บทที่ 1

การสื่อสารแบบอนาลอก

วัตถุประสงค์

เมื่อจบบทนี้เราสามารถที่จะอธิบายหลักการเบื้องต้นของชุดทดลองการสื่อสารแบบอนาลอกและการมอดดูเลทแบบบาลานซ์ได้อย่างสมบูรณ์

ข้อศึกษาเบื้องต้น

การสื่อสารหมายถึงการส่งข้อมูลจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง ดังรูปที่ 1-1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสาร ส่วนประกอบที่สำคัญของการสื่อสาร ประกอบด้วยภาคส่งซึ่งทำหน้าที่ส่งข้อมูลและช่องทางการสื่อสารหรือ transmission line และภาครับซึ่งมาทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ

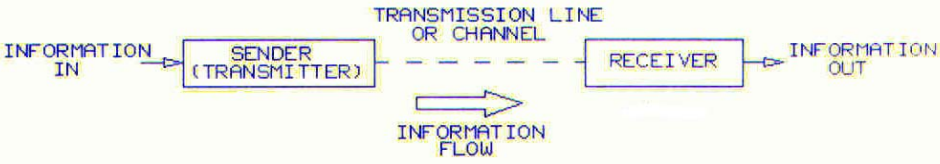

Figure 1-1. Unidirectional communication system.

การสื่อสารจากรูป 1-1 เป็นการสื่อสารทางเดียว ซึ่งหมายความว่าข้อมูลถูกส่งผ่านในทิศทางเดียว ตัวอย่างเช่น วิทยุที่เรารับฟังทั่วไปเป็นการสื่อสารทางเดียวโดยเราสามารถได้ยินเสียงเพลงแต่ผู้จัดไม่สามารถได้ยินคุณร้องเพลงตาม

รูป 1-2 แสดงรูปบล็อกไดอะแกรมของการสื่อสาร แบบ 2 ทิศทางจากรูปนี้ เราจะเห็นว่าข้อมูลมีการส่งผ่านได้ใน 2 ทิศทาง โดยผู้รับสามารถตอบสนองกันกับผู้ส่งได้

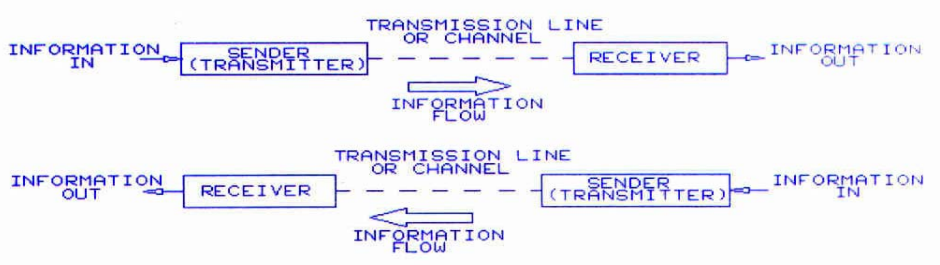

Figure 1-2. Bidirectional communication system.

การสื่อสารของวิทยุใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งข้อมูลเพราะว่าคลื่นไฟฟ้าเดินทางได้ด้วยความเร็วเท่ากับแสงภาคส่งของวิทยุ ทำการเปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะถูกส่งทางสายหรือทางอากาศ โดยภาครับจะทำการเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง เพื่อผู้รับสามารถจะเข้าใจได้ ข้อมูลที่ถูกส่งมาจะถูกเรียกว่า อินเทลลิเจนท์ ซิคแนล หรือเรียกว่าสัญญาณข้อมูลในหลักสูตรนี้ คำว่า สัญญาณข้อมูลหมายถึงข้อมูลที่ถูกส่งออกไป สัญญาณข้อมูลอยู่ภายในย่านความถี่วิทยุของความถี่ ซึ่งมีความถี่ประมาณ 20 Hz ถึง 20 kHz

ความถี่วิทยุถูกเรียกว่าสัญญาณพาหะ สัญญาณพาหะจะมีความถี่เริ่มจาก 10 kHz จนกระทั่งถึง 1000 GHz ภาคส่งของวิทยุทำการส่งสัญญาณข้อมูลความถี่ต่ำไปด้วยกันกับสัญญาณพาหะ โดยทำการรวมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะ

การมอดดูเลชั่น คือ ขบวนการเปลี่ยนคุณลักษณะของสัญญาณพาหะกับสัญญาณข้อมูลที่ภาคส่งสัญญาณข้อมูลถูกมอดดูเลทกับสัญญาณพาหะ สัญญาณพาหะที่ถูกมอดดูเลทจะถูกส่งไปที่ภาครับโดยภาครับจะทำการดีมอดดูเลชั่นหรือการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากสัญญาณพาหะ

การมอดดูเลชั่น โดยทั่ว ๆ ไป มี 3 วิธี คือ

- การมอดดูเลททางด้านแอมปลิจูด(Amplitude Modulation)
- การมอดดูเลททางด้านความถี่ (Frequency Modulation)
- การมอดดูเลททางด้านเฟส (Phase Modulation)

การมอดดูเลททางเฟส(Phase Modulation)และการมอดดูเลททางด้านความถี่(Frequency Modulation)เป็นการมอดดูเลททางด้านแองเกิลหรือมุมของการมอดดูเลทสัญญาณ โดยสัญญาณข้อมูล (Message) จะเปลี่ยนขนาดของแอมปลิจูด ,ความถี่หรือเฟสของสัญญาณคลื่นพาหะ

เพื่อป้องกันการรบกวนการสื่อสารของภาคส่งของวิทยุจึงมีการแสดงความถี่ที่ออกแบบไว้สำหรับความถี่ต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งาน ดังแสดงรูปใน 1-3

FREQUENCY	DESIGNATION	ABBREVIATION
30 Hz - 300 Hz	EXTREMELY LOW FREQUENCY	ELF
300 Hz - 3000 Hz	VOICE FREQUENCY	VF
3 kHz - 30 kHz	VERY LOW FREQUENCY	VLF
30 kHz - 300 kHz	LOW FREQUENCY	LF
300 kHz -3 MHz	MEDIUM FREQUENCY	MF
3 MHz - 30 MHz	HIGH FREQUENCY	HF
30 MHz - 300 MHz	VERY HIGH FREQUENCY	VHF
300 MHz - 3 GHz	ULTRA HIGH FREQUENCY	UHF
3 GHz - 30 GHz	SUPER HIGH FREQUENCY	SHF
30 GHz - 300 GHz	EXTRA HIGH FREQUENCY	EHF

Figure 1-3.

ชุดทดลองวงจรการสื่อสารแบบอนาลอกประกอบด้วย ชุดวงจรดังต่อไปนี้

- VCO-LO
- AM/SSB
- ภาคส่งของ AM และ SSB
- ชุดมอดดูเลททางความถี่
- ควอทดราเตอร์ ดีเทคเตอร์
- VCO-HI
- เฟสล็อคลูป

ชุดบล็อกทดลองเหล่านี้ช่วยให้เราประกอบภาครับและภาคส่งสำหรับการมอดดูเลทสัญญาณแบบความความถี่และการมอดดูเลททางเฟส

ที่ชุดทดลองการสื่อสารแบบอนาลอก จะมี IC ตัวหนึ่งเป็นตัวบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เสมือนมอดดูเลทเลททางแอมปลิจูดของสัญญาณ หรือดับเบิ้ลไซด์แบนด์มอดดูเลเตอร์ หรือมิกเซอร์ หรือภาคโปรดักดีเทคเตอร์ ร่วมกับเฟสดีเทคเตอร์

คำใหม่และความหมาย

AM คือการมอดดูเลทสัญญาณทางด้านความสูง ซึ่งมีสัญญาณพาหะและไซด์แบนด์ 2 ข้าง คือไซด์แบนด์ด้านต่ำและด้านสูง

การมอดดูเลททางด้านความสูง (Amplitude Modulator) คือกระบวนการรวมสัญญาณของข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะซึ่งเป็นเหตุให้ขนาดสัญญาณพาหะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณข้อมูล

การมอดดูเลททางด้านมุม (Angle Modulation) คือ กระบวนการรวมสัญญาณของข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะซึ่งเป็นเหตุให้เฟสของสัญญาณพาหะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข้อมูล

สัญญาณเสียง (Audio) หมายถึง สัญญาณที่เราได้ยิน

ความถี่เสียง (Audio frequency)หรือ AF เป็นสัญญาณที่เราสามารถได้ยินตั้งแต่ 20 Hz จนกระทั่ง 20 kHz

บาลานซ์มอดดูเลเตอร์ (Balanced Modulator) คือ การมอดดูเลททางด้านความสูงของสัญญาณซึ่งสามารถปรับแต่งเพื่อควบคุมจำนวนของการมอดดูเลชั่น

แบนด์วิดธ์ (Bandwidth)หมายถึง ย่านของความถี่เป็น Hz ระหว่างขีดจำกัดด้านบนและด้านล่างของความถี่

บีท ฟรีเควนซี่ ออสซีเลเตอร์ (Beat Frequency Oscilltor) หรือ BFO คือ ชุดกำเนิดความถี่ที่ให้ความถี่ออกมาใกล้เคียง เกือบเท่ากับความถี่พาหะของภาครับและถูกป้อนเข้าที่โปรดักดีเทคเตอร์

สัญญาณพาหะ(Carrier) หมายถึง สัญญาณความถี่สูงซึ่งสามารถถูกมอดดูเลทเข้ากับสัญญาณข้อมูลที่ภาคส่ง

ดีมอดดูเลชั่น (Demodulation) หมายถึง ขบวนการกู้หรือแยกสัญญาณข้อมูลจากสัญญาณพาหะที่ถูกมอดดูเลทแล้ว

ดับเบิ้ลไซด์แบนด์(Double Sideband)หรือ DSB หมายถึง สัญญาณที่ถูกมอดดูเลททางด้านความสูงซึ่งความถี่พาหะถูกกดไว้ โดยปล่อยไซด์แบนด์ด้านต่ำและไซด์แบนด์ด้านสูงไว้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) คือ การส่งกระจายคลื่นพลังงานที่ถูกสร้างโดยชุดกำเนิดความถี่จากประจุของไฟฟ้า

เอนเวลลอป (Envelopes)คือ รูปคลื่นการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของสัญญาณที่ถูกมอดดูเลชั่นทางความสูง

การมอดดูเลชั่นทางด้านความถี่ (Frequency Modulation)หรือ FM ขบวนการรวมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณคลื่นพาหะโดยมีผลให้ความถี่ของสัญญาณพาหะเปลี่ยนแปลง

ฮาโมนิคส์(Harmonics) คือสัญญาณความถี่ซึ่งประกอบด้วยความถี่พื้นฐานหลาย ๆ ความถี่

อินเทลลิเจน ซิคแนล (intelligence Signal)หมายถึง สัญญาณใด ๆ ก็ตามที่ประกอบข้อมูลหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สัญญาณข้อมูล

สัญญาณข้อมูล(message Signal) คือ สัญญาณใด ๆ ที่ถูกเรียกว่าอินเทลลิเจน ซิคแนล

มิกเซอร์(mixer) หมายถึง ชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่รวมความถี่ 2 ความถี่

มอดดูเลชั่น (Modulation) คือ กระบวนการรวมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะซึ่งเป็นเหตุให้สัญญาณข้อมูลเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสัญญาณพาหะ

เฟสดีเทคเตอร์ (Phase Detector)หมายถึง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่ง ให้ผลลัพธ์ออกมาเปลี่ยนแปลงไปกับความแตกต่างของเฟสของสัญญาณ 2 สัญญาณที่ถูกป้อนเข้ามา

การมอดดูเลททางด้านเฟส (Phase Modulation) หรือ PM คือ ขบวนการรวมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะซึ่งเป็นเหตุให้สัญญาณข้อมูลไปเปลี่ยนเฟสสัญญาณของพาหะนั้น

โปรดักดีเทคเตอร์ (Product Detector)หมายถึง ดีเทคเตอร์ซึ่งให้ความถี่เสียงเท่ากับผลจากการบีบความถี่จากออสซิลเลเตอร์(BFO) และสัญญาณ RF ที่ป้อนเข้าไป

ความถี่วิทยุ (Radio Frequency)หรือ RF ความถี่ที่ส่งของสัญญาณไฟฟ้า RF เริ่มจาก 300 kHz ถึง 1,000,000 kHz

ไซด์แบนด์ (Sidebands) คือ ย่านของความถี่แต่ละข้างของคลื่นพาหะระหว่างที่มีการมอดดูเลชั่น ความถี่ของไซด์แบนด์ ประกอบด้วยสัญญาณอินเทลลิเจน ของสัญญาณข้อมูล

ซิงค์เกิลไซด์แบนด์ (Single Sideband)หรือ SSB หมายถึง สัญญาณที่ถูกมอดดูเลททางด้านความสูง ซึ่งประกอบด้วยไซด์แบนด์เพียงด้านเดียวคือด้านสูงหรือด้านต่ำเท่านั้น

อุปกรณ์ที่ต้องการ F.A.C.E.T.

