ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

เรื่อง วิทยุรับ-ส่ง ความถี่ 27 เมกกะเฮิรทซ์

โดย

นายกิตติพงษ์ ปลื้มจิตร 32.3501

นายสมชาย เจดีย์ 32.3527

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์

028786

12.มี.ค.2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วิทยุรับ-ส่ง ความถี่ 27 เมกกะเฮริทซ์

คณะผู้จัดทำ

นายกิตติพงษ์ ปลื้มจิตร 32.3501

นายสมชาย เจดีย์ 32.3527

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028783

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..............................อาจารย์ที่ปรึกษา

(   )

..............................กรรมการ

(   )

..............................กรรมการ

(   )

..............................กรรมการ

(   )

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ในการติดต่อสื่อสารที่ใช้กันในปัจจุบันนี้นอกจากจะใช้เพื่อการกระจายเสียงโดยผู้ใช้สามารถที่จะรับข่าวสารได้ในย่านที่กำหนดให้แล้ว ยังได้มีการแบ่งย่านความถี่ไว้อีกอย่างหนึ่ง เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถที่จะส่งข่าวสารไปยังบุคคลอื่น ในขณะเดียวกันก็ยังสามารถที่จะรับข่าวสารที่ต้องการได้ด้วย อุปกรณ์ที่สำคัญที่ทำหน้าที่นี้คือ วิทยุรับ – ส่ง

วิทยุรับ – ส่งความถี่ 27 นี้จัดอยู่ในย่านวิทยุสมัครเล่นสำหรับประชาชน (citizen band) ซึ่งภายในประกอบด้วยภาครับ และภาคส่งแยกกันทำงานโดยการใช้รีเลย์เป็นตัวติดต่อวงจร ภาครับประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ ภาคมิกเซอร์ ภาคออสซิลเลเตอร์ ภาคขยายความถี่ไอ.เอฟ. ภาคดีเทคเตอร์ และภาคขยายกำลังสัญญาณเสียง ส่วนภาคส่งจะประกอบด้วยภาคออสซิลเลเตอร์ ภาคโมดูเลเตอร์ ภาคขยายกำลังสัญญาณความถี่วิทยุ โดยสัญญาณที่ส่งจะอยู่ในรูปของแอมปลิจูด โมดูเลชั่น (amplitude modulation) ทั้งภาครับและภาคส่งจะใช้ภาคขยายสัญญาณเสียงร่วมกัน ส่วนภาคออสซิลเลเตอร์จะใช้คริสตอลเป็นตัวผลิตความถี่ซึ่งในวงจรจะใช้คริสตอลที่มีความแตกต่างกันเพื่อให้การรับ – ส่งแยกความถี่ออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1	การสื่อสารเบื้องต้น	หน้า
	การมอดูเลต	1
	ระบบวิทยุอย่างง่าย	2
	รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ	3
	การมอดูเลตทางแอมพลิจูด	7
	เปอร์เซนต์ของการมอดูเลต	7
	ไซด์แบนด์	10
	แบนด์วิดท์ของสัญญาณ	14
	ดัชนีการมอดูเลต	14
	ระบบสื่อสาร	15
	อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต	15
	เครื่องส่ง	16
	ช่องทางสื่อสาร	16
	ความถี่และความยาวคลื่น	16
	นอยส์	19
	เครื่องรับ	19
	วงจรมอดูเลตแบบ	20
	กำลังคลื่นพาหะ	29
	แบนด์วิดท์	30
	ปัญหาการแผ่กระจายคลื่น	30
	บาลานซ์มอดูเลเตอร์	31
	ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ ไร้พาหะ	36
บทที่ 2	การทำงานของวิทยุรับ – ส่ง ความถี่ 27 เมกกะเฮิรทซ์	
	เครื่องส่ง	37
	การเลือกความถี่และการควบคุมความถี่	37
	เสถียรภาพทางความถี่	39
	กำเนิดความถี่	39
	เงื่อนไขสำหรับการกำเนิดความถี่	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

คริสตอล ออสซิลเลเตอร์ 40

ออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิทท์ 42

การผสมคลื่นสัญญาณทางขนาด 43

แถบคลื่นของการผสม 43

เปอร์เซนต์ของการผสมคลื่น 45

กำลังงานในการผสมคลื่นทางขนาด 47

การขยายกำลังงาน 48

ประสิทธิภาพและการสูญเสีย 48

โหลดของอุปกรณ์ 49

คลาสการทำงาน 50

แมทชิ่ง เนทเวิค 50

การลดทอนสัญญาณฮาร์โมนิค 52

เครื่องรับ 53

การเลือกช่องสัญญาณ 55

การดีเทคสัญญาณเบื้องต้น 55

เครื่องรับเฮทเทอโรดายน์ 56

การเปลี่ยนความถี่ 57

ความถี่อิมเมจ 58

ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ 58

ภาคผสมสัญญาณ 59

ภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ 59

ภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง 60

ภาคดีเทคเตอร์ 61

ภาคขยายสัญญาณความถี่เสียง 62

การทำงานของวิทยุรับ – ส่งความถี่ 27 เมกกะเฮริทซ์ 65

บทที่ 3 การสร้างวิทยุรับ – ส่งความถี่ 27 เมกกะเฮริทซ์ 70

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 71

บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 การสื่อสารเบื้องต้น

การติดต่อสื่อสารพื้นฐานของมนุษย์นั้นเป็นการสื่อความหมายโดยเสียงพูดและการเขียน การสื่อสารโดยการเขียนพัฒนาจากการส่งข่าวสารโดยการนำสารและกลายเป็นหนังสือพิมพ์ แล้วก็เป็นระบบไปรษณีย์ เป็นการส่งโทรเลข จนถึงในปัจจุบันเป็นการส่งข่าวสารทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสารโดยการพูดพัฒนามาจากการพูดคุยระหว่างกันธรรมดาไปเป็นโทรศัพท์และวิทยุ วิวัฒนาการต่าง ๆ มักจะมุ่งเน้นให้ติดต่อสื่อสารได้ไกลขึ้นและรวดเร็วขึ้น

ความเจริญก้าวหน้าทางการสื่อสารด้านวิทยุช่วยให้เราติดต่อกันได้ไกลมากขึ้น โดยวิธีการเปลี่ยนเสียงพูดไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายให้เป็นคลื่นเสียง (หรือออดิโอ) แล้วทำการเกาะผสมกับคลื่นพาหะ (คลื่นวิทยุ) แล้วส่งไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป อย่างไรก็ตามถ้าหากเราส่งเสียงพูดไปในรูปของคลื่นเสียง (ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 20 เฮิรตซ์) ปัญหาจะเกิดขึ้นตามมาหลายประการดังนี้

ประการที่หนึ่ง การที่จะทำให้การส่งมีประสิทธิภาพ เราจะต้องใช้สายอากาศที่มีขนาดความยาวเท่ากับ $\frac{1}{4}$ หรือ $\frac{1}{2}$ ของความยาวคลื่น ฉะนั้นการส่งคลื่น 3000 เฮิรตซ์จะต้องใช้สายอากาศยาวอย่างน้อย 25 กิโลเมตร

ประการที่สอง แม้ว่าจะแก้ปัญหาสายอากาศได้ แต่ก็จะเกิดปัญหาตามมาอีกว่า เราส่งได้เพียงทีละสถานี เพราะทุกสถานีก็ใช้ความถี่เสียงซ้ำกัน

ประการที่สาม การส่งโดยใช้ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่เสียงนั้นจะไม่มีประสิทธิภาพเพราะไปได้ไม่ไกล

ปัญหาเหล่านี้เราสามารถแก้ไขได้โดยการใช้สัญญาณความถี่สูงเป็นพาหะเพื่อให้สัญญาณเสียงพูดเกาะไปเมื่อส่งไปถึงเครื่องรับ พาหะที่มีสัญญาณเสียงพูดเกาะมาด้วยก็จะถูกแยกออกไปและกลับคืนตัวเป็นเสียงพูดตามเดิม วิธีการแรกเรียกว่า การมอดูเลต <modulation> หมายถึงสัญญาณเสียงเข้าไปมอดูเลตบนคลื่นพาหะ วิธีการหลังเรียก การดีมอดูเลต<demodulation> นิยมเรียกสั้น ๆ ว่าดีมอดหรือดีเทค <detect> หมายถึงแยกสัญญาณเสียงที่มอดูเลตบนคลื่นพาหะกลับคืนมา

การมอดูเลต

ในขบวนการมอดูเลต เราใช้คลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่สูงเป็นพาหนะ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณออดิโอ (หรือเสียงพูด) สัญญาณภาพ หรือข่าวสารอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนี้เราเรียกว่า การมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นรูปซายน์ที่เราใช้เป็นพาหะนั้น เราสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แทนได้ดังนี้

$$e = A \sin(\omega t + \phi)$$

ในที่นี้ e คือค่าแรงดัน (หรือกระแส) ของคลื่นพาหะใด ๆ

A คือแอมพลิจูด (หรือขนาด) สูงสุดของคลื่นพาหะ

ω คือความถี่เชิงมุม $= 2\pi f$

t คือเวลา

ϕ คือเฟส หรือมุมทางไฟฟ้า

f คือความถี่

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า คุณสมบัติประจำตัวของคลื่น (รูปซายน์)ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้ คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) หรือความถี่ (f) และเฟส (ϕ)

การมอดูเลตให้กับคลื่นพาหะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. มอดูเลตทางแอมพลิจูด(amplitude modulation เรียกชื่อย่อว่า AM)
2. มอดูเลตทางความถี่ (frequency modulation เรียกชื่อย่อว่า FM)
3. มอดูเลตทางเฟส (phase modulation เรียกย่อว่า PM หรือ ϕM)

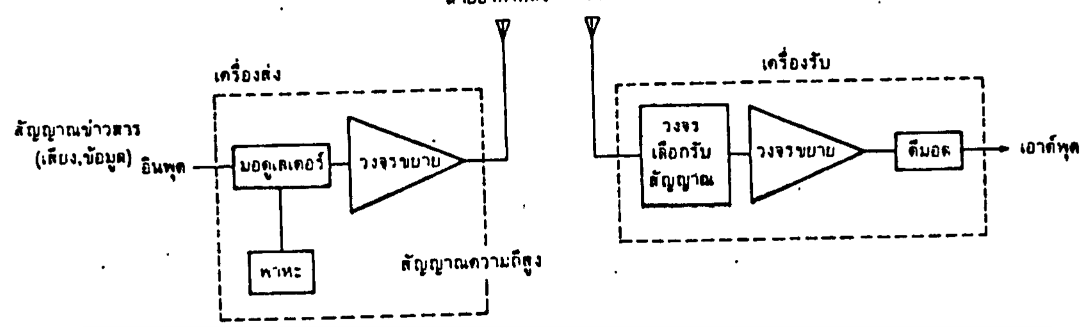
ในทางปฏิบัติสัญญาณ FM กับสัญญาณ PM จะคล้ายคลึงกันมาก บางทีเราเรียกรวมกันทั้ง FM และ PM ว่า การมอดูเลตเชิงมุม(angle modulation) กล่าวโดยสรุปการมอดูเลตแบ่งออกเป็นจริง ๆ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ AM กับ FM (หรือ PM)

<u>ระบบวิทยุอย่างง่าย</u>

ระบบวิทยุโดยทั่วไปมักจะมีรูปแบบคล้ายคลึงกับรูปที่ 1.1 ในที่นี้เราแสดงไว้เฉพาะการติดต่อทางเดียวจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับเท่านั้น จะเห็นว่าประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือเครื่องส่ง เครื่องรับ สายอากาศ และสัญญาณข่าวสาร (เช่น จากเสียงพูดจากไมโครโฟน) ถูกป้อนเข้าที่อินพุตทำให้เกิดเอาต์พุตเป็นคลื่นที่ได้รับการมอดูเลต แล้วแผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งไปยังเครื่องรับ คลื่นที่รับได้จากสายอากาศรับจะถูกแปลงโดยเครื่องรับ เพื่อให้สัญญาณข่าวสาร กลับคืนออกมา (เช่น เป็นเสียงพูดออกทางลำโพง)

ที่เครื่องส่ง สัญญาณข่าวสารและสัญญาณพาหะความถี่สูงจะถูกส่งไปยังวงจรมอดูเลตซึ่งทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณข่าวสารลงบนสัญญาณพาหะความถี่สูง สัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตแล้วจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงภาคเครื่องส่งและเครื่องรับ*

ไปผ่านการขยายให้มีกำลังมากขึ้น แล้วจึงป้อนแก่สายอากาศส่ง เพื่อให้สามารถส่งไปได้ไกลโดยที่เครื่องรับสามารถรับได้ชัดเจน คลื่นจากเครื่องส่งนี้จะแผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งโดยมีทิศทางมุ่งไปยังเครื่องรับ

ที่เครื่องรับ คลื่นที่ส่งมาจะรับได้โดยสายอากาศรับ เครื่องรับจะเลือกรับเฉพาะคลื่นที่ต้องการเท่านั้น แล้วขยายให้คลื่นนั้นมีกำลังแรงขึ้นเพื่อป้อนให้วงจรดีมอดูเลต(หรือดีมอด) ทำหน้าที่แปลงคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลตกลับมากขึ้นเพื่อให้สัญญาณข่าวสารที่ต้องการตามเดิม

ข้อสังเกตในระบบวิทยุคือ ถ้ามีเครื่องส่งหลายเครื่องอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน เราจะต้องใช้ความถี่คนละความถี่ มิฉะนั้นสัญญาณที่เครื่องรับจะสับสน (รับสัญญาณรบกวนหรือแซงกัน) เราสามารถใช้ความถี่เครื่องส่งซ้ำกันได้ก็คือเมื่อเครื่องส่งแต่ละเครื่องอยู่ห่างไกลกันและไม่ทำให้เกิดรบกวน ทั้งนี้เพราะคลื่นวิทยุจะมีความแรงลดลงที่ระยะห่างไกลจากเครื่องส่งมากขึ้น

<u>รูปคลื่นชนิดต่าง ๆ</u>

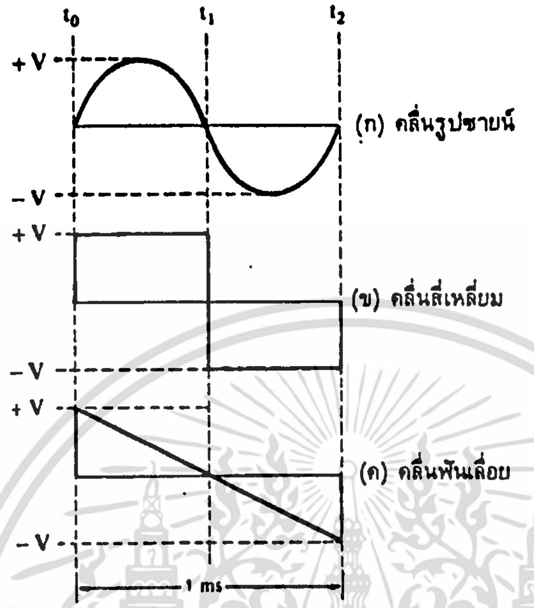
ก่อนที่จะเข้าสู่เรื่องการมอดูเลต ขอทบทวนเกี่ยวกับรูปคลื่นสำคัญ ๆ ที่พบอยู่บ่อย ๆ และวิเคราะห์คลื่นในเชิงความถี่ (frequency domain)

ตามทฤษฎี คลื่นรายคาบ (periodic) ใด ๆ จะประกอบขึ้นด้วยคลื่นรูปซายน์จำนวนมากมาผสมกันคลื่นรายคาบในที่นี้หมายถึง คลื่นที่มีรูปคลื่นซ้ำ ๆ กันทุก ๆ ไซเกิล รูปที่ 1.2 แสดงคลื่นรายราบ 3 ชนิดซึ่งมีรูปคลื่นซ้ำกันทุก ๆ ไซเกิล คลื่นรายคาบทั้ง 3 ชนิดนั้น แท้ที่จริงก็เกิดขึ้นจากการประกอบของคลื่นรูปซายน์ ซึ่งมีค่าแอมพลิจูด เฟส และความถี่ตามสัดส่วน นอกจากนี้เราสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ว่า ไม่ว่าคลื่นรายคาบจะมีรูปร่างแบบไหน เมื่อวิเคราะห์ในเชิงความถี่แล้วจะประกอบด้วยคลื่นรูปซายน์จำนวนมากมายมาผสมกันโดยมีแอมพลิจูด เฟส และ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัย ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

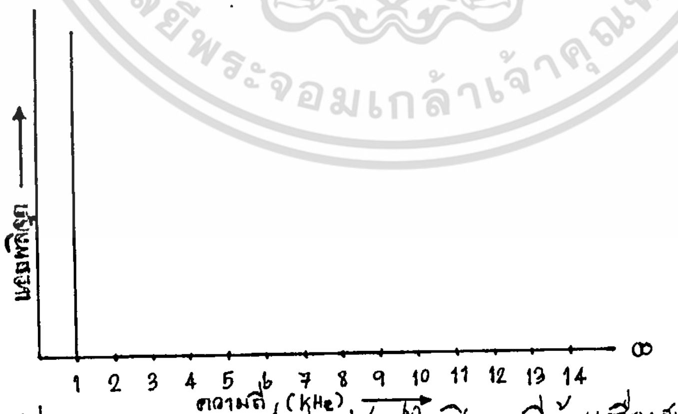
ความถี่ ตามสัดส่วน

<u>คลื่นรูปซายน์</u> (sine wave) จะมีรูปคลื่นตามรูปที่ 1.2 (ก) ซึ่งเป็นภาพที่เราสามารถมองเห็นได้จากออสซิลโลสโคปโดยแกนแนวราบเป็นเวลา แกนแนวดิ่งเป็นแอมพลิจูด ส่วนในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.2 รูปคลื่นชนิดต่างๆ

เป็นรูปคลื่นที่ปรากฏบนเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์ (spectrum analyzer) ซึ่งเป็นการแสดงภาพในเชิงความถี่ (มักเรียกกราฟในเชิงความถี่ว่าสเปกตรัม) แกนแนวราบเป็นความถี่ แกนแนวดิ่งเป็นแอมพลิจูดสังเกตว่าคลื่นรูปซายน์จะปรากฏเป็นแท่งดิ่ง 1 แท่ง (ในที่นี้เป็นคลื่นรูปซายน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ หรือ คาบเวลา (period) เท่ากับ 1 มิลลิวินาที จาก $t = \frac{1}{f}$ ตรงตำแหน่งความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์บนแกนราบมีเพียงแห่งเดียวเพราะเป็นคลื่นรูปซายน์บริสุทธิ์

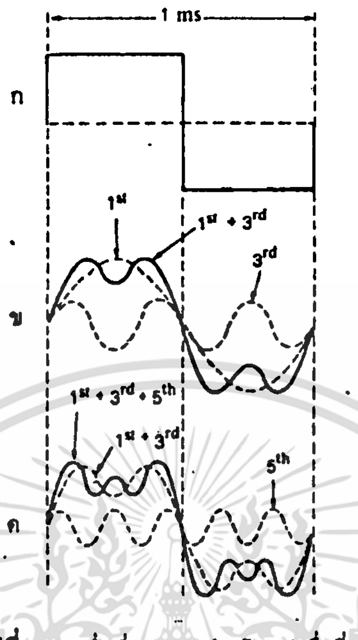


รูปที่ 1.3 แสดงการวิเคราะห์คลื่นรูปซายน์ในเชิงความถี่ด้วยเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์

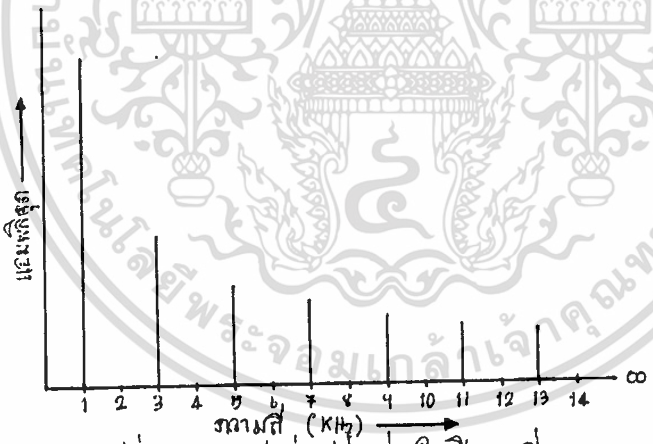
<u>คลื่นรูปสี่เหลี่ยม</u> (square wave) รูปที่ 1.4 แสดงรูปคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ (แสดงไว้ 1 ไซเกิลเพราะไซเกิลอื่น ๆ ก็มีรูปร่างซ้ำกัน) คลื่นรูปสี่เหลี่ยมนี้จะประกอบด้วยคลื่นรูปซายน์จำนวนมากหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า คลื่นรูปสี่เหลี่ยมประกอบด้วยคลื่นรูปซายน์ที่เป็นคลื่นความถี่พื้นฐานเมนทัล (fundamental) จำนวน 1 คลื่น และคลื่นรูปซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ ... เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีความถี่เท่ากับฮาร์มอนิกคี่ (odd) ซึ่งมีความถี่เป็น 1 เท่า, 3 เท่า, 5 เท่า...จนถึงจำนวนนับอนันต์



รูปที่ 1.4 คลื่นที่ประกอบกันเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

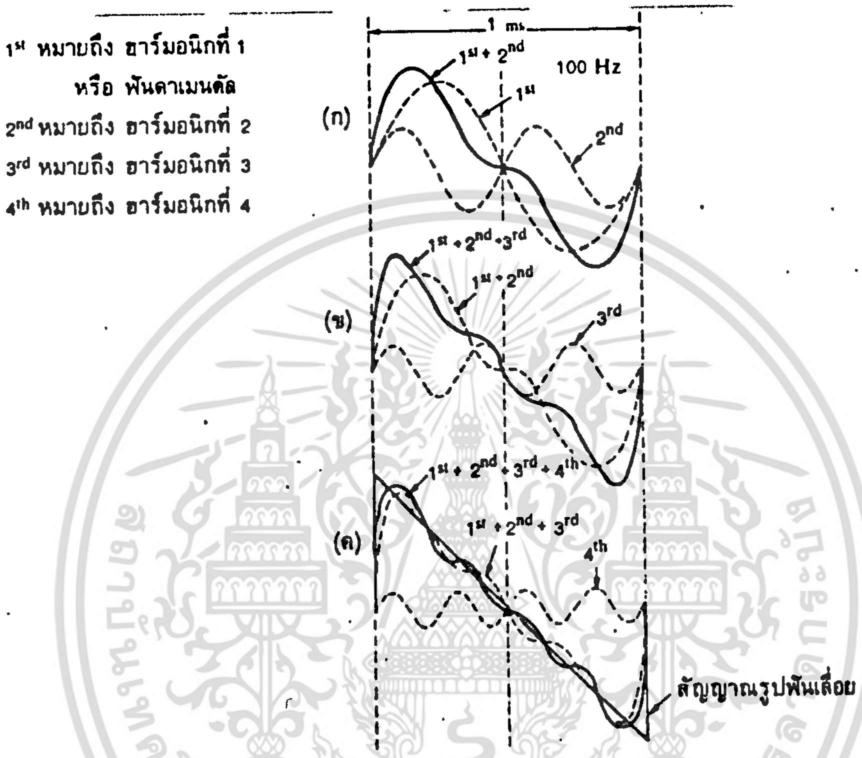


รูปที่ 1.5 วิเคราะห์คลื่นรูปสี่เหลี่ยมในเชิงความถี่

ผลของการรวมคลื่นฟันดาเมนตัล (คลื่นฮาร์มอนิกที่ 1) และคลื่นฮาร์มอนิกที่ 3 แสดงในรูปที่ 1.4 (ข) และผลรวมของฮาร์มอนิกที่ 1 , 3 จะเป็นดังรูปที่ 1.4 (ค)สังเกตว่ารูปคลื่นซายน์ที่รวมกันเริ่มมีรูปร่างใกล้เคียงกับคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ถ้าหากจำนวนคลื่นฮาร์มอนิกที่เป็นเลขคี่มารวมกันมากขึ้น ๆ รูปคลื่นก็จะกลายเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่สมบรูณ์เหมือนรูปที่ 1.4 (ก) ฉะนั้นถ้าพิจาณาในเชิงความถี่ คลื่นสี่เหลี่ยม 1 กิโลเฮิรตซ์ จะปรากฏเป็นแท่งของคลื่นที่มีความถี่เท่ากับความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1 (ฟันดาเมนตัล) 1 กิโลเฮิรตซ์ ฮาร์มอนิกที่ 3, 5, 7, 9, 11, 13 กิโลเฮิรตซ์ (แสดงไว้ถึง 13 กิโลเฮิรตซ์) ความจริงยังมีฮาร์มอนิกคี่จนไปถึงความถี่อนันต์ สังเกตว่าแอมพลิจูดของฮาร์มอนิกจะน้อยลง ๆ เมื่อความถี่สูงขึ้น และน้อยมาก ๆ จนไม่ต้องนำมาพิจารณา

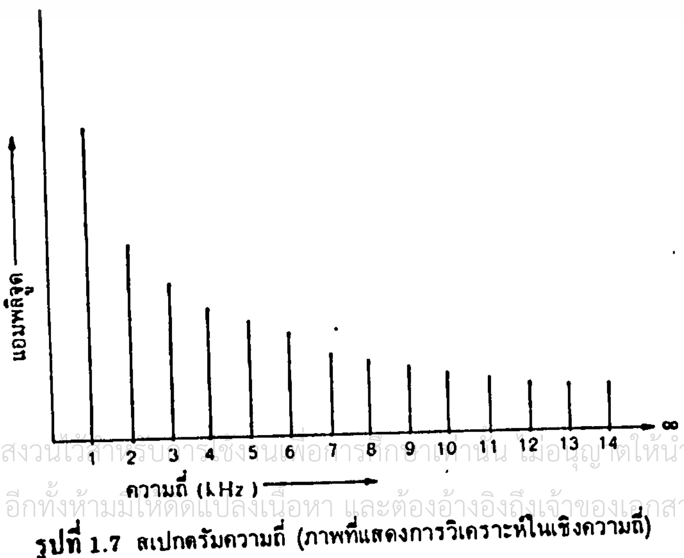
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>คลื่นรูปฟันเลื่อย</u> (sawtooth wave) รูปที่ 1.6 แสดงรูปคลื่นฟันเลื่อยซึ่งประกอบด้วยฮาร์มอนิกลำดับคู่ (even) และลำดับ ในรูปที่ 1.6 (ค) แสดงถึงการรวมของคลื่นรูปซายน์ ฟันดาเมนทัลกับฮาร์มอนิกที่ 2, 3 และ 4 สังเกตว่ารูปคลื่นเริ่มใกล้เคียงกับรูปฟันเลื่อย เมื่อรวมจำนวนฮาร์มอนิกมากขึ้น ๆ สำหรับภาพวิเคราะห์รูปคลื่นฟันเลื่อย ในเชิงความถี่จะปรากฏดังรูปที่ 1.7 สังเกตว่ามีทั้งฮาร์มอนิกคู่และคี่



รูปที่ 1.6 คลื่นที่ประกอบกันเป็นคลื่นฟันเลื่อย

จากตัวอย่างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและฟันเลื่อย สรุปได้ว่าเราสามารถนำคลื่นรูปซายน์ต่าง ๆ มาผสมกันให้เป็นคลื่นรูปร่างซับซ้อนกันได้จำนวนนับไม่ถ้วน และในทางกลับกันคลื่นรูปร่างใด ๆก็ตามเราสามารถแยกออกเป็นคลื่นรูปซายน์ต่าง ๆ ได้เช่นกัน

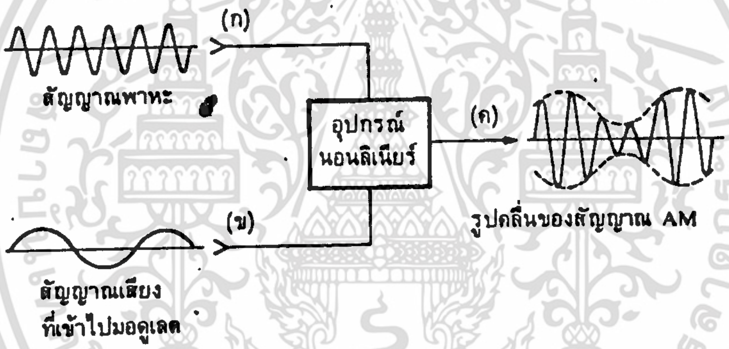


รูปที่ 1.7 สเปกตรัมความถี่ (ภาพที่แสดงการวิเคราะห์ในเชิงความถี่) ของคลื่นฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การมอดูเลตทางแอมพลิจูด</u>

การมอดูเลตแบบ AM นั้น เราใช้สัญญาณข่าวสาร สมมติว่าให้สัญญาณเสียงมอดูเลตลงบนสัญญาณพาหะเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางแอมพลิจูด (หรือขนาด) ของพาหนะ ในรูปที่ 1.8 เราใช้สัญญาณพาหะ(ก) ผสมกับสัญญาณเสียง(ข) ลงในวงจรนอนลิเนียร์ (nonlinear) เช่น ใช้ไดโอดหรือทรานซิสเตอร์โดยให้มีจุดทำงานอยู่ในบริเวณที่ไม่เป็นลิเนียร์ ในอุปกรณ์แบบนอนลิเนียร์จะทำให้เกิดสัญญาณ AM ดังรูป 1.8(ค) ขึ้น จะสังเกตว่าสัญญาณพาหะซึ่งถูกมอดูเลตแล้วจะมีแอมพลิจูด(ขนาด) เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงที่ปนอยู่ในสัญญาณ AM จะปรากฏเป็นกรอบคลื่น(envelope) บนและล่างดังเช่นรูปที่ 1.9 (ก) มอดูเลต ในทางตรงข้ามถ้าสัญญาณเสียงมีแอมพลิจูดเล็กลงดังรูปที่ 1.9 (ค) สัญญาณ AM ที่เกิดขึ้นก็จะมีกรอบ(การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด)เล็กลงด้วย ดังรูปที่ 1.9(ง)



รูปที่ 1.8 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยใช้อุปกรณ์นอนลิเนียร์

<u>เปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลต</u>

ในรูปที่ 1.9 จะเห็นว่าปริมาณการมอดูเลตของสัญญาณเสียงลงบนพาหะไม่เท่ากัน สังเกตได้ว่าแอมพลิจูดของพาหะเปลี่ยนแปลงมากในรูปที่ 1.9(ข) และเปลี่ยนแปลงน้อยในรูปที่ 1.9(ง) ปริมาณการมอดูเลตนี้นิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์(บางทีเรียก แฟกเตอร์การมอดูเลต มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1) รูปที่ 1.10 พาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลตเรียกว่า มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับศูนย์ (0 เปอร์เซ็นต์) ในรูปที่ 1.10 (ก) สมมติว่าพาหะมีแอมพลิจูดจากยอดบวกถึงยอดลบเท่ากับ 40 V_{p-p}

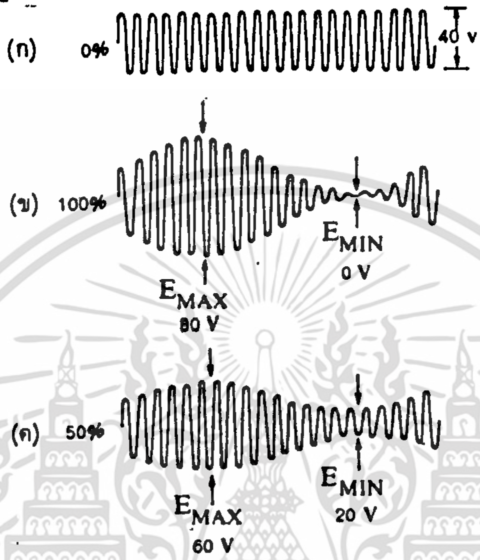
ในรูปที่ 1.10 (ข)พาหะถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แอมพลิจูดของพาหะจะตกลงมาถึงศูนย์ และแอมพลิจูดยอดบวกถึงยอดลบของพาหะจะให้ได้สูงสุด 80 อย่างไรก็ตามค่าแอมพลิจูดโดยเฉลี่ยของพาหะยังคงเป็น 40 V_{p-p} เท่าเดิม

