



วิทยุรับ - ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์

CB 27.035 AND 27.125 MHZ. HANDY TRANSCEIVER

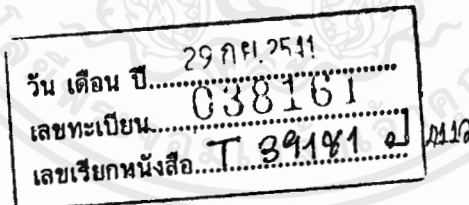
โดย

นายประสาร จันลีชา รหัส 36014250

นางสาวสมชนก ภาวศุทธิกุล รหัส 36014454

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วิภา แสงพิลิตธิ์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038161

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วิทยุรับ - ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์

CB 27.035 AND 27.125 MHz. HANDY TRANSCEIVER

ผู้จัดทำ

1. นายประสาร จันสีชา รหัส 36014250

2. นางสาวสมชนก ภาวศุทธิกุล รหัส 36014454

วิภา นงพิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ วิชา แสงพินิติ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์  
CB 27.035 AND 27.125 MHZ. HANDY TRANSCEIVER

โดย 1. นายประสาร จันสีชา รหัส 36014250  
2. นางสาวสมชนก ภาวศุทธิกุล รหัส 36014454

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ วิชา แสงพิสิทธิ

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการศึกษาและสร้างวิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้วิธีการมอดูเลตทางความถี่ ( Frequency Modulation ; FM ) เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารระยะไกลให้มีประสิทธิภาพ โดยใช้กำลังส่งไม่สูงมาก

ABSTRACT

This project studies and constructs Citizens Bands (CB) 27.035 and 27.125 MHz. handy transceiver by using Frequency Modulation (FM). It is used to communicate for long distance, with high efficiency and low transmitting power.

## สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีของระบบวิทยุรับ-ส่ง	2
	2.1 ระบบสื่อสาร	2
	2.2 การมอดูเลตเชิงมุม	3
	2.3 เครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM	15
	2.4 วงจรมัลติพลาย	20
	2.5 วงจรขยายกำลัง RF	21
	2.6 วงจรขยาย RF	23
	2.7 มิกเซอร์	23
	2.8 วงจรออสซิลเลเตอร์	26
	2.9 วงจรขยายเสียง	28
	2.10 ไลคอลลออสซิลเลเตอร์	28
	2.11 วงจรขยาย IF	29
	2.12 วงจรดีเทคเตอร์	32
	2.13 มิวต์หรือสแควลซ์	33
บทที่ 3	หลักการทํางานของวิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์	34
	3.1 บล็อกไดอะแกรมของวิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์	34
	3.2 วงจรและการทำงานของวิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์	36
	3.3 การออกแบบลายวงจรพิมพ์ โดยใช้โปรแกรม PADS-PCB ด้วย วิธี Manual Route	40
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	42
บทที่ 5	บทวิจารณ์และบทสรุป	49
บทที่ 6	บทแทรก	50
	6.1 ลักษณะของเมนู PADS-PCB	50
	6.2 การเปลี่ยนตารางพิกัด ( Grid ) และเลเยอร์ ( Layer )	51
	6.3 การจัดเมนูและการเลือกคำสั่ง	51
	6.4 การโหลดไฟล์ PCB Design	52
	6.5 การเก็บงานลงบนดิสก์	52
	6.6 การสร้างโครงของบอร์ด ( Board Outline )	52
	6.7 การสร้างฐานข้อมูลของ PCB โดยไม่ใช้แผนผังวงจร	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8 การวางอุปกรณ์ลงบอร์ด ( Placing Components )	55
6.9 การวางอุปกรณ์หลายตัวพร้อมกัน	55
6.10 การเดินลายวงจรแบบอัตโนมัติ ( Autorouting )	55
6.11 การใช้งาน	56

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูปภาพ

รูปที่ 2.1.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน	2
รูปที่ 2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของความถี่กับเวลา	4
รูปที่ 2.2.2 การเปลี่ยนแปลงของเฟสกับความถี่	5
รูปที่ 2.2.3 สัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตทางเฟสและความถี่ด้วยสัญญาณชาวยน์	7
รูปที่ 2.2.4 เปรียบเทียบความถี่เบี่ยงเบนระหว่าง PM และ FM	10
รูปที่ 2.2.5 การแปลงระหว่างคลื่น PM กับ FM	10
รูปที่ 2.2.6 กราฟแสดงแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์ในระบบ FM	13
รูปที่ 2.2.7 รูปคลื่น FM ในเชิงความถี่ที่ค่าดัชนีการมอดูเลตต่าง ๆ	13
รูปที่ 2.3.1 แผนผังของเครื่องส่ง VHF/FM	15
(ก) ใช้วิธีมอดูเลตโดยตรง	15
(ข) เฟสมอดูเลเตอร์	15
รูปที่ 2.3.2 แผนผังของเครื่องส่ง UHF/FM	16
รูปที่ 2.3.3 เครื่องรับ FM แบบชิงเกิลคอนเวอร์ชัน	16
รูปที่ 2.3.4 เครื่องรับ FM แบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน	17
รูปที่ 2.3.5 เครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM ซึ่งแยกภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่ง	17
รูปที่ 2.3.6 เครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM แบบใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ร่วมกัน	18
รูปที่ 2.3.7 วงจรมอดูเลเตอร์ใช้วาแรกเตอร์	18
รูปที่ 2.3.8 วงจรรีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์	19
รูปที่ 2.3.9 วิธี FM โดยอ้อม ใช้เฟสมอดูเลเตอร์	20
รูปที่ 2.4.1 วงจรดับเบิลอร์	21
รูปที่ 2.5.1 วงจรขยายกำลังคลาส C ในย่านความถี่ VHF	21
รูปที่ 2.5.2 วงจรขยายกำลังลิเนียร์ในย่านความถี่ UHF	22
รูปที่ 2.5.3 วงจรขยายกำลังใช้ MOSFET สำหรับความถี่ 144 MHz.	22
รูปที่ 2.6.1 วงจรขยาย RF ซึ่งใช้เฮลิคอลลโรโซเนเตอร์	23
รูปที่ 2.7.1 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับ (ก) และมิกเซอร์ของภาคเครื่องส่ง (ข)	24
รูปที่ 2.7.2 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอกทิฟ แบบใช้ FET	24
รูปที่ 2.7.3 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดพาสซีฟ	25
รูปที่ 2.7.4 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอกทิฟ แบบใช้ไอซี	25
รูปที่ 2.8.1 การสวิตช์เลือกคริสตอลให้แก่ออสซิลเลเตอร์	27
รูปที่ 2.8.2 วงจรโอเวอร์โทนออสซิลเลเตอร์	27
รูปที่ 2.9.1 วงจรขยายเสียงในภาคเครื่องรับ (รูป ก) และภาคเครื่องส่ง (รูป ข)	28
รูปที่ 2.10.1 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกแร่ต่ออุณหภูมิ	29
รูปที่ 2.11.1 วงจรขยาย IF ซึ่งใช้คริสตอลฟิลเตอร์คู่	30

รูปที่ 2.11.2	แผนผัง IC เบอร์ MC 3361	31
รูปที่ 2.11.3	ตัวอย่างวงจรใช้งานของ 3361	31
รูปที่ 2.12.1	วงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์	32
	(ก) แสดงการเลื่อนเฟสที่คอยล์	32
	(ข) ไอซีเบอร์ CA 3089	33
รูปที่ 2.13.1	วงจรสแควลซ์แบบใช้พาหะบังคับ	33
รูปที่ 3.1.1	บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องส่ง	34
รูปที่ 3.1.2	บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องรับ	35
รูปที่ 3.2	วงจรของวิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์	39
รูปที่ 3.3.1	แผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม PADS-PCB	41
รูปที่ 4.1	แสดงภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม PADS-PCB และภาพอุปกรณ์ภายในของวิทยุรับ-ส่งมือถือที่ต่อเรียบร้อยแล้ว	42
รูปที่ 4.2	วิทยุรับ-ส่งมือถือ 1 คู่	42
รูปที่ 4.1.1	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณพาหะพื้นฐาน	43
	(ก) กรณีช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิร์ตซ์ )	43
	(ข) กรณีช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ )	43
รูปที่ 4.1.2	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณวิทยุที่ส่ง	44
	(ก) กรณีช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิร์ตซ์ )	44
	(ข) กรณีช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ )	44
รูปที่ 4.2.1	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณวิทยุที่รับได้	45
	(ก) กรณีช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิร์ตซ์ )	45
	(ข) กรณีช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ )	45
รูปที่ 4.2.2	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโลกอลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 1	46
	(ก) กรณีช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิร์ตซ์ )	46
	(ข) กรณีช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ )	46
รูปที่ 4.2.3	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไอเอฟค่าแรก	47
รูปที่ 4.2.4	แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโลกอลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 2	47
รูปที่ 4.2.5	เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตที่ตีเทคได้กับสัญญาณอินพุต 970.9 เฮิร์ตซ์	48
รูปที่ 6.1.1	จอภาพ GUI ของ PADS-PCB	51
รูปที่ 6.4.1	แสดงการโหลดด้วยคำสั่ง Job In	52
รูปที่ 6.6.1	แสดง Board Outline	53
รูปที่ 6.7.1	แสดงการเรียกอุปกรณ์บนคำสั่ง On The Fly	54

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.2.1 สมการของสัญญาณพาหะที่มอดูเลตทางเฟสและความถี่	6
ตารางที่ 2.2.2 เปรียบเทียบค่าความถี่เบี่ยงเบนและเฟสเบี่ยงเบน	9
ตารางที่ 2.2.3 การใช้ Bessel function หาส่วนประกอบความถี่หรือไซด์แบนด์ ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่าง ๆ	12



## บทที่ 1

### บทนำ

โดยปกติคนเราค้นเคยกับวิทยุในลักษณะของเครื่องรับวิทยุที่ใช้รับฟังข่าวสาร และรายการเพลงต่าง ๆ จากสถานีส่ง แต่เมื่อเราต้องการที่จะใช้วิทยุในการส่งและการรับในเครื่องเดียวกัน เราก็เรียกว่า วิทยุรับ-ส่ง โดยความหมายของมันแล้วเครื่องรับ-ส่งวิทยุ คือ การนำเอาเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุมารวมกันไว้ในเครื่องเดียว แต่หากมีการปรับปรุงให้มีขนาดเล็ก พกพาไปได้สะดวกก็เรียกว่า "วิทยุมือถือ" เครื่องรับวิทยุโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องมีความไวในการรับสัญญาณสูงมากนัก เนื่องจากทางสถานีส่งมีกำลังส่งมาก แต่ถ้าเป็นวิทยุรับ-ส่งมือถือต้องมีความไวในการรับสัญญาณที่มีกำลังอ่อนได้ดี

วิทยุรับ-ส่งที่นิยมใช้กันอยู่ก็มีความถี่หลายค่า เช่น ความถี่ช่วง 144-149 เมกะเฮิร์ตซ์ นิยมใช้ในหมู่นักวิทยุสมัครเล่นอีกอย่าง คือ คลื่นแถบความถี่สำหรับประชาชน ( CB : Citizens Bands ) ช่วงประมาณ 27 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ เป็นความถี่ที่อนุญาตให้ประชาชนใช้ได้ ไม่ว่าจะนำไปใช้ในงานใด เนื่องจากได้รับอนุญาตจากกรมไปรษณีย์โทรเลข ดังนั้นที่ความถี่นี้จึงมีคนเป็นจำนวนมากพยายามศึกษาและสร้างวิทยุขานนี้ไว้ใช้งาน แต่ก็ประสบความล้มเหลวน้อยมาก เพราะปัญหาต่าง ๆ มากมาย ส่วนใหญ่เกี่ยวกับคุณภาพและการออกแบบไม่สมบูรณ์

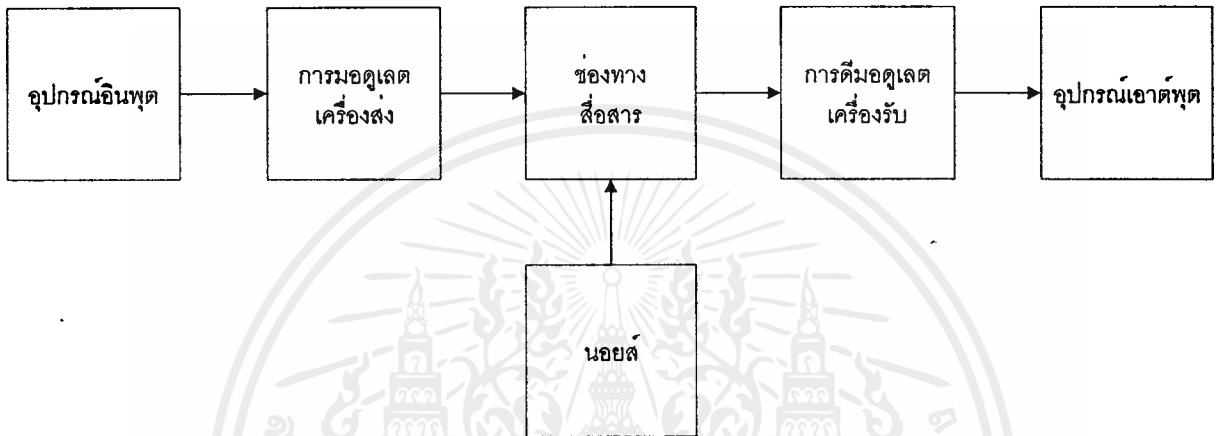
ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษา และสร้างวิทยุรับส่งย่านความถี่ประชาชนขึ้นซึ่งเป็นระบบเอฟเอ็ม ความถี่ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ ใช้งาน 2 ช่องสัญญาณ โดยถือหลักการสร้างง่าย ไม่ยุ่งยาก ประหยัด ขนาดไม่ใหญ่ และสิ่งสำคัญ คือ ความมีคุณภาพในการรับ-ส่งนั่นเอง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีของระบบวิทยุรับ-ส่ง

#### 2.1 ระบบสื่อสาร

ในระบบสื่อสารไม่ว่าจะเป็นระบบใด ๆ ก็ตาม แผนผังพื้นฐานมักเหมือนกับรูปที่ 2.1.1 ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์อินพุต เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร ( หรือแชนแนลซึ่งมักจะมีนอยส์มารบกวน ) เครื่องรับและ อุปกรณ์เอาต์พุต



รูปที่ 2.1.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

- อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต จะเป็นอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณข่าวสารทางอินพุตเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และแปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นสัญญาณข่าวสารทางเอาต์พุต เช่น ไมโครโฟน ลำโพง กล้องโทรทัศน์ เครื่องรับภาพ คั่นเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เครื่องโทรมาตร เป็นต้น ข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน ส่วนใหญ่จะเป็นเสียง ภาพ ข้อมูล

- เครื่องส่ง ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุต แล้วทำการมอดูเลตลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง ( เรียกว่า ออสซิลเลเตอร์ ) และมอดูเลตเครื่องส่งส่วนใหญ่มักมีภาคขยายอีกเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกอากาศมีกำลังแรง ทำให้สื่อสารกันได้ไกลขึ้น

- ช่องทางสื่อสาร ได้แก่ บรรยากาศ สูญญากาศ หรือสายไฟ ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุอาศัยการแผ่คลื่นวิทยุออกไป โดยผ่านบรรยากาศซึ่งเป็นตัวกลางไปยังเครื่องรับ

- นอยส์ เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงหรือรบกวน แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. นอยส์บรรยากาศ ( atmospheric noise ) เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก นอยส์บรรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

2. นอยส์จากอวกาศ (space noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้าน ๆ ดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้นดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมาเป็นสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้ปรากฏออกเป็นนอยส์คงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวนอื่น ๆ อีกเช่น จุดบนดวงอาทิตย์ (sun spot) การลุกโชติช่วง (solar flare) ซึ่งก่อให้เกิดนอยส์เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยจักรวาล ก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดนอยส์มายังโลกได้

3. นอยส์ที่เกิดจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) ได้แก่ นอยส์จากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น พัดลม ที่เป่าผม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีนอยส์จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

4. นอยส์ภายในตัวอุปกรณ์ในเครื่องรับ (internal noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือ นอยส์อุณหภูมิ (thermal noise) และช็อตนอยส์ (shot noise) นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้งเรียกว่า จอห์นสันนอยส์ (Johnson noise) ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกทีฟทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล เช่น ในทรานซิสเตอร์ ซึ่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

- เครื่องรับ เมื่อสัญญาณจากเครื่องส่งมาถึงเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีนอยส์เข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อน ๆ เช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดนอยส์หรือต่อสู้เอาชนะนอยส์ที่รบกวน สัญญาณที่รับได้จะผ่านการตีมอดูเลตเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามาอมอดูเลตกลับมา กรรมวิธีนี้ค่อนข้างสลับซับซ้อน

## 2.2 การมอดูเลตเชิงมุม (Angle Modulation)

จากคุณสมบัติทั้ง 3 ชนิด ของสัญญาณอนาล็อกรูปคลื่นชานน์ (แอมพลิจูด, ความถี่, เฟส) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้โดยใช้การมอดูเลต ซึ่งจะได้การมอดูเลต 3 แบบ คือ AM FM และ PM ส่วนการมอดูเลตเชิงมุมเป็นชื่อเรียกของการมอดูเลตแบบทางความถี่ (FM) กับการมอดูเลตทางเฟส (PM) เป็นการมอดูเลตที่มีหลักการคล้ายคลึงกันมาก

การมอดูเลตเชิงมุม คือ การทำให้มุมเฟส (Phase Angle,  $\theta$ ) ของสัญญาณพาหะคลื่นรูปชานน์เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข่าวสาร คลื่นที่ได้จากการมอดูเลตเชิงมุมสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$M(t) = V_c \cos[\omega_c t + \theta(t)] \quad (2.1)$$

เมื่อ  $M(t)$  : คลื่นที่ได้จากการมอดูเลตเชิงมุม (Angle-modulated)

$V_c$  : พีคแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะ

$\omega_c$  : ความถี่ของสัญญาณพาหะ ( $2\pi F_c$ )

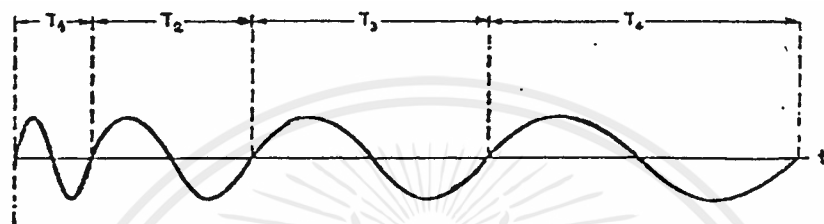
$\theta(t)$  : มุมของการมอดูเลต

สำหรับมุมของการมอดูเลตนั้น จะขึ้นกับฟังก์ชันของสัญญาณข่าวสาร ถ้า  $V(t)$  คือ สัญญาณข่าวสาร จะได้มุมของการมอดูเลตในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$\theta(t) = F[V(t)] \quad (2.2)$$

เมื่อ  $V(t)$  คือ สัญญาณข่าวสาร  $V_a \sin \omega_s t$

ความแตกต่างระหว่าง FM กับ PM อยู่ที่คุณสมบัติทางความถี่และเฟส ว่าอย่างไรจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับสัญญาณข่าวสาร เมื่อความถี่ของสัญญาณพาหะเปลี่ยนไป เฟสก็จะเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน ดังนั้น FM และ PM จะเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ เมื่อมีการมอดูเลตเชิงมุม ถ้าความถี่ของสัญญาณพาหะถูกเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับสัญญาณข่าวสาร จะได้ FM และถ้าเฟสของสัญญาณพาหะถูกเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับสัญญาณข่าวสารก็ได้ PM



$$T_1 < T_2 < T_3 < T_4 \quad \text{ดังนั้น} \quad F_1 > F_2 > F_3 > F_4$$

รูปที่ 2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของความถี่กับเวลา

จากรูปที่ 2.2.1 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณพาหะรูปไซน์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เวลาใด ๆ เมื่อช่วงเวลา  $T$  ของสัญญาณไซน์เปลี่ยนแปลง ทั้งความถี่และเฟสก็จะเปลี่ยนไป และถ้าช่วง  $T$  เปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ทั้งความถี่และเฟสก็จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ไม่คงที่ ความถี่ที่เปลี่ยนไปจากเดิมเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (Frequency Deviation)  $\Delta F$  และเฟสที่เปลี่ยนไปจากเดิมเรียกว่า เฟสเบี่ยงเบน (Phase Deviation)  $\Delta \theta$

รูปที่ 2.2.2 แสดงสัญญาณพาหะรูปคลื่นไซน์ ซึ่งที่เวลา  $t$  ต่าง ๆ มีความถี่แตกต่างกัน เมื่อเวลาผ่านไป  $t$  วินาที ความถี่ได้ถูกเปลี่ยนไป  $\Delta F$  (Hertz) จนถึง  $F - \Delta F$  จะเห็นว่าเฟสถูกเปลี่ยนแปลงไปด้วย ( $\Delta \theta$ )

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ความแตกต่างระหว่าง FM และ PM สามารถแสดงให้เห็นได้ชัดเจนได้ โดยการวิเคราะห์ในเรื่องเฟสชั่วขณะ เฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะ ความถี่ชั่วขณะและความถี่เบี่ยงเบนชั่วขณะเทียบกับสมการที่ 2.1

- เฟสชั่วขณะ (Instantaneous Phase) คือเฟสของสัญญาณพาหะที่มีค่าแน่นอน ณ. เวลาหนึ่ง เขียนให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้คือ

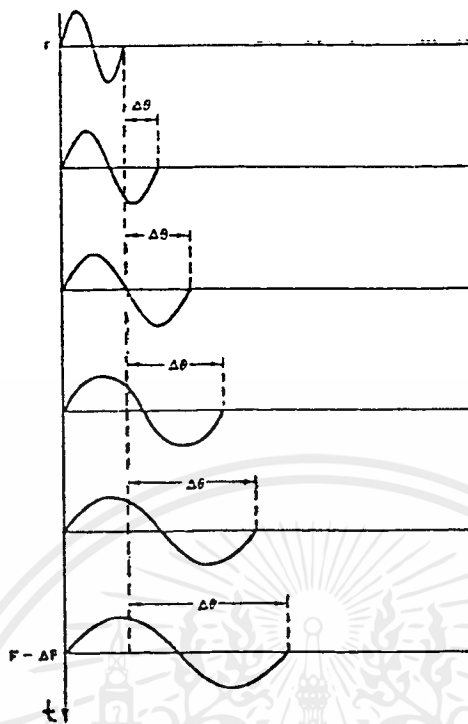
$$\text{เฟสชั่วขณะ} = \omega_c t + \theta(t) \quad \text{rad} \quad (2.3)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \omega_c t = (2\pi \text{ rad / cycle}) (F \text{ cycle / second}) (t \text{ second})$$

$$= 2\pi Ft \quad \text{rad}$$

$\theta(t)$  มีหน่วยเป็น rad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.2 การเปลี่ยนแปลงของเฟสกับความถี่

- เฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะ ( Instantaneous Phase Deviation ) คือการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะของสัญญาณพาหะ ณ. เวลาหนึ่ง เขียนให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้คือ

$$\text{เฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะ} = \theta(t) \text{ rad} \quad (2.4)$$

- ความถี่ชั่วขณะ ( Instantaneous Frequency ) ความถี่ชั่วขณะของสัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตเชิงมุม คือ ความถี่ของสัญญาณพาหะที่มีค่าแน่นอน ณ. เวลาหนึ่ง และสามารถหาได้จากอนุพันธ์อันดับหนึ่งของเฟสชั่วขณะ ดังนั้นจากสมการที่ 2.3 จะได้ความถี่ชั่วขณะ คือ

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ชั่วขณะ} &= d [\omega_c t + \theta(t)] / dt \\ &= \omega_c + \theta'(t) \quad \text{rad / sec} \quad (2.5) \end{aligned}$$

เมื่อ  $\omega_c = 2\pi F$  ( rad / cycle · cycle / second )      rad / sec

$\theta'(t)$  มีหน่วยเป็น rad / sec

- ความถี่เบี่ยงเบนชั่วขณะ ( Instantaneous Frequency Deviation ) คือการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะของความถี่ของสัญญาณพาหะ และสามารถหาได้จากอนุพันธ์อันดับหนึ่งของเฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะ หรือในทางกลับกัน เฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะหาได้จากการอินทิเกรตความถี่เบี่ยงเบนชั่วขณะ จากสมการที่ 2.4 จะได้

$$\text{ความถี่เบี่ยงเบนชั่วขณะ} = \theta'(t) \quad \text{rad / sec} \quad (2.6)$$

เมื่อป้อนสัญญาณข่าวสาร  $V(t)$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PM = \theta(t) = KV(t) \tag{2.7}$$

$$FM = \theta'(t) = K_f V(t) \tag{2.8}$$

เมื่อ K และ K<sub>f</sub> เป็นค่าคงที่ซึ่งความจริงแล้วก็คือ ความไวในการเบี่ยงเบนของการมอดูเลต ( Deviation Sensitivities ) ความไวในการเบี่ยงเบน คือ ทราบเฟอ์ฟังก์ชันของการมอดูเลตระหว่าง อินพุตและเอาต์พุต ความไวในการเบี่ยงเบนของ PM คือ

K มีหน่วยเป็น rad / v

และความไวในการเบี่ยงเบนของ FM คือ

K<sub>f</sub> มีหน่วยเป็น Hz / v

PM สามารถหาได้จากการอินทิเกรต FM ดังนั้น จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 จะได้

$$PM = \theta(t) = \int \theta'(t) = \int K_f V(t) = K_f \int V(t) \tag{2.9}$$

แทนสัญญาณข่าวสาร V(t) = V<sub>a</sub> cos ω<sub>a</sub>t ในสมการที่ 2.1 จะได้

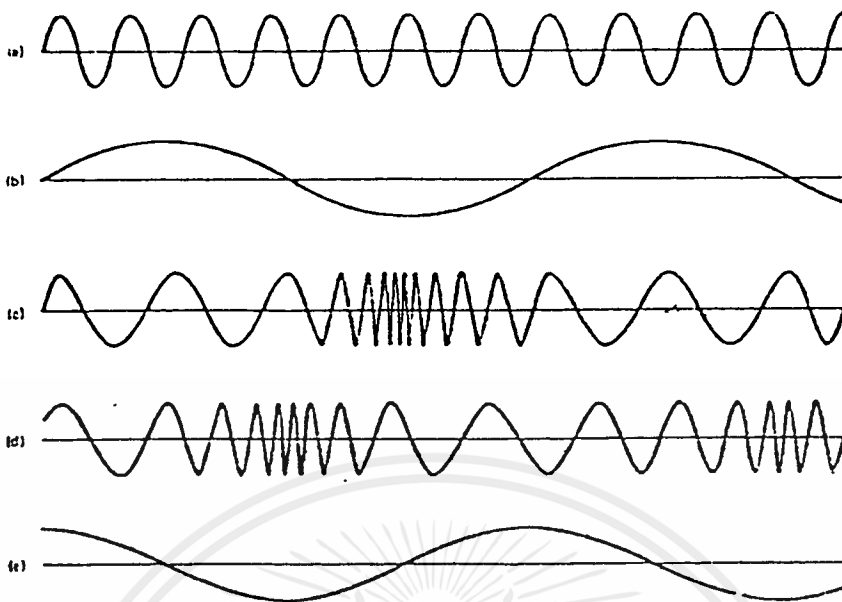
$$PM = V_c \cos(\omega_c t + K V_a \cos \omega_a t)$$

$$FM = V_c \cos[\omega_c t + (K_f V_a \sin \omega_a t) / \omega_a]$$

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 พร้อมทั้งรูปคลื่นของ PM และ FM หลังจากถูกมอดูเลตกับสัญญาณข่าวสารแล้ว ดังรูปที่ 2.2.3