- ชุดแหล่งจ่ายไฟ (Base Unit)
- ชุดทดลองวงจรการสื่อสารแบบอนาลอก
- ชุดจ่ายโวลท์เตจแบบ DC 15 โวลท์ จำนวน 2 ชุด
- มัลติมิเตอร์
- ออสซิลโลสโคป
- เครื่องกำเนิดสัญญาณ

แบบฝึกหัดที่ 1-1

หลักการสื่อสารแบบอนาลอก

วัตถุประสงค์

เมื่อจบบทนี้เราจะสามารถอธิบายหลักการเบื้องต้นของการสื่อสารวิทยุแบบอนาลอกและรู้จักสัญญาณข้อมูล (Message), สัญญาณพาหะ (Carrier) และสัญญาณที่ถูกมอดดูเลทโดยใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อทำการวัดสัญญาณ

ข้อศึกษา

สัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องทั้งขนาดของสัญญาณความถี่และเฟส โดยสัญญาณที่เป็นแบบดิจิตอลไม่มีความต่อเนื่องมีเพียงแต่สถานะที่เป็นสูงหรือต่ำเท่านั้น ดังรูป 1-4 แสดงระบบการสื่อสารแบบอนาลอกของภาคส่งและภาครับของสัญญาณอนาลอก

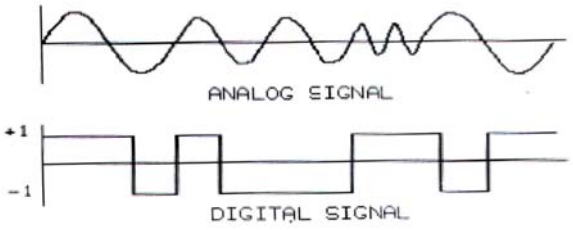

Figure 1-4.

สัญญาณอนาลอกประกอบด้วยสัญญาณวิทยุซึ่งมีความถี่ต่ำหรือสัญญาณข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่ต้องการสื่อสารและความถี่สูงซึ่งเรียกว่าสัญญาณพาหะหรือเรียกง่าย ๆ ว่า สัญญาณ RF โดยรูปของสัญญาณจะแสดงไว้ รูป 1-5

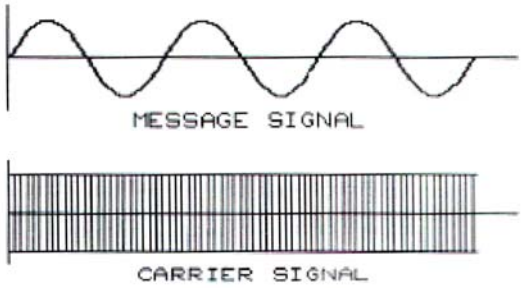

Figure 1-5.

สัญญาณข้อมูล(Message)ปกติจะเป็นสัญญาณเสียงหรือดนตรีหรือสามารถสร้างได้ง่าย ๆ โดยใช้รหัสมอสโดยปกติจะเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ สัญญาณ AF นี้อยู่ระหว่าง 20 Hz ถึง 20 kHz โดยสัญญาณขึ้นมาอยู่ระหว่าง 10 kHz ถึง 1,000 kHz ความถี่ของสัญญาณพาหะ(Carrier)เกี่ยวข้องกับการออกแบบขนาด

ของเสาอากาศ โดยความถี่ต่ำต้องการสายอากาศที่ยาวขึ้นเพราะสัญญาณข้อมูลมาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในย่านความถี่เดียวกัน สัญญาณข้อมูลแต่ละความถี่จึงจะต้องถูกส่งโดยพาหะเดียวกัน เพื่อป้องกันความแตกต่างในการถูกส่ง

การมอดดูเลชั่น(Modulation)เป็นขบวนการรวมสัญญาณข้อมูล(Message)เข้ากับสัญญาณพาหะ (Carrier)ในภาครับโดยการเปลี่ยนคุณลักษณะของสัญญาณพาหะของสัญญาณข้อมูล ดังรูป 1-6 สัญญาณข้อมูล(Message)จะทำการมอดดูเลททางด้านแอทปลิจูด(Amplitude Modulation) ของความถี่หรือเฟสของสัญญาณพาหะ

Figure 1-6.

ในการมอดดูเลททางแอทปลิจูดของสัญญาณข้อมูล(Amplitude Modulation) ทำให้ แอมปลิจูดของสัญญาณพาหะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยขอบของสัญญาณของคลื่นพาหะนี้เรียกว่า เอนวาลอป (Envelopes)ดังรูป 1-7

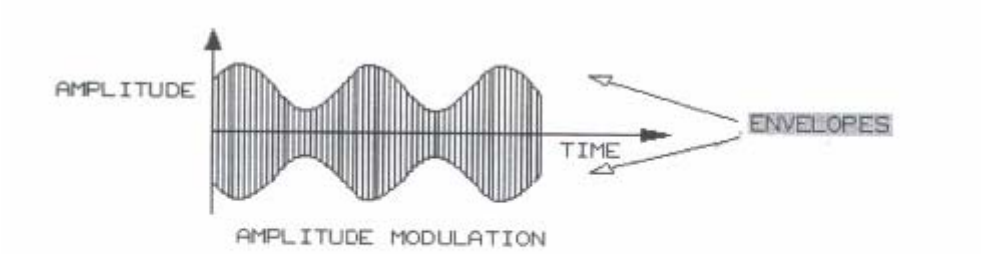

Figure 1-7.

FM และ PM เป็นชนิดของการมอดดูเลชั่นทางด้านมุมอย่างหนึ่ง รูป 1-8 ใน FM แอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลทำให้ความถี่พาหะของ FM เบี่ยงเบน โดยความถี่เบี่ยงเบนประกอบด้วยสัญญาณข้อมูลใน PM และความถี่ของสัญญาณข้อมูลทำให้เฟสของสัญญาณพาหะ FM ร่วมทั้งความถี่เบี่ยงเบนเช่นกัน โดยที่เฟสและความถี่ที่เบี่ยงเบนประกอบด้วยสัญญาณข้อมูล

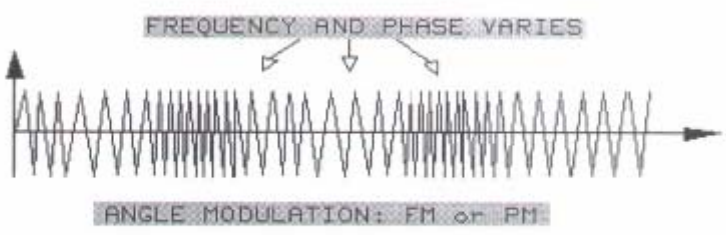

Figure 1-8.

เมื่อความถี่ต่ำของสัญญาณข้อมูลถูกรวมหรือมอดดูเลทเข้ากับความถี่สูงของสัญญาณพาหะ ก็จะประกอบขึ้นเป็นความถี่ของสัญญาณพาหะแต่ละด้านโดยความถี่นี้จะถูกเรียกว่า ไซด์แบนด์ โดยสัญญาณข้อมูลที่สมบูรณ์นี้จะอยู่ในแต่ละด้านของไซด์แบนด์เพราะสัญญาณข้อมูลจะไม่ได้อยู่ที่สัญญาณพาหะเนื่องจากความถี่จะถูกกดไว้ระหว่างที่ทำการมอดดูเลชั่น
แบนวิดธ์ของสัญญาณ AM เป็นความแตกต่างระหว่างความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดของพาหะแต่ละด้าน

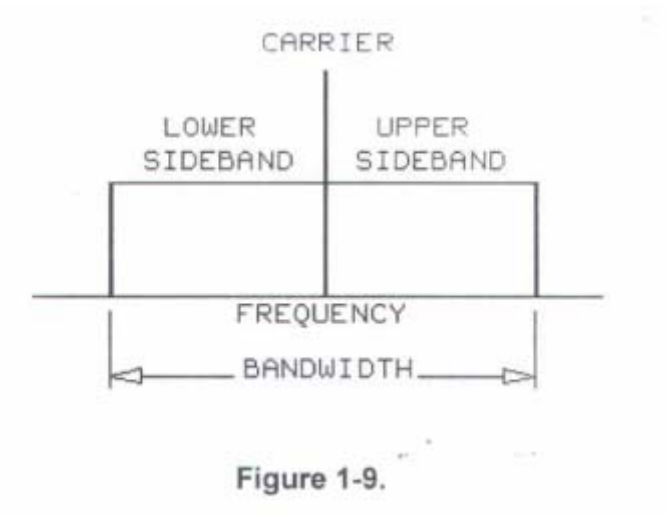

Figure 1-9.

เพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณความถี่พาหะที่อยู่ถัดไปสัญญาณวิทยุและ TV จะถูกกำหนดความถี่ของคลื่นพาหะโดยเฉพาะ โดยในตาราง 1-1 จะแสดงความถี่ FM ที่ถูกกำหนดให้ผู้ใช้ที่แตกต่างกัน

FM FREQUENCIES MHz	USERS
52 TO 53	NARROWBAND AMATEUR
54 TO 88	TV AUDIO
88 TO 92	NONCOMMERCIAL BROADCAST
92 TO 108	COMMERCIAL BROADCAST
108 TO 174	NARROWBAND PUBLIC SERVICE
146 TO 147.5	NARROWBAND AMATEUR
174 TO 216	TV AUDIO
216 TO 440	NARROWBAND PUBLIC SERVICE
440 TO 450	NARROWBAND AMATEUR
470 TO 806	TV AUDIO
> 806	NARROWBAND PUBLIC SERVICE
> 902	NARROWBAND AMATEUR

Table 1-1.

สัญญาณรบกวนคือสัญญาณที่มีความถี่ไม่แน่นอนซึ่งเกิดขึ้นทั้งธรรมชาติและภายในวงจรซึ่งถูกสร้างจากความถี่เมื่อการสื่อสารถูกลดคุณภาพลง ภาคส่งของวิทยุถูกออกแบบเพื่อลดการเกิดสัญญาณรบกวนให้ต่ำสุดและภาครับถูกออกแบบเพื่อให้กำจัดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาระหว่าง การส่ง ดังรูป 1-10

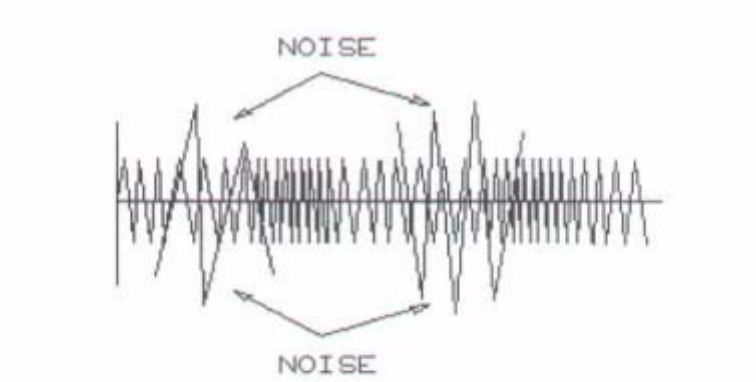

Figure 1-10

สัญญาณวิทยุถูกส่งผ่านสายหรืออากาศเมื่อสัญญาณวิทยุถูกส่งผ่านอากาศดังรูป 1-10 เสาอากาศจากภาคส่งจะทำการส่งสัญญาณออกไปและสายอากาศจากภาครับจะทำการรับสัญญาณเข้ามา

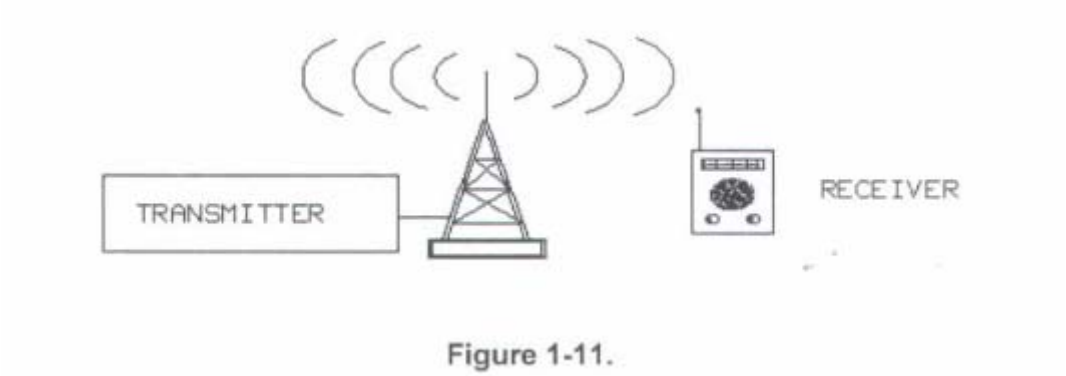

Figure 1-11.

ภาครับประกอบด้วยจูนเนอร์ ซึ่งทำหน้าที่เลือกและขยายคลื่นพาหะจากสถานีที่เราต้องการจากจำนวนหลายสถานีที่ส่งมา ภาครับวิทยุขยายและทำการตามที่เราต้องการโดยสัญญาณพาหะและสัญญาณข้อมูลจะถูกดีมอดดูเลท โดยภาคดีเทคเตอร์ของภาครับโดยทำหน้าที่ดีมอดดูเลทสัญญาณพาหะเพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลที่เป็นความถี่ต่ำออกมาดังรูป

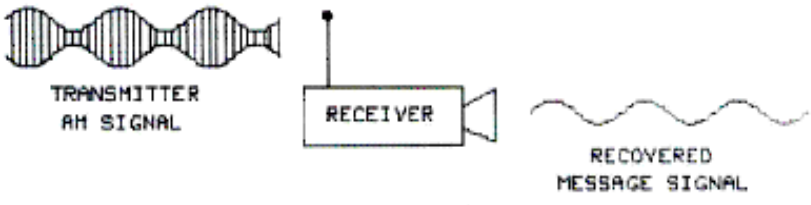

Figure 1-12.