เอกสารนี้เป็น...เพื่อ...เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 1.10 (ค) พาหะถูกมอดูเลตเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ แอมพลิจูดของคลื่นพาหะสูงสุด 60 V_{p-p} และต่ำสุด 20 V_{p-p} แอมพลิจูดเฉลี่ยของพาหะเท่ากับ 40 V_{p-p} (จาก $\frac{60+20}{2} = 40 V_{p-p}$) เช่นเดิม เราสามารถใช้สูตรคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100\,\%$$

ดูตัวอย่างการคำนวณของรูปที่ 1.10 (ค)



รูปที่ 1.10 การวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100\,\%$$

$$= \frac{60V - 20V}{60V + 20V} \times 100\,\%$$

$$= \frac{40V}{80V} \times 100 = 0.5 \times 100\,\%$$

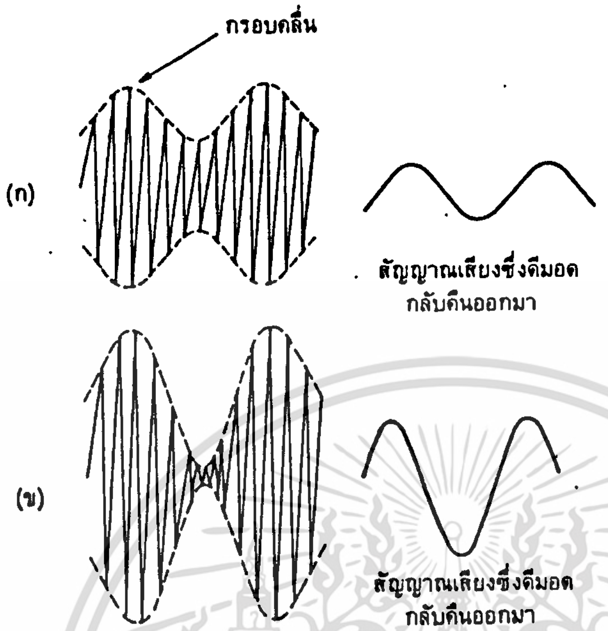
$$= 50\,\%$$

ปกติเราต้องการให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูงสุด เพื่อว่าสัญญาณเสียงที่รับได้ที่เครื่องรับจะมีกำลังแรง (เสียงดัง) ดูรูปที่ 1.11 เนื่องจากเครื่องรับ AM จะเปลี่ยนคลื่น AM เป็นสัญญาณเสียง โดยการแยกเอาแต่เฉพาะสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลตลงบนพาหะกลับคืนจากคลื่น AM (คือดีมอดนั่นเอง) ฉะนั้นสัญญาณเสียงที่รับได้ในกรณีที่ว่ามอดูเลตมาแรง (เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมีค่าสูง) จะได้เสียงดังกว่า นั่นคือ ในที่นี้รูปที่ 1.11 (ข) จะให้สัญญาณเสียงดังกว่ารูปที่ 1.11 (ก) เพราะเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตมากกว่า

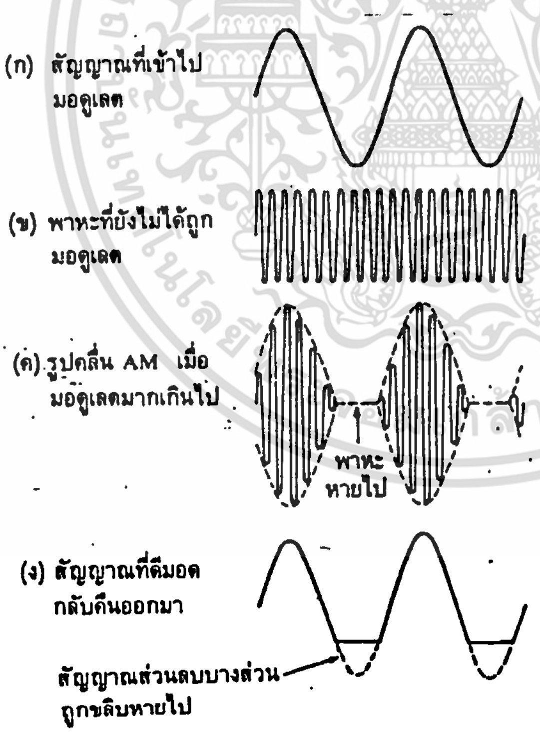
อย่างไรก็ตามการมอดูเลตต้องไม่สูงเกินไป (ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เพราะจะทำให้สัญญาณเสียงที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดความเพี้ยน การมอดูเลตมากเกินไปนี้เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลตเกิน (overmodulation) [...] หรือเรียกย่อ ๆ ว่า โอเวอร์มอด จะเห็นว่า แอมพลิจูดสัญญาณ AM ลดลงได้ไม่ต่ำกว่า[...]ว่าจะมอดูเลต



รูป 1.11 แอมพลิจูดของสัญญาณเสียง ที่ดีมอดคืนมาได้ที่เครื่องจะมีความมากน้อยขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของมอดูเลท



รูปที่ 1.12 การโอเวอร์มอดจะทำให้สัญญาณที่ได้จากการดีมอดที่เครื่องรับมีความเพี้ยน

แรงเท่าใดก็ตาม ยิ่งถ้าสัญญาณที่มอดูเลตมีค่ามากคลื่นพาหะจะหายไป (cut off) บางส่วนเสียด้วยซ้ำ ดังนั้นกรอบคลื่นของสัญญาณ AM จึงมีรูปร่างผิดไปจากสัญญาณเสียงที่เข้าไปมอดูเลต ดังในรูปที่ 1.12 (ก) เป็นสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต (คือสัญญาณเสียง) รูปที่ 1.12 (ข) เป็นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลต รูปที่ 1.12 (ค) เป็นพาหะที่มอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีความแรงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา[...]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
028783

เกินไปทำให้พาหะบางช่วงหายไป เมื่อเครื่องรับดีมอดสัญญาณเสียงกลับมาจะมีลักษณะเหมือนกับกรอบคลื่นซึ่งเพี้ยนไปจากเดิม ดังรูปที่ 1.12 (ง)

ไซด์แบนด์ AM

เราลองวิเคราะห์สัญญาณ AM (รูปที่ 1.13)ในเชิงความถี่ดูว่าเป็นอย่างไรและมีองค์ประกอบอะไรบ้าง ในที่นี้สัญญาณ AM เกิดจากสัญญาณพาหะรูปซายน์ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ มอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงรูปซายน์ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ ดูเผิน ๆ อาจจะพบว่าผลของการมอดูเลตแบบ AM ของสัญญาณ 1 เมกะเฮิรตซ์ กับ 10 กิโลเฮิรตซ์ น่าจะเป็นพาหะ 1 เมกะเฮิรตซ์กับสัญญาณเสียง 10 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้นอย่างไรก็ตามถ้าเราป้อนสัญญาณทั้งคู่ให้แก่วงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาส (banpass filter) ความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์กับความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ เราจะพบว่าเอาต์พุตจากวงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์เป็นศูนย์ดังรูปที่ 1.13 (ข) แต่เอาต์พุตจากวงจรแบนด์พาสความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์จะไม่เป็นศูนย์สรุปได้ว่า สัญญาณพาหะ 1 เมกะเฮิรตซ์เมื่อถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงเพียง 10 กิโลเฮิรตซ์แล้ว ผลปรากฏว่าสัญญาณ 10 กิโลเฮิรตซ์จะไม่มีอยู่ในคลื่นพาหะที่มอดูเลตแล้ว (คลื่น AM) เลย แต่ไปปรากฏเป็นกรอบคลื่นแทน อย่างไรก็ตามเราทราบดีว่าคลื่น AM จะต้องมีส่วนประกอบของสัญญาณเสียงปนอยู่แน่นอนเพราะกรอบของรูปคลื่นเป็นสิ่งที่ยืนยันอย่างชัดเจน

ถ้าเราใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสแบบพิเศษที่สามารถจูนความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ หรือใช้สเปกตรัมอนาไลเซอร์ เพื่อค้นหาสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลตบนพาหะว่าไปหลบซ่อนอยู่ในส่วนใดของพาหะ(วิเคราะห์ในเชิงความถี่) ด้วยวิธีนี้เราจะพบว่า สัญญาณนี้นอกจากจะมีพาหะตัวเดิม 1 เมกะเฮิรตซ์แล้ว ยังมีคลื่นข้างเคียงเกิดขึ้นอีก 2 ข้างคือที่ความถี่ 1.01 เมกะเฮิรตซ์กับ 0.99 เมกะเฮิรตซ์คลื่นข้างเคียงทั้ง 2 ข้างนี้เรียกว่า ไซด์แบนด์ (sideband) ซึ่งเราจะตรวจพบได้โดยใช้ฟิลเตอร์ที่มีความคมหรือความละเอียดในการจูนตรวจค้นสัญญาณ ดังรูปที่ 1.13 (ค)

ไซด์แบนด์ที่มีความถี่สูงกว่าเรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านบน(upper sideband หรือ USB)ความถี่ของ USB เท่ากับผลรวมความถี่พาหะกับความถี่สัญญาณมอดูเลต

$$\text{ความถี่ USB} = f_c + f_m$$

ในที่นี้ f_c คือความถี่พาหะ

f_m คือความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต

ตามตัวอย่าง $f_c = 1\,MHz$, $f_m = 10\,kHz$ ฉะนั้นความถี่ของ USB จะเท่ากับ

$$\text{ความถี่ USB} = 1\,MHz + 10\,kHz$$
$$= 1.01\,MHz$$

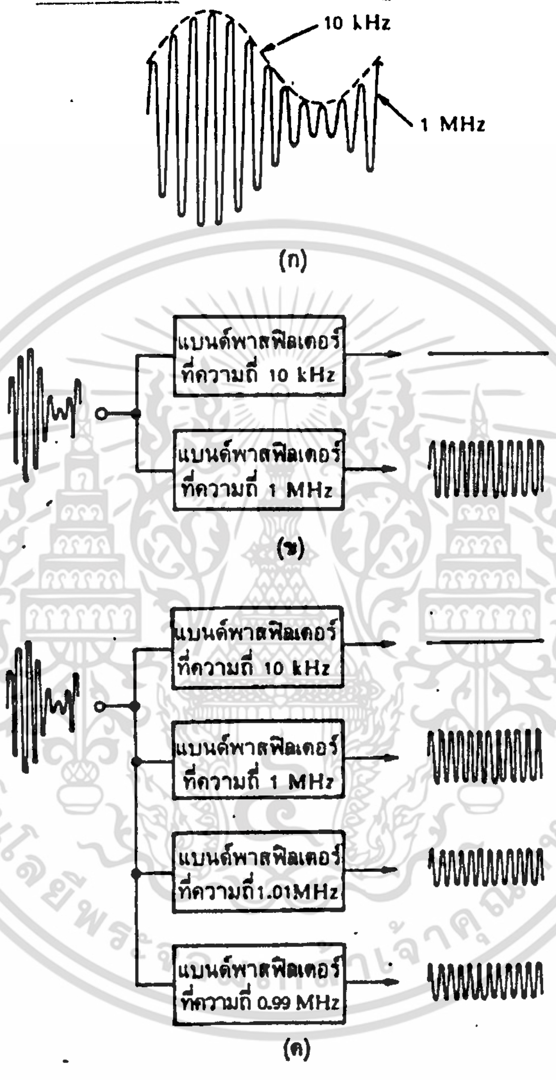
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นได้รับอนุญาต ห้ามแก้ไขดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไซด์แบนด์ที่มีความถี่ต่ำเรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านล่าง(lower sideband หรือ LSB) ความถี่ของ LSB เท่ากับความถี่พาหะลบด้วยความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต ในกรณีนี้จะได้

ความถี่ LSB $= f_c - f_m$

$= 1 \text{ MHz} - 10 \text{ kHz}$

$= 0.99 \text{ MHz}$



รูปที่ 1.13 วิเคราะห์คลื่น AM ในเชิงความถี่

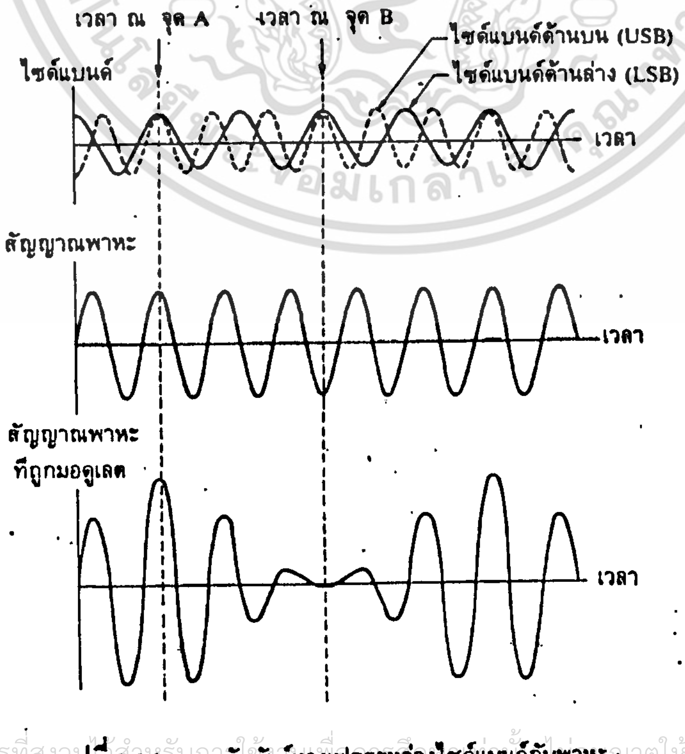
กล่าวโดยสรุปได้ว่า คลื่น AM ประกอบด้วยคลื่นพาหะ และคลื่นไซด์แบนด์ 2 ข้างคือ USB กับ LSB ถ้าเราลองพิจารณาแอมพลิจูดจากฟิลเตอร์ต่าง ๆ ในรูปที่ 1.13 (ค) จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์มีค่าคงที่ ซึ่งเราทราบมาในตอนต้นแล้วว่าพาหะจะมีแอมพลิจูดคงเดิมเสมอจนกว่าจะมีสัญญาณเข้าไปมอดูเลต แต่ แอมพลิจูดเฉลี่ยของพาหะยังมีค่าคงเดิมตลอดไปไม่ว่าจะมีสัญญาณเข้าไปมอดูเลตหรือไม่ก็ตาม อาจจะมีข้อสงสัยว่าแอมพลิจูดของ สัญญาณแต่ละตัวที่ประกอบขึ้นเป็น AM คือ คลื่นพาหะกับไซด์แบนด์นั้นมีแอมพลิจูดคงที่ได้อย่างไร ทั้ง ๆ ที่แอมพลิจูดหรือขนาดของสัญญาณ AM ก็เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้าไปมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ใช่เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอให้พิจารณารูปที่ 1.14 ซึ่งแสดงให้เห็นคลื่นไซด์แบนด์ทั้งคู่และคลื่นพาหะ สังเกตว่าพาหะมีแอมพลิจูดคงที่ และไซด์แบนด์ก็มีแอมพลิจูดเท่ากันทั้งคู่และคงที่ด้วย (อย่าลืมว่าความถี่ของพาหะต้องอยู่ระหว่างกลางของความถี่ไซด์แบนด์ทั้งสอง) สมมติพิจารณาที่จุด A ซึ่งสัญญาณทั้งสามมีเฟสตรงกันแต่ละสัญญาณอยู่ตรงยอดบวกพอดี ทำให้ผลรวมได้แอมพลิจูดของสัญญาณ AM ค่าสูง พิจารณาที่จุด B ซึ่งไซด์แบนด์มีเฟสตรงกัน แต่พาหะมีเฟสต่างจากไซด์แบนด์ 180 องศา ผลรวมจะได้แอมพลิจูดค่าต่ำของสัญญาณ

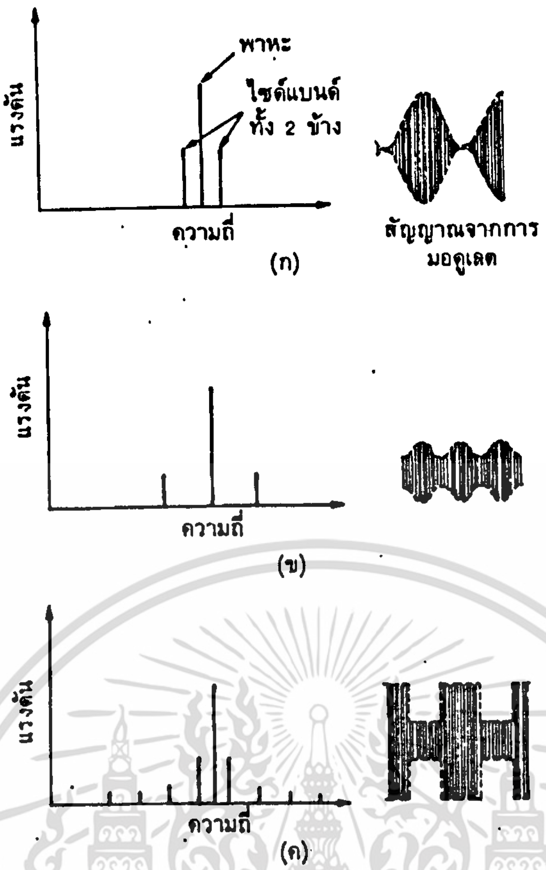
จากการวิเคราะห์ในรูปที่ 1.14 สรุปได้ว่ารูปร่างของการกรอบคลื่นไม่ได้ขึ้นอยู่กับ–แอมพลิจูดของสัญญาณไซด์แบนด์ แต่ความถี่ของสัญญาณไซด์แบนด์ทั้งคู่จะเป็นตัวกำหนดเฟสของสัญญาณไซด์แบนด์ว่าจะตรงเฟสหรือต่างเฟสกับพาหะ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของสัญญาณ AM หรือกรอบคลื่น แอมพลิจูดของไซด์แบนด์จะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของกรอบคลื่นนั่นคือเป็นตัวกำหนดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ทั้งนี้เนื่องจากไซด์แบนด์อาจมาเสริมหรือหักล้างกับแอมพลิจูดของพาหะก็ได้

กล่าวโดยสรุปอีกครั้งเกี่ยวกับสัญญาณ AM นั่นคือ สัญญาณ AM เกิดจาก สัญญาณข่าวสารเข้าไปมอดูเลตกับพาหะแล้วปรากฏเป็นสัญญาณไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง (คือ USB กับ LSB)



รูปที่ 1.14 ความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างไซด์แบนด์กับพาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...ไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.15 เปรียบเทียบคลื่น AM ในเชิงความถี่และเชิงเวลา

ในรูปที่ 1.15 แสดงการวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีรูปคลื่นชนิดต่าง ๆ ถ้าตรวจดูด้วยออสซิลโลสโคปจะเห็นว่าไซด์แบนด์จะผสมเสริมหรือหักล้างกับพาหะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลง สังเกตว่าในรูปที่ 1.15 (ก) แอมพลิจูดของไซด์แบนด์จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของพาหะสภาวะเช่นนี้เป็นสภาวะของการมอดูเลตเต็มที่หรือเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นเมื่อสัญญาณทั้งพาหะและไซด์แบนด์มีเฟสตรงกัน แอมพลิจูดของไซด์แบนด์รวมกับพาหะจะได้ 2 เท่าของพาหะและเมื่อสัญญาณไซด์แบนด์ (ทั้งคู่) และพาหะมีเฟสตรงข้ามกัน แอมพลิจูดรวมจะได้ศูนย์

รูปที่ 1.15 (ข) แสดงการมอดูเลตบนพาหะดังกล่าวด้วยเปอร์เซ็นต์ลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่าแอมพลิจูดของพาหะคงเดิม แต่ไซด์แบนด์มีแอมพลิจูดลดลง นอกจากนี้ถ้าเรามอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีความถี่สูงขึ้น ความถี่ของไซด์แบนด์ก็ยิ่งห่างออกไปจากพาหะมากขึ้น

รูปที่ 1.15 (ค) เราใช้สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเข้าไปมอดูเลตลงบนพาหะ สังเกตว่าคราวนี้เกิดสัญญาณไซด์แบนด์ขึ้นมากมาย เพราะว่าสัญญาณสี่เหลี่ยมประกอบด้วยความถี่ฟันดาเมนตัลและความถี่ฮาร์มอนิกที่จำนวนมาก ฉะนั้นไซด์แบนด์ของสัญญาณก็จะมีไซด์แบนด์ 1 คู่สำหรับฟันดาเมนตัล ไซด์แบนด์อีก 1 คู่ สำหรับฮาร์มอนิกที่ 3 อีก 1 คู่สำหรับฮาร์มอนิกที่ 5,.....ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM

เราสังเกตจากรูปที่ 1.15 ได้ว่า การส่งสัญญาณ AM มิใช่เป็นการส่งสัญญาณเพียงความถี่พาหะความถี่เดียว แต่เป็นการส่งหลาย ๆ ความถี่หรือเป็นแถบความถี่ และความจริงข่าวสารก็ไม่ได้อยู่ในคลื่นพาหะแต่ปนอยู่ในไซด์แบนด์ทั้ง 2 ข้าง ถ้าเราส่งแต่พาหะไปอย่างเดียว ข่าวสารก็ไปไม่ถึงเครื่องรับ ฉะนั้นในระบบ AM ทั้งพาหะและไซด์แบนด์จะถูกส่งไปให้เครื่องรับ

ช่วงความถี่หรือแถบความถี่ของสัญญาณ AM จะเริ่มจากความถี่จาก LSB ไปยัง USB ฉะนั้นแถบความถี่หรือ แบนด์วิดท์ (bandwidth) ของสัญญาณ AM จะเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณมอดูเลต เช่น สมมติความถี่สูงสุดของสัญญาณเสียงที่มอดูเลตเท่ากับ 15 กิโลเฮิรตซ์ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM จะเท่ากับ 30 กิโลเฮิรตซ์ ในกรณีที่เรามอดูเลตด้วยสัญญาณที่มีรูปคลื่นซับซ้อน เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM ย่อมเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ฮาร์มอนิกสูงที่สุดของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (อย่างไรก็ตามเครื่องส่งจะถูกออกแบบให้ใช้งานในแบนด์วิดท์ค่าจำกัด ฉะนั้นตัวเครื่องส่งจึงจำกัดแบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM เอง)

ดัชนีการมอดูเลต

ในระบบ AM ปริมาณการมอดูเลต เรานิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดหรือกรอบคลื่น AM ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบ

เราวัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งเรานิยมเรียกชื่อเสียใหม่ว่า ดัชนีการมอดูเลต ลองพิจารณาความหมายของดัชนีการมอดูเลตต่อไปนี้

$$m = \frac{f_d}{f_m} \qquad \text{(ของระบบ FM)}$$

ในที่นี้ f_d คือช่วงความถี่เบี่ยงเบน

f_m คือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

ค่าตัวเลขของดัชนีการมอดูเลตจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1) ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM เรากำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดไว้เท่ากับ 75 กิโลเฮิรตซ์ สมมติว่าเราใช้สัญญาณเสียง 1 กิโลเฮิรตซ์มอดูเลตให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าดัชนีการมอดูเลตจะเป็น

$$m = \frac{75\,kHz}{1\,kHz} = 75$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่า ค่าดัชนีการมอดูเลตในระบบ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามามอดูเลตในทางปฏิบัติเรานิยมวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (deviation ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เบี่ยนเบน(ของระบบ) สูงสุด ($f_{d\,max}$) ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต ($f_{m\,max}$) ในระแบบกระจายเสียง FM ค่าอัตราการเบี่ยนเบน (Δ) จะเท่ากับ

$$\Delta = \frac{f_{d\,max}}{f_{m\,max}}$$

$$= \frac{75\ kHz}{15\ kHz} = 5$$

ในระบบ AM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพื่อให้เปอร์เซ็นต์การ-มอดูเลตสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด (กรอบคลื่น) ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ในระบบ FM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 กิโลเฮิรตซ์ ถ้าเรามอดูเลตทำให้ความถี่ของพาหะเบี่ยงเบนไปเท่ากับ 75 กิโลเฮิรตซ์ แสดงว่าเรามอดูเลตเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเราเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

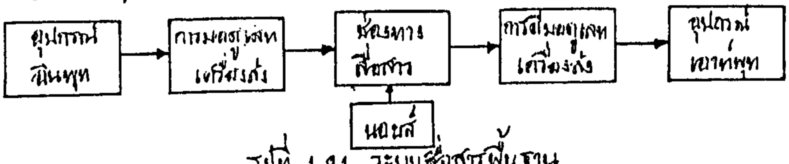
$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{f_d}{f_{d\,max}} \times 100$$

ในที่นี้ f_d คือความถี่เบี่ยงเบนเนื่องจากสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

$f_{d\,max}$ คือความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของระบบ

<u>ระบบสื่อสาร</u>

ในระบบสื่อสารไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม แผนผังพื้นฐานมักเหมือนกับรูปที่ 1.21 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐานประกอบด้วย อุปกรณ์อินพุท (input device) เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร (communication channal) หรือแชนแนล ซึ่งมักจะมีนอยส์มารบกวนเครื่องรับและอุปกรณ์เอาต์-พุท (output device)



รูปที่ 1.21 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

<u>อุปกรณ์อินพุทและเอาต์พุท</u> ความจริงอุปกรณ์อินพุทก็คือ อุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุทก็คืออุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นข่าวสารนั่นเองมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุทอาจเป็นไมโครโฟนและอุปกรณ์เอาต์พุทจะเป็นลำโพง สำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่... อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน ในระบบแพร่ภาพทางโทรทัศน์ อุปกรณ์อินพุตก็คือกล้องถ่ายโทรทัศน์ ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสง (จากภาพ) ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือหลอดภาพโทรทัศน์ ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับคืนเป็นพลังงานแสง

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คันเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เครื่องโทรมาตร(telemetry) ฯลฯ อุปกรณ์อินพุตจะต่อเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

ข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน แบ่งออกไปเป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. เสียงหรือออดิโอ(audio) ได้แก่ เสียงพูดในระบบโทรศัพท์ เสียงพูด เสียงเพลง หรือเสียงดนตรี ซึ่งต้องการคุณภาพเสียงดีในระบบวิทยุกระจายเสียง

2. ภาพ(picture) ได้แก่ ภาพนิ่งในระบบโทรสาร(facsimile) และระบบส่งภาพระยะไกล(telephoto) ภาพยนต์ในระบบโทรทัศน์

3. ข้อมูล(data) ส่วนใหญ่ส่งมาเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ได้แก่ ข้อมูลและคำสั่งในระบบโทรมาตร ตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์ หรือโทรเลข ข้อมูลคอมพิวเตอร์ในระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์

<u>เครื่องส่ง</u> เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุต แล้วทำการมอดูเลตลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (เรียกว่า ออสซิลเลเตอร์) กับ มอดูเลต เครื่องส่งส่วนใหญ่มักมีภาคขยายอีกเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกอากาศมีกำลังแรงทำให้สื่อสารกันได้ไกลขึ้น

<u>ช่องทางสื่อสาร</u> ช่องทางสื่อสารในที่นี้ ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง(free space) หรือสาย ฯลฯ แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะระบบวิทยุเท่านั้น ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุอาศัยการแผ่คลื่นวิทยุออกไป โดยผ่านบรรยากาศซึ่งเป็นตัวกลาง(medium) ซึ่งคลื่นเดินทางจากเครื่องส่งผ่านไปยังเครื่องรับ

<u>ความถี่และความยาวคลื่น</u> เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่าง ๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์(Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นเป็นไปตามสูตรดังนี้

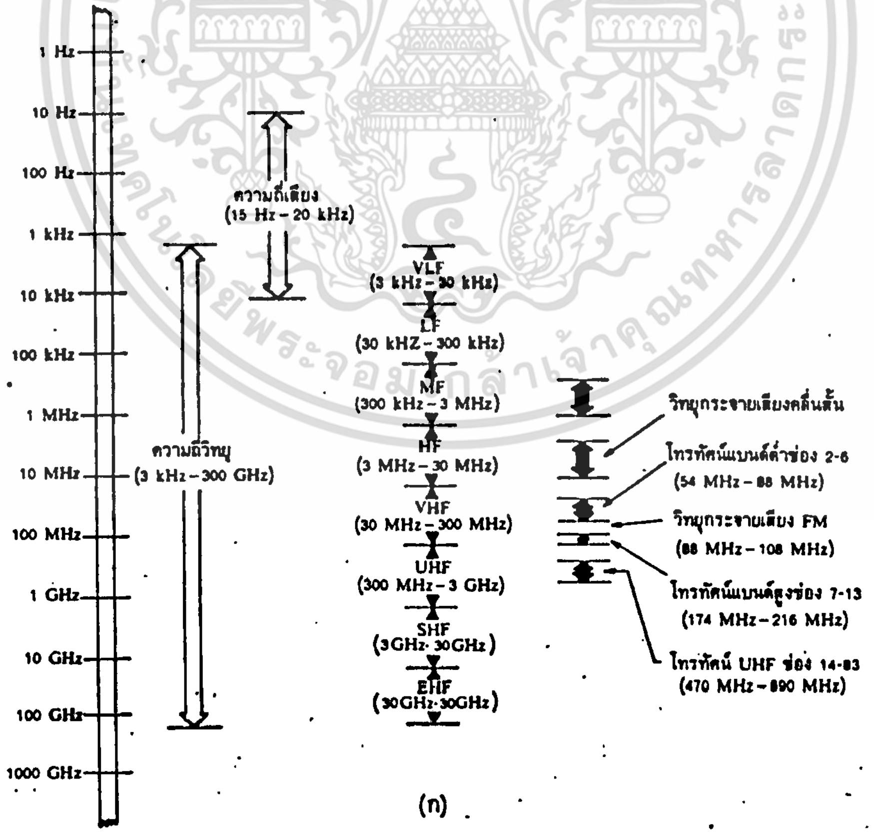
ในที่นี้ λ คือความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร

V คือความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ เท่ากับความเร็วของแสง เมตรต่อวินาที

f คือความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

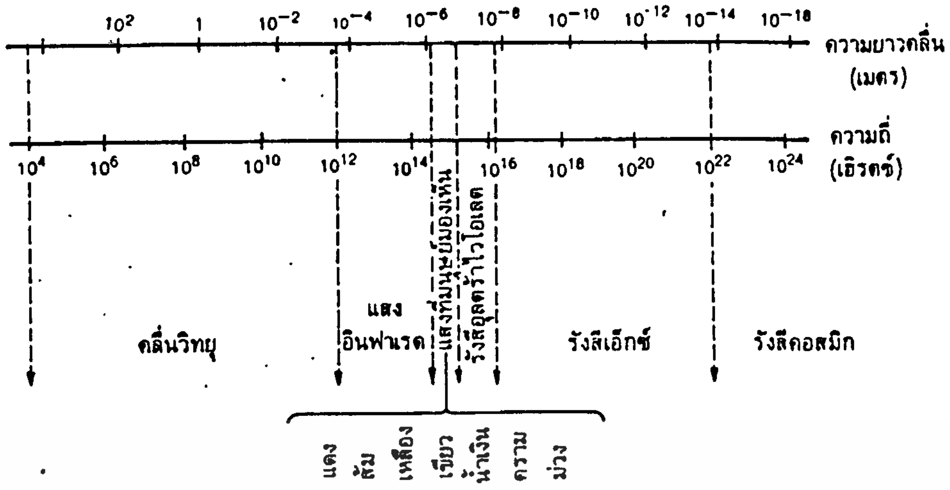
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
very low frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30	ยาวกว่า 10
low frequency (LF)	30 - 300	10 - 1
medium frequency (MF)	300 - 3000	1000 - 100
high frequency (HF)	3 - 30	100 - 10
very high frequency (VHF)	30 - 300	10 - 1
ultra high frequency (UHF)	300 - 3000	100 - 10
super high frequency (SHF)	3 - 30	10 - 1
extremely high frequency (EHF)	30 - 300	10 - 1