ตารางที่ 2.2.1 สมการของสัญญาณพาหะที่มอดูเลตทางเฟสและความถี่

Type of modulation	Modulating signal	Angle-modulated wave , M ( t )
( a ) Phase	V ( t )	V <sub>c</sub> cos(ω <sub>c</sub> t + KV ( t ))
( b ) Frequency	V ( t )	V <sub>c</sub> cos(ω <sub>c</sub> t + K <sub>f</sub> ∫ V ( t ) dt)
( c ) Phase	V <sub>a</sub> cos ω <sub>a</sub> t	V <sub>c</sub> cos(ω <sub>c</sub> t + K V <sub>a</sub> cos ω <sub>a</sub> t )
( d ) Frequency	-V <sub>a</sub> sin ω <sub>a</sub> t	V <sub>c</sub> cos(ω <sub>c</sub> t + ( K <sub>f</sub> V <sub>a</sub> / ω <sub>a</sub> ) cos ω <sub>a</sub> t )
( e ) Frequency	V <sub>a</sub> cos ω <sub>a</sub> t	V <sub>c</sub> cos(ω <sub>c</sub> t + ( K <sub>f</sub> V <sub>a</sub> / ω <sub>a</sub> ) sin ω <sub>a</sub> t )



รูปที่ 2.2.3 สัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตทางเฟสและความถี่ด้วยสัญญาณชาวยน์

จากรูปที่ 2.2.3 ได้แสดงให้เห็นรูปคลื่นของการมอดูเลตทางเฟสและความถี่ ของสัญญาณพาหะรูปคลื่นชาวยน์ ด้วยสัญญาณข่าวสารความถี่เดียว จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นของ FM และ PM จะมีความสัมพันธ์ที่เหมือนกัน เมื่อเทียบกับแกนเวลา การแยกความแตกต่างระหว่างรูปคลื่น FM และ PM จะใช้การเปรียบเทียบกับสัญญาณข่าวสาร ดังรูปที่ 2.2.3 c แสดงรูปคลื่นของ FM ซึ่งความถี่ชั่วขณะจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณข่าวสาร คือ ความถี่จะเบี่ยงเบนไปจากความถี่พาหะมากที่สุด ที่แอมพลิจูดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณข่าวสาร และเบี่ยงเบนน้อยที่สุดที่จุดตัดศูนย์ รูปที่ 2.2.3 d ความถี่เบี่ยงเบนจะมากที่สุดที่จุดตัดศูนย์ของสัญญาณข่าวสาร และเบี่ยงเบนน้อยที่สุดที่ระดับแอมพลิจูดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณข่าวสาร ( ความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนกับสโลปของสัญญาณข่าวสาร ) รูปที่ 2.2.3 e เป็นการอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสัญญาณข่าวสารเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ PM ในรูปที่ 2.2.3 d แล้วจะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่เหมือน FM

สังเกตได้ว่าแอมพลิจูดของทั้ง FM และ PM จะมีค่าคงที่ สรุปได้ว่า

- การมอดูเลตทางความถี่ ความถี่ชั่วขณะจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณข่าวสาร และเฟสชั่วขณะเป็นสัดส่วนกับอินทิกรัลของสัญญาณข่าวสาร
- การมอดูเลตทางเฟส เฟสชั่วขณะจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณข่าวสาร และความถี่ชั่วขณะเป็นสัดส่วนกับอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ( สโลปของรูปคลื่น ) ของสัญญาณข่าวสาร

ความถี่เบี่ยงเบน ( Frequency Deviation )  $\Delta F$  คือ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลตกับสัญญาณข่าวสาร จากรูปที่ 2.2.3 จะเห็นได้ว่า  $\Delta F$  เป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสาร  $V_a$  และอัตราที่ซึ่งความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง มีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณข่าวสาร  $F_a$  ความถี่เบี่ยง-

เบนโดยปกติ จะเบี่ยงเบนไปเป็นหน่วยเฮิรตซ์ ช่วงความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากความถี่ของคลื่นพาหะสูงสุดทางด้านสูงและต่ำ ( หรือ พิค - ทุ - พิค ของความถี่เบี่ยงเบน ) บางครั้งเรียกว่า carrier swing ความถี่เบี่ยงเบนนี้เป็นฟังก์ชันของ ความไวในการเบี่ยงเบนของการมอดูเลต และขนาดของสัญญาณข่าวสาร เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\Delta F = K_1 V_a \text{ Hz.} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $V_a$  : ขนาดพิคของสัญญาณข่าวสาร ( V )  
 $K_1$  : ความไวในการเบี่ยงเบน ( Hz/v )

ดัชนีการมอดูเลต ( Modulation Index ) จากการเปรียบเทียบสมการของการมอดูเลตเชิงมุมในแบบต่าง ๆ ( c, d และ e ) ดังตารางที่ 2.2.1 สมการของการมอดูเลตแบบเฟสหรือความถี่ด้วยสัญญาณชาวยันสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ คือ

$$M(t) = V_c \cos(\omega_c t + \theta(t))$$

หรือ  $M(t) = V_c \cos(\omega_c t + m \cos \omega_a t)$  (2.11)

เมื่อ  $\theta(t) = m \cos \omega_a t =$  เฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะ

$m$  : ดัชนีการมอดูเลต

และ  $m = K_v V_a$  ( PM ) (2.12)

$m = K_f V_a / \omega_a$  ( FM ) (2.13)

เมื่อ  $V_a$  : ขนาดพิคของสัญญาณข่าวสาร

เพราะฉะนั้นสำหรับ PM จะได้

$$m = (\text{rad/v}) (V_a) = \text{rad}$$

และ FM จะได้

$$m = (2\pi F \text{ rad/v}) (V_a) / 2\pi F_a \text{ rad}$$

$$= \Delta F / F_a \text{ (ไม่มีหน่วย)}$$

$\theta(t)$  คือ เฟสเบี่ยงเบนชั่วขณะ และจากสมการที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า  $\theta(t)$  เป็นฟังก์ชันของ  $\cos \omega_a t$  ดังนั้นเฟสเบี่ยงเบนจะเบี่ยงเบนที่อัตราเท่ากับ  $\omega_a$  ( ความถี่ของสัญญาณข่าวสาร ) และพิคสูงสุดของ  $K_v V_a$  ( สำหรับ PM ) และ  $K_f V_a / \omega_a$  ( สำหรับ FM ) เพราะฉะนั้น สำหรับ PM  $m$  คือพิคของเฟสเบี่ยงเบนในหน่วยเรเดียน เรียกว่า ดัชนีการมอดูเลต สำหรับ FM ดัชนีการมอดูเลตจะไม่มีหน่วย จากสมการแสดงความสัมพันธ์ข้างต้น จะเห็นว่าสำหรับ PM แล้ว  $m$  จะไม่ขึ้นกับความถี่ของสัญญาณข่าวสาร แต่สำหรับ FM แล้ว  $m$  เป็นสัดส่วนผกผันกับความถี่ของสัญญาณข่าวสาร และจะเห็นได้ว่าทั้ง PM และ FM นั้น ดัชนีการมอดูเลตจะเป็นสัดส่วนกับความไวในการเบี่ยงเบน ( K หรือ  $K_1$  ) และขนาดของสัญญาณข่าวสาร (  $V_a$  )

ในระบบ AM ปริมาณการมอดูเลต เรานิยามวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดหรือกรอบคลื่น AM ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบ FM เราวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ โดยพิคของความถี่เบี่ยงเบนหารด้วยความถี่ของสัญญาณข่าวสาร

$$m = \Delta F / F_a \quad (2.14)$$

เมื่อ  $K_f$  : ความไวของการเบี่ยงเบน (Hz/v)

$$\Delta F = K_f V_a = \text{พิคของความถี่เบี่ยงเบน (Hz)}$$

$F_a$  : ความถี่ของสัญญาณข่าวสาร (Hz)

เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต สำหรับ FM เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเป็นส่วนหนึ่งของความถี่เบี่ยงเบน เนื่องจากสัญญาณข่าวสารกับความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของระบบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \Delta F / \Delta F_{\max} * 100\% \quad (2.15)$$

ตัวอย่าง ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM เรากำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดเท่ากับ 75 กิโลเฮิร์ตซ์ และถ้าความถี่เบี่ยงเบนที่เกิดจากสัญญาณข่าวสารเท่ากับ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ จะได้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} &= 50 \text{ kHz} / 75 \text{ kHz} * 100 \\ &= 67 \% \end{aligned}$$

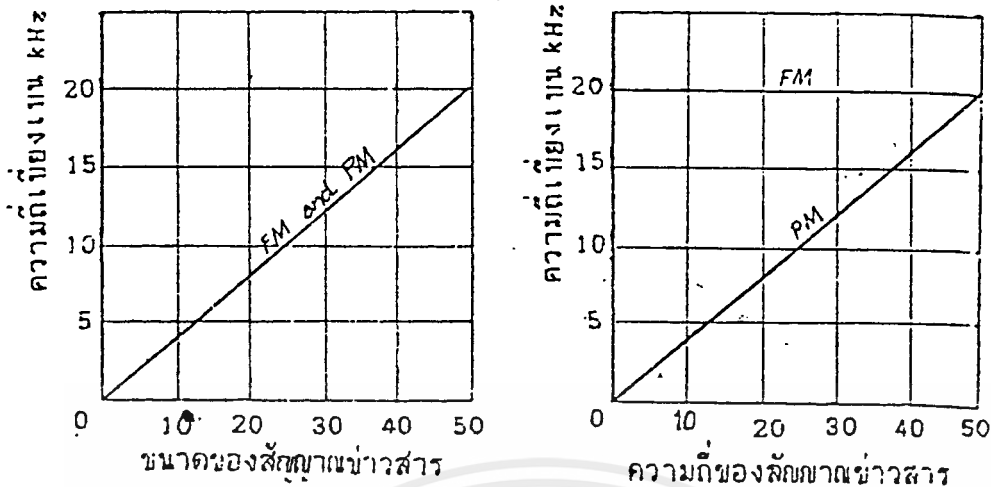
ข้อแตกต่างของสัญญาณ PM กับ FM ได้แก่

- สัญญาณ PM มีความถี่เบี่ยงเบน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับทั้งความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสาร
- สัญญาณ FM มีความถี่เบี่ยงเบน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารโดยไม่ขึ้นกับความถี่ของสัญญาณข่าวสาร

ตารางที่ 2.2.2 เปรียบเทียบค่าความถี่เบี่ยงเบนและเฟสเบี่ยงเบน

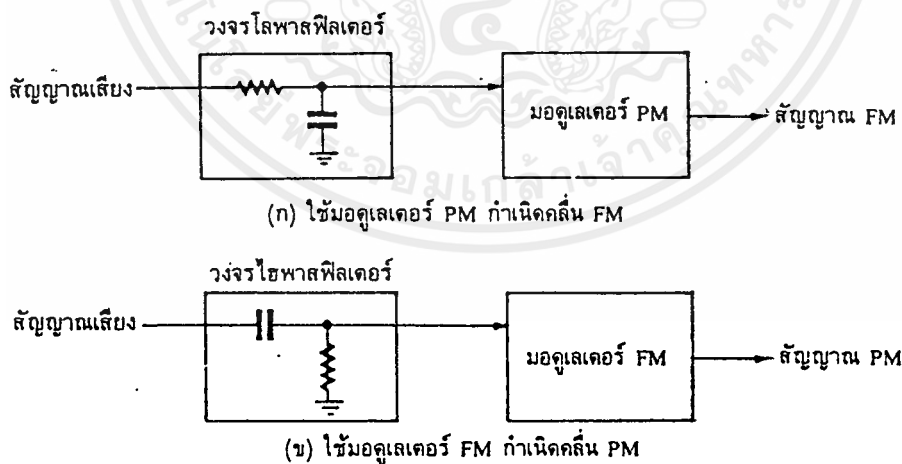
การมอดูเลต	ความถี่เบี่ยงเบน	เฟสเบี่ยงเบน
ระบบ FM	เป็นสัดส่วนกับแรงดันของสัญญาณมอดูเลต	เป็นสัดส่วนกับแรงดันและเป็นสัดส่วนผกผันกับความถี่ของสัญญาณมอดูเลต
ระบบ PM	เป็นสัดส่วนกับทั้งแรงดันและความถี่ของสัญญาณมอดูเลต	เป็นสัดส่วนกับแรงดันของสัญญาณมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.4 เปรียบเทียบความถี่เบี่ยงเบนระหว่าง PM และ FM

ถ้าเราใช้สัญญาณเสียงความถี่เดียว มอดูเลตให้กับสัญญาณพาหะ ให้มีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากัน ทั้งสัญญาณ FM และ PM ก็จะมีรูปคลื่นเหมือนกันทุกประการ แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณมอดูเลต จะเห็นความแตกต่างระหว่างสัญญาณ FM และ PM จะมีความถี่เบี่ยงเบนสูงขึ้น แต่สัญญาณ FM จะมีความถี่เบี่ยงเบนเท่าเดิม ( อัตราการเบี่ยงเบนเท่ากันที่เพิ่มขึ้น ) ด้วยเหตุนี้การแปลงวงจรมอดูเลตแบบ FM เป็น PM หรือแบบ PM เป็น FM เราสามารถใช้วงจรฟิลเตอร์ RC ธรรมดาแปลงได้



รูปที่ 2.2.5 การแปลงระหว่างคลื่น PM กับ FM

จากรูปที่ 2.2.5 เราใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิด lowpass filter ทำหน้าที่ลดทอนแอมพลิจูดของสัญญาณเข้าวสารเมื่อความถี่สูงขึ้น สัญญาณที่ได้เมื่อป้อนให้แก่วงจรเฟสมอดูเลเตอร์ ก็กลายเป็นสัญญาณ FM ทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อความถี่ของสัญญาณเข้าวสารสูงขึ้น การลดทอนแอมพลิจูดก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ความถี่เบี่ยงเบนเอกซารนี้เป็นเอกซารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบนลดลงไปชดเชยกับความถี่เบี่ยงเบนซึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากความถี่ของสัญญาณข่าวสารสูงขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณข่าวสารไม่มีผลต่อความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณพาหะ คุณสมบัตินี้ก็เป็นคุณสมบัติของสัญญาณ FM นั่นเอง

ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราต้องการแปลงการมอดูเลตแบบ FM ให้ได้เป็นสัญญาณ PM เราสามารถใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิด highpass filter เพื่อลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้ความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณพาหะลดลง เมื่อความถี่สัญญาณข่าวสารลดลง ก็จะได้ความถี่ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับสัญญาณ PM

### การวิเคราะห์ไซด์แบนด์ของสัญญาณ FM และ PM

ในการมอดูเลตเชิงมุม ส่วนประกอบความถี่ของสัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลต ( หรือไซด์แบนด์ของทั้ง FM และ PM ) มีความยากในการศึกษามากกว่าการมอดูเลตทางแอมพลิจูด ทั้งนี้เพราะในการมอดูเลตทางความถี่หรือเฟส ด้วยสัญญาณข่าวสารรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ที่ จะทำให้เกิดไซด์แบนด์จำนวนนับอนันต์ อย่างไรก็ตามไซด์แบนด์ที่อยู่ห่างจากความถี่กลางมาก ๆ มักมีแอมพลิจูดเล็กมาก สามารถละทิ้งได้

ในการวิเคราะห์ไซด์แบนด์ของสัญญาณ FM หรือ PM จะใช้สัญญาณไซน์ความถี่หนึ่ง ทำให้เกิดพีคของเฟสเบี่ยงเบน  $m$  เรเดียน เมื่อ  $m$  คือ ดัชนีการมอดูเลต และจากสมการที่ 2.11 เมื่อสัญญาณข่าวสารเท่ากับ  $\omega_s$  จะได้

$$M(t) = V_c \cos(\omega_c t + m \cos \omega_s t)$$

จากสมการที่ 2.11 สามารถเห็นส่วนประกอบความถี่ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้ทฤษฎีของเบสเซิล ( Bessel function ) มาแสดงส่วนประกอบความถี่ให้เห็นได้ชัดได้ โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\cos(\alpha + m \cos \beta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m) \cos(\alpha + n\beta + n\pi/2) \quad (2.16)$$

ถ้านำสมการที่ 2.16 แทนในสมการที่ 2.11 จะได้

$$M(t) = V_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m) \cos(\omega_c t + n\omega_s t + n\pi/2) \quad (2.17)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ 4 เทอมแรก คือ

$$\begin{aligned} M(t) = V_c \{ & J_0(m) \cos \omega_c t + J_1(m) \cos [(\omega_c t + \omega_s) t + \pi/2] \\ & + J_1(m) \cos [(\omega_c - \omega_s) t + \pi/2] - J_2(m) \cos [(\omega_c + 2\omega_s) t] \\ & - J_2(m) \cos [(\omega_c - 2\omega_s) t] + \dots \} \end{aligned} \quad (2.18)$$

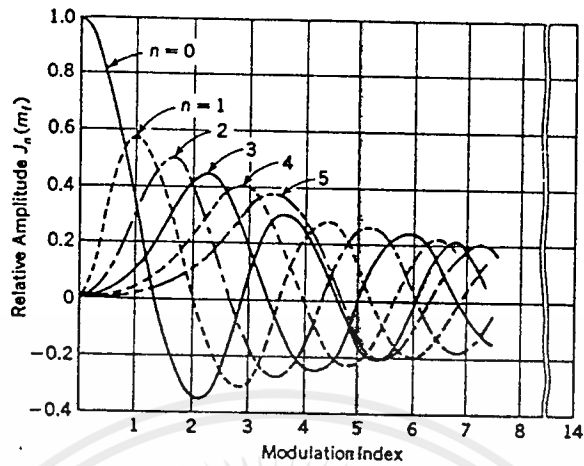
จากสมการที่ 2.17 และ 2.18 แสดงให้เห็นได้ว่าความถี่ของสัญญาณข่าวสารความถี่เดียว สามารถทำให้เกิดไซด์แบนด์ได้จำนวนนับอนันต์ ( $F_c, 2F_c, 3F_c, \dots$ ) และขนาดของแต่ละไซด์แบนด์คือค่า  $J_1(m), J_2(m), \dots$  ดังตารางที่ 2.2.3 ซึ่งแสดงเฉพาะไซด์แบนด์ที่สำคัญเท่านั้น โดยจะตัดไซด์แบนด์ที่มีแอมพลิจูดน้อยกว่า 1% ของสัญญาณพาหะ สังเกตที่  $m = 2.4$  จะได้  $J_0(m) = 0$  นั่นคือไม่มีสัญญาณพาหะ ที่จุดนี้มักจะใช้ในการกำหนดดัชนีการมอดูเลตหรือใช้เปรียบเทียบการเบี่ยงเบนของการมอดูเลตแบบ FM สัญญาณพาหะจะเกิดขึ้นอีกเมื่อ  $m$  มีค่ามากขึ้น และเมื่อ  $m$  มีค่าประมาณ 5.4 สัญญาณพาหะก็จะหายไปอีก รูปที่ 2.2.7 แสดงกราฟแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์ ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่าง ๆ จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็นศูนย์ จะมีคลื่นพาหะอย่างเดียวเท่ากับ 1 หน่วย ( คลื่นไซด์แบนด์เป็นศูนย์ ) เมื่อดัชนีการ

มอดูเลตเพิ่มขึ้นจำนวนไซด์แบนด์จะเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของไซด์แบนด์ก็จะใหญ่ขึ้น แต่แอมพลิจูดของสัญญาณพาหะกลับเล็กลง จนกระทั่งดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 2.4 คลื่นพาหะจะเป็นศูนย์ ตอนนี้กำลังของคลื่น FM จะไปอยู่ในไซด์แบนด์ทั้งหมด เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นอีก คลื่นพาหะก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก ถ้ามีค่าติดลบ แสดงว่ามีเฟสตรงกันข้าม สังเกตว่าจุดที่คลื่นพาหะเป็นศูนย์นั้นมีหลายจุด

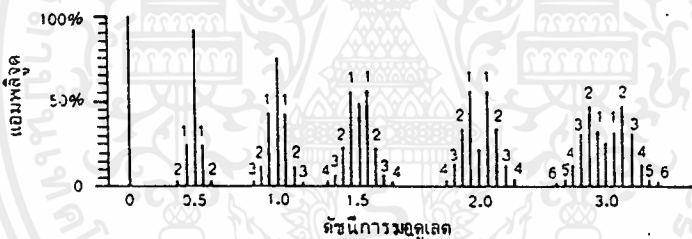
จากตารางที่ 2.2.3 จะเห็นว่าเมื่อ  $m$  เพิ่มขึ้น จำนวนของไซด์แบนด์ที่สำคัญก็จะมากขึ้น ดังนั้นแบนด์วิดท์ของการมอดูเลตเชิงมุม จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับดัชนีการมอดูเลต

ตารางที่ 2.2.3 การใช้ Bessel function หาส่วนประกอบความถี่หรือไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่าง ๆ

Modulation Index	Carrier	Sidebands (Pairs)															
		1st	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—
12.0	-0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.0	-0.01	0.21	0.04	0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12



รูปที่ 2.2.6 กราฟแสดงแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์ในระบบ FM



รูปที่ 2.2.7 รูปคลื่น FM ในเชิงความถี่ ที่ค่าดัชนีการมอดูเลตต่าง ๆ

#### แบนด์วิดท์ของการมอดูเลตเชิงมุม

ในปี ค.ศ. 1922 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของ J.R.Carson ได้แสดงให้เห็นว่าการมอดูเลตทางความถี่ไม่สามารถทำให้แบนด์วิดท์แคบได้เหมือน AM จากทฤษฎีข้างต้นจะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลตเชิงมุม จะเป็นฟังก์ชันของความถี่ของสัญญาณข่าวสารและดัชนีการมอดูเลต โดยทั่วไปแล้วถ้าเป็นการมอดูเลตแบบ AM จะต้องการแบนด์วิดท์ 2 กิโลเฮิรตซ์ และซิงเกิลไซด์แบนด์ 1 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้น รูปคลื่นที่ได้จากการมอดูเลตเชิงมุม โดยทั่วไปมักจะแบ่งดัชนีการมอดูเลตออกเป็น 3 ระดับคือ สูง กลาง และต่ำ ที่ดัชนีการมอดูเลตต่ำ พิกซ์ของเฟสเบียงเบน (ดัชนีการมอดูเลต) จะน้อยกว่า 1 เรเดียน และที่ดัชนีการมอดูเลตสูง พิกซ์ของเฟสเบียงเบนจะมากกว่า 10 ดังนั้นดัชนีการมอดูเลตระหว่าง 1 ถึง 10 จัดอยู่ในพวกดัชนีการมอดูเลตปานกลาง จากตารางที่ 2.2.3 จะเห็นว่าที่ดัชนีการมอดูเลตระดับต่ำสัญญาณข่าวสารจะถูกพาไปโดยไซด์แบนด์ด้านข้าง และต้องการแบนด์วิดท์แคบ ประมาณ 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณข่าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ดัชนีการมอดูเลตระดับสูง วิธีหาแบนด์วิดท์จะใช้วิธีที่เรียกว่า Quasi-stationary สำหรับวิธีนี้จะสมมุติว่าสัญญาณข่าวสารจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ตัวอย่างเช่น ในระบบ FM ความไวในการเบี่ยงเบน  $K_f = 2\pi \cdot 2000 \text{ rad/sec}$  และมีสัญญาณข่าวสารขนาด  $1V_p$  พิกความถี่เบี่ยงเบน  $\Delta F = 2000$  เฮิรตซ์ ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของสัญญาณข่าวสารช้ามาก แบนด์วิดท์จะถูกกำหนดโดย พิค-ทู-พิก ของความถี่เบี่ยงเบน ดังนั้นสำหรับดัชนีการมอดูเลตระดับสูง แบนด์วิดท์ต่ำสุดที่ได้คือ พิค-ทู-พิก ของความถี่เบี่ยงเบน หรือ 2 เท่าของพิกของความถี่เบี่ยงเบน

ดังนั้นสำหรับดัชนีการมอดูเลตระดับต่ำ แบนด์วิดท์ต่ำสุดที่ต้องการมีค่าประมาณ

$$B = 2Fa \quad (2.19)$$

และที่ดัชนีการมอดูเลตระดับสูง แบนด์วิดท์ต่ำสุดที่ต้องการมีค่าประมาณ

$$B = 2(\Delta F) \quad (2.20)$$

สำหรับแบนด์วิดท์ที่แท้จริง ที่ใช้เป็นทางผ่านของไซด์แบนด์ สำคัญทุกตัวของคลื่นมอดูเลตเชิงมุมคือ

$$B = 2(n \cdot Fa) \quad (2.21)$$

เมื่อ  $n$  : จำนวนของไซด์แบนด์ที่สำคัญตามตารางที่ 2.2.3

$Fa$  : ความถี่สูงสุดของสัญญาณข่าวสาร

การหาค่าแบนด์วิดท์โดยวิธีประมาณของ Carson โดยไม่คำนึงถึงค่าดัชนีการมอดูเลตเรียกว่า Carson's rule โดยประมาณค่าแบนด์วิดท์ต่ำสุดของคลื่นที่มอดูเลตเชิงมุมว่า

$$B = 2(\Delta F + Fa) \quad (2.22)$$

เมื่อ  $\Delta F$  : พิคของความถี่เบี่ยงเบน

$Fa$  : ความถี่สูงสุดของสัญญาณข่าวสาร

อัตราการเบี่ยงเบน (Deviation Ratio)

ในระบบ FM แบนด์วิดท์ต่ำสุดจะเกิดขึ้นได้เมื่อความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดเกิดขึ้น โดยความถี่ของสัญญาณข่าวสารสูงสุด (ความถี่ของสัญญาณข่าวสารสูงสุด เกิดขึ้นพร้อมกันกับแอมพลิจูดสูงสุด) โดยนิยามแล้ว อัตราการเบี่ยงเบน คือ ดัชนีการมอดูเลตที่แย่ที่สุดของระบบ (worst-case) ซึ่งมีค่าเท่ากับพิกของความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดหารด้วยความถี่สูงสุดของสัญญาณข่าวสารที่ดัชนีการมอดูเลตที่แย่ที่สุดของระบบนี้ จะทำให้เกิดสเปกตรัมความถี่ที่กว้างมากที่สุด อัตราการเบี่ยงเบนเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$\text{อัตราการเบี่ยงเบน} = \Delta F_{\max} / Fa_{\max} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $Fa_{\max}$  : ความถี่ของสัญญาณข่าวสารสูงสุด (Hz)

$\Delta F_{\max}$  : พิคของความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด (Hz)

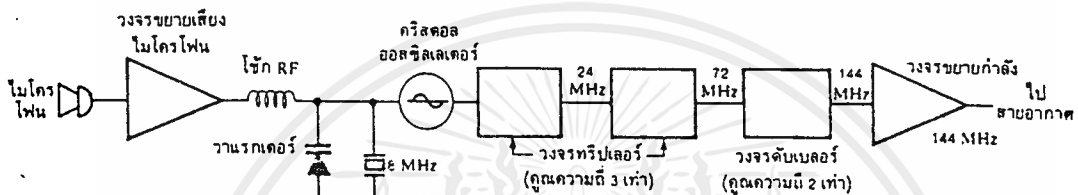
ในระบบกระจายเสียง FM ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดที่ FCC กำหนดไว้คือ 75 กิโลเฮิรตซ์ และความถี่ของสัญญาณข่าวสารสูงสุดเท่ากับ 15 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นอัตราการเบี่ยงเบนของระบบกระจายเสียง FM มีค่าเท่ากับ 5 ค่าที่ได้นี้ไม่ได้หมายความว่า เมื่อดัชนีการมอดูเลตมีค่าเท่ากับ 5 เกิดขึ้น จะทำให้เกิดแบนด์วิดท์