ขั้นตอนทดลอง

1. หาภาคส่งของ AM/SSB ที่ชุดทดลองการสื่อสารแบบอนาลอกและต่อตัวกำเนิดสัญญาณเข้าที่จุด M ของมอดดูเลเตอร์ ตั้งสวิทช์ S1,S2 และ S3 ไปที่ตำแหน่ง OFF

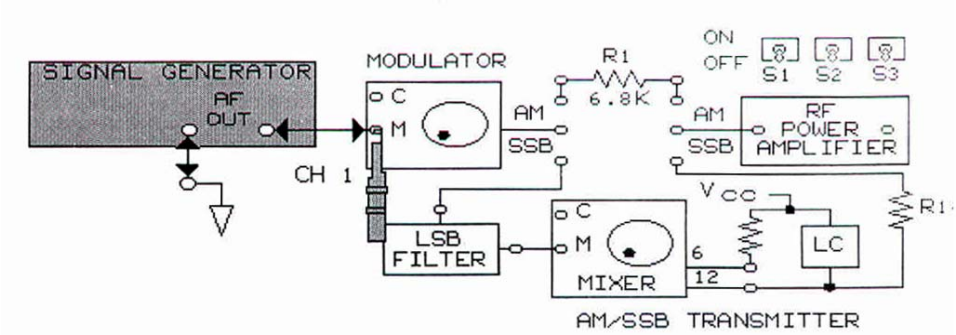

Figure 1-13.

2. ตั้ง Volt/DIV ของ CH 1 เป็น 100 mV/DIV ตั้งการกวาด (Time/DIV)ไปที่ 0.25 ms/DIV และตั้งตำแหน่งทริกเกอร์ไว้ที่ CH1 ต่อมาให้ตั้ง Channel 1 ไปตำแหน่ง AC และให้ต่อโพรบของ CH 1 เข้าที่จุด M ของบล็อกวงจรมอดดูเลเตอร์ (ซึ่งเป็นสัญญาณ Message ในตำแหน่งอินพุทของสัญญาณ)

   หมายเหตุ เมื่อเราใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดหรือสังเกตผลให้ทำการตรวจสอบว่ากราวด์ของสายโพรบต่อเข้าที่จุดกราวด์ของวงจรชุดทดลอง

3. ขณะที่ทำการทดลองให้สังเกตสัญญาณจาก Channel 1 ของออสซิลโลสโคป และให้ทำการปรับ Signal Generator เป็น 200 mVpk-pk เป็นสัญญาณรูป Sin และความถี่ของสัญญาณเป็น 2 KHz เข้าที่จุด M
4. สัญญาณที่ได้จาก Channel 1 เข้าที่จุด M ของบล็อกวงจรมอดดูเลทดูเลตอร์คือ สัญญาณพาหะ หรือสัญญาณข้อมูล ?

   .....

   .....

   .....
5. เพิ่มความถี่ของสัญญาณ Messageไปที่ 5 KHz และลดความถี่เป็น 2 KHz โดยการปรับความถี่จากตัวกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
6. เมื่อเราเพิ่มความถี่เป็น 5 KHz ค่าคาบเวลา(Period)ของสัญญาณลดลงใช่หรือไม่ (ช่วงเวลาใน 1 ลูกคลื่น)

   .....

   .....

   .....

7. เพิ่มขนาดของสัญญาณ Message เป็น 400 mVpk-pk แล้วลดขนาดของสัญญาณลงเป็น 200 mVpk-pk โดยการปรับที่ปุ่มปรับ Amplitude ของชุดกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

8. เมื่อเราเพิ่มขนาดของสัญญาณ Message เป็น 400 mVpk-pk คาบของเวลา เพิ่มขึ้น ,ลดลง,หรือยังคงเท่าเดิม?

.....

.....

.....

.....

9. ที่ชุดวงจร VCO-LO ภายในชุดทดลองการสื่อสารแบบอนาลอก เสียบตัวต่อสองขาที่ตำแหน่งความถี่ 1000 kHz และต่อ Output ที่ชุดวงจร VCO-LO เข้าที่ จุด C ของ มอดดูเลเตอร์

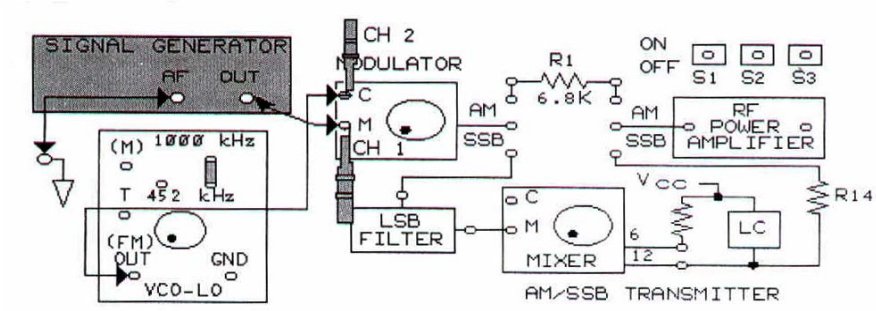

Figure 1-14.

10. ตั้ง CH2 ของสโคปเป็นแบบ AC และตั้ง V/DIV ให้ไปที่ตำแหน่ง 100 mV/DIV ,ตั้งเวอร์ติคอลโหมดเป็น ALT โดยให้ Sweep (Time/DIV)เป็น 0.5uS/DIV และให้ตั้งทริกเกอร์ไว้ที่ CH2 ,ให้ต่อโพรบของ CH2 เข้าที่จุด C
11. ขณะที่ทำการสังเกตที่ CH 2 ให้ตั้งขนาดของสัญญาณจาก VCO-LO เป็น 200 mVpk-pk โดยการปรับที่ปุ่มที่ชุดวงจรVCO-LO
12. ตั้งค่าความถี่ของ VCO-LO เป็น 1000 kHz โดยการปรับที่โวลท์เตจลบของชุด Base Unit และให้ตั้ง Sweep (Time/DIV)ของสโคปเป็น 0.5 uS/DIV ให้ได้จำนวนช่องในแนวนอนเป็นจำนวน 2 ช่อง ต่อค่าความถี่ 1000 kHz ใน 1 ลูกคลื่น
13. ถามว่าสัญญาณที่ได้จาก CH 2 ของออสซิลโลสโคป คือสัญญาณพาหะ (Carrier) หรือ สัญญาณข้อมูล (Message) ?

.....

.....

.....

.....

14. ปรับปุ่มมอดดูเลเตอร์ทวนเข็มจนสุด โดยตั้งโหมดทริกเกอร์เป็น CH1 (สัญญาณข้อมูล) , ให้ตั้ง Sweep (Time/DIV) เป็น 0.2 mV/DIV และให้ตั้ง Volt/DIV ของ CH2 เป็น 1 V/DIV พร้อมกับต่อโพรบของ CH2 เข้าที่เอาท์พุทของมอดดูเลเตอร์
15. ค่อยๆหมุนปุ่มมอดดูเลเตอร์เพื่อให้ได้สัญญาณรูปคลื่น AM ปรากฏที่ CH2 ดังที่แสดงในรูป 1-15

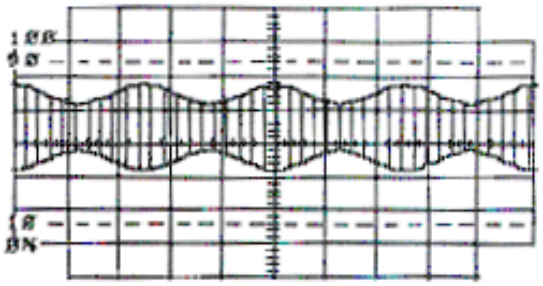

Figure 1-15.

16. ชนิดของการมอดดูเลชั่นที่ได้จาก CH 2 คืออะไร ?

.....

.....

.....

.....

17. ต่อเอาท์พุตของมอดดูเลเตอร์เข้าที่ภาคขยาย (Power Amplifier) และต่อเอาท์พุทของภาคขยายเข้าที่เข้าที่อินพุทของ Envelope Detector ของบล็อกวงจร AM/SSB RECEIVER
18. ตั้ง CH 2 ของสโคปเป็น 500 mV/DIV พร้อมกับต่อโพรบ CH 2 เข้าที่เอาท์พุทของของ Envelope Detector
19. เปรียบเทียบสัญญาณ Message ที่ป้อนเข้ามอดดูเลเตอร์ (CH1) กับ สัญญาณที่ได้จากของ Envelope Detector ที่ CH2
20. สัญญาณที่ได้จาก CH2 เป็นสัญญาณสัญญาณพาหะ (Carrier)หรือ สัญญาณ Message ที่ถูกกู้กลับมา ?

.....

.....

.....

.....

21. ที่ชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator) ให้ปรับค่าความถี่และขนาด Amplitude ของสัญญาณข้อมูล (Message)
22. ขนาด Amplitude และความถี่ของสัญญาณข้อมูล (Message)ที่ถูกกู้กลับมา จะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข้อมูล (Message) ที่ CH1 หรือไม่ ?

.....

.....

.....

.....

บทสรุป

1. สัญญาณแบบอนาลอกเป็นสัญญาณต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณแบบดิจิตอลซึ่งเป็นเพียงระดับสูง (โลจิก 1) และระดับต่ำ (โลจิก 0)
2. สัญญาณข้อมูล (Message) เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ โดยมีความถี่ตั้งแต่ 20 Hz ถึง 20 kHz
3. สัญญาณพาหะ (Carrier) มีความถี่ตั้งแต่ 10 kHz ถึง 1000 GHz
4. การมอดดูเลชั่น คือ ขบวนการที่สัญญาณข้อมูล (Message) เปลี่ยนคุณลักษณะ(ขนาด Amplitude , ความถี่,หรือเฟส)ของ สัญญาณพาหะ (Carrier) เพื่อที่จะได้เดินทางไปกับสัญญาณพาหะ (Carrier) เมื่อถูกส่งออกไปได้
5. สัญญาณแบบอนาลอกถูกส่งโดยตัวนำที่เป็นเส้นลวดหรือโดยการแพร่กระจายของคลื่นผ่านอากาศ
6. ที่ภาครับ การดีมอดดูเลชั่นคือ ขบวนการกู้สัญญาณข้อมูลออกมาจากสัญญาณพาหะที่ถูกมอดดูเลชั่น
7. Bandwidth ของสัญญาณ AM เป็นค่าความแตกต่างระหว่างความถี่สูงสุดกับค่าความถี่ต่ำสุด

<u>คำถามทบทวน</u>

1. สัญญาณพาหะ(Carrier) มีความถี่ ตั้งแต่ 10 kHz ถึง 1000 GHz ในขั้นตอนการทดลอง เราใช้ความถี่ พาหะ(Carrier) 1000 kHz จะถามว่าค่าของย่านความถี่ของสัญญาณข้อมูล (Message) คืออะไร ?
    a. 1 Hz - 10 Hz
    b. 30 Hz - 50 HZ
    c. 20 Hz - 20kHz
    d. 100 kHz – 200 kHz
2. ขบวนการรวมสัญญาณข้อมูล (Message) เข้ากับสัญญาณพาหะ (Carrier)สำหรับการสื่อสารระยะทางไกลคืออะไร ?
    a. การขยาย Amplification
    b. การกรองความถี่
    c. การดีมอดดูเลท
    d. การมอดดูเลท
3. ชนิดของการมอดดูเลชันจากรูป 1 – 16 คืออะไร ?
    a. การมอดดูเลท ทางความถี่
    b. การมอดดูเลท ทาง Amplitude ของสัญญาณ
    c. การมอดดูเลท ทางเฟส
    d. การมอดดูเลท ทางมุม

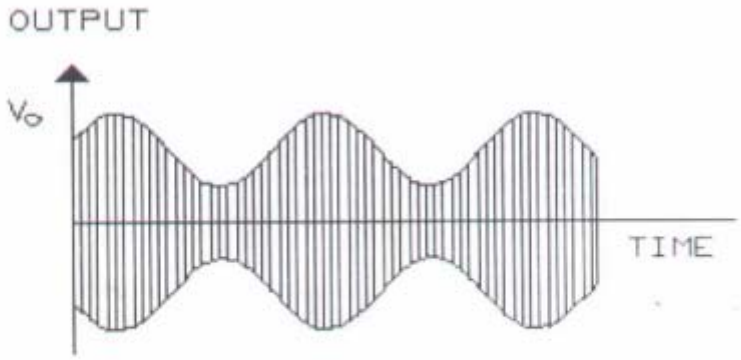

Figure 1-16.

4. ในขั้นตอนการทดลอง เราทำการมอดดูเลชั่น ความถี่พาหะ(Carrier) 1000 kHz กับความถี่ข้อมูล(Message) 2 kHz จะถามว่าค่าความถี่สเปคตรัมของสัญญาณ AM แสดงในรูป 1- 17 ค่าแบนด์วิดธ์ของสัญญาณแบบ AM คือเท่าไร ?
    a. 2 kHz
    b. 4 kHz
    c. 1002 kHz
    d. 998 kHz

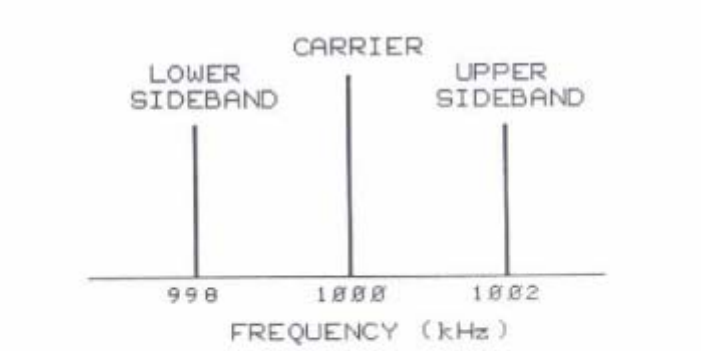

Figure 1-17.

