เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุ
ความถี่ 3.579 MHZ

โดย

นาย ชาญยุทธ รุจิวัฒนากร 33100086
ชั้นปีที่ 4

อาจารย์นิภา ลีลารุจิ
อาจารย์ที่ปรึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา project 2
ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2536
ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2536

เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุความถี่ 3.579 MHz

3.579 MHz Transmitter and Receiver

โดย

นาย ชาญยุทธ รุจิวัฒนากร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ นิภา ลีลารุจิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2536

ภาควิชาโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุความถี่ 3.579 MHz

3.579 MHz Transmitter and Receiver

ผู้จัดทำ

นาย ชาญยุทธ รุจิวัฒนากร 33100086 4A

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นิภา ลีลารุจิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุความถี่ 3.579 MHz

โดย

นายชาญยุทธ รุจิวัฒนากร

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.นิภา ลีลารุจิ

ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นโครงงาน การออกแบบระบบเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุความถี่ HF (High Frequency) ที่ 3.579 MHz ซึ่งย่านความถี่นี้ใช้ในการติดต่อสื่อสารระยะไกลและการเชื่อมโยงระหว่างจุดต่อจุด เนื่องจากความถี่ HF สามารถเดินทางได้ไกลกว่าย่าน VHF,UHF สำหรับวงจรที่ใช้ในเครื่องส่งและเครื่องรับของโครงงานสามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ หลายส่วน อาทิเช่น เครื่องส่งมีวงจรออสซิลเลต วงจรขยายสัญญาณ RF ส่วนเครื่องรับก็จะมีวงจรจูนความถี่ วงจรมิกซ์เซอร์ วงจรกรองความถี่ต่ำ เป็นต้น วงจรเครื่องส่งและรับควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล

3.579 MHz Transmitter and Receiver

Chanyut Rujiwattanakorn

Nipa Leelaruji :Advisor

1993

Abstract

This project is about desigining a 3.579 MHz transmitter and a same frequency receiver,this frequency is in High Frequency band which used for the point-to-point communication or radio transmitting between the long distance,because they can travel longer than VHF and UHF.The project will design both a transmitter and receiver.Circuits on the project can consider in each part,such transmitter composed from oscillator, radio frequency amplifier and receiver composed from tuner, mixer, etc,circuits use crystal to control frequency of oscillator.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อเรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
Amplitude Modulation	
บทที่ 3 เครื่องส่ง	8
3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์	
3.2 วงจรสวิตช์ไฟกระแสตรง	
3.3 วงจรขยายสัญญาณ RF	
3.4 วงจรขยายเสียง	
บทที่ 4 เครื่องรับ	15
4.1 วงจรจูนความถี่วิทยุ	
4.2 วงจรมิกซ์เซอร์	
4.3 วงจรออสซิลเลเตอร์	
4.4 วงจรกรองความถี่ต่ำ	
4.5 วงจรขยายเสียง	
บทที่ 5 การทดลองและสรุปผลการทดลอง	21
กิตติกรรมประกาศ	24
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

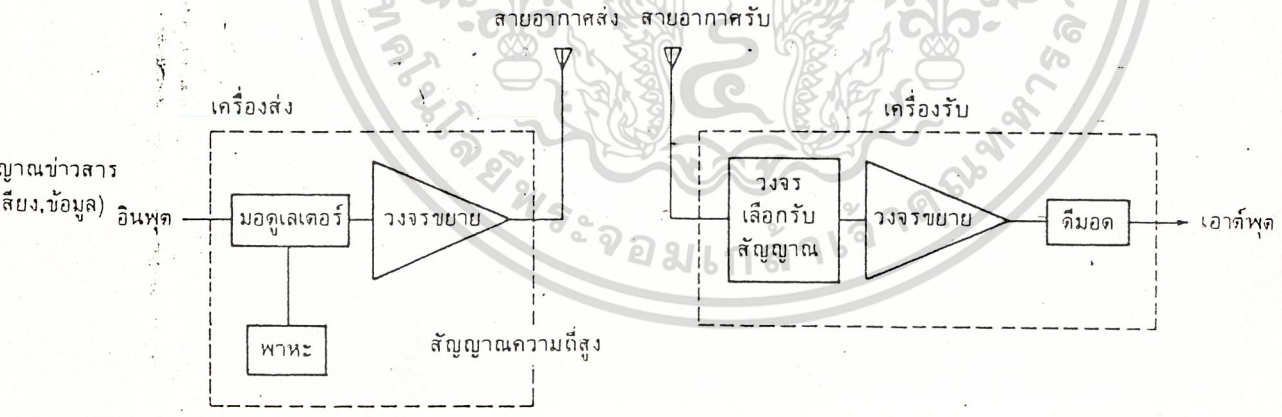
บทที่ 1
บทนำ

ในอดีต ระบบวิทยุสื่อสารจำกัดวงอยู่เฉพาะหน่วยงานของรัฐเพียงไม่กี่หน่วยงานเท่านั้น แต่ปัจจุบันได้มีการนำเครื่องมือสื่อสารต่างๆ มาใช้ประโยชน์มากขึ้น อีกทั้งประชาชนก็ได้รับอนุญาตให้มีและใช้เครื่องรับส่งวิทยุคมนาคมบางประเภทได้

ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารวิทยุ ช่วยให้เราติดต่อกันได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนเสียงพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายให้เป็นคลื่นเสียง(หรือ ออดิโอ) แล้วทำการเกาะผสมกับคลื่นพาหะ(คลื่นวิทยุ) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป

ระบบสื่อสารวิทยุ อาศัยหลักการส่งและรับโดยใช้สัญญาณความถี่สูงเป็นพาหะเพื่อให้สัญญาณเสียงพูดเกาะไป เมื่อส่งไปถึงเครื่องรับ พาหะที่มีสัญญาณเสียงพูดเกาะมาด้วยก็จะถูกแยกออกไปและกลับคืนตัวเป็นเสียงพูดตามเดิม

วิธีการแรกเรียกว่า *การมอดูเลต (modulation)* หมายถึง การที่สัญญาณเสียงพูดเข้าไปมอดูเลตบนคลื่นพาหะ วิธีการหลังเรียกว่า *การดีมอดูเลต (demodulation) เรียกสั้นๆ ว่าดีมอดหรือดีเทก (detect)* หมายถึง การแยกสัญญาณเสียงที่มอดูเลตบนคลื่นพาหะกลับคืนมาดังเดิม



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงภาคเครื่องส่งและเครื่องรับ*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบวิทยุโดยทั่วไปมักจะมีรูปแบบคล้ายคลึงกับรูปที่ 1.1 ในที่นี้เราแสดงไว้เฉพาะการติดต่อจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับเท่านั้น

ระบบวิทยุประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ *เครื่องส่ง เครื่องรับ สายอากาศ และสัญญาณข่าวสาร* (เช่น เสียงพูดจากไมโครโฟน) ถูกป้อนเข้าที่อินพุต ทำให้เกิดเอาท์พุตเป็นคลื่นที่ได้รับการมอดูเลตแล้วแผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งไปยังเครื่องรับ คลื่นที่รับได้จากสายอากาศรับจะถูกแปลงโดยเครื่องรับเพื่อให้สัญญาณข่าวสารกลับคืนออกมา (เช่น เป็นเสียงพูดออกทางลำโพง)

ที่เครื่องส่ง สัญญาณข่าวสารและสัญญาณพาหะความถี่สูง จะถูกส่งไปยังวงจรมอดูเลตซึ่งทำหน้าที่ มอดูเลตสัญญาณข่าวสารลงบนสัญญาณพาหะความถี่สูง สัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตแล้วจะต้องไปผ่านการขยายให้มีกำลังมากขึ้น แล้วจึงป้อนให้แก่สายอากาศส่งเพื่อให้สามารถส่งไปได้ไกลโดยที่เครื่องรับสามารถรับได้ชัดเจน คลื่นวิทยุจากเครื่องส่งนี้จะแผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งโดยมีทิศทางมุ่งไปยังเครื่องรับ

ที่เครื่องรับ คลื่นที่ส่งมาจะรับได้โดยสายอากาศรับ เครื่องรับจะเลือกรับเฉพาะคลื่นที่ต้องการเท่านั้น แล้วขยายให้คลื่นนั้นมีกำลังแรงขึ้นเพื่อป้อนให้วงจรดีมอดูเลต (หรือดีมอด) ทำหน้าที่แปลงคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลตกลับมากขึ้น เพื่อให้ได้สัญญาณข่าวสารที่ต้องการตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

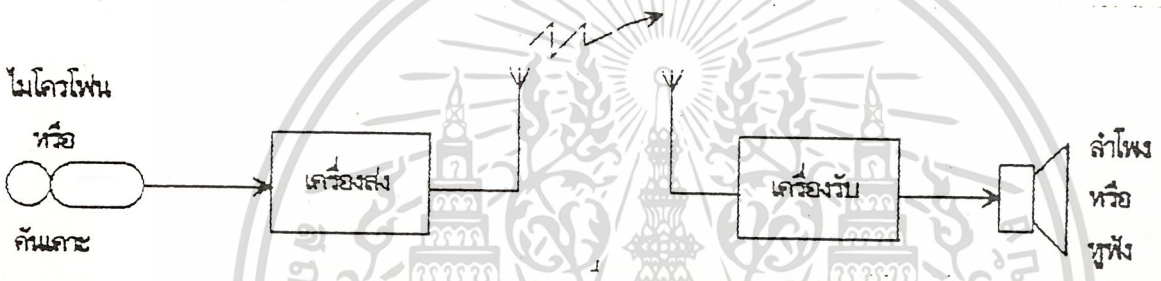
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