สูงสุด แต่มีความหมายว่า เมื่อดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 5 เกิดขึ้นเนื่องจากความถี่สูงสุดของสัญญาณข่าวสาร จะเกิดแบนด์วิดท์สูงสุด

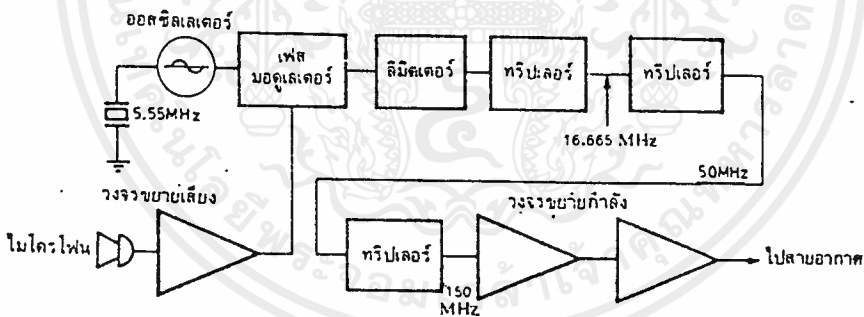
2.3 เครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM

ภาคเครื่องส่ง

ในวงจรพื้นฐานของระบบเครื่องจะประกอบไปด้วย ออกซิซิลเลเตอร์กับมอดูเลเตอร์ และวงจรมัลติพลาย ซึ่งทำหน้าที่คูณความถี่ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ เพื่อขยายกำลังส่งออกอากาศต่อไป รูปที่ 2.3.1 สัญญาณ FM จากมอดูเลเตอร์จะผ่านการคูณความถี่ 3 เท่า รวม 2 ครั้งเป็น 9 เท่า



(ก) ใช้วิธีมอดูเลเตอร์โดยตรง

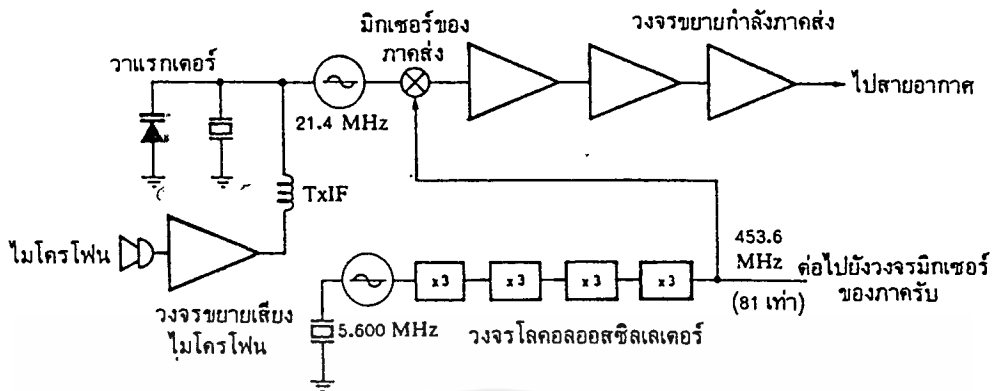


(ข) เฟสมอดูเลเตอร์

รูปที่ 2.3.1 แผนผังของเครื่องส่ง VHF / FM

เครื่องส่งบางชนิด ( ดังรูปที่ 2.3.2 ) จะทำการมอดูเลตที่ความถี่ IF ของภาคเครื่องรับเสียก่อนแล้ว จึงนำไปเฮตเตอร์โรตายนกับความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ ในที่นี้ความถี่ IF ของภาคเครื่องรับเท่ากับ 21.4 เมกะเฮิรตซ์ และความถี่โลคอลออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 453.6 เมกะเฮิรตซ์ (ได้จากการคูณความถี่คริสตอล 5.6 เมกะเฮิรตซ์ 81 เท่า ) วิธีนี้มีข้อดีตรงที่เราใช้คริสตอลเพียงก้อนเดียวต่อความถี่ใช้งานหนึ่งความถี่ โดยใช้ร่วมกันทั้งสภาวะรับและสภาวะส่ง นอกจากนี้ภาคเครื่องส่งก็ไม่จำเป็นต้องมีวงจรมัลติพลายต่างหากอีก

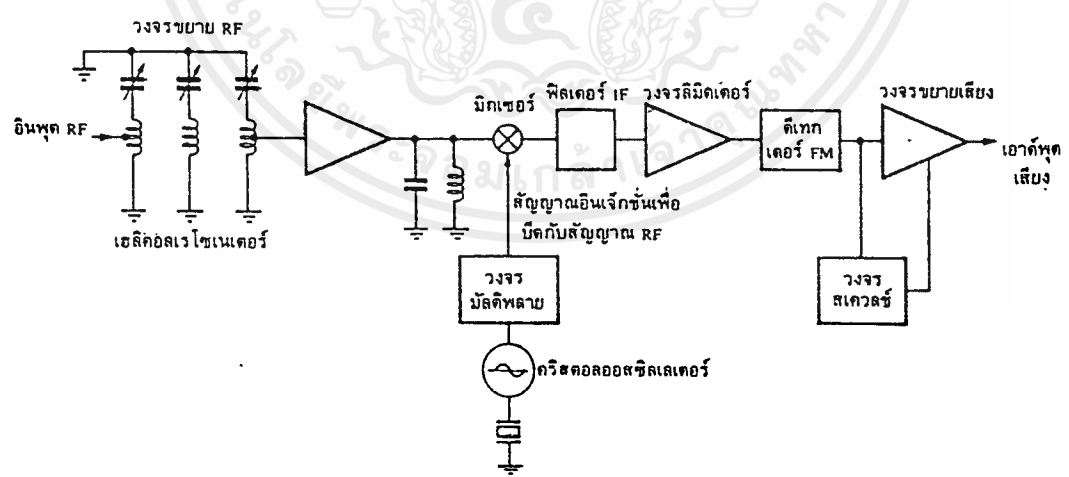
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



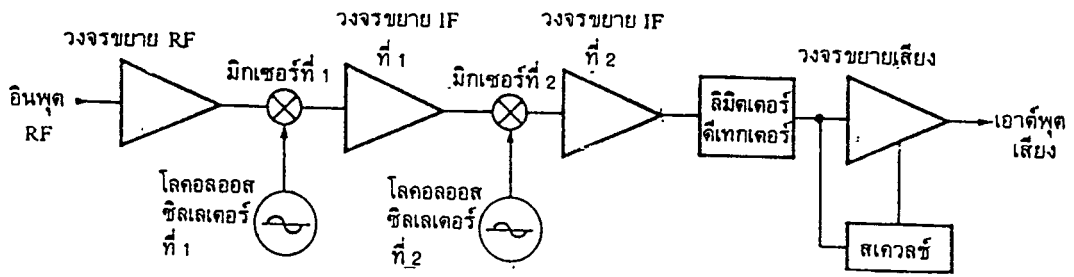
รูปที่ 2.3.2 แผนผังของเครื่องส่ง UHF / FM

ภาคเครื่องรับ

เครื่องรับ FM ในย่านความถี่ VHF ส่วนใหญ่เป็นแบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน สำหรับในย่านความถี่ VHF บางครั้งอาจใช้แบบทริปเปิลคอนเวอร์ชัน (triple conversion) รูปที่ 2.3.3 แสดงแผนผังของเครื่องรับชนิดซิงเกิลคอนเวอร์ชัน สังเกตว่าวงจรส่วนหน้าชนิดที่มีค่า Q สูงมาก เรียกว่าเฮลิคัลเรโซเนเตอร์ (helical resonator) ส่วนในรูปที่ 2.3.4 แสดงแผนผังของเครื่องรับชนิดดับเบิลคอนเวอร์ชัน



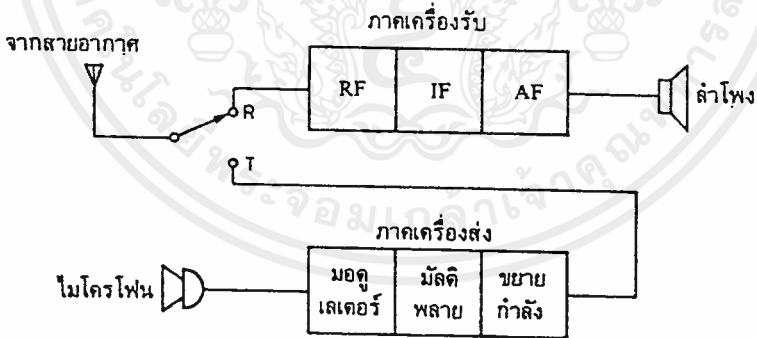
รูปที่ 2.3.3 เครื่องรับ FM แบบซิงเกิลคอนเวอร์ชัน



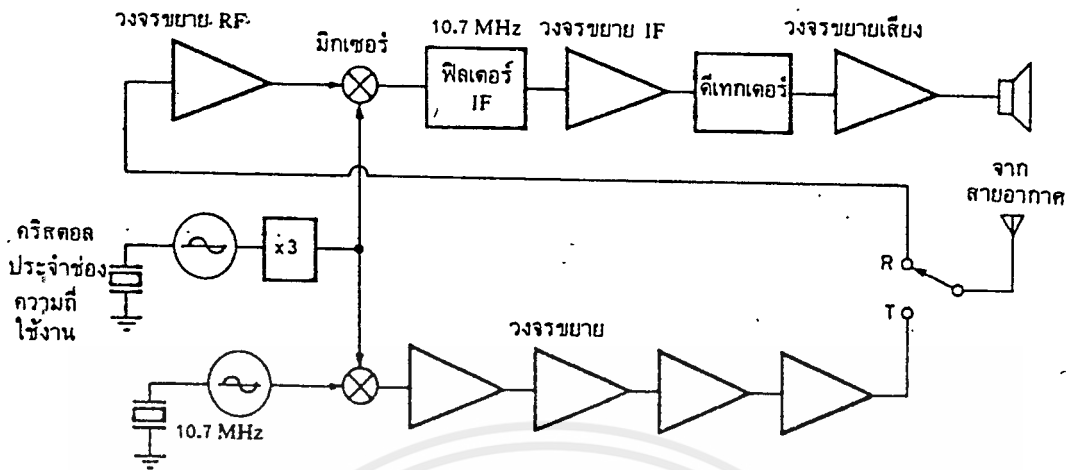
รูปที่ 2.3.4 เครื่องรับ FM แบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน

ตัวอย่างเครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM

เครื่องรับ-ส่งวิทยุส่วนใหญ่ ภาคเครื่องรับกับภาคเครื่องส่งจะแยกออกจากกันโดยไม่ใช้วงจรร่วมกัน ดังแผนผังที่แสดงในรูปที่ 2.3.5 แต่ก็ยังมีเครื่องรับ-ส่งวิทยุบางชนิดที่ใช้วงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ร่วมกัน ดังรูปที่ 2.3.6 โดยใช้คริสตอลเพียงก้อนเดียวกันทั้งในสภาวะรับและสภาวะส่ง สังเกตว่าในสภาวะส่งเราจำเป็นต้องนำสัญญาณโลคอลออสซิลเลเตอร์มามิกซ์กับออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ IF เสียก่อนเพื่อให้ได้ความถี่ใช้งานที่ต้องการ สังเกตอีกด้วยว่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์ในสภาวะรับกับสภาวะส่งจะต่างกันอยู่เท่ากับความถี่ IF พอดี



รูปที่ 2.3.5 เครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM ซึ่งแยกภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่ง



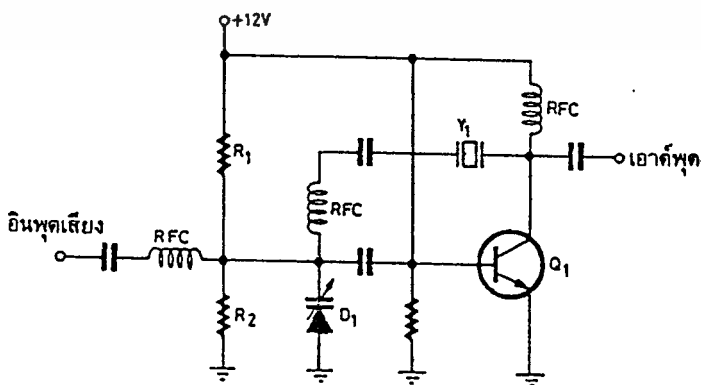
รูปที่ 2.3.6 เครื่องรับ-ส่งวิทยุ FM แบบใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ร่วมกัน

วงจรพื้นฐานของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ

1. มอดูเลเตอร์ FM การกำเนิดสัญญาณ FM สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

วิธี FM โดยตรง (direct FM) ซึ่งต่อวงจรแกกแดนซ์เข้ากับแร็งค์ับความถี่ แล้วเปลี่ยนความถี่ของคริสตัลออสซิลเลเตอร์ โดยเปลี่ยนค่ารีแอกแตนซ์ของวาร์แคเตอร์ไดโอด ตัวอย่างเช่น มอดูเลเตอร์ใช้วาร์แคเตอร์

วงจรในรูปที่ 2.3.7 เป็นวงจรมอดูเลเตอร์อีกชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยวาร์แคเตอร์ไดโอด D1 ในวงจรเพียซออสซิลเลเตอร์ (Pierce oscillator) แร็งค์ับความถี่ (Y1) สำหรับ R1 กับ R2 เป็นวงจรไบแอสให้แก่วาร์แคเตอร์เพื่อให้มีค่าความจุให้ออสซิลเลเตอร์อยู่ตรงความถี่กลาง ๆ เมื่อป้อนสัญญาณเสียงให้แก่วาร์แคเตอร์ แรงดันเสียงก็จะบวกและลบกับไฟไบแอส ทำให้ความจุเปลี่ยนแปลง และความถี่ของออสซิลเลเตอร์ก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย



รูปที่ 2.3.7 วงจรมอดูเลเตอร์ใช้วาร์แคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



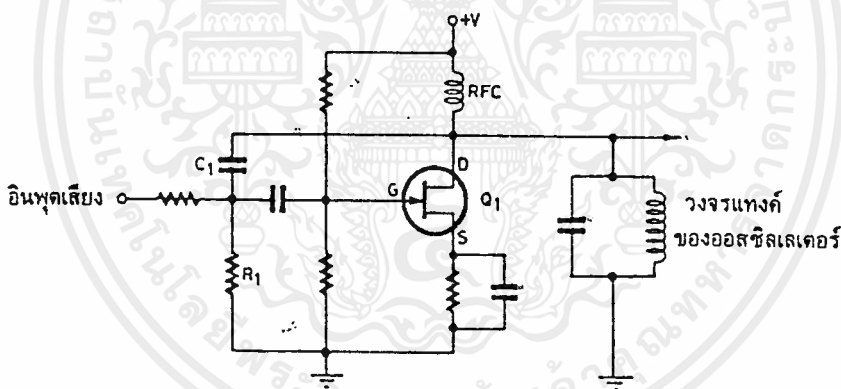
เมื่อสัญญาณเสียงแกว่ง ( swing ) ไปทางบวก แรงดันไบแอสแบบกลับทาง ที่คร่อมวาวแรกเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้น ความจุจะลดลง ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์สูงขึ้น เมื่อสัญญาณเสียงแกว่งไปทางลบไฟไบแอสกลับทางคร่อมวาวแรกเตอร์ก็จะลดลง ความจุของวาวแรกเตอร์จะมากขึ้นทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ลดลง

ถ้าสัญญาณเสียงเป็นโตน ( เสียง ) 1000 เฮิรตซ์ ความถี่ของออสซิลเลเตอร์จะแกว่งไปมาระหว่างความถี่กลางด้วยอัตรา 1000 ครั้งต่อวินาที ( อัตราเบี่ยงเบนนั่นเอง ) อัตราการเบี่ยงเบนความถี่จะเท่ากับ ความถี่ของสัญญาณเสียง ถ้าแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้น ช่วงเปลี่ยนแปลงความจุของวาวแรกเตอร์จะกว้างมากขึ้น นั่นคือช่วงความถี่เบี่ยงเบนกว้างขึ้น

มอดูเลเตอร์ชนิดที่ใช้วาวแรกเตอร์นี้ ได้รับความนิยมแพร่หลายมากเพราะสะดวกและมีเสถียรภาพดี ( เพราะใช้แรงบังคับความถี่ )

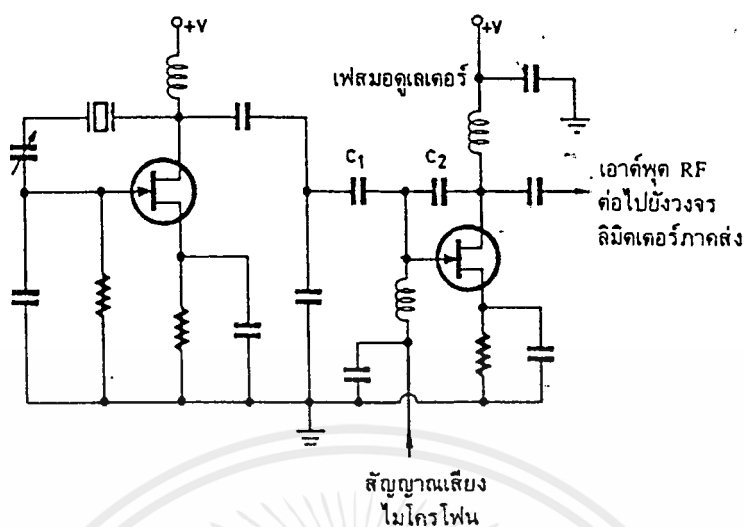
**รีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์**

หลักการของวงจรรีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์ก็คือ ไบแอส FET หรือทรานซิสเตอร์ เป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นรีแอกแตนซ์ ( ความจุหรือความเหนี่ยวนำ ) ในวงจรเทงค์ของออสซิลเลเตอร์ ฉะนั้นเมื่อป้อนสัญญาณเสียงมามอดูเลเตอร์ ค่ารีแอกแตนซ์จะแปรเปลี่ยนไป ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงด้วย



รูปที่ 2.3.8 วงจรรีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์

วิธี FM โดยอ้อม ( indirect FM ) เราใช้วิธีมอดูเลตทางเฟสได้เป็นสัญญาณ PM แล้วเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นสัญญาณ FM โดยการแก้มลตบสนองความถี่ของสัญญาณเสียงที่จะเข้าทำการมอดูเลตปกติความถี่เบี่ยงเบนจะมีค่า  $\pm 5$  กิโลเฮิรตซ์ ( คิดรวม 2 ข้างเท่ากับ 10 กิโลเฮิรตซ์ ) โดยทั่วไปแรงบังคับความถี่จะเปลี่ยนไปได้ประมาณ 0.05 เปอร์เซนต์ นั่นคือสามารถมอดูเลตให้ความถี่เบี่ยงเบนไปได้ ประมาณ  $\pm 5$  กิโลเฮิรตซ์

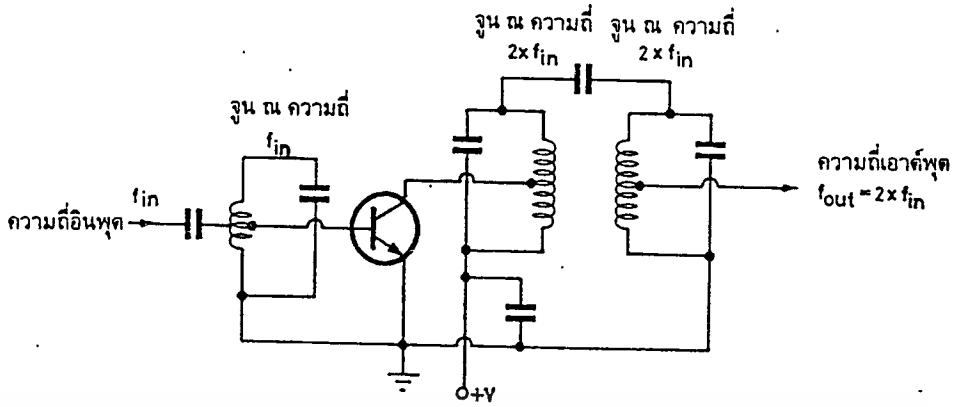


รูปที่ 2.3.9 วิธี FM โดยอ้อม ใช้เฟสล็อกเตอร์

ความจริงการกำเนิดสัญญาณ FM ทั้ง 2 วิธีก็ให้ผลคล้ายกันจะแตกต่างกันก็ตรงที่ในกรณีเฟสล็อกเตอร์ ความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนกับความถี่ของสัญญาณที่มอดูเลต เมื่อความถี่เสียงยิ่งสูงความถี่เบี่ยงเบนจะยิ่งมาก นั่นคือที่ความถี่ศูนย์หรือ DC จะไม่มีการมอดูเลต ฉะนั้นเมื่อสัญญาณ PM จากเฟสล็อกเตอร์จะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณ FM ก็สามารถทำได้โดยนำสัญญาณเสียงมาผ่านกรรรมวิธีเพื่อให้สัญญาณความถี่ต่ำ ๆ แรงขึ้น ก่อนที่จะป้อนเข้ามอดูเลต

#### 2.4 วงจรมัลติพลาย

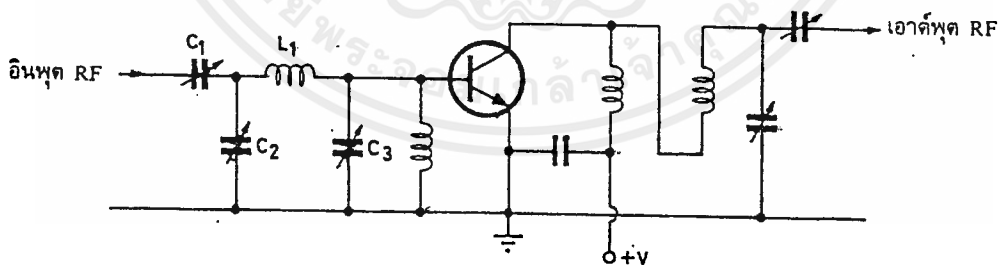
เป็นวงจรขยายที่มีอินพุตขับด้วยสัญญาณแรงเต็มที่ และเอาต์พุตต่อเป็นวงจรที่จูนไว้ ณ ความถี่ฮาร์มอนิกของสัญญาณอินพุต วงจรนี้ก็เหมือนกับวงจรขยายจูนธรรมดา เพียงแต่ระดับสัญญาณอินพุตป้อนเข้าแรงกว่า และอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น ทราานซิสเตอร์ ต้องทำงานในย่านความถี่สูงขึ้น การขับด้วยสัญญาณแรงเต็มที่ช่วยทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้น ฉะนั้นความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมเกี่ยวกับความถี่ของวงจรจึงมีความสำคัญมาก ในรูปที่ 2.4.1 แสดงให้เห็นวงจรมัลติพลาย ซึ่งคุณความถี่เป็น 2 เท่า สังเกตว่าวงจรจูนด้านอินพุตจะจูนไว้ ณ ความถี่ที่ต้องการจะคูณ ส่วนด้านเอาต์พุตจูนไว้ ณ ความถี่ 2 เท่า หรือฮาร์มอนิกที่สอง ( วงจรคูณ 2 นี้เรียกว่าดับเบลอร์ ) ถ้าเราต้องการคูณ 3 เท่า เราก็ใช้วงจรจูน ณ ความถี่ฮาร์มอนิกที่สาม ( วงจรคูณ 3 เท่าเรียกว่า ทริเปิลเลอร์ ) วงจรมัลติพลายส่วนใหญ่จะใช้ตัวคูณ 2 หรือ 3 เท่า เนื่องจากตัวคูณสูงกว่านี้มักจะทำให้ประสิทธิภาพด้อยลง ถ้าเราต้องการคูณหลาย ๆ เท่า เราก็ใช้วงจรมัลติพลายหลาย ๆ ชุดมาต่อกัน



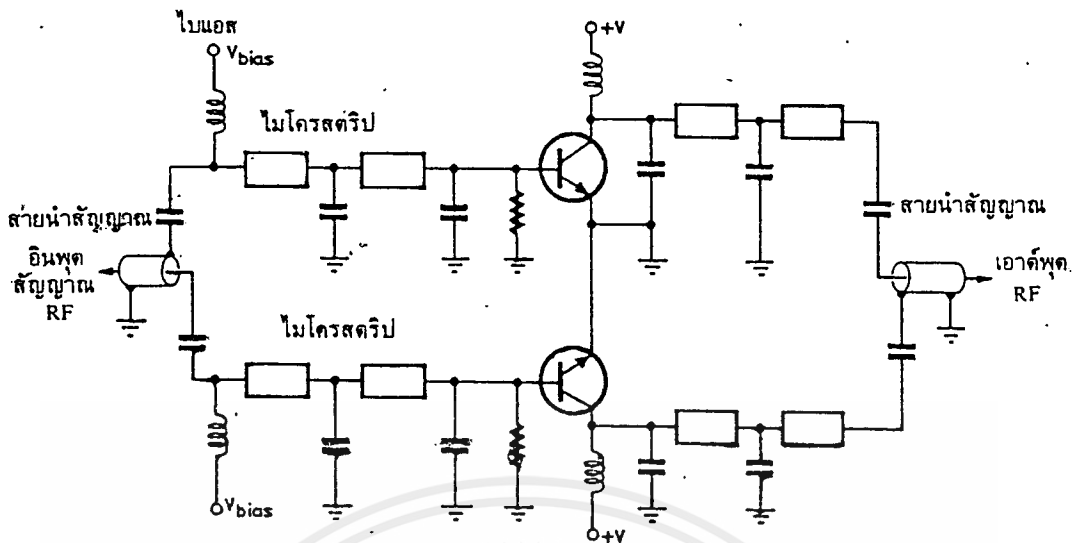
รูปที่ 2.4.1 วงจรดับเบลอร์

2.5 วงจรขยายกำลัง RF

ในกรณีของระบบ FM เราสามารถใช้วงจรขยายคลาส C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าในการขยายกำลังได้ โดยทั่วไปวงจรขยายกำลังมักจะเป็นวงจรง่าย ๆ แต่การจัดวางอุปกรณ์จำเป็นต้องพิถีพิถัน โดยเฉพาะวงจรที่ทำงานในย่านความถี่สูง ในรูปที่ 2.5.1 แสดงวงจรขยายกำลังในย่านความถี่ VHF 150 เมกะเฮิร์ตซ์ จะเห็นว่าเราใช้ตัวเก็บประจุปรับค่าได้ในการแมตช์อิมพีแดนซ์ คือทำให้อิมพีแดนซ์อินพุตกับเอาต์พุตเท่ากัน รูปที่ 2.5.2 เป็นวงจรขยายกำลังลิเนียร์ในย่านความถี่ UHF ซึ่งต้องวงจรถายเป็นวงจรถูซพลู สังเกตว่าเราใช้อุปกรณ์สตริปไลน์ (strip line) เป็นส่วนหนึ่งของวงจร สตริปไลน์ในที่นี้ มักทำเป็นลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ (printed - circuit board) เรามักพบสตริปไลน์ในวงจรขยายกำลังที่ทำงานที่ระดับกำลังสูงมาก