5. ในขั้นตอนการทดลอง หน้าที่ของ Envelope Detector คืออะไร ?
    a. มิกซ์ซิ่ง (Mixing)
    b. ทำการขยายสัญญาณ (Amplification)
    c. ทำการดีมอดดูเลท (Demodulation)
    d. ทำการมอดดูเลท (Modulation)

การทำความคุ้นเคยกับชุดบอร์ดทดลอง

วัตถุประสงค์

เมื่อจบบทนี้เราสามารถอธิบายวงจรการสื่อสารวิทยุแบบอนาลอกและสามารถชี้ตำแหน่งของวงจรต่าง ๆ ได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดสัญญาณในแต่ละจุด

ข้อศึกษา

ในวงจรการส่งสัญญาณวิทยุและการรับสัญญาณจะมีวงจรชุดสร้างสัญญาณ (Oscillator), กรองสัญญาณ, ภาคขยาย, LC เน็ทเวอร์ค, มอดดูเลเตอร์, ลิมิตเตอร์, มิกเซอร์ และดีเทคเตอร์ ของชุดการสื่อสารแบบอนาลอกจะมีวงจร เหล่านี้

ในบล็อกวงจรทั้ง 7 วงจรในชุดการสื่อสารแบบอนาลอกจะมีวงจร VCO-LO, AM/SSB TRANSMITTER, VCO-HI, PHASE MODULATOR ,AM/SSB RECEIVER, QUADRATURE DETECTOR, และ PHASE-LOCKED LOOP

ชุด VCO จากชุดทดลองทั้ง 2 ชุด แบ่งเป็นวงจร VCO-LO และ VCO-HI โดยมีความถี่ (452 KHz หรือ 1000 KHz) และ (1455 KHz) ตามลำดับ โดยชุดกำเนิดความถี่(Oscillator)จะให้ความถี่สูงที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณข้อมูล(Message)ความถี่ต่ำ ดังแสดงที่รูป 1-18 เป็นการแสดงวงจรกำเนิดสัญญาณแบบง่าย ๆ ของ VCO-HI

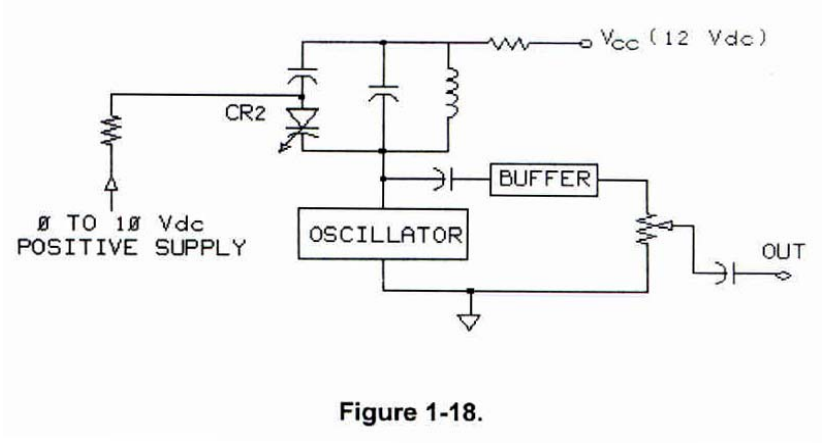

Figure 1-18.

วงจรขยาย (Amplifier)ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ถูกส่งมาจากเสาอากาศจากภาคส่งในระยะทางที่ไกลออกไป วงจรภาคส่งของ AM/SSB ก็ประกอบด้วยภาคขยายของสัญญาณ RF

ที่เสาอากาศของภาครับ คลื่นสัญญาณวิทยุมีขนาดต่ำมาก ดังนั้น ภาคขยายจึงทำหน้าที่ขยายสัญญาณนั้น เพื่อให้สามารถทำการแยกสัญญาณที่ต้องการออกมาได้

ชุดวงจร VCO-LO ทำหน้าที่เสมือน Frequency Modulator,และพร้อมกับการเป็น Oscillator ซึ่งสัญญาณข้อมูล (Message) ป้อนเข้าที่อินพุทของออสซิลเลเตอร์ เพื่อรวมเข้ากับสัญญาณพาหะ(Carrier) จากวงจรกำเนิดสัญญาณ(Oscillator)

พึงระลึกว่ามอดดูเลเตอร์ทำหน้าที่รวมสัญญาณข้อมูล(Message) กับสัญญาณพาหะ(Carrier)เข้าด้วยกัน เพื่อให้ข้อมูลถูกส่งไปกับความถี่พาหะที่ความถี่สูง

ชุดมิกเซอร์(Mixer)จะทำการเพิ่มหรือลดความถี่ของสัญญาณ เพราะบาลานซ์มอดดูเลเตอร์จะคูณสัญญาณอินพุทสองสัญญาณ และให้เอาท์พุทเป็นผลรวมและผลต่างของความถี่ ดังนั้นบาลานซ์มอดดูเลเตอร์จึงสามารถทำงานเป็นมิกเซอร์ได้

ชุดกรองสัญญาณ (Filter) ทำการแยกความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปแต่จะยอมให้ความถี่ที่ต้องการผ่านไปได้ทั้งด้านความถี่สูงและต่ำ ชุดกรองความถี่ที่อยู่ถัดจาก Product Detector จะให้ความถี่ต่ำผ่านและกันความถี่สูงที่ไม่ต้องการ เมื่อเราหมุนหาสถานีที่ต้องการ เราได้ทำการปรับชุดกรองความถี่เพื่อเลือกสัญญาณที่เราต้องการเข้ามา

วงจรจะประกอบไปด้วยอินดัคเตอร์ (L), คาแปซิเตอร์ (C) ,วาแรคเตอร์ (CR) และรีซิสเตอร์ (R) ซึ่งเรียกว่า
เน็ทเวอร์ค ซึ่งสามารถทำงานได้หลายอย่างทั้งในภาครับและภาคส่ง

LC เน็ทเวอร์ค (รูป 1-19) ใช้ในวงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อให้เฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้นสามารถผ่านไปได้ และทำหน้าที่แมทช์อินพุทอิมพีแดนซ์และเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของวงจร ซึ่งอิมพีแดนซ์ของ LC เน็ทเวอร์คที่ความถี่รีโซแนนซ์จะเป็นรีซีสทีฟและทำให้สัญญาณผ่านได้สูงสุด

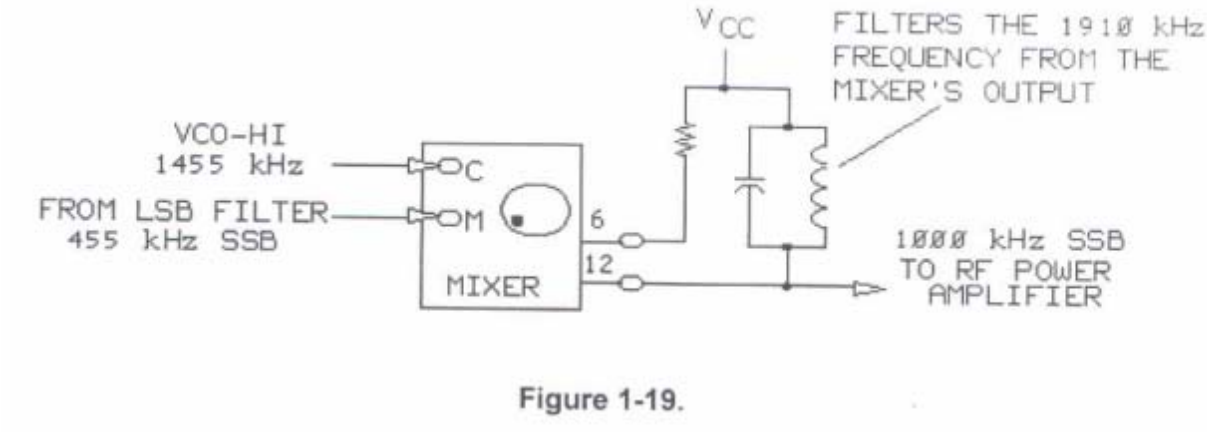

Figure 1-19.

วงจรลิมิตเตอร์ (Limiter)ทำหน้าที่จำกัดระดับของสัญญาณพีคทูพีคให้มีค่าสูงสุดโดยกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีขนาดสัญญาณสูงออกไป โดยภายในวงจรลิมิตเตอร์มีไดโอดซึ่งขั้วอาโนดและคาโทดจะต่อเข้าด้วยกัน โดยการต่อกันเช่นนี้จะจำกัดโวลท์ที่ตกคร่อมไดโอดด้านไบแอสตรงดังรูป 1-20

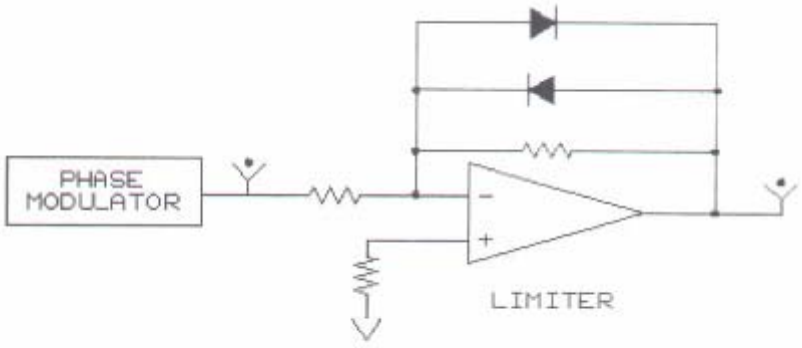

Figure 1-20.

ภาคดีเทคเตอร์จะทำการแยกสัญญาณพาหะ(Carrier) ออกเพื่อทำการกู้สัญญาณข้อมูล (Message) วงจรการสื่อสารแบบอนาลอกจะรวมชุด Envelope Detector เข้าไปด้วยสำหรับสัญญาณแบบ AM และสัญญาณแบบ SSB จะมี Product Detector ส่วนสัญญาณ FM จะมี Quadrature Detector ซึ่งจะมีเฟสลอกลูปซึ่งใช้ในการดีเทคสัญญาณ FM

ชุดวงจร AM/SSB TRANSMITTER มีสวิทช์อยู่ 3 ตำแหน่ง คือ S1, S2 และ S3 เมื่อจำเป็นต้องใช้ในการสร้างสัญญาณในการทดลอง สวิทช์เหล่านี้ช่วยให้เรากระทำได้ง่ายขึ้น, เมื่อ S1 ถูก ON มอดดูเลเตอร์ของภาคส่งจะถูกปรับอัตโนมัติเพื่อให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณ DSB, เมื่อ S2 ถูก ON มิกเซอร์จะถูกปรับอัตโนมัติเพื่อให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณ DSB, เมื่อ S3 ถูก ON วงจรแมทชิ่งของเสาอากาศจะถูกตั้งค่าเป็น 330 Ω, เมื่อสวิทช์ทั้งสามอยู่ที่ตำแหน่ง OFF ผู้ใช้จะต้องทำการปรับแก้เอง

<u>ขั้นตอน A - ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณ</u>

ในขั้นตอนนี้เราทดสอบชุดวงจร VCO-LO และ VCO-HI โดยที่บล็อกวงจร VCO-LO เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ 3 รูปแบบ คือ ให้สัญญาณความถี่ 1000 KHz และ 452 KHz หรือสัญญาณ FM และบล็อกวงจร VCO-HI จะให้สัญญาณความถี่ 1455 KHz

1. ที่บล็อกวงจร VCO-LO บนบอร์ด ANALOG COMMUNICATION ให้ทำการเสียบตัวต่อชนิด 2 ขา เข้าที่จุดต่อ 1000 KHz ดังรูป 1-21

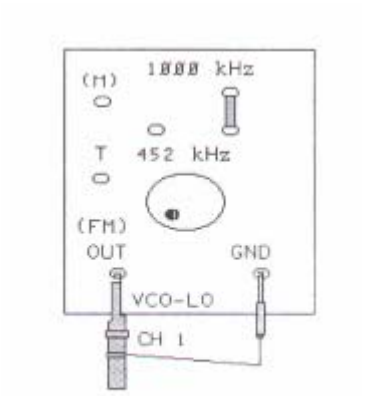

Figure 1-21.

2. ที่ชุดวงจร VCO-LO ให้ปรับปุ่มปรับทวนเข็มจนสุดจะถามว่าในการปรับปุ่มนี้เพื่อทำการปรับความถี่ของ VCO-LO หรือขนาดของสัญญาณ VCO-LO ?

.....

.....

.....

.....

3. ปรับปุ่มโวลท์เตจลบด้านซ้ายของ Base Unit ทวนเข็มจนสุดจะถามว่าเมื่อปรับปุ่มนี้จะทำการปรับความถี่หรือเฟสของ VCO-LO ?

.....

.....

หมายเหตุ เพื่อป้องกันความสับสนเราจะต้องปิดเทปคำว่า Positive Supply ไว้ที่ VCO-HI เข้าใต้ปุ่มปรับโวลท์เตจบวก และ Negative Supply ไว้ที่ VCO-LO เข้าที่ใต้ปุ่มปรับโวลท์เตจลบ

4. ตั้ง Volt/DIV ของ CH 1 สโคปเป็น 100 mV/DIV และตั้งSweep (Time/DIV) เป็น 0.5 μs/DIV พร้อมกับต่อ โพรบ CH 1 เข้าที่ Output ของ VCO-LO โดยต่อกราวด์ของโพรบเข้าที่จุดกราวด์ของวงจร

หมายเหตุ เมื่อทำการวัดสัญญาณโดยสโคปต้องแน่ใจว่าได้ต่อกราวด์ของโพรบเข้าที่กราวด์ของวงจรทุกครั้ง

5. ตั้ง Volt/DIVของ CH 1 เป็น 100 mV/DIV จะถามว่าจำนวนช่องในแนวตั้งของสโคปเท่ากับ 300 mVpk-pk คือมีกี่ช่อง ?