รูปที่ 1.22 การแบ่งสเปกตรัมความถี่ของคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 1.22 (ต่อ) การแบ่งสเปกตรัมความถี่ของคลื่นวิทยุ

ตารางที่ 1.4 ตัวอย่างการใช้งานความถี่ในกิจการสื่อสารต่าง ๆ

ย่านความถี่	ตัวอย่างการใช้งานในกิจการสื่อสาร
VLF	โทรเลข โซนาร์
LF	วิทยุนำร่อง โทรพิมพ์ โทรเลข
MF	วิทยุกระจายเสียง การสื่อสารระยะปานกลาง
HF	การสื่อสารระยะไกล วิทยุกระจายเสียง
VHF	วิทยุกระจายเสียง การแพร่ภาพโทรทัศน์ การสื่อสารระยะใกล้
UHF	การสื่อสารการบิน การสื่อสารระยะใกล้
SHF	เรดาร์ การสื่อสารไมโครเวฟ ดาวเทียม
EHF	การสื่อสารทางแสง

ความถี่วิทยุมีย่านความถี่อยู่ประมาณ 3 กิโลเฮิรตซ์ขึ้นไปจนถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ รูปที่ 1.22 แสดงสเปกตรัมความถี่ (frequency spectrum) ซึ่งแบ่งออกได้เป็นหลายย่าน ตั้งแต่ย่านความถี่ VLF 3 กิโลเฮิรตซ์ – 30 กิโลเฮิรตซ์ ถึงย่านความถี่ EHF 30 กิกะเฮิรตซ์ – 300 กิกะเฮิรตซ์ แต่ละย่านความถี่ก็มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น ย่านความถี่ MF ใช้งานเกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารภายในประเทศได้ในเวลากลางวัน ส่วนเวลากลางคืนติดต่อได้ไกลมากขึ้น วิทยุกระจายเสียง AM มีความถี่อยู่ในย่าน MF นี้ การกระจายเสียงคลื่นสั้น (short wave) มีความถี่อยู่ในย่าน HF 3 เมกะเฮิรตซ์ – 30 เมกะเฮิรตซ์ ย่านความถี่ HF นี้สามารถใช้ติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อสารได้ทั่วโลกเหมาะสมกับกิจการกระจายเสียงสากลข้ามประเทศ ย่านความถี่ที่ใช้แพร่ภาพโทรทัศน์อยู่ในย่าน VHF และ UHF

นอยส์ (noise) เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงหรือรบกวน (interfere) นอยส์ที่รับเข้ามาได้แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

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

2. นอยส์จากอวกาศ (space noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้าน ๆ ดวงในจักรวาลดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้นดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมามีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้ปรากฏออกเป็นนอยส์คงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวนอื่น ๆ อีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์ (sun spot) การลุกโชติช่วง (solar flare) ซึ่งก่อให้เกิดนอยส์เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยจักรวาลก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดนอยส์มายังโลกได้

3. นอยส์ที่เกิดขึ้นจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) ได้แก่ นอยส์จากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น พัดลมที่เป่าผม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีนอยส์จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ ฯลฯ

4. นอยส์ภายในตัวอุปกรณ์ในเครื่องรับ (internal noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือ นอยส์อุณหภูมิ (thermal noise และช็อตนอยส์ (shot noise) นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้งเรียกว่าจอห์นสันนอยส์ (Johnson noise) ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกตีฟ (active device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล (hole) เช่น ในทรานซิสเตอร์ ซึ่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

เครื่องรับ เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องส่งมาถึงเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลง และยังมีนอยส์เข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อน ๆ เช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดนอยส์หรือต่อสู้เอาชนะนอยส์ที่รบกวน สัญญาณที่รับได้จะผ่านการดีมอดเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามอดูเลตกลับมา กรรมวิธีนี้ค่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เราสามารถสื่อสารไปได้ไกลยิ่งขึ้น เราจึงจำเป็นต้องมอดูเลตสัญญาณข่าวสารลงบนพาหะดังได้อธิบายมาแล้ว วิธีมอดูเลตแบ่งออกเป็น 2 แบบที่สำคัญ คือ มอดูเลตทางแอมพลิจูด และ มอดูเลตเชิงมุม ในที่นี้จะกล่าวถึงการมอดูเลตทางแอมพลิจูดเพื่อกำเนิดสัญญาณ รวมทั้งจะได้อธิบายถึงข้อเสียของการส่งคลื่นแบบ AM ซึ่งในบางกรณีเราต้องกำจัดพาหะออกเหลือเพียงแต่ไซด์แบนด์ข้างเดียวหรือ 2 ข้าง ฉะนั้นสัญญาณ AM จึงแตกแขนงออกได้อีกหลายประเภท เช่น ซิงเกิลไซด์แบนด์(double sideband) และดับเบิ้ลไซด์แบนด์ นอกจากนี้เรายังดัดแปลงไซด์แบนด์ให้ส่งข่าวสารหลายอย่างเช่น ไซด์แบนด์ด้านต่ำส่งข่าวสารอย่างหนึ่ง ไซด์แบนด์ด้านสูงส่งข่าวสารอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งจะไม่ขอกล่าว

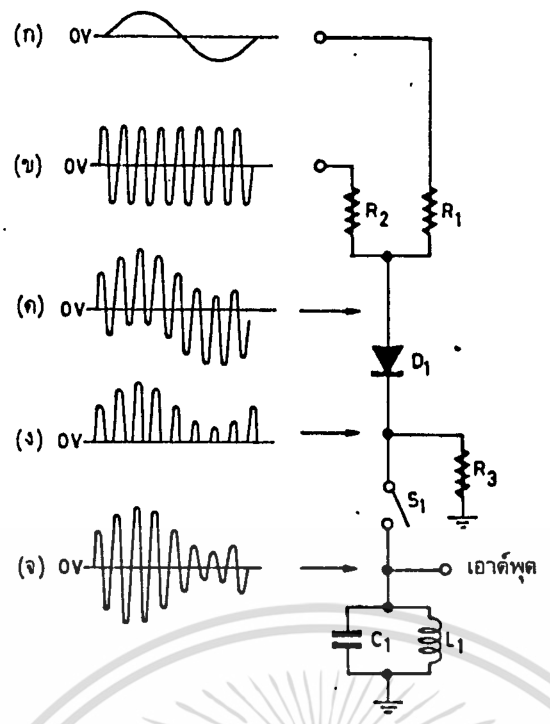
<u>วงจรมอดูเลตแบบ AM</u>

วงจรอย่างง่ายซึ่งใช้ผลิตสัญญาณ AM ในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยไดโอด สัญญาณพาหะ (ในรูปที่ 2.1 (ข)) และสัญญาณที่ใช้มอดูเลต (ในรูปที่ 2.1 (ก)) ป้อนเข้าที่ R_1 และ R_2 รวมกัน ผลรวมของสัญญาณพาหะกับสัญญาณเสียงจะปรากฏเป็นสัญญาณพาหะซ้อนอยู่บนหลังสัญญาณเสียงดังในรูปที่ 2.1 (ค) สังเกตว่าการซ้อนหลังแบบนี้มิใช่เป็นการมอดูเลตแบบ AM แต่เป็นการบวกสัญญาณเท่านั้น

สมมติ S_1 เปิดวงจร D_1 จะนำกระแสผ่าน R_3 ในช่วงเวลาที่สัญญาณเป็นบวก และ D_1 จะตัดออกในช่วงเวลาที่สัญญาณเป็นลบ สัญญาณที่ปรากฏคร่อม R_3 ย่อมมีลักษณะเป็นพัลส์บวกดังในรูปที่ 2.1 (ง) สังเกตว่าความสูง (แอมพลิจูด) ของพัลส์มีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณออดิโอ

ความจริงวงจร AM ไม่จำเป็นต้องมี S_1 แต่ในที่นี้เพิ่มไว้เพื่อใช้ในการอธิบายเท่านั้น ฉะนั้นจากไดโอดจึงต่อตรงมายังวงจรแทงค์ได้เลย ซึ่งประกอบด้วย L_1 กับ C_1 ขนานกับ R_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรมอดูเลตชนิดที่ใช้ไดโอด

ทุกครั้งที่ D_1 นำกระแส พัลส์บวกจะทำให้กระแสไหลเข้าสู่วงจรแทงค์ ซึ่งจูนไว้ตรงกับความถี่ของสัญญาณพาหะ ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ วงจรแทงค์จึงออสซิลเลต ทำให้เกิดพัลส์ลบขึ้นหลังจากพัลส์บวก ถ้าพัลส์บวกมีแอมพลิจูดสูง พัลส์ลบก็สูงด้วย และในทำนองเดียวกัน ถ้าพัลส์บวกมีค่าต่ำพัลส์ลบก็มีค่าต่ำด้วย ฉะนั้นแอมพลิจูดพัลส์ลบย่อมจะเท่า ๆ กับพัลส์บวกดังปรากฏในรูปที่ 2.1 (จ) นั่นคือเอาต์พุตของวงจรนี้เป็นคลื่น AM และมีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง

วงจรมอดูเลเตอร์นี้อาศัยหลักการผสมสัญญาณแบบนอนลิเนียร์(nonlinear mixing) นั่นคือ ทั้งสัญญาณเสียงและพาหะถูกป้อนให้ผสมกันเกิดแรงดันคร่อมความต้านทานซึ่งไม่เป็นลิเนียร์ของไดโอดผลรวมของสัญญาณทั้งสองทำให้เกิดสัญญาณผลรวมและผลต่าง สัญญาณผลรวมมีความถี่เท่ากับความถี่ของพาหะและความถี่เสียงที่เข้ามอดูเลตรวมกัน สัญญาณผลต่างมีความถี่เท่ากับความถี่ของพาหะและความถี่เสียงลบกัน เช่น สัญญาณพาหะความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์ ผสมกับสัญญาณเสียงความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์สัญญาณผลรวมจะมีความถี่เท่ากับ 110 กิโลเฮิรตซ์ (100 กิโลเฮิรตซ์ + 10 กิโลเฮิรตซ์) ส่วนสัญญาณผลต่างจะมีความถี่เท่ากับ 90 กิโลเฮิรตซ์ (100 กิโลเฮิรตซ์ − 10 กิโลเฮิรตซ์) ความถี่ของสัญญาณผลรวมพาหะและผลต่างจะอยู่ทางด้านข้าง (ข้างซ้ายและข้างขวา) ของพาหะ จึงนิยมเรียกว่าเป็นความถี่ไซด์แบนด์หรือแถบข้าง

อย่างไรก็ตามวงจรเรโซแนนซ์ซึ่งประกอบด้วย L_1 และ C_1 จูนไว้ที่ความถี่กิโลเฮิรตซ์ จะยอมให้แต่เฉพาะความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์เท่านั้นที่ผ่านไปยังเอาต์พุตได้ สัญญาณเสียงจึงถูกกรองทิ้งไป เอาต์พุตที่ได้จึงเป็นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

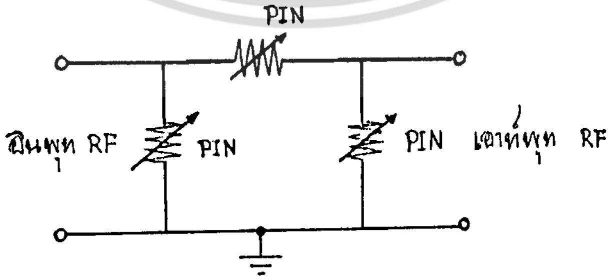
วงจร AM แบบปรับการลดทอน

วงจรมอดูเลเตอร์แบบนี้บางทีเรียกว่า มอดูเลเตอร์แบบดูดกลืน(absorption modulator) นิยมใช้ในเครื่องกำเนิดสัญญาณในย่านความถี่ VHF, UHF หรือสูงกว่านั้น วงจรมอดูเลเตอร์แบบดูดกลืนใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของไดโอด PIN ซึ่งต่อเรียงกันเป็นวงจรนี้ทำงานได้เป็นทั้งวงจรมอดูเลตแบบ AM และวงจรลดทอนปรับระดับสัญญาณ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ

ไดโอด PIN ทำด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N เชื่อมต่อกันด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด I(intrinsic) ที่ความถี่สูงกว่า100 เมกะเฮิรตซ์ ไดโอด PIN นี้จะทำงานเป็นตัวต้านทาน ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกระแสไบแอสตรง ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความต้านทานโดยการปรับกระแส

รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของวงจรลดทอนสัญญาณ ในที่นี้ตัวต้านทานแปรค่าได้ก็คือไดโอด PIN นั่นเอง เมื่อป้อนกระแสไบแอสแก่ไดโอด ความต้านทานของวงจรจะเปลี่ยนแปลงและทำให้ปริมาณการลดทอนเปลี่ยนแปลงด้วย ฉะนั้นเราจึงสามารถปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่วิทยุ(radio frequency) หรือเรียกย่อว่า RF) ที่ป้อนเข้าที่อินพุตได้โดยการปรับกระแสไบแอส DC ในทำนองเดียวกันถ้าเราใช้สัญญาณเสียงขี่ (superimpose) บนแรงดันไบแอส DC สัญญาณ RF ก็จะถูกมอดูเลตแบบ AM

อย่างไรก็ตามในกรณีที่มอดูเลตเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ยอดของสัญญาณ จะต้องเป็น 2 เท่าของพาหะ ฉะนั้นวงจรลดทอนจะต้องตั้งระดับลดทอนไว้ที่กึ่งกลางเพื่อทำให้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดลดลงหรือเพิ่มได้ ประสิทธิภาพของวงจรมอดูเลเตอร์แบบดูดกลืนนี้มีค่าต่ำมากแต่ก็ไม่เป็นผลเสีย เพราะเรานิยมใช้ประโยชน์วงจรนี้ที่ระดับกำลังต่ำ ๆ อยู่แล้ว



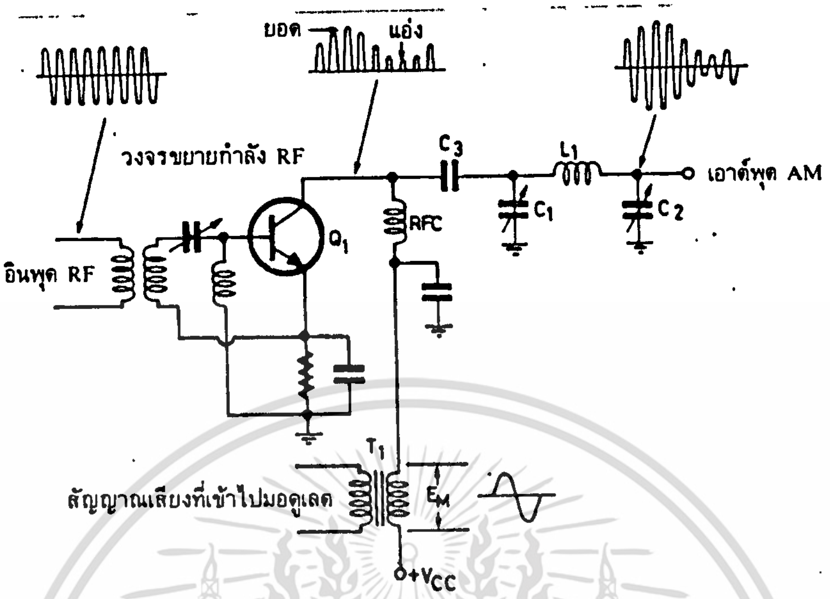
รูปที่ 2.2 วงจรมอดูเลเตอร์แบบดูดกลืนใช้ไดโอด PIN

วงจร AM แบบมอดูเลตที่คอลเลกเตอร์

วิธีการมอดูเลตที่นิยมมากที่สุดก็คือ มอดูเลตที่คอลเลกเตอร์ (ในกรณีใช้ทรานซิสเตอร์ แต่ถ้าใช้วงจรหลอดสุญญากาศ ก็นิยมมอดูเลตที่เพลต) โดยการป้อนสัญญาณเข้ามอดูเลตทางขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลเลกเตอร์ซึ่งต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ (ซัพพาย)



รูปที่ 2.3 วงจรคอลเลกเตอร์มอดูเลเตอร์

ในรูปที่ 2.3 เป็นวงจรขยาย RF คลาส C สังเกตว่าสัญญาณเสียงมอดูเลตถูกป้อนเข้าที่หม้อแปลง T_1 ถ้าไม่มีสัญญาณเข้ามอดูเลต แรงดันที่ขดเซคันดารีของหม้อแปลง T_1 จะเป็นศูนย์ ดังนั้น V_{cc} จะปรากฏที่คอลเลกเตอร์ของ Q_1 เมื่อมีสัญญาณเข้ามอดูเลต แรง-ดัน E_m จะเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดเซคันดารีของ T_1 ทำให้แรงดันที่คอลเลกเตอร์เป็น V_{cc} รวมกับ E_m เมื่อแรงดันทั้งสองมีเฟสเสริมกัน คอลเลกเตอร์จะมีแรงดันสูงทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ไหลมากขึ้น เอาต์พุตจะมีแอมพลิจูดโตขึ้นปรากฏเป็นยอด (peak) ของกรอบคลื่น (envelope)

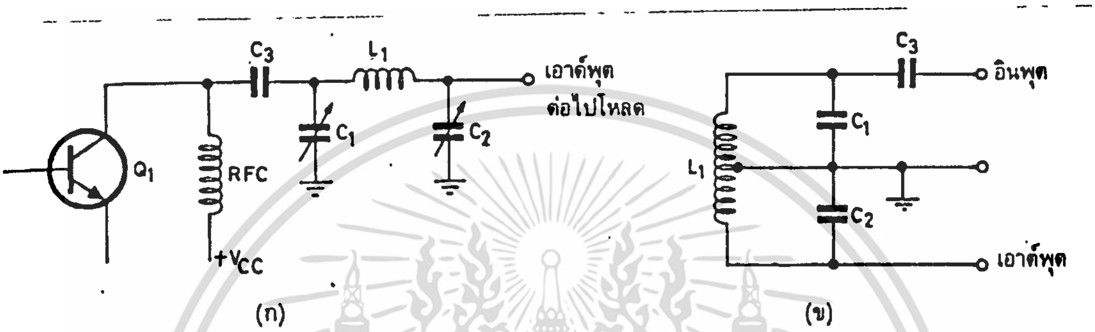
เมื่อ E_m กับ V_{cc} มีเฟสตรงกันข้าม ผลลัพธ์จะหักล้างกัน ทำให้แรงดันคอล-เลกเตอร์มีค่าลดลงกระแสคอลเลกเตอร์จึงลดลงด้วย เอาต์พุตก็จะมีแอมพลิจูดเล็กลงปรากฏเป็นแอ่ง (trough) ของกรอบคลื่น

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

ในรูปที่ 2.4 (ก) แสดงเฉพาะวงจรแทงค์ เอาต์พุตจากวงจรคอลเลกเตอร์ Q ปรากฏที่โช้ก RFC (RF choke) และต่อผ่าน C_3 เข้าวงจรแทงค์ เมื่อเราจัดวงจรรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 (ก) เขียนใหม่เป็นรูป (ข) จะเห็นว่า C_1 และ C_2 ต่อขนานกับ L_1 อยู่ เห็นเป็นวงจรแทงค์ได้ชัดเจน การปรับจูน C_1 กับ C_2 จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงได้ สังเกตว่า อินพุตต่อเข้าที่ C_1 และเอาต์พุตต่อออกจาก C_2 การปรับค่า C_1 กับ C_2 เป็นการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจร Q_1 กับโหลดไปในตัวด้วย ฉะนั้นวงจรนี้ทำหน้าที่เป็นทั้งวงจรฟิลเตอร์ชนิดความถี่ต่ำผ่านหรือโลพาสฟิลเตอร์ <LPF> เพื่อกรองฮาร์มอนิกทิ้งไปเป็นวงจรเรโซแนนซ์ (แทงค์) และเป็นวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้วย

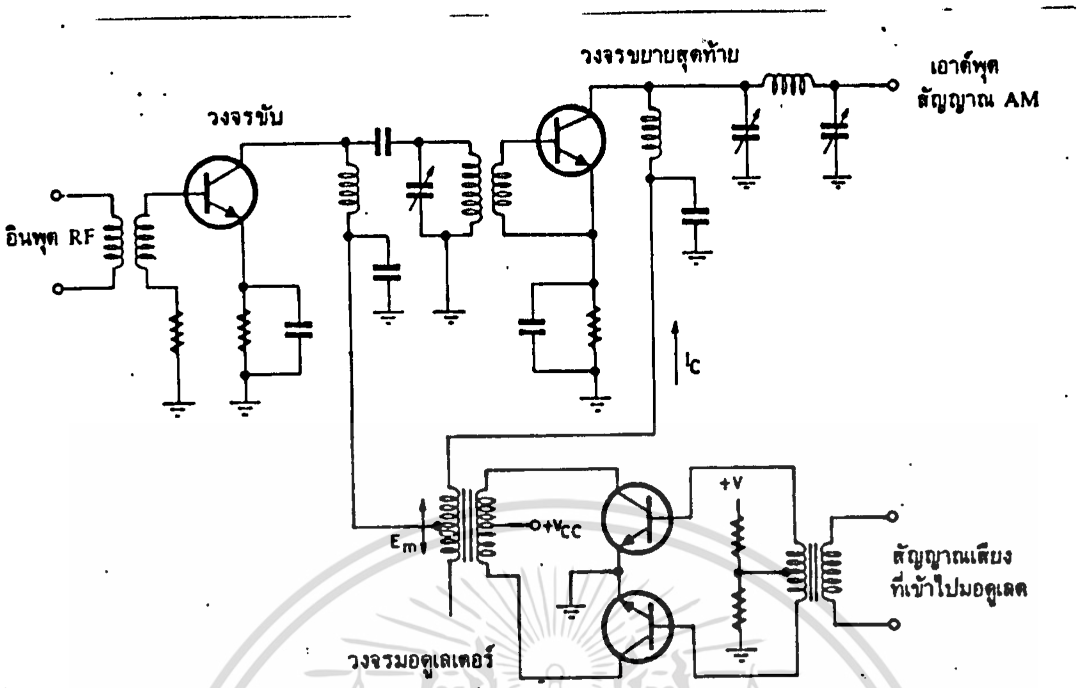


รูปที่ 2.4 วงจรแทงค์รูป π ซึ่งเป็นเอาต์พุตของมอดูเลเตอร์

อุปสรรคของวงจรคอลเลกเตอร์มอดูเลเตอร์ (มอดูเลตที่คอลเลกเตอร์) ในรูปที่ 2.3 ก็คือ ไม่สามารถมอดูเลตให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์เต็มที่ เพราะทรานซิสเตอร์อิ่มตัวเสียก่อนที่สัญญาณ AM จะขึ้นไปถึงยอดและในช่วงแองของกรอบคลื่น สัญญาณ RF สามารถหลุดลอดผ่านความจุระหว่างรอยต่อ <junction> เบสคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ได้ ทำให้เอาต์พุต AM ไม่เป็นศูนย์ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการมอดูเลตทั้งในวงจรขับและวงจรสุดท้ายพร้อมกัน ดังรูปที่ 2.5 การมอดูเลตที่วงจรขับจะต้องเร่งแรงขับขึ้นอีก เพื่อให้มอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงแองการขับจะต้องลดลงอีกเพื่อป้องกัน RF หลุดผ่านออกมา

สังเกตว่า วงจรมอดูเลเตอร์ในรูปที่ 2.5 เป็นวงจรขยายเสียงแบบพุชพูล(push pull) ซึ่งจะต้องใช้กำลังอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของกำลังพาหะในการมอดูเลต ดังนั้นวงจรขยายเสียงต้องใช้กำลังมาก จึงจำเป็นต้องใช้วงจรพุชพูลซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การมอดูเลตที่คอลเลกเตอร์โดยมอดูเลตทั้งภาคขับและภาคสุดท้าย

ขอให้พิจารณาตัวอย่างเกี่ยวกับการคำนวณกำลังของสัญญาณต่อไปนี้ (พิจารณาเฉพาะวงจรสุดท้าย) สมมติว่า V_{cc} เท่ากับ 28 โวลต์ และ I_c เท่ากับ 1 แอมป์ กำลัง DC ที่ป้อนให้วงจรจะเท่ากับ

$$P_{IN} = V_{cc} \times I_c$$

$$= 28V \times 1A = 28W$$

อิมพีแดนซ์ของวงจรคอลเลกเตอร์ คำนวณได้จาก

$$Z_c = \frac{V_{cc}}{I_c}$$

$$= \frac{28V}{1A} = 28\Omega$$

ค่าอิมพีแดนซ์นี้เป็นโหลดที่วงจรขยายเสียงพุชพูล จะต้องป้อนกำลังให้ในการมอดูเลต

การที่จะมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ แรงดันสัญญาณเสียงสูงสุดรวมกับ V_{cc} จะต้องได้ 2 เท่าของ V_{cc} เพื่อให้ได้ยอดของกรอบสูงสุดและแอ่งของกรอบเป็นศูนย์ เนื่องจาก V_{cc} เท่ากับ 28 โวลต์ การมอดูเลตจะต้องป้อนให้ได้สูงสุด 28 โวลต์ที่ขดเซคันดารีของหม้อแปลงแรงดันมอดูเลตนี้จะต้องป้อนแก่อิมพีแดนซ์ของวงจรคอลเลกเตอร์ 28 โอห์ม เราสามารถคำนวณกำลังได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{E^2}{R}$$

$$= \frac{(28 \times 0.707V)^2}{28\Omega} = 14W$$

ตัวคูณ 0.707 เป็นตัวคูณแปลงค่ายอดสูงสุด เป็นค่า RMS ของแรงดันมอดูเลต E_m

นั่นคือ ต้องใช้สัญญาณมอดูเลตที่มีกำลัง 14 วัตต์ เพื่อให้เกิดมอดูเลชั่น 100 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรขยาย

จากตัวเลขที่คำนวณได้ข้างต้นนี้ เรานำมาคำนวณค่ากำลังของพาหะและกำลังของไซด์แบนด์ได้ดังนี้ สมมติว่าประสิทธิภาพของวงจรสุดท้าย (E_{FF}) เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ กำลังพาหะจะเท่ากับ

$$P_{OUT} = P_{IN} \times E_{FF}\%$$

$$= 28W \times 75\%$$

$$= 28 \times 0.75 = 21 W$$

ที่มอดูเลชั่น 100 เปอร์เซ็นต์ วงจรมอดูเลเตอร์ป้อนมา 14 วัตต์ให้แก่วงจรสุดท้าย กำลังของสัญญาณมอดูเลตที่ปรากฏที่เอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของวงจรสุดท้ายด้วย

$$\therefore P_{OUT} = P_{IN} \times E_{FF}\%$$

$$= 14W \times 0.75 = 10.5 W$$

สรุปได้ว่า กำลังที่ปรากฏที่เอาต์พุตทั้งสิ้น 21 วัตต์ จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ครึ่งหนึ่งเป็นกำลังไซด์แบนด์ 10.5 วัตต์ อีกครึ่งหนึ่งเป็นกำลังพาหะ 10.5 วัตต์

การคำนวณค่ากำลังที่เข้ามอดูเลต (หรือกำลังของไซด์แบนด์) ที่เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตต่าง ๆ หาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_m = \frac{m^2 P_c}{2}$$

ในที่นี้ P_m คือกำลังของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต หรือกำลังของไซด์แบนด์

m คือเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

P_c คือกำลังของพาหะ

<u>ตัวอย่างที่ 2.1</u> สมมติกำลังพาหะเท่ากับ 100 มอดูเลตเพียง 50% กำลังของไซด์แบนด์จะมีค่าเท่ากับ

$$P_m = \frac{(0.5)^2 \times 100W}{2}$$

$$= 12.5 W$$

นั่นคือไซด์แบนด์ 2 ข้างมีกำลัง 12.5 แต่ละข้างจะมีกำลัง 6.25 ตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

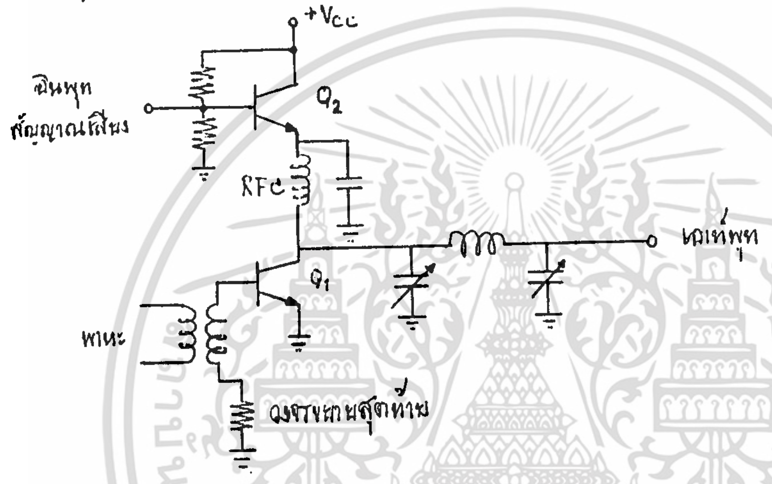
<u>ตัวอย่างที่ 2.2</u> สมมติกำลังของวงจร RF เป็น 1000 W มอดูเลตที่ 80% หาค่ากำลังที่มอดูเลทได้ดังนี้

$$P_m = \frac{(0.8)^2 \times 100\,W}{2}$$

$$= 320\ W$$

<u>วงจร AM แบบมอดูเลตโดยต่ออนุกรม (แบบที่ 1)</u>

ข้อเสียของการมอดูเลตที่คอลเลกเตอร์คือ ใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่ซึ่งมีราคาแพง และเป็นเหตุให้เกิดความเพี้ยน วิธีการแก้ปัญหานี้เราทำได้โดยการใช้ทรานซิสเตอร์แทนหม้อแปลง



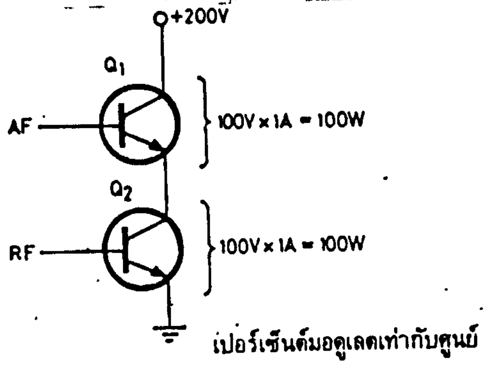
รูปที่ 2.6 วงจรมอดูเลทแบบอนุกรม

หลักการของมอดูเลเตอร์โดยต่ออนุกรม (series modulator) คือ เอาทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาต่ออนุกรมกัน (รูปที่ 2.6) Q_1 เป็นวงจรสุดท้าย ควบคุมการมอดูเลตที่ Q_2 ถ้ากระแสที่ไหลใน Q_2 เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เอาท์พุทของ Q_1 สูงขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกันถ้ากระแสใน Q_2 ลดลง Q_1 ก็จะทำให้เอาท์พุทน้อยลงฉะนั้นวงจรมอดูเลเตอร์ Q_2 ก็จะมอดูเลต (แบบ AM) บนสัญญาณพาหะ RF ที่ป้อนเข้ามาที่อินพุทของ Q_1 สังเกตว่าสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตต่อเข้าสู่ Q_2 โดยตรง (direct) โดยปราศจากหม้อแปลง ทำให้มีความเพี้ยนต่ำมาก

