สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

นายอดิศักดิ์ เธียรสุวรรณ
นางสาวอนงค์ ลิ้นทอง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2540

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 31638
วัน, เดือน, ปี 19 พ.ค. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TV TRANSMITTER

Mr. Adisak Thiensuwan

Miss. Anong Linthong

A Special Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for

the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

โดย นายอดิศักดิ์ เธียรสุวรรณ

นางสาวอนงค์ ลิ้นทอง

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(รองศาสตราจารย์สุรพล รักวิจัย)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุรพล รักวิจัย)

..... กรรมการ

(อาจารย์ปิติพร ถนอมงาม)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์
นักศึกษา นายอดิศักดิ์ เธียรสุวรรณ
นางสาวอนงค์ ลิ้นทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์อย่างง่ายนี้สร้างขึ้นเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความถี่ทางคลื่นไฟฟ้าและวิธีการมอดูเลชั่น เครื่องส่งนั้นจะนำสัญญาณคอมโพสิตวิดีโอ เพื่อส่งให้เครื่องรับโทรทัศน์แบบไร้สาย ส่วนของวงจรจะประกอบด้วย 1) วงจรกำเนิดความถี่แบบคอลพิทท์ที่ความถี่ 91.32 MHz เพื่อใช้เป็นเป็นสัญญาณพาห์ 2) วงจรขยายสัญญาณแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ 3) วงจรกำเนิดความถี่ 5.5 MHz มอดูเลทกับสัญญาณเสียงแบบเอฟเอ็ม สัญญาณภาพจะทำการมอดูเลทกับสัญญาณพาห์แบบเอเอ็มวงจรที่ทำการขยายสัญญาณและทำการมอดูเลทแล้วจะส่งออกอากาศด้วยสายอากาศชนิด $\lambda/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	TV Transmitter
Name	Mr. Adisak Thiensuwan
	Miss Anong Linthong
Special Project Advisor	Asst.Prof. Wichit Sirichote
Department	Applied Physics
Academic Year	1997

Abstract

A simple TV Transmitter has been built for studying the RF oscillator and modulation methods . The transmitter receive a composite video signal and sent to TV receivers without cable connection. The circuit consisting of 1) a 91.32 MHz colpitts oscillator to generate carrier frequency 2) an RF common emitter amplifier an 3) a 5.5 MHz oscillator for audio FM modulation .The video signal modulate with the carrier oscillator by amplitude modulation . The RF amplifier boosts the maodulated signal and sent to the air via a small quarterwave antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์ เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากหลายท่าน ดังนั้น ความดีทั้งหลายจึงขอมอบให้แก่บุคคลเหล่านี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชติ	เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำในการทำงาน เป็นกำลังใจในการทำงาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรวัฒน์ ปานกลาง	ผู้ให้ความรู้ในทุกๆด้านของการทำงาน
หนังสืออ้างอิงทุกเล่ม	ที่ช่วยแก้ไขความกระจ่างในข้อสงสัยต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข.
กิตติกรรมประกาศ	ค.
สารบัญเรื่อง	ง.
สารบัญรูป	จ.
สารบัญตาราง	ฉ.
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การมอดดูเลชั่น	4
2.1.1 รูปแบบการมอดดูเลชั่นสำหรับเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์	5
2.1.2 การมอดดูเลชั่นเชิงขนาด	5
- รูปแบบการส่งคลื่นเอเอ็ม	7
2.1.3 การมอดดูเลชั่นเชิงความถี่	8
- คุณสมบัติของคลื่นเอฟเอ็ม	9
2.2 สายอากาศเครื่องส่ง	11
2.2.1 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ	11
2.2.2 โพลาไรเซชั่น	12
2.2.3 สายอากาศแนวดิ่ง	12
2.2.4 รูปแบบของทิศทาง	13
2.2.5 สายอากาศเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์	13
2.3 ระบบและมาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์	14
2.3.1 โครงสร้างของสัญญาณภาพ	14
- ความชัดเจนของภาพ	15
- การสแกนหรือการกวาดลำอิเล็กตรอน	16
2.3.2 ความถี่และมาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์	17
- มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์	17
- ความถี่มาตรฐานของโทรทัศน์	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.3.3 สัญญาณภาพรวม 23

- สัญญาณภาพขาว-ดำ 23

- สัญญาณแบลงกิ้ง 24

- สัญญาณซิงโครไนซ์ 24

- สัญญาณอีควอไลซิ่ง 26

บทที่ 3 การดำเนินงานโครงงานพิเศษ 27

3.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์และบล็อกไดอะแกรม 27

3.2 วงจรการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ 28

-วงจรกำเนิดความถี่หลัก (Oscillator) 29

-วงจรขยายสัญญาณ (Circuit Amplifier) 32

-วงจรกำเนิดความถี่ 5.5 MHz 36

-วงจรขยายกำลัง 40

บทที่ 4 การทดลอง 41

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 45

ภาคผนวก ก. ข้อมูลทรานซิสเตอร์

ภาคผนวก ข. อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

เอกสารอ้างอิง

ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1	บล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสาร	1
รูปที่ 1-2	บล็อกไดอะแกรมของการมอดดูเลทในเครื่องส่ง	2
รูปที่ 2-1	รูปคลื่นเอเอ็มเกิดจากสัญญาณรูปไซน์	6
รูปที่ 2-2	การแปรผันทางความถี่ของคลื่นพาห์ทางสัญญาณ	8
รูปที่ 2-3	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน free space	11
รูปที่ 2-4	โพราไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
รูปที่ 2-5	สายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ ($\lambda/4$)	13
รูปที่ 2-6	รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดควอเตอร์เวฟที่วางตัวในแนวดิ่ง	13
รูปที่ 2-7	แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อใช้เส้นสแกนต่างกัน	14
รูปที่ 2-8	Vertical resolution (กรณีที่ดีที่สุด)	15
รูปที่ 2-9	Vertical resolution (กรณีที่เลวที่สุด)	15
รูปที่ 2-10	แสดงการสแกนแบบสลับเส้นหรือแบบสอดแทรกในระบบ เอฟซีซี	17
รูปที่ 2-11	แสดงการสแกนแบบสลับเส้นหรือแบบสอดแทรกในระบบ ซีซีไออาร์	18
รูปที่ 2-12	แสดงระดับสัญญาณขาว-ดำ โดย เกรย์สเกล	24
รูปที่ 2-13	แสดงลักษณะของสัญญาณภาพรวมเบื้องต้น	25
รูปที่ 2-14	แสดงสัญญาณภาพรวมที่มีรายละเอียดทุกอย่าง	26
รูปที่ 3-1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์	27
รูปที่ 3-2	วงจรเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์	28
รูปที่ 4-1	เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์	41
รูปที่ 4-2	ความถี่ในวงจรภาคกำเนิดความถี่หลัก	42
รูปที่ 4-3	ความถี่ในวงจรกำเนิดความถี่ 5.5 MHz	42
รูปที่ 4-4	รูปแสดงการส่งสัญญาณแบบมีสาย	43
รูปที่ 4-5	รูปแสดงการส่งสัญญาณแบบไร้สายของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 มาตรฐานสากลของการส่งโทรทัศน์ (ระบบ CCIR) 20

ตารางที่ 2 แสดงช่องและความถี่โทรทัศน์ทั้ง 2 ระบบ 21

ตารางที่ 3 มาตรฐานโทรทัศน์ในประเทศต่างๆ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

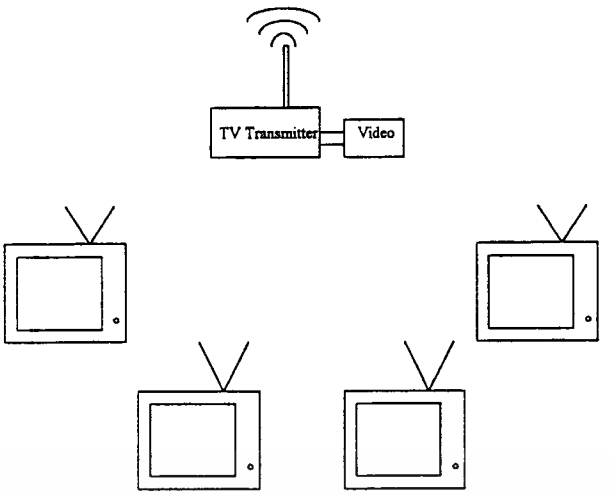
ในปัจจุบัน ตัวกลางที่ใช้ส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สาย ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการสื่อสารมาก เนื่องมาจากการวางสายสื่อสารแบบที่ต้องเดินสายสัญญาณในบางพื้นที่นั้นไม่สามารถทำได้ หรืออาจทำได้แต่ไม่คุ้มค่าทั้งในแง่การลงทุนและการดูแล การทำการซ่อมบำรุง เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่สำคัญได้แก่ การรับส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบดาวเทียม

การสื่อสารคือ การส่งข้อมูล หรือสัญญาณจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ข้อมูลหรือสัญญาณที่ถูกส่งออกไปอาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง หรือข้อมูลอื่นๆก็ได้ รูปที่1 เป็นบล็อกไดอะแกรมโดยทั่วไปของระบบการสื่อสาร สัญญาณหรือข้อมูลที่ต้องการจะส่งป้อนเข้าสู่เครื่องส่ง (transmitter) จะกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อที่จะจัดลักษณะที่จะส่งให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับตัวกลาง(channel) ตัวกลางอาจจะเป็นสายนำสัญญาณ หรือแม้กระทั่งอวกาศ สัญญาณจากเครื่องส่งจะผ่านตัวกลางไปยังเครื่องรับ(receiver) จะเปลี่ยนสัญญาณที่ได้ให้กลับมาอยู่ในรูปเดิม

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสาร

เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์เป็นเครื่องส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยจะนำสัญญาณโทรทัศน์หรือที่เรียกว่า "Composite Video" และ สัญญาณเสียงจากเครื่องเล่นวิดีโอเทปผ่านเข้ามายัง เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์(TV Transmitter) ซึ่งส่งแบบไร้สายโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการส่ง เพื่อส่งไปยังโทรทัศน์(เครื่องรับ) เมื่อมองโดยภาพรวมจะคล้ายกับการแพร่ภาพแบบเคเบิลทีวี แต่เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์เป็นการส่งในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กกว่า เช่น หอประชุม ห้องเรียน โรงแรม ฯลฯ ซึ่งสะดวกและประหยัดไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเดินสายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

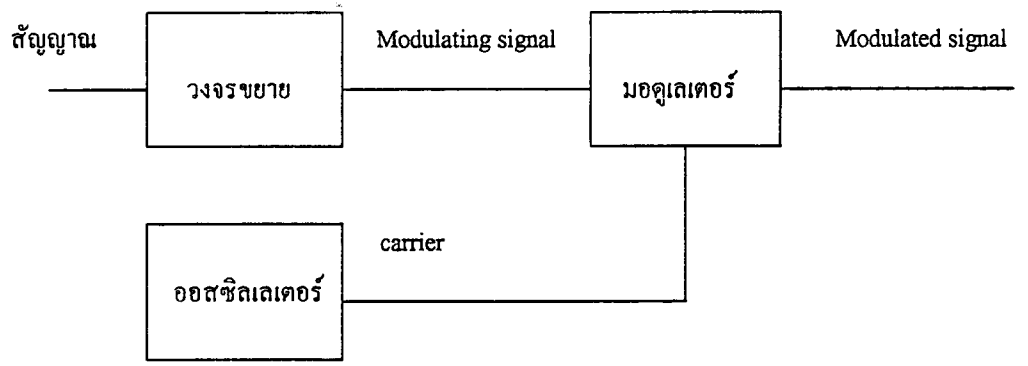


แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

หลักการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์คือ ส่วนแรกนำสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากเครื่องเล่นวิดีโอมาทำการมอดูเลชั่น ส่วนวงจรกำเนิดความถี่หลักจะขยายสัญญาณจนสามารถส่งได้ในช่วงความถี่ในย่าน UHF(Ultra High Frequency) จากนั้นนำทั้งสองส่วนมาทำการ Balance Modulation และส่งออกทางเสาอากาศโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวพาห์สัญญาณ เพื่อให้เข้าใจการทำงานอย่างลึกซึ้งจำเป็นจะต้องเข้าใจหลักการทำงานเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. มอดูเลชั่น

ความถี่ของข้อมูลหรือสัญญาณโดยทั่วไป มักจะมีความถี่ต่ำ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำจะกระทำได้ไม่ดี เพราะสัญญาณความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมาก เราสามารถที่จะเลื่อนความถี่ของสัญญาณให้มีค่าสูงขึ้นได้โดยการมอดูเลทสัญญาณที่ต้องการจะส่งกับคลื่นพาห์(carrier) ความถี่สูง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการมอดูเลทคือ กระบวนการสัญญาณที่จะส่ง (Modulating signal) ทำให้คุณสมบัติของคลื่นพาห์ (ขนาด ความถี่ และเฟส) เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลทเรียกว่า Modulated signal (wave) ดังในรูปที่ 2-1



รูปที่ 1-2 บล็อกไดอะแกรมของการมอดูเลทในเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลทจึงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) การมอดูเลทเชิงขนาด(Amplitude Modulation) ขนาดของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณ
2) การมอดูเลทเชิงความถี่(Frequency Modulation) และ การมอดูเลทเชิงเฟส(Phase Modulation) ความถี่ของคลื่นพาห์หรือเฟสของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณ ลักษณะของ Modulated wave ของ FM กับ PM จะคล้ายกัน
3) Pulse Modulation คลื่นพาห์จะเป็นพัลส์สัญญาณจะทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของพัลส์เปลี่ยนแปลงไป เช่นขนาดของพัลส์ ความกว้างของพัลส์

2. สายอากาศ(Antenna)

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายก่อนที่จะมีการส่งสัญญาณออกไปในสื่อจะต้องมีการส่งผ่านสัญญาณทางสาย ดังนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ สายอากาศ(Antenna) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งสัญญาณ(Transmitter) และเครื่องรับสัญญาณ (Receiver) กับตัวกลางหรือช่องสัญญาณ ซึ่งในที่นี้เป็นอากาศ ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าของคลื่นวิทยุออกไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้สามารถสื่อสารข้ามระยะทางไกลๆได้ และในทางกลับกันสายอากาศก็ทำหน้าที่ดักและรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบรรยากาศเข้ามา และถ่ายทอดผ่านสายส่งสัญญาณไปให้เครื่องรับได้เช่นกัน

3. ระบบและมาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี

ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์จะต้องทราบถึงระบบในการส่งว่ามีระบบใดบ้าง และในแต่ละระบบจะมีการกำหนดช่องและความถี่ในการส่งอย่างชัดเจน และยังต้องทราบถึงส่วนประกอบของสัญญาณโทรทัศน์ว่าประกอบไปด้วยสัญญาณใดและมีรูปแบบอย่างไร

4. เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

หลังจากเข้าใจถึงหลักการทำงานของส่วนต่างๆแล้ว จากนั้นจะเป็นการกล่าวถึงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ คุณสมบัติของเครื่อง และข้อมูลจำเพาะต่างๆของเครื่อง และทำการทดลองเครื่องเพื่อนำมาสรุปข้อมูลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การมอดูเลชั่น (Modulation)

การส่งสัญญาณคอมโพสิตวิดีโอและออดิโอนั้นจำเป็นจะต้องนำการมอดูเลชั่นเข้าเกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นการส่งโดยใช้สายไฟฟ้าเป็นตัวนำไป หรือส่งกระจายเป็นคลื่นไฟฟ้าออกทางอากาศก็ตาม จำเป็นต้องมีการฝาก (Modulation) สัญญาณดังกล่าวนี้ไปกับคลื่นพาห์ (carrier wave) ที่มีความถี่สูงกว่าหรืออย่างน้อยก็เท่ากันกับความถี่ของข้อความที่จะส่งออกไป ซึ่งในที่นี้จะมีทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่นำมาจากคอมโพสิตวิดีโอ โดยจะต้องมีการพาห์สัญญาณที่ความถี่และรูปแบบในการมอดูเลชั่นต่างกัน เพื่อไม่ให้สัญญาณทั้งสองรบกวนกันเมื่อส่งพร้อมๆกัน ซึ่งกรรมวิธีในการมอดูเลชั่นหรือฝากสัญญาณก็คือการทำให้คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ด้วยสัญญาณข้อความที่จะฝากส่งออกไป และเมื่อต้องการรับสัญญาณให้เหมือนเดิม เครื่องรับ (ในที่นี้คือโทรทัศน์) จะทำหน้าที่ตรวจสอบ (Detect) การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของคลื่นพาห์แล้วผลิตเป็นสัญญาณที่เลียนแบบกับข้อความเดิม โดยให้มีลักษณะเหมือนเดิมมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ออกมา

โดยปกติการมอดูเลชั่นแบ่งเป็น 4 รูปแบบคือ

1. Amplitude Modulation (A.M.)
2. Frequency Modulation (F.M.)
3. Phase Modulation (Ph.D.)
4. Pulse Modulation (P.M.)

ในการมอดูเลชั่นแบบ 3 ชนิดแรก คลื่นพาห์จะถูกส่งออกไปอย่างต่อเนื่อง (Continous carrier modulation) แต่สัญญาณที่ฝากส่งออกไป จะทำให้คุณสมบัติทางด้านขนาด (Amplitude) หรือความถี่ (Frequency) หรือเฟส (Phase) อย่างใดอย่างหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ ส่วนในแบบที่ 4 คลื่นพาห์จะถูกส่งออกไปในลักษณะเป็นช่วงๆ (Pulse carrier modulation) โดยสัญญาณที่จะฝากส่งออกไปทำขนาด (Amplitude) ตำแหน่ง (Position) หรือช่วงเวลา (Dulation) ของพัลซ์เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 รูปแบบการมอดูเลชั่นสำหรับเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการมอดูเลชั่น 2 แบบแรก คือ การมอดูเลชั่นเชิงขนาด(Amplitude Modulation) และ การมอดูเลชั่นเชิงความถี่(Frequency Modulation) ในเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์จะมีส่วนที่เป็นความถี่หลัก ในที่นี้ความถี่หลักที่ใช้ส่งเป็นความถี่ในช่วงUHF มามอดูเลทกับสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง(ที่ทำการมอดูเลทแล้วจากภาครับสัญญาณที่มาจากวิดีโอ) แบบเอเอ็ม(AM) ส่วนในภาคที่รับสัญญาณเสียงจากวิดีโอจะทำการมอดูเลทแบบเอฟเอ็ม(FM) และมีผลต่างระหว่างความถี่คลื่นพาห์สัญญาณภาพและความถี่คลื่นพาห์สัญญาณเสียงเป็น 5.5 MHz ซึ่งเหล่านี้เป็นมาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในประเทศไทย

2.1.2 การมอดูเลชั่นเชิงขนาด (Amplitude Modulation)

การมอดูเลชั่นเชิงขนาดเป็นกรรมวิธีการแปลงความถี่ชนิดหนึ่ง ซึ่งสัญญาณที่ส่งมารวมกับความถี่พาห์แล้วเกิดเป็นคลื่นพาห์ที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณนั้นๆ โดยจะต้องมีองค์ประกอบต่อไปนี้มาประกอบเข้าด้วยกัน

- ความถี่สัญญาณ (Signal frequency) -

เรียกสั้นๆว่า "สัญญาณ" ประกอบด้วยข้อความข่าวสารที่ถูกแปลงให้ไปอยู่ในย่านความถี่อื่น สัญญาณนี้อาจจะเป็นความถี่เดี่ยว หรือมีย่านหรือแถบของความถี่จากไม่กี่เฮริทซ์จนถึงหลายเมกกะเฮริทซ์ โดยในที่นี้สัญญาณดังกล่าวคือ สัญญาณภาพที่นำมาจากคอมโพสิตวิดีโอ

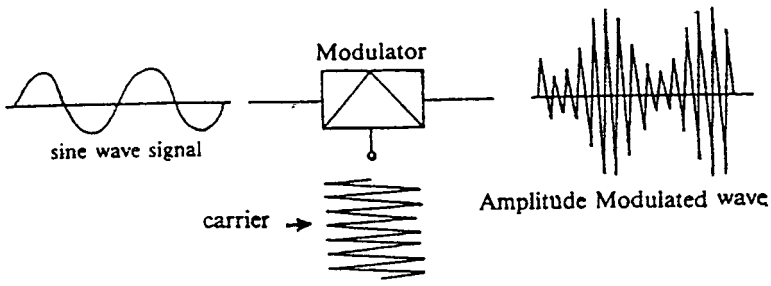
- ความถี่พาห์ (Carrier frequency) -

เรียกว่า "คลื่นพาห์" เป็นความถี่เดี่ยวที่มีขนาดคงที่ ความถี่ของคลื่นพาห์จะมีค่าเท่าไรนั้นกำหนดได้จากย่านความถี่ที่ต้องการให้สัญญาณไปอยู่ (สัญญาณแต่ละสัญญาณที่ถูกส่งออกไปพร้อมกันในตัวนำคลื่นเดียวกัน มีคลื่นพาห์ที่มีความถี่ต่างกัน มาเข้ามอดูเลเตอร์ของแต่ละสัญญาณนั้นๆ ดังนั้นคลื่นเอเอ็มที่ออกมาจึงใช้แถบความถี่ที่ต่างกัน)

- ตัวผสมสัญญาณ (Modulator) -

เป็นอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆประกอบกันเป็นวงจร เพื่อทำให้เกิดการมอดูเลชั่นเชิงขนาดขึ้นมา เมื่อคลื่นพาห์มารวมกับสัญญาณที่ตัวมอดูเลเตอร์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 รูปคลื่นเอเอ็มเกิดจากสัญญาณรูปไซน์

จากรูปเป็นการนำสัญญาณรูปไซน์ไปผสมกับความถี่พาห์ที่ตัวมอดูเลเตอร์แล้วผลิตเป็นคลื่นรูปเอเอ็มออกมา โดยขอบของคลื่นทั้งด้านบนและด้านล่างจะเป็นลักษณะที่เหมือนกับ "สัญญาณ" นั่นคือ ขนาดของคลื่นพาห์เปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณ และถ้ามีแต่คลื่นพาห์อย่างเดียวส่วนสัญญาณไม่มีเข้ามาหรือขนาดเป็นศูนย์คลื่นเอเอ็ม ก็จะมีลักษณะเหมือนกับคลื่นพาห์ที่มีขนาดคงที่ เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้นจึงใช้สมการทางไฟฟ้ามาอธิบายทำให้เข้าใจง่ายขึ้น

<u>สมมติ</u>ว่าสัญญาณที่จะส่งเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ต่ำอยู่ในความถี่ของเสียง มีค่าโวลเต็จชั่วขณะ ดังสมการที่ (1)

$$e_m = E_m \sin W_m t \qquad (1)$$

เมื่อ E_m = ขนาดสูงสุดของสัญญาณเสียง

W_m = ความเร็วเชิงมุมของสัญญาณเสียง = $2\pi f_m$

f_m = ความถี่ของสัญญาณเสียง

ส่วนคลื่นพาห์ซึ่งเป็นคลื่นไซน์ความถี่สูงกว่าสัญญาณเสียง มีค่าโวลเต็จชั่วขณะเป็น

$$e_c = E_c \sin W_c t \qquad (2)$$

เมื่อ E_c = ขนาดสูงสุดของคลื่นพาห์

W_c = ความเร็วเชิงมุมของคลื่นพาห์ = $2\pi fc$

f_c = ความถี่ของคลื่นพาห์

ถ้าทำให้ขนาดของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณเสียง ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่า (หมายถึงว่า ค่าสูงสุดของคลื่นพาห์ E_c จะถูกเสริม หรือหักล้างด้วยค่าชั่วขณะของสัญญาณเสียง e_m) ค่าโวลเต็จชั่วขณะของคลื่นพาห์ (e_c) ก็กลายเป็นลูกคลื่นที่ถูกมอดดูเลททางขนาดมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = (E_c + e_m) \sin W_c t$$
$$= (E_c + E_m \sin W_m t) \sin W_c t$$
$$= E_c \sin W_c t + E_m \sin W_m t \sin W_c t$$
$$= E_c \sin W_c t + (E_m/2) \cos (W_c - W_m)t - (E_m/2) \cos (W_c + W_m)t$$
$$= E_c \sin W_c t + (ME_c/2) \cos (W_c - W_m)t - (Me_c/2) \cos (W_c + W_m)t \quad (3)$$

เมื่อ $M = E_m / E_c$

$= $ Degree of modulation

และ $M < 1$

จากสมการที่(3) ซึ่งเป็นรูปคลื่นที่ถูกผสมแล้ว (Modulated wave) เมื่อพิจารณาดูจะเห็นว่าประกอบด้วยคลื่นความถี่จำนวนสามความถี่ด้วยกัน คลื่นแรกเป็นคลื่นพาห์เดิม ($E_c \sin W_c t$) ส่วนคลื่นหรือสัญญาณประกอบอีกสองสัญญาณ เรียกว่า สัญญาณข้างเคียง (Sideband Signal) ถ้าสัญญาณที่เข้าไปผสมมีเพียงความถี่เดียวจะเกิดสัญญาณข้างเคียง ซึ่งมักเรียกว่า ไซด์แบนด์ ขึ้นมาจำนวนหนึ่งคู่เสมอ โดยไซด์แบนด์หนึ่งจะมีความถี่สูงกว่าคลื่นพาห์อยู่เท่ากับ ความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปผสมในที่นี้คือ สัญญาณเสียง [$ME_c/2 \cos (W_c = W_m)t$] เรียกว่า ไซด์แบนด์ด้านสูง (Upper Sideband) ส่วนไซด์แบนด์อีกด้านหนึ่งมีความถี่ต่ำกว่าค่าความถี่ของคลื่นพาห์อยู่เท่ากับ ความถี่ของสัญญาณที่เข้าไปผสม [$Me_c/2 \cos (W_c - W_m)t$] เรียกว่าไซด์แบนด์ด้านต่ำ (Lower Sideband)

รูปแบบการส่งคลื่นเอเอ็ม (Type of transmission in A.M.)

ในการฝากสัญญาณลงไปในคลื่นเอเอ็มนั้น เมื่อจะทำการส่งออกไป มีวิธีการต่างๆหลายวิธีด้วยกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของงาน คุณสมบัติของตัวนำคลื่นขีดจำกัดของย่านความถี่และอื่นๆ จึงเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมวิธีใดวิธีหนึ่งวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่เช่น

ก) การส่งแบบ Double Sideband (D.S.B)

วิธีนี้คลื่นเอเอ็ม จะประกอบด้วยไซด์แบนด์ทั้งคู่กับคลื่นพาห์ ส่งออกไปยังเครื่องรับที่อยู่ห่างจากกันกับเครื่องส่ง เช่น การส่งวิทยุกระจายเสียงในปัจจุบัน

ข) การส่งแบบ Double Sideband Suppressed Carrier

ในการส่งแบบเอเอ็มนั้น ข้อความของสัญญาณจะไปอยู่ไนไซด์แบนด์ทั้งหมดดังนั้น จึงสามารถเลือกเอาแต่ไซด์แบนด์เท่านั้นส่งออกไป ส่วนคลื่นพาห์จะถูกตัดออก Suppressed Carrier ดังเช่นที่ใช้กับการส่งวิทยุสมัครเล่น (ham radio) อีกงานหนึ่งที่ใช้ คือในการส่งวิทยุกระจายเสียงระบบstereo multiplexสัญญาณ L-R (สัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณด้านซ้าย กับสัญญาณด้านข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วา)จะถูกมอดูเลทกับความคลื่นพาห์ย่อย แบบเอเอ็มจะเลือกเอาแต่ไซด์แบนด์ทั้งสองข้างออกไป ส่วนคลื่นพาห์ย่อยนั้นจะถูกตัดทิ้งไป

ค) การส่งแบบ Vestigial Sideba ccccccnd (V.S.B)

สัญญาณภาพโทรทัศน์นั้นมีย่านความถี่กว้างมากกว่า 5 MHz ถ้าส่งด้วยคลื่นเอเอ็มแบบ D.S.B. ธรรมดา ย่านความถี่ก็ต้องกว้างกว่า 10 MHz ทำให้จำนวนช่องการส่งโทรทัศน์ลดลงในทาง ปฏิบัติจึงตัดไซด์แบนด์ด้านต่ำออกไปเป็นบางส่วนเพื่อย่านคาามถี่ที่ใช้ให้แคบลง โดยไม่มีผลต่อความผิดเพี้ยนของสัญญาณภาพ เมื่อเครื่องรับทำการ Detect ออกมาวิธีเช่นนี้เรียกว่า การส่งแบบ Vestigial Sideband วิธีนี้นำมาใช้ สำหรับเครื่องส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์

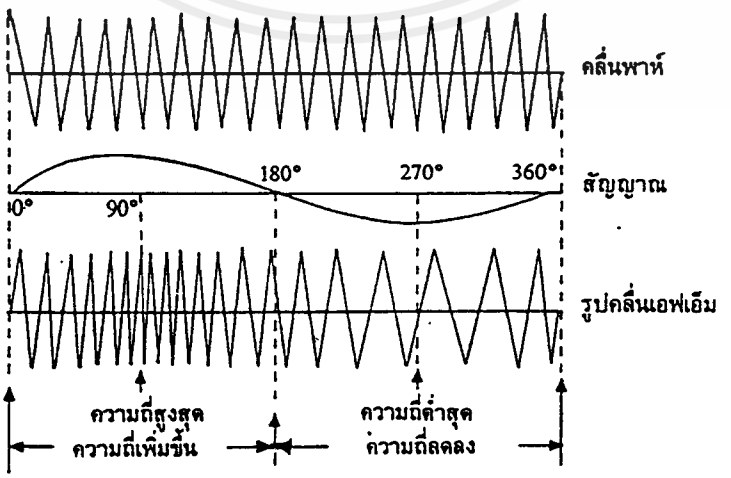
ง) การส่งแบบ Single Sideband (S.S.B)

วิธีนี้ไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งของคลื่นเอเอ็มจะถูกส่งออกไป ในขณะที่ไซด์แบนด์ที่เหลือกับคลื่นพาห์ถูกตัดทิ้งไป ดังนั้นย่านความถี่ที่ใช้สำหรับการส่งจึงแคบกว่าการใช้วิธีต่างๆ กับข้างต้น

2.1.3 การมอดูเลชั่นเชิงความถี่ (Frequency Modulation)

การมอดูเลชั่นเชิงความถี่เป็นกรรมวิธีรวมหรือฝากสัญญาณเข้ากับคลื่นพาห์อีกวิธีหนึ่ง ในลักษณะที่ความถี่ของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณ ทั้งนี้ขนาดของคลื่นพาห์ยังคงที่ตลอดเวลา

รูปที่ 2-2 แสดงลักษณะของคลื่นพาห์ก่อน และหลังจากมอดดูเลทด้วยสัญญาณที่เป็นคลื่นรูปไซน์ รูปที่แสดงนี้เป็นเพียงตัวอย่างให้เข้าใจง่าย ในทางปฏิบัติความถี่ของคลื่นพาห์กับสัญญาณจะต่างกันมากกว่าที่แสดงไว้รวมทั้งสัญญาณปกติจะเป็นคลื่นเชิงซ้อน แต่ผลที่ได้ก็เหมือนกับสัญญาณรูปไซน์



รูปที่ 2-2 การแปรผันทางความถี่ของคลื่นพาห์ทางสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงมอดดูเลชั่น ณ เวลาใดๆก็ตามความถี่ของคลื่นพาห์จะขึ้นโดยตรงกับขนาดของสัญญาณในช่วงเริ่มต้นวัฏจักรของสัญญาณขนาดหรือโวลเต็จจะต่ำ เป็นผลให้คลื่นพาห์มีความถี่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ขณะสัญญาณมีขนาดเข้าใกล้ช่วงสุดทางบวก (positive peak) ความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแปลง

อย่างมากและจะมากที่สุด ณ จุด 90 (ในวัฏจักรของสัญญาณช่วงระหว่าง 90° และ 180° ขนาดของสัญญาณกลับคืนสู่ศูนย์โวลท์ ช่วงนี้ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะเลื่อนกลับเข้าสู่ค่าความถี่เดิมเหมือนกับตอนที่ไม่มีสัญญาณเข้ามามอดดูเลท ถัดมาสัญญาณเข้าสู่ช่วง 270° ขนาดจะเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งแต่จะไปในทิศทางลบ จึงทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เริ่มเปลี่ยนไปในทางลบซึ่งงหมายถึงความถี่ต่ำลงและต่ำที่สุด ณ จุด 270°

ในทางปฏิบัติจะไม่คำนึงว่า ในครึ่งวัฏจักรบวกของคลื่นรูปไซน์ของสัญญาณจะเป็นผลทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เพิ่มขึ้นหรือลดลง จุดสำคัญอยู่ว่าความถี่ของคลื่นพาห์จะเปลี่ยนเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงทางขนาดของสัญญาณ

ทั้งหมดนี้พอสรุปได้ว่า

- ความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงเป็นขั้นตอน ตามการเปลี่ยนแปลงโวลเต็จของสัญญาณตลอดเวลา นั่นคือ ในช่วงครึ่งวัฏจักรแรกของสัญญาณความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นและในช่วงครึ่งวัฏจักรหลังซึ่งมีทิศทางตรงข้าม ความถี่จะต่ำลง
- ความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อขนาดของสัญญาณเป็นศูนย์
- ความถี่ของคลื่นพาห์เพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงต่ำสุดในขณะที่ขนาดของสัญญาณมีค่าสูงสุด

คุณสมบัติของคลื่นเอฟเอ็ม

ในการมอดดูเลชันเชิงขนาด เราทราบแล้วว่านอกจากความถี่คลื่นพาห์แล้วยังมีความถี่ไซด์แบนด์ เกิดขึ้นมาอีกหนึ่งคู่เสมอ ทั้งนี้ก็โดยการศึกษาจากรูปสมการของคลื่นเอเอ็ม ทำนองเดียวกัน เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคลื่นที่เกิดจากการมอดดูเลชันเชิงความถี่บ้าง และแสดงถึงคุณสมบัติของคลื่นเอฟเอ็มให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ลองพิจารณสมการของคลื่น

$$e = E \sin (wt + \theta) \qquad .....(2\text{-}1)$$

เมื่อ E เป็นขนาดโวลเต็จของสัญญาณไฟฟ้า

$(wt+\theta)$ เป็นค่ามุมชั่วขณะและเฟสของฟังก์ชั่น

ซึ่งถ้าจะกล่าวถึงคลื่นพาห์ก็สามารถเขียนเป็นสมการของคลื่นพาห์ได้ว่า

$$e_c = E_c \sin \phi t \qquad .....(2\text{-}2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ϕ เป็นมุมทางไฟฟ้าของคลื่น ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (t) และจะสัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุม (angular velocity) และความถี่ของคลื่นดังนี้

$$W = 2\pi f = d\phi(t)/dt \qquad .....(2\text{-}3)$$

สมมติว่า สัญญาณที่เข้าไปฝากหรือผสมกับคลื่นพาห์แบบเอฟเอ็มนี้ มีสมการเป็น

$$e_m = E_m \cos W_m t$$

หรือ

$$= E_m \cos 2\pi f_m t \qquad .....(2\text{-}4)$$

ค่าชั่วขณะของสัญญาณนี้ไปทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนนแปลงไปมาเป็น

$$f = f_c + f_d \cos 2\pi f_m t \qquad .....(2\text{-}5)$$

โดย f_c = ความถี่ของคลื่นพาห์ ขณะยังไม่มีสัญญาณเข้ามา

f_d = ความถี่เบี่ยงเบนซึ่งจะมากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ

f_m = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

จากสมการ (2-3) และ (2-5) จะได้ว่า

$$d\phi(t)/dt = 2\pi(f_c + f_d) \cos 2\pi fmt) \qquad .....(2\text{-}6)$$

ดังนั้น

$$\phi(t) = \int 2 (f_c + f_d \cos 2\pi f_m t) dt$$

$$= 2\pi f_c t + (f_d/f_m) \sin 2\pi f_m t + \phi_0$$

$$= W_c t/m_f \sin W_m t + \phi_0 \qquad .....(2\text{-}7)$$

เมื่อ $m_f = f_d/f_m$ ซึ่งเรียกว่า modulation index หรือ ดัชนีการมอดดูเลชั่น

ϕ_0 เป็นค่าคงที่ได้จากการ integrate ซึ่งเป็น Phase angle เริ่มต้นเมื่อ t=0 ดังนั้น จึงสามารถพิจารณาว่า ϕ_0=0 ได้โดยไม่มีผลต่อการมอดูเลชั่นเชิงความถี่เลย

เมื่อแทนค่า $\phi(t)$ จากสมการ (2-7) ลงไปในสมการ (2-2) จะได้

$$e_c = E_c \sin(W_c t + m_f \sin W_m t)$$

$$= e \text{ (เมื่อเป็นสมการซึ่งถูกมอดดูเลทแล้ว)} \qquad .....(2\text{-}8)$$

ในคลื่นเอเอ็ม สัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ เดี่ยวจะทำให้เกิดไซด์แบนด์ขึ้นมาหนึ่งคู่เสมอ ส่วนในรูปคลื่นเอฟเอ็มจำนวนของไซด์แบนด์จะเป็นอย่างไรนั้น ให้กระจายสมการที่ (2-8) ดูนั่นคือ

$$e = E_c [\sin W_c t * (m_f \sin W_m t) \sin W_m t) \qquad .....(2\text{-}9)$$

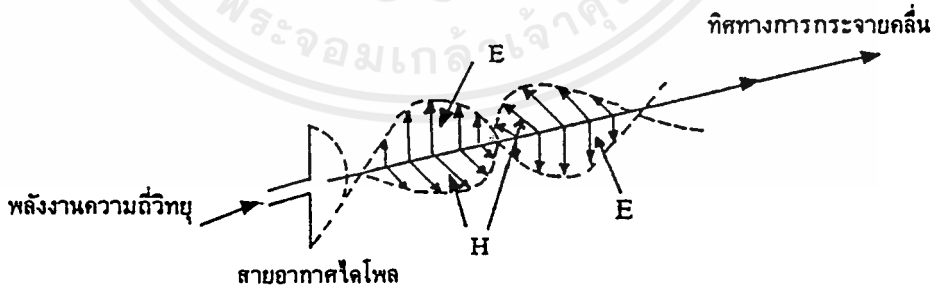
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สายอากาศเครื่องส่ง

สายอากาศ เป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่งทำหน้าที่แผ่คลื่นจากเครื่องส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้าทที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อตันหรือกลวง เป็นเส้นตรงหรือโค้งงอแล้วแต่ชนิดของสายอากาศ สายอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถใช้สายอากาศทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสายอากาศส่งหรือสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน

2.1.1 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุคือกำลังงานไฟฟ้า(Electrical power) จากการไหลของกระแสความถี่สูงในวงจรสายอากาศที่เหมาะสมวิ่งไปในสายอากาศ(free space) พลังงานที่แพร่ออกไปในอากาศนี้จะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นเหล่านี้บอกลักษณะของมันด้วย สนามไฟฟ้า(electric field) E และสนามแม่เหล็ก(magnetic. field) H ซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทิศทางของการกระจายคลื่นจะตั้งฉากกับสนามทั้งสอง ดังแสดงในรูปทั้งในสนาม E และ H ออกไปในรูปของการสลับแบบไซน์เทียบกับเวลาและระยะทาง ความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับแสง คือ 3×10^{8} cm/sec ใน Free space



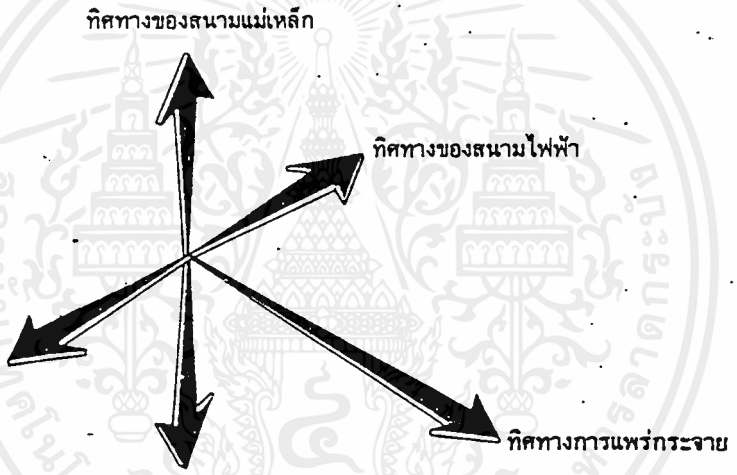
รูปที่ 2-3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน free space

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โพลาไรเซชั่น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตามรูปที่ 2-3 ในที่นี้ สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เราเรียกว่า คลื่นที่มีโพราไรเซชั่นแนวราบ (ถ้าสนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวดิ่ง เราเรียกว่า คลื่นที่มีโพราไรเซชั่นแนวดิ่ง) ทิศทางของสนามไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดการโพราไรเซชัน

สายอากาศที่วางตัวอยู่ในแนวราบจะเกิดโพราไรเซชั่นแนวราบ สายอากาศที่วางตัวอยู่ในแนวดิ่งจะเกิดโพราไรเซชั่นแนวดิ่ง ความสำคัญของการโพราไรเซชั่นนั้นอยู่ตรงที่ คลื่นที่ส่งมาแบบโพราไรเซชั่นแนวตรงจะรับด้วยสายอากาศที่วางในแนวที่วางตัวอยู่ในแนวราบได้ดีกว่าสายอากาศที่วางในแนวที่วางตัวอยู่ในแนวดิ่ง



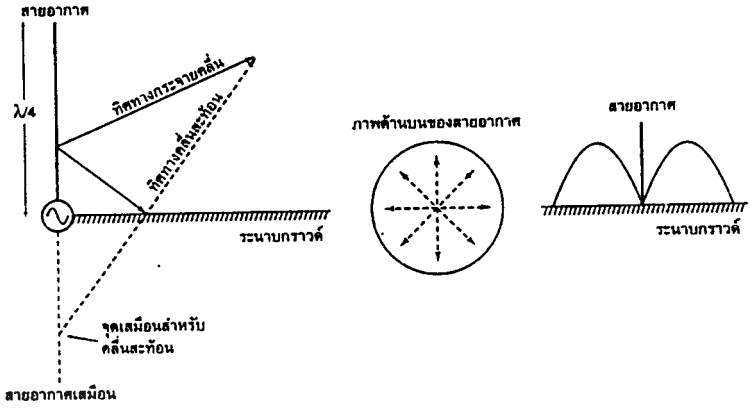
รูปที่ 2-4 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2.3 สายอากาศแนวดิ่ง

ในกรณีที่ต้องการให้คลื่นมีโพลาไรเซชั่นในแนวดิ่ง เราต้องใช้สายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่ง อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่ความถี่ต่ำ สายอากาศจะมีความยาวจนทำให้การติดตั้งลำบาก การจัดให้วางตัวในแนวดิ่งจะยุ่งยากขึ้น เช่น ที่ความถี่ 3.5 เมกะเฮิตรซ์ สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟจะยาวถึง 41 เมตร

อย่างไรก็ตามหากเราวางเส้นลวด (สายอากาศ)ที่มีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ (วางในแนวดิ่ง) บนระนาบตัวนำเพื่อทำหน้าที่เป็นกราวด์ (perfect ground) ผลลัพธ์ที่ได้จะเสมือนกับใช้สายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 สายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ $\lambda/4$

ชนิดฮาล์ฟเวฟวางแนวตั้งในแนวดิ่ง ทั้งนี้ก็เพราะว่าระนาบกราวด์ดังกล่าวเปรียบเสมือนกระจกที่ทำให้เกิดเป็นลวดสายอากาศอีกเส้นหนึ่งยาวเท่ากับ $\lambda/4$ รวมความยาวทั้งสองข้างเป็น $\lambda/2$

2.2.4 รูปแบบของทิศทาง

รูปแบบของทิศทาง (Directional Pattens) ของสายอากาศแบบหนึ่งในสี่ของคลื่น เมื่อการต่อสายอากาศเป็นแบบแนวตั้งทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นก็จะเป็นแนวแนอน ซึ่งจะมีออกไปในทุกทิศทางทุกมุมรอบสายอากาศ ดังรูปที่ 2-5 เป็นภาพด้านบนของสายอากาศ การกระจายของคลื่นจะมีองค์ประกอบอยู่ 2 ส่วนคือ คลื่นดิน(Ground Wave) กับคลื่นฟ้า(Sky Wave) คลื่นดินจะถูกส่งออกมาจากสายอากาศในทิศทางแนวนอนตามผิวโลก คลื่นฟ้าจะมีมุมในแนวตั้งที่เป็นมุมแหลมมันจะกระจายพลังงานขึ้นไปในท้องฟ้า พลังงานบางส่วนอาจสูญหายแต่สะท้อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ของบรรยากาศเหนือพื้นโลก ทำให้สามารถส่งสัญญาณไปในระยะทางไกลรูปแบบของการแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบได้เป็นวงกลมดังในรูปที่ ส่วนการแพร่คลื่นที่มองบนระนาบในแนวดิ่งจะแผ่ออกทางด้านข้างดังในรูป

2.2.5 สายอากาศเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

ดังนั้นการหาความยาวสายอากาศของเครื่องสามารถคำนวณได้จาก

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

โดย $f = 91.32$ MHz และ $v = 3*10^8$ m/sec

$$\therefore \lambda = 3.28 \text{ m}$$

เมื่อใช้ เป็นสายอากาศแบบ $\lambda/4$ ดังนั้นความยาวเสาใช้เพียง 0.80 เมตรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบและมาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์

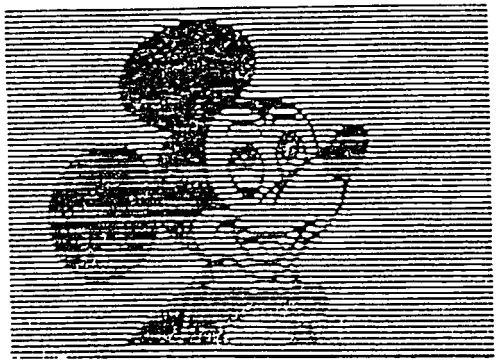
การส่งโทรทัศน์เป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์ (Television signal) ซึ่งเป็นสัญญาณเกี่ยวกับภาพออกไปพร้อมๆกับสัญญาณเสียง ที่ใช้เสาอากาศส่งร่วมกันในเวลาเดียวกัน มาตรฐานในการส่งโทรทัศน์ทั่วโลกแบ่งออกได้เป็น 6 มาตรฐานด้วยกัน คือ

525/60	ขาวดำ	625/50	ขาวดำ
525/60	NTSC	625/50	PAL
525/60	PAL	625/50	SECAM

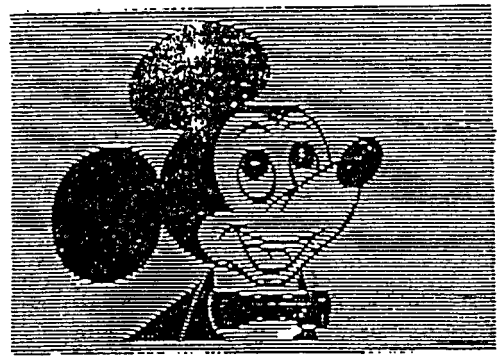
ในการส่งโทรทัศน์ระหว่างประเทศ หรือการแลกเปลี่ยนรายการ หรือถ่ายทอดสัญญาณที่มาตรฐานต่างกัน เพื่อให้เครื่องรับที่ออกแบบสำหรับระบบหรือมาตรฐานหนึ่ง สามารถรับสัญญาณที่มาตรฐานต่างกันได้ จะต้องผ่านสัญญาณมาตรฐานหนึ่งไปเข้าเครื่อง เปลี่ยนมาตรฐาน (Standard Converter) เสียก่อน การเปลี่ยนมาตรฐานระหว่าง PAL และ SECAM กระทำได้ง่ายกว่าการเปลี่ยนระหว่าง NTSC และ PAL หรือ SECAM ซึ่ง จะต้องเข้าใจถึงโครงสร้างพื้นฐานในการที่จะรับภาพได้สำหรับการรับภาพของเครื่องรับโทรทัศน์ทั่วไปอย่างง่ายๆเสียก่อน

2.3.1 โครงสร้างของสัญญาณภาพ

ก่อนอื่นจะต้องทำความรู้จักเกี่ยวกับโครงสร้างของสัญญาณภาพ ซึ่งภาพที่เรามองเห็นจะประกอบด้วยจุดเล็กๆจำนวนมากมายซึ่งเรียกว่า Picture element เป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งทำให้เกิดขึ้นโดย เส้นตามขวาง
(Horizontal line) กับ เส้นตามแนวดิ่ง (Vertical line) จะแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนจะมีขนาดเท่ากันแต่มีความสว่างไม่เท่ากัน ภาพโทรทัศน์ที่เรามองเห็นจะประกอบไปด้วย Picture element จำนวนมากมาย รูปต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นรายละเอียดของภาพที่ปรากฏเมื่อระบบโทรทัศน์ใช้จำนวนเส้น scan ต่างกัน โดยรูปที่ 2-7 (a) ใช้เส้น scan น้อยกว่า รูปที่ 2-7 (b)



รูปที่ 2-7 (a)



รูปที่ 2-7 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชัดเจนของภาพ (Resolution)

Resolution คือ ความสามารถในการถ่ายทอด series reproduct ของเส้นดำและเส้นขาว ความสามารถอันนี้โดยปกติระบุไว้เป็นจำนวนเส้นที่สามารถถ่ายทอดได้ (นับทั้งเส้นดำเส้นขาว) ในความยาวเท่ากับความสูงของภาพ

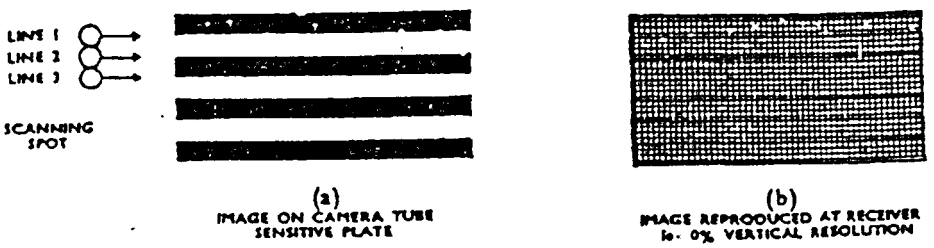
Vertical resolution ในลักษณะที่ดี ควรเท่ากับจำนวนเส้นของระบบโทรทัศน์นั้นๆ กล่าวคือ สามารถถ่ายทอดเส้นขาวดำและเส้นขาวเรียงลำดับไปทางแนวดิ่งจากบนลงล่าง (ณ ที่นี้คือ 625 เส้นสำหรับระบบโทรทัศน์ในประเทศไทย)

ในทางปฏิบัติแล้วนั้น field flyback ต้องการเวลาคิดเป็นจำนวน 25 เส้นต่อหนึ่ง field 50 เส้นในจำนวน 625 เส้นจะถูก blank ไป (เหลือเป็น active line 575 เส้น)

ขอให้พิจารณาอนุกรมของเส้นนอนดำและขาวดังแสดงในรูปที่ 2-8(a) การ Reproduce เส้น 1 ทำให้เกิดสัญญาณเป็นภาพดำ และเส้น 2 ทำให้เกิดภาพขาวและต่อๆไป ในกรณีเช่นนี้เราจะได้ vertical resolution 100% เต็มที่ และได้ภาพอย่างเดียวทางด้านรับในรูปที่ 2-8 (b) ณ ที่นี้สมมติเอาว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ scanning spot โตเท่ากับเส้นขาวดำเส้นหนึ่งๆ

รูปที่ 2-8 vertical resolution (กรณีที่ดีที่สุด)

ในกรณีที่เลวที่สุดซึ่ง scanning spot กวาดเส้นดำและขาวคนละครั้งดังแสดงในรูปที่ 2-9 (a) ภาพที่รับได้จะเป็นภาพกึ่งสีเทาตลอด และ vertical resolution จะเป็นศูนย์



รูปที่ 2-9 vertical resolution (กรณีที่เลวที่สุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัตินั้น vertical element ในภาพเฉลี่ยหนึ่งๆ จะไม่เป็น pattern ตายตัวแต่กระจายไปทั่วภาพ จำนวนเส้นที่สามารถจำแนกออกได้จะมีประมาณ 75% ของจำนวน active line ทั้งหมด นั่นคือ vertical resolution ที่คาดว่าจะได้มีค่าเป็น 575 * 0.75 = 430 เส้น (โดยประมาณ)

Horizontal resolution เพื่อให้สอดคล้องกันในเรื่องละเอียดของภาพ horizontal resolution ควรมีค่าอย่างเดียวกับ vertical resolution horizontal คือ ความสามารถในการ reproduce เส้นดำขาวเรียงสลับกันทาง horizontal ในความยาวเท่ากับความสูงของภาพจำนวนที่แท้จริงของเส้นที่สามารถจำแนกได้ในความกว้างทั้งหมดของภาพต้องนำ aspect ratio ซึ่งจะได้จำนวนที่แท้จริงของเส้นที่สามารถจำแนกทาง horizontal ได้ 4/3 * 430 = 573 เส้น

การสแกน หรือ การกวาดของลำอิเล็กตรอน

หน้าที่ของการสแกน ก็เพื่อที่จะเลือก Picture element ของภาพที่ชัดเจนบนฉากเรียงตามลำดับเพื่อทำการส่งและสร้างขึ้นใหม่ทางด้านรับ ให้ตรงกับด้านส่ง

การสแกน หมายถึง จำนวนเส้นของการสแกนต่อหนึ่งภาพ และจำนวนภาพที่ส่งออกไปต่อวินาที ถ้าเราส่งจำนวนต่อวินาทีออกไปมากเท่าไร การกระพริบของภาพจะลดลงเท่านั้นยิ่งเพิ่มจำนวนเส้นในการสแกน ก็ยิ่งจะได้ภาพที่ละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น

ให้จำนวนของ icture element = N

ให้จำนวนเส้นในการสแกน = n

ความสูงของภาพ = h

ความกว้างของภาพ = b

หาความสัมพันธ์ได้ว่า $N = \frac{b}{h} \times n^2$

b/n Aspect ratio = 4/3

จะเห็นได้ว่าความชัดเจนของภาพขึ้นอยู่กับ จำนวน Picture element (N) ให้ความถี่ของการสแกนทาง vertical (Fv) เท่ากับ จำนวนภาพ / วินาที ดังนั้น ความถี่ของ Horizontal scan (Fh) เท่ากับจำนวนภาพต่อวินาทีคูณด้วยจำนวนเส้นสแกน โทรทัศน์ระบบ 625 เส้น จะมีจำนวนเส้นในการสแกน เท่ากับ 625 เส้นต่อหนึ่งภาพ และจะมีจำนวนภาพ / วินาที เท่ากับ 25 ดังนั้นเราสามารถหาความถี่ของ Horizontal scan จะได้

Fh = 25 * 625 = 15,625 Hz

และ n = Fh / Fv = 15,625 / 25 = 625 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

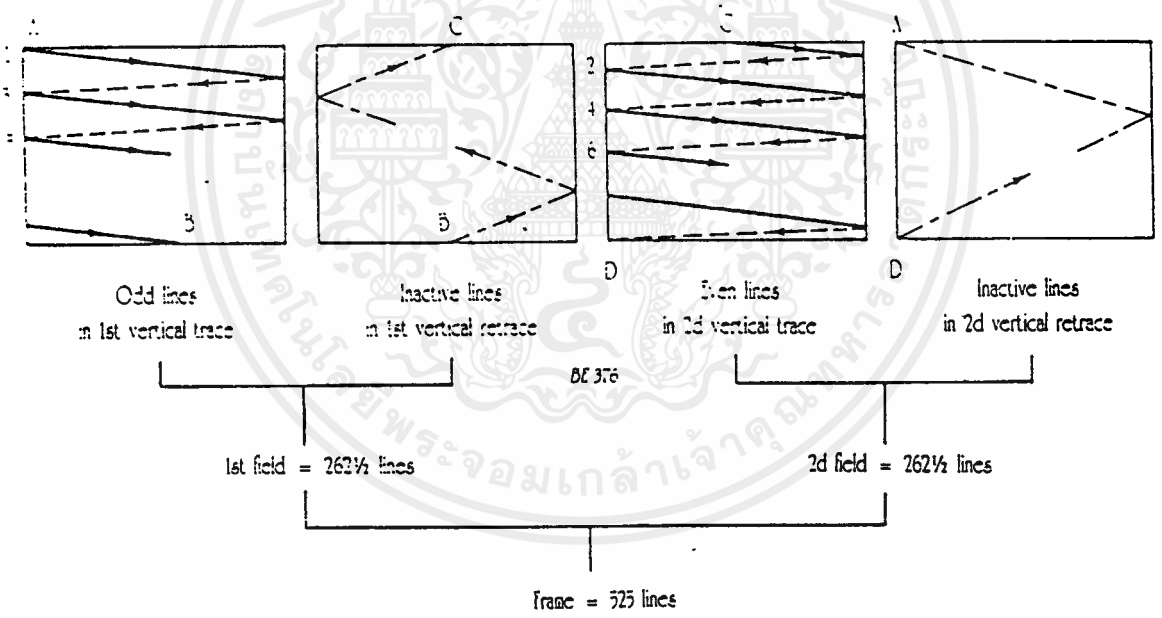
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.2 ความถี่และมาตรฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์

ปัจจุบันในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้มีการกำหนดช่วงความถี่ในการรับส่งสัญญาณอยู่ 2 ช่วงคือการรับส่งความถี่ในช่วง VHF และ UHF ซึ่งแบ่งตามมาตรฐานของ FCC และ CCIR

มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์

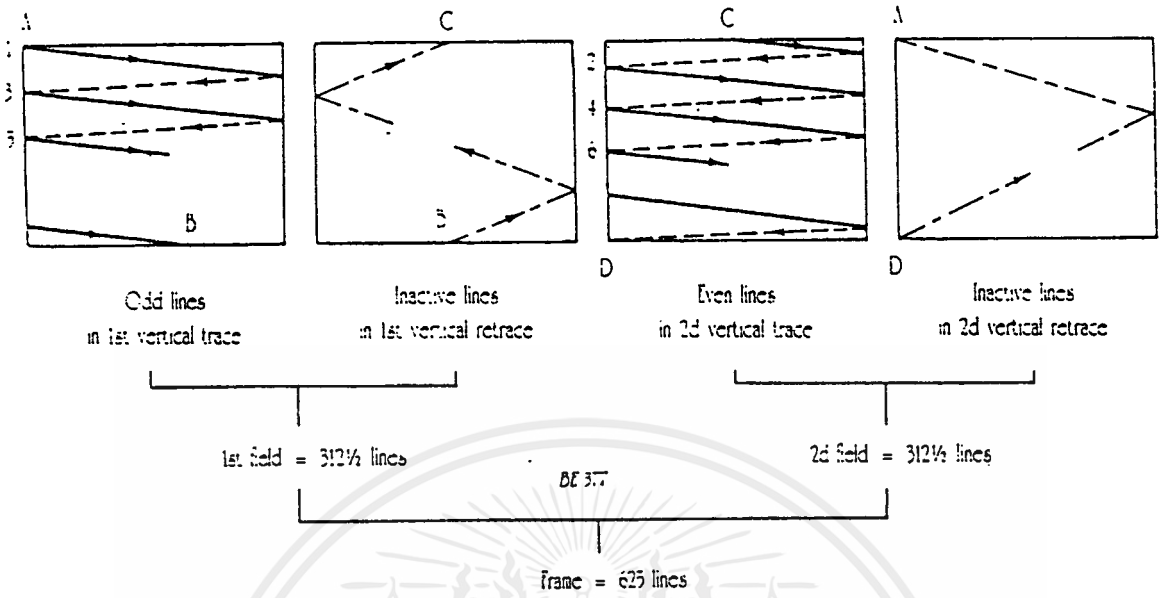
มาตรฐาน เอฟซีซี (FCC) ใช้เส้นสแกน 25 เส้นต่อ 1 ภาพ และใช้ภาพต่อ 30 ภาพต่อวินาที ดังนั้นใน 1 ฟิลด์ จะมีเส้นสแกน 262.5 เส้น ภาพนิ่งแต่ละภาพซึ่งเป็นส่วนประกอบขององค์ประกอบภาพจะเกิดขึ้นภายใน 1/30 วินาที ความถี่ที่ใช้เพื่อการหักเหลำอิเล็กตรอนในแนวนอนจึงได้มาจากจำนวนเส้นภาพ คูณกับจำนวนภาพในแต่ละเฟรม จึงได้ 525*30 เท่ากับ 15,750 เฮิรตซ์ ส่วนความถี่บังคับการหักเหในแนวตั้งใน 1 ฟิลด์จะใช้เวลาเพียง 1/60 วินาทีเท่านั้น ความถี่จึงเท่ากับ 60 เฮิรตซ์



รูปที่ 2-10 แสดงการสแกนแบบสลับเส้นหรือแบบสอดแทรกในระบบ เอฟซีซี

มาตรฐาน ซีซีไออาร์ (CCIR) ใช้เส้นสแกน 625 เส้นต่อหนึ่งภาพ และใช้ภาพ 25 ภาพต่อวินาที ดังนั้นใน 1 ฟิลด์ จะมีเส้นสแกน 312.5 เส้น ภาพนิ่งแต่ละภาพซึ่งเป็นส่วนประกอบขององค์ประกอบภาพจะเกิดขึ้นภายใน 1/25 วินาที ความถี่ที่ใช้เพื่อการหักเหลำอิเล็กตรอนในแนวนอนจึงได้จากจำนวนเส้นภาพ 625 เส้น คูณกับจำนวนภาพในแต่ละเฟรม ดังนั้นเราจึงสามารถหาความถี่ได้จาก 625*25 เท่ากับ 15,625 เฮิรตซ์ ความถี่หักเหทางแนวตั้งจึงเท่ากับ 50 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
31638



รูปที่ 2-11 แสดงการสแกนแบบสลับเส้นหรือแบบสอดแทรกในระบบ ซีซีไออาร์

ความถี่มาตรฐานของโทรทัศน์

ตามมาตรฐาน FCC กำหนดให้ความถี่โทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงมีความกว้างช่องละ 6 เมกะเฮิรตซ์ ในขณะที่มาตรฐาน CCIR กำหนดให้กว้างถึง 7 เมกะเฮิรตซ์ โดยแบ่งย่านความถี่ในช่วง VHF เป็น 2 แบนด์ คือ แบนด์ด้านต่ำ (lowband) กับแบนด์ด้านสูง (highband) เนื่องจากความถี่สูงมาก (Very High Frequency) อยู่ในช่วง 30 - 300 เมกะเฮิรตซ์ แต่ในย่านความถี่นี้มีการส่งกระจายเสียงของสถานีวิทยุเอฟเอ็ม ดังนั้น ความถี่แบนด์ต่ำในระบบ FCC จึงบรรจุโทรทัศน์ช่อง 2 - 6 เอาไว้ ในขณะที่ระบบ CCIR บรรจุช่อง 2 - 4 เอาไว้ ความถี่แบนด์กลางเป็นของเอฟเอ็ม และทางด้านแบนด์สูงของ FCC บรรจุช่อง 7 - 13 ในขณะที่ของ CCIR บรรจุช่อง 5 - 12 เอาไว้

ปัจจุบันประเทศไทยใช้ การแบ่งช่วงความถี่แบบ CCIR เพราะระบบส่งสัญญาณที่ใช้เป็นระบบ PAL 625 เส้น และ สำหรับวิทยุเอฟเอ็ม อยู่ในช่วงระหว่าง 88 - 107.5 MHz ในประเทศไทยได้ใช้มาตรฐานการส่งในระบบ CCIR โดยความถี่ที่ใช้กำหนดดังตารางที่ 2 และรายละเอียดของระบบการส่งโทรทัศน์ตามมาตรฐาน CCIR แสดงดังตารางที่ 1 ส่วนตารางที่ 3 เป็นตารางแสดงมาตรฐานโทรทัศน์ในแต่ละประเทศ

ช่องต่างๆในแบนด์ I และ III แสดงยังตารางที่ 1 ในแบนด์ I มี 4 ช่องด้วยกันแต่ช่อง 1 ไม่ใช้กับการส่งโทรทัศน์ ใช้เพื่อทำกิจกรรมอย่างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียรภาพทางความถี่ของคลื่นพาห์อยู่ภายใน ± 1 KHz แต่ถ้าเครื่องส่งใช้ความถี่ช่องเดียวกัน ในกรณีที่ตั้งของเครื่องอยู่ใกลคนละแห่งแล้วจะเกิดการรบกวนเนื่องจากใช้ช่องความถี่รวมกัน ก็อาจใช้วิธีตั้งความถี่พาห์ของภาพให้ผิดไป +10.5 KHz กับ –10.5 KHz จากความถี่ที่กำหนดก็จะลดลงของการรบกวนได้

ส่วนในตารางที่ 1 เป็นมาตรฐานสากลสำหรับการส่งโทรทัศน์ของประเทศต่างๆทั่วโลก ระบบการส่งโทรทัศน์ทุกระบบ Aspect ratio หรืออัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของภาพ 4:1 การกวาดของเส้นภาพเป็นแบบสอดแทรก (interlace scanning) โดยกวาดจากซ้ายไปขวา จากบนมาล่างความถี่ของฟิลด์ปกติจะเท่ากับความถี่ของไฟฟ้าที่ใช้ในบ้าน ยกเว้นบางประเทศ เช่นแคนาดา ญี่ปุ่นและบางประเทศในอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ นั่นคือ ไฟฟ้ากำลังที่จ่ายตามบ้านมีความถี่ 50 Hz แต่ใช้การกวาดภาพ 60 ฟิลด์ต่อวินาที โดยการรบกวนที่ปรากฏเป็นแถบดำเลื่อนบนจอภาพจะไม่เป็นปัญหาเกิดขึ้น เพราะว่าเครื่องรับสมัยใหม่ออกแบบให้มีริปเปิลต่ำมาก ระบบการกวาดแบบ 60 Hz นั้นการกะพริบของภาพ เมื่อให้จอภาพสว่างมากจะดีกว่าระบบ ส่วนระบบที่มีรายละเอียดของเส้นภาพสูง (high resolution) เช่นระบบ 819 เส้น ของฝรั่งเศษจะไม่เป็นการประหยัดเนื่องจากแถบความถี่กว้างมาก ทุกระบบยกเว้น 405 เส้นของอังกฤษ คลื่นที่ส่งออกไปเป็นแบบคือ สนามไฟฟ้าจะเป็นแนวราบ สังเกตสายอากาศของเครื่องรับจะวางขนานกับพื้นโลกวิธีนี้จะสามารถลดการรบกวนจากคลื่นไฟฟ้าที่เกิดจากมนุษย์ทำขึ้น เช่น จากรถยนต์ ได้

จากผลของการเติบโตทางการคมนาคมระหว่างชาติ และการแลกเปลี่ยนรายการโทรทัศน์ซึ่งกันและกัน ระบบโทรทัศน์ต่างๆจึงถูกจัดเป็นมาตรฐาน ดังนั้น ระบบ CCIR นี้โดยกำหนดให้เป็นระบบ A,B - - - N; และระบบ B นี้เป็นระบบที่นิยมมาก ระบบ A,B,C,D ,F ส่งในแบนด์ I และแบนด์ III เท่านั้น ส่วนระบบ G,H,I,K,L ส่งในย่าน UHF แบนด์ IV และแบนด์ V เท่านั้นส่วนระบบ M และ N ใช้กันทั้งย่าน VHF และ UHF

ระบบ G,H,I และ L นั้นใช้ระบบโทรทัศน์สีโดยเฉพาะ และนอกจากจำนวนเส้นและฟิลด์ต่อวินาทีเหมือนกันแล้ว ช่วงว่างระหว่างช่องความถี่จะเป็น 8 MHz

ในระบบ 625 เส้นสำหรับมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ พารองสำหรับสัญญาณสีจะมีค่า 4.43 MHz ในขณะที่ระบบ 525 เส้น จะมีค่า 3.85 MHz

ในแบนด์ IV และ V นี้ทางยุโรปตะวันออกจะใช้ระบบ G ในขณะที่ยุโรปตะวันตกและรัสเซียใช้ระบบ K มาตรฐานของระบบ K กับระบบ D เหมือนกัน ยกเว้นอัตราส่วนกำลังทางออกของภาพและเสียงที่ลดลง เพื่อให้เหมาะสมกับสีที่ต้องการ ระบบ A,C,E และ F ไม่ใช้กับการส่งโทรทัศน์สีและเลิกใช้กันแล้วโดยหันไปใช้มาตรฐาน 625 เส้นในแบนด์ IV และ V ระบบ B นิยมใช้กันมากในยุโรปตะวันตกและระบบ PAL สำหรับการส่งโทรทัศน์สี ส่วนระบบ D ใช้กันมากในประเทศยุโรปตะวันออก เช่น รัสเซีย และมาตรฐาน SECAM-3 สำหรับการส่งโทรทัศน์สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 มาตรฐานสากลของการส่งโทรทัศน์ (ระบบ CCIR)

	A (อังกฤษ)	B (EBU1)	C (เบลเยียม)	D (โซเวียต)	E ฝรั่งเศส 1	F เบลเยียม 2	M (อเมริกา)
จำนวนเส้น	405	625	625	625	819	819	525
ฟิลด์/วินาที	50	50	50	50	50	50	60
ภาพ/วินาที	25	25	25	25	25	25	30
เส้น/วินาที	10125	15625	15625	15625	20475	20475	15750
เวลาใน 1 เส้น (us)	98.7	64	64	64	48.84	48.84	63.5
วิดีโอแบนด์วิดธ์ (MHz)	3	5	5	6	10	5	4.2
แกมมา	0.4-0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.45
เวสติเชียลไซด์แบนด์	+0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-2	-0.75	-0.75
ระยะห่างของพาห์เสียงกับภาพ (MHz)	-3.5	+5.5	+5.5	+6.5	+11.15	+5.5	+4.5
วิดีโอมอดดูเลชั่นเอเอ็ม	+	-	+	-	+	+	-
ซาวด์มอดดูเลชั่น	AM	FM	AM	FM	AM	AM	FM
ความถี่เบี่ยงเบนของพาห์เสียง (KHz)		±50		±50			±25
ปรี-เอ็มฟาซิส (us)		50		50			75
แบนวิดธ์ของช่อง (MHz)	5	7	7	8	14	7	6
กำลังส่งออกอากาศของภาพต่อเสียง	4:1	5:1	4:1	5:1	4:1	4:1	10:1
%ของยอดสูดำ	35%	75%	25%	75%	25%	25%	75%
แบล็งค์ลิง	30%	75%	25%	75%	25%	25%	75%
ยอดขาว	10%	10%	100%	100%	100%	100%	12.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานสำหรับระบบ	G ( )	H ( )	I (อังกฤษ 2)	K (โซเวียต)	L (ฝรั่งเศส 2)	N (อเมอนตินา)
UHF 625 เส้น 50 ฟิลด์ วิดีโอแบนด์วิดธ์(MHz)	5	5	5.5	6	6	4.2
ระยะห่างพาร์เสียงกับภาพ	5.5	5.5	6	6.5	6.5	4.5
วิดีโอมอดดูเลชั่น	-	-	-	-	+	+
ซาวด์มอดดูเลชั่น	FM	FM	FM	FM	AM	FM
กำลังส่งออกของภาคเสียง	10:1	10:1	10:1	10:1	8:1	10:1
เวสติเชียล ไซด์แบนด์ (MHZ)	0.75 PAL/ SECAM_3	1.25 PAL/ SECAM_3	1.25 PAL	0.75 SECAM_3	1.25 SECAM_3	0.75 SECAM_3

ระบบ M ใช้กันแพร่หลายใน สหรัฐอเมริกา แคนาดา เม็กซิโก ญี่ปุ่น อิหร่าน เป็นต้น และโดยทั่วไปแล้วในระบบ NTSC สำหรับการส่งโทรทัศน์สี ระบบ N ใช้ในประเทศอาร์เจนตินา ระบบนี้คล้ายกันระบบ M เมื่อพิจารณาทางคุณสมบัติของช่องส่ง เว้นแต่ใช้ 625 เส้น 50 ฟิลด์ และระบบสีเป็น SECAM-3 ตารางที่ 1 แสดงมาตรฐานโทรทัศน์ต่างๆที่ใช้กันในประเทศทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 มาตรฐานโทรทัศน์ในประเทศต่างๆ

ประเทศ	มาตรฐาน	ประเทศ	มาตรฐาน
อาร์เยนตินา	N	ยูโกสลาเวีย	B,G
ออสเตรีย	B	ออสเตรเลีย	B
เบลเยี่ยม	C,F	บังคลาเทศ	B
แคนาดา	M	บัลกาเรีย	D
เช็คโกสโลวาเกีย	D	ศรีลังกา	B
อียิปต์	B	เดนมาร์ค	B
ฝรั่งเศส	E,L	ฟินแลนด์	B
ฮังการี	D	กายา	B,G
อินเดีย	B	เนเธอแลนด์	B
ไอร์แลนด์	A	อิหร่าน	M
ญี่ปุ่น	M	อิตาลี	B,G
เกาหลี	M	จอร์แดน	B,G
มาเลเซีย	B,G	ลักซ์เซมเบิร์ก	F
นิวซีแลนด์	D	เม็กซิโก	M
นอร์เวย์	B	โมรอคโค	B
ปานามา	M	ไนจีเรีย	B
ปอร์ตุเกส	B	ปากีสถาน	B
โรมาเนีย	D	โปแลนด์	D
สิงค์โปร์	B,G	ซิมบับเว	B
สวีเดน	B	ซาอุดิอาระเบีย	M
อเมริกา	M	สเปน	B
เยอรมันตะวันตก	B,G	อังกฤษ	A,I
เยอรมันตะวันออก	B	โซเวียต	D,K
ประเทศไทย	B	โมนาโค	E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สัญญาณภาพรวม

ในเครื่องส่งจะทำการส่งสัญญาณภาพพรวม (Composite Video Signal) ดังต่อไปนี้

สัญญาณเสียง
สัญญาณภาพ
สัญญาณแบล็งกิ้ง
สัญญาณซิงโครไนซ์
สัญญาณอีควอไลซิ่ง

ในระบบสัญญาณเสียงของเครื่องส่งนี้เป็นระบบเอฟเอ็ม ส่วนสัญญาณภาพและอื่นๆที่เหลือนั้นเราจะส่งเป็นสัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) แล้วใช้คลื่นพาห์ภาพออกไป การที่ต้องส่งสัญญาณทั้ง 5 ออกไปเพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

สัญญาณภาพและสัญญาณเสียง - เป็นสัญญาณที่ส่งไปเพื่อให้เกิดภาพและเสียงขึ้นในเครื่องรับโทรทัศน์
สัญญาณแบล็งกิ้ง - เป็นสัญญาณที่ส่งเพื่อให้ลบเส้นสะบัดกลับทั้งในแนวตั้งและแนวนอน
สัญญาณซิงโครไนซ์ - เป็นสัญญาณที่ทำให้การกวาดลำอิเล็กตรอนทั้งในทางแนวตั้งและแนวนอนของเครื่องส่งให้ตรงกับเครื่องรับ
สัญญาณอีควอไลซิ่ง - เป็นสัญญาณที่ช่วยให้สัญญาณซิงโครไนซ์ทั้งแนวตั้งและแนวนอนยังคงรูปเดิมอยู่ได้ แม้ว่า จะมีการสแกนแบบสลับเส้นก็ตาม

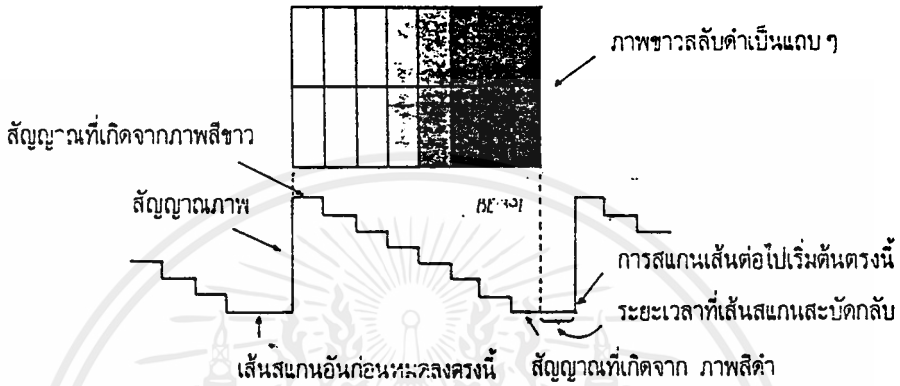
สัญญาณภาพขาว-ดำ

สมมติว่าเราจะดูระดับสัญญาณขาว-ดำ กรณีที่เรากล่าวถึงสัญญาณขาว-ดำหรือสัญญาณโมโนโครมได้ดีที่สุดต้องกล่าวว่าภาพที่เป็นสีขาวคือภาพที่มีความสว่างมากที่สุด และภาพที่เป็นสีดำคือภาพที่ไม่มีความสว่างเลย และภาพจำลองที่ดีที่สุดของกรณีก็คือแถบภาพที่มีความแตกต่างของระดับขาวดำทีละน้อย ซึ่งเราเรียกว่าระดับเกรย์สเกลนั่นเอง

จากรูปที่ 2-12 แสดงให้เห็นระดับของเกรย์สเกล ในกรณีที่ระดับของสัญญาณภาพเป็นสัญญาณสีขาวเข้ามา นั่นหมายความว่าระดับความแรงของสัญญาณภาพมากที่สุดจึงให้ความส่องสว่างที่หน้าจอสว่างที่สุด และเมื่อระดับสัญญาณสีขาวลดลงเป็นสีมัว เทา และ ดำ นั้น ระดับสัญญาณจะลดลงมาเรื่อยๆ นั่นหมายความว่าเมื่อสัญญาณมีความแรงน้อยลงความสว่างจะน้อยลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันที่จริงแล้วภาพแต่ละภาพเป็นสัญญาณความถี่ที่สูงต่ำไม่เท่ากัน โดยความถี่สูงสุดจะไม่เกิน 4 MHz ในระบบ FCC และไม่เกิน 5 MHz ในระบบ CCIR ภาพที่เกิดจากความถี่สูงย่อมมีความละเอียดมากกว่าความถี่ต่ำ (มีจำนวนจุดคำมากกว่า)



รูปที่ 2-12 แสดงระดับสัญญาณขาว - ดำ โดย เกรย์ สเกล

สัญญาณแบลงกิ้ง

ทราบแล้วว่าเมื่อมีการสแกนลำอิเล็กตรอนที่หน้าจอจะเกิดเส้นรีเทรสหรือเส้นสะบัดกลับ ซึ่งเป็นเส้นภาพที่เราไม่ต้องการ เครื่องส่งจึงต้องส่งสัญญาณแบลงกิ้ง เพื่อบังคับให้เครื่องรับสามารถลบเส้นสะบัดกลับได้ สัญญาณแบลงกิ้งส่วนหนึ่งเครื่องรับจะต้องสร้างขึ้นเหมือนการสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์แต่มันจะสัมพันธ์กับเครื่องส่งได้อย่างไร จึงต้องมีการส่งสัญญาณแบลงกิ้งมาจากเครื่องส่งเพื่อลบเส้นสะบัดกลับในเครื่องรับ สัญญาณแบลงกิ้งมีอยู่ 2 อย่าง คือ เวอร์ติคอล แบลงกิ้ง (Vertical Blanking) และ ฮอริซัลตอล แบลงกิ้ง (Horizontal Blanking)

สัญญาณซิงโครไนซ์

เป็นสัญญาณเพื่อให้การสแกนเป็นไปอย่างถูกต้อง ทั้งการสแกนแนวตั้งและแนวนอน โดยสัญญาณซิงโครไนซ์ หรือ สัญญาณซิงค์ มีอยู่ 2 สัญญาณคือ

ก.) ฮอริซัลตอล ซิงโครไนซ์ (Horizontal Synchronize)

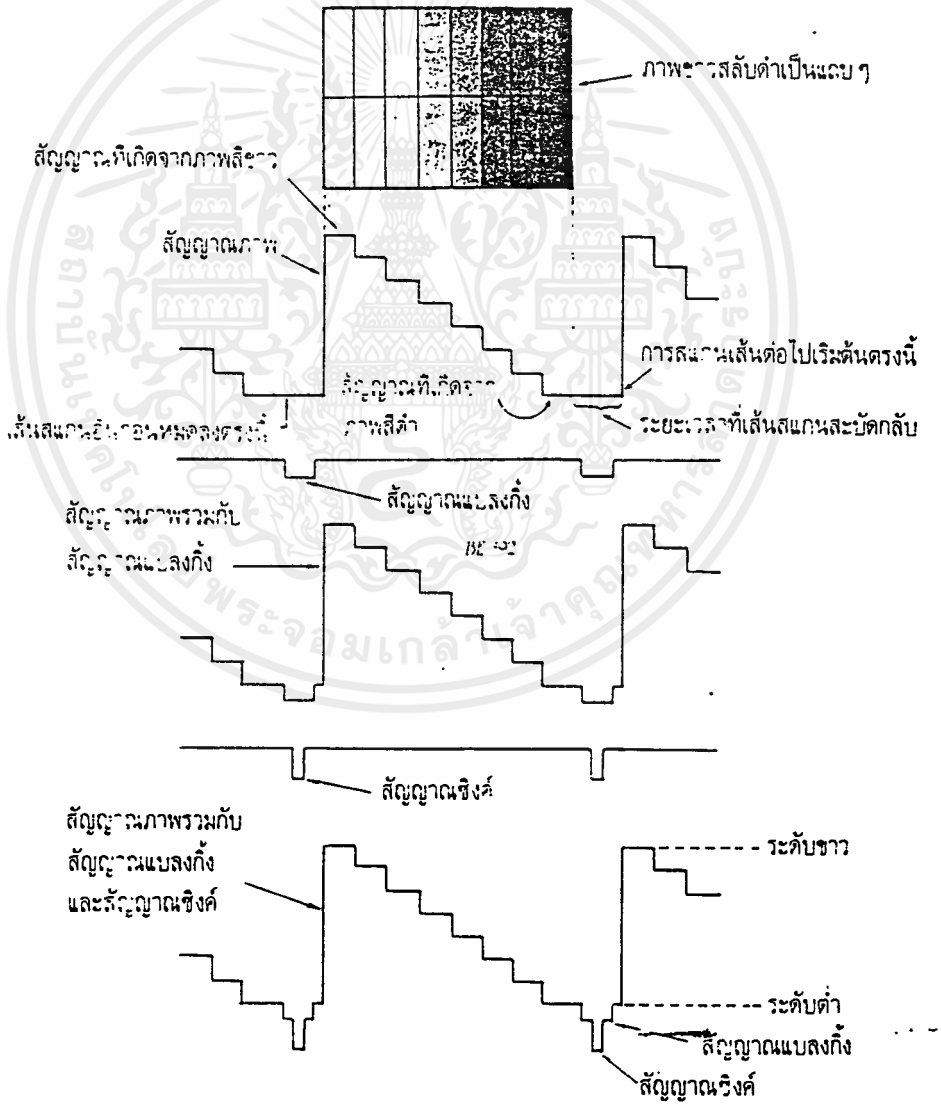
เป็นสัญญาณซิงค์ทางแนวนอน ซึ่งมีความถี่ 15,625 Hz (ในระบบ CCIR) ถ้าไม่มีสัญญาณส่วนนี้ส่งมาจะทำให้ภาพเกิดการล้มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.) เวอร์ติคอล ซิงโครไนซ์ (Vertical Synchronize)

เป็นสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้ง ซึ่งมีความถี่ 15,625 Hz (ในระบบ CCIR) ถ้าไม่มีการส่งสัญญาณในส่วนนี้จะทำให้ภาพเลื่อน

เนื่องสัญญาณซิงโครไนซ์กับสัญญาณแบลงกิ้งไม่ว่าจะเป็นในแนวนอนหรือแนวตั้ง จะมีความถี่เท่ากันเวลาส่งจึงต้องกำหนดตำแหน่งของการส่งให้ถูกต้อง มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการกวนกันได้ ในทางปฏิบัติจึงให้สัญญาณซิงค์พัลส์มีขนาดความกว้างน้อยกว่าแบลงกิ้งพัลส์ แล้วใช้วิธีการส่งแบบผสม กล่าวคือ ส่งซิงค์พัลส์ กับ แบลงกิ้งพัลส์ไปด้วยกัน ให้แบลงกิ้งพัลส์เป็นฐานของสัญญาณซิงค์พัลส์ เมื่อมีการจัดระดับของสัญญาณส่วนนี้เทียบกับเกรย์สเกลระดับของแบลงกิ้ง จะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าดำ ส่วนซิงค์จะเป็นระดับต่ำกว่าระดับดำมากกว่าลงไปอีก สัญญาณนี้จึงไม่มีการส่งผลต่อการมองเห็น (หรือไม่กวนสัญญาณภาพ) ดังรูปที่ 2-13

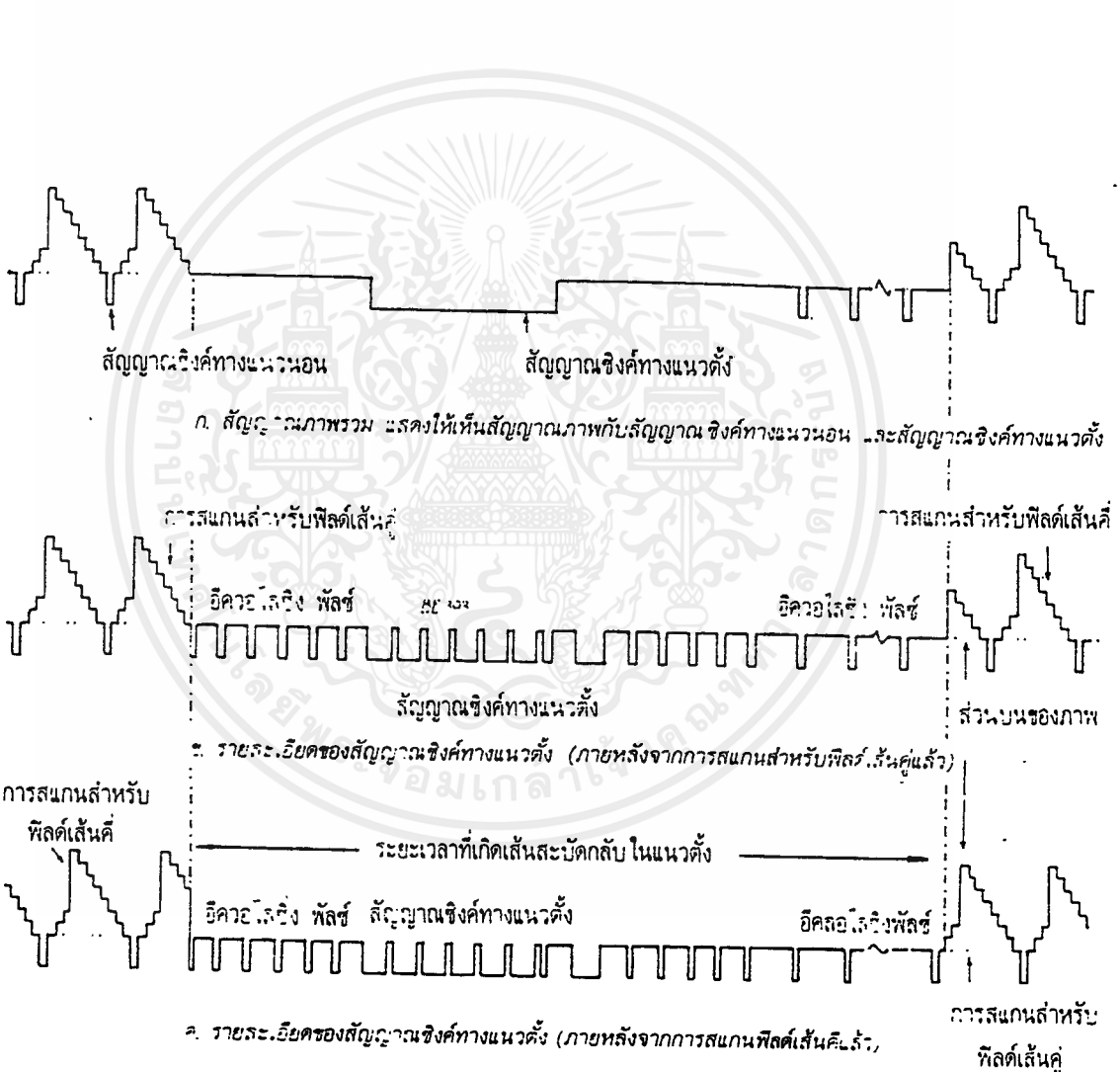


รูปที่ 2-13 แสดงลักษณะของสัญญาณภาพรวมเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอีควอไลซิ่ง

เป็นสัญญาณบังคับรูปร่างของสัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวตั้งเพื่อให้สามารถคงรูปถูกต้องได้ แล้วยังช่วยให้การสแกนแบบสลับเส้นเป็นไปได้ถูกต้องด้วย สามารถขึ้นเส้นคู่เส้นคี่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้ ทั้งยังส่งผลทางอ้อมให้สัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวนอนไม่ขาดช่วงหายไปในระหว่างการส่งสัญญาณทางแนวตั้งด้วย สัญญาณตัวนี้จะมีขนาดของพัลส์รวมเท่ากับเวอร์ติคัล ซิงโครไนซ์พัลส์ สัญญาณส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 6 ลูกเล็กๆในระบบ 525 เส้น และถูกแบ่งเป็น 5 ลูกในระบบ 625 เส้น ดังสดงในรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 แสดงสัญญาณภาพรวมที่มีรายละเอียดทุกอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

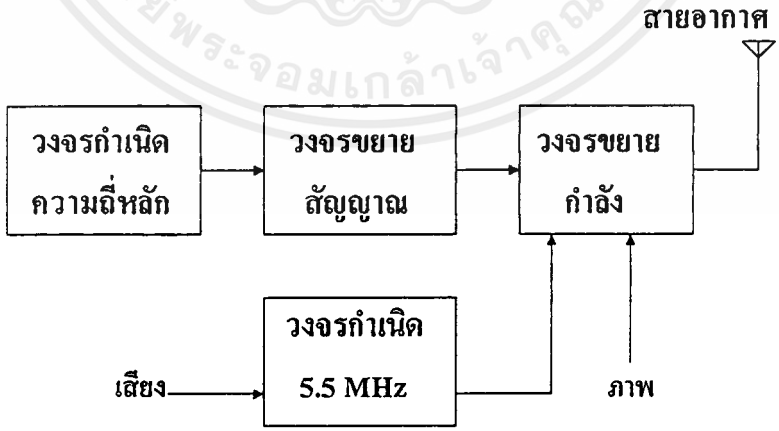
บทที่ 3
การดำเนินงานโครงงานพิเศษ

ในการที่จะเริ่มทำโครงงานพิเศษนี้จะต้องศึกษาว่าเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์จะต้องประกอบด้วยภาคใดบ้างและแต่ละภาคมีบล็อกไดอะแกรมเป็นอย่างไร และมีหลักการวิเคราะห์การทำงานของแต่ละภาคเพื่อให้ได้ผลดังจุดประสงค์ที่ต้องการ

3.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์และบล็อกไดอะแกรม

หลักการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์มีหลักการดังนี้ดังแสดงในรูปที่ 3-1

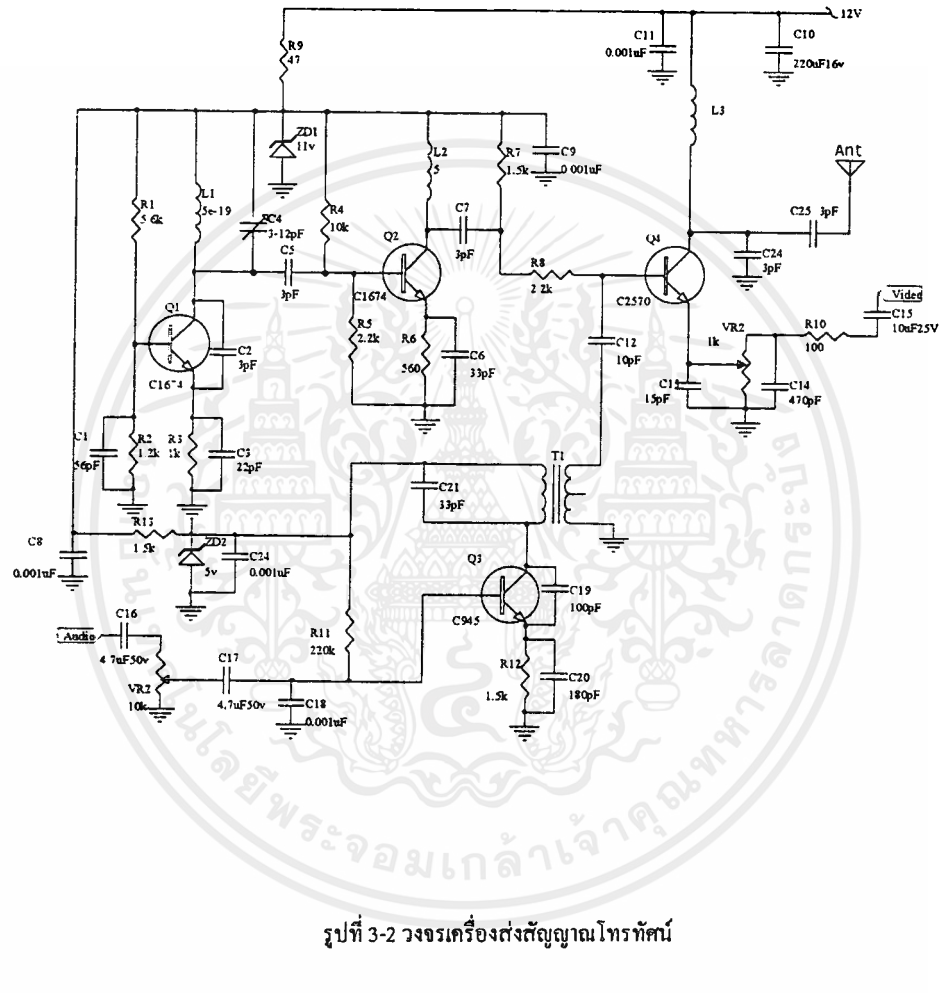
1. วงจรกำเนิดความถี่หลัก - ทำหน้าที่ผลิตความถี่ที่ใช้เป็นคลื่นพาห์ของสัญญาณภาพโทรทัศน์และเป็นความถี่หลักของการส่ง
2. วงจรขยายสัญญาณ - เป็นวงจรขยายความถี่จากภาคแรกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
3. วงจรกำเนิดความถี่ 5.5 MHz - เป็นวงจรที่ทำการมอดดูเลทกับสัญญาณเสียงด้วยคลื่นพาห์5.5 MHz แบบ FM และมีความถี่พาห์ต่างกับสัญญาณวิดีโอ 5.5 MHz เพื่อไม่ให้สัญญาณทั้งสองรบกวนกันเวลาส่ง
4. วงจรขยายกำลัง - วงจรนี้จะขยายสัญญาณให้มีกำลังสูงก่อนส่งและยังเป็นตัวมอดดูเลทสัญญาณภาพแบบ AM และ เสียง(ที่ผ่านการมอดดูเลทแบบ FM แล้ว)ก่อนส่งออกทางสายอากาศ



รูปที่ 3-1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์



รูปที่ 3-2 วงจรเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาคกำเนิดความถี่หลัก

จากรูปเป็นวงจรกำเนิดความถี่ แบบ LC ชนิด คอลพิทท์ (Colpitts) โดยมี L_1 กับ C_4 เป็นวงจรจูน

R_1 R_2 R_3 เป็นวงจรไบอัสให้ Q_1

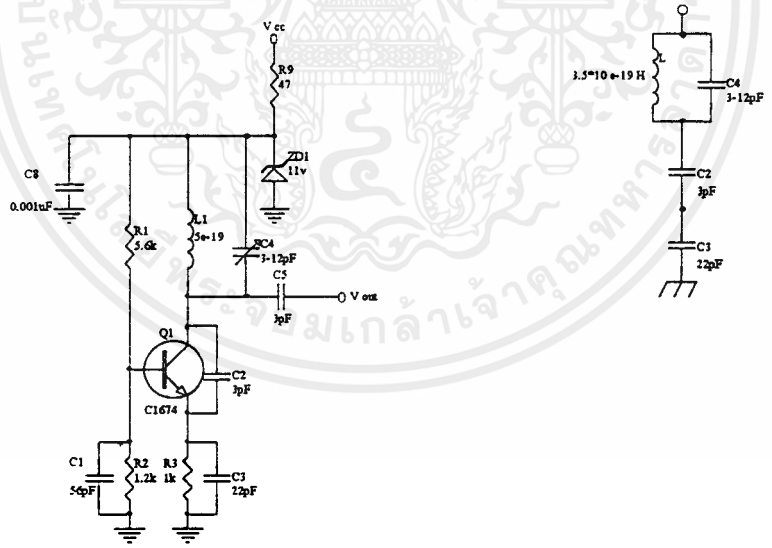
C_1 ตัดความถี่สูงที่ขาเบส

C_2 C_3 แบ่งแรงดันกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณที่จะทำการป้อนกลับจาก Collector มายังEmitter

ZD_1 เรกูเลตแหล่งจ่ายไฟ

R_9 จำกัดกระแส

C_8 กรองกระแสให้เรียบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวนหาความถี่ และพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการปรับเปลี่ยนความถี่

จากรูปเงื่อนไขของความถี่เมื่อเกิดการเรโซแนนซ์ จะได้

$$\frac{1}{j\omega c_3}+\frac{1}{j\omega c_2}+\left(j\omega L \,//\, \frac{1}{j\omega c_4}\right)=0$$

$$\frac{1}{j\omega c_3}+\frac{1}{j\omega c_2}+\frac{j\omega L \times \frac{1}{j\omega c_4}}{j\omega L+\frac{1}{j\omega c_4}}=0$$

$$\frac{1}{j\omega c_3}+\frac{1}{j\omega c_2}+\frac{j\omega L}{j\omega L\cdot j\omega c_4+1}=0$$

$$\frac{(j\omega c_2)(j\omega L\cdot j\omega c_4+1)+(j\omega c_3)(j\omega L\cdot j\omega c_4+1)+(j\omega L)(j\omega c_3)(j\omega c_2)}{(j\omega c_3)(j\omega c_2)(j\omega L\cdot j\omega c_4+1)}=0$$

$$(j\omega L\cdot j\omega c_4+1)(j\omega c_2+j\omega cc_3)+(j\omega L)(j\omega c_3)(j\omega c_2)=0$$

$$(1-\omega^2 L c_4)(j\omega c_2+j\omega c_3)-j\omega^3 L c_3 c_2=0$$

$$j\omega c_2-j\omega^3 L c_4 c_2-j\omega^3 L c_4 c_3+j\omega c_3-j\omega^3 L c_3 c_2=0$$

$$j\omega(c_2+c_3)-j\omega^3(L c_4 c_2+L c_4 c_3+L c_3 c_2)=0$$

$$(c_2+c_3)-\omega^2(L c_4 c_2+L c_4 c_3+L c_3 c_2)=0$$

$$\omega^2=\frac{c_2+c_3}{L c_4 c_2+L c_4 c_3+L c_3 c_2}$$

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{L(c_4 c_2+c_4 c_3+c_3 c_2)}{c_2+c_3}}}$$

จากสมการข้างต้นในการหาค่าความถี่ของวงจรตัวแปรที่สำคัญคือค่า C จะมีผลต่อค่าความถี่ แต่จากการพิจารณาของรูปวงจร จะพบว่า C_2 และ C_3 จะเป็นตัวแบ่งแรงดันให้กับวงจร ส่วนค่า L จะมีผลต่อวงจรเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ค่า C_4 จะเป็นตัวแปรสำคัญ ในวงจรจะใช้ค่า L ประมาณ 3.5×10^{-19}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H ส่วนค่า C_4 จะใช้เป็นตัวจูนความถี่โดยใช้ค่า 3-12 pF และเมื่อทำการคำนวนหาความถี่ตามสมการจะได้ความถี่หลักอยู่ในช่วง 70 - 113 MHz

แสดงการคำนวณ

ที่ $C_4 = 3pF$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{(3.5\times10^{-19})\left[(3pF\cdot3pF)+(3pF\cdot22pF)+(3pF\cdot22pF)\right]}{3pF+22pF}}}$$

$$f = 113MHz$$

ที่ $C_4 = 12pF$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{(3.5\times10^{-19}H)\left[(12pF\cdot3p)+(12pF\cdot22pF)(3pF\cdot22pF)\right]}{3pF+22pF}}}$$

$$f = 70Mz$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาคขยายสัญญาณ

จากรูป V_{out} จากภาคแรกจะถูกส่งมาขยายสัญญาณในภาคนี้โดย

C_5 เป็น C คับปลิ้ง Output จากภาคแรกมายังภาคที่ 2

R_4 R_5 R_6 เป็นวงจรไบอัสให้ Q_2

C_6 เป็นตัวเก็บประจุบายพาสความถี่ลงกราวน์เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังงานของ AC

L_2 เป็นตัวส่งผ่านไฟตรง เลี้ยงวงจรให้ Q_2 และเป็น RF โช้ค ป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาห์ภาพออกไปยังแหล่งจ่ายไฟ

ZD_1 เรกูเลตแหล่งจ่ายไฟ

R_9 จำกัดกระแส

C_9 กรองกระแสให้เรียบขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RB = R4 // R5

= (10k).(2.2k)/ 10k + 2.2k Ω

= 1.8 kΩ

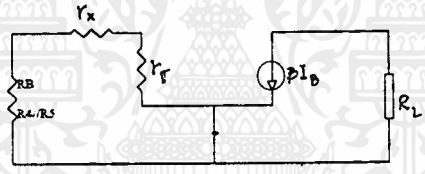
วงจรนี้เป็นวงจรขยายสัญญาณ พารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ A_v A_i Z_{in} Z_{out}

โดย

$$A_i = \frac{g_m V}{I_B} = g_m r_\pi = \beta \qquad A_v = \beta \frac{R_L}{R_B // (r_x + r_\pi)} = \frac{V_0}{E_i}; V_0 = A_v V_{in}$$

$$Z_i = R_B // (r_x + r_\pi) \qquad Z_o = Z_L = j\omega L$$

วิเคราะห์ ac เขียนวงจรดังรูป



แสดงวิธีการคำนวณ

หาค่า r_x และ r_π จาก

$$I_c = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}\beta \qquad \text{โดย } \beta \text{ ดูจากคู่มือทรานซิสเตอร์}$$

$$\Rightarrow V_B = \frac{R_4}{R_4 + R_5} V_{cc} = \frac{10k}{10k + 2.2k}(11V) = 9V$$

$$I_c = \frac{9V - 0.6V}{1.8k\Omega}(40)$$

$$= 0.186A$$

หาค่า g_m โดย $I_C = g_m V$ ....(1)

และ $V = I_B r_\pi$ ....(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทน 2 ใน 1 $I_c = g_m I_B r_\pi$ ....(3)

โดยที่ $g_m = \dfrac{I_c}{\dfrac{kT}{q}}$

แทนค่า

$$g = \frac{0.186A}{\dfrac{(1.38\times10^{-23}J/^\circ K)\times(25+273K)}{1.6\times10^{-19}K}}$$

$$= 7.236$$

และ $I_B = \dfrac{I_c}{\beta} = \dfrac{0.186A}{40}$

$$= 4.65mA$$

แทนค่าลงในสมการที่ 3 จะได้

$$0.186A = 7.236 \times 4.65mA \times r_\pi$$

$$r_\pi = 5.52\Omega$$

และ $h_{ie} = r_x + r_\pi$

โดย $h_{ie} = \dfrac{V_{BE}}{I_B} = \dfrac{0.6V}{4.65mA}$

$= 129.03$

$$\therefore r_x = h_{ie} - r_\pi$$

$= 129.03 - 5.52$

$= 123.51\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ ค่า r_x และ r_π จึงคำนวณหาค่า พารามิเตอร์ต่างๆข้างต้น

1. $Z_{in} = 1.8k \,//\, (123.51 + 5.52)$ Ω

$= (1.8k) \times (129) \,/\, (1.8k + 129)$ Ω

$= 120$ Ω

2. $Z_{out} = ZL = j\omega L = j(2\pi f) L$

$= j \times 2 \times 3.14 \times 91.32\ MHz \times 0.053uH$

$= 30j$ Ω

3. $A_i = \dfrac{g_m V}{I_B} = g_m r_\pi = \beta$

$= 40$

4. $A_v = \beta \dfrac{R_L}{R_B \,//\, (r_x + r_\pi)} = \dfrac{V_0}{E_i}; V_0 = A_v V_{in}$

$= 40*30j \,/\, 120$

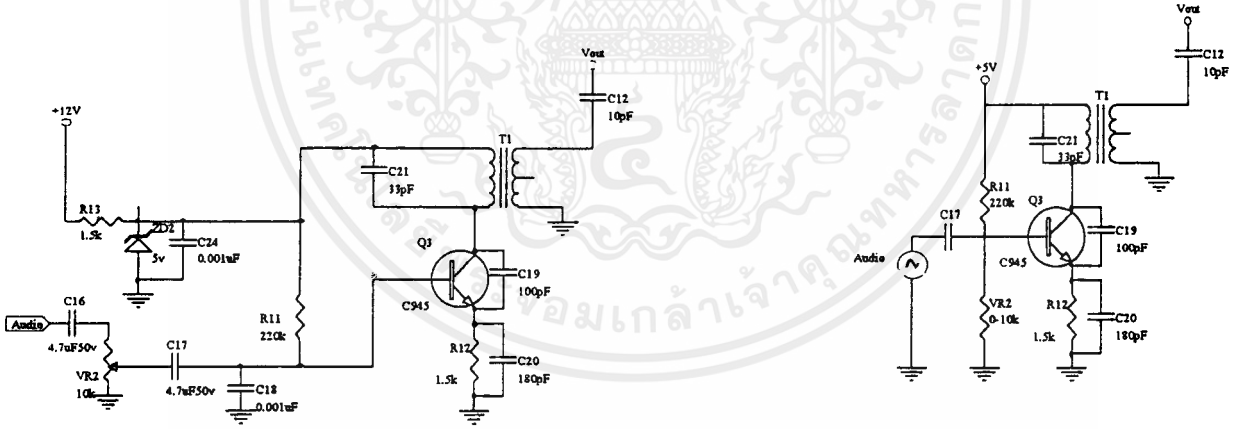
$= 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาคกำเนิดความถี่ 5.5 MHz

จากรูป Input ในที่นี้คือ สัญญาณเสียง จะคับปลิ้งผ่าน C_{16} และ C_{17} ไปยัง Q_3 โดยมี VR_2 เป็นตัวปรับช่วงเบี่ยงเบนความถี่ ในภาคการกำเนิดความถี่ เป็น LC Oscillator แบบ คอลพิทท์ (Colpitts) เหมือนกับภาคแรก แต่ จัดวงจรเป็นแบบ VCO เพื่อทำการมอดดูเลทสัญญาณเสียงที่เข้ามา กับ คลื่นพาห์ 5.5 MHz หลังจากนั้น Output ของวงจรจะถูกคับปลิ้งผ่าน T_1 และ C_{12} ไปยังขาเบสของ Q_4

R_{11} R_{12}	เป็นตัวต้านทานไบอัส
C_{18}	ตัดความถี่สูงที่ขาเบส
C_{19} C_{20}	เป็นตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน
ZD_2	เรกูเลตแหล่งจ่ายไฟ
R_{13}	จำกัดกระแส
C_{24}	กรองกระแสให้เรียบขึ้น



เนื่องจากวงจรในภาคนี้เหมือนกับวงจรในภาคแรก ดังนั้นการคำนวณค่าความถี่เรโซแนนซ์จึงมีรูปแบบสมการเหมือนกัน และความถี่ในภาคนี้จะต้องได้ค่า 5.5 MHz ตามมาตรฐานการส่งสัญญาณ ค่า L ในที่นี้คือ Tank Oscillator แบบ FM (T_1) สำหรับวงจรนี้ ค่า C ต่างๆจะไม่ทำการปรับแต่ จะมีการจูน T_1 (L) เพื่อให้สัญญาณเสียงมีรูปแบบในการมอดดูเลทแบบ FM และคอยล์กระป๋องแบบ FM นี้มีค่า L ประมาณ 8.60 uH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

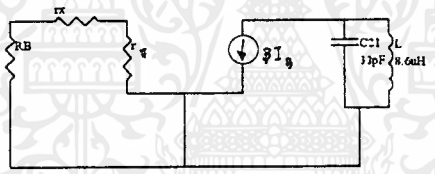
แทนค่าลงในสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{L\left(c_{21}c_{19} + c_{21}c_{20} + c_{19}c_{20}\right)}{c_{19} + c_{20}}}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{(8.6\mu H)\left[(33pF \cdot 100pF) + (33pF \cdot 180pF) + (100pF \cdot 180pF)\right]}{100pF + 180pF}}}$$

$$f = 5.5\,MHz$$

วิเคราะห์ ac เขียนวงจรดังรูป



จากรูป $R_B = R_{11} \,//\, VR_2$ โดย $VR_2 = 0 - 10\,k\Omega$

-เมื่อปรับ VR_2 เป็น $0\,\Omega$ ค่า $R_B = 0\,\Omega$

-เมื่อปรับ VR_2 เป็น $10k\Omega$ ค่า $R_B = 220k \,//\, 10k = \frac{220k \times 10k}{220k + 10k} = 9.56k\Omega$

แสดงวิธีการคำนวณ

หาค่า r_x และ r_π จาก

$$I_c = \beta \cdot I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}$$ โดย β ดูจากคู่มือ

ทรานซิสเตอร์

$$\Rightarrow V_B = \frac{R_{11}}{R_{11} + VR_2} V_{cc} = \frac{220k}{10k + 220k}(5V) = 4.78V$$

จะเห็นว่าไม่คิดถึงกรณีที่ VR_2 เป็น $0\,\Omega$ เพราะเมื่อหาค่า I_c จะเท่ากับ 0 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_c = \frac{4.78V - 0.6V}{9.56k\Omega}(90)$$

$$= 0.039A$$

หาค่า g_m โดย $I_C = g_m V$ ....(1)

และ $V = I_B r_\pi$ ....(2)

แทน 2 ใน 1 $I_c = g_m I_B r_\pi$ ....(3)

โดยที่ $g_m = \frac{I_c}{\frac{kT}{q}}$

แทนค่า

$$g = \frac{0.039A}{\frac{\left(1.38 \times 10^{-23} J/^\circ K\right) \times (25 + 273K)}{1.6 \times 10^{-19} K}}$$

$$= 1.551$$

และ $I_B = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0.039}{90}$

$$= 4.33 \times 10^{-4} A$$

แทนค่าลงในสมการที่ 3 จะได้

$$0.039A = 1.551 \times \left(4.33 \times 10^{-3} A\right) \times r_\pi$$

$$r_\pi = 58.07\Omega$$

และ $h_{ie} = r_x + r_\pi$

โดย $h_{ie} = \frac{V_{BE}}{I_B} = \frac{0.6V}{4.33 \times 10^{-4} A}$

$$= 1385.68$$

$$\therefore r_x = h_{ie} - r_\pi$$

$$= 1385.68 - 58.07$$

$$= 1327.61\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ ค่า r_x และ r_π จึงคำนวณหาค่า พารามิเตอร์ที่สำคัญ

1. $Z_i = R_B // r_x + r_\pi$

$$= \frac{9.56k \times 1.386k}{9.56k + 1.386k}$$

$$= 0 - 1.21k\Omega$$

2. $Z_o = Z_c // Z_L$

$$= \frac{j\omega L}{1 + j\omega L \cdot j\omega c}$$

$$= \frac{j \times 2 \times \pi \times 5.5MHz \times 8.6uH}{1 - 4 \times \pi^2 \times (5.5MHz)^2 \times 8.6uH \times 33pF}$$

$$= 449j$$

3. $A_i = \beta = 90$

4. $A_v = 33j$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ภาคขยายกำลัง

สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้ว จะถูกคับปลิ้งผ่าน C_7 มายัง Q_4 เป็นส่วนขยายกำลังก่อนส่งและทำการมอดดูเลทแบบ AM ซึ่งจะถูกลดทอนความแรงด้วย R_8 เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับสัญญาณเสียงที่ผ่านเข้ามายังขาเบสของ Q_4

R_7 R_8 เป็นตัวต้านทานไบอัสให้กับ Q_4

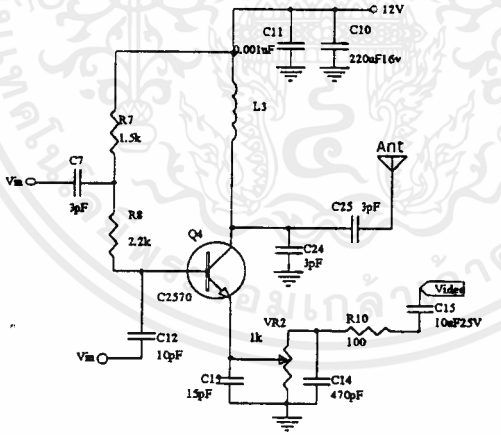
L_3 เป็นตัวส่งผ่านไฟตรง และเป็น RF โช้ค

C_{10} C_{11} C_{23} เป็นตัวกรองกระแส

C_{13} C_{14} C_{15} เป็นตัวคับปลิ้งสัญญาณภาพ

R_{10} ปรับลดขนาดความแรงของสัญญาณภาพ

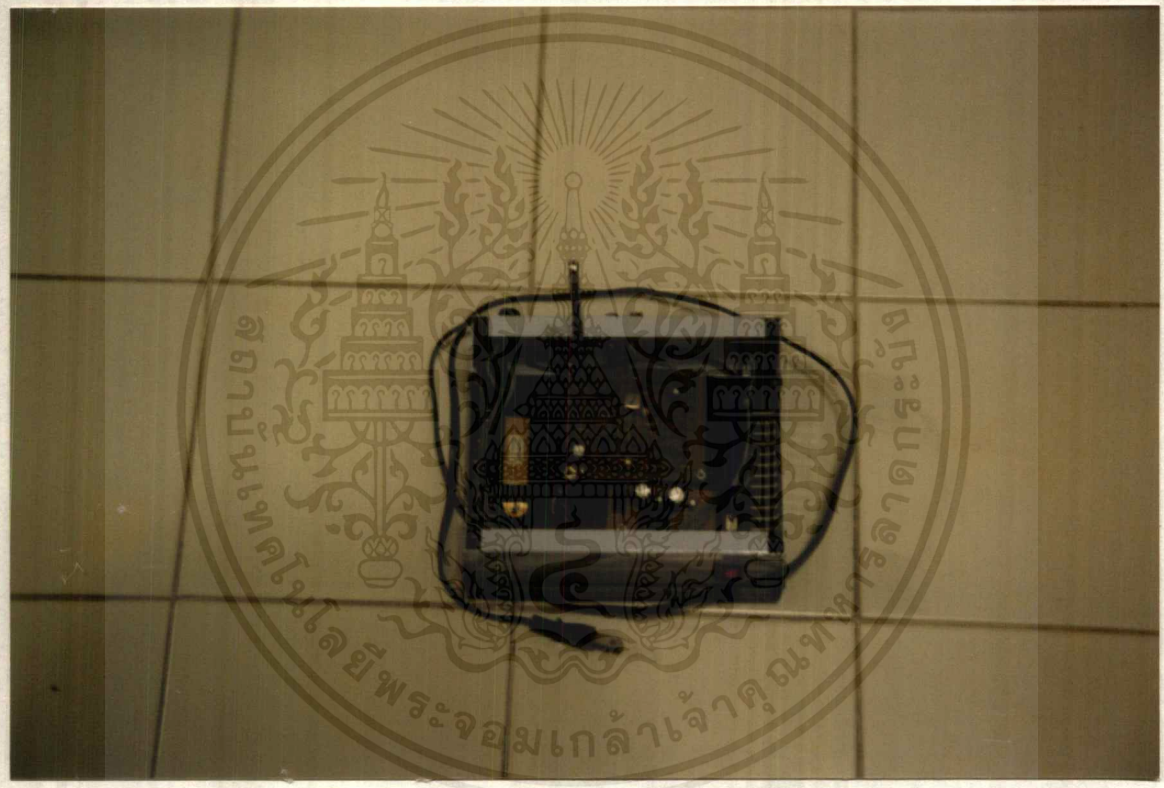
VR_1 ปรับสัญญาณภาพในการมอดดูเลท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

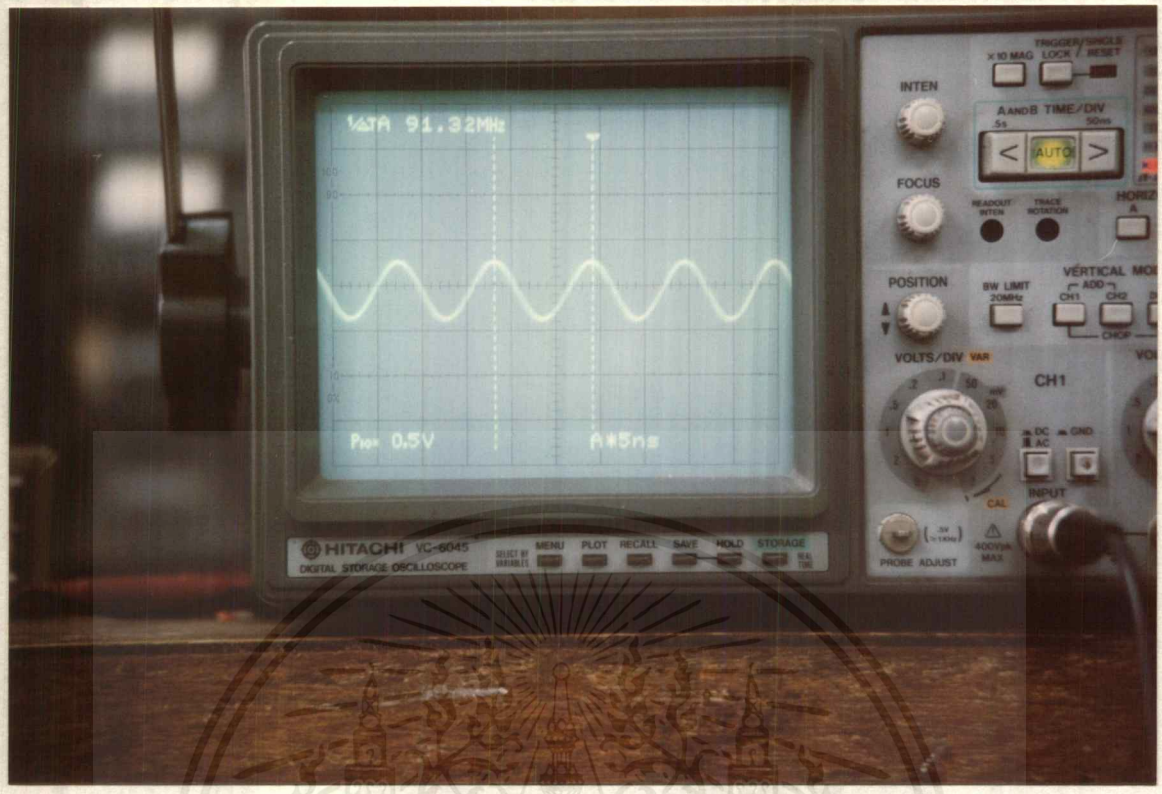
บทที่ 4

การทดลอง

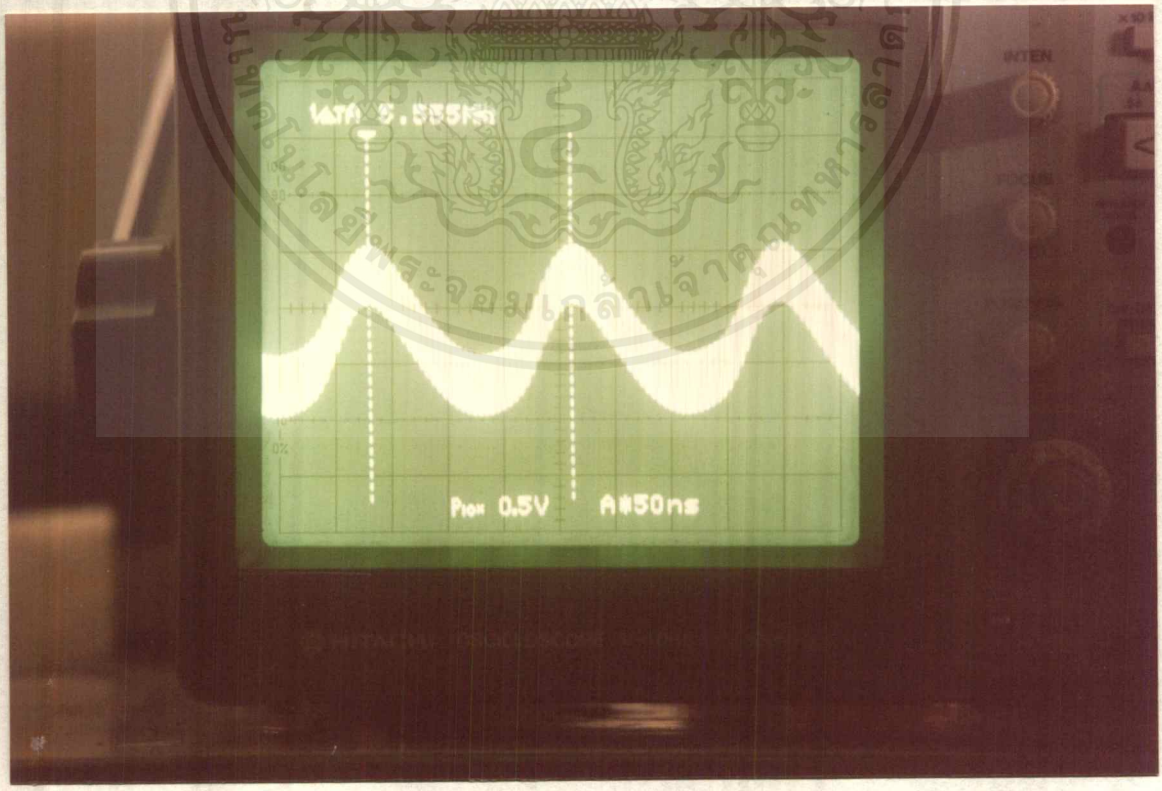


รูปที่ 4-1 เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

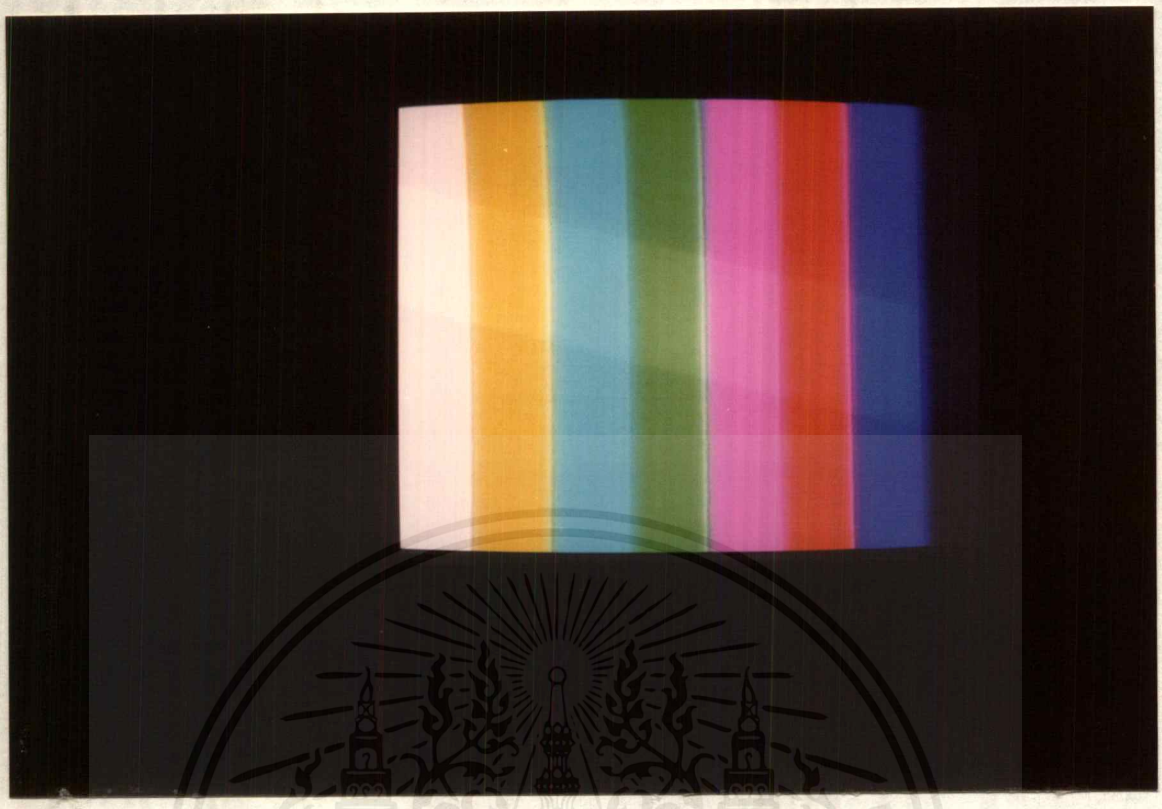


รูปที่ 4-2 ความถี่ในวงจรภาคกำเนิดความถี่หลัก

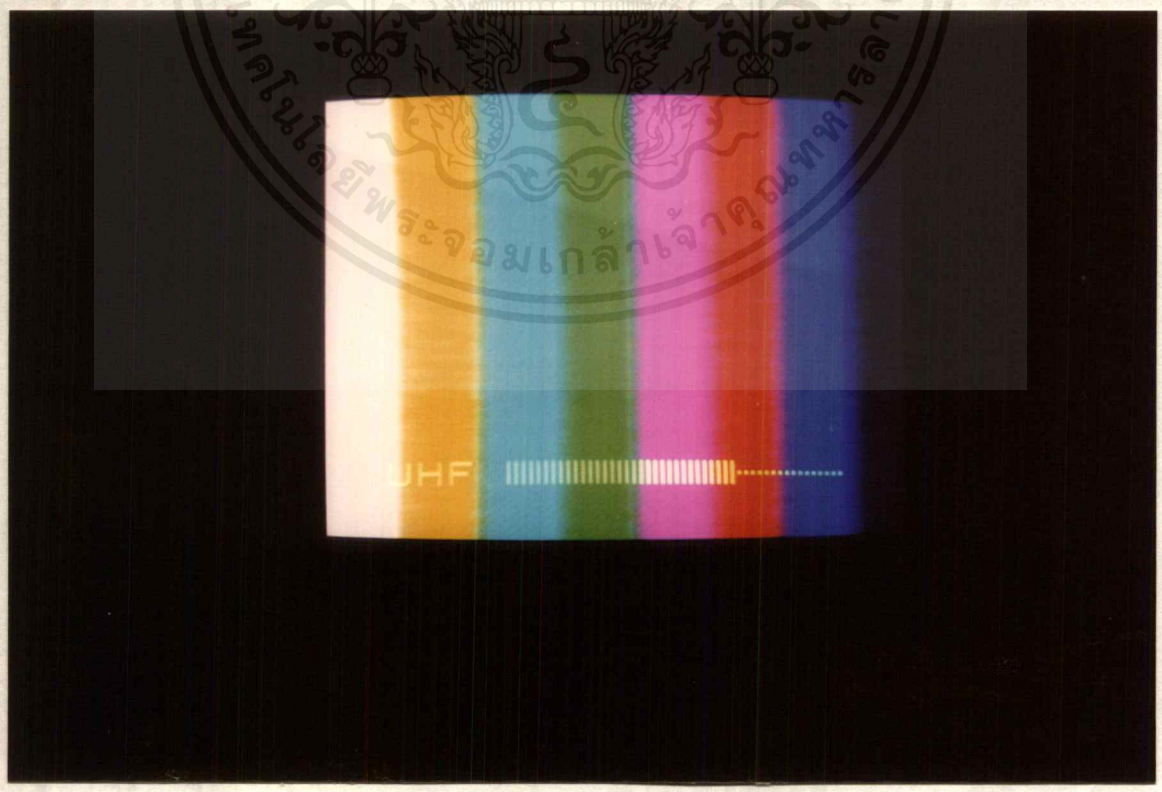


รูปที่ 4-3 ความถี่ในวงจรกำเนิดความถี่ 5.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 รูปแสดงการส่งสัญญาณแบบมีสาย



รูปที่ 4-5 รูปแสดงการส่งสัญญาณแบบไร้สายของเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองจะทำการ

-วัดสัญญาณในภาคกำเนิดความถี่เพื่อทดสอบให้ตรงกับการดำเนินงานว่าได้ค่าตามที่คำนวณไว้
-ทำการทดสอบการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบไร้สาย เทียบกับการส่งตามปกติ(แบบมีสาย) พร้อมทั้งออกแบบลายวงจรเพื่อประกอบอุปกรณ์และบรรจุลงกล่องและทดสอบประสิทธิภาพในการส่งอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทำการทดลองโครงงานพิเศษ
สามารส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบไร้สายได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

สำหรับระยะทางที่ส่งได้ไม่ไกล จากการศึกษาการสร้างวงจร สามารถเพิ่มระทางในการส่งได้โดย

1. ใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีคุณสมบัติในการขยายกระแสที่มากขึ้น (β มากๆ)
2. ออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้มีกระแสเพิ่มมากขึ้น

การสร้างเสถียรภาพที่ดีเพิ่มให้กับวงจร

1. อาจเลือกใช้วงจรผลิตความถี่ชนิด แบบใช้ชิ้นผลึก (Crystal Oscillator) ทำให้เสถียรภาพทางความถี่ของวงจรดีขึ้น
2. ใช้วงจรที่เป็นวงจรรวม (Integrate Circuits : IC) จะทำให้ผลของอุปกรณ์ เช่น ทรานซิสเตอร์ดีขึ้น เกิดสนามแม่เหล็กรบกวนวงจรได้น้อยลง

ประโยชน์ที่ได้รับจากเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์

1. ทำให้สามารถเลือกออกแบบวงจรได้มีประสิทธิภาพขึ้น และเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องส่ง
2. ใช้ส่งได้ในพื้นที่ที่ต้องการรับสัญญาณเดียวกันโดยไม่ต้องต่อสายสัญญาณให้ยุ่งยาก และไม่ต้องใช้เครื่องเล่นวิดีโอหลายเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่สำคัญในวงจรต่างๆ

1. วงจรกำเนิดความถี่หลัก

เป็น LC Oscillator ชนิด Colpitts

จาก $f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{\dfrac{L\left(c_4c_2 + c_4c_3 + c_3c_2\right)}{c_2 + c_3}}}$

C_4 เป็นตัวจูนความถี่ โดยใช้ค่าในช่วง 3 - 12 pF จะได้ความถี่ในช่วง 70 - 113 MHz ซึ่งจากการวัด จากออสซิลโลสโคป ได้ 91.32 MHz

2. วงจรขยายสัญญาณ

เป็นวงจรขยายสัญญาณชนิดคอมมอนอิมิตเตอร์ คือ สัญญาณเข้าที่เบส ออกที่คอลเลคเตอร์ และได้อัตราขยายในเชิงกลับเฟส

ได้ค่า 1. Z_i = 120 Ω

2. Z_o = 30 Ω

3. Ai = 40

4. Av = 10

3. วงจรกำเนิดความถี่ 5.5 MHz

เป็น LC Oscillator ชนิด Colpitts

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\dfrac{L\left(c_{21}c_{19} + c_{21}c_{20} + c_{19}c_{20}\right)}{c_{19} + c_{20}}}}$$

L จะเป็นตัวปรับระดับการมอดูเลทกับสัญญาณเสียง เพื่อให้ได้ 5.5 MHz ตามที่ได้คำนวณ และจากผลการทดลองได้ความถี่ 5.55 MHz ซึ่งได้ผลเบี่ยงเบนเล็กน้อย

4. ภาคขยายกำลัง

1. A_i = 40

2. A_v = 0.009

3. A_p = 0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์ เครื่องส่งวิทยุและโทรทัศน์, ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

2. MOT GROUP ความรู้เบื้องต้นทางวิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพ.

3. Ben, Z. Transistor Circuit Analysis and Application, Reston Publishing Co., 1976.

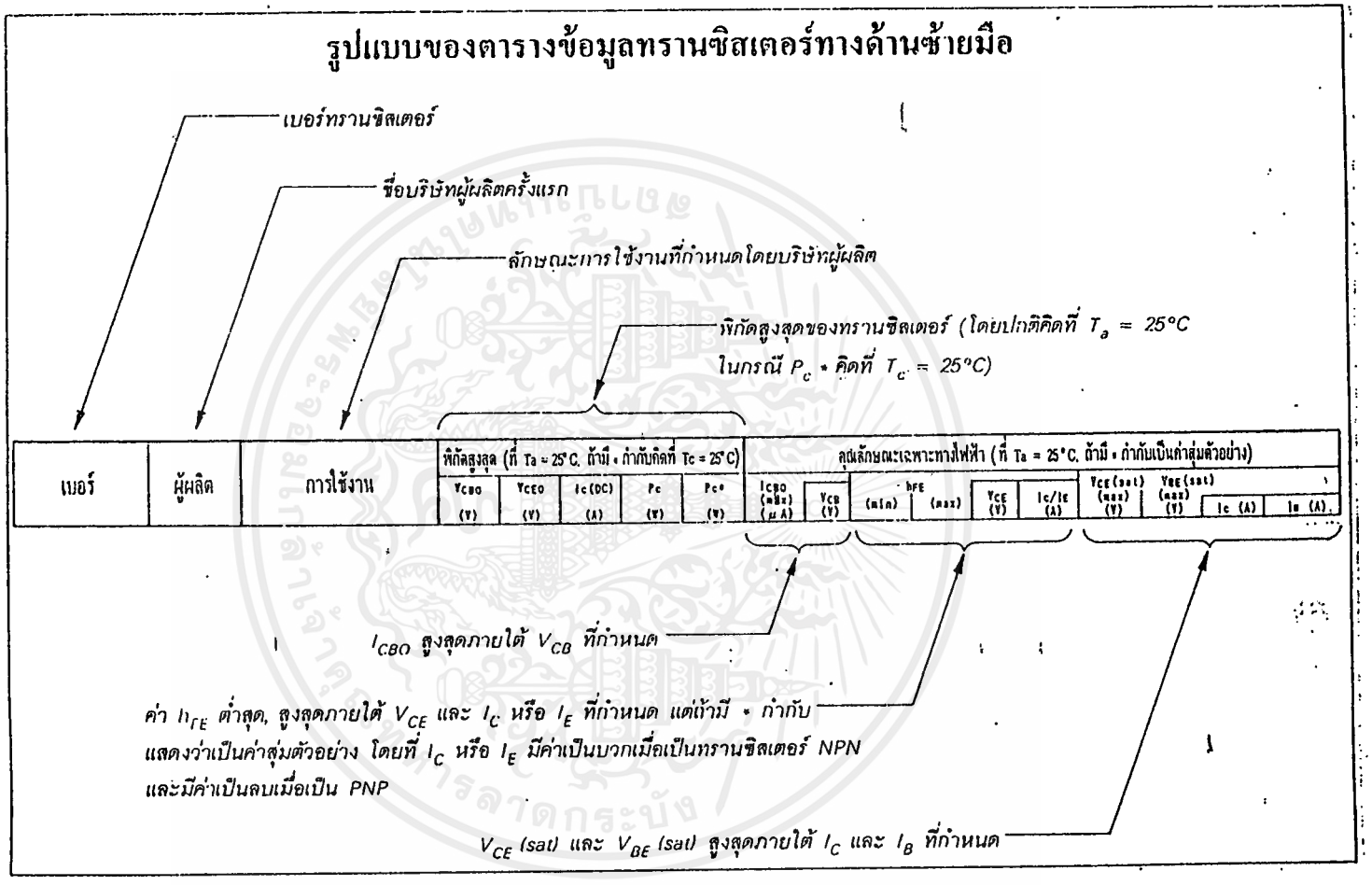
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

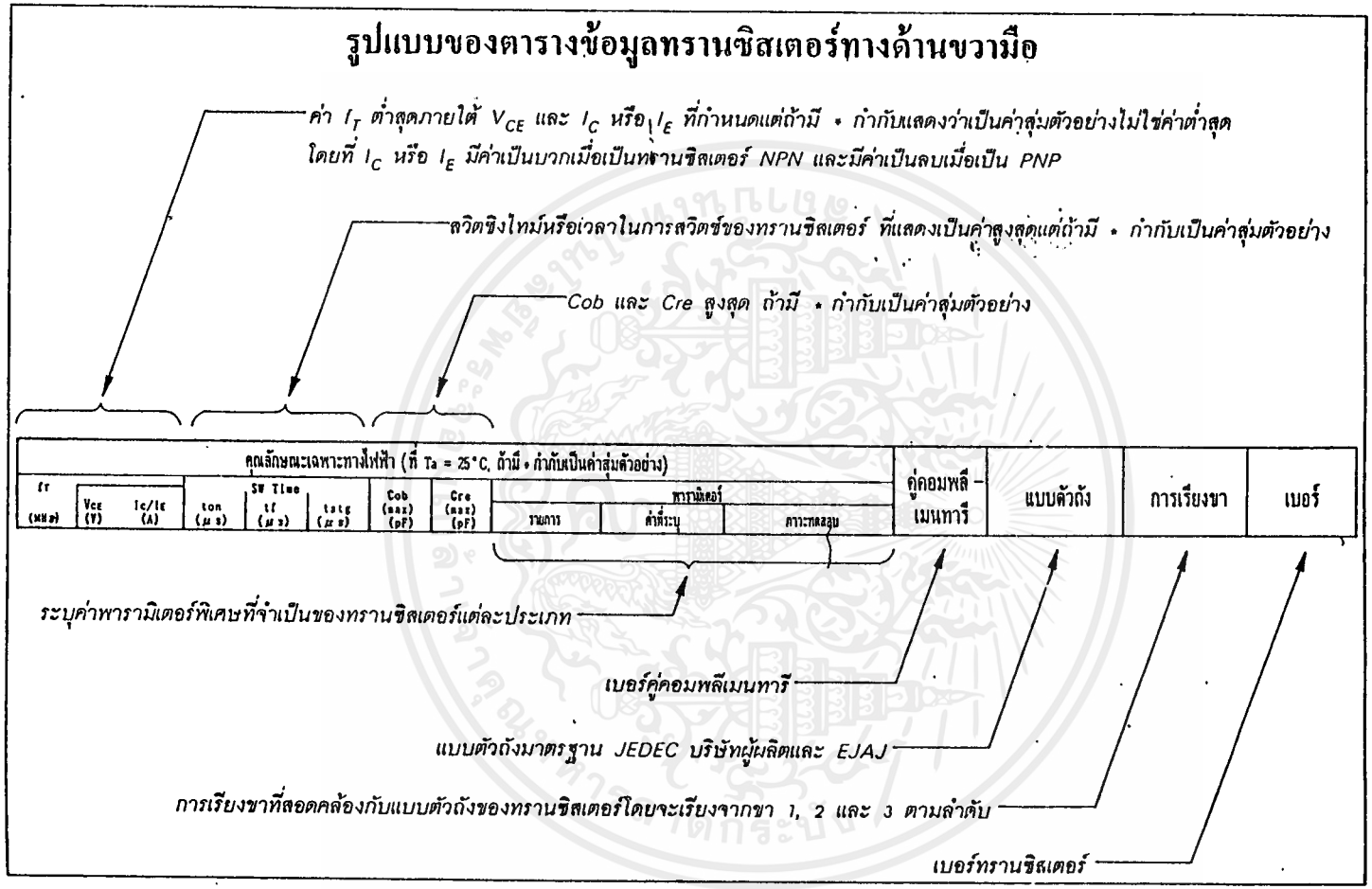
ข้อมูลทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของตารางข้อมูลทรานซิสเตอร์ทางด้านซ้ายมือ



รูปแบบของตารางข้อมูลทรานซิสเตอร์ทางด้านขวามือ



คำแนะนำในการใช้คู่มือทรานซิสเตอร์

1. เบอร์ทรานซิสเตอร์

กลุ่มที่ 1 เป็นเบอร์ที่ตั้งขึ้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard : JIS) และมาตรฐานของสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของญี่ปุ่น (Electronic Industries Association of Japan : EIAJ) ซึ่งได้ออกกฎเกณฑ์ในการตั้งเบอร์ทรานซิสเตอร์ไว้เป็นรหัส ซึ่งรหัสที่ประกอบกันเป็นเบอร์ทรานซิสเตอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ

เบอร์ทรานซิสเตอร์ที่มีอยู่ในคู่มือทรานซิสเตอร์เล่มนี้ทั้งหมดจะเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพล่า สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2S — — — — — — — —
1 2 3 4

ส่วนที่ 1 ทรานซิสเตอร์ทุกตัวที่ตั้งเบอร์ตามมาตรฐาน JIS และ EIAJ จะต้องขึ้นต้นด้วย 2S เสมอ และจะต้องตามด้วย - อักษร A หรือ B หรือ C หรือ D ตัวใดตัวหนึ่งเสมอ โดยที่มีความหมายแตกต่างกันออกไปในแต่ละกรณี ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

2SA **** เป็นทรานซิสเตอร์ PNP ใช้ขยายสัญญาณความถี่สูง เช่น ความถี่วิทยุ

2SB **** เป็นทรานซิสเตอร์ PNP ใช้ขยายสัญญาณความถี่ต่ำ เช่น ความถี่เสียง

2SC **** เป็นทรานซิสเตอร์ NPN ใช้ขยายสัญญาณความถี่สูง

2SD **** เป็นทรานซิสเตอร์ PNP ใช้ขยายสัญญาณความถี่ต่ำ

ส่วนที่ 2 จะประกอบด้วยตัวเลข 2 ถึง 4 ตัว ใช้ในการจัดลำดับในการจัดตั้งเบอร์ทรานซิสเตอร์ที่ผลิตขึ้นครั้งแรก

ส่วนที่ 3 จะประกอบด้วยอักษรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เบอร์ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปอาจจะไม่มีส่วนนี้ ถ้าหากมีก็แสดงว่าทรานซิสเตอร์นี้มีพิกัดหรือคุณลักษณะเฉพาะบางอย่างแตกต่างออกไป ตัวอย่างเช่น 2SC1890 จะมี V_{CBO} = 90 V แต่ถ้าเป็น 2SC1890A จะมี V_{CBO} = 120 V เป็นต้น

ส่วนที่ 4 จะประกอบด้วยตัวอักษร 1 ตัว ใช้ระบุลักษณะงานหรือหน่วยงานที่ใช้งานโดยเฉพาะ เช่น

G แทน อุตสาหกรรมสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

D แทน NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corp.)

N แทน NHK (Nippon Hoso Kyokai)

กลุ่มที่ 2 เป็นเบอร์ที่ตั้งขึ้นเองตามมาตรฐานของแต่ละบริษัทผู้ผลิตในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ JIS และ EIAJ เรียกเบอร์ทรานซิสเตอร์เหล่านี้ว่าเฮ้าส์นัมเบอร์ (House Number) แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลของทรานซิสเตอร์เหล่านี้ก็มีอยู่ในคู่มือทรานซิสเตอร์เล่มนี้เช่นกัน

2. บริษัทผู้ผลิต

รายชื่อของบริษัทผู้ผลิตในช่องนี้ จะเป็นรายชื่อบริษัทที่ผลิตขึ้นครั้งแรกเท่านั้น ทรานซิสเตอร์เบอร์เดียวกันอาจจะผลิตโดยบริษัทอื่นก็มี แต่จะไม่มีแสดงไว้ในช่องนี้

3. การใช้งาน

ในช่องนี้จะระบุการใช้งานที่เหมาะสมสำหรับทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะถูกออกแบบไว้ให้สามารถทำงานเฉพาะอย่างขึ้นอยู่กับความต้องการ ไม่มีทรานซิสเตอร์ตัวใดที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างโดยไม่มีข้อจำกัด ลักษณะการใช้งานของทรานซิสเตอร์กำหนดไว้เป็นรหัสดังต่อไปนี้

G ใช้ในงานทั่วๆ ไป

A ขยายสัญญาณ

PA ขยายกำลัง

SW สวิตชิง

PSW เพาเวอร์สวิตชิง หรือสวิตชิงกระแสสูง

D ไดร์ฟเวอร์ และ Motor D หมายถึง มอเตอร์ไดร์ฟเวอร์

PD เพาเวอร์ไดร์ฟเวอร์ หรือไดร์ฟเวอร์กระแสสูง

LF ใช้งานย่านความถี่ต่ำซึ่งปกติหมายถึงย่านความถี่เสียง

IF ใช้งานย่านความถี่ปานกลาง

HF ใช้งานย่านความถี่สูง

VHF ใช้งานย่านความถี่ VHF

UHF ใช้งานย่านความถี่ UHF

MW ใช้งานย่านความถี่มิเดียมเวฟ

WB ใช้งานในแถบความถี่ที่กว้าง

RF ใช้งานย่านความถี่วิทยุ

MIX มิกเซอร์

CONV คอนเวอร์เตอร์

OSC ออสซิเลเตอร์

LN โลว์นอยส์

HG อัตราการขยายทางกระแสสูง

LS ความเร็วในการสวิตช์ต่ำ (low speed)

MS ความเร็วในการสวิตช์ปานกลาง (medium speed)

HS ความเร็วในการสวิตช์สูง (high speed)

LV ทนแรงดันต่ำ

ข้อความในเอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

HV	ทนแรงดันสูง
TV	โทรทัศน์
CRT	ใช้ในภาคแสดงผลของซีอาร์ที (CRT display)
Video	สัญญาณภาพ (video)
Hout	ฮอริซอนตอลเอาต์พุต
Vout	เวอร์ติคอลเอาต์พุต
Cout	โคมาเอาต์พุต หรือเอาต์พุตภาคสี
Aout	ออดิโอเอาต์พุตหรือเอาต์พุตภาคเสียง
Reg	เรกูเลเตอร์
DDC	ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์
INV	อินเวอร์เตอร์
Digital	ดิจิตอล

4. ค่าพิกัดสูงสุดของทรานซิสเตอร์

ค่าพิกัดสูงสุดของทรานซิสเตอร์ซึ่งได้แก่พิกัดสูงสุดทางแรงดัน, กระแสและกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวทรานซิสเตอร์ โดยปกติจะคิดที่อุณหภูมิแวดล้อม 25°C (นอกจากระบุไว้เป็นอย่างอื่น)

V_{CBO} : แรงดันสูงสุดระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบส โดยที่เบสเป็นกราวนด์ ในขณะที่อิมิตเตอร์เปิดวงจร

V_{CEO} : แรงดันสูงสุดระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์โดยที่อิมิตเตอร์เป็นกราวนด์ ในขณะที่เบสเปิดวงจร

กระแสคอลเลคเตอร์เฉลี่ยสูงสุด โดยปกติพิกัดกระแสคอลเลคเตอร์สูงสุด ในกรณีที่เป็นพัลส์ซึ่งมีช่วงเวลาที่สั้นจะมีค่าสูงกว่าในกรณีที่กระแสคอลเลคเตอร์เป็นพัลส์ซึ่งมีช่วงเวลาที่ยาว หรือมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น กระแสไฟตรง เป็นต้น

P_C : กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนตรงบริเวณรอยต่อคอลเลคเตอร์ที่อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) = 25°C

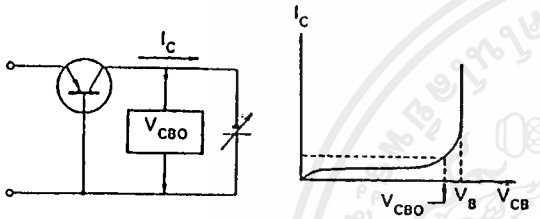
P_C* : เหมือนกับ P_C แตกต่างกันที่อุณหภูมิ ในกรณีนี้คิดที่อุณหภูมิของตัวถังทรานซิสเตอร์ (T_C) = 25°C โดยปกติแล้วเวลาใช้งานอุณหภูมิที่ตัวถังจะสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเสมอ ดังนั้นในกรณีที่เป็นทรานซิสเตอร์ตัวเดียวกัน P_C จะมีค่าน้อยกว่า P_C* เสมอ

ในการพิจารณาพิกัดแรงดันของทรานซิสเตอร์ ยังมีส่วนที่ต้องพิจารณาอีกได้แก่ V_{CES} (แรงดันสูงสุดระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ ขณะที่อิมิตเตอร์และเบสลัดวงจร), V_{CER} (แรงดันสูงสุดระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ ขณะที่อิมิตเตอร์และเบสมีความต้านทานต่อคร่อมอยู่) และ V_{CEX} (แรงดันสูงสุดระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ ขณะที่อิมิตเตอร์และเบสได้รับไบอัสกลับ (reverse bias))

โดยที่ $V_{CBO} > V_{CES} > V_{CEX} > V_{CER} > V_{CEO}$ เสมอ

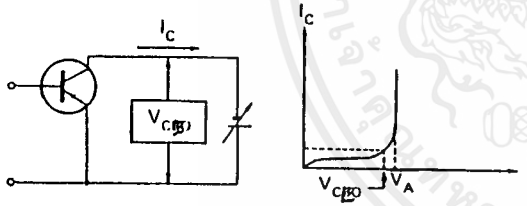
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้การพิจารณาพิกัดทางอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์ มีการพิจารณาอุณหภูมิที่รอยต่อคอลเลคเตอร์ (T_j) และอุณหภูมิเก็บรักษา (Tstg) ว่ามีพิกัดสูงสุดเท่าไร



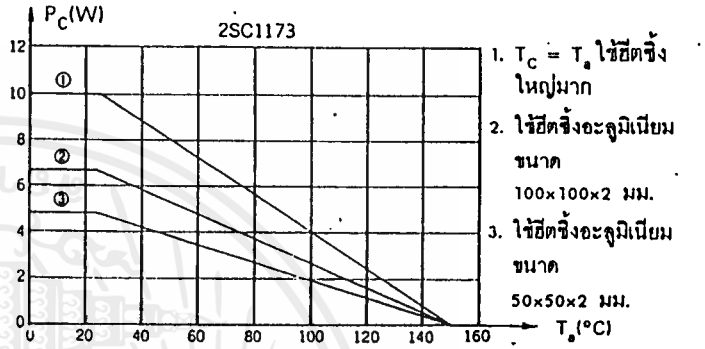
V_B : แรงดันเบสเบรคดาวน์ ($\alpha = \infty$)

(ก) แสดง V_{CBO}

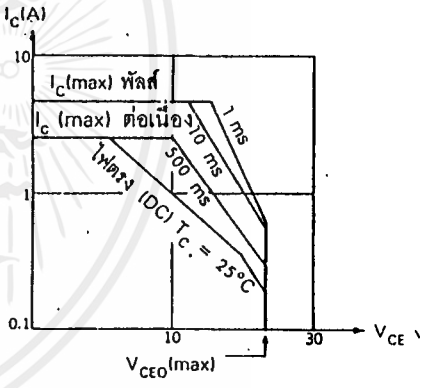


V_A : แรงดันอิมิตเตอร์เบรคดาวน์ ($\beta = \infty$)

(ข) แสดง V_{CEO}



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่สูญเสียในคอลเลคเตอร์ (P_C) กับอุณหภูมิแวดล้อม (T_a)



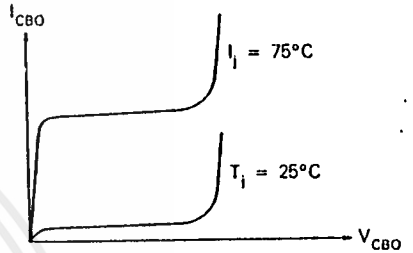
(ง) พื้นที่ที่ทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย

จากที่

5. คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า

ค่าที่แสดงคุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ไม่ได้มีค่าคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง แต่จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน เช่น อุณหภูมิ กระแสและแรงดันที่จุดทำงานของทรานซิสเตอร์ แม้ว่าจะเป็นทรานซิสเตอร์เบอร์เดียวกันก็ตาม แต่คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าก็จะไม่เหมือนกันทีเดียว การที่จะบอกค่าพารามิเตอร์ (ค่าที่ใช้แสดงคุณลักษณ์เฉพาะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์) ให้แน่ชัดลงไปว่าต้องเป็นเท่านั้นเท่านี้จึงเป็นไปไม่ได้ นอกจากจะบอกค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดว่าเป็นเท่าใด หรือไม่ก็บอกเป็นค่าสุ่มตัวอย่าง (Typical) ภายใต้ภาวะที่กำหนดในคู่มือทรานซิสเตอร์เล่มนี้ กำหนดอุณหภูมิแวดล้อม (T_a) เท่ากับ 25°C เสมอ ลองมาพิจารณาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละค่าดังต่อไปนี้

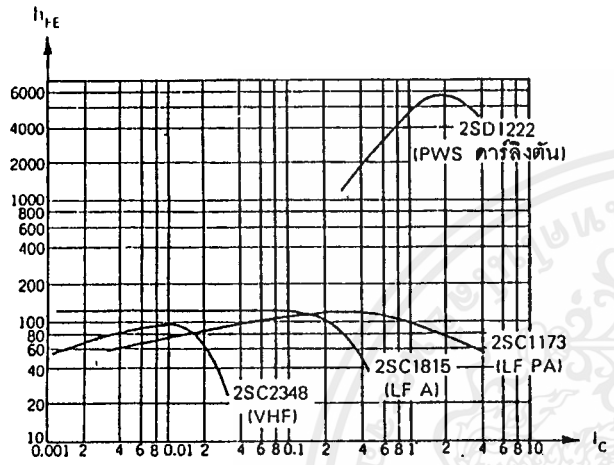
5.1 I_{CBO}(max) คือ กระแสระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบส ในขณะที่รอยต่อคอลเลคเตอร์ไบอัสกลับ (reverse bias) และอิมิตเตอร์เปิดวงจรอยู่ กระแส I_{CBO} ถือได้ว่าเป็นกระแสรั่วไหลและพบว่า I_{CBO}ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ V_{CB} ดังแสดงในรูปที่ 2 การบอกค่า I_{CBO} จึงบอกเป็นค่าสูงสุด ภายใต้อุณหภูมิและ V_{CB} ที่กำหนด



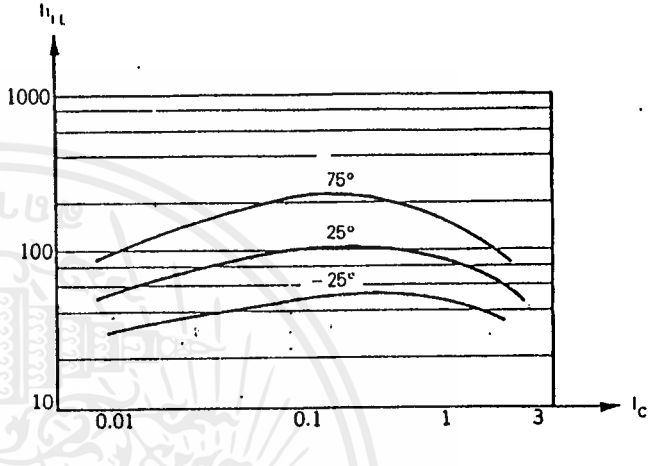
T คืออุณหภูมิรอยต่อคอลเลคเตอร์

รูปที่ 2 แสดงกระแส I_{CBO}

5.2 h_{FE} คือ อัตราการขยายกระแสไฟตรงของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ h_{FE} จึงเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสเอาต์พุต ซึ่งก็หมายถึงกระแสคอลเลคเตอร์กับกระแสอินพุตซึ่งหมายถึงกระแสเบส ค่าของ h_{FE} ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและจุดทำงาน ดังนั้นการบอกค่า h_{FE} ของทรานซิสเตอร์จึงบอกค่าต่ำสุดหรือทั้งค่าสูงสุด ณ จุดทำงาน (V_{CE}, I_C/I_E) ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด



(ก) ผลของกระแสคอลเลคเตอร์และประเภทของทรานซิสเตอร์ที่มีต่อ h_{FE}



(ข) ผลของอุณหภูมิ

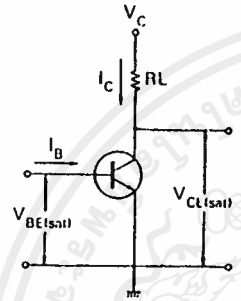
รูปที่ 3 แสดงการแปรค่า h_{FE}

5.3 แรงดันอิ่มตัว (saturation voltage) นับว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของสวิตชิ่งทรานซิสเตอร์ ภาวะอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์เป็นภาวะที่กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) และแรงดันตกคร่อมคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์ (V_{CE}) จะเปลี่ยนแปลงตามกระแสเบส (I_B) น้อยมาก ทั้ง I_C และ V_{CE} เกือบจะมีค่าคงที่ ซึ่งต่างจากภาวะ active ของทรานซิสเตอร์ การเปลี่ยนแปลงของ I_C และ V_{CE} ต่างก็ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของ I_B โดยตรง แรงดันอิ่มตัวที่พิจารณามี 2 ค่าคือ

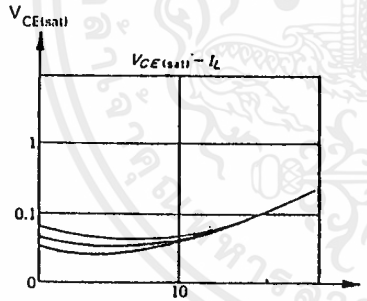
$V_{CE(sat)}$: แรงดันอิ่มตัวระหว่างคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์มีค่าระหว่าง 0.1 – 2.5 V

$V_{BE(sat)}$: แรงดันตัวระหว่างเบส-อิมิตเตอร์ มีค่าระหว่าง 1 – 3.5 V

ซึ่งทั้ง $V_{CE(sat)}$ และ $V_{BE(sat)}$ ต่างก็ขึ้นอยู่กับกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C)

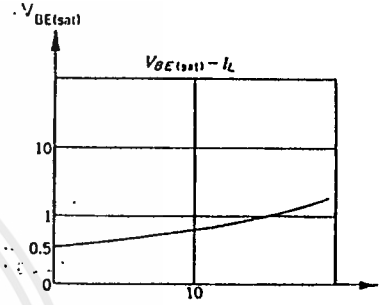


(ก) วงจรทดลอบ



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{CE(sat)}$-I_C

รูปที่ 4 แสดงแรงดันอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{BE(sat)}$-I_C

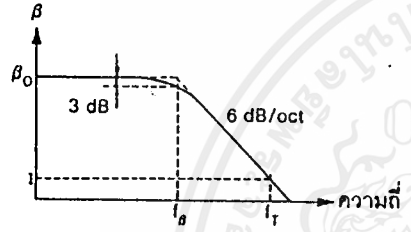
รูปที่ 4 (ต่อ) แสดงแรงดันอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์

5.4 การตอบสนองในเชิงความถี่สูงของทรานซิสเตอร์ โดยธรรมชาติของทรานซิสเตอร์จะพบว่าอัตราการขยายทางกระแสทั้ง β และ α จะมีค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น เพื่อที่จะกำหนดขอบเขตในการใช้งาน เมื่อพิจารณาถึงการตอบสนองของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่สูง จึงกำหนดไว้ว่า

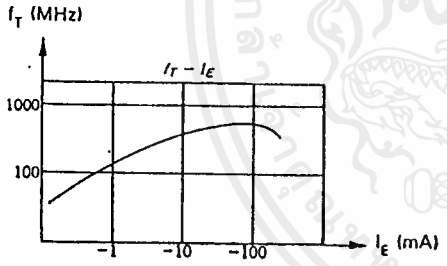
f_α : ความถี่ที่ทำให้อัตราส่วนของกระแสคอลเลคเตอร์กับกระแสอิมิตเตอร์หรือที่เรียกว่า α มีค่าเป็น 70.7% หรือลดลง 3 dB เมื่อคิดเทียบกับความถี่ต่ำ

f_β : ความถี่ที่ทำให้อัตราส่วนของกระแสคอลเลคเตอร์กับกระแสเบสหรือที่เรียกว่า β มีค่าเป็น 70.7% หรือลดลง 3 dB เมื่อคิดเทียบกับที่ความถี่ต่ำ

f_T : ความถี่ที่ทำให้ β มีค่าเป็น 1



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง β กับความถี่



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง f_T กับกระแสอิมิตเตอร์

รูปที่ 5 แสดงการตอบสนองในเชิงความถี่สูงของทรานซิสเตอร์

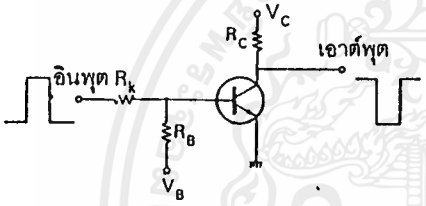
5.5 เวลาในการสวิตช์ ในการทำให้ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานระหว่างคัทออฟ (cut off) กับอิ่มตัว (saturation) ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันทีทันใด ต้องอาศัยช่วงเวลาหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ช่วงเวลาที่ใช้ไปนี้เรียกว่า *เวลาในการสวิตช์* ถ้าหากเดิมทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในภาวะคัทออฟ แล้วถูกบังคับให้เปลี่ยนไปทำงานอยู่ในภาวะอิ่มตัวเรียกช่วงเวลาที่ใช้ไปนี้ว่า *เทิร์นออนไทม์ (turn-on time : t_{on})* แต่ถ้าหากเดิมทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในภาวะอิ่มตัวแล้วถูกบังคับให้เปลี่ยนไปทำงานอยู่ในภาวะคัทออฟ เรียกช่วงเวลาที่ใช้ไปนี้ว่า *เทิร์นออฟไทม์ (turn-off time : t_{off})* โดยปกติแล้ว t_{on} จะน้อยกว่า t_{off} เสมอ ถ้าทรานซิสเตอร์ใดใช้เวลาในการสวิตช์น้อยก็จัดเป็น*สวิตชิงทรานซิสเตอร์ความเร็วสูง (high-speed switching transistor)* แต่ถ้าหากใช้เวลาในการสวิตช์มากก็จัดเป็น *สวิตชิงทรานซิสเตอร์ความเร็วต่ำ(low-speed switching transistor)* ในการพิจารณาความเร็วของการสวิตช์จะพิจารณาจากช่วงเวลาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

t_r : เวลาขาขึ้น (rise time) เป็นช่วงเวลาที่เอาต์พุตพัลส์ ซึ่งอยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจากระดับ 90% มาเป็นระดับ 10%

t_f : เวลาขาลง (fall time) เป็นช่วงเวลาที่เอาต์พุตพัลส์เปลี่ยนจากระดับ 10% ไปเป็นระดับ 90%

t_d : เวลาหน่วง (delay time) เป็นช่วงเวลาที่เริ่มนับจากระดับ 10% ของอินพุตพัลส์ไปจนถึงระดับ 90% ของเอาต์พุตพัลส์

t_{stg} : เวลาสะสม (storage time) เป็นช่วงเวลาที่เริ่มนับจากระดับ 90% ของอินพุตพัลส์มาจนถึงระดับ 10% ของเอาต์พุตพัลส์

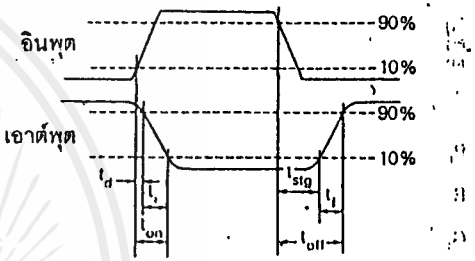


(ก) วงจรทดสอบในการสวิตช์

t_{on} : เทิร์นออนไทม์ (turn-on time) เท่ากับ t_d รวมกับ t_r

t_{off} : เทิร์นออฟไทม์ (turn-of time) เท่ากับ t_{stg} รวมกับ t_f

โดยปกติแล้วจะพิจารณา t_{on}, t_f และ t_{stg} เป็นหลัก



(ข) ช่วงเวลาในการสวิตช์

รูปที่ 6 แสดงการหาเวลาในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์

5.6 คาพาซิเตอร์ที่แฝงอยู่ภายในตัวทรานซิสเตอร์

จะมีผลต่อการตอบสนองทางด้านความถี่สูงและความเร็วในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปจะพิจารณาคาพาซิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ทางอินพุตและเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์

C_{ob}, C_{oe} : คอลเลคเตอร์เอาต์พุตคาพาซิเตอร์ (คอมมอนเบส, คอมมอนอิมิตเตอร์)

C_{ib}, C_{ie} : อินพุตคาพาซิเตอร์ (คอมมอนเบส, คอมมอนอิมิตเตอร์)

C_{rb}, C_{re} : reverse tranfer capacitance (คอมมอนเบส, คอมมอนอิมิตเตอร์)

โดยที่ C_{ob} และ C_{re} จะมีค่ามาก

TK 7871.9 .P48

5.7 พารามิเตอร์พิเศษ ทรานซิสเตอร์แต่ละประเภทมีความสามารถในการงานแตกต่างกันออกไป แต่ละประเภทก็จะมีลักษณะเด่นที่ต่างกัน จึงสมควรที่จะระบุพารามิเตอร์พิเศษตามลักษณะเด่นหรือตามความจำเป็นของทรานซิสเตอร์นั้น ๆ เพื่อให้มีความสามารถในเชิงเปรียบเทียบ ดังรายการต่อไปนี้

NF : นอยส์ฟิเกอร์ (Noise Figure)

NV : แรงดันนอยส์ขาออก หรือแรงดันนอยส์เอาต์พุต (Output Noise Voltage)

P_O : กำลังขาออกหรือกำลังเอาต์พุต (Output Power)

R_1/R_2 : ค่าความต้านทานที่ต่อภายในตัวทรานซิสเตอร์

G_P, P_G : อัตราขยายกำลัง (Power Gain)

C_G : คอนเวอร์ชันเกน (Conversion Gain)

$C_C \cdot r_{bb}$: ค่าคงตัวของเวลา $C_C \cdot r_{bb}$ ($C_C \cdot r_{bb}$ time constant)

Ron : ค่าความต้านทานขณะทรานซิสเตอร์นำกระแส (ON)

นอกจากนี้ยังอาจจะแสดงค่า เอชพารามิเตอร์ (h-parameter) และวายพารามิเตอร์ (y-parameter) ประกอบมาด้วย

6. คู่คอมพลีเมนทารี (Complementary Pair)

ทรานซิสเตอร์ที่เป็นคู่คอมพลีเมนทารีหมายถึง ทรานซิสเตอร์ที่มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันแต่ต่างชนิด (type) กัน โดยทั่วไปแล้วทรานซิสเตอร์เบอร์ในกลุ่ม 2SA ก็จะมีคู่คอมพลีเมนทารีเป็นเบอร์ในกลุ่ม 2SC และเบอร์ในกลุ่ม 2SB ก็จะมีคู่คอมพลีเมนทารีเป็นเบอร์ในกลุ่ม 2SD คู่คอมพลีเมนทารีที่แสดงในช่องนี้เป็นคู่คอมพลีเมนทารีที่จัดโดยบริษัทผู้ผลิต

7. แบบตัวถัง

แบบตัวถังของทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปจะบอกถึงลักษณะของตัวถัง พิกัดและขนาด รวมทั้งตำแหน่งของขาต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ มาตรฐานของแบบตัวถังถูกกำหนดขึ้นจากหลายหน่วยงาน เช่น JEDEC, EIAJ และบริษัทผู้ผลิตเอง ถ้าหากหลังรหัสของแบบตัวถังกำกับด้วย 形 ก็แสดงว่าเป็นมาตรฐานของ JEDEC ถ้าหากรหัสขึ้นต้นด้วย SC หรือ TB หรือ TC ก็แสดงว่าเป็นมาตรฐานของ EIAJ และถ้ารหัสถูกปิดด้วยวงเล็บ ก็แสดงว่าเป็นมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิตเอง

8. การเรียงขา

การดูขาทรานซิสเตอร์จะต้องดูประกอบกับแบบตัวถัง โดยที่ B แทนขาเบส C แทนขาคอลเลคเตอร์ E แทนขาอิมิตเตอร์ NC แทนขาที่ว่างไม่ได้ต่อกับอะไร S แทนขาที่ใช้สำหรับชิลด์ (shield) ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการเรียงขาเป็น BCE ก็แสดงว่าขา 1 ที่แสดงไว้ในแบบตัวถังเป็นขาเบส ขา 2 เป็นขาคอลเลคเตอร์ และขา 3 เป็นอิมิตเตอร์ ถ้าเป็น EBCS ก็แสดงว่าขา 1 เป็นอิมิตเตอร์ขา 2 เป็นเบสขา 3 เป็นคอลเลคเตอร์ ขา 4 เป็นขาชิลด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจแยกโครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์ โดยที่

ตัวอย่า

มีคำว่า

ดังนี้คือ

Da คือทรานซิสเตอร์ดาร์ริงตัน

Du คือทรานซิสเตอร์คู่หรือเรียกว่าทรานซิสเตอร์ดูอัล

R มีไบอัสรีซิสเตอร์ต่ออยู่ภายใน

ตัวอย่างเช่น BCE, Da เป็นดาร์ริงตันทรานซิสเตอร์ มีการเรียงขาเป็น BCE

B2C2C1B1(E) Du เป็นทรานซิสเตอร์คู่ มีการเรียงขาเป็น B2-C2-C1-B1-E (ใช้ขา E ร่วมกัน)

BEC, Da/R เป็นทรานซิสเตอร์ดาร์ริงตัน มีความต้านทานต่ออยู่ภายใน มีการเรียงขาเป็น BEC เป็นต้น

และนอกจากนี้ ถ้าหากหลังการเรียงขาของทรานซิสเตอร์มีคำว่า (รักษา), (เลิก) และ (หายาก) กำกับไว้ จะมีความหมายดังนี้คือ

(รักษา) หมายถึง ทรานซิสเตอร์นั้น ๆ ใช้สำหรับการซ่อมบำรุงเท่านั้น ไม่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่

(เลิก) หมายถึง ทรานซิสเตอร์นั้น ๆ บริษัทผู้ผลิตได้เลิกผลิตแล้ว และไม่ได้เก็บสต๊อกทรานซิสเตอร์นั้นไว้ด้วย

(หายาก) หมายถึง ทรานซิสเตอร์นั้น ๆ จะหาได้ยาก (อาจจะมีหลงเหลือค้างอยู่ตามร้านค้าบ้าง)

ตัวอย่างเช่น

BCE, Da (เลิก) เป็นดาร์ริงตันทรานซิสเตอร์ มีการเรียงขาเป็น BCE และทรานซิสเตอร์นี้ บริษัทผู้ผลิตได้เลิกผลิตแล้วและไม่ได้เก็บสต๊อกทรานซิสเตอร์นี้ไว้ด้วย

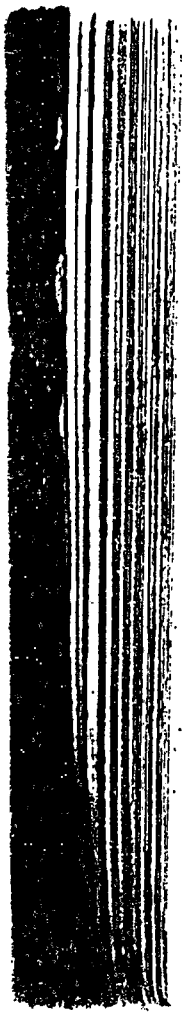
เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตเลิกผลิตแล้วและไม่ได้เก็บสต๊อกสินค้าไว้

เบอร์	ผู้ผลิต	การใช้งาน	พิกัดสูงสุด (ที่ Ta = 25°C, ถ้ามี * กำกับคิดที่ Tc = 25°C)					คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (ที่ Ta = 25°C, ถ้ามี * กำกับเป็นค่าสุ่มตัวอย่าง)										fT
			VCBO (V)	VCEO (V)	IC(DC) (A)	PC (W)	PC* (W)	ICBO (max) (μA)	VCB (V)	hFE (min)	hFE (max)	VCE (V)	IC/IB (A)	VCE(sat) (max) (V)	VBE(sat) (max) (V)	IC (A)	IB (A)	(MHz)
2SC915	FUJITSU	HS SW	30	20	0.3	0.3		0.2	20	42	143	1	0.03	0.34	0.87	0.05	0.005	
2SC916	FUJITSU	HS PSW	100	70	1.5	2		10	80	37	135	1	0.4	0.72	1.55	1.5	0.15	
2SC923	NEC	LF A	40	35	0.1	0.25		0.05	40	225	1000	3	0.0005	0.3	1	0.1	0.01	5
2SC930NP	SANYO	AM FM RF/MIX/OSC	30	20	0.03	0.25		1	10	40	320	6	0.001					17
2SC930SPA	SANYO	AM FM RF/MIX/OSC	30	20	0.03	0.12		1	10	40	320	6	0.001					17
2SC941TM	TOSHIBA	HF A/AM RF/CONV	35	30	0.1	0.4		0.1	20	40	240	12	0.002	0.4	1	0.01	0.001	8
2SC944S	NEC	LF A/MS SW	60	40	0.1	0.25		0.1	40	60	400	10	0.002	0.2	1	0.01	0.001	20
2SC945	NEC	LF A	60	50	0.1	0.25		0.1	60	90	600	6	0.001	0.3	1	0.1	0.01	15
2SC945L	NEC	LF A	60	50	0.1	0.25		0.1	60	90	600	6	0.001	0.3	1	0.1	0.01	15
2SC980AGTM	TOSHIBA	HF A/HS SW	90	70	0.1	0.4		0.1	50	70	140	1	0.01	0.3	0.95	0.01	0.001	15
2SC982TM	TOSHIBA	LF A/G D	40	40	0.3	0.4		0.1	40	5000		5	0.01	1.3		0.3	0.0003	
2SC994	TOSHIBA	VHF PA	36	15	0.1	0.6		1	15	20	400	3	0.1					30
2SC998	TOSHIBA	VHF PA	40	20	0.4	0.6	5	1	15	20		5	0.05					550
2SC1001	TOSHIBA	UHF PA	40	20	0.5	0.8	5	1	15	20		5	0.1					700
2SC1009A	NEC	FM/AM RF/IF/MIX/OSC	50	30	0.05	0.2		0.1	50	60	180	6	0.001	0.3		0.01	0.001	15
2SC1030	HITACHI	LF PA	150	80	6		50	1000	30	35	200	5	1	1.5		5	1	10
2SC1041	NEC	MF PA	40	20	0.15		3.75	50	20	15	200	10	0.07					180
2SC1042	NEC	MF PA	40	20	0.25		7.5	100	20	15	200	10	0.1					180
2SC1043	NEC	VHF LN A	45	25	0.3		6	0.1	30	20	200	10	0.1					180
2SC1044	NEC	VHF LN A	45	25	0.03	0.25		0.05	30	40	200	6	0.006					80
2SC1047	MATSUSHITA	HF A	30	20	0.02	0.4				40	260	6	0.001					45
2SC1062	NEC	HV SW	200	200	0.1	0.7		2	100	30	150	2	0.05	1.2	1.5	0.05	0.0025	
2SC1068	FUJITSU	HF A	25	20	0.15	0.5		0.5	20	40	300	10	0.01					1500
2SC1070(1)	NEC	UHF RF	30	25	0.02	0.2		0.1	25	40	200	10	0.003					750
2SC1070(2)	NEC	UHF MIX	30	25	0.02	0.2		0.1	25	40	200	10	0.003					750
2SC1072	FUJITSU	HS SW	60	45	0.7	0.8		0.3	40	35	140	1	0.5	0.5	1	0.5	0.05	
2SC1072A	FUJITSU	HS SW	60	56	0.7	0.8		0.3	40	35	140	1	0.5	0.5	1	0.5	0.05	
2SC1090	NEC	MF LN A/MS SW	20	12	0.05	0.3		0.5	10	30	300	5	0.01					2500
2SC1150	FUJITSU	HS SW	60	50	1	0.8		0.5	40	25	150	1	0.5	0.6	1.1	0.5	0.05	
2SC1162	MATSUSHITA	LF PA	35	35	2.5	0.75	10	20	35	60	320	2	0.5	1		2	0.2	180
2SC1164	TOSHIBA	VHF/UHF PA	50	35	0.3	0.6		0.3	20	25	90	10	0.05					1100
2SC1165	TOSHIBA	UHF PA	40	20	0.5	0.7	5	1	15	20		5	0.1					600
2SC1169	TOSHIBA	VHF PA	40	20	1	0.8	10	1	15	20		5	0.2					600
2SC1173	TOSHIBA	PA	30	30	3		10	1	20	70	240	2	0.5	0.8		2	0.2	100
2SC1199	TOSHIBA	HF LN A	50	35	0.3	0.6		0.1	20	40	200	10	0.02					1000
2SC1212	HITACHI	LF PA	50	50	1	0.75	8	5	50	50	200	4	0.05	1.5		1	0.1	160

คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (ที่ T_a = 25°C, ถ้ามี • กำกับเป็นค่าตัวอย่าง)											คู่คอมพลีเมนทารี	แบบตัวถัง	การเรียงขา	เบอร์
ft			SW Time			Cob	Cre	พารามิเตอร์						
(MHz)	V_{CE} (V)	I_C/I_B (A)	ton (μs)	tf (μs)	tstg (μs)	(max) (pF)	(max) (pF)	รายการ	ค่าต่ำสุด	สภาวะทดสอบ				
			0.045		0.027	5						TO-18มิ	EBC	2SC915
			0.063		0.14							TO-8มิ	EBC	2SC916
50	6	0.001				5		NF	max 20dB	f=100Hz Rg=2K		TO-92มิ	ECB	2SC923
170	6	0.001	0.030				1.8	NF	typ 4dB	f=100MHz		TO-92มิ	ECB	2SC930KP
170	6	0.001	0.030				1.8	NF	typ 4dB	f=100MHz		(SPA)	ECB	2SC930SPA
80	10	0.002					3	NF	max 3.5dB	f=1MHz Rg=50		TO-92มิ	ECB	2SC941TM
200	6	0.01	0.05			3						TO-92มิ	ECB (รักษา)	2SC944S
150	6	0.01				4		NF	max 15dB	f=1KHz Rg=2K	2SA733	TO-92มิ	ECB	2SC945
150	6	0.01				4		NF	max 20dB	f=100Hz Rg=2.6K		TO-92มิ	ECB	2SC945L
150	10	0.01	0.025•	0.030	0.44	3						TO-92มิ	ECB	2SC980AQTM
												TO-92มิ	ECB, Ds	2SC982TM
300	10	0.01				3		Po	min 0.95W	f=175MHz Pi=40mW		TO-39มิ	EBC	2SC994
550•	5	0.05				10		Po	min 1W	f=175MHz Pi=0.1mW		TO-39มิ	EBC	2SC998
700•	10	0.05				10		Po	min 1.2W	f=470MHz Pi=0.3W		TO-39มิ	EBC	2SC1001
150	6	0.001				2.2		NF	max 4dB	f=1MHz Rg=500ohm		(SC-59)	EBC	2SC1009A
10•	5	1										TO-3มิ	BEC (เล็ก)	2SC1030
1800	10	0.07				5.5		Po	min 800mW	f=2GHz Pi=250mv		(20)	ECEB	2SC1041
1600	10	0.1				7		Po	min 1.4W	f=2GHz Pi=630mV		(20)	ECEB	2SC1042
1800	15	0.05					4	NF	max 4.5dB	f=200MHz Rg=50ohm		(20)	ECEB	2SC1043
800	6	0.006					0.8	NF	max 4dB	f=200MHz Rg=50ohm		TO-72มิ	EBCS	2SC1044
450	6	0.001					1	NF	5dB max	f=100MHz		TO-92มิ	ECB	2SC1047
			3.2		8	10						TO-39มิ	EBC	2SC1062
1500	10	0.04				3		Rchle	max 80 ohm	f=500MHz		TO-39มิ	EBC	2SC1068
750	10	0.003				0.8		PG	min 14dB	f=900MHz		(Disk 4)	BEBC, F-AGC	2SC1070(1)
750	10	0.003				0.8		PG	min 14dB	f=900MHz		(Disk 4)	BEBC, F-AGC	2SC1070(2)
			0.04		0.05	12						TO-39มิ	EBC	2SC1072
			0.04		0.05	12						TO-39มิ	EBC	2SC1072A
2500	5	0.015					1.5	Gpe	min 10dB	f=1GHz		(02)	ECEB	2SC1080
			0.035		0.05							TO-39มิ	EBC	2SC1150
180•	2	0.2									2SA715	(TO-126)	ECB	2SC1162
1100	20	0.05				3		Gpe min 10dB		f=200MHz		TO-39มิ	EBCS	2SC1164
600•	10	0.05				10		Po	min 0.5W	f=470MHz Pi=0.3W		TO-39มิ	EBC	2SC1165
600•	10	0.05				10		Po	min 2.5W	f=175MHz Pi=0.25W		(2-9A1B)	EBC	2SC1169
100•	2	0.5				35•						TO-220ABมิ	BCE	2SC1173
1000	10	0.02				3		NF	max 4dB	f=200MHz Rg=50ohm		TO-39มิ	EBCS	2SC1199
160•	4	0.03										(TO-126)	ECB	2SC1212

เบอร์	ผู้ผลิต	การใช้งาน	พิกัดสูงสุด (ที่ Ta = 25°C, ถ้ามี * กำกับคิดที่ Tc = 25°C)					คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (ที่ Ta = 25°C, ถ้ามี * กำกับเป็นค่าสุ่มตัวอย่าง)											fT		
			V_{CBO} (V)	V_{CEO} (V)	I_C(DC) (A)	P_C (W)	P_C* (W)	I_{CBO} (max) (μA)	V_{CB} (V)	h_{FE} (min)	h_{FE} (max)	V_{CE} (V)	I_C/I_B (A)	V_{CE}(sat) (max) (V)	V_{BE}(sat) (max) (V)	I_C (A)	I_B (A)	(MHz)	V_{CE} (V)	I_C/I_B (A)
2SC1661	NEC	MF LN A/HS SW	20	10	0.08	0.5		0.1	10	30	300	5	0.03					6000	5	0.03
2SC1662	NEC	MF LN A/HS SW	20	8	0.08	0.35		0.1	10	30	300	5	0.03					8000	5	0.03
2SC1673	NEC	MF PA	35	20	0.3		1	5	20	20	200	10	0.1					2000	10	0.1
2SC1674	NEC	FM RF/MIX	30	20	0.02	0.25		0.1	30	40	180	6	0.001	0.3		0.01	0.001	400	6	0.001
2SC1675	NEC	FM/AM RF/MIX	50	30	0.03	0.25		0.1	50	40	180	6	0.001	0.3		0.01	0.001	150	6	0.001
2SC1684	MATSUSHITA	G A	30	25	0.1	0.4		1	10	160	460	10	0.002	0.5		0.1	0.01	1500	10	0.002
2SC1685	MATSUSHITA	G A	60	50	0.1	0.4		1	10	160	460	10	0.002	0.5		0.1	0.01	1500	10	0.002
2SC1686	MATSUSHITA	HF A	40	30	0.025	0.4		10	40	26		10	0.004	2.3		0.01	0.001	220	10	0.004
2SC1687	MATSUSHITA	HF A	40	25	0.03	0.4		10	40	38		10	0.007	0.8		0.01	0.001	360	10	0.005
2SC1688	MATSUSHITA	HF A	50	40	0.03	0.4		10	40	38		10	0.007	0.8		0.01	0.001	360	10	0.005
2SC1730	NEC	VHF MIX/OSC, UHF OSC	30	15	0.05	0.25		0.1	12	40	180	10	0.005					800	10	0.005
2SC1731	NEC	HS SW/DIF A	20	12	0.05	0.2		0.1	10	30	300	5	0.01					2500	5	0.015
2SC1732	NEC	HS SW/DIF A	20	12	0.05	0.2		0.05	10	30	300	5	0.01					2000	5	0.015
2SC1733	NEC	DIF A	30	14	0.05	0.2		0.05	15	25	200	10	0.01					1500	10	0.01
2SC1740	ROHM	G A	50	40	0.1	0.3		0.5	30	120	820	6	0.001	0.4		0.05	0.005	1804	12	0.002
2SC1740LN	ROHM	LF LN A	50	40	0.1	0.3		0.5	30	180	820	6	0.001	0.4		0.05	0.005	1804	12	0.002
2SC1740S	ROHM	G A	50	40	0.1	0.3		0.5	30	120	820	6	0.001	0.4		0.05	0.005	1804	12	0.002
2SC1740SLN	ROHM	LF LN A	50	40	0.1	0.3		0.5	30	180	820	6	0.001	0.4		0.05	0.005	1804	12	0.002
2SC1741	ROHM	PA	40	32	0.5	0.4		1	20	82	390	3	0.1	0.6		0.5	0.05	2504	5	0.02
2SC1741A	ROHM	PA	50	50	0.5	0.4		0.5	30	82	390	3	0.1	0.4		0.15	0.015	2504	5	0.02
2SC1741AS	ROHM	PA	50	50	0.5	0.3		0.5	30	82	390	3	0.1	0.4		0.15	0.015	2504	5	0.02
2SC1741S	ROHM	PA	40	32	0.5	0.3		1	20	82	390	3	0.1	0.6		0.5	0.05	2504	5	0.02
2SC1755	SANYO	TV Vout	300	300	0.2	1.2	15	0.1	200	40	200	10	0.01	2		0.05	0.005	50	30	0.01
2SC1756	SANYO	TV Vout	300	300	0.2	1.2	15	0.1	200	40	200	10	0.01	2		0.05	0.005	50	30	0.01
2SC1757	SANYO	TV Vout	300	300	0.2	1.2	15	0.1	200	40	200	10	0.01	2		0.05	0.005	50	30	0.01
2SC1763	TOSHIBA	30MHz PA	65	35	7		80	3000	30	10		10	5	1.5		2	0.2	50	15	0.1
2SC1764	TOSHIBA	30MHz PA	65	35	12		140	6000	30	10		10	10	1.5		4	0.8	50	15	0.2
2SC1765	TOSHIBA	400MHz PA	35	17	0.8		7.5	1000	15	10		5	0.5							
2SC1775	HITACHI	LF LN A	90	90	0.05	0.3		0.5	75	400	1200	12	0.002	0.5		0.01	0.001	2004	12	0.002
2SC1775A	HITACHI	LF LN A	120	120	0.05	0.3		0.5	100	400	1200	12	0.002	0.5		0.01	0.001	2004	12	0.002
2SC1778	MATSUSHITA	HF OSC/MIX	25	20	0.015	0.4				15		10	0.002					400	10	0.003
2SC1779	MATSUSHITA	HF A	30	20	0.02	0.4				25		10	0.002					450	10	0.002
2SC1780A	MITSUBISHI	LF LN A	120	120	0.05	0.2		0.1	100	250	800	6	0.001	0.6		0.01	0.001	1504	6	0.001
2SC1788	MATSUSHITA	LF A	25	20	0.5	0.625		0.1	25	65	350	2	0.5	0.4	1	0.5	0.02	1504	10	0.05
2SC1789	MATSUSHITA	HF OSC	25	18	0.05	0.4				50	200	10	0.002					600	10	0.01
2SC1792	NEC	MF PA	45	23	2		22	1000	18	15	250	10	0.5					600	10	0.6

คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (ที่ Ta = 25°C, ถ้ามี • กำกับเป็นค่าสุ่มตัวอย่าง)											คู่คอมพลี-เมนทารี	แบบตัวถัง	การเรียงขา	เบอร์
fT (MHz)	Vce (V)	Ic/Ib (A)	SW Time ton (μs)	tf (μs)	tstg (μs)	Cob (max) (pF)	Cre (max) (pF)	พารามิเตอร์ ราคาต่ำ	ค่าที่ระบุ	ภาวะการลอง				
6000	6	0.03					1.1					(43)	B2C2C1B1E, Du	2SC1661
6000	6	0.03					1					(41) E ร่วม	B2C2C1B1E, Du	2SC1662
2000	10	0.1					3.5	Gpe	min 3dB	f=2.3GHz Pi=30dBm		(20)	ECEB	2SC1673
400	6	0.001				1.3		NF	max 3dB	f=100MHz Rg=50ohm		TO-92MS	ECB	2SC1674
150	6	0.001				2.2		NF	max 4dB	f=100MHz Rg=500ohm		TO-92MS	ECB	2SC1675
1500	10	0.002				3.5•		NV	300mV TYP	Gv=80dB Rg=100K		TO-92MS	ECB	2SC1684
1500	10	0.002				3.5•		NV	300mV TYP	Gv=80dB Rg=100K		TO-92MS	ECB	2SC1685
220	10	0.004					0.45	PG	20dB min	f=58MHz		TO-92MS	ECB(รักษา)	2SC1686
360	10	0.005					0.5	PG	21dB min	f=58MHz		TO-92MS	CEB	2SC1687
360	10	0.005					0.5	PG	21dB min	f=58MHz		TO-92MS	CEB	2SC1688
800	10	0.005				1.5•		Cc·rbb	max 15ps	f=31.9MHz		TO-92MS	ECB	2SC1730
2500	5	0.015					1.5					(NEC-F1)	E2B2C2C1B1E1	2SC1731
2000	5	0.015					2					(NEC-F1)	E2B2C2C1B1E1	2SC1732
1500	10	0.01					1.5					(NEC-TO-184)	E1C1B1B2C2E2	2SC1733
180•	12	0.002				3.5					2SA933	TO-92MS	ECB	2SC1740
180•	12	0.002				3.5		NV	max 150mV	Gv=80dB Rg=100K	2SA933LN	TO-92MS	ECB	2SC1740LN
180•	12	0.002				3.5					2SA933S	(SPT)	ECB	2SC1740S
180•	12	0.002				3.5		NV	max 150mV	Gv=80dB Rg=100K	2SA933SLN	(SPT)	ECB	2SC1740SLN
250•	5	0.02				6.2•					2SA854	TO-92MS	ECB	2SC1741
250•	5	0.02				5•						TO-92MS	ECB	2SC1741A
250•	5	0.02				5•						(SPT)	ECB	2SC1741AS
250•	5	0.02				6.2•					2SA854S	(SPT)	ECB	2SC1741S
50	30	0.01				5.3						TO-220ABMS	BCE	2SC1755
50	30	0.01				5.3						(TO-220(Lift Pin)MS)	BCE	2SC1756
50	30	0.01				5.3						TO-220AAMS	BCE	2SC1757
50	15	0.1				150		Gp	min 16dB	f=30MHz		(2-13B1A)	EBEC	2SC1763
50	15	0.2				300		Gp	min 14.5dB	f=30MHz		(2-13B1A)	EBEC	2SC1764
						15		Po	min 2.8W	f=470MHz Pi=0.6W		(2-9A1B)	EBC	2SC1765
200•	12	0.002				1.6•		NF	MAX 1.5dB	f=1KHz/Rg=50K	2SA872	TO-92MS	ECB	2SC1775
200•	12	0.002				1.6•		NF	MAX 1.5dB	f=1KHz/Rg=50K	2SA872A	TO-92MS	ECB	2SC1775A
400	10	0.003						PG	16dB TYP	f=200MHz		TO-92MS	CEB(รักษา)	2SC1778
450	10	0.002					0.6	NF	2dB TYP	f=200MHz		TO-92MS	CEB(รักษา), F·AGC	2SC1779
150•	6	0.001				1.8•		NF	typ 0.5dB	f=1KHz Rg=10K		TO-92MS	BCE	2SC1780A
150•	10	0.05				15					2SA1128	TO-92MS	ECB(รักษา)	2SC1788
600	10	0.01					1.5	PG	15dB TYP	f=10.7MHz		TO-92MS	ECB	2SC1789
600	10	0.6					14	Po	min 9W	f=1GHz Pi=4W		(NEC-56)	ECEB	2SC1792



เบอร์	ผู้ผลิต	การใช้งาน	พิกัดสูงสุด (ที่ Ta = 25°C. ถ้ามี • กำกับคิดที่ Tc = 25°C)					คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (ที่ Ta = 25°C. ถ้ามี • กำกับเป็นค่าสุ่มตัวอย่าง)									
			V_{CBO} (V)	V_{CEO} (V)	I_C(DC) (A)	P_C (W)	P_C• (W)	I_{CBO} (max) (μA)	V_{CB} (V)	h_{FE} (min)	h_{FE} (max)	V_{CE} (V)	I_C/I_E (A)	$V_{CE(sat)}$ (max) (V)	$V_{BE(sat)}$ (max) (V)	I_C (A)	I_B (A)
2SC2558-MA	NEC	800MHz PA	35	18	0.5		8.3	100	20	20	200	10	0.1				
2SC2559-KA	NEC	800MHz PA	35	18	1.5		17.5	200	20	20	200	10	0.3				
2SC2559-MA	NEC	800MHz PA	35	18	1.5		17.5	200	20	20	200	10	0.3				
2SC2562	TOSHIBA	PSW	60	50	5		25	1	50	70	240	1	1	0.4	1.2	3	0.15
2SC2570A	NEC	HF LN A	25	12	0.07	0.6		1	10	40	200	10	0.02				
2SC2582	MATSUSHITA	LF PA	45	35	1	1.2	10	0.1	20	85	340	10	0.5	0.5		0.5	0.05
2SC2585	NEC	MF LN A	24	12	0.065	0.4		1	8	50	300	8	0.007				
2SC2590	MATSUSHITA	LF PA	120	120	0.5	1.2	5			65	330	10	0.15	1	1.2	0.3	0.03
2SC2591	MATSUSHITA	LF PA/PD	150	150	1		20			90	330	10	0.15	2	2	0.5	0.05
2SC2592	MATSUSHITA		180	180	1		20			90	330	10	0.15	2	2	0.5	0.05
2SC2594	MATSUSHITA	LF PA/DDC	40	20	5		10	0.1	10	140	450	2	0.5	1		3	0.1
2SC2603	MITSUBISHI	LF A	50	50	0.2	0.3		0.1	50	90	800	6	0.001	0.3		0.1	0.01
2SC2610	HITACHI	HF HV A/Video out	300	300	0.1	0.8				30	200	20	0.02	1.5		0.02	0.002
2SC2611	HITACHI	HF HV A/Video out	300	300	0.1	1.25				30	200	20	0.02	1.5		0.02	0.002
2SC2612	HITACHI	HV HS PSW	500	400	3		30	100	400	15		5	1.5	1	1.5	1.5	0.3
2SC2613	HITACHI	HV HS PSW	500	400	5		40	100	400	15		5	2.5	1	1.5	2.5	0.5
2SC2613K	HITACHI	HV HS PSW	500	400	5		40	100	400	15		5	2.5	1	1.5	2.5	0.5
2SC2618	HITACHI	LF A	35	35	0.5	0.15		0.5	20	60	320	3	0.01	0.6		0.15	0.015
2SC2619	HITACHI	HF A	30	30	0.1	0.15		0.5	20	35	200	12	0.002	1.1		0.01	0.001
2SC2620	HITACHI	VHF A/OSC	30	20	0.02	0.1		0.5	10	60	200	6	0.001	0.17•		0.02	0.004
2SC2621	SANYO	TV Cout	300	300	0.2	1.2	10	1	200	40	200	10	0.01	0.6	1	0.02	0.002
2SC2623	FUJI	HV HS PSW/PA/PD/SW-Reg	450	400	20		100	1000	450	10		5	8	1.2	1.5	8	1.6
2SC2624	FUJI	HV HS PSW/PA/PD/SW-Reg	450	400	5		80	1000	450	10		5	2	1.2	1.5	2	0.4
2SC2625	FUJI	HV HS PSW/PA/PD/SW-Reg	450	400	10		80	1000	450	10		5	4	1.2	1.5	4	0.8
2SC2626	FUJI	HV HS PSW/PA/PD/SW-Reg	400	300	15		80	1000	400	10		5	6	1.2	1.5	6	1.2
2SC2631	MATSUSHITA	LF HV A	150	150	0.05	0.75		1	100	90	450	5	0.01	1		0.03	0.003
2SC2632	MATSUSHITA	LF HV A	150	150	0.05	1		1	100	90	450	5	0.01	1		0.03	0.003
2SC2633	MATSUSHITA	LF HV A	150	150	0.05	1.5		1	100	90	450	5	0.01	1		0.03	0.003
2SC2634	MATSUSHITA	LF LN A	60	55	0.1	0.4		0.1	10	180	700	5	0.002	0.6		0.1	0.01
2SC2636	MATSUSHITA	HF A/OSC	30	20	0.05	0.4				25		10	0.002				
2SC2637	MATSUSHITA	TV Cout	300	300	0.1		15			50	250	50	0.005	1.5		0.05	0.005
2SC2638	TOSHIBA	VHF PA	35	17	2		15	100	15	10		5	1				
2SC2639	TOSHIBA	VHF PA	35	17	3.5		35	1000	15	10		5	1				
2SC2640	TOSHIBA	VHF PA	40	17	6		70	2000	15	10		5	5				
2SC2641	TOSHIBA	400MHz PA	35	17	1.4		15	1000	15	10		5	1				
2SC2642	TOSHIBA	400MHz PA	35	17	2.8		30	1500	15	10		5	1.5				

Ic (A)
0.15
0.05
0.03
0.05
0.05
0.1
0.01
0.002
0.002
0.3
0.5
0.5
0.015
0.001
0.004
0.002
1.6
0.4
0.6
1.2
0.003
0.003
0.003
0.01
0.005

คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (ที่ Ta = 25°C. ถ้ามี * กำกับเป็นค่าสุ่มตัวอย่าง)											คู่คอมพลี-เมนทารี	แบบตัวถัง	การเรียงขา	เบอร์
fT			SW Time			Cob	Cre	พารามิเตอร์						
(MHz)	Vce (V)	Ic/Ie (A)	ton (μs)	tf (μs)	tstg (μs)	(max) (pF)	(max) (pF)	รายการ	ค่าที่ระบุ	ภาวะทดสอบ				
							3.5	Po	min 30dBm	f=860MHz PI=29.4dBm		(#789L)	CEBEE	2SC2558-MA
						10		Po	min 36dBm	f=860MHz		(#789K)	CEBE	2SC2559-KA
								Po	min 36dBm	f=860MHz		(#789L)	CEBEE	2SC2559-MA
1200	4	1	0.1	0.1	1	6					2SA1012	TO-220ABバラ	BCE	2SC2562
5000*	10	0.02					1	NF	max 3dB	f=1GHz		TO-92バラ	BEC	2SC2570A
2000	10	0.05				20						(TO-126(a))	ECB	2SC2582
8000	8	0.007				0.35		NF	max 2.5dB	f=2GHz		(マイクロX)	ECEB	2SC2585
200*	10	0.05				20					2SA1110	(TO-126(b))	ECB	2SC2590
200*	10	0.05				30					2SA1111	TO-220ABバラ	BCE	2SC2591
200*	10	0.05				30					2SA1112	TO-220ABバラ	BCE	2SC2592
150*	6	0.05				50						(TO-126(a))	ECB	2SC2594
200*	6	0.01				2.5*		NF	max 15dB	f=1KHz Rg=2K		(TO-92S)	ECB	2SC2603
50	20	0.02				4						(TO-92MOD)	ECB	2SC2610
50	20	0.02				4						(TO-126)	ECB	2SC2611
			1	1	2.5							TO-220ABバラ	BCE	2SC2612
			1	1	2.5							TO-220ABバラ	BCE	2SC2613
			1	1	2.5							TO-220ABバラ	BCE	2SC2613K
											2SA1121	(SC-59(MPAK))	EBC	2SC2618
2200*	12	0.002				3.5		NF	TYP 5dB	f=1MHz/Rg=500		(SC-59(MPAK))	EBC	2SC2619
8400*	6	0.005				0.9*						(SC-59(MPAK))	EBC	2SC2620
50	30	0.01				5						(TO-126)	ECB	2SC2621
			1	1	3							TO-3バラ	BEC	2SC2623
			1	1	2							SC-65	BCE (ドーナツ)	2SC2624
			1	1	2							SC-65	BCE	2SC2625
			0.6	0.6	2							SC-65	BCE	2SC2626
1600*	10	0.01				3		NV	300mV max	Gv=60dB Rg=100K	2SA1123	TO-92バラ	ECB	2SC2631
1600*	10	0.01				3		NV	300mV max	Gv=60dB Rg=100K	2SA1124	SC-51	ECB	2SC2632
1600*	10	0.01				3					2SA1125	TO-220ABバラ	BCE	2SC2633
								NV	150mV max	Gv=60dB Rg=100K	2SA1127	TO-92バラ	ECB	2SC2634
600	10	0.015					1.5	PG	20dB TYP	f=200MHz		(M Type)	BCE	2SC2635
70	30	0.02				4.5						(TO-202)	ECB	2SC2637
						25		Po	min 6W	f=175MHz PI=0.5W		(2-7A1A)	EBEC	2SC2638
						80		Po	min 15W	f=175MHz PI=1.3W		(2-7A1A)	EBEC	2SC2639
						160		Po	min 28W	f=175MHz PI=4W		(2-7A1A)	EBEC	2SC2640
						25		Po	min 6W	f=470MHz PI=1W		(2-7A1A)	EBEC	2SC2641
						80		Po	min 12W	f=470MHz PI=3W		(2-7A1A)	EBEC	2SC2642

ภาคผนวก ข.

อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้

ลำดับที่	จำนวน(ตัว)	ค่าที่ใช้	อุปกรณ์
1	3		T1L3
2	4	0.001UF	C18C11C9C 8
3	1	1.2K	R2
4	3	1.5K	R12R13R7
5	1	1K	R3
6	2	2.2K	R8R5
7	1	3-12PF	C4
8	8	3PF	C24C25C7C5C2
9	2	4.7UF50V	C17C16
10	1	3 รอบ	L2
11	1	5.6K	R1
12	1	5×10^{-19}	L1
13	1	5V	ZD2
14	2	10K	VR2R4
15	1	10PF	C12
16	1	10UF	25V C15
17	1	11V	ZD1
18	1	15PF	C1
19	1	22PF	C3
20	2	33PF	C21C6
21	1	47 Ω	R9
22	1	56PF	C1
23	1	100 Ω	R10
24	1	100PF	C19
25	1	180PF	C20
26	1	220K	R11
27	1	220UF16V	C10
28	1	470PF	C14
29	1	560 Ω	R6
30	1	C945	Q3
31	2	C1674	Q2Q1
32	1	C2570	Q4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

นายอดิศักดิ์ เธียรสุวรรณเกิดเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2519 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนโพธิสาร กรุงเทพมหานคร จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี 2540

นางสาวอนงค์ ลิ้นทอง เกิดเมื่อวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2518 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนมัธยมสาธิตมศว.ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้