.....

.....

6. ค่อย ๆ ปรับปุ่ม VCO-LO ตามเข็มจนกระทั่งได้สัญญาณที่ CH 1 เป็น 300 mVpk-pk

หมายเหตุ การปรับที่โวลท์เตจลบที่ Base Unit จะเป็นการปรับความถี่ของ VCO-LO

7. ขณะที่ทำการสังเกตสัญญาณ CH1 ค่อย ๆ หมุนโวลท์เตจลบประมาณ 1 ใน 4 รอบของการหมุนตามเข็ม ใช้ปุ่มด้านบนเพื่อปรับอย่างละเอียดและปุ่มล่างเพื่อปรับอย่างหยาบ จะถามว่าความถี่ของ VCO-LO จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ?

.....

.....

8. ตั้งSweep (Time/DIV) ไปที่ 0.5 μs/DIV ถามว่าจำนวนช่องในแนวนอนของสโคปใน 1 ลูกคลื่นที่ความถี่ 1000 KHz มีจำนวนช่องกี่ช่อง ?

.....

.....

9. ปรับโวลท์เตจลบเพื่อให้ได้ความถี่จาก VCO-LO เท่ากับ 1000 KHz ดังรูป 1-22

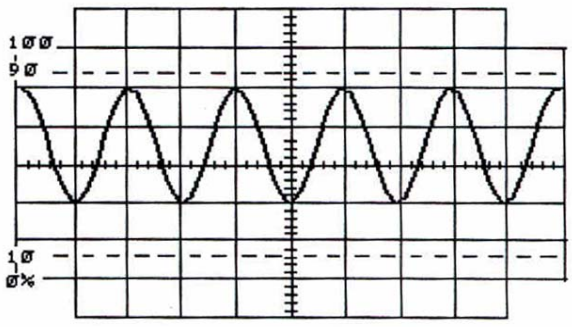

Figure 1-22.

10. ถอดตัวต่อ 2 ขาจากตำแหน่ง 1000 KHz และต่อเข้าที่ตำแหน่ง 452 KHz แทน ปรับ VCO-L เพื่อให้ได้สัญญาณที่ CH 1 เป็น 200 mV pk-pk

11. ที่ Sweep(Time/DIV) ตั้งไว้ที่ 0.5 μs/DIVจำนวนช่องในแนวนอนมีจำนวนเท่าใดใน 1 ลูกคลื่นเมื่อความถี่เป็น 452 KHz

ช่อง = 1 / (ความถี่ x Sweepที่ตั้ง)

.....

.....

12. ปรับปุ่มโวลท์เตจลบเพื่อให้ได้ลูกคลื่น 1 ลูกคลื่นใน CH 1 เท่ากับ 4.425 ช่อง ซึ่งจะตั้งความถี่ของ VCO-LO เป็น 452 KHz โดยผลที่ได้บนสโคปจะเหมือนรูป 1-23

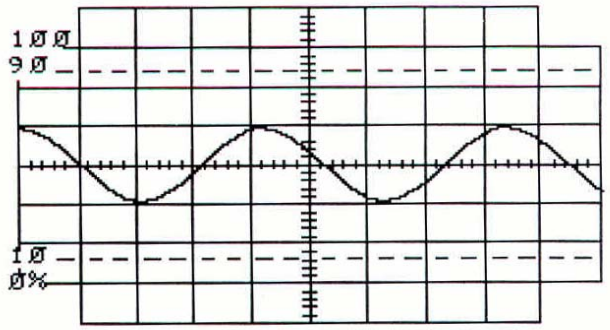

Figure 1-23.

13. ที่ บล็อกวงจร VCO-HI บนบอร์ด Analog Communication ให้ทำการปรับปุ่มในทิศทางทวนเข็มจนสุด เพื่อทำการปรับขนาดของสัญญาณ (รูป 1-24)

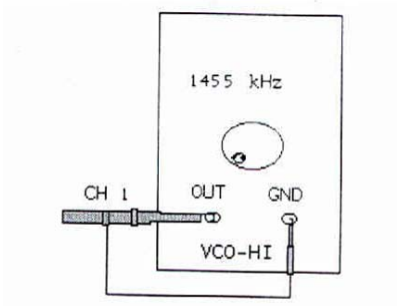

Figure 1-24.

หมายเหตุ เมื่อปรับโวลท์เตจบวกทชุด Base Unit จะเบนการบรบความถี่ของ VCO-HI

14. ตั้ง(Volt/DIV)ของ CH 1 ให้เป็น 100 mV/DIV และให้ Sweep (Time/DIV) เป็น 0.5 μs/DIV ต่อโพรบของ CH 1 เข้าที่ Output ของวงจร VCO-HI โดยต่อกราวด์ของโพรบเข้าที่กราวด์ของวงจร
15. ค่อย ๆ หมุนปุ่ม VCO-HI ตามเข็มจนกระทั่งได้สัญญาณที่ CH 1 เป็น 300 mVpk-pk
16. ขณะที่สังเกตสัญญาณที่ CH 1 และค่อย ๆ ปรับโวลท์เตจบวกตามเข็มไป 1 ใน 4 รอบ โดยใช้ปุ่มบนปรับแบบละเอียดและปุ่มล่างปรับแบบหยาบ ให้สังเกตความถี่ของ VCO-HI เพิ่มขึ้นหรือลดลง ?

.....

.....

17. ตั้ง Sweep ของสโคป(Time/DIV)เป็น 0.2 μs/ช่อง จำนวนช่องในแนวนอนจำนวนเท่าใดจึงจะเท่ากับ 1 ลูกคลื่นของความถี่ 1455 KHz ?

ช่อง = $1/(1{,}455{,}000 \times (0.2 \times 10^{-6}))$

.....

.....

18. ปรับปุ่มโวลท์เตจบวกเพื่อให้ได้ 1 ลูกคลื่น จาก CH 1 ให้ได้ 3.436 ช่อง เพื่อให้ได้ VCO-HI เป็น 1455 KHz

PROCEDURE B - AM/SSB TRANSMITTER และ RECEIVER CIRCUIT BLOCKS

ภาคส่ง AM/SSB สามารถนำมาใช้ในการส่งสัญญาณ AM และ SSB โดยเราสามารถปรับวงจรแมชชิ่งของเสาอากาศเป็น 330โอห์ม โดยการต่อเข้าวงจรคาลิเบรท 330 โอห์ม ซึ่งตัวต้านทาน 51 โอห์ม คือ R 5 จะแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศ

ภาครับ AM/SSB สามารถนำมาทำเป็นการรับและดีมอดดูเลทสัญญาณ AM หรือ SSB ซึ่งบล็อกวงจร AM/SSB Transmitter จะต่อเข้าที่วงจรภาครับของ AM/SSB โดยใช้ตัวต่อ 2 ขา ต่อ เข้าที่ R 8 (1 MΩ) ซึ่ง R8 จะจำลองการสูญเสียจากการส่งสัญญาณ

ภาครับ AM ประกอบด้วย RF FILTER, RF AMPLIFIER, MIXER, IF FILTER และ ENVERLOPE DETECTOR ส่วน**ภาครับของ SSB** ประกอบด้วย RF FILTER, RF AMPLIFIER, MIXER, IF FILTER, PRODUCT DETECTOR และ AUDIO FILTER ส่วนชุด AUTOMATIC GAIN CONTROL สามารถต่อเข้าที่วงจรของภาครับ SSB

19. ต่อวงจรของภาครับ SSB (รูป 1-25) และทำการศึกษาวงจรโดยยังไม่ทำการปรับขนาดและความถี่ของสัญญาณพาหะ (Carrier) และ สัญญาณข้อมูล (Message)

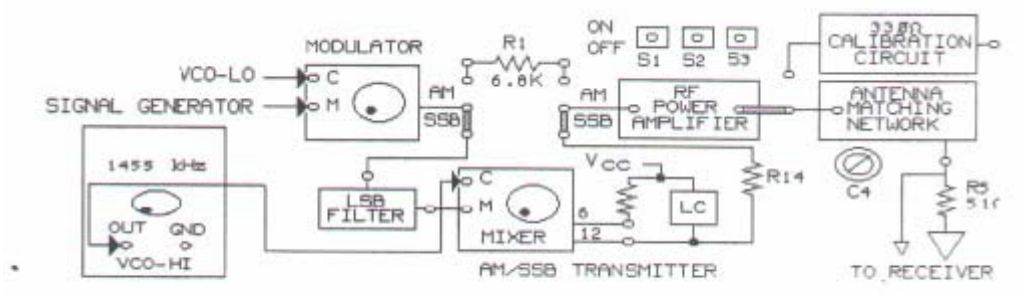

Figure 1-25.

20. ใช้ตัวต่อ 2 ขา จำนวน 3 ตัวต่อวงจร ภาคส่งของ SSB ชุด MODULATOR, LSB FILTER, MIXER, R14, RF POWER AMPLIFIER และ ANTENNA MATCHING CIRCUIT โดยจะต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ?

.....

.....

21. ชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)ต่อเข้าที่ M และ ต่อVCO-LO เข้าที่ C ของมอดดูเลเตอร์ตามลำดับใช่หรือไม่ ?

.....

.....

22. MODULATOR ต่อเข้าที่ LSB FILTER ใช่หรือไม่ ?

.....

.....

23. วงจร VCO-HI ต่อเข้าที่ C ของ MIXER ใช่หรือไม่ ?

.....

.....

24. ต่อวงจร AM/SSB RECEIVER บนบอร์ดทดลอง ANALOG COMMUNICATION โดยต่อวงจรภาครับของ SSB (รูป 1-26) และต่อเอาท์พุท VCO-HI เข้าที่จุด C ของ MIXER และต่อวงจรเอาท์พุท VCO-LO เข้าที่จุด C ของ PRODUCT DETECTOR

.....

.....

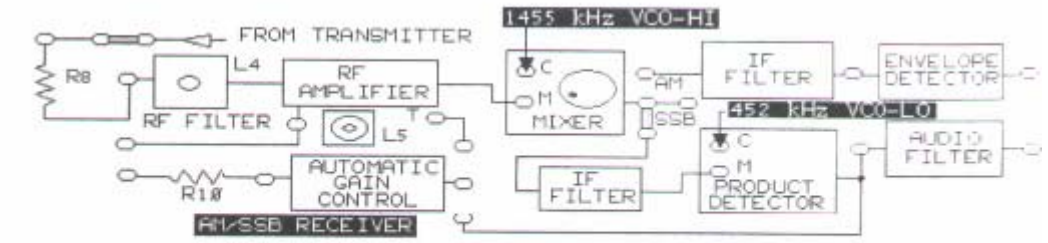

Figure 1-26.

25. ต่อ AUTOMATIC GAIN CONTROL เข้าที่วงจรภาครับ SSB โดย AUTOMATIC GAIN CONTROL ที่ต่อมาจากเอาท์พุทของ PRODUCT DETECTOR ไปยังส่วนประกอบใดของภาครับ SSB ?

.....

.....

ขั้นตอน C ANGLE MODULATION และ DEMODULATION CIRCUIT BLOCK

ในขั้นตอนนี้เราจะอธิบายการใช้งานของ PHASE MODULATOR ,QUADRATURE DETECTOR , และ PHASE – LOCKED LOOP และวงจร VCO-LO ในส่วนของ FM modulator

วงจร VCO-LO ทำงานเสมือน Frequency Modulator ซึ่งความถี่ 452 KHz ที่ได้เป็นสัญญาณความถี่พาหะ FM และสัญญาณข้อมูล (Message)ที่ได้จากตัวกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)ถูกป้อนเข้าที่ M ของชุดวงจร Frequency Modulate ที่สัญญาณ Carrier 452 kHz

วงจรเฟสมอดดูเลเตอร์ประกอบด้วยเฟส มอดดูเลเตอร์และลิมิตเตอร์ ในส่วนของวงจร VCO-LO จะสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier) FM 452 KHz เข้าที่จุด C ซึ่งจะทำการเฟส มอดดูเลท กับสัญญาณข้อมูล (Message) 5 KHz ได้จากตัวกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)ที่ถูกต่อเข้าที่จุด M ส่วนชุด LIMITER ทำหน้าที่ลดขนาดของสัญญาณ PM

Quadrature Detector ประกอบด้วย PHASE SHIFTER/LIMITER , PHASE DETECTOR และ FILTER (ชุดกรองความถี่) ต่อมาสัญญาณ FM ถูกป้อนมาจากวงจร VCO-LO สัญญาณ FM มี 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ถูกป้อนเข้าที่ PHASE SHIFTER/LIMITER ซึ่งจะเลื่อนเฟสไป 90˚และจำกัดขนาด(Amplitude) ในขณะที่สัญญาณเริ่มต้น(Original) และ Phase-Shift FM Signal จะถูกป้อนเข้าที่ PHASE DETECTOR เมื่อสัญญาณข้อมูล(Message)ถูกแปลงกลับมา (FILTER) ชุดกรองสัญญาณจะกันความถี่สูงจาก PHASE DETECTOR และยอมให้สัญญาณข้อมูล(Message) ผ่าน

PHASE-LOCKED LOOP ประกอบด้วย PHASE DETECTOR, FILTER, AMPและ VCO ซึ่งสัญญาณ RF เป็นสัญญาณ FM ที่ได้จากวงจร VCO-CO ให้ทำการต่อตัวต่อ 2 ขา จาก FILTER เข้าที่ภาคขยาย(AMP)เพื่อให้มีการป้อนกลับเข้าที่ PHASE DETECTOR ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จาก FILTER เป็นสัญญาณข้อมูล (Message)ที่ถูกกู้กลับมา โดยสัญญาณนี้ก็จะถูกป้อนกลับมาที่ภาคขยายเข้าที่ VCO โดย VCO จะทำให้ความถี่ของสัญญาณ FM (RF) คงที่

26. ให้ต่อวงจร VCO-LO เป็น Frequency Modulator (ดังรูป 1-27) และให้ต่อชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)เข้าที่ จุด M. พร้อมกับต่อ (FM) OUT ของ VCO- LO เข้าที่ FM ของ Quadrature Detector

หมายเหตุ เราแค่ทำการต่อวงจรยังไม่มีการป้อนหรือวัดสัญญาณ

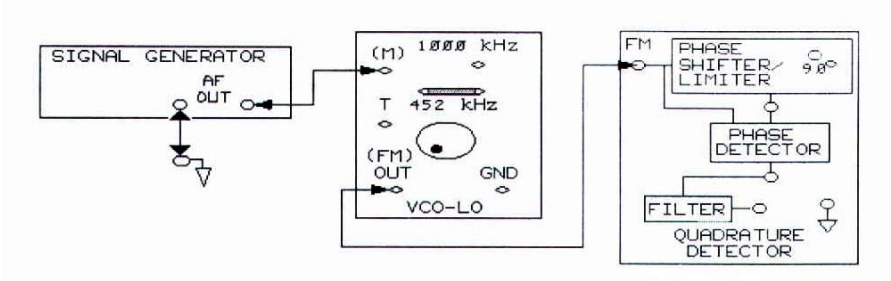

Figure 1-27.