อย่างไรก็ตามการมอดูเลตโดยต่ออนุกรมเช่นนี้มีข้อเสียที่สำคัญคือ ประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากในขณะมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์เต็มที่แรงดันในวงจรสุดท้ายจะต้องเป็น 2 เท่า เช่น เมื่อแรงดันคอลเลกเตอร์เป็น 100 โวลต์ กระแสเป็น 1 แอมแปร์ กำลังอินพุทจะเท่ากับ 100 วัตต์ × 1 แอมแปร์ = 100 วัตต์ เมื่อมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ แรงดันจะต้องเพิ่มถึง 200 โวลต์ แต่เมื่อหยุดมอดูเลตหรือ 0 เปอร์เซ็นต์ แรงดันยังคงเป็น 100 โวลต์ ดูรูปที่ 2.7 นั่นคือ แม้จะไม่มีการมอดูเลตก็ยังมีการสูญเสียกำลังไปเปล่า ๆ เปรียบเทียบกับการมอดูเลตที่คอลเลกเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากถ้าเราหยุดมอดูเลต หรือ 0 เปอร์เซ็นต์จะไม่มีแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงเลย



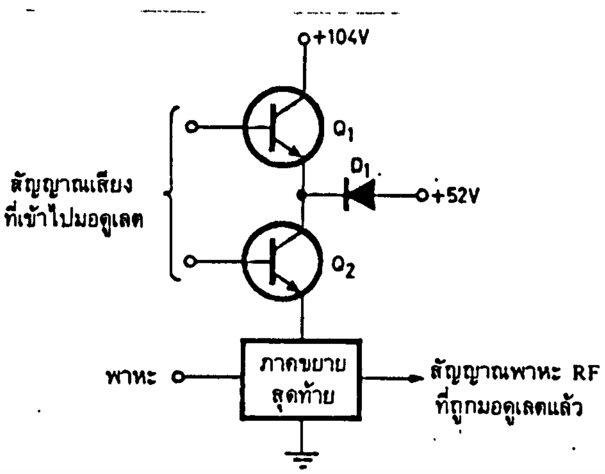
รูปที่ 2.7 การกระจายกำลังของทรานซิสเตอร์ในกรณีที่ไม่มีการมอดูเลต (เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์)

วงจร AM แบบมอดูเลตโดยต่ออนุกรม (แบบที่ 2)

ปัญหาของประสิทธิภาพของวงจรมอดูเลตโดยต่ออนุกรมอย่างธรรมดา สามารถแก้ไขโดยปรับปรุงการต่ออนุกรมเป็นดังรูปที่ 2.8 สังเกตว่าสัญญาณเสียงเข้ามามอดูเลตแบบต่อโดยตรงเช่นเดียวกัน ในวงจรนี้มอดูเลเตอร์ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และมีแหล่งจ่าย 2 แหล่ง ซึ่งมีสวิตซ์พิเศษในการเลือกใช้แหล่งจ่ายในสภาวะมอดูเลต 0 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแอ่งของกรอบ Q_1 จะ OFF และไฟ 104 โวลต์จะถูกตัดการมอดูเลต Q_2 จะอิ่มตัว Q_1 จะ ON D_1 จะถูกไบแอสกลับทาง แหล่งจ่าย 52 โวลต์ จะถูกตัดออกไปฉะนั้น Q_1 จะเป็นมอดูเลเตอร์ควบคุมกระแสและแรงดันที่ป้อนให้แก่วงจรสุดท้ายแทน ทำให้เมื่อมอดูเล-เตอร์ควบคุมกระแสและแรงดันที่ป้อนให้แก่วงจรสุดท้ายแทน ทำให้เมื่อมอดูเลเต็มที่แรงดันจากแหล่งจ่ายจะต่อมาให้ถึง 104 โวลต์

ข้อดีของวงจรก็คือ ในสภาวะที่มีแต่พาหะหรือมอดูเลต 0 เปอร์เซ็นต์ กำลังสูญเสียคร่อมมอดูเลเตอร์มีเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก Q_1 OFF แต่ Q_2 จะ ON และอิ่มตัว แรงดันคร่อม Q_2 จะมีค่าน้อยประมาณ 2 โวลต์ แรงดันที่ป้อนให้วงจรสุดท้ายจะเท่ากับ 50 โวลต์ ดังนั้นในสภาวะมอดูเลต 0 เปอร์เซ็นต์ แรงดันป้อนวงจรสุดท้ายจะเป็น 50 โวลต์ สมมติว่ากระแสไหล 2 แอมป์ กำลังอินพุตจะเท่ากับ 50 โวลต์ × 2 แอมป์ = 100 วัตต์ กำลังคร่อมมอดูเลต Q_2 จะเท่ากับ 2 โวลต์ × 2 แอมป์ = 4 วัตต์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับวงจรมอดูเลเตอร์ต่ออนุกรมแบบธรรมดา แม้วงจรนี้จะซับซ้อนขึ้นเล็กน้อยแต่ก็ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าและสัญญาณเสียงป้อนเข้าวงจรมอดูเลเตอร์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.8 การมอดูเลตโดยต่ออนุกรมซึ่งปรับปรุงใหม่
เพื่อลดกำลังสูญเสียในสภาวะที่ไม่มีการมอดูเลต**

การมอดูเลตแบบ AM ไร้พาหะ

การมอดูเลตแบบ AM ที่อธิบายตอนต้นเรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ AM ธรรมดา ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกไปมีทั้งไซด์แบนด์ 2 ข้างกับพาหะครบถ้วน การมอดูเลตแบบ AM อีกแบบหนึ่งเป็นการมอดูเลตแบบ AM เช่นกัน แต่กำจัด(suppress) พาหะออกไป เรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ AM ไร้พาหะ หรือ AMSC

การส่งแบบ AM ธรรมดาแม้จะมีข้อดีตรงที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสียหลายประการ ที่สำคัญคือ

1. กำลังส่วนใหญ่ในระบบ AM อยู่ในคลื่นพาหะ กำลังส่วนนี้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะข่าวสารทั้งหมดอยู่ในคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง (ในคลื่นพาหะไม่มีข่าวสารปนอยู่เลย)

2. แบนด์วิดท์ของคลื่น AM ที่ส่งออกอากาศกว้างเป็นสองเท่าของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสาร

3. คลื่นไซด์แบนด์และพาหะ จะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและเฟสที่ถูกต้อง ซึ่งค่อนข้างทำได้ยากในบางสภาวะ

กำลังของคลื่นพาหะ

สมมติว่า เครื่องส่ง AM ธรรมดามีกำลังส่งออกอากาศ 100 วัตต์ในขณะที่ยังไม่มีการมอดูเลตกำลัง 100 วัตต์นี้จะอยู่ในคลื่นพาหะ เมื่อสัญญาณข่าวสารมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ กำลังส่งออกอากาศจะกลายเป็น 150 วัตต์ สังเกตว่าเครื่องส่งยังคงส่งกำลังของคลื่นพาหะ 100 วัตต์เท่าเดิม แต่กำลังส่งอีก 50 วัตต์นั้น เป็นกำลังส่งของคลื่นไซด์แบนด์ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังส่งของคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองข้างเท่ากัน แต่ละไซด์แบนด์จึงมีกำลังส่งเท่ากับ 25 วัตต์ นอก นอกจากนี้ในกรณีที่มอดูเลตไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ กำลังส่งของคลื่นไซด์แบนด์ก็จะไม่ถึง 25 วัตต์

จะเห็นว่าคลื่นพาหะนั้นมีความถี่และแอมพลิจูดไม่เปลี่ยนแปลง จึงไม่มีข่าวสารใด ๆ ปน อยู่เลย ข่าวสารทั้งหลายส่งไปในคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสิ้น คลื่นพาหะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นคลื่นไซด์แบนด์ความถี่สูงและช่วยคืนตัวสัญญาณเสียงกลับมาในตอนดีมอด หรือดีเทก นอกจากใช้ในการมอดูเลตและดีมอดแล้ว คลื่นพาหะก็ไม่มีประโยชน์ใดเลย ฉะนั้นในระบบการส่งแบบ AM ธรรมดากำลังส่งอย่างน้อย 2 ใน 3 ต้องสูญเสียไปในคลื่นพาหะซึ่งไม่มีข่าวสารปนอยู่เลย (คำนวณมาจากกำลังพาหะมี 100 วัตต์ในกำลังส่งทั้งสิ้น 150 วัตต์ ในการมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์)

แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM จะกว้างหรือแคบนั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณเสียง(ข่าวสาร) เช่น คลื่นพาหะ 600 กิโลเฮิรตซ์ ถูกมอดูเลตแบบ AM ด้วยสัญญาณเสียง 5 กิโลเฮิรตซ์ ย่อมก่อให้เกิดคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองข้างของคลื่นพาหะ 600 กิโลเฮิรตซ์ คือ ไซด์แบนด์ 595 กิโล-เฮิรตซ์ และไซด์แบนด์ 605 กิโลเฮิรตซ์ ในระบบ AM เราส่งคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองไปพร้อมกัน ฉะนั้นต้องใช้แบนด์วิดท์เท่ากับ 605 กิโลเฮิรตซ์ - 595 กิโลเฮิรตซ์ = 10 กิโลเฮิรตซ์ คิดเป็น 2 เท่าของความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต (หรือสัญญาณเสียง) หรือ 2 × 5 กิโลเฮิรตซ์นั่นเอง

เมื่อความถี่ของสัญญาณเสียงที่มอดูเลตเปลี่ยนแปลง ความถี่ของคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย และเมื่อแอมพลิจูด ของสัญญาณที่มอดูเลตเปลี่ยนแปลง กำลังของคลื่นไซด์แบนด์ ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ทั้งนี้คลื่นพาหะยังคงมีกำลังและความถี่เท่าเดิมอยู่ตลอดเวลา จะเห็นว่าข่าวสารปะปนอยู่ในคลื่นไซด์แบนด์เท่านั้น ไม่ได้ปนอยู่ในคลื่นพาหะเลย และข่าวสารที่ปนอยู่ในไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) และในไซด์แบนด์ด้านสูง (USB) ก็เป็นข่าวสารตัวเดียวกัน ฉะนั้นถ้าหากเราทราบค่าความถี่ของคลื่นไซด์แบนด์และคลื่นพาหะ เราก็จะสามารถทราบค่าความถี่ของข่าวสารที่มอดูเลตได้ สรุปได้ว่าในระบบ AM แบนด์วิดท์ที่ใช้งานกว้างเกินความจำเป็นเพราะเราใช้เพียงครึ่งเดียวก็พอ

ปัญหาการแผ่กระจายคลื่น

ที่เครื่องรับ สัญญาณ AM ที่รับได้ จะต้องประกอบด้วยพาหะและไซด์แบนด์ทั้งคู่แต่ในทางปฏิบัติการแผ่กระจายคลื่นอาจเกิดการผิดพลาด เนื่องจากสิ่งแวดล้อมระหว่างเส้นทางจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับทำให้คลื่นพาหะและคลื่นไซด์แบนด์ได้รับผลกระทบกระเทือน(ทางเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

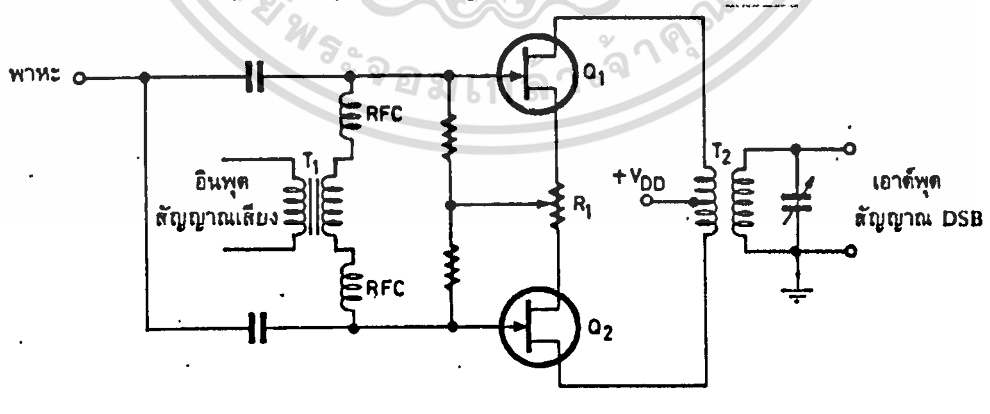
และแอมพลิจูด) ไม่เหมือนกัน เพราะว่าความถี่ทั้งพาหะและแต่ละไซด์แบนด์มีค่าไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้สัญญาณ AM แบบธรรมดามักจะเกิดปรากฏการณ์เฟดดิ้ง<fading> และถูกรบกวน <interference> ได้ง่ายในกรณีที่สภาวะการแผ่กระจายเสียงไม่ดี

<u>บาลานซ์มอดูเลเตอร์</u>

เนื่องจากในระบบ AM ไม่มีข่าวสารปนอยู่ในคลื่นพาหะ เราจึงสามารถกำจัดหรือเอาคลื่นพาหะออกก่อนที่จะทำการส่งออกอากาศ วงจรที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า วงจรบาลานซ์มอดูเลเตอร์<balanced modulator> หรือเขียนย่อว่า BM) วงจร BM นี้จะผสมสัญญาณพาหะและผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมเฉพาะไซด์แบนด์เท่านั้นที่ผ่านไปยังเอาต์พุตได้สัญญาณที่ได้จากวงจร BM เรียกว่า สัญญาณ AMDSBSC (ย่อมาจาก amplitude modulate, double sideband , suppressed carrier)

วงจร BM มีอยู่หลายแบบ แต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียประจำตัวของมัน ต่อไปเราจะพิจารณาวงจรแบบต่าง ๆ

<u>BM ชนิดใช้ FET</u> คู่ รูปที่ 2.9 แสดงวงจร BM อย่างง่าย อินพุต RF ป้อนเข้าที่เกตของ Q_1 และ Q_2 พร้อม ๆ กัน (เฟสตรงกัน) ทำให้กระแสเดรน<drain> ไหลผ่านขดไพรมารี่ของหม้อแปลง T_2 ทำให้เอาต์พุตเนื่องจากสัญญาณ RF หักล้างกัน คลื่นพาหะ RF จึงเป็นศูนย์ โพเทนซิโอมิเตอร์ R_1 เป็นตัวปรับสมดุล<balance> เพื่อชดเชยผลแตกต่างระหว่างทั้งสอง วิธีปรับ R_1 ให้วัดเอาต์พุต RF (ขณะไม่ป้อนสัญญาณเสียง) แล้วค่อย ๆ ปรับ R_1 จนกระทั่งเอาต์พุตลดต่ำสุดหรือเป็นศูนย์



รูปที่ 2.9 บาลานซ์มอดูเลเตอร์ ใช้ FET คู่

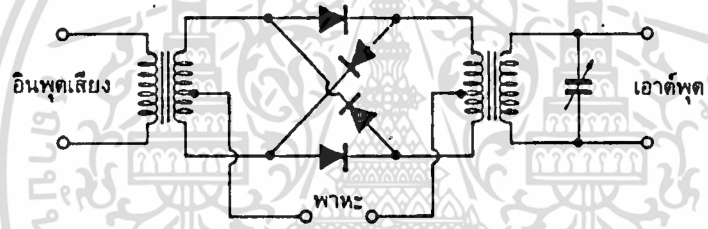
เมื่อป้อนสัญญาณเสียงผ่านหม้อแปลง T_1 เข้าสู่เกตของ Q_1 และ Q_2 สัญญาณที่เกต Q_1 จะมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณที่เกต Q_2 ฉะนั้นสัญญาณเสียงจะมองเห็นวงจร BM ทำงานแบบพุชพูล การผสมกันระหว่างสัญญาณเสียงและสัญญาณพาหะ RF ยังเกิดขึ้นที่ FET แต่ละตัว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซด์แบนด์ผลลัพธ์ซึ่งปรากฏคร่อมขณะไพรมารี่ ทำให้ไม่มีเอาต์พุต สำหรับสัญญาณเสียงนั้นถูกกรองทิ้งไปเพราะวงจรแทงค์ (หม้อแปลง RF กับ C ปรับค่าได้) จูนไว้ที่ความถี่พาหะ เอาต์พุตที่ปรากฏจึงเป็นสัญญาณ AMDSBSC

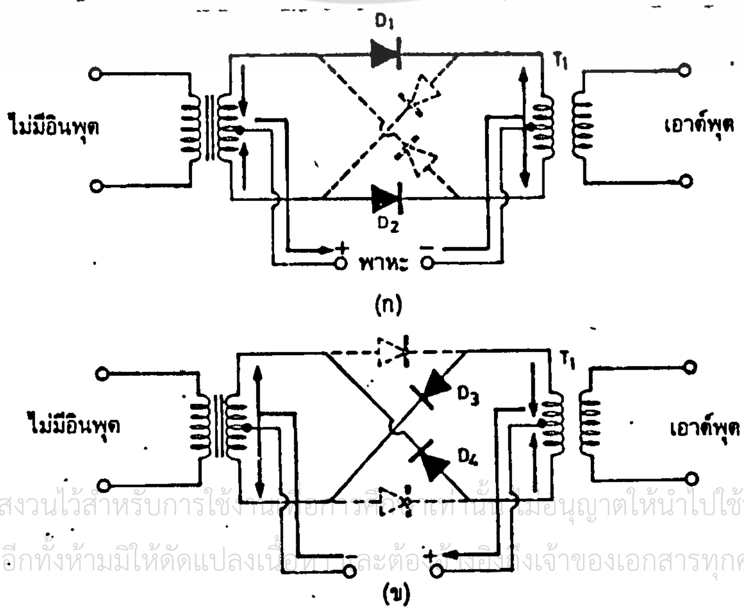
อย่างไรก็ตามสัญญาณพาหะอาจเล็ดลอดไปสู่เอาต์พุตได้ เมื่อ FET ทั้งคู่มีลักษณะสมบัติ<characteristic> แตกต่างกัน (เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าไม่แมตช์กัน) เราสามารถปรับสมดุลได้ที่ R_1 นอกจากนี้เราอาจจะปรับจุดกลาง<center tap> ของหม้อแปลง T_2 ด้วยก็ได้ในทางปฏิบัติ วงจร BM ชนิดนี้กำจัดพาหะออกไปได้ถึง 60 เดซิเบล ต่ำกว่าสัญญาณไซด์แบนด์

<u>BM ชนิดใช้ไดโอดต่อเป็นวง</u> วงจร BM ชนิดไดโอดต่อกันเป็นวง<ring> นี้บางทีเรียกว่า ริงมอดูเลเตอร์<ring modulator> รูปที่ 2.10 ไดโอดทั้ง 4 ตัว จะต้องเลือกให้แมตช์กันเพื่อให้กำจัดพาหะได้หมดสิ้น



รูปที่ 2.10 ริงบาลานซ์มอดูเลเตอร์

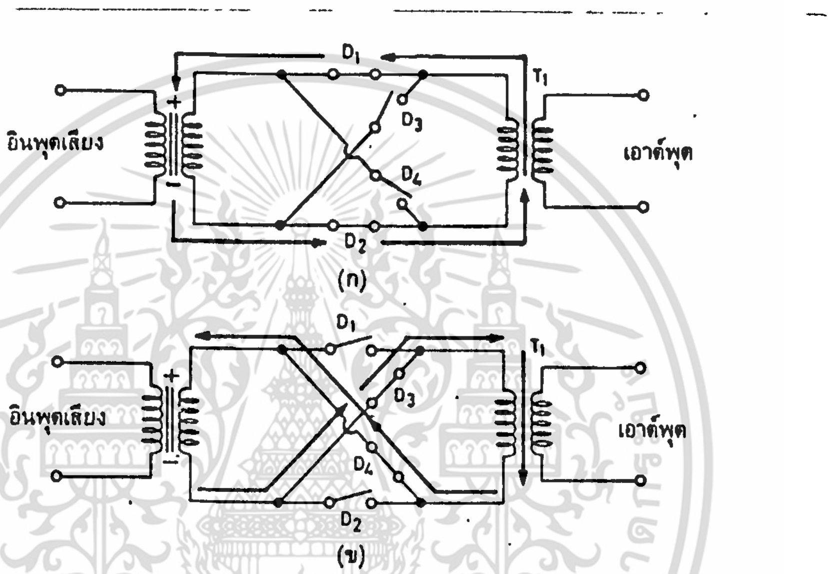
รูปที่ 2.11 (ก) แสดงการทำงานของวงจร เมื่อมีสัญญาณ (กระแส) RF ตามทิศทางที่แสดงไว้ D_1 กับ D_2 ก็จะนำกระแสไหลสวนทางกันในหม้อแปลง T_1 ทำให้ไม่มีเอาต์พุต เมื่อกระแส RF กลับขั้ว D_3 กับ D_4 นำกระแส กระแส RF ก็ยังไหลสวนทางกันในหม้อแปลง T_1 อีก ดังรูปที่ 2.11 (ข) เอาต์พุตก็เป็นศูนย์



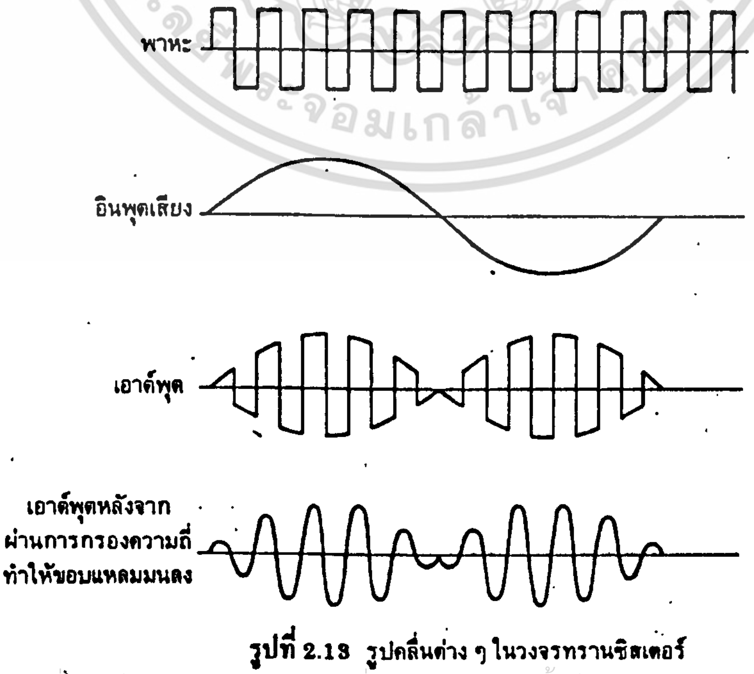
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของริงมอดูเลเตอร์ (ในสภาวะที่ป้อน RF อย่างเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนสัญญาณเสียง (รูปที่ 2.12 (ก)) ไดโอด D_1 กับ D_2 จะนำกระแสตามสัญญาณ RF (ในที่นี้เราได้ละเว้นสัญญาณ RF ออกไปเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น และไดโอดเขียนขึ้นแทนด้วยสวิตซ์ธรรมดา) สัญญาณเสียงจะไหลผ่านหม้อแปลง T_1 ตามทิศทางที่แสดงไว้ เมื่อสัญญาณ RF กลับขั้ว D_3 กับ D_4 นำกระแส (รูปที่ 2.12 (ข)) สัญญาณคร่อม T_1 ก็กลับขั้วด้วย ฉะนั้นสัญญาณเสียงที่ปรากฏที่หม้อแปลง T_1 จะกลับขั้วไปมาอยู่ตลอดเวลาตามจังหวัดของสัญญาณ RF



รูปที่ 2.12 การทำงานของริงมอดูเลเตอร์เมื่อป้อนสัญญาณออดิโอเข้าไปมอดูเลต



รูปที่ 2.13 รูปคลื่นต่าง ๆ ในวงจรทรานซิสเตอร์

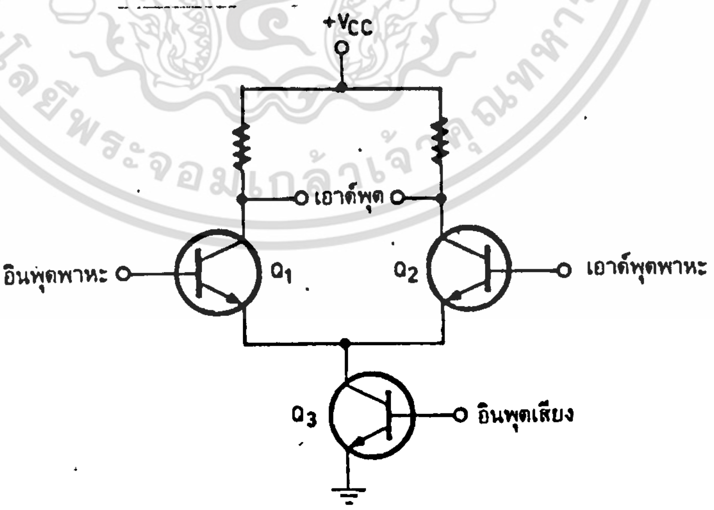
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.13 ในที่นี้เราเขียนสัญญาณเป็นรูปสี่เหลี่ยมเพื่อแสดงการสวิตซ์ของไดโอด สังเกตว่าทุกครั้งที่สัญญาณ RF เป็นลบเอาต์พุตจะสลับขั้วด้วย นอกจากนี้กรอบคลื่นของสัญญาณเอาต์พุตจะมีลักษณะด้านบนและล่าง (บวกและลบ) เหมือนภาพสะท้อนกระจกซึ่งแตกต่างจากกรอบคลื่นของสัญญาณ AF ธรรมดาสัญญาณ AMDSBSC นี้ ประกอบด้วยไซด์แบนด์ 2 ข้างเท่านั้นเพราะพาหะถูกกำจัดออกไปแล้ว

ท่านอาจจะสงสัยว่าไซด์แบนด์เกิดขึ้นได้อย่างไร ในเมื่อไดโอดก็เพียงแต่ถูกสวิตซ์ให้ ON และ OFF ธรรมดา ๆ เท่านั้น คำตอบก็คือ ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีความต้านทานไม่ลิเนียร์ การผสมสัญญาณแบบไม่ลิเนียร์จะก่อให้เกิดไซด์แบนด์ขึ้น และในกรณีนี้สัญญาณพาหะหักล้าง กันเอง จึงไม่ปรากฏที่เอาต์พุต

วงจรริงมอดูเลเตอร์นี้ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีช่วงความถี่ใช้งานกว้างและกำจัดพาหะออกได้ดียิ่ง

<u>BM ชนิดใช้ไอซี</u> วงจรอีกแบบหนึ่งที่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็น BM ก็คือ วงจรดิฟเฟอเรนเชียล (รูปที่ 2.14) Q_3 เป็นแหล่งจ่ายกระแสให้แก่ Q_1 กับ Q_2 ถ้าสัญญาณ RF ป้อนให้แก่ Q_1 และ Q_2 มีเฟสตรงกัน กระแสไหลในทรานซิสเตอร์ทั้งคู่ก็จะเท่ากัน และไม่มีแรงดันผลต่างเกิดขึ้นที่เอาต์พุต สภาวะนี้เป็นการกำจัดโหมดร่วม (common mode rejection) ของวงจร พาหะจึงหักล้างกันเองหมดไป



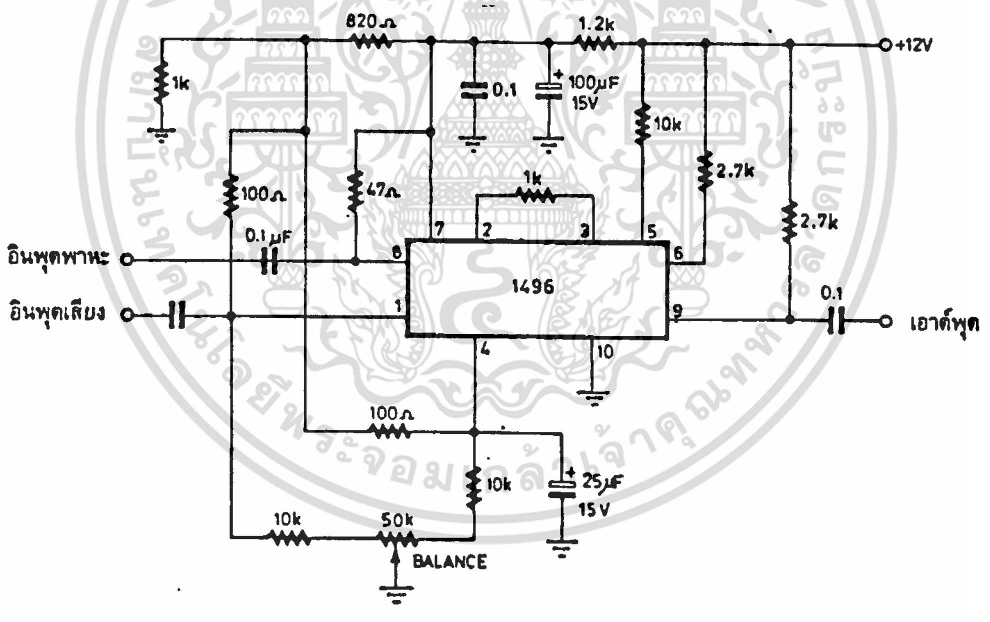
รูปที่ 2.14 บาลานซ์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้วงจรดิฟเฟอเรนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนสัญญาณเสียงที่เบสของ Q_3 สมดุลของวงจรจะเสียไป ทำให้สัญญาณเสียงและเกิดจากการผสมกันขึ้นที่ Q_1 กับ Q_2 การผสมแบบนอนลิเนียร์นี้ทำให้เกิดไซด์แบนด์ขึ้นที่เอาต์พุต อย่างไรก็ตามพาหนะก็ยังเป็นศูนย์เช่นเดิม เนื่องจากสัญญาณโหมดร่วมถูกกำจัดออกไปตามที่อธิบายมาในตอนต้น

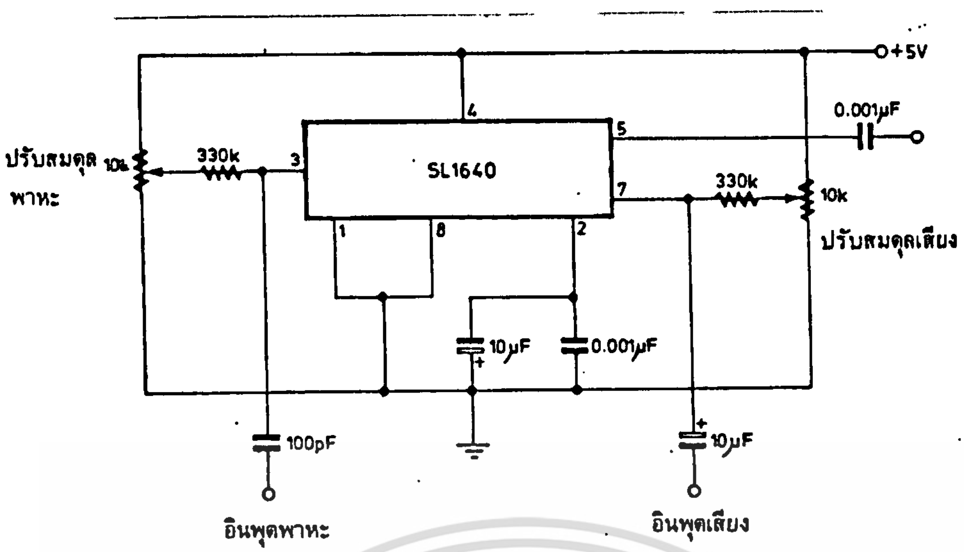
วงจรดิฟเฟอเรนเชียลที่ดีต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่แมตช์กันอย่างสนิท จึงนิยมทำเป็นไอซี ในรูปที่ 2.15 เป็นไอซีที่ออกแบบเพื่อใช้งานเป็นวงจร FM โดยเฉพาะ รูปที่ 2.19 (ก) คือ ไอซีเบอร์ 1496 ซึ่งผลิตโดยโมโตโรล่า (Motorola) เนชั่นแนล (National) และซิกเนติกซ์ (Signetics) วงจรนี้ก็ใช้หลักการวงจรดิฟเฟอเรนเชียลที่กล่าวมาแล้ว การกำจัดพาหะสูงถึง 65 เดซิเบล (ที่ความถี่ 500 กิโลเฮิรตซ์)

