

เครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบไร้สาย

Wireless Video Transmitter



โดย

นายจักรพันธ์ จันทะแจ้ง

40010117

นายจิรัฐ อรินฤทธิ์

40010136

นายฐิติพงศ์ ศุภฤกษ์รัตน์

40010199

เลขพบบน.....

เลขทะเบียน 42155

วัน, เดือน, ปี 14 พ.ค. 2545

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบไร้สาย

Wireless Video Transmitter

โดย

นายจักรพันธ์ จันทะแจ้ง 40010117

นายจิรัฐ อรินฤทธิ์ 40010136

นายฐิติพงศ์ ศุภฤกษ์รัตน์ 40010199

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.นิภา ลีสารุจิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบไร้สาย

Wireless Video Transmitter

ผู้จัดทำ

- | | |
|----------------------------|----------|
| 1. นายจักรพันธ์ จันทะแจ้ง | 40010117 |
| 2. นายจิรัฐ อรินฤทธิ์ | 40010136 |
| 3. นายจิตติพงศ์ สุกฤษรัตน์ | 40010199 |

.....
ผู้ทำ

(รศ. นิภา สีสารุจิ)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบไร้สาย

WIRELESS VIDEO TRANSMITTER

โดย นายจักรพันธ์ จันทะแจ้ง 40010117

นายจิรัฐ อรินฤทธิ์ 40010136

นายจิตติพงษ์ ศุภฤกษ์รัตน์ 40010199

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. นิภา ตีลาธุจิ

บทคัดย่อ

โครงการชิ้นนี้ได้นำเสนอการกระทำเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงทางคลื่นอากาศโดยเครื่องรับโทรทัศน์จะทำการรับสัญญาณจากเครื่องส่งที่ได้มอดูเลตสัญญาณภาพและเสียงจากเครื่องเล่นวีดีโอ ซึ่งส่งในย่านวีเอชเอฟ สัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห้ความถี่ 5.5 เมกกะเฮิรตซ์ ในระบบเอฟเอ็มและจะถูกนำมารวมกับสัญญาณภาพวีดีโอ แล้วส่งไปในระบบเอเอ็ม เพื่อถ่ายทอดสัญญาณในระยะห่างออกไปไม่จำเป็นต้องใช้สายเคเบิล

ABSTRACT

This project proposes a construction of the television transmitter. The main objective is to study the operation of each part of the television transmitter technique that is useful for communication. The transmitter is frequency modulated by audio and video signal from video cassette player or other supplied. The transmitter is broadcast in VHF. And audio signal is modulated with carrier frequency 5.5 MHz in FM system and combined with video signal then transmitted in AM system. Advantage of transmitter is wireless to receiver and easy to moved the supply signal.

สารบัญ

เนื้อหา	หน้าที่
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 หลักการสร้างภาพโทรทัศน์	2
2.1.1 จำนวนเส้นสร้างภาพต่อ 1 ภาพ	2
2.1.2 การสร้างเส้นภาพแบบกวาดสลับเส้น	3
2.1.3 การสร้างสัญญาณภาพรวม	4
2.2 ช่องสัญญาณโทรทัศน์	6
2.3 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ทางด้านภาพ	7
2.4 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ทางด้านเสียง	7
2.5 วงจรผลิตความถี่	8
2.6 วงจรขยายสัญญาณ	14
2.6.1 แอมป์ไฟเออร์แบบ common-emitter	14
2.6.2 การคำนวณวงจร	14
2.6.3 วงจรขยายที่มีการไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า	16
2.6.4 การออกแบบวงจรขยายภาคเดียว	18
2.6.5 ตัวอย่างการออกแบบ	19
2.7 วงจรขยายเชิงเส้นคลาส A	21
2.8 การมอดูเลชันเชิงขนาด	22
2.9 การมอดูเลชันเชิงความถี่	24
บทที่ 3 วงจรและการทำงาน	28
3.1 บล็อกไดอะแกรม	28
3.2 การทำงานของวงจร	30
3.2.1 วงจรมอดูเลเตอร์เชิงความถี่	30
3.2.2 วงจรกำเนิดความถี่คลื่นพาห้หลัก	31
3.2.3 วงจรมอดูเลเตอร์เชิงขนาดเพื่อส่งออกอากาศ	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	34
4.1 ภาค FM modulator มอดูเลตสัญญาณเสียงด้วย Subcarrier 5.5 MHz	34
4.2 ภาคออสซิลเลเตอร์คลื่นพาห้หลัก	36
4.3 ภาค AM modulator	37
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	40
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการสร้างเส้นสร้างภาพใน 1 ภาพ	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นพื้นเลื้อยสำหรับการกวาด	4
รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบสัญญาณที่ส่งออกอากาศ	6
รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของสัญญาณโทรทัศน์สี	7
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเบื้องต้นของ โคลพิทท์ทรานซิสเตอร์	8
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ โคลพิทท์แบบเบสร่วม	9
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรขยายที่มีการไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.9 แสดงแบบจำลองวงจรขยายที่มีการไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.10 แสดงวงจรขยายภาคเดียว	18
รูปที่ 2.11 แสดงการแบ่งคลาสของวงจรขยายกำลัง ตามลักษณะของรูปคลื่นกระแสเอาต์พุต	21
รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานในลักษณะวงจรขยายคลาส A	22
รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณในลักษณะต่างๆ รวมทั้งสัญญาณเอ.เอ็ม. ที่ใช้ออกอากาศ	23
รูปที่ 2.14 วงจรอิมิตเตอร์มอดูเลเตอร์	23
รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณการมอดูเลตแบบเอฟ.เอ็ม.	24
รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ ไซเคิลแบนด์ กับ modulation index	25
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรรีแอกเตนซ์มอดูเลเตอร์	27
รูปที่ 3.1 บล็อก ไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียง	28
รูปที่ 3.2 จรสมมูลของเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบไร้สาย	29
รูปที่ 3.3 วงจรมอดูเลเตอร์แบบเอฟเอ็มความถี่ 5.5 MHz	30
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ผลิตความถี่คลื่นพาห์หลักย่าน วิ.เอช.เอฟ	31
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรแอมพลิฟิเคชันมอดูเลเตอร์ที่ใช้งานจริง	32
รูปที่ 4.1 แสดง subcarrier ของเสียงที่ออสซิลเลตได้ ความถี่ 5.545 MHz โดยแสดงสัญญาณจาก สเปกตรัมอนาไลเซอร์	34
รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นสัญญาณทดสอบความถี่ 50 kHz ระดับสัญญาณ 200 mVp-p	35
รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณทดสอบที่ผ่านการมอดูเลตแบบ FM แล้ว	35
รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของความถี่ที่ออสซิลเลตจากวงจรออสซิลเลเตอร์	36
รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ	36
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบ AM แล้ว	37
รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายสัญญาณ Color Bar จากเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอที่รับได้ที่เครื่องรับโทรทัศน์	38
รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายสัญญาณภาพจากเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอที่รับได้ที่เครื่องรับโทรทัศน์	38

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้เป็นยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีต่างๆ ได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิทยุโทรทัศน์ โทรศัพท์ ไมโครเวฟหรือระบบดาวเทียม และระบบสื่อสารอื่นอีกมากมาย เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ (Television Transmitter) มีวัตถุประสงค์ในการจัดทำคือ เพื่อศึกษาถึงความรู้เบื้องต้นในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณภาพ สัญญาณเสียงและมาตรฐานต่างๆ ของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ รวมทั้งศึกษาถึงเครื่องรับโทรทัศน์ในบางส่วนเพื่อนำมาประกอบในการสร้างเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์นี้สามารถใช้ในการส่งสัญญาณภาพที่มีสีหรือสัญญาณภาพขาวดำและสัญญาณเสียงไปพร้อมกัน โดยใช้สายอากาศส่งเดียวกันได้ คลื่นพาห์ของการส่งสัญญาณที่ใช้อยู่ในย่านความถี่ VHF (Very High Frequency) ซึ่งเป็นย่านความถี่สูงในการส่งสัญญาณ

เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอและเสียงสามารถประยุกต์ใช้กับการส่งสัญญาณต่างๆ ได้ดังนี้

1. การส่งสัญญาณโทรทัศน์สมัครเล่น
2. การส่งสัญญาณภาพและเสียงออกอากาศ
3. สามารถใช้ได้กับกล่องวีดีโอแบบพกพา เครื่องรับโทรทัศน์ หรือเครื่องเล่นวีดีโอเทป
4. สามารถทำการส่งสัญญาณภาพและเสียงไปยังเครื่องรับโทรทัศน์หลายๆ เครื่องในเวลาเดียวกันทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของผู้ประสงค์ส่ง

สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากเอาต์พุตของเครื่องเล่นเทปวีดีโอ จะถูกส่งผ่านเข้าเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอไว้สายที่ใช้ไฟตรงเลี้ยง (Vcc) 12 โวลต์ โดยในส่วนของวงจรเครื่องส่งสัญญาณคลื่นพาห์สามารถผลิตได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ แล้วทำการขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณแรงดัน ส่วนสัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตกับคลื่นความถี่ 5.5 เมกกะเฮิรตซ์ แบบเอฟเอ็ม จากนั้นสัญญาณเสียงและภาพจะถูกรวมกันโดยวงจรมอดูเลตแบบเอเอ็ม สัญญาณที่ได้ส่งออกอากาศที่เสาอากาศต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการสร้างภาพโทรทัศน์

ระบบโทรทัศน์คือ การส่งกระจายเสียงพร้อมทั้งภาพที่เคลื่อนไหวย่อออกไปในรูปของสัญญาณโทรทัศน์และทางด้านเครื่องรับจะรับสัญญาณมาเปลี่ยนเป็นภาพและเสียงตามต้องการ ภาพที่เกิดขึ้นบนจอโทรทัศน์เกิดมาจากภาพนิ่งที่นำมาต่อเรียงกัน โดยแต่ละภาพจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย และเกิดขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว จนทำให้สายตาของคนเราเห็นเป็นภาพที่ต่อเนื่อง ในภาพแต่ละเฟรมโดยตัวของมันเองประกอบด้วยพื้นที่เล็กๆ ของแสงและจุด หากภาพนั้นมีรายละเอียดของจุดแสงมาก ภาพที่ออกมาจะมีรายละเอียดมากกว่าภาพที่มีจุดและแสงรายละเอียดน้อย (ซึ่งภาพออกมาหายาบ)

2.1.1 จำนวนเส้นสร้างภาพต่อ 1 ภาพ

ภาพที่ปรากฏบนจอ นั้นเปรียบเหมือนภาพที่ถูกตัดซอยออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ทางแนวนอน เนื่องจากสัญญาณโทรทัศน์จะสร้างจากส่วนของภาพที่ถูกแยกออกเป็นเส้นทางแนวนอนเรียงรายลงมาจากด้านบนสู่ด้านล่าง ดังนั้นจึงจำนวนเส้นสร้างภาพที่ใช้ในการสร้างภาพมีมาก ความละเอียดชัดเจนของภาพก็จะยิ่งสูง แต่ก็มีขอบเขตจำกัดจากแถบความถี่ของสัญญาณภาพ คือถ้าจำนวนเส้นต่อภาพสูง แถบความถี่ของสัญญาณภาพจะกว้างมาก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาทางด้านคุณสมบัติของวงจร ที่จะนำมาใช้ในการส่งและรับสัญญาณรวมทั้งความจำกัดต่อจำนวนช่องของสถานีที่ใช้ออกอากาศในแถบความถี่แต่ละย่านด้วย

สมัยแรกๆประเทศอังกฤษและทวีปยุโรปบางประเทศ จะใช้จำนวนเส้นสร้างภาพ 405 เส้นต่อ 1 ภาพ เรียกว่าระบบอังกฤษหรือระบบ A เนื่องจากจำนวนเส้นมีน้อย แถบความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณจึงแคบเพียง 3 MHz และความกว้างของช่องใช้เพียง 5 MHz ทำให้สามารถส่งออกอากาศได้หลายสถานี แต่ในปัจจุบันไม่ใช่ เนื่องจากรายละเอียดของภาพไม่เพียงพอที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี สำหรับฝรั่งเศสตอนแรกใช้สูงมาก คือใช้ถึง 819 เส้น ต่อ 1 ภาพ แถบความถี่ของสัญญาณภาพจึงมีความกว้างมากถึง 10 MHz และต้องใช้แถบความถี่มากถึง 14 MHz ในการส่งสัญญาณ โทรทัศน์แต่ละช่อง ทำให้ส่งสัญญาณออกอากาศเพียงไม่กี่สถานี ระบบนี้เรียกว่าระบบฝรั่งเศสหรือระบบ E ในปัจจุบันไม่ใช่แล้ว