27. วงจร Quadrature Detector จะใช้สำหรับมอดดูเลชั่น, ดีมอดดูเลชั่น หรือ มิกซ์ซิ่ง ?

.....

.....

28. ต่อชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)และวงจร VCO-LO เข้าที่ PHASE MODULATOR (รูป 1-28) ถามว่าในส่วน PHASE MODULATOR นั้น สัญญาณข้อมูลทำให้คุณสมบัติด้านใดของคลื่นพาหะเปลี่ยนไป ?

.....

.....

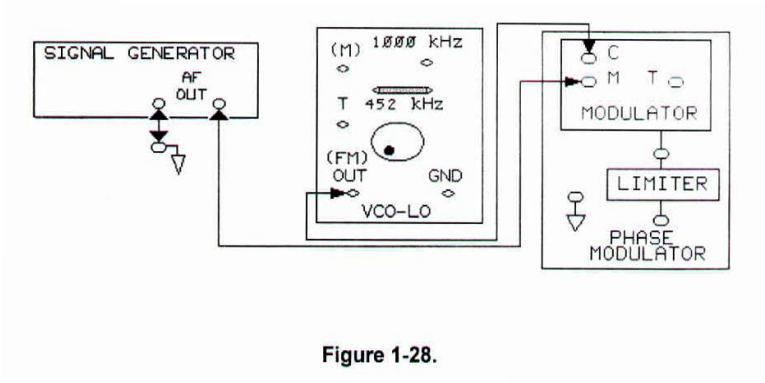

Figure 1-28.

29. ต่อชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)เข้าที่ M ของ VCO-LO และต่อ VCO เข้าที่ PHASE – LOCKED LOOP (รูป 1-29) ซึ่งที่ PHASE – LOCKED LOOP ให้ต่อตัวต่อ 2 ขา เข้าที่ระหว่างฟิลเตอร์และภาคขยาย(AMP)

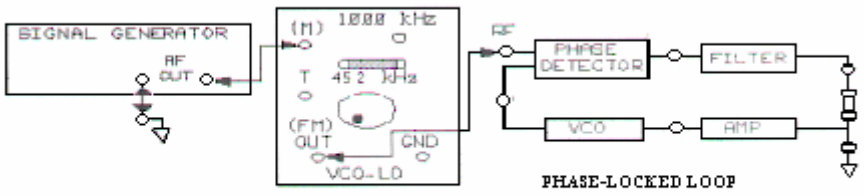

Figure 1-29

30. ที่วงจร PHASE – LOCKED LOOP สัญญาณที่แปลงกลับมาปรากฏที่อุปกรณ์ตัวใด ?

.....

.....

สรุป

1.ชุดการสื่อสารแบบอนาลอกประกอบด้วยวงจร 7 ชุด

2.ชุดวงจรประกอบด้วย ชุดกำเนิดสัญญาณ, ภาคขยาย, มอดดูเลเตอร์, มิกเซอร์, ฟิลเตอร์, LC เน็ทเวอร์ค, ลิมิตเตอร์ และดีเทคเตอร์

3.ชุดวงจรสามารถต่อเป็นภาครับและภาคส่ง AM, SSB, FM และ AM

4.วงจร VCO-LO ให้ความถี่ประมาณ 452 KHz และ 1000 KHz โยงความถี่นี้ถูกควบคุม โดยโวลท์เตจลบจากชุด Base Unit

5.วงจร VCO-HI ให้ความถี่ประมาณ 1455 KHz โดยถูกควบคุมโดยโวลท์เตจบวกจากชุด Base Unit

คำถามทบทวน

1. เราปรับความถี่จาก VCO-HI ได้อย่างไร ?
    a. โดยปรับปุ่มโวลท์เตจลบที่ชุด Base Unit
    b. โดยการต่อตัวต่อ 2 ขา เข้าที่จุดต่อ 1000 KHz
    c. โดยปรับปุ่มโวลท์เตจบวกจากที่ชุด Base Unit
    d. โดยการปรับปุ่มวงจร VCO-HI
2. เราปรับขนาดของสัญญาณจาก VCO-LO ได้อย่างไร ?
    a. โดยปรับปุ่มโวลท์เตจลบที่ชุด Base Unit
    b. โดนปรับปุ่มที่ชุดมอดดูเลเตอร์
    c. โดยการปรับปุ่มโวลท์เตจบวกที่ชุด Base Unit
    d. โดยการปรับปุ่มที่วงจร VCO-LO
3. ที่มอดดูเลเตอร์ในวงจรภาคส่ง AM/SSB เราปรับการมอดดูเลทของสัญญาณพาหะ (Carrier) โดยสัญญาณข้อมูล(Message)ได้อย่างไร ?
    a. โดยการปรับปุ่มที่ชุดมอดดูเลเตอร์
    b. โดยการปรับความถี่ของสัญญาณพาหะ (Carrier)
    c. โดยการปรับความถี่ของสัญญาณข้อมูล (Message)
    d. โดยการปรับโวลท์เตจลบที่ชุด Base Unit

4. วงจร VCO-LO, เฟส มอดดูเลเตอร์, ควอทดราเตอร์ ดีเทคเตอร์ และเฟส ล๊อคลูป เข้ากันกับสัญญาณวิทยุชนิดใด ?
    a. AM
    b. SSB
    c. FM และ PM (angle modulated)
    d. DSB
5. ที่ชุดวงจรการสื่อสารแบบอนาลอก เราต่อภาคส่งของ AM เข้าที่ภาครับของ AM อย่างไร ?
    a. การเชื่อมต่อไม่จำเป็นเพราะมีเสาอากาศในการส่งคลื่นแล้ว
    b. ต่อตัวต่อ 2 ขา เข้าระหว่าง R10 และ RF AMPLIFIER
    c. ตั้ง S3 ให้อยู่ตำแหน่ง ON
    d. ต่อตัวต่อ 2 ข้า เข้าระหว่าง FROM TRANSMITTER และ R8

แบบฝึกหัด 1-3

BALANCED MODULATOR

วัตถุประสงค์

เมื่อจบบทนี้เราจะสามารถอธิบายวงจร และอธิบายสัญญาณที่ได้จากสัญญาณที่ป้อนให้วงจรจำนวน 2 สัญญาณ รวมทั้งการทำงานพร้อมทั้งการใช้งานโดยใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดผลได้

ข้อศึกษา

บนบอร์ดวงจร ANALOG COMMUNICATIONS จะมีวงจรบาลานซ์ มอดดูเลเตอร์ ทำหน้าที่เสมือน AM มอดดูเลเตอร์, DSB ซัพเพรส มอดดูเลเตอร์, มิกเซอร์, SSB โพรดัคส์ ดีเทคเตอร์ และเฟส ดีเทคเตอร์

บาลานซ์ มอดดูเลเตอร์ จะใช้ไอซีเบอร์ 1496 (รูป 1-30) โดยที่วงจรนี้มีไอซีทั้งหมด 6 ตัว โดยแต่ละตัวประกอบด้วย NPN ทรานซีสเตอร์ จำนวน 8 ตัว (Q1-Q8) รูป 1-30 แสดงให้เห็นว่าทรานซีสเตอร์เหล่านี้ประกอบกันเป็นวงจรขยายแบบแตกต่าง จำนวน 2 ชุด และวงจรรักษากระแส(Q7-Q8) โดยทรานซีสเตอร์ด้านบน จำนวน 4 ตัว เป็นครอส-คัพเพิล, วงจรขยายความแตกต่างแบบคู่ ส่วนทรานซีสเตอร์ด้านล่างจำนวน 2 ตัว เป็นวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งทำหน้าขับให้ชุดขยายด้านบน

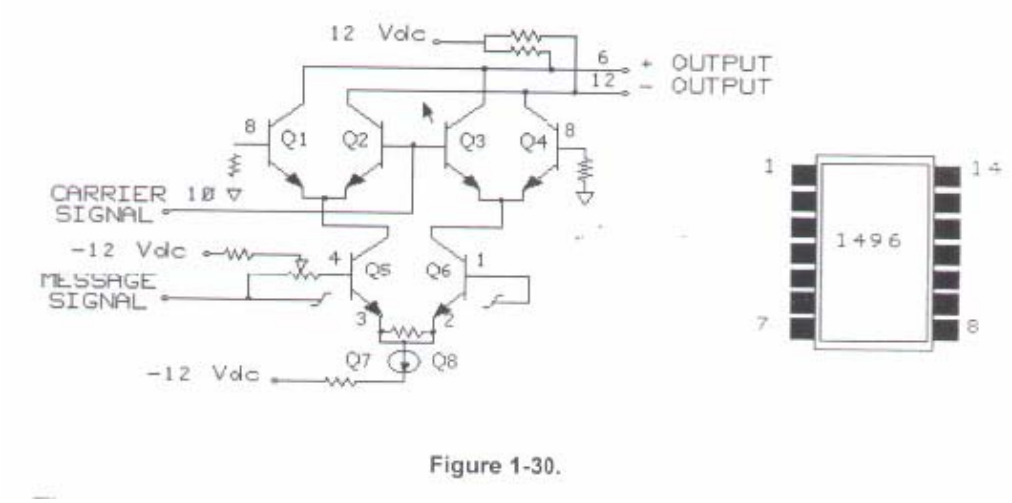

Figure 1-30.

บาลานซ์มอดดูเลเตอร์จะมีอินพุท 2 อินพุท โดยอินพุทที่ป้อนเข้าที่บาลานซ์ มอดดูเลเตอร์ มีสัญญาณพาหะ และสัญญาณข้อมูล โดยมีเอาท์พุทบวกออกมาที่ขา 6 และเอาท์พุทลบที่ขา 12 โดยที่ขา 12 จะต่อกับวงจรที่อยู่ถัดจากบาลานซ์มอดดูเลเตอร์

ปรับปุ่ม NULL ที่ขาเบสของ Q5 เพื่อปรับสัญญาณข้อมูลที่ป้อนเข้าขาเบสของ Q5 และ Q6 โดยปุ่มนี้ทำหน้าที่ปรับจำนวนการมอดดูเลชั่นที่เอาท์พุท โดยทำหน้าที่เป็นการมอดดูเลชั่นแบบ AM (โดยมีคลื่นพาหะ) หรือการมอดดูเลชั่นแบบ DSB (คลื่นพาหะถูกกดไว้)

ขึ้นอยู่กับการมอดดูเลชั่น, ผลลัพธ์ที่ได้อาจมีความถี่พาหะ, ผลรวมและความแตกต่างของความถี่ (ไซด์แบนด์) ของพาหะและสัญญาณข้อมูล,ไซด์แบนด์ ฮาโมนิคส์

ที่เอาท์พุท สัญญาณข้อมูล(Message) เดิมถูกลดทอนอย่างมากจนสามารถละทิ้งได้ สัญญาณพาหะ (carrier) ถูกตั้งไว้ให้มีขนาดสูงเพื่อทำให้ Q1-Q2 และ Q3-Q4 อยู่ในสภาวะอิ่มตัวซึ่งจะทำให้การทำงานเป็น

แบบสวิทช์ชิ่ง สัญญาณข้อมูล(Message) ถูกป้อนเข้าที่ภาคขยายความแตกต่างด้านล่างถูกตั้งไว้ให้มีการขยายต่ำดังนั้นชุดขยายนี้จึงเป็นการทำงานแบบเชิงเส้น

การเชื่อมต่อกันภายในของวงจรขยายความแตกต่างทั้งสามจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นการคูณแบบเต็มลูกคลื่นของสัญญาณอินพุท

สำหรับสัญญาณอินพุท Sine Wave และการทำงานแบบกดความถี่พาหะ ผลลัพธ์ที่ได้จากบาลานซ์มอดดูเลชั่นเป็นแรงดันเอาท์พุท (V_o)ซึ่งอาจจะแสดงได้ดังสมการด้านล่างซึ่งสัมพันธ์กับผลรวมของความถี่อินพุทและความแตกต่างของความถี่อินพุท

$$V_o = K \times V_m \times V_c \times \{\cos[(W_m + W_c)t + P] + \cos[(W_m - W_c)t + P]\}$$