รูปที่ 2.15(ข) เป็นไอซีอีกเบอร์หนึ่ง ผลิตโดยเพลสซี่ (Plessey) เป็นเบอร์ 1640 ใช้หลักการดิฟเฟอเรนเชียลเช่นกัน มีข้อดีตรงที่ใช้อุปกรณ์ภายนอกน้อย กำจัดพาหะได้ 40 เดซิเบล (ที่ 30 เมกะเฮิรตซ์)



(ก) เบอร์ 1496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) เบอร์ 1640

รูปที่ 2.15 ที่ใช้เป็นบาลานซ์มอดูเลเตอร์

ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ AM ไร้พาหะ

ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ AM ธรรมดาก็คือ กำลังส่วนใหญ่อยู่ในคลื่นพาหะทั้ง ๆ ที่พาหะไม่มีข่าวสารปนอยู่เลย ส่งออกอากาศไปก็ไร้ประโยชน์ ต้องใช้วงจรบาลานซ์มอดูเลเตอร์กำจัดพาหะเสียก่อน สัญญาณที่ส่งออกอากาศไปก็จะมีแต่ไซด์แบนด์ทั้ง 2 ข้างเท่านั้น อย่างไรก็ตามสัญญาณ AMSC ก็ยังมีข้อเสีย คือ แบนด์วิดท์ยังกว้างเกินความจำเป็นและยังมีปัญหาการแผ่กระจายคลื่น เป็นที่น่าสังเกตว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณ AMSC (หรือ DSB) ก็ยังเป็น 2 เท่าของความถี่ที่มอดูเลต

การรับสัญญาณ AM ที่สมบูรณ์ ทั้งพาหะและไซด์แบนด์จะต้องรับได้เหมือนกับสัญญาณที่ส่งมา ในกรณีของระบบ AMSC มีไซด์แบนด์ส่งมาโดยปราศจากพาหะ ฉะนั้นในตอนดีมอดเราจะต้องสร้างพาหะขึ้นใหม่เพื่อเติม (reinsert) แก่วงจร พาหะที่เติมใหม่นี้จะต้องมีทั้งความถี่และเฟสตรงกับพาหะที่เครื่องส่งใช้มอดูเลต ปัญหาข้อนี้มีความสำคัญมาที่สุดในการออกแบบวงจรในระบบ AMDSBSC ระบบ AMDSBSC นี้มีใช้ในการส่งโทรทัศน์สีและการส่งระบบ FM สเตอริโอ

ข้อเสียอีกประการหนึ่งของระบบ AMSC ก็คือ การมอดูเลตมักทำที่ระดับสัญญาณต่ำ (low level modulation) ฉะนั้นก่อนส่งออกอากาศจะต้องขยายให้มีกำลังแรงขึ้น การขยายนี้เราต้องรักษาทั้งสัญญาณ RF และกรอบคลื่นสัญญาณให้คงเดิม นั่นคือต้องใช้วงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ลิเนียร์) ทำงานในคลาส B หรือ AB ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ (เทียบกับคลาส C)

ในระบบ AM ธรรมดา เรามักมอดูเลตที่ระดับสัญญาณสูง (high level modulation) คือกะมอดที่ภาคขยายกำลังภาคสุดท้าย ฉะนั้นวงจรขยายที่ใช้จึงสามารถทำงานในคลาส C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าได้อย่างไรก็ตามสัญญาณเสียงก็ยังต้องถูกขยายด้วยวงจรขยายพุชพูลคลาสซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ

สรุปแล้วระบบการส่ง AM ธรรมดาหรือ AMSC ก็มีข้อดีข้อเสียอยู่ในตัวของมันเอง แล้วแต่การเลือกใช้งาน อย่างไรก็ตามความซับซ้อนของระบบ AMDSBSC นั้น ทำให้การใช้งานจำกัดอยู่เฉพาะงานสื่อสารบางอย่าง

บทที่ 2 การทำงานวิทยุรับ-ส่ง ความถี่ 27 เมกกะเฮิรทซ์

วิทยุรับ-ส่ง ความถี่ 27 เมกกะเฮิรทซ์ โดยทั่ว ๆ ไปสามารถจะแบ่งการทำงานออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่ง (Transmitter)
2. ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องรับ (Receiver)

เครื่องส่ง (Transmitter)

จุดมุ่งหมายของการส่ง เพื่อจะทำการผสมคลื่นสัญญาณพาห์ (Carrier) ความถี่สูง ด้วยข่าวสารต่าง ๆ เช่น เสียงดนตรี คำพูด ข้อมูล สัญญาณภาพ ฯลฯ เพื่อว่าข่าวสารสามารถจะส่งไปอย่างมีประสิทธิภาพจนถึงเครื่องรับ เครื่องส่งจะต้องมีกำลังส่งที่เพียงพอที่จะเอาชนะสัญญาณรบกวนใด ๆ ที่บริเวณการรับนั้น ๆ จึงจำเป็นจะต้องมีความถี่ที่เที่ยงตรง และสัญญาณที่ส่งต้องมีขอบเขตอยู่ในความกว้างของแถบคลื่น (Bandwidth) ที่ได้กำหนดไว้ สัญญาณพาห์ซึ่งถูกผสมคลื่นพร้อมที่จะป้อนออกสู่สายอากาศจะต้องแทนข่าวสารที่ป้อนเข้ามาอย่างถูกต้อง นั่นคือ การตอบสนองทางด้านขนาด (Amplitude) ทางเฟส (Phase) และการผิดเพี้ยนในระบบ (Intermodulation Distortion) จะต้องมีการพิจารณาในทุก ๆ จุดของเครื่องส่ง

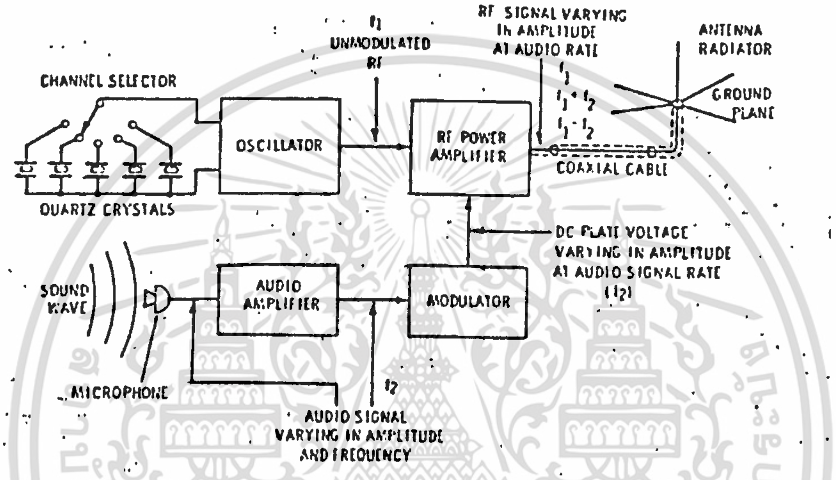
การเลือกความถี่และการควบคุมความถี่ (Frequency Selection and Control)

สำหรับวิทยุรับ-ส่ง ซีบี จะต้องใช้ภาคออสซิลเลเตอร์ซึ่งมีหน้าที่ผลิตความถี่ออกมาใช้งาน อย่างน้อยที่สุด 2 ชุด ชุดที่หนึ่งสำหรับการผลิตความถี่ของเครื่องส่งซึ่งจะต้องใช้คริสตอลควบคุม และอีกชุดหนึ่งสำหรับการผลิตความถี่ของเครื่องรับ ซึ่งอาจจะเป็นแบบใช้คริสตอลควบคุม หรือแบบจูาคงที่โดยไม่ใช้คริสตอลควบคุม หรือ แบบปรับจูน ก็ได้เมื่อการผลิตความถี่ของ

เอกสารนี้... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งจำเป็นต้องใช้คริสตอลควบคุมในการผลิตความถี่จึงจำเป็นต้องมีเสถียรภาพการทำงานของเครื่องประมาณ 0.005% ของความถี่ที่ทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2 นั้น การทำงานของภาคออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ใด ๆ ถูกกำหนดโดยคริสตอลที่ใช้ในวงจรนั้น การเปลี่ยนความถี่ของเครื่องส่งแบบช่องสัญญาณเดียว ทำได้โดยการเปลี่ยนคริสตอลใหม่ แต่สำหรับตัวเครื่องส่งแบบเลือกช่องสัญญาณได้หลายช่อง การเปลี่ยนช่องสัญญาณ(Channel Selector) ก็จะเป็นการเปลี่ยนตัวคริสตอลไปด้วย



รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง ซีบี

จากรูปที่ 2 ความถี่สูงที่ยังไม่ได้ทำการผสมคลื่นซึ่งออกจากภาคออสซิลเลเตอร์ถูกป้อนเข้าไปในภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ (R.F power amplifier) ซึ่งปกติจะทำงานที่ความถี่เดียวกันกับความถี่ของออสซิลเลเตอร์ เมื่อไม่มีการผสมคลื่นภาคขยายกำลังความถี่วิทยุจะป้อนสัญญาณคลื่นต่อเนื่อง(Continuous wave : CW)เข้าสู่ระบบสายอากาศ สัญญาณนี้คือ f_1 ซึ่งมีขนาดและความถี่คงที่ เมื่อมีการผสมคลื่นแล้วสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่สายอากาศจะเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาดกับอัตราการผสมคลื่นเสียง f_2 ซึ่งสัญญาณที่ถูกผสมแล้ว เมื่อพิจารณาจะพบว่าประกอบด้วย

- สัญญาณคลื่นพาหที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของภาคออสซิลเลเตอร์ f_1
- แถบคลื่นสองข้าง คือ แถบคลื่นด้านบน (Upper Side Band)และแถบคลื่นด้านล่าง(lower Side Band) ความกว้างของแถบคลื่นด้านบนและด้านล่างเกิดขึ้นจาก การผสมคลื่นทางด้านขนาดซึ่งจะมีค่าเท่ากับสัญญาณความถี่เสียงที่นำมาผสม f_2 ถ้าความถี่สูงสุดที่นำมาผสมมีค่าเป็น 3,000 เฮริทซ์ สัญญาณที่กระจายออกไปในอากาศจะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง $f_1 - f_2$ ถึง $f_1 + f_2$ ซึ่งจะครอบคลุมความกว้างของแถบคลื่นถึง 6 กิโลเฮิรทซ์

เสถียรภาพทางความถี่

ตามข้อตกลงมาตรฐานทางเทคนิคของ เอฟซีซี ความถี่ของเครื่องส่งจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.005% จากความถี่ของสัญญาณ ซึ่งหมายความว่า ที่ความถี่ในช่วง 27.025 เมกะเฮิรทซ์ ความถี่พาห์ของเครื่องส่งจะต้องคงอยู่ในช่วง 1,351 เฮิรทซ์ ของ 27.025 - เมกกะเฮิรทซ์ เพราะว่า 27.025 เมกกะเฮิรทซ์ คูณกับ 0.005% ได้ 1,351 เฮิรทซ์ หรือ 1,351 กิโลเฮิรทซ์ (0.005% เท่ากับ 0.00005)

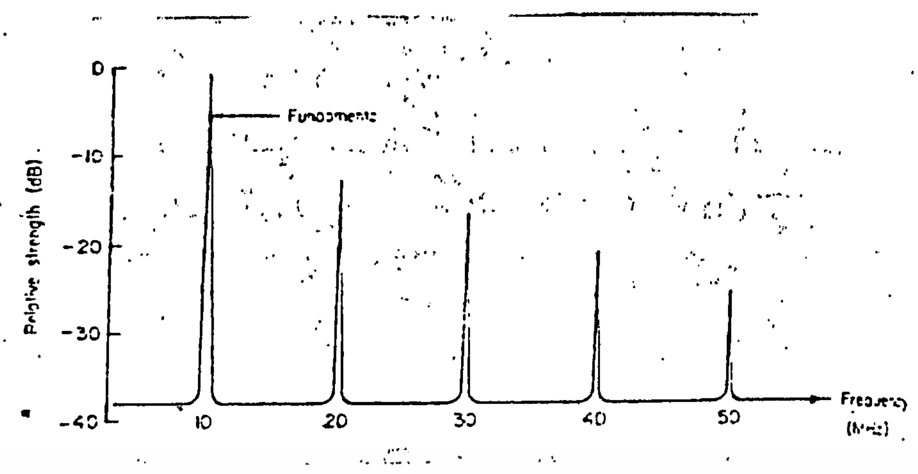
การกำเนิดความถี่

ภาคแรกในเครื่องส่งที่เราควรทราบก็คือ ภาคออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่กำเนิดความถี่ออกมาใช้งาน โดยแท้จริงแล้วภาคออสซิลเลเตอร์ก็เป็นวงจรขยายชนิดพิเศษซึ่งอาจจะใช้ทรานซิสเตอร์ หลอดสูญญากาศ หรือ เอฟอีที (FET) ก็ได้ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ป้อนเข้ามา แต่ที่แตกต่างออกไปจากวงจรขยายทั่วไปก็คือ ส่วนหนึ่งของสัญญาณทางด้านออก (out put) จะมีการป้อนกลับทางบวก (positive feed back) มายังทางด้านเข้า (input) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มขนาดของสัญญาณ ด้วยเหตุนี้ในบางครั้งภาคออสซิลเลเตอร์จึงอาจเรียกได้ว่า วงจรขยายตัวเอง(self- driven amplifier) ความถี่ที่วงจรขยายจะผลิตขึ้นเป็นอันดับแรกเกิดจากวงจรเลือกความถี่ (frequency selective network) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ ผลึกแร่คริสตอล(quartz crystal) หรือ วงจรจูน แอล-ซี (L-C tuned circuit)

สำหรับความต้องการความถี่และระดับกำลังงานใด ๆ เราสามารถจะออกแบบได้ด้วยวงจรที่แตกต่างกัน โดยจะแตกต่างกันในเรื่องของสัญญาณฮาร์โมนิค (Harmonic) และเสถียรภาพของสัญญาณที่เกิดขึ้น

สัญญาณฮาร์โมนิคของความถี่จากภาคออสซิลเลเตอร์จะเกิดขึ้นเท่าที่มันมีอยู่เสมอและขนาดความสูง สามารถลดลงได้ด้วยการออกแบบจากคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) หรือ วงจรกรองความถี่ช่วงกลางผ่าน(Band pass filter) ในรูปที่ 3 แสดงสัญญาณฮาร์โมนิคซึ่งปรากฏบนเครื่องสเปกตรัม (Spectrum Analyser) อย่างไรก็ตามสัญญาณฮาร์โมนิคจะสูงหรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับกำลังงานที่ใช้ และการเลือกใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ขยายสัญญาณ ส่วนเสถียรภาพ ของวงจรออสซิลเลเตอร์ก็เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงสัญญาณฮาร์โมนิคของภาคออสซิลเลเตอร์

<u>เงื่อนไขสำหรับการกำเนิดความถี่</u>

วงจรออสซิลเลเตอร์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

– ส่วนที่เป็นอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ (Active device) เช่น ทรานซิสเตอร์ หลอด หรือ เอฟอีที ซึ่งจะให้อัตราการขยายกำลัง

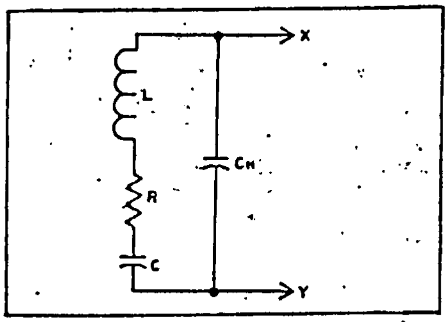
– ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นวงจรป้อนสัญญาณกลับ (Freed back Network) ซึ่งกำหนดความถี่การทำงาน ในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญมากซึ่งจะเป็นตัวกำหนด

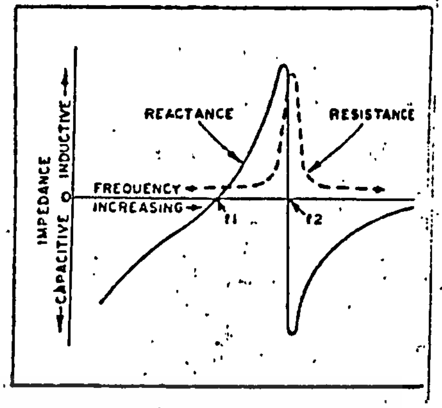
1. ความถี่ของการออสซิลเลท
2. อัตราการเบี่ยงเบนอุณหภูมิ (Thermal Drift)
3. ระดับของสัญญาณรบกวนทางด้านออก
4. สัญญาณฮาร์โมนิค
5. ระดับสัญญาณของแถบคลื่น

<u>คริสตอล ออสซิลเลเตอร์</u>

คริสตอลที่ใช้ในเทคโนโลยีการสื่อสาร ปกติจะทำมาจากผลึกควอทซ์ ซึ่งมีการทำงานพื้นฐานเป็นแบบพิโซ อิเล็กตริก (piezo electric effect) จะแสดงคุณลักษณะเมื่อได้รับสนามไฟฟ้าจะเกิดแรงกดทางกลขึ้นภายใน จึงเป็นตัวสั่นทางกลที่มีคุณสมบัติเหมือนกับวงจร แอล–ซี รีโซแนนซ์วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้า (electrical equivalent circuit) ของคริสตอล ควอทซ์ แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีค่าความต้านทาน (R) รวมอยู่ด้วย เป็นส่วนที่ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียไปในตัวคริสตอลเมื่อเกิดการสั่น ค่าของความต้านทานนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ (L) ณ ที่ความถี่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





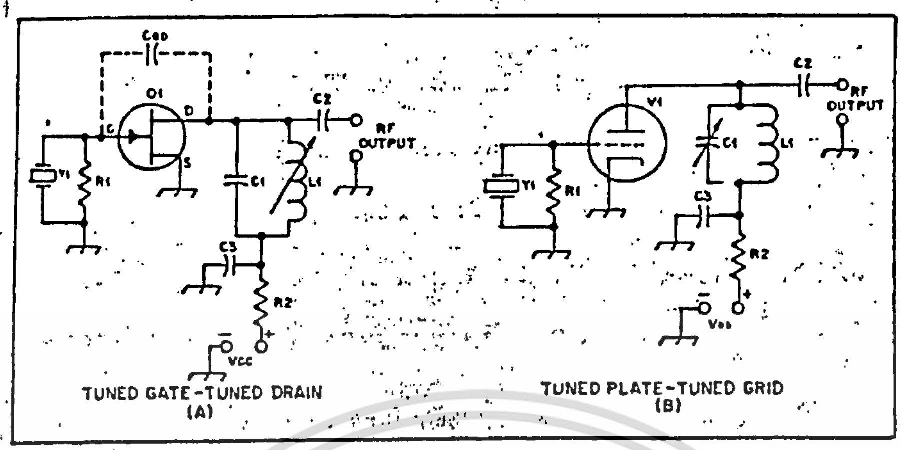
รูปที่ 4 แสดงวงจรสมมูลย์ และค่าอิมพีแดนซ์ของคริสตอล

คริสตอลจะถูกหุ้มอยู่ระหว่างขั้วโลหะ 2 ขั้ว ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นค่าตัวเก็บประจุไฟฟ้าขึ้น (C_H) โดยปกติจะมีค่าน้อยมากเป็นพิโกฟารัด (pico farad) และค่าของตัวเก็บประจุที่ต่ออันดับกับตัวเหนี่ยวนำ ตัวต้านทาน ก็มีค่าน้อยมากเช่นกัน ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่รีโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าสูงและมีค่าเป็นตัวเก็บประจุ (ดูรูปที่ 4 ข) ค่ารีแอคแตนซ์ของ X_L และ X_C จะมีค่าเท่ากันที่ความถี่ซึ่งเรียกว่า ความถี่รีโซแนนซ์อันดับ (Series resonance) โดยมีค่าตรงกับความถี่ของคริสตอล

วงจรคริสตอล ออกซิลเลเตอร์มีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อแตกต่างกันอยู่บางวงจร ในรูปที่ 5 ก. เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบจูนเกท – จูนเดรน (tuned - gate tuned - drain) โดยคริสตอลจะอยู่ในวงจรจูนเกท และวงจรจูนเดรน ประกอบด้วย C_1 กับ L_1 โดย C_3 เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้กรองสัญญาณ (by pass capacitor) เป็นตัวส่งผ่านสัญญาณและกั้นไฟตรง (coupling / dc blocking) โดยจะนำสัญญาณความถี่วิทยุส่งไปภาคต่อไป การป้อนกลับจัดเตรียมไว้โดยการผ่านค่าเก็บประจุภายในอุปกรณ์ (Interelectrode capacitor) ในรูปจะผ่านค่าเก็บประจุจากเดรนไปสู่เกท (C_{gd}) ถ้าค่าเก็บประจุนี้ไม่เพียงพอ อาจจะต่อตัวเก็บประจุภายนอกเพิ่มเข้าได้

วงจรในรูปที่ 5 ข. เป็นวงจรของหลอดสุญญากาศ ซึ่งเรียกว่า จูนกริด – จูนเพลท (tuned - grid tuned - plate) ซึ่งมีการทำงานที่เหมือนกัน

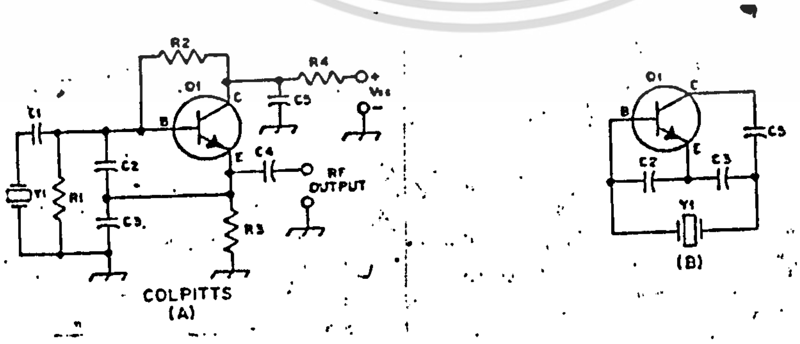
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้เอฟอีที และหลอดสูญญากาศ

ออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิทท์(Colpitts Oscillator)

ที่ใช้ทรานซิสเตอร์แสดงในรูปที่ 6 ก. การป้อนกลับเกิดจากการป้อนจากขาคอลเลคเตอร์ไปยังปลายข้างหนึ่งของวงจรจูน (Y_1) จำนวนการป้อนกลับขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของค่าเก็บประจุ C_2 และ C_3 เนื่องจากตัวเก็บประจุเหล่านี้รวมอยู่ในส่วนของการป้อนกลับ วงจรสมมูลย์อย่างง่ายแสดงในรูปที่ 6 ข. เพื่อช่วยให้เข้าใจดีขึ้น ที่ C_3 จะทำให้เกิดการเพิ่มของจำนวนการป้อนกลับเพียงเล็กน้อย R_1 และ R_2 เป็นวงจรไบอัสให้ขาเบส ส่วน R_3 เป็นตัวต้านทานโหลด และ C_1 กับ C_4 เป็นตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณ



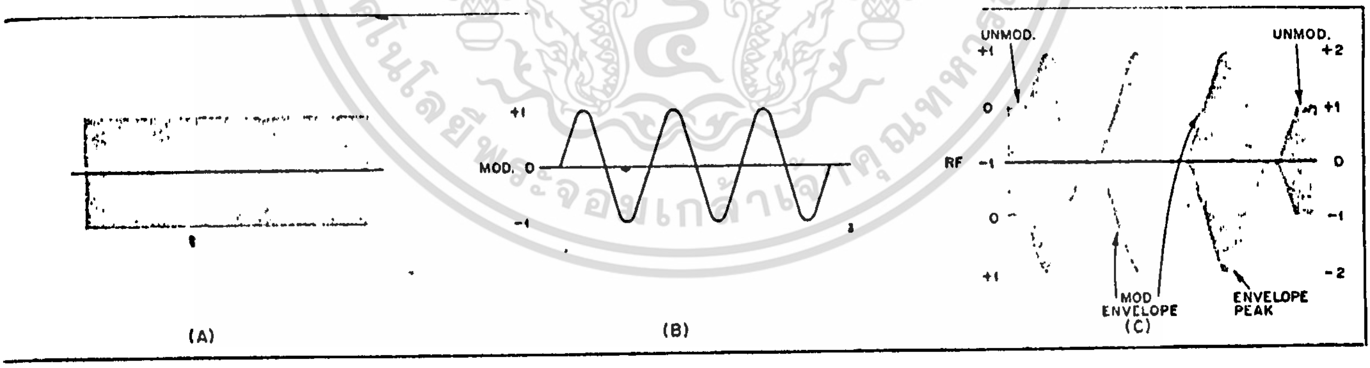
รูปที่ 6 แสดงวงจรโคลพิทท์ ออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมคลื่นสัญญาณทางขนาด

การผสมคลื่นสัญญาณทางขนาดนับเป็นวิธีพื้นฐานที่สุดสำหรับการใส่รายละเอียดของสัญญาณเสียงลงบนคลื่นพาห์ ภาคออสซิลเลเตอร์ซึ่งผลิตคลื่นพาห์ออกมายังไม่มีรายละเอียดของสัญญาณเสียง คลื่นพาห์แบบนี้จะมีความหมายก็คือเมื่อมีการปิด – เปิด คลื่นพาห์ให้อยู่ในรูปของจุดสั้น(Short dots) และขีดยาว (longer dashes) ในรูปของตัวอักษรหรือคำ แต่เมื่อมีการผสมคลื่นทางด้านขนาดคลื่นพาห์ที่ส่งออกไปจะเกิดรายละเอียดของรวมอยู่ด้วย ซึ่งรายละเอียดของเสียงหลังจากได้รับการขยายแล้วจะถูกใช้เป็นตัวเปลี่ยนขนาดของคลื่นพาห์

ในรูปที่ 7 ก. เป็นรูปคลื่นที่ยังไม่ได้ทำการผสมคลื่น เกิดจากภาคออสซิลเลเตอร์เป็นรูปคลื่นซายน์บริสุทธิ์ มีความถี่คงที่ สมมติว่าเราต้องการจะผสมคลื่นความถี่วิทยุนี้ด้วยความถี่เสียงรูปคลื่นซายน์ เสียงพูดโดยทั่วไปจะไม่เป็นรูปซายน์ แต่เป็นรูปที่ซับซ้อนมากเนื่องจากมีหลายความถี่ รูปคลื่นซายน์ของสัญญาณเสียงสามารถประมาณอย่างใกล้เคียงโดยการป้อนสัญญาณเสียงความถี่เดียวเข้าไมโครโฟน สัญญาณรูปคลื่นเสียงแสดงในรูปที่ 7 ข. ในย่านวิทยุสมัครเล่น ความถี่คลื่นพาห์มีค่ามากกว่าความถี่เสียงที่จะนำมาผสมเป็น 1,000 เท่า หลังจากผ่านการผสมคลื่นแล้วจะได้รูปคลื่นออกมาดังรูปที่ 7 ค.



รูปที่ 7 แสดงลักษณะรูปคลื่นของการผสมคลื่นทางขนาด

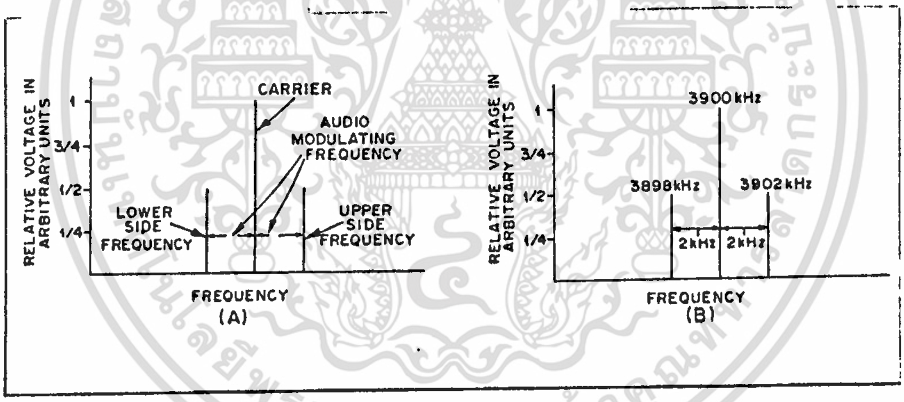
แถบคลื่นของการผสม

จากรูปที่ 7 ค. รูปคลื่นที่ได้อาจจะทำให้มองไม่เห็นเด่นชัดถึงความถี่อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นนอกจากความถี่พาห์ ความถี่ใหม่ที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านขบวนการผสมคลื่นแล้วจะอยู่ในระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่าความถี่คลื่นพาห์ ความถี่ใหม่นี้เรียกว่า ความถี่ด้านข้าง(Side frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ แถบคลื่นด้านข้าง (Side band) โดยความถี่ที่เกิดขึ้นสูงกว่าความถี่คลื่นพาห์ เรียกว่า ความถี่ด้านบน (Upper Side Frequency) และความถี่ที่ต่ำกว่า เรียกว่า ความถี่ด้านล่าง (Lower Side Frequency) เมื่อคลื่นพาห์ความถี่วิทยุถูกผสมด้วยคลื่นเสียงรูปซายน์บริสุทธิ์ ความถี่ด้านบนและด้านล่างที่เกิดขึ้นจะมีทั้งสองข้างเท่ากันรอบ ๆ คลื่นพาห์ เป็นความถี่ผลรวม กับความถี่ผลต่าง อันเกิดจากการเพิ่มความถี่เสียงเข้ากับความถี่คลื่นพาห์ และเกิดขึ้นจากการหักล้างของความถี่เสียงกับความถี่คลื่นพาห์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8

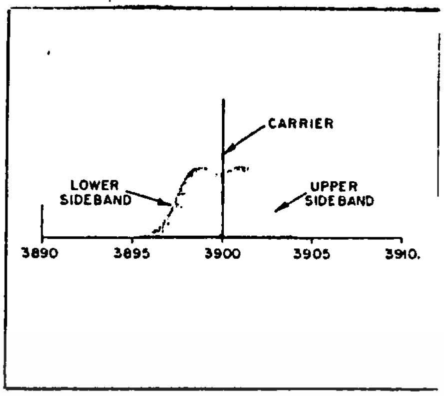
เพื่อทำให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น จะกำหนดให้ความถี่ของคลื่นพาห์มีค่า 3,900 กิโลเฮริทซ์ และความถี่เสียงที่จะนำมาผสมมีค่า 2 กิโลเฮริทซ์ เมื่อพิจารณาในรูปที่ 8 ข. ความถี่ใหม่ทั้งสองคือความถี่ด้านบนและด้านล่างจะเกิดขึ้นที่ 3,902 และ 3,898 กิโลเฮริทซ์ (3,900 2 และ 3,900 - 2 กิโลเฮริทซ์)



รูปที่ 8 แสดงแถบคลื่นที่เกิดจากการผสมคลื่นทางขนาด

ในรูปที่ 8 ข. แทนด้วยสัญญาณทางออกของเครื่องส่ง เอ.เอ็ม. ซึ่งใช้สัญญาณซายน์เป็นแหล่งการผสมคลื่น แต่เสียงของมนุษย์เกิดจากจำนวนความถี่ที่แตกต่างกันสามารถปรับแยกให้เป็นความถี่เดียวได้ ในรูปที่ 9 แสดงถึงด้านออกของเครื่องส่ง เอ.เอ็ม เมื่อใช้เสียงมนุษย์เป็นแหล่งการผสม แถบคลื่นความถี่จะมากกว่าซึ่งเกิดขึ้นในแต่ละข้างของคลื่นพาห์ ถ้าความถี่สูงสุดที่เราผสมเข้าไปในเครื่องส่งเป็น 3 กิโลเฮริทซ์แถบคลื่นด้านบนและด้านล่าง จะกว้างกว่า 3 กิโลเฮริทซ์ โดยความกว้างของแถบคลื่นจะมีค่ามากกว่ากิโลเฮริทซ์