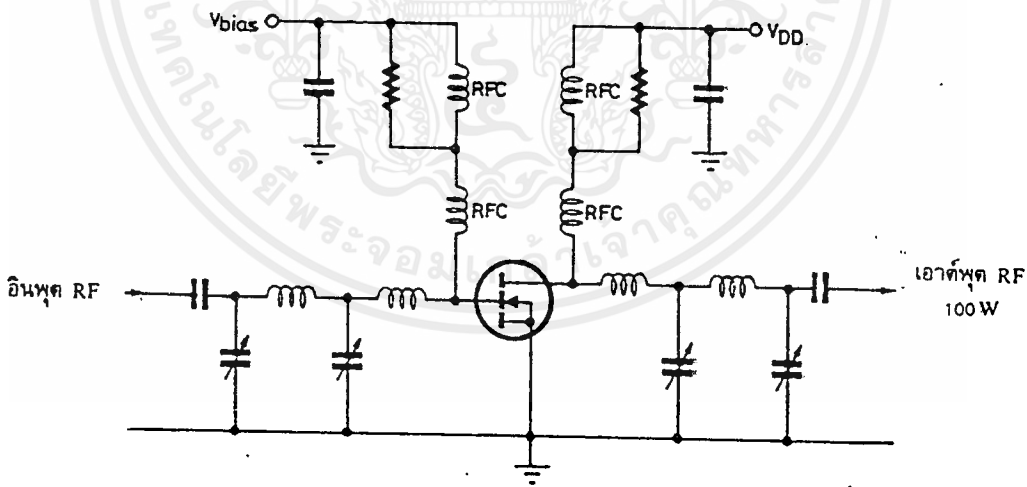


รูปที่ 2.5.1 วงจรขยายกำลังคลาส C ในย่านความถี่ VHF



รูปที่ 2.5.2 วงจรขยายกำลังลิเนียร์ในย่านความถี่ UHF

วงจรขยายกำลังอีกแบบหนึ่งซึ่งใช้ MOSFET กำลัง ( power MOSFET ) สามารถทำงานได้ถึง 100 วัตต์ ความถี่ใช้งานขึ้นไปได้ถึงย่าน VHF ลักษณะวงจรจะเป็นดังรูปที่ 2.5.3 ข้อดีของ MOSFET ก็คือมีความเพี้ยนต่ำและมีอินเตอร์มอดน้อย



รูปที่ 2.5.3 วงจรขยายกำลังใช้ MOSFET สำหรับความถี่ 144 MHz

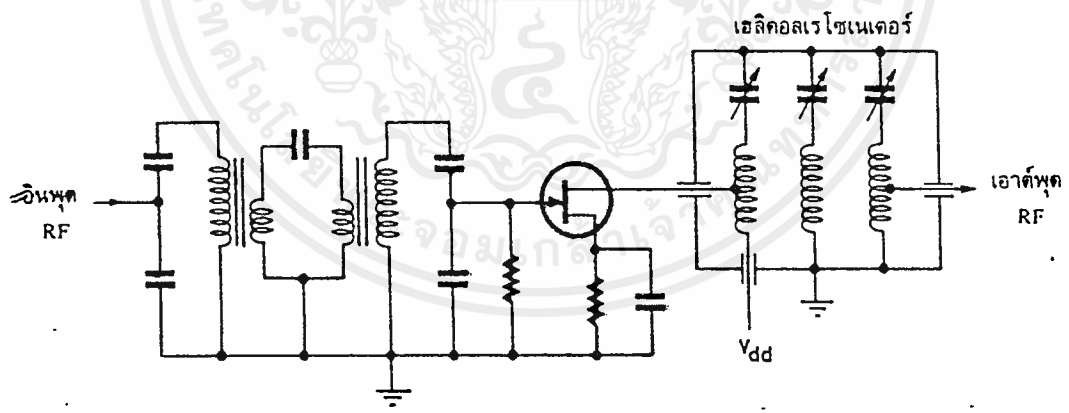
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6. วงจรขยาย RF

ปกติแล้วเครื่องรับ AM สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีวงจรขยาย RF แต่สำหรับเครื่องรับ FM เราจำเป็นต้องมีวงจรขยาย RF เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับสัญญาณขนาดเล็ก ๆ ได้ ระบบ FM มีภูมิต้านทานต่อสัญญาณรบกวนสูง ดังนั้นความไวจึงสูง สังเกตว่าเครื่องรับ FM มีความไวไม่เกิน 1 ไมโครโวลต์ ถ้าหากเราไม่ใช้วงจรขยาย RF ในเครื่องรับ สัญญาณที่เกิดจากมิกเซอร์ก็จะกลบทับสัญญาณที่ต้องการรับจนหมดสิ้น การขยายสัญญาณอินพุตให้แรงขึ้นก่อนจะป้อนให้มิกเซอร์จะช่วยให้ความไวดีขึ้น นอกจากวงจรขยาย RF จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุตแล้ว แบนด์วิดท์ช่วงความถี่ทำงานของวงจรมักช่วยตัดความถี่เฝ้า และกั้นสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์มิให้ย้อนกลับไปสู่สายอากาศด้วย

วงจรขยาย RF ที่นิยมใช้ในเครื่องรับ FM มักเป็น FET เนื่องจากมีช่วงไดนามิกกว้างและมีภูมิต้านทานต่อสัญญาณรบกวนสูง รวมทั้งมีเสถียรภาพดี ถ้าหากเครื่องรับใช้งานหลายความถี่และช่วงห่างของความถี่ใช้งาน ( frequency spread ) ไม่ห่างกันมากนัก วงจรขยาย RF อาจจะใช้แบบที่มีย่านความถี่ผ่านไม่ต้องกว้างนัก และสามารถใช้อิเล็กตรอนเรโซเนเตอร์ร่วมกับวงจรส่วนหน้าด้วย โดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.6.1

ตัวอิเล็กทรอนิกส์เรโซเนเตอร์นี้มีลักษณะเหมือนกับหลอดสายนำสัญญาณที่เป็นเกลียว ( spiral ) ปลายด้านหนึ่งลัดวงจร ปลายอีกด้านหนึ่งเปิดวงจร ค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย ( characteristic impedance ) จะมีค่าสูง ลวดดังกล่าวบิดที่บออยู่ในช่องโลหะ และมีช่องสำหรับให้พลังงานผ่านจากช่องหนึ่งไปยังอีกช่องหนึ่ง ค่า Q ( unloaded ) ของอิเล็กทรอนิกส์เรโซเนเตอร์นี้สูงมาก คุณสมบัตินี้เองที่ทำให้สามารถกำจัดอินเทอร์มอดและสัญญาณเฝ้า ดูวงจรในรูปที่ 2.6.1

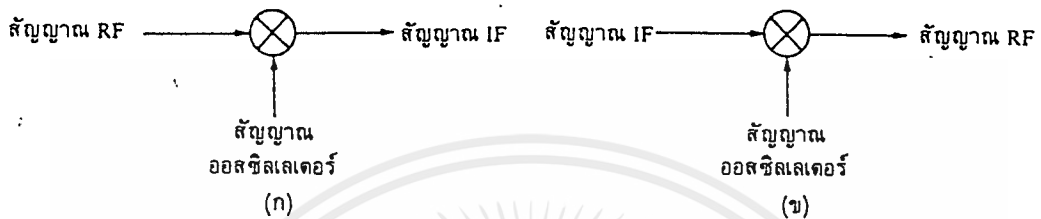


รูปที่ 2.6.1 วงจรขยาย RF ซึ่งใช้อิเล็กทรอนิกส์เรโซเนเตอร์

### 2.7 มิกเซอร์

แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแอคทีฟ ( active ) ใช้ทรานซิสเตอร์และไอซีรวมทั้งอุปกรณ์อื่นที่ให้อัตราขยาย ( ในการผสมคลื่น ) และประเภทพาสซีฟ ( passive ) ใช้ไดโอด ซึ่งไม่มีการขยายสัญญาณ นอกจากนี้ เราอาจแบ่งวงจรมิกเซอร์ได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบสมมูลหรือบาลานซ์ กับแบบไม่สมมูลหรืออิมบาลานซ์ วงจรมิกเซอร์แบบสมมูลนี้ เราต่อวงจรให้ขาอินพุตหรือเอาต์พุตของวงจรมิกเซอร์ไม่เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

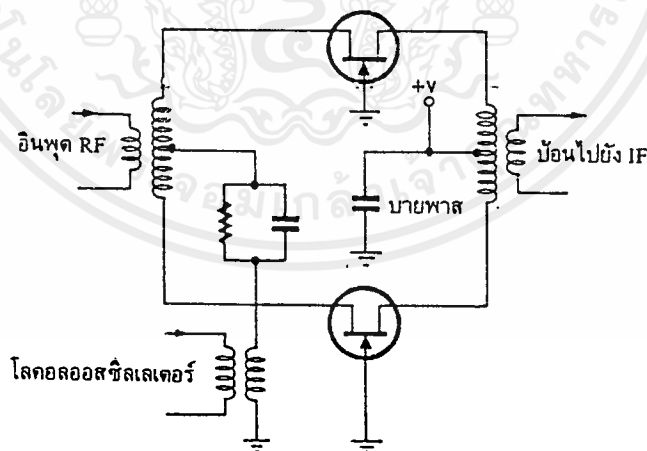
ปฏิกริยาซึ่งกันและกัน ( สัญญาณไม่เล็ดลอดระหว่างขั้ว ) คุณสมบัตินี้เราเรียกว่า การแยกระหว่างขั้วหรือ ไอโซเลชัน ( isolation ) ขั้วอินพุตของวงจรมิกเซอร์มี 2 ขั้ว คือ สัญญาณ RF ( หรือ IF ) กับสัญญาณ ออสซิลเลเตอร์ และมีขั้วเอาต์พุต 1 ขั้ว คือ สัญญาณ IF ( หรือ RF ) จากรูปที่ 2.7.1 พิจารณาในกรณีของภาค เครื่องรับจะเห็นว่าการแยกระหว่างขั้ว RF และขั้วออสซิลเลเตอร์จะช่วยมิให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ย้อนกลับ ออกสู่สายอากาศแผ่กระจายคลื่นออกไปได้ และการแยกระหว่างขั้ว RF กับขั้ว IF จะช่วยมิให้สัญญาณที่มีความถี่พอดีตรงกับความถี่ IF เล็ดลอดเข้าไปสู่วงจรขยาย IF ในกรณีของภาคส่งก็พิจารณาทำนองเดียวกัน



รูปที่ 2.7.1 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับ (ก) และมิกเซอร์ของภาคเครื่องส่ง (ข)

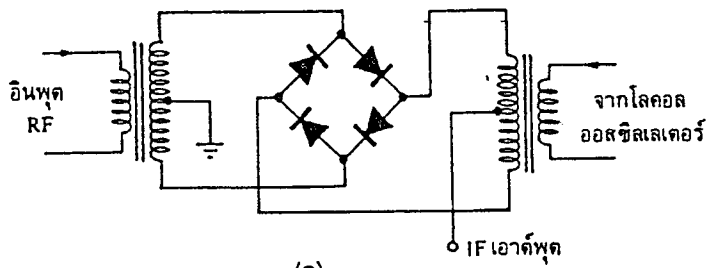
สำหรับวงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุลนั้น มีคุณสมบัติการแยกระหว่างขั้วไม่ดีเหมือนกับแบบสมดุล ถ้า ต้องการให้มีการแยกสัญญาณดีต้องใช้ฟิลเตอร์ช่วยในการกรองสัญญาณต่างหากอีก

ในเครื่องรับรุ่นใหม่เรานิยมใช้บาลานซ์มิกเซอร์ซึ่งให้คุณสมบัติการกำจัดอินเตอร์มอดดี และขยาย สัญญาณได้ด้วย เครื่องรับบางแบบก็ใช้ MOSFET ชนิดเกตคู่เป็นมิกเซอร์

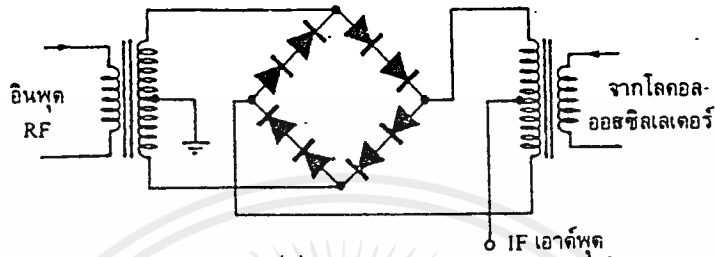


รูปที่ 2.7.2 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอกทิฟ แบบใช้ FET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

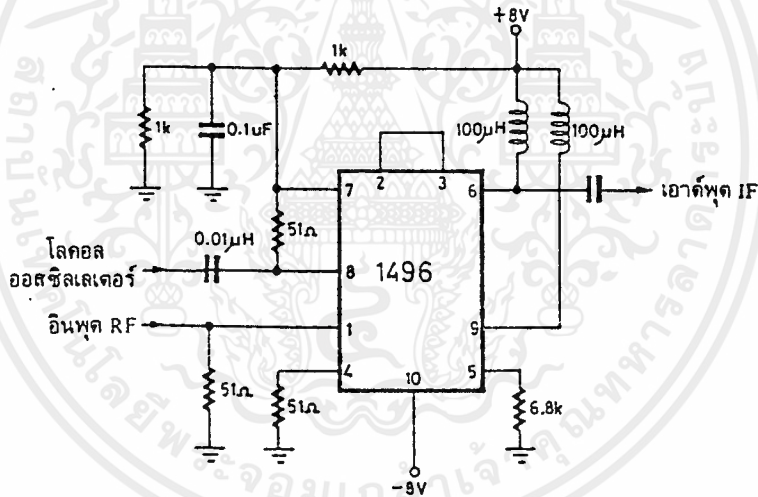


(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7.3 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดพาสซีฟ



รูปที่ 2.7.4 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอคทีฟแบบใช้ไอซี

ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายทฤษฎีของการมิกซ์โดยใช้ทฤษฎีนอนลิเนียร์และ squared - law มาช่วย ให้ อินพุตของมิกเซอร์เป็นสัญญาณแรงดันขนาด  $V_s$  และมีความถี่  $f_s$  ทางด้านเอาต์พุตให้เป็นกระแสของสัญญาณ ความถี่ไอเอฟ ( $f_o - f_s$ ) จะได้ค่า  $g_c$  เป็นค่าคงที่เรียกว่าค่า conversion transconductance กำหนดเป็น

$$g_c = \frac{I_{IF}}{V_s} \quad (2.7.1)$$

เมื่อ  $I_{IF}$  เป็นขนาดกระแสของสัญญาณไอเอฟและ  $V_s$  เป็นขนาดแรงดันของสัญญาณอินพุตที่มีความถี่  $f_s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิกเซอร์สามารถแบ่งเป็น Additive Mixing และ Multiplicative Mixing แต่คณะผู้จัดทำโครงงานจะกล่าวถึงเฉพาะกรณี Additive Mixing

Additive Mixing เป็นการนำเอาสัญญาณอินพุตมารวมกับสัญญาณจากไลคอลลอสซิลเลเตอร์แล้วส่งผ่านอุปกรณ์ที่เป็นนอนลิเนียร์ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชัน เช่น ไดโอด เป็นต้น จากคุณสมบัติของไดโอดจะให้ผลตอบสนองตาม squared-law เอ้าท์พุทที่ได้จะประกอบไปด้วยสัญญาณอินพุตและสัญญาณที่เป็นผลต่างและผลรวมของความถี่อินพุตรวมทั้งฮาร์โมนิกต่าง ๆ ของมัน ให้สัญญาณอินพุต  $V_s$  ความถี่  $f_s$  รวมกับสัญญาณจากไลคอลลอสซิลเลเตอร์  $V_o$  ความถี่  $f_o$  โดยปกติสัญญาณ  $V_o$  มักจะทำให้มีขนาดมากกว่า  $V_s$  ด้วยเหตุผลที่จะอธิบายต่อไป

$$\text{ให้ } v_s = V_s \sin \omega_s t$$

$$v_o = V_o \sin \omega_o t \quad ; V_o \gg V_s \text{ และ } \omega_o \gg \omega_s$$

$$\text{ดังนั้น } v_i = v_s + v_o = (V_s \sin \omega_s t) + (V_o \sin \omega_o t) \quad (2.7.2)$$

จากคุณสมบัติตาม squared-law ของไดโอด ซึ่งจะมีผลลัพธ์เป็นอนุกรมดังนี้

$$i_d = i_o + av_i + bv_i^2 + \dots \quad (2.7.3)$$

จากส่วนประกอบทางกระแสของ squared-term

$$\begin{aligned} i_2 &= bv_i^2 = b(v_o + v_s)^2 \\ &= b(v_o^2 + v_s^2 + 2v_o v_s) \\ &= b(V_o^2 \sin^2 \omega_o t + V_s^2 \sin^2 \omega_s t + 2V_o V_s \sin \omega_o t \sin \omega_s t) \end{aligned} \quad (2.7.4)$$

ผลลัพธ์ที่อยู่ในรูป  $\sin \omega_o t \sin \omega_s t$  จากตรีโกณมิติจะได้

$$\sin \omega_o t \sin \omega_s t = \frac{1}{2} \cos(\omega_o - \omega_s)t - \frac{1}{2} \cos(\omega_o + \omega_s)t$$

ดังนั้นสัญญาณเอ้าท์พุทของมิกเซอร์จะประกอบด้วยเทอมของสัญญาณความถี่ไอเอฟ คือ

$$i_{(IF)} = b V_o V_s \cos(\omega_o - \omega_s)t \quad (2.7.5)$$

$$\text{โดยขนาดของ } i_{(IF)} \text{ คือ } |i_{(IF)}| = b V_o V_s = g_c V_s \quad (2.7.6)$$

จากสมการ 2.7.1 จะได้ค่า conversion transconductance  $g_c$  เป็น

$$g_c = b V_o \quad (2.7.7)$$

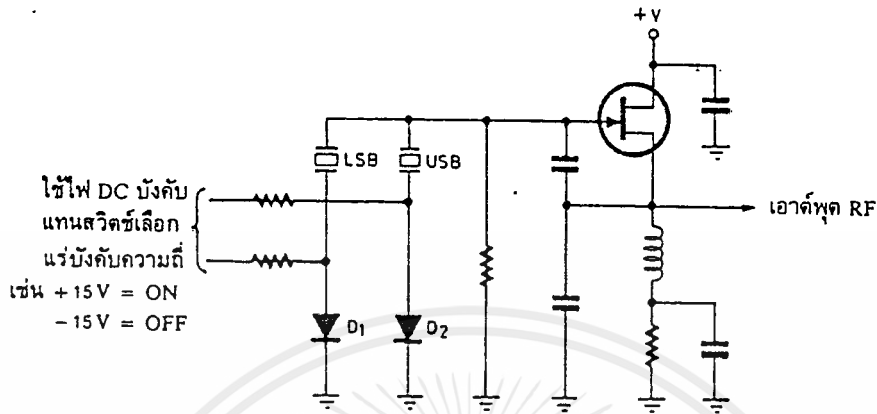
ที่เคยกล่าวว่า  $V_o$  ควรจะมีค่ามากกว่า  $V_s$  เพราะจะทำให้  $g_c$  มีค่ามากด้วย

## 2.8 วงจรออสซิลเลเตอร์

ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่สูง เพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับวงจรอื่น ๆ ภายในเครื่อง เช่น ในการมอดูเลต การผสมคลื่นหรือมิกซ์ รวมทั้งใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง ออสซิลเลเตอร์แต่ละวงจรต่างก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามหน้าที่ในเครื่องวิทยุ การออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์อาศัยการป้อนกลับแบบบวก วงจรที่เป็นตัวกำหนดความถี่อาจเป็นวงจรจูน LC หรือใช้คริสตอลก็ได้ ค่า Q ของวงจรมีค่ามากความถี่ที่วงจรจะออสซิลเลตก็จะยิ่งคงที่ไม่เลื่อน (shift) ไปได้ง่าย สำหรับวงจร LC มีค่า Q น้อยกว่าคริสตอล ฉะนั้นเสถียรภาพทางความถี่ของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ จึงดีกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC ธรรมดา

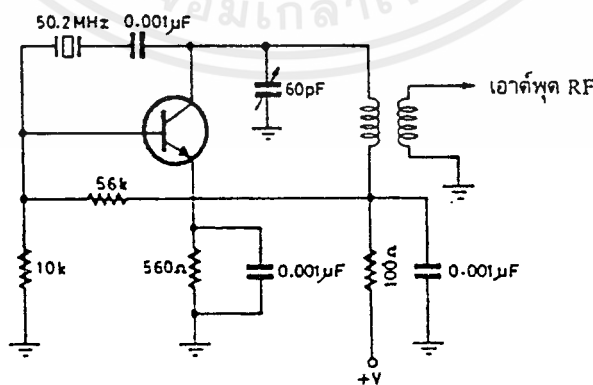
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางครั้ง เราจำเป็นต้องเลือกคริสตอลที่ใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อให้วงจรออสซิลเลเตอร์สามารถเปลี่ยนความถี่ในการออสซิลเลตได้ รูปที่ 2.8.1 เราใช้วิธีป้อนแรงดันเพื่อไบแอสแก๊ไดโอด ในการเลือกต่อคริสตอลให้แก่วงจรออสซิลเลเตอร์เราอาจใช้สวิตช์ต่อกับแรงดันไบแอสธรรมดาหรือใช้วงจรวิเล็กทรอนิกส์ก็ได้



รูปที่ 2.8.1 การสวิตช์เลือกคริสตอลให้แก่ออสซิลเลเตอร์

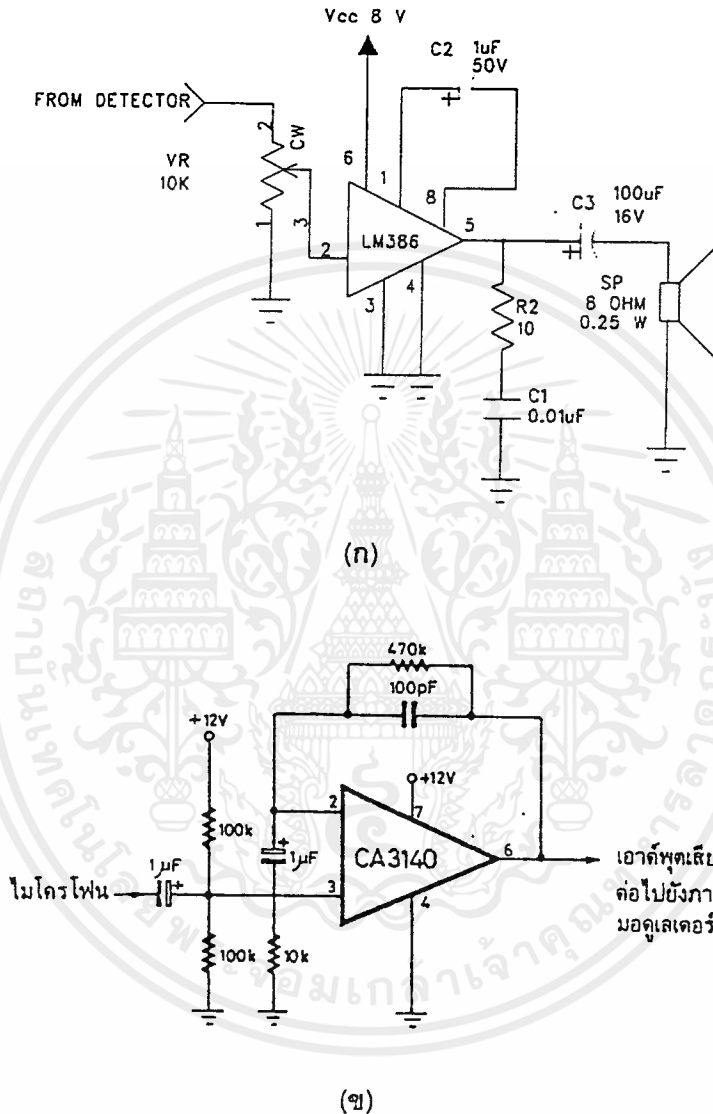
คริสตอลออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่ เรายินยอมให้กำเนิดความถี่ในช่วง 2 ถึง 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ถ้าต้องการความถี่สูงมากกว่านี้ จะต้องให้คริสตอลทำงานแบบโอเวอร์โทน (overtone) เช่น เราให้คริสตอลสั่นที่ความถี่ฮาร์มอนิกคือ วงจรออสซิลเลเตอร์ที่คริสตอลแบบโอเวอร์โทนนี้ สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ 100 ถึง 200 เมกะเฮิร์ตซ์ ถ้าหากเราต้องการความถี่สูงขึ้นไปกว่านี้ เราต้องใช้วิธีการคูณความถี่ (multiplication) โดยใช้วงจรมัลติพลาย ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอลแบบโอเวอร์โทนแสดงไว้ในรูปที่ 2.8.2 วงจรนี้เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเพียซ ซึ่งเป็นคริสตอลทำงานที่ความถี่ฮาร์มอนิกที่สาม นิยมเรียกว่าโอเวอร์โทนที่สาม



รูปที่ 2.8.2 วงจรโอเวอร์โทนออสซิลเลเตอร์

## 2.9 วงจรขยายเสียง

โดยทั่วไปวงจรขยายเสียงในภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่ง มักใช้ไอซี (รูปที่ 2.9.1) เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณในย่านความถี่เสียงธรรมดา คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรถือคือผลตอบสนองความถี่ (frequency response) และความเพี้ยน (distortion) ในภาคเครื่องรับ เอาต์พุตของวงจรขยายเสียงต่อไปยังลำโพง ส่วนในภาคเครื่องส่งจะต่อไปยังวงจรฟิลเตอร์ต่าง ๆ ก่อนที่จะป้อนไปยังวงจรมอดูเลเตอร์



รูปที่ 2.9.1 วงจรขยายเสียง ในภาคเครื่องรับ (รูป ก) และภาคเครื่องส่ง (รูป ข)

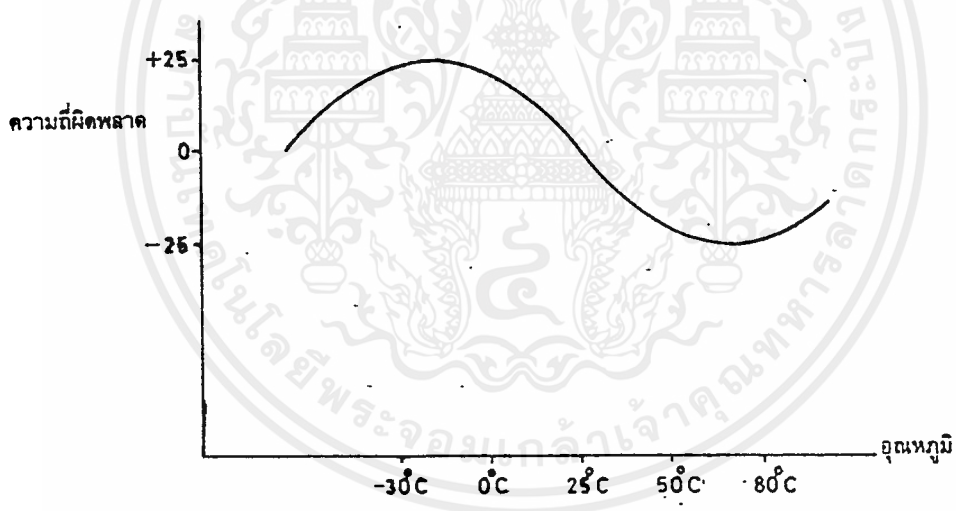
## 2.10 โลกอลอสซิลเลเตอร์

ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณอินเจกชันให้แก่วงจรมิกเซอร์ ในกรรมวิธีเฮตเทอร์โรไดน์เครื่องรับที่ใช้แรมป์จับความถี่มักจะกำเนิดสัญญาณอินเจกชัน โดยใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ร่วมกับวงจรมัลติพลาย เครื่องรับบางแบบก็ใช้ระบบสังเคราะห์ความถี่