เมื่อ

V_0	คือ	ค่าโวลท์เตจ DC ชั่วขณะหนึ่ง
K	คือ	ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับค่าโหลดและค่ารีซีสเตอร์ที่ใช้ไบแอส
V_m	คือ	ค่าสัญญาณข้อมูลเป็นพีค
V_c	คือ	ค่าสัญญาณพาหะเป็นพีค
$(W_m + W_c)$	คือ	ผลรวมของความถี่สัญญาณข้อมูลและความถี่พาหะ
$(W_m - W_c)$	คือ	ค่าความแตกต่างของความถี่สัญญาณข้อมูลและความถี่พาหะ
t	คือ	เวลา
P	คือ	ความแตกต่างทางเฟสของอินพุท

เมื่อสัญญาณที่เข้ามามีความถี่เท่ากันแต่มีเฟสแตกต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าดีซีโวลท์เตจที่เปลี่ยนแปลงไปกับค่าโคซายน์ของความแตกต่างทางเฟส

เมื่อบาลานซ์มอดดูเลชั่นทำหน้าที่เป็นการมอดดูเลชั่นแบบ AM เราปรับจำนวนของการมอดดูเลชั่นได้โดยใช้ปุ่ม NULLในวงจรอินพุทของสัญญาณข้อมูล ซึ่งเราสามารถปรับปุ่ม NULL เพื่อกดความถี่พาหะเพื่อให้ได้สัญญาณ DSB (เฉพาะความถี่ด้านสูงและต่ำเท่านั้น)

บาลานซ์มอดดูเลเตอร์ใช้เป็นมิกเซอร์ได้เช่นกันโดยการรวมความถี่เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ความถี่ที่สูงกว่าเดิมหรือความถี่ที่ต่ำกว่าเดิม เมื่อมิกเซอร์สมดุลย์เพื่อกดความถี่ของสัญญาณพาหะจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นผลรวมและผลต่างของความถี่ ชุดกรองความถี่ที่เอาท์พุทของมิกเซอร์สามารถแยกไซด์แบนด์ออกหนึ่งไซด์แบนด์เพื่อที่จะได้ความถี่ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่า (รูป 1-31)

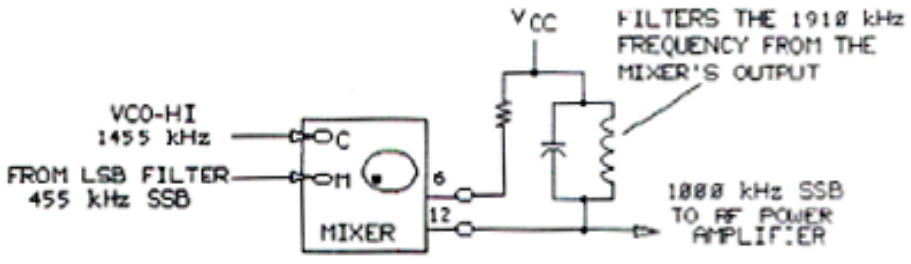

Figure 1-31.

ดังรูป 1-32 แสดง, SSB โปรดัคส์ดีเทคเตอร์เป็นบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ซึ่งรวมความถี่ 455 KHz (สัญญาณที่มอดดูเลทมา) กับความถี่ 452 KHz (beat frequency oscillator: BFO) เพื่อให้ได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณข้อมูล (เป็น LSB)

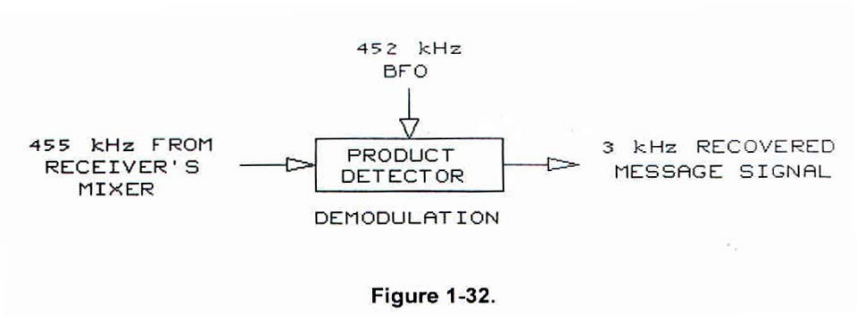

Figure 1-32.

FM คอวทดราเตอร์ ดีเทคเตอร์ ใช้บาลานซ์มอดดูเลเตอร์เป็นเฟสดีเทคเตอร์ ส่วนหนึ่งจากเอาท์พุทที่ได้เป็น DC โวลท์เตจซึ่งเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความแตกต่างทางเฟสซึ่งมีผลมาจากสัญญาณข้อมูล

เนื่องจากบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ต้องมีการใช้บ่อย ๆ ในวงจร การทบทวนเกี่ยวกับการบาลานซ์มอดดูเลเตอร์จึงมีความจำเป็นที่ต้องทบทวนบ่อยครั้ง

ขั้นตอน

1. หาตำแหน่งของบล็อกวงจร AM/SSB TRANSMITTER และ VCO-LO บนบอร์ด ANALOG COMMUNICATION และต่อวงจรดังแสดงในรูป 1-33 โดยตั้ง S1, S2 และ S3 ให้เป็นตำแหน่ง OFF

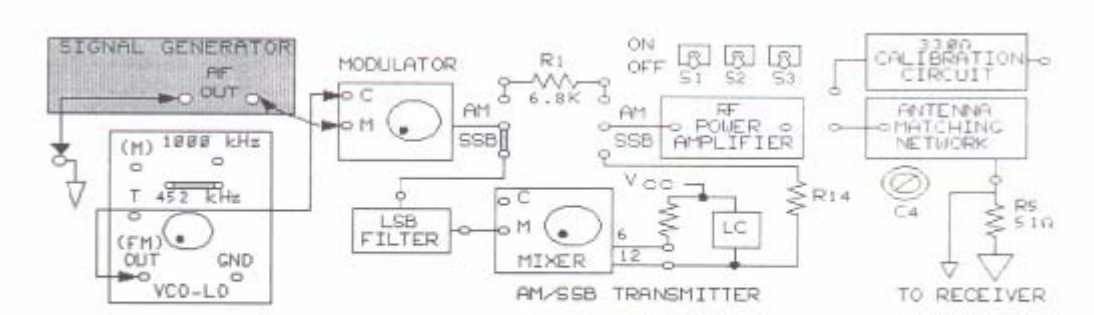

Figure 1-33.

2. หมุนปุ่มโวลท์เตจลบที่ชุด Base Unit ทวนเข็มจนสุดเพื่อปรับ VCO-LO ให้ได้ความถี่น้อยกว่า 452 KHz
3. ต่อโพรบ CH1 ของสโคป เข้าที่ตำแหน่ง M บนบล็อกมอดดูเลเตอร์ แล้วสังเกตสัญญาณที่ CH 1 พร้อมกับปรับชุดกำเนิดสัญญาณ(Signal Generator)ให้ได้รูปซายน์ที่จุด M เป็น 300 mVpk-pk , 3 KHz
4. ต่อโพรบ CH 2 ของสโคป เข้าที่ตำแหน่ง C บนบล็อกมอดดูเลเตอร์ แล้วสังเกตสัญญาณที่ CH 2 ปรับปุ่ม VCO-LO ให้ได้ 100 mVpk-pk

หมายเหตุ เมื่อใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดจะต้องทำการต่อกราวด์ของโพรบเข้ากับกราวด์ของวงจร

5. ต่อโพรบ CH 2 เข้าที่เอาท์พุทของมอดดูเลเตอร์
6. ให้ปรับโหมด Vertical ของสโคปไว้ที่ CH 2 และโหมดทริกเกอร์ไว้ที่ CH 1 (สัญญาณข้อมูล message) ตั้งค่าของ CH 2 ไปที่ 500 mV/DIV และตั้งSweep(Time/DIV)ไปที่ 0.1 ms/DIV
7. หมุนปุ่มมอดดูเลเตอร์ทวนเข็มจนสุดและค่อย ๆ หมุนกลับจนกระทั่งสัญญาณ AM (CH 2) มอดดูเลท น้อยกว่า 100% (รูป 1-34)

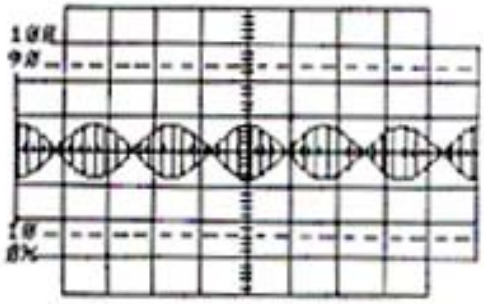

Figure 1-34.

8. ค่อย ๆ หมุนปุ่มตามเข็มไปเรื่อย จนกระทั่งสัญญาณ AM ปรากฏดังรูป 1-35 ถามว่าชนิดของสัญญาณที่ถูกมอดดูเลทแบบ AM ที่CH 2 คือ SSB, DSB หรือการมอดดูเลท 100% ? .

.....

.....

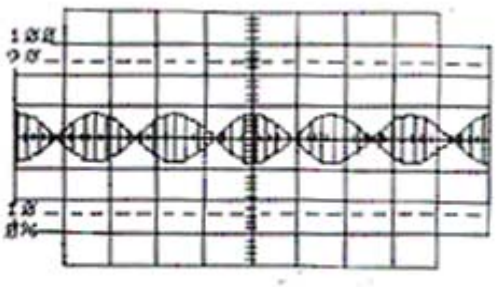

Figure 1-35.

9. ถ้าความถี่ของสัญญาณพาหะ (f_c) คือ 452 KHz และความถี่ของสัญญาณข้อมูล(f_m) คือ 3 KHz จะถามว่าความถี่ที่แสดงในความถี่เสปคตรัมของสัญญาณDSBคือเท่าไร?

.....

.....

.....

10. ชุดกรองความถี่ LSB เป็นตัวกรองความถี่ที่มีแบนด์วิดธ์แคบซึ่งยอมให้ความถี่ระหว่าง 453 KHz และ 457 KHz ผ่านได้เท่านั้น (ดังรูป 1-36)

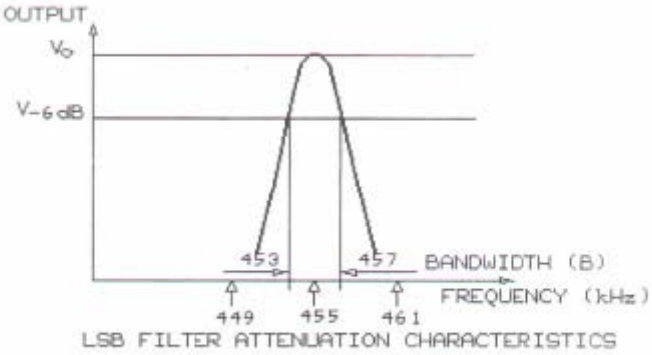

Figure 1-36.

11. ต่อโพรบ CH 2 เข้าที่เอาท์พุทของ LSB FILTER ตั้งโหมด Vertical เป็น CH 2 พร้อมทั้ง ตั้งทริกเกอร์เป็น CH 2 และตั้ง (Volt/DIV) ของ CH 2 เป็น 50 mV/DIV และตั้ง Sweep (Time/DIV) เป็น 1 us/DIV
12. เพราะความถี่ของสัญญาณ DSB จากมอดดูเลเตอร์จะต่ำกว่า 453 KHz และสัญญาณที่ได้ จากชุดกรองสัญญาณ LSB จะปรากฏเป็นแนวขวางที่สโคป
13. เพิ่มความถี่ของ VCO-LO ที่เข้ามอดดูเลเตอร์โดยค่อย ๆ ปรับปุ่มโวลท์เตจลบตามเข็มจนกระทั่งสัญญาณที่ได้จากชุดกรองความถี่ LSB มีแอมปลิจูดสูงสุด (ดังรูป 1-37)

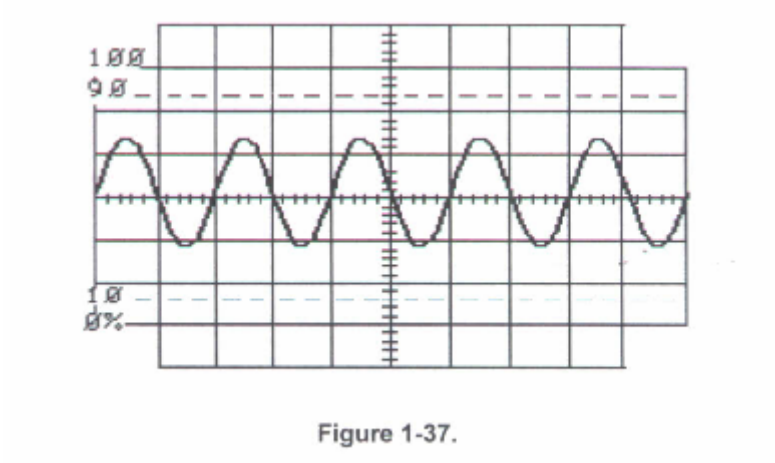

Figure 1-37.

14. สัญญาณที่ได้จากชุดกรองความถี่ LSB แสดงที่ CH 2 คืออะไร ? และสัญญาณมอดูเลทที่มากกว่า 100%เป็นการมอดูเลทแบบสัญญาณ AM , สัญญาณ DSB หรือสัญญาณ SSB ?

.....

.....

.....