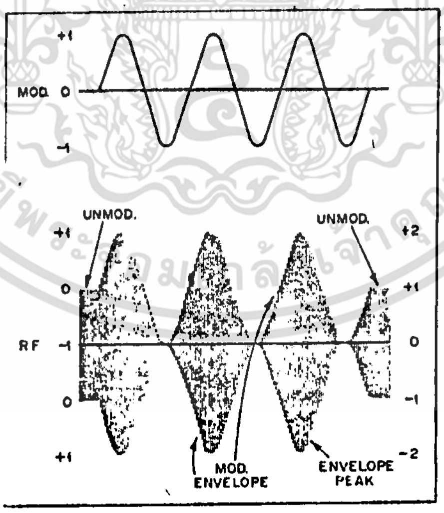
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๙ แสดงแถบคลื่นที่เกิดจากการผสมด้วยเสียงพูด

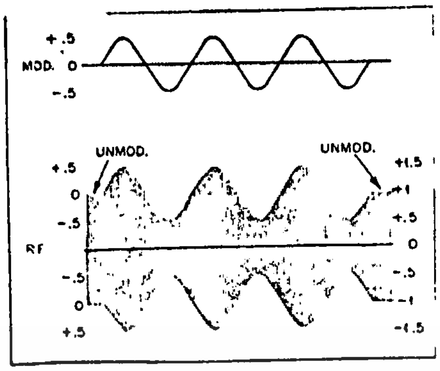
<u>เปอร์เซนต์ของการผสมคลื่น</u>

สิ่งหนึ่งที่ทำให้มองเห็นความคิดในเรื่องคลื่นพาห์คือ เปอร์เซนต์ของการผสมคลื่น (percentage of modulation) ในรูปที่ 10 การผสมคลื่นมีการปรับค่าที่ถูกต้อง เพื่อทำให้ขนาดของคลื่นพาห์ลดลงเป็นศูนย์ เมื่อสัญญาณเสียงลดขนาดลงต่ำสุด และกลับไปเป็นค่าสูงสุดเมื่อสัญญาณเสียงมีขนาดสูงสุด ซึ่งเป็นการผสมคลื่นแบบ 100%



รูปที่ 10 แสดงรูปคลื่นที่เกิดจากการผสมคลื่น 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

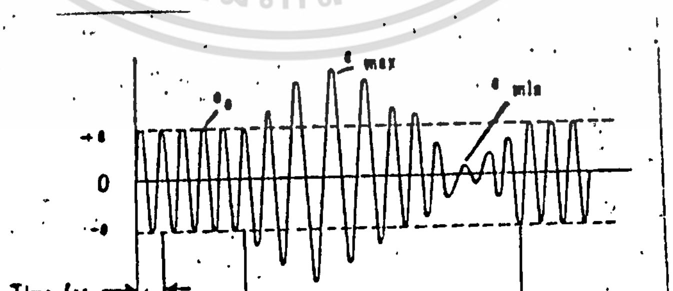


รูปที่ 11 แสดงรูปคลื่นที่เกิดจากการผสมคลื่น 50%

พิจารณารูปที่ 11 ซึ่งใช้คลื่นพาห์เท่าเดิมแต่สัญญาณที่จะนำมาผสมมีขนาดเพียงครึ่งหนึ่งของรูปที่ 10 ขนาดของคลื่นความถี่วิทยุจะลดต่ำลงเพียงแค่ 0.5 ของค่าที่ไม่ได้ทำการผสมเมื่อสัญญาณเสียงอยู่ในระดับต่ำสุด และจะขึ้นสูงเป็น 1.5 เมื่อสัญญาณเสียงอยู่ในระดับสูงสุด ซึ่งเป็นการผสมคลื่นแบบ 50%

เปอร์เซนต์การผสมคลื่น เป็นอัตราส่วนของค่าสูงสุดของการผสม (สูงหรือต่ำอย่างใดอย่างหนึ่ง) กับขนาดของสัญญาณคลื่นพาห์ที่ไม่ได้ทำการผสม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 12 สามารถจะหาเปอร์เซนต์การผสมคลื่นได้คือ

$$\text{เปอร์เซนต์การผสมคลื่น} = \frac{E_{max} - E_{min}}{2\,E_0} * 100$$



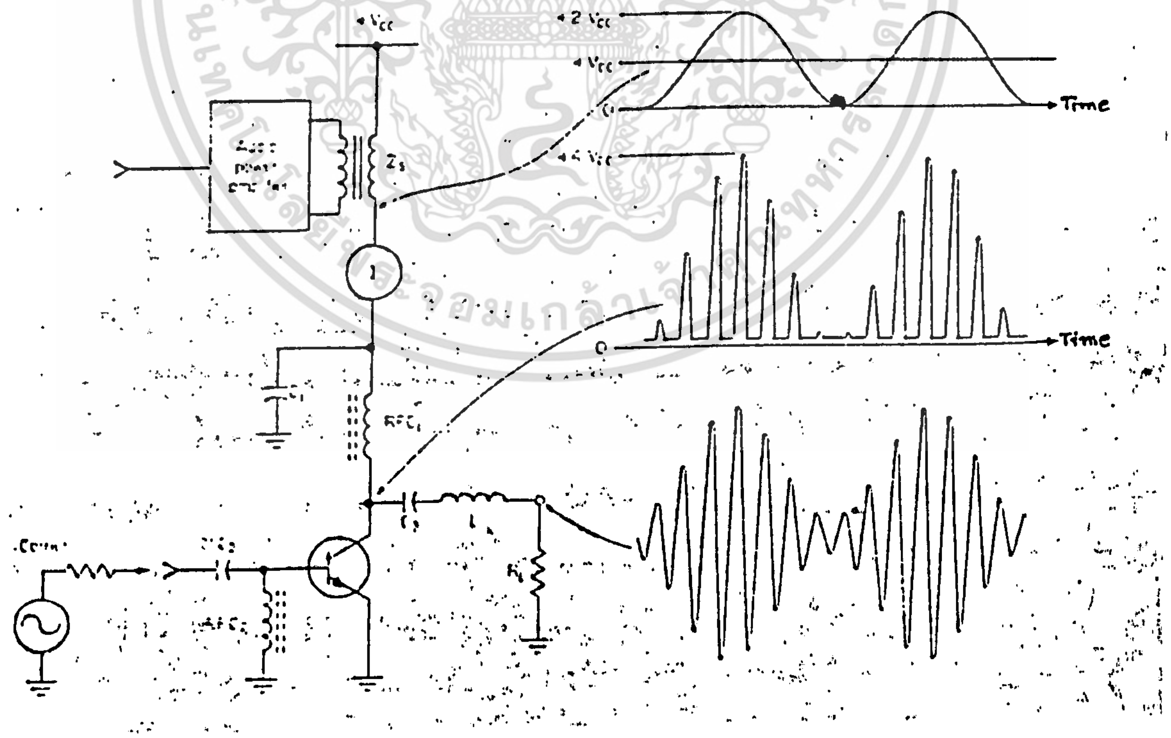
รูปที่ 12 แสดงรูปคลื่นที่จะใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซนต์การผสมคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กำลังงานในการผสมคลื่นทางขนาด</u>

สมมติว่าเครื่องส่งที่ปราศจากการผสมคลื่นมีกำลังทางด้านออกเป็น 100 วัตต์ เมื่อสัญญาณถูกผสมในระบบ 100% จะทำให้กำลังงานเป็นศูนย์ที่ด้านล่าง และเนื่องจากขนาดของยอดคลื่นจะเป็น 2 เท่าของขนาดที่ไม่ได้ทำการผสม ดังนั้นกำลังจะเป็น 4 เท่าของขนาดที่มิได้ทำการผสมคลื่น โดยจะมีค่าเป็น 400 วัตต์

ที่ภาคผสมคลื่น แรงไฟจะกระเพื่อมขึ้นลงในอัตราความถี่เสียงจากศูนย์ถึงค่า 2 เท่าของแรงไฟตรง เมื่อแรงไฟของสัญญาณเสียงเปลี่ยนแปลงระหว่างศูนย์ถึงค่าแรงไฟสูงสุดกระแสที่ไหลจะเป็นสัดส่วนที่มากน้อยเช่นกัน หมายความว่า กำลังงานที่ป้อนเข้าจะเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการผสมคลื่นด้วย ขนาดของสัญญาณคลื่นพาห์จะถูกผสมถ้าแรงไฟของแหล่งจ่ายในภาคขยายกำลังเพิ่มขึ้นหรือลดลง นั่นคือ ทรานซิสเตอร์จะกระเพื่อมอยู่ระหว่างจุดคัทออฟ(Cut off) กับจุดอิ่มตัว(Saturation) การเปลี่ยนแรงไฟจากแหล่งจ่ายทำได้โดยการป้อนสัญญาณที่จำการผสมผ่านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ต่ออันดับกับแหล่งจ่ายไฟและทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง จะรับสัญญาณจากภาคขยายกำลังสัญญาณเสียง



รูปที่ 13 แสดงวงจรการผสมคลื่นทางขนาด คลาส ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_1 เป็นตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณที่ไม่ต้องการที่อาจจะเข้าไปรบกวนภาคขยายสัญญาณเสียง และเป็นตัวแยกค่ารีแอคแตนซ์ของหม้อแปลงที่จะเป็นผลกับการทำงานของทรานซิสเตอร์ แรงไฟที่จุดนี้จะกระเพื่อมระหว่างจุดจำกัดสูงสุดที่ 0 โวลท์กับค่า 2 เท่าของแรงไฟแหล่งจ่าย ถ้ากำลังการขับถูกป้อนอย่างเพียงพอ ทรานซิสเตอร์จะทำงานระหว่างจุดคัทออฟ กับจุดอิ่มตัว รูปคลื่นที่ปรากฏที่ขาคอลเลคเตอร์จะสูงสุดประมาณ 4 เท่าของแหล่งจ่ายแรงไฟ อันเป็นเนื่องมาจากตัวเหนี่ยวนำที่ขาคอลเลคเตอร์

รูปคลื่นที่ขาคอลเลคเตอร์จะประกอบด้วยจำนวนสัญญาณอื่น ๆ ที่เราไม่ต้องการเช่น สัญญาณฮาร์โมนิค ดังนั้นเพื่อจะกำจัดสัญญาณเหล่านี้วงจรกรองความถี่จึงถูกนำมาใช้

ภาคขยายกำลังสัญญาณเสียงต้องสามารถที่จะจ่ายกำลังไฟตรงป้อนเข้าสู่ภาคผสมคลื่นได้เพียงพอ ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$P_{dc} = I_{dc} * V_{cc}$$

และอิมพีแดนซ์ของชุดทุติยภูมิของหม้อแปลงสามารถหาได้จาก

$$Z_S = \frac{V_{cc}}{I_{dc}}$$

<u>การขยายกำลังงาน</u>

ในเครื่องส่งแบบง่าย ๆ จะมีภาคขยายกำลังงานต่อหลังจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะขยายกำลังที่ออกจากภาคออสซิลเลเตอร์ที่มีระดับต่ำให้สูงขึ้น กำลังของภาคขยายภาคสุดท้ายอาจจะเป็นเพียงมิลิวัตต์ , วัตต์ , หรือเป็นร้อย ๆ วัตต์ ภาคขยายแต่ละภาคยิ่งกำลังสูงขึ้น กระแสและแรงดันก็จะสูงตามไปด้วย จึงทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่

<u>ประสิทธิภาพและการสูญเสีย</u>

ประสิทธิภาพและการสูญเสีย เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการขยาย ประสิทธิภาพสามารถหาได้จากอัตราส่วนของกำลังงาน 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นกำลังที่ได้รับทางด้านออกของเครื่อง ส่วนกำลังงานที่สอง เป็นกำลังที่ป้อนเข้าทางด้านเข้าเพื่อทำมีกำลังงานออก ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$\text{ประสิทธิภาพ(คิดเป็น\%)} = \frac{\text{กำลังงานด้านออก}}{\text{กำลังงานด้านเข้า}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น เรามีภาคขยายที่ทำงานที่ระดับทางด้านเข้า 80 วัตต์ และได้รับกำลังด้านนอก 50 วัตต์ ประสิทธิภาพตามสูตรจะเป็น 62.5% ความแตกต่างระหว่างกำลังงานด้านเข้า 80 วัตต์ กับกำลังงานด้านออก 50 วัตต์ คือการสูญเสีย (Loss หรือ dissipated) ในตัวเครื่องขยาย การที่จะทำให้การสูญเสียน้อยลงไปสามารถทำได้โดยต้องพยายามรักษาระดับกำลังงานทางด้านเข้าให้คงที่ ซึ่งการจะลดการสูญเสียนั้นจะทำได้ถ้าใช้การขยายในคลาส ซี การรักษาระดับของประสิทธิภาพให้คงที่ โดยการลดกำลังงานด้านเข้าลง ก็จะเป็นการลดการสูญเสียโดยอัตโนมัติ

<u>โหลดของอุปกรณ์</u>

สำหรับการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายจะมีโหลดทางคอลเลคเตอร์ เดรน หรือ เพลทต่ออยู่ ค่าของโหลดจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างรวมทั้งแรงไฟ และกระแสที่ใช้ การเลือกใช้คลาสในการทำงานก็เป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้ามไปสมการที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานโหลดของทรานซิสเตอร์ โดยไม่ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้คลาสก็คือ

$$R_1 = \frac{V_{cc}^2}{2P_o}$$

เมื่อ V_{cc} คือ แรงไฟของคอลเลคเตอร์

P_o คือ กำลังงานด้านออกที่ต้องการจากการขยาย

เมื่อจะคำนวณค่าความต้านทานโหลดของหลอดสูญญากาศ จะต้องนำเอาคลาสของการทำงานมาเกี่ยวข้องด้วย สูตรต่อไปนี้จะแยกตามการทำงานของแต่ละคลาส

$$\text{คลาส เอ} = \frac{\text{แรงไฟที่เพลท}}{1.3 \times \text{กระแสเพลท}}$$

$$\text{คลาส บี} = \frac{\text{แรงไฟที่เพลท}}{1.57 \times \text{กระแสเพลท}}$$

$$\text{คลาส ซี} = \frac{\text{แรงไฟที่เพลท}}{2.0 \times \text{กระแสเพลท}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาสการทำงาน

ตามที่ทราบมาแล้วว่า คลาสการทำงานจะแบ่งออกเป็น คลาส เอ, คลาส เอ–บี คลาส บี และคลาส ซี ซึ่งสามารถนำมาใช้ในภาคขยายกำลังได้ โดยเลือกใช้ให้เหมาะกับงาน เช่น ในเครื่องส่งคลื่นต่อเนื่อง(continuous wave) เราไม่จำเป็นต้องใช้ภาคขยายเชิงเส้น(linear amplifier) จึงมักจะไม่ใช้ คลาส เอ เนื่อง จากมีประสิทธิภาพต่ำ คลาส เอ–บี และคลาส บี จึงถูกนำมาใช้แทน แต่คลาส ซี จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ในการทำงานของคลาส ซี กระแสเพลทหรือกระแสคอลเลคเตอร์ จะไหลในช่วงพัลซ์สั้น ไม่เหมือนกับสัญญาณด้านเข้าที่เป็นรูปซายน์ วงจรจูนด้านออกจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพัลซ์เหล่านี้ ให้กลับเป็นสัญญาณรูปคลื่นซายน์ความถี่เดียวตามความต้องการ หลอดหรือทรานซิส–เตอร์จะถูกจัดไบอัสไว้ที่จุดซึ่งต่ำกว่าจุดคัทออฟ ดังนั้นสัญญาณที่ได้จึงเกิดจากการกระเพื่อมของแรงไฟในช่วงคัทออฟกับจุดอิ่มตัว การจัดให้กระแสเพลท หรือกระแสคอลเลคเตอร์ไหลในลักษณะอย่างนี้จะทำให้ได้จำนวนของสัญญาณด้านออกที่สูงมาก เมื่อเทียบกับแรงไฟตรงด้านเข้า จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูง

แมทชิ่ง เนทเวิค

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานที่แหล่งจ่ายแรงไฟต่ำ และทำงานที่ระดับหลาย ๆ วัตต์ จึงทำให้มีค่าอิมพีแดนซ์ทางคอลเลคเตอร์ต่ำประมาณ 50 ถึง 75 โอห์ม จึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้เครื่องส่งจะต้องถูกออกแบบให้ทำงานที่อิมพีแดนซ์ของโหลดมีค่า 50 ถึง 75 โอห์ม ทรานซิสเตอร์ภาคสุดท้ายในเครื่องส่งที่ทำงานที่กำลังงานหลาย ๆ วัตต์จะต้องมีเนทเวิคต่ออยู่ที่คอลเลคเตอร์ โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนอิมพีแดนซ์ของคอลเลคเตอร์ที่ต่ำให้สูงขึ้น จึงเป็นหม้อ–แปลงหรือเนทเวิกเพิ่ม แต่สำหรับหลอดสูญญากาศต้องการหม้อแปลง หรือเนทเวิคลดค่าอิมพีแดนซ์ เนื่องจากค่าเพลทอิมพีแดนซ์มีค่ามากกว่า 50 ถึง 75 โอห์ม โดยจะมีค่าประมาณ 10,000โอห์ม

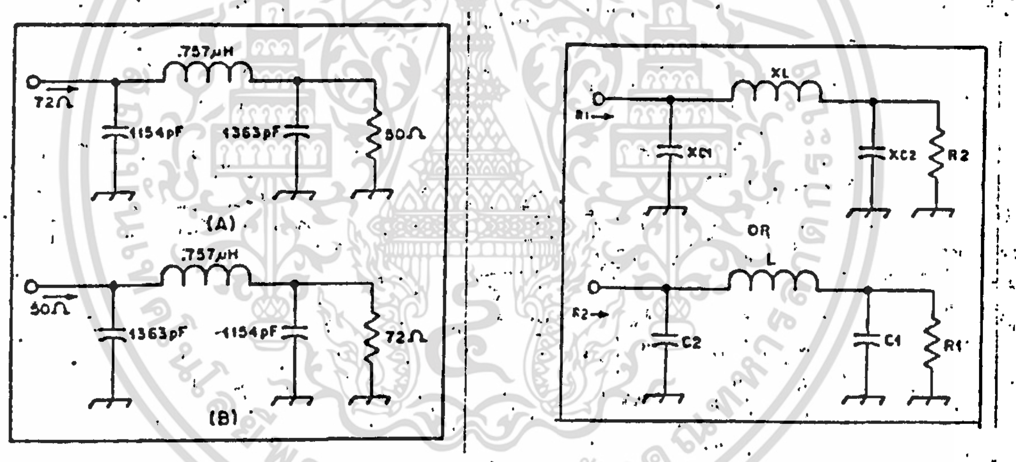
แมทชิ่ง เนทเวิค มีหลายชนิดที่จะนำมาใช้ในเครื่องส่ง วงจรเนทเวิคที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับวิทยุสมัครเล่น ก็คือ ชนิดความถี่ต่ำผ่าน(Low pass filter)โดยถ้ามีความถี่ที่สูงกว่าจุดที่ได้ออกแบบไว้เข้ามา เนทเวิคจะทำให้สัญญาณนั้นเกิดการลดทอนลง (Attenuator) สมมติว่า การลดทอนช่วงสุดท้ายมีค่า 6 ดีบี ต่อ ออคเเทพ ต่ออุปกรณ์ในเนทเวิค ถ้าวงจรที่ใช้ในเครื่องส่งวิทยุสมัครเล่นเป็นแบบดับเบิล พาย เนทเวิค (double pi network) ซึ่งมีค่า ต่ำ ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเก็บประจุ 3 ตัว ถ้าเราออกแบบให้ตัดความถี่ที่ 7 เมกกะเฮริทซ์ การลดทอนที่ความถี่ 14 เมกกะเฮริทซ์ จะมีค่า 30 ดีบี และจะสูงขึ้นถ้าเนทเวิคนั้นมีค่า สูงขึ้น

นอกจากจะมีคุณสมบัติในการลดทอนแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นตัวเลือกโหลด ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญยิ่ง สมมติว่าเครื่องส่งกำลังต่ำ ได้ออกแบบไว้สำหรับกำลังงาน 1 วัตต์ ที่แหล่งจ่ายไฟตรง 12 โวลท์ ดังนั้น ความต้านทานโหลดที่จะนำมาต่อเข้ากับคอลเลคเตอร์จะมีค่าเท่ากับ $V_{cc}^2 - 2P_0$ = 72 โอห์ม เนทเวิคที่เหมาะสมก็คือ ชนิดพาย (π - type) ซึ่งออกแบบไว้เพื่อแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 50 โอห์ม เป็นค่า 72 โอห์ม ตามต้องการ หมายความว่า ถ้าปลายของเนทเวิคต่อเข้ากับตัวต้านทาน 50 โอห์มเมื่อมองที่อีกปลายหนึ่งจะมีค่าความต้านทาน 72 โอห์ม เน็ทเวิคนี้เรียกว่า ซิงกลี โหลด

วงจรเนทเวิค แอล-ซี ก็จัดเป็นซิงกลี โหลด



รูปที่ 14 แสดงวงจร พาย เนทเวิค

จากรูปที่ 14 แสดงถึงพาย เนทเวิค ซึ่งออกแบบไว้ที่ 50 โอห์ม เพื่อให้เกิดความต้านทานที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีค่า 72 โอห์ม อย่างไรก็ตาม โดยการใช้เนทเวิคอันเดิมกับความต้านทาน 72 โอห์ม ซึ่งมีอิมพีแดนซ์สูง ก็จะปรากฏอิมพีแดนซ์ต่ำ 50 โอห์มที่อีกปลายหนึ่งเช่นกัน โดยจะไม่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเลย โดยมีค่า Q เท่ากับ 3 ที่ความถี่ 7 เมกกะเฮริทซ์ สำหรับการออกแบบคำนวณสามารถหาได้จากสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_{C1} = \frac{R1}{Q}$$

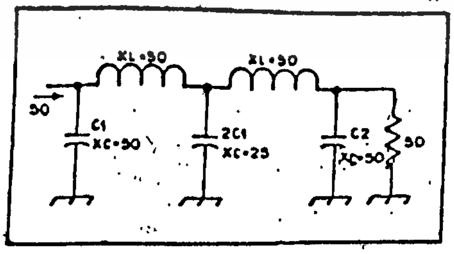
$$X_{C2} = R2\sqrt{\frac{R1/R2}{Q^2 + 1 - R1/R2}}$$

$$X_L = \frac{QR1 + R1R2/X_{C2}}{Q^2 + 1}$$

การลดทอนสัญญาณฮาร์โมนิค

จุดประสงค์แรกของเนทเวิค ก็คือ การแปลงค่าอิมพีแดนซ์ แต่ในบางวงจรต้องการการกำจัดความถี่ที่นอกเหนือไปจากที่ได้ออกแบบไว้ เนทเวิคก็สามารถจะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม ไม่มีกฎเกณฑ์สำหรับการเลือกใช้เนทเวิคนอกเหนือไปกว่าการลดทอนสัญญาณฮาร์โมนิคโดยบรรลุผลสำเร็จอย่างง่าย ๆ โดยที่ทรานซิสเตอร์ยังมีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

วิธีที่นิยมใช้กันสำหรับการจำกัดสัญญาณฮาร์โมนิคอย่างได้ผลโดยการเพิ่มวงจร พายเนทเวิค ขนาด 50 โอห์ม เข้ากับโหลด เนทเวิคที่สะดวกคือ พายเนทเวิคแบบสมมาตรกัน (Symmetrical) 50 โอห์ม ทั้งด้านเข้าและด้านออก ซึ่งมีค่า Q เป็น 1 ในรูปที่ 14 จะเห็นว่าส่วนประกอบของ พาย เนทเวิค ในกรณีนี้จะกำหนดให้ค่า $X_{C1} = X_{C2} = X_L = R$ เมื่อ R คือ จุดต่อปกติมีค่า 50 โอห์ม ถ้าเราใช้ 2 ภาคร่วมกันจะได้เนทเวิคที่เรียกว่า ฮาล์ฟ เวฟ ฟิลเตอร์ เนทเวิค (Half wave filter network) ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงวงจรฮาล์ฟเวฟ ฟิลเตอร์ เนทเวิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนทเวิคแบบนี้เป็นผลมาจากคุณสมบัติของเนทเวิคร่วมกับความยาวคลื่นครึ่งหนึ่งของสายส่ง นั่นคือ มุมเฟสที่เลื่อนผ่านเนทเวิค จะเป็น 180 องศา เป็นการปรับปรุงลักษณะของเนทเวิคให้ง่ายต่อการจัด และมีการลดทอนไม่มีขีดจำกัด ณ ความถี่ที่สูงกว่าจุดที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามค่าอิมพีแดนซ์ที่จะใช้ต่อกับปลายข้างหนึ่งของเนทเวิคจะเป็นอิมพีแดนซ์ที่เกิดจากการมองเข้าไปในเนทเวิคที่ปลายข้างนั้น

ตารางที่ 1 แสดงค่าสำหรับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการสร้างวงจรฟิลเตอร์ แบบฮาล์ฟเวฟกำลังงานต่ำในย่านความถี่สมัครเล่นจาก 1.8 ถึง 50 เมกกะเฮิรทซ์

$Q_L = 1$
$R_{in}, R_o = 50$ ohms
$X_L = 50$ ohms
$X_{C1}, X_{C3} = 50$ ohms
$X_{C2} = 25$ ohms

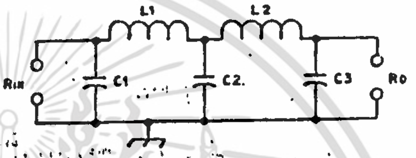


Table 1

BAND (METERS)	L1, L2 (μH)	C1, C3 (pF)	C2 (pF)
160	3.98	1592	3184
80 (cw)	2.15	860	1721
75 (phone)	1.99	796	1592
40	1.09	436	872
20	0.55	221	443
15	0.372	149	298
10	0.268	107	214
6	0.157	[illegible]	126

ตารางที่ 1 แสดงค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในฮาล์ฟเวฟ ฟิลเตอร์ เนทเวิค

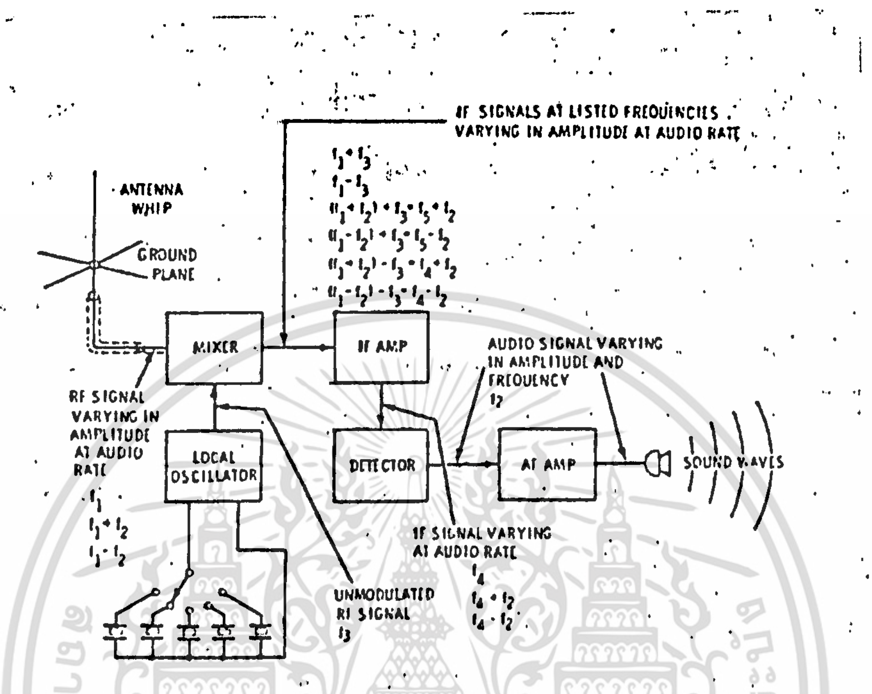
เครื่องรับ(Receiver)

จากการที่ได้ศึกษามาแล้วว่า สัญญาณวิทยุเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ถูกส่งให้กระจายออกมารอบ ๆ ตัวเรา และจะถูกสายอากาศของเครื่องรับเก็บพลังงานนั้นไว้ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสิ่งที่มีความรู้สึกของมนุษย์สามารถรับรู้ได้ อาจจะเป็นเสียง หรือ ภาพ หรือทั้งเสียงและภาพพร้อม ๆ กัน ในที่นี้จะได้กล่าวถึงการทำงานของเครื่องรับวิทยุที่จะเปลี่ยนสัญญาณวิทยุให้กลายเป็นสัญญาณเสียงเท่านั้น

สัญญาณที่แพร่กระจายออกมา จะถูกแยกสัญญาณ (demodulate) เพื่อทำให้เกิดเป็นสัญญาณเสียงขึ้น สำหรับระยะทางที่สั้นมาก ๆ เครื่องรับจะประกอบด้วยส่วนง่ายของตัวแยกสัญญาณหรือดีเทคเตอร์(detecter) และวงจรขยายสัญญาณเสียง(audio amplifier) สัญญาณที่เข้ามายังดีเทคเตอร์ประกอบด้วยสัญญาณคลื่นพาห์(f_1)และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของแถบคลื่น $f_1 + f_2$, $f_1 - f_2$ ซึ่งที่ด้านออกของภาคดีเทคเตอร์ สัญญาณ (f_2) จะผ่านเข้าวงจรขยาย และถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นคลื่นเสียงด้วยลำโพง



รูปที่ 16 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่อง ซี.บี.

จากบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ ซีบี ในทางปฏิบัติ แสดงในรูปที่ 16 สัญญาณที่เข้ามา f_1 , $f_1 + f_2$ และ $f_1 - f_2$ จะถูกขยายและถูกทำให้ความถี่เปลี่ยนไปในภาคผสมสัญญาณ (mixer) ด้วยสัญญาณจากโลคอล ออสซิลเลเตอร์ (f_3) ซึ่งมีความถี่และขนาดคงที่

ถ้า f_3 ต่ำกว่า f_1 สัญญาณที่ออกจากภาคผสมสัญญาณจะเกิดเป็นสัญญาณที่ประกอบด้วย $f_1 + f_3$, $f_1 - f_3$, $(f_1 + f_2) + f_3$, $(f_1 + f_2) - f_3$, $(f_1 - f_2) + f_3$ และ $(f_1 - f_2) - f_3$ แต่ด้านออกของภาคผสมสัญญาณจะปรับจูนไว้ที่ความถี่ f_4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $f_1 - f_3$ และภาคขยายสัญญาณ ไอ.เอฟ. (I.F. Amplifier) จะให้ความถี่ f_4 , $F_4 + f_2$ และ $f_4 - f_2$ ผ่านเท่านั้น

สมมติว่า ความถี่คลื่นพาห์เข้ามา (f_1) มีค่า 27.025 เมกกะเฮริทซ์และสัญญาณจากภาคออสซิลเลเตอร์ (f_3) เท่ากับ 26.570 เมกกะเฮริทซ์ สัญญาณ ไอ.เอฟ.(f_4) จะมีค่าเท่ากับ 455 กิโลเฮริทซ์ เมื่อสัญญาณที่รับเข้ามาซึ่งถูกผสมคลื่นทางขนาดด้วยความถี่ 3,000 เฮริทซ์ จะครอบคลุมความถี่จาก 27.022 ถึง 27.028 เมกกะเฮริทซ์(แถบคลื่นกว้าง 6 กิโล–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮริทซ์) สัญญาณ ไอ.เอฟ.จะครอบคลุมจาก 452 ถึง 458 กิโลเฮริทซ์ หลังจากผ่านการขยายแล้ว สัญญาณ เอ.เอ็ม แถบคลื่นสองข้างจะถูกแยกสัญญาณด้วยดีเทคเตอร์ และเหลือเพียงเท่านั้น สัญญาณนี้ถูกขยายโดยวงจรขยายสัญญาณเสียง และเปลี่ยนไปเป็นเสียงโดยลำโพง

ซึ่งจากรูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่าภาคออสซิลเลเตอร์ สามารถจะปรับไปที่ความถี่ใดๆ ใน 5 ย่าน โดยการเลือกคริสตอลให้เหมาะสม คริสตอลเหล่านี้แต่ละตัวจะทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่รับเข้ามา 455 กิโลเฮริทซ์

<u>การเลือกช่องสัญญาณ</u>

ความถี่ของเครื่องส่งถูกกำหนดโดยคริสตอลที่ใช้ในภาคออสซิลเลเตอร์ แต่ในเครื่องรับระบบซุปเปอร์เฮทเทอโรดายน์ แบบการเปลี่ยนความถี่ครั้งเดียว(Single conversion superheterodyne receiver) ความถี่ที่เครื่องรับจะมีความไวมากที่สุดขึ้นอยู่กับความถี่ของโลคอล ออสซิลเลเตอร์ สำหรับเครื่องรับแบบจูนคงที่ ช่องสัญญาณเดียวใช้คริสตอลควบคุม เมื่อจะเปลี่ยนความถี่ในการรับ จำเป็นจะต้องเปลี่ยนคริสตอลตัวใหม่ ในเครื่องรับแบบเลือกช่องสัญญาณได้หลายช่อง จะมีสวิทซ์เลือกช่องสัญญาณที่สามารถปรับไปที่คริสตอลที่ต้องการได้ และสำหรับเครื่องรับที่สามารถปรับจูนได้ ภาคออสซิลเลเตอร์สามารถปรับจูนความถี่ในย่านความถี่ระหว่าง 26.96 เมกกะเฮริทซ์ ถึง 27.26 เมกกะเฮริทซ์ บวกหรือลบกับความถี่ ไอ.เอฟ.