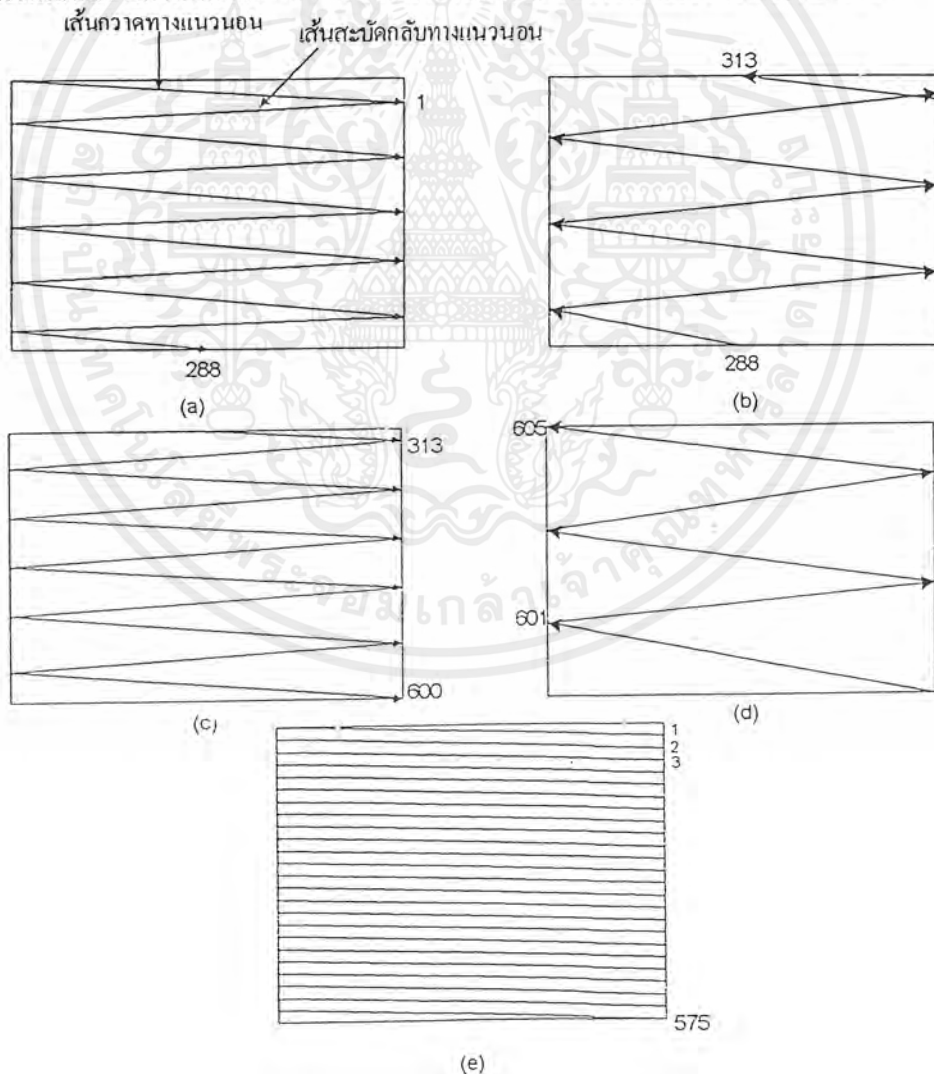
ส่วนในอเมริกาจำนวนเส้นสร้างภาพ 525 เส้นต่อ 1 ภาพ ซึ่งมีความละเอียดของภาพชัดเจนดีพอควรแต่แถบความถี่ของสัญญาณภาพไม่กว้างมาก เพียง 4.5 MHz และแถบความถี่ที่ใช้ส่งออกอากาศมีค่า 6 MHz เรียกขานกันว่า ระบบอเมริกาหรือระบบ M ปัจจุบันยังคงใช้ใช้ในการส่งสัญญาณออกอากาศในประเทศญี่ปุ่น

ในทวีปยุโรปปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้เส้นสร้างภาพเป็น 625 เส้น ต่อ 1 ภาพ เรียกว่าระบบยุโรป แต่ก็ยังแตกต่างออกเป็นหลายแบบด้วยกัน ถึงแม้ว่าจำนวนเส้นต่อภาพเท่ากัน เช่น แถบความถี่สัญญาณภาพ, การผสมสัญญาณภาพและเสียง เป็นต้น จึงกลายเป็นหลายระบบ เช่น B, C, D/K, G/H, I, L และ N สำหรับประเทศไทยใช้ระบบ B ซึ่งเรียกว่ามาตรฐานของ CCIR (International Radio Consultative Committee)

2.1.2 การสร้างเส้นภาพแบบกวาดสลับเส้น (INTERLACED SCANNING)

เส้นสร้างภาพที่สร้างขึ้นหน้าจอโทรทัศน์นั้น จะไม่สร้างเรียงรายต่อเนื่องกันลงมาจากด้านบนสู่ด้านล่างเป็นจำนวน 625 เส้น ในครั้งเดียวเพราะจะเกิดปัญหาเรื่องการกระพริบหน้าจอ (Flicker) จึงใช้แบบกวาดเส้นสลับเส้นโดยแบ่งการกวาดออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกกวาดเส้นสร้างภาพ เส้นเว้นเส้นให้เรียงรายจากขอบจอจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง 312.5 เส้น ใช้เวลาในการสร้าง 1/50 วินาที เรียกว่า ช่วงเวลาการกวาดฟิลด์ที่ 1 หรือ การกวาดฟิลด์เส้นคี่ จากนั้นจะทำการสร้างอีกชุดหนึ่ง โดยกวาดแซมตรงช่องว่างระหว่างเส้นสร้างภาพของฟิลด์ที่ 1 เรียงรายจากด้านบนลงสู่ด้านล่างอีก เป็นจำนวนและใช้เวลาเท่ากับฟิลด์แรก เรียกว่า การกวาดฟิลด์ที่ 2 หรือ การกวาดฟิลด์เส้นคู่ ดังนั้นเส้นสร้างภาพที่ปรากฏอยู่บนหน้าจอจำนวน 625 เส้น นั้น เกิดจากผลรวมของฟิลด์ที่ 1 และฟิลด์ที่ 2 โดยใช้เวลาในการสร้างภาพ 1 ภาพเท่ากับ 1/25 วินาที

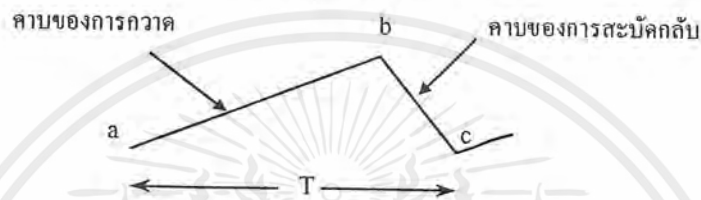
เส้นที่มองเห็นปรากฏอยู่บนหน้าจอโทรทัศน์นั้น จะมีจำนวนจริงไม่ถึง 625 เส้น ทั้งนี้เนื่องจากสูญเสียในจังหวะสลับกลับทางแนวตั้ง ครั้งละ 25 เส้น ซึ่งในการสร้างเส้นสร้างภาพ 2 ฟิลด์ เส้นสร้างภาพจะหายไปจำนวน 50 เส้น ดังนั้นเส้นสร้างภาพที่ปรากฏบนจอที่มีอยู่มีจำนวนเท่ากับ 575 เส้นเท่านั้น โดยจำนวนเส้นสร้างภาพที่เรียงจากด้านบนลงมาด้านล่าง แต่ละฟิลด์นั้นมีจำนวน 287.5 เส้น



รูปที่ 2.1 แสดงการสร้างเส้นสร้างภาพใน 1 ภาพ

จากรูปที่ 2.1, (a) จังหวะการกวาดทางแนวตั้งของฟิลด์ที่ 1 ถ้าอิเล็กตรอนจะถูกเบี่ยงเบนให้วิ่งเฉียงสร้างเส้นแสงสว่างทางแนวนอน, (b) จังหวะสลับกลับทางแนวตั้งของฟิลด์ที่ 1 ถ้าอิเล็กตรอนจะถูกเบี่ยงเบนให้วิ่งจากขอบจอด้านล่างสู่ด้านบนเพื่อเริ่มต้นสร้างเส้นสร้างภาพฟิลด์ที่ 2, (c) จังหวะการกวาดทางแนวตั้งของฟิลด์ที่ 2, (d) จังหวะการสลับกลับของฟิลด์ที่ 2, (e) เส้นสร้างภาพรวมที่ทำให้เกิดภาพหน้าจอโทรทัศน์

การกวาดกระทำทั้งในแนวตั้งและแนวนอนด้วยคลื่นฟันเลื่อยดังแสดงในรูปที่ 2.2 ระหว่างจุด a และ b ภาพจะถูกกวาดด้วยความเร็วที่แน่นอน และระหว่างจุด b และ c การกวาดจะกลับไปยังจุดเริ่มต้นทางซ้ายมือสุดของเส้นกวาดต่อไป ระยะเวลาระหว่าง a และ b เรียกว่าคาบของการกวาด (scanning period) และระหว่าง b และ c เรียกว่าคาบของการสลับกลับ (retrace period)



รูปที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นฟันเลื่อยสำหรับการกวาด

2.1.3 การสร้างสัญญาณภาพรวม

สัญญาณโทรทัศน์ที่เครื่องส่งทำการส่งสัญญาณภาพออกอากาศเป็นสัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) ซึ่งการที่เราจะทำให้เครื่องรับบรรจุมัลติเพล็กซ์ได้นั้นต้องให้สถานีโทรทัศน์ส่งสัญญาณต่างๆดังต่อไปนี้

1. สัญญาณเสียง
2. สัญญาณภาพ
3. สัญญาณแบลงกิ้ง
4. สัญญาณซิงโครไนซ์
5. สัญญาณอีควอไลซ์

ในส่วนของระบบสัญญาณเสียงเราจะใช้คลื่นพาห์ (Carrier) เฉพาะ เพราะระบบเสียงในโทรทัศน์เป็นระบบ FM ส่วนสัญญาณภาพและอื่นๆ ที่เหลือนั้นเราจะส่งเป็นสัญญาณภาพรวม หรือคอมโพสิท วิดีโอ ซิกแนล (Composite Video Signal) แล้วใช้คลื่นพาห์ภาพส่งออกไป การที่เราต้องการส่งสัญญาณทั้ง 5 ตัว ออกอากาศแพร่คลื่นออกไปเพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

1. สัญญาณภาพและสัญญาณเสียง เป็นสัญญาณที่ส่งออกไปเพื่อทำให้เกิดภาพและเสียงขึ้นในเครื่องรับโทรทัศน์
2. สัญญาณแบลงกิ้งเป็นสัญญาณที่ส่งเพื่อให้ลบเส้นสลับกลับทั้งในแนวตั้งและแนวนอน
3. สัญญาณซิงโครไนซ์เป็นสัญญาณที่ส่งมาเพื่อช่วยให้วงจรหักเหทางแนวตั้งและวงจรหักเหทางแนวนอนทำงานสอดคล้องกัน ทำให้เกิดการกวาดสลับเส้นพร้อมกันระหว่างการส่งสัญญาณและการรับสัญญาณ มีสัญญาณซิงโครไนซ์แนวนอนสำหรับการกวาดในแนวนอน และสัญญาณซิงโครไนซ์แนวตั้งสำหรับการกวาดในแนวตั้ง

4. สัญญาณอ็ควอลไกซึ่งเป็นสัญญาณที่ช่วยให้สัญญาณซิงโครไนซ์ทั้งแนวตั้งและแนวนอนยังคงรูปเดิมอยู่ได้ แม้ว่าจะเป็นการสแกนแบบสลับเส้นก็ตาม

การสร้างสัญญาณภาพสี

สัญญาณภาพสี จะประกอบไปด้วยสี 3 สี คือสีแดง น้ำเงิน และเขียว ในกรณีของโทรทัศน์ขาวดำ เราใช้หลอดโทรทัศน์เพียงหลอดเดียวเท่านั้น แต่สำหรับโทรทัศน์สีจะต้องใช้หลอดถึง 3 หลอด เพราะแต่ละหลอดจะต้องมีไส้หลอดที่มีความไวต่อแต่ละสีของสีทั้งสามนั้น

แถบสีขาวประกอบด้วยสีเขียว สีแดง และสีน้ำเงิน สีละหนึ่งหน่วย สีเหลืองเป็นแถบสีที่สอง มีส่วนผสมของแถบสีเขียวกับสีแดงอัตราละหนึ่งหน่วย เช่นเดียวกับสีดำเป็นแถบสีที่ 7 ไม่มีส่วนผสมของแถบสีใดๆเลย

สัญญาณไฟฟ้าทั้งสามเหล่านี้ (แดง น้ำเงิน และเขียว) จะรวมกันอีกครั้งหนึ่ง และสร้างสัญญาณไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ คือสัญญาณความสว่าง (luminance signal) และสัญญาณสี (chrominance signal) สัญญาณความสว่างบอกความเข้มของความสว่าง (luminous intensity) ของภาพเท่านั้น ส่วนสัญญาณสีเป็นสัญญาณที่บอกลักษณะสีของภาพเท่านั้น ไม่มีข้อมูลของความสว่างอยู่ด้วย ซึ่งในโทรทัศน์ขาวดำมีสัญญาณความสว่างนี้อย่างเดียวก็พอแล้ว แต่ในโทรทัศน์สีจะต้องมีสัญญาณสีอีกด้วย เพื่อบอกลักษณะสี (tint) ของภาพซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ เหลือบสี (hue) และความอิ่มตัว (saturation)

ดังนั้น แม้สีทั้งสามจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณที่ประกอบด้วย 3 ส่วน คือความสว่าง เหลือบสี และความอิ่มตัวอีกต่อหนึ่ง สัญญาณสีนี้จะถูกมอดูเลทบนคลื่นพาหะของสี โดยให้องค์ประกอบทั้งสอง (เหลือบสี และความอิ่มตัว) ตั้งฉากกันและผสมกับสัญญาณความสว่างในแถบความถี่ของสัญญาณความสว่าง ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเรียกว่าเป็นสัญญาณภาพสีรวม

สัญญาณภาพสีรวมที่จะส่งออกอากาศนั้น เรายังไม่ได้ส่งออกอากาศจริงเพราะถือว่ารระดับความแรงสัญญาณเกินความจำเป็นซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการส่งและเกิดความสิ้นเปลือง ดังนั้นก่อนที่จะนำเอาสัญญาณภาพรวม ส่งรวมเข้ากับสัญญาณความส่องสว่าง ต้องลดระดับความแรงของสัญญาณเสียก่อน

สัญญาณแบลงกิ้ง

เมื่อมีการสแกนลำอิเล็กตรอนที่หน้าจอจะเกิดเส้นรีเทรตหรือเส้นสะบัดกลับ ซึ่งเป็นภาพที่เราไม่ต้องการ เครื่องส่งจึงต้องส่งสัญญาณแบลงกิ้ง เพื่อบังคับให้เครื่องรับสามารถลบเส้นสะบัดกลับได้ สัญญาณแบลงกิ้งส่วนหนึ่งเครื่องรับจะต้องสร้างขึ้นเหมือนการสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์แล้วมันจะสัมพันธ์เครื่องส่งได้อย่างไร จึงต้องมีการส่งสัญญาณแบลงกิ้งมาจากเครื่องส่งเพื่อลบเส้นสะบัดกลับในเครื่องรับ สัญญาณแบลงกิ้งมีอยู่ 2 อย่าง คือสัญญาณเวอร์ติคัลแบลงกิ้ง กับ สัญญาณฮอริซอนตอนแบลงกิ้ง

สัญญาณซิงโครไนซ์

เป็นสัญญาณเพื่อให้การสแกนเป็นไปได้อย่างถูกต้อง ทั้งการสแกนทางแนวตั้งและแนวนอน โดยสัญญาณ ซิงโครไนซ์หรือสัญญาณซิงค์มีอยู่ 2 สัญญาณ คือ