การสื่อสารด้านวิทยุนั้น มีความหมายครอบคลุมไปถึงการสื่อสารข้อมูลด้วย ซึ่งข้อมูลที่ส่งจะมีทั้งรูปแบบของเสียงพูดและรหัสข้อมูลต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภารกิจและความจำเป็นของงานนั้นๆ การสื่อสารที่ใช้ดาวเทียมเป็นสื่อกลางก็จัดอยู่ในระบบการสื่อสารด้านวิทยุด้วย ทั้งนี้เพราะว่าระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียมติดต่อกันโดยใช้คลื่นวิทยุเช่นเดียวกัน

2.1 หลักการรับส่ง

การส่งข่าวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยอาศัยคลื่นวิทยุนั้น ส่วนประกอบหลักที่จำเป็นต้องมีดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูป 2.1 block diagram ของเครื่องรับและเครื่องส่ง

การทำงานจะเป็นดังนี้

1. เครื่องส่ง ทำหน้าที่จ่ายกำลังงานความถี่วิทยุ ซึ่งจะเป็นตัวทำหน้าที่นำสัญญาณเสียงที่ต้องการป้อนเข้าสู่สายอากาศ
2. ไมโครโฟน ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงจากพลังงานเสียงไปอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า เพื่อที่จะเป็นสัญญาณที่นำไปผสมกับคลื่นวิทยุ หรือให้คลื่นวิทยุเป็นตัวพาไปในบรรยากาศ ถ้าเป็นคันเคาะก็จะทำหน้าที่ตัดให้คลื่นวิทยุที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศอยู่ในรูปเป็นช่วงๆ ซึ่งจะมีลักษณะช่วงสั้นบ้าง ยาวบ้างตามรหัสที่กำหนดไว้
3. สายอากาศส่ง ทำหน้าที่รับพลังงานคลื่นวิทยุแล้วแพร่กระจายออกสู่บรรยากาศ
4. สายอากาศรับ ทำหน้าที่รับคลื่นวิทยุจากเครื่องส่งแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องรับ
5. เครื่องรับ ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นความถี่วิทยุที่มีสัญญาณเสียงรวมมาด้วย ทำให้คลื่นสัญญาณทั้งสองแยกออกจากกันแล้วนำสัญญาณเสียงเท่านั้นป้อนเข้าสู่หูฟังหรือลำโพง
6. หูฟังหรือลำโพง จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเสียงในรูปคลื่นไฟฟ้าให้เป็นพลังงานคลื่นเสียงที่หูคนเราได้ยินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่วิทยุ

เนื่องจากวิทยุจะเริ่มแบ่งย่านความถี่ตั้งแต่ 3 kHz ถึง 300 GHz ซึ่งจัดเป็นย่านที่กว้างมาก ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดและแบ่งย่านความถี่การใช้งานแต่ละย่านความถี่ออกเป็นช่วงๆ ดังตารางข้างล่างต่อไปนี้

ชื่อของย่านความถี่	ช่วงของย่านความถี่
Very Low Frequency (VLF)	3kHz - 30kHz
Low Frequency (LF)	30kHz - 300kHz
High Frequency (HF)	300kHz - 3MHz
Very High Frequency (VHF)	3MHz - 30MHz
Ultra High Frequency (UHF)	30MHz - 300MHz
Super High Frequency (SHF)	300MHz - 3GHz
Extremely High Frequency (EHF)	30GHz - 300GHz

เนื่องจากความถี่ในแต่ละย่านจะมีคุณลักษณะแตกต่างกัน ฉนั้นการใช้งานในแต่ละย่านความถี่ จึงควรทราบคุณสมบัติพอประมาณตามตารางต่อไปนี้

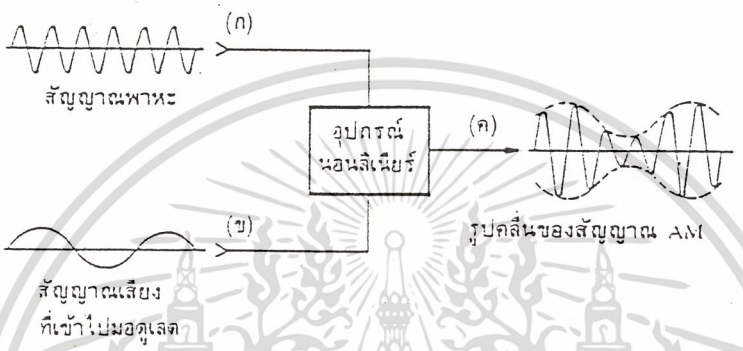
ย่านความถี่	ระยะที่ใช้		กำลังที่ต้องการใช้	ความยาวของสายอากาศ
	กลางวัน	กลางคืน		
LF	ไกล	ไกล	สูงมาก	ยาว
MF	ปานกลาง	ไกล	สูง, ปานกลาง	ยาว
HF (3-10MHz)	ใกล้	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
HF (10-30MHz)	ไกล	ใกล้	ต่ำ	สั้น
VHF	ใกล้	ใกล้	ต่ำ	สั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การมอดูเลทแบบ AM

การมอดูเลทแบบ AM นั้นเราจะใช้สัญญาณข่าวสาร (สัญญาณเสียง) มอดูเลทลงบนสัญญาณพาหะเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางแอมปลิจูดของพาหะ

ในรูปที่ 2.2 เราใช้สัญญาณพาหะ (ก) ผสมกับสัญญาณเสียง (ข) ลงในวงจรนอนลิเนียร์ (nonlinear) ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณ AM ดังรูปที่ 2.2(ค) ขึ้น จะสังเกตว่าสัญญาณพาหะซึ่งถูกมอดูเลทแล้วจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงที่ปนอยู่ในสัญญาณ AM จะปรากฏเป็นกรอบคลื่น (envelope) บนและล่าง



รูป 2.2 การมอดูเลททางแอมปลิจูดโดยใช้อุปกรณ์นอนลิเนียร์

เมื่อให้คลื่นพาหะรูปซายน์มีสมการดังนี้

$$e_c = E_{cmax}\sin(w_c t + \theta) \quad \text{----------(2.1)}$$

ส่วนคลื่นเสียงมีสมการดังนี้

$$e_m = E_{mmax}\sin(w_c t) \quad \text{----------(2.2)}$$

$$w_m = 2\pi f_m$$

เมื่อคลื่นพาหะถูกมอดูเลทด้วยคลื่นเสียง ขนาดของคลื่นพาหะ (E_{cmax}) จะเปลี่ยนขนาดไปตามคลื่นเสียง (e_m) และให้ $\theta = 0$ ดังนั้นสมการของคลื่นมอดูเลทคือ

$$e = (E_{cmax} + e_m)\sin(w_c t + \theta) \quad \text{----------(2.3)}$$

$$e_{env} = E_{cmax} + e_m$$

กำหนดให้ดัชนีการมอดูเลท เป็นค่า m ซึ่งเท่ากับ

$$m = E_{mmax} / E_{Cmax} \quad \text{----------(2.4))}$$

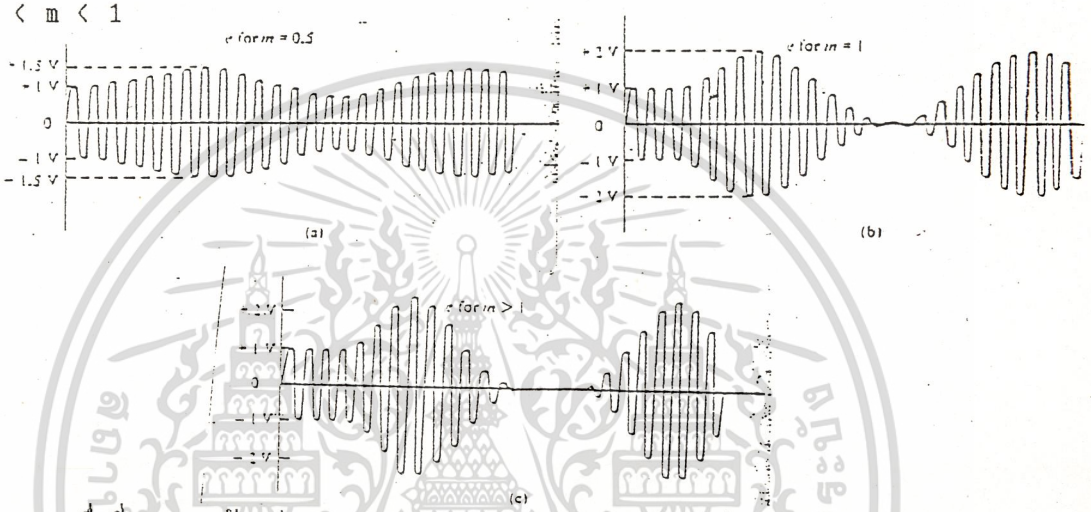
ถ้าสมมุติให้ขนาดของคลื่นพาหะ E_{cmax} มีค่าเท่ากับ 1 โวลท์จะได้สมการของ e ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = (1 + m\sin w_m t)\sin w_c t \qquad \text{----------(2.5)}$$