คุณสมบัติของโลกอลอสซิลเลเตอร์นี้ มีความสำคัญต่อคุณภาพของเครื่องรับ โดยเฉพาะความถี่จะต้องเที่ยงตรงและมีเสถียรภาพดีกว่า 10 ppm (ย่อมาจาก part per million) ตลอดย่านอุณหภูมิใช้งาน ถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องรับธรรมชาติอากาศใช้แรงบังคับความถี่ธรรมชาติก็ได้ แต่ต้องการความถี่ที่เที่ยงตรงมาก จำเป็นต้องใช้  
 เตาอบในกล่องโลหะ ( oven ) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ข้อเสียของการอบแร่ก็คือเปลืองพลังงานไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง  
 คริสตัลอสซิลเลเตอร์อีกแบบหนึ่งซึ่งใช้วิธีอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยชดเชยความถี่มิให้ไหลเลื่อน  
 (drift) ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วิธีชดเชยอุณหภูมิแบบนี้เรียกว่า TCXO ( TEMPERATURE COMPENSATED  
 CRYSTAL OSCILLATOR ) การเปลี่ยนแปลงความถี่ต่ออุณหภูมิของแร่ไม่เป็นลิเนียร์ ( ไม่เป็นเชิงเส้น ) แต่  
 เป็นรูปตัว S ( รูปที่ 2.10.1 ) ฉะนั้นวิธีชดเชยอุณหภูมิจึงต้องเป็นแบบนอนลิเนียร์ด้วย

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของคริสตัลอสซิลเลเตอร์ก็คือ สัญญาณต้องมีความบริสุทธิ์ (ทาง  
 ความถี่) มิฉะนั้นเมื่อป้อนให้กับมิกเซอร์จะทำให้มีผลตอบสนองปิวเวียส ( spurious response ) วิธีแก้ที่นิยมใช้ก็คือ  
 การใช้ซีลด์และใช้ฟิลเตอร์รองความถี่ฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออกไปเสียก่อน นอกจากนี้คุณสมบัติของ  
 ของโล่ของออสซิลเลเตอร์ก็มีผลต่อซีเลกติวิตีการเลือกรับสัญญาณและขจัดสัญญาณข้างเคียงของเครื่องรับ  
 ด้วย เนื่องจากปรากฏการณ์มิกซ์แบบผกผัน ( reciprocal mixing ) ถ้าสัญญาณอินเจกชันมีนอยส์ปนอยู่  
 พลังงานอินพุตจะถูกมอดูเลตด้วยนอยส์เมื่อป้อนไปยังวงจรรขยาย สัญญาณที่นอยส์ก็จะผ่านฟิลเตอร์ IF ได้  
 ซีเลกติวิตีที่จึงเลวลง ด้วยเหตุนี้สัญญาณข้างเคียงอาจมีนอยส์ล้น ( spillover ) แทรกเข้าไปในช่องความถี่  
 ใช้งานได้



รูปที่ 2.10.1 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกแร่ต่ออุณหภูมิ

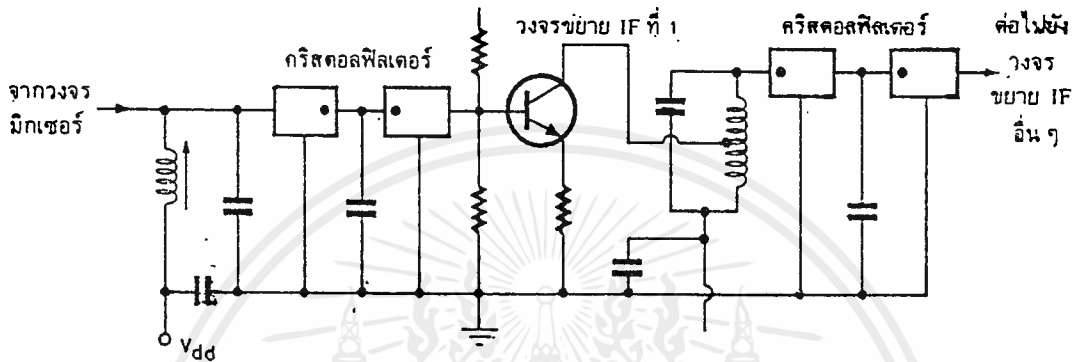
2.11 วงจรรขยาย IF

เอาต์พุตที่ได้จากมิกเซอร์จะป้อนเข้าสู่คริสตัลฟิลเตอร์ ( วงจรกรองความถี่แบบคริสตัล ) ทันที ดัง  
 ในรูปที่ 2.11.1 ซึ่งใช้ฟิลเตอร์ 2 ขั้ว ( pole ) 2 ตัวแมตซ์กัน ( matched pair ) คู่หนึ่งต่อกับอินพุตของวงจร IF  
 และอีกคู่หนึ่งต่อที่เอาต์พุตของวงจร IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของซิงเกิลคอนเวอร์ชันจะมีวงจรคริสตอลฟิลเตอร์และวงจร IF ต่อถัดมาจากมิกเซอร์ แต่ถ้าเป็นในกรณีของดับเบิลคอนเวอร์ชันจากมิกเซอร์ที่หนึ่งจะเป็นคริสตอลฟิลเตอร์ผ่านวงจร IF ค่าสูงและเข้าวงจรมิกเซอร์ที่สองและผ่านเซรามิกฟิลเตอร์กับวงจร IF ค่าต่ำ ตามลำดับ

ในระบบซูเปอร์เฮตเทอโรไดน์ อัตราขยายส่วนใหญ่มักจะมาจากภาค IF ในเครื่องรับยุคแรก ๆ เรามักใช้หลอดหรือทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีหม้อแปลงคัปเปิลระหว่างสเตจ (ภาค) แต่ในยุคนี้ ภาค IF จะมีค่าต่ำ เราจึงนิยมใช้ไอซีเพียงตัวเดียวทำหน้าที่เป็น IF และดีมอดูเลตสำเร็จในตัว



รูปที่ 2.11.1 วงจรขยาย IF ซึ่งใช้คริสตอลฟิลเตอร์คู่

ตัวอย่างไอซีที่ทำหน้าที่เป็นภาค IF

ไอซีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นของโมโตโรลาเบอร์ MC 3361 เป็นไอซีที่นิยมอย่างแพร่หลายซึ่งประกอบไปด้วยภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์ บาลานซ์มิกเซอร์ วงจรขยายลิมิตเตอร์ วงจรดีมอดูเลต และวงจรสแควล์ซ ไอซีเบอร์นี้ออกแบบสำหรับระบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน (ดูรูปที่ 2.11.2) คริสตอลออสซิลเลเตอร์เป็นแบบคอลลิปต์ซึ่งต่อภายในกับบาลานซ์มิกเซอร์ โดยปกติอินพุตจะมีค่า 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ (หรือใกล้เคียงนี้) IF ที่สองเท่ากับ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ (ดูรูปที่ 2.11.3)



## 2.12 วงจรดีเทกเตอร์

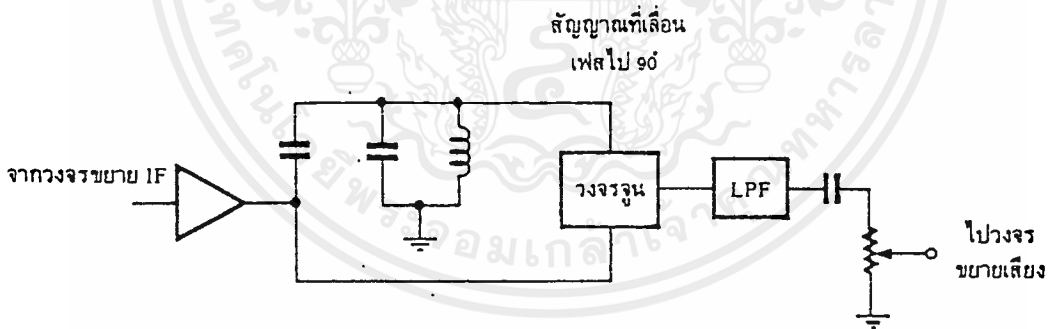
วงจรดีเทกเตอร์มีหลายชนิด อาทิเช่น สโลปดีเทกเตอร์ ดีเทกเตอร์ชนิดดับเบิลจูน ฟอสเตอร์-ซีลีย์ ดิสคริเมเนเตอร์ เรโซดีเทกเตอร์ และควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ แต่สำหรับในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะวงจรดีเทกเตอร์ชนิดควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์

### ควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์

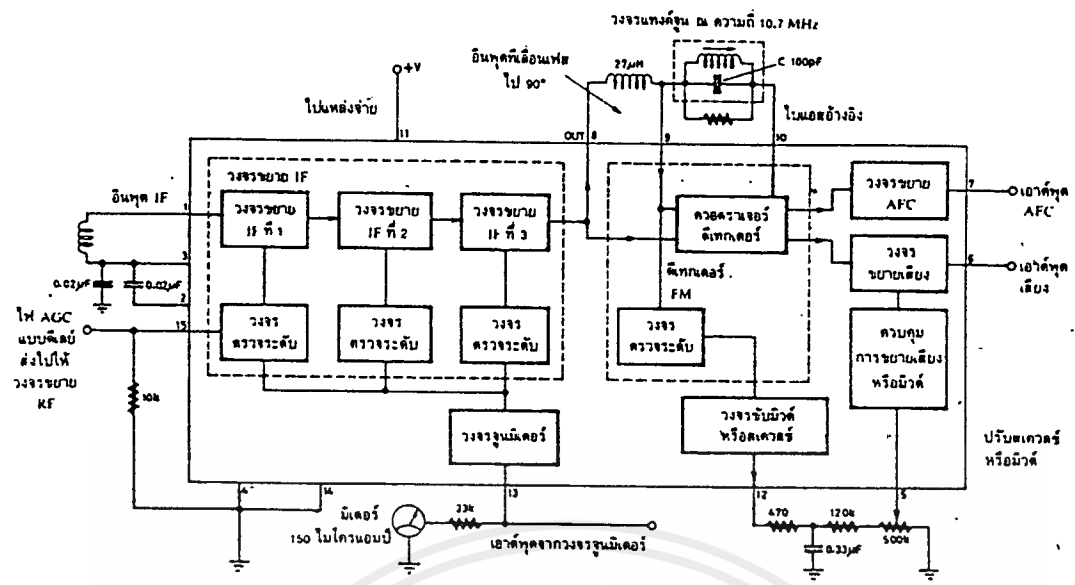
วงจรดีเทกเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการคุณสมบัติของสัญญาณ FM กับสัญญาณ FM ตัวเดิมแต่เลื่อนเฟสไป 90 องศา ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณมอดูเลต (สัญญาณเสียง) จากรูปที่ 2.12.1 (ก) กระแสที่ไหลในคอยล์จะมีเฟสต่างจากแรงดันคร่อมคอยล์อยู่ 90 องศา กระแสนี้จะป้อนไปให้วงจรเรโซแนนซ์ขนาน Z ซึ่งจนความถี่ไว้ที่ความถี่กลางของสัญญาณ FM แรงดันคร่อมวงจรเรโซแนนซ์จะมีเฟสเลื่อนไปตามความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไปสัญญาณ FM ที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์จะกลายเป็นสัญญาณ PM หลังจากทีสัญญาณ FM และสัญญาณ FM คู่กัน (ทำงานในช่วงนอนลิเนียร์) ผลลัพธ์จากการคูณจะเป็นสัญญาณความถี่สูงกับสัญญาณความถี่ต่ำ (คือสัญญาณมอดูเลต) สัญญาณแรกจะถูกกรองทิ้งไปโดยฟิลเตอร์ชนิดโลพาส เอาต์พุตจึงเป็นสัญญาณเสียงตามต้องการ

ความจริงแล้ววงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ ทำหน้าที่เสมือนวงจรเทียบเฟสของสัญญาณ FM สองสัญญาณซึ่งมีเฟสต่างกัน 90 องศา

โดยทั่วไปวงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์มักจะทำเป็นไอซี ซึ่งจะรวมวงจรขยาย IF วงจรขยายลิมิตเตอร์ และอื่น ๆ ไว้ด้วยในไอซีตัวเดียว โดยต่อคอยล์ซึ่งเลื่อนเฟสไว้ภายนอก



(ก) แสดงการเลื่อนเฟสที่คอยล์

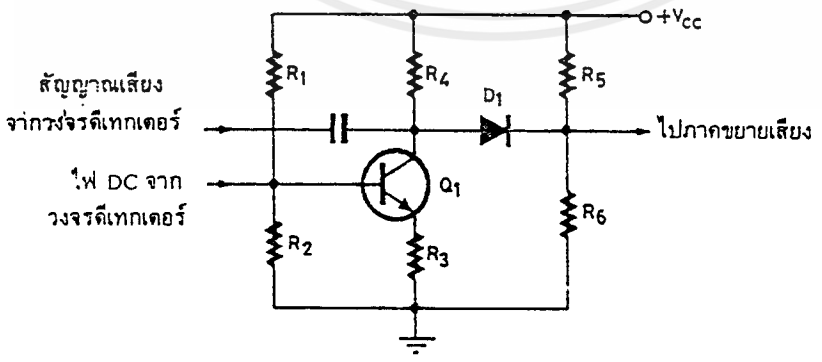


(ข) ไอซี เบอร์ CA 3089

รูปที่ 2.12.1 วงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์

2.13 มิวต์หรือสquelch

ในเครื่องรับที่มีความไวสูง สัญญาณอินพุตที่สลายอากาศจะถูกขยายให้แรงมากขึ้น เพื่อป้องกันวงจรดีเทกเตอร์ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณ (ไม่มีพาหะ) ไฟ AGC จะทำให้เครื่องรับมีอัตราขยายเต็มที่ เครื่องรับจึงขยายแต่นอยส์ออกมา เสียงหูของนอยส์ที่ออกมาจะสร้างความรำคาญต่อผู้ใช้เครื่องวิทยุ การกำจัดเสียงหูนี้เราใช้วงจรสquelch หรือมิวต์ (mute) วงจรตัดเสียงนี้มีหลายชนิด ในรูปที่ 2.13.1 เราใช้แรงดัน DC มาเปิดปิดวงจรขยายเสียง แรงดัน DC ดังกล่าวจะมีค่าเป็นสัดส่วนผกผันกับความแรงของสัญญาณ (พาหะ) ป้องกันแกว่งจลวิตซ์ Q1 เมื่อสัญญาณแรง แรงดัน DC จะทำให้ Q1 OFF แรงดันคอลเลกเตอร์สูงขึ้น ไดโอด D1 นำกระแส สัญญาณเสียงจะผ่านไปวงจรขยายเสียงได้ ถ้าหากพาหะเป็นศูนย์ Q1 จะ ON ทำให้ไดโอด D1 หยุดนำกระแส เปรียบเสมือนเปิดวงจร นอยส์จึงถูกสกัดกั้นมิให้ไปขยายออกลำโพง



รูปที่ 2.13.1 วงจรสquelch แบบใช้พาหะบังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการทํางานของวิทยุรับ-ส่งมือถือนําแบบความถี่สำหรับประชาชน

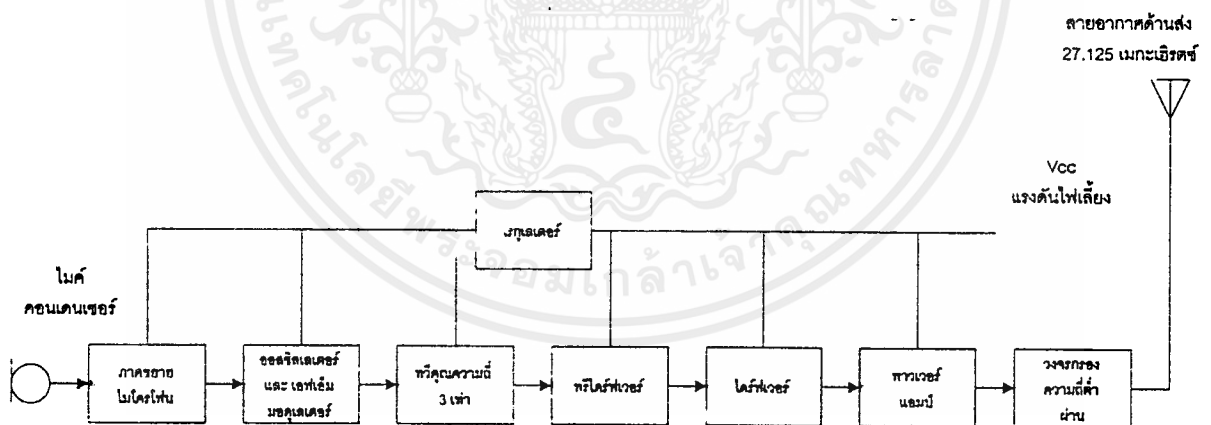
27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์

3.1 บล็อกไดอะแกรมของวิทยุรับ-ส่งมือถือนําแบบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์

3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องส่ง

บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องส่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1.1 เริ่มจากสัญญาณเสียงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยคอนเดนเซอร์ไมค์ แล้วทำการขยายสัญญาณเสียงนั้นให้มีความแรงสูงขึ้น สัญญาณที่ถูกขยายนี้จะถูกนำไปทำการมอดูเลทกับความถี่วิทยุหรือความถี่อาร์เอฟ ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากภาคออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่เท่ากับ 9.0416 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อทวีคูณความถี่เป็นสามเท่าก็จะได้เท่ากับ 27.1248 เมกะเฮิรตซ์ หรือประมาณ 27.125 เมกะเฮิรตซ์ ตามที่ต้องการแล้วส่งไปทำการขยายที่ภาคพรีไดรฟ์เวอร์ และภาคไดรฟ์เวอร์ ก่อนที่จะเข้าสู่ภาคขยายความถี่อาร์เอฟต่อไป การมอดูเลทในภาคนี้จะเป็นการมอดูเลททางความถี่หรือเอฟเอ็ม (Frequency Modulation : FM)

เอาท์พุทที่ได้จากภาคขยายความถี่อาร์เอฟสุดท้าย จะผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่านส่งออกสู่สายอากาศ เพื่อให้มีเฉพาะความถี่อาร์เอฟ 27.125 เมกะเฮิรตซ์ เท่านั้นที่ถูกส่งออกไป และในบล็อกไดอะแกรมในสามบล็อกแรกจะใช้แรงดันไฟเลี้ยงที่ผ่านการเรกูเลทเสียก่อน เพื่อรักษาแรงดันให้คงที่เพื่อการกำเนิดความถี่ที่เที่ยงตรง



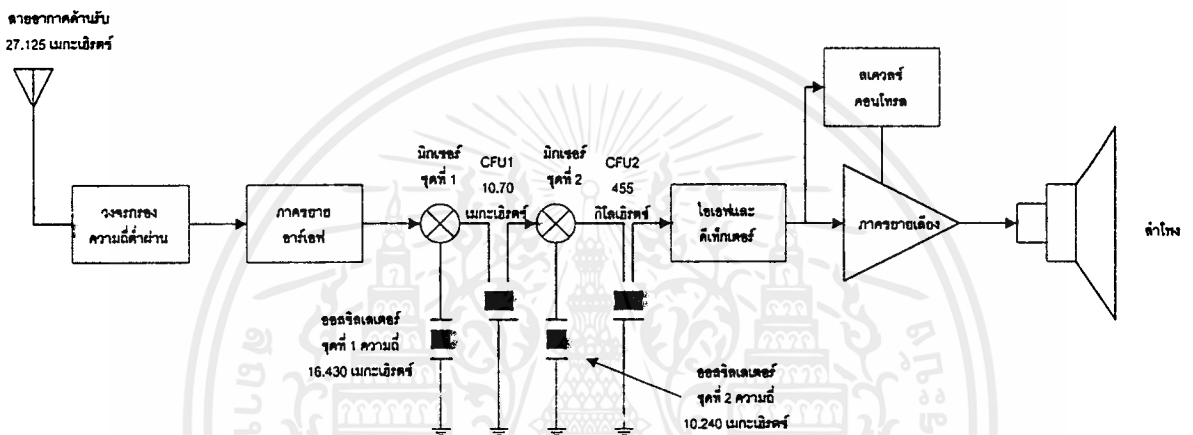
รูปที่ 3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องส่ง

3.1.2 บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องรับ

บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องรับได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1.2 เริ่มจากสายอากาศซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) ที่ส่งมาจากเครื่องส่งอีกชุดหนึ่ง มีวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน ทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ที่ต้องการ (27.125 เมกะเฮิรตซ์) ซึ่งอาจจะมีความถี่ใกล้เคียงแทรกแซงเข้ามาได้บ้างบางส่วน

แล้วทำการขยายความถี่วิทยุนี้ที่ภาคขยายอาร์เอฟ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าฟรอนท์เอนด์ ( front end ) ทำการขยายความถี่นี้ให้แรงขึ้นในระดับหนึ่ง

สัญญาณที่ผ่านการขยายที่ภาคขยายอาร์เอฟแล้ว จะถูกนำมารวมกับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่สร้างขึ้นเองด้วยคริสตอลที่ภาคมิกเซอร์ ( mixer ) ความถี่ออสซิลเลเตอร์มูลฐานนี้เป็นความถี่ออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 1 มีค่าความถี่เท่ากับ 16.430 เมกะเฮิร์ตซ์ การผสมกันของความถี่อาร์เอฟและความถี่ออสซิลเลเตอร์นี้จะทำให้เกิดความถี่ใหม่ขึ้นมาทั้งความถี่ที่สูงขึ้นและความถี่ที่ต่ำลง ( upper และ lower ) ในภาคมิกเซอร์นี้จะเป็นการเอาความถี่มูลฐานไปหักล้างกับความถี่อาร์เอฟ ดังนั้นความถี่ที่ออกจากภาคมิกเซอร์จะเท่ากับ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ลบด้วย 16.430 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ความถี่ไอเอฟเท่ากับ 10.695 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือประมาณ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 3.1.2 บล็อกไดอะแกรมของภาคเครื่องรับ

ความถี่เอาต์พุตของมิกเซอร์ชุดที่ 1 จะถูกเซรามิกฟิลเตอร์ CFU1 บล็อกเอาเฉพาะความถี่ตามค่าของ CFU1 เท่านั้น ในที่นี้ใช้ค่า 10.695 เมกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นความถี่ที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะไม่สามารถผ่านชุดฟิลเตอร์นี้ได้ ความถี่ไอเอฟ 10.695 เมกะเฮิร์ตซ์ผ่าน CFU1 ไม่ได้ และจะถูกทำการรวมความถี่เข้ากับความถี่ออสซิลเลเตอร์มูลฐานอีก ในภาคคอนเวอร์เตอร์หรือมิกเซอร์ชุดที่ 2 เพื่อทำการลดทอนความถี่ไอเอฟลงมาเหลือ 455 กิโลเฮิร์ตซ์

ความถี่ไอเอฟ 10.695 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อรวมกับความถี่มูลฐานที่ภาคออสซิลเลเตอร์กำเนิดขึ้นมาใหม่ค่าเท่ากับ 10.240 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อรวมกันที่ภาคมิกเซอร์แล้ว ความถี่ไอเอฟที่ออกไปจากภาคมิกเซอร์ชุดนี้จะมีค่าความถี่เท่ากับ 455 กิโลเฮิร์ตซ์นี้เท่านั้นเข้าไปทำการขยายความแรงและทำการดีเท็กต์เอาความถี่เสียงออกมาที่ภาคขยายไอเอฟและดีเท็กเตอร์ สัญญาณที่ออกจากภาคนี้จะเป็นความถี่เสียงเข้าทำการขยายออกที่ลำโพงต่อไป

3.2 วงจรและการทำงานของวิทยุรับ-ส่งมือถือ แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์

3.2.1 วงจรและการทำงานของภาคเครื่องส่ง

วงจรของภาคเครื่องส่งในรูปที่ 3.2 นั้นในส่วนของภาคเครื่องส่งจะเริ่มจากไมโครโฟน ซึ่งเป็นแบบคอนเดนเซอร์ไมค์ ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยมี R1 เป็นตัวต้านทานไบแอสให้กับ MIC ชุด R2 และ C1 ทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่เสียงเท่านั้นผ่าน C2 คัปปลิ่งสัญญาณไปเข้าขาเบสของ Q1 มี R4 และ R5 ไบแอสให้ และ R3 ทำหน้าที่ป้องกันกลับสัญญาณ เพื่อกำหนดอัตราขยายของ Q1 โดยในวงจรแล้วเรียกว่าวงจรรขยายสัญญาณไมโครโฟน R6 , R7, R8 และ C4 ทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่เสียงผ่านไปได้เท่านั้น

สัญญาณเสียงจาก Q1 จะถูกส่งมาเข้าขาเบสของ Q2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ผลิตความถี่ 9.0416 เมกะเฮิรตซ์ โดยต่ออนุกรมกับวงจรจูน L1a, L1b และ VC1 ซึ่งความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตขึ้นมา นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความจุของ VC1 ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของแรงดันสัญญาณเสียงที่เข้ามา กล่าวคือเมื่อไม่มีสัญญาณเสียงมาเข้าที่ MIC แรงดันที่ขาแคโทดของ VC1 จะวัดได้ประมาณ 2.0 - 2.5 โวลต์ แต่พอมีเสียงเข้ามาแรงดันจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามลักษณะความแรงของเสียงที่เข้ามา จึงทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงมากบ้างน้อยบ้าง โดยทั่วไปแล้วเรียกว่าการมอดูเลททางความถี่ ( เอฟเอ็ม )

เนื่องจากความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่กำเนิดขึ้นจากความถี่ชั้นมูลฐาน ในออร์เคอร์ที่หนึ่งของคริสตอล X'TAL1a และ X'TAL1b มีค่าความถี่เท่ากับ 9.0146 เมกะเฮิรตซ์เท่านั้น จึงต้องอาศัย Q3 ทำหน้าที่เป็นวงจร-ทวีคูณความถี่ฮาร์มอนิกที่สองของ X'TAL1a และ X'TAL1b ส่งความถี่ที่ได้ผ่าน C12 มาเข้าขาเบสของ Q4 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรทวีคูณความถี่ฮาร์มอนิกที่สามของ X'TAL1a และ X'TAL1b โดยมีวงจรทางค L3 และ C13 ทำหน้าที่จูนให้ได้ความถี่เรโซแนนต์ที่ 27.125 เมกะเฮิรตซ์ แต่เอาท์พุทของ Q4 ที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีความถี่ฮาร์มอนิกที่หนึ่ง 9.0146 เมกะเฮิรตซ์ และฮาร์มอนิกที่สอง 18.0832 เมกะเฮิรตซ์ปะปนออกมาด้วย

จากความถี่ที่ปะปนออกมากับความถี่ 27.125 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเราต้องการเพียงความถี่หลังเท่านั้น จึงต้องทำการกำจัดความถี่ที่ปะปนมาด้วยออกไป โดยใช้วงจรทางค L3 และ C15 ต่ออยู่ในลักษณะดับเบิลจูน ก็จะได้เฉพาะความถี่ 27.125 เมกะเฮิรตซ์ คัปปลิ่งผ่าน C16 ไปเข้าภาคพรีไดร์ฟเวอร์ต่อไป

ทรานซิสเตอร์ Q5 ทำหน้าที่ขยายความถี่อาร์เอฟ ให้มีความแรงอยู่ในระดับหนึ่งเสียก่อน โดยมี R15 ไบแอสกระแสเบสให้เอาท์พุทที่คอลเล็กเตอร์จะถูกคัปปลิ่งผ่าน C19 ไปเข้าขาเบสของ Q6 ทำหน้าที่เป็นไดร์ฟเวอร์ Q7 เป็นพาวเวอร์เอาท์พุททำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่อาร์เอฟออกสู่สายอากาศ โดยคัปปลิ่งผ่าน C24 และวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน L5 - L7