1. ฮอริซอนตอล ซิงโครไนซ์ (Horizontal Synchronize) เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวนอน ซึ่งมีความถี่ 15,625 Hz (ในระบบ CCCIR) หรือ 15,750 Hz (ในระบบ FCC) ถ้าไม่มีสัญญาณส่วนนี้ส่งมาจะทำให้ภาพล้นได้
2. เวอร์ติคัล ซิงโครไนซ์ (Vertical Synchronize) เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวตั้ง ซึ่งมีความถี่ 50 Hz (ในระบบ FCC) ถ้าไม่มีสัญญาณส่วนนี้จะทำให้ภาพเลื่อน

เนื่องจากสัญญาณซิงโครไนซ์และสัญญาณแบล็กกิ้งไม่ว่าจะเป็นแนวนอนหรือแนวตั้ง จะมีความถี่เท่ากันเวลาส่งจึงต้องกำหนดตำแหน่งของการส่งให้ถูกต้อง มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการรบกวนกันได้ ในทางปฏิบัติจึงให้สัญญาณซิงค์พัลส์ไปด้วยกัน ให้แบล็กกิ้งพัลส์เป็นฐานของสัญญาณซิงค์พัลส์ เมื่อมีการจัดลำดับของสัญญาณส่วนนี้เทียบกับเกรย์สเกลระดับของแบล็กกิ้งจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าค่า ส่วนซิงค์จะเป็นระดับต่ำกว่าระดับคามากกว่าลงไปอีก สัญญาณเหล่านี้จึงไม่กวนกับสัญญาณภาพ

สัญญาณอีควอไลซิง

เป็นสัญญาณบังคับรูปร่างของสัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวตั้ง เพื่อให้สามารถคงรูปถูกต้อง แล้วยังช่วยในการสแกนแบบสลับเส้นไปได้อย่างถูกต้องด้วย สามารถขึ้นเส้นคู่และเส้นคี่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้ ทั้งยังส่งผลทางอ้อมให้สัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวนอนไม่ขาดช่วงหายไป ในลักษณะทางแนวตั้งด้วย สัญญาณตัวนี้รวมกันแล้วจะมีขนาดเท่ากับเวอร์ติคัลพัลส์ สัญญาณส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 6 ลูกเล็กๆ ในระบบ 525 เส้น และถูกแบ่งเป็น 5 ลูกในระบบ 625 เส้น



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบสัญญาณที่ส่งออกอากาศ

2.2 ช่องสัญญาณโทรทัศน์

สัญญาณโทรทัศน์ที่ถูกส่งออกอากาศจะประกอบด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง สัญญาณภาพจะมีคลื่นพาห์ของภาพ (Picture Carrier) ในระบบ Amplitude Modulation และสัญญาณเสียงก็จะมีคลื่นพาห์ของเสียง (Sound Carrier) ในระบบ Frequency Modulation การส่งสัญญาณภาพออกอากาศอาจเลือกส่งแบบ Amplitude-Modulated Double Sidebands หรือเลือกส่งแบบอื่นก็ได้ แต่เนื่องจากขอบเขตของความถี่ในสัญญาณภาพมีมาก หากส่งความถี่ที่เกี่ยวข้องไปทั้งหมดจะทำให้ความกว้างของช่อง

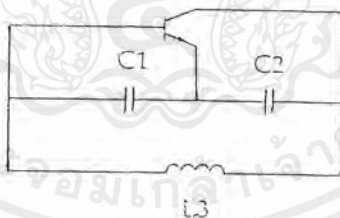
จากนั้นก็ให้นำสัญญาณเอฟเอ็มความถี่ 5.5 MHz นี้ไปรวมกับสัญญาณภาพแล้วมอดูเลชันส่งออกอากาศไปในระบบเอฟเอ็ม สัญญาณเสียงที่ส่งออกไปนี้จะเป็นสัญญาณในระบบ โม โน คือเป็นสัญญาณจาก แชนแนลซ้ายและแชนแนลขวารวมกัน (L+R)

2.5 วงจรผลิตความถี่ (Oscillator circuit)

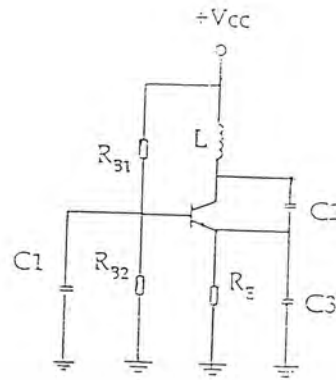
วงจรออสซิลเลเตอร์เป็นวงจรชนิดหนึ่งที่ใช้ทรานซิสเตอร์ ในการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าสลับขึ้นที่เอาต์พุต จริงๆแล้ววงจรออสซิลเลเตอร์เป็นวงจรขยายนั่นเอง แต่มันต่างกับที่วงจรออสซิลเลเตอร์ประกอบด้วยวงจรป้อนกลับสัญญาณจากเอาต์พุตไปยังอินพุต ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตออกมาได้โดยไม่ต้องมีสัญญาณป้อนเข้ามาที่อินพุต วงจรออสซิลเลเตอร์ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ วงจร RF ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยอินดักเตอร์ (L) และคาปาซิเตอร์ (C) ในการผลิตสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่เรโซแนนท์ออกที่เอาต์พุต วงจรออสซิลเลเตอร์จะให้กำเนิดสัญญาณต่อเนื่องแบบเดียวกันซ้ำๆกัน เช่น คลื่นรูปไซน์ ที่มีการแปรผันของแอมพลิจูดซึ่งจะใช้วงจร LC เมื่อมีการป้อนกระแสไฟเข้าไปในวงจร

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกันตามจุดของทรานซิสเตอร์

ในส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่วงจรป้อนกลับประกอบด้วยอุปกรณ์สามตัว โดยทั่วไปจะเรียกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกันตามจุดยกตัวอย่างเช่น วงจรแบบโคลพิทท์ (Colpitts)



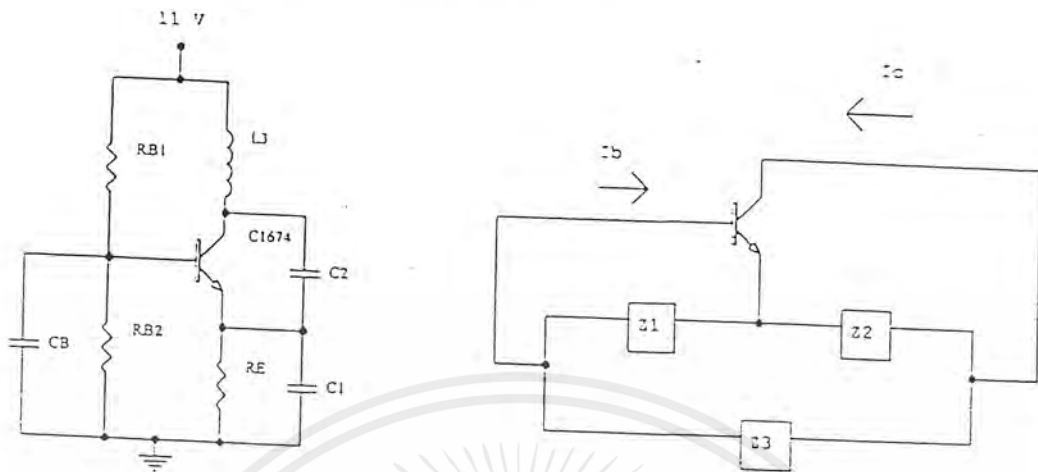
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเบื้องต้นของ โคลพิทท์ทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ แบบโคลพิทท์แบบเบสร่วม



ตัวอย่างการออกแบบวงจรโคสพิทท์ออสซิลเลเตอร์และการคำนวณ



วิเคราะห์ห้รูป I_1 และ I_2

$$(h_{ie} + Z_1)i_1 - Z_1 i_2 = 0$$

$$-Z_1 i_1 + (Z_1 + Z_2 + Z_3)i_2 + Z_2 i_3 = 0$$

แต่ $i_1 = i_b$ และ $i_3 = i_c = h_{fe} i_b$

$$(h_{ie} + Z_1)i_b - Z_1 i_2 = 0$$

$$(h_{fe} Z_2 - Z_1)i_b + (Z_1 + Z_2 + Z_3)i_2 = 0$$

สมการจะหาคำตอบได้เมื่อ $i_b \neq 0$ และ $i_c \neq 0$ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ดีเทอร์มิแนนท์ ($\Delta = 0$)

$$\begin{aligned}\Delta &= (h_{ie} + Z_1)(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_1(h_{fe}Z_2 - Z_1) \\ &= h_{ie}(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_1\{Z_2(1 + h_{fe}) + Z_3\} = 0\end{aligned}$$

เมื่อ Z_1, Z_2, Z_3 เป็นรีแอกแตนซ์ แล้ว jX_1, jX_2, jX_3 จะมีค่าเป็น

$$j h_{ie} (X_1 + X_2 + X_3) - X_1 X_2 (1 + h_{fe}) - X_1 X_3 = 0$$

และจากจำนวนจินตภาพได้ว่า $X_1 + X_2 + X_3 = 0$

สมการที่ 1

จากจำนวนจริง $X_2(1 + h_{fe}) + X_3 = 0$

สมการที่ 2

$$X_2 = \frac{-X_3}{(1 + h_{fe})}$$

สมการที่ 3

จากสมการนี้จะเห็นว่า X_2, X_3 เป็นรีแอกแตนซ์ต่างชนิดกัน

แทนสมการที่ 3 ลงในสมการที่ 1 ได้ว่า

$$X_1 = \frac{-h_{fe} X_3}{1 + h_{fe}}$$

$\therefore X_1$ เป็นรีแอกแตนซ์ต่างชนิดกับ X_3

จากสมการที่ 2 และ 3 ได้ว่า

$$h_{fe} = \frac{X_1}{X_2}$$

สรุป

1. X_1, X_2 เป็นรีแอกแตนซ์คนละชนิดกับ X_3
2. ค่ารีแอกแตนซ์ต่างๆ ควรจะ $|X_2| < |X_3|$, $|X_1| < |X_3|$
3. $h_{fe} = \frac{X_1}{X_2}$

พิจารณาจาก $X_1 + X_2 + X_3 = 0$ เทียบกับวงจรข้างต้น

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_3 = 0$$

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \omega^2 L_3 = 0$$

$$(2\pi f)^2 = \frac{C_1 + C_2}{L_3 C_1 C_2}$$

$$2\pi f = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L_3 C_1 C_2}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L_3 C_1 C_2}} \text{ Hz}$$

แต่เมื่อรวม ทริสมเมอร์ C ที่ปรับค่าได้มาพิจารณาแล้วได้ว่า

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + (j\omega L_3 \parallel \frac{1}{j\omega C}) = 0$$

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{\frac{L_3}{C}}{j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C}} = 0$$

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \frac{j\omega L_3}{-\omega^2 L_3 C + 1} = 0$$

เอา $j\omega$ คูณตลอด

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{-\omega^2 L_3}{-\omega^2 L_3 C + 1} = 0$$

$$\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} = \frac{\omega^2 L_3}{-\omega^2 L_3 C + 1}$$

$$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{-\omega^2 L_3 C + 1}{\omega^2 L_3}$$

$$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C = \frac{1}{\omega^2 L_3}$$

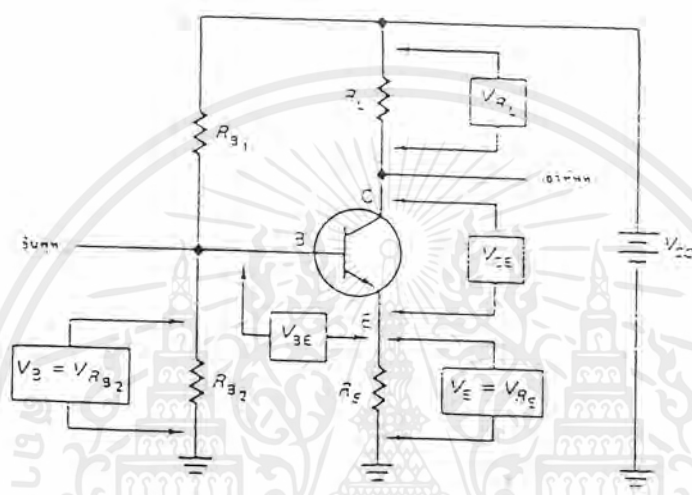
$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_3 \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C \right)}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_3 \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C \right)}} \text{ Hz}$$

2.6 วงจรขยายสัญญาณ

2.6.1 แอมป์ไฟเออร์แบบ common-emitter

เป็นวงจรแอมป์ไฟเออร์ที่ใช้อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีทั้งวงจรอินพุตและวงจรเอาต์พุต ซึ่งมีการต่อตัวต้านทาน 2 ตัว โดยต่อที่ขาอิมิตเตอร์และต่อที่ขาเบสต่อไปยังกราวด์ ตัวต้านทานนี้ทำให้แอมป์ไฟเออร์มีความไวต่อค่า β น้อยลง และมีความไวต่ออุณหภูมิลดลง ตัวต้านทานที่เพิ่มเข้าไป ทำให้แรงดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.7 แสดงแรงดันตกคร่อมต่างๆในแอมป์ไฟเออร์

2.7.2 การคำนวณวงจร

1. คำนวณแรงดันตกคร่อม R_{B2} หรือ V_B ตัวต้านทานเบสสองตัว แบ่งแรงดันจากแหล่งจ่าย V_{CC} ดังนั้นสมการแบ่งแรงดัน คือ

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$

2. คำนวณหา V_E จาก

$$V_E = V_B - 0.7 \quad (\text{สำหรับซิลิกอนทรานซิสเตอร์})$$

3. คำนวณกระแสอิมิตเตอร์โดยใช้กฎของโอห์ม

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

4. สมมติว่ากระแสคอลเลคเตอร์เท่ากับกระแสอิมิตเตอร์ $I_C = I_E$

5. คำนวณแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด โดยใช้กฎของเคอร์ชอฟดังนี้

$$V_{RL} = I_C * R_L$$

6. คำนวณแรงดันที่ตกคร่อมคอลเลคเตอร์ – อิมิตเตอร์ โดยใช้กฎของเคอร์ชอฟ

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RL} - V_E$$

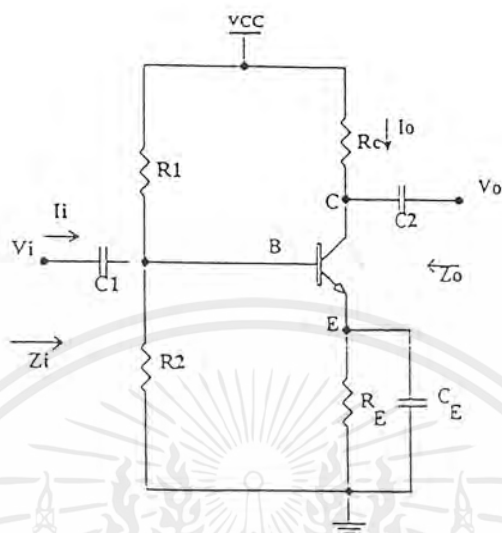
เนื่องจากแรงดันคอลเลคเตอร์ – อิมิตเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับครึ่งหนึ่งของซัพพลายโวลต์เตจ ดังนั้น เราสามารถสันนิษฐานได้ว่าวงจรนี้เป็นแอมพลิฟายเออร์แบบเชิงเส้นที่ดี วงจรนี้จะทำงานได้ดีด้วยค่า β ที่เหมาะสมและจะเสถียรตลอดช่วงกว้างๆ ของอุณหภูมิ