จากสมการ 2.5 สามารถวาดรูปคลื่นอย่างคร่าวๆได้ดังรูป 2.3 จะเห็นว่า m ที่มีค่ามากกว่า 1 จะทำให้พีคเอนเวลโลปเปลี่ยนแปลงมาก สัญญาณส่วนหนึ่งหายไปเกิดเป็น over modulation เมื่อเราทำการดีเทคสัญญาณกลับคืนสัญญาณที่ได้จะเพี้ยนไป

เมื่อ m มีค่าน้อยๆ เข้าใกล้ศูนย์ ขนาดของพีคเอนเวลโลปก็มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยและจะน้อยที่สุด เมื่อ $E_{cmax} = 0$ ดังนั้นจึงต้องจำกัดขอบเขตของค่า m ให้มีค่าอยู่ระหว่าง $0 < m < 1$



รูป 2.3 คลื่นที่มอดูเลทด้วยค่า ก) m=0.5 ข) m=0.1 ค) m>1 (over mod)

ดังนั้น $e = E_{cmax}\sin w_c t + mE_{cmax}\sin w_m t \sin w_c t$

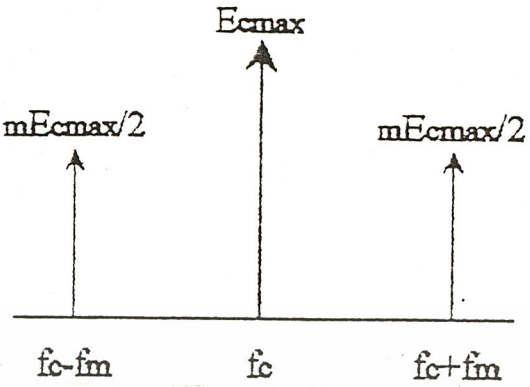
$$= E_{cmax}\sin w_c t + \frac{m}{2}E_{cmax}[\cos(w_c - w_m)t - \cos(w_c + w_m)t]$$

----------(2.6)

สมการที่ 2.6 พิจารณาได้เป็น 3 เทอม ดังนี้

สำหรับเทอมแรกทางซ้ายมือ $E_{cmax}\sin w_c t$ คือสมการของ e_c ซึ่งหมายถึงคลื่นพาหะ และสองเทอมถัดไปมีขนาด เท่ากันคือ $m/2\ E_{Cmax}$ ส่วนความถี่ต่างกันคือ $w_c - w_m$ เป็นด้านไซด์แบนด์ต่ำ(lower side band) และอีกความถี่คือ $w_c + w_m$ เป็นด้านไซด์แบนด์สูง(upper side band)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 แสดงสเปคตรัมของคลื่นในสมการ 2.6

ทั้งสองไซด์แบนด์ เป็นคลื่นผสมของคลื่นพาหะกับคลื่นเสียง โดยพิจารณาจากตัวคูณ m ทำให้ขนาดของไซด์แบนด์ทั้งสองไซด์แบนด์เปลี่ยนแปลงตามค่าของ m จึงเรียกว่า เอ-เอ็ม ดับเบิ้ลไซด์แบนด์รวมพาหะด้วย (AM DSB With carrier)

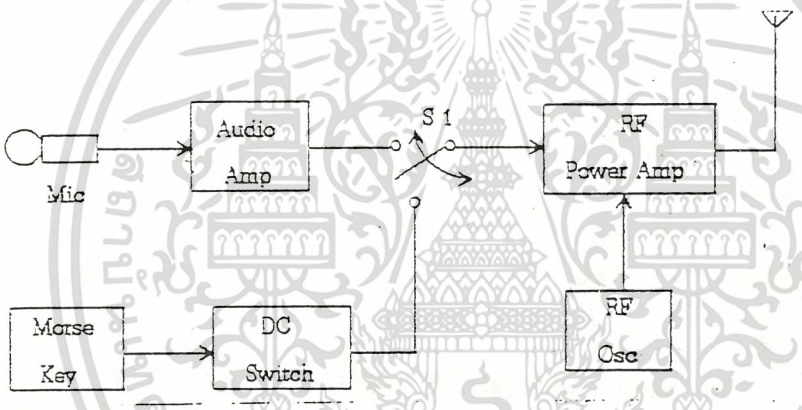
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เครื่องส่ง

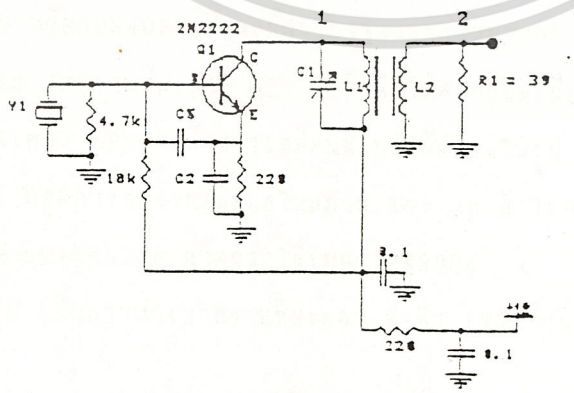
ในการส่งคลื่นวิทยุนั้น เราไม่สามารถที่จะส่งคลื่นความถี่เสียงไปในบรรยากาศได้โดยตรงเนื่องจากความไม่สะดวกในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะความยาวคลื่นที่มีค่ามากจะทำให้เสาอากาศต้องยาวมากๆ และที่ความถี่ต่ำๆ Electromagnetic wave ไม่สามารถที่จะแพร่กระจายไปได้ไกล ดังนั้นจึงคิดนำเอาคลื่นวิทยุไปเป็นตัวพาหะ เรียกว่า คลื่นความถี่พาห์ (RF-Carrier)

ดังนั้นการส่งที่ต้นทางจึงต้องนำไปฝากกับคลื่นวิทยุ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า **การมอดูเลชั่น** (modulation) การ Modulation หรือวงจร Modulator สำหรับ Block diagram ของเครื่องส่งนี้สามารถแสดงเป็นส่วนๆ ได้ดังรูปข้างล่าง



รูป 3.1 แสดง Block diagram ของเครื่องส่ง

3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์



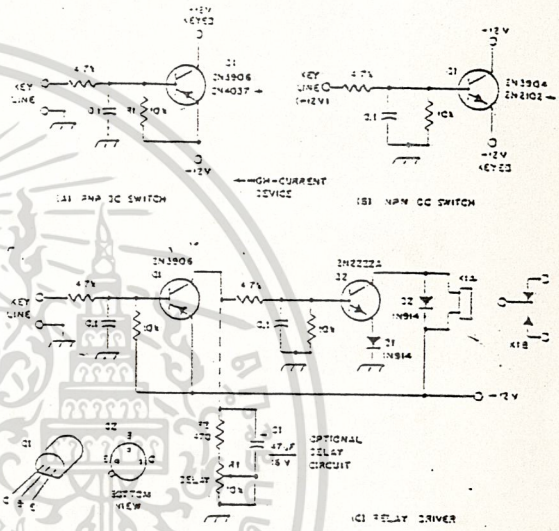
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.2 แสดงส่วนออสซิลเลเตอร์ของเครื่องส่ง

จากรูป เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ HARMONIC OSCILLATOR โดยใช้ผลึกแร่คริสตอล (X-TAL) เป็นตัวกำเนิดความถี่ 8.579 MHz ซึ่งออสซิลเลเตอร์แบบนี้จะผลิตความถี่ออกมาหลายความถี่ตั้งแต่ ความถี่พื้นฐาน (fundamental frequency) จนถึงความถี่ฮาร์โมนิกต่าง ๆ ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน แต่เราจะนำเอาความถี่ไหนไปใช้ก็ได้ โดยการสร้างตัวฟิลเตอร์กรองเอาความถี่ที่ต้องการไปใช้ จากรูป 3.2 ขดลวด L1 กับ C2 จะเป็นตัวจูนเอาเฉพาะความถี่พื้นฐานไปใช้ ส่วนความถี่ฮาร์โมนิกอื่นก็จะถูกฟิลเตอร์ตัวนี้กรองทิ้งไปแล้วจึง coupling สัญญาณผ่านไปยังขด L2

เมื่อใช้สโคปวัดที่จุดที่ 1 พร้อมกับปรับค่าของตัวเก็บประจุจนกว่าคลื่นรูปไซน์ที่วัดได้จะมีความถี่ใกล้เคียงกับที่ X-TAL ที่ผลิตออกมา

3.2 วงจร DC Switches



รูป 3.3 แสดงถึงวงจรของ DC Switches แบบต่างๆ

ทรานซิสเตอร์แบบ NPN หรือ PNP สามารถนำมาทำเป็น สวิทช์ไฟ DC ได้ โดยการทำให้อิ่มตัวด้วยการป้อนกระแส forward bias ให้แก่ทรานซิสเตอร์

จากรูป 3.3A แสดงถึง PNP low power switch ซึ่ง Q1 จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันในขณะที่สวิทช์เปิดหรือปิด สำหรับทรานซิสเตอร์ที่ใช้ได้ก็มีเบอร์ 2N4036 หรือ 2N4037 ซึ่งจะมีความจุของกระแสมากกว่า 2N3906 ตัว R1 จะให้ Reverse bias แก่ทรานซิสเตอร์ Q1 เพื่อตัดให้สวิทช์ปิดเมื่อ key line เปิด

ทรานซิสเตอร์ NPN จะมีวงจรเสมือนสวิทช์ได้แสดงในรูป 3.3B และ R1 ก็ถูกใช้เป็นตัวทำให้ Q1 หยุดการทำงานเมื่ออยู่ในสภาพ Key-up ถ้าใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2102 จะให้กระแส switching มากกว่าใช้เบอร์ 2N3904