<u>การดีเทคสัญญาณเบื้องต้น</u>

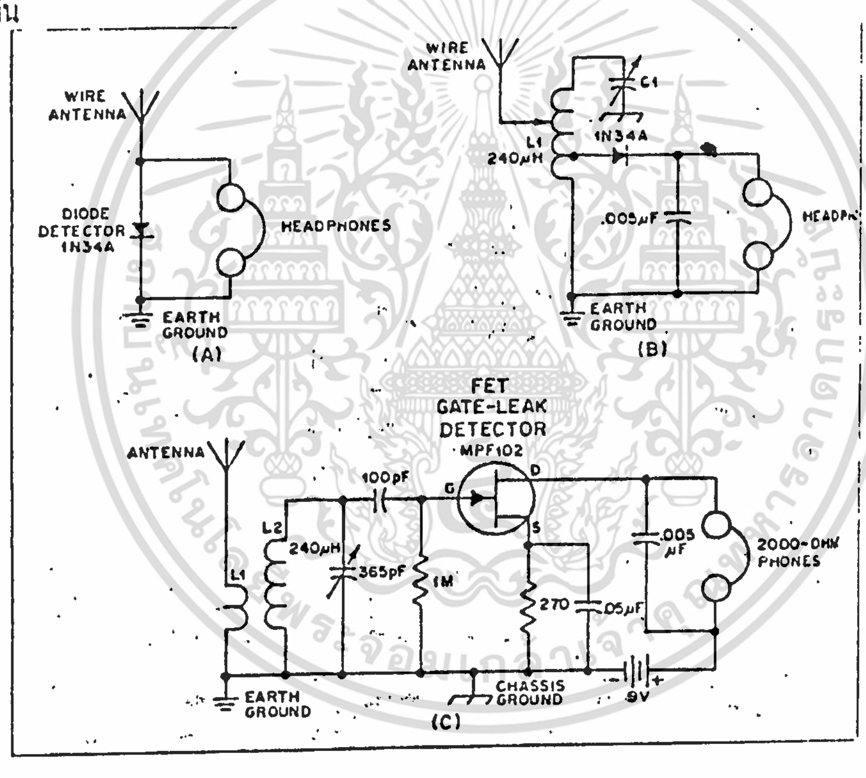
ในชีวิตของผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับวิทยุคงจะได้มีโอกาสสัมผัสกับวิทยุแร่มาบ้างแล้ววิทยุแร่เป็นตัวอย่างการดีเทคสัญญาณคลื่นวิทยุอย่างง่าย ๆ ที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณกระจายเสียงแบบผสมคลื่นทางขนาด ให้เป็นพลังงานเสียง ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการรับแบบง่าย ๆ คือ สายอากาศเส้นยาวซึ่งเป็นตัวเก็บพลังงานในอากาศจากสถานีส่ง , แร่คริสตอล ซึ่งทำมาจากซิลิกอนหรือเยอรมันเนียม และสุดท้ายคือตัวเปลี่ยนพลังงานหรือทรานดิวเซอร์(หูฟังหรือลำโพง) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความถี่วิทยุให้กลายเป็นเสียง เครื่องรับแบบนี้มีการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก กล่าวคือ สายอากาศจะรับคลื่นวิทยุ คริสตอลดีเทคเตอร์จะเรียงกระแส(rectifier) สัญญาณความถี่วิทยุให้เป็นกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปตามอัตราของเสียง ทรานสดิวเซอร์จะตอบสนองกับพลังงานที่ได้จากการเรียงกระแสและทำให้เกิดเป็นคลื่นเสียงที่หูของมนุษย์สามารถได้ยินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 17 ก. แสดงให้เห็นถึงเครื่องรับแร่คริสตอลอย่างง่ายที่สุด มีอุปกรณ์ที่สำคัญเพียง 3 ส่วนคือ ไดโอด, สายอากาศ, หูฟัง สายดินเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้วงจรสมบูรณ์ขึ้น เครื่องรับจะตอบสนองกับสถานีที่มีความแรงมากที่สุด

ในรูปที่ 17 ข. ได้ปรับปรุงวงจรสำหรับเครื่องรับแร่คริสตอล โดยเพิ่มขดลวดและตัวเก็บประจุสำหรับปรับจูน(L_1 และ C_1) ซึ่งเป็นวงจรจูนสามารถปรับเลือกรับเฉพาะความถี่ที่ต้องการ ปลายของสายอากาศด้านหนึ่งสามารถเลื่อนไปมา เพื่อหาตำแหน่งที่จะทำให้การรับชัดเจนที่สุด

และในรูปที่ 17 ค. จะเป็นวงจรที่เพิ่มความดังของสัญญาณเสียงหลังจากผ่านการดีเทคสัญญาณแล้ว ให้มีระดับความแรงมากขึ้นโดยการใช้ เอฟอีที ทำให้เครื่องรับมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น



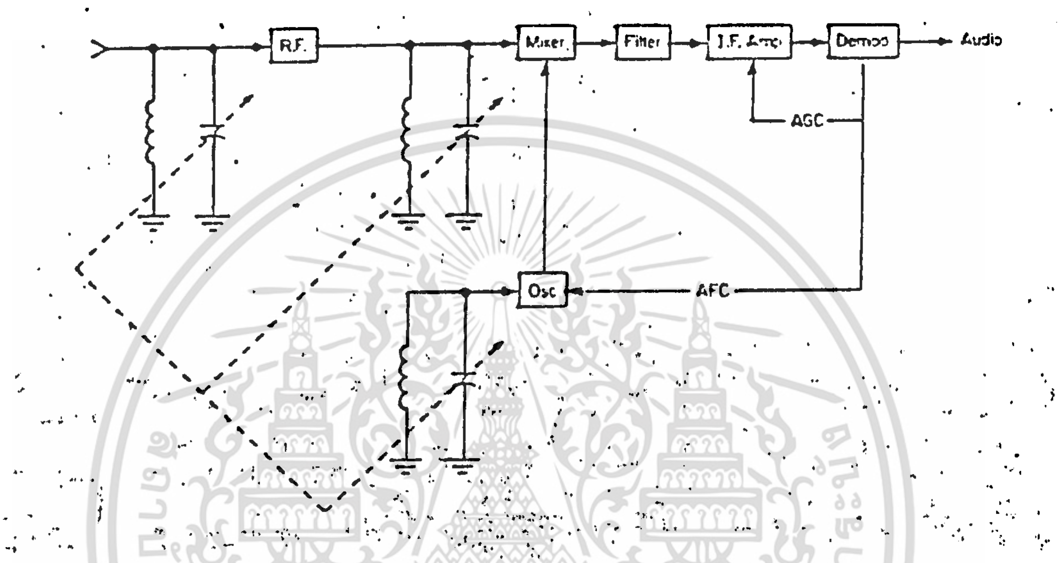
รูปที่ 17 แสดงเครื่องรับวิทยุอย่างง่าย

<u>เครื่องรับเฮทเทอโรดายน์</u>

จุดประสงค์ของเครื่องรับเพื่อจะเลือกเอากลุ่มของความถี่ที่ต้องการจากเครื่องส่งตัวใดตัวหนึ่ง กำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการและสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ออกไป จากนั้นจึงจะทำการแยกสัญญาณให้เป็นข่าวสาร งานหลักของเครื่องรับที่จะทำให้ดีที่สุดก็คือ สัญญาณดั้งเดิมที่ส่งมาจากเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบเครื่องรับเฮทเทอโรดายน์มีข้อดีหลายข้อเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับในระบบอื่น ๆ เช่น เป็นการง่ายที่จะออกแบบให้มีแถบคลื่นแคบ(narrow band) อัตราขยายสามารถทำได้สูงที่ความถี่ต่ำ การขยายความถี่มีเสถียรภาพดีอันเนื่องมาจากการขยายความถี่เดียวคงที่ในภาคขยายสัญญาณไอเอฟ มีเพียงภาคขยายกำลังสัญญาณความถี่วิทยุกับภาคออสซิลเลเตอร์เท่านั้นที่ต้องการเปลี่ยนความถี่



รูปที่ 18 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับเฮทเทอโรดายน์

<u>การเปลี่ยนความถี่</u>

จากการที่เราทราบมาแล้วว่า เครื่องรับเฮทเทอโรดายน์ จะมีการเปลี่ยนความถี่ที่เข้ามาให้ต่ำลง ซึ่งนับเป็นข้อดีอย่างหนึ่ง คือทำให้ประสิทธิภาพการเลือกรับความถี่คงที่ และทำให้วงจรขยายที่มีอยู่หลายภาคทำงานที่ความถี่ต่ำลง คือต่ำกว่า 500 กิโลเฮริทซ์ นั่นคือ สามารถพิจารณาออกแบบให้มีอัตราขยายสูงขึ้น มีเสถียรภาพดีขึ้น ซึ่งดีกว่าการขยายที่ความถี่สูง ความสามารถในการเลือกรับ(Selectivity) ที่สูง และอัตราขยายสูงสามารถทำได้พร้อมกันที่ความถี่ต่ำ ดังนั้นเครื่องรับเฮทเทอโรดายน์ จึงแก้ปัญหาการรับที่ยุ่งยากในเครื่องรับความถี่สูงได้ง่ายกว่า

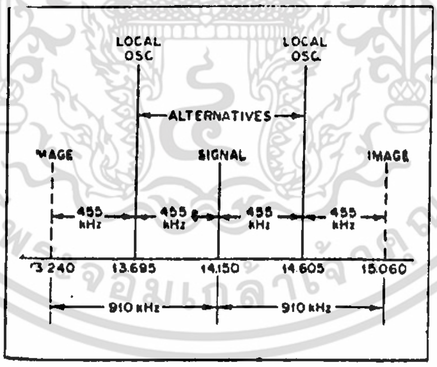
อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนความถี่ก็นำไปสู่ปัญหาใหม่ที่เราไม่สามารถจะมองข้ามไปได้ แต่จะต้องระวังในการออกแบบและการจัดสร้าง วิธีหนึ่งที่รู้จักกันดีของการเปลี่ยนความถี่ที่ให้ประโยชน์ตามต้องการเป็นขบวนการที่เรียกว่า การเฮทเทอโรดายน์(Heterodyning) หรือการผสม(Beating) เพื่อให้เกิดเป็นความถี่ใหม่รู้จักกันโดยสากลว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้รับอนุญาตสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ปานกลาง (Intermediate Frequency) เป็นการผสมความถี่ที่ 3 เข้ากับความถี่ที่รับเข้ามา กรรมวิธีการผสมนำไปสู่เหตุที่น่าสนใจว่า จะเกิดความถี่ใหม่ 2 ความถี่ ความถี่หนึ่งเป็นผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง และอีกความถี่หนึ่งเป็นผลรวมของความถี่ทั้งสอง ซึ่งจะปรากฏที่ทางด้านออกของภาคผสมสัญญาณ (mixer) สำหรับเครื่องรับเฮทเทอโรดายน์ ความถี่ที่ต้องการใช้งานคือ ผลต่างของความถี่

ความถี่อิมเมจ

แท้จริงแล้วสำหรับการเลือกรับความถี่ยังคงเป็นปัญหาในเครื่องรับเฮทเทอโรดายน์ ความถี่สองความถี่ที่เกิดขึ้นทางด้านออก หรือความถี่ไอเอฟนั้น ความถี่ที่ภาคออสซิลเลเตอร์สามารถจะผลิตความถี่ที่ให้ความแตกต่าง 455 กิโลเฮิรทซ์ ได้ 2 ความถี่คือ ความถี่หนึ่งสูงกว่า และอีกความถี่หนึ่งต่ำกว่า เช่น เมื่อรับความถี่ 14.150 เมกกะเฮิรทซ์ เข้ามาภาคออสซิลเลเตอร์จะผลิตความถี่ 14.605 เมกกะเฮิรทซ์ ซึ่งสูงกว่าความถี่ที่รับเข้ามาขณะเดียวกันสัญญาณความถี่ 15.060 เมกกะเฮิรทซ์ ซึ่งเป็นความถี่ด้านข้างของความถี่จากออสซิลเลเตอร์ก็จะมีผลต่อการรับ ความถี่นี้เรียกว่า ความถี่อิมเมจ ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงความถี่อิมเมจของการรับ

ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

เครื่องรับสมัยใหม่บางเครื่องจะไม่มีภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ ระหว่างสายอากาศและภาคผสมสัญญาณ ทำให้ขาดการกำจัดสัญญานอกแถบคลื่น มีความไวในการรับต่ำ และเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย ภาคผสมสัญญาณจะกำเนิดสัญญาณรบกวนภายในและเมื่อเทียบกับภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุจะมีอัตราขยายที่น้อยกว่า ดังนั้นจุดประสงค์ที่แท้จริงของภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุก็คือ การรับสัญญาณที่เข้ามาและเอาชนะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาคผสมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงของระดับสัญญาณด้านเข้าที่ต้องการเพื่อส่งเข้าไปยังภาคผสมสัญญาณ จำเป็นต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมด้วยวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ อัตราขยายของภาคนี้ควรจะเพียงพอในการขยายสัญญาณต่ำหรืออ่อนที่สุดจากสายอากาศและจะต้องมีระดับที่สูงกว่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาคผสมสัญญาณและในตัวเอง ปกติภาคนี้จะมีอัตราขยายประมาณ 10 ดีบี

วงจรจูนทางด้านเข้าและด้านออก ต้องการการเลือกที่เพียงพอที่จะกำจัดสัญญาณอิมเมจ และสัญญาณแปลกปลอมอื่น ๆ ออกได้หมด ซึ่งบางครั้งวงจรควบคุมการขยายสัญญาณอัตโนมัติ หรือ เอจีซี (AGC) อาจจะจำเป็นต้องใช้เพื่อป้องกันการเกิดความผิดเพี้ยนเมื่อสัญญาณแรงเกินไป

ภาคผสมสัญญาณ

ภาคผสมสัญญาณ อาจจะเรียกว่า ภาคเปลี่ยนความถี่ (Converters) เนื่องจากจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ รับเข้ามาในเครื่องเฮทเทอโรดายน์ ให้เป็นความถี่ปานกลาง ไอเอฟ

ภาคผสมสัญญาณมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งมีทั้งแบบซิงเกิลเอ็นด์ (Single ended) , ซิงเกิล บาลานซ์ (Single Balance) และดับเบิล บาลานซ์ (double balance mixer). และยังมีแบบที่ทำงานแบบแอคทีฟ (active) และพาสซีฟ (passive) ซึ่งแบบแอคทีฟ เป็นแบบหนึ่งที่ต้องการแรงไฟตรงสำหรับการทำงาน มีอัตราการขยายที่มากกว่า 1 ส่วนแบบพาสซีฟ จะไม่ใช้แรงไฟ สำหรับการทำงาน แต่มีการสูญเสียที่มากกว่า 10 ดีบี

ในทางความคิดแล้วภาคผสมสัญญาณควรจะมีสัญญาณ ไอ.เอฟ. เพียงความแตกต่างของความถี่ที่เข้ามาทั้งสองเท่านั้น ซึ่งสัญญาณด้านเข้าทั้งสองนี้จะเป็นสัญญาณด้านเข้าทั้งสองนี้จะเป็นสัญญาณจากภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์ กับสัญญาณที่ขยายมาจากภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่เราได้เลือกรับเข้ามา แต่เนื่องจากสภาพที่ไม่เป็นเชิงเส้นของภาคผสมสัญญาณจะทำให้เกิดเป็นสัญญาณอิมเมจได้ ปกติความถี่ที่สองของสัญญาณความถี่ ไอ.เอฟ. สามารถจะผสมกับความถี่จากออสซิลเลเตอร์และทำให้เกิดเป็นสัญญาณทางออกที่ภาคขยาย ไอ.เอฟ. ได้เช่นกัน

ภาคโลคอล ออสซิลเลเตอร์

เสถียรภาพในการผลิตความถี่เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดของภาคนี้ ซึ่งจะต้องคงความถี่อยู่ได้ในระดับเดิม และเปลี่ยนความถี่ได้เมื่อต้องการ อาจจะกล่าวได้ว่า เครื่องรับที่ดี ๆ นั้นสามารถจะหมดคุณค่าได้ ถ้าภาพออสซิลเลเตอร์ไม่มีเสถียรภาพ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเกิดความร้อนภายในอุปกรณ์ หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบริเวณพื้นที่ของภาคออสซิลเลเตอร์การไหลของกระแสความถี่วิทยุภายในส่วนต่าง ๆ ของวงจร ตัวต้านทาน ขดลวด ตัวเก็บประจุ และทรานซิสเตอร์ เป็นเหตุให้อุปกรณ์เกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้ความถี่ทำงานผิดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรักษาระดับกำลังงานของภาคออสซิลเลเตอร์ให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยการลดกระแสไฟตรง และกระแสความถี่วิทยุ ภายในอุปกรณ์จะทำให้เสถียรภาพดีขึ้น การใช้แรงไฟที่ปรับระดับแล้วในภาคออสซิลเลเตอร์ หรือทุก ๆ ภาคที่ออสซิลเลเตอร์เกี่ยวข้องจะช่วยให้เสถียรภาพดีขึ้น เพราะการเปลี่ยนแปลงของแรงไฟที่จ่ายให้ควรจะเรียบปราศจากการฮัมและสัญญาณรบกวน มิฉะนั้นจะทำให้เข้าไปยังภาคผสมสัญญาณทำให้เสียงที่ได้มีเสียงที่ได้มีเสียงฮัมและไม่ชัดเจน การแก้ไขทำได้โดยการใช้วงจรจูนที่มีค่า Q สูง จะทำให้มีแถบคลื่นของสัญญาณรบกวนต่ำ

<u>ภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง</u>

หน้าที่สำคัญของภาคนี้ คือ

(1) ต้องมีการขยายที่สูงขนาด 60 – 100 ดีบี และสามารถลดลงได้เมื่อเกิดมีสัญญาณแรงเข้ามา

(2) กรองเอาสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไปหมด

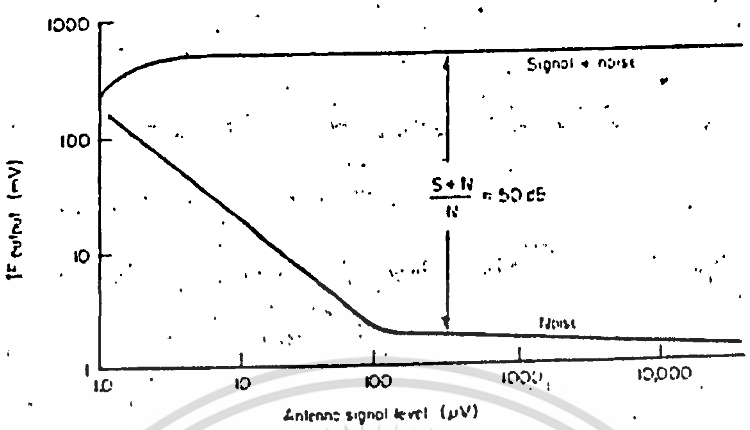
(3) จำกัดการเปลี่ยนแปลงทางขนาด (ในกรณีของ เอฟ.เอ็ม)

(4) จำกัดขนาดของสัญญาณรบกวน (ในกรณีของ เอ.เอ็ม และเอส. เอส.บี)

หลังจากที่ผ่านการผสมคลื่นได้สัญญาณความถี่ปานกลางแล้วจะต้องทำการขยายให้มีระดับความแรงที่สูงขึ้น โดยอาจจะใช้หลอดสุญญากาศ ทรานซิสเตอร์ เอฟอีที หรือ ไอซี ภาคนี้จะมีความกว้างของแถบคลื่นรวม โดยมีวงจรเอจีซี ใช้เพื่อการปรับสำหรับการเปลี่ยนแปลงการรับสัญญาณ ปกติสัญญาณ ไอ.เอฟ. จะมีความถี่ต่ำกว่าสัญญาณความถี่วิทยุ แต่ในบางกรณีสัญญาณ ไอ.เอฟ. อาจจะสูงกว่าเพื่อต้องการลดอินเตอร์โมดูเลชั่น (Intermodu - lation) และปัญหาสัญญาณอิมเมจ

ภาคขยายสัญญาณ ไอ.เอฟ. ในเครื่องรับ จะต้องมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นและควรมีระดับสัญญาณคงที่จนถึงภาคดีเทคเตอร์ เมื่อความเข้มของสายอากาศเพิ่มขึ้น อัตราขยายควรจะลดลงในสัดส่วนที่เหมาะ ดังนั้น อัตราส่วนของสัญญาณกับสัญญาณรบกวน(Signal to noise ratio) ที่ ภาคดีเทคเตอร์จะดีขึ้น ดังในรูปที่ 20

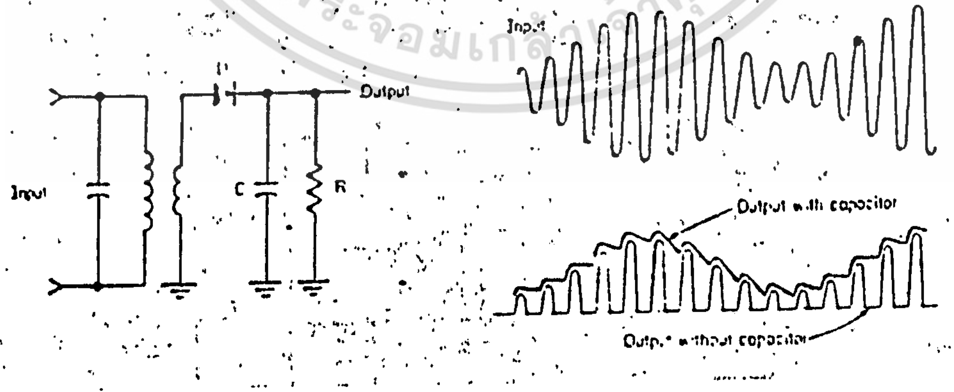
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 แสดงเอจีซีของภาคขยายไอ.เอฟ.

ภาคดีเทคเตอร์

วงจรดีเทคเตอร์ที่ง่ายที่สุดจะประกอบด้วยไดโอด กับตัวเก็บประจุ อย่างละ 1 ตัว แต่ในการใช้งานบางกรณี เช่น ในโทรทัศน์, การสื่อสารสัญญาณต่ำ ฯลฯ จะต้องมีอุปกรณ์อื่น ๆ มาประกอบอีก ในรูปที่ 21 การทำงานของไดโอดจะตัดส่วนสูง (peak) ของคลื่น โดยมีตัวเก็บประจุเป็นตัวประจุและคายประจุค่าเฉลี่ยแรงไฟที่ตัวเก็บประจุจะถูกทำกลับคืนเป็นรูปคลื่นสัญญาณเสียง



รูปที่ 21 แสดงการทำงานของวงจรดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ภาคขยายสัญญาณความถี่เสียง</u>

เมื่อต้องการกำลังงานที่จะทำให้ลำโพงทำงาน ก็จะต้องนำเอาสัญญาณที่ได้จากภาคดีเทคเตอร์มาเข้าวงจรขยาย ซึ่งอาจจะเป็นการขยายแบบพุช – พูล หรือการขยายในคลาสต่าง ๆ ซึ่งมีหลายแบบแล้วแต่การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวิทยุรับ–ส่งความถี่ 27 MHz.

จากวงจรและบล็อกไดอะแกรมของวิทยุรับ–ส่งความถี่ 27 MHz. เมื่อพิจารณาดูจะแบบว่า วงจรประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

(1) ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาครับคลื่นวิทยุ

(2) ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งคลื่นวิทยุ

ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะทำการรับและส่งคลื่นพาหะ (Carrier Wave) เป็นแบบ Amplitude Modulation ซึ่งความถี่ของคลื่นพาหะที่ใช้จะอยู่ในช่วง 27 MHz. อันเป็นย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นสำหรับประชาชน (Citizen radio band) สามารถให้กำลังส่งถึง 5 วัตต์

(1) ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาครับคลื่นวิทยุ

ทางด้านภาครับนี้จะมีการทำงานของวงจรเป็นแบบซุปเปอร์เฮทเทโรดายน์ (Super heterodyne) ซึ่งเป็นระบบที่ทำการรับคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงเข้ามาแล้วเปลี่ยนความถี่นั้นให้เป็นความถี่ปานกลาง (Intermediat Frequency : IF) โดยเครื่องรับจะสร้างความถี่ขึ้นมาใหม่ความถี่หนึ่งแล้วนำไปผสมกับความถี่ที่รับเข้ามาให้เหลือเป็นความถี่ปานกลาง การทำงานของวงจรมีดังนี้

ภาคขยายความถี่วิทยุ (Radio Frequency Amplifier)

เมื่อมีสัญญาณความถี่วิทยุขนาด 27 MHz. ผ่านเข้ามาทางสายอากาศเข้าสู่วงจรจูน L_1 และ C 20pf ผ่านวงจร R-C Coupling ซึ่งจะยอมให้สัญญาณความถี่วิทยุ (RF) ผ่านเข้าสู่ขาเกทของเฟท FET_2 ได้เท่านั้น หลังจากสัญญาณผ่านเข้าสู่ขาเกทของเฟทก็จะถูกขยายให้มีสัญญาณแรงขึ้นก่อนที่จะทำการผสมคลื่นในภาคมิกเซอร์

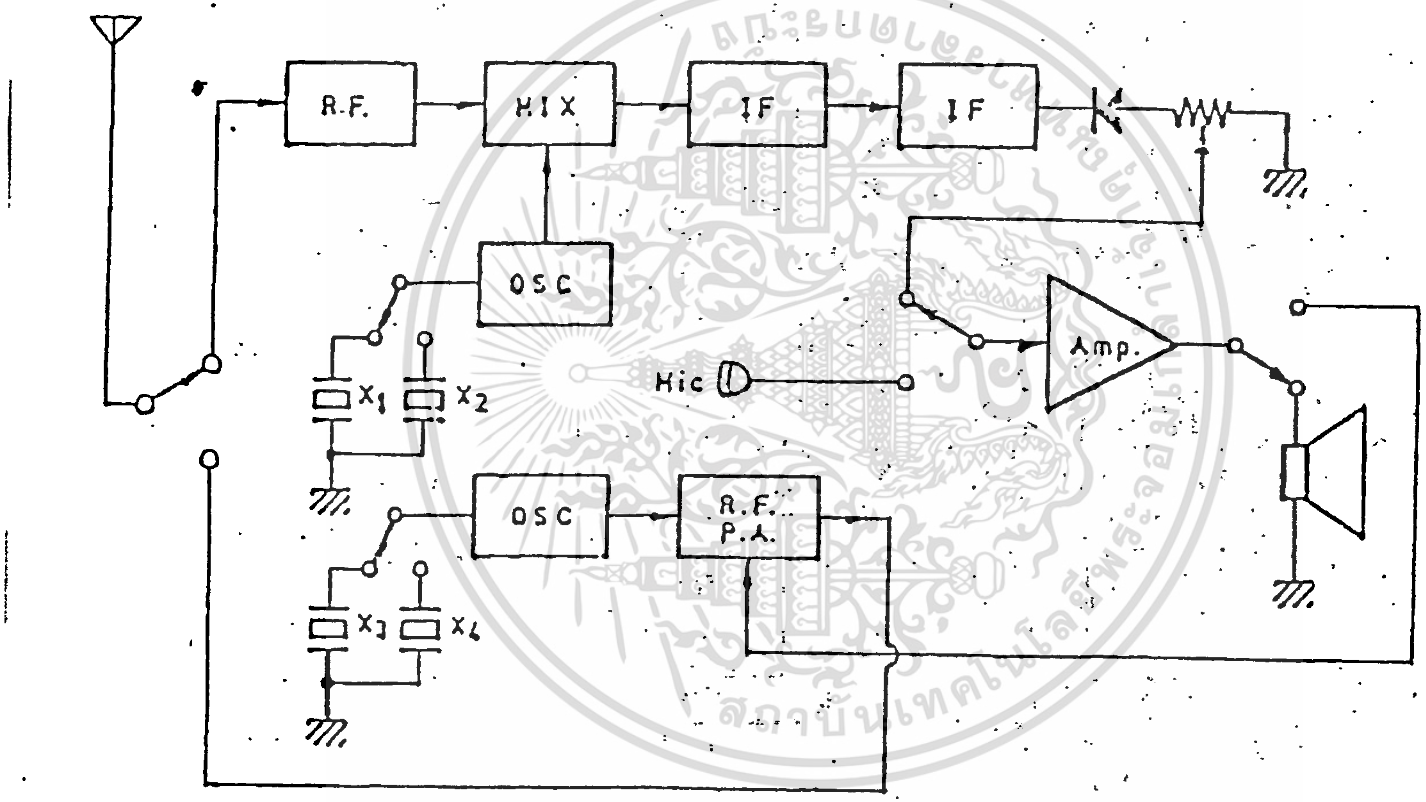
ภาคผสมคลื่น (Mixer)

วงจรในภาคนี้ใช้เฟท FET 2 ทำหน้าที่เป็นตัวผสมคลื่นด้วย โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่วิทยุที่รับเข้ามาผสมกับความถี่ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมาใหม่ ความถี่ปานกลาง (IF) ซึ่งภาคนี้จะนำเอาความถี่ที่รับเข้ามาผสมกับความถี่ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมาใหม่ ความถี่ปานกลางที่ออกทางเอาท์พุทของภาคผสมคลื่นนี้จะมีค่าเท่ากับ 455 KHz.