บางครั้งอัตราขยายที่มีค่าสูงมาก ๆ เป็นที่ต้องการ ดังนั้นเราสามารถปรับปรุงอัตราขยายได้โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุสำหรับการบายพาสที่อิมิตเตอร์ โดยตัวเก็บประจุนี้มีค่ารีแอคเตอร์ต่ำที่ความถี่ทำงาน และทำให้เกิดการสัณฐานสำหรับสัญญาณ ac ดังนั้นสัญญาณ ac จะไม่ไหลผ่าน R_E กระแสในทิศทางตรงข้ามจะมีค่าน้อยที่สุดเนื่องจาก R_E ถูกบายพาส ดังนั้นอัตราขยายแรงดันขึ้นอยู่ด้วย R_L และ r_E ดังนั้นอัตราขยายแรงดันจะเพิ่มขึ้น โดยการต่อตัวเก็บประจุเข้าไป ค่าอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นนี้มีข้อเสียและตัวเก็บประจุที่ใช้บายพาสนี้อาจจะมีความเกี่ยวข้องกับเรื่องราคา ตัวเก็บประจุจำเป็นต้องมีค่ารีแอคแตนซ์ต่ำๆ ที่ความถี่สัญญาณต่ำสุด ถ้าแอมพลิฟายเออร์ใช้งานที่ความถี่ต่ำ ตัวเก็บประจุจะมีขนาดใหญ่และโดยปกติเราเลือกค่า reactance ที่มีค่าเป็น 1 ใน 10 ของตัวต้านทานอิมิตเตอร์ สมการของ capacitive reactance เราสามารถใช้เลือกตัวเก็บประจุสำหรับการบายพาสได้ดังนี้

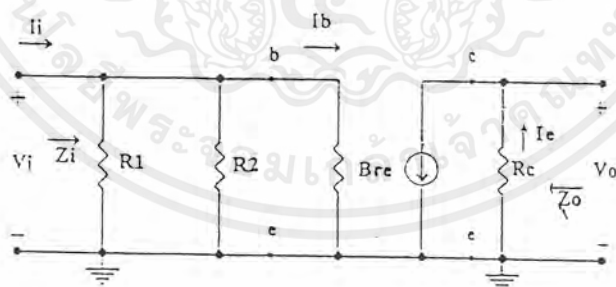
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

ตัวเก็บประจุนี้มีขนาดใหญ่ ดังนั้นเราจึงใช้ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลติกสำหรับการบายพาส ในออดิโอแอมพลิฟายเออร์ ค่าแรงดันสามารถที่จะมีค่าต่ำมากๆ ได้เนื่องจากค่าแรงดัน dc ที่อิมิตเตอร์ในวงจรมีค่า 0.61 V แต่อย่างไรก็ตามตัวเก็บประจุยังคงมีความเกี่ยวข้องกับราคาและขนาด

2.6.3 วงจรขยายที่มีการไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรขยายที่มีการไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 2.9 แสดงแบบจำลองวงจรขยายที่มีการไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า

เมื่อกำหนดให้ V_{cc} เป็นศูนย์ทำให้ปลายด้านหนึ่งของ R_1 และ R_C ต่ออยู่กับกราวด์ ส่วน R_1 กับ R_2 ต่อขนานกัน จากการต่อขนาน R_1 และ R_2 ทำให้ได้

$$R' = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

จากรูป 2.9

$$Z_i = R' // \beta r_e$$

Z_o :

$$Z_o = R_C$$

$$V_o = -I_o R_C = -\beta I_b R_C$$

A_v :

$$= -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) R_C$$

$$= -\frac{R_C}{r_e} V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C}{r_e}$$

A_i : เมื่อนำกฎการแบ่งกระแสไฟฟ้ามาพิจารณาที่ด้านอินพุตในรูป 2.9

$$I_b = \frac{R' I_i}{R' + \beta r_e}$$

$$\frac{I_b}{I_i} = \frac{R'}{R' + \beta r_e}$$

สำหรับด้านเอาต์พุตของวงจร

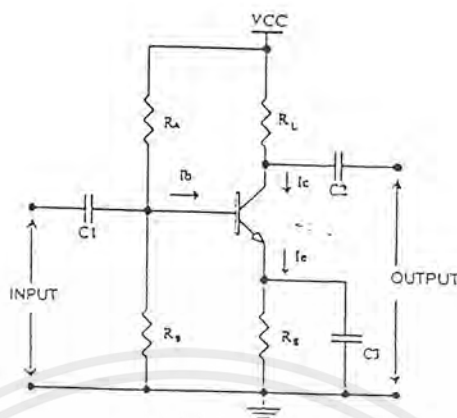
$$I_o = \beta I_b$$

$$\frac{I_o}{I_b} = \beta$$

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_b} \frac{I_b}{I_i} \\ &= \beta \frac{R'}{R' + \beta r_e} \end{aligned}$$

$$A_i = \frac{\beta R'}{R' + \beta r_e}$$

2.6.4 การออกแบบวงจรขยายภาคเดียว



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรขยายภาคเดียว

จากวงจรข้างบนถ้าต้องการหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของวงจรขยาย เช่น R_i , R_o , A_v และ A_i จะต้องใช้คณิตศาสตร์และการคำนึงถึงพารามิเตอร์อื่นๆของทรานซิสเตอร์อีกมาก จะทำให้การคำนวณหายุ่งยากขึ้นอีกมาก ในที่นี้จึงกำหนดค่าโดยประมาณ โดยสมมติว่าค่าความต้านทานอิมิตเตอร์ R_E มีค่าน้อยกว่าค่า R_L ประมาณมากกว่า 10 เท่าและน้อยกว่าความต้านทานเบส R_B 20 เท่า ซึ่งเมื่อใช้คณิตศาสตร์คำนวณแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังจะได้กล่าวถึงต่อไปนี้

ความต้านทานอินพุต

เมื่อพิจารณาที่อินพุตจะเห็นว่าค่าความต้านทาน R_B ขนานอยู่กับความต้านทานอินพุตที่เบสของทรานซิสเตอร์ แต่เนื่องจากมีตัวต้านทาน R_E จึงสมมติว่าที่เบสของทรานซิสเตอร์ มีค่าความต้านทานสูงกว่า R_B ผลรวมของความต้านทานอินพุตจึงใช้ค่าโดยประมาณได้ว่า $R_i = R_B$

ความต้านทานเอาต์พุต

ในทำนองเดียวกับที่เอาต์พุต เมื่อค่าความต้านทานโหลดมีค่ามากกว่าความต้านทาน R_E เกินกว่า 10 เท่า ค่าความต้านทานเอาต์พุตจะมีค่าความต้านทาน R_L นั่นเอง หรือเราได้ว่า $R_o = R_L$

อัตราขยายกระแส

อัตราขยายกระแสคือกระแสที่ไหลผ่านเข้าทางอินพุตกับกระแสเอาต์พุตที่ไหลผ่านโหลด สำหรับวงจรอัตราขยายกระแสโดยประมาณจะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $R_B // R_E$

อัตราขยายแรงดัน

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตเป็นสัญญาณไฟสลับ และเอาออกที่ขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ หรือเป็นค่าแรงดันเอาต์พุตคร่อมตัวต้านทาน โหลดเมื่อไม่คิดกระแสไฟตรงที่ไบอัส ส่วนสัญญาณอินพุต คือแรงดันคร่อมระหว่างเบสกับกราวด์ แต่เนื่องจากแรงดัน V_{BE} ของทรานซิสเตอร์มีค่าน้อย ดังนั้น สัญญาณอินพุตส่วนใหญ่คือสัญญาณคร่อมตัวต้านทาน R_E นั่นเอง และส่วนกระแสคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าค่าอัตราขยายแรงดันมีค่าประมาณ R_L / R_E

2.6.5 ตัวอย่างการออกแบบ

สมมติว่าวงจรในรูปที่ 2.10 ใช้เป็นเครื่องขยายสัญญาณภาคเดียว โดยต้องการใช้สัญญาณออกที่เครื่องขยายสูงสุด มีค่าเป็น 3 โวลต์ จากขั้วคอลเลกชันสูงสุดถึงขั้วคอลเลกชันต่ำสุด ($3V_{p-p}$) นอกจากนี้สิ่งที่ต้องการสำหรับวงจรยังมีอีกคือ

ความต้านทานเอาต์พุต 2 กิโลโอห์ม

ความต้านทานอินพุต 1 กิโลโอห์ม

สัญญาณเข้า 0.3 โวลต์

ความถี่ต่ำสุดที่วงจรสามารถขยายได้ 30 Hz

ความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถขยายได้ไม่เกิน 100 kHz

โดยมีความเพี้ยนน้อยที่สุด นั่นหมายถึงการเกิดการจับแรงดันจนถึงภาคอิมิต์และคัทออฟนั่นเอง แรงดันไฟเลี้ยงไบอัส V_{CC} เป็นเท่าใดก็ได้

ลำดับขั้นตอนการออกแบบ

หาค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ($+V_{CC}$) และกำหนดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์

สัญญาณเอาต์พุตมีขนาด $3V_{p-p}$ อาจทำได้โดยการใช้ไฟเลี้ยงเป็น 2 หรือ 3 เท่าของแรงดันสัญญาณ นั่นคือ เรามีโอกาสเลือกแรงดันไฟเลี้ยงเป็น 6 หรือ 9 โวลต์ ถ้าใช้ 9 โวลต์โอกาสที่เพี้ยนจะน้อยกว่า จึงเลือกใช้แรงดันไฟเลี้ยง 9 โวลต์ แรงดันไบอัสที่คอลเลกเตอร์ขณะที่ยังไม่มีสัญญาณเข้าควรเป็น $V_{CC}/2$ นั่นคือ 4.5 โวลต์

หาค่าความต้านทาน R_L และกระแสคอลเลกเตอร์ (I_C)

R_L เป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานเอาต์พุต จะเลือก $R_L = 2$ กิโลโอห์ม เพื่อให้ได้จุดมุ่งหมายตามต้องการเมื่อมีแรงดันที่คอลเลกเตอร์ 4.5 โวลต์ ที่เหลืออีก 4.5 โวลต์จะตกคร่อมตัวต้านทาน R_L นั่นคือจะมีแรงดัน $9 - 4.5 = 4.5$ โวลต์ จะตกคร่อมตัวต้านทาน R_L ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R_L คือ $I_C = 4.5/2 = 2.25$ มิลลิแอมแปร์

หาค่าตัวต้านทาน R_E กระแส I_E และแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน (R_L)

เพื่อให้อัตราขยายแรงดันเป็น 10 เท่า ควรเลือก R_E ให้เป็น $1/10$ ของ R_L หรือ $R_E = 2000/10 = 200$ โอห์ม ในการทดลองพบว่าอัตราขยายแรงดันต่ำกว่า 10 เราควรเพิ่มอัตราขยายได้โดยการลด R_E ลง เช่น เป็น 180 โอห์ม เป็นต้น

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_E จะเท่ากับกระแสคอลเลคเตอร์ I_C คือ 2.25 มิลลิแอมป์รวมกับ กระแสเบส สมมติว่าทรานซิสเตอร์มี $\beta = 100$ นั่นคือกระแสเบสจะมีค่า $I_C / I_B = \beta$ หรือ $I_B = 2.25/100$ หรือ 0.0225 มิลลิแอมป์ กระแสที่ไหลผ่าน R_E ทั้งหมดจึงควรเป็น $2.25 + 0.0225 = 2.2725$ มิลลิแอมป์ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_E ประมาณ 0.4515 โวลต์ หรือประมาณ 0.45 โวลต์

การหาความต้านทานอินพุตและกระแสอินพุต

ค่าตัวต้านทาน R_B ควรประมาณเท่ากับค่าความต้านทานอินพุต คือประมาณ 1 กิโลโอห์ม นั่นคือ R_B / R_E มีค่าประมาณ $1000/200 = 5$ ซึ่งเป็นกรณีที่ให้เสถียรภาพกับวงจรดีที่สุด แรงดันที่เบสจะสูงกว่าที่ อิมิตเตอร์ประมาณ 0.6 โวลต์ ดังนั้นแรงดันคร่อม R_B จะมีค่าประมาณ $0.45 + 0.6 = 1.05$ โวลต์ กระแสที่ ไหลผ่าน R_B จึงคำนวณได้จาก $1000/1.05 = 0.925$ mA

การหาค่า R_A

ค่าตัวต้านทาน R_A เป็นตัวจ่ายกระแสไบแอสให้กับเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งกระแสทั้งหมดมีค่า ประมาณ $0.925 + 0.0225 = 0.9745$ mA

การหาค่าตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ และตัวเก็บประจุบายพาส

ทั้งนี้ C_1 และ C_2 จะไม่เป็นตัวกีดกันความถี่สูง จึงไม่มีผลต่อความถี่ในย่าน 100 kHz แต่จะมีผลใน ย่านความถี่ต่ำสุด ความถี่ต่ำสุดที่วงจรยังทำงานได้คือ 30 Hz ดังนั้นค่า C สามารถคำนวณหาได้จาก

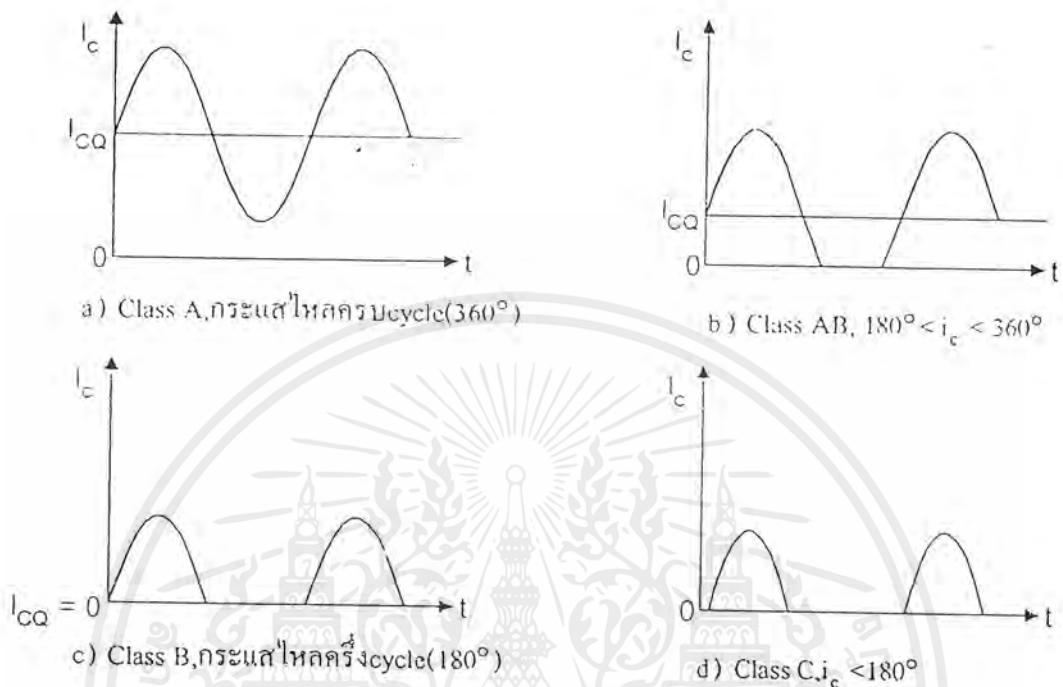
$$C_1 = \frac{1}{3.2fR_B} = \frac{1}{3.2 * 30 * 1000}$$

$$= 10 \mu F$$

ผลของการใส่ค่า $C_1 = 10 \mu F$ จะทำให้ที่ความถี่ 30 kHz อัตราขยายแรงดันของวงจรจะลดลงจาก ค่าสูงสุดประมาณ 10% (1dB) ถ้ายอมให้อัตราขยายแรงดันตกมากกว่านี้อาจใช้ C_1 มีค่าน้อยกว่านี้ได้ สำหรับ C_2 ก็หาได้เช่นกัน

2.7 วงจรขยายเชิงเส้นคลาส A (Linear Power Amplifier Class A)

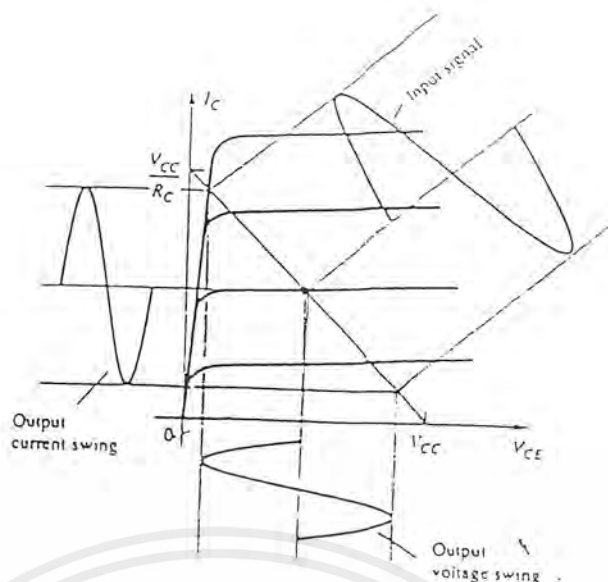
วงจรขยายกำลัง (Power amplifier) ถูกแบ่งการเรียกจำแนกเป็นคลาส (Class) ตามลักษณะรูปคลื่นกระแสสัญญาณเอาต์พุตหรือ i_c เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine) ดังรูปที่ 2.11 ข้างล่างนี้



รูป 2.11 แสดงการแบ่ง คลาสของวงจรขยายกำลัง ตามลักษณะรูปคลื่นกระแสเอาต์พุต

ตามรูปพบว่า การขยายสัญญาณคลาส A เท่านั้นที่ให้ความผิดเพี้ยน (distortion) น้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม หากวงจรขยายสัญญาณเป็นรูปแบบสมมาตรคู่ (Complementary-Symmetry) หรือแบบพุชพูล (push-pul) ภาควิทยุแบบคลาส AB และ คลาส B จะให้อัตราการขยายที่มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นได้เป็นที่น่าพอใจ ส่วนวงจรขยายกำลังแบบคลาส C นั้นมีใช้กันอย่างกว้างขวางในย่านความถี่คลื่นวิทยุ ซึ่งมักอาศัยวงจรจูน (tuned circuit) ช่วยจัดความเพี้ยนแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear distortion) ออกไป

การทำงานของวงจรขยายสัญญาณคลาส A ทำงานในย่าน active region ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.12 เมื่อมี ac input ป้อนให้วงจร กระแส I_c ไหลเต็ม 360 องศา จึงมีความผิดเพี้ยนต่ำมาก เป็นวงจรขยายเบื้องต้นที่มีไบแอสสูงที่ตีมาวงจรหนึ่งแต่ประสิทธิภาพไม่สูงนัก ในทางทฤษฎีถือว่าเป็นวงจรขยายชนิด Power Amplifier (PA) มีประสิทธิภาพ 50 % แต่ในทางปฏิบัติทำได้เพียง 25 % วงจรขยายคลาส A นิยมใช้เป็น วงจรขยายเสียง (audio voltage amplifier)



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานในลักษณะวงจรขยายคลาส A

เพื่อให้ได้วงจรขยายคลาส A จุดปฏิบัติงานซึ่งเป็นจุดที่เส้นแสดงสถานะของโหนดด้านไฟตรง ตัดกับเส้นแสดงสถานะของโหนดด้านไฟสลับตัดกัน จะอยู่ที่ประมาณจุดกึ่งกลางของเส้นแสดงสถานะของโหนดด้านไฟสลับ ค่ากระแสด้านสัญญาณออก I_C และค่าศักาด้านสัญญาณออก V_C หาได้จากเส้นแสดงสถานะของโหนดด้านไฟสลับ ขณะเดียวกันเมื่อใช้จุดปฏิบัติงานที่จุดกึ่งกลางของเส้นแสดงสถานะของโหนดด้านไฟสลับ วงจรจะให้ขนาดของสัญญาณด้านสัญญาณออกมีค่าสูงสุดทั้งด้านช่วงบวกและช่วงลบ

2.8 การมอดูเลชันเชิงขนาด (Amplitude Modulation)

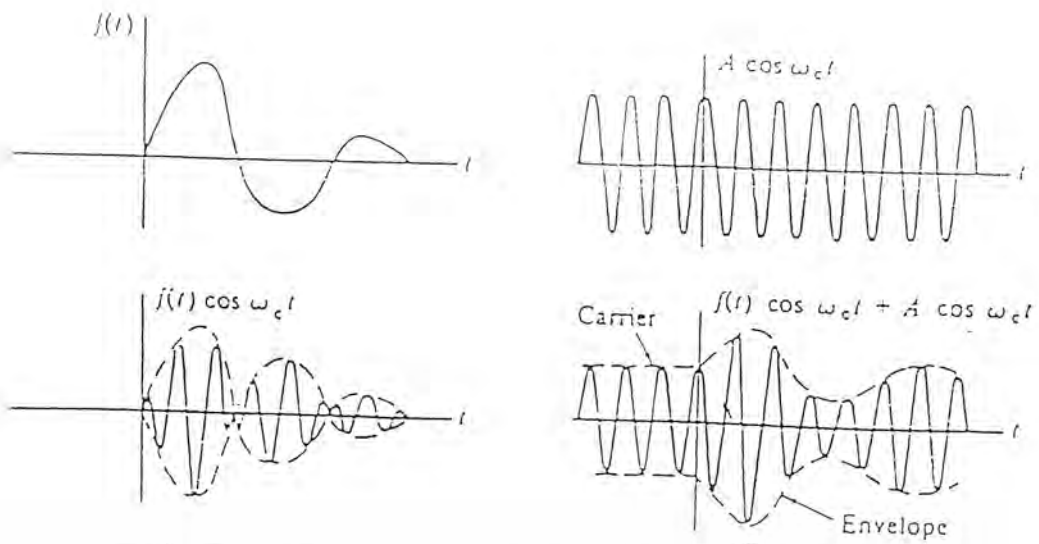
เราทราบแล้วว่าสัญญาณ AM คือคลื่นพาหะที่เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือมีแอมพลิจูดคงที่พร้อมกับความถี่ข้างเคียงค่านบนและล่าง เมื่อแอมพลิจูดของความถี่ข้างเคียงรวมเข้ากับคลื่นพาหะด้วยซ้ำเดียวกันแล้วส่งผลทำให้แอมพลิจูดของคลื่นพาหะสูงขึ้น แต่ถ้าความถี่ข้างเคียงที่เกิดมีการหักล้างกับแอมพลิจูดของคลื่นพาหะ เนื่องจากซ้ำแตกต่างกันแล้วแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะลดลง ซึ่งคลื่นพาหะที่คงที่พร้อมกับความถี่ข้างเคียง จะคิดรวมเป็นกลุ่มเดียวได้ซึ่งจะทำให้เทียบเท่ากับรูปคลื่น AM

ให้ $A \cos \omega_c t$ เป็นคลื่นพาหะที่มีความถี่ ω_c แอมพลิจูดขนาด A

$f(t) \cos \omega_c t$ เป็นสัญญาณ เอ.เอ็ม DSB-SC โดยที่ $f(t)$ เป็นสัญญาณข่าวสาร

สัญญาณ เอ.เอ็ม ที่ใช้ในการส่งออกอากาศ ($\phi_{AM}(t)$) ก็คือการบวกค่า 2 สัญญาณที่กำหนดข้างต้น ซึ่งได้ดังนี้

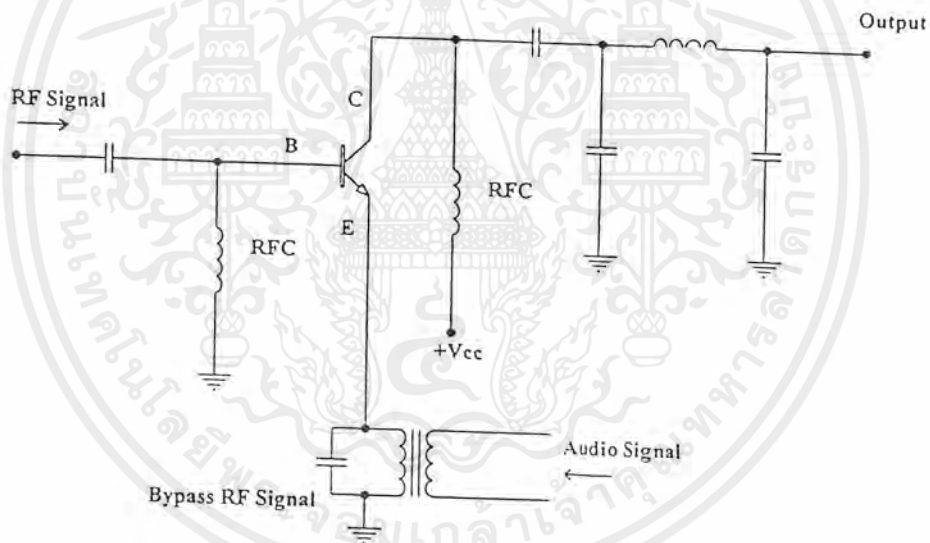
$$\begin{aligned}\phi_{AM}(t) &= A \cos \omega_c t + f(t) \cos \omega_c t \\ &= [A + f(t)] \cos \omega_c t\end{aligned}$$



รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณในลักษณะต่างๆ รวมทั้งสัญญาณ เอ.เอ็ม ที่ใช้ออกอากาศ

อิมิตเตอร์มอดูเลชัน (Emitter Modulation)

เป็นการต่อสัญญาณมอดูเลตเข้าที่ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรอิมิตเตอร์มอดูเลเตอร์

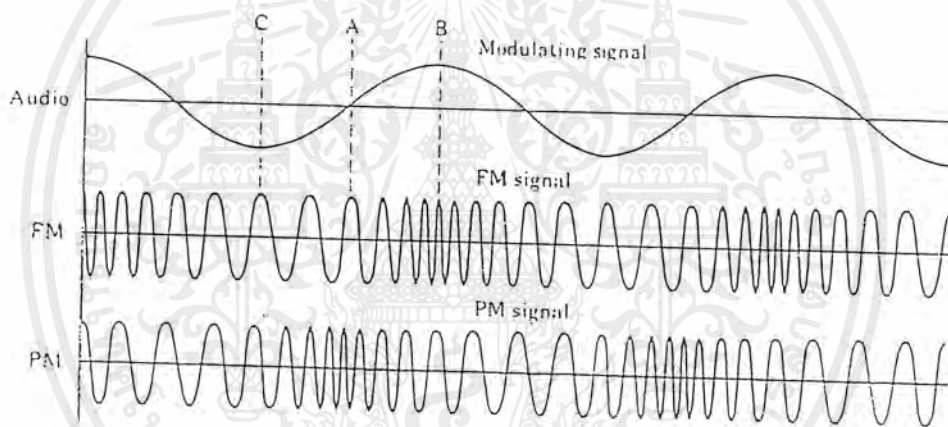
การมอดูเลตสัญญาณจะเกิดขึ้นที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จะเห็นว่าสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณความถี่วิทยุจะป้อนเข้ามาที่ขาเบส ดังนั้นกระแสอิมิตเตอร์จึงเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ แต่เมื่อเราทำการป้อนสัญญาณความถี่เสียงเข้ามาทางด้านอิมิตเตอร์ส่วนของสัญญาณเสียงที่อิมิตเตอร์จะเป็นตัวจำกัดค่าสูงสุดของกระแสอิมิตเตอร์

2.9 การมอดูเลชันเชิงความถี่ (Frequency Modulation)

ในการมอดูเลตสัญญาณเสียงนั้น นิยมใช้การมอดูเลตแบบ FM (Frequency Modulation) โดยคุณภาพของเสียงในระบบ FM ก็ดีกว่าคุณภาพของเสียงในระบบ AM เนื่องจาก FM มีการปรับปรุงคุณลักษณะในการกำจัด noise ได้ดีกว่า เนื่องจาก noise ต่างๆ ที่สอดแทรกเข้ามา จะมีผลต่อสัญญาณ RF ทางแอมพลิฟิไคเดอร์ จึงทำให้ noise เหล่านี้เข้าไปรวมกับสัญญาณ RF ในระบบ AM ได้ง่ายกว่า แต่ในระบบ FM นั้นสัญญาณ RF มีการเปลี่ยนแปลงทางความถี่ noise จึงมีผลต่อสัญญาณน้อยกว่า และที่เครื่องรับของระบบ FM มีวงจร Limiter เพื่อทำหน้าที่ตัดแอมพลิฟิไคเดอร์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากผลของ noise

ทฤษฎี Frequency Modulation

FM (Frequency Modulation) เป็นรูปแบบการมอดูเลตสัญญาณแบบหนึ่งของ Angular Modulation ในระบบ Angular Modulation บางระบบ ทั้งความถี่และเฟสของคลื่นพาห์จะแปรเปลี่ยนไปตามสัญญาณมอดูเลต แต่ในระบบ FM ความถี่ของคลื่นพาห์จะเบี่ยงเบนไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณการมอดูเลตแบบเอฟ.เอ็ม

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (frequency deviation) กับความถี่ของสัญญาณมอดูเลต (modulation frequency) ถูกกำหนดให้เป็นค่า ดัชนีการมอดูเลต (modulation index : m) โดย

$$m = \frac{\text{frequency deviation } (\pm \text{Hertz})}{\text{modulating frequency (Hertz)}}$$

ดังนั้น

$$A = \sum_{-n}^n J_n^2(m)$$

สมมติว่า n มีค่าเท่ากับ m แล้วแทนค่าลงในสมการข้างบนจะได้

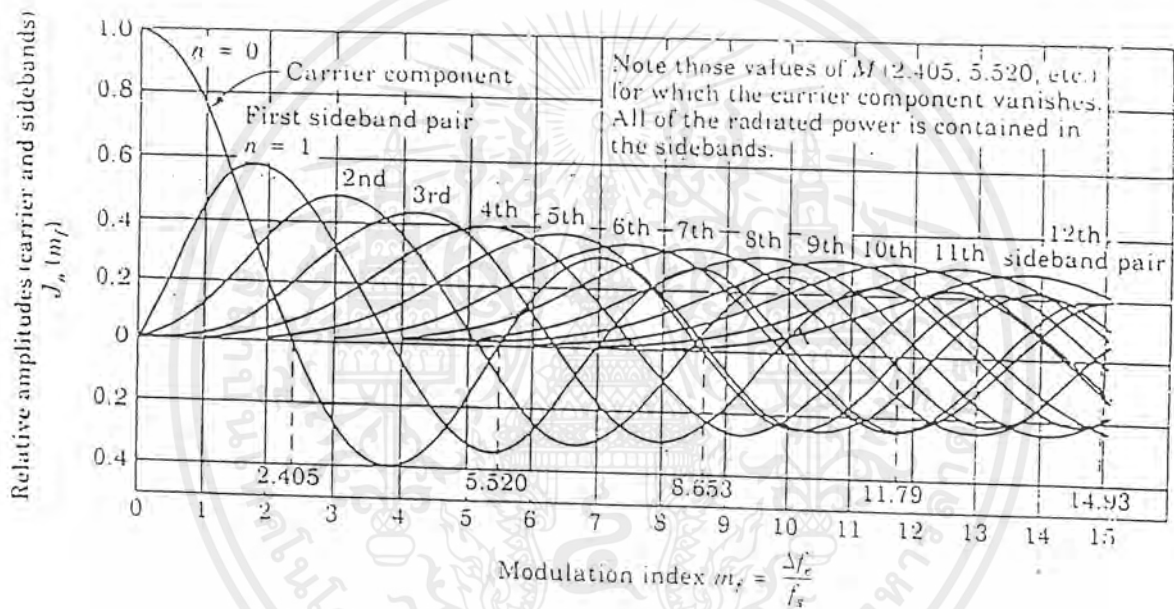
$$A = 2(J_1 - J_2 + J_3 - J_4 + \dots + J_n)$$

จากการคำนวณจะได้ $A = 0.95$ ซึ่งก็คือ ภายในไซด์แบนด์ที่กว้างเท่ากับ 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนทางความถี่นี้ 95% ของพลังงานทั้งหมดจะถูกส่งออกไป

ในกรณีที่ modulating signal เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม และยังคงใช้แถบความถี่กว้างเท่าเดิม พลังงานที่ถูกส่งออกไปจะลดลงเหลือเพียง 80% เท่านั้น แต่ถ้าพิจารณาเพิ่มไซด์แบนด์เข้าไปอีกหนึ่งคู่ คือ ให้ส่งออกไปถึงคู่ที่ $m+1$ พลังงานจะเพิ่มขึ้นเป็น 93% ฉะนั้นในการหาความกว้างของแถบความถี่ จึงมักพิจารณาถึงคู่ที่ $m+1$ หรือให้ $n = m+1$ ดังนั้น bandwidth ของระบบจึงมีค่า

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

โดย f_m คือความถี่ของ modulating signal



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของไซด์แบนด์ กับ modulation index

แอมพลิจูด และ เฟส ของคลื่นพาห์ (J_0) รวมทั้ง ไซด์แบนด์ ($J_1 - J_n$) สามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการคณิตศาสตร์ Bessel function ดังนั้น

สมการ Bessel function แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E(t) = & A[J_0(m) \sin \omega_c(t) + [J_1(m) \sin (\omega_c + \omega_m)(t)] - [J_1(m) \sin (\omega_c - \omega_m)(t)] \\ & + [J_2(m) \sin (\omega_c + 2\omega_m)(t)] + [J_2(m) \sin (\omega_c - 2\omega_m)(t)] \\ & + [J_3(m) \sin (\omega_c + 3\omega_m)(t)] - [J_3(m) \sin (\omega_c - 3\omega_m)(t)] \\ & \pm [J_n(m) \sin (\omega_c \pm n\omega_m)(t)] \dots \end{aligned}$$

- เมื่อ A = The unmodulated carrier amplitude constant
 J_0 = The modulated carrier amplitude
 $J_1, J_2, J_3 \dots J_n$ are the amplitudes of the n^{th} order sidebands
 m = The modulation index , $\omega_c = 2\pi f_c$ (The center frequency)
 $\omega_m = 2\pi f_m$ (The modulating frequency)

สมการ Bessel function จะแสดงให้เห็นแอมพลิจูด ($J_0 - J_n$) ในรูปของความถี่ในรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นกราฟของสมการ Bessel function ของคลื่นพาห์และ 8 คู่แรกของไซด์แบนด์ ซึ่งแปรผันตามค่า modulation index

ในการพิจารณาเลือกจำนวนไซด์แบนด์ ว่าควรจะใช้ลำดับที่เท่าไร จึงจะเหมาะสมนั้น มีวิธีการดังนี้ สมมติให้ modulation signal เป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่หนึ่ง เมื่อทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห์ แบบ FM แล้วได้ไซด์แบนด์จำนวนหนึ่งที่มีพลังงานสูงถึงลำดับที่ n และเมื่อนำพลังงานรวมของส่วนนี้ไปเปรียบเทียบกับพลังงานรวมทั้งหมด เป็นอัตราส่วน A จะได้ว่า

$$A = \frac{\sum_{-n}^n J_n^2(m)}{\sum_{-\infty}^{\infty} J_n^2(m)}$$

แต่สมการของ Bessel function ได้ว่า

$$\sum_{-\infty}^{\infty} J_n^2(m) = 1$$

ซึ่งหมายความว่า พลังงานรวมทั้งหมดเป็น 100%

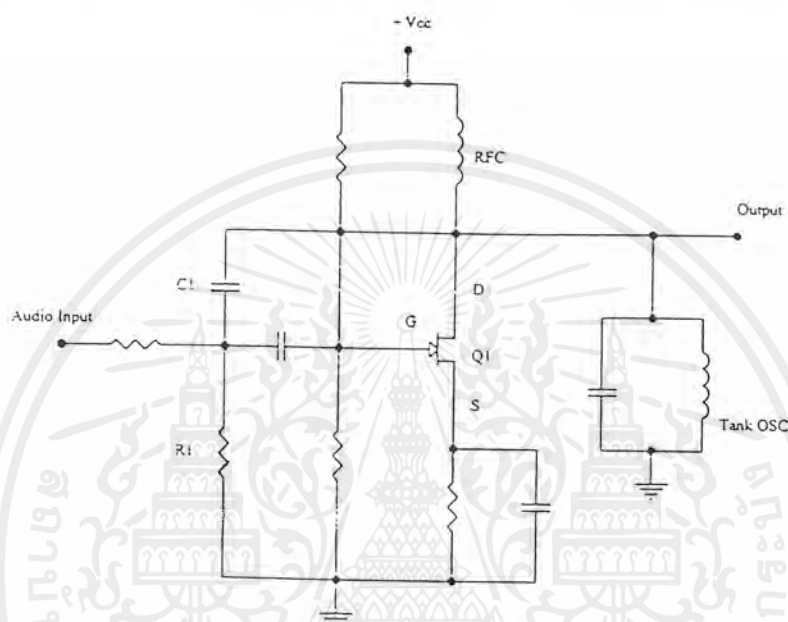
รีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์

หน้าที่หลักของวงจรรีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์ก็คือ ไบแอส FET หรือทรานซิสเตอร์ เป็นตัวทำหน้าที่เป็นรีแอกแตนซ์ ในวงจรแท่งของออสซิลเลเตอร์ ฉะนั้นเมื่อป้อนสัญญาณเสียงมามอดูเลต ค่ารีแอกแตนซ์จะแปรเปลี่ยนไป ทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลง

วงจรรีแอกแตนซ์มอดูเลเตอร์ ในรูปที่ 2.17 ใช้ C_1 และ R_1 ต่อक्रमวงจรแท่งของออสซิลเลเตอร์ ค่ารีแอกแตนซ์ของ C_1 มีค่าประมาณ 6 เท่าของ R_1 ฉะนั้นเมื่อมองการต่อ R_1 กับ C_1 จึงเสมือนเป็นความจุตัวอื่นๆ ฉะนั้นสัญญาณที่ป้อนแก่เกตของ Q1 จะมีเฟสหน้า 90 องศาเทียบกับแรงดันออสซิลเลเตอร์ด้วยเช่นกัน ดังนั้นวงจรโดยรวมจึงปรากฏเป็นตัวเก็บประจุต่อขานางวงจรแท่งของออสซิลเลเตอร์

เนื่องจากวงจร FET ทำหน้าที่เสมือนตัวเก็บประจุ จึงสามารถควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้ ถ้าสัญญาณเสียงเป็นศูนย์ ค่าความจุจะอยู่ความถี่กลาง ถ้าสัญญาณเสียงเป็นบวก กระแสเดรนจะเพิ่มและค่าความจุเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ต่ำลง ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณเป็นลบกระแส FET จะลดและความจุจะลดลงตามด้วย ความถี่ออสซิลเลเตอร์จึงเพิ่มขึ้น

เราสามารถใช้ทรานซิสเตอร์หรือหลอดสูญญากาศแทน FET เป็นวงจรรีแอคแตนซ์ได้ นอกจากนี้ เราสามารถไบแอสให้วงจรโดยรวมเสมือนเป็นความเหนี่ยวนำได้โดยการสลับตำแหน่ง R_1 , C_1

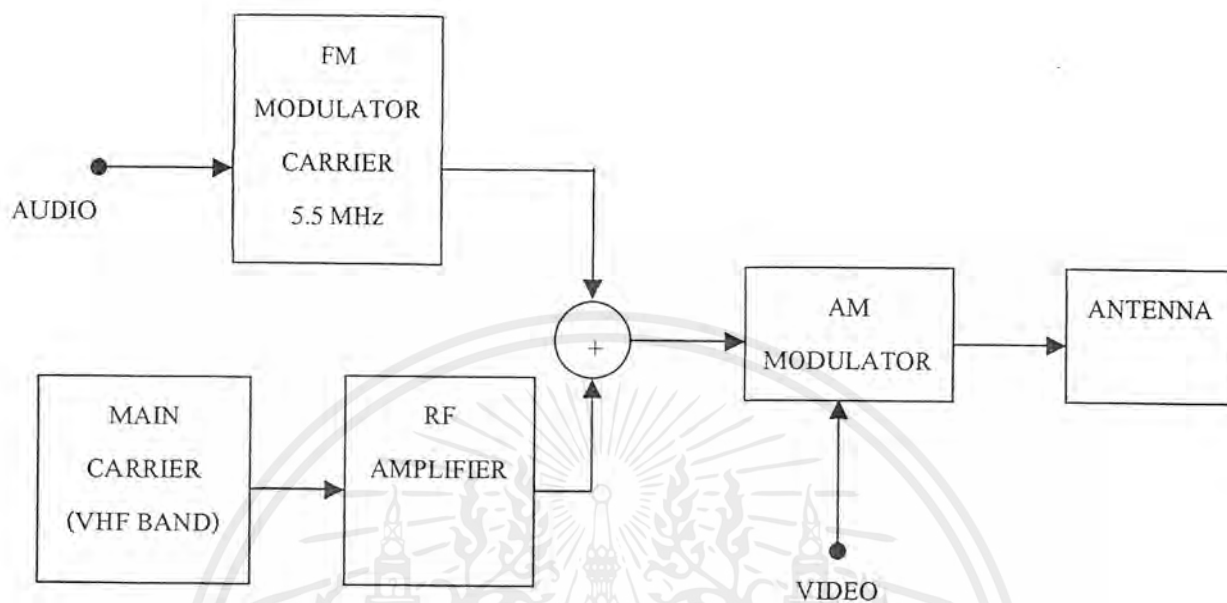


รูปที่ 2.17 แสดงวงจรรีแอคแตนซ์ออสซิลเลเตอร์

บทที่ 3

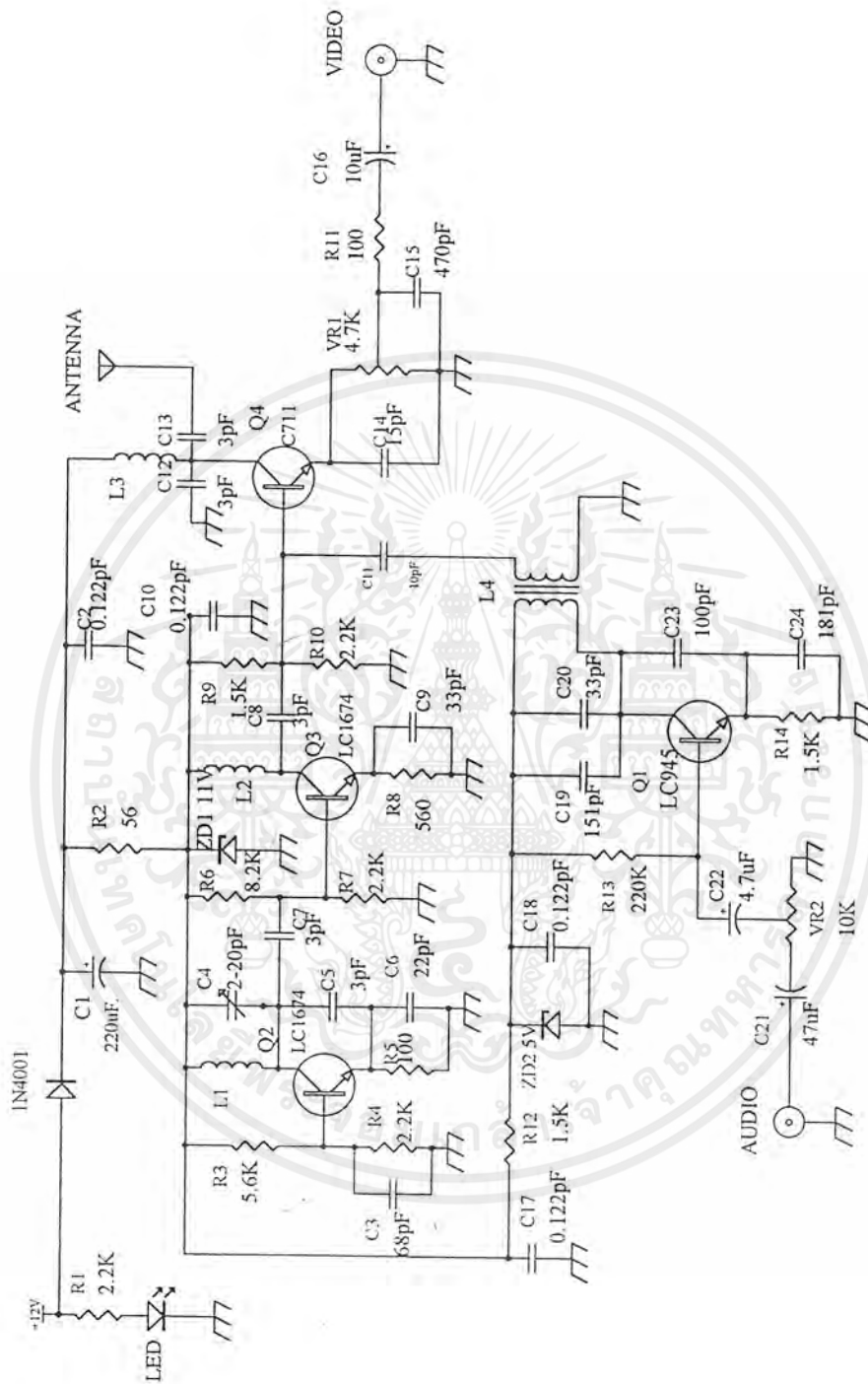
วงจรและการทำงาน

3.1 บล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียง

การทำงานของเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอไร้สายจะเริ่มจากการมอดูเลตสัญญาณเสียง (Audio Signal) โดยการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม กับ คลื่นพาห์ 5.5 MHz จากนั้นนำคลื่นพาห์ภาพที่ผลิตได้จากวงจรโคลพิทท์ออสซิลเลเตอร์ ประมาณ 70 MHz ที่ผ่านวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า มารวมกับคลื่นเอฟเอ็ม แล้วจึงนำสัญญาณดังกล่าวมามอดูเลตแบบเอเอ็ม กับ สัญญาณภาพ (Video Signal) แล้วส่งผ่านเสาอากาศออกไปยังเครื่องรับโทรทัศน์

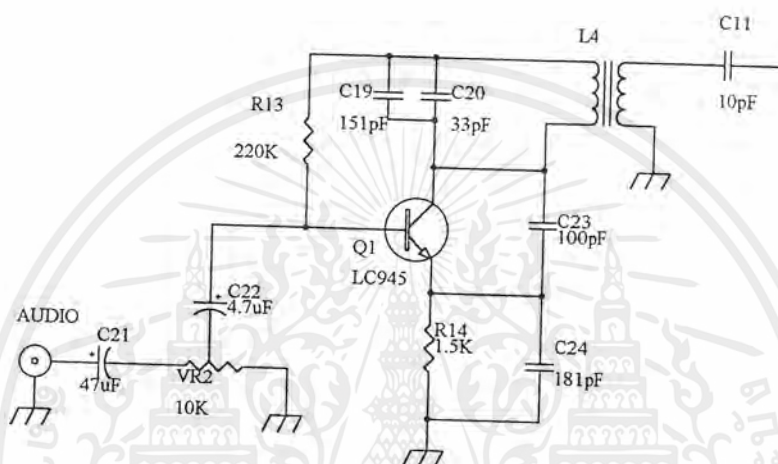


รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบไร้สาย

3.2 การทำงานของวงจร

3.2.1 วงจรมอดูเลเตอร์เชิงความถี่ (FM Modulator 5.5 MHz)

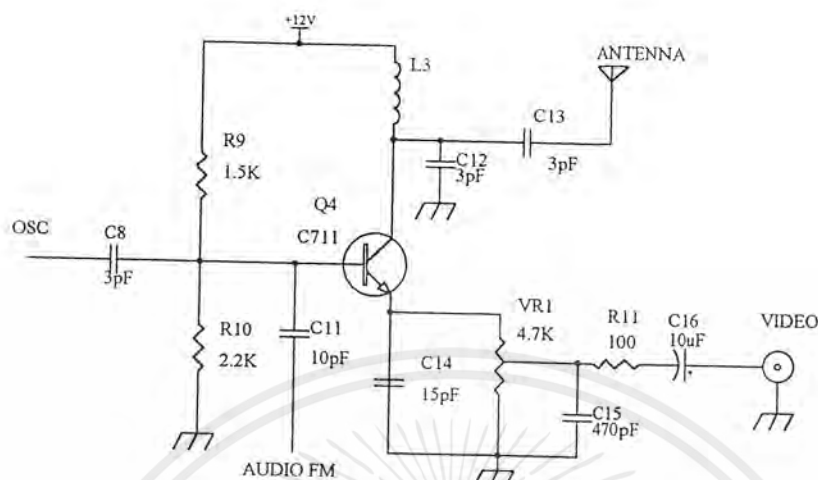
การมอดูเลทอาศัยคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ โดยระหว่างขาเบสและขาอีมิเตอร์จะมีตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนค่าได้ตามระดับแรงดันของสัญญาณเสียงที่เข้ามายังขาเบส เมื่อระดับแรงดันที่เข้ามาทางขาเบสมีระดับแรงดันไฟฟ้าสูง ค่า C จะมีค่าลดลง ทำให้เกิดการอสซิลเลทได้สูงขึ้น และในกรณีที่สัญญาณเสียงมีระดับสัญญาณไฟฟ้าต่ำ ค่า C จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการอสซิลเลทได้ต่ำลง จึงเป็นผลให้สัญญาณเสียงเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ FM



รูปที่ 3.3 วงจรมอดูเลเตอร์แบบเอฟเอ็มความถี่ 5.5 MHz

จากรูปที่ 3.3 ในส่วนของวงจรนี้ จะทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ไปในตัวด้วย โดยผลิตความถี่ที่ 5.5 MHz โดยมี L4 กับ C19, C20 ที่ต่อขนานกันเป็นวงจรแท่งที่ทำหน้าที่กำหนดความถี่ ส่วนตัวเก็บประจุ C23 กับ C24 ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแรงดันที่กำหนดอัตราส่วนของสัญญาณป้อนกลับจากคอลเลคเตอร์มายังอีมิเตอร์

3.2.3 วงจรมอดูเลเตอร์เชิงขนาดเพื่อส่งออกอากาศ (AM Modulator)



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรแอมพลิฟายเออร์มอดูเลเตอร์ที่ใช้งานจริง

จากรูปที่ 3.5 สามารถอธิบายได้ว่าสัญญาณคลื่นพาห้หลักเข้ามารวมกับสัญญาณเสียงซึ่งมอดูเลทมาแบบเอฟเอ็ม ที่ขาเบส แล้วมอดูเลทกับสัญญาณภาพซึ่งถูกนำเข้ามามอดูเลทที่ขาอีมิเตอร์ เป็นวงจรอิมิเตอร์มอดูเลเตอร์ โดยตัวต้านทานปรับค่าได้จะทำหน้าที่ปรับแรงดันของสัญญาณภาพเพื่อให้ภาพที่ได้ที่เครื่องรับโทรทัศน์ชัดเจนที่สุด สัญญาณที่ทางออกจะออกมาที่ขาคอลเลคเตอร์ โดยถูกส่งออกอากาศผ่าน C และวงจรนี้จะมีการขยายสัญญาณอยู่ในตัวอยู่แล้ว เพราะต่ออยู่ในลักษณะวงจรแบ่งแรงดันอีมิเตอร์ร่วม R9, R10 และ VR1 เป็นตัวกำหนดให้วงจรทำงานในส่วนของการขยาย

วงจรเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียงที่สมบูรณ์ แสดงในรูปที่ 3.2 การทำงานก็จะจัดเรียงส่วนประกอบของวงจรดังลักษณะการจัดแบ่งตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.1

ส่วนของการมอดูเลทสัญญาณเสียง (Audio) เริ่มจากการนำสัญญาณเสียงเข้ามามอดูเลทที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 โดยจะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ VR2 ทำหน้าที่ปรับระดับของสัญญาณเสียง ให้มอดูเลทอย่างเหมาะสม ได้สัญญาณเสียงที่ชัดเจนที่สุด ในส่วนของวงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ไปในตัวด้วย โดยผลิตความถี่ที่ 5.5 MHz โดยมี L และ C ที่ต่อขนานกันเป็นวงจรแทงก์ ทำหน้าที่กำเนิดความถี่ เมื่อมีสัญญาณเสียงเข้ามาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ตัวเก็บประจุภายในตัวทรานซิสเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้สัญญาณทางด้านเอาท์พุทที่ขาคอลเลคเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์ที่วงจรแทงก์ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งเป็นเปลี่ยนแปลงตามระดับสัญญาณเสียง นั่นคือสัญญาณเอฟเอ็มนั่นเอง

ทรานซิสเตอร์ Q2 จะถูกต่อเป็นวงจรกำเนิดคลื่นพาห์หลัก (Main Carrier) โดยอาศัยหลักการป้อนกลับด้วยวงจร feedback ที่ประกอบด้วย L1 และ C4 วงจรออสซิลเลเตอร์นี้จะผลิตความถี่คลื่นพาห์หลักในย่านวีเอชเอฟ (VHF Band) ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่ที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณได้โดยปรับค่าตัวเก็บประจุ C4 ต่อจากนั้น คลื่นพาห์ที่ผลิตได้นั้นก็จะถูกนำไปต่อกับทรานซิสเตอร์ Q3 ที่ไบแอสเพื่อทำการขยายสัญญาณ

ในส่วนสุดท้าย เป็นการมอดูเลทแบบเอเอ็ม โดยสัญญาณภาพ (Video Signal) จะถูกต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ Q4 ที่ขาอีมิทเตอร์ โดยมีตัวต้านทานปรับค่า VR1 ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดระดับของสัญญาณภาพเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุดทางเครื่องรับโทรทัศน์ ส่วนสัญญาณเสียงที่มอดูเลทแบบเอฟเอ็มแล้วและคลื่นพาห้หลัก จะถูกนำรวมกันที่ขาเบสเพื่อมอดูเลทกับสัญญาณภาพ ได้เอาที่พุทเป็นสัญญาณที่มอดูเลทแล้วแบบเอเอ็มทางขาคอลเลคเตอร์ แล้วสัญญาณนี้จะถูกส่งออกอากาศผ่านทางสายอากาศไปยังเครื่องรับโทรทัศน์

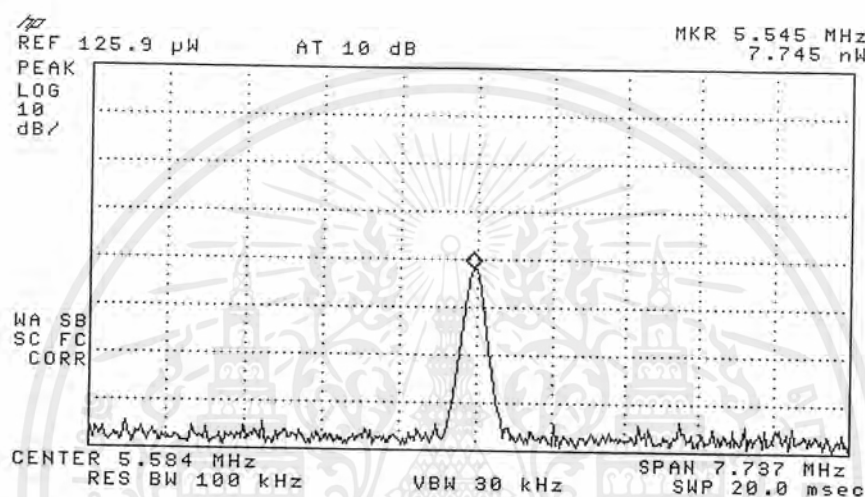
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

เครื่องส่งสัญญาณวิทยุโอทีได้ออกแบบนี้เมื่อทำการออกแบบเสร็จแล้ว ได้ดำเนินการวัดผลสัญญาณจากภาคต่างๆ ได้ดังนี้

4.1 ภาค FM modulator มอดูเลตสัญญาณเสียงด้วย Subcarrier 5.5 MHz

ที่ทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งวงจรออสซิลเลเตอร์กำเนิดความถี่ที่เป็น subcarrier ของเสียง และเป็นวงจร FM modulator ทำการทดสอบโดยวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขาตัวเก็บประจุ C11 ได้ผลดังแสดงในรูป 4.1

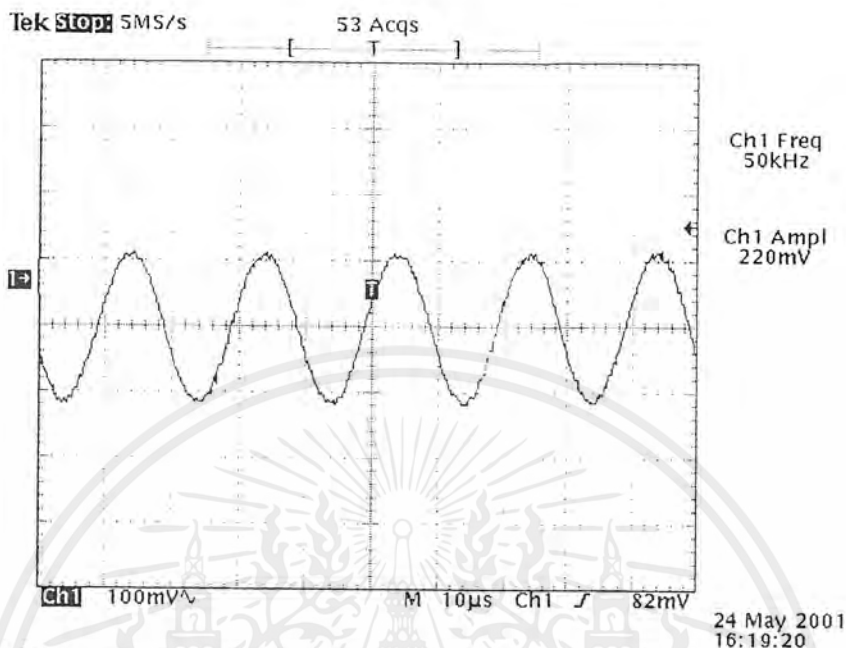


รูปที่ 4.1 แสดง subcarrier ของเสียงที่ออสซิลเลทได้ ความถี่ 5.545 MHz โดยแสดงสัญญาณจากสเปกตรัมอนาไลเซอร์

ผลการวัดจากเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์

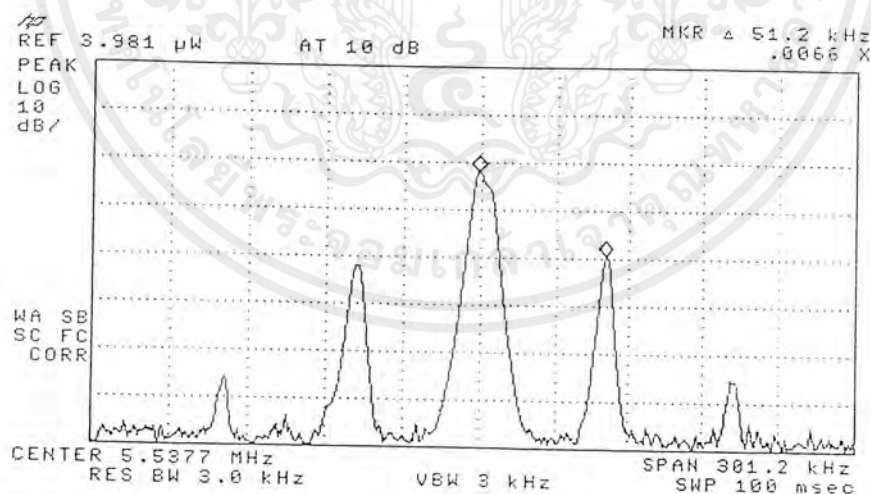
ค่าความถี่ที่ออสซิลเลทได้มีค่า	5.545 MHz
ระดับกำลังของสัญญาณมีค่า	7.745 nW
วัดที่ระดับการลดทอน (Attenuation)	10 dB
ช่วงที่ทำการวัดสัญญาณ (Span)	7.737 MHz

เมื่อทำการป้อนสัญญาณทดสอบรูปไซน์ความถี่ 50 kHz ระดับของสัญญาณ 100 mVp-p ดังรูปที่ 4.2 เข้าที่ภาค FM modulator



รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นสัญญาณทดสอบความถี่ 50 kHz ระดับสัญญาณ 200 mVp-p

ทำการวัดเอาต์พุตของ FM modulator ที่ L4 เพื่อดูสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณทดสอบที่ผ่านการมอดูเลตแบบ FM โดยมีคลื่นพาห์ 5.5 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4.3

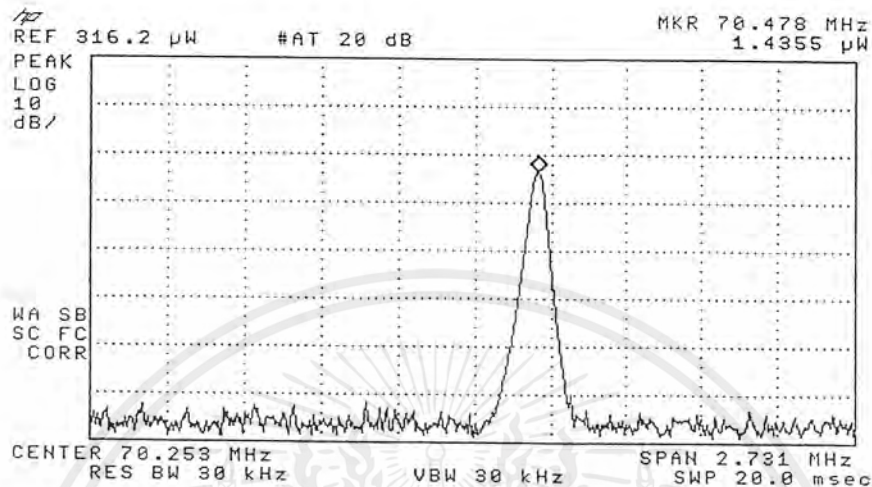


รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณทดสอบที่ผ่านการมอดูเลตแบบ FM แล้ว

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเป็นการแสดงสเปกตรัมของสัญญาณ FM โดยเกิดจากการนำสัญญาณทดสอบรูปไซน์ความถี่ 50 kHz มามอดูเลตกับคลื่นพาห์ 5.5 MHz แบบ FM พบว่าความถี่กลางจะเป็นความถี่ของคลื่นพาห์ประมาณ 5.5 MHz และมีระยะห่างระหว่างความถี่เท่ากันเท่ากับความถี่ของสัญญาณทดสอบ 50 kHz

4.2 ภาทออสซิลเลเตอร์คลื่นพาห้หลัก (Main Carrier)

ทำการวัดสัญญาณความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q2 หลังจากทำการปรับทริเมอร์ C4 จนได้ความถี่ที่ต้องการ โดยสเปกตรัมอนาไลเซอร์เพื่อดูสเปกตรัมของความถี่ที่ได้ ดังรูปที่ 4.4

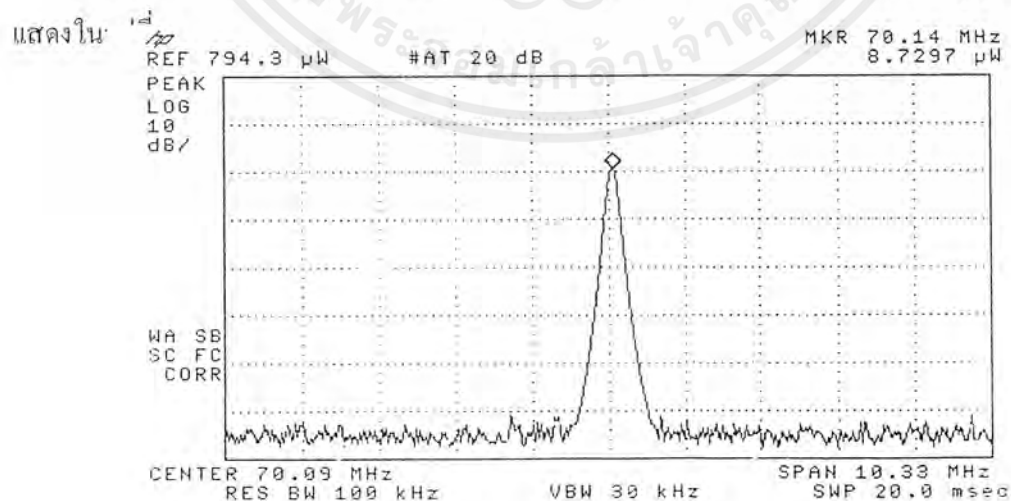


รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของความถี่ที่ออสซิลเลทจากวงจรออสซิลเลเตอร์

ผลการวัดจากเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์

ค่าความถี่ที่ออสซิลเลทได้มีค่า	70.478 MHz
ระดับกำลังของสัญญาณมีค่า	1.4355 μ W
วัดที่ระดับการลดทอน (Attenuation)	20 dB
ช่วงที่ทำการวัดสัญญาณ (Span)	2.731 MHz

ต่อมาทำการวัดสัญญาณที่ขาคอลเลกเตอร์ของ Q3 ซึ่งเป็นเอาท์พุทของภาคขยายสัญญาณ ดัง



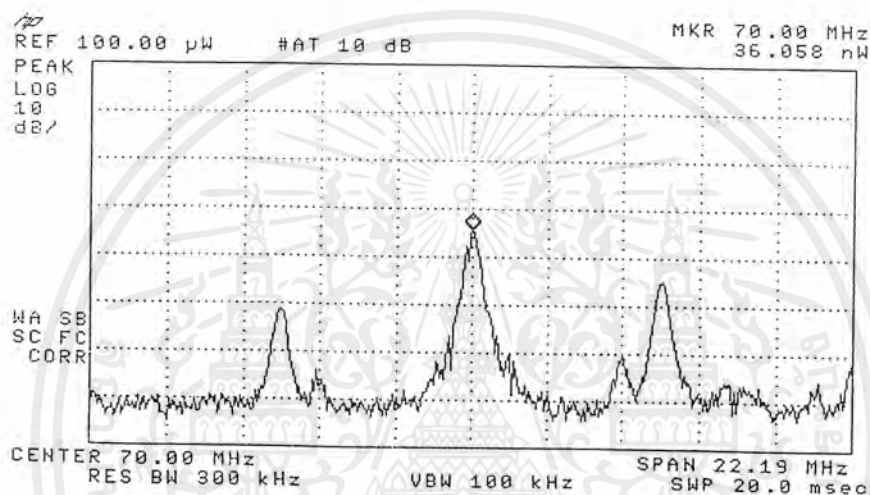
รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ

ผลการวัดจากเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์

ค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ได้มีค่า	70.14 MHz
ระดับกำลังของสัญญาณมีค่า	8.7297 μ W
วัดที่ระดับการลดทอน (Attenuation)	20 dB
ช่วงที่ทำการวัดสัญญาณ (Span)	10.33 MHz

4.3 ภาค AM modulator

ทำการวัดสัญญาณที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q4 เป็นเอาต์พุตที่ทำการมอดูเลตสัญญาณภาพเข้ากับสัญญาณเสียงแบบ FM ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบ AM แล้ว

ผลการวัดจากเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์

ค่าความถี่กลางที่วัด	70.00 MHz
ระดับกำลังของสัญญาณมีค่า	36.058 nW
วัดที่ระดับการลดทอน (Attenuation)	10 dB
ช่วงที่ทำการวัดสัญญาณ (Span)	22.19 MHz

จากผลที่ได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์จะได้ว่ากำลังในการส่งออกอากาศมีค่าประมาณ 36 nW



รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายสัญญาณ Color Bar จากเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอที่รับได้ที่เครื่องรับโทรทัศน์



รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายสัญญาณภาพจากเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอที่รับได้ที่เครื่องรับโทรทัศน์

จากการทดสอบส่งสัญญาณวิดีโอจากเครื่องส่ง ในระยะ 1 เมตร ภาพที่ได้จากเครื่องรับโทรทัศน์
ค่อนข้างชัดเจน มีคุณภาพดีพอสมควร ส่วนเสียงที่รับได้มีเสียงซ่าเล็กน้อย จากนั้นทดลองเพิ่มระยะห่าง
ของเครื่องส่งออกไป ประมาณ 5 เมตร สัญญาณภาพจะเริ่มเบลอและสัญญาณเสียงมีเสียงซ่าเพิ่มขึ้น



บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการทดสอบ เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอสามารถทำการส่งสัญญาณภาพและเสียงออกอากาศได้จริง ทั้งนี้ สามารถรับชมสัญญาณภาพและรับฟังสัญญาณเสียงได้ทั้งเครื่องรับโทรทัศน์ นับว่าดีพอสมควร ซึ่งในการทดสอบนี้ ได้ทำการจูนสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงให้รับได้ชัดที่ระหว่างช่อง 3 กับ ช่อง 5 สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจะชัดหรือไม่ชัด ขึ้นอยู่กับการปรับเสาอากาศที่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วย ระบบที่ใช้ในการส่งสัญญาณวีดีโอ เป็นระบบ PAL ซึ่งมีความถี่ของคลื่นพาห์เสียง 5.5 MHz และความถี่คลื่นพาห์หลักในการส่งออกอากาศ ประมาณ 70 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อยู่ในย่าน วี.เอช.เอฟ เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอนี้มีกำลังในการส่งออกอากาศประมาณ 36 mW ทั้งนี้ระยะทางในการส่งออกอากาศขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอ เพราะฉะนั้น ถ้าต้องการให้ได้ระยะทางในการส่งที่ไกลมากขึ้น สามารถทำได้โดยเพิ่มภาคขยายกำลัง แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงว่าการเพิ่มกำลังในการส่งออกอากาศนั้น จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง ตลอดจนการผิดเพี้ยนของสัญญาณว่ามากน้อยเพียงใด



หนังสืออ้างอิง

- [1] โกศล เพ็ชรสุวรรณ, ชิงกี โชจิ, “เทคโนโลยีโทรคมนาคม” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ดวงกมล 2520.
- [2] ยืน ภู่วรวรรณ, “ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น 2541.
- [3] ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์, “เครื่องส่งวิทยุและโทรทัศน์” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2534.
- [4] MOT GROUP, “ความรู้เบื้องต้นทางวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซนเตอร์
- [5] เจน สงสมพันธุ์, นิคม อนันต์ทิพย์ “เทคโนโลยีโทรทัศน์” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ เอ็ดดิสัน เพรส โปรดักส์ 2533.
- [6] นิกธ สุขุมตันติ, “การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2533.
- [7] ถวิล พึ่งมา, “การออกแบบวงจรทางโทรคมนาคม” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2534.