รูป 3.3C เป็นการนำเอาทรานซิสเตอร์ 2 ตัว (NPN และPNP) มาทำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
033395

DC Switch ดังในรูป Q2 จะใช้เป็นตัว Relay driver และ K1 เป็น DC relay 12 โวลท์พร้อมกับตัวความต้านทานของ field-coil 2000 โอห์ม และ D1 ต้องสามารถทำให้ Q2 cutoff ในขณะที่ไม่มีการกด Key เนื่องจากกระแสที่รั่วจากสวิทชิ่งทรานซิสเตอร์อาจทำให้ตัว relay K1 ปิดลงได้หลังจากที่สวิทช์ปิดอยู่ จึงต้องใช้ไดโอด D1 มาแก้ไขปัญหานี้ สำหรับวงจร RC delay network ที่แสดงเป็นเส้นประ(R1,C1และR2) ค่าคงที่ของเวลาในการปล่อยของ relay สามารถเซ็ทได้ด้วยค่าของ R1 และ C1 R2 จะเป็นตัวที่ป้องกันการช็อตของขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1 ขณะที่ค่าของ R1 ต่ำสุด วงจรนี้มีประโยชน์สำหรับ CW ในการหน่วงเวลา และ Q2 ต้องสามารถทนต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวมันจาก K1ได้ D2 จะกำจัด spikes ซึ่งเกิดในขณะที่สนามไฟฟ้าของ K1 ยุบตัวลง

3.3 วงจร RF Power Amplifier

เมื่อพูดถึงแอมปลิฟายเออร์คลาส C เราทราบว่ารูปของกระแสคอลเลคเตอร์ที่ได้จะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ตลอดและไม่มีเป็นรูปครึ่งไซน์ ดังนั้นความผิดเพี้ยนมากนี้จะทำให้แอมปลิฟายเออร์คลาส C ไม่สามารถนำไปใช้ในงานออดิโอได้ แต่จะนำแอมปลิฟายเออร์นี้ไปใช้ที่ความถี่วิทยุ

วงจรแทงค์ที่อยู่ในวงจรคอลเลคเตอร์ของแอมปลิฟายเออร์แบบคลาส C ทำหน้าที่ สร้างสัญญาณอินพุทรูปไซน์และสัญญาณนี้ตกคร่อม R_L วงจรแทงค์สร้างสัญญาณรูปไซน์แต่ไม่สามารถสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมหรือคลื่นออดิโอที่ซับซ้อน ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

การทำงานของวงจรแทงค์ พัลซ์ของกระแสคอลเลคเตอร์ชาร์จตัวเก็บประจุ หลังจากพัลซ์ที่ตัวเก็บประจุดิสชาร์จจนถึงศูนย์ สนามไฟฟ้าจะลดลงไปยังขดลวดเหนี่ยวนำ จะเห็นได้ว่ากระแสในตอนนี้ไหลในทิศทางตรงข้าม และสนามรอบตัว L เหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ในตอนสุดท้ายสนามรอบตัวเหนี่ยวนำเริ่มลดลงและตัวเก็บประจุถูกชาร์จอีกครั้ง

การทำงานของวงจรแทงค์ เกิดจากการดิสชาร์จของตัวเก็บประจุไปยัง ตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งต่อมาดิสชาร์จไปยังตัวเก็บประจุ (เป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ) ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงาน ในขณะที่พลังงานเคลื่อนย้ายจากตัวหนึ่งไปอีกตัวหนึ่งจะทำให้เกิดคลื่นไซน์ การสูญเสียในวงจร (ความต้านทาน) จะทำให้เกิดคลื่นไซน์ลดลงเรียกว่า damped sine wave โดยการพัลซ์วงจรแทงค์ทุก ๆ รอบ ทำให้เกิดคลื่นไซน์เกิดขึ้นคงที่ ซึ่งในแอมปลิฟายเออร์แบบคลาส C วงจรแทงค์จะถูกชาร์จโดยพัลซ์ของกระแสคอลเลคเตอร์ทุกๆ รอบ ซึ่งทำให้เอาท์พุทรูปไซน์มีแอมปลิจูดคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเหนี่ยวนำ(inductance) และความจุไฟฟ้านั้นมีความสำคัญต่อวงจรแทงค์ในแอมปลิฟายเออร์แบบคลาส C โดยที่ค่านี้ต้องรีโซแนนซ์กันที่ความถี่ของสัญญาณอินพุท สมการของรีโซแนนซ์คือ

$$f_r = \frac{1}{2*\pi\sqrt{LC}}$$

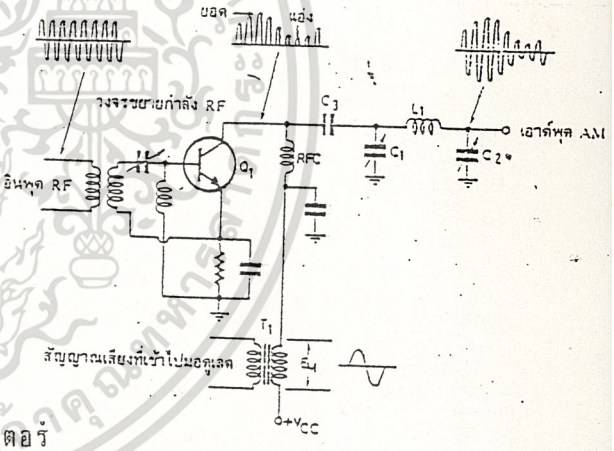
ถ้าวงจรแทงค์มีความจุไฟฟ้า 100 pF และความเหนี่ยวนำ 1μH ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์คือ

$$f_r = \frac{1}{6.8\sqrt{1*10^{-6}*100*10^{-12}}}$$

$$f_r = 15.9*10^{6}\ \text{Hz}$$

ความถี่เรโซแนนซ์คือ 15.9 MHz

วิธีการมอดูเลทที่นิยมมากที่สุดก็คือ มอดูเลทที่คอลเลกเตอร์ (ในกรณีใช้ทรานซิสเตอร์ แต่ถ้าใช้วงจรหลอดสุญญากาศ ก็นิยมมอดูเลทที่เพลต) โดยการป้อนสัญญาณเข้ามอดูเลททางขาคอลเลกเตอร์ซึ่งต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.4 วงจรคอลเลกเตอร์มอดูเลเตอร์

ในรูปที่ 3.4 เป็นวงจรขยาย RF คลาส C สังเกตว่าสัญญาณเสียงที่มามอดูเลทถูกป้อนเข้าที่หม้อแปลง T_1 ถ้าไม่มีสัญญาณเข้ามามอดูเลท แรงดันที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลง T_1 จะเป็นศูนย์ ดังนั้น V_{cc} จะปรากฏที่คอลเลกเตอร์ของ Q_1 เมื่อมีสัญญาณเข้ามามอดูเลท แรงดัน E_m จะเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิของ T_1 ทำให้แรงดันที่คอลเลกเตอร์เป็น V_{cc} รวมกับ E_m เมื่อแรงดันทั้งสองมีเฟสเสริมกัน คอลเลกเตอร์จะมีแรงดันสูงขึ้น ทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ไหลมากขึ้น เอาท์พุทจะมีแอมปลิจูดโตขึ้นปรากฏเป็นยอด (peak) ของกรอบคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(envelope) และเมื่อ E_m กับ V_{cc} มีเฟสตรงกันข้าม ผลลัพธ์จะหักล้างกันทำให้แรงดันคอลเลกเตอร์มีค่าลดลง กระแสคอลเลกเตอร์จึงลดลงด้วย เอาท์พุทก็จะมีแอมปลิจูดเล็กลงปรากฏเป็นแอ่ง (trough) ของกรอบคลื่น

เนื่องจาก Q_1 ทำงานในคลาส C เฉพาะกระแส RF (ลักษณะคล้ายกระแสพัลส์) ที่เป็นบวกเท่านั้น ซึ่งปรากฏที่เอาท์พุท วิธีการที่จะผลิตคลื่น AM ก็คือต้องป้อนไปยังวงจรเรโซแนนซ์ (แทงค์) ซึ่งประกอบด้วย C_1, C_2 และ L_1 วงจรนี้ต่อในลักษณะรูปพาย (π)

ที่วงจรแทงค์ เอาท์พุทจากวงจรคอลเลกเตอร์ Q_1 ปรากฏที่ RFC (Radio Frequency choke) และต่อผ่าน C_3 เข้าวงจรแทงค์เมื่อเราจัดวงจรแทงค์เสียใหม่เป็น C_1 และ C_2 ต่อขนานกับ L_1 อยู่เห็นเป็นวงจรแทงค์ได้ชัดเจน การปรับจูน C_1 กับ C_2 จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงได้ สังเกตว่า อินพุทต่อเข้าที่ C_1 และเอาท์พุทต่อออกจาก C_2 การปรับค่า C_1 กับ C_2 เป็นการปรับแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจร Q_1 กับโหลดไปในตัวด้วย

ฉะนั้นวงจรแทงค์ทำหน้าที่เป็นทั้งวงจรฟิลเตอร์ชนิดความถี่ต่ำผ่านหรือโลพาสฟิลเตอร์(LPF) เพื่อกรองฮาร์โมนิกทิ้งไป เป็นวงจรเรโซแนนซ์ (แทงค์) และเป็นวงจรแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างเอาท์พุทของทรานซิสเตอร์กับโหลดอิมพีแดนซ์มาตรฐานในงาน RF คือ 50 โอห์มด้วย