### 3.2.2 วงจรและการทำงานของภาคเครื่องรับ

วงจรของภาคเครื่องรับดังแสดงในรูปที่ 3.2 การทำงานของภาคเครื่องรับเริ่มจากความถี่อาร์เอฟ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ที่ส่งมาจากเครื่องส่งอีกชุดหนึ่งจะเข้ามายังสายอากาศ ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งประกอบด้วย L5, L6, L7, C25, C26 และ C27 เพื่อทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น แต่อาจจะมีความถี่อื่นแทรกแซงผ่านไปได้บ้าง แต่เป็นปริมาณที่ไม่มาก

จากวงจรกรองความถี่ต่ำจะถูกส่งมายังชุดกรองความถี่อาร์เอฟและภาคขยายอาร์เอฟ มี C28 เป็นตัวเก็บประจุคัปปลิงสัญญาณ D1 และ D2 ทำหน้าที่เป็นวงจรคัปเปิลเลอร์ และป้องกันสัญญาณที่แรงเกินไป ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อ L8 และวงจรต่อไปได้ L8, C29, C31 และ L9 ทำหน้าที่จูนรับเอาเฉพาะความถี่ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น ส่วนความถี่อื่นจะถูกบายพาสลงกราวด์ไป มี C31 คัปปลิงสัญญาณระหว่างคอยล์ทั้งสอง C33 คัปปลิงสัญญาณที่ผ่านการจูนเอาเฉพาะความถี่เข้าสู่ขาเบสของ Q9 ซึ่งเป็นภาคขยายความถี่อาร์เอฟ

ในบางครั้งสัญญาณที่รับเข้ามาได้ จะมีความแรงของสัญญาณที่ต่ำมาก ( ยิ่งเป็นการส่งระยะทางไกล ๆ จะยังมีสัญญาณที่เบามาก ) จึงต้องทำการขยายสัญญาณนั้นให้มีความแรงขึ้นมาอยู่ในระดับหนึ่งเสียก่อน โดยมี R20 ทำหน้าที่ไบแอสกระแสให้ขาเบส มี L10 ปรับอัตราขยายความถี่อาร์เอฟของ Q9 และปรับระดับสัญญาณ เพื่อการผสมสัญญาณในภาคมิกเซอร์ด้วย

ทรานซิสเตอร์ Q11 ทำหน้าที่เป็นชุดกำเนิดความถี่มูลฐาน ทำงานร่วมกับคริสตอล XTAL2a และ XTAL2b ซึ่งคริสตอลทั้งสองนี้จะใช้ความถี่ฐานที่แตกต่างกันสำหรับการรับแบบสองช่องความถี่ มี SWb เป็นสวิตช์เลือกช่องการรับสัญญาณ มี R21 และ R22 ต่อเป็นวงจรขยายความถี่คอมมอนคอลเล็กเตอร์ C38 และ C39 ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพการกำเนิดความถี่ของคริสตอล

ตัวเก็บประจุ C37 จะคัปปลิงความถี่ออสซิลเลเตอร์เข้าสู่ขาเบสของ Q11 เพื่อการผสมความถี่กับความถี่อาร์เอฟที่คัปปลิงผ่าน L10 มาเข้าสู่ขาเบสของ Q3 สัญญาณที่ออกไปทางขาคอลเล็กเตอร์ของ Q11 จะเป็นความถี่ถูกลดลงมาเป็นความถี่ไอเอฟ ค่าความถี่เท่ากับ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ L11 ทำหน้าที่ปรับอัตราขยายและเรโซแนนท์ความถี่ของ Q11 ความถี่ไอเอฟนี้จะผ่าน L11 เข้าสู่วงจรกรองความถี่ผ่าน CFU2 เพื่อกรองเอาเฉพาะความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้นผ่านได้ ความถี่อื่นจะถูกบล็อคไม่ให้ผ่าน C44 จะคัปปลิงความถี่ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ เข้าสู่ขา 16 ของ IC1 ซึ่งภายในไอซีนี้จะประกอบไปด้วยวงจรมิกเซอร์ชุดที่ 2 และออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 2

ดังนั้นภาคมิกเซอร์ภายในและภาคออสซิลเลเตอร์ภายในก็จะทำการผสมสัญญาณความถี่ไอเอฟ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ เข้ากับความถี่ออสซิลเลเตอร์มูลฐานที่ได้จากคริสตอล XTAL3 ความถี่ 10.240 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่ต่ออยู่ที่ขา 1 และ 2 ของ IC1 มี C45 เป็นตัวรักษาค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ จากนั้นจะเหลือความถี่ไอเอฟ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ จะออกมาทางขา 3 ของ IC1 เข้าสู่ชุดกรองความถี่ CFU1

ที่ชุดกรองความถี่ CFU1 นี้ จะกรองเอาเฉพาะความถี่ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ผ่านได้เท่านั้น เข้าสู่ขา 5 ของ IC1 โดยมี C47 และ C48 ทำหน้าที่เป็นวงจรคัปปลิงขดลวด L12 และ R25 ที่ต่ออยู่กับขา 8 ของ IC1 ทำหน้าที่เป็นวงจรควอดราเจอร์ตีเท็กเตอร์ และทำการตีเท็กต์เอาสัญญาณเฟรมออกมาทางขา 9 ผ่านวงจ-

กรองสัญญาณ R29, R30, C55, C56 และคัปปลิ่งผ่าน C57 เข้าสู่ภาคขยายเสียง โดยมีโวลุ่ม VR2 ทำหน้าที่แรงลดระดับความดังของเสียง

ที่ขา 2 ของ IC2 จะเป็นขาอินพุตของภาคขยายเสียง มี C58 ต่อระหว่างขา 1 กับ 8 เพื่อเป็นวงจรมีป้อนกลับสัญญาณ R34 และ C62 ทำหน้าที่ป้องกันการออสซิลเลตที่ความถี่สูง C59 คัปปลิ่งสัญญาณทางเอาต์พุตออกสู่ลำโพงต่อไป

### วงจรสควเอลซ์คอนโทรล

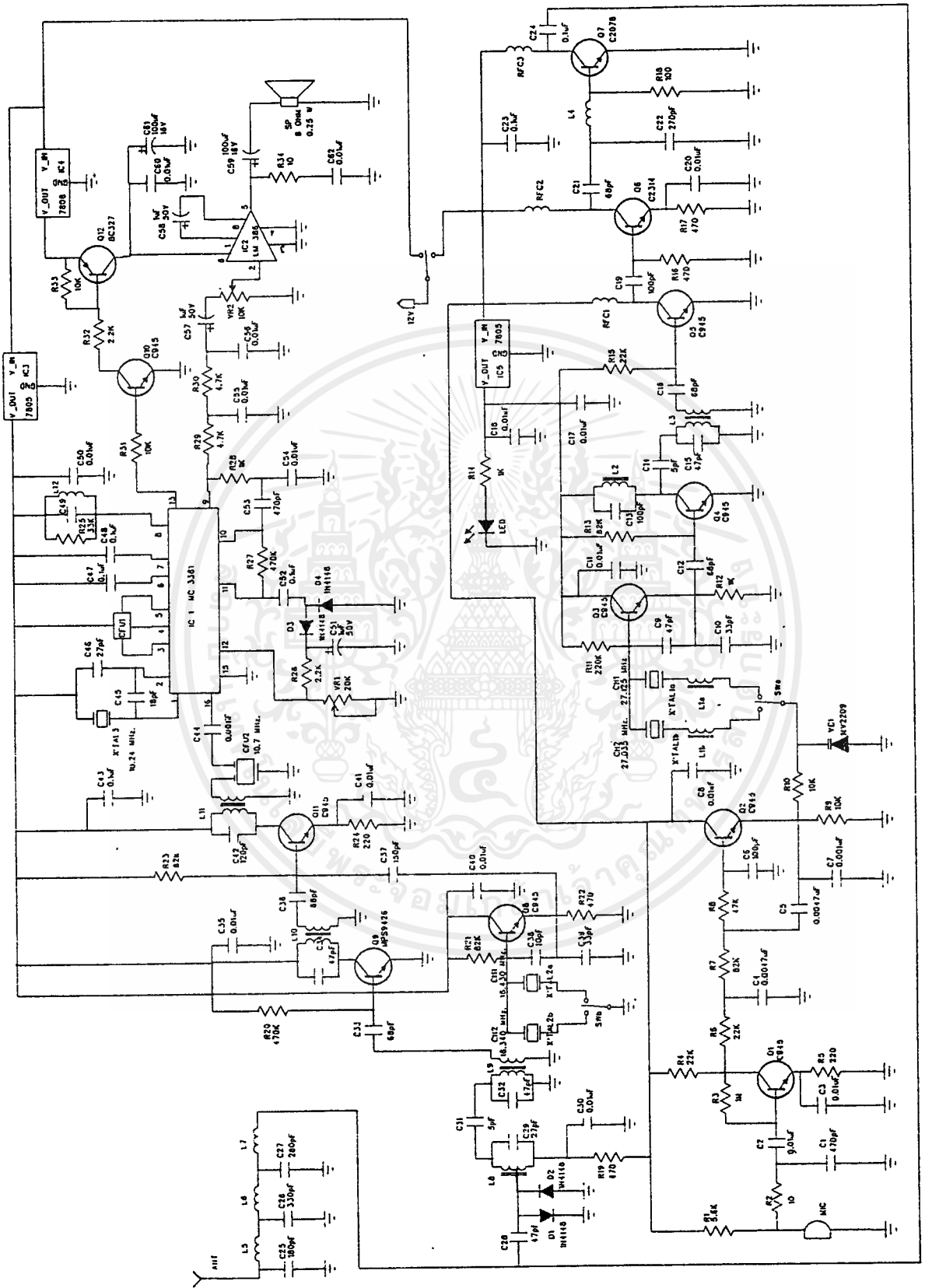
วงจรสควเอลซ์ (squench control) จะทำหน้าที่ลดเสียงซ่า หลักการทำงานของวงจรสควเอลซ์นี้ จะอาศัยหลักการคือเอาเสียงซ่า (noise) มาทำการเปรียบเทียบและควบคุมการเปิด-ปิดภาคขยายเสียง เพื่อต้องการให้ภาคขยายเสียงทำงานเฉพาะช่วงที่มีสัญญาณความถี่วิทยุถูกส่งมายังเครื่องรับเท่านั้น วงจรสควเอลซ์ก็มีส่วนประกอบที่ค่อนข้างจะซับซ้อน แต่สำหรับ IC1 เบอร์ MC3361 แล้วมีอุปกรณ์และการทำงานภายในไว้หมดต่ออุปกรณ์ร่วมภายนอกเพิ่มเติม

การทำงานมีดังนี้ สัญญาณเสียงที่ออกมาจากขา 9 ของ IC1 นั้น จะมีสัญญาณรบกวนออกมาสลับกับสัญญาณความถี่เสียง กล่าวคือเมื่อไม่มีความถี่วิทยุเข้ามาที่ขา 16 ของ IC1 จะทำให้ไอซีผลิตสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมากออกมาที่ขา 9 แต่พอมีความถี่วิทยุเข้ามาที่ขา 16 จะทำให้สัญญาณรบกวนนี้ลดลงถึงระดับต่ำมาก ๆ หรือหายไปเลย

แต่เนื่องจากในขณะใช้งาน สัญญาณที่ออกมาจากขา 9 ของ IC1 จะมีทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณรบกวนออกมา แต่ที่ต้องการในตอนนี้คือสัญญาณรบกวนเท่านั้น จึงใช้ R28, C53 และ C54 ทำหน้าที่กรองเอาสัญญาณเสียงออก เหลือแต่สัญญาณรบกวนไปเข้าขา 10 และทำการขยายสัญญาณรบกวนนี้ให้แรงขึ้น โดยมี R27 เป็นตัวกำหนดอัตราขยายของออปแอมป์ภายในไอซี

สัญญาณรบกวนที่ผ่านการขยายแล้ว จะถูกส่งผ่าน C52, D3 และ D4 ซึ่งต่อเป็นวงจรวีแรงดันเป็นสองเท่า (voltage doubler) และทำการเรกตีไฟอีกด้วย โดยมี C51 ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟให้เรียบ โวลุ่มสควเอลซ์จะปรับแรงดันให้วงจรมีเปรียบเทียบแรงดันภายในไอซี โดยจ่ายให้กับขา 12 ของ IC1 ซึ่งจะให้อเอาต์พุตควบคุมในลักษณะพัลส์ออกทางขา 13

ลักษณะพัลส์ทางเอาต์พุตของวงจรมีเปรียบเทียบแรงดันขา 13 จะมีลักษณะดังนี้คือเมื่อแรงดันที่ขา 12 ของ IC1 ต่ำกว่า 0.6 โวลต์หรือเป็น "0" จะให้อเอาต์พุต "1" ออกไปทางขา 13 และในทางกลับกัน ถ้าแรงดันที่ขา 12 สูงกว่า 0.6 โวลต์หรือเป็น "1" จะให้อเอาต์พุตเป็น "0" ที่ขา 13 ของ IC1 โดยมีทรานซิสเตอร์ Q12 และ Q10 ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เพื่อเปิด-ปิดแรงดันไฟที่จะจ่ายให้กับภาคขยายเสียง IC2 ทางขา 6 ตามจังหวะการปรับที่โวลุ่มสควเอลซ์



รูปที่ 3.2 วงจรของวิทยุรับ-ส่งมอดิโต แถบความถี่สำหรับประชาชน 27.035 และ 27.125 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบลายวงจรพิมพ์โดยใช้โปรแกรม PADS-PCB ด้วยวิธี Manual Route มีขั้นตอนดังนี้

#### 3.3.1 สร้างโครงของบอร์ด โดยใช้คำสั่งดังนี้

- ใช้คำสั่ง Create จากเมนูหลัก แล้วตามด้วยคำสั่ง Board แล้วทำการสร้างโครงของบอร์ด

ให้มีขนาดตามต้องการ ในที่นี้คือ 3.75 x 2.25 ตารางนิ้ว

#### 3.3.2 วางอุปกรณ์ โดยใช้คำสั่งดังนี้

- ใช้คำสั่ง IN/OUT จากเมนูหลัก แล้วตามด้วยคำสั่ง On The Fly
- ใช้คำสั่ง Add Part แล้วเลือกคำสั่ง Select หรือ Keyboard เพื่อเลือกอุปกรณ์วางมาไว้บน

บอร์ดที่สร้างไว้

- จัดอุปกรณ์ให้ได้ขนาดและตำแหน่งที่ต้องการโดยใช้คำสั่ง Rotate, Opposite และ Alt-

Decal

#### 3.3.3 ลากเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ที่จัดตำแหน่งไว้ถูกต้องแล้ว โดยใช้คำสั่งดังนี้

- ใช้คำสั่ง IN/OUT จากเมนูหลัก แล้วตามด้วยคำสั่ง On The Fly, Add Con, และ Select

ตามลำดับ แล้วทำการลากเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ตามที่ต้องการ

- ตั้งชื่อเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ที่ต่อกับกราวด์ว่า GND โดยใช้คำสั่ง IN/OUT, On The Fly

และ Ren Net ตามลำดับ

#### 3.3.4 ทำการ Route เส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ โดยใช้คำสั่งดังนี้

- เลือกคำสั่ง Route จากเมนูหลัก แล้วตามด้วยคำสั่ง Route Conn แล้วทำการ Route เส้น

เชื่อมระหว่างอุปกรณ์ ยกเว้นเส้นที่ต่อกับกราวด์ แก้ไขการ Route ด้วยคำสั่ง Unroute ก่อนการ Route ใหม่

#### 3.3.5 ทำกราวด์เพลน โดยใช้คำสั่งดังนี้

- ใช้คำสั่ง Create จากเมนูหลัก แล้วตามด้วยคำสั่ง Copper Pour และ New Poly ตาม

ลำดับเพื่อสร้างกรอบของบริเวณที่จะทำกราวด์เพลน

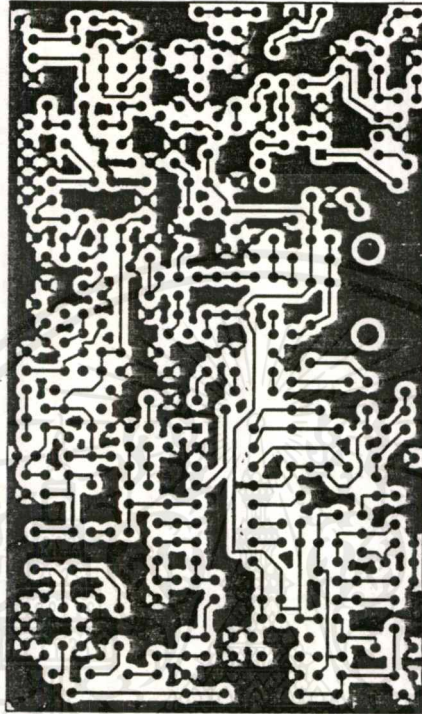
- ใช้คำสั่ง Create, Copper Pour, Modify และ Net Name ตามลำดับ จากนั้นตั้งชื่อ Net-

Name นั้นว่า GND

- ใช้คำสั่ง Create, Copper Pour, Flood และ Flood All ตามลำดับ จะได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มี

กราวด์เพลนที่สมบูรณ์

เมื่อทำตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นก็จะได้แผ่นวงจรพิมพ์ของวิทยุรับ-ส่งมือถือดังรูปที่ 3.3.1



รูปที่ 3.3.1 แผ่นวงจรมพิมพ์ที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม PADS-PCB

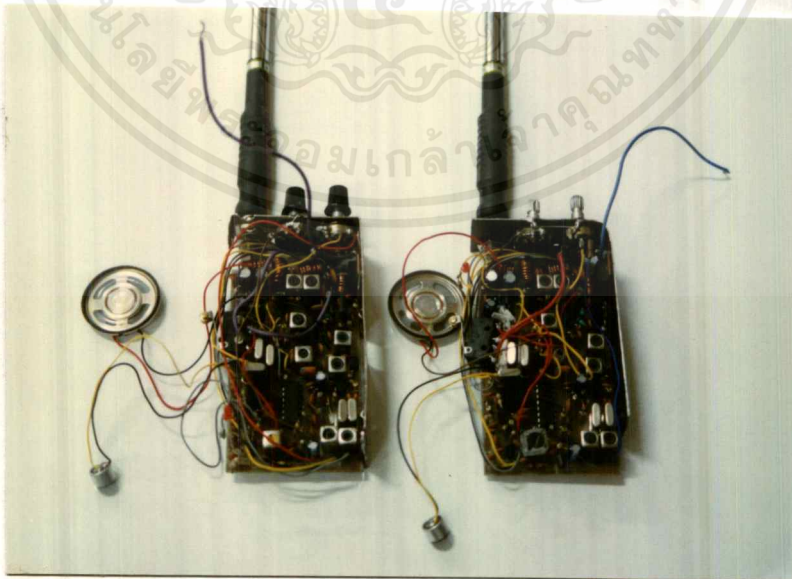
## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

ในโครงการนี้คณะผู้จัดทำโครงการได้สร้างวงจรวิทยุโรป-ส่งรวมกันบนแผ่นวงจรพิมพ์แผ่นเดียวกัน ซึ่งได้ออกแบบให้มีขนาดเล็ก สามารถใช้เป็นมือถือได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม PADS-PCB และภาพอุปกรณ์ภายในของวิทยุรับ-ส่งมือถือที่ต่อเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4.2 วิทยุรับ-ส่งมือถือ 1 คู่

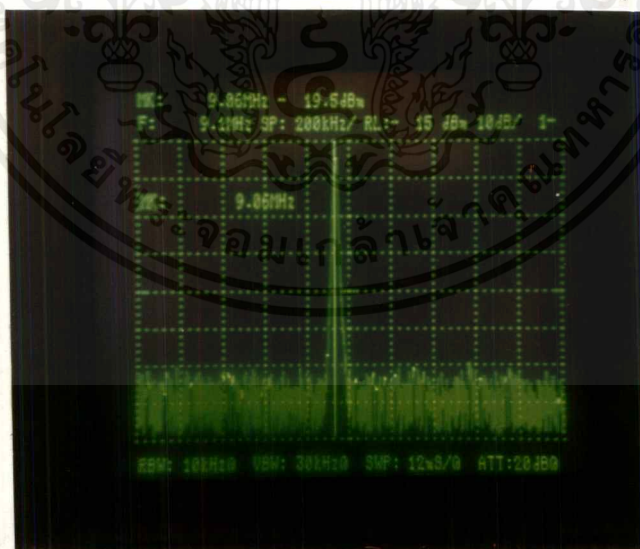
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการทดลองและได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 กรณีของภาคเครื่องส่ง เริ่มต้นโดยการทดลองพุดผ่านคอนเดนเซอร์ไมค์ สัญญาณนี้จะไปทำให้สัญญาณคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณซึ่งเป็นการมอดูเลตทางความถี่ ( FM ) โดยใช้วาแรกเตอร์ไดโอด สัญญาณที่ชั่วคาโอดของไดโอดมีสเปกตรัมเป็นดังรูป 4.1.1



(ก) กรณีช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิร์ตซ์ )

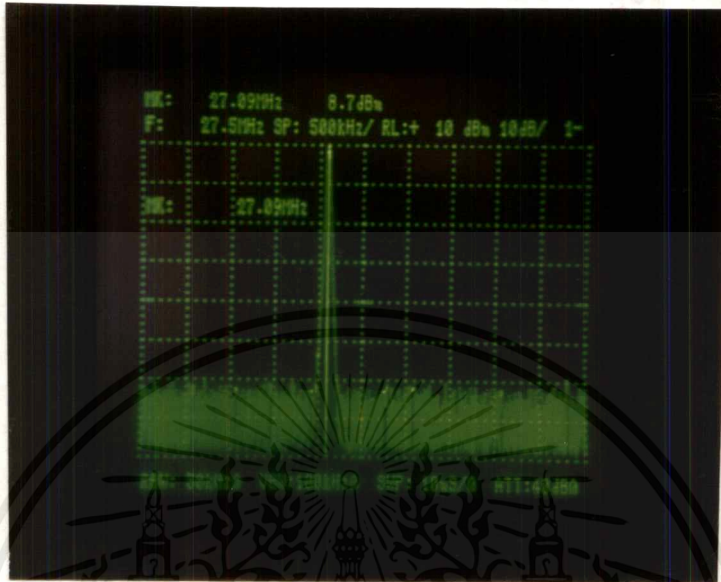


(ข) กรณีช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ )

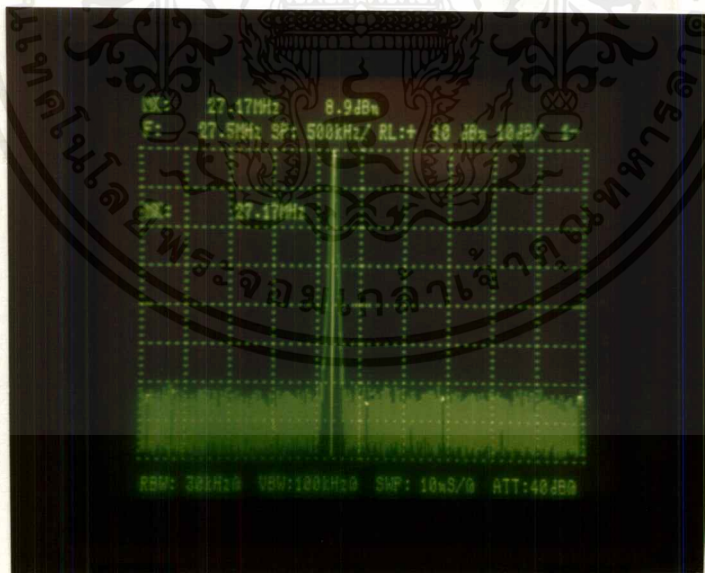
รูปที่ 4.1.1 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณพาหะพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณจากการมอดูเลตที่ได้นี้มีการคูณความถี่ขึ้นไปสามเท่า จากนั้นได้ทดลองวัดสัญญาณทางเอาท์พุทที่ส่งออกจะมีสเปกตรัมดังรูปที่ 4.1.2 วัดเอาต์พุตได้  $20 V_{rms}$  หรือกำลังส่ง 8 วัตต์



(ก) กรณีส่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิรตซ์ )

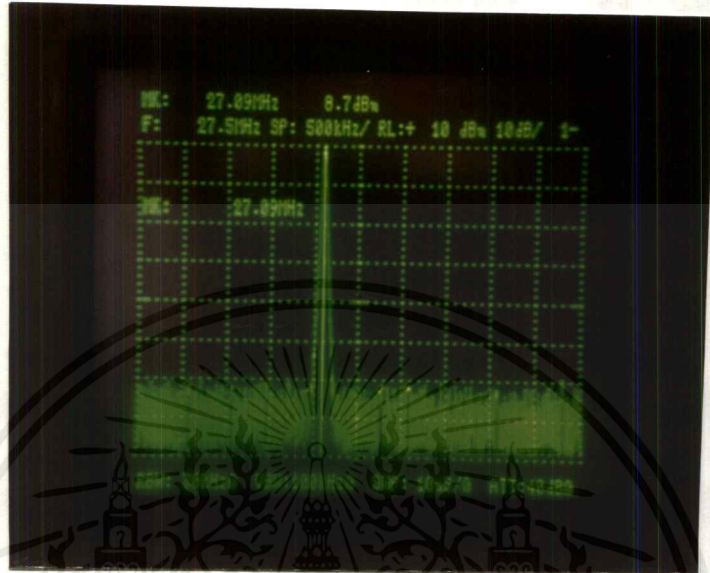


(ข) กรณีส่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิรตซ์ )

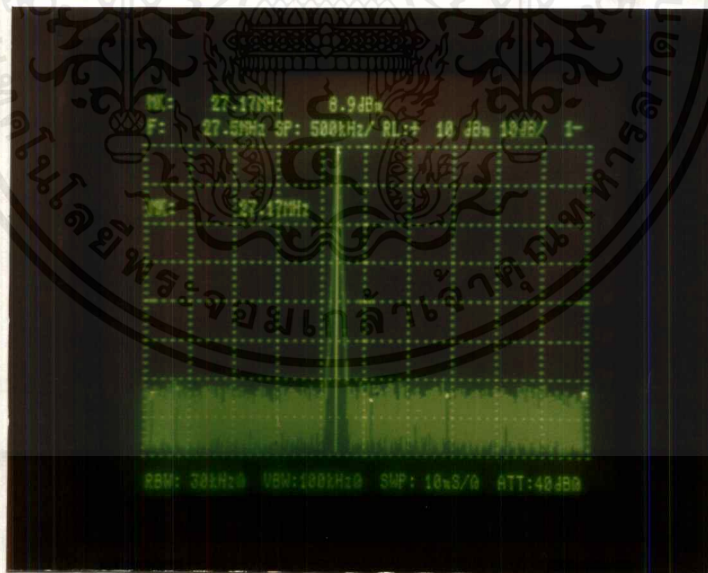
รูปที่ 4.1.2 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณวิทยุที่ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กรณีของภาคเครื่องรับ เริ่มต้นโดยการทดลองรับสัญญาณจากเครื่องส่ง และวัดสัญญาณที่เข้ามา ยังอินพุตของวงจรกรองความถี่จะได้ ดังรูปที่ 4.2.1 สัญญาณนี้จะถูกส่งผ่านไปยังมิกเซอร์ชุดที่ 1 เพื่อผสม สัญญาณกับสัญญาณโลคอลอสซิลเลเตอร์ชุดที่ 1 ที่มีสเปกตรัมดังรูปที่ 4.2.2