15. ขณะที่ทำการสังเกตสัญญาณ 455 KHz ที่ได้จากชุด LSB FILTER ที่โพรบ CH 2 ให้ทำการปรับขนาดของสัญญาณข้อมูล 3 KHz เข้าที่ชุดมอดดูเลเตอร์โดยการปรับปุ่ม Amplitude (เพื่อปรับขนาดแอมปลิจูด)

ที่ชุดกำเนิดสัญญาณ อยากถามว่าแอมปลิจูดของสัญญาณ 455 KHz เปลี่ยนไปตามขนาด Amplitude ของสัญญาณข้อมูล 3 KHz ใช่หรือไม่ ?

.....

.....

16. ให้ต่อสัญญาณที่ได้จากวงจร VCO-HI ไปที่ตำแหน่ง C ของวงจรมิกเซอร์ ในขั้นตอนต่อไปนี้จะสังเกตว่าบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ ทำหน้าที่เป็นมิกเซอร์เพื่อเพิ่มความถี่ของสัญญาณ
17. ปรับโวลท์เตจบวกจากปุ่มที่ชุด Base Unit ทวนเข็มจนสุดเพื่อปรับความถี่ VCO-HI ให้มากกว่า1455 KHz
18. ตั้งSweep(Time/DIV) ของสโคปไว้ที่ 0.5 us/DIV ต่อโพรบของ CH 2 เข้าที่ตำแหน่ง C ซึ่งเป็นอินพุทของมิกเซอร์และปรับสัญญาณของ VCO-HI ให้ได้ 100 mVpk-pk จากปุ่มบน VCO-HI
19. ต่อโพรบ CH 1 ของสโคปเข้าที่เอาท์พุทของชุด LSB Filter และตั้งทริกเกอร์ไปที่ตำแหน่ง CH 1 และต่อโพรบ CH 2 เข้าที่ขา 6 ของเอาท์พุทของมิกเซอร์ และตั้ง(V/DIV) ของ CH 2 เป็น 200 mV/DIV
20. ปรับปุ่มของมิกเซอร์เพื่อให้ได้สัญญาณ DSB ที่ขา 6 (รูป 1-38)

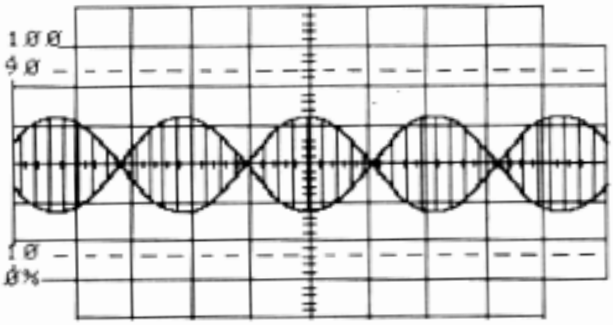

Figure 1-38.

21. ตั้งค่า(Volt/DIV) ของCH 2 เป็น 500 mV/DIV และตั้งทริกเกอร์ไปที่ตำแหน่ง CH 2 พร้อมกับต่อโพรบ CH 2 เข้าที่ขา 12 ของมิกเซอร์ โดยสัญญาณจะปรากฏเป็นเส้นบนจอสโคป
22. ปรับความถี่ของ VCO-HI เป็น 1,455 KHz โดยค่อย ๆ ปรับปุ่มโวลท์เตจบวกตามเข็มจนกระทั่งสัญญาณ SSB ที่ขา 12 ของมิกเซอร์มีแอมปลิจูดขนาดสูงสุด (ดังรูป 1-39)

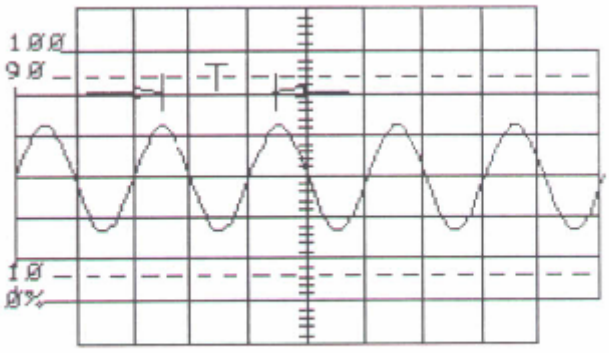

Figure 1-39.

23. วัดค่าคาบเวลา (T)ระหว่างยอดของคลื่นสัญญาณ โดยแต่ละช่องในแนวนอนเท่ากับ 0.5 us

.....

.....

24. จากค่าคาบเวลา (T) ให้คำนวณหาค่าความถี่ของ SSB ที่ขา 12 ของมิกเซอร์เท่ากับเท่าไร ?

.....

.....

25. ขณะที่ทำการสังเกตสัญญาณ 1000 KHz ที่ขา 12 (output LC Filter) ให้ทำการเปลี่ยนขนาด Amplitude ของสัญญาณข้อมูล 3 KHz ที่ไปที่มอดดูเลเตอร์โดยการปรับระดับของสัญญาณแอมปลิจูดที่ชุดกำเนิดสัญญาณ จะถามว่าขนาด Amplitude ของสัญญาณ 1000 KHz ที่ขา 12 นั้นเปลี่ยนไปตามขนาดAmplitudeของสัญญาณข้อมูล3KHzใช่หรือไม่

.....

.....

.....

สรุป

1. ชุดบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ของชุดทดลองนี้คือ IC (1496)
2. วงจรนี้ประกอบด้วยวงจรขยายความแตกต่าง 1 คู่ (dual differential Amplifier) , วงจรขยายความแตกต่าง 1 วงจร (a differential Amplifier) และแหล่ง กำเนิดกระแส
3. ค่าที่ได้จากบาลานซ์มอดดูเลเตอร์เป็นแบบ full-wave MULTIPLICATION ของสัญญาณที่ป้อนเข้า 2 สัญญาณ
4. ชุดบาลานซ์มอดดูเลเตอร์อาจจะมีปุ่มปรับ null เพื่อปรับจำนวนการมอดดูเลชั่น หรือเพื่อกดความถี่พาหะที่เอาท์พุท
5. ค่าที่ได้จากบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ ประกอบด้วยผลบวกและผลต่างของความถี่ที่ป้อนเข้ามาบวกด้วยความถี่ของพาหะถ้าไม่ได้ถูกกดไว้
6. บาลานซ์มอดดูเลเตอร์สามารถใช้เป็น AM Modulator ,SSB Modulator, Mixer, Product Detector และ Phase Detector

คำถามทบทวน

1. ที่ชุดทดลอง หน้าที่ของบาลานซ์มอดดูเลเตอร์คืออะไร ?
   a. Mixer
   b. Amplitude Modulator
   c. Detector
   d. ถูกทุกข้อ
2. จากรูป 1-40 แสดงวงจรของบาลานซ์ มอดดูเลเตอร์ ของชุดทดลองบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ถูกสร้างขึ้นได้อย่างไร ?
   a.วงจรขยายที่มีกลุ่มของ LCR ที่อินพุทด้าน1 ใน 2 สัญญาณเข้า
   b.IC จำนวนหนึ่งตัวที่ประกอบด้วยวงจรขยายความแตกต่าง 3 ชุด และแหล่งกำเนิดกระแส
   c.IC จำนวนหนึ่งตัวประกอบด้วย เอนเวลอป ดีเทคเตอร์และชุดกรองความถี่
   d.วงจรประกอบด้วยทรานซีสเตอร์ 3 ตัว, แหล่งกำเนิดกระแส, กลุ่ม LC

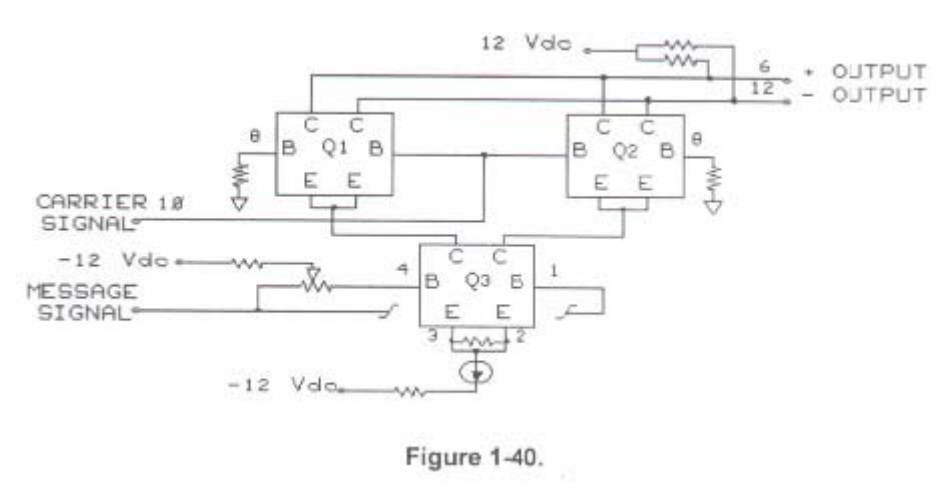

Figure 1-40.

3. สัญญาณพาหะ(carrier)ถูกกดที่เอาท์พุทของบาลานซ์มอดดูเลทเตอร์ได้อย่างไร ? ใช้รูป 1-36
   a. โดยการปรับโวลท์เตจลบ
   b. โดยการปรับโวลท์เตจบวก
   c. โดยการปรับปุ่ม null ที่สัญญาณข้อมูลป้อนเข้ามา
   d. โดยการปรับปุ่ม VCO-LO
4. เมื่อสัญญาณพาหะ(carier)เป็น 1000 KHz และสัญญาณข้อมูล (Message) 3 KHz ค่าผลบวกและผลต่างของ ความถี่ที่ได้ออกมา คือ
   a. 997 KHz และ 1003 KHz
   b. 994 KHz และ 997 KHz
   c. 1003 KHz และ 1006 KHz
   d. 994 KHz และ 1006 KHz

5. เมื่อต้องการเฉพาะผลรวมของความถี่จากบาลานซ์มอดดูเลเตอร์ อุปกรณ์ที่ต้องการกันไม่ให้ ความถี่ต่ำผ่านคือ ?
    a. Mixer
    b. a PRODUCT DETECTOR
    c. a Filter
    d. an Automatic Gain Control Circuit

<u>แบบทดสอบ 1</u>

1. ระบบสื่อสารต้องการภาคส่ง ช่องทางการสื่อสารและภาครับ เราเรียกระบบการสื่อสารที่มีการรับและส่งข้อมูลว่า
    a. การสื่อสารทางเดียว
    b. การมอดดูเลททาง Amplitude
    c. การมอดดูเลททางความถี่
    d. การสื่อสาร 2 ทิศทาง

2. ขบวนการใดที่ข้อมูลความถี่ต่ำเปลี่ยนคุณลักษณะของสัญญาณพาหะ (Carrier)เป็นความถี่สูงคือ ?
    a. Mixing
    b. Demodulation
    c. Modulation
    d. Detector
3. เราเรียกย่านความถี่ของไซด์แบนด์รอบความถี่พาหะ(Carrier)ว่าอะไร ?
    a. แบนด์วิดธ์
    b. สัญญาณข้อมูล
    c. สัญญาณรบกวน
    d. ความถี่ที่ถูกมอดดูเลท
4. หน้าที่ของโปรดัคท์ ดีเทคเตอร์ , ควอทดราเจอร์ ดีเทคเตอร์ , เฟส-ล๊อคลูป และ เอนเวลอป ดีเทคเตอร์ คืออะไร ?
    a. มอดดูเลชั่น
    b. ดีมอดดูเลชั่น
    c. กรองสัญญาณ
    d. มิกซ์ซิ่ง
5. หน้าที่ของวงจร VCO-LO และ VCO-HI คืออะไร ?
    a. มิกซ์ซิ่งและดีมอดดูเลชั่น
    b. สร้างสัญญาณข้อมูล
    c. สร้างสัญญาณออสซิลเลเตอร์
    d. เฟส มอดดูเลชั่น

6. หน้าที่ของ RF POWER AMPLIFIER และ RF AMPLIFIER คืออะไร?
    a. เพิ่มระดับกำลังของสัญญาณข้อมูลที่ไปสู่ลำโพง
    b. เพิ่มระดับกำลังของสัญญาณข้อมูลและสัญญาณพาหะที่ไปสู่มอดดูเลเตอร์
    c. ทำหน้าที่เป็นออโตเมติก เกน คอนโทรล
    d. ทำหน้าที่เพิ่มระดับกำลังของสัญญาณที่ส่งและรับตามลำดับ
7. วงจร VCO-LO , PHASE MODULATOR, QUADRATURE DETECTOR และ PHASE-LOCK LOOP ให้สัญญาณชนิดใด ?
    a. สัญญาณซิงเกิลไซด์แบนด์ (SSB)
    b. สัญญาณดับเบิลไซด์แบนด์ (DSB)
    c. สัญญาณที่ถูกมอดดูเลททางด้าน Amplitude (AM)
    d. สัญญาณที่มอดดูเลททางมุม
8. หน้าที่ของบาลานซ์มอดดูเลชั่น คืออะไร ?
    a. มอดดูเลชั่น
    b. เฟสดีเทคชั่น
    c. มิกซ์ซิ่ง
    d. ถูกทุกข้อ

9. สัญญาณที่ถูกมอดดูเลชั่นแบบ AM น้อยกว่า 100% ที่ได้จากมอดดูเลเตอร์ซึ่งไม่สมดุลย์ ค่าความถี่ที่สำคัญที่ยังคงอยู่ คืออะไร ?
    a. upper sideband, lower sideband และความถี่พาหะ
    b. ความถี่ข้อมูลและความถี่พาหะ
    c. ความถี่ upper sideband และ lower sideband
    d. แค่ความถี่พาหะ
10. อุปกรณ์ใดที่กั้นไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) จาก DSB ?
    a. Limiter
    b. Filter
    c. Detector
    d. Mixer