อุปสรรคของวงจรคอลเลกเตอร์มอดูเลเตอร์ (มอดูเลทที่คอลเลกเตอร์) ก็คือ ไม่สามารถมอดูเลทให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์เต็มที่ เพราะทรานซิสเตอร์อิ่มตัวเสียก่อนที่สัญญาณ AM จะขึ้นไปถึงยอดและในช่วงแอ่งของกรอบคลื่น สัญญาณ RF สามารถหลุดลอดผ่านความจุระหว่างรอยต่อ (junction) เบส-คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ได้ ทำให้เอาท์พุท AM ไม่เป็นศูนย์ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการมอดูเลททั้งในวงจรขับและวงจรสุดท้ายพร้อมกัน นั่นคือใช้วงจรขยายเสียงแบบพุชพูล (push pull) ซึ่งจะต้องใช้กำลังอย่างน้อยครึ่งของกำลังพาหะในการมอดูเลท ดังนั้นวงจรขยายเสียงต้องใช้กำลังมาก จึงจำเป็นต้องใช้วงจรพุชพูลซึ่งมีประสิทธิภาพกว่าวงจรขยายคลาส A การมอดูเลทที่วงจรขับจะต้องเร่งแรงขับขึ้นอีก เพื่อให้มอดูเลท 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงแอ่งการขับจะต้องลดลงอีกเพื่อป้องกัน RF หลุดผ่านออกมา

หลังจากนั้นก็ต่อภาคขยายความถี่วิทยุนี้เข้ากับสายอากาศโดยผ่านสาย coaxial 50 โอห์ม ไปยังสายอากาศไดโพล (dipole)

$$\text{ความยาวคลื่น} = \frac{\text{ความเร็วแสง}}{\text{ความถี่}}$$

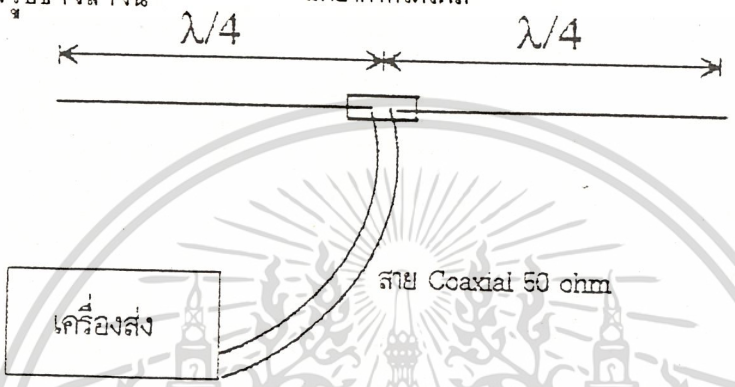
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{3*10^{8}}{3.579*10^{6}}$$

= 83.82 เมตร

ความยาวของเสาอากาศ = 83.82 เมตร

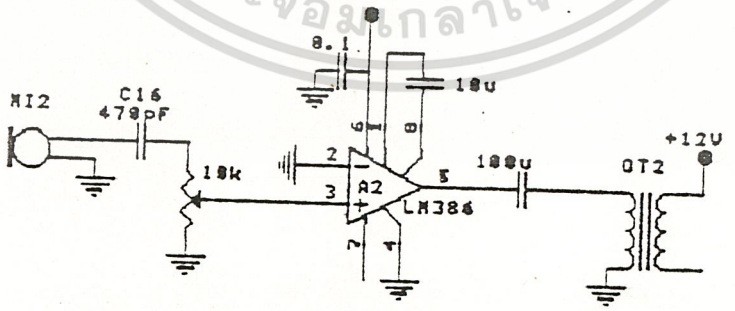
ดังนั้นเสาอากาศไดโพลจะยาวข้างละ 19.56 เมตร โดยจะใช้แบบ Unbalanced คือ ไม่มีการต่อวงจรที่ทำกระแสในเสาอากาศไดโพลแต่ละข้างสมดุลย์กัน จะมีการต่อเสาอากาศดังรูปข้างล่างนี้



รูป 3.5 แสดงการต่อเครื่องส่งกับเสาอากาศไดโพล

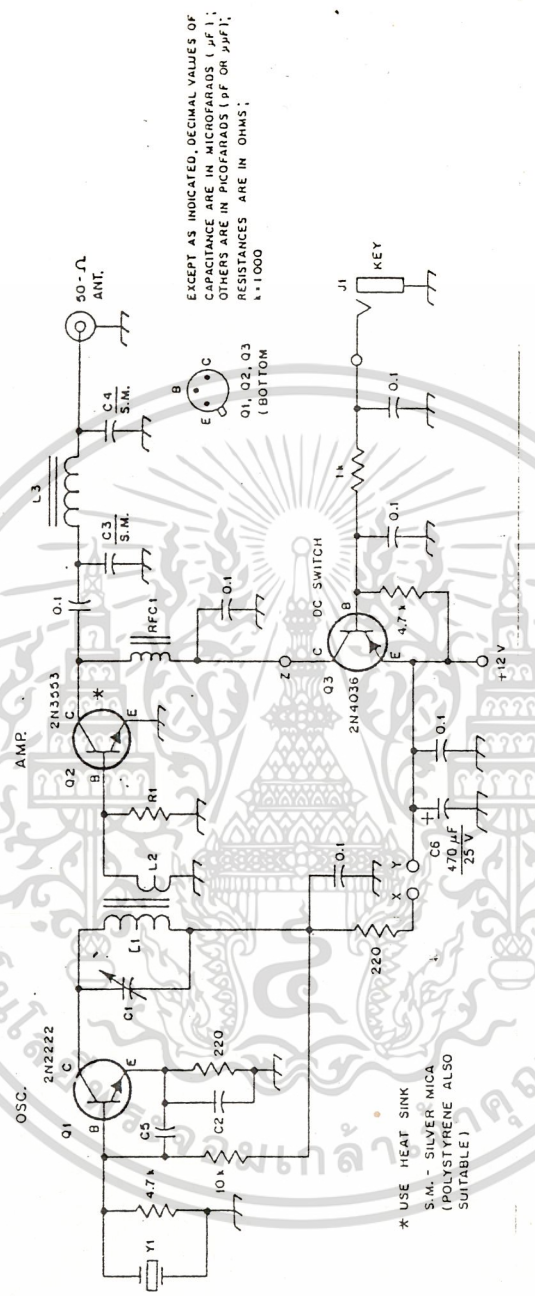
3.4 วงจรขยายเสียง

สำหรับภาคขยายเสียงก็จะต่อกับคอนเดนเซอร์ไมค์ ซึ่งจะใช้ IC เบอร์ LM386 มาเป็นแอมปริฟายเออร์ในการขยายเสียง เนื่องจาก IC เบอร์นี้ได้ถูกออกแบบให้ใช้โดยเฉพาะกับการขยายเสียงที่ไม่ต้องการกำลังงานสูง ๆ ดังแสดงในรูป 3.13 จะมีเกนขยายประมาณ 200 (V/V)



รูป 3.6 เป็นวงจรขยายเสียงโดยใช้ LM386

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 แสดงวงจรที่สมบูรณ์ของเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เครื่องรับ

เครื่องรับวิทยุจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณวิทยุที่ส่งมา ให้กลับอยู่ในรูปของสัญญาณเสียงที่เราสามารถรับฟังได้ โดยทั่วไปแล้วสัญญาณวิทยุที่ส่งมานี้จะอยู่ในรูปแบบได้หลายอย่างเช่น ในรูปสัญญาณ AM,FM และ PM แต่โดยทั่วไปแล้วไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบใดก็จะมีวงจรพื้นฐาน ที่มีหน้าที่สำคัญๆ เหมือนกัน เช่น

-วงจรจูนและขยายคลื่นความถี่วิทยุ ทำหน้าที่ขยายและเลือกรับช่วงความถี่ที่ต้องการ

-วงจร MIXER ทำหน้าที่เปลี่ยนช่วงความถี่ให้อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการ

-วงจรขยาย IF ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่อยู่ในช่วงความถี่ IF

-วงจรออสซิลเลเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณตามความถี่ที่ต้องการ

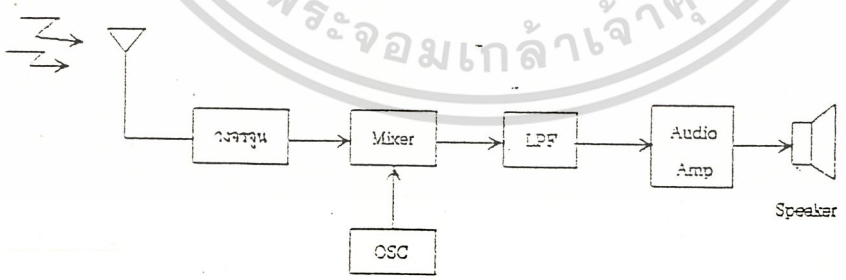
-วงจรขยายเสียง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณย่านความถี่เสียงให้มีกำลังแรงขึ้น

-วงจร AGC ทำหน้าที่รักษาให้อัตราการขยายของเครื่องรับให้คงที่ ไม่ว่าเราจะรับคลื่นได้แรงหรืออ่อนก็ตาม

ในเครื่องรับบางตัวก็ไม่จำเป็นต้องมีวงจรพื้นฐานเหล่านี้ครบทุกตัว เช่นในการทดลองนี้ เราใช้วงจรเครื่องรับวิทยุย่านความถี่ 3.579 MHz แบบ AM อย่างง่ายโดยมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1.วงจรจูนความถี่วิทยุ 2.วงจร MIXER 3.วงจรออสซิลเลเตอร์