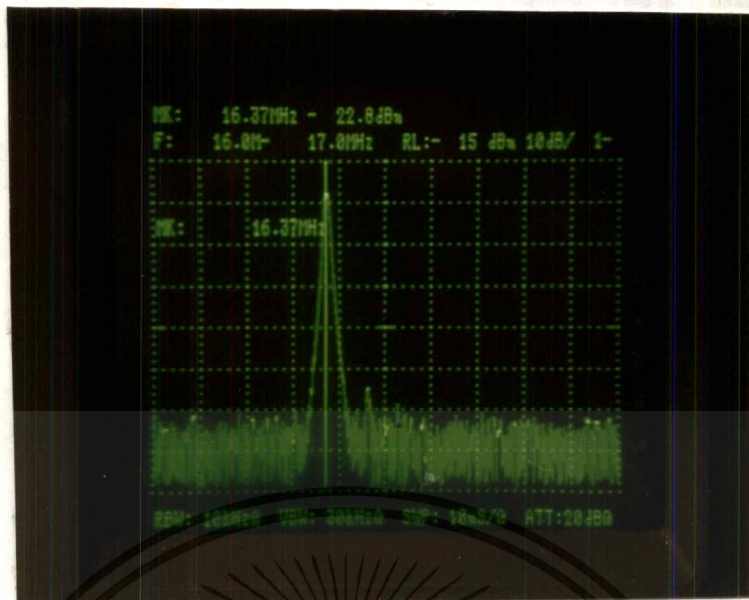


(ก) กรณีช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิรตซ์ )

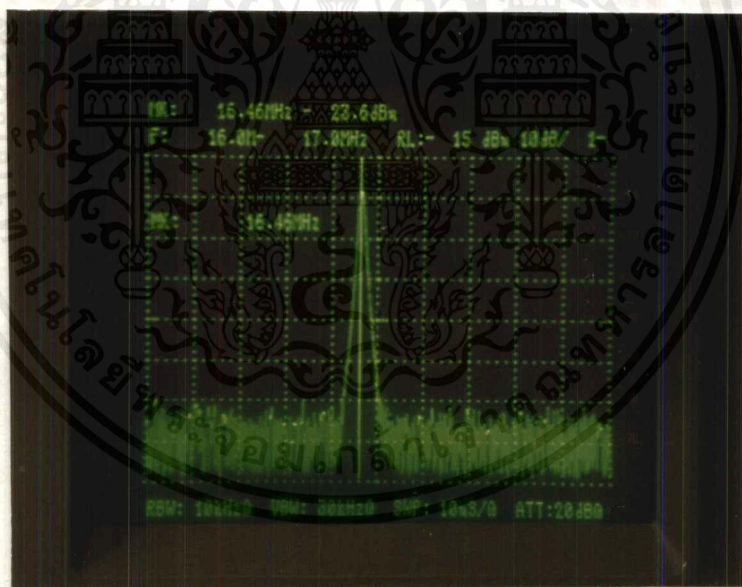


(ข) กรณีช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิรตซ์ )

รูปที่ 4.2.1 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณวิทยุที่รับได้



(ก) กรณีสช่องที่ 1 ( 27.035 เมกะเฮิรตซ์ )

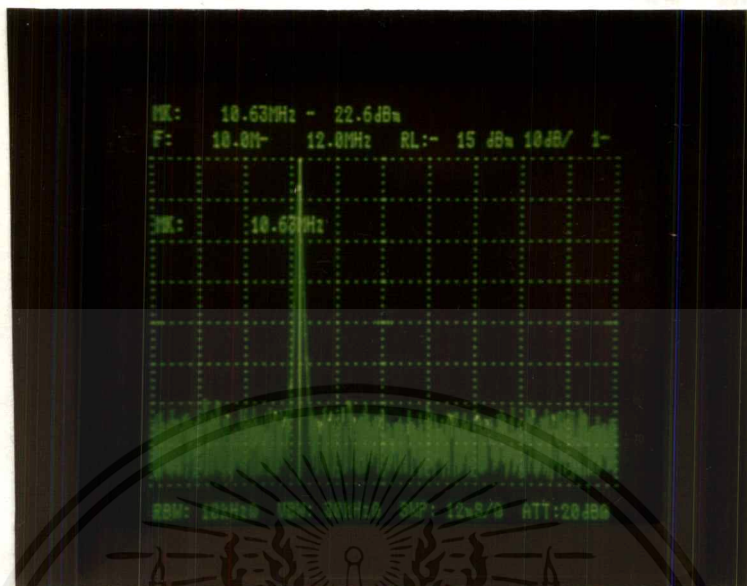


(ข) กรณีสช่องที่ 2 ( 27.125 เมกะเฮิรตซ์ )

รูปที่ 4.2.2 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโลคอลออกซิลเลเตอร์ชุดที่1

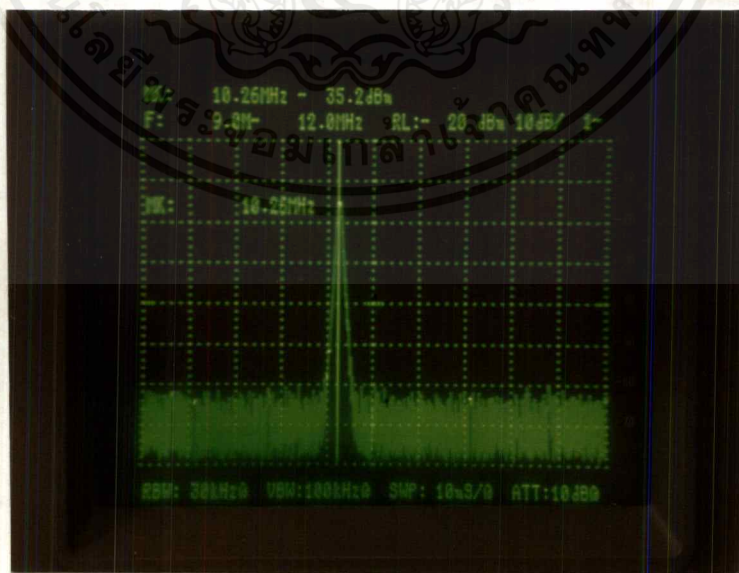
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ผ่านมิกเซอร์ชุดที่ 1 จะเป็นสัญญาณไอเอฟค่าแรกประมาณ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ และมีสเปกตรัมดังรูปที่ 4.2.3



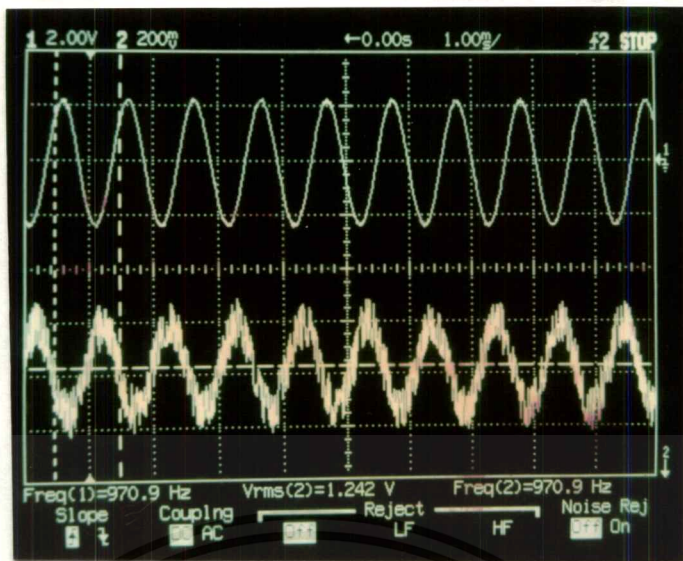
รูปที่ 4.2.3 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณไอเอฟค่าแรก

สัญญาณ 10.7 เมกะเฮิร์ตซ์ จะเข้าไปยังมิกเซอร์ชุดที่ 2 เพื่อผสมกับสัญญาณโลคอลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 2 ที่มีสเปกตรัมดังรูปที่ 4.2.4 จะได้สัญญาณไอเอฟค่าที่ 2 ประมาณ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ออกมา และเมื่อวัดสัญญาณเสียงที่ผ่านดีเทกเตอร์โดยใช้ลำโพง 8 โอห์ม 0.25 วัตต์ ปรากฏว่าจะได้สัญญาณเสียงที่ชัดเจนดี จากการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ดีเทคได้เทียบกับสัญญาณอินพุต 970.9 เฮิร์ตซ์ จะได้ผลดังรูปที่ 4.2.5



รูปที่ 4.2.4 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณโลคอลออสซิลเลเตอร์ชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.5 เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตที่ตีเทคได้กับสัญญาณอินพุต 970.9 เฮิรตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการทดลองและปฏิบัติงานของผู้จัดทำโครงการตลอดปีการศึกษา 2539 ได้มีการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดเล็กจนเป็นมือถือได้โดยใช้โปรแกรม PADS-PCB ในการออกแบบ ซึ่งต้องใช้วิธีการ Route ด้วยมือจึงค่อนข้างยาก ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการรั่ว (leak) ของสัญญาณบ้างแต่ก็ไม่มากนัก สาเหตุเพราะอุปกรณ์ต้องอยู่ติดกันมาก ดังนั้นการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงต้องออกแบบให้เหมาะสม ในส่วนของภาคเครื่องส่งสามารถส่งได้ดีมากทั้ง 2 ช่องสัญญาณ และในส่วนของภาคเครื่องรับก็สามารถรับได้ดีพอสมควร แต่จะมีปัญหาอยู่บ้างก็คือมีความไวในการรับสัญญาณ (sensitivity) ไม่ดีนัก ทำให้ระยะทางการส่งได้ไม่ไกลมาก จากการวัดได้ระยะทางประมาณ  $150 \pm 50$  เมตร

ปัญหาอีกประการหนึ่งคือในการทดลองรับ-ส่งสัญญาณนั้นในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ เช่น มีการใช้อุปกรณ์จำพวกมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์อื่น ๆ จะทำให้ระยะทางที่ส่งได้สั้นลงมาก ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อทดลองในตอนกลางคืนจะได้ระยะทางไกลกว่าตอนกลางวันเนื่องจากช่วงตอนกลางวันมีสัญญาณรบกวนมากกว่าตอนกลางคืน วิธีการแก้ไขคือเพิ่มความไวในการรับสัญญาณและซีเลกติวิตี (selectivity) ของเครื่องรับให้ดีขึ้น ส่วนเรื่องของการทดลอง และเครื่องมือวัดก็มีส่วนสำคัญมากในการวัดสัญญาณที่ละเอียดมาก ๆ จึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกันด้วย

สิ่งที่อยากจะฝากสำหรับผู้สนใจจะพัฒนาโครงการนี้ต่อไป คือ

1. ในการทำกราวด์เพลน เนื่องจากวิทยุรับ-ส่งความถี่สูง ระบบกราวด์เพลนของวงจรต้องดีพอสมควร โดยการออกแบบลายวงจรจะต้องทำกราวด์เพลนด้วย
2. การวางอุปกรณ์ในวงจรความถี่สูง จะมีอิทธิพลต่อระดับสัญญาณ และสัญญาณรบกวนมาก เช่น การวางขดลวดตัวนำควรวางในแนวที่ฟลักซ์แม่เหล็กไม่รบกวนกัน เป็นต้น
3. ก่อนการทดลองจะต้องตรวจสอบอุปกรณ์และวัดไฟเลี้ยงให้ถูกต้องเสียก่อน เพราะเมื่อมีการจ่ายไฟไม่ถูกต้องจะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ และถ้ามีการสะท้อนกลับของความถี่สูงเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม เช่น อุปกรณ์เสีย ไม่ต่อสายอากาศ หรือสายอากาศเสีย จะมีผลทำให้อุปกรณ์ขยายกำลังและอุปกรณ์อื่น ๆ เสียหายได้

นอกเหนือจากสิ่งเหล่านี้ก็คือ การศึกษาทฤษฎีการทำงานของวงจรเครื่องรับ-ส่งวิทยุให้เข้าใจเป็นอย่างดีก่อนการทำงานจะช่วยให้การพัฒนาระบบวิทยุรับ-ส่งง่ายขึ้น

## บทที่ 6

### บทแทรก

#### การใช้งานโปรแกรม PADS-PCB

##### 6.1 ลักษณะของเมนู PADS-PCB

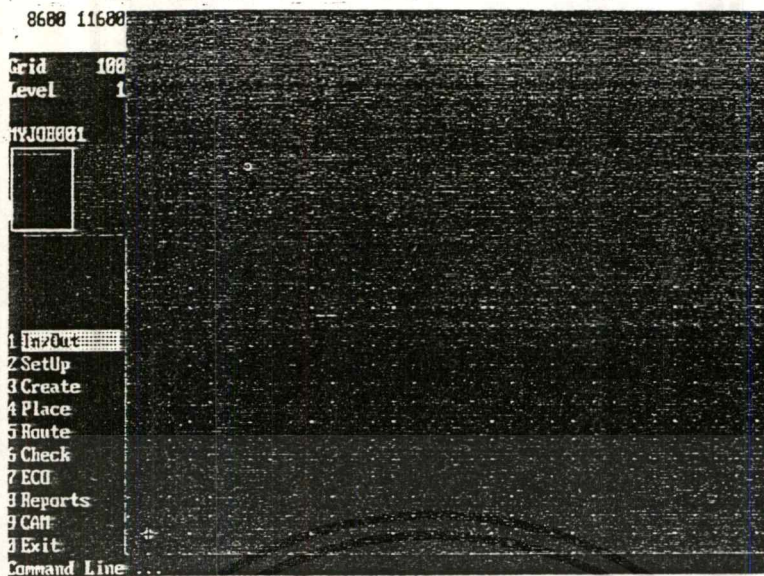
โปรแกรม PADS-PCB มีการใช้งานลักษณะเป็นวินโดว์หรือที่เรียกว่า GUI (Graphic Uses Interface) หลังจากทำการติดตั้งเสร็จจะเริ่มทำงานต้องเข้าไปใน PADS DEMO ก่อนแล้วจึงเรียก PCB เป็นการเรียกโปรแกรมการทำงาน

```
C:>CD\PADSDEMO <CR>
```

```
C:>PADSDEMO>PCB <CR>
```

เมื่อเข้าไปในโปรแกรมแล้วบนจอภาพจะถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

- 1) Working Area : เป็นพื้นที่ทำงานซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจอภาพอยู่ทางด้านขวา
- 2) System Information : พื้นที่บนจอด้านซ้ายแสดงข้อมูลสำคัญ แบ่งเป็นส่วน ๆ เรียงตามลำดับจากบนลงมาดังต่อไปนี้
  - ตำแหน่งเคอร์เซอร์ พิกัด X และ Y เทียบกับพิกัด ( 0,0 ) ที่กำหนด
  - Job Name ชื่อของแบบที่ทำงาน
  - Grid XXX ขนาดตาราง/กริด ที่กำหนดบนจอมีหน่วยเป็น 0.001 นิ้ว
  - Level N เลเยอร์ที่ใช้งานขณะนั้นของแบบ
  - Width ความกว้างขณะนั้นของเส้นในแบบ
  - "Postage Stamp" ตำแหน่งของพื้นที่ทำงานเปรียบเทียบกับแผ่นวงจรพิมพ์
  - Menu Path แสดงรายการคำสั่งตามลำดับเมนูที่เรียกใช้
- 3) Command Menu : ตัวเลขหน้าคำสั่งแสดงถึงฟังก์ชันคีย์เรียงจาก 1 ถึง 0 โดยที่ "1" หมายถึง F1 และ "0" หมายถึง F10 และทางขวามือของตัวเลขแสดงถึงคำสั่งที่ต้องการ
- 4) Prompt Line : ตำแหน่งบรรทัดสุดท้ายบนจอจะแสดงคำสั่งและข้อความโต้ตอบระหว่างโปรแกรมและผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 6.1.1



รูปที่ 6.1.1 จอภาพ GUI ของ PADS-PCB

## 6.2 การเปลี่ยนตารางพิกัด ( Grid ) และเลเยอร์ ( Layer )

ตารางพิกัด กำหนดหน่วยมาตรฐานเป็นมิลหรือ 0.001 นิ้ว ใช้ในการวางอุปกรณ์ลงบนพื้นทำงาน เช่น ถ้ากริดเป็น 100 สั่งโดยกด G100 <CR> หมายความว่า การเลื่อนเคอร์เซอร์เมาส์แต่ละครั้งจะเคลื่อนไปครั้งละ 0.001 นิ้ว หรือผลคูณของ 100 นิ้ว ดังนั้นการวางอุปกรณ์แต่ละชิ้นจะห่างกันในหน่วยของ 0.001 นิ้ว ( หน่วยของตารางพิกัดอาจกำหนดเป็นมาตราเมตริก (มม.) ได้จากเมนู Set Up และ <CR> หมายถึง กด Enter คีย์ )

การทำงานของวงจรมีเลเยอร์ต่าง ๆ เปลี่ยนได้โดยคำสั่ง "L" ตามด้วยตัวเลข 1 ถึง 30 และ <CR> ตัวเลขเหล่านั้นแสดงถึงชั้นของแผ่นงานที่ทำงาน แต่สำหรับ PADS-PCB Evaluation Package ยอมให้ออกแบบได้เพียง 2 เลเยอร์เท่านั้น

## 6.3 การจัดเมนูและการเลือกคำสั่ง

ในเมนูหลักประกอบด้วย เมนูย่อย 9 เมนู คือ

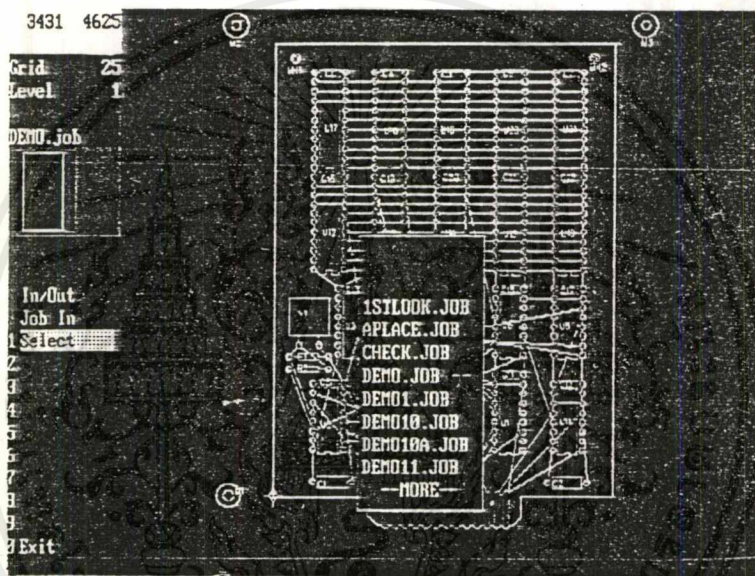
In/Out, Setup, Create, Place, Route, Check, ECO, Reports และ CAM ถ้าเลือกเมนูใหญ่อันหนึ่ง หน้าต่างในเมนูคำสั่งก็จะเปลี่ยนลงไปเมนูย่อยถัดลงไปตามลำดับ

การเลือกคำสั่งจากเมนูต่าง ๆ ทำได้ 2 วิธีคือ การใช้ฟังก์ชันคีย์ F1 ถึง F10 หรือโดยใช้เมาส์ โดยเลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่คำสั่งและกดปุ่มซ้าย การกำหนดหมายเลขคำสั่งให้เรียงตามหมายเลขของฟังก์ชันคีย์และ F10 จะเป็นคำสั่งออกจากเมนู Exit เสมอ

## 6.4 การโหลดไฟล์ PCB Design

ไฟล์แผ่นวงจรพิมพ์หรือ Job ต่าง ๆ เก็บไว้โดยไฟล์สร้างด้วย Job โหลดมาทำงานจากฮาร์ดดิสก์ลงหน่วยความจำ

- 1) เลือกเมนูหลัก In/Out (F1) บนจอจะปรากฏเมนูย่อยในหน้าต่างของ Command Menu
- 2) เลือก Job In (F1) ที่บรรทัดคำสั่ง ( Prompt Line ) พิมพ์  
\* <CR>
- 3) บนจอจะปรากฏรายการไฟล์ในไดเรกทอรีที่เป็น Job files ให้เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่ DEMO และกดปุ่มซ้ายของเมาส์เพื่อเลือกในคู่มือนี้จะใช้ไฟล์ DEMOJOB สำหรับแสดงการทำงานทั่วไปของโปรแกรม PADS-PCB



รูปที่ 6.4.1 แสดงการโหลดด้วยคำสั่ง Job In

## 6.5 การเก็บงานลงบนดิสก์

- 1) เลือก In/Out (F1) จากเมนูหลัก
- 2) เลือก Job Out (F2) จากเมนูย่อย และต้องใส่ชื่อไฟล์ต่อท้ายข้อความ  
Job Output file name <CR = PCB.job>
- 3) พิมพ์ชื่อไฟล์ ตามด้วย <CR> ถ้าไฟล์ชื่อซ้ำกับไฟล์ในดิสก์โปรแกรมจะให้ใส่ชื่อใหม่ มิฉะนั้นไฟล์ใหม่จะถูกเก็บทับไฟล์เดิมโดยไฟล์เดิมจะหายไป

## 6.6 การสร้างโครงของบอร์ด ( Board Outline )

เริ่มด้วยการลบข้อมูลเดิมในหน่วยความจำเพื่อเตรียมใส่ข้อมูลใหม่

- จากเมนูหลัก เลือก In/Out (F1)

- เลือก Erase Job (F9)

- จะปรากฏข้อความ :

!! Make Sure You Saved Job to Disk ! OK to Erase Job Y/(N)?

ให้ตอบ Yes (F1)

จากนั้นหน่วยความจำของเครื่องและพื้นที่ทำงานก็จะว่างพร้อมที่จะรับงานใหม่ ขั้นตอนต่อไปจะกำหนดจุดเริ่มต้นของระบบเพื่อสร้างโครงตามแบบของเครื่องกล เมื่อมีโครงแล้วชิ้นส่วนต่าง ๆ จุดต่อ-รอยต่อจะถูกเรียกเข้ามาในฐานะข้อมูลที่จะใช้งานต่อไป

การกำหนดจุด ( Origin ) ทำดังนี้

- จากเมนูหลัก เลือก Setup (F2)

- เลื่อนไปที่พิกัด  $x = 4000$  และ  $y = 4000$  โดยพิมพ์ : S 4000 4000 <CR> ที่บรรทัดคำสั่ง

- เมื่อเลือก Origin (F9) ระบบอ้างอิงจะย้ายไปอยู่ที่พิกัดจุดนี้

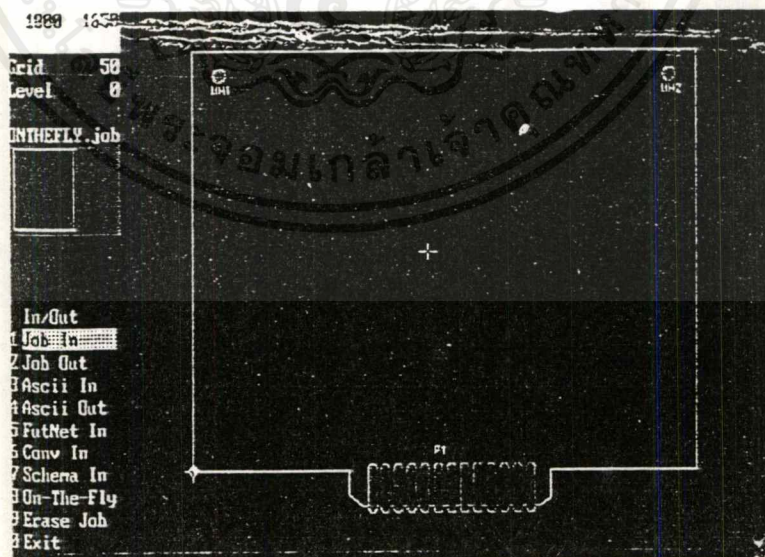
ในการสร้างโครงของบอร์ด เริ่มจากเมนูหลักโดย :

- กด Create (F3), Board (F2)

- เลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งมุมหนึ่งของบอร์ด อาจเป็นจุดกำเนิดหรือจุดอื่นที่เหมาะสมกับโครงของบอร์ดจริง ซึ่งการเลื่อนเคอร์เซอร์ อาจใช้เมาส์หรือใช้ mode less command - s ก็ได้เมื่อเคอร์เซอร์อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการจึงเลือก New Poly (F1) เพื่อที่จะเริ่มเขียนโครงบอร์ดแล้วจึงกด Add Crn (F1) เพื่อต่อเติมตำแหน่งมุมบอร์ดที่เหลือ

- ทดสอบคำสั่ง Add Corner (F1), Delete Corner (F2), Angle (F3), และ Complete (F9)

- เมื่อกำหนดมุมของบอร์ดเรียบร้อยแล้ว จึงจะกด Complete (F9) ดังแสดงในรูปที่ 6.6.1 แล้วกลับไปจุดเริ่มต้น



รูปที่ 6.6.1 แสดง Board Outline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดลองกด Modify (F5) เพื่อแก้ไขโครงบอร์ดถ้าต้องการ

หลังจากนี้กด numeric key > เพื่อปรับสเกลให้แสดงภาพของบอร์ดเต็มจอ

เลือก Exit (F10) และ Save (F9) ในการเริ่มออกแบบบอร์ดใหม่ยังสามารถใช้บอร์ดเดิมที่ได้ออกแบบไว้แล้วมาดัดแปลงได้โดยเลือก Add (F3)

## 6.7 การสร้างฐานข้อมูลของ PCB โดยไม่ใช้แผนผังวงจร

การเริ่มทำงานโดยไม่โหลดไฟล์ Netlist ทำได้โดยใช้คำสั่ง On The Fly

1) ให้โหลดงาน On The Fly จากดิสก์ ประกอบด้วยกรอบของบอร์ด และคอนเน็กเตอร์ที่สร้างขึ้นเป็นตัวอย่าง

*การเพิ่มอุปกรณ์ลงในแบบ*

*ตัวอย่างการเพิ่มเติมอุปกรณ์ เช่น การเพิ่มไอซี 7404*

2) เลือก On The Fly (F8) จาก In/Out menu, Add Part (F5) แล้วกด Keyboard I/O (F2)

3) เมื่อปรากฏข้อความที่บรรทัดคำสั่ง

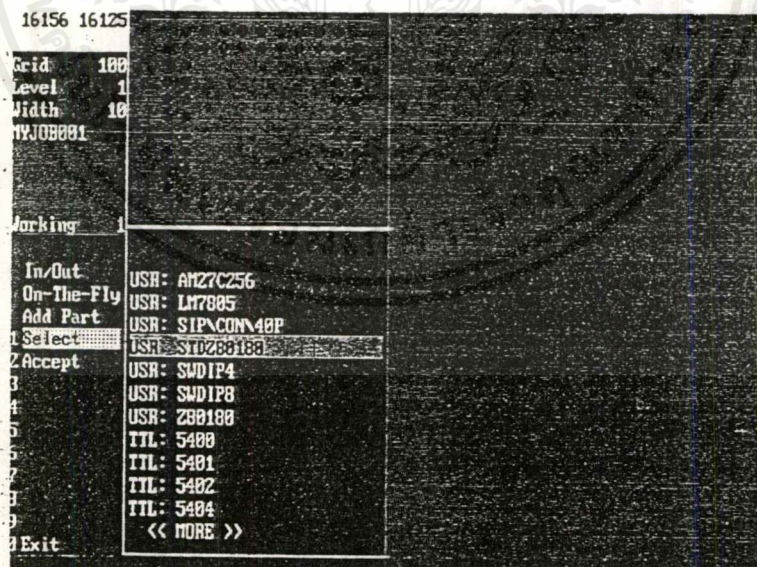
Name of part type for new part >

ให้พิมพ์

7404 <CR>

ที่เคอร์เซอร์ปรากฏสัญลักษณ์ของไอซี 14 ขา คือ U1, เบอร์ 7404 ซึ่งสามารถขยับตำแหน่งได้

เมื่อจัดตำแหน่งได้เหมาะสมแล้วจึงกด Complete (F1) ดังแสดงการเลือกอุปกรณ์ในรูปที่ 6.7.1