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการทำงานของเฟท FET 2 นี้อาจกล่าวได้ว่า FET2 นี้ทำหน้าที่เป็นภาคคอนเวิทเตอร์ (Converter)

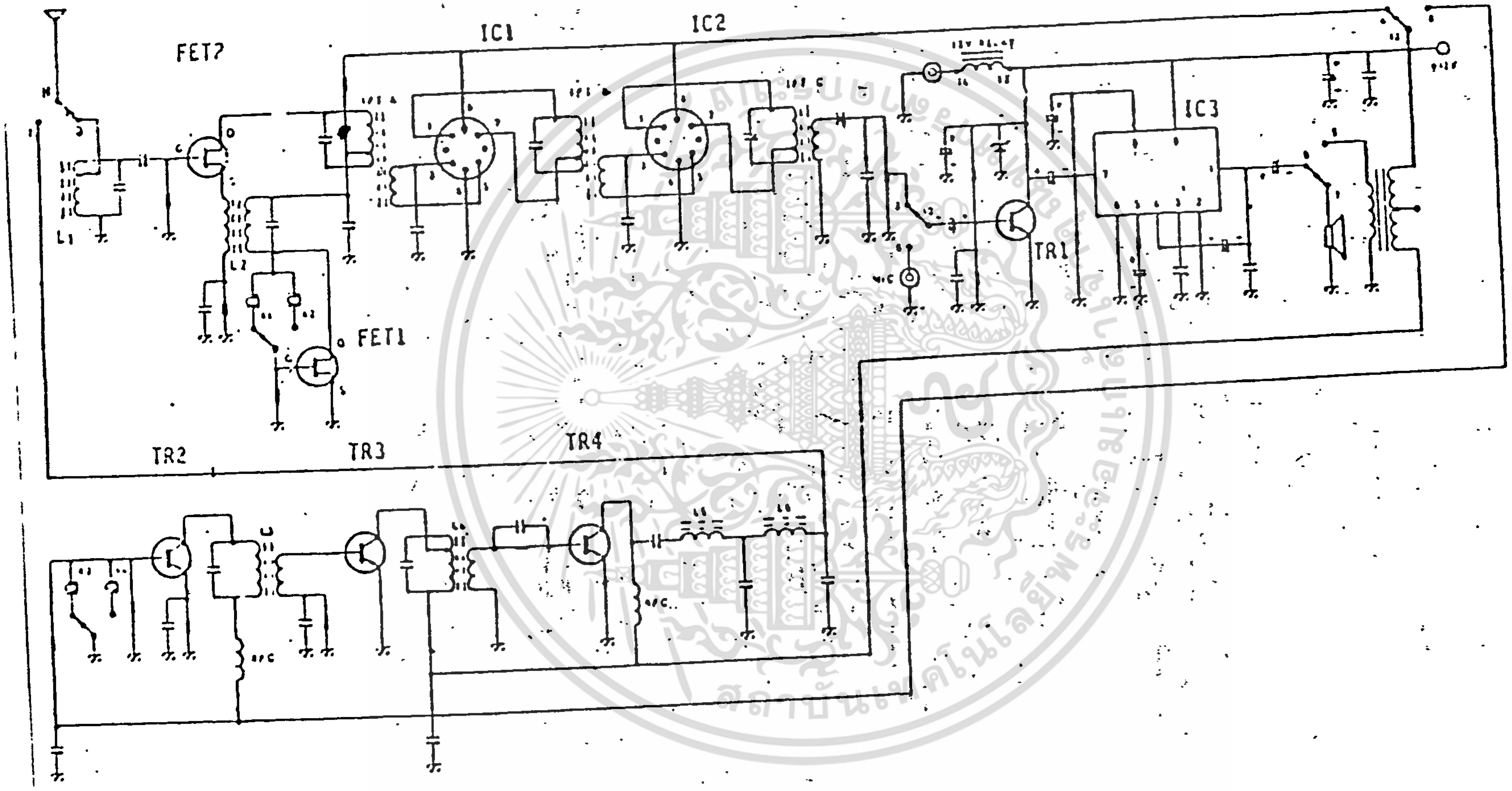
ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่ขยายความถี่วิทยุแล้วยังทำหน้าที่เป็นตัวผสมคลื่นอีกด้วย ลักษณะการต่อวงจรของ FET2นี้เป็นการต่อแบบซอร์สร่วม (Common Source)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 28 แสดง block diagram ของวิทยุรับ – ส่งความถี่ 27 เมฮะ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 แสดงวงจรของวิทยุรับ - ส่งความถี่ 27 MHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุ หรือ ภาคออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

ในภาคนี้มีเฟท FET 1 ทำหน้าที่เป็นภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุ โดยทำงานร่วมกับคริสตอล ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้วงจรทำงาน ความถี่ที่ถูกสร้างขึ้นในภาคนี้จะถูกเหนี่ยวนำไปยังขาซอร์ส (S) ของเฟท FET 2 โดยความถี่ที่ผลิตขึ้นนี้จะถูกกำหนดโดยคริสตอลที่ต่ออยู่ในวงจร สัญญาณความถี่วิทยุที่ได้จะผ่านวงจรเอาท์พุต รีโซแนนซ์ของภาคออสซิลเลเตอร์นี้ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าสู่ ซึ่งทำหน้าที่เป็นทรานสฟอร์เมอร์ คับปลิ้ง (Transformer Coupling) ให้ความถี่ที่ผลิตได้นี้เข้าสู่ขาซอร์สของ FET 2 ลักษณะการต่อวงจรของ FET 1 ก็เป็นการต่อแบบซอร์สร่วมเช่นเดียวกับ FET 2

หลังจากที่สัญญาณความถี่วิทยุที่รับเข้ามาได้รับการขยายแล้ว และในขณะเดียวกันกับที่สัญญาณความถี่วิทยุที่ผลิตขึ้นมาจากภาคออสซิลเลเตอร์ถูกส่งเข้ามา FET 2 ก็จะทำการผสมคลื่นทั้งสองเข้าด้วยกัน ได้เป็นความถี่ปานกลาง (IF)455 ออกมาทางขาเดรน (D) ของ FET 2 ซึ่งเป็นความถี่ที่อยู่ระหว่างความถี่วิทยุกับความถี่เสียง

ภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง (I.F. Amplifier)

หลังจากที่สัญญาณความถี่ปานกลาง (IF)ออกจากขาเดรน (D) ของเฟท FET2 แล้วสัญญาณ (IF) นี้จะถูกส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง เพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีระดับสัญญาณแรงขึ้น โดยจะผ่านทรานสฟอร์เมอร์ คับปลิ้ง IFT.A เข้าสู่ IC 1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางภาคแรก จากนั้นสัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วก็จะเข้าสู่ ไอ.เอฟ. ทรานสฟอร์เมอร์ IFT.B ซึ่งทำหน้าที่คับปลิ้งสัญญาณจาก IC 1 ไปสู่ IC 2 โดยภาคนี้ IC 2 ก็ยังคงทำหน้าที่เป็นภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางที่สองเพื่อให้มีระดับสัญญาณแรงขึ้นอีก การใช้ภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางถึง 2 ภาคเช่นนี้นอกจากจะทำให้ได้ระดับความแรงของสัญญาณสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นอีกด้วย

เมื่อ IC 2 ทำการขยายสัญญาณแล้วก็จะส่งสัญญาณออกไปเข้า ไอ.เอฟ.ทรานสฟอร์เมอร์ IFT. C ที่ทำหน้าที่คับปลิ้งสัญญาณจาก IC 2 ไปสู่ภาคดีเทคเตอร์ สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางทั้งสองภาคนี้ยังคงมีความถี่ 455 เท่าเดิมเพียงแต่มีระดับความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ภาคดีเทคเตอร์</u> (Detector)

ภาคดีเทคเตอร์นี้ประกอบอุปกรณ์ที่สำคัญคือ ไดโอด ซึ่งลักษณะสมบัติของไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่จะให้สัญญาณผ่านเพียงทางเดียว ซึ่งในวงจรภาครับนี้ไดโอดจะทำหน้าที่ตัดแบ่งสัญญาณที่ออกมาจากภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางให้เหลือเพียงซีกหนึ่งซีกใดเท่านั้น จากลักษณะการต่อวงจรจะเห็นได้ว่าขั้วแคโทดของไดโอดต่อเข้ากับเอาท์พุทของภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางดังนั้น เมื่อมีสัญญาณซีกบวกปรากฏที่ขั้วแคโทดของไดโอดจะทำให้แคโทดมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับอาโนดกรณีเช่นนี้จะทำให้ไดโอดคัทออฟ สัญญาณซีกบวกจึงไม่สามารถผ่านไดโอดไปได้

เมื่อสัญญาณความถี่ปานกลางซีกลบปรากฏที่ขั้วแคโทดของไดโอดจะทำให้แคโทดมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับอาโนด ผลก็คือทำให้ไดโอดนำกระแส (Conduct) สัญญาณซีกลบจึงผ่านไดโอดได้

ที่ภาคดีเทคเตอร์นี้นอกจากจะทำหน้าที่ตัดแบ่งสัญญาณที่ออกจากภาคขยายสัญญาณความถี่ปานกลางให้เหลือเพียงสัญญาณซีกลบเท่านั้น ยังทำหน้าที่กรองเอาสัญญาณความถี่วิทยุที่ถูกผสมมากับสัญญาณเสียงให้หมดไปอีกด้วย โดยที่ภาคนี้จะใช้คุณสมบัติของตัวเก็บประจุที่จะยอมให้ความถี่วิทยุผ่านตัวมันได้ง่ายมาเป็นตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุลงดินไป เพื่อไม่ให้สัญญาณความถี่วิทยุไปรบกวนสัญญาณเสียงจากวงจรใช้ตัวเก็บประจุขนาด 0.01 UF. ต่อหลังไดโอดที่ทำหน้าที่ดีเทค-เตอร์ เป็นตัวกรองสัญญาณความถี่วิทยุลงดิน ดังนั้นจึงมีแต่สัญญาณเสียงที่มีความถี่ต่ำเท่านั้นที่สามารถผ่านไปยังวงจรขยายสัญญาณเสียงได้

<u>ภาคขยายสัญญาณความถี่เสียง</u> (Audio Frequency Amplifier)

สัญญาณความถี่เสียง หรือสัญญาณ AF ที่ได้จากภาคดีเทคเตอร์จะผ่านตัวต้านทานที่ปรับค่าได้เพื่อจะให้ระดับความแรงของสัญญาณที่จะเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณเสียงมากหรือน้อยตามต้องการ ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้นี้เรียกว่า วอลลุ่ม คอนโทรล (Volume Control) จากการปรับระดับความแรงที่ต้องการแล้วสัญญาณความถี่เสียงก็จะเข้าสู่ขาเบสของ TR 1 ซึ่งเป็นภาคขยายสัญญาณความถี่เสียงภาคแรก โดยวงจรทางขาคอลเลคเตอร์จะมีซีเนอร์ ไดโอด (Zener diode) ๑ โวลท์ ต่ออยู่เพื่อทำหน้าที่รักษาระดับแรงไฟให้คงที่ สัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะส่งผ่านไปยัง 3 โดยผ่านวงจรอาร์-ซี คัปปลิ้ง (R-C Coupling) ซึ่ง IC 3 ก็ทำหน้าที่เป็นภาคขยายสัญญาณความถี่เสียงเช่นเดียวกับ TR 1 เพื่อขยายสัญญาณความถี่เสียงให้มีระดับสัญญาณแรงมากพอที่จะไปขับลำโพงให้ดังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งคลื่นวิทยุ

เมื่อพิจารณาจากบล็อกไดอะแกรมของวิทยุรับ–ส่งความถี่ 27 MHz. เมื่อพิจารณาดูจะพบว่า ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ผลิตคลื่นความถี่วิทยุขึ้นมา และนำเอาสัญญาณความถี่เสียงที่เราต้องการจะส่งออกมาผสมเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นก็จะทำการขยายให้มีกำลังแรงขึ้นเพื่อจะได้ส่งออกอากาศไปได้ในระยะทางไกล ๆ การทำงานของวงจรมีดังนี้

ภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุ หรือ ภาคออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

ในภาคนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งจะถูกควบคุมให้ผลิตความถี่วิทยุที่ความถี่ประมาณ 27 MHz. โดยใช้คริสตอลซึ่งการใช้คริสตอลจะช่วยทำให้การรักษาเสถียรภาพของวงจรดีขึ้น ความถี่ที่ผลิตขึ้นนี้จะผ่านวงจรเอาท์พุท ไอเอฟแทนที่ซึ่งมีทำหน้าที่เป็นทรานสฟอร์เมอร์ คัปปลิ้ง (Transformer Coupling) ให้ความถี่ที่ผลิตได้นี้เข้าสู่วงจรภาคบัฟเฟอร์ต่อไป

ภาคบัฟเฟอร์ (Buffer)

หลังจากที่เครื่องรับ–ส่งได้ผลิตความถี่ขึ้นมาแล้วจะส่งเข้าไปยังภาคบัฟเฟอร์ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่ภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุสร้างขึ้นมา เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความแรงมากพอที่จะไปขับภาคขยายกำลังความถี่วิทยุภาคสุดท้าย (Final Power Amplifier) และตามปกติภาคบัฟเฟอร์จะเป็นภาคที่มีอัตราการขยายต่ำ (Low Gain) มีจุดทำงาน (operating point) ต่ำ ดังนั้นภาคบัฟเฟอร์จึงเป็น Hight Impedance Load ของภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุซึ่งจะไม่ดึงกระแสจากภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุ และช่วยป้องกันการ Load ของภาคผลิตคลื่นความถี่วิทยุจากภาคถัดไป

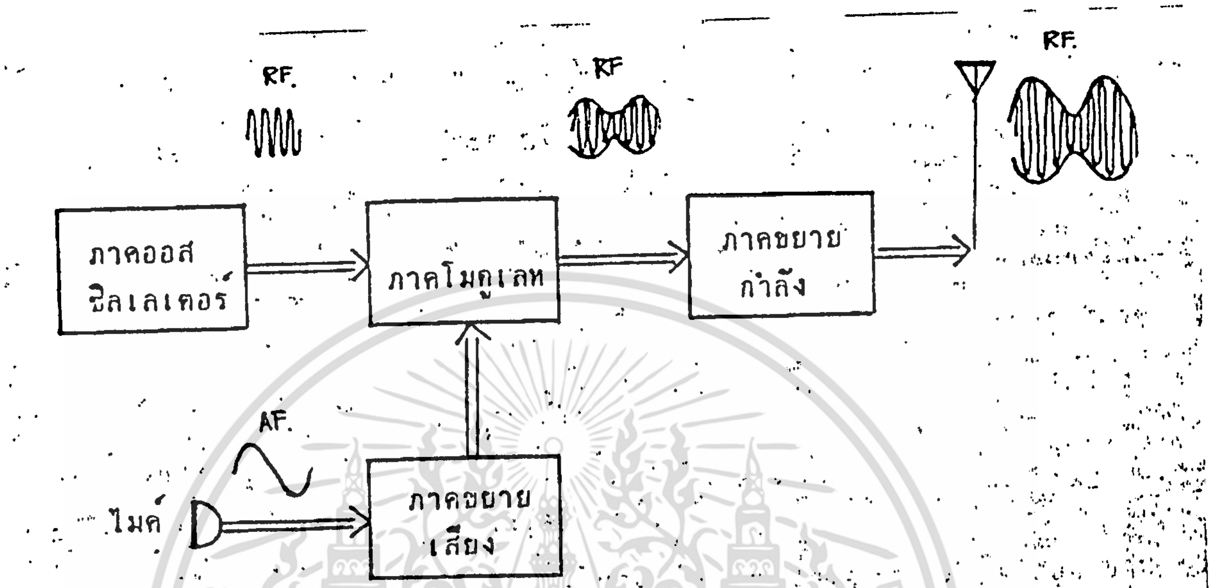
นอกจากนี้ถ้าความถี่จากภาคออสซิลเลเตอร์ไม่สูงพอที่ต้องการจะส่งเราไปใช้ภาคนี้ทำการทวีความถี่ (Multiple) ให้สูงขึ้นตามที่ต้องการ ซึ่งเราอาจเรียกชื่อใหม่ว่าวงจรทวีความถี่ (Multiplier) การทวีความถี่ทำให้ได้โดยจูนวงจร Tank เพื่อเอาความถี่ฮาร์โมนิค (Hamonic Frequency) ที่ต้องการออกไปใช้

ภาคขยายกำลังความถี่วิทยุภาคสุดท้าย (Final Power Amplifitier)

เป็นภาคสุดท้ายของส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งคลื่นวิทยุ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่ได้รับการผสมสัญญาณความถี่เสียงแล้ว ให้มีกำลังแรงขึ้นเพื่อจะได้ส่งออกอากาศไปได้ระยะทางไกล ๆ สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากภาคนี้ก่อนจะส่งออกอากาศจะป้อนเข้าสู่วงจรกรองความถี่ (Filter) ซึ่งประกอบด้วย L_5 , D_6 และ C_{250pf} ทั้งนี้เพื่อไม่ให้มีสัญญาณความถี่ฮาร์โมนิคไปรบกวนระบบการสื่อสารอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปด้านล่างนี้แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งวิทยุพร้อมทั้งการ Modulate สัญญาณความถี่เสียงเข้ากับสัญญาณความถี่วิทยุ เพื่อส่งออกอากาศ



รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมของการส่งคลื่นวิทยุเพื่อออกอากาศ

สัญญาณความถี่เสียงที่ต้องการจะส่งจะถูกไมโครโฟนเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีระดับความแรงต่ำจึงต้องมีการขยายให้มีความแรงมากขึ้นอีก

<u>ภาคขยายสัญญาณความถี่เสียง</u> (Audio Frequency Amplifier)

สัญญาณความถี่เสียง หรือสัญญาณ AF ที่ได้จากไมโครโฟนจะถูกขยายให้มีความแรงมากขึ้นพอที่จะส่งไป Modulate กับสัญญาณความถี่วิทยุได้ ในภาคนี้อาจจะใช้ภาคขยายเพียงภาคเดียว หรือ 2 ภาคก็ได้แล้วแต่ความต้องการ

<u>ภาคโมดูเลเตอร์</u> (Modulator)

เป็นภาคที่จะนำเอาสัญญาณความถี่วิทยุที่ผลิตได้จากภาคออสซิลเลเตอร์มาทำการมอด (Mod) กับสัญญาณความถี่วิทยุ การ Mod มีด้วยกันหลายชนิดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้แต่ในที่นี้จะใช้การ Mod แบบแอมปลิจูด โมดูเลชั่น (Amplitude Modulation) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนระดับแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่วิทยุไปตามการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งวิทยุที่สมบูรณ์ กับส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งคลื่นวิทยุของเครื่องรับ–ส่งวิทยุแล้วจะพบว่ามีส่วนที่คล้ายคลึงกันกล่าวคือ

ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งคลื่นวิทยุของเครื่องรับ–ส่งวิทยุความถี่ 27 MHz นี้จะประกอบด้วยภาคออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่ผลิตคลื่นความถี่วิทยุ ภาคขยายสัญญาณความถี่เสียงทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟน และภาคขยายกำลังความถี่วิทยุภาคสุดท้ายซึ่งภาคนี้ได้รวมเอาภาคบัฟเฟอร์ ภาคโมดูเลเตอร์ และภาคขยายกำลังเข้าไว้เป็นบล็อกเดียวกัน

และเมื่อพิจารณาจากวงจรประกอบโดยคร่าว ๆ วงจรส่วนนี้จะมีการทำงานดังนี้

สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนจะผ่านเข้า TR 1 ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงภาคแรกซึ่งจัดรูปแบบการขยายไว้ที่คลาส เอ เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด จากนั้นก็จะผ่านเข้าสู่ IC 3 ซึ่งเป็นภาคขยายกำลังความถี่เสียงภาคสุดท้าย การทำงานของทั้งสองภาคนี้เหมือนกับการทำงานทางด้านรับเนื่องจากใช้วงจรร่วมกัน แต่สัญญาณที่ออกจาก IC 3 จะไม่ป้อนเข้าสู่ลำโพงเหมือนทางเครื่องรับแต่จะป้อนเข้าไปยังทรานสฟอร์เมอร์ T 1 เพื่อนำไป Mod กับสัญญาณความถี่วิทยุจากภาคออสซิลเลเตอร์ที่ภาคโมดูเลเตอร์

ทรานซิสเตอร์ TR 2 ทำหน้าที่เป็นภาคออสซิลเลเตอร์ของเครื่องส่งโดยผลิตความถี่ผ่าน L_3 เข้าไปยัง TR 3 เพื่อทำการขยายและในขณะเดียวกัน TR 3 ยังทำหน้าที่เป็นภาคโมดูเลเตอร์ของเครื่องส่งอีกด้วย คือจะทำการ แบบ เอ.เอ็ม. (A.M) โดยสัญญาณความถี่เสียงจะป้อนเข้าทางขาคอลเลคเตอร์เป็นการ แบบคอลเลคเตอร์ โมดูเลชั่น (collector Modulation) สัญญาณที่ผ่านการ Mod แล้วจะเป็นสัญญาณความถี่วิทยุมีความถี่ประมาณ 27 MHz. ป้อนผ่าน L_4 เข้าขยายใน TR 4 ซึ่งเป็นภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ (R.F. Power Amplifier) สัญญาณที่ออกทางขาคอลเลคเตอร์ของ TR 4 จะผ่านเข้าสู่วงจรกรองความถี่ (Filter) เพื่อจะกรองความถี่ฮาร์โมนิคต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการให้ลงกราวนด์ไปเพื่อไม่ให้ออกไปรบกวนระบบการสื่อสารอื่น ๆ

บทที่3การสร้างวิทยุรับ–ส่งความถี่ 27 MHz.

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบลงบนแผ่นวงจร

รีเลย์ ไฟตรงขนาด 12 โวลท์ มีคอนแทค 4 ชุด สำหรับตัด/ต่อ การรับ–ส่ง

TR 4 และ IC 3 เนื่องจากเป็นภาคขยายกำลังต้องติดแผ่นระบายความร้อนเพื่อช่วยลดอุณหภูมิ

ไอ.เอฟ.ทรานสฟอร์เมอร์ เป็นแบบ 455 KHz. เหมือนของวิทยุเอ.เอ็ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IFT.A สีแดง

IFT.B สีเหลือง

IFT.C สีดำ

เอาท์พุท ทรานสฟอร์เมอร์ ใช้ 8 โอห์ม , 60 โอห์ม หรือ 100 โอห์มก็ได้

L_1 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 28 SWG. พันเรียงเส้นรอบแกน 8 มม. 11 รอบ แท็ปรอบที่ 6 ต่อสายอากาศ

L_2 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 28 SWG พันเรียงเส้นรอบแกน 8 มม. พัน 2 ขด จำนวน 3 รอบ และ 8 รอบตามลำดับ

L_3 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 28 SWG พันเรียงเส้นรอบแกน 8 มม. พัน 2 ขด จำนวน 8 รอบ และ 3 รอบตามลำดับ

L_4 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 28 SWG พันเรียงเส้นรอบแกน 8 มม. พัน 2 ขด จำนวน 9 รอบ เท็ปรอบที่ 5 กับจำนวน 2 รอบตามลำดับ

L_5 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 26 SWG พันเรียงเส้นรอบแกน 8 มม. จำนวน 4 รอบ

L_6 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 26 SWG พันเรียงเส้นรอบแกน 8 มม. จำนวน 5 รอบ

R.F.C.ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 20 SWG. พันรอบปากกาลูกลื่นเรียงเส้น จำนวน 14 รอบ

ตัวต้านทานทุกตัวขนาด 1/2 วัตต์ ความผิดพลาดต่ำ

บทที่4การทดลองและผลการทดลอง

ภาคส่ง

เนื่องจากวงจรออสซิลเลเตอร์ทางภาคส่งเป็นวงจรที่ต้องการความถูกต้อง และมีเสถียรภาพมากที่สุด เพื่อให้ได้ความถี่ที่เราต้องการประมาณ 27 ถึงแม้จะใช้วงจรคริสตอล ออสซิลเลเตอร์ก็ตาม เมื่อประกอบภาคออสซิลเลเตอร์เรียบร้อยก็ได้ใช้ออสซิลโลสโคปทำการตรวจวัดรูปคลื่นสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความเป็นซายน์แท้จริง และได้ความถี่ที่ถูกต้องตามที่ต้องการ

การปรับแต่งวงจรจูนต่าง ๆ ในภาคโมดูเลเตอร์ และภาคขยายกำลังสัญญาณความถี่วิทยุอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าเป็นเครื่องทดสอบ โดยใช้ลวดเบอร์ 25 พันให้

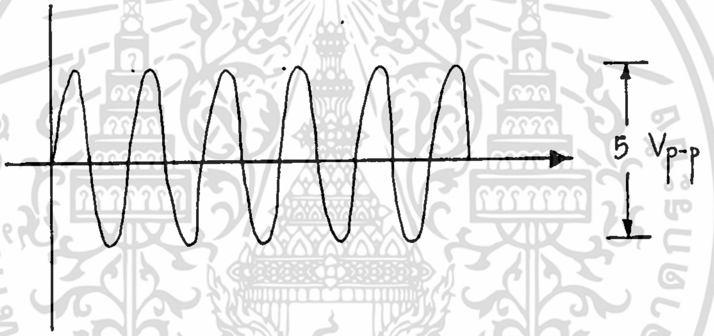
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 มม. จำนวน 3 รอบ ต่อไว้ด้วยหลอดไฟขนาด 6 โวลท์ วางไว้ใกล้ ๆ กับขดลวด L_6 ในภาคขยายกำลังสัญญาณความถี่วิทยุ จากนั้นทำการปรับ L_3, L_4, L_5 และ L_6 จนกระทั่งหลอดมีความสว่างมากที่สุด

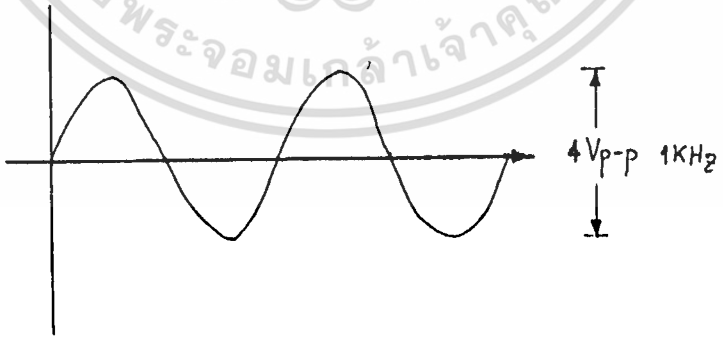
ภาครับ

วงจรทางภาครับเป็นแบบซุปเปอร์เฮทเทอโรดายน์เหมือนกับเครื่องรับวิทยุระบบ ดังนั้นขั้นตอนการปรับแต่งต่าง ๆ จึงมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ในตอนแรกทำการตรวจสอบภาคออสซิลเลเตอร์โดยวัดแรงไฟที่ขาซอสของ FET_2 จะได้แรงไฟประมาณ 1.25 โวลท์ จากนั้นทำการปรับ L_2 เพื่อให้ได้ค่าสูงสุด

การปรับ IFT ต่าง ๆ ต้องอาศัยการป้อนสัญญาณความถี่ 27 MHz. แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงไฟที่เอาท์พุทให้ได้ค่าสูงสุด โดยการปรับขดลวด L_1, L_2, IFT A และ IFT B IFT C และเมื่อทดลองติดต่อรับ–ส่ง ก็สามารถติดต่อกันได้

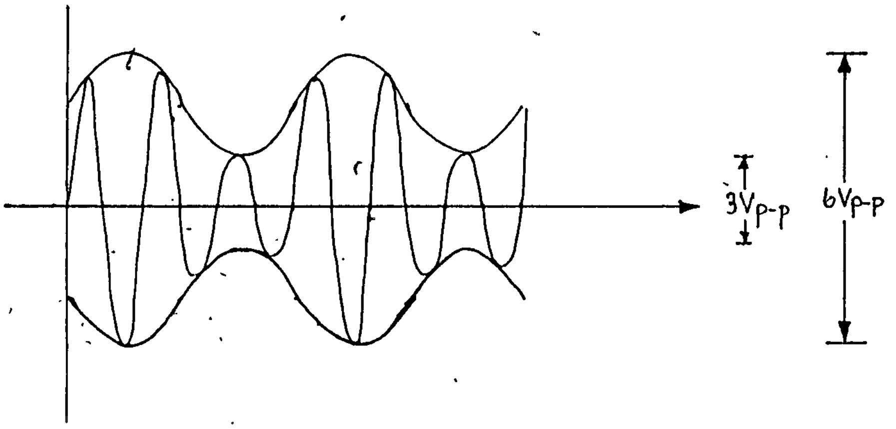


รูปที่ 24 แสดงแรงดันของคลื่นพาห์



รูปที่ 25 แสดงแรงดันของสัญญาณเสียงความถี่ 1 กิโลเฮิรทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 แสดงขนาดของสัญญาณที่ถูกผสมทางขนาดจากเครื่องส่ง

เปอร์เซนต์ของการผสมคลื่น $= \frac{6-3}{9} \times 100$

$= 33.33\%$

โครงงานนี้ได้สร้างเครื่องรับ - ส่งวิทยุ จำนวน 2 ชุด และได้ทำการวัดคุณสมบัติ พอสรุปได้ดังนี้

เครื่องส่ง

Frequency Range	27.125 MHz.
R.F Power	0.5 W (Fundamental Frequency)
Supply Voltage	12 V.
Supply Current	500 mA.
Percentage of Modulation	33.33%

เครื่องรับ

Frequency Range	26 - 28 MHz.
I. F. Bandwidth	± 5 KHz.
Supply Voltage	12 V.
Supply Current	25 mA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการทดลองยังไม่ดีพอ โดยมีข้อบกพร่องดังนี้คือ

(1) ภาครับยังไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนให้ถึงจุดที่พอใจได้

(2) ความไวของภาครับยังไม่ดีพอ

(3) ยังมีสัญญาณฮาร์โมนิคมาก

แนวทางการแก้ไข

(1) ลดจำนวนของแผ่นวงจรให้มีขนาดเล็กลง เพื่อตัดปัญหาสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้น

(2) ควรจะทำให้การถ่ายทอดสัญญาณตั้งแต่เสาอากาศมาจนถึงวงจรขยายสัญญาณความถี่ ไอ.เอฟ. เป็นไปอย่างดีที่สุด อาจจะทำการเพิ่มอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุให้มากขึ้น แต่ต้องควบคุมไม่ให้เกิดการออสซิลเลเลทขึ้น

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองสร้างวิทยุรับ – ส่งความถี่ 27 MHz. นี้ผลที่ได้จากการทดลองสามารถทำการติดต่อรับ – ส่งได้ หากได้มีการปรับปรุงคุณภาพทางด้านสายอากาศให้เหมาะสมก็จะสามารถทำการรับ – ส่งได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง การออกแบบลายวงจรต้องคำนึงถึงการวางอุปกรณ์ที่จะทำให้เกิดผลข้างเคียงด้วยเนื่องจากเป็นการทำงานที่ความถี่สูง นอกจากนี้ภาคจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างมากเพราะจะมีผลต่อการทำงานด้วย การใช้รีเลย์เป็นตัวตัดต่อวงจรก็จะเป็นส่วนหนึ่งทำให้เกิดการดึงกระแสออกจากแหล่งจ่ายมากขึ้น

สำหรับวงจรวิทยุรับ – ส่งความถี่ 27 MHz. นี้ได้ถูกสร้างให้มีขนาดที่เล็กเหมาะกับการใช้งานเพื่อเป็นอุปกรณ์การสาธิตถึงระบบการทำงาน แสดงให้เห็นภาคต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในวงจรอันจะเป็นประโยชน์ที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้โดยได้รับคำแนะนำ และให้คำปรึกษาความรู้ในเรื่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีจากอาจารย์ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการจัดทำ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องการหาข้อมูล

จึงขอขอบพระคุณอาจารย์ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์ และเจ้าหน้าที่ห้องสมุดฯ มา ณ ที่นี้ด้วย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. James K. Hardy . High Frequency circuit design. Reston Publishing company , Inc., Virginia , 1979.

2. Samuel Weber. Electronic circuits note book. McGraw-Hill Publications Co., New York , 1981.

3. Wes Hayward and Doug DeMaw. Solid State Design for the Radio Amateur . The American Radio Relay League Inc., Newington , 1977.

4. Jay Rusgrove , Doug DeMaw and George Grammer . Understanding Amateur Radio. American Radio Relay League , Inc., Newington, 1977.

5. เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร ของ ร.ต.อ. สุชาติ กังวารจิตต์ แผนกวิศวกรรม กองบังคับการตำรวจสื่อสาร กรมตำรวจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้