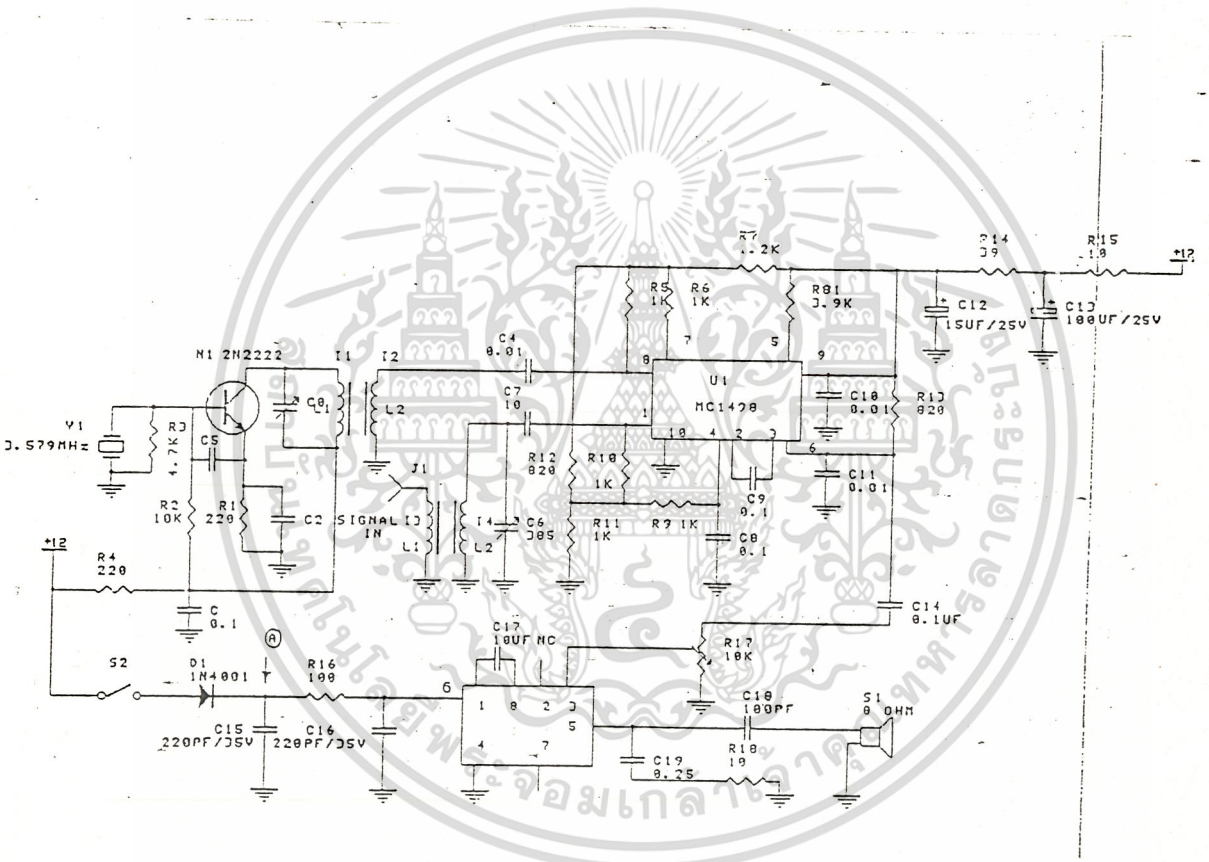
4.วงจรโลพาสฟิลเตอร์ 5.วงจรขยายเสียง



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการทำงานคือ เมื่อวงจรภาค Tuner จูนความถี่ที่ 3.579 MHz ได้แล้วจะสามารถรับสัญญาณวิทยุที่ส่งมาได้ และส่งต่อให้ภาค Mixer ซึ่งจะทำการ Mix กับสัญญาณความถี่ 3.579 MHz จากออสซิลเลเตอร์ ได้สัญญาณความถี่เสียงกลับมา แล้วจึงต่อให้กับภาค LPF และภาคขยายเสียง เพื่อกรองสัญญาณความถี่สูงที่ไม่ต้องการทิ้งและขยายสัญญาณเสียงเพื่อส่งให้ลำโพง

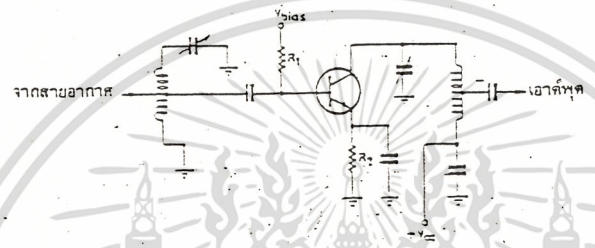


รูปที่ 4.2 วงจรที่ใช้ในการทดลองจริงของเครื่องรับอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วงจรจูนและขยายความถี่วิทยุ

วงจรที่นิยมใช้มีอยู่ 3 แบบคือ วงจรขยายอิมิเตอร์ร่วม วงจรขยายเบสร่วมและวงจรขยายคาสโคด แต่ในกรณีของวงจรที่ใช้ FET แทนทรานซิสเตอร์ วงจรอิมิตเตอร์ร่วมก็จะเปลี่ยนเป็นซอสร่วมและเบสร่วมก็จะเป็นเกตร่วม ในรูป 4.3 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมหรือซอสร่วม เป็นวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ ซึ่งไบอัสให้ทำงานอยู่ในคลาส A โดยตัวต้านทาน R1 ,R2 และ มีวงจรจูน ทั้งด้านอินพุต และเอาต์พุต เพื่อขยายสัญญาณที่มีความถี่ในย่านความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน (วงจรแทงค์) วงจรขยายความถี่วิทยุประเภทนี้ต้องมีการสะเทินเพื่อมิให้วงจรขยายเกิดการออสซิลเลต



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างวงจรขยายความถี่วิทยุ ชนิดอิมิตเตอร์(ซอสร่วม)

วงจรขยายความถี่วิทยุแบบเบสร่วมจะให้อัตราขยายต่ำกว่าแบบอิมิตเตอร์ร่วม แต่มีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องสะเทินวงจร ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ต่ำกว่า ข้อเสียของวงจรแบบนี้ก็คือควบคุมอัตราขยายได้ยาก

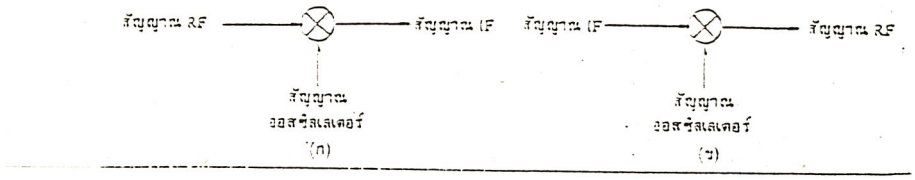
วงจรขยายความถี่วิทยุแบบคาสโคดนั้นที่จริงก็คือ วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ (ซอส)ร่วม ไปขับวงจรขยายแบบเบส(เกต)ร่วมอีกทอดหนึ่ง วงจรนี้ให้อัตราขยายสูงได้โดยไม่ต้องสะเทินวงจร การควบคุมอัตราขยายทำได้ในส่วนของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม

สำหรับวงจรที่ใช้ในการทดลองนี้ จะมีเพียงวงจรจูน(วงจรแทงค์)เท่านั้นเพื่อเลือกสัญญาณย่านความถี่วิทยุที่ต้องการเข้ามา โดยการปรับเปลี่ยนค่า C ของวาแรคเตอร์ (varactor) ในวงจรแทงค์จูน ก็จะทำให้ย่านความถี่สัญญาณวิทยุที่ต้องการเปลี่ยนไปด้วย

4.2 วงจรมิกซ์เซอร์

ทำหน้าที่ในการแปลงย่านความถี่ของสัญญาณ โดยทำงานร่วมกับวงจรออสซิลเลเตอร์ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตัวอย่าง MIXER ของภาคเครื่องรับ(ก) และ MIXER ของภาคเครื่องส่ง(ข)

หลักการของ MIXER อาจแสดงได้โดยการคูณกัน

$$e = \sin(2\pi f_c)\sin(2\pi f_m)$$

.M $$e = \tilde{}1/2\tilde{}[\text{"}\cos(2\pi f_c - 2\pi f_m) - \cos(2\pi f_c - 2\pi f_m)\text{"}]$$

ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณที่มีความถี่เปลี่ยนไปคือ ที่ความถี่ $f_c - f_m$, $f_c + f_m$

กำหนดให้คลื่นวิทยุที่รับได้จากสมการ 2.5 เป็น

$$E_t = (1+m\sin w_m t)\sin w_c t$$

และคลื่นพาหะที่ด้านรับผลิตขึ้นมาเป็น

$$E_c = \sin w_c t$$

ดังนั้นที่ Mixer จะได้

$$e = (1+m\sin w_m t)\sin w_c t \sin w_c t$$

$$e = \frac{(1+m\sin w_m t)}{2}[\cos(0) - \cos 2w_c t]$$

ถ้าเรานำไปผ่านโลพาสฟิลเตอร์ก็จะได้ส่วนที่เป็นสัญญาณเสียงเดิมออกมาโดยกรองเอาส่วนที่เป็นฮาร์โมนิกความถี่สูงออกไป

$$e = \frac{1}{2}[1+m\sin(2\pi f_m t)]$$

วงจร MIXER แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทแอกตีฟ ใช้ทรานซิสเตอร์หรือ IC รวมทั้งอุปกรณ์อื่นๆ ที่ให้อัตราการขยาย
2. ประเภทพาสซีฟ ใช้ไดโอดซึ่งไม่มีการขยายสัญญาณ

