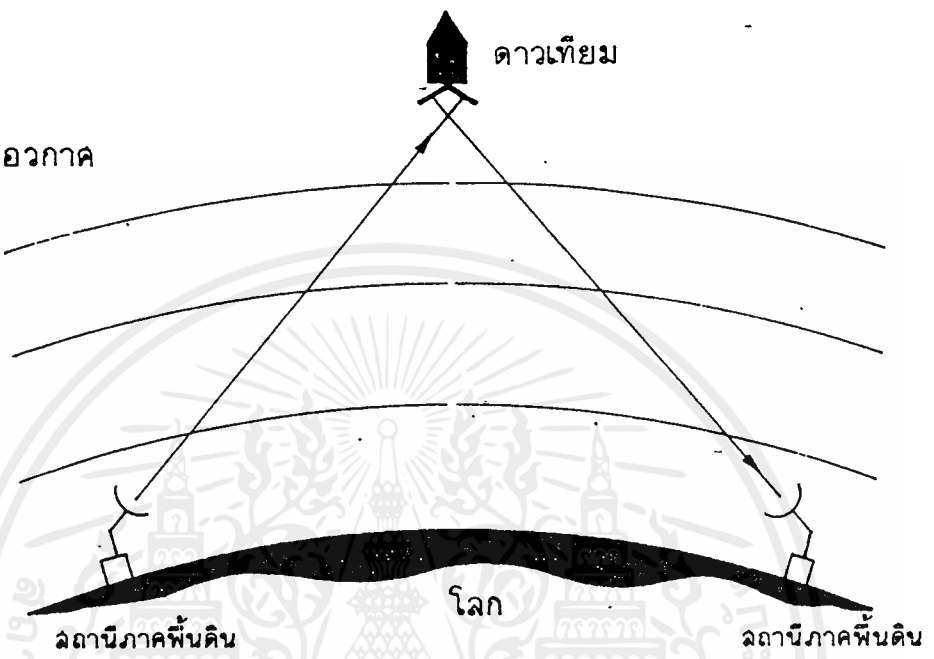
4.1 ยกระดับสายอากาศให้สูงขึ้นมาก ๆ หรือตั้งสถานีบนยอดเขา

4.2 ใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณหรือทวนสัญญาณ (RELAY OR REPEATER STATION) เป็นช่วง ๆช่วงละประมาณ 80 กม. จนกระทั่งถึงปลายทางดังเช่นในระบบโทรคมนาคมภายในประเทศดังรูปที่1.12

4.3 โดยการใช้ระบบดาวเทียม ซึ่งดาวเทียมก็คือสถานีถ่ายทอดสัญญาณกลางอวกาศนั่นเอง ซึ่งจะเพิ่มระยะทางการติดต่อสื่อสารได้ไกลมากโดยใช้เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศในขณะนี้

การสื่อสารด้วยคลื่นตรง หรือสื่อสารระดับสายตา (LINE OF SIGHT) นั้นเรามักเรียกการสื่อสารนี้ว่าสื่อสารไมโครเวฟ (MICROWAVE COMMUNICATION) การสื่อสารแบบนี้นั้นส่วนโค้งจะเป็นปัญหาต่อระยะทางการสื่อสาร พอจะคำนวณระยะทางการสื่อไมโครเวฟได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



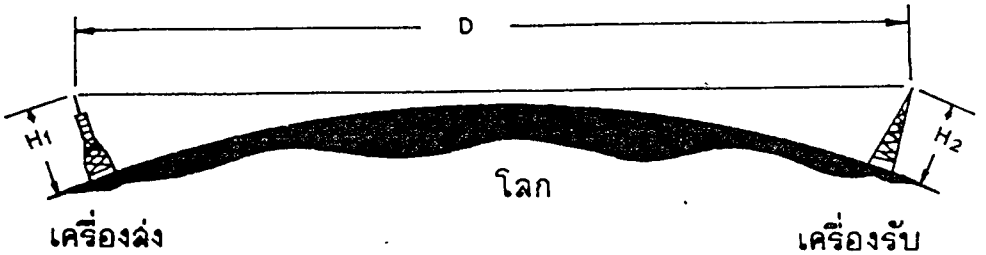

*รูปที่ 1.14 ระบบสื่อสารดาวเทียมใช้การแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นตรง (DIRECTED WAVE)*

$$D = 4.12 \left( \sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right)$$

เมื่อ D = ระยะทางการสื่อสารระดับสายตา หน่วยเป็นกิโลเมตร

$H_1$ = ความสูงของเสาอากาศส่ง หน่วยเป็นเมตร

$H_2$ = ความสูงของเสาอากาศรับ หน่วยเป็นเมตร




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*รูปที่ 1.15 ระยะทางการสื่อสารระดับสายตา*

จากที่ทราบกันแล้วว่าการเดินทางของคลื่นเสียงจะไปได้ไม่ไกล เพราะมีความถี่ต่ำส่วนคลื่นวิทยุสามารถเดินทางไปได้ไกลมากและเดินทางได้รวดเร็ว ดังนั้นเมื่อต้องการให้คลื่นเสียงเดินทางไปได้ไกล จึงต้องมีพาหะ (CARRIER) พาคลื่นเสียงไปก็จะทำให้คลื่นเสียงสามารถเดินทางไปได้ไกลเท่าที่ต้องการ ตามคุณสมบัติของคลื่นวิทยุที่เป็นพาหะ และตามคุณสมบัติของคลื่นวิทยุในแต่ละย่าน การผสมคลื่นที่ใช้ในย่านวิทยุกระจายเสียงมี 3 แบบคือ

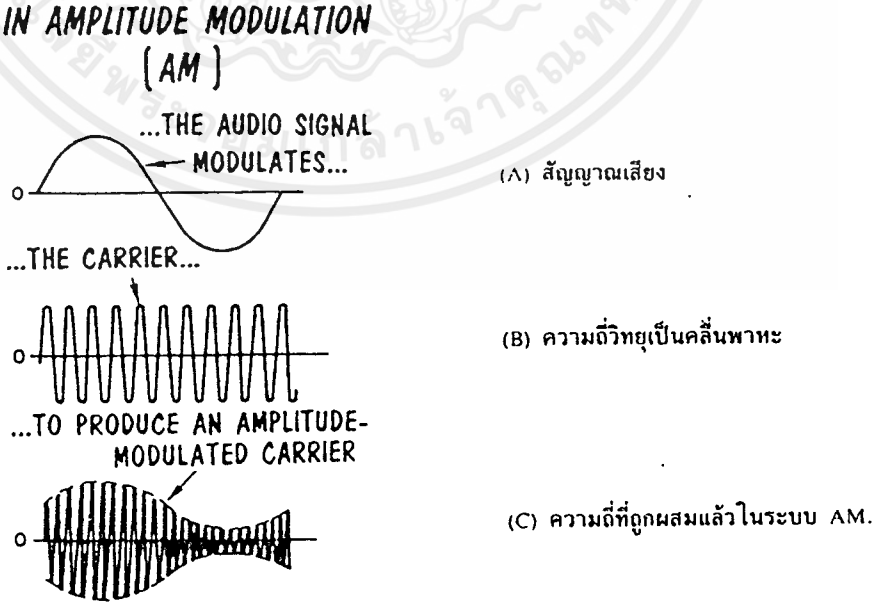
1. การผสมคลื่นทางความสูงหรือ AM (AMPLITUDE MODULATION) ซึ่งยังแบ่งย่อยออกเป็น แบบไซด์แบนด์ด้านเดียว(SINGLE SIDEBAND) และแบบไซด์แบนด์สองด้าน(DOUBLE SIDEBAND)

2. การผสมคลื่นทางความถี่หรือ FM (FREQUENCY MODULATION)

3. การผสมคลื่นทางเฟสหรือ PM (PHASE MODULATION)

## 2.4 การผสมคลื่นทางความสูง (AMPLITUDE MODULATION)

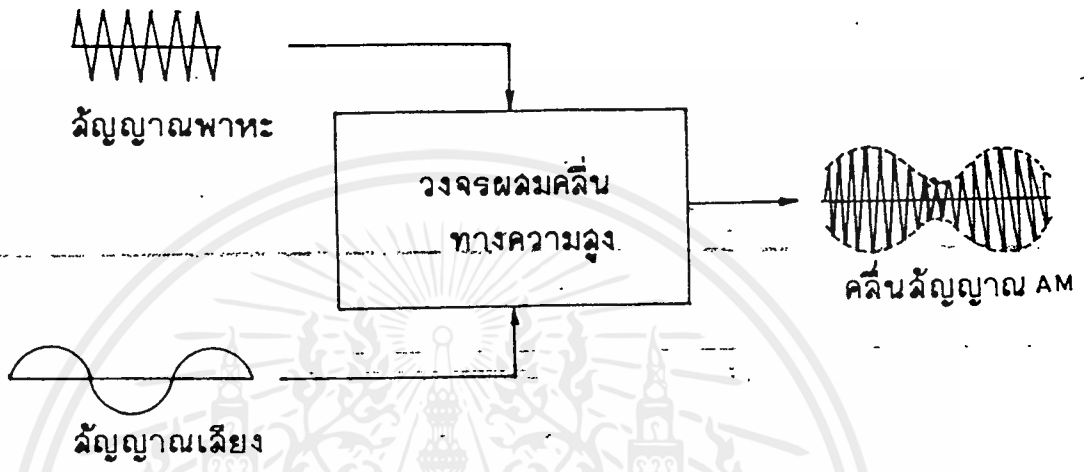
การผสมคลื่นแบบ AM อาจจำกัดความได้เป็นการเปลี่ยนแปลงความแรงของความถี่วิทยุจะส่งออกของเครื่องส่ง ให้เป็นไปตามเปลี่ยนแปลงของเสียง หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นการทำให้กำลังงานความถี่วิทยุเพิ่มขึ้นและลดลงตามความถี่เสียง ถ้าเสียงมีความถี่สูงความถี่วิทยุจะเปลี่ยนแปลงความสูงเร็วเสียงมีความถี่ต่ำความถี่วิทยุจะเปลี่ยนแปลงความสูงช้า ถ้าความถี่เสียงมีความดังมาก ความถี่วิทยุก็จะเพิ่มขึ้นและลดลงมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าเมื่อความถี่เสียงมีความดันน้อย จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าความถี่วิทยุจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่เสียง



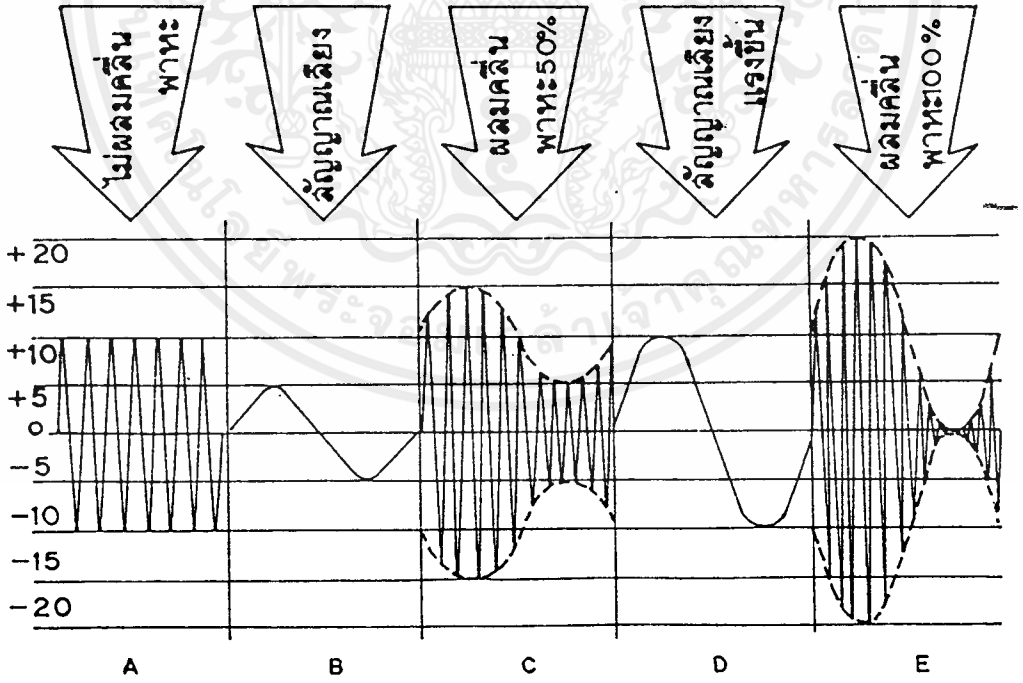

*รูปที่ 2.1 การผสมสัญญาณระหว่างความถี่เสียงกับคลื่นพาหะ*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับความถี่วิทยุในระบบ AM จะต้องมีอุปกรณ์ทำหน้าที่ผสมสัญญาณ อุปกรณ์นั้นคือวงจรผสมคลื่นทางความสูง (AMPLITUDE MODULATOR) อาจจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือไดโอดหรือทรานซิสเตอร์ ร่วมกับอุปกรณ์อื่นผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ ทำให้คลื่นพาหะถูกสัญญาณเสียงควบคุมระดับความแรง เปลี่ยนแปลงความสูงต่ำตามความแรงของสัญญาณเสียง




*รูปที่ 2.2 วงจรที่ทำให้เกิดการผสมคลื่นแบบ AM*

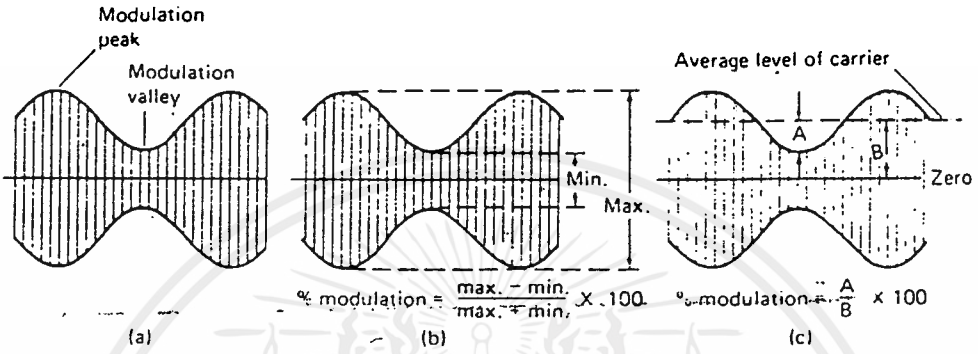



*รูปที่ 2.3 ความแรงของสัญญาณเสียงเมื่อผสมกับคลื่นพาหะ ทำให้ระดับคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงมากน้อย*

จากรูป 2.3 รูป A เป็นความถี่วิทยุทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะรูป Bเป็นสัญญาณเสียงมีความแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำรูป D เป็นสัญญาณเสียงมีความแรงสูง เมื่อนำสัญญาณเสียงไปผสมกับคลื่นพาหะ A จะได้สัญญาณระบบ AM จะออกมาตามรูป C และ E ถ้านำรูป A ผสมกับรูป B จะได้ระบบ AM ตามรูป C เรียกการผสมคลื่นแบบ 50 % ถ้านำรูป A ผสมกับรูป D จะได้ระบบ AM ตามรูป E เรียกการผสมคลื่นแบบ100 % เปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นนี้สามารถหาได้จากสมการดังนี้




*รูปที่ 2.4 (a) แสดงค่าสูงสุด และต่ำสุดของคลื่นผสมแบบ AM.*
*(b) แสดงตำแหน่งของแรงดันสูงสุด (MAX.) และต่ำสุด (MIN.) ของคลื่น A.M. และวิธีหาเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM.*
*(c) แสดงวิธีการหาเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นแบบ AM อีกวิธีหนึ่ง*

$$\text{เปอร์เซ็นต์การผสมคลื่น (\% MOD.)} = \frac{Emax - Emin}{Emax + Emin} \times 100 \text{ ..... \%}$$

จากรูป 2.3 รูป C,E จะหาเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นได้ดังนี้

รูป C Emax = 15 ; Emin = 5

.. % MOD. = $\frac{15-5}{15+5} \times 100 = \frac{10}{20} \times 100$

= $0.5 \times 100 = 50$ %

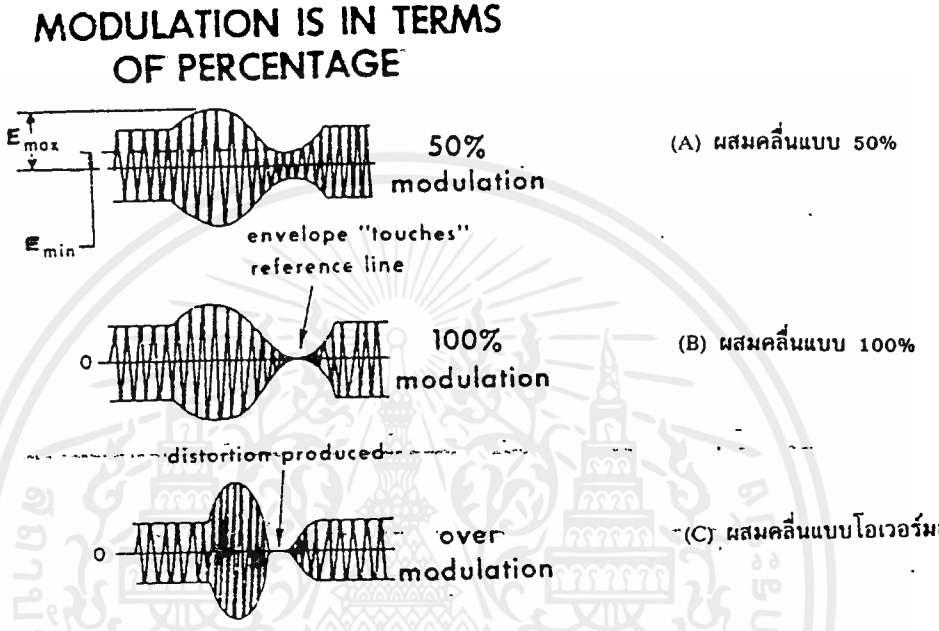
รูป E Emax = 20 ; Emin = 0

.. % MOD. = $\frac{20-0}{20+0} \times 100 = \frac{20}{20} \times 100$

= $1 \times 100 = 100$ %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการผสมคลื่นทางความสูง จะต้องไม่เกิน 100 % เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่ผสมมา เมื่อถึงเครื่องรับจะทำให้สัญญาณเสียงที่ได้ผิดเพี้ยน เรียกการผสมคลื่นนี้ว่าการผสมคลื่นมากเกิน (OVER MODULATION) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าโอเวอร์มอด (OVER MOD.)




*รูปที่ 2.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การผสมคลื่นค่าต่าง ๆ*

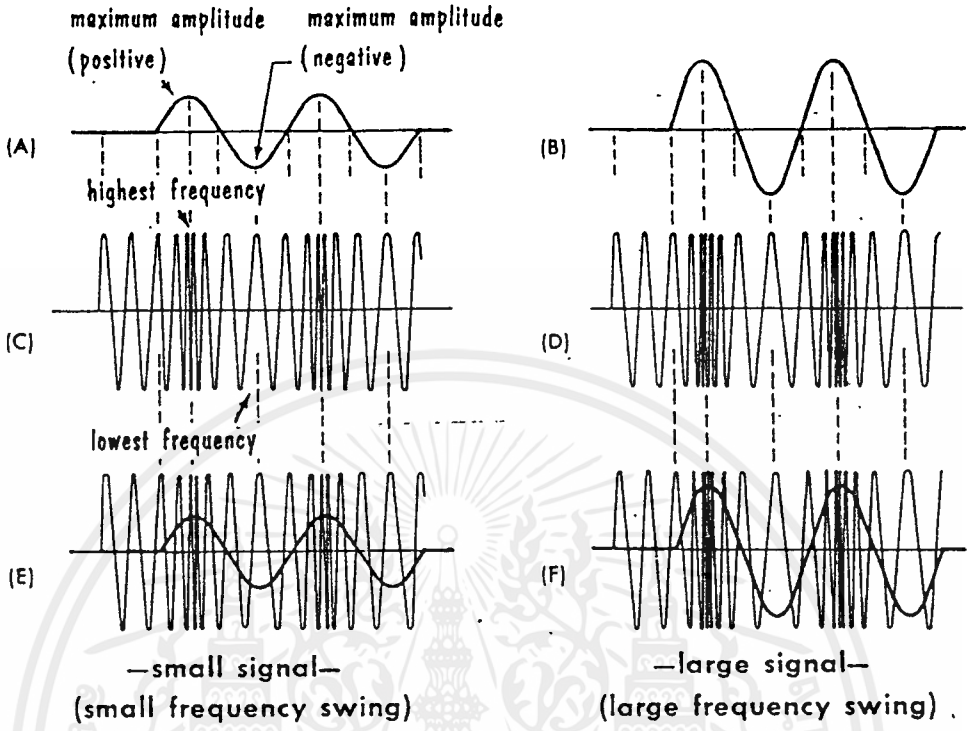
## 2.5 การผสมคลื่นทางความถี่ (FREQUENCY MODULATION)

การผสมคลื่นแบบ FM คือการผสมคลื่นที่สัญญาณเสียงไปควบคุมให้ความถี่วิทยุ (ความถี่พาหะ) เปลี่ยนแปลงความถี่ไปตามสัญญาณเสียงที่ส่งเข้ามาควบคุม ความถี่คลื่นพาหะจะเพิ่มสูงขึ้นจากปกติเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงบวกเข้ามาผสม และความถี่คลื่นพาหะจะลดต่ำลงจากปกติ เมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงลบเข้ามาผสม

จากรูปที่ 2.6 เป็นการแสดงถึงหลักการผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่มากหรือน้อย จะมีผลต่อความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงมากหรือน้อยด้วย รูป A,C,E แสดงถึงสัญญาณเสียงมีความแรงน้อย ความถี่พาหะก็จะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงจากความถี่ปกติน้อย รูป B,D,F แสดงถึงสัญญาณเสียงมีความแรงมาก ความถี่พาหะก็จะเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

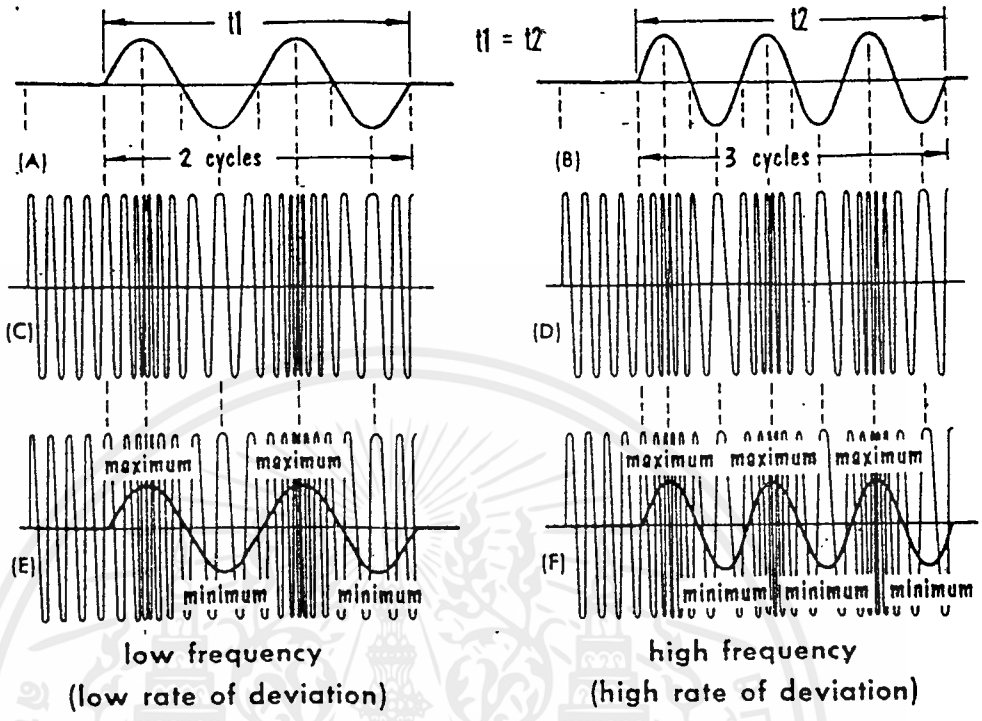
แปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงจากความถี่ปกติมาก




*รูปที่ 2.6 การผสมคลื่นเสียงเข้ากับคลื่นพาหะในระบบ FM ที่มีสัญญาณเสียงมีความแรงต่างกัน*

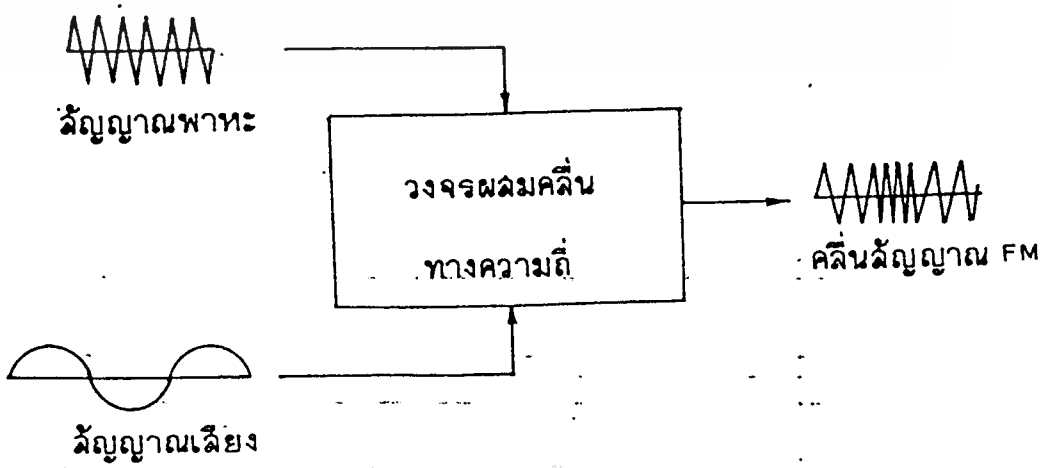
จากรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงหลักการผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะ โดยที่สัญญาณเสียงมีความแรงเท่ากัน แต่มีความถี่ต่างกัน เมื่อผสมกับคลื่นพาหะแบบ FM ความถี่พาหะจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปจากความถี่ปกติกว้างหรือแคบ รูป A,C,E สัญญาณเสียงมีความถี่ต่ำช่วงการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาหะจะกว้าง รูป B,D,F สัญญาณเสียงมีความถี่สูงช่วงการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาหะจะแคบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




*รูปที่ 2.7 การผสมคลื่นเสียงเข้ากับคลื่นพาหะในระบบ FM ที่มีสัญญาณเสียงมีความถี่ต่างกัน*

การผสมสัญญาณระหว่างสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะในระบบ FM ก็จะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมสัญญาณเข้าด้วยกัน ซึ่งก็คือวงจรผสมคลื่นทางความถี่ (FREQUENCY MODULATOR) จะทำให้ความถี่คลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงสูงต่ำตามสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามา

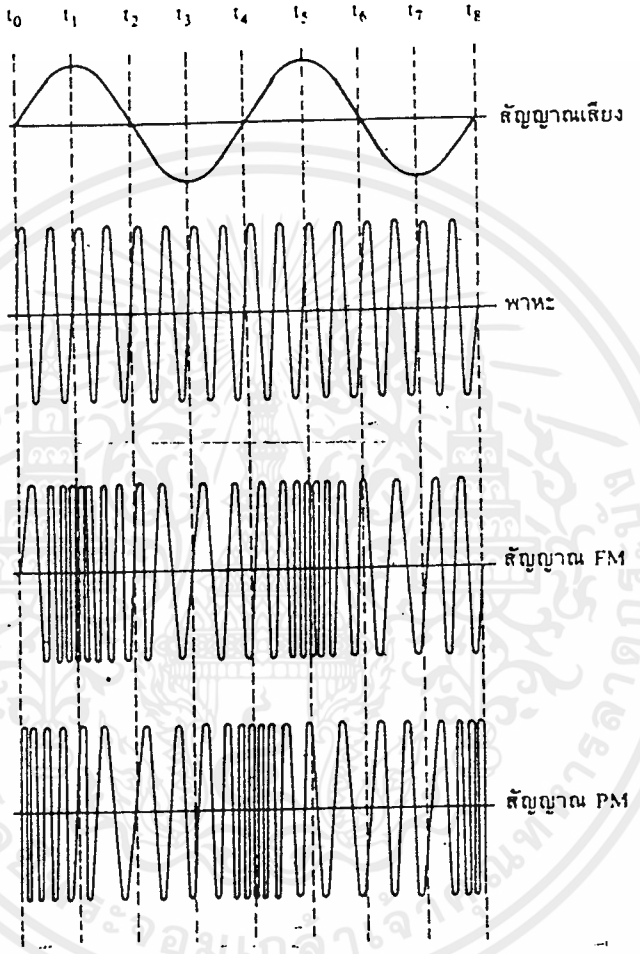



*รูปที่ 2.8 วงจรที่ทำให้เกิดการผสมคลื่นแบบ FM*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การผสมคลื่นทางเฟส (PHASE MODULATION)

ในการผสมคลื่นทางเฟส เฟสของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนไปตามสัญญาณเสียงที่ผสมเข้ามาเมื่อเฟสของคลื่นพาหะเปลี่ยนก็จะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นการผสมคลื่นทางเฟสจะทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเสมอ




*รูปที่ 2.9 ความแตกต่างของคลื่น FM กับคลื่น PM*

รูปที่ 2.9 แสดงการเปรียบสัญญาณ FM กับ PM จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองมีลักษณะเหมือนกันทุกอย่าง คือสัญญาณเสียงจะไปทำให้คลื่นพาหะเปลี่ยนความถี่ไปเช่นเดียวกัน แต่สัญญาณ PM ในการผสมสัญญาณทางเฟส ความถี่คลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนเฟส และความสูงของสัญญาณเสียง ที่จะเข้ามาผสมสัญญาณคลื่นพาหะด้วยเหตุนี้การผสมคลื่นทางเฟส ความถี่คลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

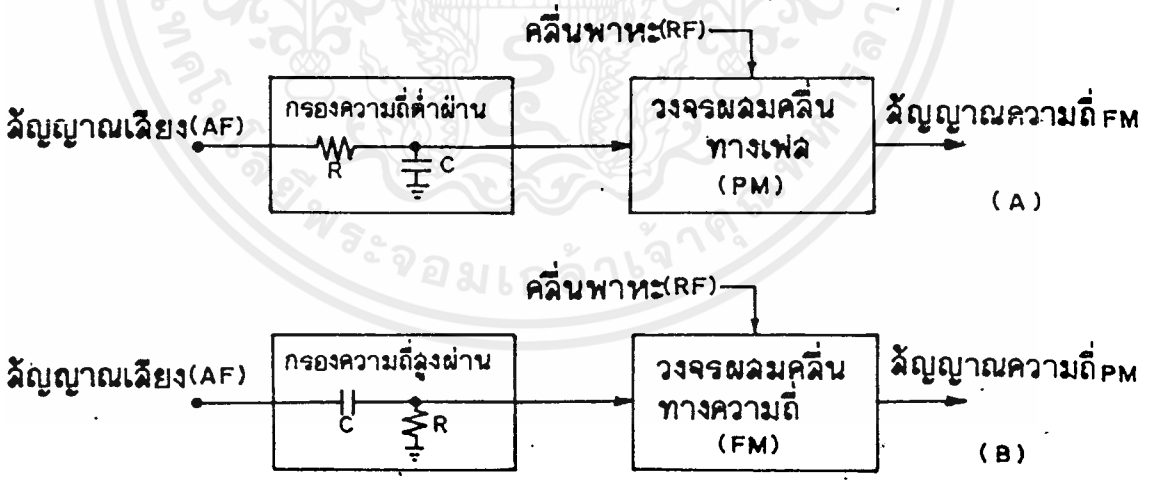
ไปมากที่สุดในขณะที่สัญญาณเสียงเปลี่ยนแปลงความสูงผ่านตำแหน่งศูนย์ คือความถี่พาหะจะเปลี่ยนความถี่สูงขึ้นขณะสัญญาณเสียงเปลี่ยนจากลบเป็นบวก และความถี่พาหะจะเปลี่ยนความถี่ต่ำลง ขณะสัญญาณเสียงเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ

สังเกตช่วงเวลาที่ $t_2$ สัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามาผ่านตำแหน่งศูนย์สัญญาณ PM เบี่ยงเบนไปยังความถี่ต่ำสุด และที่ช่วงเวลา $t_2$ สัญญาณเสียงที่ป้อนเข้ามาผ่านตำแหน่งศูนย์อีกครั้ง สัญญาณ PM เบี่ยงเบนไปยังความถี่สูงสุด ดังนั้นการผสมคลื่นทางเฟสจึงทำให้เกิดสัญญาณ FM ด้วยเช่นกันบางครั้งเรียกการผสมคลื่นทางเฟสว่าเป็น FM โดยอ้อม (INDIRECT FM)

ข้อแตกต่างของสัญญาณ PM กับ FM แยกได้ดังนี้

1. สัญญาณ PM มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่และความแรงของสัญญาณเสียงที่เข้ามาผสม
2. สัญญาณ FM มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแรงของสัญญาณเสียงที่มาผสม

จากที่กล่าวมาจะสรุปได้ว่าสัญญาณ FM กับ PM จะมีรูปคลื่นเหมือนกันทุกประการ เพียงแต่ช่วงเวลาของสัญญาณเสียงที่จะเข้ามาผสมต่างกัน ดังนั้นการแปลงวงจรผสมคลื่นแบบ FM ให้เป็น PM หรือแบบ PM ให้เป็น PM จะทำได้โดยใช้วงจรฟิลเตอร์ RC แบบธรรมดา




*รูปที่ 2.10 การแปลงคลื่นระหว่างคลื่น FM กับคลื่น PM*

*(A) ใช้การผสมคลื่นแบบ PM กำเนิดคลื่น FM*

*(B) ใช้การผสมคลื่นแบบ FM กำเนิดคลื่น PM*

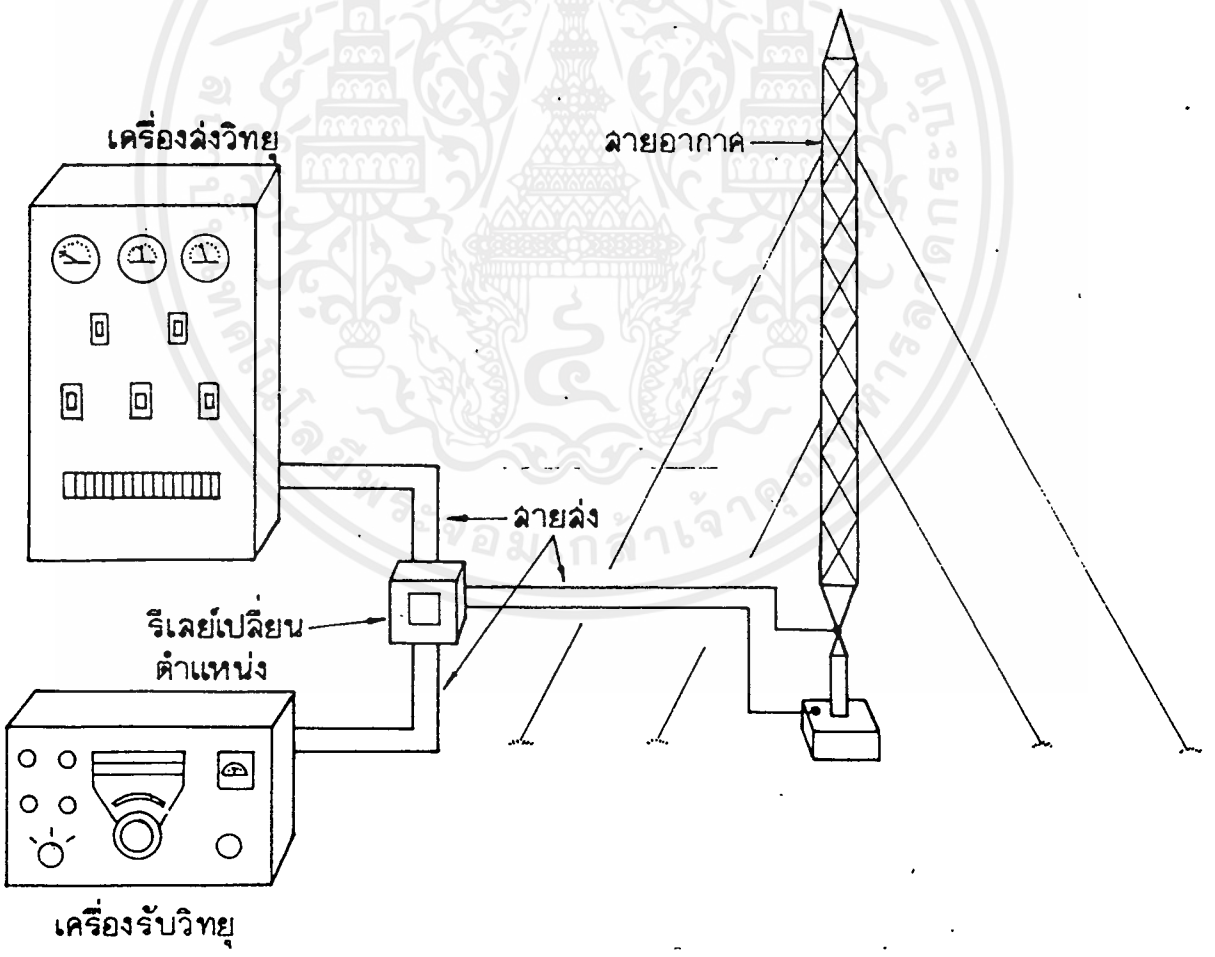
จากรูปที่ 2.10 (A) สัญญาณเสียง (AUDIO FREQUENCY) ที่ป้อนเข้ามาจะถูกส่งผ่านเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LOW PASS/FILTER, LPF) LPF จะทำหน้าที่ลดทอนความแรงของสัญญาณเสียงที่เข้ามาผสมเมื่อความถี่สูงขึ้น สัญญาณเสียงที่ได้เมื่อป้อนให้แก่วงจรผสมคลื่นทางเฟส (PHASE MODULATOR) ทำการผสมคลื่นกับคลื่นพาหะ (RF CARRIER) สัญญาณที่ได้ออกมาจากภาคผสมคลื่นทางเฟสก็จะเป็นสัญญาณ FM

รูปที่ 2.10 (B) ก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน คือป้อนสัญญาณเสียงผ่านเข้าวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (HIGH PASS FILTER, HPF) เพื่อลดทอนสัญญาณเสียงความถี่ต่ำ ทำให้ความถี่คลื่นพาหะเบี่ยงเบนลดลง เมื่อความถี่สัญญาณเสียงที่เข้ามาผสมลดลง ก็จะได้ความถี่ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับสัญญาณ PM.