รูปที่ 6.7.1 แสดงการเรียกอุปกรณ์บนคำสั่ง On The Fly

4) จากนั้นจะเพิ่มความต้านทาน  $\frac{1}{4} W$  โดยทำตามขั้นตอนเดิม แต่จากบรรทัดข้อความที่ว่า :

Name of part type for new part >

ให้พิมพ์

R <CR>

ซึ่งจะปรากฏรายการอุปกรณ์ที่ขึ้นต้นด้วยอักษร R ให้เลือกได้โดยใช้เคอร์เซอร์ และเลือกโดยกด Select (F1) เพื่อดูสัญลักษณ์ความต้านทาน

5) ให้เลือก STD:R  $\frac{1}{4} W$  แล้วกด Select (F1), Accept (F2) วินโดว์แสดงรายการอุปกรณ์จะหายไป จะมีสัญลักษณ์ความต้านทานที่เคอร์เซอร์ ให้วางอุปกรณ์ในที่ที่ต้องการ แล้วกด Complete (F1)

6) การเพิ่มลายวงจร ( trace ) ใช้คำสั่ง Add Route (F9)

### 6.8 การวางอุปกรณ์ลงบอร์ด ( Placing Components )

ขั้นตอนต่อไปในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ ( CAD ) ของแผ่นวงจรคือ การวางอุปกรณ์บางส่วน ลากเส้นสายวงจร, วางอุปกรณ์เพิ่มเติม, ลากเส้นสายวงจรเพิ่มเติม ฯลฯ ทั้งนี้ในการออกแบบโดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ ผู้ออกแบบจะต้องใช้พื้นที่บอร์ดในการเดินสายวงจรอย่างระมัดระวัง เพื่อให้เหลือพื้นที่พอเกี่ยวกับอุปกรณ์ทั้งหมด โปรแกรมประเภท CAD เช่น PADS-PCB สามารถช่วยให้มองเห็นแนวทางเดินของสายวงจรระหว่างอุปกรณ์ ก่อนการลากเส้นสายวงจรจริง เพื่อการปรับแต่งได้โดยสะดวก

งานที่มีอุปกรณ์ทั้งแบบอะนาล็อกและแบบดิจิตอล และแสดงการวางอุปกรณ์ทั้งแบบที่ละคำสั่ง ( interactive ) และแบบใช้คำสั่งวางอัตโนมัติ ยังมีคำสั่งอื่น ๆ อีกมากมายที่จะใช้

การทำงานจะเริ่มจากบอร์ด ชื่อ Place ที่โหลดมาจากดิสก์ ในงานตัวอย่างนี้จะมีอุปกรณ์บางส่วนติด ( Glue ) อยู่กับบอร์ดอยู่แล้ว ซึ่งจะเปลี่ยนตำแหน่งได้ก็ต่อเมื่อใช้คำสั่ง " Unglue "

### 6.9 การวางอุปกรณ์หลายตัวพร้อมกัน

ทำได้โดยเลือกกลุ่ม Group ของอุปกรณ์, ลายวงจร, จุดต่อ ฯลฯ แล้วใช้คำสั่ง Move, Rotate, Delete, Mirror หรือ Copy สำหรับอุปกรณ์ในกลุ่มที่เลือกพร้อม ๆ กัน

### 6.10 การเดินลายวงจรแบบอัตโนมัติ ( Autorouting )

โปรแกรม PADS-PCB มีวิธีเดินลายวงจรแบบอัตโนมัติ ให้เลือก 3 วิธี คือ

PADS-Route

PADS-Power Router

PADS-Super Router

PADS-Super Router เหมาะสำหรับการออกแบบวงจรดิจิตอลยาก ๆ ชนิด through hole ( rip-up techniques )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PADS-Power Router เป็นวิธีเดินลายวงจรอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Shove and rip-up algorithms)

ส่วนในโปรแกรม PADS-PCB Share ware นี้ได้เสนอวิธีของ PADS-Route เพื่อแสดงการทำงานของโปรแกรมเดินลายวงจร 3 แบบด้วยกัน คือ

- fast routers สำหรับไอซีหน่วยความจำต่าง ๆ (ROM, RAM เป็นต้น)
- Power bussing สำหรับลายวงจรไปกำลังของบอร์ด
- general purpose router สำหรับเดินลายวงจรอื่น ๆ

### 6.11 การใช้งาน

หลังจากได้ทำการศึกษาคำสั่งในเมนูต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องแล้ว ขั้นตอนในการนำไปใช้งานก็คงไม่ยากนัก เช่นจะเริ่มด้วยการออกแบบลายวงจรพิมพ์ หรือจะทำการแปลงรูปร่างจรรยาเป็นแผ่นลายวงจรพิมพ์ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ สำหรับขั้นตอนในการออกแบบจะต้องทำการเรียกอุปกรณ์ที่ต้องการโดยใช้คำสั่ง On The Fly (F8) จาก In/Out เมนู และเลือก Add part (F5) แล้วกด Keyboard I/O (F2) แล้วจึงพิมพ์ชื่ออุปกรณ์ลงไป เมื่อเรียกอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยก็ทำการลากเส้น โดยใช้คำสั่ง Add Rout ซึ่งไม่ว่าจะออกแบบด้วยตัวเองหรือให้คอมพิวเตอร์ออกแบบให้ ก็ไม่ยากสำหรับการเรียนรู้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

MC3361

Advance Information

LOW POWER NARROWBAND FM IF

... includes Oscillator, Mixer, Limiting Amplifier, Quadrature Discriminator, Active Filter, Squelch, Scan Control, and Mute Switch. The MC3361 is designed for use in FM dual conversion communications equipment.

- Operates From 1.8 V to 7.0 V
- Low Drain Current 4.0 mA Typ @  $V_{CC} = 4.0$  Vdc
- Excellent Sensitivity: Input Limiting Voltage — -3.0 dB = 2.0  $\mu$ V Typ
- Low Number of External Parts Required

LOW POWER FM-IF

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUIT

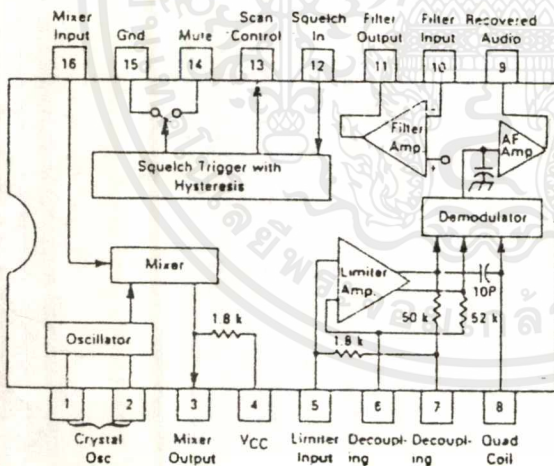


P SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 648-06

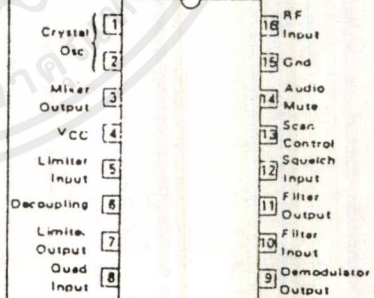


D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 7518-03 SO-16

FIGURE 1 — FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PIN CONNECTIONS



This document contains information on a new product. Specifications and information hereon are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

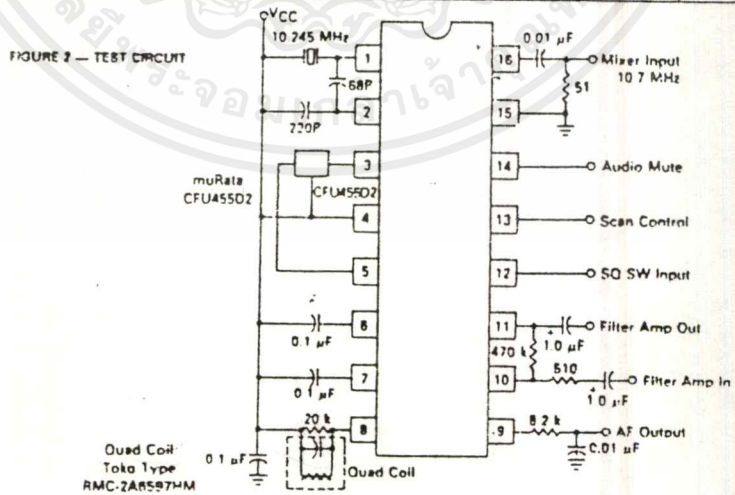
# MC3361

## MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted)

Rating	Pin	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	4	V <sub>CC(max)</sub>	8.0	Vdc
Operating Supply Voltage Range	4	V <sub>CC</sub>	1.8 to 7.0	Vdc
Detector Input Voltage	8	—	1.0	Vp-p
Input Voltage (V <sub>CC</sub> > 4.0 Volts)	16	V <sub>16</sub>	1.0	V <sub>RMS</sub>
Mute Function	14	V <sub>14</sub>	-0.5 to 5.0	V <sub>pk</sub>
Junction Temperature	—	T <sub>J</sub>	150	°C
Operating Ambient Temperature Range	—	T <sub>A</sub>	-30 to +70	°C
Storage Temperature Range	—	T <sub>stg</sub>	-65 to +150	°C

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 4.0 Vdc, f<sub>o</sub> = 10.7 MHz, Δf = ±3.0 kHz, f<sub>mod</sub> = 1.0 kHz, T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Pin	Min	Typ	Max	Unit
Drain Current Squelch Off Squelch On	4	— —	4.0 8.0	—	mA
Input Limiting Voltage (-3.0 dB Limiting)	16	—	2.0	—	μV
Detector Output Voltage	9	—	2.0	—	Vdc
Detector Output Impedance	—	—	400	—	Ω
Recovered Audio Output Voltage (V <sub>in</sub> = 10 mV)	9	100	150	—	mV <sub>rms</sub>
Filter Gain (10 kHz) (V <sub>in</sub> = 5.0 mV)	—	40	48	—	dB
Filter Output Voltage	11	—	1.5	—	Vdc
Trigger Hysteresis	—	—	50	—	mV
Mute Function Low	14	—	10	—	Ω
Mute Function High	14	—	10	—	MΩ
Scan Function Low (Mute Off) (V <sub>12</sub> = 2.0 Vdc)	13	—	—	0.5	Vdc
Scan Function High (Mute On) (V <sub>12</sub> = Gnd)	13	3.0	—	—	Vdc
Mixer Conversion Gain	3	—	24	—	dB
Mixer Input Resistance	16	—	3.3	—	kΩ
Mixer Input Capacitance	16	—	2.2	—	pF



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier

## General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value up to 200.

The inputs are ground referenced while the output is automatically biased to one half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

## Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range
- Low quiescent current drain

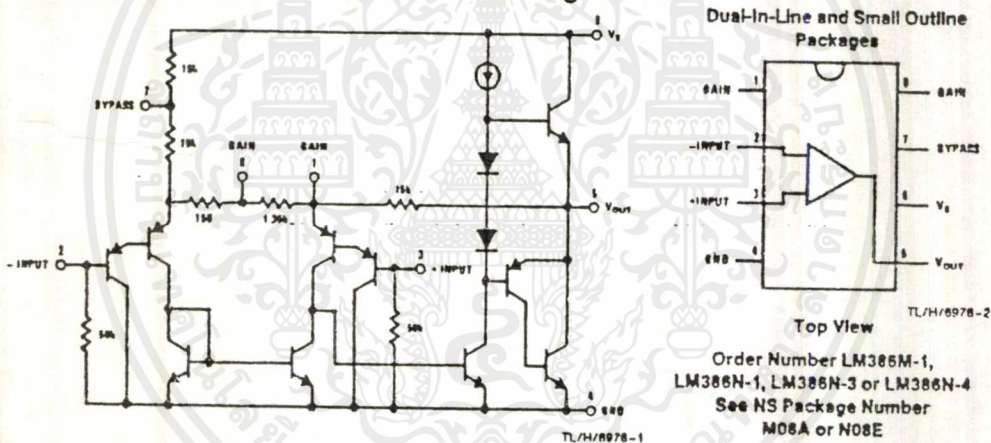
4V-12V or 5V-18V  
4 mA

- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion
- Eight pin dual-in-line package

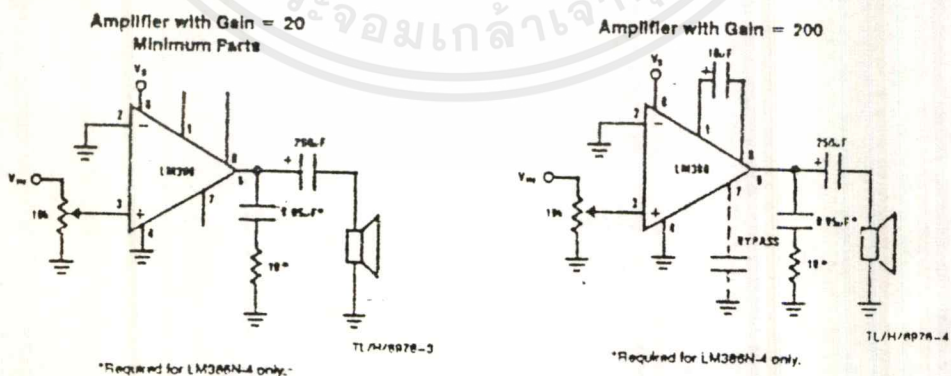
## Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

## Equivalent Schematic and Connection Diagrams



## Typical Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (LM386N-1, -3, LM386M-1)	15V
Supply Voltage (LM386N-4)	22V
Package Dissipation (Note 1) (LM386N)	1.25W
(LM386M)	0.73W
Input Voltage	$\pm 0.4V$
Storage Temperature	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Operating Temperature	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$

Junction Temperature	$+150^{\circ}C$
Soldering Information	
Dual-in-Line Package	
Soldering (10 sec)	$+260^{\circ}C$
Small Outline Package	
VaporPhase (80 sec)	$+215^{\circ}C$
Infrared (15 sec)	$+220^{\circ}C$

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

## Electrical Characteristics $T_A = 25^{\circ}C$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage ( $V_S$ )					
LM386N-1, -3, LM386M-1		4		12	V
LM386N-4		5		18	V
Quiescent Current ( $I_Q$ )	$V_S = 6V, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power ( $P_{OUT}$ )					
LM386N-1, LM386M-1	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	250	325		mW
LM386N-3	$V_S = 9V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	500	700		mW
LM386N-4	$V_S = 16V, R_L = 32\Omega, THD = 10\%$	700	1000		mW
Voltage Gain ( $A_v$ )	$V_S = 6V, f = 1kHz$ $10\mu F$ from Pin 1 to 8		26	46	dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6V, \text{Pins 1 and 8 Open}$		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_S = 6V, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125mW$ $f = 1kHz, \text{Pins 1 and 8 Open}$		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_S = 6V, f = 1kHz, C_{BYPASS} = 10\mu F$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance ( $R_{IN}$ )			50		k $\Omega$
Input Bias Current ( $I_{BIAS}$ )	$V_S = 6V, \text{Pins 2 and 3 Open}$		250		nA

Note 1: For operation in ambient temperatures above  $25^{\circ}C$ , the device must be derated based on a  $150^{\circ}C$  maximum junction temperature and 1) a thermal resistance of  $20^{\circ}C/W$  junction to ambient for the dual-in-line package and 2) a thermal resistance of  $170^{\circ}C/W$  for the small outline package.

## Application Hints

### GAIN CONTROL

To make the LM386 a more versatile amplifier, two pins (1 and 8) are provided for gain control. With pins 1 and 8 open the  $1.35k\Omega$  resistor sets the gain at 20 (26 dB). If a capacitor is put from pin 1 to 8, bypassing the  $1.35k\Omega$  resistor, the gain will go up to 200 (48 dB). If a resistor is placed in series with the capacitor, the gain can be set to any value from 20 to 200. Gain control can also be done by capacitively coupling a resistor (or FET) from pin 1 to ground.

Additional external components can be placed in parallel with the internal feedback resistors to tailor the gain and frequency response for individual applications. For example, we can compensate poor speaker bass response by frequency shaping the feedback path. This is done with a series RC from pin 1 to 5 (paralleling the internal  $15k\Omega$  resistor). For 6 dB effective bass boost:  $R = 15k\Omega$ , the lowest value for good stable operation is  $R = 10k\Omega$  if pin 5 is open. If pins 1 and 8 are bypassed then  $R$  as low as  $2k\Omega$  can be used. This restriction is because the amplifier is only compensated for closed-loop gains greater than 5.

### INPUT BIASING

The schematic shows that both inputs are biased to ground with a  $50k\Omega$  resistor. The base current of the input transistors is about 250 nA, so the inputs are at about 12.5 mV when left open. If the dc source resistance driving the LM386 is higher than  $250k\Omega$  it will contribute very little additional offset (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). If the dc source resistance is less than  $10k\Omega$ , then shorting the unused input to ground will keep the offset low (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). For dc source resistances between these values we can eliminate excess offset by putting a resistor from the unused input to ground, equal in value to the dc source resistance. Of course all offset problems are eliminated if the input is capacitively coupled.

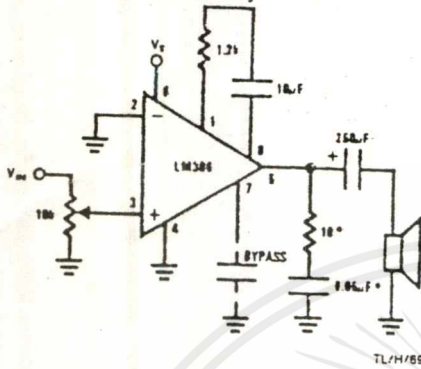
When using the LM386 with higher gains (bypassing the  $1.35k\Omega$  resistor between pins 1 and 8) it is necessary to bypass the unused input, preventing degradation of gain and possible instabilities. This is done with a  $0.1\mu F$  capacitor or a short to ground depending on the dc source resistance on the driven input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

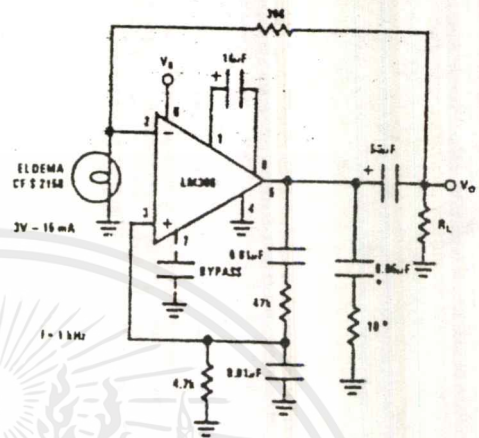
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

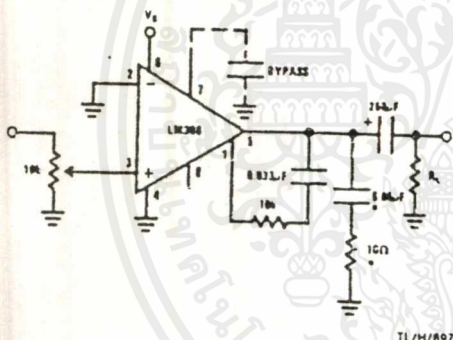
Amplifier with Gain = 50



Low Distortion Power Wienbridge Oscillator

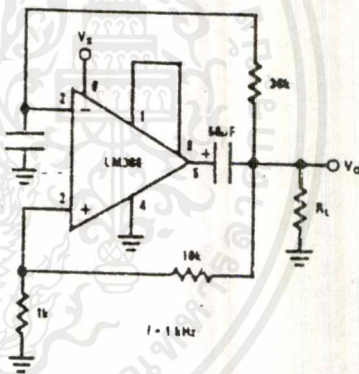


Amplifier with Bass Boost

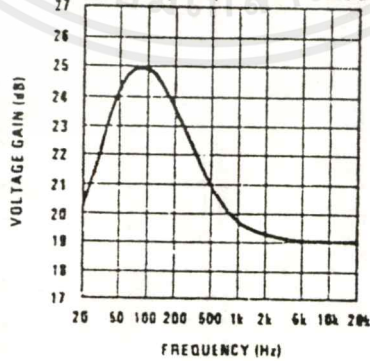


\*Required for LM386N-4 only.

Square Wave Oscillator

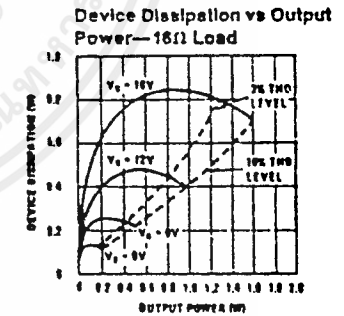
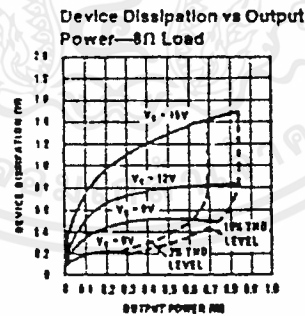
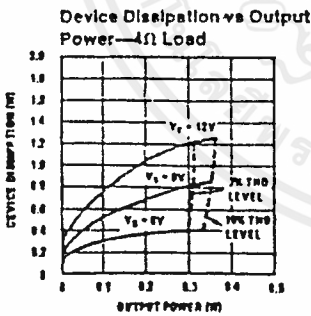
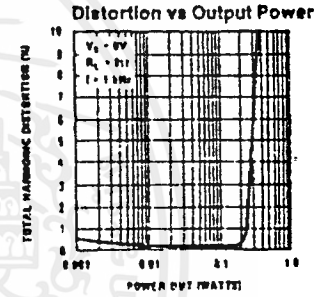
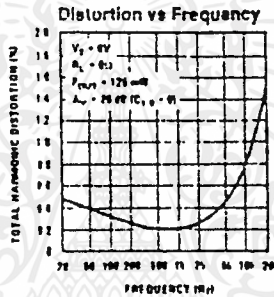
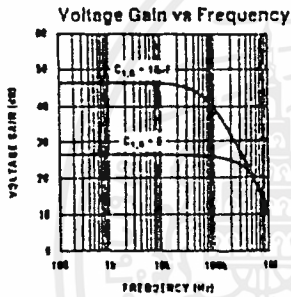
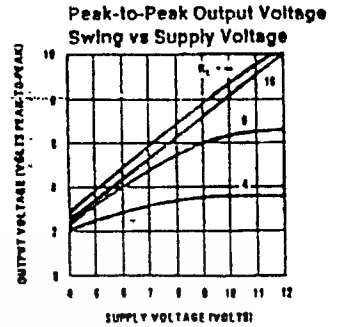
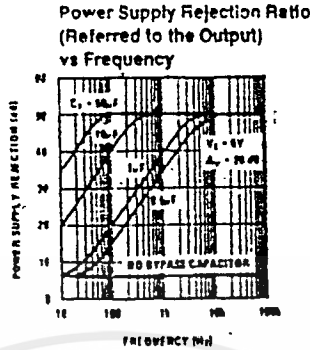
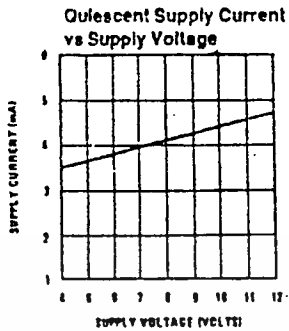


Frequency Response with Bass Boost



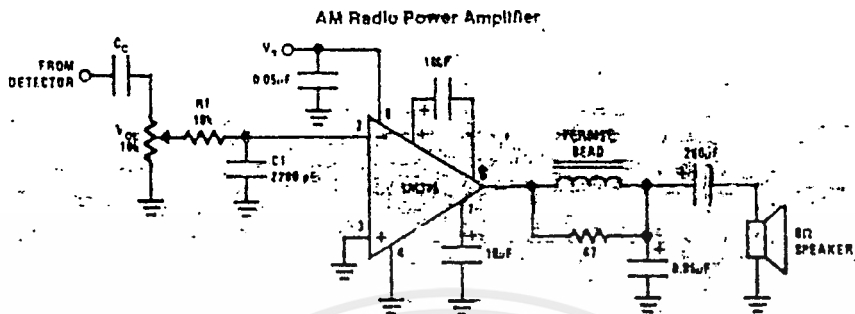
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)



Note 1: Twist supply lead and supply ground very tightly.

Note 2: Twist speaker lead and ground very tightly.

Note 3: Ferrite bead is Ferrocube K5-001-001/3B with 3 turns of wire.

Note 4: R1C1 hard limits input signals.

Note 5: All components must be spaced very close to IC.

TL/H/6676-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

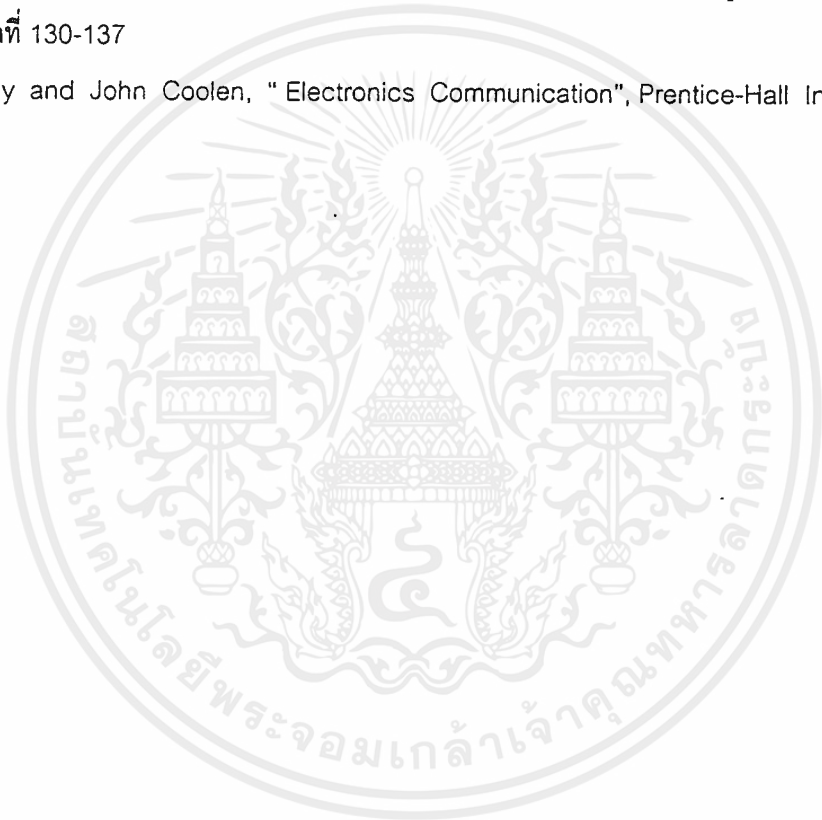
คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์วิภา แสงพิสิทธิ์ เป็นอย่างมากที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา ขอขอบพระคุณอาจารย์นิภา ลีลาธุจิ และอาจารย์ปราโมทย์ วาดเขียน ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณในการทำโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] สุชาติ กังวารจิตต์, "หลักการทํางานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร", พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
- [2] เฉลิมศักดิ์ เจียมจิรากร และ นคร แซ่เอ็ง, "เครื่องรับส่งวิทยุเอฟเอ็ม 49 เมกะเฮิร์ตซ์", ปรินูญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2534 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] ธวัชชัย ศรีประเสริฐ, "วิทยุรับ-ส่งมือถือ CB 27 Mhz.", เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ฉบับที่ 135 มกราคม 2537 หน้าที่ 39-51
- [4] "แนะนำซอฟต์แวร์ PADS-PCB", เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด ฉบับที่ 121 ตุลาคม 2535 หน้าที่ 130-137
- [5] Dennis Roddy and John Coolen, "Electronics Communication", Prentice-Hall Inc., 1984.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้