นอกจากนี้เราอาจแบ่งวงจร MIXER ได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบสมดุลหรือบาลานซ์ กับแบบไม่สมดุลหรืออันบาลานซ์ วงจร MIXER แบบสมดุลนี้เราต่อวงจรให้ขั้วอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเอาต์พุตของวงจร MIXER ไม่เกิดปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน (สัญญาณไม่เล็ดลอดระหว่างขั้ว) คุณสมบัตินี้เราเรียกว่า " การแยกระหว่างขั้วหรือไอโซเลชั่น " เมื่อดูที่ขั้วอินพุตของวงจร MIXER ในรูปจะมีขั้ว 2 ขั้วคือ สัญญาณ RF (หรือ IF) กับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ และมีขั้วเอาต์พุต 1ขั้วคือ สัญญาณ IF (หรือ RF) ดูรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาในกรณีของเครื่องรับจะเห็นว่าการแยกระหว่างขั้ว RF และขั้วออสซิลเลเตอร์ จะช่วยมีให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ย้อนกลับออกสู่ส่ายอากาศแผ่กระจายคลื่นออกไปได้ และการแยกระหว่างขั้ว RF กับขั้ว IF จะช่วยมีให้สัญญาณที่มีความถี่พอดีตรงกับความถี่ IF เล็ดลอดเข้าไปสู่วงจรขยาย IF ในกรณีของภาคส่งก็พิจรณาทำนองเดียวกัน

สำหรับวงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุลนั้น มีคุณสมบัติการแยกระหว่างขั้วไม่ดีเหมือนกับแบบสมดุล ถ้าต้องการให้มีการแยกสัญญาณดี ต้องใช้ฟิลเตอร์ช่วยในการกรองสัญญาณต่างหากอีก

4.3 วงจรออสซิลเลเตอร์

ทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณความถี่สูง เพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับวงจรอื่น ๆ ภายในเครื่อง เช่น ในการมอดูเลต การผสมคลื่นหรือ MIX รวมทั้งใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง

ออสซิลเลเตอร์แต่ละวงจร ต่างก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ในเครื่องวิทยุ การออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์อาศัยหลักการป้อนกลับแบบบวก วงจรที่เป็นตัวกำหนดความถี่ อาจเป็นวงจรจูน LC หรือใช้คริสตอลได้ ค่า Q ของวงจรยิ่งมาก ความถี่ที่วงจรจะออสซิลเลตก็จะคงที่ไม่เลื่อนไปได้ง่าย สำหรับวงจร LC มีค่า Q น้อยกว่าคริสตอล นั่นคือ เสถียรภาพทางความถี่ของวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ จึงดีกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC ธรรมดา

4.4 วงจรโลพาสฟิลเตอร์

ในวงจรการทดลองนี้วงจรโลพาสฟิลเตอร์จะอยู่ต่อจากส่วน MIXER โดยมีหน้าที่กรองเอาสัญญาณช่วงความถี่เสียงผ่านไปโดยมีความถี่ cutoff ที่ 2000 Hz ถ้าช่วงความถี่เกินจากนี้ก็จะทำการตัดทิ้งเพื่อให้สัญญาณเสียงที่ได้จากส่วน MIXER ไม่มีย่านความถี่สูงมากวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจรขยายเสียง

โดยทั่วไปวงจรขยายเสียงในภาคเครื่องรับก็เป็นวงจรเหมือนดังที่เครื่องส่ง คือ ใช้ IC เบอร์ LM386 เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณในย่านความถี่เสียงธรรมดา คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรคือ ผลตอบสนองความถี่(frequency respond) และความเพี้ยน(distortion) ในภาคเครื่องรับ เอาต์พุตของวงจรขยายเสียงต่อไปยังลำโพง

สำหรับ IC เบอร์ LM386 ซึ่งเป็น audio power amplifier โดยมีกำลังขยาย ระหว่าง 20-200 เท่า โดยการปรับค่า R,C ที่ต่อคร่อมระหว่างขา 1,8 ของ IC โดยถ้าทำการ open ขา 1,8 ของ IC แล้วจะให้อัตราขยายต่ำสุด คือ 20 เท่า แต่ถ้าทำการเชื่อมขา 1,8 ของ IC ด้วยตัว C 10 μF แล้วจะให้อัตราขยายสูงสุดคือ 200 เท่าซึ่งในวงจรนี้จะใช้อัตราขยายสูงสุดที่ 200 เท่า

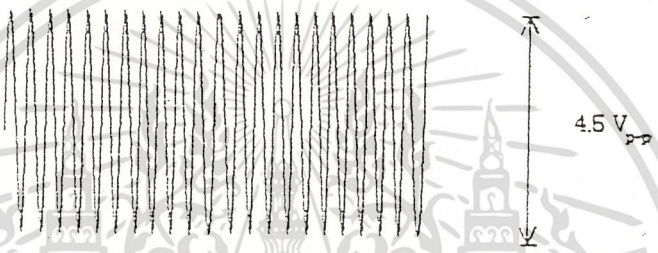
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและสรุปผลการทดลอง

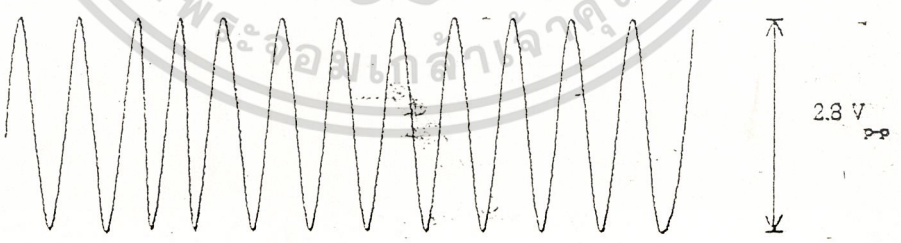
การทดสอบที่ด้านเครื่องส่ง

1. วัดค่าศักดาไฟฟ้าและรูปของคลื่นที่ภาคออสซิลเลเตอร์ จากรูป 3.2 ซึ่งใช้ขดลวดพันบนแหวนเฟอร์ไรท์ โดยขด L1 จะใช้ลวดเบอร์ #26 พัน 35 รอบ บนแหวนเฟอร์ไรท์ T50-2 ส่วนด้านขด L2 ใช้ลวดเบอร์ #26 พัน 4 รอบ



รูป 5.1 รูปของคลื่นที่จุด 1 ที่ภาคออสซิลเลเตอร์

ความถี่ที่วัดได้จากเครื่อง Frequency counter = 11.4888 MHz



รูป 5.2 รูปของคลื่นที่จุด 2 ที่ภาคออสซิลเลเตอร์

ความถี่ที่วัดได้จากเครื่อง Frequency counter = 3.5845 MHz

สำหรับสัญญาณที่จุดต่อกับสายอากาศ จะได้ขนาด 2.8 V_{p-p} และความถี่ที่วัดได้จากเครื่อง Frequency counter = 3.5845 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลังจากทดสอบภาคออสซิลเลเตอร์เรียบร้อยแล้วก็จะทำการเชื่อมต่อวงจรดังรูป 3.7 ที่จุด x และ y เข้าด้วยกันแล้วต่อ Dummy load 47 โอห์ม แทนเสาอากาศ แล้วทำการวัดศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมพร้อมกับคำนวณค่ากำลังส่งออกมา

ศักดาไฟฟ้าที่คร่อม load (V_L) = 6 V_p

$$P_{av} = V_L^2/(2*R_L) = 0.383 \text{ Watt}$$

เปอร์เซ็นต์มอดูเลชั่นของวงจรนี้จะวัดได้ประมาณ 15.15 % เมื่อทดสอบกับความถี่ Test tone 400 Hz

ระยะทางส่ง เราจะใช้เครื่องรับวิทยุขนาดเล็กมาทดสอบแทนเครื่องรับที่ทำ ระยะทางส่งประมาณ 100 เมตร

<u>การทดสอบที่ด้านเครื่องรับ</u>

1. หาค่า Q และ Bandwidth ของวงจรจูนส่นหน้าก่อนที่จะเข้า Mixer

นำเอา L2 มาทำการหาค่าอินดัคแตนซ์โดยการนำมาต่อขนานกับ C ค่า 47 pF แล้วใช้ Dip meter มาหาค่าความถี่เรโซแนนซ์แล้วแทนค่าในสูตรเพื่อหาค่า L2 ดังนี้

$$f_r = 1/(2*\pi*\sqrt{L2*C})$$

$$L2 = 1/(4*C*\pi^2)$$

จะได้ $f_r = 4.817$ MHz , $L2 = 5.806$ µH

ต่อมาทำการวัดค่าความต้านทานของวงจรจูน โดยใช้ VOM วัด จะเป็นค่า DC OHM จะได้ค่า R = 0.4 Ohm