## 2.7 เครื่องส่งวิทยุ (TRANSMITTER)



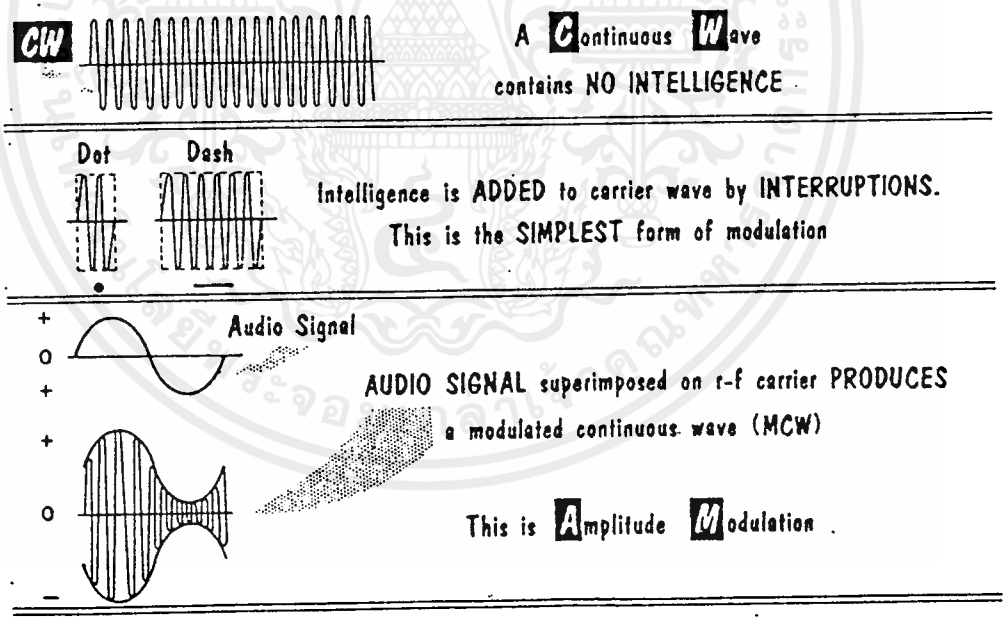

*รูปที่ 2.11 การต่อวงจรของระบบเครื่องรับส่งวิทยุ*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งวิทยุคืออุปกรณ์ที่กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุ (คลื่นพาหะ) ขึ้นมาและส่งต่อสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่หนึ่งไปให้กับสายอากาศ พร้อมกับนำข่าวสารซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแพร่กระจายออกอากาศไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระบบของการส่งข่าวสารนั้นอาจจะเป็นแบบหนึ่งแบบใดใน 2 แบบนี้ คือ

1.แบบคลื่นต่อเนื่อง(CONTINUOUS WAVE,CW) คือการส่งสัญญาณของคลื่นวิทยุเป็นแบบระยะเวลาสั้น หรือระยะเวลายาว ซึ่งกำหนดเป็นจุด (DOT) และขีด(DASH) จะทำงานในระบบวิทยุโทรเลข (RADIO TELEGRAPH) ซึ่งตามปกติค่าระดับความแรงของการส่งสัญญาณนี้จะเท่ากันตลอดทุก ๆ ไซเกิล

2.แบบคลื่นผสม (MODULATED WAVE) การส่งสัญญาณแบบคลื่นผสมนี้ตามปกติใช้ในระบบวิทยุโทรศัพท์ (RADIO TELEPHONE) ในการส่งลักษณะนี้จะมีข่าวสารผสมอยู่ด้วยจะเป็นการผสมกันทางด้านความสูง (AMPLITUDE MODULATION, AM) หรือผสมกันทางด้านความถี่(FREQUENCY MODULATION, FM) หรือผสมกันทางด้านเฟส (PHASE MODULATION, PM) ซึ่งสัญญาณคลื่นวิทยุจะแปรผันไปตามความแรงของสัญญาณเสียง



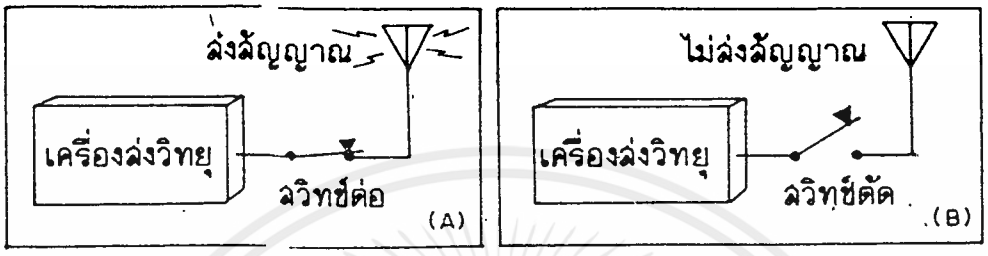

*รูปที่ 2.12 คลื่นความถี่ที่ส่งในระบบ CW และ AM*

## 2.8 เครื่องส่งวิทยุแบบคลื่นต่อเนื่อง (CW.TRANSMITTER)

-เครื่องส่งแบบ CW คือเครื่องส่งที่ทำงานในระบบวิทยุโทรเลข คือส่งแบบคลื่นต่อเนื่องเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบรหัสมอส(MORSE CODE) คือส่งเป็นจุด (DOT) และขีด (DASH) โดยใช้สวิตช์ (KEY) ตัดต่อการส่งความถี่ออกเป็นช่อง ๆ ตามรหัสมอส หรือบางระบบอาจจะมีสัญญาณเสียงค่าคงที่ผสมกับคลื่นพาหะ และควบคุมการผสมคลื่นเป็นช่อง ๆ ตามรหัสมอสก็ได้ตามรูปที่ 2.15




*รูปที่ 2.13 ลักษณะการส่งสัญญาณ CW*

(A) ขณะสวิทช์ต่อมีสัญญาณพาหะถูกส่งออก

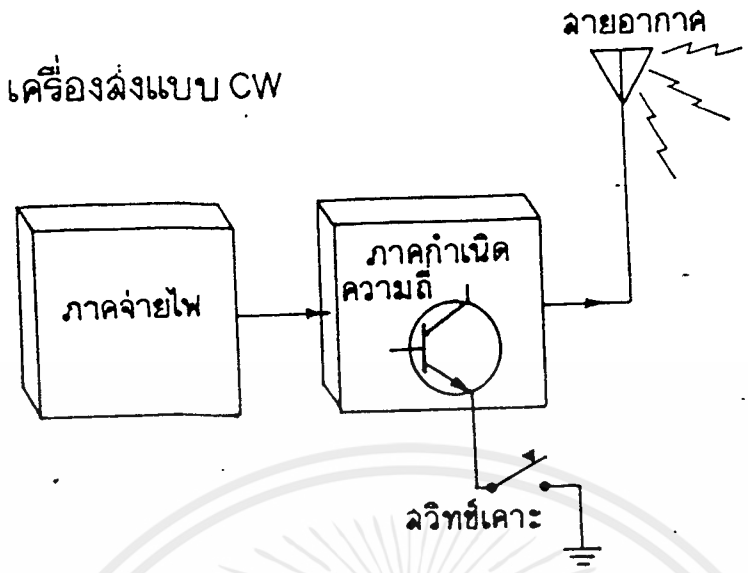
(B) ขณะสวิทช์ตัดไม่มีสัญญาณพาหะส่งออก

ตามปกติเครื่องส่งแบบ CW. และแบบ AM. มักจะรวมอยู่เป็นเครื่องเดียวกันโดยมีสวิทช์เลือกใช้ระหว่าง CW. หรือ AM. คือเมื่อใช้เครื่องส่งแบบ CW. ก็ไม่ใช้ภาคผสมสัญญาณ (MODULATOR) และถ้าใช้เครื่องส่งแบบ AM. ก็ใช้ภาคผสมสัญญาณ

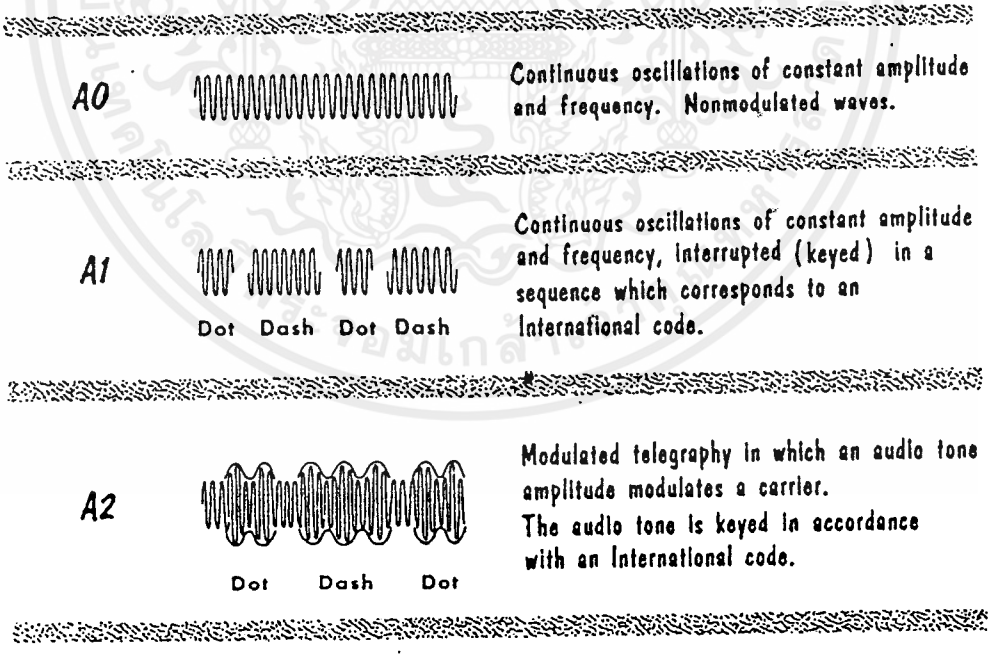
เครื่องส่งแบบ CW. เบื้องต้นจะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ภาคจ่ายไฟ (POWER SUPPLY) ภาคกำเนิดความถี่ (OSCILLATOR) สวิทช์เคาะรหัส (KEY) และสายอากาศ (ANTENNA)

จากรูปที่ 2.14 ภาคจ่ายไฟ (POWER SUPLLY)จะจ่ายไฟ DC เลี้ยงระบบทำให้ภาคกำเนิดความถี่ (OSCILLATOR) กำเนิดความถี่พาหะขึ้นมาคงที่ความถี่หนึ่งตลอดเวลา แต่การกำเนิดความถี่ดังกล่าวจะกระทำได้ จะต้องให้สวิตช์เคาะรหัสอยู่ในตำแหน่งต่อวงจร ถ้าสวิตช์เคาะรหัสอยู่ในตำแหน่งตัดวงจร วงจรกำเนิดความถี่จะไม่สามารถกำเนิดความถี่ขึ้นมาได้ ความถี่จึงถูกส่งออกตามจังหวะการเคาะรหัส ของสวิตช์เคาะรหัส ส่งผ่านไปสายอากาศเพื่อแหร่กระจายคลื่นไปในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



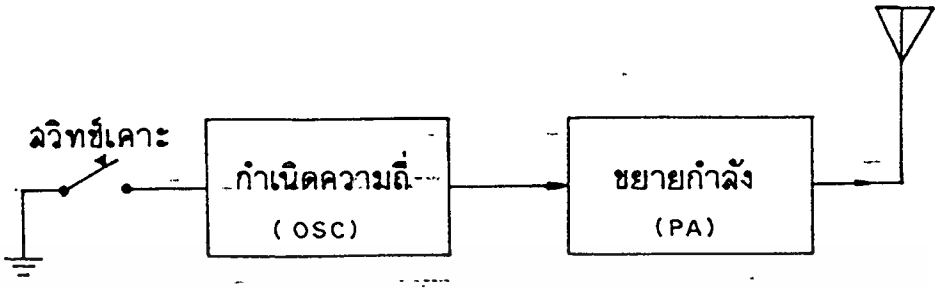

*รูปที่ 2.14 เครื่องส่งแบบ CW. เบื้องต้น*




*รูปที่ 2.15 สัญญาณของเครื่องส่งในระบบ CW*

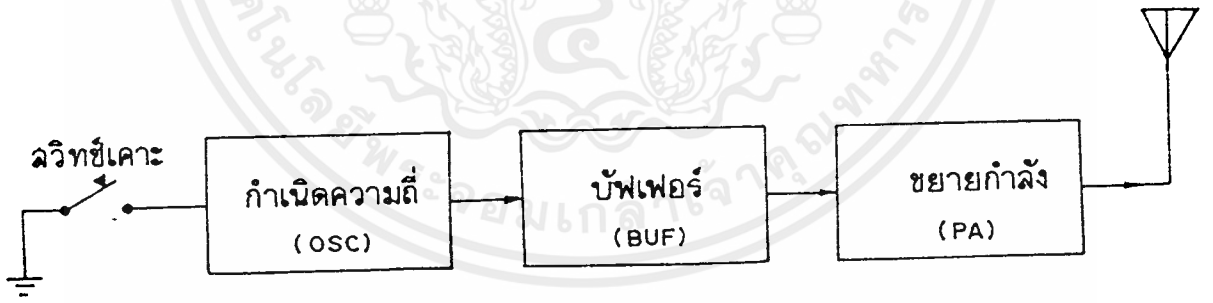
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 การส่งคลื่นพาหะออกอากาศ จะส่งได้ไม่แรงเพราะไม่มีภาคขยายกำลัง (POWER AMPLIFIER) จึงต้องเพิ่มภาคขยายกำลังเข้าไป เพื่อทำให้กำลังส่งของเครื่องส่งแรงขึ้น




*รูปที่ 2.16 เครื่องส่งแบบ CW. ที่เพิ่มภาคขยายกำลังเข้าไป*

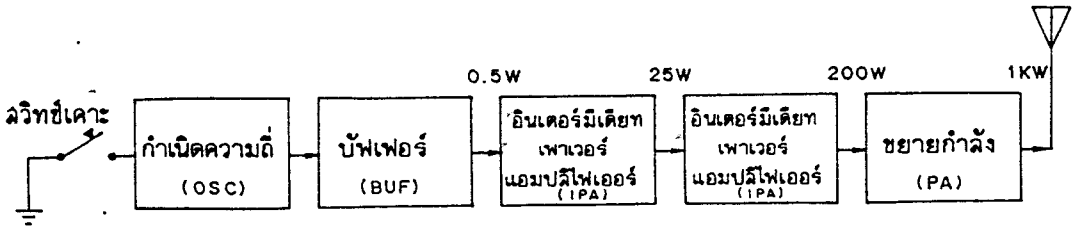
จากรูปที่ 2.16 ถึงแม้เพิ่มภาคขยายกำลังเข้าไป แต่ยังมีข้อเสีย เพราะภาคขยายกำลังดึงกำลังโดยตรงจากภาคกำเนิดความถี่ ทำให้ภาคกำเนิดความถี่เกิดการเลื่อนไปเมื่อภาคขยายกำลังได้รับสัญญาณจากการเคาะรหัส จึงต้องเพิ่มภาคบัฟเฟอร์ (BUFFER) เข้ามา เพื่อป้องกันการเลื่อนเฟสหรือการรบกวนกันระหว่างภาคกำเนิดความถี่ กับภาคขยายกำลัง




*รูปที่ 2.17 เครื่องส่งแบบ CW ที่เพิ่มภาคบัฟเฟอร์เข้าไป*

จากรูปที่ 2.17 เครื่องส่งยังอาจมีกำลังส่งน้อยอยู่ เราสามารถเพิ่มกำลังส่งได้โดยเพิ่มภาคขยายกำลังเข้าไปหลาย ๆ ภาค เรียกว่าอินเตอร์มีเดียท เพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์ (INTERMEDIATE-POWER AMPLIFIER) ช่วยทำให้กำลังส่งของเครื่องส่งสูงขึ้น

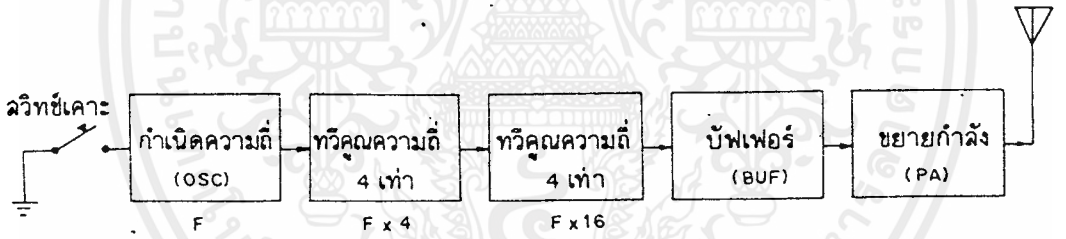
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




*รูปที่ 2.18 เครื่องส่งแบบ CW เพิ่มภาคอินเตอร์มีเดียท เพาเวอร์ แอมปลิไฟเออร์เข้าไป*

จากรูปที่ 2.18 เมื่อเพิ่มภาคอินเตอร์มีเดียทเพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์เข้าไปแล้วจะสามารถเพิ่มกำลังส่งของเครื่องส่งให้สูงขึ้นได้ตามต้องการ จะขึ้นอยู่กับจำนวนภาคอินเตอร์มีเดียท เพาเวอร์แอมปลิไฟเออร์ที่จะเพิ่มเข้าไป

หากต้องการเพิ่มความถี่คลื่นพาหะให้สูงขึ้นจะต้องใช้วงจรทวีคูณความถี่ (FREQUENCY MULTIPLIER) เข้าไปตามจำนวนภาคที่ต้องการให้ความถี่เพิ่มขึ้น




*รูปที่ 2.19 เครื่องส่งแบบ CW ที่เพิ่มภาคทวีคูณความถี่เข้าไป*

จากรูปที่ 2.19 ถ้าความถี่ที่กำเนิดจากภาคกำเนิดความถี่มีค่าต่ำ สามารถทวีความถี่ให้สูงขึ้นได้โดยใช้วงจรทวีคูณความถี่ ซึ่งอาจมีแบบทวีคูณความถี่ 2 เท่า ( 2) หรือทวีคูณความถีแบบ 4 เท่า ( 4) ความถี่ก็จะถูกทวีคูณเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อผ่านภาคทวีคูณความถี่ แต่ละภาค

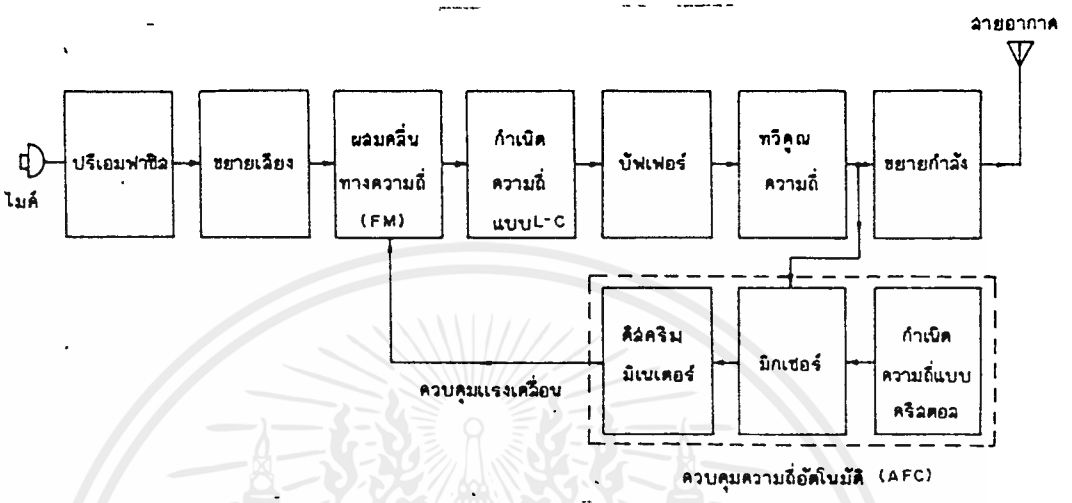
## 2.9 เครื่องส่งวิทยุ (FREQUENCY MODULATION TRANSMITTER)

เครื่องส่งวิทยุ FM แบ่งออกเป็น 2 แบบคือแบบ FM โดยตรง (DIRECT FM), และแบบ FM โดยอ้อม (INDIRECT FM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.เครื่องส่งแบบ FM โดยตรง(DIRECT FM)

หลักสำคัญอยู่ที่ว่าจะต้องใช้ส่วนประกอบที่เป็นรีแอกแตนซ์ (REACTANCE) ไปควบคุมความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ (OSC.) เพื่อให้ความถี่นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณของความถี่เสียงโดยตรง ดังนั้นวงจรกำหนดความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ จึงต้องเป็นแบบ LC




*รูปที่ 2.29 ภาคต่าง ๆ ของเครื่องส่ง FM แบบ FM โดยตรง*

การทำงานของแต่ละภาคของเครื่องส่ง FM แบบ FM โดยตรง ทำงานดังนี้

ภาคปรีเอมฟาซีส (PRE-EMPHASIS NETWORK) เมื่อสัญญาณเสียงผ่านไมโครโฟนมาแล้วจะถูกส่งเข้าภาคปรีเอมฟาซีสนี้ เพื่อทำการยกระดับความแรงของสัญญาณเสียงความถี่สูง

ภาคควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ (AUTOMATIC FREQUENCY CONTROL) เรียกสั้น ๆ ว่า AFCซึ่ง AFC จะทำหน้าที่ควบคุมศูนย์กลางความถี่ (CENTER FREQUENCY) ของวงจรกำเนิดความถี่ไว้ให้ตรง โดยจัดไฟ DC ไปคอยควบคุมภาคผสมคลื่น FM ให้มีค่าความจุของวงจรเปลี่ยนไป ค่าความจุของวงจรที่เปลี่ยนนี้จะไปทำให้ภาคกำเนิดความถี่แบบ LC เปลี่ยนแปลงปรับศูนย์กลางความถี่เดิม แรงไฟDC นั้นได้มาจากภาคดีสคริมมิเนเตอร์ (DISCRIMINATOR) ในส่วนของภาค AFC ยังแบ่งรายละเอียดได้อีก 3 ภาค คือ

ภาคกำเนิดความถี่คริสตอล (CRYSTAL OSCILLATOR) จะกำเนิดความถี่วิทยุขึ้นมามีความถี่เท่ากับความถี่พาหะของสถานี FM นั้นเช่นสถานี FM ส่งด้วยความถี่ 90 MHz ภาคกำเนิดความถี่คริสตอลก็จะกำเนิดความถี่ออกมา 90 MHz เช่นกัน ส่งต่อไปเข้าภาคมิกเซอร์

ภาคมิกเซอร์ (MIXER) จะรับสัญญาณเข้ามา 2 สัญญาณ คือ สัญญาณวิทยุ FM ที่ได้จากภาค

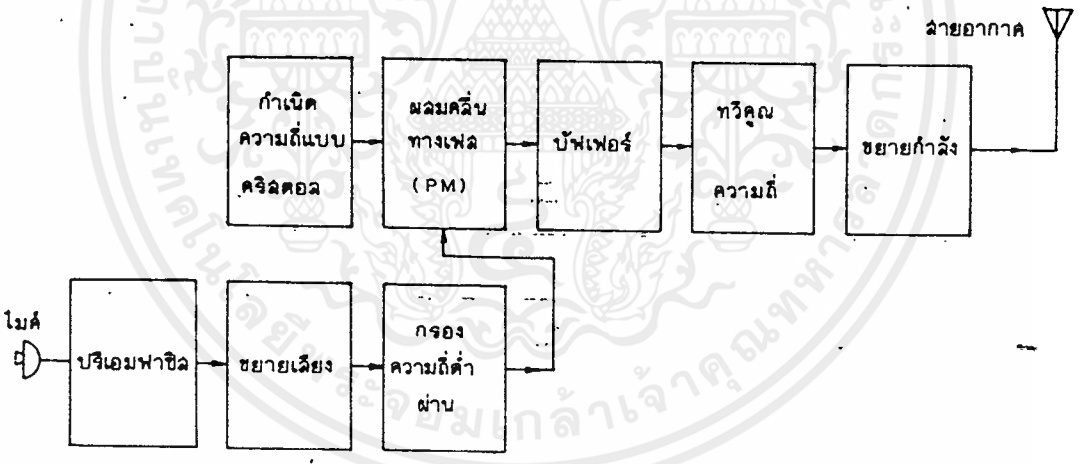
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทวีคูณความถี่ และสัญญาณความถี่วิทยุจากภาคกำเนิดความถี่คริสตอล นำสัญญาณทั้งสองมาหักล้างกัน ถ้าความถี่ทั้งสองมีค่าเท่ากันเมื่อหักล้างกันความถี่จะหมดไป ไม่มีความถี่ส่งออก ถ้าศูนย์กลางความถี่จากภาคกำเนิดความถี่แบบ LC เพิ่มขึ้นความถี่ที่ส่งออกภาคทวีคูณความถี่ก็จะเพิ่มขึ้นตาม เมื่อหักล้างกับความถี่จากภาคกำเนิดความถี่คริสตอล จะได้ความถี่ช่วงบวกออกมา และในทางตรงกันข้ามถ้าศูนย์กลางความถี่จากภาคกำเนิดความถี่แบบ LC ลดลงความถี่ที่ส่งออกจากภาคทวีคูณความถี่ก็จะลดลงตาม เมื่อหักล้างกับความถี่จากภาคกำเนิดความถี่คริสตอลจะได้ความถี่ช่วงลบออกมา ส่งความถี่ที่ได้นี้ไปภาคดีสคริมมิเนเตอร์

ภาคดีสคริมมิเนเตอร์ (DISCRIMINATOR) ทำหน้าที่รับความถี่ผลต่างจากภาคมิกเซอร์มาแปลงเป็นไฟ DC ถ้าได้ความถี่ช่วงบวกมา เมื่อแปลงเป็นไฟ DC ก็จะได้ไฟ DC เป็นบวก ถ้าได้ความถี่ช่วงลบมาเมื่อแปลงเป็นไฟ DC ก็จะได้ DC เป็นลบมาส่งแรงไฟ DC ที่ได้ไปควบคุมศูนย์กลางความถี่ของภาคกำเนิดความถี่แบบ LC ให้กำเนิดมีศูนย์กลางความถี่คงที่

2. เครื่องส่งแบบ FM โดยอ้อม (INDIRECT FM)

หลักสำคัญคือ




*รูปที่ 2.30 ภาคต่าง ๆ ของเครื่องส่ง FM และ FM โดยอ้อม*

ระบบการผสมคลื่นจะต้องเป็นแบบ PM. และทำให้เป็น FM. โดยอาศัยวงจรเปลี่ยนสัญญาณเสียงความมุ่งหมายหลักของเครื่องส่งแบบนี้คือ ต้องการดัดแปลงให้ระบบ FM สามารถใช้คริสตอลควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ได้

การทำงาน ของเครื่องส่ง FM แบบ FM โดยอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคปรีเอมฟาซีส (PRE-EMPHASIS NETWORK)ทำหน้าที่ยกระดับความแรงของสัญญาณเสียงความถี่สูงให้แรงขึ้นมากกว่าปกติ เพื่อทำให้สัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน (S/N RATIO) เท่ากันตลอดย่านความถี่เสียง ส่งต่อไปภาคขยายเสียง

ภาคขยายสัญญาณสัญญาณเสียง (AF AMPLIFIER) จะขยายสัญญาณเสียงที่มาจากภาคปรีเอมฟาซีส ให้มีระดับความแรงมากขึ้น จะต้องขยายแบบไม่ผิดเพี้ยนและส่งต่อไปเข้าภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน

ภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน (LOW PASS FILTER, LPF) ทำหน้าที่เปลี่ยนเฟสของสัญญาณเสียงให้เลื่อน (SHIFT) ไป 90 องศา ก่อนที่จะส่งไปเข้าภาคผสมคลื่นทางเฟสจึงจะทำให้เอาท์พุทของภาคผสมคลื่นทางเฟส เป็นสัญญาณความถี่ FM โดยสมบูรณ์

ภาคกำเนิดความถี่คริสตอล (CRYSTAL OSCILLATOR) ทำหน้าที่กำเนิดความถี่คลื่นพาหะขึ้นมามีความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ส่งต่อไปภาคผสมคลื่นทางเฟส

ภาคผสมคลื่นทางเฟส (PHASE MODULATOR) ทำหน้าที่ผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงที่ผ่านภาคกรองความถี่ต่ำผ่านมา และสัญญาณความถี่คลื่นพาหะที่มาจากภาคกำเนิดความถี่คริสตอลได้สัญญาณออกเอาท์พุทเป็นแบบ PM แต่เนื่องจากสัญญาณเสียงจากภาคขยายเสียงถูกเลื่อนเฟสไปอีก 90 องศา โดยภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน เมื่อถูกภาคผสมคลื่นทางเฟสผสมสัญญาณ สัญญาณความถี่ที่ได้ออกมาจึงกลับมาเป็นความถี่แบบ FM อีกครั้งหนึ่ง ดูรูปที่ 2.9 ประกอบ ส่งสัญญาณ FM ที่ได้ต่อไปเข้าภาคบัฟเฟอร์

ภาคบัฟเฟอร์ (BUFFER) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ FM ที่ส่งมาจากภาคผสมคลื่นทางเฟสให้มีระดับความแรงมากขึ้น และยังทำหน้าที่ป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างภาคผสมคลื่นทางเฟสกับทวีคูณความถี่ ส่งต่อสัญญาณไปภาคทวีคูณความถี่

ภาคทวีคูณความถี่ (FREQUENCY MULTIPLIER) ทำหน้าที่เพิ่มความถี่ของสัญญาณ FM ให้มีความถี่สูงขึ้นถึงย่านของสถานี FM เพราะวงจรกำเนิดความถี่คริสตอล จะไม่สามารถกำเนิดความถี่ขึ้นมาได้ถึงค่าความถี่ที่ต้องการ จึงต้องเอาความถี่ FM ดังกล่าวมาทวีความถี่ให้สูงมากขึ้นจนได้ความถี่ตามต้องการแล้ว จะส่งสัญญาณ FM ต่อไปภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ

ภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ (RF POWER AMPLIFIER) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ FM ที่มีกำลังต่ำ ให้เป็นความถี่ FM ที่มีกำลังสูง พอที่จะส่งต่อไปให้สายอากาศ (ANTENNA) แพร่กระจายสัญญาณความถี่ FM ออกไปในอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ELECTROMAGNETIC WAVE)

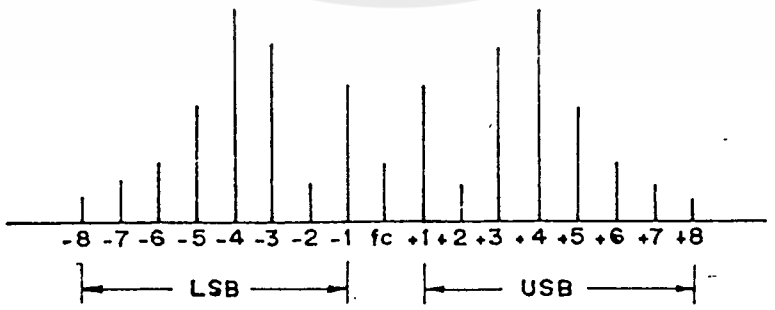
## 2.10 ไซด์แบนด์วิทยุ FM (FM SIDE BANDS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างของไซด์แบนด์ระหว่างระบบ AM กับ FM แตกต่างเห็นได้ชัดเจนดังนี้ ในระบบ AM ถ้าผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะจะเกิดไซด์แบนด์จำนวน 2 ความถี่ คือ ไซด์แบนด์ด้านสูง (USB) และไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) เท่านั้นที่มีผลในการส่งออกอากาศ แต่ในระบบ FM ถ้าคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะ จะเกิดไซด์แบนด์จำนวนมากมาย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความถี่คลื่นพาหะทำให้ความถี่เพิ่มขึ้นอีกมากมายเพราะการผสมคลื่นแบบ FM นั้นความแรงของสัญญาณคลื่นพาหะจะคงที่ นั่นคือกำลังของคลื่นพาหะจะถูกกระจายไปอยู่ที่ไซด์แบนด์ ความสัมพันธ์ของคลื่นพาหะกับไซด์แบนด์ในระบบ FM ขึ้นอยู่กับดัชนีการผสมคลื่น ดัชนีการผสมคลื่นจะเป็นตัวกำหนดจำนวนของไซด์แบนด์ที่สำคัญขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ

1. ขนาดความแรงของสัญญาณเสียงที่ผสมกับคลื่นพาหะ ถ้าขนาดความแรงของสัญญาณเสียงที่ส่งเข้ามาผสมกับคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงความแรงสูงขึ้นหรือต่ำลง ก็จะไปทำให้คลื่นพาหะมีระดับ ความถี่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงไปจากศูนย์กลางความถี่(CENTER FREQUENCY) ระยะของความถี่ที่กระจายออกไปจากคลื่นพาหะก็จะเปลี่ยนแปลงกว้างหรือแคบตามไปด้วย ถ้าสัญญาณเสียงมีความแรงมากแบนด์วิดท์ของคลื่น FM ก็จะกว้าง และถ้าสัญญาณเสียงมีความแรงน้อยแบนด์วิดท์ของคลื่น FM ก็จะแคบตามรูปที่ 2.6 รูป E มีแบนด์วิดท์แคบกว่ารูป F

2. ความถี่ของสัญญาณเสียงที่ผสมกับคลื่นพาหะ ถ้าความถี่ของสัญญาณเสียงเปลี่ยนแปลงมากแบนด์วิดท์ของคลื่น FM ก็จะกว้างแคบเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าสัญญาณเสียงมีความถี่ต่ำแบนด์วิดท์ของคลื่น FM จะกว้างและถ้าสัญญาณเสียงมีความถี่สูง แบนด์วิดท์ของคลื่น FM จะแคบ เพราะที่สัญญาณความถี่สูง ระดับความแรงของความถี่ฮาร์โมนิคจะต่ำลง สามารถตัดความถี่ฮาร์โมนิคสูง ๆ ออกได้ ตามรูปที่ 2.7 รูป E มีแบนด์วิดท์กว้างกว่ารูป F




*รูปที่ 2.31 สเปคตรัมความถี่ของวิทยุ FM ประกอบด้วยความถี่พาหะและไซด์แบนด์*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.31 แสดงย่านความถี่ของการส่งกระจายเสียงของคลื่น FM จะเห็นได้ว่าไซด์แบนด์ของคลื่นจะมีจำนวนมาก ขนาดไซด์แบนด์ในแต่ละฮาร์โมนิคก็มีความแรงต่างกันไซด์แบนด์บางฮาร์โมนิคมีระดับความแรงมากกว่าความถี่คลื่นพาหะ แต่ไซด์แบนด์ที่ห่างจากจุดศูนย์กลางความถี่มาก ๆ ความแรงของไซด์แบนด์ก็จะลดลง และจะเป็นศูนย์ในที่สุด จะเห็นได้ว่าไซด์แบนด์จะมีไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไซด์แบนด์บางความถี่ก็ไม่สำคัญเพราะความแรงต่ำ สามารถตัดทิ้งได้

ดัชนีการผสมคลื่น (MODULATION INDEX) จะเป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของความถี่วิทยุ FM ว่าจะมีความกว้างของไซด์แบนด์เท่าไร สามารถหาดัชนีการผสมคลื่นได้จากสูตร

$$m = \Delta F / f$$

m = ดัชนีการผสมคลื่น

ΔF = อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของความถี่ที่ถูกผสมแล้ว หน่วย Hz.

f = ความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่จะเข้ามาผสมคลื่น หน่วย Hz.

ในการส่งวิทยุกระจายเสียง FM ตามกฎของ FCC กำหนดให้ความถี่คลื่นพาหะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไปได้สูงสุด = 75 KHz. และความถี่ของสัญญาณเสียงที่จะเข้ามาผสมคลื่นมีค่าสูงสุดได้ = 15 KHz.

ดัชนีของการผสมคลื่นจะได้

$$m = \Delta F / fm$$

Δ F = 75KHz, f = 15KHz.

$$m = 75K / 15K = 5$$

เมื่อได้ดัชนีการผสมคลื่น (m) แล้วเราสามารถหาค่าแบนด์วิดท์โดยประมาณได้จากสมการ

$$BW = 2 (m+1)f$$

BW = แบนด์วิดท์โดยประมาณ หน่วย Hz.

m = ดัชนีการผสมคลื่น

f = ความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่จะเข้ามาผสมคลื่น หน่วย Hz.

ฉะนั้นจากค่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของ FCC จะได้แบนด์วิดท์โดยประมาณ ดังนี้

$$BW = 2(5+1)\ 15\ KHz.$$

$$= 180\ KHz.$$

มาตรฐานของFCC กำหนดไซด์แบนด์ของวิทยุกระจายเสียงย่านFMไว้ + 75 KHz.รวม 150KHz. มีแบนด์วิดท์สถานีละ 200 KHz.ฉะนั้นจะเป็นช่องว่างของความถี่ที่ไม่มีสัญญาณส่งอีก 50 KHz.

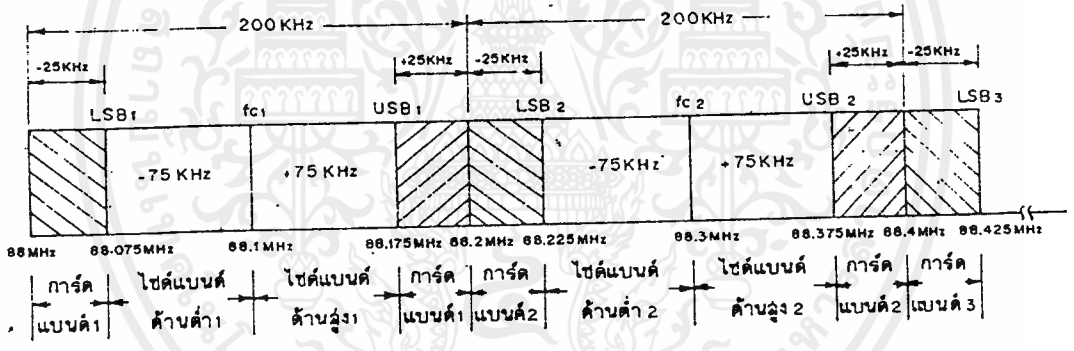
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(200 KHz.-150 KHz. = 50 KHz.) ซึ่งจะเรียกส่วนความถี่ที่ไม่มีการส่งสัญญาณออกว่าการ์ดแบนด์ (GUARD BAND) จะมีค่า + 25 KHz. เพื่อป้องกันการรบกวนและแทรกกันระหว่างสถานีรวมแบนด์วิดท์ 1 สถานีของวิทยุกระจายเสียง FM มีความถี่ 200 KHz. เป็นไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) 75 KHz. ไซด์แบนด์ด้านสูง (USB) 75 KHz. และเป็นการ์ดแบนด์ด้านต่ำและด้านสูงด้านละ 25 KHz. ความถี่ที่ใช้ในการส่งกระจายเสียงวิทยุ FM อยู่ในช่วง 88 MHz.-108 MHz. ซึ่งมีช่วงความถี่ที่ใช้ = 20 MHz. (108 MHz.-88 MHz. = 20 MJHz.) หรือ = 20,000 KHz. เมื่อนำแบนด์วิดท์ 1 สถานีมาหารจะทำให้ได้จำนวนช่องของสถานี FM ถึง 100 สถานี

(20,000 KHz. = 100)

20 KHz.

ถ้าเป็นการสื่อสารวิทยุ FM อื่น ๆ จะมีไซด์แบนด์ที่แตกต่างกันไป เช่น FM ของเสียงในโทรทัศน์มีไซด์แบนด์ + 25 KHz. หรือในวิทยุ FM ตำรวจ, หน่วยราชการ, วิทยุสมัครเล่น มีไซด์แบนด์ + 5 KHz. หรือ + 15 KHz. เท่านั้น




*รูปที่ 2.32 แสดงแบนด์วิดท์แต่ละสถานีของวิทยุกระจายเสียงย่าน FM*

จากรูปที่ 2.32 นั้นแสดงมาตรฐานการส่งกระจายเสียงวิทยุ FM ของ FCC ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสถานีในแต่ละประเทศ ในบ้านเราแต่ละสถานี FM ส่งคลื่นพาหะออกอากาศมีช่วงห่างแต่ละสถานีถึง 500 KHz. เช่น สถานี FM ที่ 1 ส่งด้วยคลื่นพาหะ 88.5 MKz. สถานี FM ที่ 2 ส่งด้วยคลื่นพาหะ 89 MHz. สถานี FM ที่ 3 ส่งด้วยคลื่นพาหะ 89.5 MHz. เป็นต้น ก็ทำให้ช่วงการ์ดแบนด์มากขึ้น การรบกวนของแต่ละสถานีก็จะยากขึ้น ยังสามารถชอยสถานีออกได้อีกเมื่อจำเป็น

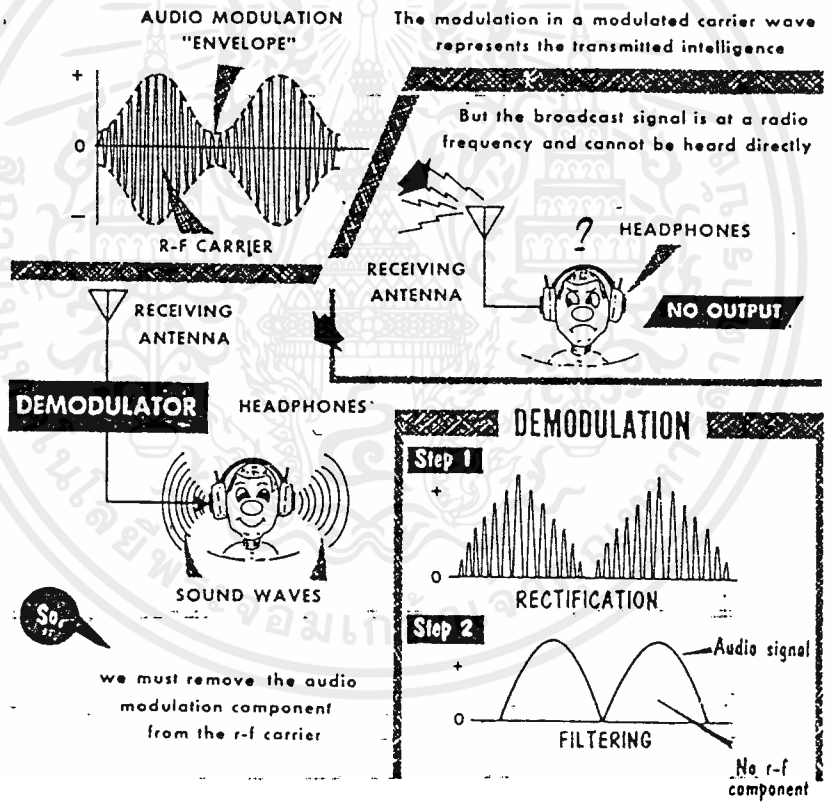
## 2.11 เครื่องรับวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับวิทยุเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำเอาอุปกรณ์แต่ละตัวมาประกอบเป็นวงจรสามารถรับฟังสัญญาณเสียงที่ส่งกระจายเสียงในระบบของวิทยุ เครื่องรับวิทยุ AM แบ่งได้เป็นหลายประเภทดังนี้

1. เครื่องรับวิทยุแร่ (CRYSTAL RECEIVER)
2. เครื่องรับแบบจูนความถี่วิทยุ (TUNED RADIO FREQUENCY RECEIVEER, TRF)
3. เครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ (SUPERHETERODYNE RECEIVER)

สำหรับเครื่องรับวิทยุ แบบที่ 1 และ 2 เป็นเครื่องรับวิทยุที่ไม่ใช้งานแล้วในปัจจุบัน ที่มากล่าวในที่นี้เพื่อเป็นพื้นฐานของการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการรับสัญญาณวิทยุ จะได้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องรับวิทยุแบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์




*รูปที่ 4.1 แสดงสภาวะการรับสัญญาณของเครื่องรับวิทยุ AM เบื้องต้น*

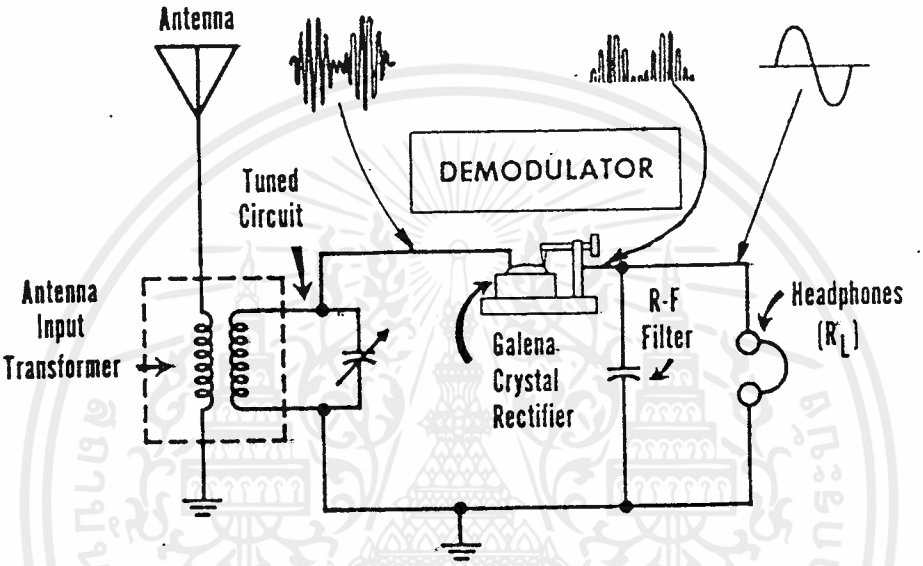
จากรูปที่ 4.1 สภาวะการรับสัญญาณวิทยุระบบ AM จะรับสัญญาณได้จะต้องมีตัวแยกคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(DEMODULATOR) เพื่อจะแยกคลื่นพาหะออกจากคลื่นเสียงเพื่อให้เหลือเฉพาะคลื่นเสียง แล้วไปผ่านเข้าหูฟัง (HEADPHONES) ก็สามารถรับฟังสัญญาณเสียงที่ส่งกระจายออกมาได้

2.11.1 เครื่องรับวิทยุแร่ (CRYSTAL RECEIVER)

เครื่องรับวิทยุแร่ถือว่าเป็นเบื้องต้นของเครื่องรับวิทยุโดยใช้วงจรแยกคลื่น(DEMODULATOR) แยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณวิทยุ และผ่าน C เพื่อกรองสัญญาณพาหะให้หมดไปเหลือเฉพาะสัญญาณเสียงส่งต่อไปให้หูฟังเปลี่ยนสัญญาณเสียงในรูปพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงในรูปพลังงานกล คือทำให้อากาศรอบ ๆ หูฟังกระเพื่อมตามจังหวะของสัญญาณเสียง




*รูปที่ 4.2 เครื่องรับวิทยุแร่*

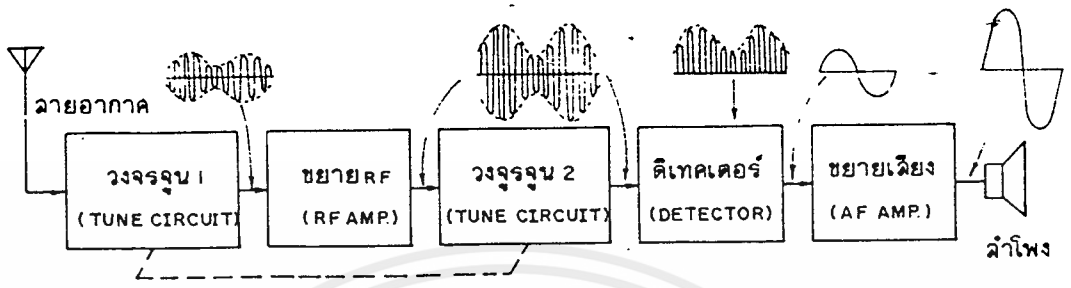
จากรูป 4.2 $L_1$, $L_2$ เป็นขดลวดสายอากาศ (ANTENNA COIL) $L_1$ ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณจากอากาศ มาเข้าวงจรรับความถี่ (TUNE CIRCUIT) $L_2$, $C_1$ เลือกรับความถี่เฉพาะสถานีใดสถานีหนึ่ง ส่งผ่านไปเข้าคริสตอลล เร็กติไฟเออร์ (CRYSTAL RECTIFIER) ทำหน้าที่เป็นตัวแยกคลื่น (DEMODULATOR) หรือเป็นดีเทคเตอร์ (DETECTOR) คือตัดสัญญาณ AM ออกไปซีกหนึ่ง เหลือสัญญาณเพียงซีกเดียว ส่งผ่านสัญญาณไปเข้าวงจรกรองความถี่วิทยุ (RF FILTER) ทำให้ความถี่พาหะหมดไปเหลือเฉพาะสัญญาณเสียง ส่งต่อไปเข้าหูฟังเกิดสัญญาณเสียงขึ้นมาตัวแยกคลื่น (DEMODULATOR) อาจใช้เป็นไดโอดก็ได้พวกเจอร์มาเนียมไดโอด ซึ่งใช้เป็นไดโอดในภาคดีเทคเตอร์ในวิทยุ AM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ ที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น เบอร์ IN60, IN34, IN54,IN876, IT24 เป็นต้น

2.11.2 เครื่องรับแบบจูนความถี่วิทยุ TRF (TUNE RADIO FREQENCY RECEIVER)

เครื่องรับวิทยุแร่ไม่นิยมใช้งาน เพราะประสิทธิภาพของเครื่องรับไม่ดีไม่มี การขยาย

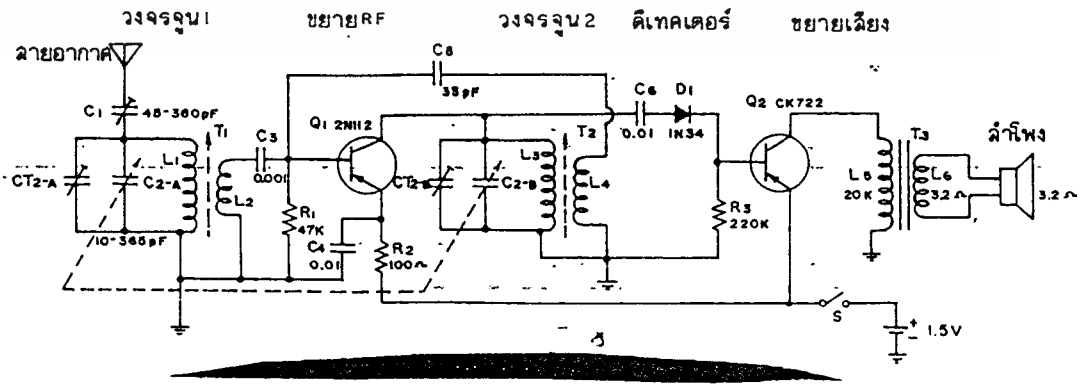
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการเลือกรับสถานีไม่ดี สถานีแรง ๆ อาจแทรกเข้ามาได้ และได้มีผู้คิดค้นเครื่องรับแบบ TRF ขึ้นมาแทน ซึ่งจะมีการเลือกรับสถานีที่ดีกว่า มีวงจรขยายสัญญาณและสามารถใช้ลำโพงแทนหูฟังได้




*รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแบบ TRF*

จากรูป 4.3 เป็นเครื่องรับวิทยุ AM แบบ TRF สัญญาณวิทยุ AM ทุกสถานีจะมารอที่สายอากาศ จะถูกวงจรจูนหรือวงจรรับสัญญาณเลือกรับสัญญาณเฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่ง ที่ตรงกับการตอบสนองความถี่ของวงจรส่งผ่านความถี่ที่รับได้ไปขยายที่ภาคขยายความถี่ (RF AMP) ความถี่ที่ได้มีความแรงมากขึ้นส่งผ่านไปเข้าวงจรจูนที่ 2 ซึ่งมีการตอบสนองความถี่ตรงกับวงจรจูนที่ 1 เพื่อกำหนดความถี่ผ่านที่ถูกต้อง และป้องกันการแซกแซงของความถี่แปลกปลอมที่เล็ดลอดเข้ามาส่งผ่านความถี่ต่อไปเข้าภาคดีเทคเตอร์ทำหน้าที่ตัดสัญญาณความถี่วิทยุ AM ออกครึ่งหนึ่ง อาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบก็ได้ ผ่านวงจรกรองความถี่ (FILTER) ตัดความถี่พาหะทิ้งเหลือไว้เฉพาะสัญญาณเสียง ส่งผ่านไปเข้าวงจรขยายเสียงขยายสัญญาณให้แรงขึ้นส่งไปขับลำโพงให้เปล่งเสียงออกมา




*รูปที่ 4.4 เครื่องรับวิทยุ AM 2 ทรานซิสเตอร์ แบบ TRF*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 เป็นวงจรเครื่องรับวิทยุ AM ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว แบบ TRF สัญญาณวิทยุAM ทุกสถานีมารออยู่ที่สายอากาศ มี $C_1$ ต่ออันดับกับสายอากาศทำให้ความยาวของสายอากาศเพิ่มขึ้น สัญญาณวิทยุ AM จะตกคร่อมวงจรจูนที่ 1 ($L_1$, $C_{2-A}$, $CT_{2-A}$) แรงที่สุดเพียงสถานีเดียว คือสถานีที่ตรงกับจุดเรโซแนนท์ของวงจรจูน 1 ส่วนความถี่ของสถานีอื่น ๆ ถูกตัดทิ้งลวกราวด์ สัญญาณของสถานีดังกล่าวจะถูกเหนี่ยวนำไปขด $L_2$ ผ่าน $C_3$ คับปลิ้งสัญญาณผ่านไปเข้า $Q_1$ ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายความถี่ที่รับเข้ามาให้แรงขึ้นแบบไม่ผิดเพี้ยน ส่งออกขา C. ไปตกคร่อมวงจรจูนที่ 2 ($L_3$, $C_{2-B}$, $CT_{2-B}$) ซึ่งปรับแต่งให้มีค่าเรโซแนนท์เท่ากับวงจรจูนที่ 1 ความถี่ที่รับจากวงจรจูนที่ 1 จะตกคร่อมวงจรจูนที่ 2 สูงสุดเช่นเดียวกัน ส่งผ่านต่อไปโดย $C_6$ เป็นตัวคับปลิ้งสัญญาณไปเข้า $D_1$ เป็นตัวดีเทคเตอร์ตัดสัญญาณความถี่ AM ที่รับเข้ามาทางขีกลบทิ้งเหลือกขีกบวกส่งออกไปตกคร่อม $R_3$ ความถี่ที่ตกคร่อมวงจรจูนที่ 2 นอกจากจะส่งไป $D_1$ แล้วยังส่งผ่านมา $L_4$ ด้วยเพื่อเอาสัญญาณบางส่วนป้อนกลับไปให้ขา B ของ $Q_1$ เป็นลักษณะของการป้อนกลับทางลบ (NEGATIVE FEEDBACK) เพื่อทำให้ $Q_1$ มีอัตราขยายที่คงที่ และป้องกันการเกิดออสซิเลท (OSCILLATE) ในวงขยาย $Q_1$ (การป้องกลับทางลบ หรือการป้อนกลับแบบหักล้างสัญญาณ คือ การป้อนสัญญาณจากเอาท์พุทมาอินพุทของวงจรแบบมีเฟสตรงข้ามกัน เพื่อหักล้างสัญญาณที่จะป้อนเข้ามาใหม่ให้มีระดับความแรงลดลงบ้าง ส่วนการออสซิเลท ก็คือการเกิดความถี่ตัวใหม่ขึ้นมาในวงจรขยาย $Q_1$ เกิดการรบกวนความถี่ที่รับเข้ามา)

ความถี่ที่ผ่าน $D_1$ ดีเทคเตอร์แล้วจะถูกส่งต่อไปฟิลเตอร์ และขยายเสียงที่ $Q_2$ การฟิลเตอร์จะใช้ค่าคาปาซิเตอร์ (C) ระหว่างรายต่อขา B และ E ของ $Q_2$ เป็นสัญญาณเสียงที่ตัดคลื่นพาหะทิ้ง จึงส่งเข้าขยายสัญญาณเสียงด้วย $Q_2$ ได้สัญญาณเสียงที่มีความแรงมากขึ้นส่งออกทางขาC ไปตกคร่อม $L_5$ และเหนี่ยวนำผ่าน $L_6$ ส่งต่อให้ลำโพงเปล่งเสียงให้กระจายออกไป $T_3$ นอกจากจะเป็นโหลดของ $Q_2$ แล้วยังทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ระหว่างขา C, E ของ $Q_2$ กับลำโพงให้สมดุลย์กันเพื่อให้สัญญาณเสียงส่งผ่านออกลำโพงได้มากที่สุด

**ข้อดีของเครื่องรับแบบ TRF คือว่าเครื่องรับวิทยุแร่หลายประการดังนี้**

1. มีความไวต่อการรับดีขึ้น (SENSITIVITY) สามารถรับสัญญาณที่เบา ๆ ได้
2. สามารถแยกรับสัญญาณได้ดีขึ้น (SELECTIVITY) สามารถเลือกรับความถี่ที่ต้องการได้ดี
3. มีความชัดเจนดี (FIDELITY) คือสัญญาณที่รับได้จะไม่ผิดเพี้ยน

2.11.3 วิธีการของซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ (SUPERHETERODYNE METHODE)

เครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ บางครั้งเรียกสั้น ๆ ว่าเครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องรับแบบที่นิยมใช้งานจนถึงปัจจุบันนี้ นอกจากเครื่องรับวิทยุ AM แล้วระบบซุปเปอร์เฮทนี้ยังนำไปใช้งานกับเครื่องรับโทรทัศน์เครื่องรับวิทยุ FM เครื่องรับ-ส่งวิทยุความถี่ต่าง ๆ ตลอดจนเครื่องมือสื่อสารที่ใช้งานเกี่ยวกับการรับส่งความถี่ด้วย

ข้อเสียของเครื่องรับ AM แบบ TRF คือ ถึงแม้มีความไวต่อการรับ (SENSITIVITY) ดีขึ้นและสามารถแยกรับสัญญาณ (SELECTIVITY) ได้ดีขึ้นแต่ก็ยังไม่ดีเท่าที่ควร มีความยุ่งยากในการสร้างวงจรจูนความถี่ให้มากวงจรขึ้นเพื่อการแยกรับสัญญาณที่ดียิ่งขึ้น การเพิ่มการขยายสัญญาณความถี่วิทยุให้มากขึ้นอีกเพื่อให้มีความไวในการรับดีมากขึ้นทำได้ยาก เพราะเครื่องรับจะถ่ายทอดสัญญาณออกอากาศไปรบกวนเครื่องรับข้างเคียง และการรับสัญญาณของแต่ละสถานีจะได้ความแรงของสัญญาณเสียงไม่เท่ากัน เครื่องรับอยู่ใกล้สถานีที่รับจะได้ความแรงของสัญญาณเสียงไม่เท่ากัน เครื่องรับอยู่ใกล้สถานีหรือสถานีที่รับมีกำลังมาก สัญญาณที่รับได้จะมีความดังมาก แต่ถ้าสถานีที่รับอยู่ไกล หรือสถานีที่รับมีกำลังส่งน้อย สัญญาณที่รับได้จะมีความดังน้อย คือทุกสถานีที่รับได้มีความดังของสัญญาณเสียงไม่เท่ากัน

จากข้อเสียของเครื่องรับ AM แบบ TRF จึงได้ดัดแปลงวงจรเพื่อแก้ข้อเสียของเครื่องรับ AM แบบ TRF มาเป็นแบบซุปเปอร์เฮท ทำให้สามารถจัดวงจรภาคขยาย RF มาก ๆ ได้ตามต้องการ สามารถใช้วงจรจูนความถี่น้อยวงจรได้ สามารถลดการแพร่กระจายคลื่นออกไปรบกวนเครื่องรับข้างเคียงได้ แต่มีความไวในการรับดีขึ้น สามารถแยกรับสัญญาณได้ดีมากขึ้น มีความชัดเจนในการรับดีมากขึ้นและมีระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่รับได้ดังแรงเท่ากันทุกสถานี การดัดแปลงทำดังนี้

1. นำสัญญาณที่รับเข้ามาไปทำให้เกิดการเฮทเตอร์โรดายน์ (HETERODYNE) กับความถี่วิทยุ (RF FREQUENCY) อีกความถี่หนึ่งที่ผลิตขึ้นมาในเครื่องรับวิทยุนั้นส่วนมากเรียกชื่อทางเทคนิคว่าภาคมิกเซอร์ (MIXER)

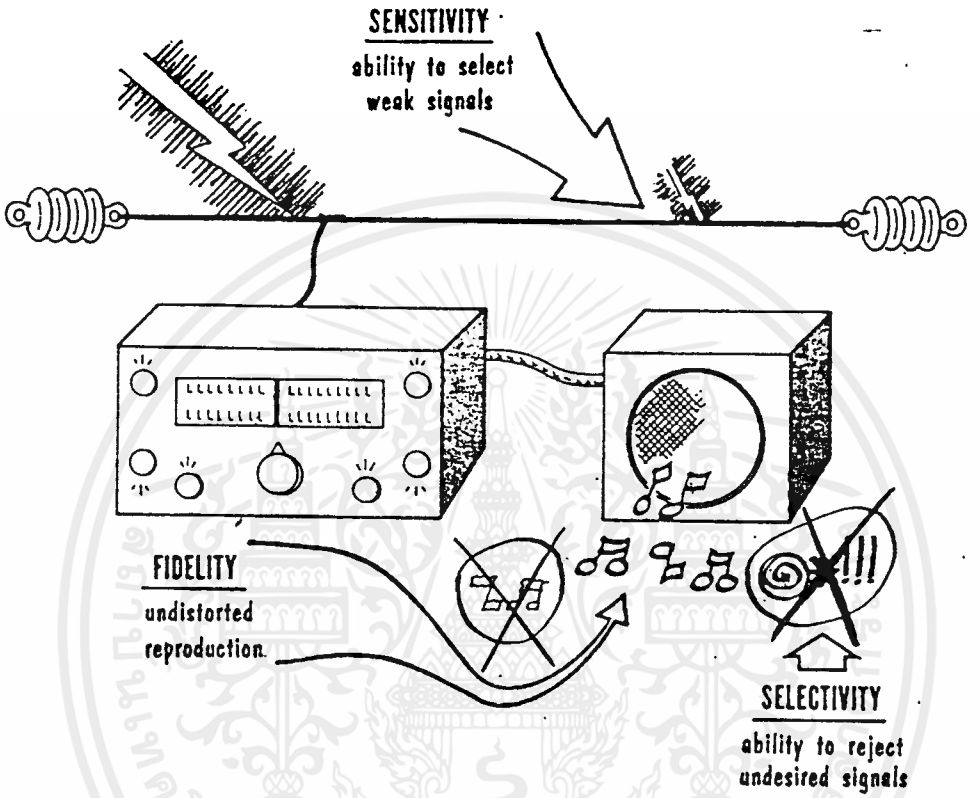
2. ใช้วงจรจูนความถี่วิทยุ (TUNE CIRCUIT) เฉพาะที่ในวงจรที่ต้องการรับสัญญาณความถี่โดยตรงจากเครื่องส่ง ก่อนหน้าภาคที่จะทำเฮทเตอร์โรดายน์กันเท่านั้น

3. หลังจากการทำเฮทเตอร์โรดายน์แล้ว จะใช้วงจรจูนความถี่เลือกเอาความถี่ผลต่างกันที่มีค่าคงที่ตลอดย่านความถี่ของสัญญาณความถี่วิทยุที่จูนรับเข้ามา ดังนั้นจึงสามารถประกอบวงจรเป็นแบบวงจรจูนคงที่ (FIXED TUNE CIRCUIT) จะขยายเพิ่มขึ้นอีกกี่ภาคก็ได้ เรียกชื่อทางเทคนิคว่าภาคขยายความถี่ปานกลาง (INTERMEDIATE FREQUENCY หรือ IF)

4. วงจรจูนความถี่IF ทั้งหมดมีกระป๋องโลหะครอบมิดชิด ป้องกันการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุออกไปภายนอกได้

5. ความถี่ IF เป็นความถี่ในย่านที่ต่ำกว่าความถี่ของสัญญาณ RF ที่รับจากสถานีดังนั้นถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



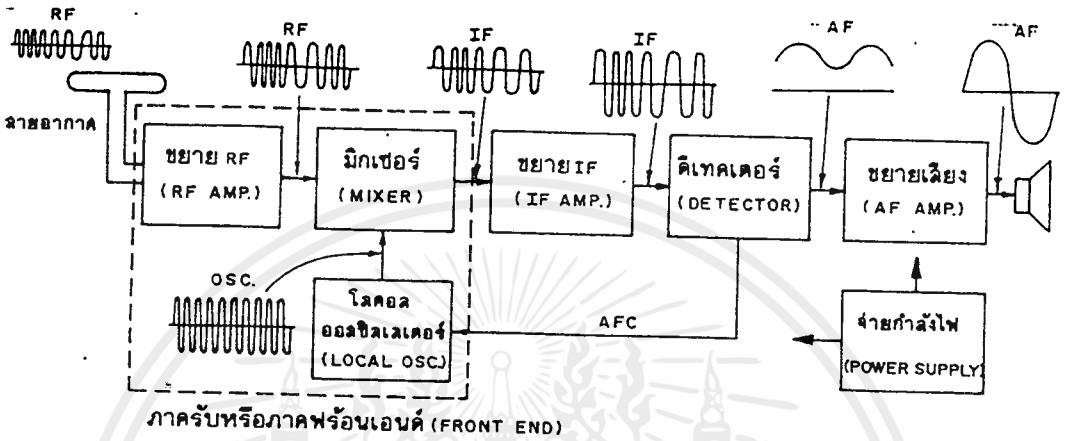

*รูปที่ 4.5 คุณสมบัติของเครื่องรับวิทยุต่อการรับสัญญาณ*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการแผ่กระจายคลื่นออกไป ก็จะไม่เกิดการรบกวนกับเครื่องรับใกล้เคียง

6. จากกรรมวิธีดังกล่าวเครื่องรับวิทยุแบบซุปเปอร์เฮท ยังพบว่าการขยายสัญญาณความถี่วิทยุในย่านความถี่ IF ทำได้ง่ายกว่า และให้อัตราขยาย (GAIN) ที่สูงกว่าอีกด้วย

## 2.12 เครื่องรับวิทยุ FM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์




*รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับวิทยุ FM*

จากรูปที่ 5.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมเครื่องรับวิทยุ FM ซึ่งถ้าดูกันตามบล็อกไดอะแกรมแล้วเครื่องรับวิทยุ FM จะเหมือนกับเครื่องรับวิทยุ AM ตรงที่มีภาคต่าง ๆเหมือนกัน แต่เมื่อวิเคราะห์กันโดยละเอียดแล้วจะมีส่วนแตกต่างกันมากในแต่ละภาค ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป การทำงานของแต่ละภาคอธิบายได้ดังนี้

1. สายอากาศ (ANTENNA) จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งจากสถานีต่าง ๆเข้ามาทั้งหมดโดยไม่กำหนดว่าเป็นสถานีใด สายอากาศของเครื่องรับวิทยุ FM แตกต่างจากเครื่องรับวิทยุ AM ส่วนใหญ่สายอากาศของเครื่องรับวิทยุ FM จะเป็นแบบไดโพล (DI-POLE) ซึ่งเป็นสายอากาศแบบสองขั้ว จะช่วยทำให้การรับสัญญาณดียิ่งขึ้น ส่งต่อสัญญาณวิทยุ (RF) ไปเข้าภาคขยาย RF

2. ภาคขยาย RF (RF AMPLIFIER) จะทำหน้าที่เหมือนกับเครื่องรับวิทยุ AM คือจะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นวิทยุในย่าน FM 88 MHz. 108 MHz. เข้ามาและเลือกรับสัญญาณ FM เพียงสถานีเดียว โดยวงจรจูนด์ RF และขยายสัญญาณ RF นั้นให้แรงขึ้น เพื่อส่งต่อไปเข้าภาคมิกเซอร์ ความแตกต่างของภาคขยาย RF ของวิทยุ AM และ FM ตรงที่วิทยุ FM ใช้ความถี่สูงกว่า AM ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์มาใช้ในวงจรขยายจะต้องหาอุปกรณ์ที่ให้การตอบสนองความถี่ในย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FM ได้และต้องขยายช่วงความถี่ที่กว้างของ FM ได้ ( AM มีแบนด์วิดท์ 10 KHz., FM มีแบนด์วิดท์ 200 KHz.)

3.ภาคมิกเซอร์ (MIXER) จะทำงานเหมือนกับเครื่องรับวิทยุ AM คือจะรับสัญญาณเข้ามาสองสัญญาณ ได้แก่ สัญญาณ RF จากภาคขยาย RF และสัญญาณ OSC. จากภาคโลคอลออสซิลเลเตอร์ เพื่อผสมสัญญาณ (MIX.) ให้ได้สัญญาณเอาท์พุทตามต้องการสัญญาณที่ออกจากภาคมิกเซอร์มีทั้งหมด 4 ความถี่คือ

ก. ความถี่ RF ที่รับเข้ามาจากวงจรจูน RF (RF)

ข. ความถี่ OSC. ที่ส่งมาจากภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ (OSC.)

ค. ความถี่ผลต่างระหว่าง OSC. กับ RF.(OCS-RF) = IF = 10.7 MHz.

ง. ความถี่ผลต่างระหว่าง OSC. กับ RF.(OSC+RF)

ความถี่วงจรจูนด์ IF ให้ผ่านมีความถี่เดียว คือความถี่ IF(OSC-RF)เท่ากับ 10.7 MHz. ไม่ว่าภาคขยาย RF จะรับความถี่เข้ามาเท่าไรก็ตาม และภาค OSC. จะผลิตความถี่ขึ้นมาเท่าไรก็ตาม เมื่อเข้าผสมกันที่ภาคมิกเซอร์แล้วจะได้ความถี่ IF เท่ากับ 10.7 MHz. ออกเอาท์พุทเสมอ

4.ภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ (LOCAL OSCILLATOR) ทำงานเหมือนกับเครื่องรับวิทยุ AM คือ ผลิตความถี่ที่มีความแรงคงที่ขึ้นมา ความถี่ที่ผลิตขึ้นจะสูงกว่าความถี่ที่วงจรจูนด์ RF รับเข้ามาเท่ากับความถี่ IF คือ 10.7 MHz.เช่นวงจรจูนด์ RF รับความถี่เข้ามา 100 MHz. ความถี่ OSC. จะผลิตขึ้นมา 100 MHz.+10.7 MHz.= 110.7 MHz.

ความแตกต่างของภาคนี้ระหว่างวิทยุAM และ FM อยู่ที่วงจรเรโซแนนท์ที่กำเนิดความถี่ขึ้นมาต่างกัน ทำให้L,C ที่ใช้ใน FM จะใช้ค่าน้อยกว่าของ AM และการกำเนิดความถี่ OSC. ของวิทยุ FMจะต้องมีวงจร AFC (AUTOMATIC FREQUENCY CONTROL) มาคอยควบคุม เพื่อควบคุมให้ความถี่OSC. กำเนิดขึ้นมา เมื่อผสมกับความถี่ RF แล้วได้ความถี่ IF 10.7 MHz.ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามสัญญาณเสียงที่ผสมมาในระบบการผสมคลื่นแบบ FM ความถี่ IF จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงบวกผสมและจะลดลงเมื่อสัญญาณเสียงช่วงลบผสม ดังนั้นวงจร OSC. จะต้องมีความถี่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความถี่ RF ที่รับเข้ามามีสัญญาณเสียงช่วงบวกผสม และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อความถี่ RF ที่รับเข้ามามีสัญญาณเสียงช่วงลบผสม เมื่อผสมสัญญาณที่ภาคมิกเซอร์จึงได้ IF ที่ถูกต้อง AFC ดังกล่าวจะถูกส่งมาจากภาคดีเทคเตอร์ และจะทำงานโดยอัตโนมัติ

5.ภาคขยายไอเอฟ (IF AMPLIFIER) จะทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนเครื่องรับวิทยุ AM และยังสามารถขยายความถี่ IF ทั้งของ AM และ FM ได้ ในเครื่องรับวิทยุบางรุ่นที่มีทั้ง AM และ FM ในเครื่องเดียวกันอาจใช้ภาคขยาย IF ร่วมกันทั้งวิทยุ AM และวิทยุ FM คือขยายความถี่ IF ให้มีระดับความแรงมากขึ้นแบบไม่ผิดเพี้ยน

ส่วนที่แตกต่างกันระหว่าง IF ของ AM และ FM คือในส่วนวงจรจูนด์ IF เพราะใช้ความถี่ไม่เท่ากัน ค่าความถี่เรโซแนนท์ต่างกัน การกำหนดค่า L,C มาใช้งานต่างกัน

6. ภาคดีเทคเตอร์ (DETECTOR) ทำหน้าที่แยกสัญญาณเสียงออกจากความถี่ IF แต่จะต่างกันในระบบการแยกเสียง เพราะในระบบ AM สัญญาณเสียงถูกผสมมาทางความสูงของคลื่นพาหะ สามารถแยกได้โดยใช้ไดโอดหรือทรานซิสเตอร์ร่วมกับ R,C ฟิลเตอร์ก็สามารถตัดความถี่ IF ออกเหลือเฉพาะสัญญาณเสียงได้ ส่วนในระบบวิทยุ FM สัญญาณเสียงจะผสมกับพาหะโดยสัญญาณเสียงทำให้คลื่นพาหะเปลี่ยนความถี่สูงขึ้นหรือต่ำลง ส่วนความแรงคงที่ไม่สามารถใช้วิธีการดีเทคเตอร์แบบ AM ได้ต้องใช้วิธีพิเศษเช่น ดิสคริมิเนเตอร์ (DISCRIMINATOR) เรโชดีเทคเตอร์(RATIO DETECTOR)เฟส ล้อก ลูป ดีเทคเตอร์ (PHASE LOCK LOOP DETECTOR) ควอดราเจอร์ดีเทคเตอร์ (QUADRATURE DETECTOR) เป็นต้น จะแตกต่างจากของ AM โดยสิ้นเชิง

ในส่วนดีเทคเตอร์นี้จะมีสัญญาณถูกส่งออก 2 ทางคือ ทางหนึ่งส่งต่อไปภาคขยายเสียงอีกทางหนึ่งจะถูกผ่านชุดฟิลเตอร์อีกครั้งหนึ่ง เพื่อแปลงสัญญาณเสียงเป็นแรงไฟ DC เพื่อส่งย้อนกลับมาควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ OSC. เป็นแรงไฟ AFC.

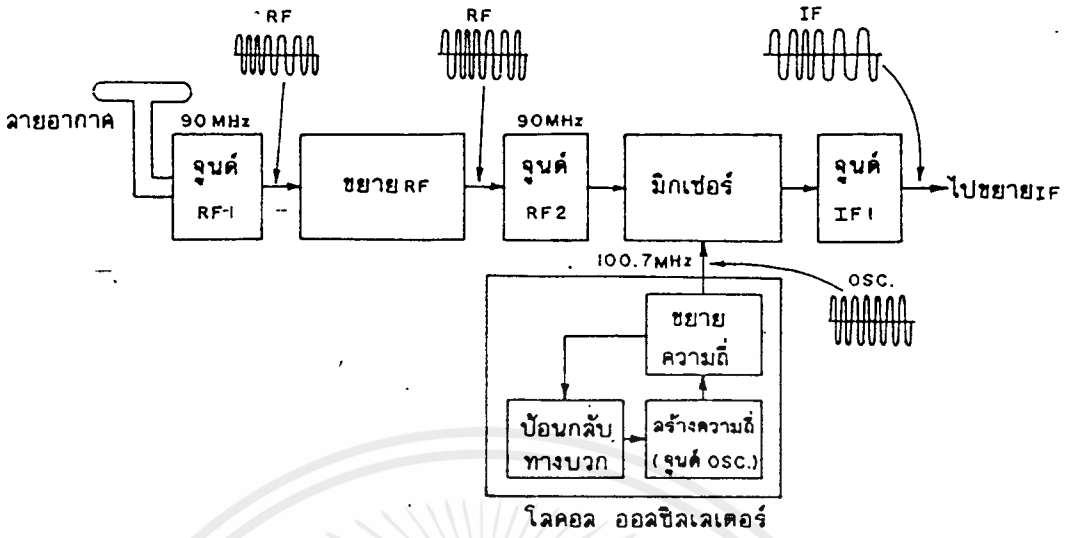
7. ภาคขยายเสียง (AF AMPLIFIER) ใช้งานร่วมกับของเครื่องรับวิทยุ AM ได้เพราะทำหน้าที่ขยายเสียงที่ส่งมาจากภาคดีเทคเตอร์ ให้มีระดับความแรงมากขึ้นแบบไม่ผิดเพี้ยนพอที่จะไปขับลำโพงให้เปล่งเสียงออกมา

ในเครื่องรับวิทยุบางแบบอาจมีภาคขยายเสียงในตัวแต่บางแบบอาจจะไม่มีเครื่องขยายเสียงในตัว แต่จะมีอยู่ต่างหาก เครื่องรับวิทยุที่มีเครื่องขยายเสียงภายนอกเรียกว่า จูนเนอร์ (TUNNER)

8. ภาคจ่ายกำลังไฟ (POWER SUPPLY) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟ DC เลี้ยงวงจรของเครื่องรับวิทยุ FM ซึ่งจะต้องใช้วงจรเรกกูเลเตอร์ (REGULATOR) ควบคุมแรงดันไฟ DC ให้คงที่เพื่อเลี้ยงวงจร ทำให้คุณภาพของเครื่องรับวิทยุ FM ดีขึ้น

## 2.13 ภาคฟร้อนเอนด์ (FRONT END)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




*รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมภาคฟร้อนเอนด์ของเครื่องรับวิทยุ FM.*

รูปที่ 5.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมของภาคฟร้อนเอนด์เครื่องรับวิทยุ FM. จะคล้ายกับภาคคอนเวอร์เตอร์ของ AM คือจะประกอบด้วยภาคขยาย RF ภาคมิกเซอร์ และภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ แต่ของ FM จะต้องมีวงจรจูนด์ RF 2 ชุด และภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ จะมีภาคขยายสัญญาณด้วยซึ่งจะใช้รวมเหมือนกับของวิทยุ AM ไม่ได้ เพราะจะทำให้คุณภาพของการรับสัญญาณลดลง

การทำงานของวงจร สายอากาศจะรับสัญญาณเข้ามาทุกความถี่ในย่าน FM (88 MHz.-108 MHz.) เข้ามายังวงจรจูนด์ RF 1 เพื่อเลือกรับความถี่ผ่านเพียงความถี่เดียว ขึ้นอยู่กับค่าการตอบสนองความถี่ของวงจรเรโซแนนท์ ส่งผ่านความถี่ดังกล่าวไปเข้าขยายสัญญาณที่ภาคขยาย RF ให้มีระดับความแรงของสัญญาณ RF มากขึ้นแบบไม่ผิดเพี้ยนส่งต่อไปเข้าชุดจูนด์ RF 2 ซึ่งถูกกำหนดความถี่ให้เรโซแนนท์ที่ความถี่เดียวกันกับวงจรจูนด์ RF 1 กรองผ่านความถี่ RF ไปเข้าภาคมิกเซอร์

ภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ จะประกอบด้วยส่วนประกอบของวงจร 3 วงจร คือภาคกำเนิดความถี่หรือจูนด์ OSC. จะกำเนิดความถี่ขึ้นมาสูงกว่าความถี่ที่รับเข้ามาจากภาคจูนด์ RF เท่ากับความถี่ IF (10.7 MHz.)เช่นจูนด์ RF รับความถี่ของสถานี FM ที่ความถี่ 90 MHz.ภาคจูนด์ OSC. จะกำเนิดความถี่ขึ้นมา 100.7 MHz. (90 MHz.+ 10.7 MHz. = 100.7 MHz.) ส่งผ่านความถี่ OSC.ไปเข้าวงจรขยายความถี่ OSC. วงจรขยายความถี่ OSC. จะส่งสัญญาณออก 2 ทางคือ ทางหนึ่งไปเข้าวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิกเซอร์ อีกทางหนึ่งมาเข้าวงจรป้อนกลับทางบวก (POSITIVE FEEDBACK)มากระตุ้นวงจรจูนด์ OSC. ให้กำเนิดความถี่ขึ้นมามีระดับความแรงคงที่สม่ำเสมอ และส่งภาคขยายออกไปเข้าภาคมิกเซอร์

ภาคมิกเซอร์ จะรับสัญญาณเข้ามา 2 ทางคือความถี่ RFจากวงจรจูนด์ RFและความถี่ OSC. จากภาค OSC. เข้ามาผสมกันได้สัญญาณออก 4 สัญญาณ คือ

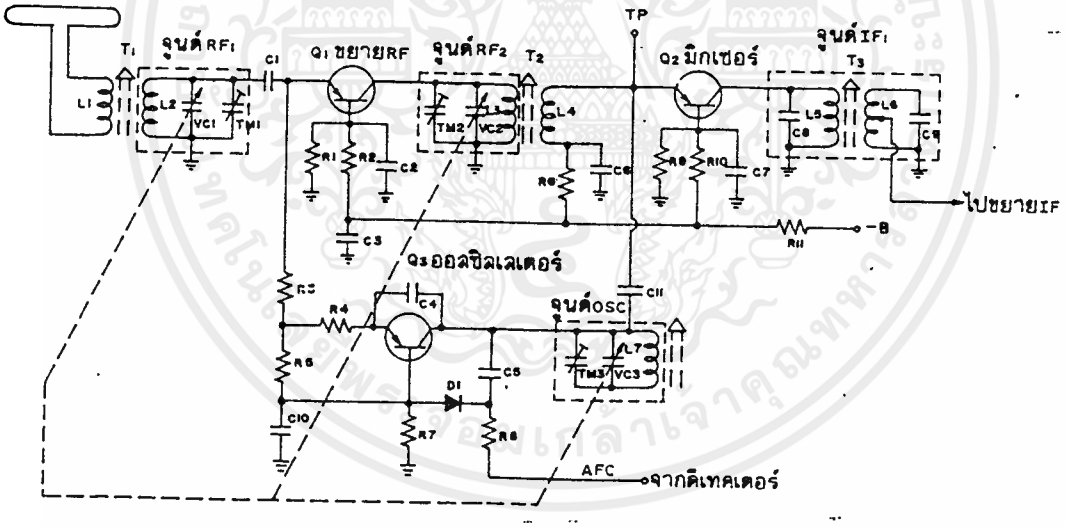
ก. ความถี่ RF 90 MHz.

ข. ความถี่ OSC. 100.7 MHz.

ค. ความถี่ OSC.- RF = 100.7 MHz.- 90 MHz. = 10.7 MHz.

ง. ความถี่ OSC.+ RF = 100.7 MHz.+ 90 MHz. = 190.7 MHz.

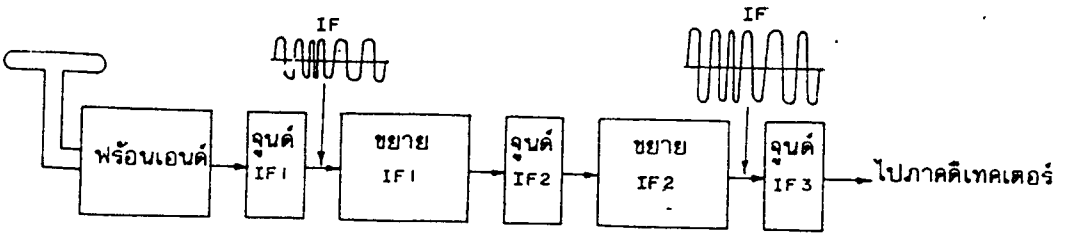
สัญญาณความถี่ทั้ง 4 จะถูกส่งไปเข้าวงจรจูนด์ IF 1 จูนด์ IF 1 ถูกกำหนดให้ตอบสนองความถี่ที่ความถี่ IF คือ 10.7 MHz. จึงกรองผ่านเฉพาะความถี่ IF ส่งต่อไปภาคขยายความถี่ IF ต่อไปตัวอย่างเช่น ใช้ทรานซิสเตอร์




*รูปที่ 5.3 วงจรภาคฟร้อนเอนด์ แบบใช้ทรานซิสเตอร์*

## 2.14 ภาคขยายความถี่ IF (IF AMPLIFIER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

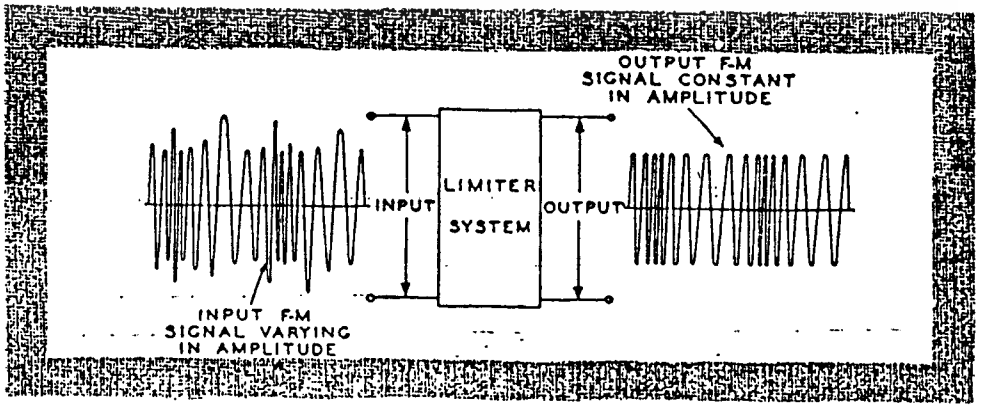



*รูปที่ 5.6 บล็อกไดอะแกรมภาคขยายความถี่ IF*

จากรูปที่ 5.6 เป็นบล็อกไดอะแกรมวงจรจูนด์ IF และวงจรขยาย IF ของเครื่องรับวิทยุ FMซึ่งจะประกอบด้วยวงจรจูนด์ IF และวงจรขยาย IF หลายภาค บางวงจรอาจจะมี 2, 3, หรือ 4 ภาค ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร การทำงานของบล็อกไดอะแกรมจะอธิบายได้ดังนี้

สัญญาณความถี่วิทยุ FM เมื่อผ่านภาคฟร้อนเอนด์ออกมาแล้ว จะมี 4 ความถี่คือ RF, OSC, OSC-RF, และOSC+RF ส่งผ่านเข้าวงจรจูนด์ IF1 วงจรจูนด์ IF1 ถูกกำหนดให้ตอบสนองความถี่ที่ความถี่ IF 10.7 MHz. คือความถี่ OSC-RF ส่งต่อความถี่ IF ไปเข้าวงจรขยาย IF1 ขยายสัญญาณให้แรงขึ้นแบบไม่ผิดเพี้ยน ส่งต่อไปวงจรจูนด์ IF2 กรองความถี่ IF ผ่านเช่นกันส่งต่อไปวงจรขยายIF2 การทำงานจะเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ความถี่ IF จะถูกขยายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆแบบไม่ผิดเพี้ยน จนถึงวงจรจูนด์ IF ชุดสุดท้าย ก่อนส่งเข้าภาคดีเทคเตอร์ จะได้สัญญาณแรงพอที่จะนำไปใช้งาน

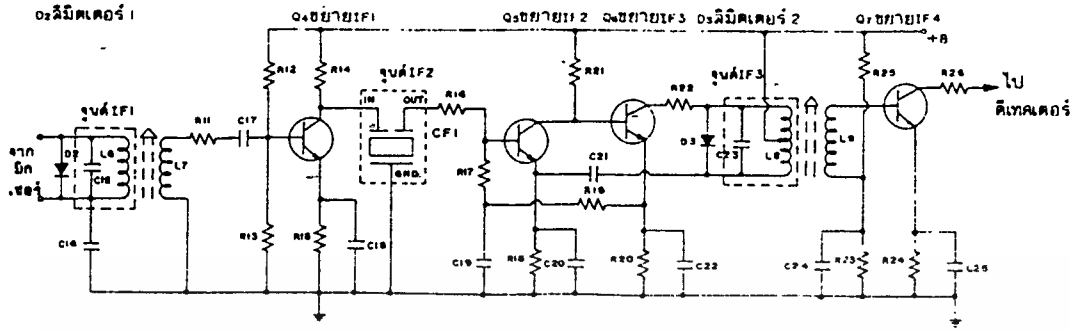
ในวงจรขยาย IF อาจจะมีวงจรลิมิตเตอร์ (LIMITTER)ที่จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนที่ปนมากับส่วนสูงของความถี่ IF ให้หมดไป วงจรลิมิตเตอร์นี้อาจจะไม่มีในทุกวงจรของเครื่องรับ FM เพราะบางวงจรอาจใช้วงจรนอยส์แบลงเกอร์ (NOISE BLANKER) กำจัดสัญญาณรบกวนหรือวิธีการอื่นๆ ก็ได้




*รูปที่ 5.7 หลักการทำงานของวงจรลิมิตเตอร์*

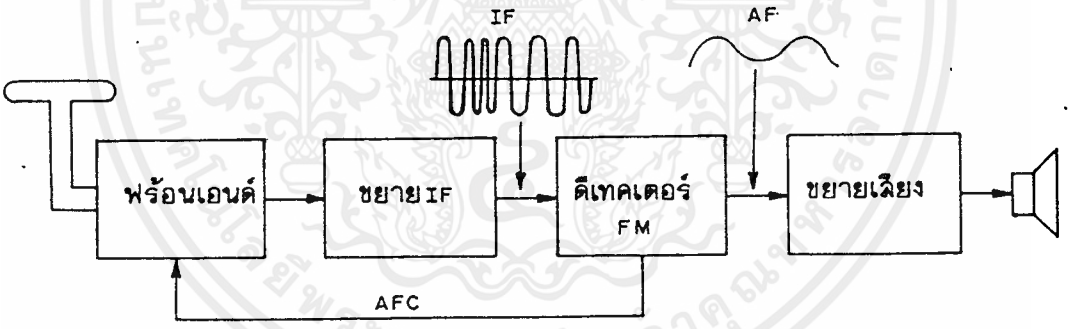
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น แบบใช้ทรานซิสเตอร์




*รูปที่ 5.8 วงจรภาค IF แบบใช้ทรานซิสเตอร์*

## 2.15 วงจรดีเทคเตอร์ FM




*รูปที่ 5.12 บล็อกไดอะแกรมภาคดีเทคเตอร์วิทยุ FM*

จากรูปที่ 5.12 เป็นบล็อกไดอะแกรมเครื่องรับวิทยุ FM เน้นเฉพาะภาคดีเทคเตอร์ FMแต่ต้องเกี่ยวข้องกับภาคฟร้อนเอนด์โดยจ่ายแรงไฟ AFC มาควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ของ OSC ให้กำเนิดความถี่ขึ้นมาถูกต้อง ต้องเกี่ยวข้องกับภาคขยาย IF โดยรับเอาสัญญาณ IF เข้ามาเพื่อกำจัดความถี่ IF ออกให้เหลือเฉพาะสัญญาณเสียง (AF) ต้องเกี่ยวข้องกับภาคขยายเสียง โดยส่งต่อสัญญาณเสียงที่ได้ไปขยายให้แรงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคดีเทคเตอร์ของ FM แบ่งได้ 3 แบบคือ

1. แบบดิสคริมมิเนเตอร์ (DISCRIMINATOR) ในปัจจุบันไม่นิยมใช้งาน

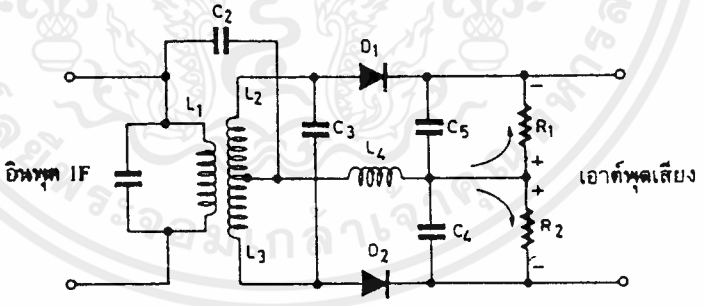
2. แบบเรโชดีเทคเตอร์ (RETIO DETECTOR) เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันยังแบ่งย่อยเป็น ก. บาลานซ์ ข. อันบาลานซ์

3. แบบเฟส ล้อค ลูป ดีเทคเตอร์ (PHASE LOCKED DETECTOR) ใช้ตัวย่อว่า PLL เป็นดีเทคเตอร์ที่ใช้ IC เป็นแบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันเช่นกัน

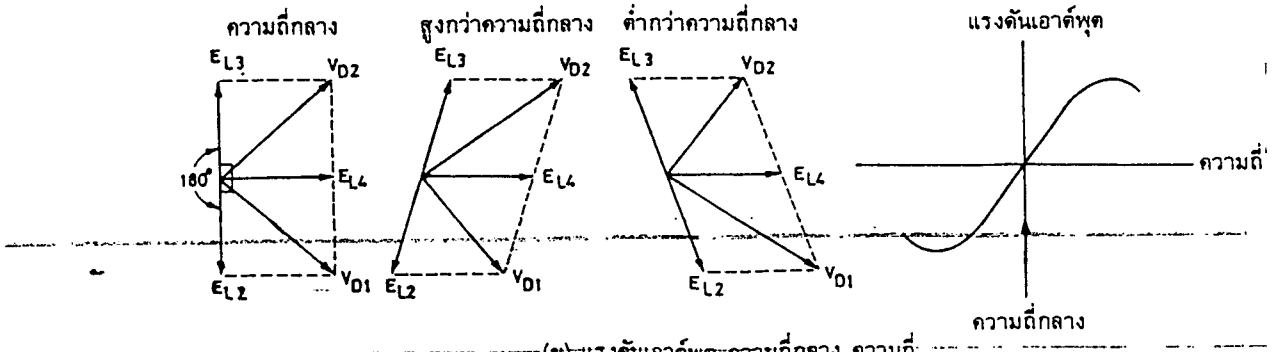
4. แบบควอดราเจอร์ ดีเทคเตอร์ (QUADRATURE DETECTOR)

## 2.16 ฟอสเตอร์-ซีลีย์ดิสคริมิเนเตอร์

วงจรฟอสเตอร์-ซีลีย์ดิสคริมิเนเตอร์ (Foster-Seeley discriminator) แสดงดังรูปที่ 5.8 เป็นวงจรที่แพร่หลายมาก สัญญาณ IF ซึ่งมีความถี่เบี่ยงเบน 75 กิโลเฮิรตซ์ (ด้วยอัตราเบี่ยงเบนเท่ากับสัญญาณเสียง) ป้อนเข้าที่วงจรจูน $L_1C_1$ ด้านเอาท์พุทประกอบด้วยไดโอดและวงจร RC ทำหน้าที่ดีเทกคล้าย ๆ กับวงจรดับเบิลจูนที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อไดโอดทั้งคู่นำกระแสเท่ากันแรงดันที่ปรากฏคร่อม $R_1$ และ $R_2$ จะเท่ากันและตรงข้ามกัน จึงหักล้างกันและได้เอาท์พุทเป็นศูนย์แต่ถ้าไดโอด $D_1$ นำกระแสมากกว่า $D_2$ เอาท์พุทจะได้ค่าเป็นบวก และถ้าไดโอด $D_2$ นำกระแสมากกว่า $D_1$ เอาท์พุทจะได้ค่าเป็นลบ




(ก)




(ข) แรงดันเอาต์พุต ความถี่กลาง ความถี่

**รูปที่ 4.9** วงจรฟอสเตอร์-ซีลีย์ดิสคริมิเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ทำให้ไดโอดนำกระแสได้มากหรือน้อยก็คือ สัญญาณ IF ที่ป้อนเข้ามาที่อินพุต ผ่านหม้อแปลงซึ่งประกอบด้วยขดไพรมารี $L_1$ และขดเซคันดารี $L_2$ แรงดันที่ปรากฏคร่อม $L_2$ กับ $L_3$ จะมีเฟสตรงข้ามกัน (ต่างกัน 180 องศา) แรงดันคร่อม $L_2(E_{L2})$ เป็นตัวควบคุมการนำกระแสของไดโอด $D_1$ ส่วนแรงดันคร่อม $L_3(E_{L3})$ เป็นตัวควบคุมการนำกระแสของไดโอด $D_2$ อย่าลืมว่า $E_{L2}$ กับ $E_{L3}$ มีแอมพลิจูดเท่ากันแต่เฟสตรงข้ามกัน

นอกจากนี้สัญญาณ IF ถ่ายทอดผ่านเข้ามาทางด้านเซคันดารีของหม้อแปลงโดยผ่านทาง $C_2$ ต่อกับ $L_4$ อีกด้วย แรงดันที่ปรากฏของ $L_4$ ทำหน้าที่ควบคุมการนำกระแสของไดโอดทั้ง 2 ตัว ( คือ$D_1$ กับ $D_2$) การถ่ายทอดผ่าน $C_2$ มายัง $L_4$ ทำให้แรงดันที่ปรากฏคร่อม $L_4(E_{L4})$ จะมีเฟสต่างจากแรงดัน $E_{L2}$ และ $E_{L3}$ อยู่ 90 องศาในขณะที่สัญญาณ IF อยู่ที่ความถี่กลางกล่าวคือ $E_{L4}$ มีเฟสนำหน้า $E_{L3}$ อยู่ 90 องศา ในขณะที่สัญญาณอยู่ที่ความถี่กลาง แต่ $E_{L4}$ มีเฟสล้าหลัง $E_{L2}$ อยู่ 90 องศา

การนำกระแสของไดโอด $D_1$ จะขึ้นอยู่กับ $E_{L3}$ และ $E_{L2}$ ส่วนการนำกระแสของไดโอด$D_2$ จะขึ้นอยู่กับ $E_{L3}$ และ $E_{L4}$ เนื่องจาก $E_{L2}$ กับ $E_{L3}$ ต่างเฟสกัน 180 องศา และที่ความถี่กลาง $E_{L4}$ จะต่างเฟสกับทั้ง $E_{L2}$ กับ $E_{L3}$ อยู่ 90 องศา ฉะนั้นที่ความถี่กลาง $E_{L4}$ เมื่อรวมกับ $E_{L2}$ จะเท่ากับ $E_{L4}$ รวมกับ $E_{L3}$ ทำให้ไดโอด $D_1$ กับ $D_2$ นำกระแสเท่า ๆ กันเกิดแรงดันหักล้างกันได้เอาท์พุทเป็นศูนย์

ที่ความถี่กลาง วงจรเรโซแนนซ์ (ทางด้านเซคันดารี) จะเป็นเฉพาะตัวต้านทาน (เพราะรีแอกแตนซ์ $X_L$ กับ $X_C$ จะหักล้างกันพอดี) เมื่อความถี่สูงขึ้น $X_L$ จะมากกว่า $X_C$ ฉะนั้นเฟสของ $E_{L2}$ กับ $E_{L3}$ จะเลื่อนไปแต่ทั้งสองก็ยังรักษาเฟสตรงข้ามกัน (180 องศา) อยู่เสมอ $E_{L2}$ จะเลื่อนเฟสเข้าหา $E_{L4}$ และ $E_{L3}$ จะเลื่อนเฟสหนี $E_{L4}$ นั่นคือ $E_{L2}$ กับ $E_{L4}$ จะเสริมกัน แต่ $E_{L3}$ กับ $E_{L4}$ จะหักล้างกันผลก็คือ $D_1$จะนำกระแสมากกว่า $D_2$ เอาท์พุทที่ได้จะมีค่าบวก เมื่อสัญญาณ IF แกว่งไปทางบวก (สูงกว่าความถี่กลาง) ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ที่จูนได้ของชุดบน

ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่เรโซแนนซ์ $X_C$ จะมากกว่า $X_L$ เฟสของ $E_{L2}$ กับ $E_{L3}$ จะเลื่อนไปในลักษณะที่ $E_{L3}$ เสริมกับ $E_{L4}$ ทำให้ $D_2$ นำกระแสมากกว่า $D_1$ ทำให้เกิดเอาท์พุทค่าเป็นลบทุกๆครั้งที่สัญญาณ IF แกว่งไปทางลบ (ต่ำกว่าความถี่กลาง)ทำนองเดียวกับชุดบนแต่จูนให้มีความถี่ต่ำกว่าความถี่กลาง

ถ้าสัญญาณที่มอดูเลตบน IF เป็นโทน (เสียง) มีความถี่ 1000 เฮิรตซ์ สัญญาณ IF จะแกว่งไปมาระหว่างความถี่กลางไปทางบวกและลบด้วยอัตรา 1000 ครั้งต่อวินาที เอาท์พุทจากวงจรดิสคริมิเนเตอร์ จะเกิดเป็นสัญญาณรูปซายน์ซึ่งเป็นค่าบวกและลบด้วยอัตรา 1000 เฮิรตซ์ นั่นคือ วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

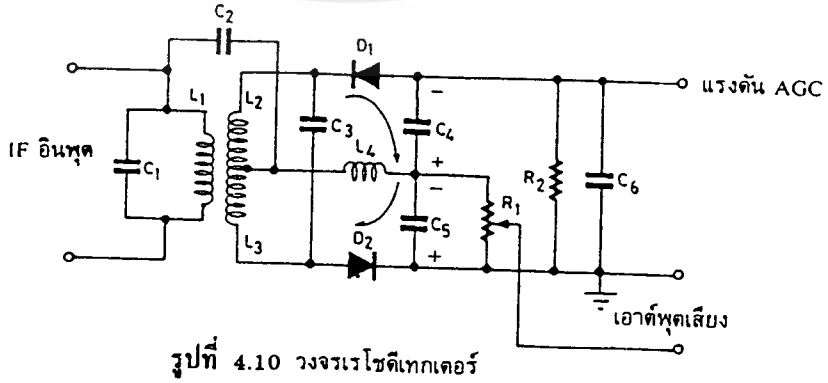
ดิสคริมิเนเตอร์ดีมอดสัญญาณที่มอดูเลตคืนกลับมาได้เหมือนสัญญาณเดิม

ข้อเสียของวงจรฟอสเตอร์-ซีลีย์ดิสคริมิเนเตอร์ก็เหมือนกับวงจรดีมอด FM ที่กล่าวมาในตอนต้นกล่าวคือ มีความไวต่อการเปลี่ยนแอมพลิจูดยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่สัญญาณ FM มีนอยส์ขี่มาบนสัญญาณ นอยส์นี้จะถูกดีเทกและป้อนไปยังเอาท์พุทได้ อย่างไรก็ดีเราสามารถแก้ไขได้โดยการขลิบสัญญาณFM ทางบวกและลบเพื่อรักษาแอมพลิจูดให้สม่ำเสมอ (และกำจัดนอยส์ไปด้วย) คงจำได้ว่าแอมพลิจูดของสัญญาณ FM มีค่าคงที่ ส่วนข่าวสารปะปนอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงความถี่ (หรือเฟส) วงจรที่ทำหน้าที่จำกัดแอมพลิจูด (หรือขลิบ) สัญญาณ FM นี้เรียกว่า วงจรลิมิตเตอร์ (limitter)ดังนั้นก่อนที่สัญญาณ FM (ที่มีความถี่ IF)จะถูกดีมอด จะต้องนำมาผ่านวงจรลิมิตเตอร์เสียก่อน เพื่อกำจัดนอยส์ที่ปนมาในแอมพลิจูดของสัญญาณ FM

## 2.17 เรโชดีเทกเตอร์

วงจรเรโชดีเทกเตอร์ (RATIO DETECTOR) นี้คล้ายคลึงกับวงจรฟอสเตอร์-ซีลีย์ดิสคริมิเนเตอร์มากแตกต่างกันตรงที่ไดโอด $D_1$ ต่อกลับทางกันและเอาท์พุทออกจากกันคนละแห่งกับวงจรฟอสเตอร์-ซีลีย์ ดิสคริมิเนเตอร์ วงจรเรโชดีเทกเตอร์นี้เป็นวงจรที่ได้รับความนิยมมากเพราะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลิมิตเตอร์ (จำกัดแอมพลิจูด) ในตัวด้วย จึงไม่ต้องเพิ่มวงจรลิมิตเตอร์ (ก่อนที่จะดีเทก)แยกต่างหากอีก

การที่ไดโอด $D_1$ ต่อกลับทาง จะทำให้ไดโอดทั้งคู่ต่ออนุกรมคร่อมขดลวดเซคันดารีของหม้อแปลง การนำกระแสของไดโอดทั้งคู่ยังคงขึ้นอยู่กับแรงดันคร่อม $L_2$ กับ $L_3$ และ $L_4$ ที่ความถี่กลาง ไดโอดทั้งคู่จะนำกระแสเท่ากัน แต่ในกรณีนี้แรงดันที่ประจุแก่ $C_4$ และ $C_5$ จะต่ออนุกรม มิให้หักล้างกันดังเช่นวงจรดิสคริมิเนเตอร์




รูปที่ 4.10 วงจรเรโชดีเทกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอให้สังเกต $C_6$ ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุค่าสูง เพื่อให้รักษาแรงดันคร่อม $R_2$ ให้คงที่ (หลังจากที่ป้อนอินพุตแก่วงจรเรโชดีเทกเตอร์แล้วแรงดันที่ประจุให้แก่ $C_6$ จะเป็นสัดส่วนกับค่าระดับความแรงของสัญญาณ FM โดยเฉลี่ย) นอกจากนี้แรงดันคร่อม $C_4$ กับ $C_5$ ก็จะคงที่ด้วย แรงดันนี้จะคงที่ถ้าสัญญาณ FM มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงฉับพลัน (เช่น มีนอยส์) นี่คือเหตุผลที่วงจรเรโชดีเทกเตอร์มีภูมิต้านทานต่อนอยส์ภายในตัวเอง แรงดันคร่อม $C_6$ ยังใช้เป็นแรงไฟ AGC ได้อีกด้วย (เพราะแรงดันคร่อม $C_6$ เป็นสัดส่วนกับความแรงของสัญญาณ)

แรงดันคร่อม $C_5$ รวมกับแรงดันคร่อม $C_4$ จะเท่ากับแรงดันคร่อม $C_6$ ที่ความถี่กลางได้โดยทั้ง $D_1$ และ $D_2$ จะนำกระแสเท่ากัน แรงดันคร่อม C ทั้งคู่จะเท่ากัน แรงดันคร่อม $C_5$ ต่อมาจาก $R_1$ (ซึ่งปรับค่าได้) ใช้เป็นแรงดันเอาท์พุท ซึ่งอาจจะมีไฟ DC ค่าลบปนออกมาด้วย

ไดโอด $D_1$ และ $D_2$ จะนำกระแสมากน้อยสลับกันเมื่อสัญญาณ IF แกว่งไปมาระหว่างความถี่กลาง ผลต่างของการนำกระแสไม่เท่ากัน จะปรากฏเป็นกระแสที่ไหลผ่าน $L_4$ เช่น เมื่อ $D_1$ นำกระแสมากกว่า $D_2$ แรงดันคร่อม $C_4$ จะมากกว่าแรงดันคร่อม $C_5$ แต่เนื่องจากแรงดันผลรวม (เท่ากับแรงดันคร่อม $C_6$) ถูกดึงเอาไว้ให้คงที่ ฉะนั้นแรงดันคร่อม $C_5$ จะต้องลดลง นั่นคือเอาท์พุทจะมีค่าลดลง

เมื่อไดโอด $D_2$ นำกระแสมากกว่า แรงดันคร่อม $C_5$ จะมีค่ามากกว่า ฉะนั้นเอาท์พุทจะมีค่าสูงขึ้น จะเห็นว่าแรงดันเอาท์พุทจะแกว่งไปค่าบวกหรือลบ ตามการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณ IF เช่น เมื่อความถี่ IF สูงขึ้นแรงดันเอาท์พุทจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความถี่ IF ลดลง แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าลดลง ข้อดีของวงจรเรโชดีเทกเตอร์ก็คือ มีการจำกัดแอมพลิจูดไปในตัวและมีแรงดัน AGC ให้ต่อไปใช้ได้เลย ไม่ต้องใช้วงจรพิเศษเพิ่มเติมอีก

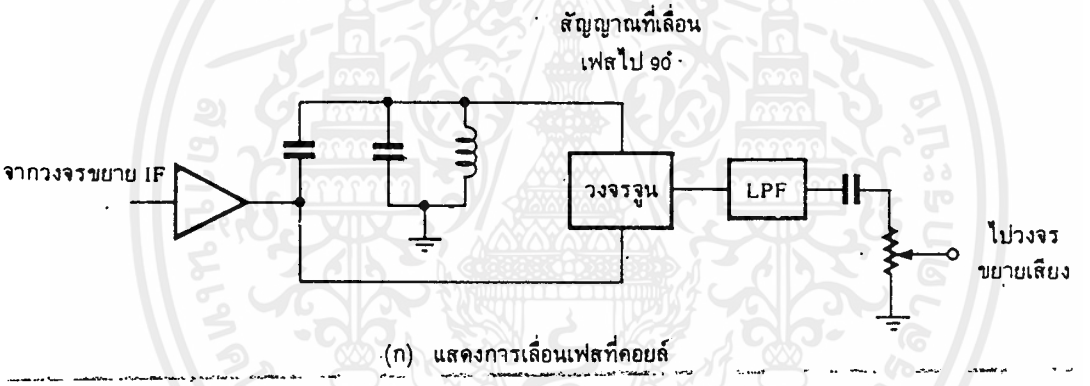
## 2.18 ควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์

วงจรดีเทกเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการคูณสัญญาณ FM กับสัญญาณ FM ตัวเดิมแต่เลื่อนเฟสไป 90 องศา ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณมอดูเลต (สัญญาณเสียง) ดูรูปที่ 4.11 (ก) กระแสที่ไหลในคอยล์จะมีเฟสต่างจากแรงดันคร่อมคอยล์อยู่ 90 องศา กระแสนี้จะป้อนไปให้วงจรเรโซแนนซ์ขนาน Z ซึ่งจูนความถี่ไว้ที่ความถี่กลางของสัญญาณ FM แรงดันคร่อมวงจรเรโซแนนซ์จะมีเฟสเลื่อนไปตามความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไป สัญญาณ FM ที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์จะกลายเป็นสัญญาณ PM หลังจากที่สัญญาณ FM และสัญญาณ FM คูณกัน (ทำงานในช่วงนอนลิเนียร์) ดูรูปที่ 4.11 (ข) ผลลัพธ์จากการคูณจะเป็นสัญญาณความถี่สูงกับสัญญาณความถี่ต่ำ (คือสัญญาณมอดูเลต) สัญญาณแรกจะถูกกรองทิ้งไปโดย ฟิลเตอร์ชนิดโลพาส เอาท์พุทจึงเป็นสัญญาณเสียงตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจริงแล้ววงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ทำหน้าที่เสมือนวงจรเทียบเฟสของสัญญาณ FM สองสัญญาณซึ่งมีเฟสต่างกัน 90 องศา ดูรูปที่ 4.11 (ข)ในที่นี้เราเขียนเป็นพัลส์เพื่อความสะดวกสัญญาณความถี่สูงจะถูกกรองทิ้งไปคงเหลือแต่สัญญาณความถี่ต่ำ (เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในรูปคลื่น 1, 2 และ 3) ซึ่งเป็นสัญญาณเสียง สังเกตว่าค่าเฉลี่ยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่เบี่ยงเบนของพาหะ (เพราะเมื่อสัญญาณ FM มีความถี่ต่ำลง พัลส์เอาท์พุทจะแคบลง ค่าเฉลี่ยจะน้อยลง) นั่นคือค่าเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียง

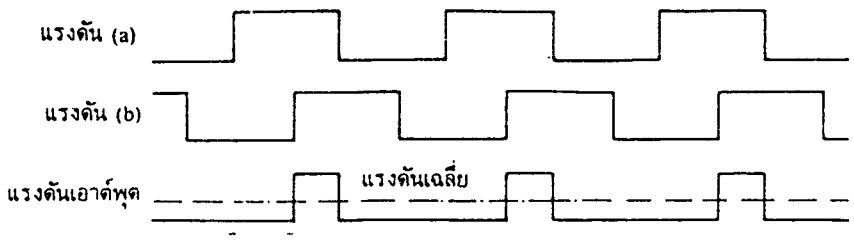
โดยทั่วไปวงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์มักจะทำเป็นไอซี ซึ่งจะรวมวงจรขยาย IF วงจรขยาย/ลิมิตเตอร์ และอื่น ๆ ไว้ด้วยในไอซีตัวเดียว โดยต่อคอยล์ซึ่งเลื่อนเฟสไว้ภายนอก

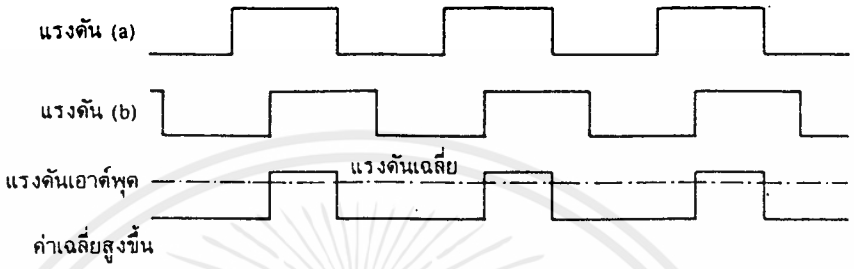


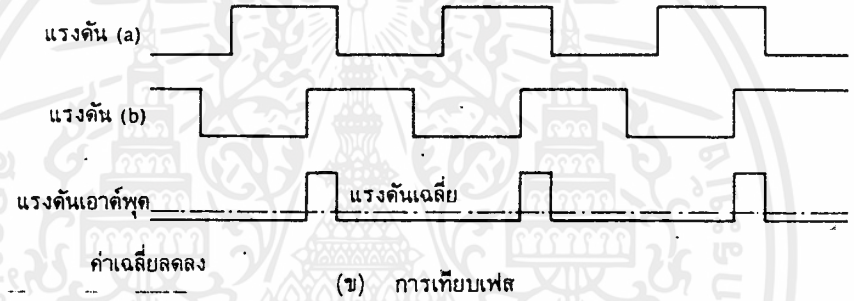

(ก) แสดงการเลื่อนเฟสที่คอยล์

รูปที่ 4.11 วงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์

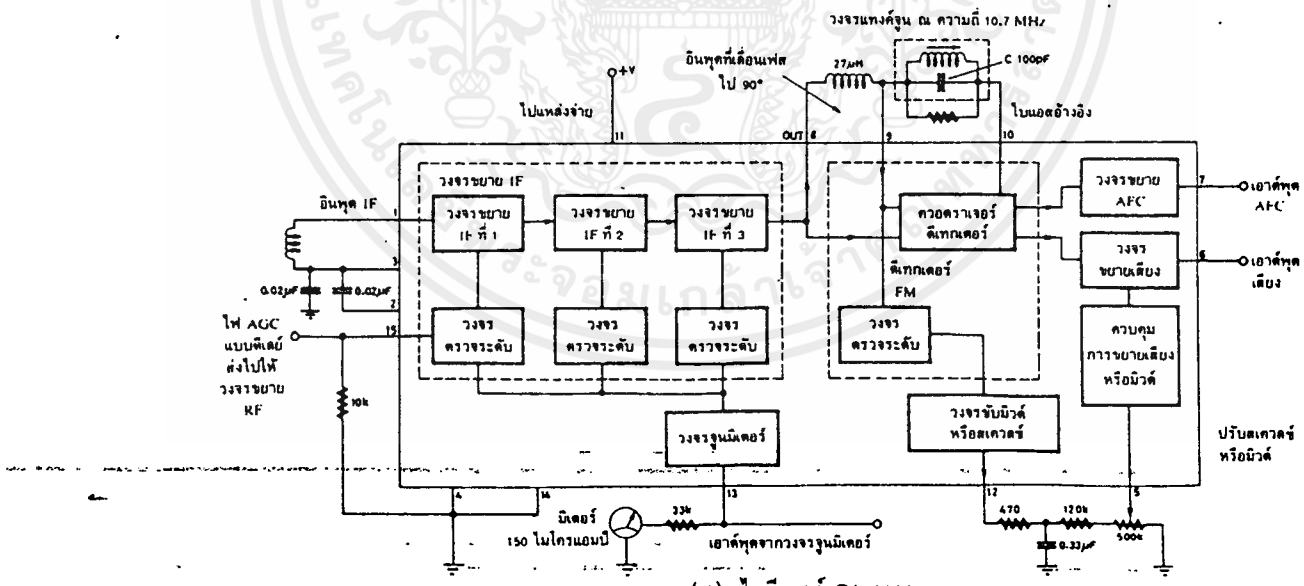
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ข) การเทียบเฟส



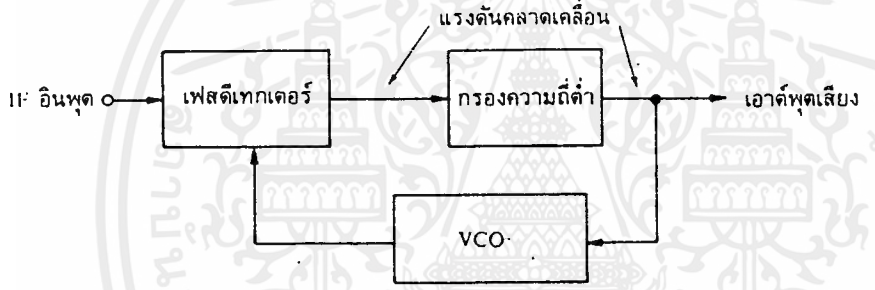

(ค) ไอซีเบอร์ CA 3089

**รูปที่ 4.11 (ต่อ)**

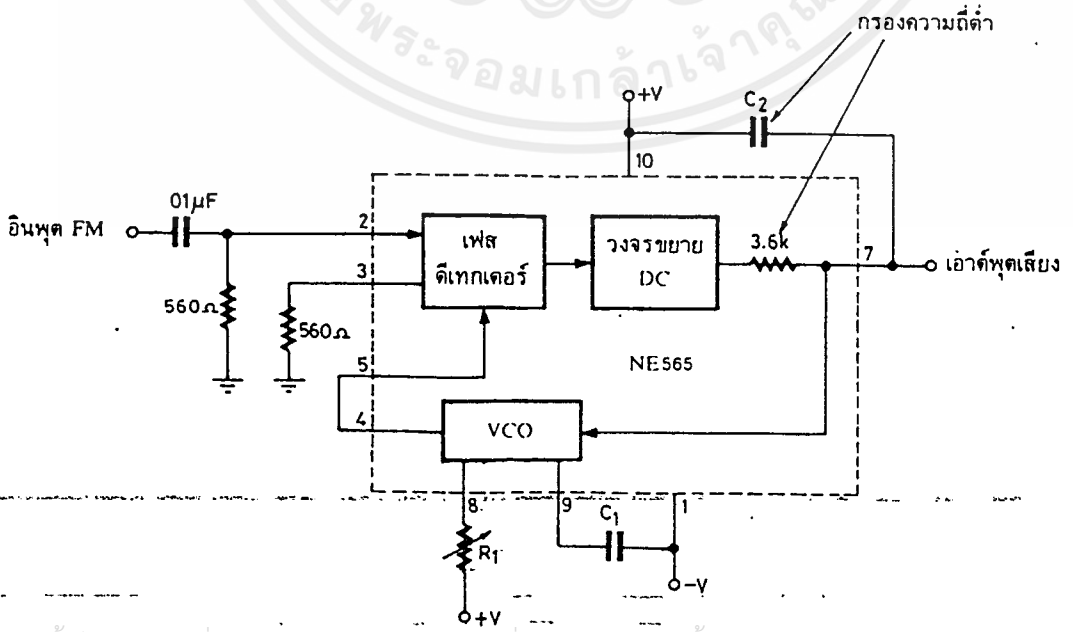
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.19 วงจรดีมอดชนิด PLL

เราสามารถใช้วงจรเฟสล็อกลูป (phase locked loop หรือ PLL) ในการดีมอดสัญญาณ FM ได้ดังรูปที่ 4.12 วงจร PLL นี้มักเป็นไอซีซึ่งใช้งานสะดวกวงจร PLL ประกอบด้วยเฟสดีเทกเตอร์ ฟิลเตอร์ ชนิดโลพาส (ความถี่ต่ำผ่าน) และออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (voltage controlied oscillator หรือ VCO) วงจร VCO นี้จะออสซิลเลตที่ความถี่อินพุต IF วงจรเฟสดีเทกเตอร์จะทำหน้าที่เปรียบเทียบความถี่ของสัญญาณอินพุตกับสัญญาณจาก VCO ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแรงดันที่ความถี่ของ VCO คลาดเคลื่อนไปจากความถี่อินพุตเรียกว่า แรงดันคลาดเคลื่อน (errorvoltage)แรงดันนี้มีค่าเป็นสัดส่วนกับผลต่างของความถี่อินพุตกับ VCO แรงดันนี้จะนำไปกรองโดยฟิลเตอร์ชนิดโลพาสเพื่อกำจัดสัญญาณความถี่สูง ๆ ที่ปะปนทิ้งไป ฟิลเตอร์ดังกล่าวนิยมเรียกว่า ลูปฟิลเตอร์จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของวงจร PLL เช่น ช่วงความถี่ที่ลูปจะล็อก รวมทั้งช่วงเวลาที่ลูปใช้ในการล็อกความถี่กับอินพุต




รูปที่ 4.12 แผนผังของวงจรดีมอดชนิดเฟสล็อกลูป (PLL)




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 เฟสล็อกลูปใช้ IC

แรงดันคลาดเคลื่อนหลังจากกรองความถี่ด้วยโลพาสฟิลเตอร์แล้ว จะนำไปควบคุมความถี่ของ VCO ตัวอย่างเช่น เมื่อความถี่ของอินพุตเปลี่ยนไปทางบวก (สูงขึ้น) แรงดันคลาดเคลื่อนจะเกิดในที่เอาท์พุทของเฟสดีเทกเตอร์ แรงดันนี้จะถูกกรองและนำไปบังคับ VCO ให้ออสซิลเลตที่ความถี่สูงเพิ่มตามความถี่อินพุต เพื่อล็อกความถี่กับอินพุต เมื่อสัญญาณอินพุตที่ป้อนมาเป็นสัญญาณ FM VCO จะพยายามเปลี่ยนความถี่ตามการเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางของสัญญาณ FM ฉะนั้นแรงดันคลาดเคลื่อนก็จะเป็นสัญญาณที่มอดูเลต (หลังจากเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตกับ VCO แล้ว)

ตัวอย่างของไอซีชิกเนติกส์ เบอร์ NE565 ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็น PLL จะเห็นว่า $R_1C_1$ เป็นตัวกำหนดช่วงความถี่ทำงานของ VCO $C_2$ และตัวต้านทานภายใน 3.6 กิโลโอห์ม จะต่อกันเป็นฟิลเตอร์ชนิดโลพาส ข้อแตกต่างของวงจรนี้กับแผนผังที่แสดงในรูปที่ 4.12 ก็คือ ในไอซีจะมีวงจรขยาย DC เพื่อขยายสัญญาณคลาดเคลื่อน (error signal) ให้มากขึ้นก่อนที่จะป้อนไปให้ฟิลเตอร์ ข้อดีของวงจร PLL ก็คือคุณภาพดี ราคาประหยัด ใช้จำนวนอุปกรณ์น้อย นอกจากนี้ไม่ต้องใช้หม้อแปลงและคอยล์จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับจูนแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

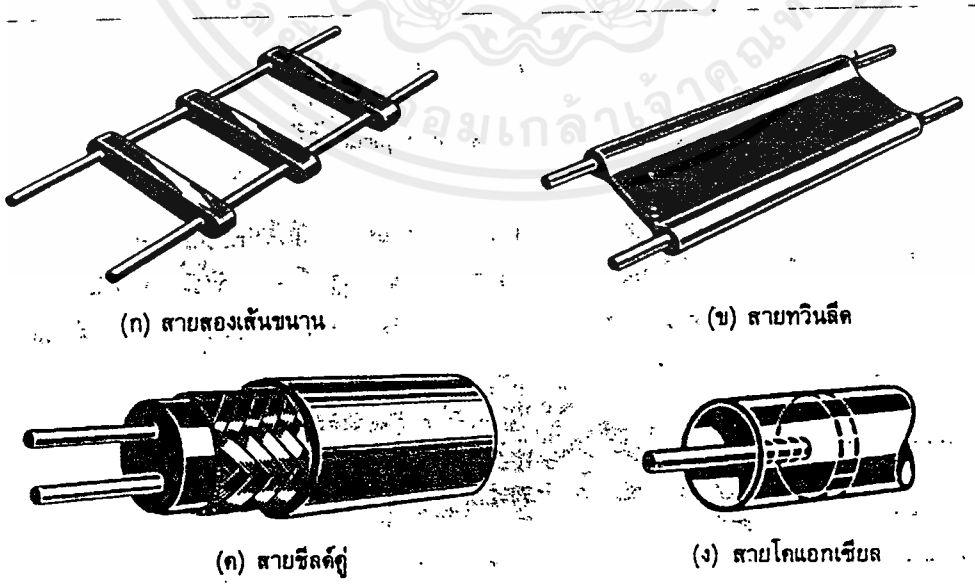
# บทที่ 3 ทฤษฎีสายนำสัญญาณและสายอากาศ

สายอากาศทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นจากเครื่องส่ง ออกสู่บรรยากาศไปในทิศทางของเครื่องรับ สายอากาศมีความสำคัญต่อการติดต่อสื่อสารเป็นอย่างมาก การใช้ระบบสายอากาศที่เหมาะสมจะช่วยให้เราติดต่อสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณสมบัติของสายอากาศที่สำคัญแบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ ประเภทที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับรูปร่างและรูปทรงของสายอากาศ ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นประเภทที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับวงจรที่ทำหน้าที่แมตช์ (match) อิมพีแดนซ์

คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายคลื่นได้แก่ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (radiation pattern) ความกว้างของลำคลื่น (beamwidth) อัตราขยายหรือเกน เป็นต้น ส่วนคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงาน ได้แก่ ความต้านทานจากการแพร่กระจายคลื่น (radiation resistance) VSWR เป็นต้น ซึ่งจะกล่าวโดยรวม ๆ กันไปทั้งสองชนิด พร้อมทั้งยกตัวอย่างสายอากาศที่ควรรู้จัก รวมทั้งอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในระบบสายอากาศด้วย

## 3.1 ชนิดสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณคือ สายตัวนำที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างวงจรอิเลคทรอนิคส์เพื่อให้สัญญาณหรือคลื่นเดินเดินผ่านทางตัวนำนั้น ที่ความถี่สูงเส้นลวดธรรมดาไม่เหมาะสมที่นำมาใช้เป็นสายนำสัญญาณเนื่องจากคุณสมบัติบางอย่างจะเปลี่ยนไปจากเดิมเช่น ส่วนที่ลัดวงจร (ที่ความถี่ต่ำ)กลับกลายเป็นไม่ลัดวงจร (ที่ความถี่สูง) ทำให้สัญญาณหรือคลื่นที่เดินทางไปในสายนำสัญญาณเกิดการสะท้อนกลับ



(ก) สายสองเส้นขนาน (ข) สายทวินลีด

(ค) สายซีลด์คู่ (ง) สายโคแอกเชียล

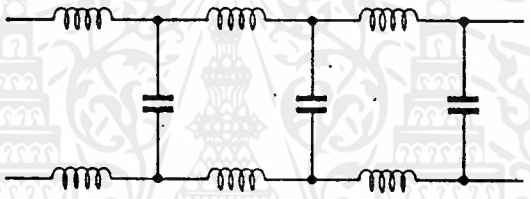
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การเดินทางของคลื่นในสาย

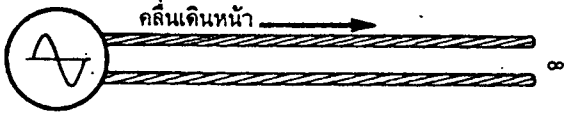
ตัวอย่างของสายนำสัญญาณชนิดสมดุลได้แก่ สายทวินลีด (twin lead) ที่ใช้กับโทรทัศน์ สายนำสัญญาณชนิดนี้เป็นชนิดที่สมดุล เพราะว่ามีกระแส RF ไหลทั้งสองเส้นและทั้งคู่มีเฟสตรงข้ามกัน กระแสจึงสมดุลเมื่อเทียบกับกราวด์

วงจรสมมูล(equivalent circuit) ของสายนำสัญญาณชนิดสมดุลนี้ จะเป็นดังรูปที่ 3.2 ตัวเหนี่ยวนำแทนสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแส RF ที่ไหลในตัวนำ นอกจากนี้กระแสที่ไหลในตัวนำแต่ละเส้นจะมีเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา เกิดแรงดันระหว่างตัวนำปรากฏเป็นสนามไฟฟ้า ซึ่งเราเขียนแทนด้วยตัวเก็บประจุ วงจรสมมูลในรูปที่ 3.2 นั้น เราสมมุติว่าไม่มีการสูญเสียในสายนำสัญญาณ จึงไม่มีความต้านทานของสายตัวนำและความต้านทานสูญเสียของไดอิเลกตริก หรือวัสดุที่ใช้ทำฉนวนหุ้มสาย



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของสายนำสัญญาณชนิดสมดุล

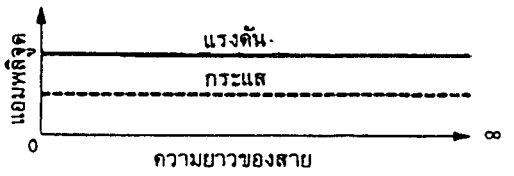
ถ้าเราป้อนสัญญาณ RF ให้สามารถนำคลื่นที่มีความยาวอนันต์ คลื่น(หรือพลังงาน)จะเดินทางไปตามสายด้วยอความเร็วใกกล้เคียงกับความเร็วของแสง ดูรูปที่ 3.3 คลื่นนี้จะทำให้เกิดกระแสไหลไปในสายตัวนำ และเกิดแรงดันคร่อมระหว่างสายตัวนำ ถ้าเราใช้มิเตอร์ RF วัดแรงดันและกระแสในจุดต่าง ๆ บนสายตัวนำ จะพบว่าแอมปลิจูดของกรกระแสและแรงดันมีค่าคงที่สม่ำเสมอโดยตลอด สรุปได้ว่าพลังงาน RF จะก่อให้เกิดกระแสและแรงดันบนสายนำสัญญาณดังรูปที่ 3.3(ข)




(ก)

รูปที่ 3.3 สายนำสัญญาณที่มีความยาวอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ข)

รูปที่ 3.3 (ต่อ)

เนื่องจาก แรงดัน(E) และกระแส(I) มีค่าคงที่สม่ำเสมอตลอดสาย ฉะนั้นอิมพีแดนซ์จะเท่ากันตลอดสายด้วย นั่นคือ สายนำสัญญาณที่มีความยาวอนันต์จะมีค่าอิมพีแดนซ์สม่ำเสมอเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย(characteristic impedance) สายนำสัญญาณทุกชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของ ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของสาย เช่น สายนำสัญญาณแบบสมดุลที่อธิบายในตอนต้น จะมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายเท่ากับ

$$Zo = 276 * \log(d/r)$$

Zo คือ อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายมีหน่วยเป็นโอห์ม

d คือ ระยะห่างระหว่างสายตัวนำทั้งสอง

r คือ ขนาด(รัศมี) ของสายตัวนำ มีกน่สยเดียวกับ d

3.3 คลื่นนิ่ง

เมื่อป้อนกำลังให้แก่สายนำสัญญาณ แรงดันและกระแสที่วัดได้ที่แต่ละจุดบนสายจะมีค่าขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายและกำลังที่ป้อน ถ้าหากโหลด(Zl) เท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย(Zo) หรือ Zl เท่ากับ Zo กำลังสะท้อนจะไม่มี คลื่นกระแสและแรงดันที่ปรากฏบนสายจะเป็นคลื่นที่เดินทางไปที่โหลดหรือคลื่นเดินหน้า แต่ถ้า Zl ไม่เท่ากับ Zo กำลังบางส่วนจะถูกดูดกลืนและบางส่วนจะสะท้อนกลับ ดังนั้นคลื่นกระแสและแรงดันที่ปรากฏบนสายก็จะเป็นผลลัพธ์ของคลื่นเดินหน้า เพราะคลื่นสะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลด คลื่นเดินหน้ากับคลื่นสะท้อนจะเสริมกันกรือหักล้างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเฟสของคลื่นทั้งสอง ผลลัพธ์ของคลื่นทั้งสองจะปรากฏเป็นคลื่นนิ่ง สรุปแล้วคลื่นนิ่งก็คือผลที่เกิดจากคลื่นเดินหน้าและคลื่นสะท้อนผสมกัน เนื่องจากโหลดไม่แมตช์กับอิมพีแดนซ์ประจำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

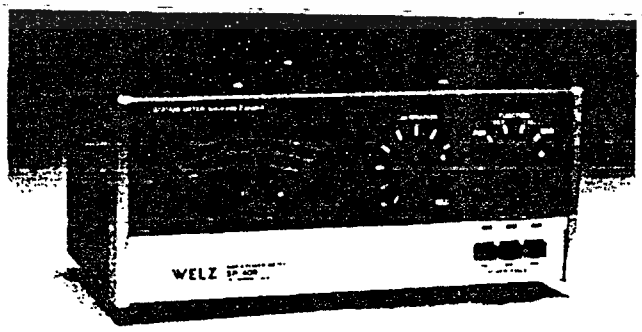
อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง หรือ VSWR (voltage standing wave ratio) อัตราส่วนนี้เป็นค่าวัดปริมาณที่โหลดผิดไปจากสภาวะที่โหลดแมตช์มากน้อยเพียงใด ตัวอย่างเช่น VSWR เท่ากับ 1 หมายความว่าคลื่นสม่ำเสมอตลอดสาย(หรือแรงดันสูงสุดเท่าแรงดันต่ำสุด) ซึ่งเป็นสภาวะแมตช์พอดี และ VSWR เท่ากับ $\infty$ เมื่อโหลดเป็นการเปิดวงจรหรือลัดวงจร ถ้าโหลดที่ต่อมีค่าความต้านทานเท่ากับ Rl และสายนำคลื่นมีอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายเท่ากับ Zo เราสามารถคำนวณ VSWR ได้จากสูตร

VSWR = Zo/Rl หรือ VSWR = Rl/Zo. แล้วแต่ว่าตัวใดมากกว่า

ค่า VSWR จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอ ไม่ว่า Rl และ Zo จะมีค่าเท่าใดก็ตาม. ฉะนั้นถ้า Rl เท่ากับ Zo/2 หรือ Rl เท่ากับ 2Zo ก็จะให้ค่า VSWR เท่ากับ 2 ซึ่งเท่ากันทั้งสองกรณี สรุปก็คือ ค่า VSWR ยิ่งมากขึ้นเท่าใดก็จะทำให้เกิดการไม่แมตช์เกิดขึ้นมากตาม ซึ่งโดยปกติเราจะพยายามให้โหลดแมตช์กับสายนำสัญญาณ นั่นคือ พยายามให้ VSWR เข้าใกล้ 1 (ยกเว้นกรณีของสายที่ใช้เป็นวงจรเรโซแนนซ์)

### 3.5 การวัดค่า VSWR

เครื่องมือที่ใช้วัดค่า VSWR บางครั้งเรียกว่า SWR มิเตอร์ หรือรีเฟลกโตมิเตอร์ (reflectometer) ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งค่าที่วัดได้จะอ่านจากสเกลเป็นค่า VSWR ออกมาเลย วิธีใช้งานแสดงในรูปที่ 3.5 คือให้ SWR มิเตอร์ต่ออนุกรมกับสายนำสัญญาณระหว่างเครื่องส่งกับสายอากาศเริ่มแรกให้ปรับกำลังส่งของเครื่องส่งให้ออกมากที่สุดและปรับเทียบหรือคาลิเบรต(calibrate) โดยปรับความไวของ SWR มิเตอร์ ให้อ่านเต็มสเกลแล้วบิดสวิตช์อ่านค่า VSWR ได้เลย



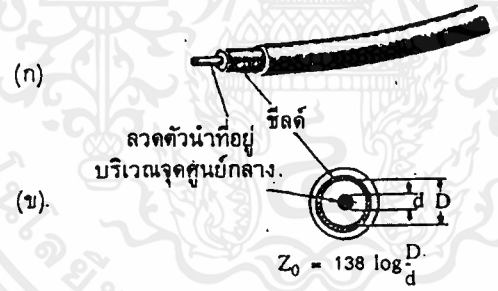

รูปที่ 3.4 มิเตอร์ที่ใช้วัด VSWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 แสดงการต่อ SWR มิเตอร์

### 3.6 สายโคแอกเชียล

สายนำสัญญาณชนิดโคแอกเชียล เป็นสายที่ใช้กันแพร่หลายมาก สายชนิดนี้เป็นสายชนิดที่ไม่สมดุล เนื่องจากเส้นชีลด์ต่อลงกราวด์ไว้ คลื่น RF จะเดินทางไปในเส้นกลางของสายโคแอกเชียล ส่วนชีลด์จะทำหน้าที่ป้องกันมิให้คลื่น RF แพร่ออกนอกสาย ฉะนั้นสายนำสัญญาณชนิดโคแอกเชียลจะมีการสูญเสีย เนื่องจากการแพร่ของคลื่นออกไปนอกสายน้อยมาก สำหรับในกรณีสายนำสัญญาณชนิดสมดุล วิธีการป้องกันการสูญเสียเนื่องจากการแพร่คลื่นจะน้อยก็ต่อเมื่อ กระแสในตัวนำแต่ละเส้นสมดุลและหักล้างกันเพราะมีเฟสต่างกัน 180 องศา




รูปที่ 3.6 สายนำสัญญาณชนิดโคแอกเชียล

รูปที่ 3.6 เป็นการแสดงส่วนประกอบของสายโคแอกเชียล ซึ่งประกอบด้วยเปลือกนอกสายชีลด์ ซึ่งสานเป็นตาข่ายมีไดอิเลกตริกคั่นและห่อหุ้มสายในเส้นกลาง ค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายคำนวณได้จากสูตร

$$Zo = 138 * \log(D/d)$$

Zo คือ อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายมีหน่วยเป็นโอห์ม

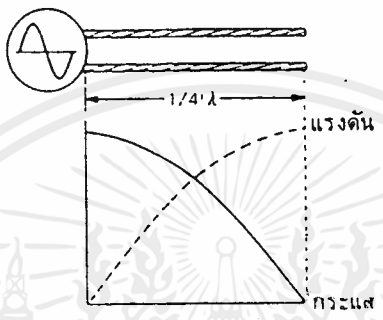
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของชีลด์

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเส้นกลาง มีหน่วยเหมือน D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

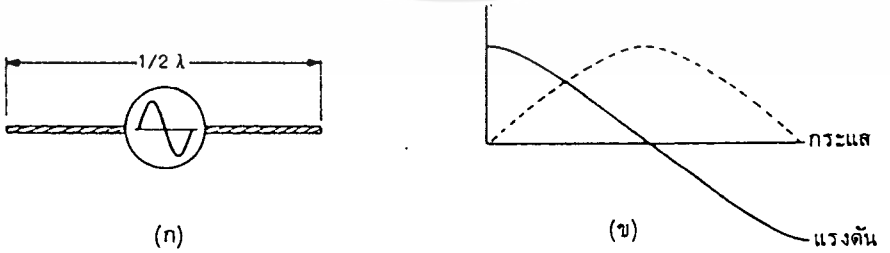
3.7 หลักการของสายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่ง ทำหน้าที่แผ่คลื่นจากเครื่องส่งอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อตันหรือกลวง เป็นเส้นตรงหรือโค้ง แล้วแต่ชนิดของสายอากาศ สายอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถใช้สายอากาศทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน




รูปที่ 3.7 การกระจายแรงดันและกระแสบน
สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ ซึ่งมีโหลดเป็นวงจรเปิด

รูปที่ 3.7 แสดงสายนำสัญญาณชนิดสมดุลความยาว $\lambda/4$ แบบวงจรเปิด จะเห็นว่าคลื่นที่ออกจากเครื่องส่งผสมกับคลื่นสะท้อนได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นนิ่ง ความจริงแล้วพลังงานบางส่วนที่ออกไปยังปลายด้านที่เปิดวงจรจะแหร่กระจายคลื่นออกอากาศไปได้ อย่างไรก็ตามปริมาณคลื่นที่แหร่ออกไปจะน้อย ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรก สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นโหลดของสายนำสัญญาณไม่แมตช์ทำให้พลังงานจ่ายให้โหลด(ส่งออกอากาศ) ได้น้อย ประการที่สอง สายทั้ง 2 เส้นอยู่ใกล้กันมากและต่างเฟสกัน 180 องศา คลื่นที่แผ่ออกไปส่วนใหญ่จะหักล้างกันเอง




รูปที่ 3.8 ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

ถ้าเราถ่างปลายสายนำสัญญาณให้ห่างออกเป็น 2 เส้น การแหร่คลื่นทั้งคู่จะมีโอกาสหักล้างกันได้น้อยลง และนอกจากนี้ พลังงานที่จ่ายให้โหลด(ส่งออกอากาศ)จะได้มากขึ้น การแหร่คลื่นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นเต็มที่เมื่อปลายสายอยู่ในแนวเดียวกัน ตามรูปที่ 3.8(ก) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระจายออกไปรอบ ๆ ทำให้การแพร่คลื่นออกได้เต็มที่ สายอากาศชนิดนี้เรียกว่า ไดโพล ความยาวของสายแต่ละข้างเท่ากับ $\lambda/4$ และความยาวรวมเท่ากับ $\lambda/2$ ไดโพลชนิดนี้จึงเรียกว่า ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (half-wave dipole)

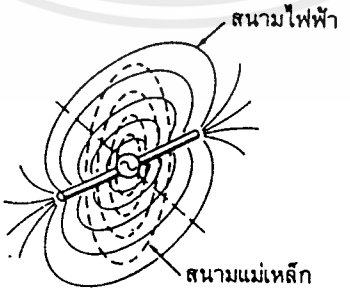
รูปคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแสบนสายอากาศไดโพลจะเป็นดังรูปที่ 3.8(ข) สังเกตว่าปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจร แรงดันจึงมากที่สุด และมีกระแสไหลน้อยที่สุด จุดกลางของสายอากาศเรียกว่า จุดฟีด(feed point) จะมีกระแสไหลมากที่สุด และแรงดันต่ำสุด

## 3.8 การแพร่คลื่นของสายอากาศ

เนื่องจากที่ปลายสายอากาศไดโพลทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง สนามไฟฟ้านี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ แต่สนามไฟฟ้าที่นี้ ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุ แต่กระจายออกสู่อากาศ ดังรูปที่ 2.9

เมื่อคลื่นเดินทางยิ่งห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมปลิจูดของคลื่น (หรือสนาม) แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งนิยมวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนเส้นลวด(สายอากาศ) เราเรียกค่าที่วัดได้นี้ว่า ความแรงสนาม(field strength)

ความแรงของสนามจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องส่งและกำลังส่งของเครื่องส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง เช่น เมื่อระทางไกลออกไป 2 เท่า ความแรงของสัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกันถ้ากำลังส่งของเครื่องส่งมากขึ้น ความแรงสนามก็จะแรงขึ้นด้วย โดยที่ความแรงของสนามจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของกำลังที่เครื่องส่ง นั่นคือ ถ้ากำลังส่งเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ความแรงของสนามจะเพิ่มขึ้น $\sqrt{2}$ เท่า หรือ 1.414 เท่า

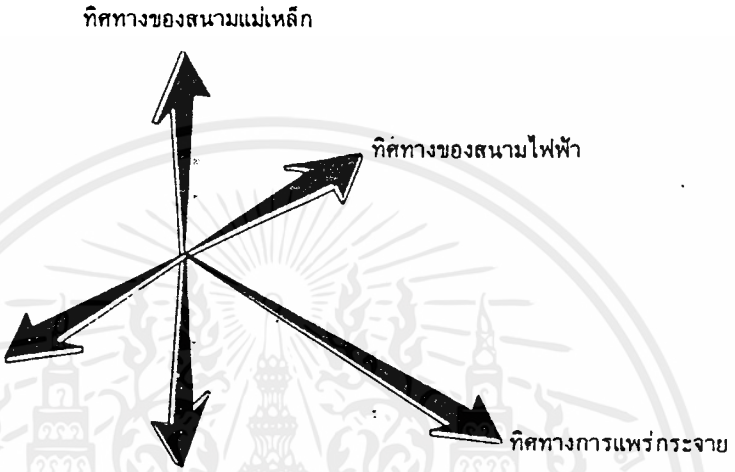



รูปที่ 3.9 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
ที่ปรากฏรอบไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 โพลาไรเซชั่น

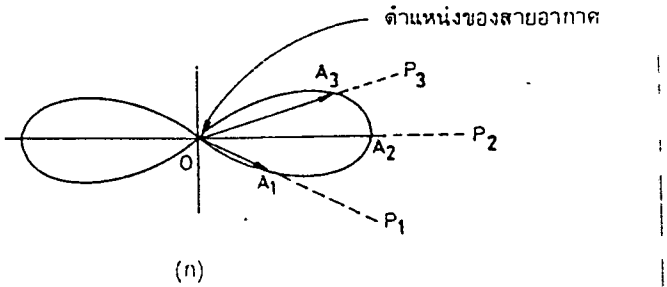
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทั้งคู่ก็จะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตามรูปที่ 3.10 สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เราเรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวราบ(ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวดิ่งเราเรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวดิ่ง) ทิศทางของสนามไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดทิศทางโพลาไรเซชั่น




รูปที่ 3.10 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

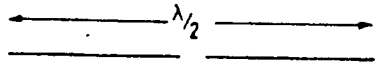
### 3.10 รูปแบบการแพร่คลื่น

รูปแบบการแพร่คลื่น เป็นการเขียนไดอะแกรมเพื่อแสดงความสามารถในการส่ง(หรือรับ)สัญญาณของสายอากาศในทิศทางต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศมีความสามารถในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน จากรูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบและบนระนาบแนวดิ่งของสายอากาศมาร์โคนี(Marconi antenna) โดยที่ตำแหน่งของสายอากาศอยู่ ณ จุด O ในรูปที่ 3.11(ก)และรูปที่ 3.11(ค) ระยะความยาวของลูกศร OA แสดงความแรงของคลื่นที่แพร่ออกมา(หรือรับได้)จากสายอากาศในทิศทาง OP1

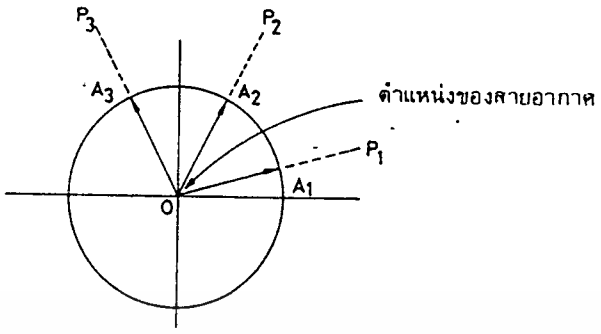



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ข)

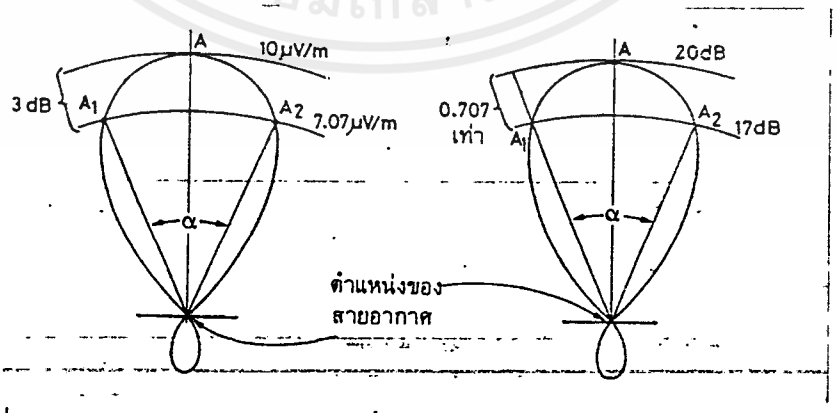



(ค)

รูปที่ 3.11 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศมาร์โคนี
โดย(รูป ก) มองบนระนาบแนวราบและ(รูป ค)มองบนระนาบแนวดิ่ง

## 3.11 บีมวิดท์

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ก็มีรูปแบบการแพร่คลื่นต่าง ๆ กัน วิธีหนึ่งที่เราจะเปรียบเทียบรูปแบบของการแพร่คลื่นก็คือ ดูจากลักษณะของรูปแบบว่าทิศทางการแพร่คลื่นทุก ๆ จุดความกว้างของลำคลื่นหรือบีมวิดท์ เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น โดยคิดจากมุมของลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงที่สุด ในรูปที่ 3.12 แสดงการวัดความกว้างของลำคลื่น โดยเราจะพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่แรงที่สุด คือ OA แล้วอ่านค่าความกว้างของมุมระหว่างแนว OA1 และ OA2 ซึ่งมีความยาวลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ OA หรือ OA1 และ OA2 สั้นกว่า OA อยู่ 3 เดซิเบล นั่นคือความกว้างลำคลื่นเท่ากับ $\alpha$




รูปที่ 3.12 การวัดความกว้างลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่นค่า dB หรือ $\mu V/m$ บนรูปแบบการแผ่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติเพื่อแสดงการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.12 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราการขยายของสายอากาศเป็นการเปรียบเทียบเอาต์พุตของสายอากาศ(ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง)เทียบกับเอาต์พุตของสายอากาศอ้างอิง(reference antenna) ปกติเรานิยมใช้สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟเป็นสายอากาศอ้างอิง เช่น สมมติว่าสายอากาศต้นหนึ่งมีอัตราขยาย 10 เดซิเบล(หรือ 10 เท่า) หมายความว่า สายอากาศนั้นส่งคลื่นออกไปแรงกว่าสายอากาศอ้างอิงอยู่ 10 เดซิเบล(หรือ 10 เท่า)

### 3.13 ความต้านทานการแพร่คลื่น

การป้อนกำลังคลื่นวิทยุให้แก่สายอากาศเพื่อส่งออกอากาศนั้น เราต้องทำการป้อนผ่านสายนำสัญญาณ ดังที่ทราบมาแล้วว่าค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายนำสัญญาณจะต้องเท่ากับความต้านทานของโหลด(ในที่นี้คือสายอากาศ) มิฉะนั้นจะเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ(มีคลื่นสะท้อนกลับ)

ความต้านทานของสายอากาศในที่นี้ ไม่สามารถหาได้โดยการใช้โอห์มมิเตอร์วัดคร่อมขั้วต่อของสายอากาศ เนื่องจากโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในทาง DC (เป็นค่าทางงกระแสตรง) ส่วนค่าความต้านทานของสายอากาศในที่นี้เป็นค่าความต้านทานในการแพร่คลื่น

### 3.14 สายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ความยาวของสายเท่ากับ $\lambda/2$ ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งเราคำนวณความยาวได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\lambda = 3*10^{8} / f$$

$\lambda$ คือ ความยาวคลื่นหน่วยเป็นเมตร

f คือ ความถี่ใช้งานมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

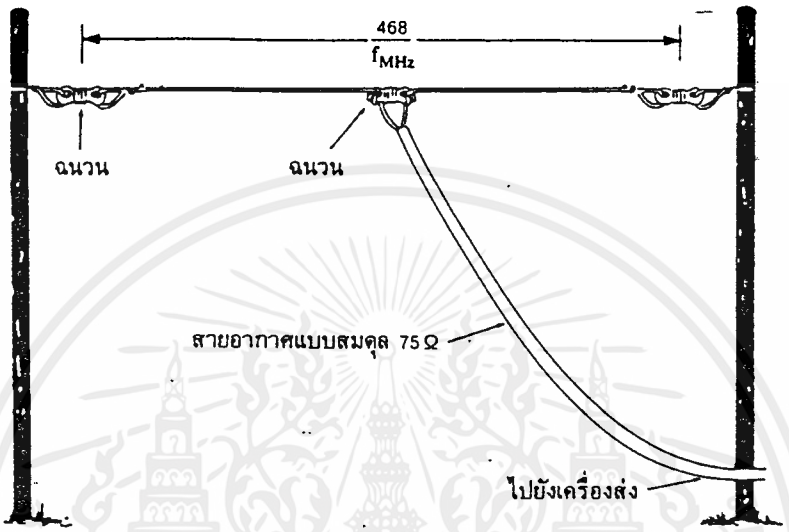
สูตรนี้ใช้คำนวณในกรณีที่คลื่นเดินทางในอากาศ(free space) หรือในกรณีที่คลื่นเดินทางในเส้นลวดสายอากาศ ปลายของเส้นลวดเสมือนมีความยาวทางไฟฟ้ามากกว่าปกติ(ทั้งนี้เนื่องจากเสมือนมีตัวเก็บประจุต่อที่ปลายสาย) สูตรคำนวณความยาวสายอากาศจึงต้องแก้ไขเล็กน้อยเป็น

ความยาว $\lambda/2 = 142.5 / f_{MHz}$ มีหน่วยเป็นเมตร หรือ

ความยาว $\lambda/2 = 468 / f_{MHz}$ มีหน่วยเป็นฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการติดตั้งสายอากาศไดโพล สังเกตว่าจุดฟีดจะอยู่บริเวณตรงกลาง ในที่นี้ใช้สายนำสัญญาณแบบสมดุล 75 โอห์ม เพื่อให้เกิดการแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลชนิดคริ่งคลื่น 75 โอห์ม

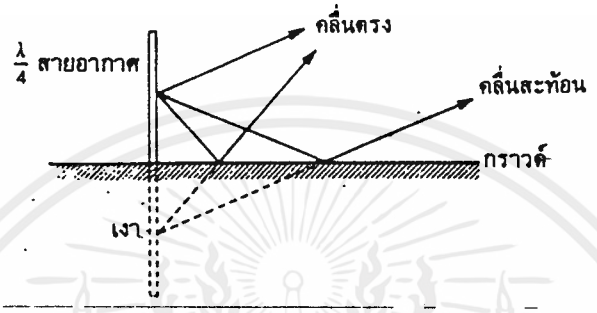



รูปที่ 3.13 การติดตั้งสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

3.15 สายอากาศแนวดิ่ง

ในกรณีที่ต้องการให้คลื่นมีโพลาไรเซชั่นในแนวดิ่ง เราต้องใช้สายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่ง อย่างไรก็ตามการใช้งานที่ความถี่ต่ำ สายอากาศจะมีความยาวจนทำให้การติดตั้งลำบาก การจัดให้วางตัวในแนวดิ่งจะยุ่งยากขึ้น เช่น ที่ความถี่ 3.5 เมกะเฮิรตซ์ สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟจะยาวถึง 41 เมตร และที่ความถี่ 1.8 เมกะเฮิรตซ์ จะยาวเป็น 79 เมตร การติดตั้งจึงทำได้ลำบาก เพราะต้องยกสายอากาศให้ลอยสูงจากพื้นดินมาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเราวางเส้นลวด(สายอากาศ)ที่มีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ (วางในแนวดิ่ง) บนระนาบตัวนำเพื่อทำหน้าที่เป็นกราวด์ (perfect ground) ผลลัพธ์ที่ได้จะเสมือนกับใช้สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟวางตัวในแนวดิ่ง ทั้งนี้ก็เพราะว่าระนาบกราวด์ดังกล่าวเปรียบเสมือนกระจกที่ทำให้เกิดเป็นลวดสายอากาศอีกเส้นหนึ่งยาวเท่ากับ $\lambda/4$ รวมความยาวทั้ง 2 ข้างเป็น $\lambda/2$ ดูรูปที่ 3.14 แรงดันและกระแสจะแพร่กระจายบนลวดตัวนำในลักษณะเดียวกับสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ สายอากาศแนวดิ่งดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.14 สายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ ($\lambda/4$)

จะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อพื้นกราวด์เป็นตัวนำ ถ้าหากเราติดตั้งสายอากาศในแนวดิ่งบนพื้นดินที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ไม่ดี เราอาจจะต้องสร้างพื้นกราวด์พิเศษเพิ่มขึ้นอีก โดยการต่อเส้นลวดทองแดงออกจากฐานของสายอากาศไปรอบทิศทาง(อย่างน้อย 4 ทิศทาง) ให้สมมาตรกัน เส้นลวด(radial)นี้จะทำหน้าที่เป็นเสมือนกราวด์ให้แก่สายอากาศ

### 3.16 การต่อสายอากาศเป็นแผงแอเรย์

ในบางครั้ง เราจำเป็นต้องจำกัดทิศทางการแพร่คลื่นของสายอากาศให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการทั้งนี้เพื่อมิให้รบกวนไปยังสถานีอื่นหรือถูกรบกวนจากสถานีอื่นได้ง่าย วิธีการกำจัดคลื่นให้แพร่ไปในทิศทางที่ต้องการนี้ เป็นการประหยัดกำลังงานเพราะไม่ต้องสิ้นเปลืองกำลังเพื่อส่งคลื่นไปยังบริเวณที่ไม่มีเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

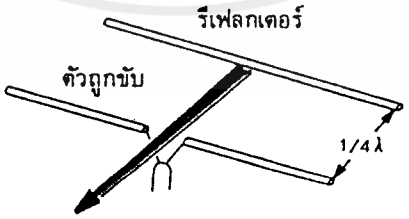
รูปแบบของการแพร่คลื่นไปในทิศทางเดียว เราเรียกว่าบีมทางเดียว(unidirectional) ส่วนรูปแบบการแพร่คลื่นออกไป 2 ทางเหมือนกับไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ เราเรียกว่า บีมสองทาง (bidirectional) และการแพร่คลื่นออกไปรอบตัวแบบเดียวกับสายอากาศแนวดิ่ง เราเรียกว่ารอบตัว

ระบบสายอากาศที่มีบีมวิดท์แคบ ส่วนใหญ่จะมีเกนสูง เนื่องจากกำลังของคลื่นวิทยุอัดกันอยู่ในบีมแคบ ๆ ความแรงสัญญาณในแนวของบีมจึงมากกว่าเมื่อเทียบความแรงกับสัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศรอบตัว ดังนั้นกำลังที่ส่งออกจากเครื่องส่งจึงเสมือนกับว่ามีกำลังแรงขึ้นเท่ากับอัตราขยายของสายอากาศ อัตราขยายของสายอากาศคิดจากอัตราส่วนของกำลังที่ใช้ในการกระทำให้เกิดความแรงสัญญาณ ณ จุด ๆ หนึ่ง โดยใช้สายอากาศมาตรฐานกับกำลังที่ใช้ในการกระทำให้เกิดแรงสัญญาณ ณ จุดนั้น ๆ สายอากาศที่นิยมยึดถือเป็นมาตรฐานอ้างอิงก็คือสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

ถ้าเรานำสายอากาศหลาย ๆ ชุดมาต่อเรียงแถวเป็นแผง เรียกว่าเป็นแอเรย์ ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของสายอากาศมากขึ้น และสามารถควบคุมทิศทางการแพร่คลื่นได้

### 3.17 พาราซิติกแอเรย์

สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวมันได้ เรียกว่า ตัวพาราซิติก(parasitic element) ดังในรูปที่ 3.15 ตัวพาราซิติกวางห่างจากไดโพลเป็นระยะเท่ากับ $\lambda/4$ ไดโพลนี้เรียกว่า ตัวถูกขับ(driven element) ทั้งตัวพาราซิติกกับตัวถูกขับ มีความยาวเท่ากับ $\lambda/2$ จึงเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน รูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ(ไดโพล) จะเป็นแบบบีม 2 ทาง ออกทางด้านข้างของสายอากาศ สายอากาศที่ใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติกเราเรียกว่า พาราซิติกแอเรย์




ทิศทางการแพร่คลื่นได้มาก

รูปที่ 3.15 สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ(ใช้เป็นตัวถูกขับ)
ต่อเรียงกับพาราซิติกแอเรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการเดินของคลื่นเข้าสู่สายอากาศ สมมติว่าเข้ามาในทิศทางที่ถึงตัวไดโพลก่อน จะเห็นว่าคลื่นเดินทางถึงตัวพาราซิติกเป็นระยะทางแตกต่างเลยจากตัวถูกขับอยู่ $\lambda/4$ ฉะนั้นกว่าที่จะถึงตัวพาราซิติก เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 90 องศา พอคลื่นไปถึงตัวพาราซิติก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสบนตัวนำพาราซิติก ซึ่งมีเฟสกลับทางไปอีก 180 องศา กระแสที่ไหลในตัวพาราซิติกจะแพร่คลื่นออกมา คลื่นส่วนหนึ่งจะแพร่กลับมาทางตัวถูกขับซึ่งต้องเดินทางเป็นระยะทาง $\lambda/4$ อีก เฟสจะเลื่อนไปอีก 90 องศา รวมทั้งสิ้นเฟสจะเลื่อนไป 90+180+90 เท่ากับ 360 องศา คลื่นที่แพร่จากตัวพาราซิติกจึงเสริมกับคลื่นที่เดินทางมาทางด้านไดโพล ฉะนั้นการแพร่คลื่นในทิศทางที่เข้ามาทางตัวไดโพลจะดีที่สุด ทิศทางนี้เป็นด้านหน้าของสายอากาศ ตัวพาราซิติกในที่นี้ทำงานเหมือนตัวสะท้อนคลื่น จึงเรียกว่า รีเฟลกเตอร์(reflector)

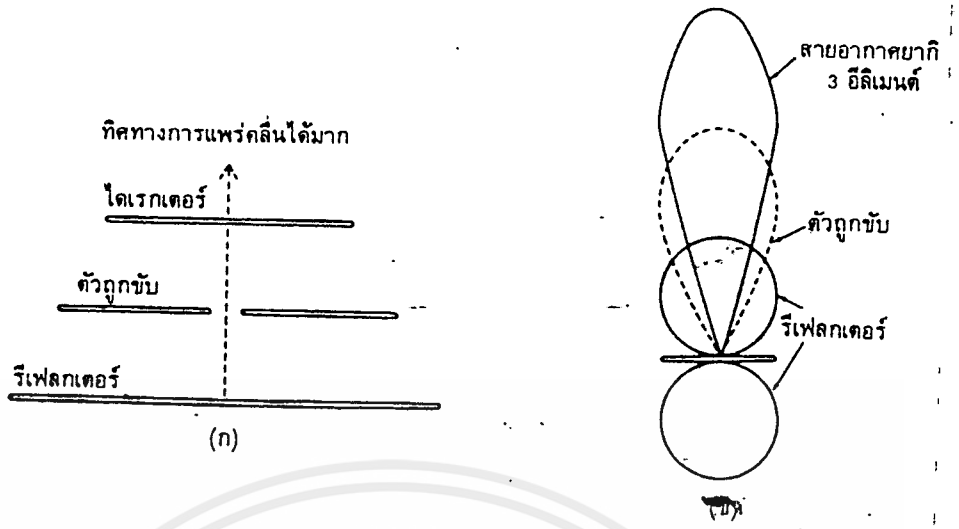
สำหรับทิศทางด้านหลังของเสาอากาศ คลื่นจะถึงตัวรีเฟลกเตอร์ก่อนถึงตัวไดโพล(ถูกขับ) ทำให้เฟสต่างกันอยู่ 90 องศา แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำบนรีเฟลกเตอร์แพร่ไปทางไดโพลจะมีการกลับเฟส 180 องศา และเฟสล้าหลังเนื่องจากการเดินทางไปทางไดโพลอีก 90 องศา รวมแล้วเฟสของคลื่นที่เดินทางไปถึงตัวไดโพลกับคลื่นที่แพร่จากตัวรีเฟลกเตอร์จะต่างกันอยู่ -90+180+90 เท่ากับ 180 องศา ทำให้เกิดการหักล้างกัน ฉะนั้นการแพร่คลื่นที่ทิศทางด้านหลังจะได้น้อยที่สุด

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติก จะขึ้นอยู่กับปริมาณและเฟสของกระแสที่ไหลในตัวพาราซิติก ซึ่งกระแสได้รับการเหนี่ยวนำจากคลื่นที่มากระทบตัวพาราซิติกนั้น โดยจะขึ้นกับความยาวของตัวพาราซิติกและระยะห่างจากตัวถูกขับ โดยปกติแล้วการวัดระยะห่างของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะอยู่ห่างจากตัวถูกขับอยู่ในช่วง $0.18\lambda$ ถึง $0.2\lambda$ ส่วนความยาวของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะยาวกว่า $\lambda/2$ อีกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

ตัวพาราซิติกอีกแบบหนึ่งซึ่งวางอยู่ทางด้านหน้าของสายอากาศ ทำงานคล้าย ๆ กับตัวรีเฟลกเตอร์ เรียกว่า ไดเรกเตอร์(director) ความยาวของไดเรกเตอร์จะสั้นกว่า $\lambda/2$ ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และความยาวของไดเรกเตอร์จะอยู่ห่างจากตัวถูกขับประมาณ $0.1\lambda$

รูปที่ 3.16 เป็นสายอากาศยากิ(Yagi)แบบ 3 อีลีเมนต์ ซึ่งประกอบด้วยตัวถูกขับและตัวพาราซิติกอีก 2 ตัว คือ ไดเรกเตอร์กับรีเฟลกเตอร์ ส่วนในรูปที่ 3.16(ข) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ(ไดโพล)อย่างเดียว และการเสริมของรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวรีเฟลกเตอร์กับไดเรกเตอร์ ทำให้รูปแบบโดยรวมเป็นลักษณะบีมทางเดียวและบีมวิดท์แคบลงหรืออัตราการขยายสูงขึ้น เราสามารถใช้ตัวพาราซิติกจำนวนมากขึ้น เพื่อให้อัตราการขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

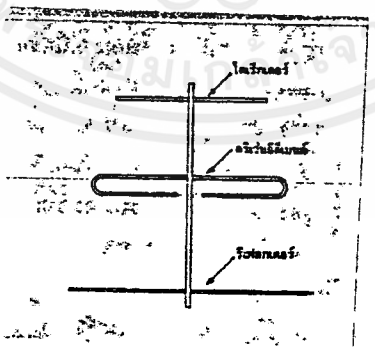



รูปที่ 3.16 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยากิแบบ 3 อีลิเมนต์

3.18 สายอากาศยากิ

สายอากาศยากิ เป็นสายอากาศทิศทางอย่างหนึ่งที่ได้รับความนิยม ใช้งานมานานตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สองและได้รับความนิยมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

ลักษณะโดยทั่วไปของสายอากาศยากิ จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ไดเรกเตอร์ ดริเวนอีลิเมนต์หรือตัวถูกขับ และรีเฟลกเตอร์ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ลักษณะทั่วไปของสายอากาศยากิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4 หลักการของโปรเจค

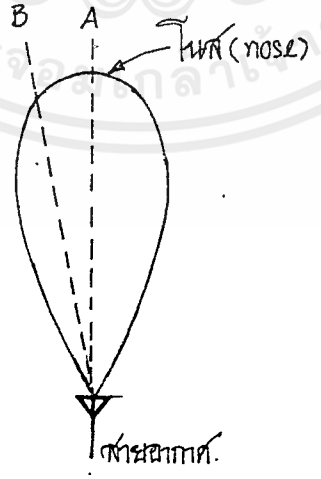
ในการอธิบายหลักการของโปรเจคชิ้นนี้จะขอแบ่งเป็นหัวข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 สายอากาศกับโปรเจค

ในการทำโปรเจคชิ้นนี้ได้เลือกเอาสายอากาศยากิมาใช้ เนื่องจากสายอากาศยากิเป็นสายอากาศเป็นสายอากาศทิศทางแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำหาง่าย ราคาถูก อัตราการขยายดีพอสมควร การปรับแต่งง่ายไม่ยุ่งยาก ค่า SWR อยู่ในเกณฑ์ดีคือ 1.1:1 ถึง 1.2:1 (ความถี่ตั้งแต่ 144-145 MHz) ใช้การแมตชิ่งแบบอาล์ฟเวฟบาลันผสมกับแอร์ลีน และต่ออีลีเมนต์ทุกตัวลงบูม ยกเว้นตัวดริเวนอีลีเมนต์(มีการคำนวณเผื่อความยาวของอีลีเมนต์ในกรณีที่สัมผัสกับบูมมาแล้ว)

หลักการที่ใช้หาทิศทาง

ในการหาทิศทางของตัวส่งสัญญาณขออธิบายดังนี้ จากรูปที่ 4.1 เมื่อมีสัญญาณส่งมาในทิศทาง A สายอากาศจะรับสัญญาณได้แรงกว่าสัญญาณที่ส่งมาในทิศทาง B ซึ่งในการทำโปรเจคชิ้นนี้เราสมมติว่าตัวส่งสัญญาณอยู่กับที่ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ในการตรวจหาทิศทางเราจะใช้สายอากาศหมุนหาทิศทางที่รับสัญญาณได้แรงที่สุด และสามารถสรุปได้ทันทีว่าทิศทางที่มีสัญญาณแรงที่สุดเป็นทิศทางที่ตัวส่งสัญญาณอยู่ แต่จากการอธิบายมานี้ยังมีปัญหาที่จะทำให้หาทิศทางได้ยากอยู่ตรงที่ การทำให้บีมวิดท์แคบทำได้ยากและโนสของบีมก็ไม่มีความแหลมพอ จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าถ้าสัญญาณส่งมาในทิศทางที่ใกล้ ๆ กับทิศทาง A ความแรงของสัญญาณก็จะมีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณในทิศทาง A

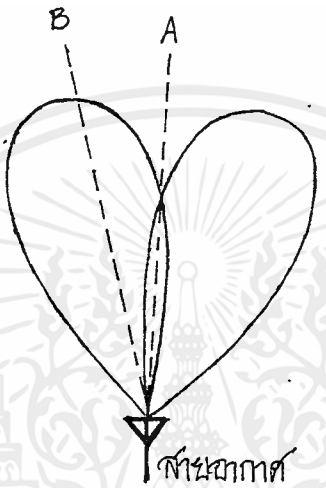



รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแก้ปัญหาตรงนี้ได้ใช้วิธีนัล(null) อธิบายได้ดังรูปที่ 4.2 คือถ้ามีสัญญาณส่งมาในทิศทาง A ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าต่ำที่สุด แต่ถ้าสัญญาณถูกส่งมาในทิศทาง B ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่ามากกว่าสัญญาณที่ส่งมาในทิศทาง A มาก ซึ่งเราจะสรุปทิศทางได้ง่ายกว่าข้างต้น โดยสรุปว่าทิศทางของตัวส่งสัญญาณคือทิศทางที่รับความแรงของสัญญาณได้ต่ำที่สุด

ในการทำโปรเจคชิ้นนี้จะใช้ทั้งสองวิธีเพื่อที่จะนำข้อมูลจากทั้งสองวิธีไปประมวลผล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ค่อนข้างถูกต้องมากที่สุด




รูปที่ 4.2

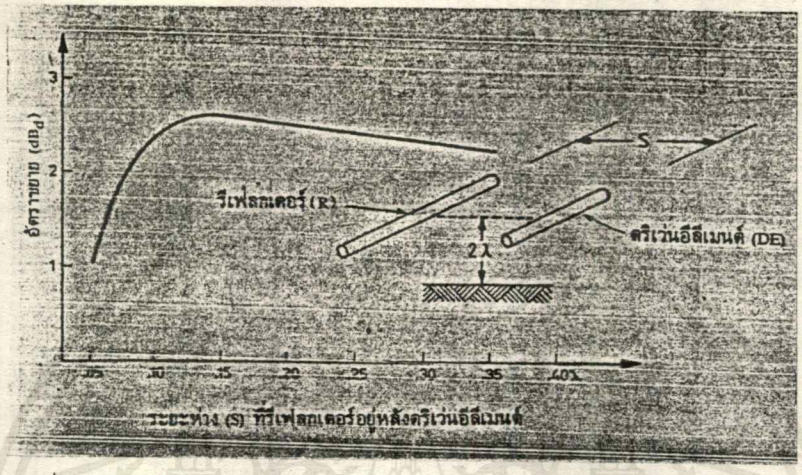
ผลการศึกษาของ NBS

สำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ(National Bureau of Standard หรือ NBS)ของอเมริกาได้ทำการวิจัยเอาไว้ เพื่อให้ได้รัยยะและขนาดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศยากินั้น ซึ่งเป็นผลงานเก่าแก่ที่น่าสนใจอันหนึ่งในบรรดาผลการวิจัยทั้งหลาย สรุปเป็นประเด็นที่สำคัญและควรรู้ดังต่อไปนี้

1 *รีเฟลกเตอร์* วิศวกรของ NBS เริ่มต้นศึกษาจากยากิ 2 อีลีเมนต์ก่อน ว่ารัยยะและความยาวของรีเฟลกเตอร์ควรเป็นเท่าใดจึงจะให้อัตราขยายสูงสุด จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 พบว่าได้อัตราขยายสูงสุดเป็น 2.6 dBd เมื่อรีเฟลกเตอร์อยู่หลังดริเวนอีลีเมนต์ 0.2 $\lambda$ แต่ถ้าต่างจาก 0.2$\lambda$ ไปบ้างก็ไม่ทำให้อัตราขยายลดลงไปมากนัก หลังจากนั้นยังได้พยายามลองรีเฟลกเตอร์อีกหลาย ๆ รูป พบว่าเมื่อเพิ่มรีเฟลกเตอร์อีก 2 อัน(รวมเป็น 3 อัน) แล้วจัดเป็นรูปสามเหลี่ยมอย่างที่เรียกว่า trigonal reflector จะได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นอีก 0.75 dB เมื่อทดสอบกับสายอากาศยากิที่ยาว 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 *ไดเรกเตอร์* จากการทดลองพบว่าทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว และระยะห่างของไดเรกเตอริต่างมีผลกระทบถึงกันหมด นอกจากนั้นยังพบว่ายิ่งใช้จำนวนไดเรกเตอร์มากขึ้น (โดยใช้ความยาวบูมเพิ่มขึ้น) ค่าเหล่านั้นก็ยิ่งวิกฤตมากขึ้น คือมีผลมากขึ้น ขนาดหรือระยะต่าง ๆ ผิดไปหน่อย ก็มีผลกับการทำงานอย่างเห็นได้ชัด




รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศยากิ สำหรับระยะห่างต่าง ๆ กันระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเวนอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2

3 *เส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์* ในการทดลองพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์มีผลต่อความยาวที่เหมาะสมของตัวมัน เช่น เมื่อเปลี่ยนไดเรกเตอร์ให้อ้วนขึ้นจะต้องเปลี่ยนความยาวให้สั้นลงกว่าในตารางที่ 4.1 จึงจะได้ผลการทดลองที่ความถี่กลางที่ออกแบบไว้

4 *ผลของบูม* การทดลองพบว่า บูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น) มีผลต่อความยาวของอีลีเมนต์น้อยกว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า นั่นคือ ยิ่งบูมใหญ่ก็ต้องเพิ่มความยาวของอีลีเมนต์มากขึ้น และยังพบอีกว่าบูมสี่เหลี่ยมกับบูมกลมให้ผลเท่ากัน

5 *ดริเวนต์อีลีเมนต์และการแมตช์* รายงานของ NBS พบว่าความยาวของดริเวนต์อีลีเมนต์ไม่ค่อยมีผลต่อการทำงาน (ในด้านอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น) ของสายอากาศยากิที่ออกแบบเท่าไรนักตราบใดที่ความยาวทางไฟฟ้าใกล้เคียง $\lambda/2$ และยังคงสั้นกว่ารีเฟลกเตอร์ ส่วนวิธีการแมตช์จะมีผลตรงที่จะทำให้ความถี่ใช้งาน (bandwidth) ของสายอากาศแคบลงมากน้อยเพียงใด

6 *ความแม่นยำในการสร้าง* NBS ระบุว่าระยะและขนาดต่าง ๆ ควรผิดพลาดจากแบบไม่เกิน $0.003\lambda$ เพื่อให้ได้ผลการทำงานดีอย่างที่ NBS ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศยากิตามวิธีของ NBS

จากผลการทดลองต่าง ๆ ของ NBS ก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาออกแบบสายอากาศ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบเป็นดังนี้

1 ขั้นแรกคือ เลือกว่าอยากได้อัตราการขยายเท่าไร โดยดูจากตารางที่ 4.1 แล้วดูว่าที่อัตราการขยายที่ต้องการนั้นต้องใช้ความยาวบูมเท่าไร สำหรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน ถ้าคิดว่ายาวเกินไป ก็ต้องมาชั่งใจว่าจะยอมลดอัตราการขยายลงเพื่อให้ความยาวบูมสั้นลง

ตารางงที่ 4.1 แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์(ยกเว้นดริเวนต์อีลีเมนต์) สำหรับสายอากาศยากิที่มีความยาวของบูมต่างกัน 6 ขนาด ตามผลการทดลองของ NBS ในทุกกรณีนี้รีเฟลกเตอร์อยู่ห่างจากดริเวนต์อีลีเมนต์ 0.2 λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085

| ความยาวของบูม (λ) | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 2.2 | 3.2 | 4.2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด | 3 | 5 | 6 | 12 | 17 | 15 |
| ความยาวของรีเฟลกเตอร์ (λ) | 0.482 | 0.482 | 0.482 | 0.482 | 0.482 | 0.475 |
| ความยาวของไดเรกเตอร์ที่ 1 | 0.442 | 0.428 | 0.428 | 0.432 | 0.428 | 0.424 |
| ที่ 2 | — | 0.424 | 0.420 | 0.415 | 0.420 | 0.424 |
| ที่ 3 | — | 0.428 | 0.420 | 0.407 | 0.407 | 0.420 |
| ที่ 4 | — | — | 0.428 | 0.398 | 0.398 | 0.407 |
| ที่ 5 | — | — | — | 0.390 | 0.394 | 0.403 |
| ที่ 6 | — | — | — | 0.390 | 0.390 | 0.398 |
| ที่ 7 | — | — | — | 0.390 | 0.386 | 0.394 |
| ที่ 8 | — | — | — | 0.390 | 0.386 | 0.390 |
| ที่ 9 | — | — | — | 0.398 | 0.386 | 0.390 |
| ที่ 10 | — | — | — | 0.407 | 0.386 | 0.390 |
| ที่ 11 | — | — | — | — | 0.386 | 0.390 |
| ที่ 12 | — | — | — | — | 0.386 | 0.390 |
| ที่ 13 | — | — | — | — | 0.386 | 0.390 |
| ที่ 14 | — | — | — | — | 0.386 | — |
| ที่ 15 | — | — | — | — | 0.386 | — |
| ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์ (λ) | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.20 | 0.20 | 0.308 |
| อัตราขยาย ($dB_d$) ที่ NBS วัดบูม | 7.10 | 9.20 | 10.20 | 12.25 | 13.40 | 14.20 |
| กราฟที่ใช้ในการออกแบบ(หมายเหตุ) | A | C | C | E | E | E |

2 เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ว่าจะเอาค่าใดจาก 0.001λ ถึง 0.04λ (เพื่อให้สามารถใช้กราฟในรูปที่ 4.5 ได้) ขนาดที่เลือกควรแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวมันเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

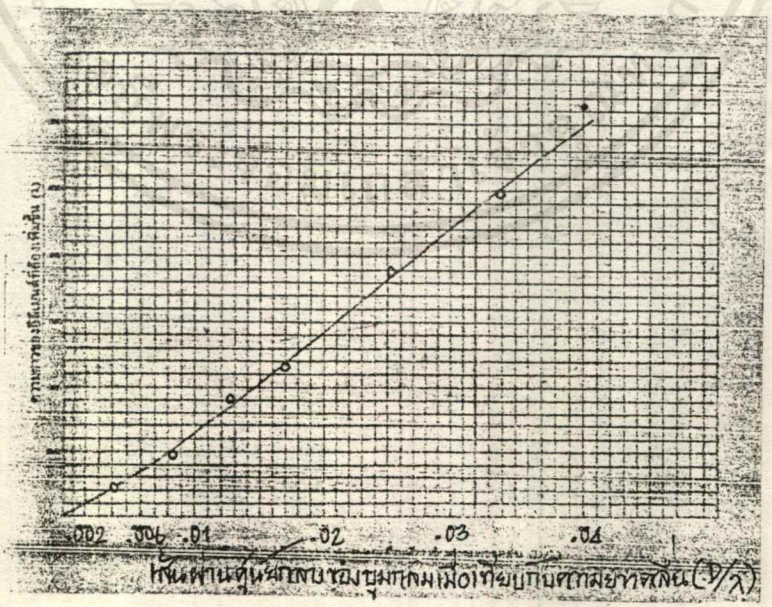
โดยไม่โก่งงอ ยิ่งอีลีเมนต์อ้วนขึ้นก็จะยิ่งทำให้แถบความถี่ใช้งานของสายอากาศกว้างขึ้น

3 เลือกขนาดของบูมว่าจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร โดยพิจารณาว่าจะต้องแข็งแรงเพียงพอกับความความยาวของบูมที่ต้องการ และกำหนดวิธียึดอีลีเมนต์ด้วยว่า จะยึดลอยเหนือบูมโดยใช้ฉนวนคั่นระหว่างอีลีเมนต์กับบูม หรือจะยึดทะลุสอดผ่านศูนย์กลางของบูม

4 หาความยาวจริงของไดเรกเตอร์และรีเฟลกเตอร์สำหรับค่า $d/\lambda$ ที่ใช้ จากกราฟรูปที่ 4.5 โดยใช้เส้นกราฟสำหรับความยาวของบูมนั้น ค่าที่อ่านค่าได้โดยตรงเลยคือ ความยาวของรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์ตัวที่ 1(D1) ส่วนไดเรกเตอร์ตัวอื่น ๆ ต้องใช้วิธีเทียบระยะห่างบนกราฟที่ห่างจากตำแหน่งที่เส้น $d/\lambda$ นั้นตัดกับเส้นกราฟ ให้ห่างเท่ากับที่ตำแหน่งที่เส้น 0.0085 $\lambda$ ตัดกับเส้นกราฟห่างจากแต่ละไดเรกเตอร์(ดูค่าจากตารางที่ 4.1)บนเส้นกราฟ แล้วจึงเทียบว่าเท่ากับความยาวใด

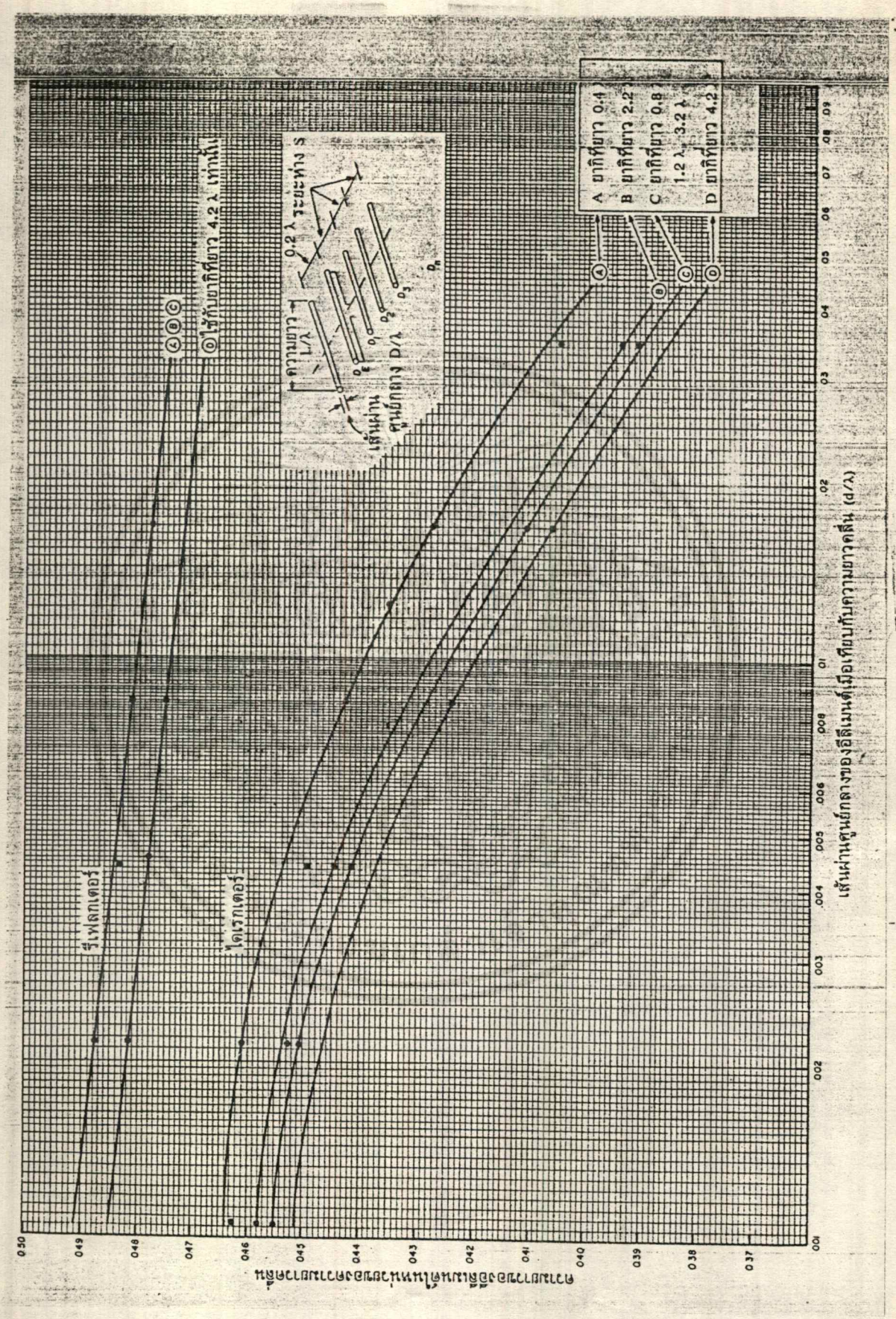
5 ในกรณีที่ยึดอีลีเมนต์ผ่านกลางบูมโดยสัมผัสทางไฟฟ้า ให้เพิ่มความยาวของทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ 4.4

6 เลือกวิธีการแมตช์ที่จะใช้และคำนวณความยาวของดริเวนอีลีเมนต์ เมื่อสร้างเสร็จแล้วอาจปรับแต่งความยาวของดริเวนต์อีลีเมนต์ได้อีกเล็กน้อยเพื่อให้ SWR ดีขึ้น สำหรับในการตัดความยาวขั้นต้น อาจตัดความยาวของดริเวนต์อีลีเมนต์ให้ยาวประมาณ 0.466$\lambda$ ก่อน แล้วจึงค่อยมาตัดให้สั้นลงหรือเพิ่มความยาวเล็กน้อยในการปรับแต่ง SWR




รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS เมื่อยึดอีลีเมนต์ทะลุผ่านศูนย์กลางของบูมกลม โดยไม่สัมผัสทางไฟฟ้ากับบูม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.5 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศยากิของ NBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANTENNA SYSTEM

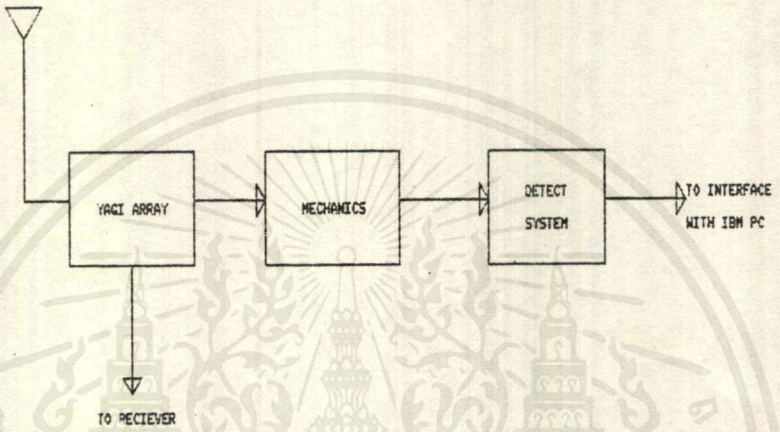
บล็อคของ antenna system จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1 Yagi Antenna Array

2 Mechanics

3 Detect System

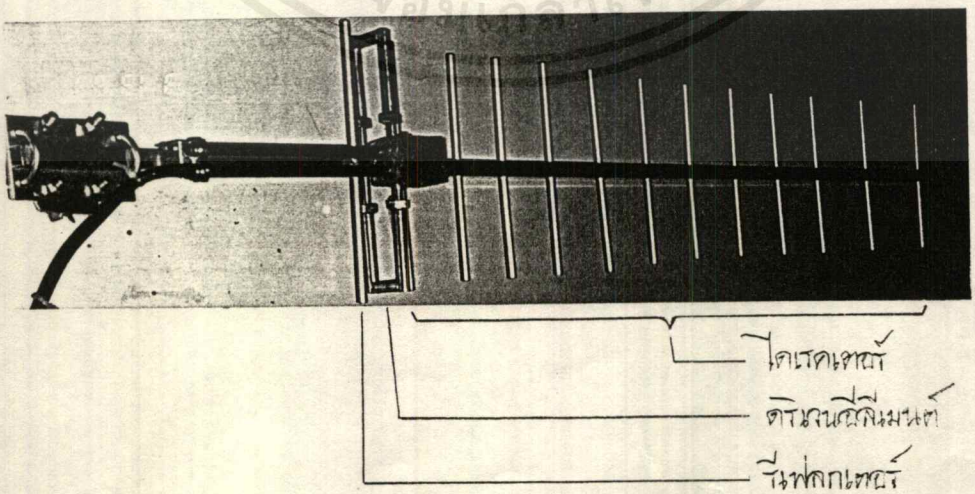
ซึ่งแต่ละส่วนละเชื่อมต่อกันดังที่แสดงในรูปข้างล่างนี้




รูป บล็อกไดอะแกรมของส่วนต่าง ๆ ของบล็อก antenna system

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของ antenna system มีดังต่อไปนี้

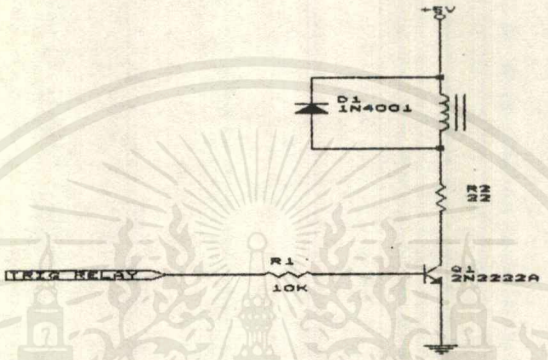
1 *สายอากาศยากิ* สายอากาศที่ใช้มีจำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด 14 อีลีเมนต์ โดยจะประกอบด้วยส่วนที่เป็น ไดเรกเตอร์ ไดรเวนอีลีเมนต์ และรีเฟลกเตอร์ ดังที่แสดงในภาพข้างล่างนี้ ซึ่งเคยกล่าวถึงหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ มาแล้วจะไม่ขอกล่าวอีกในที่นี้



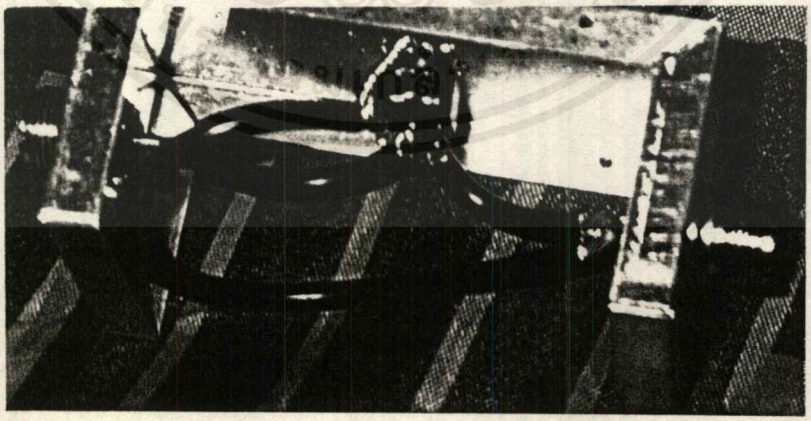

รูปสายอากาศยากิ 14 อีลีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 *กล่องตัด PEAK-NULL* ภายในกล่องนี้จะประกอบด้วยรีเลย์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการสับสวิทช์ไปมาระหว่าง Peak และ Null โดยจะมีสัญญาณจากการ์ดที่ทำการ process ส่งมาไบอัสให้แก่ทรานซิสเตอร์ เพื่อที่จะขับรีเลย์อีกทีหนึ่ง ดังวงจรที่แสดงข้างล่างนี้ และเหตุที่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์เพราะต้องการการสวิทช์ที่เร็วพอสมควร ซึ่งไม่สามารถใช้สวิทช์โยกธรรมดาได้ และเพื่อความสะดวกต่อการควบคุม



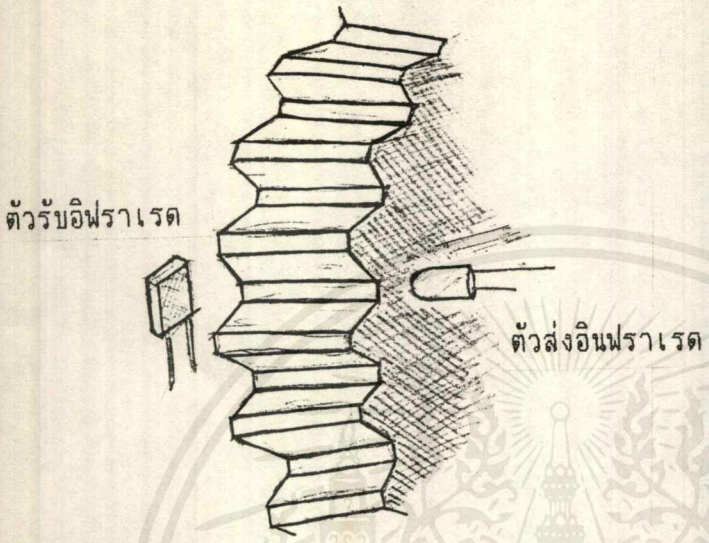

รูปวงจรขับรีเลย์สำหรับการทำเป็นสวิทช์โยก

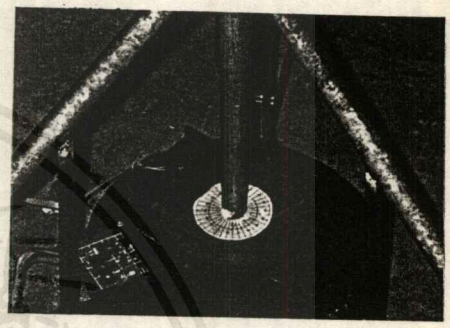


รูปภายในกล่องตัด Peak-Null

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

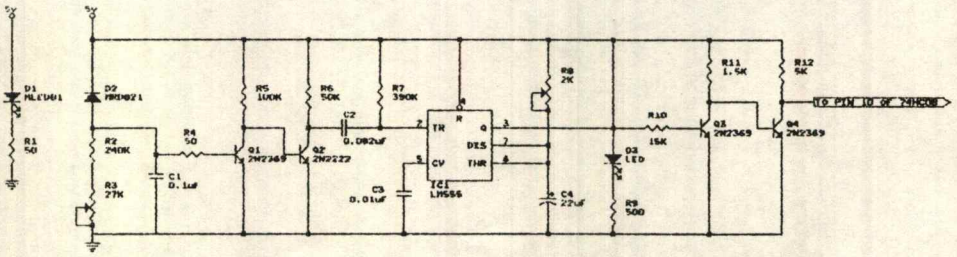
3 *เฟือง* จะนำมาใช้เพื่อทำการแบ่งองศาสำหรับการหมุนไปหนึ่งรอบ โดยเฟืองนี้จะใช้ในการดีเทคองศาด้วยอุปกรณ์อินฟราเรดยิงผ่านช่องของเฟือง ดังรูปที่แสดงข้างล่างนี้



รูปของเฟืองที่ใช้ในโครงงาน และลักษณะการนำอินฟราเรดมาใช้

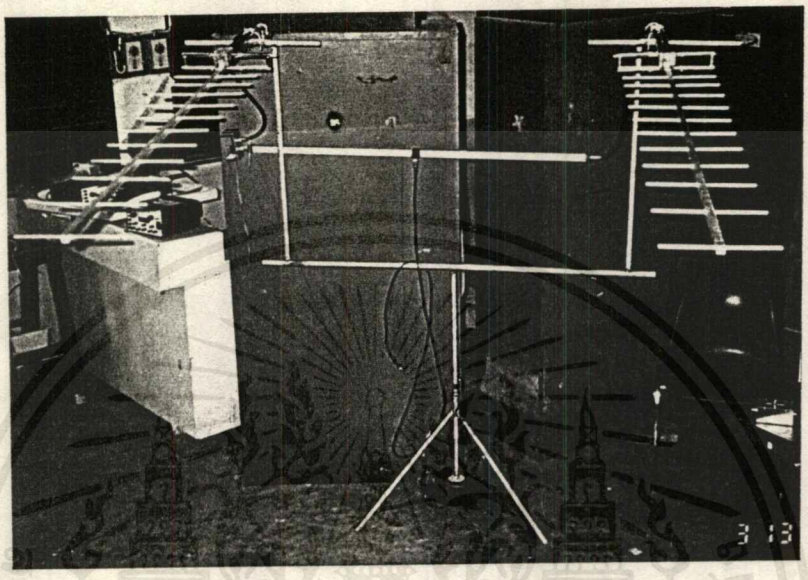
4 *ส่วนของการดีเทคองศา* จากการใช้อินฟราเรดยิงผ่านช่องของเฟือง เมื่อเฟืองมีการหมุนก็จะทำให้มีการตัดแสงอินฟราเรดไปยังตัวรับโดยชิ่งของเฟือง ทำให้ตัวรับมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกได้ ก็จะนำลอจิกจากตัวรับอินฟราเรดนี้ไปทริกให้กับวงจรโมโนสเตเบิลเพื่อส่งสัญญาณพัลส์ไปยังการ์ด process เพื่อบอกให้รู้ว่ามีการเปลี่ยนองศาไปแล้ว ซึ่งวงจรที่ใช้ดังแสดงข้างล่างนี้




วงจรส่วนของการดีเทคองศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากส่วนประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น นำมาประกอบกันเป็นส่วนของบล็อค antenna system ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



รูปของ ANTENNA SYSTEM

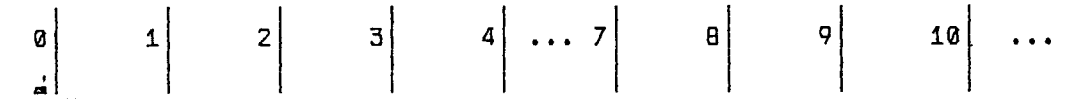
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 เรื่องเกี่ยวกับการวัดระยะทาง

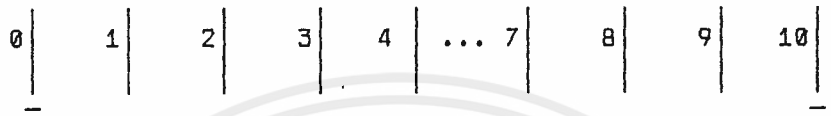
ใน project นี้ได้อาศัยการวัดระยะทางโดยนำหลักการการวัดของเวอร์เนียร์แคลลิปเปอร์มาใช้ โดยจะอธิบายหลักการของเวอร์เนียร์แคลลิปเปอร์ก่อน ดังนี้

ในเวอร์เนียร์แคลลิปเปอร์จะประกอบด้วยสเกลหลักและสเกลเลื่อน

สเกลหลัก




สเกลเลื่อน



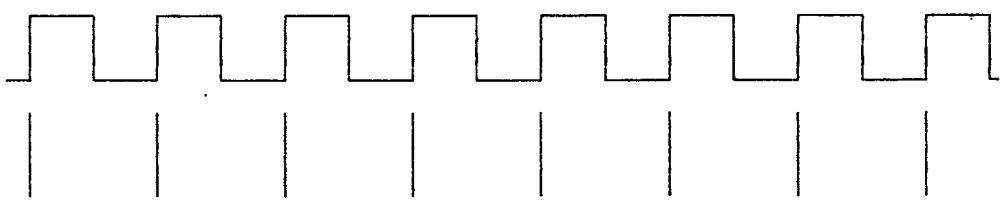

รูปนี้ขณะที่สเกลเลื่อนยังไม่มีการเลื่อนออกจากจุดเริ่มต้น

สมมติว่าจะวัดสิ่งของชิ้นหนึ่ง ก็จะอ่านค่าบนสเกลหลักก่อน จากนั้นก็จะอ่านค่าจากสเกลเลื่อนอีกที ที่สเกลเลื่อนนี้ก็คือ ความละเอียดนั่นเอง จะยกตัวอย่างการอ่านค่าได้ดังนี้ สมมติว่าเวอร์เนียร์นี้ละเอียด 0.01 cm.

จะอ่านค่าได้คือ 0.14 cm. โดย 0.1 ค่าแรกมาจากสเกลหลักจะเห็นว่า ขีดศูนย์ของสเกลเลื่อนเลยขีด 1 ของสเกลหลัก มาเป็นจำนวนค่าหนึ่งซึ่งก็คือค่าตัวเลข 0.04 ภายหลังนี้เองส่วน 0.04 ค่าที่สองมาจากสเกลเลื่อนที่ขีดตรงกับสเกลหลัก จะเห็นว่าให้ดูขีดที่ตรงระหว่างสเกลเลื่อนและสเกลหลักก็สามารถที่จะอ่านค่าความละเอียด ซึ่งตัวอย่างนี้คือค่า0.04 นั่นเอง

จากนั้นก็ประยุกต์ใช้กับทางอิเลคทรอนิกส์ซึ่งจะแสดงได้ดังนี้

เราจะใช้พัลส์ 1 ลูก แทนขีดในเวอร์เนียร์หนึ่งขีด ดังในรูป



ก่อนอื่นเราต้องกำหนดค่าความละเอียดของสเกลเลื่อนก่อนซึ่งใน project นี้ กำหนดไว้ว่าความละเอียดเป็น 37.5 m. จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (V) = s/t : s มีหน่วยเป็นเมตร

: t มีหน่วยเป็นวินาที

เวลาของพัลส์ 1 ลูกของพัลส์ 20 K หรือคาบ = $5*10^{-5}$ วินาที

ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ 15 km. เพราะฉะนั้นถ้าเราจะให้ความละเอียดของการวัดเป็น 37.5 m. เราก็ต้องชอย 15 km. เป็นจำนวน 400 ครั้ง เมื่อเทียบกับเวอร์เนียร์ก็คือดังรูป

ถูกชอกเป็น 400 ส่วน

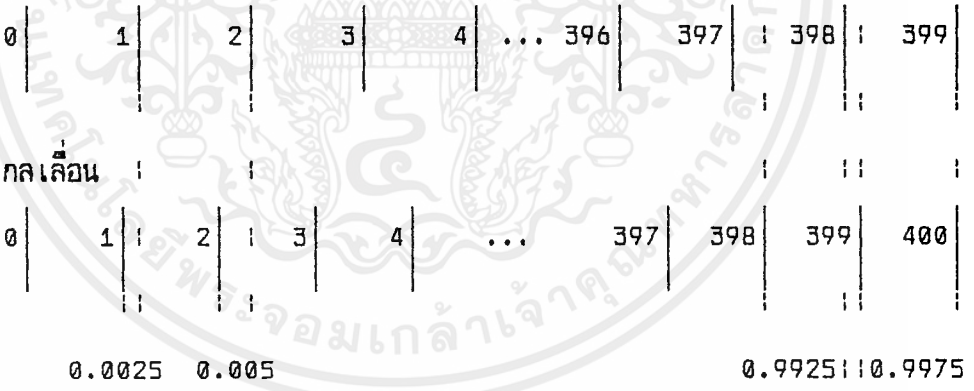
เพราะฉะนั้นเราก็จะทำการหาว่า 1 ช่องสเกลเลื่อนมีเท่าไรของสเกลหลัก

จาก 400 ช่องของสเกลเลื่อนมี 399 ช่องหลัก

1 ช่องของสเกลเลื่อนมี 399/400 = 0.9975 ช่องหลัก

เมื่อนำมาวาดรูปจะทำให้เข้าใจดียิ่งขึ้นดังนี้

สเกลหลักแทนด้วยพัลส์ 20 KHz




จะเห็นว่าพัลส์ของสเกลเลื่อนขีดที่ 400 จะตรงกับพัลส์ขีดที่ 399 ของสเกลหลัก ในขณะที่ทำให้จุดเริ่มต้นขีดศูนย์ของแต่ละสเกลตรงกัน จากนั้นเราจะคำนวณหาความถี่ของพัลส์ของสเกลเลื่อนได้ดังนี้

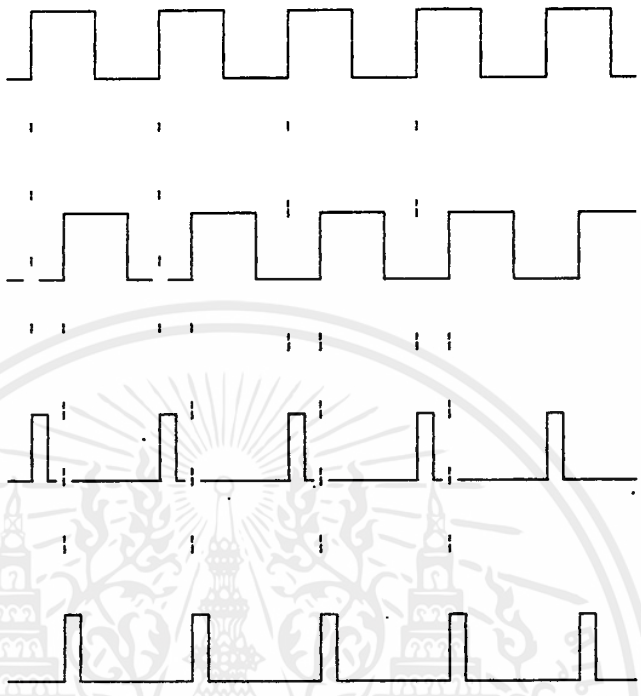
$$1/f * 400 = 399 * 1/20K$$

$$f = 400/399 * 20K \text{ ประมาณ } 20.05 \text{ Khz.}$$

ซึ่งเวลาใช้งานต้องมีการรูนให้พัลส์ลูกที่ 400 ของสเกลเลื่อนตรงกับลูกที่ 399 ของสเกลหลักก่อนด้วยและเมื่อได้ดังนี้ก็มาถึงขณะที่วัดที่เครื่องรับจะภาคที่ detect จำนวนลูกพัลส์โดยรายละเอียด

เอกสารนี้ถูกสงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะกล่าวไว้ในบล็อกนั้นอีกที แต่มีรายละเอียดคร่าว ๆ ดังนี้คือขีดแต่ละขีดของสเกลทั้งสเกลหลักและสเกลเลื่อนจะถูกแปลงให้เห็นเป็นพัลส์แคบ ๆ ดังรูป



และจับเข้ามา AND กันก็จะสามารถตรวจจับขีดที่ตรงกันได้ จากรูปที่ 10 จะเห็นว่าความกว้างของขีดที่ 1 ของสเกลเลื่อนและสเกลหลักห่างกัน 0.0025 ซึ่งแปลงให้อยู่ในรูปของเวลาจะได้ = 125 ns (1/20K * 400) ซึ่งค่าเวลา 125 ns ก็จะเป็นเงื่อนไขในการกำหนดความกว้างของพัลส์แคบ ๆ ที่สร้างขึ้น

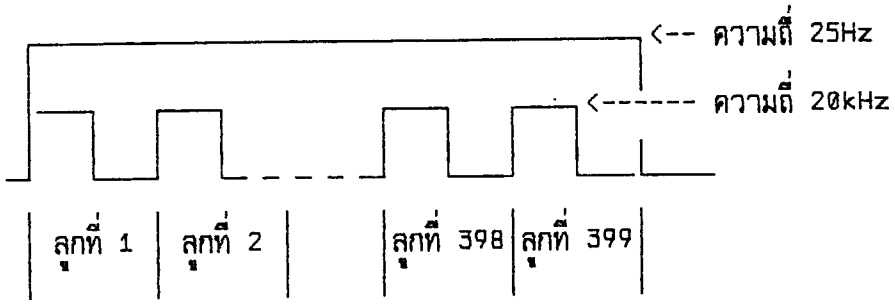
ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ เนื่องจากภาครับสัญญาณจะต้องมีการนับจำนานสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสเกลเลื่อนของเวอร์เนียอยู่ตลอด (เหตุผลที่จะต้องนับจำนวนพัลซ์ที่ใช้แทนสเกลเลื่อนของเวอร์เนียตลอดเวลาเนื่องจาก เมื่อเครื่องส่งสัญญาณเกิดการเคลื่อนที่ เครื่องรับสัญญาณจะต้องสามารถตรวจวัดระยะทางได้ ซึ่งจากหลักการวัดระยะทางของเวอร์เนีย ระยะทางที่วัดได้ เกิดจากเวลาของสัญญาณพัลส์ที่เดินทางจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณ เพราะฉะนั้นสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสเกลเลื่อนจะต้องมีความแน่นอนมิฉะนั้นอาจจะเกิดความผิดพลาดเกี่ยวกับการวัดระยะทาง) จะเริ่มต้นเลือกนับสัญญาณพัลส์ลูกที่เท่าใดเพื่อนำไปเป็นค่าที่จะบอกระยะทาง จึงมีการนำสัญญาณพัลส์มาบอกค่าให้เริ่มต้นนับได้ และเนื่องจากคาบของสัญญาณพัลส์ความถี่ 20.05 kHz ลูกที่ 400 จะมีค่าเท่ากับคาบในสภาวะ "ON" ของสัญญาณพัลส์ความถี่

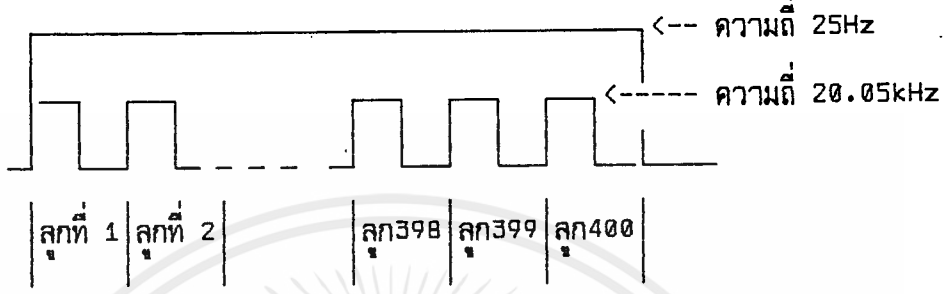
$$(1/20.05k)*400 = (1/20k)*399 = 0.01995$$

$$1/(0.01995*2) = 25.06\ Hz$$

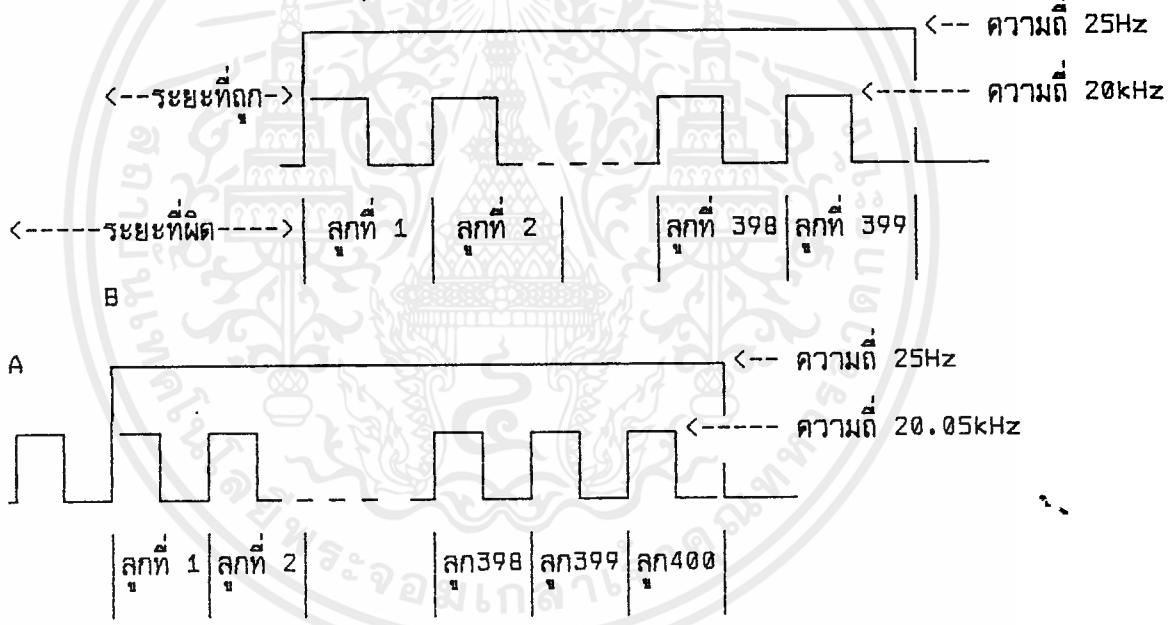
และมีค่าเท่ากับคาบของสัญญาณพัลส์ความถี่ 20kHz ลูกที่ 399 ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



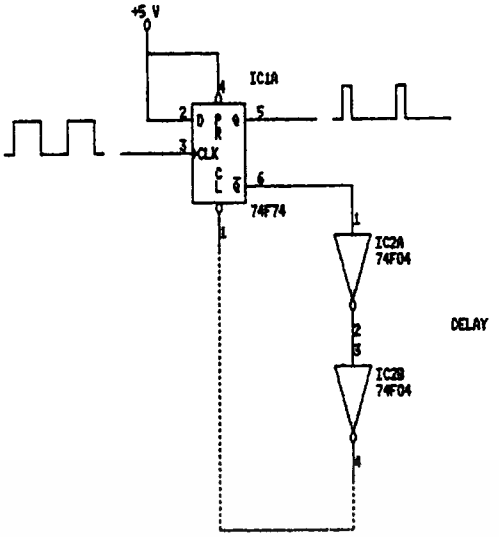

ตัวอย่างการทำงาน




จากรูป ถ้าไม่มีการนำสัญญาณพัลส์ความถี่ 25.06 Hz มาบอกให้ทราบสภาวะเริ่มต้นในการนับสัญญาณพัลส์ความถี่ 20.05KHz (เช่นถ้าเริ่มนับสภาวะเริ่มต้นที่ A )จะทำให้การวัดระยะทางผิดพลาด ซึ่งในการใช้งานจะต้องมีการปรับแต่งสัญญาณ คือ เมื่อนำเครื่องส่งสัญญาณ และเครื่องรับสัญญาณมาไว้ที่ตำแหน่งเดียวกัน (ถือว่าระยะทางเท่ากับศูนย์) ขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ความถี่ 25.06 Hz จะต้องตรงกัน เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าจะเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นของการเริ่มวัด หรือเทียบสเกลเวอร์เนียร์นั้นก็คือ การกำหนดขีดศูนย์นั่นเอง

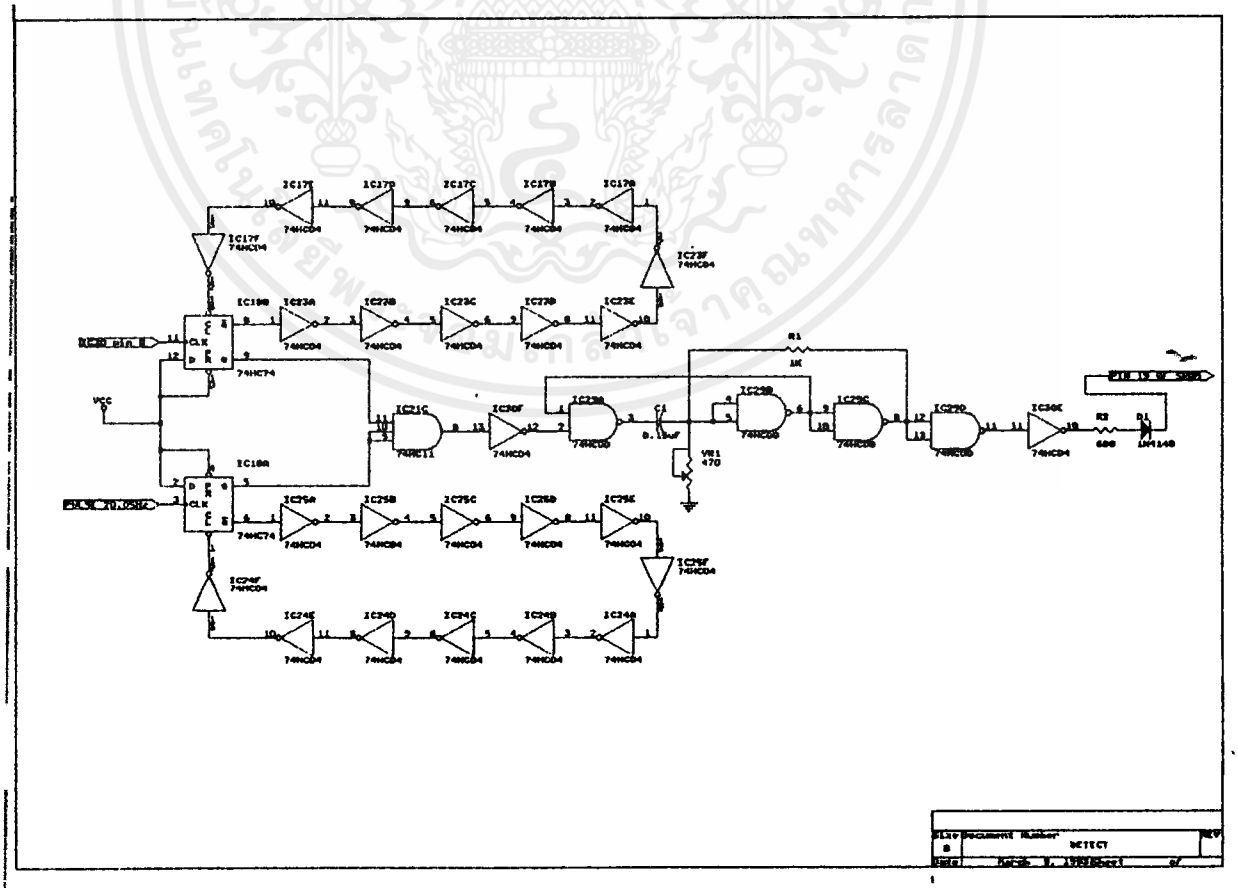
จากการวัดระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโดยใช้หลักการของเวอร์เนีย จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณพัลส์น้อยมากๆ ซึ่งสามารถสร้างได้จากวงจรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เราสามารถกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลซ์จากจำนวนของอินเวอร์เตอร์ (inverter) เนื่องจากการทำงานของอินเวอร์เตอร์ จะมีค่าหน่วงเวลา (propergation delay) ค่าหนึ่ง

ในที่นี้ใช้จำนวนของอินเวอร์เตอร์ 12 ตัว ได้ความกว้างของสัญญาณพัลซ์ 75 นาโนวินาที ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรข้างต้น นำสัญญาณพัลส์ความถี่ 20KHz และ 20.05KHz ป้อนให้แก่ D FlipFlop เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์แคบๆ (ซึ่งทำหน้าที่แทนสเกลหลักและสเกลเลื่อนของเวอร์เนีย ตามลำดับ) หลังจากนั้น ทำการหาขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ที่ตรงกัน (หาขีดที่ตรงกันระหว่างสเกลหลักและสเกลเลื่อนของเวอร์เนียนั่นเอง) โดยผ่าน AND gate แล้วนำไปเข้าวงจงขยายความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ได้ให้กว้างขึ้น เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลลงสู่ Static RAM ได้ทัน หลังจากนั้นนำสัญญาณพัลส์ที่ได้ป้อนให้แก่ Static RAM ที่ขาข้อมูลบิทที่ 8 (A7) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 <u>เรื่องเกี่ยวกับเครื่องส่ง</u>

ในเครื่องส่งจะทำการส่งสัญญาณที่มีสัญญาณข้อมูลอยู่นั้นๆ ซึ่งจะส่งแบบ F.M. ที่สัญญาณพาหะ 444.375 MHz. เหตุผลที่ต้องใช้ความถี่นี้คือ

1. คลื่นย่าน V.H.F. ขึ้นไปจะมีการเดินทางของคลื่นไม่สะท้อนคลื่นฟ้ามากเหมือนกับย่าน H.F. มันจะเดินทางขนานกับผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นจึงสามารถวัดระยะทางได้ถูกต้องดีขึ้น

2. ค่าของอุปกรณ์ เช่น X'TAL ที่มีอยู่ในท้องตลาดนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะต้องเลือกความถี่ในการส่งขนาดนี้

ต่อไปนี้จะอธิบายบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งนี้อย่างคร่าว ๆและในส่วนรายละเอียดจริงๆ นั้นจะนำเสนอในเทอมที่สอง

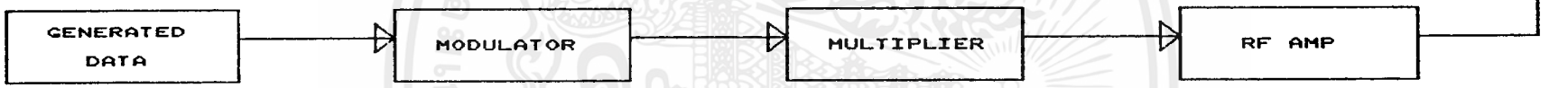
บล็อก GENERATED DATA นั้น จะมีตัวสร้างพัลส์ความถี่ 20 K และ 25 HZ. อยู่ซึ่งจะนำช่วงความถี่นี้มา and กัน ที่จะได้สัญญาณข้อมูลที่ต้องการจะส่งที่ต้องทำลักษณะนี้ก็เพื่อว่า พัลส์ ความถี่ 20 K จะมีช่วงเวลาที่เกิดพัลส์เป็นจำนวน 390 รูป เพื่อทำตัวเหมือนขีดของสเกล ตามหลักการของเวอร์เนียร์แคลลิปเปอร์ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว เมื่อได้สัญญาณแล้วก็ส่งเข้าไป MODULATE ต่อไป

บล็อก MODULATOR นี้จะใช้ตัว VARICAP ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัว C. เมื่อถูก reverse bias ซึ่งจะต่อร่วมใช้งานกับ XTAL เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าสามารถควบคุมให้ XTAL เบี่ยงเบนความถี่ได้ จากนั้นจะส่งไปยังภาคทวีคูณความถี่

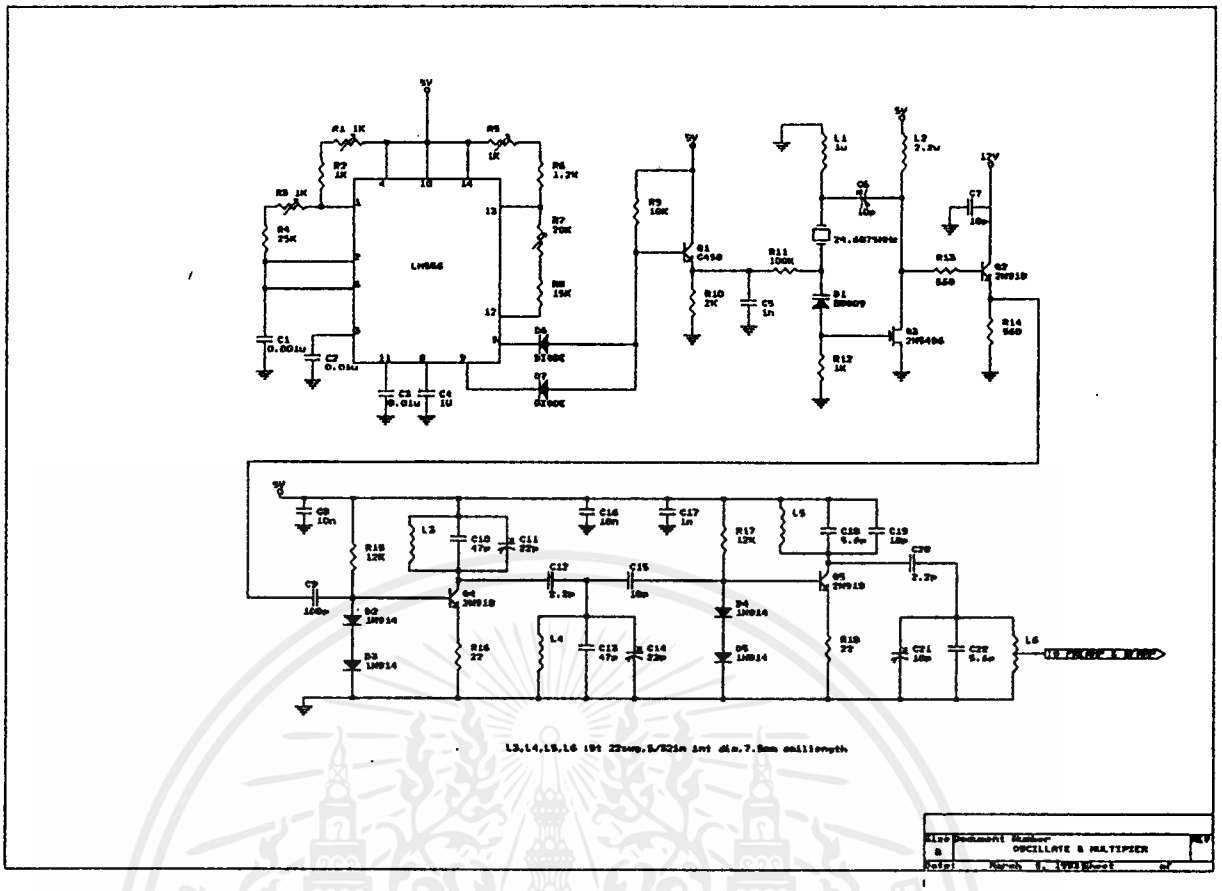
บล็อก MULTIPLIER จะทำการทวีคูณความถี่ที่ป้อนเข้ามาถึง 18 เท่า ซึ่งประกอบด้วยวงจรคูณ 2 ต่อกับคูณ 3 ต่อกับคูณ 3 อีกทีหนึ่งจากนั้นก็ส่งต่อไปทำการขยายสัญญาณที่ภาค RFAMP.

บล็อก RFAMP. จะทำการขยายสัญญาณให้แรงพอที่จะส่งออกอากาศไปได้ ซึ่งใน PROJECT นี้ตั้งใจไว้ว่าจะให้ส่งได้ไกลพอประมาณ 2 KM. ซึ่งก็ประมาณ 0.5-1 W.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




| Size | Document Number | REV |
|---|---|---|
| A | | |
| Date: September 14, 1992 | Sheet of | |



รูปแสดงวงจรสร้างข้อมูลและวงจรคูณความถี่

<u>รายละเอียดการทำงานของภาคเครื่องส่ง</u>

วงจรสร้างข้อมูลและวงจรคูณความถี่

ในส่วนวงจรสร้างข้อมูล เพื่อสร้างข้อมูลส่งไปพร้อมกับคลื่นพาหะ ประกอบด้วย LM556 ซึ่งทำงานในโหมดอะสเตเบิ้ล สร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 25 Hz และ 20 KHz มา AND กันที่ Q1 (C458) แล้วส่งข้อมูลไปทำการ modulation โหมด FM แบบที่ใช้วาริแคปที่ประกอบด้วย Q3 (2N5486) และ BB809 ซึ่งอาศัยค่า C ที่เปลี่ยนแปลงของ D1 ตาม reverse voltage ที่ตัวมัน เป็นผลทำให้คริสตอลเบี่ยงเบนค่าความถี่ที่คริสตอลผลิตไป่ โดยมี Q2(2N918) เป็น Buffer O/P ทำให้ได้สัญญาณที่แรงขึ้น

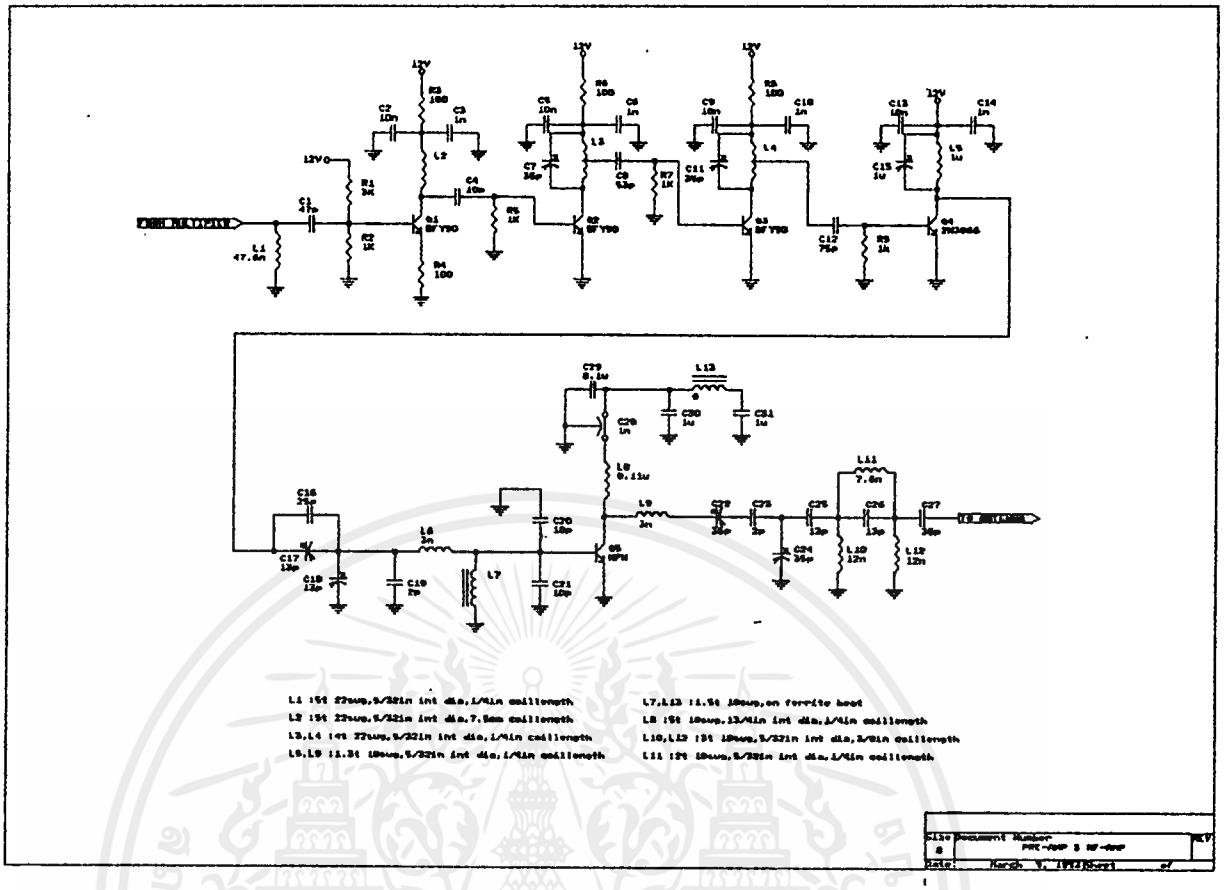
ในส่วนวงจรคูณความถี่ ประกอบด้วยวงจรทริปเปอร์(คูณความถี่ 3 เท่า) จำนวน 2 stage

โดย Q4 (2N918) ใน Stage ที่ 1 จาก 24.6875 MHz * 3 = 74.0625 MHz

และ Q5 (2N918) ใน Stage ที่ 2 จาก 74.0625 MHz * 3 = 222.1875 MHz

หลังจากนั้นนำสัญญาณเข้าสู่วงจรปรับแต่งและวงจรขยายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงวงจรปรับแต่งและวงจรขยาย

วงจรปรับแต่งและวงจรขยาย

เมื่อสัญญาณจากวงจรคูณความถี่ (multipier) มาเข้า Q1 จะทำการขยายสัญญาณ โดยที่ Q1,Q2 และ Q3 เป็น preamp ให้กับ Q4 สำหรับ Q1 จะขยายสัญญาณโหมด class A ซึ่งให้ power มากกว่า Q2,Q3 ซึ่งขยายสัญญาณที่ปรับแต่งได้ในโหมด class C โดยปรับแต่งที่ความถี่222.1875 MHz สำหรับ Q4 จะขยายสัญญาณที่ปรับแต่งได้ในโหมด class C เช่นกันโดยปรับแต่งที่ความถี่444.375 MHz แต่จะให้สัญญาณเอาท์พุทเป็น large signal

เมื่อสัญญาณมาถึง Q5 ซึ่งทำหน้าที่เป็น RF Power Amplifier class C ที่สามารถขยายสัญญาณได้สูงถึง 33 dBm จากนั้นผ่านสัญญาณไปยัง Filter เพื่อกำจัดฮาร์โมนิคที่ไม่ต้องการออกไป ในที่นี้ใช้วงจร Band Reject Filter ซึ่งจะกำจัดที่ความถี่ 222.1875 MHz ออกไป ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกทางสายอากาศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 เรื่องเกี่ยวกับเครื่องรับ

จากรูปอธิบายแต่ละบล็อกได้ดังนี้

RFAMP ที่ i/p ของบล็อกมี LC tune circuit เป็นส่วนหน้าสุดมีไว้สำหรับดักความถี่ที่เราต้องการทำงานเหมือนกแบบ Band Pass Filter จะดักความถี่ 444 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับ PROJECT นี้

MIXER ที่ i/p ของบล็อกจะรับสัญญาณ RF ที่ถูกขยายมา MIX กับ Rocal Oscillator ซึ่ง Oscillator ที่ใช้คือ 62 MHz ใน Project นี้ใช้แบบ triple mix

คือ mix ครั้งแรกได้ o/p ออกมา ~ 80.175 MHz.

mix ครั้งที่สองได้ o/p ออกมา ~ 19.475 MHz.

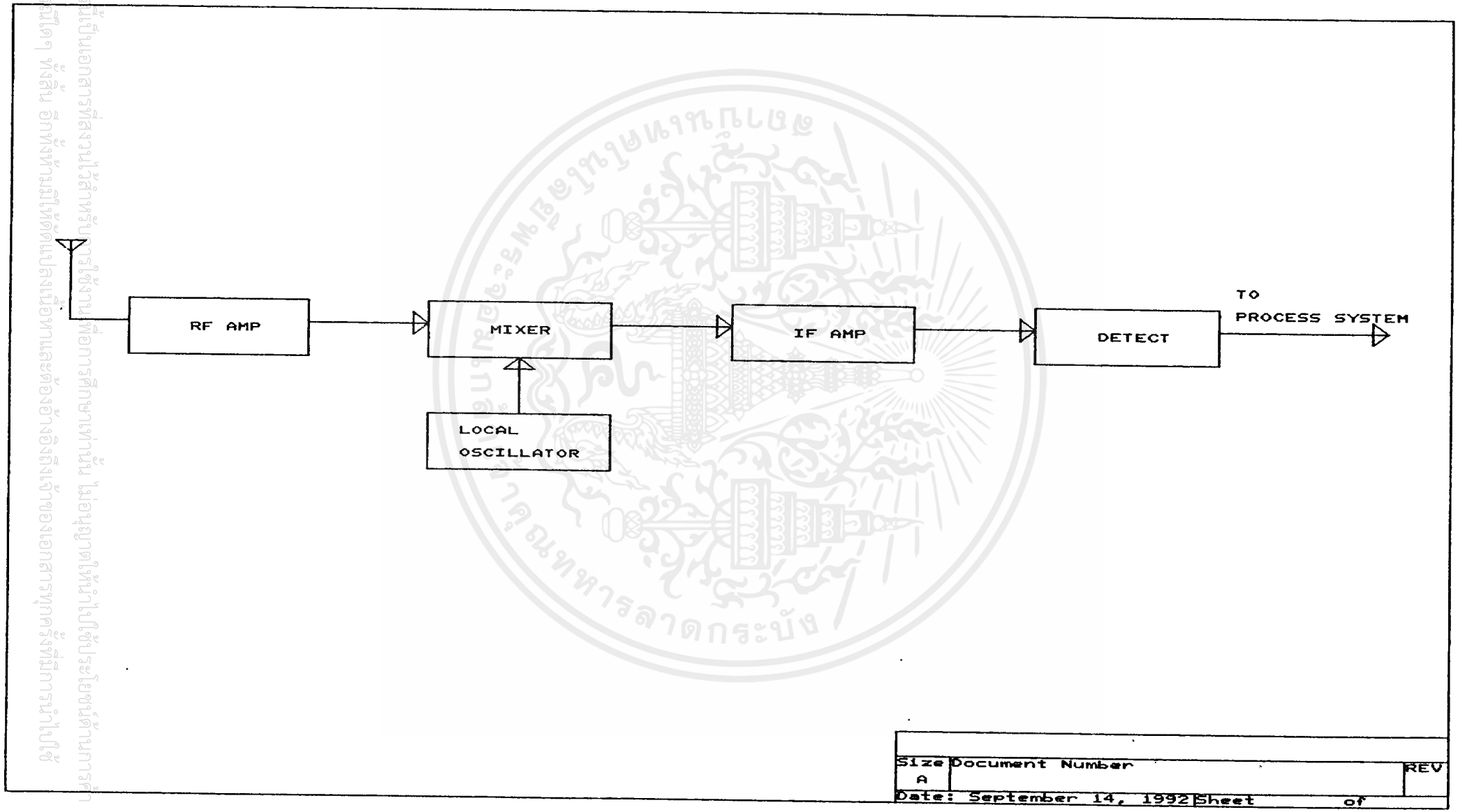
mix ครั้งที่สามได้ o/p ออกมา ~ 5.5 MHz.

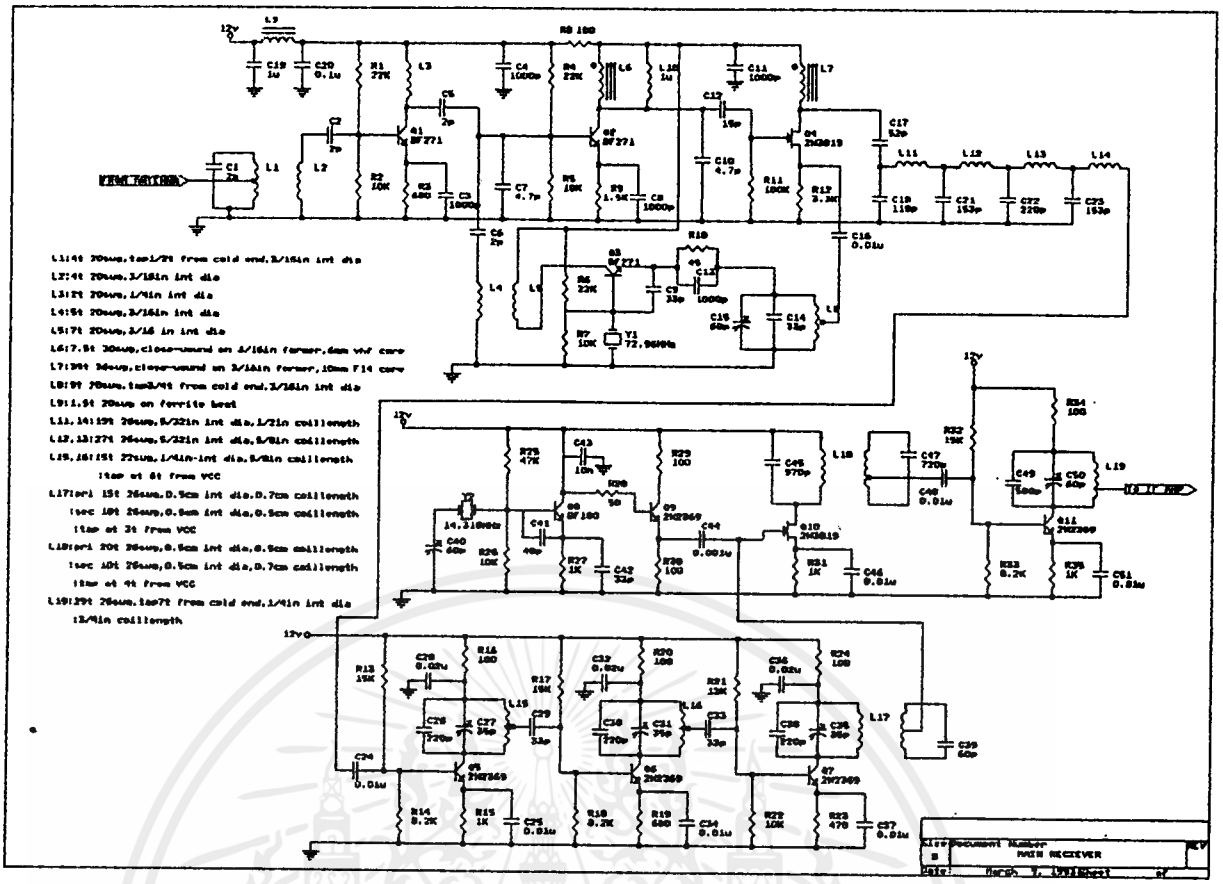
จากนั้นนำ o/p ไปเข้า IF AMP.

IFAMP. เป็นAMPLIFIER ขยายสัญญาณ 5.5 MHz. นอกจากนั้นยังสามารถจูนเฉพาะความถี่ที่ต้องการแล้วจากนั้นก็นำเข้าป้อนวงจร DETECTOR ออกมาด้วย ซึ่งเรียกอีกอย่างว่า TUNED AMP.

DETECTOR รับสัญญาณจาก IF AMP. มาแล้วนำการ DETECT ซึ่งใน PROJECT นี้ใช้วิธีแบบ QUADRATURE ซึ่งได้อธิบายพอสังเขปไปแล้วโดยใช้ I.C. เบอร์ MC 1357 ซึ่งใน o/p ที่ออกจาก I.C.นี้จะได้เป็นสัญญาณข้อมูลที่จัดส่งได้ทำ MODULITE ไป จากนั้นจึงส่งสัญญาณข้อมูลนี้ไปทำการประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


RF AMP
MIXER
IF AMP
DETECT
TO
PROCESS SYSTEM
LOCAL
OSCILLATOR
Size
A
Document Number
REV
Date: September 14, 1992
Sheet
of



รูปแสดงวงจงมิกเซอร์

<u>รายละเอียดการทำงานของภาครับ</u>

วงจงมิกเซอร์

เมื่อสัญญาณจากภาคส่งผ่านเข้ามาทางเสาอากาศมาที่ภาครับ L1,C1,L2,C2 จะเป็นตัวปรับแต่งความถี่ย่านที่ส่งมาคือ 444.375 MHz ซึ่งมี Bandwidth 3 MHz จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าวงจรขยาย class A ประกอบด้วย Q1 จากนั้นส่งเข้าวงจรมิกเซอร์ (Mixer) ทำการ Mix ทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1 วงจรในส่วน first mix

ประกอบด้วย Q2 ที่รับสัญญาณ มาจาก

1) Q1

2) OSC โดยผ่านทาง C6,L4 tap มา (Overtone ที่ 4 ของ 72.96 MHz)

เมื่อ Mix แล้ว ได้ความถี่ที่ถูกปรับแต่งเท่ากับ 80.175 MHz

2 วงจรในส่วน second mix

ประกอบด้วย Q4 ที่รับสัญญาณ มาจาก

1) Q2

2) สัญญาณ OSC ที่มีความถี่ 72.96 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Mix แล้ว ได้ความถี่ที่ถูกปรับแต่งเท่ากับ 19.475 MHz

ในวงจรออสซิเลเตอร์ (Oscillater) ใช้ CRYSTAL ความถี่ 72.96 MHz ร่วมกับ Q8 ในลักษณะวงจร Common Base จากนั้นสัญญาณที่ผ่านออกมา จะถูก Filter ซึ่งประกอบด้วย L11-L14 และ C21-C23 เป็น Low Pass Filter ซึ่ง cutoff ที่ความถี่ 21 MHz จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้า IF-AMP 3 State ซึ่งมี Q5-Q7 ทำหน้าที่เป็น IF-AMP class A ที่ปรับแต่งความถี่ได้ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้า วงจร third mix

3 วงจรในส่วน third mix

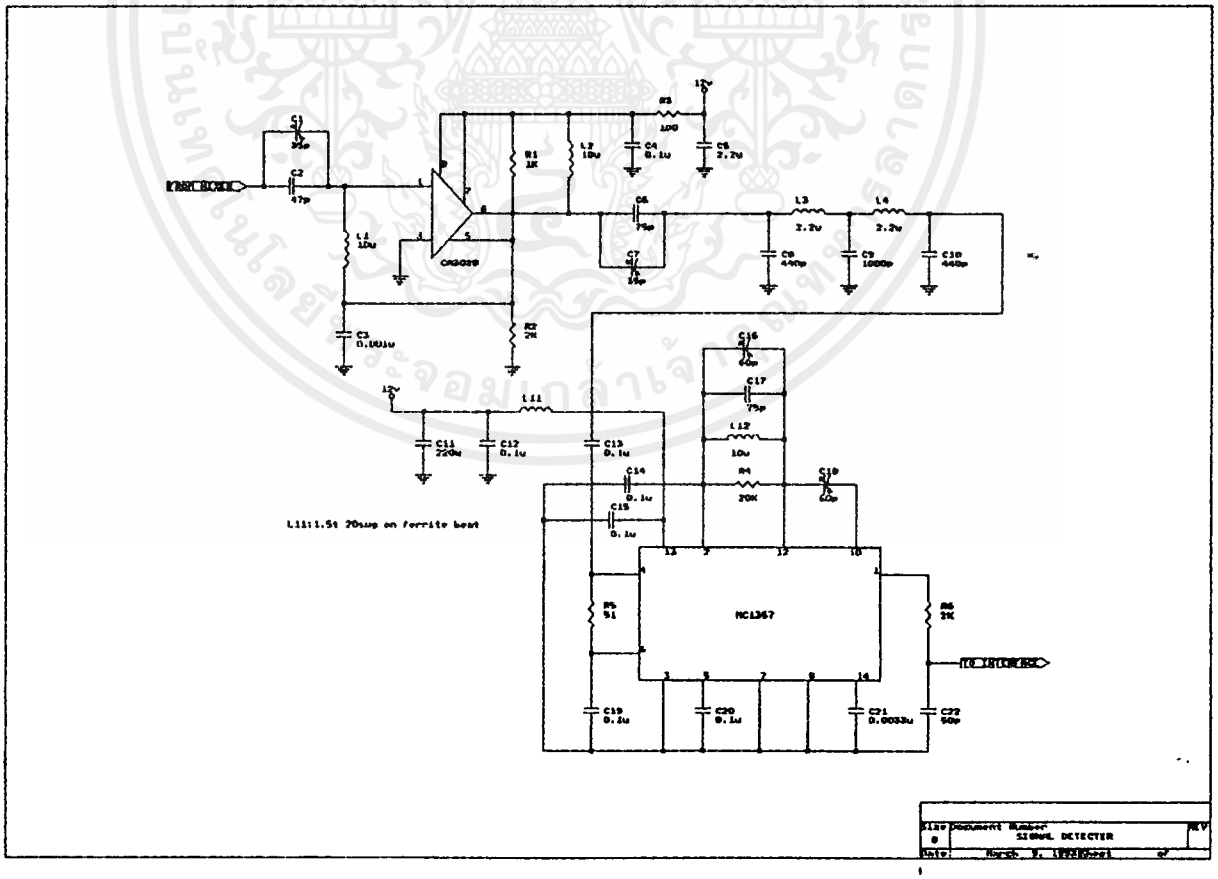
ประกอบด้วย Q10 ที่รับสัญญาณ มาจาก

1) สัญญาณจากส่วนของวงจร IF-AMP

2) สัญญาณ OSC ที่สร้างจาก CRYSTAL,Q8 และ Q9

เมื่อ Mix แล้ว ได้ความถี่ที่ถูกปรับแต่งเท่ากับ 4 MHz

สัญญาณที่ได้จะถูกขยายอีกครั้งโดยปรับแต่งในส่วนวงจร Amp class A ที่ประกอบด้วย Q10 จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยัง IF-AMP ต่อไป




รูปแสดงวงจร IF-AMP และวงจรดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร IF-AMP และวงจรดีเทคเตอร์

สัญญาณที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่ IF-AMP อีกครั้งหนึ่ง เหตุที่ต้องผ่านวงจร IF-AMP อีกครั้งหนึ่ง เพื่อเพิ่มความไว (sensitivity) ของภาครับ ในภาคนี้ใช้ IC หมายเลข CA3028A โดยมี C1,C2, L1 เป็นตัว Matching Impedance ทางอินพุท และ C6,C7,L2 เป็นตัว Matching Impedance ทางเอาท์พุท สำหรับ Gain ของวงจร IF-AMP มีค่าประมาณ 37 dBm จากนั้นสัญญาณที่ผ่านออกมา จะถูก Filter ซึ่งประกอบด้วย L3-L4 และ C8-C10 เป็น Low Pass Filter ซึ่ง cutoff ที่ความถี่ 5.5 MHz เพื่อให้ MC1357 detect สัญญาณได้ดีขึ้น

IC หมายเลข MC1357 มี Diff Amp อยู่ภายใน 3 stage และสามารถขยายได้ 60 dB และมี quadrager detect ด้วย (เป็นวิธีการ demodulation แบบหนึ่ง) ถ้าปรับแต่ง C16,C18 ถูกต้องจะดีเทคได้ดี ที่ขาเอาท์พุทของ MC1357 จะมี RC filter ซึ่งเป็น low pass Filter เพื่อป้องกันสัญญาณความถี่สูงไม่ให้ไปรบกวนวงจรในส่วนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เรื่องเกี่ยวกับการประมวลผล

สัญญาณที่ถอดรหัสแล้วจากเครื่องรับ จะเกิดความผิดเพี้ยน เนื่องจาก ขีดความสามารถของเครื่องส่งและเครื่องรับ สัญญาณจะถูกนำไปยังภาคปรับแต่งสัญญาณ (reshave) เพื่อให้ได้สัญญาณตามต้องการ

หลังจากได้สัญญาณตามต้องการแล้ว จะแบ่งการทำงานเป็น 2 ช่วงคือ

1. การประมวลผลทางฮาร์ดแวร์ (โหมดการเขียน)

สัญญาณที่ผ่านการปรับแต่งแล้ว

- ส่งไปภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) เพื่อแปลงขนาดความแรงของสัญญาณวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องส่งให้เป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วเก็บลง memory คือStatic RAM ซึ่งจะใช้ในการปฏิบัติการทาง Software ต่อไป

- ส่งไปภาค control time base เพื่อนำไปควบคุมภาค time base แล้วนำไปภาค detect ข้อมูลที่ได้นำไปเก็บลงหน่วยความจำภายนอก สัญญาณที่ได้จากภาค time base นี้ จะถูกนำไปควบคุมการทำงานของภาค ADC และภาค counter address ด้วย

การเขียนข้อมูลลงบน memory เมื่อกด sw1 เพื่อบอกให้ระบบเปลี่ยนการทำงานจาก โหมดการอ่าน เป็นโหมดการเขียน ผลลัพธ์ที่ได้จะไปทำการ reset address counter (IC5,IC7เป็น ring counter) จากนั้นจึงเริ่มนับและในขณะเดียวกันข้อมูลที่ถูก Sampling ก็จะมารอที่ขา Data ของ Memory หลังจากนั้นในช่วงเวลาอันสั้นจะมีสัญญาณมากระตุ้นที่ขา WE ของ IC8,IC9 ซึ่ง IC ทั้งสองตัวนี้ เป็น IC Static RAM มีความจุ 32 kbyte มี access time 100 ns

ในช่วงเวลาขณะที่ IC5 และ IC7 กำลังนับอยู่นั้น ที่ขา 1 ของ IC13 จะมีสัญญาณลอจิกเป็น low เอาท์พุทที่ y0,y1,y2,y3 จะมาจากอินพุทที่ A0,A1,A2,A3 ตามลำดับ และถ้าสัญญาณที่ขา 1 เป็นลอจิก high เอาท์พุทก็จะเปลี่ยน โดยมีอินพุทมาจาก B0,B1,B2,B3 ตามลำดับเพราะฉะนั้นในขณะนี้ที่ขา 10 ของ IC5 จะมีสัญญาณนาฬิกามากระตุ้นให้เกิดการนับ เมื่อนับครบ 30720 ครั้ง แล้วทำให้ที่เอาท์พุทของตัวมัลติเพลกเซอร์ (IC13) เป็นสัญญาณที่มาจาก B0,B1,B2,B3 ตามลำดับนั่นก็หมายถึง ระบบกำลังอยู่ในโหมดการอ่าน

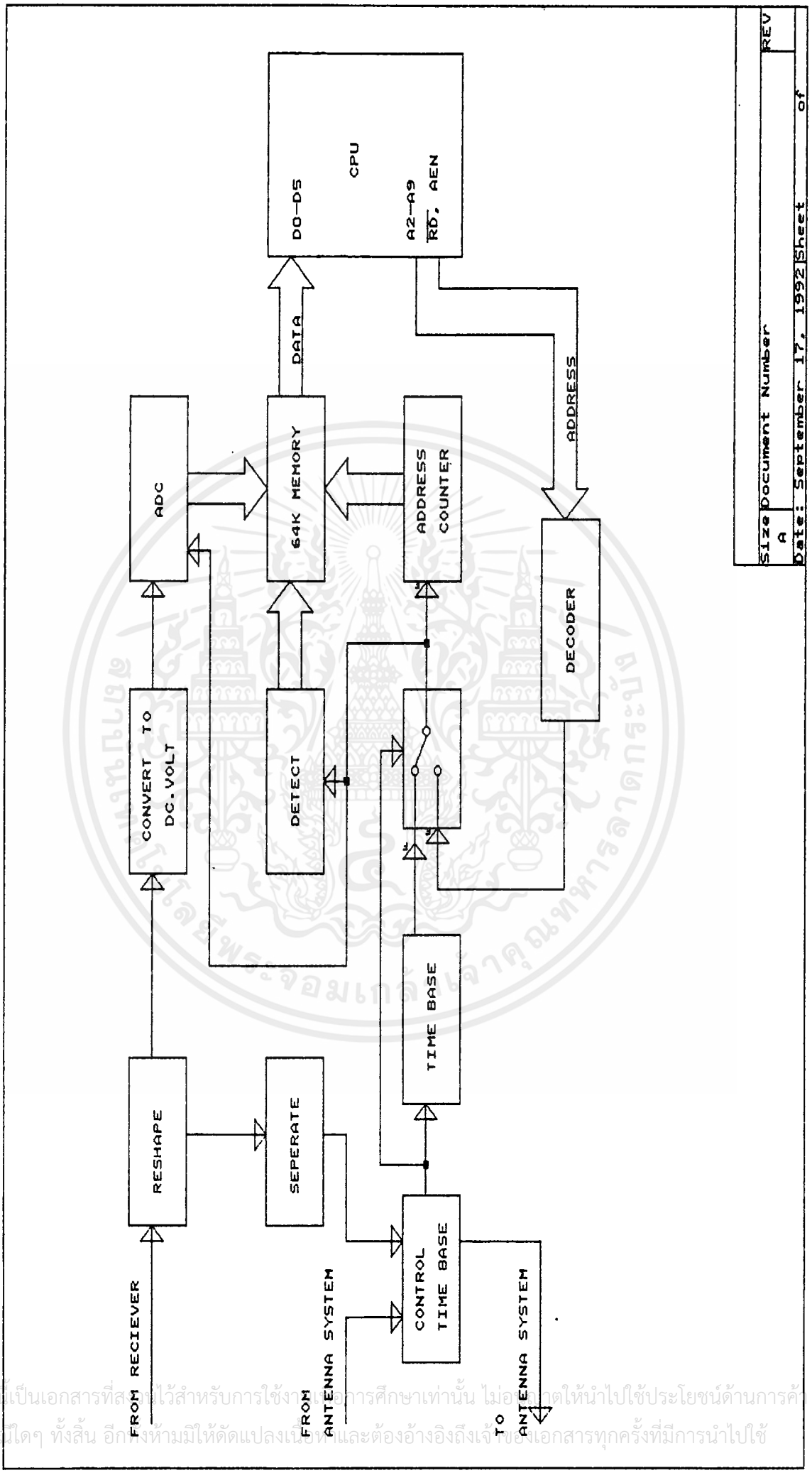
1 วงจรหลัก

ประกอบด้วย

1 ภาค Decode สัญญาณจากคอมพิวเตอร์

เพื่อ Decode แอดเดรสพอร์ตตามคำสั่งของซอร์ฟแวร์ ในวงจรนี้ใช้ address Port หมายเลข 0333H ให้เป็นสัญญาณกระตุ้น ส่งให้ memory คือ Static RAM ส่งข้อมูลออกสู่ Data bus

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

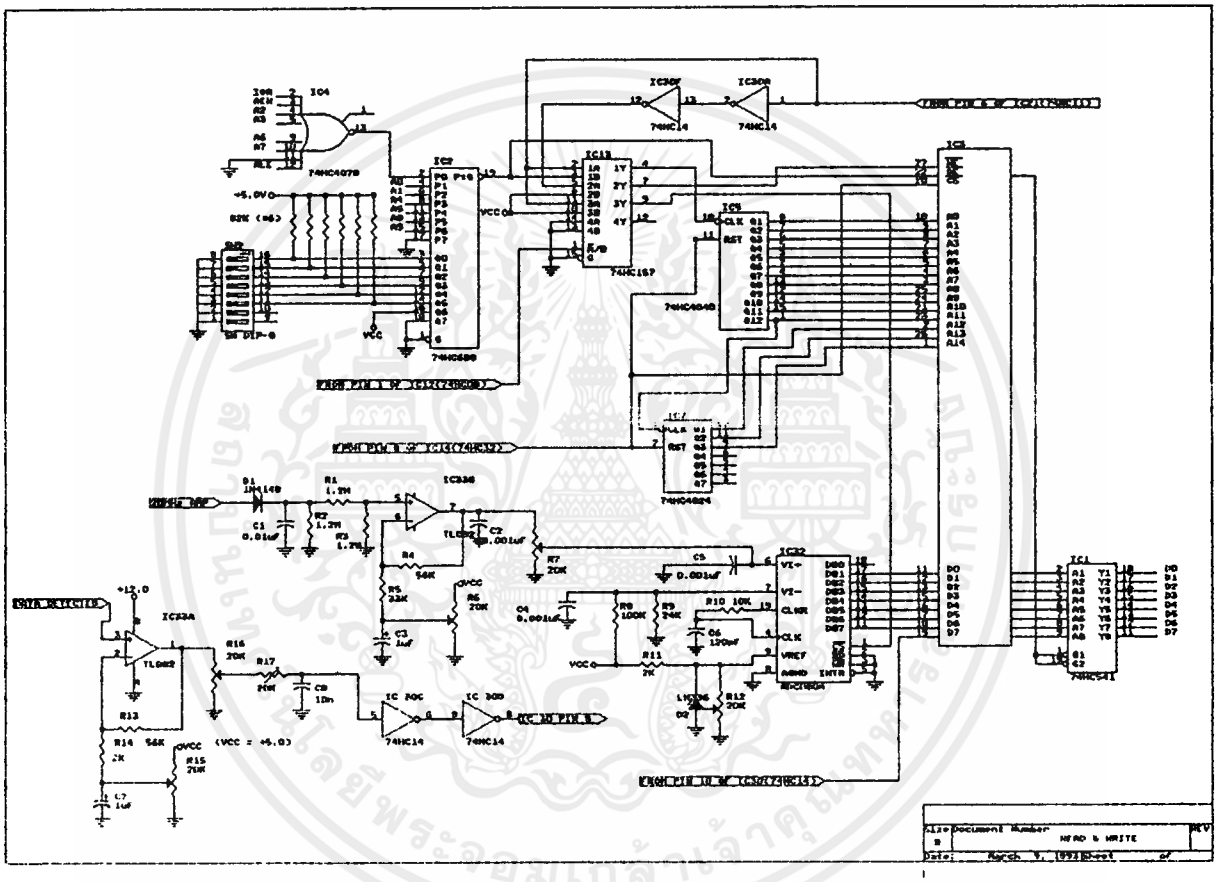



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อนำไปปฏิบัติการด้าน Software ต่อไป(รายละเอียดการ Decode กล่าวไว้ในเรื่องโหมดการอ่าน)

2 ภาค ADC

เพื่อแปลงขนาดความแรงของสัญญาณวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องส่งให้เป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วเก็บลง memory คือ Static RAM ซึ่งจะใช้ในการปฏิบัติการทาง Software ต่อไป



รูปแสดงวงจรหลัก

3 ภาค Counter และ Memory

มีการทำงานคือ Ring Counter จะคอยนับค่า address เพื่อป้อนค่าให้แก่ memory (Static RAM) ซึ่ง Ring Counter จะถูกกระตุ้นโดยสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจากภาคควบคุมสัญญาณเวลาให้ทำงานตามที่ต้องการ ในส่วนของขาข้อมูลของ memory (SRAM) D0-D6 จะรับสัญญาณจากภาค ADC และ D7 รับสัญญาณจากภาคตรวจวัดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมการทำงาน

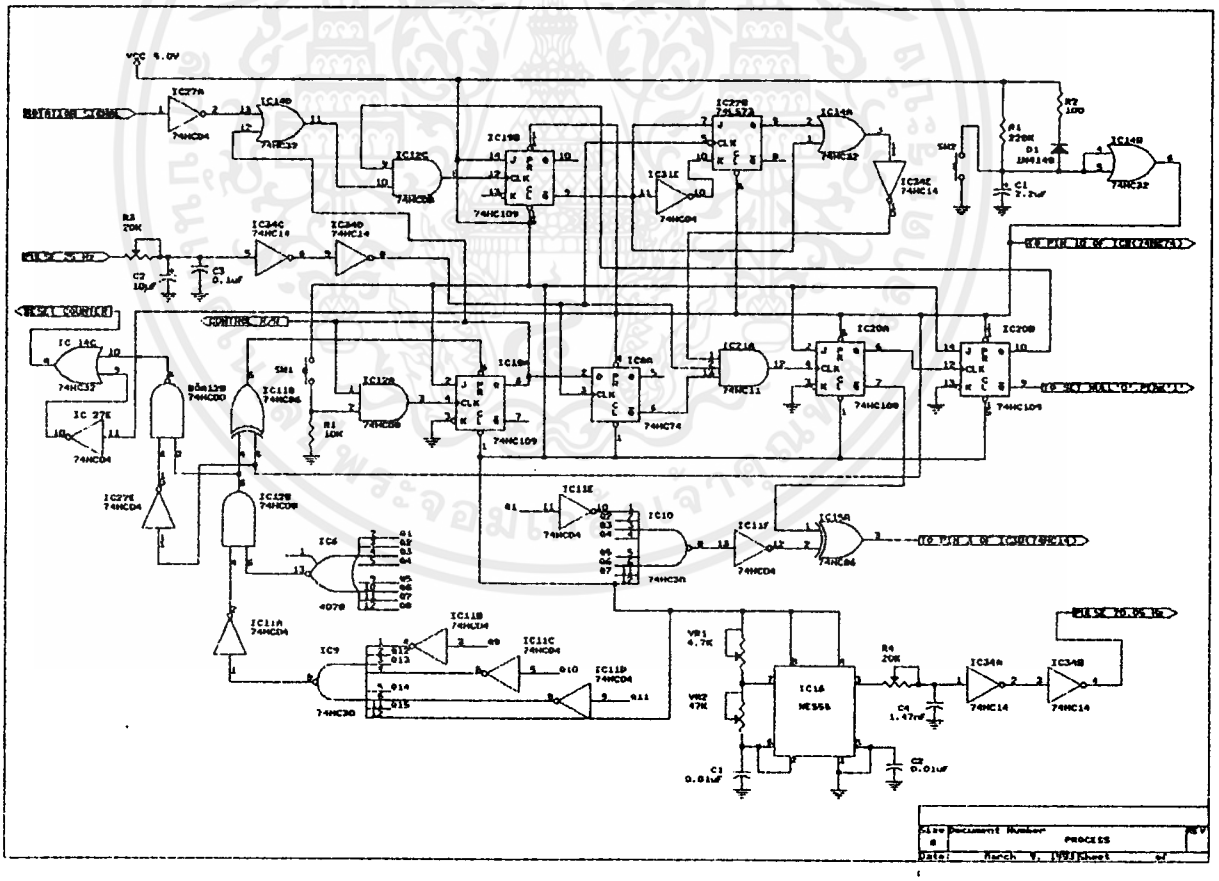
มีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ให้ทำงานตามต้องการ ได้แก่ การสร้างสัญญาณดังต่อไปนี้

1 สัญญาณควบคุมการตัด NULL-PEAK ส่งให้แก่ ANTENNA

2 สัญญาณควบคุมการทำงานของ Ring Counter

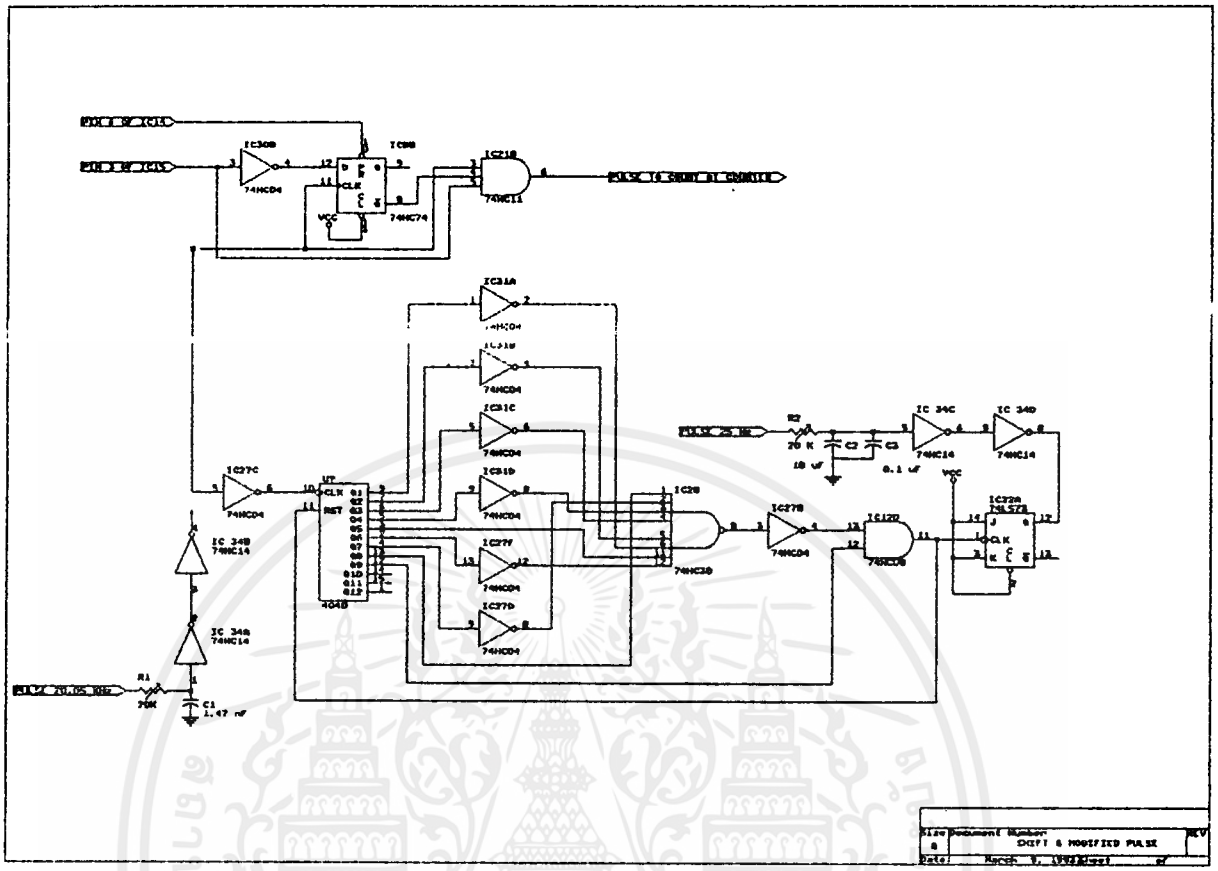
3 สัญญาณควบคุมการทำงานของ Multiplexer เพื่อเลือกว่าต้องการให้วงจรทำงานในโหมดการอ่าน หรือโหมดการเขียน ในที่นี้กำหนดให้โหมดการอ่านเป็นลอจิก"1" และโหมดการเขียนเป็นลอจิก"0"

4 สัญญาณควบคุมเพื่อทำการ Reset ระบบทั้งหมดก่อนการใช้งาน



รูปแสดงวงจรสร้างสัญญาณควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงวงจรสร้างพัลส์ 25.06 Hz จากพัลส์ 20.05 kHz

3 วงจรสร้างพัลส์ 25.06 Hz จากพัลส์ 20.05 kHz

ส่วนหนึ่งของภาค Timebase ลักษณะการทำงานเป็นการสร้างพัลส์ 25.06 Hz จากสัญญาณพัลส์ 20.05 kHz ประกอบด้วย Ring Counter และ D-F/F คือเมื่อนับสัญญาณพัลส์ 20.05kHz ได้ครบทุกๆ 400 ลูก จะทำให้เอาท์พุทของ D-F/F เปลี่ยนสภาวะจากสภาวะเดิมเป็นสภาวะใหม่ (เป็นลักษณะของสัญญาณพัลส์) ซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ 25.06 Hz เพื่อนำสัญญาณนี้นำกลับไปใช้ในภาคควบคุมสัญญาณเวลาต่อไปเวลาต่อไป

2. การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ (โหมดการอ่าน)

เมื่อมีการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้วระบบ Hardware จะเปลี่ยนการทำงานเป็นโหมดการอ่านโดยอัตโนมัติ ต่อไปก็สามารถที่จะอ่านข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อเก็บลงใน FDD หรือ HD คือ เรา

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใช้ซอฟท์แวร์ในการควบคุมการอ่าน คือ เมื่อมีคำสั่งทางซอฟท์แวร์ให้อ่านข้อมูล ภายใน CPU ของคอมพิวเตอร์จะทำงานตามคำสั่งโดยส่ง address ออกมาที่ address bus ซึ่งในส่วน Hardware จะมีภาค decode อยู่ ซึ่งถ้ามีการให้ address ตรงกับที่ decode ไว้ในโครงงาน กำหนด address เป็น 0333H (รายละเอียดเรื่องการ decode โดยใช้สวิทช์เลือก) ภาค decode นี้จะให้สัญญาณกระตุ้นนี้ไปควบคุมให้ counter นับ และควบคุมให้ Static RAM ปล่อยข้อมูลออกไปที่ Data bus ซึ่งเมื่อมีการใช้คำสั่งอ่านข้อมูล 30720 ครั้ง ก็สามารถที่จะอ่านข้อมูลออกมาได้ครบ 30720 ค่า ในส่วนของ decode จะขอขยายความดังนี้

ในการ decode แอดเดรสของพอร์ต I/O เราจะต้องคำนึงถึงช่วงเวลาของสัญญาณที่เกิดขึ้นในขบวนการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนพอร์ต I/O ดังนี้

1 ในช่วงเวลาเริ่มต้นของบัสไซเคิลที่เกี่ยวกับพอร์ท I/O นั้น ถ้าสัญญาณจากวงจรดีโคดมีการหน่วงเวลา (delay) มากเกินไป อาจจะทำให้สัญญาณดีโคดนี้เกิดขึ้นหลังจากสัญญาณ IOR หรือ IOW แอกทีฟ และเนื่องจากค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้นเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ดังนั้นก่อนที่ค่าแอดเดรสที่ถูกต้องจะถูกส่วออกมาบนบัสแอดเดรสนั้น วงจรดีโคดจะได้รับค่าแอดเดรสอื่น ๆ อยู่ ซึ่งถ้าหากวงจรดีโคดมีการหน่วงเวลามากเกินไปแล้ว สัญญาณดีโคดแอดเดรสที่ไม่ถูกต้องนี้อาจจะถูกหน่วงเวลาจนเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สัญญาณ IOR หรือ IOW เกิดขึ้นแล้วก็ได้ ทำให้ข้อมูลบนบัสข้อมูลนั้นถูกส่งไปยังพอร์ตที่ไม่ถูกต้อง สำหรับ IBM PC จะถูกออกแบบให้การหน่วงเวลาในวงจรดีโคดนั้นมีค่าไม่เกิน 92 ns

2 ในช่วงท้ายของบัสไซเคิลในการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ต I/O นั้น ถ้าสัญญาณ IOW มีการหน่วงเวลาออกไป และวงจรดีโคดมีความเร็วในการทำงานสูงแล้วอาจจะทำให้ข้อมูลในบัสไซเคิลนี้ถูกส่งให้กับพอร์ต I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสในบัสไซเคิลต่อไปก็ได้ ใน IBM PC สัญญาณ IOW จะมีการหน่วงเวลาไปไม่เกิน 200 ns

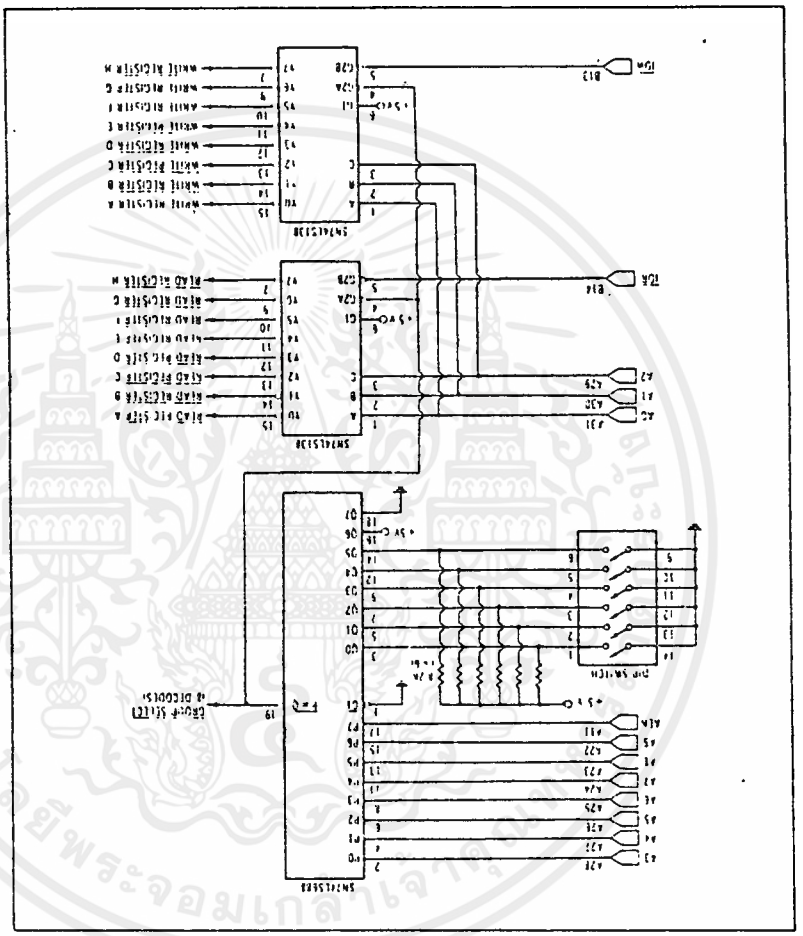
อย่างไรก็ตามช่วงเวลาที่ต้องสนใจมากอีกช่วงเวลาหนึ่งก็คือ ช่วงเวลาระหว่างขอบขาขึ้นของสัญญาณ IOW กับช่วงเวลาที่ข้อมูลที่ถูกต้องถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูล ถ้าสัญญาณ IOW ถูกหน่วงเวลาไปเกินกว่า 120 ns แล้ว อาจทำให้พอร์ต I/O ได้รับข้อมูลที่ไม่ถูกต้องก็ได้ และสำหรับสัญญาณ IOR นั้น ถ้ามีการหน่วงเวลาเกิดขึ้นแล้ว ก็จะทำให้ความเร็วในการอ่านข้อมูลลดลง

การดีโค้ดโดยใช้สวิทช์เลือก

การดีโค้ดโดยใช้สวิทช์เลือก มีข้อดี คือ แอดเดรสที่เราเลือกใช้งานไว้นั้นอาจจะซ้ำกับแอดเดรสของการ์ดอื่นที่เรานำมาเพิ่มเข้าไปในระบบในภายหลังก็ได้ ซึ่งกรณีเช่นนี้เราต้องแก้ไขวงจรเพื่อหลีกเลี่ยงไปใช้แอดเดรสอื่นที่ยังว่างอยู่ และไม่ถูกใช้งานโดยการ์ดที่จะเพิ่มเข้าไปใหม่ โดยใช้วงจรดีโค้ดที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าแอดเดรสได้ โดยเพียงแต่เปลี่ยนตำแหน่งของสวิทช์ (ในที่นี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dip switch) ที่เซ็ทไว้ในวงจรเท่านั้น ดังรูป



รูป ตัวอย่างวงจรดีโค้ดแอดเดรสโดยใช้สวิทช์เลือก

จากรูปเป็นวงจรที่ทำการดีโค้ดกลุ่มแอดเดรสขนาด 8 แอดเดรส ซึ่งการเลือกกลุ่มแอดเดรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทำการดีโค้ดนี้จะทำได้โดยการเซ็ท Dip Switch ที่ขา Q0-Q5 ของ 74LS688

สำหรับหน้าที่ของ 74LS688 นี้ทำการเปรียบเทียบค่าของอินพุท 2 ชุดที่ถูกส่งเข้ามาทางขา P0-P7 และขา Q0-Q7 ถ้าอินพุททั้ง 2 ชุดนี้เท่ากันแล้ว เอาท์พุทที่ขา P=Q จะให้เอาท์พุทเป็นลอจิก "0" จากในวงจรขา P0-P6 ของ 74LS688 ต่อกับแอดเดรสบิท A3-A9 ในขณะที่ขา Q0-Q5 ต่อกับความต้านทานที่ทำหน้าที่เป็น Pull up (รักษาระดับแรงดันให้เป็นลอจิก "1" ไว้ในกรณีที่ไม่มีอินพุทใดเข้ามา) และขา Q0-Q5 นี้จะต่อกับปลายข้างหนึ่งของ Dip Switch ด้วย ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งของ Dip Switch นั้นจะต่อลงกราวด์ (ลอจิก"0")ไว้ ดังนั้นถ้าเราทำการ "ON" Dip Switch ที่ต่อกับขาใดขานั้นก็จะได้รับลอจิก"0" ในขณะที่ถ้า Dip Switch ที่ต่อกับขาใดถูก "OFF" ขานั้นก็จะได้รับลอจิก"1" และเนื่องจากอินพุทที่ขา P0-P5 (แอดเดรส A3-A9) ต้องเท่ากับอินพุทที่ขา Q0-Q5 ดังนั้นถ้าเราเปลี่ยนแปลงการเซ็ท Dip Switch เหล่านี้ก็จะทำให้แอดเดรสบิท A3-A8 ซึ่งต่อกับขา P0-P5 นั้นต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จึงจะทำให้เอาท์พุทของ 74LS688 แอกทีฟได้ สำหรับขา Q6 นั้นจะต่อกับลอจิก"1" (+5V)และขา P6 ต่อกับแอดเดรสบิท A9 ในกรณีเช่นนี้จึงเท่ากับเป็นการบังคับให้แอดเดรสที่ทำการดีโค้ดได้นั้น จะต้องมีแอดเดรสบิท A9 เป็น"1" เท่านั้น ส่วนขา P7 จะต่อกับสัญญาณ AEN โดยมีขา Q7 ต่อกับลอจิก "0" การต่อลักษณะนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้ 74LS688 ทำการดีโค้ดในระหว่างขบวนการ DMA นั่นเองเอาท์พุทจากขา P=Q ของ 74LS688 นี้จะถูกนำไปใช้ในการอีเนเบิล 74LS138 ซึ่งทำหน้าที่ในการดีโค้ดแอดเดรส 8 แอดเดรสของกลุ่มแอดเดรสที่เราเลือก (โดยใช้ Dip Switch ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว)

รายละเอียดภาค Software

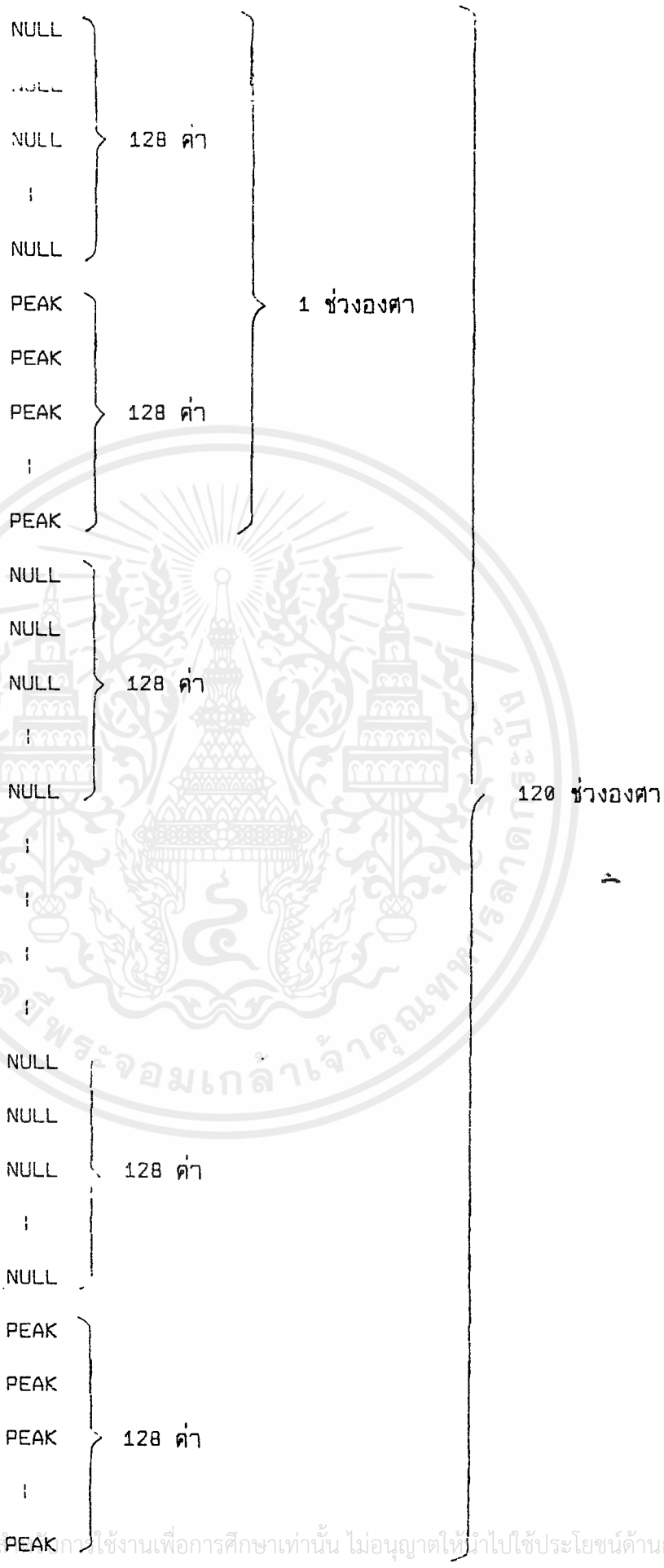
1 โหมด Save

เป็นโหมดที่ใช้งานจาก memory ภายนอก(SRAM) นำมาเก็บไว้ใน memory ภายใน ซึ่งอาจจะเป็น FDD หรือ HD ก็ได้ เพื่อเป็นข้อมูลในโหมด Process ต่อไป เหตุที่ต้องนำข้อมูลมาเก็บไว้ใน FDD หรือ HD ก่อน เพราะว่าในโหมด Process มีการนำข้อมูลเพื่อมา Process ครั้งและการอ่านข้อมูลจาก FDD หรือ HD สามารถควบคุมได้ง่ายกว่าการอ่านข้อมูลจาก memory ภายนอก (SRAM)

2 โหมด Process

ลักษณะของข้อมูลที่ save แต่ละครั้งจะแบ่งออกเป็น 120 ช่วงองศา แต่ละช่วงองศาจะประกอบด้วยข้อมูลที่เสาอากาศตัด Peak และ Null อย่างละ 128 ข้อมูล เพราะฉะนั้นขนาดของข้อมูลเท่ากับ 128*2*120 = 30720 ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการ Process ข้อมูล

1 หาทิศทางของเครื่องส่ง โดยอ่านข้อมูล D0-D6 มา

1.1 หาค่า Peak ที่สูงที่สุด ซึ่งอาจจะมีหลายค่าที่สูงที่สุด แล้วเก็บค่าช่างองศาไว้

1.2 หาค่า Null ที่น้อยที่สุด จากช่างองศาที่เก็บไว้ ซึ่งเมื่อพบค่า Null ที่น้อยที่สุดนั้น จะหมายถึง ทิศทางของเครื่องส่ง ซึ่งเทียบจากตำแหน่งมุมเริ่มต้นที่เริ่มหมุนเสาอากาศ

2 หาระยะทางของเครื่องส่ง ในช่างองศาใด จะนำข้อมูลบิทที่ 8 คือ D7 ในช่างองศานั้น มาหาระยะทาง โดยในข้อมูล 128 ค่า ของข้อมูล Null หรือ Peak ค่าใดมีค่าเท่ากับ "1" เช่นในข้อมูล 128 ค่า เป็นค่า D7 เท่ากับ "1" ในข้อมูลที่ 5 หมายถึง เครื่องส่งมีระยะห่างเท่ากับ 37.5 m * 5 = 187.5 m เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <graphics.h>
int       begin=40;
int       end=100;
int       NumberPort=819;                    /* number address port        */
char      buff[15360];                       /* variable of data in buffer */
char      NumberBit=127;                     /* ADC 7 bit => 1111111=127   */
main ()
{
     char  choich ;
 menu () ;
 erase (10,17) ;printf ("Please select : ") ;
 do
    {
          choich = getch ();
          choich = toupper (choich) ;
          switch (choich)
          {
               case 'P' :
                  tone (800,6) ;
                  process () ;
                  tone (800,6) ;
                                          break;
               case 'S' :
                  tone (800,6) ;
                  save () ;
                  tone (800,6) ;
                                          break;
               case 'Q' :
                  tone (800,6) ;
                  clrscr () ;
                  exit (0) ;                          /* EXIT to DOS */
               default  :
                  tone (950,1) ;
          }
    }  while ( (choich != 'Q') ) ;
 clrscr () ;
}

 menu ()
 {
  clrscr () ;
  scrn (6,5,27,13) ;
  gotoxy ( 7, 7) ;printf ("     ....MENU....     ") ;
  gotoxy ( 7, 9) ;printf (" ...[S]...Save..... ") ;
  gotoxy ( 7,10) ;printf (" ...[P]...Process.. ") ;
  gotoxy ( 7,11) ;printf (" ...[Q]...Quit..... ") ;
  scrn (6,15,75,20) ;
  gotoxy (37,15) ;printf (" Message ") ;
 }

 erase (int x,int y)
 {
  tone (700,1) ;
  gotoxy (x,y) ; clreol () ;
  gotoxy (75,y) ; printf ("%c",186) ;
  gotoxy (x,y) ;
 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
scrn (int left,int top,int right,int bottom)
{
     int b ;
 gotoxy (left,top) ;printf ("%c",201);
 for (b=left+1;b<right;b++)
     { gotoxy (b,top) ;printf ("%c",205) ; }
 gotoxy (right,top) ;printf ("%c",187);

 for (b=top+1;b<bottom;b++)
     { gotoxy (left,b) ;printf ("%c",186) ; }
 for (b=top+1;b<bottom;b++)
     { gotoxy (right,b) ;printf ("%c",186) ; }

 gotoxy (left,bottom) ;printf ("%c",200) ;
 for (b=left+1;b<right;b++)
     { gotoxy (b,bottom) ;printf ("%c",205) ; }
 gotoxy (right,bottom) ;printf ("%c",188) ;
}

process ()
{
     int i,j,k,m,p,y,z,avg,average ;
     int direction,b ;
     int max=0 ;
     int min=127 ;
     int n=0,q=0 ;
     int peakrng[120] ;
     int nullrng[120] ;
     float distance ;
     char data,data_distance ;
     char *pbuff ;
     FILE *fp ;
     char a[10] ;
 erase (10,17) ; printf ("Input FILENAME to process => ");
 gets (a) ;

 /* Open a file to read data for finding direction and distance */

 if ( (fp = fopen(a,"rb")) != NULL )
 {
    erase (10,17) ; printf ("How many of 'max' => ") ;
    scanf ("%d",&z) ;
    erase (10,17) ; printf ("wait for process ") ;

    pbuff = &buff[0] ;

    /* Finding the direction by PEAK */

    for (i=0;i<120;i++)
    {
       fseek (fp,(long) 128+i*256,0) ;
       if ( fread (pbuff+(i*128),sizeof(char),128,fp)!=128 )
       {
          erase (10,17) ;
          if ( feof(fp) )
          {
            printf ("end-of-file ") ;
            getch () ;
            erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
          }
          else
          {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            printf ("file process ERROR ") ;
            getch () ;
            erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
          }
      }
   }
   for (p=0;p<2;p++)
   {
      for (j=0;j<15360;j=j+128)
      {
         avg = 0 ;
         /* Finded the average value from 40 to 100 of pulse */
         for (k=begin;k<end;k++)
         {
            data = (buff[j+k] & NumberBit) ;
            avg = avg+data ;
         }
         average = avg/(end-begin) ;
         if ( (avg%60) >= 30 )
         { average = average+1 ;}
         /* Finded the maximum value */
         if (p==0)
         {
           if ( average>=max )  { max = average ; }
         }
         if (p==1)
         {
           if ( average==max )
           {
             peakrng [n] = j ;
             n = n+1 ;
           }
         }
      }
   }
   for (j=0;j<15360;j=j+128)
   {
      avg = 0 ;
      /* Finded the average value from 40 to 100 of pulse */
      for (k=begin;k<end;k++)
      {
         data = (buff[j+k] & NumberBit) ;
         avg = avg+data ;
      }
      average = avg/(end-begin) ;
      if ( (avg%60) >= 30 )
      { average = average+1 ;}
      /* Finded the max group */
      if ( average >= (max-z) )
      {
        peakrng [n] = j ;
        n = n+1 ;
      }
   }

   /* Finding the direction by NULL */

   for (i=0;i<120;i++)
   {
      fseek (fp,(long) i*256,0) ;
      if ( fread (pbuff+(i*128),sizeof(char),128,fp)!=128 )
      {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        erase (10,17) ;
        if ( feof(fp) )
        {
          printf ("end-of-file ") ;
          getch () ;
          erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
        }
        else
        {
          printf ("file process ERROR ") ;
          getch () ;
          erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
        }
    }
}
for (p=0;p<2;p++)
{
    for (m=n-1;m>=0;m=m-1)
    {
        avg = 0 ;
        j = peakrng [m] ;
        /* Finded the average value from 40 to 100 of pulse */
        for (k=begin;k<end;k++)
        {
          data = (buff[j+k] & NumberBit) ;
          avg = avg+data ;
        }
        average = avg/(end-begin) ;
        if ( (avg%60) >= 30 )
        { average = average+1 ;}
        /* Finded the minimum value */
        if (p==0)
        {
          if ( average<=min )  { min = average ; }
        }
        if (p==1)
        {
          if ( average==min )
          {
            nullrng [q] = j ;
            q = q+1 ;
          }
        }
    }
}
y=7 ;
for (m=q-1;m>=0;m=m-1)
{
    j = nullrng [m] ;
    direction = (j/128)*3 ;

    /* Finding the distance by COUNT PULSE */
    b = 0 ;
    avg = 0 ;
    for (k=0;k<=53;k++)
    {
       data_distance = buff[j+k] ;
       if (data_distance<0)
       {
          avg = avg+k ;
          b = b+1 ;
       }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        if (b==0)
        {
          gotoxy (40,7) ; clreol () ;
          gotoxy (40,7) ;
          printf ("OUT OF RANGE!!!") ;
        }
        if (b>0)
        {
          distance = (avg/b)*37.5 ;
          gotoxy (40,y) ; clreol () ;
          gotoxy (40,y) ;
          printf ("THE DIRECTION IS %d ",direction) ;
          y = y+1 ;
          gotoxy (40,y) ; clreol () ;
          gotoxy (40,y) ;
          printf ("THE DISTANCE IS %.1f ",distance) ;
          y = y+1 ;
        }
      }
      fclose (fp) ;
      erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
   }
   else
   {
      erase (10,17) ; printf ("process file ERROR : HIT any key ") ;
      getch () ;
      erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
   }
}

save ()
{
     int i,j ;
     FILE *fp ;
     char b[10] ;
 erase (10,17) ;printf ("Input FILENAME to save => ") ;
 gets (b) ;
 if ((fp = fopen(b,"wb")) != NULL )
 {
    erase (10,17) ;printf ("wait for save ") ;
    for (i=0;i<2;i++)
    {
       for (j=0;j<15360;j++)
       {
          buff[j] = (char)inportb (NumberPort) ;
          delay (0.001) ;
       }
       fseek(fp,(long) i*15360,0) ;
       if ( fwrite(buff,sizeof(char),15360,fp)!=15360 )
       {
          erase (10,17) ;
          if ( feof(fp) )
          {
            printf ("end-of-file ") ;
            getch () ;
            erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
          }
          else
          {
            printf ("file save ERROR ") ;
            getch () ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
              }
            }
        }
        fclose (fp) ;
        erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
    }
    else
    {
        erase (10,17) ; printf ("save file ERROR : HIT any key ") ;
        getch () ;
        erase (10,17) ; printf ("Please select : ") ;
    }
}

tone (freq,time)
     int freq,time ;
{
 sound(freq-200) ;
 delay(time+1) ;
 nosound() ;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# ผลการทดลอง

ภาคเครื่องส่งและภาคเครื่องรับ

ภาคเครื่องส่ง

วิธีวัดกำลังส่งของเครื่องส่งในปริญญานิพนธ์นี้ ใช้ ATTENUATOR ภายนอก (-25dBm) ต่อก่อนเข้า SPECTRUM ผลการวัดเมื่อรวม ATTENUATION แล้วได้ 31dBm โดยประมาณ (0.3 watts) และวัด DEVIATION ได้ 40 KHz

ภาคเครื่องรับ

จากผลการทดลองเครื่องรับมี SENSITIVITY ประมาณ -80dBm โดยใช้ RF Generator ป้อนตรงเข้าสู่เครื่อง แล้วค่อยๆลดขนาด (Amplitude) ลงเรื่อยๆ จนวัดสัญญาณไม่ได้

จากการทดลอง เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมากขึ้น สัญญาณที่รับได้มีขนาดความแรงลดลง จนถึงระยะห่างค่าหนึ่งประมาณ 70 เมตร จะไม่สามารถรับสัญญาณได้

ภาคประมวลผล

จากการทดลอง hardware ในภาคประมวลผล สามารถทำงานเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำภายนอกตามต้องการ และติดต่อกับ IBM/PC โดยใช้ software ควบคุมผ่านทาง address port ในภาคประมวลผล โดยใช้ software สามารถแสดงทิศทางที่ถูกต้อง โดยมีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

ภาคเสาอากาศ

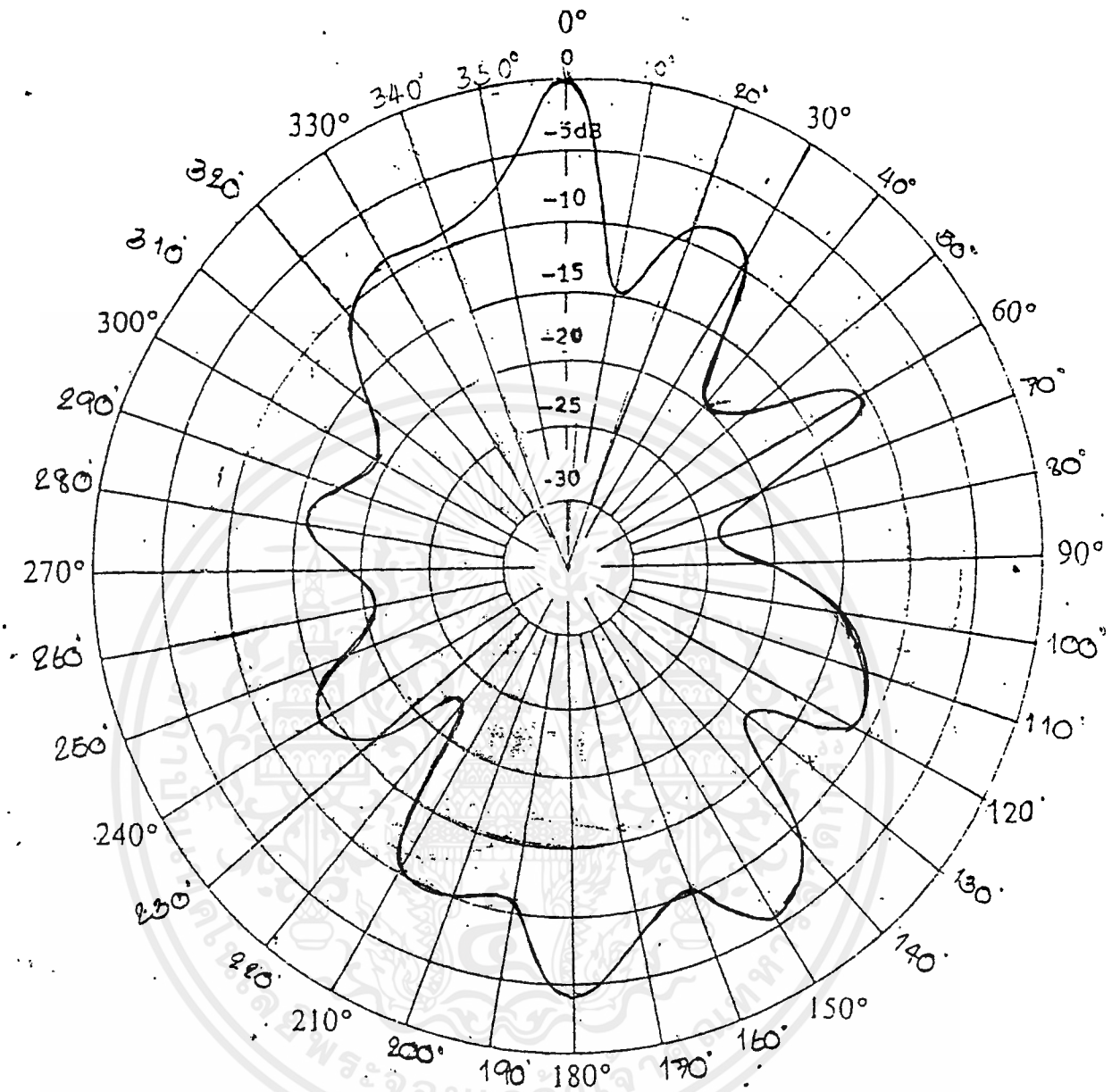
ทำการทดลองวัด PATTERN ของเสาอากาศ เมื่อ

1 เสาอากาศตัด PEAK

2 เสาอากาศตัด NULL

ได้ PATTERN ของเสาอากาศ ดังรูป

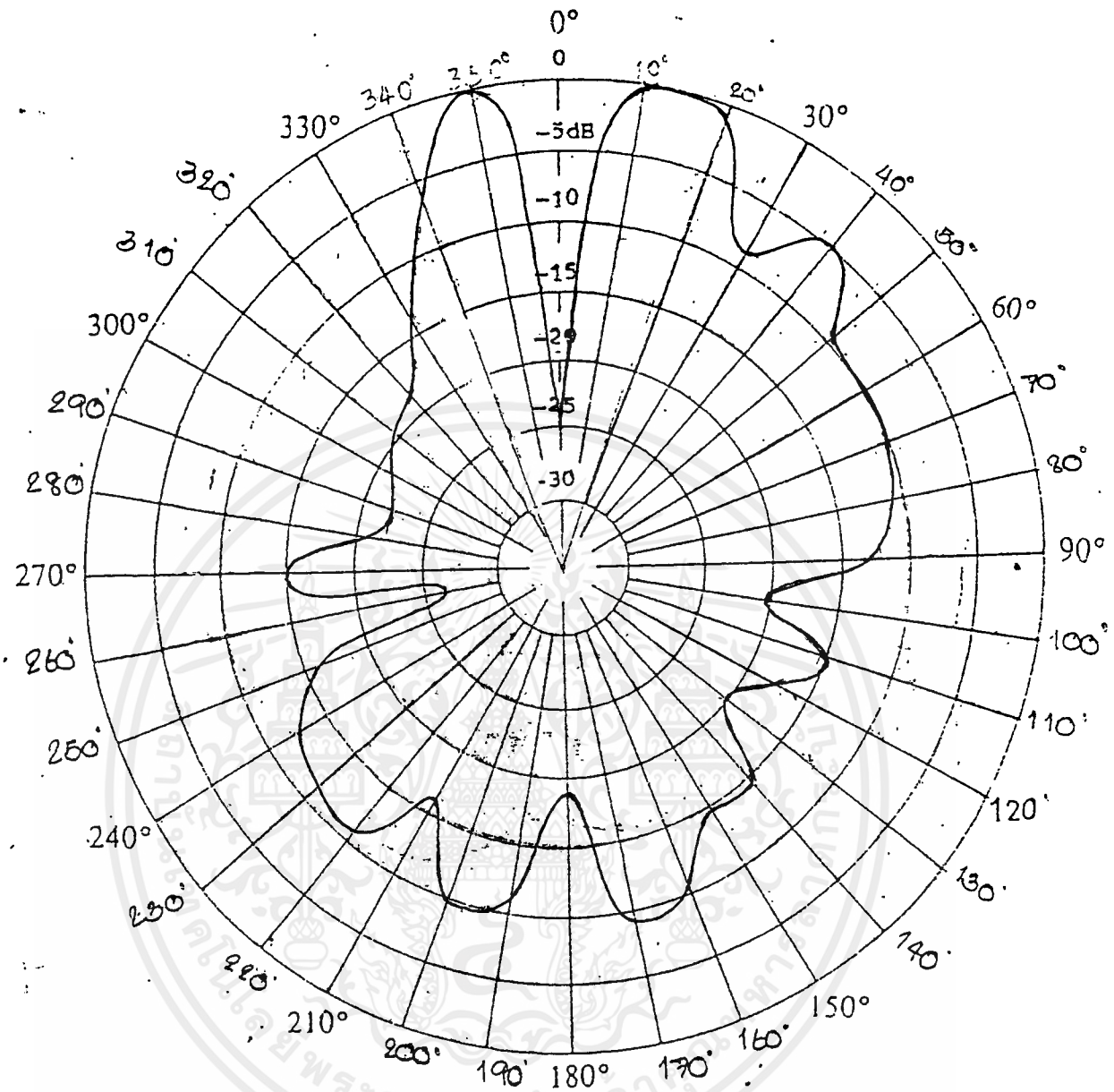
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Horizontal radiation pattern of antenna MHz

รูป PATTERN เมื่อเสาอากาศรับ PEAK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Horizontal radiation pattern of antenna MHz

รูป PATTERN เพื่อหาทางทิศทิศ NULL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองของระบบ แต่เดิมปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้สามารถแสดงทิศทางและระยะทางของเครื่องส่งได้ แต่ด้วยขนาดกำลังของเครื่องส่งที่วัดได้มีค่าประมาณ 25.6 dBm (0.36 Watts)จึงทำให้ได้ระยะทางรับส่งประมาณ 70 m เป็นผลให้ไม่สามารถตรวจจับระยะทางได้ เพราะว่า แต่เดิมหลักการที่ออกแบบไว้จะมีความผิดพลาดในการวัดระยะทางประมาณ 35 m

สำหรับเครื่องส่งสัญญาณออกมาทางเสาอากาศในทางทฤษฎีจะถูกลดทอนสัญญาณเนื่องจาก

1 วงจรเครื่องส่งภาคสุดท้ายไม่แมชชิ่ง(non matching)กับเสาอากาศ

2 free space loss($L_b$)ซึ่งมีค่าเท่ากับ $20\log(4\pi d/\lambda)$

3 เสาอากาศไม่แมชชิ่ง(non matching) กับวงจรเครื่องรับภาคแรก

ในทางปฏิบัติการลดทอนการรับสัญญาณยังมีผลจากสิ่งแวดล้อม เช่นลม ฝน อีกด้วย เป็นผลให้ปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้สามารถตรวจจับทิศทางได้เพียงอย่างเดียว

แนวทางในการปรับปรุง

1 เพิ่มระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับให้มากขึ้น โดย

1.1 เพิ่มความแรงของเครื่องส่ง

1.2 เพิ่มความไวของเครื่องรับ

2 ในส่วนการหมุนของเสาอากาศ ยังไม่stableเท่าที่ควร เนื่องจากยังใช้การหมุนโดยใช้ฟันเฟืองซึ่งมีความผิดพลาดอยู่สามารถปรับปรุงโดย เปลี่ยนเป็นการหมุนโดยใช้stepping motor

3 เขียนsoftwareในส่วนประมวลผล ให้รัดกุมยิ่งขึ้น และเพิ่มเติมgraphic ในส่วนแสดงผลด้วย

ปัญหาที่พบคือ การหาซื้ออุปกรณ์ทางด้าน RF นี้เป็นเรื่องที่ลำบากมาก ซึ่งตัวอุปกรณ์เหล่านี้มาจากหนังสือของต่างประเทศด้วยแล้ว นอกจากนี้ยังประสบปัญหาเรื่องการ matched impedance ด้วย สำหรับอุปกรณ์วัดแล้วนับว่ามีประสิทธิภาพดีทีเดียว แต่ก็ยังเสียดายว่าทำไมไม่ค่อยมีคนมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้ก็มาจากเงินของนักศึกษาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

สำหรับโครงงานเครื่องแสดงการติดตามเครื่องส่งด้วยคอมพิวเตอร์ ทางคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำและเครื่องมือที่ใช้จาก รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์,อ.ประภากร สุวรรณะ อ.สมผล โกศัลย์วิตร์ ทางคณะผู้จัดทำซาบซึ้งในความอนุเคราห์ของอาจารย์มาก จึงขอขอบคุณอาจารย์มา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ เพื่อนๆและน้องๆชุมนุมอิเล็กทรอนิคส์ที่คอยช่วยเหลือด้านเสบียงอาหาร และชุมนุมอิเล็กทรอนิคส์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่.....ขอบคุณจริงๆ

จากใจ

นาย ชาญณรงค์ อ่างทอง

นาย ธัชพงศ์ ฉายชยานนท์

นาย ยุทธนา ศิริแสงมงคล

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. นาย ธานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์ , นาย ทินกร ดุ๊ก "การอินเทอร์เฟส IBM/PC"
2. นาย สุชาติ กังวาลจิตต์ "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร"
3. นาย ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ , นาย ทินกร ดุ๊ก "การสื่อสารข้อมูล"
4. นาย ธนัท ชัยยุทธ , นายกณน แก้วพิชัย "ดิจิตอลพื้นฐาน"
5. THE ARRL HANDBOOK FOR RADIO AMATEURS 1992 ; Published by the american radio relay league
6. Chris Bowick "RF CIRCUIT DESIGN"
7. Robert J. Matthys "CRYSTAL OSCILLATOR CIRCUITS"
8. editor:G.R.Jessop "VHF/UHF MANAUL" , Fourth edition ,,CEng,MIERE,G6JP.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้