แทนในสูตร $Q = WL/R$

เมื่อ $W = 2*\pi*f_r = 2*\pi*3.5845*10^6$

ดังนั้น $Q = 326.9$

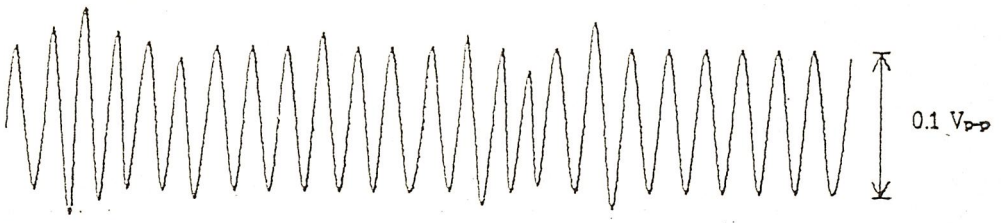
และ $Q = f_r/BW$

ดังนั้น $BW = 14.7$ kHz

2. เมื่อทำการส่งสัญญาณจากเครื่องส่ง ทำการวัดสัญญาณที่จุดเอาท์พุทวงจรรับดังรูป 4.2

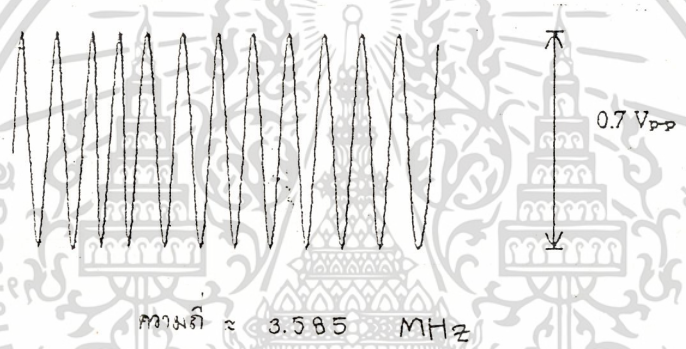
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณจากสายอากาศที่ขาเอาท์พุทของวงจรจูน จะได้สัญญาณดังนี้



รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณจากสายอากาศที่ผ่านวงจรจูนมาแล้ว

ทำการวัดสัญญาณที่ขา 3 ของ LM386 จะได้สัญญาณดังนี้



รูปที่ 5.4 รูปสัญญาณในภาคออสซิลเตอร์ที่จูนแล้ว

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากทางด้านส่งมีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตต่ำเพียง 15.15 % จึงทำให้ส่งคลื่นออกไปกับพาหะได้น้อย ทางด้านรับอาจจะได้ยินเสียงได้ไม่ชัดเจนและที่ด้านรับก็มี S/N ไม่สูงพอ สัญญาณเสียงที่รับก็เบา ทำให้ประสิทธิภาพการรับไม่ค่อยดี และการมีกำลังส่งเพียง 0.3 วัตต์ ทำให้ส่งได้ไม่ไกล หากจะปรับปรุงวงจรทางด้านส่งให้ดีขึ้น ก็ทำได้โดยการขยายสัญญาณเสียงและสัญญาณความถี่พาหะให้มีกำลังสูงก่อนทำการมอดูเลต และทางด้านรับควรเพิ่มวงจรขยายย่านความถี่วิทยุ เพื่อช่วยลดการแทรกรบกวนของคลื่นวิทยุความถี่อื่น และเพิ่มอัตราส่วน S/N ให้สูงขึ้นจนทำให้สัญญาณเสียงที่รับส่งได้ยินชัดและถูกรบกวนน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่รายงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อาศัยปัจจัยหลายอย่าง สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากคือความช่วยเหลือจาก อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์หัวหน้าภาควิชาโทรคมนาคม อีกทั้งกำลังใจจากเพื่อนๆ ชาววิศวะลาดกระบังหลายท่านที่ช่วยถามไถ่ถึงความคืบหน้า และที่จะลืมมิได้คือเพื่อนๆ และน้องๆ ชาวชมรมพุทธศาสตร์ฯ ลาดกระบังที่ช่วยเป็นธุระให้หลายเรื่องหลายโอกาสด้วยความมีไมตรีจิตอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านผู้ให้ความช่วยเหลือ และขอขอบคุณในน้ำใจของเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกท่านที่มีส่วนช่วยออกทั้งแรงกาย แรงใจในการทำรายงานนี้ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชาญยุทธ รุจิวัฒนากร
ผู้จัดทำ
เมษายน 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่รายงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อาศัยปัจจัยหลายอย่าง สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากคือความช่วยเหลือจาก อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์หัวหน้าภาควิชาโทรคมนาคม อีกทั้งกำลังใจจากเพื่อนๆ ชาววิศวะลาดกระบังหลายท่านที่ช่วยถามไถ่ถึงความคืบหน้า และที่จะลืมมิได้คือเพื่อนๆ และน้องๆ ชาวชมรมพุทธศาสตร์ฯ ลาดกระบังที่ช่วยเป็นธุระให้หลายเรื่องหลายโอกาสด้วยความมีไมตรีจิตอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านผู้ให้ความช่วยเหลือ และขอขอบคุณในน้ำใจของเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกท่านที่มีส่วนช่วยออกทั้งแรงกาย แรงใจในการทำรายงานนี้ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชาญยุทธ รุจิวัฒนากร
ผู้จัดทำ
เมษายน 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Doug Demaw , "The ARRL Electronics Data Book ",
: The American Radio Relay League,Newington USA, 1988.

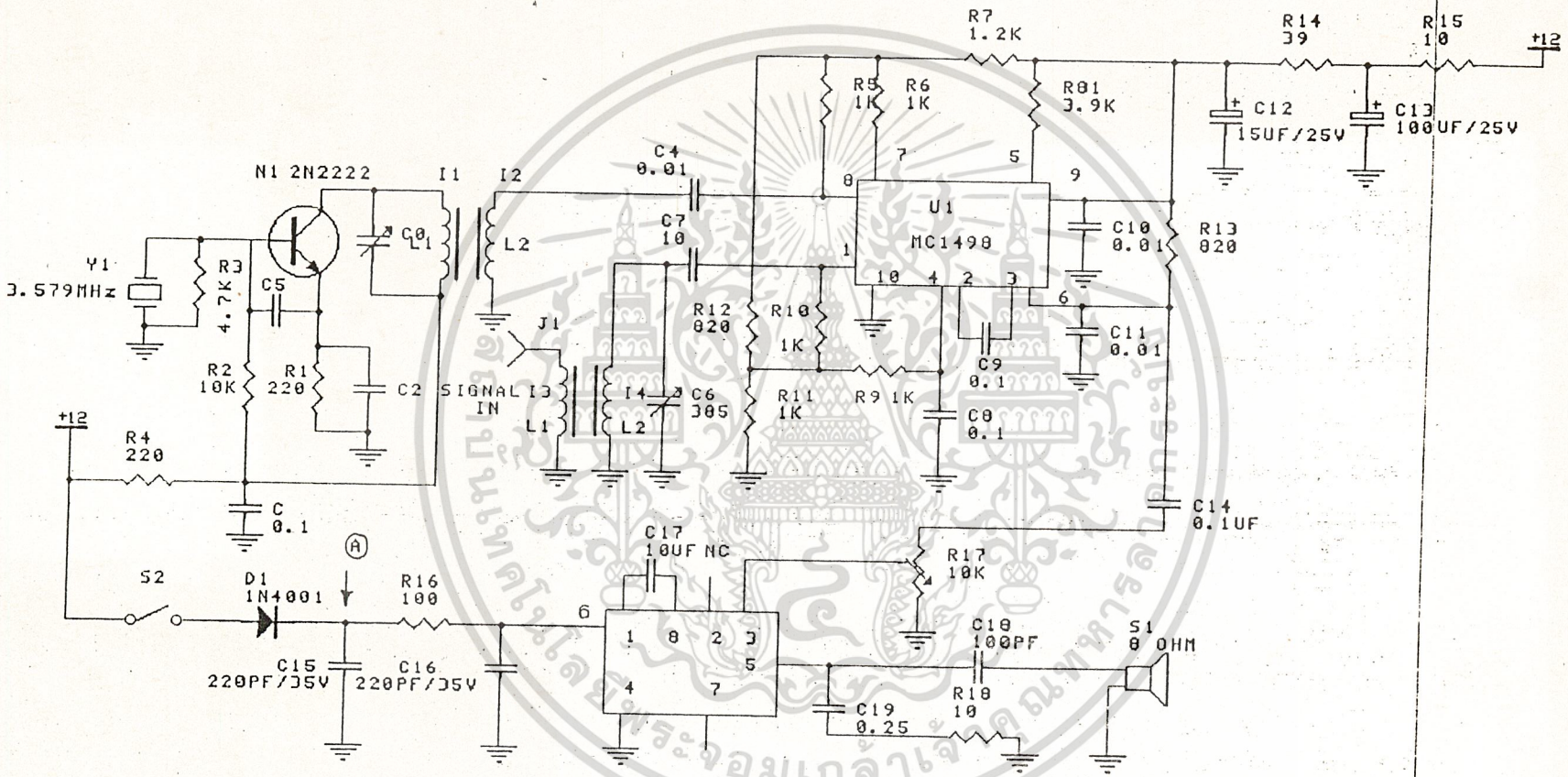
[2] Doug Demaw , "Experiment for the beginner",QRP Classics.

[3] The Headquaters Staff of The ARRL , " The ARRL Handbook for The Radio Amateur " , : The American Relay Leauge , Newington USA,1988.

[4] สุชาติ กังวารจิตต์ , "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร" , : ซีเอ็ด-ยูเคชั่น,กรุงเทพฯ,2532.

[5] ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ , "ระบบสื่อสารวิทยุ",: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์,กรุงเทพฯ, 2536.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		
Size: A4	Number	Revision
Date: 23-MAR 1994		Sheet of
File: CAT/1		Drawn By:

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย