



ปริญญาเนนธ์

สภานี้รับสัญญาจากดาวเทียม

โดย

นายมุศิริ เลิศสัตยาณัติ

นายพฤษ วัฒน

นายอดิศร จำลองเพียร

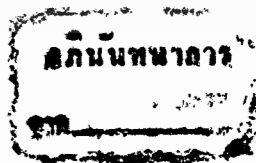
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2531



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ **023136** **8.๑๑.๒๕๓๒** ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2531

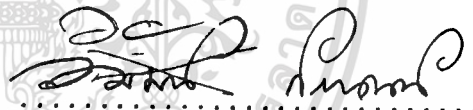
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สถาปนาปริญญาจากดาวเทียม

ผู้จัดทำ

1. นายบุญศิริ เลิศลัทยานุกัตติ 28.1134
2. นายพฤษัช วัฒนโน 28.1154
3. นายอดิสร จำลองเพชร 28.1308



(ผศ.ดร. วิวัฒน์ ภิรมนันท)

อาจารย์ที่ปรึกษา

สถานีรับสัญญาณจากดาวเทียม

บุญศิริ เลิศสัตถยานุศักดิ์

พฤษภ์ พัฒน์โน

ฉัตร จำลองเพชร

ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

การศึกษาระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมในปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ ได้กล่าวถึงเฉพาะ การรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียม เพราะสามารถหาอุปกรณ์และข้อมูลรองรับได้พอควร ส่วน ภาคการส่งสัญญาณนั้น ได้งดเว้นเสียเพราะไม่สามารถหาอุปกรณ์มาประกอบได้ ทางด้านการ ปฏิบัติ ได้เน้นการดัดแปลงระบบสายอากาศของสถานีรับสัญญาณจากดาวเทียม จากเดิมที่ใช้กับ การสื่อสารทหารในความถี่ย่าน 7 GHz ให้สามารถใช้ได้กับความถี่ย่าน 4 GHz และการต่อ วงจรเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ทำเฉพาะในส่วนที่สามารถทำได้โดยมีเครื่องมือสนับสนุน การปฏิบัติภายในระยะเวลา 1 ปีการศึกษา โดยมีจุดมุ่งหมายว่าผลจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะเป็น แนวทางในการสานต่อทางด้านปฏิบัติการสำหรับนักศึกษารุ่นต่อไป เพื่อให้เกิดความเข้าใจใน ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมได้ดียิ่งขึ้นนอกเหนือจากการศึกษาในหลักสูตรปริญาตรี

SATLELLITE EARTH STATION

Boonsiri Lerssattayanusakdi

Pruek Pattano

Adisorn Jumlongpetch

Dr.Wiwat Kiranon Advisor

1988

Abstract

The study of satellite communication in this thesis is emphasis on television receiving from satellite. Since it can show the result clearly and it has supporting equipment and information. Antenna system of the satellite earth station that uses in 7 GHz band for military communication is adapted into 4 GHz system. Satellite receiver is fabricated as possible as the available instruments and time in one academic year. The results of this studying will be the extension guidelines for the follower to better understanding of satellite communication except from general classroom.

สารบัญ

บทคัดย่อ		หน้า	1
Abstract		"	2
บทที่ 1	บทนำ	"	5
บทที่ 2	ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม	"	6
	2.1 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม	"	6
	2.1.1 การส่งสัญญาณขึ้นสู่อวกาศ	"	8
	2.1.2 การทวนสัญญาณที่ดาวเทียม	"	9
	2.1.3 การรับสัญญาณจากดาวเทียม	"	10
	2.2 ระบบสายอากาศ	"	11
	2.2.1 แบบโพรมิโทกส์นิก	"	11
	2.2.2 แบบคาสซีเกรน	"	12
	2.3 ระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม	"	13
	2.3.1 โลว์นอยส์แอมพลิไฟเออร์	"	13
	2.3.2 วงจรแปลงความถี่	"	14
	2.3.2.1 มิกเซอร์	"	16
	2.3.2.2 วงจรกำเนิดความถี่	"	20
	2.3.2.3 แบนด์พาสฟิลเตอร์	"	23
	2.3.3 ฟิลเตอร์	"	24
	2.3.4 ดีเทคเตอร์	"	25
บทที่ 3	การออกแบบและการทดลอง	"	28
	3.1 การออกแบบสายอากาศป้อนสัญญาณ	"	28
	3.2 การตัดแปลงระบบสายอากาศ	"	33
	3.3 การคำนวณมุมการรับสัญญาณจากดาวเทียม	"	36
	3.4 การออกแบบระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม	"	37
	3.4.1 มิกเซอร์	"	38
	3.4.2 วงจรกำเนิดความถี่	"	38

3.4.3	วงจรนิลเตอร์	"	41
3.4.4	ภาคขยายความถี่กลาง	"	46
3.4.5	วงจรถิเทคเตอร์	"	50
บทที่ 4	ผลการทดลอง	"	54
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	"	64
ภาคผนวก		"	67
กิตติกรรมประกาศ		"	73
เอกสารอ้างอิง		"	74



บทที่ 1

บทนำ

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม นับวันจะมีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อเผยแพร่ข่าวสารในระยะทางไกลๆ การศึกษาระบบของการสื่อสารผ่านดาวเทียม จะได้เป็นการเพิ่มทักษะความเข้าใจและก่อให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาการสื่อสารผ่านดาวเทียมให้ดียิ่งขึ้นอีกต่อไป

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการดัดแปลงระบบสถานีภาคพื้นดินที่เดิมเคยใช้กับการสื่อสารทหารในย่านความถี่ 7 GHz ที่มีทั้งมีการรับและการส่งสัญญาณ ให้ใช้งานได้กับการสื่อสารในย่านความถี่ 4 GHz ซึ่งเป็นลักษณะการสื่อสารมวลชน โดยที่การศึกษาดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นการบุกเบิกสำหรับการปฏิบัติงานของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแห่งนี้ ดังนั้นจึงได้ศึกษาเฉพาะทางด้าน การรับสัญญาณจากดาวเทียมและเน้นไปที่การรับสัญญาณโทรทัศน์ ด้วยเหตุผลของการจัดหาอุปกรณ์สำหรับแสดงผลได้สะดวกกว่าสัญญาณชนิดอื่น และเหตุผลทางด้านระยะเวลาที่จำกัดให้ศึกษาภายในเวลา 1 ปีการศึกษา เนื้อหาภายในเล่มจึงกล่าวในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาสำหรับนักศึกษาในปีต่อไปที่จะมาสานต่อการทำงานในด้านอื่นๆต่อไป

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมโดยทั่วไป และเน้นที่ระบบสายอากาศกับระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม เนื้อหาเป็นเรื่องเกี่ยวกับสิ่งที่จะต้องทำขึ้นมา

บทที่ 3 เป็นขั้นตอนการออกแบบส่วนต่างๆของระบบ นับตั้งแต่ระบบสายอากาศซึ่งเป็นการปฏิบัติในเทอมแรกในวิชา Project 1 จนถึงระบบเครื่องรับสัญญาณที่ได้ทำในเทอมที่ 2 ในวิชา Project 2 กล่าวถึงเฉพาะส่วนที่ทำได้แก่ วงจรแปลงความถี่ครั้งที่สอง วงจรกรองความถี่ วงจรขยายสัญญาณ และวงจรดีเทคเตอร์

บทที่ 4 แสดงผลการทดลองทั้งระบบสายอากาศ และระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมที่ได้ทำขึ้น

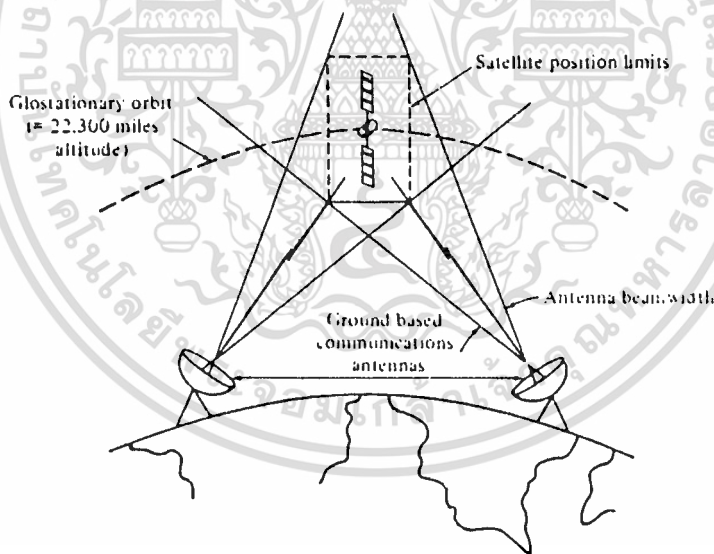
บทที่ 5 เป็นบทวิจารณ์และสรุป นับตั้งแต่การปฏิบัติงานติดตั้งสถานีรับสัญญาณจากดาวเทียม จนกระทั่งการนำมาเป็นส่วนศึกษาปริญญาโท

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

2.1 ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมประกอบด้วยส่วนสำคัญได้แก่ สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station) และดาวเทียม โดยที่ดาวเทียมทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ มีช่องความถี่ใช้งาน (Transponder) หลายช่องแล้วแต่การนำไปใช้งาน เช่น การส่งข้อมูล การส่งสัญญาณภาพ และการส่งสัญญาณเสียง เป็นต้น ลักษณะการติดต่อผ่านดาวเทียมระหว่างสถานีภาคพื้นดิน 2 สถานีแสดงดังรูป 2.1 มีสถานีต้นทางส่งสัญญาณขาขึ้น (Uplink) ที่ความถี่ค่าหนึ่งไปยังดาวเทียมซึ่งทำหน้าที่แปลงความถี่ให้ต่ำลง แล้วขยายสัญญาณก่อนส่งลงมา เป็นสัญญาณขาลง (Downlink)



รูป 2.1 การติดต่อระหว่างสถานีภาคพื้นดินผ่านดาวเทียม

โดยทั่วไป ดาวเทียมลอยอยู่สูงจากผิวโลกประมาณ 22,300 ไมล์หรือประมาณ 35,680 กิโลเมตร บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรลอยนิ่งอยู่กับที่เมื่อเทียบกับตำแหน่งใดๆ บนพื้นโลก ทำให้มีรัศมีการทำงานครอบคลุมพื้นที่การส่งสัญญาณจากดาวเทียมได้ถึงประมาณ 1 ใน 3 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผิวโลก ดังนั้นถ้าใช้ดาวเทียม 3 ดวงก็จะทำให้สามารถเชื่อมต่อสื่อสารได้ทั่วโลก โดยการจัดตำแหน่งของดาวเทียมทั้ง 3 ดวงแสดงดังรูป 2.2 จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่บางส่วนของผิวโลกสามารถติดต่อผ่านดาวเทียมได้ถึง 2 ดวง (Overlapped Zone) และมีพื้นที่บางส่วนที่ไม่สามารถใช้ดาวเทียมได้ (Invisibility Zone) ซึ่งมักจะเป็นบริเวณขั้วโลกเนื่องจากไม่ค่อยจะมีการติดต่อสื่อสารมากนัก และไม่คุ้มกับการที่จะต้องเพิ่มดาวเทียมขึ้นมาอีก

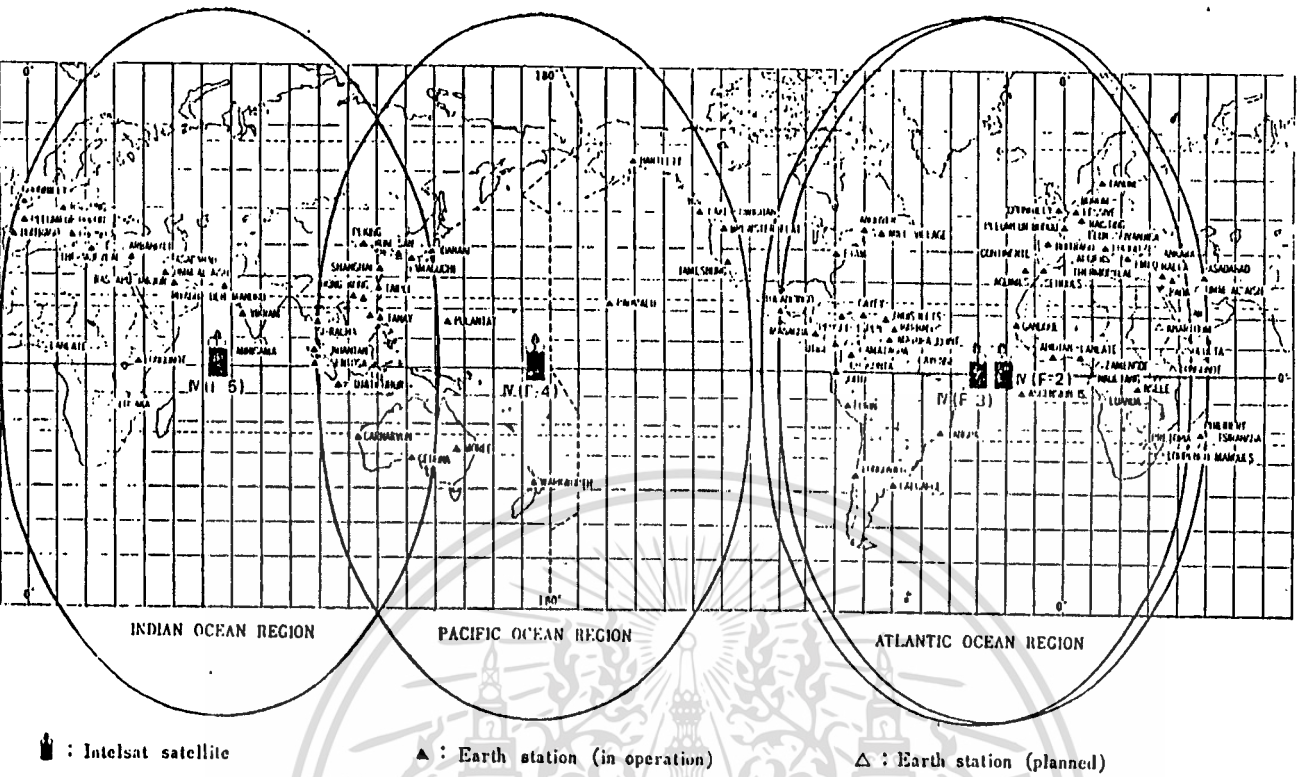
ยังมีดาวเทียมอีกประเภทหนึ่งคือดาวเทียมที่ไม่ลอยนิ่งอยู่กับที่แต่จะโคจรรอบโลก ด้วยคาบเวลาและเส้นทางแตกต่างกันไปแล้วแต่การใช้งานเฉพาะ ได้แก่ ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ดาวเทียมสำหรับการพยากรณ์อากาศ เป็นต้น



รูป 2.2 การจัดตำแหน่งของดาวเทียม 3 ดวงในการเชื่อมต่อสื่อสารทั่วโลก

ตัวอย่างของการใช้ดาวเทียมหลายดวงที่ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทั่วโลก คือ ดาวเทียมอินเทลแซท (INTELSAT) ที่มีการใช้งานและพัฒนาเรื่อยมาตั้งแต่ อินเทลแซท-1 อินเทลแซท-2 จนถึงปัจจุบันกำลังจะมีการส่งอินเทลแซท-6 ขึ้นไปเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการสื่อสาร และทดแทนรุ่นแรกๆ ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว จากรูป 2.3 แสดงพื้นที่การใช้งานครอบคลุมพื้นผิวโลกของดาวเทียม อินเทลแซท-4 มี 4 ดวง ได้แก่ F-2, F-3, F-4 และ F-5 จะเห็นว่า F-2 และ F-3 มีการใช้งานในบริเวณใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการใช้

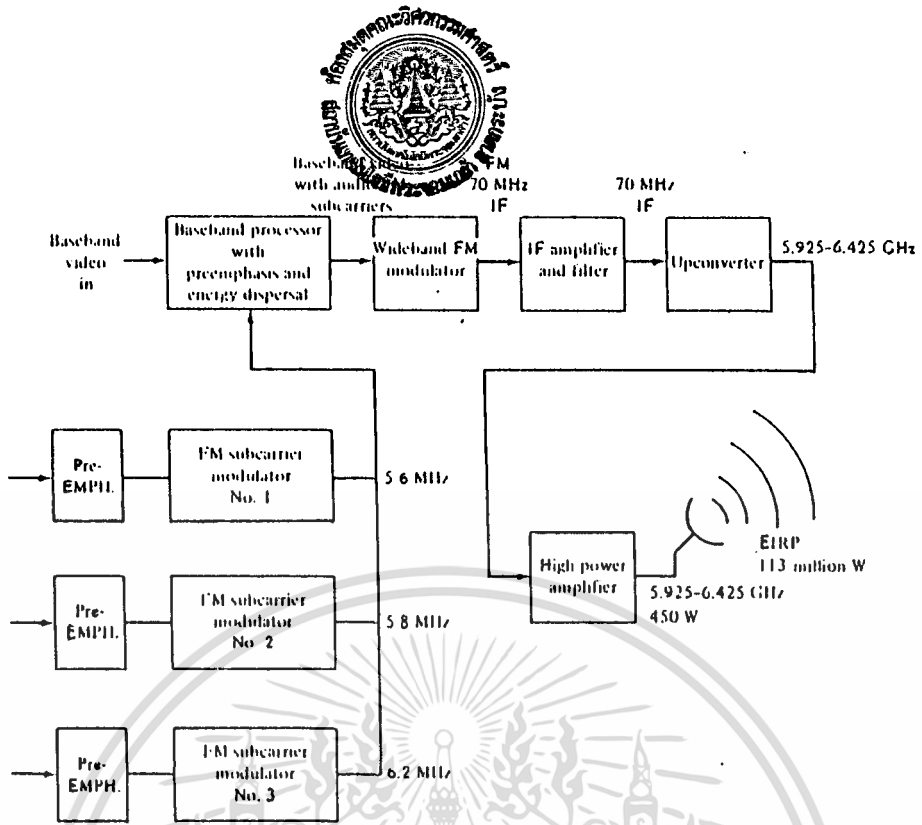
เอกสารกันมาก การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 พื้นที่การใช้งานของดาวเทียม อินเทลแซท-4

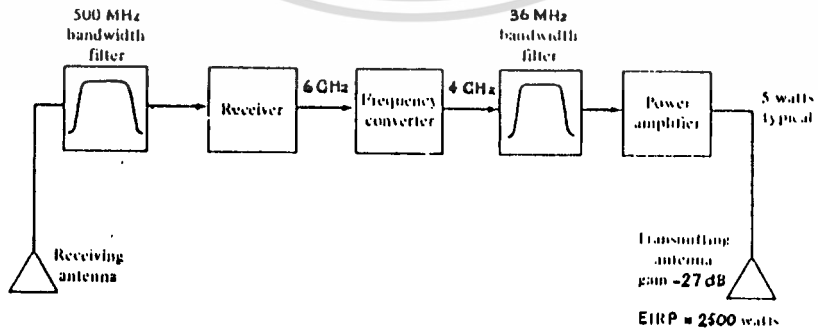
2.1.1 การส่งสัญญาณขึ้นสู่ดาวเทียม ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการส่งสัญญาณโทรทัศน์ มีขั้นตอนดังรูป 2.4 สัญญาณภาพเข้าสู่การประมวลผลทางสัญญาณ โดยรวมกับสัญญาณเสียงที่ถูกผสมมาก่อนกับความถี่พาห้รอง (Subcarrier) แต่ละช่องซึ่งผสมแบบ เอฟ เอ็ม แล้วเข้าสู่การผสมในช่วงความถี่กว้าง (Wideband) ได้เอากันทุกเป็นสัญญาณเอฟ เอ็ม ที่ความถี่กลาง (Intermediate Frequency; IF) 70 MHz มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) 36 MHz ที่มีทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงผสมมาด้วย จากนั้นขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้นแล้วจึงกรองเอาเฉพาะช่วงความถี่ที่ต้องการ สัญญาณที่ได้จะถูกแปลงให้มีความถี่สูงขึ้นด้วยอุปกรณ์แปลงความถี่ขึ้น (Upconverter) อยู่ที่ความถี่ย่าน C-band (5925-6425 MHz) แล้วขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้นอีกครั้งด้วย High Power Amplifier (HPA) ก่อนจะส่งออกไปยังดาวเทียมโดยผ่านจานสายอากาศซึ่งก็ช่วยเพิ่มระดับสัญญาณให้แรงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ขึ้นสู่อวกาศเทียม

2.1.2 การทวนสัญญาณที่ดาวเทียม มีขั้นตอนการทำงานดังรูป 2.5 สัญญาณขาขึ้นจากสถานีภาคพื้นดินมีช่วงกว้างความถี่ 500 MHz ผ่านสายอากาศรับแล้วถูกกรองเอาเฉพาะช่วงความถี่ที่ต้องการโดยแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Bandpass Filter) เข้าสู่อุปกรณ์แปลงความถี่ให้ต่ำลง (Down-

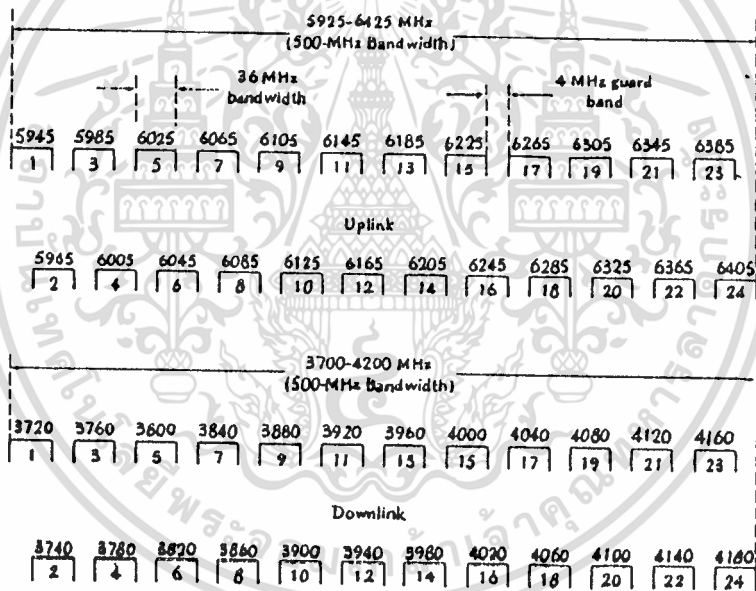


รูป 2.5 แสดงการทวนสัญญาณภายในดาวเทียม

converter) จากความถี่ย่าน 6 GHz ไปเป็นความถี่ย่าน 4 GHz กรองเอาความถี่เฉพาะ ช่วงที่ต้องการโดย แบนด์พาสฟิลเตอร์ แล้วขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้นก่อนส่งผ่านจานสาย อากาศลงมายังสถานีภาคพื้นดิน

การที่ต้องแปลงความถี่ไปนี้ เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณขาขึ้นและสัญญาณขาลงเกิดการรบกวนกัน และการแปลงให้ความถี่ต่ำลง เนื่องจากทำได้สะดวกกว่าและอุปกรณ์มีน้ำหนัก เบากว่าช่วยทำให้น้ำหนักรวมของดาวเทียมไม่มากจนเกินไปนัก

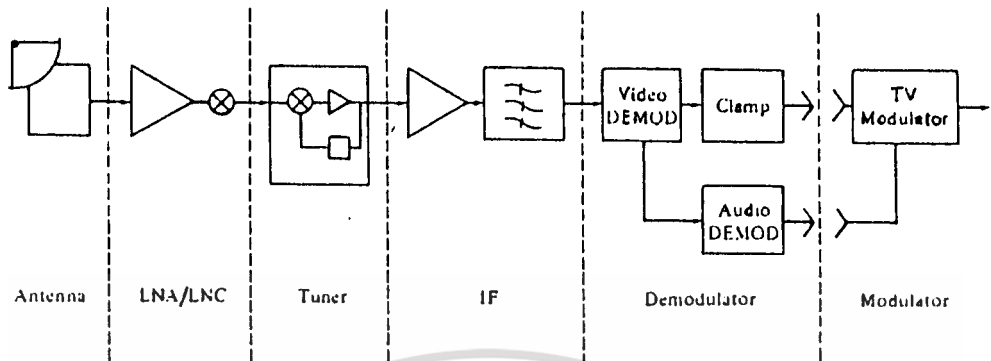
ภายในดาวเทียมมีอุปกรณ์จัดการช่องความถี่ใช้งาน ซึ่งมีช่วงกว้างทั้งหมด 500 MHz แต่ละช่องความถี่มีช่วงกว้าง 40 MHz อยู่ห่างกันด้วยช่วงแยก (Guardband) 4 MHz มีการจัดแบ่งช่องสัญญาณสำหรับสัญญาณขาขึ้นและสัญญาณขาลงดังรูป 2.6



รูป 2.6 การแบ่งช่องความถี่ใช้งานสำหรับสัญญาณขาขึ้นและสัญญาณขาลง

2.1.3 การรับสัญญาณจากดาวเทียม มีขั้นตอนการทำงานดังรูป 2.7 สัญญาณขาลงที่ส่งมาจากดาวเทียมเข้าสู่ระบบสายอากาศซึ่งช่วยเพิ่มระดับสัญญาณให้สูงขึ้น แล้วถูกขยายสัญญาณโดยมีความรบกวนต่ำด้วยโลว์นอยส์แอมพลิไฟร์ (Low Noise Amplifier; LNA) จากนั้นแปลง

ความถี่ให้ต่ำลงจนได้สัญญาณที่ความถี่กลาง 70 MHz แล้วแยกสัญญาณเดิม (Baseband) ซึ่งในที่นี้คือสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกมา โดยสถานีภาคพื้นดินจะนำไปส่งออกอากาศต่อไป



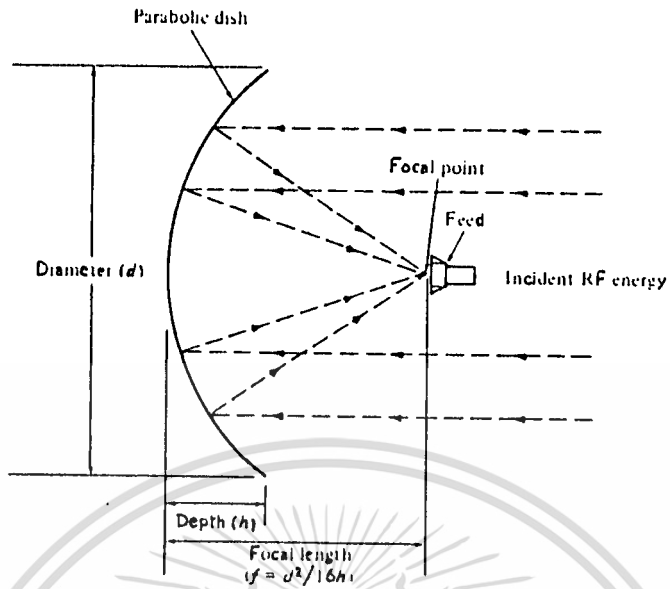
รูป 2.7 การรับสัญญาณจากดาวเทียม

2.2 ระบบสายอากาศ

ระบบสายอากาศที่ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียม โดยทั่วไปเป็นแบบที่ใช้จานสะท้อนหลัก (Main Reflector) รูปทรงพาราโบลา มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะการบ่อนสัญญาณ ในบางชนิดอาจใช้เพียงส่วนหนึ่งของจานสะท้อนหลักที่เรียกว่า แบบออฟเซ็ท (Offset) ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบสายอากาศเพียง 2 แบบซึ่งเป็นแบบพื้นฐานคือแบบไพรม์โฟกัส (Prime-Focus Feed) และ แบบคาสซิเกรน (Cassegrain)

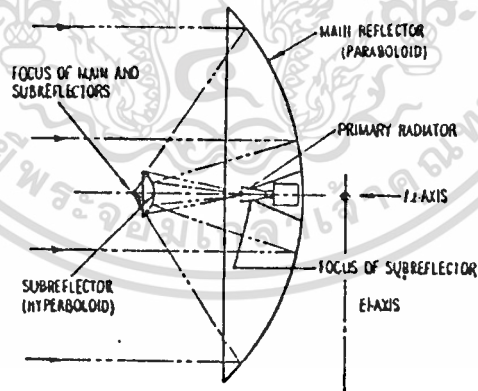
2.2.1 แบบไพรม์โฟกัส (Prime-focus feed type) มีโครงสร้างดังรูป 2.8

ระบบสายอากาศแบบนี้ มีการสะท้อนของสัญญาณเพียงครั้งเดียว ที่จานสะท้อนหลัก โดยสัญญาณจากดาวเทียมตกกระทบบนที่จานสะท้อนหลัก แล้วสะท้อนไปรวมกันที่จุดโฟกัส ซึ่งมีสายอากาศบ่อนสัญญาณตั้งกรอรับสัญญาณอยู่นำเข้าสู่ระบบเครื่องรับสัญญาณต่อไป ระบบสายอากาศแบบนี้ มีชื่อเรียกตามลักษณะการติดตั้งสายอากาศบ่อนสัญญาณที่อยู่บริเวณจุดโฟกัสของจานสะท้อนหลัก โดยสายอากาศบ่อนสัญญาณ มักจะเป็น ไดโพล (dipole) หรือ ฮอ์น (horn) แล้วแต่วัตถุประสงค์และย่านความถี่ที่ใช้



รูป 2.8 ระบบสายอากาศแบบพริ้มโฟกัสผิด

2.2.2 แบบคาสซิเกรน (Cassegrain type) มีโครงสร้างดังรูป 2.9



รูป 2.9 ระบบสายอากาศแบบคาสซิเกรน

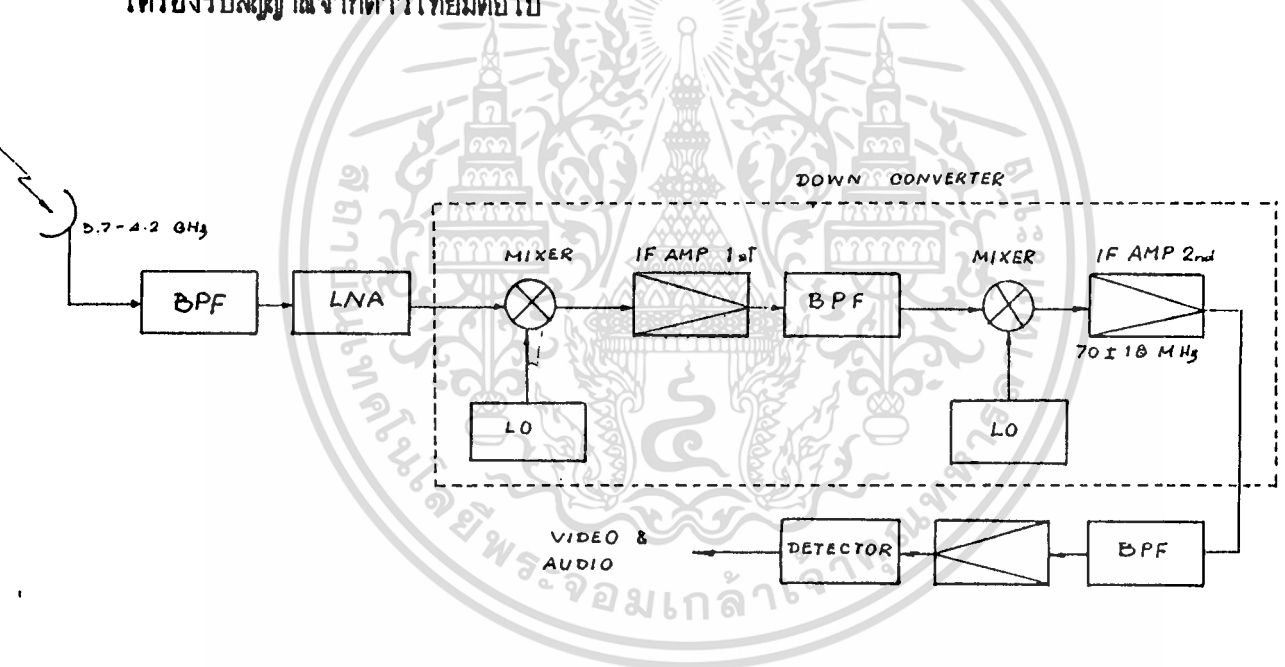
จากรูป 2.9 สัญญาณจากดาวเทียมตกกระทบกับจานสะท้อนหลักแล้วสะท้อนไปรวมยังจุดโฟกัส ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับจุดโฟกัสจุดหนึ่งของจานสะท้อนรอง (Sub Reflector) รูปไฮเพอร์โบลา ในแนวของคลื่นที่จะไปยังจุดโฟกัสนี้ จานสะท้อนรองทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนของสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง ให้ไปรวมกันที่จุดโฟกัสอีกจุดหนึ่งของจานสะท้อนรอง ซึ่งอยู่ระหว่างจาน

สะท้อนหลักและจานสะท้อนรอง บริเวณนี้มีสายอากาศป้อนสัญญาณตัวกรอรับสัญญาณอยู่ โดยที่มักจะเป็นสายอากาศแบบฮอร์น

ระบบสายอากาศแบบนี้สามารถติดตั้ง LNA ต่อกับสายอากาศป้อนสัญญาณได้เลย ทำให้ลดช่วงการส่งสัญญาณจึงมีการสูญเสียเนื่องมาจากสายส่ง (Transmission Loss) น้อย นอกจากนี้สามารถลดพลังงานที่ไม่น่าจะสูญเสียจากการเกิดสปีลโอเวอร์ (Spillover) ซึ่งการสูญเสียทั้งสองชนิดนี้มีในระบบสายอากาศแบบไพรม์โฟกัสผิดมากกว่า

2.3 ระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม

การรับสัญญาณจากดาวเทียม ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ระบบสายอากาศ และ ระบบเครื่องรับสัญญาณ มีขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังรูป 2.10 ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมต่อไป



รูป 2.10 การรับสัญญาณจากดาวเทียม

2.3.1 โลว์นอยส์แอมพลิไฟเออร์ (Low Noise Amplifier; LNA)

โลว์นอยส์แอมพลิไฟเออร์ เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณในย่านความถี่สูง โดยมีสัญญาณรบกวนต่ำแบบต่างๆของLNA มีดังในตาราง 2.1 ในจำนวนเหล่านี้พาราเมตริกแอมพลิไฟเออร์ (Parametric Amplifier) มีข้อเด่นเหนือกว่าแบบอื่นเนื่องจากมีอุณหภูมิสัญญาณรบกวนต่ำ และลักษณะเฉพาะการใช้งานในช่วงความถี่ที่กว้าง โดยทั่วไปจะใช้เป็นส่วนหน้า (Front-End)

ทางด้านรับในสถานีภาคพื้นดิน นอกจากนี้ LNA แบบฟิลด์เอฟเฟคทรานซิสเตอร์แอมพลิไฟเออร์ (Field Effect Transistor (FET) Amplifier) ก็มีลักษณะเฉพาะตัวด้านการทำงานที่ดี ซึ่งกำลังจะมีบทบาทแทนที่ ทันเนลไดโอดแอมพลิไฟเออร์ (Tunnel Diode Amplifier) และ โลว์นอยส์ทรานซิสเตอร์แอมพลิไฟเออร์ (Low Noise Transistor Amplifier)

Items	He-gas cooled parametric amplifier	Thermo-electrically cooled parametric amplifier	Tunnel diode amplifier	Low noise transistor amplifier	Field effect transistor amplifier
Noise temperature (Noise figure)	10 - 20 K	Minimum 35 K	900 - 1,600 K (6 - 8 dB)	900 - 3,400 K (6 - 11 dB)	Minimum 70 K
Frequency bandwidth	500 MHz	500 MHz	600 MHz	600 MHz	800 MHz
Gain	30 dB	30 dB	10 dB	10 dB	10 dB
Saturation output power	-10 to -5 dBm	-10 to -5 dBm	-25 dBm	5 dBm	43 dBm
Cooling system	Cryogenic cooling by means of He-gas	Thermo-electrical cooling	—	—	—
Maintainability	Moderate	Easy	Easy	Easy	Easy

ตาราง 2.1 แสดงคุณสมบัติของโลว์นอยส์แอมพลิไฟเออร์แบบต่างๆ

2.3.2 วงจรแปลงความถี่ลง (DOWN CONVERTER)

อุปกรณ์ที่สำคัญชิ้นหนึ่งในระบบการสื่อสารด้วยระบบไมโครเวฟคือวงจรแปลงความถี่ลง (Down converter) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงความถี่จากสัญญาณความถี่สูง เป็นสัญญาณความถี่กลาง (IF) เพราะการสร้างวงจรสำหรับความถี่สูงมีความยุ่งยากมาก เครื่องรับโดยทั่วไปในระบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (Superheterodyne) การแปลงความถี่ให้ต่ำลงสามารถทำได้ หลายวิธีด้วยกัน คือ

- ระบบซิงเกิลคอนเวอร์ชัน (Single Conversion) ใช้การแปลงความถี่ของสัญญาณจากความถี่ไมโครเวฟ ลงมาเป็นสัญญาณความถี่กลาง 70 MHz โดยการแปลงความถี่เพียงครั้งเดียว

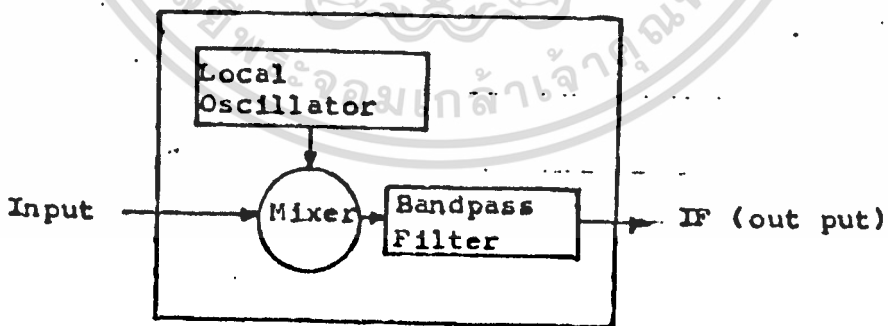
- ระบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน (Double Conversion) จะมีการแปลงความถี่ของสัญญาณสองครั้ง ครั้งแรกจะแปลงความถี่ลงมาให้อยู่ในย่านความถี่ยูเอชเอฟ (UHF) หลังจากนั้นจะแปลงความถี่อีกครั้งหนึ่ง ลงมาให้เป็นสัญญาณความถี่กลาง 70 MHz ลักษณะพิเศษ

ของระบบการแปลงความถี่นี้ คือในการแปลงความถี่ครั้งแรกจะใช้วงจรถ้าเนิดความถี่ที่สามารถปรับความถี่ได้ในช่วงกว้าง (มีลักษณะเป็น Voltage Tuned Oscillator หรือ Frequency Synthesizer) และในการแปลงความถี่ครั้งที่สองจะกำหนดค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดความถี่ที่แน่นอน

- บล็อกดาวนคอนเวอร์ชัน (Block Downconversion) เหมือนกับระบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน คือมีการแปลงความถี่ลงมาสองครั้ง แต่สำหรับวงจรถ้าเนิดความถี่ตัวแรกจะกำหนดความถี่ที่ใช้งานแน่นอน แต่มีการปรับความถี่ของวงจรถ้าเนิดความถี่ตัวที่สองเพื่อปรับช่องของการรับสัญญาณแทน

ส่วนประกอบต่างๆของวงจรแปลงความถี่ลง

1. มิกเซอร์ (Mixer) ทำหน้าที่ผสมสัญญาณจากวงจรถ้าเนิดความถี่และสัญญาณอินพุตความถี่วิทยุที่ต้องการแปลงความถี่
2. วงจรถ้าเนิดความถี่ (Local Oscillator) สำหรับสร้างความถี่ป้อนเข้าสู่มิกเซอร์ทำการรวมกับสัญญาณอินพุตความถี่วิทยุเพื่อทำการแปลงความถี่ของสัญญาณให้ลดลงมา
3. ฟิลเตอร์ (Filter) ทำหน้าที่กรองสัญญาณต่างๆที่ไม่ต้องการออกไป เพราะสัญญาณที่ได้จากมิกเซอร์จะมีสัญญาณที่มีความถี่เป็นผลต่างและผลรวมของความถี่ของสัญญาณอินพุตรวมทั้งฮาร์โมนิคอื่นๆของสัญญาณต่างๆด้วย



รูป 2.11 แสดงส่วนประกอบของวงจรแปลงความถี่ลง

ในการออกแบบเพื่อใช้งานของเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม จะใช้ระบบดับเบิ้ลคอนเวอร์ชัน ซึ่งใช้การแปลงความถี่ลงมาสองครั้ง ในการแปลงความถี่ครั้งแรกจะแปลงจากสัญญาณความถี่ไมโครเวฟ 3.7-4.2 GHz ลงมาเป็นสัญญาณความถี่ 880 MHz จากนั้นทำการแปลงความถี่อีกครั้งให้เป็นสัญญาณความถี่กลาง 70 MHz จึงเข้าสู่ส่วนของการตีเทคท์

2.3.2.1 มิกเซอร์ (MIXER)

มิกเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมสัญญาณสองสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณใหม่ที่มีความถี่พาหะเปลี่ยนไปโดยที่ข้อมูลที่ผสมมาด้วยนั้นยังคงเหมือนเดิม มิกเซอร์สามารถสร้างขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear device)

$v_1(t)$ คืออินพุตของมิกเซอร์ซึ่งประกอบด้วยอินพุตคือ $v_1(t)$ มีความถี่ f_1 และ $v_2(t)$ ที่มีความถี่ f_2

จาก Taylor Series ใน Time Domain จะได้เอาท์พุท $i_o(t)$ ดังนี้

$$i_o(t) = I_o + a v_1(t) + b [v_1(t)]^2 + c [v_1(t)]^3 + \dots \quad (2.1)$$

เพื่อตัดความยุ่งยากในการคำนวณ เราจะสมมติให้อุปกรณ์มีลักษณะการทำงานตามกฎยกกำลังสอง (Square-Law Device) ดังนั้นสมการ (2.1) สามารถเขียนได้เป็น

$$i_o(t) = a v_1(t) + b [v_1(t)]^2 \quad (2.2)$$

โดยมีอินพุตคือ $v_1(t) = V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t$ (2.3)

กระแสที่เอาท์พุทจะเป็น

$$i_o(t) = a V_1 \cos \omega_1 t + a V_2 \cos \omega_2 t + b V_1^2 \cos^2 \omega_1 t + b V_2^2 \cos^2 \omega_2 t + 2b V_1 V_2 \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t \quad (2.4)$$

สองเทอมแรกในสมการจะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นความถี่ของสัญญาณอินพุท จะใช้ฟิลเตอร์กรองออกไป ส่วนในเทอมยกกำลังสองใช้วิธีทางตรีโกณมิติลดกำลังลงมา

$$b V_1^2 \cos^2 \omega_1 t = (b/2) V_1^2 (1 + \cos 2\omega_1 t) \quad (2.5)$$

ดังนั้นเทอมที่ 3 และ 4 จะมีส่วนประกอบของ ไฟตรง และฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณอินพุท ในเทอมสุดท้ายในสมการ (2.4) เรียกว่าเป็นผลลัพท์ (Product Term) ซึ่งเป็นเอาท์พุทที่เราต้องการ

$$2b V_1 V_2 \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t = b V_1 V_2 [\cos(\omega_1 - \omega_2)t + \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \quad (2.6)$$

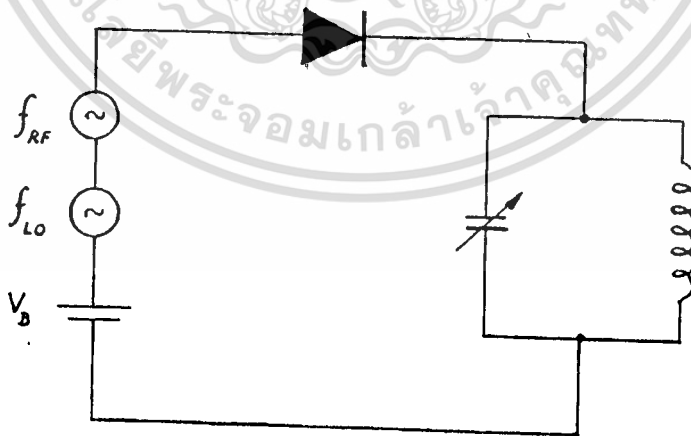
เมื่อพิจารณาเฉพาะ เทอมผลลัพท์

$$i_o = bV_1V_2 [\cos(\omega_1 - \omega_2)t + \cos(\omega_1 + \omega_2)] \quad (2.7)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุต ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงขึ้นเป็น $\omega_1 + \omega_2$ หรือแปลงความถี่ให้ต่ำลงมาเป็น $\omega_1 - \omega_2$ ได้โดยเลือกใช้ฟิลเตอร์ที่เหมาะสม

วงจรมิกเซอร์อย่างง่าย คือการใช้ไดโอดหนึ่งตัวต่ออนุกรมด้วยตัวกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Source), วงจรกำเนิดความถี่ (Local Oscillator), แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Bias Source) และวงจรถูกเลือกความถี่ ตามรูป 2.12 ลักษณะของวงจรมิกเซอร์ดังกล่าวมีข้อเสียคือ

- มี Noise Figure สูง
- มีการสูญเสียในการทำงาน (Conversion Loss) คือ สัญญาณความถี่กลาง ซึ่งเป็นเอาต์พุต มีกำลังน้อยกว่าสัญญาณอาร์เอฟอินพุต
- ความไม่เป็นเชิงเส้นของไดโอดอื่นเนื่องมาจากการสวิตช์ เปิด-ปิด อย่างทันทีทันใด
- ไม่มีการแยกส่วนระหว่างวงจรถูกเลือกความถี่กับสัญญาณวิทยุ ทำให้สัญญาณจากวงจรถูกเลือกความถี่ถูกบดบังเข้าสู่สายอากาศเครื่องรับ



รูป 2.12 แสดงวงจรมิกเซอร์

วงจรดับเบิลบาลานซ์ไดโอดมิกเซอร์ (Double Balance Diode Mixer)

เป็นวงจรมิกเซอร์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าวงจรมิกเซอร์ที่กล่าวมา ลักษณะของวงจรจะมีการแยกอินพุตทั้งสองไม่ให้รบกวนกัน โดยใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์เป็นตัวแยกและทำหน้าที่แมทช์ระหว่าง พอร์ทอาร์เอฟ, พอร์ทสัญญาณความถี่กลางและวงจรกำเนิดความถี่ ดังรูป 2.13a

การทำงานของวงจร ดับเบิลบาลานซ์ไดโอดมิกเซอร์ ต้องมีความแรงของสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่พอเพียง ในการควบคุมให้ไดโอด เปิด-ปิด ตามสภาวะ เพราะวาระแสของสัญญาณความถี่วิทยุมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสจากวงจรกำเนิดความถี่

ในรูป 2.13 b แสดงทิศทางของกระแส i_1 และ i_2 ในขณะที่โวลเตจของสัญญาณอาร์เอฟ และโวลเตจของสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่อยู่ในช่วงบวก ไดโอด D_1 และ D_2 จะทำหน้าที่นำกระแสให้ไหลรอบขั้วรูป c-a-d-f-c ไดโอด D_3 และ D_4 จะไม่ทำงาน เพราะถูกไบอัสกลับโดยโวลเตจของสัญญาณอาร์เอฟจาก a ไปยัง e และที่จุด a และ f จะมีโวลเตจเท่ากันถ้าหากว่าตัวไดโอด และทรานส์ฟอร์เมอร์ของวงจรกำเนิดความถี่มีความสมมูลย์

ในรูป 2.13 c เมื่อทิศทางของกระแส i_1 และ i_2 กลับจากรูป b ทำให้จุด d เป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด c ไดโอด D_3 และ D_4 จะทำงาน (โดยที่ D_1 และ D_2 ไม่ทำงาน เนื่องจากถูกไบอัสกลับด้วยโวลเตจของสัญญาณอาร์เอฟ = V_{rf}) ทำให้เกิดกระแส i_3 และ i_4 ทำให้เกิด v_o ในทิศทางตรงกันข้ามกับรูป b

ในรูป 2.14 d แสดง $v_o(t)$ โดยที่กรอบของคลื่นที่แสดงไว้คือ v_{RF}

ฟังก์ชันสรีทิงของ v_{LO} และไดโอดแสดงในรูป 2.14 e โดยกำหนดให้

$$S(t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi/2 \cos n\omega_{LO} t}{n\pi/2}$$

จะได้

$$v_o(t) = V_{RF}(t) \times S(t)$$

$$= 2V_{RF} \cos \omega_{RF} + \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi/2 \cos n\omega_{LO} t}{n\pi/2} \right)$$

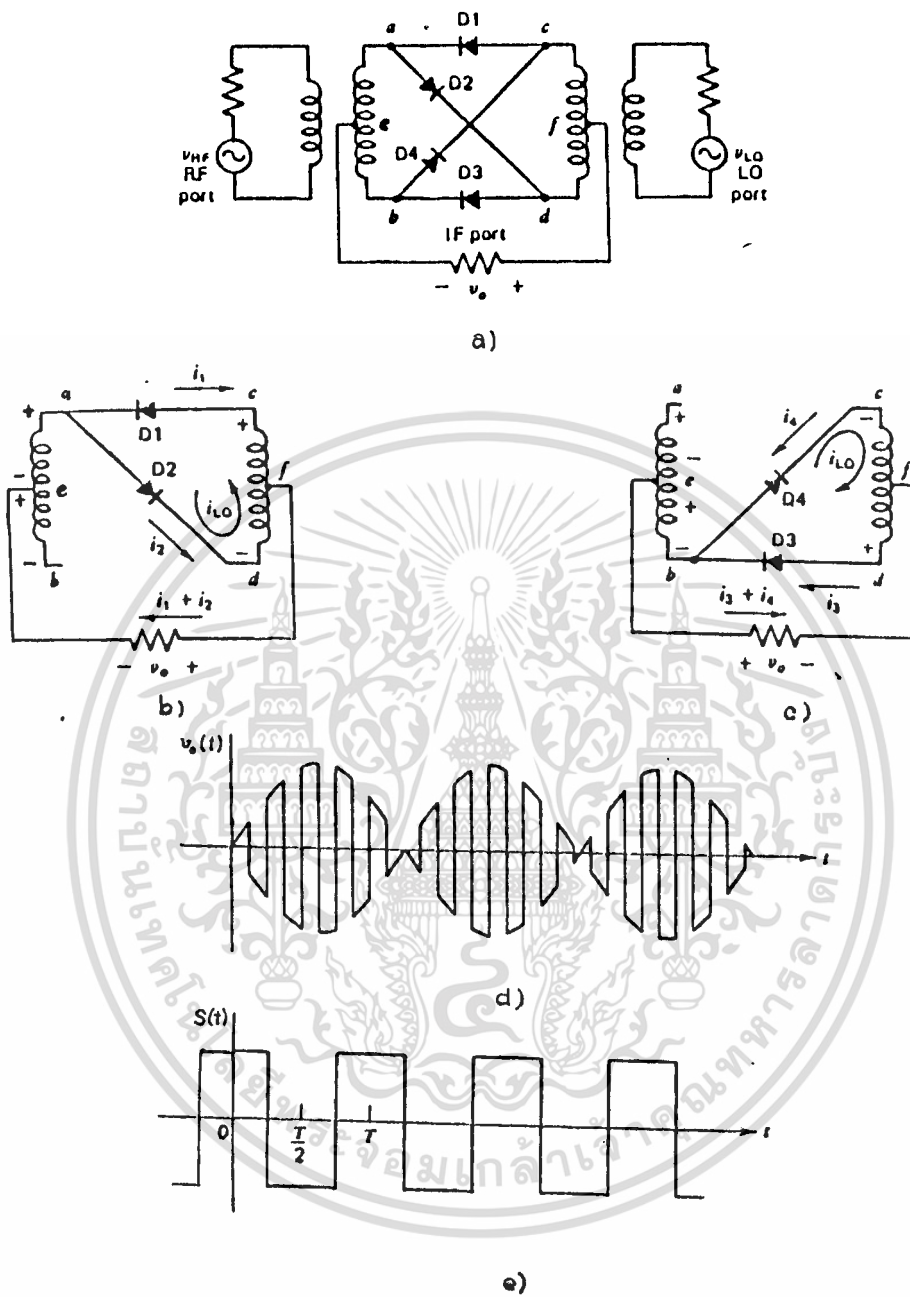
ซึ่ง $v_o(t)$ จะประกอบไปด้วยความถี่ $n\omega_{LO} \pm \omega_{RF}$ เมื่อ n เป็นเลขคี่ที่กำหนดให้ $n=1$ จะได้เอาท์พุทเป็น $f_{LO} \pm f_{RF}$

ในการเลือกมิกเซอร์ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติหลายประการซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. มิกเซอร์สร้างมาจากอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติตามกฎยกกำลังสอง (Square-Law Device) เพียงใด

2. อัตราการขยายของการผสมสัญญาณ (Conversion Gain) คืออัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูป 2.13

- a) แสดงวงจร Double-Balance Diode Mixer
- b) เมื่อ V_{LO} เป็นบวก ไดโอด D_1, D_2 ทำงาน ในขณะที่ D_3, D_4 ไม่ทำงาน
- c) เมื่อ V_{LO} เป็นลบ ไดโอด D_3, D_4 ทำงาน ในขณะที่ D_1, D_2 ไม่ทำงาน
- d) โวลเตจของเอาต์พุต (v_o) ที่โหลด
- e) Carrier (Switching function ของ Mixer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 -19-
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

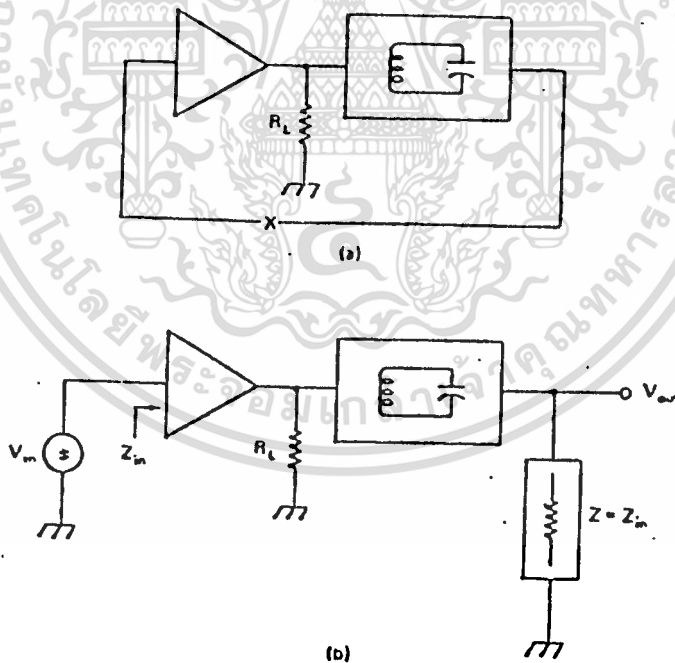
ของระดับสัญญาณของเอาต์พุตต่อระดับสัญญาณของอาร์เอฟอินพุต

3. สัญญาณรบกวนเป็นอย่างไร
4. มิกเซอร์ต้องการกำลังจาก เครื่องกำเนิดความถี่เท่าไร
5. ความแรงของสัญญาณ RF และ LO ที่เอาต์พุตโดยไม่พิจารณา IF ฟิลเตอร์

2.3.2.2 วงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator)

วงจรถ่ายความถี่เป็นวงจรมูลฐานที่สำคัญวงจรมุ่งหนึ่งในระบบสื่อสารและอุปกรณ์ ใดต่าง ๆ เช่น Carrier Frequency, Local Oscillator สำหรับ มิกเซอร์, Beat Oscillator สำหรับการตรวจจับสัญญาณ เป็นต้น ความถี่เหล่านี้มีทั้งแบบคงที่และปรับค่าได้ ส่วนการออกแบบนั้นสามารถทำได้หลายวิธี

วงจรถ่ายสัญญาณจะสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่มีลักษณะเหมือนกับอินพุต ส่วนวงจรถ่ายความถี่จะสร้างเอาต์พุตที่มีความถี่คงที่ค่าหนึ่ง โดยไม่ต้องการสัญญาณอินพุต ความถี่และระดับสัญญาณที่เอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วยส่วนประกอบต่างๆของวงจร



รูป 2.14 บล็อกไดอะแกรมของวงจรถ่ายความถี่ แบบ LC

- a) แสดง ลูปป้อนกลับถูกตัดออกที่จุด x.
- b) แสดงลูปที่ขาดออกจากกัน

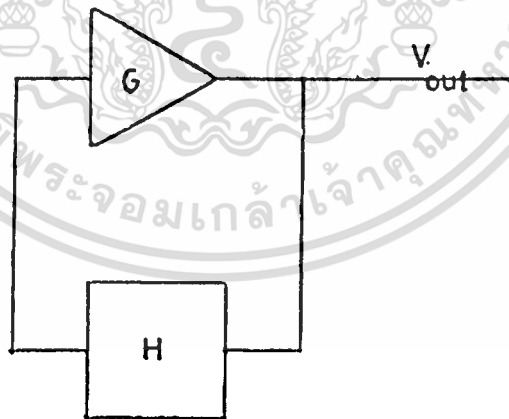
รูป 2.14 แสดงให้เห็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรถ้าเนิดความถี่ ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ วงจรขยายสัญญาณ วงจรรีโซแนนท์ และโหนดที่เอาต์พุต โดยวงจขยายสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ที่เราต้องการ วงจรรีโซแนนท์ เป็นตัวเลือกความถี่อาจประกอบด้วยทรานส์ฟอร์เมอร์หรือตัวเปลี่ยนอิมพีแดนซ์อื่นใด ในรูป 2.14 a เป็นตัวต้านทานต่อเข้ากับเอาต์พุตของวงจขยายสัญญาณและถ้าเราตัดวงจรออกที่จุด x ในรูปที่ 2.14 a เราจะได้วงจรดังรูป 2.14 b

ทฤษฎีการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) เป็นพื้นฐานที่สำคัญของวงจรถ้าเนิดความถี่ ดังรูป 2.15 กรณีที่จำเป็นสำหรับวงจรป้อนกลับเพื่อให้เกิดการออสซิลเลท (Oscillate) มีอยู่ว่าวงจรป้อนกลับ จะให้กำเนิดความถี่ก็ต่อเมื่อ

1. ผลรวมของการขยายสัญญาณทั้งหมดภายในลูปของการป้อนกลับ (Feedback Loop) ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1
2. ผลรวมของเฟส (Phase) ภายในลูปต้องเป็นจำนวนเต็มเท่าของ 2π เรเดียน หรือ 360 องศา ถ้าเกิดกรณีทั้งสองพร้อมกันแล้ววงจรจะ Oscillate ดังนั้น

$$\text{LOOP GAIN} = |GH| \angle \theta \quad (2.8)$$

เมื่อ $\theta = 2n\pi$ โดยที่ $n = 0, 1, 2, \dots$ และ $|GH| > 1$



รูป 2.15 แสดงการป้อนกลับแบบบวกของวงจรถ้าเนิดความถี่

วงจขยายสัญญาณโดยทั่วไปมักจะเป็นชนิดที่สร้างสัญญาณเอาต์พุต มีเฟสเลื่อนไปจากอินพุต 180 องศา และมีอัตราขยายมากกว่า 1 ในวงจรถ้าเนิดความถี่นี้วงจขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ เป็นส่วนไปข้างหน้า (G ในรูป 2.15) จากรูป 2.15 ผลรวมของการขยายสัญญาณของ
 ลูปสามารถกำหนดได้จากผลคูณของจำนวนเชิงซ้อน G และ H อัตราการขยายของการป้อนกลับ
 (Feedback Gain) ทั้งหมดรวมพร้อมกับการป้อนกลับของสัญญาณหาได้จาก

$$A_v = G / (1 - GH) \quad (2.9)$$

เมื่อ A_v = Complex Gain ทั้งหมดของวงจร (ขนาดและมุมของเฟส)

G = Complex Gain ไปข้างหน้า

H = Complex Gain ป้อนกลับ

GH = Complex Gain ของ loop

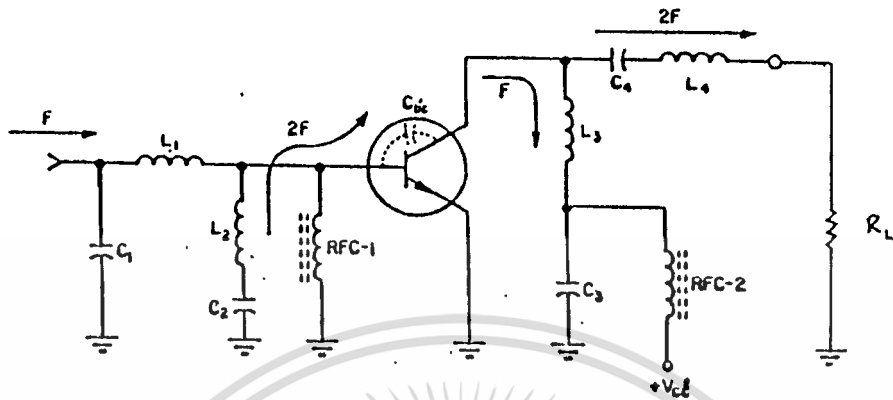
ในวงจรกำเนิดความถี่ ทั้ง G และ H ต่างเลื่อนเฟสไป 180 องศา หรือตรงกัน
 ซ้ำม ถ้าขนาด |GH| ของอัตราการขยายของลูป (loop gain) เป็น 1 ผลรวมของอัตรา
 การขยายของการป้อนกลับจะเป็นอนันต์ ซึ่งให้เห็นว่าจะเกิดการออสซิลเลท ถ้าขนาดของ
 |GH| > 1 การ ออสซิลเลท จะเพิ่มขึ้นในวงจรกำเนิดความถี่ ในทางปฏิบัติการออสซิลเลท จะ
 เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนกระทั่งเข้าสู่ย่านนอนลิเนียร์ (Non-linear) ของวงจรขยายสัญญาณ การออสซิลเลท
 การออสซิลเลทจะจำกัดอัตราการขยายให้เท่ากับ 1 หลังจากนั้นขนาดจะปรับตัวมันเองโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาการขยายสัญญาณให้เท่ากับ 1 หรือวงจรกำเนิดความถี่ที่เกิดมีความเสถียรภาพที่ดี
 ความถี่ของการออสซิลเลทกำหนดได้โดยส่วนประกอบภายใน H ซึ่งทำให้เฟส
 เลื่อนไป 180 องศา ที่ความถี่ที่วงจรกำเนิดความถี่จะออสซิลเลท

วงจรคูณความถี่

วงจรคูณความถี่ มักจะใช้กับวงจรที่ต้องการตัวกำเนิดความถี่ในย่าน ยูเอชเอฟ (UHF) และ วีเอชเอฟ (VHF) โดยทั่วไปจะใช้การควบคุมความถี่ของวงจรด้วยคริสตัล (Crystal-Control Oscillator) เมื่อใช้อุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะสามารถสร้างฮาร์โมนิค
 ต่างๆของสัญญาณอินพุท และใช้วงจรรีโซแนนซ์เลือกความถี่จากฮาร์โมนิคต่างๆที่ได้

วิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับวงจรคูณความถี่คือการใช้ไดโอดในลักษณะของวงจรฮาล์ฟเวฟ
 เรกติไฟร์ (Half-Wave Rectifier) ประสิทธิภาพของการทำงานขึ้นอยู่กับฮาร์โมนิคของ
 สัญญาณที่เราเลือกนำไปใช้ ขนาดของสัญญาณอินพุท และความเร็วของการสวิตชิงของไดโอด

ด้วยวิธีการคูณความถี่โดยใช้วงจรขยายสัญญาณ คลาส ซี สามารถสร้างวงจรคูณ
 ความถี่ที่มีการขยายสัญญาณทำให้ได้วงจรคูณความถี่ที่มีประสิทธิภาพดังรูป 2.16



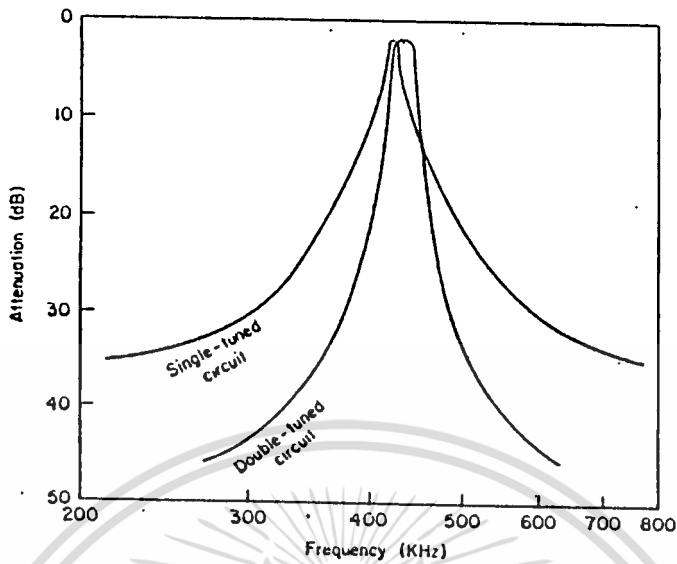
รูป 2.16 รูปแสดงวงจรที่ควบคุมความถี่ คลาส ซี

- L_1, C_1 ทำหน้าที่แมทช์ระหว่างวงจร ที่ความถี่ f
- L_2, C_2 เป็นวงจรซีรีรีโซแนนท์ ที่ความถี่ $2f$
- L_3, C_3 เป็นวงจรซีรีรีโซแนนท์ ที่ความถี่ f
- L_4, C_4 เป็นวงจรซีรีรีโซแนนท์ ที่ความถี่ $2f$

2.3.2.3 แบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band-pass Filter; BPF)

วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ที่จะกล่าวถึงคือ วงจรรีโซแนนท์แบบขนานซึ่งออกแบบง่าย และให้แบนด์วิดท์ที่แคบ แต่การนำวงจรรีโซแนนท์วงจรเดียวมาใช้งานเป็นวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ ยังมีความสามารถในการลดทอนสัญญาณนอกแบนด์ไม่พอเพียง ดังนั้น เพื่อให้ได้ฟิลเตอร์ที่สามารถลดทอนสัญญาณที่ไม่ต้องการสูงและขอบของการลดทอนสัญญาณชันขึ้น เราอาจใช้วงจรรีโซแนนท์สองวงจรมาต่อเข้าด้วยกันเป็นวงจรดับเบิลจูน

ความแตกต่างของการตอบสนองความถี่ของวงจรได้จากการคัปปลิงระหว่างวงจรรีโซแนนท์ด้วยคาปาซิเตอร์หรืออินดักเตอร์ด้วยค่าที่ต่างกัน แต่การใช้การคัปปลิงสัญญาณด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor Coupling) สามารถปรับค่าการคัปปลิงได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้มากกว่าในทางปฏิบัติ



รูป 2.17 แสดง Amplitude Response ของ Double-Tuned Circuit โดยการคับปลิงสัญญาณด้วยอินดักเตอร์ (Inductive Coupling) เทียบกับวงจรรีโซแนนท์

ในการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ด้วยวิธีการคับปลิงสัญญาณด้วยคาปาซิเตอร์ (Capacitor-Coupled Filter) ต้องรู้ค่าที่จะทำให้ช่วงสัญญาณผ่านเรียบที่สุด

1. แบนด์วิดท์ ของ Coupled Filter ประมาณ $\sqrt{2}$ เท่าของแบนด์วิดท์ ของ วงจรปรับค่าวงจรเดี่ยวของมัน

2. ค่าของ Coupled Capacitor

$$C_{\text{coupling}} = C/Q_{\text{loaded}} \quad (2.16)$$

3. ความถี่รีโซแนนท์ของวงจรขนานนี้จะไม่อยู่ที่ความถี่กลางของฟิลเตอร์ แต่จะ อยู่ประมาณกึ่งกลางและความถี่ที่ 3 dB

2.3.3 ฟิลเตอร์ (FILTER)

ฟิลเตอร์เป็นวงจรที่จะยอมให้ความถี่ที่เราต้องการผ่านไปได้ วงจรที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านเรียกว่าโลว์พาสฟิลเตอร์ (Low pass filter) และวงจรที่ยอมให้ความถี่สูงผ่าน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าไฮพาสฟิลเตอร์ (High pass filter) ส่วนแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band pass filter) จะยอมให้ความถี่ผ่านเป็นช่วงที่ต้องการ

ในการออกแบบฟิลเตอร์สมัยใหม่ เริ่มแรกเป็นวิชาที่จะรู้เฉพาะพวกผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นเพราะต้องอาศัยคณิตศาสตร์ชั้นสูง แต่ในปัจจุบันมีตารางและวงจรที่จัดทำไว้สำเร็จรูป ผู้ที่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์มาบ้างก็สามารถที่จะออกแบบฟิลเตอร์เองได้

ชนิดของฟิลเตอร์ที่ใช้ในปัจจุบันจะใช้ชื่อของผู้ที่พัฒนามันขึ้นมา ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

1. ฟิลเตอร์แบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth response) เป็นฟิลเตอร์ที่มีค่า Q ปานกลาง ตลอดช่วงพาสแบนด์ (Pass band) จะไม่มีริปเปิล (Ripple) และจะแฟลท (Flat) ที่สุดในบรรดาฟิลเตอร์ด้วยกัน ช่วงคัทออฟ (Cut off) ของฟิลเตอร์จะน้อยมากแต่ก็ไม่ถึงกับเลวร้าย ฟิลเตอร์ชนิดนี้จึงเป็นชนิดที่นิยมใช้กันมาก

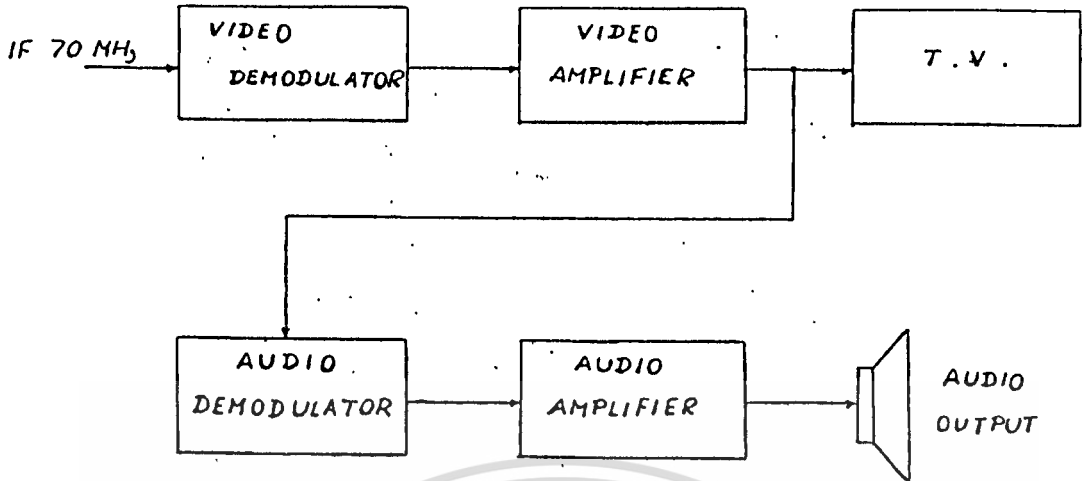
2. ฟิลเตอร์แบบเชบีเชฟ (Chebechev response) เป็นฟิลเตอร์ที่มีค่า Q สูง ช่วงคัทออฟของฟิลเตอร์คม แต่ต้องยอมให้มีริปเปิลในพาสแบนด์ ถ้ายอมให้มีริปเปิลมากขึ้น ความคมของการคัทออฟก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

3. ฟิลเตอร์แบบเบสเซล (Bessel filter) เป็นฟิลเตอร์ที่มีคุณสมบัติด้านคัทออฟที่เลวมาก แต่มีข้อดีคือเป็นฟิลเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

2.3.4 ดีเทคเตอร์ (DETECTOR)

ดีเทคเตอร์เป็นส่วนสุดท้ายในการรับสัญญาณจากดาวเทียมที่จะแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณความถี่กลาง 70 MHz มีขั้นตอนการทำงานดังรูป 2.18

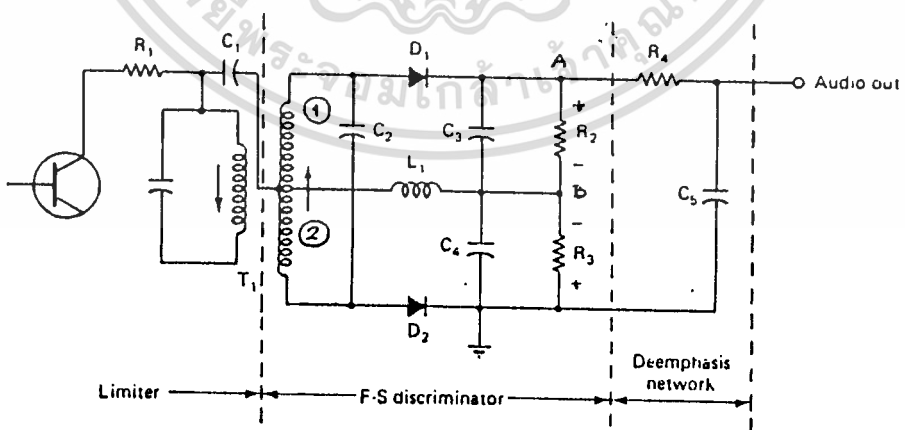
สัญญาณที่เข้าสู่การดีเทคท์ เป็นสัญญาณที่ผสมมาแบบ เอพ เอ็ม (Frequency Modulation) วงจรที่ใช้สำหรับดีเทคท์หลายแบบเช่น Discriminator, Ratio Detector, Coincidence หรือ Quadrature Detector, Zero-crossing Detector และ Phase-locked loop detector เป็นต้น แต่วงจรที่ใช้ในที่นี้เป็นแบบ Discriminator ซึ่งจะกล่าวถึงการทำงานต่อไป



รูป 2.18 การแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากสัญญาณความถี่กลาง

การทำงานของวงจรดีสคริเมเนเตอร์

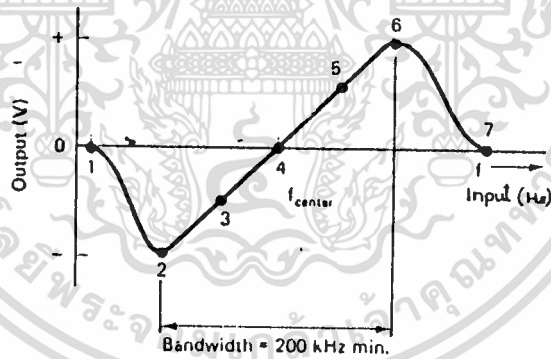
วงจรการทำงานเบื้องต้นเป็นดังรูป 2.19 เป็นลักษณะวงจร Double-tuned ประกอบด้วยวงจรแทงค์ 2 ส่วนคือส่วนไพรมารี (Primary) จูนไว้ที่ความถี่กลาง และส่วนเซคันดารี (Secondary) มี 2 วงจรแทงค์ซึ่งวงจรหนึ่งจูนไว้ที่ความถี่เหนือกว่าความถี่กลาง อีกวงจรหนึ่ง จูนไว้ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่กลาง



รูป 2.19 วงจรดีสคริเมเนเตอร์

จากรูป 2.19 ในวงจร (1) จูนไว้ให้รีโซแนนซ์ที่ความถี่เหนือความถี่กลาง และวงจร (2) จูนไว้ให้รีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่กลาง พิจารณาที่สัญญาณอินพุต เมื่อความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่กลางไปทางด้านสูงกว่าความถี่กลาง โวลเตจคร่อมวงจร (1) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ จะเพิ่มขึ้นในขณะที่โวลเตจคร่อมวงจร (2) จะลดลง เนื่องจากรีโซแนนซ์กันคนละความถี่ ในทางตรงกันข้าม เมื่อความถี่อินพุตเบี่ยงเบนลงต่ำกว่าความถี่กลาง ก็จะทำให้โวลเตจคร่อมวงจร (1) ลดลง และโวลเตจคร่อมวงจร(2) เพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่าน R_2 จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสที่ไหลผ่าน R_3 ดังนั้นเมื่อความถี่อินพุตมากกว่าความถี่กลาง จะทำให้กระแสที่ไหลจาก R_3 ไปยังจุด B มากกว่ากระแสที่ไหลจาก R_2 มายังจุด B ทำให้กระแสที่ผ่าน R_2 แสดงโวลเตจที่จุด A เป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ ในทำนองตรงกันข้าม เมื่อความถี่อินพุตต่ำกว่าความถี่กลางก็จะทำให้โวลเตจที่จุด A เป็นบวกเมื่อเทียบกับกราวด์ ดังนั้นที่จุด A จะให้เอาท์พุตเป็นสัญญาณกระแสสลับ ซึ่งก็คือสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่ ดีเทคท์ ได้ ส่วนความถี่พาห์ ถูกกรองออกไปด้วยโวล์พาสฟิลเตอร์คือ R_2, C_3 และ R_3, C_4

เมื่อเรานำค่าโวลเตจทางเอาท์พุต และความถี่อินพุตมาลิสต์กราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ จะมีลักษณะดังรูป 2.20



รูป 2.20 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของวงจร ดิสคริมิเนเตอร์

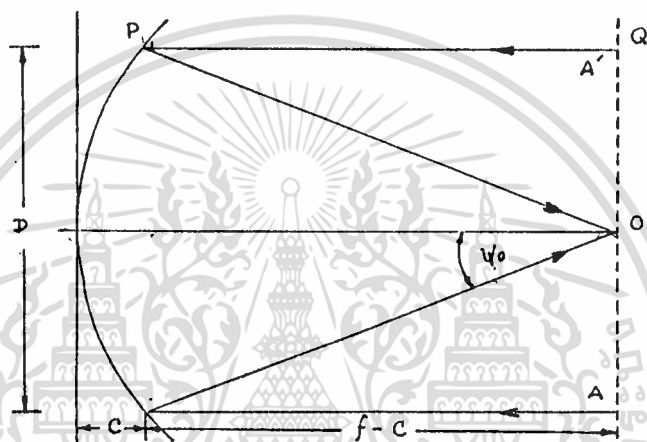
จากกราฟซึ่งมีรูปร่างคล้ายตัว S จึงมีชื่อเรียกว่าเส้นโค้ง S (S-curve) จะเห็นว่าจากช่วง 2 กับ 6 เป็นช่วง Linear ซึ่งเป็นช่วงที่นำไปใช้งานได้ดี และควรกำหนดให้ได้เป็นช่วงแบนด์วิธของสัญญาณอินพุต เพื่อที่สัญญาณจะได้ไม่มีการผิดเพี้ยน การปรับแต่งวงจรควรจะให้จุดที่ 4 ซึ่งเรียกว่าจุดครอสโอเวอร์ (Crossover) อยู่ที่ตำแหน่งความถี่กลางจะทำให้ได้ผลดีที่สุด

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 การออกแบบสายอากาศป้อนสัญญาณ

รูปร่างของจานสายอากาศพาราโบลาส่วนที่สะท้อนสัญญาณ เกิดจากการหมุนเส้นโค้งพาราโบลาในแนวแกนของมัน โดยส่วนสะท้อนทำหน้าที่รวมสัญญาณที่มาจากกระทบให้ไปรวมกันที่จุดโฟกัส มีลักษณะดังรูป 3.1



รูป 3.1 การสะท้อนของสัญญาณกับรูปทรงพาราโบลา

จากคุณสมบัติของรูปทรงพาราโบลา

$$\text{จะได้ } OP + PQ = \text{ค่าคงที่} = 2f$$

หากเริ่มคิดจากการส่ง เมื่อสัญญาณถูกส่งออกจากจุดโฟกัสกระทบกับผิวจานพาราโบลาแล้วสะท้อนออก จะมีเฟสเลื่อนไป 180 องศา แต่จากการที่ $OP + PQ$ มีค่าคงที่จึงทำให้หน้าคลื่นที่ออกจากจานสายอากาศในแนว A-A' ยังคงมีเฟสตรงกัน ในทำนองกลับกัน เมื่อจานสายอากาศทำหน้าที่รับสัญญาณ เฟสที่ตำแหน่งต่างๆก็เป็นในลักษณะเดียวกัน

สมการทั่วไปของกราฟพาราโบลาตามแนวแกน x คือ

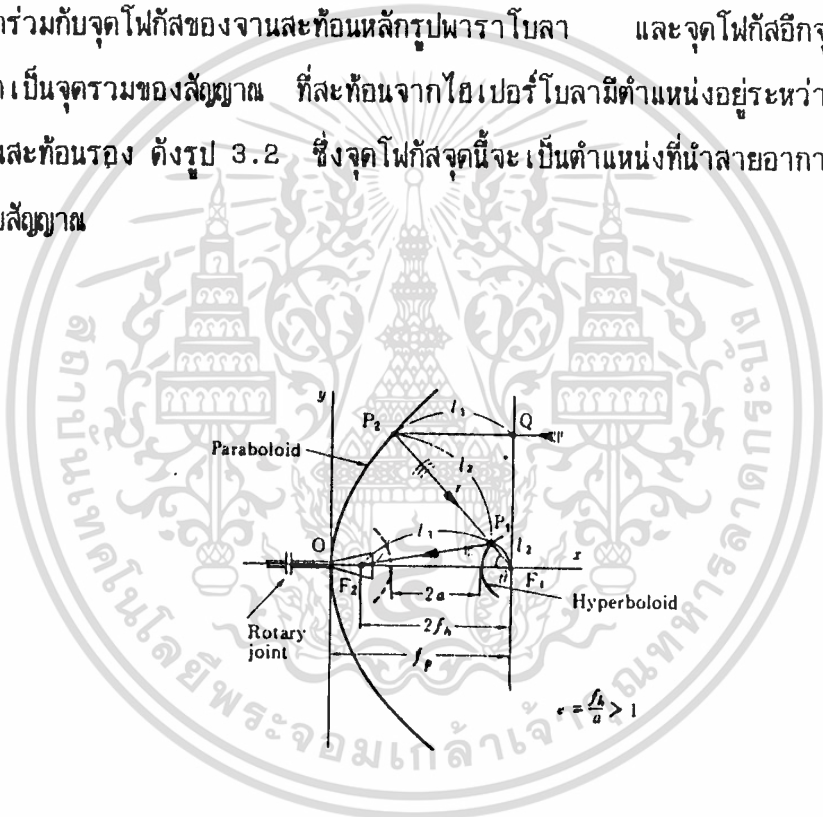
$$y^2 = 4fx \tag{3.1}$$

$$\text{เมื่อ } f = D^2/16C \tag{3.2}$$

จากการวัดขนาดต่างๆของงานสายอากาศพาราโบลาที่มีอยู่แล้วได้ค่าดังนี้

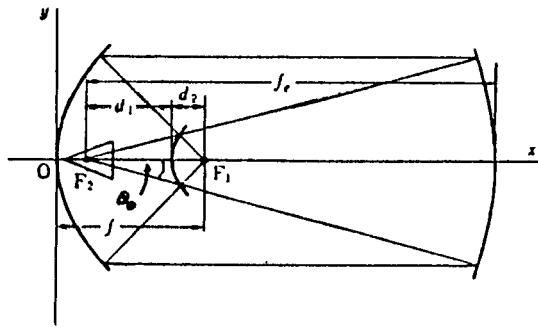
	$D = 6.4$	เมตร
	$C = 1.455$	เมตร
จะได้	$f = 1.76$	เมตร
อัตราส่วน	$f/D = 1.76/6.4 = 0.275$	
และมีมุม	$= \tan^{-1}[(D/2)/(f-C)]$	(3.3)
	$= 84.56$	องศา

ส่วนงานสะท้อนรอง ซึ่งมีรูปทรงไฮเพอร์โบลามีจุดโฟกัส 2 จุด โดยที่จุดโฟกัสจุดหนึ่ง เป็นจุดร่วมกับจุดโฟกัสของงานสะท้อนหลักรูปพาราโบลา และจุดโฟกัสอีกจุดหนึ่งของไฮเพอร์โบลาคือเป็นจุดรวมของสัญญาณ ที่สะท้อนจากไฮเพอร์โบลามีตำแหน่งอยู่ระหว่างงานสะท้อนหลักกับงานสะท้อนรอง ดังรูป 3.2 ซึ่งจุดโฟกัสจุดนี้จะเป็นตำแหน่งที่นำสายอากาศบ่อนสัญญาณมาติดตั้งรับสัญญาณ



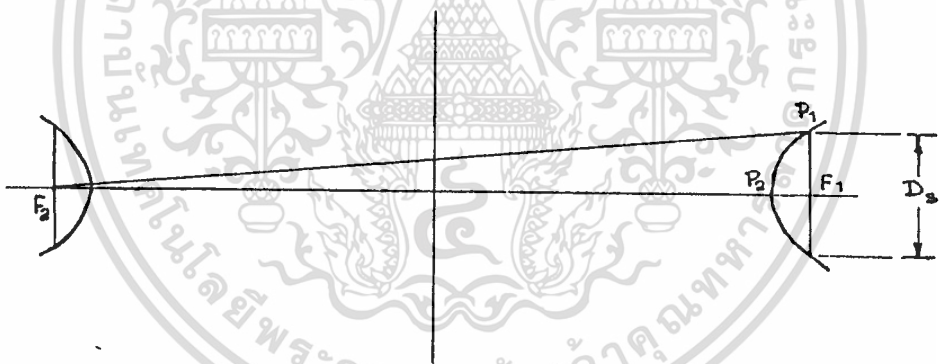
รูป 3.2 การสะท้อนของสัญญาณในระบบสายอากาศแบบคาสซีเกรน

จุดโฟกัสจุดนี้อาจจะคิดได้ว่าเป็นจุดโฟกัสร่วมกับรูปเสมือนพาราโบลาอีกรูปหนึ่งซึ่งอยู่ตรงข้ามกับงานสะท้อนหลัก ดังรูป 3.3 โดยสัญญาณที่สะท้อนออกจากงานสะท้อนหลักไปยังงานเสมือนนี้จะสะท้อนอีกทีไปรวมกันที่จุดโฟกัส F_2



รูป 3.3 การสะท้อนที่เสมือนกับมีจานพาราโบลาอยู่อีกตำแหน่งหนึ่ง

จากการวัดขนาดต่างๆ ของระบบสายอากาศแบบเดิมที่เคยใช้งานในย่านความถี่ 7 GHz ระยะ F_1, F_2 วัดได้ 1.1 เมตร และเนื่องจากไม่มีรายละเอียดของจานสะท้อนรองอื่นเท่า จึงใช้การคำนวณโดยอาศัยลักษณะพื้นฐานของรูปทรงไฮเพอร์โบลา ในรูป 3.4



รูป 3.4 รูปทรงพื้นฐานของไฮเพอร์โบลา

จากรูป 3.4 เมื่อทราบระยะ F_1, F_2 และ F_1, P_2 โดยให้ P_1 อยู่ในแนวเดียวกับ C_1

$$OP - PQ = \text{ค่าคงที่} \quad (3.4)$$

$$F_2P_1 - F_1P_1 = F_2P_2 - F_1P_2 \quad (3.5)$$

จากการวัด $F_1, F_2 = 1.1$ เมตร

$$F_1, P_2 = 0.16 \text{ เมตร}$$

จะได้ $D = 77.12$ เซนติเมตร

$$\theta_0 = \tan^{-1}[(D_{\text{max}}/2)/(F_1 F_2)] \quad (3.6)$$

$$= 19.29 \quad \text{องศา}$$

การออกแบบสายอากาศป้อนสัญญาณ

ให้ -10 dB Beamwidth ของสายอากาศโคนิคอลฮอร์น (Conical Horn) มีขนาดเท่ากับ 19.29 องศาใช้กับความถี่ในช่วง $3.7-4.2$ GHz โดยเลือกออกแบบที่ความถี่ 3.9 GHz ซึ่งมีความยาวคลื่น $\lambda = 7.59$ เซนติเมตร และกำหนดขนาดความกว้างของปากโคนิคอลฮอร์น $2a = 22.4$ เซนติเมตร และใช้ตาราง 3.1 ในการคำนวณหาขนาดของโคนิคอลฮอร์นซึ่งมีลักษณะดังรูป 3.5

S	Beamwidth level				ATL + PEL, dB
	3 dB		10 dB		
	E plane	H plane	E plane	H plane	
	Location	$\frac{2\pi a}{\lambda} \sin \theta_0$	Location	$\frac{2\pi a}{\lambda} \sin \theta_0$	
0	1.6163	2.0376	2.7314	3.5189	0.77
0.04	1.6175	2.0380	2.7368	3.5211	0.80
0.08	1.6212	2.0391	2.7536	3.5278	0.66
0.12	1.6273	2.0410	2.7835	3.5393	0.96
0.16	1.6364	2.0438	2.8296	3.5563	1.11
0.20	1.6486	2.0477	2.8982	3.5799	1.30
0.24	1.6647	2.0527	3.0024	3.6115	1.54
0.28	1.6855	2.0592	3.1757	3.6536	1.82
0.32	1.7123	2.0676	3.5720	3.7099	2.15
0.36	1.7471	2.0783	4.6423	3.7663	2.53
0.40	1.7930	2.0920	5.0492	3.8933	2.96
0.44	1.8552	2.1100	5.3139	4.0504	3.45
0.48	1.9441	2.1335	5.5375	4.2967	3.89
0.52	2.0523	2.1652	5.7556	4.6962	4.59
0.56	2.3435	2.2069	6.0012	5.2173	5.28
0.60	3.4329	2.2712	6.3500	5.6872	5.95
0.64	4.3656	2.3652	7.6968	6.0663	6.79
0.68	4.8119	2.5195	8.4359	6.4622	7.66
0.72	5.1826	2.6161	8.8519	6.8672	8.62

ตาราง 3.1 การคำนวณหาขนาดของสายอากาศโคนิคอลฮอร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางและค่าที่ทราบ จะได้

$$(2a^2 \sin \theta_0) / \lambda = 3.06288$$

เมื่อดูจากราย

$$S = 0.25$$

$$R = a^2 / 2\lambda S$$

$$= 33.05 \quad \text{เซนติเมตร}$$

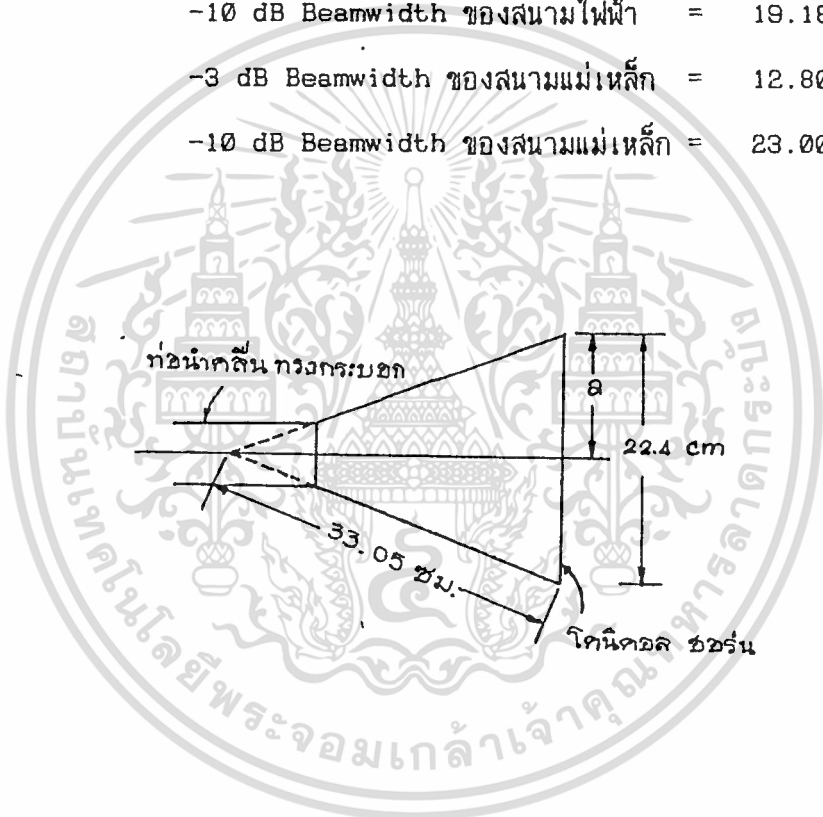
การคำนวณหาค่าต่างจากราย เมื่อ $S = 0.25$ จะได้

$$-3 \text{ dB Beamwidth ของสนามไฟฟ้า} = 10.37 \text{ องศา}$$

$$-10 \text{ dB Beamwidth ของสนามไฟฟ้า} = 19.18 \text{ องศา}$$

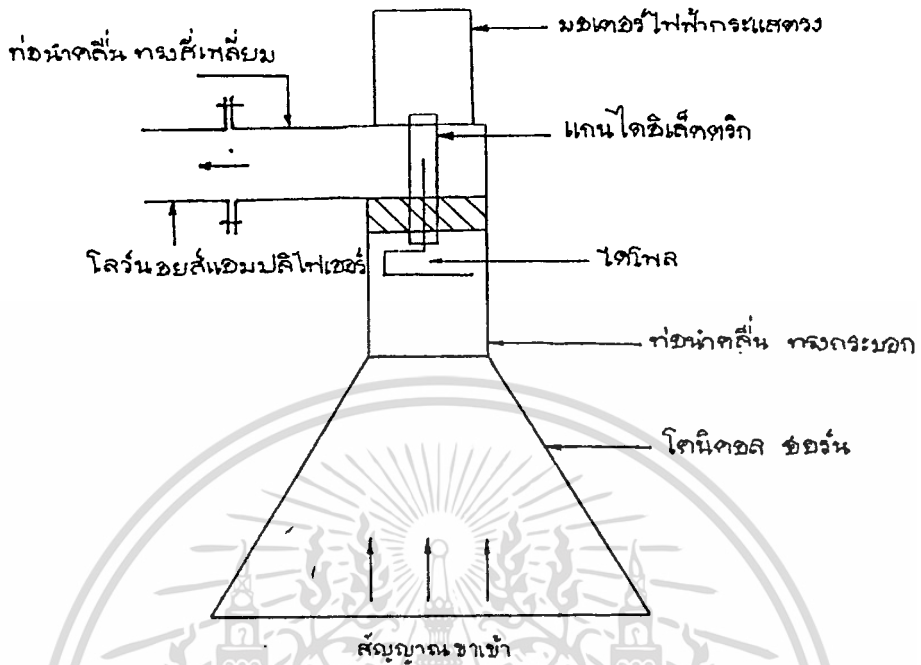
$$-3 \text{ dB Beamwidth ของสนามแม่เหล็ก} = 12.80 \text{ องศา}$$

$$-10 \text{ dB Beamwidth ของสนามแม่เหล็ก} = 23.00 \text{ องศา}$$



รูป 3.5 ขนาดของสายอากาศโคนคอสซอร์น

สายอากาศแบบโคนคอสซอร์น เมื่อประกอบกันเป็นชุดสายอากาศบ่อนสัญญาณแล้ว จะได้ลักษณะดังรูป 3.6 จะเห็นว่า เมื่อสัญญาณเข้าสู่สายอากาศโคนคอสซอร์นไม่ว่าจะมี โพลาริเซชันแบบใด โดโพลซึ่งต่อจากท่อนำคลื่นทรงกระบอกจะรับสัญญาณมาแล้วส่งต่อเข้าท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมแล้วต่อไปยัง LNA อีกทีหนึ่ง โดยโดโพลที่ใช้นี้ถูกควบคุมการหมุนด้วยมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อปรับโพลาริเซชันของมันให้ตรงกับโพลาริเซชันของสัญญาณที่รับเข้ามา



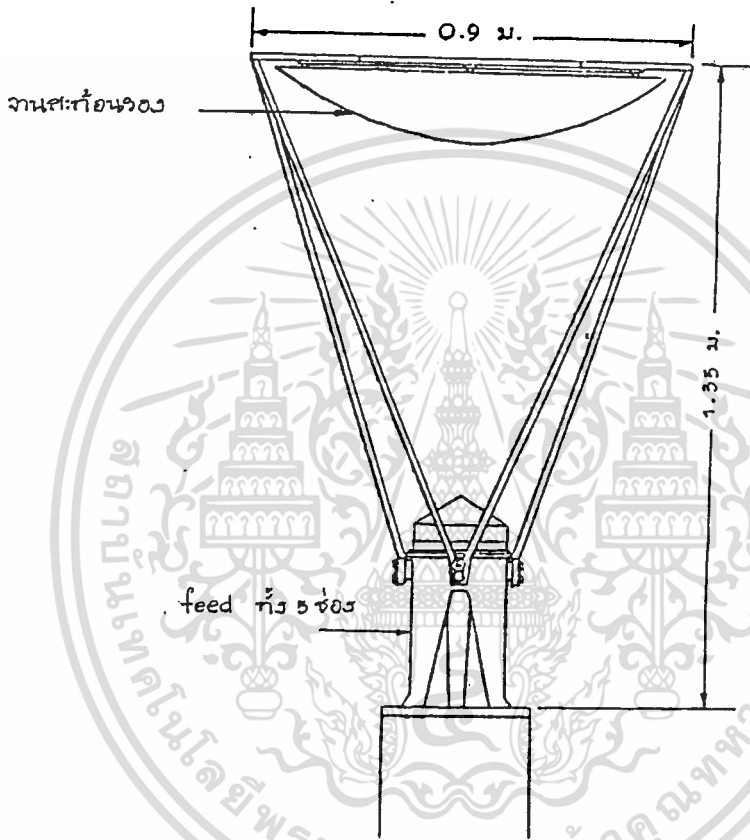
รูป 3.6 การประกอบสายอากาศ โคโนคอลฮอร์น เป็นชุดสายอากาศป้อนสัญญาณ

3.2 การดัดแปลงระบบสายอากาศ

ระบบสายอากาศแบบเดิมที่เคยใช้กับการสื่อสารทหารในย่านความถี่ 7 GHz เป็นระบบสายอากาศแบบคาสซีเกรนมีเม็ด 5 ช่องที่เอาไว้สำหรับ รับ ส่ง สัญญาณสื่อสารและสัญญาณควบคุมการติดตามดาวเทียม (Tracking) มีลักษณะภายนอก (ยกเว้นจานสะท้อนหลัก) ดังรูปที่ 3.7

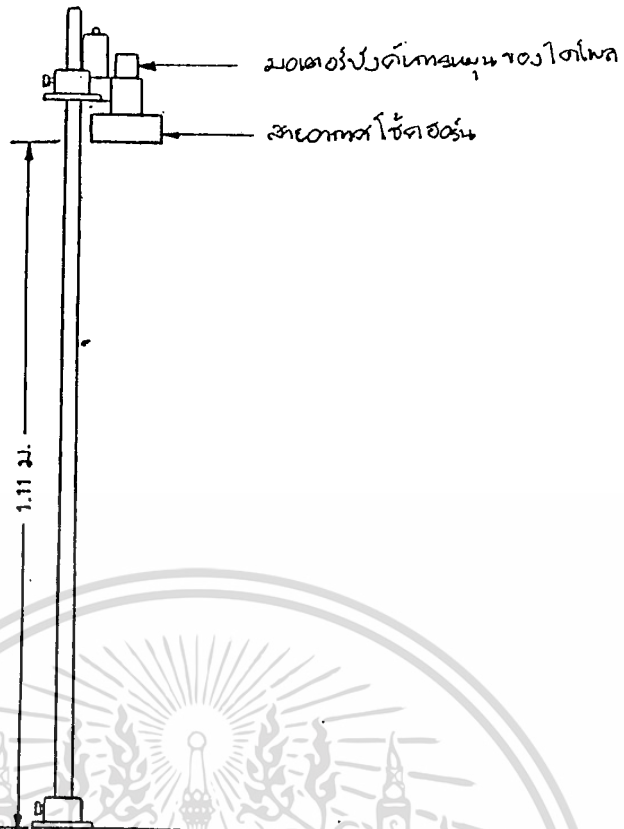
เนื่องจากจุดประสงค์การใช้งานต่างกันที่การใช้ความถี่คนละย่าน จึงต้องถอดชุดพีดชุดเดิมออกและจะต้องออกแบบชุดพีดชุดใหม่ ให้ใช้กับย่านความถี่ 4 GHz ได้

ในลำดับแรก หลังจากทีถอดชุดพีดชุดเดิมและจานสะท้อนรองออกแล้ว ได้ทดลองทำระบบสายอากาศให้เป็นแบบไพรม์โฟกัสพีด (Prime Focus Feed) เพื่อทดลองว่าสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้และจะได้ศึกษาทำระบบสายอากาศให้ดีขึ้นต่อไปโดยชุดเครื่องรับสัญญาณเป็นชุดสำหรับแสดงผลเป็นสัญญาณโทรทัศน์ซึ่งมีอยู่แล้ว ระบบสายอากาศที่ทำขึ้นนี้ในขั้นแรก

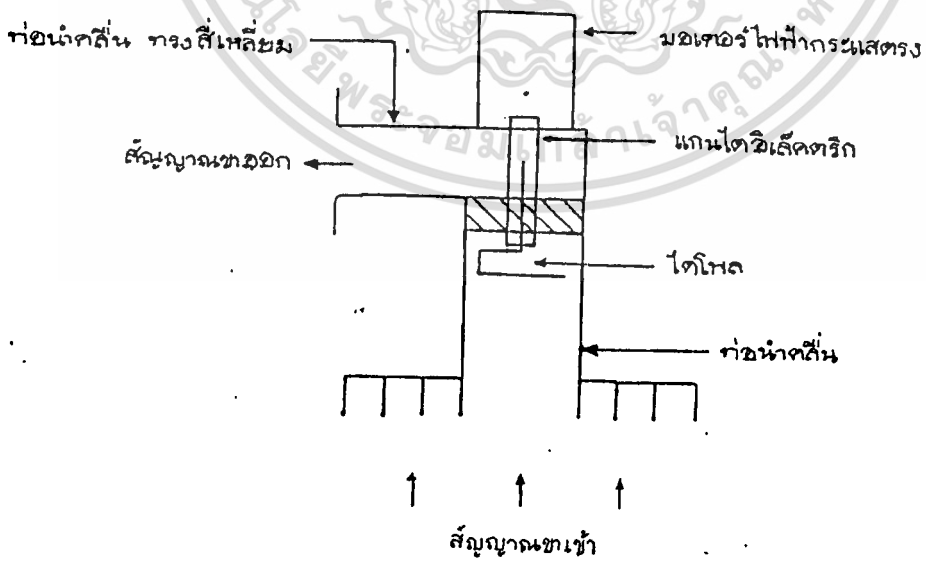


รูป 3.7 ระบบสายอากาศคาสซีเกรนแบบเดิมที่ใช้กับความถี่ย่าน 7 GHz

ได้ทำการติดตั้งเสาซึ่งมีสายอากาศบ่อนสัญญาณที่สามารถปรับตำแหน่งขึ้นลงตามแนวเสาได้ ดังรูป 3.8 โดยสายอากาศบ่อนสัญญาณที่ใช้เป็นแบบโชคออร์น (Choke Horn) ที่ต่ออยู่กับท่อนำคลื่นทรงกระบอกมีสายอากาศไดโพล อยู่ภายใน เพื่อคอยปรับโพลาไรเซชันให้ตรงกับสัญญาณที่เข้ามา ซึ่งไดโพลนี้ถูกควบคุมการหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณจากไดโพลจะเข้าสู่ท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมแล้วจะถูกส่งต่อไปยัง LNA ดังรูป 3.9

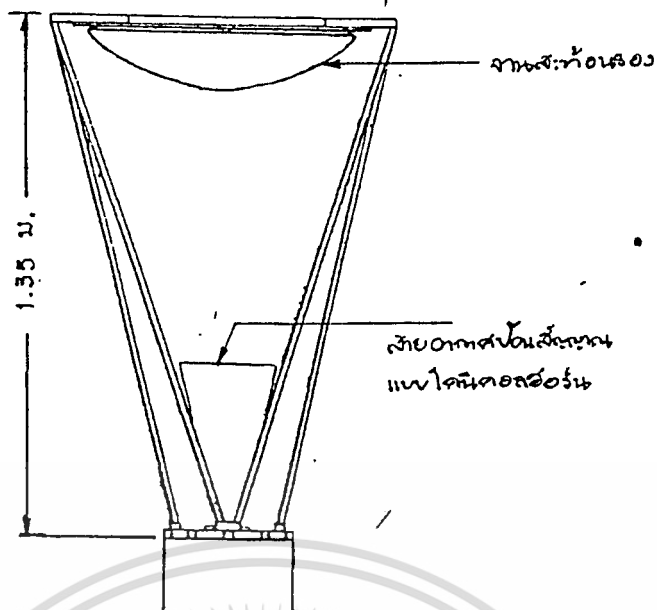


รูป 3.8 ระบบสายอากาศไฟรม์ไฟกัลสพิด ที่ทำขึ้นแทนแบบคลาสสิกรนในรูป 3.7



รูป 3.9 สายอากาศป้อนสัญญาณที่ใช้กับแบบไฟรม์ไฟกัลสพิด ในรูป 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.10 ระบบสายอากาศแบบคาสสิเกรน ที่ได้ดัดแปลงจากระบบเดิมในรูป 3.7

3.3 การคำนวณมุมการรับสัญญาณของจานสายอากาศ

การหันจานสายอากาศไปยังตำแหน่งดาวเทียมให้ถูกต้องนั้น จะต้องทราบมุมของการหมุนจานสายอากาศซึ่งประกอบด้วย 2 มุมคือ มุมอะซิมุท (Azimuth) และ มุมเอเลเวชัน (Elevation) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการทั้งสองคือ

$$\tan A = \tan \lambda / \sin \phi \quad (3.7)$$

$$\tan B = (\cos \lambda \cos \phi - 0.5108) / \sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi} \quad (3.8)$$

โดย A = มุมอะซิมุท เริ่มวัดจากทิศเหนือตามเข็มนาฬิกา

B = มุมเอเลเวชัน เริ่มวัดขึ้นจากแนวระดับน้ำทะเล

λ = ผลต่างของเส้นแวงระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียม

ϕ = เส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีตำแหน่งทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ เส้นรุ้ง $10^{\circ}48'19''$ เหนือ และเส้นแวง $13^{\circ}45'37''$ ตะวันออก ซึ่งจะรับสัญญาณจากดาวเทียมปาลาปา (PALAPA) มีตำแหน่งอยู่ในเส้นแวง 108 องศาตะวันออก และดาวเทียมอินเทลแซทมีตำแหน่งอยู่ในเส้นแวง 66 องศาตะวันออก โดยอยู่ในแนวเหนือระดับเส้นศูนย์สูตรทั้งสองดวง

เมื่อแทนค่าต่างลงในสมการทั้งสอง จะได้ผลดังนี้

สำหรับดาวเทียมปาลาปา จะต้องหมุนจานสายอากาศด้วย

$$\text{มุมอะซิมูท} = 152.04 \text{ องศา}$$

$$\text{มุมเอเลเวชัน} = 71.81 \text{ องศา}$$

สำหรับดาวเทียมอินเทลแซท จะต้องหมุนจานสายอากาศด้วย

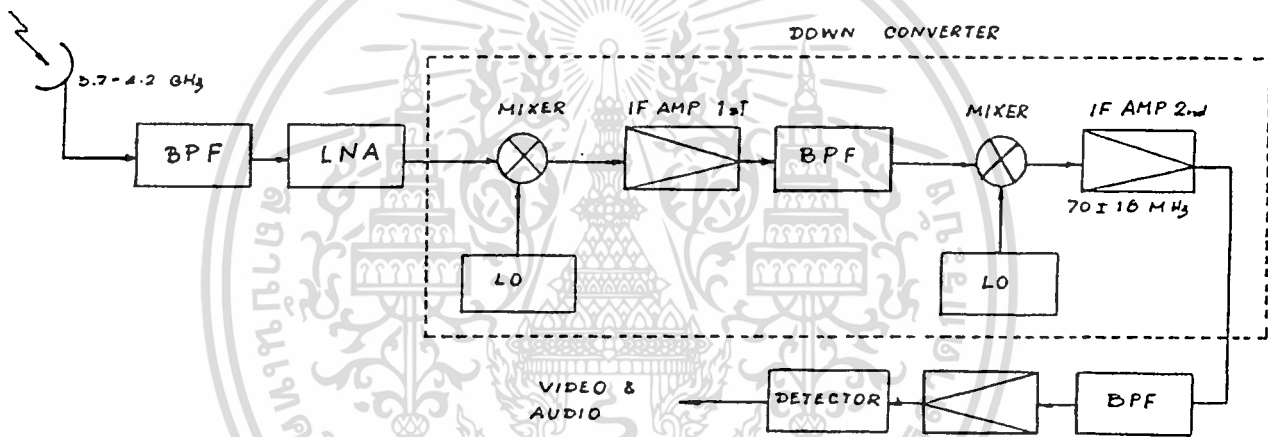
$$\text{มุมอะซิมูท} = 108.89 \text{ องศา}$$

$$\text{มุมเอเลเวชัน} = 46.99 \text{ องศา}$$

3.4 การออกแบบระบบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ในการออกแบบวงจรเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมสำหรับโครงการนี้ได้ศึกษา

เฉพาะการรับสัญญาณโทรทัศน์เท่านั้น การทำงานของระบบเครื่องรับสัญญาณได้แสดงในรูป 3.11



รูป 3.11 แสดงบล็อกโคไดอะแกรมของระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม

จากการรับสัญญาณไมโครเวฟจากดาวเทียมความถี่ 3.7 - 4.2 GHz ด้วยจานสายอากาศพาราโบลาแบบคาสซิเกรน สัญญาณที่รับได้ด้วยระดับสัญญาณ -80dBm ถึง -115dBm จะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier) ด้วยอัตราขยาย 50 dB สัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Band Pass Filter) โดยทั่วไปจะมีการสูญเสียของสัญญาณประมาณ 0.5 dB

จากนั้นสัญญาณจากฟิลเตอร์จะเข้าสู่วงจรแปลงความถี่ ซึ่งได้เลือกให้ระบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน (Double Conversion) ซึ่งใช้การแปลงความถี่ของสัญญาณสองครั้ง ครั้งแรกเป็นการแปลงความถี่โดยใช้สัญญาณความถี่ 2820 MHz ถึง 3320 MHz ผลกับความถี่ของ

สัญญาณที่ลงมา เพื่อให้มีผลลัพธ์ เป็นความถี่ 810 MHz ทำการขยายให้ได้ระดับของสัญญาณที่สูงพอ แล้วจึงทำการแปลงความถี่อีกครั้ง เป็นสัญญาณความถี่ 70 MHz ทำการขยาย แล้วเข้าสู่การตีเทคท์ เอาสัญญาณเดิมออกมา

ในการออกแบบการทดลอง ได้ลดองค์ประกอบของระบบเครื่องรับสัญญาณบางส่วน ได้แก่ LNA และวงจรแปลงความถี่ลงครั้งแรก ทั้งนี้ด้วยเหตุผลหลายประการ คือ ระยะเวลาการปฏิบัติที่จำกัดในหนึ่งภาคการศึกษา อีกทั้งความยุ่งยากในการออกแบบและการจัดหาอุปกรณ์บางชิ้น ดังนั้นการออกแบบเครื่องรับจึงเป็นการดัดแปลงจากระบบเครื่องรับสัญญาณของบริษัทไซติฟิคแอตแลนตา (Scientific Atlanta) ให้มีขอบเขตอยู่ในพิกัดที่สามารถและนำมาใช้ได้กับสถานีรับสัญญาณจากดาวเทียมแห่งนี้ โดยเริ่มตั้งแต่ วงจรแปลงความถี่ครั้งที่สอง วงจรขยายสัญญาณ จนถึงการตีเทคท์สัญญาณออกมา

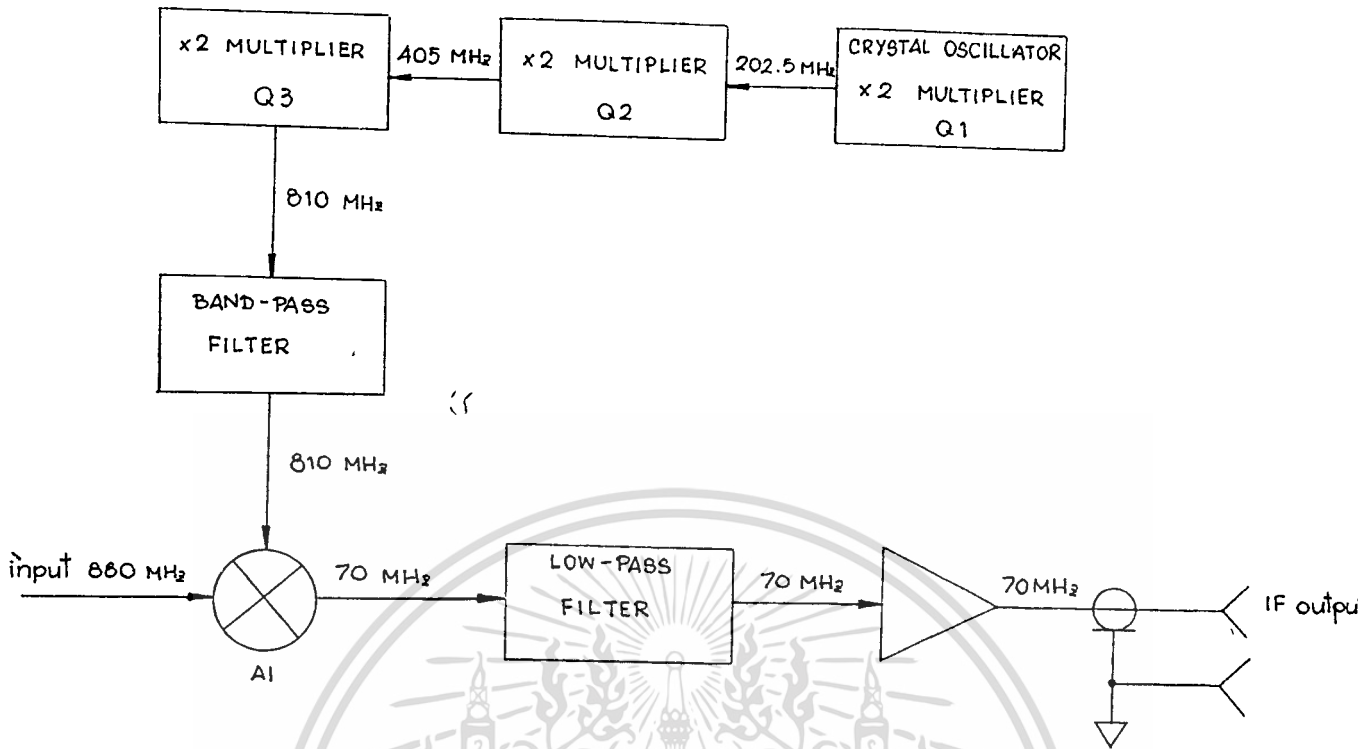
3.4.1 มิกเซอร์

จากสัญญาณอินพุตของมิกเซอร์สำหรับวงจรแปลงความถี่ครั้งที่สอง มีขนาดประมาณ -50 dBm ถึง -20 dBm ที่ความถี่ 880 MHz

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของมิกเซอร์ที่เลือกนำมาใช้งานคือ สามารถทำงานที่ความถี่ใช้งานได้โดยมีการสูญเสียในการทำงานน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้มิกเซอร์สำเร็จ เบอร์ TFM-2 ซึ่งเป็นวงจรรวมในอุปกรณ์ตัวเดียว ทำงานที่ความถี่ 1-1000 MHz สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องเพิ่มวงจรประกอบใดๆ มีอัตราการใช้สูญเสียของการผสมสัญญาณ 7-10 dB

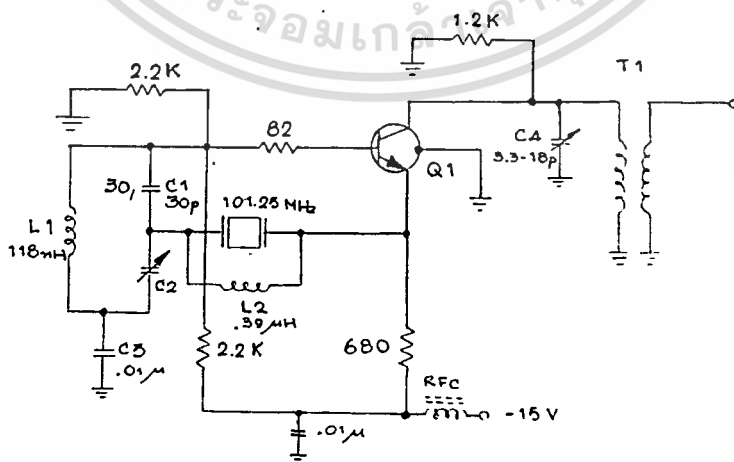
3.4.2 วงจรกำเนิดความถี่ (Local Oscillator)

เนื่องจากวงจรถ่ายทอดความถี่สำหรับวงจรแปลงความถี่เป็นวงจรถ่ายทอดความถี่ที่ต้องการความเที่ยงตรงของความถี่สูง จึงออกแบบให้ใช้การคูณความถี่จากคริสตัลซึ่งสามารถให้ความแม่นยำและความคงที่ของความถี่ได้สูง จากความต้องการวงจรถ่ายทอดความถี่ที่ความถี่ 810 MHz จึงได้เลือกใช้คริสตัลที่ความถี่ 101.25 MHz และคูณความถี่ครึ่งละสองเท่า สามครั้ง จึงได้ความถี่ 810 MHz ตามต้องการ สำหรับทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้สำหรับวงจรนี้ เลือกใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N 5179

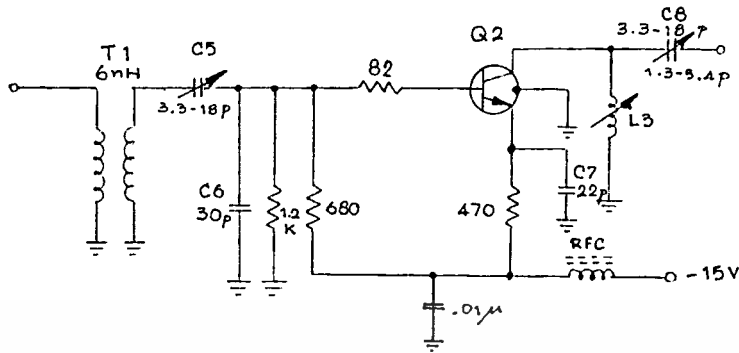


รูป 3.12 บล็อกไดอะแกรมแสดงการแปลงความถี่ครั้งที่สอง

จากคริสตอลซึ่งให้กำเนิดสัญญาณความถี่ 101.25 MHz ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะขยายสัญญาณและคูณความถี่โดยมี C_1, C_2 และ L_1 เป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel resonant) ที่ความถี่ 101.25 MHz เพื่อป้อนเข้าสู่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ จะได้ความถี่มูลฐาน (101.25 MHz) และฮาร์โมนิคต่าง ๆ ออกมาจึงใช้ C_2 และ T_1 สำหรับจูนความถี่ 202.5 MHz สัญญาณจะถูกคัปปลิง (coupling) ผ่าน T_1 เข้าภาคคูณความถี่ถัดไป

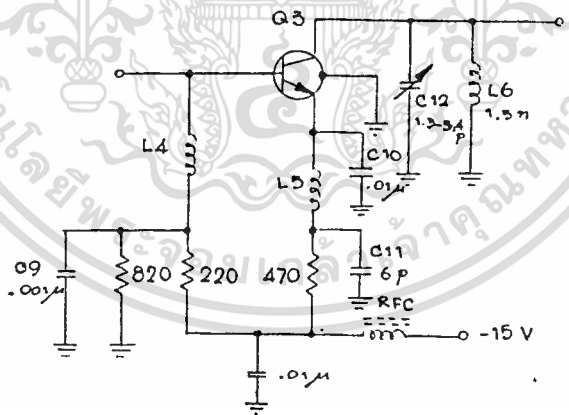


รูป 3.13 วงจรคูณความถี่จากคริสตอลความถี่ 101.25 MHz



รูป 3.14 วงจรคูณความถี่จาก 202.5 MHz เป็นความถี่ 405 MHz

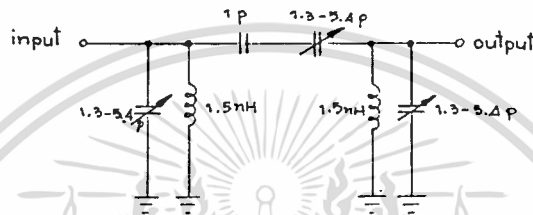
ทรานซิสเตอร์ Q_2 ได้รับสัญญาณจากการคับปลิงจาก T_1 โดยมี T_1 , C_5 และ C_6 ทำหน้าที่จูนความถี่และ C_5 , C_6 ยังทำหน้าที่แมทช์อิมพีแดนซ์ของวงจรทั้งสองเข้าด้วยกัน สัญญาณจะถูกคูณความถี่ด้วยทรานซิสเตอร์ Q_2 ที่ชาคอลเลกเตอร์ได้ใช้ L_3 และ C_8 เป็นวงจรไฮท์พาสฟิลเตอร์ (Highpass filter) และอิมพีแดนซ์แมทชิง



รูป 3.15 วงจรคูณความถี่จาก 405 MHz เป็นความถี่ 810 MHz

หลังจากฟิลเตอร์ $L_3 C_8$ กรองสัญญาณความถี่ 405 MHz แล้ว ได้ถูกขยายโดยทรานซิสเตอร์ Q_3 และผ่านวงจรรีโซแนนซ์จึงถูกคับปลิงมายังวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์เพื่อกรองสัญญาณความถี่ใกล้เคียงออก จะได้สัญญาณความถี่ 810 MHz.

แม้ว่าการจูนของวงจรรีโซแนนซ์ในภาคสุดท้ายของวงจรกำเนิดความถี่จะให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณความถี่ 810 MHz ก็ตาม แต่เนื่องจากวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้เป็นวงจรถูกความถี่ความถี่ ดังนั้นผลของวงจรมักจะไม่ได้ความถี่ 810 MHz ที่ต้องการแล้วยังมีความถี่มูลฐานของวงจรคือ 101.25 MHz และฮาร์โมนิคต่างๆของสัญญาณความถี่มูลฐาน ซึ่งจะมีผลมากในวงจรมิกเซอร์ ดังนั้นจึงต้องกรองความถี่ต่างๆที่ไม่ต้องการออกไปโดยการใช่วงจรดับเบิ้ลจูนเป็นฟิลเตอร์มีข้อดีคือ ให้การลดทอนสัญญาณนอกแบนด์ที่ต้องการสูงและออกแบบได้ง่าย



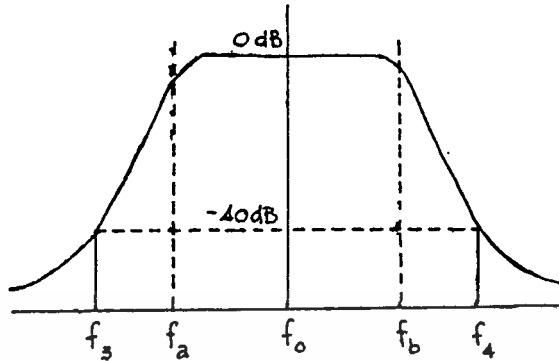
รูป 3.16 แสดงวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.3 วงจรฟิลเตอร์

เนื่องจากผลของการแปลงสัญญาณทำให้ได้สัญญาณต่างๆ ได้แก่ สัญญาณที่มีความถี่เป็นผลบวกและความถี่ที่เป็นผลลบของสัญญาณอินพุทซึ่งมีทั้งสัญญาณความถี่ 880 MHz และสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่รวมทั้งสัญญาณความถี่มูลฐานของสัญญาณ ทำให้มีความจำเป็นต้องกรองสัญญาณต่างๆที่ไม่ต้องการเหล่านี้ออกไปเพื่อป้องกันการรบกวนในวงจรชั้น (State) ต่อไป

สำหรับในขั้นต้นเราใช่วงจรกรองสำหรับให้ความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) เพราะความถี่ที่ต้องการคือความถี่ 70 MHz โดยมีแบนด์วิดธ์ 36 MHz และหลังจากกรองเอาไว้เฉพาะความถี่ต่ำแล้วจึง ขยายสัญญาณเพื่อให้แรงพอสำหรับการทำงานของวงจรถัดไป

ความถี่กลางจะอยู่ในช่วง $70+18$ MHz และ $70-18$ MHz เท่านั้น ความถี่อื่นที่ไม่ได้อยู่ในช่วงนี้จึงต้องถูกกรองทิ้งไป ฟิลเตอร์ที่ใช้ ควรมีคุณสมบัติด้านคัทออฟที่คมมีฉะนั้นช่องสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียงกันอาจเข้ามาจนได้ จึงเลือกใช้ฟิลเตอร์แบบเชิเบเชฟ การออกแบบฟิลเตอร์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูป 3.17 ภาพแสดงช่วงความถี่ที่ต้องการ

1. กำหนดให้ความถี่ที่ผ่านไปได้อยู่ในช่วง 70 ± 18 MHz

$$\text{จากรูป } f_a = 70 - 18 = 52 \text{ MHz}$$

$$f_b = 70 + 18 = 88 \text{ MHz}$$

$$\text{แบนด์วิธที่ } 3 \text{ dB} = 88 - 52 = 36 \text{ MHz}$$

$$\text{แทนค่า } f_a, f_b \text{ ลงในสูตร } f_o = \sqrt{f_a \cdot f_b}$$

$$f_o = \sqrt{52 \times 88} = 67.64 \text{ MHz}$$

f_4 เป็นความถี่ที่สัญญาณลดทอนลง 40 dB กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 MHz

เราสามารถหา f_s จากสูตรข้างบน

$$f_s = f_o^2 / f_4 = 45.76 \text{ MHz}$$

$$\text{แบนด์วิธที่ } 40 \text{ dB} = 100 - 45.76 = 54.24 \text{ MHz}$$

$$Bw (40 \text{ dB}) / Bw (3 \text{ dB}) = 54.24 / 36$$

$$= 1.5 = f / f_c$$

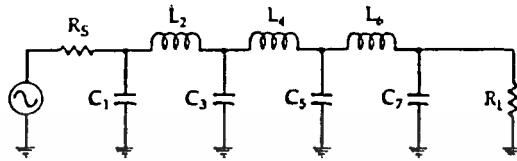
ดูจากกราฟในรูปที่ 3.18 ที่จุด $f / f_c = 1.5$ และค่าการลดทอนสัญญาณ 40 dB ต้องเลือกใช้ $n = 7$

เมื่อเปิดดูจากตาราง 3.2 ที่อันดับที่ 7 จะได้ว่าวงจรที่เป็นโปรโตไทป์ (Prototype)

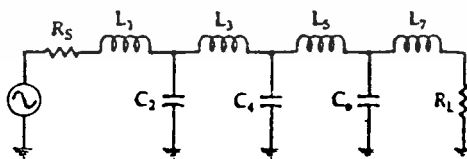
ในรูป 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



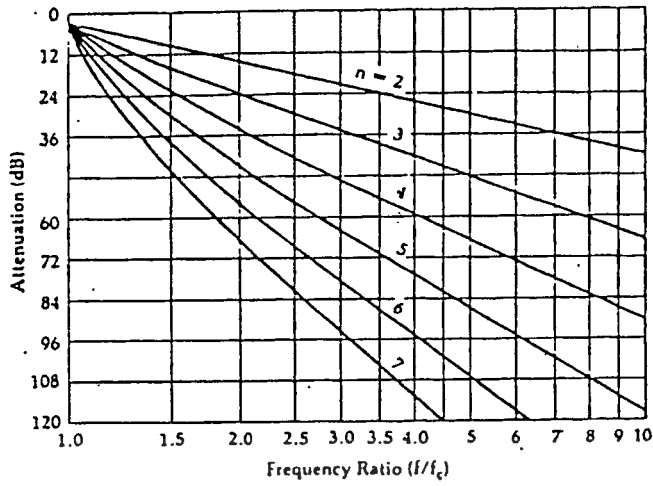
n	R_B/R_L	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
5	1.000	1.807	1.303	2.691	1.303	1.807		
	0.900	1.854	1.222	2.849	1.238	1.970		
	0.800	1.926	1.126	3.060	1.157	2.185		
	0.700	2.035	1.015	3.353	1.058	2.470		
	0.600	2.200	0.890	3.765	0.942	2.861		
	0.500	2.457	0.754	4.367	0.810	3.414		
	0.400	2.870	0.609	5.296	0.664	4.245		
	0.300	3.588	0.459	6.871	0.508	5.625		
	0.200	5.064	0.306	10.054	0.343	8.367		
	0.100	9.556	0.153	19.647	0.173	16.574		
	∞	1.630	1.740	1.922	1.514	0.903		
6	1.984	0.905	2.577	1.368	2.713	1.299	1.796	
	2.000	0.830	2.704	1.291	2.872	1.237	1.956	
	2.500	0.506	3.722	0.890	4.109	0.881	3.103	
	3.333	0.337	5.055	0.632	5.699	0.635	4.481	
	5.000	0.206	7.615	0.406	8.732	0.412	7.031	
	10.000	0.096	15.186	0.197	17.681	0.202	14.433	
7	1.000	1.790	1.296	2.718	1.385	2.718	1.296	1.790
	0.900	1.835	1.215	2.869	1.308	2.863	1.234	1.953
	0.800	1.905	1.118	3.076	1.215	3.107	1.155	2.168
	0.700	2.011	1.007	3.364	1.105	3.416	1.058	2.455
	0.600	2.174	0.882	3.772	0.979	3.852	0.944	2.848
	0.500	2.428	0.747	4.370	0.838	4.289	0.814	3.405
	0.400	2.835	0.604	5.295	0.685	5.470	0.669	4.243
	0.300	3.546	0.455	6.867	0.522	7.134	0.513	5.635
	0.200	5.007	0.303	10.049	0.352	10.496	0.348	8.404
	0.100	9.458	0.151	19.649	0.178	20.631	0.176	16.665
∞	1.646	1.777	2.031	1.789	1.924	1.503	0.895	



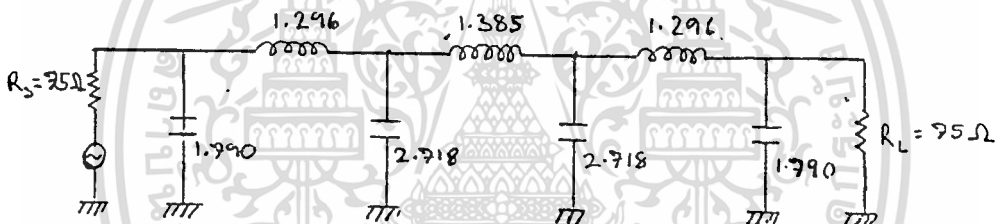
ตาราง 3.2 ค่าพื้นฐานสำหรับการออกแบบวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ แบบเชิเบเชฟที่ให้มี

รีปเบิล 0.5 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ -43- เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

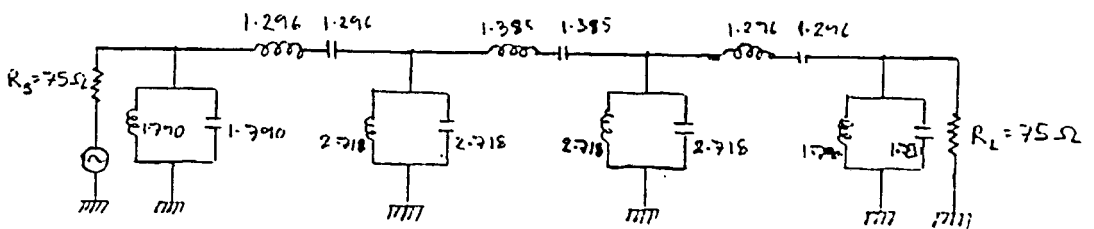


รูป 3.18 ภาพแสดงคุณลักษณะการลดทอนสัญญาณของฟิลเตอร์แบบเชอว์เชฟที่มีรีปเบิล 0.5 dB



รูป 3.19 แสดงวงจรโลว์พาสแบบโปรโตไทป์

2. นำวงจรโลว์พาสมาตัดแปลงเป็นแบนด์พาสได้เป็นวงจรดังในรูป 3.20



รูป 3.20 วงจรแบนด์พาสที่ตัดแปลงมาจากโลว์พาส

3. ค่า L_n และ C_n เป็นค่าที่ถูกทำให้อยู่ในอัตราส่วน ไม่สามารถนำมาใช้ได้เลยในทันทีต้องแปลงกลับไปอยู่ในรูปที่จะใช้ได้จริงๆโดยใช้สูตร

$$C = C_n / 2\pi RB, L = RB / 2\pi f_o^2 L_n$$

ในกรณีที่ เป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel resonant) และ

$$C = B / 2 f_o^2 C_n R, L = RL_n / 2\pi B$$

ในกรณีที่ เป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series resonant)

โดยที่ C_n, L_n คือค่า C และ L ในแบนด์พาสฟิลเตอร์

$$B = \text{แบนด์วิธ} = 36 \text{ MHz}$$

$$f_o = 67.64 \text{ MHz}$$

$$R = R_1 = 75$$

4. หาค่า L, C แต่ละตัวให้ถูกต้อง โดยการแทนค่าลงในสูตรดังกล่าวข้างต้น ข้อที่ควรระวังคือการเลือกใช้สูตรให้ถูกต้องว่าเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานหรือแบบอนุกรม ค่า L และ C ที่หาได้จะเป็นดังต่อไปนี้

$$C_1 = C_7 = 106 \text{ pF} \quad L_1 = L_7 = 0.052 \text{ H}$$

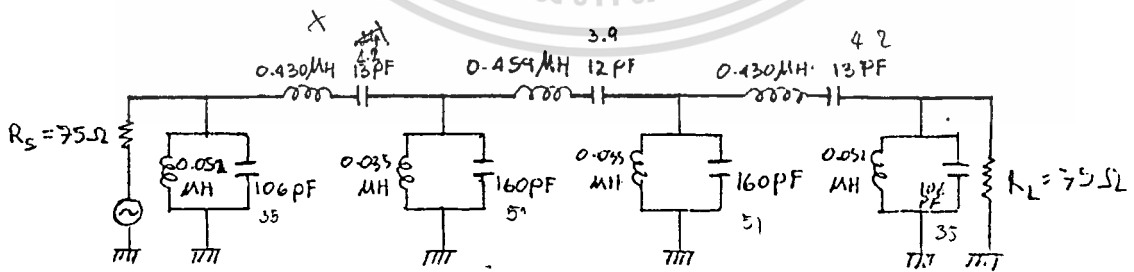
$$C_3 = C_5 = 160 \text{ pF} \quad L_3 = L_5 = 0.035 \text{ H}$$

$$C_2 = C_6 = 13 \text{ pF} \quad L_2 = L_6 = 0.430 \text{ H}$$

$$C_4 = 12 \text{ pF} \quad L_4 = 0.459 \text{ H}$$

5. นำค่าอุปกรณ์ที่ได้มาต่อเป็นวงจรในรูป 3.21 ก็จะได้วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์

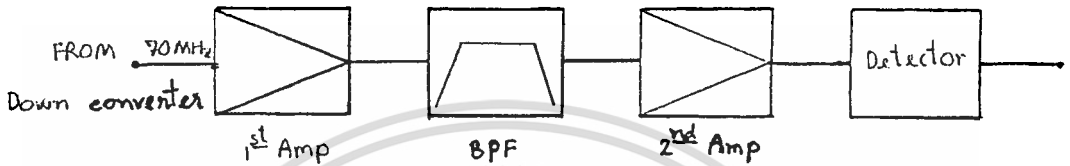
ตามที่ต้องการ



รูป 3.21 วงจรสำเร็จของแบนด์พาสฟิลเตอร์

3.4.4 ภาคขยายความถี่กลาง(Intermediate Frequency (IF) Amplifier)

เมื่อสัญญาณผ่านวงจรแปลงความถี่ลง(Down converter) ซึ่งแปลงความถี่ 3.7-4.2 GHz ให้เป็นความถี่ 70 MHz ที่ใช้เป็นความถี่กลาง(Intermediate Frequency) ความแรงของสัญญาณจะอยู่ในระดับต่ำมาก ไม่เพียงพอที่จะใช้ในการตีเทคท์ได้ จึงมีความจำเป็นที่จะใช้วงจรขยายสัญญาณเป็นเบื้องต้น



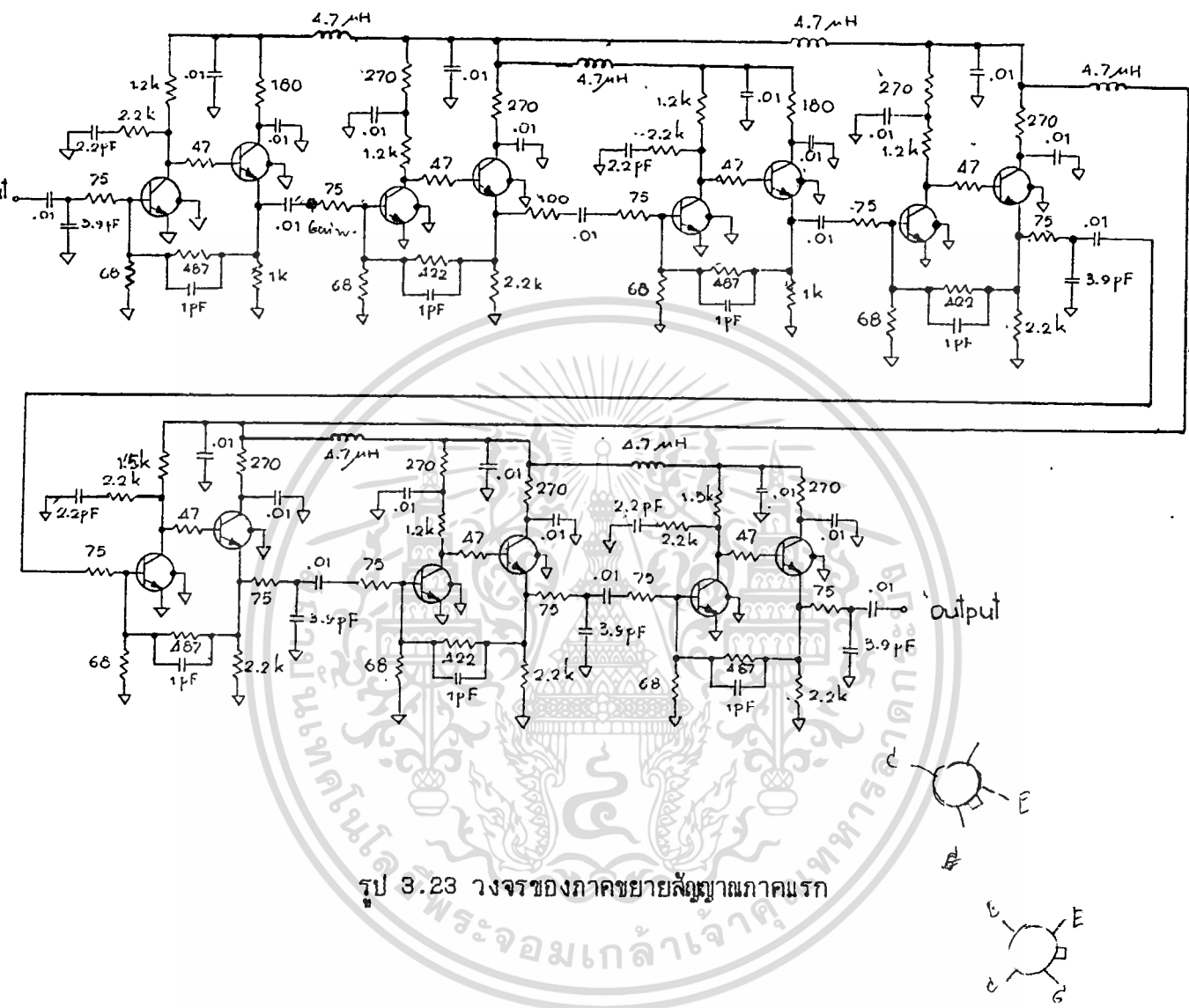
รูป 3.22 แสดงแผนภาพของภาคขยายสัญญาณ

วงจขยายสัญญาณเป็นวงจขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small signal amplifier) โดยใช้ทรานซิสเตอร์ในภาคขยายความถี่กลางภาคแรก และใช้วงจขยายสำเร็จรูปสำหรับความถี่สูงในภาคขยายความถี่กลางภาคที่สอง

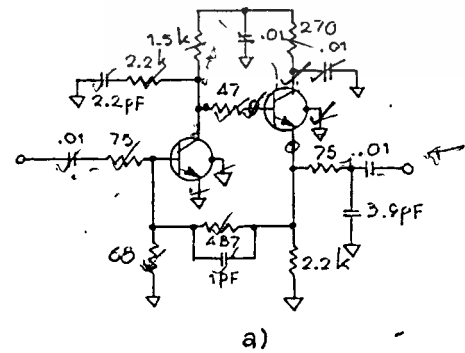
1. วงจขยายความถี่กลางภาคแรก วงจขยายสัญญาณที่ความถี่ 70 MHz ในภาคนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ความถี่สูงเบอร์ 2N5179 ของบริษัทโมโตโรลา วงจรที่ใช้เป็นวงจที่ตัดแปลงมาจากวงจที่ออกแบบไว้แล้วโดยบริษัทไซติฟิคแอตแลนตา(Scientific Atlanta) วงจรจะเป็นดังรูป 3.23

วงจขยายสัญญาณทั้งเจ็ดตัวที่นำมาต่อกันนี้ มีความคล้ายคลึงกันในการออกแบบและการทำงาน ในแต่ละชั้น (stage) จะมีทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ต่อกันในรูปของฟีดแบคแพร์ (Feedback pair) ค่าของอัตราขยายโวลเตจ (Voltage gain) จะเป็นลึกลับส่วนของความต้านทานป้อนกลับ(Feedback resistor)กับความต้านทานขาเข้า(Input resistor)

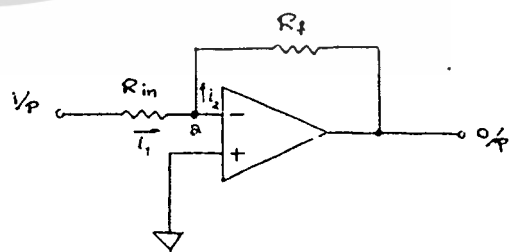
จากวงจในรูป 3.24a สมมติให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวเป็นเสมือนอยู่ในกล่อง (Blackbox) ที่ทำหน้าที่เป็นออปแอมป์ (Operational amplifier) เราจะได้วงจเสมือนดังในรูป 3.24b



รูป 3.23 วงจรของภาคขยายสัญญาณภาคแรก



a)



b)

รูป 3.24 a) วงจรขยายทรานซิสเตอร์ขั้นเดียว และ b) วงจรเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_2 = v_{out} / r_f$$

$$v_{in} / r_{in} = v_{out} / r_f$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายโวลเตจ} &= v_{out} / v_{in} \\ &= r_f / r_{in} \end{aligned}$$

$$r_f = 487 \ \Omega$$

$$r_{in} = 75 \ \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายโวลเตจ} &= 487 / 75 = 6.49 \\ &= 20 \log 6.49 \text{ dB} \\ &= 16 \text{ dB} \end{aligned}$$

จากแผ่นข้อมูลของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N5179 ที่แนบไว้ในภาคผนวก อ่านค่า y-parameter จากกราฟที่ความถี่ 150 MHz ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Input admittance } (Y_i) = 1.7 + j6 \ \text{S}$$

$$\text{Output admittance } (Y_o) = 0.2 + j1.5 \ \text{S}$$

$$\text{Forward transfer admittance } (Y_f) = 41 - j15 \ \text{S}$$

$$\text{Reverse transfer admittance } (Y_r) = -0.1 - j0.5 \ \text{S}$$

จากค่าประกอบความเสถียรของลินวิลล์ (Linville stability factor (C))

$$C = |y_r y_f| / (2g_i g_o - \text{Re}(y_r y_f))$$

$$\begin{aligned} y_r y_f &= (41 - j15)(-0.1 - j0.5) \\ &= -11.6 - j19 \ \text{S}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |y_r y_f| &= \sqrt{(-11.6)^2 + (-19)^2} \\ &= 22.26 \ \text{S}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Re}(y_r y_f) = -11.6 \ \text{S}^2$$

$$2g_i g_o = 2 \times 1.7 \times 0.2 = 0.68 \ \text{S}^2$$

$$C = 22.26 / (0.68 + 11.6) = 1.81$$

ถ้าค่า $C > 1$ ทรานซิสเตอร์จะมีศักยภาพในการไม่เสถียร (Potentially unstable)

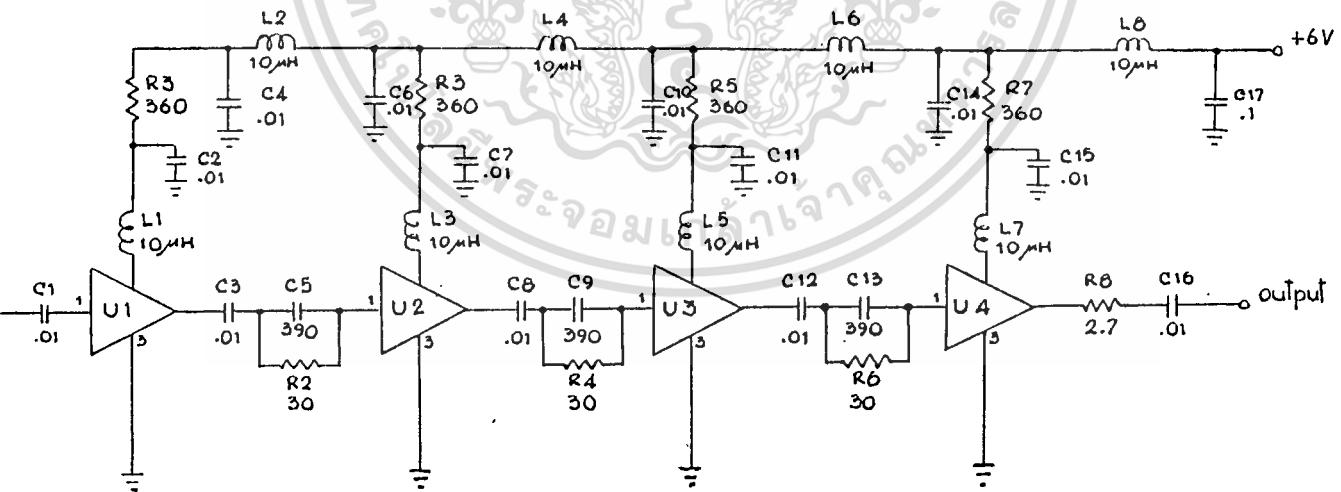
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค่า $C < 1$ ทรานซิสเตอร์จะเสถียรอย่างไม่มีเงื่อนไข (Unconditionally stable)

ในการเลือกทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรมีความถี่สูงพิจารณาว่าตัวประกอบความเสถียรของลินวิลต์วาย เพราะถ้าค่า $C < 1$ ทรานซิสเตอร์ตัวนั้นจะเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวงจรมีความถี่สูง และวงจรมีความถี่สูงที่ได้จะเสถียรไม่ออกสลิปเลขง่าย ค่า C ยิ่งน้อยจะยิ่งดี แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าทรานซิสเตอร์ที่มีค่า $C > 1$ จะนำมาทำเป็นวงจรมีความถี่สูงไม่ได้

แผ่นข้อมูลของทรานซิสเตอร์ 2N5179 ไม่ได้ระบุค่า y-parameter ที่ความถี่ 70 MHz จึงไม่ได้หาค่า C ที่ความถี่นี้

2. วงจรมีความถี่กลางภาคที่สอง วงจรนี้ใช้วงจรสำเร็จรูปสำหรับขยายความถี่สูงเบอร์ μ PC 1651 ในการใช้วงจรมีความถี่สูงนี้ สะดวกและได้ผลดีมาก เพียงแต่ป้อนไฟเลี้ยงและสัญญาณเข้าก็พร้อมที่จะใช้งานได้ทันที แต่ในการนำมาต่อกันหลายชั้น ต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) ฟอรัมตัวเสมือนเป็นวงจรมีความถี่สูง (Filter) กันสัญญาณความถี่สูงที่อาจไปกวนไฟเลี้ยงซึ่งจะทำให้วงจรมีความถี่สูงออกสลิปเลขได้ และระหว่างแต่ละชั้น ต้องมีตัวเก็บประจุก่อนอยู่เพื่อไม่ให้ไฟตรงไปกวนและเป็น การคัปปลิง (Coupling) สัญญาณ วงจรมีความถี่สูงสัญญาณจะเป็นดังในรูป 3.25



รูป 3.25 วงจรมีความถี่สูงสัญญาณภาคที่สอง

จากการวัดวงจรมีความถี่สูงที่สร้างขึ้นจะได้อัตราขยายทั้งหมดประมาณ 40 dB

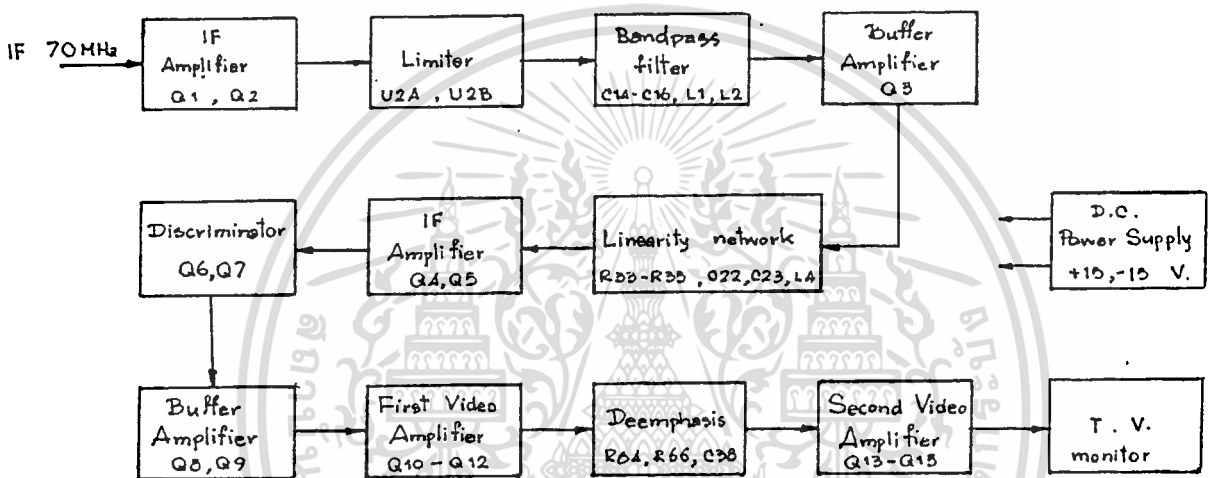
แบนด์วิดท์จะกว้างมากเพราะ μ PC 1651 เป็นวงจรมีความถี่สูงแบนด์วิดท์กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

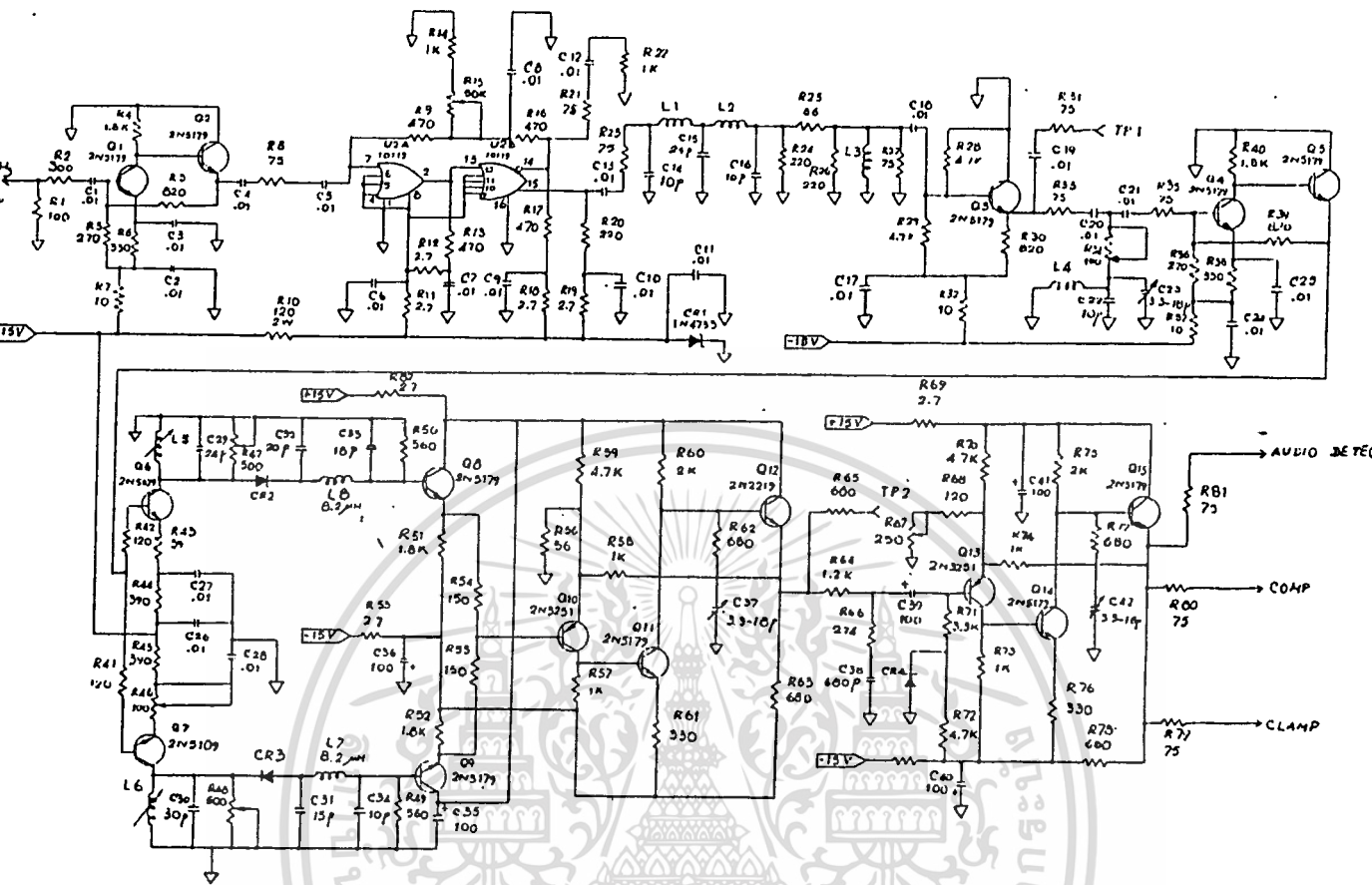
3.4.5 วงจรตีเทคเตอร์

ในวงจรการใช้งานจริง ก่อนที่จะแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกมาจากความถี่กลาง สัญญาณจะต้องผ่านวงจรส่วนต่างๆภายในส่วนตีเทคเตอร์ได้แก่ วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ลิมิเตอร์ (Limiter) ฟิลเตอร์ (Filter) เป็นต้น มีขั้นตอนดังแสดงในรูป 3.26 และมีวงจรการทำงานดังรูป 3.27



รูป 3.26 ขั้นตอนการแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากความถี่กลาง

การทำงานของวงจรเริ่มจากสัญญาณอินพุต 70 MHz มีแบนด์วิดท์ 36 MHz ถูกขยายสัญญาณให้มีระดับที่สูงขึ้น จากนั้นสัญญาณถูกจำกัดขนาดให้คงที่ด้วยส่วน ลิมิเตอร์ ที่ใช้วงจรรวมแบบดิฟเฟอเรนเชียล เบอร์ MECL 10119 ให้สัญญาณลอจิก 0 และ 1 ทำหน้าที่สวิตช์กำหนดระดับขนาดสัญญาณ จากการจำกัดขนาดสัญญาณด้วยลิมิเตอร์นี้ ทำให้เกิดฮาร์โมนิกต่างๆของสัญญาณเดิม จึงต้องกรองทิ้งด้วย โลว์พาส ฟิลเตอร์ โดยฮาร์โมนิกที่ 3 ขึ้นไปถูกกรองด้วย โลว์พาส ฟิลเตอร์ แบบ 5 ขั้ว (5-pole) ส่วนฮาร์โมนิกที่สองถูกกำจัดโดยการปรับค่า R_{15} สัญญาณที่ออกจาก C_{16} จะได้สัญญาณฮาร์โมนิกแรกของ 70 MHz เป็นสัญญาณบริสุทธิ์ จากนั้นจะถูกลด



รูป 3.27 วงจรการทำงานเพื่อแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากความถี่กลาง

ทอนด้วยส่วนลดขนาดสัญญาณ (Attenuator) ซึ่งประกอบด้วย R_{24} , R_{25} และ R_{26} ก่อนจะถูกขับด้วย Buffer amplifier Q_9 ไปยัง วงจรเชิงเส้นประกอบด้วย L_4 , R_{94} , C_{22} และ C_{23} ที่มีการปรับค่าอัตราส่วน L/C เพื่อให้ได้เชิงเส้น (linear) ดีขึ้น การปรับ R_{94} จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า Q แล้วขยายสัญญาณอีกครั้งด้วย Q_4 และ Q_5 เพื่อป้อนให้กับส่วนดีเทกต์ สัญญาณซึ่งใช้วงจร ดิสคริมิเนเตอร์ มี Q_6 และ Q_7 เป็นตัวขับสัญญาณออกทางขาคอลเลคเตอร์เข้าสู่วงจรจูนแต่ละซีก การปรับค่า R_{47} และ R_{48} ช่วยในการปรับค่าโวลเตจเอาท์พุทให้เป็นศูนย์เมื่อวงจรรีโซแนนท์ที่ค่าความถี่กลาง สัญญาณถูกดีเทกต์ด้วยไดโอด CR_2 และ CR_3 แล้วกรองความถี่สูงออกด้วยโลว์พาสฟิลเตอร์แบบ 3 ซีก ประกอบด้วย L_7 , C_{31} และ C_{34} ชุดหนึ่ง และ L_8 , C_{32} และ C_{33} อีกชุดหนึ่งที่แต่ละซีก ทำให้ได้สัญญาณเบลแบนด์

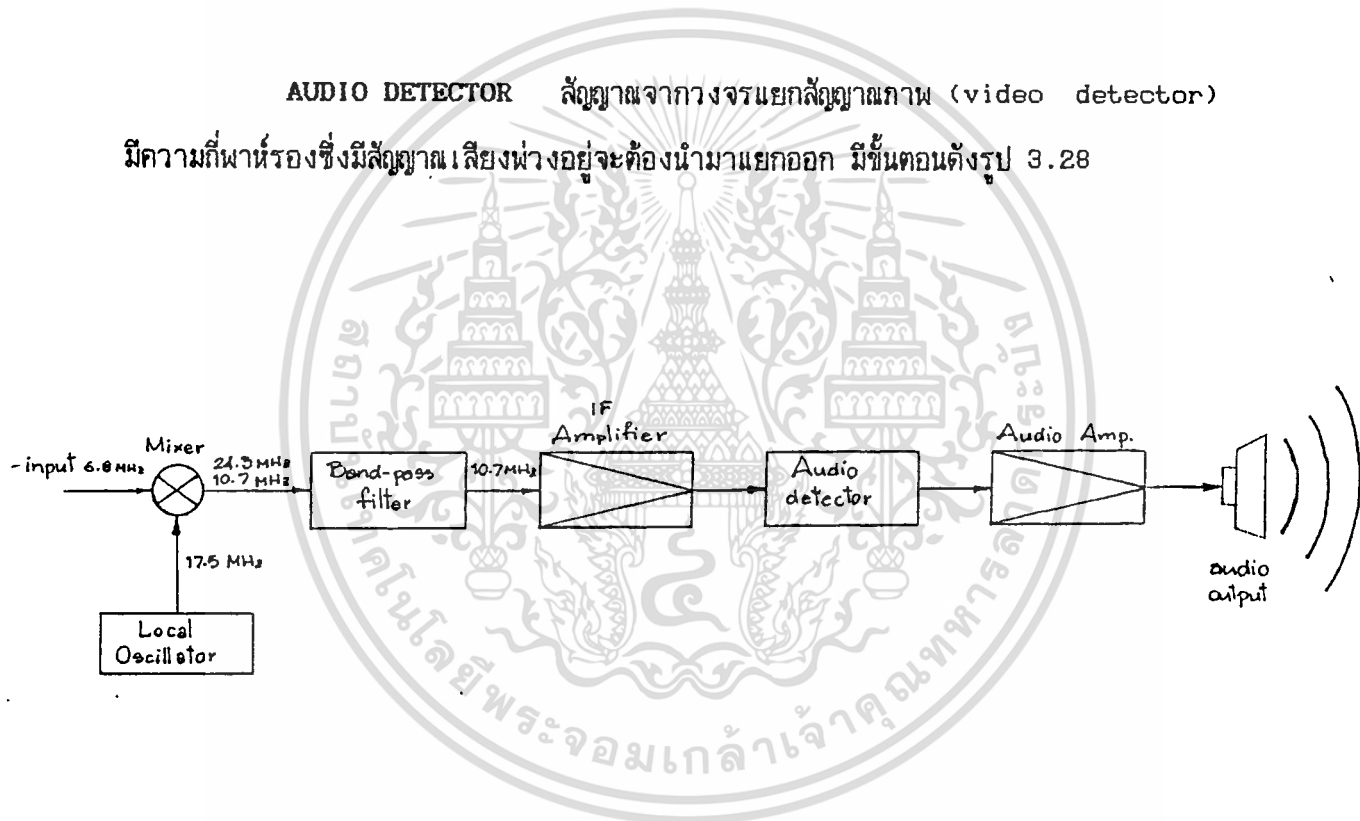
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(baseband) มี Q_9 และ Q_{10} เป็นตัวขับสัญญาณแต่ละซีกไปรวมกัน แล้วขยายสัญญาณเบสแบนด์ ให้มีความแรงขึ้นโดย Q_{10}, Q_{11} และ Q_{12} ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณภาพ (Video amplifier) ชุดแรก แล้วสัญญาณถูกลดทอนขนาดในความถี่สูง ด้วยวงจรดีเอมฟาสิส (deemphasis) ซึ่งประกอบด้วย R_{64}, R_{66} และ C_{36} ขยายสัญญาณให้แรงขึ้นอีกครั้งด้วยวงจรขยายสัญญาณภาพ ชุดที่สอง ประกอบด้วย Q_{13}, Q_{14} และ Q_{15} ให้เอาท์พุทออกมา 3 ทาง ซึ่งทางหนึ่งจะต้องนำไปดีเทคท์สัญญาณเสียงที่วางมากับ ความถี่พาห้วงที่ 6.8 MHz (ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป) ส่วนสัญญาณอีกสองทางซึ่งทาง clamp นำไปเพื่อการผสมสัญญาณส่งต่อหรือจะค้างไว้ไม่ต้องนำไปใช้ ส่วนสัญญาณทาง comp นำออกทางจอร์โทรทัศน์

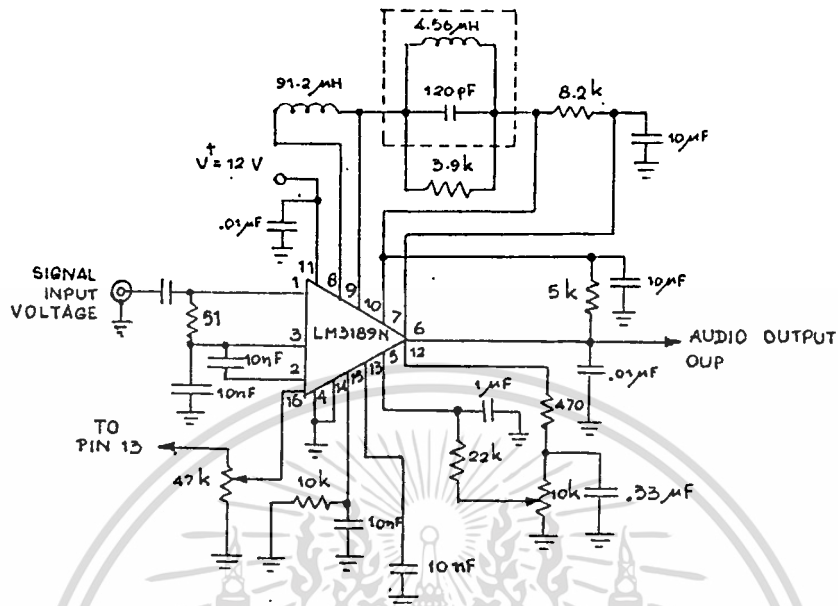
AUDIO DETECTOR สัญญาณจากวงจรแยกสัญญาณภาพ (video detector)

มีความถี่พาห้วงซึ่งมีสัญญาณเสียงวางอยู่จะต้อนนำมาแยกออก มีขั้นตอนดังรูป 3.28



รูป 3.28 การแยกสัญญาณเสียงจากความถี่พาห้วง

สัญญาณจากวงจรแยกสัญญาณภาพจะถูกผสมกับความถี่ 17.5 MHz จากวงจรกำเนิดความถี่ ได้สัญญาณผลลัพธ์ 2 ความถี่และฮาร์โมนิคอื่นๆ ซึ่งจะต้องกรองเอาเฉพาะช่วงความถี่ที่ต้องการคือ 10.7 MHz ซึ่งเป็นความถี่กลางของระบบวิทยุ เอฟ เอ็ม ขยายสัญญาณที่ความถี่นี้ให้แรงก่อน แล้วดีเทคท์สัญญาณเสียง โดยใช้วงจรรวมเบอร์ LM 3189N มีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 3.29



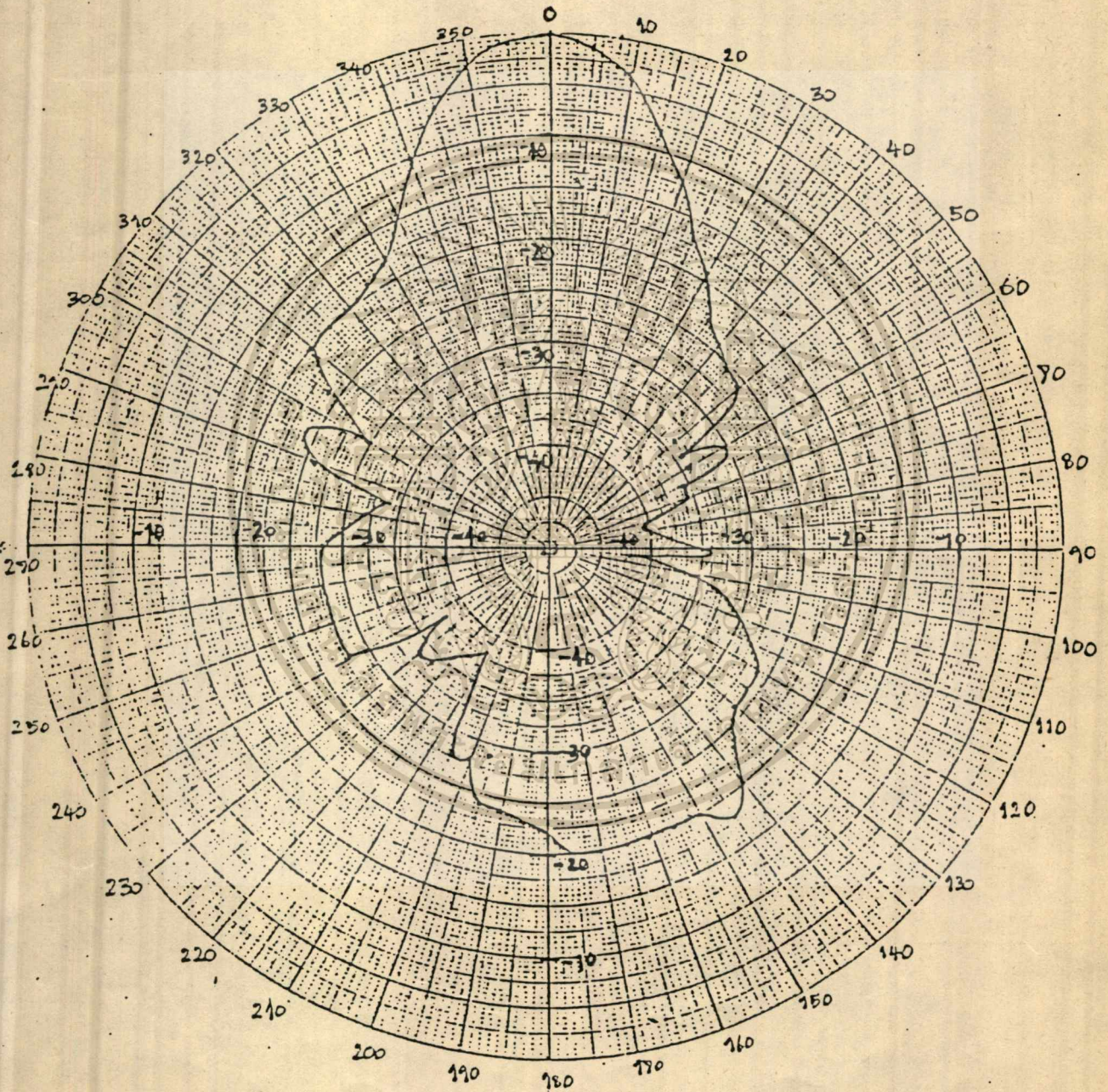
รูป 3.29 วงจรแยกสัญญาณเสียงออกจากความถี่รบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 -53-
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เมื่อนำสายอากาศโคนิคอลฮอร์นที่ทำขึ้นนี้มาวัดแบบการกระจายคลื่น (radiation pattern) ในห้องทดสอบสายอากาศ (anechoic chamber) โดยใช้ความถี่ 3.75 GHz มีลักษณะดังแสดงในรูป 4.1



รูป 4.1 แบบการกระจายคลื่นของสายอากาศ โคนิคอลฮอร์น

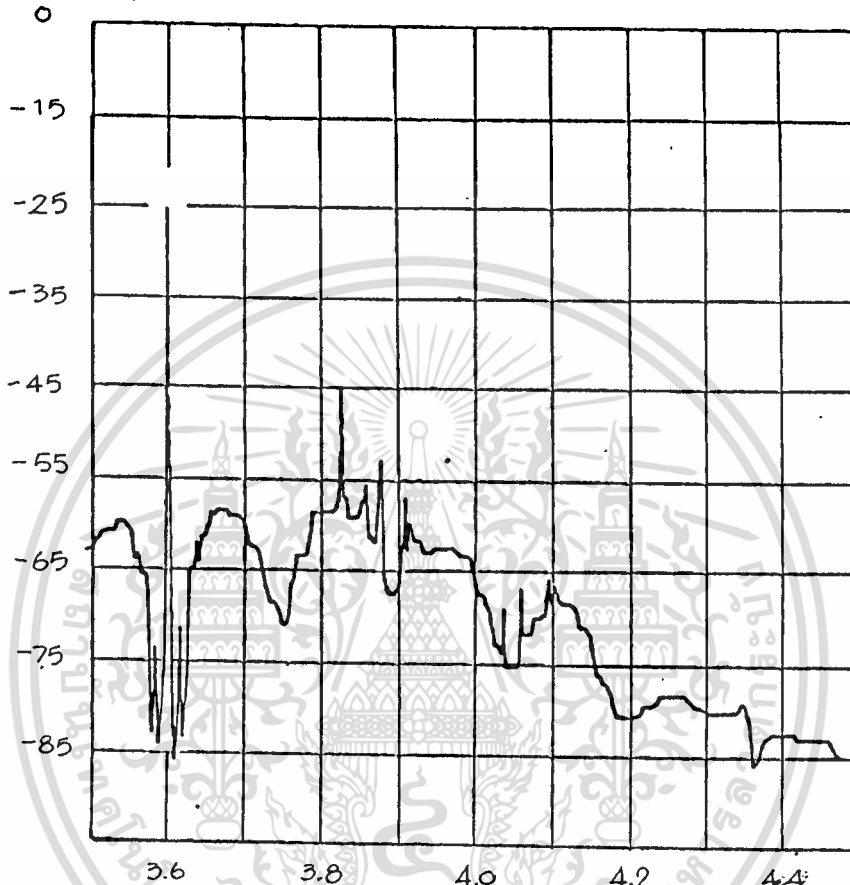
ในการทดลองที่ใช้ระบบสายอากาศแบบไพรม์โฟกัสชนิดทวนแบบคลาสสิกรุ่นของเดิม การปรับระยะของสายอากาศป้อนสัญญาณ ให้ได้ตำแหน่งใกล้เคียงจุดโฟกัสของจานสะท้อนหลัก เป็นเรื่องลำบากพอสมควรที่จะทำให้ได้ระดับสัญญาณที่ดีพอ เนื่องจากการติดตั้งเป็นการประมาณ คร่าวๆ และการปรับเลื่อนต้องใช้มือ ซึ่งไม่มีความแน่นอนพอ และเมื่อปรับระบบให้จานสายอากาศหันตำแหน่งไปยังดาวเทียม จะทำให้เสาสั้นในขณะที่หมุนจานสายอากาศ และเสาไม่อยู่ในแนวตั้ง เป็นผลให้ตัวสายอากาศป้อนสัญญาณไม่ค่อยมีความเสถียรนัก

เมื่อต่อสายอากาศป้อนสัญญาณกับสายส่งเข้าสู่ระบบเครื่องรับแล้ว และต่อไปยังเครื่องวัดระดับสัญญาณ (Spectrum analyzer) แล้วหมุนจานสายอากาศไปยังตำแหน่งดาวเทียมปลาปา อ่านระดับสัญญาณเท่าที่เห็นว่าได้ระดับสูงที่สุด วัดระยะโฟกัสของจานสะท้อนหลัก ได้ประมาณ 1.11 เมตร ซึ่งถ้าหากว่าสามารถทำให้การปรับระยะของสายอากาศป้อนสัญญาณมีความแม่นยำดีกว่านี้แล้วน่าจะรับสัญญาณได้ระดับที่ดีขึ้นกว่านี้ เมื่อต่อสายสัญญาณจากเครื่องวัดระดับสัญญาณเข้าเครื่องพล็อต จะได้ลักษณะของสเปกตรัมที่รับได้ดังรูป 4.2 และเมื่อต่อสายส่งกับเครื่องรับโทรทัศน์ปรากฏว่ารับสัญญาณภาพได้ แต่ยังมีคุณภาพไม่ดีนัก คือมีการรบกวนแบบสโนว์ (snow) มาก แต่ก็พอจะดูรู้เรื่องส่วนสัญญาณเสียงมีความชัดเจนดี และเมื่อหมุนจานสายอากาศให้หันไปทางดาวเทียมอินเทลแซท ระดับสัญญาณที่รับได้มีระดับต่ำมาก สัญญาณภาพดูไม่รู้เรื่อง มีสัญญาณเสียง แต่ก็ยังมีเสียงรบกวนมาก

การทดลองในช่วงนี้เป็นการยืนยันว่าสถานีรับสัญญาณจากดาวเทียมแห่งนี้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมทั้งสองดวงนี้มาใช้ศึกษาได้ ถ้าหากว่ามีการปรับปรุงระบบสายอากาศให้ดีขึ้น ก็จะทำให้รับได้ระดับสัญญาณมีคุณภาพของภาพและเสียงดีขึ้น

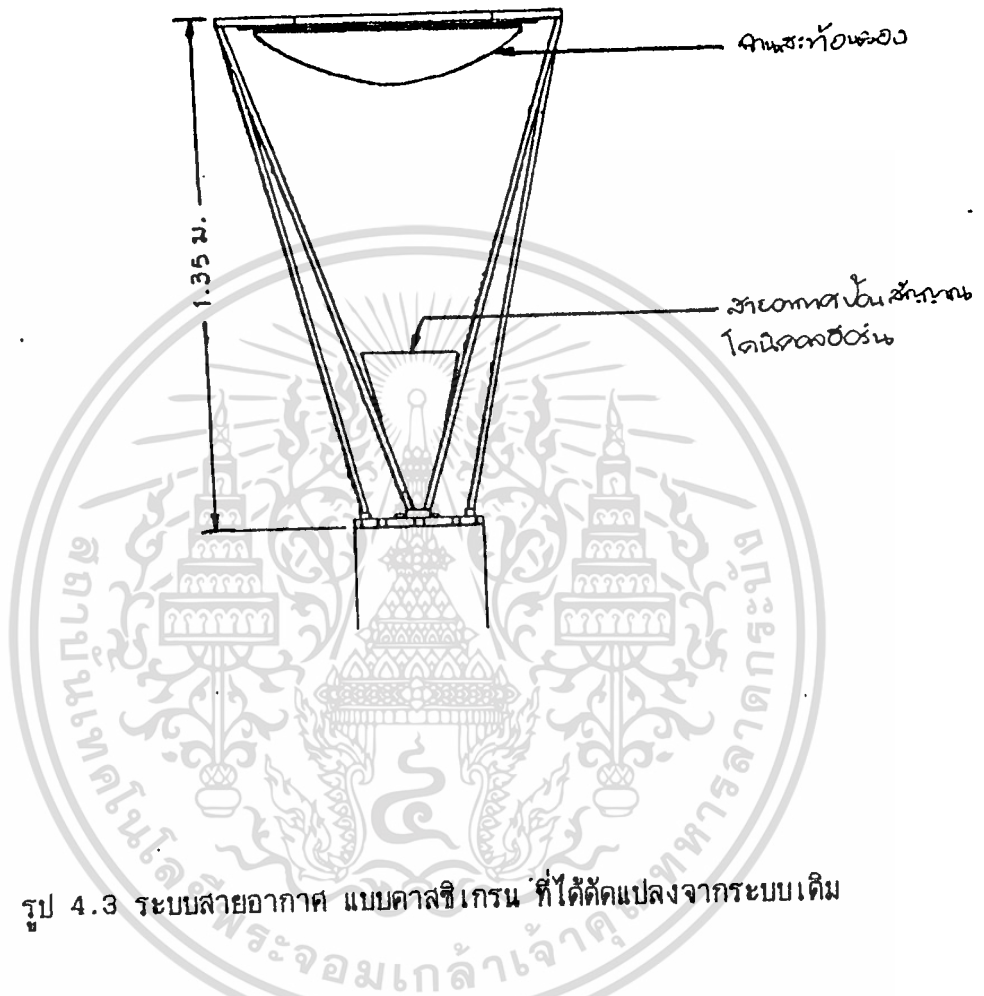
ดังนั้นจึงได้เริ่มออกแบบระบบสายอากาศชิ้นใหม่ โดยคิดว่าน่าจะใช้ระบบคลาสสิกรุ่น เนื่องจากสามารถดัดแปลงวัสดุจากของเดิมมาใช้ได้คือ จานสะท้อนรอง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญแล้ว เพิ่มเติมโครงสร้างใหม่เข้าไปได้แก่ สายอากาศป้อนสัญญาณที่ตกลงกันว่าจะใช้แบบโคเนคโกลอรั่น เนื่องจากสามารถรับสัญญาณได้ทุกโพลาร์เซชัน ซึ่งการออกแบบและองค์ประกอบที่ใช้ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 3.1 ขาดังสำหรับยึดจานสะท้อนรองก็เป็นส่วนหนึ่งที่ได้ทำขึ้นใหม่ เนื่องจากขาคือของเดิมสั้นเกินไป ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ด้วยกันได้ รูป 4.3 แสดงโครงสร้างแบบใหม่ที่ได้ทำขึ้น

ระดับสัญญาณ (dB)



ความถี่ (GHz)

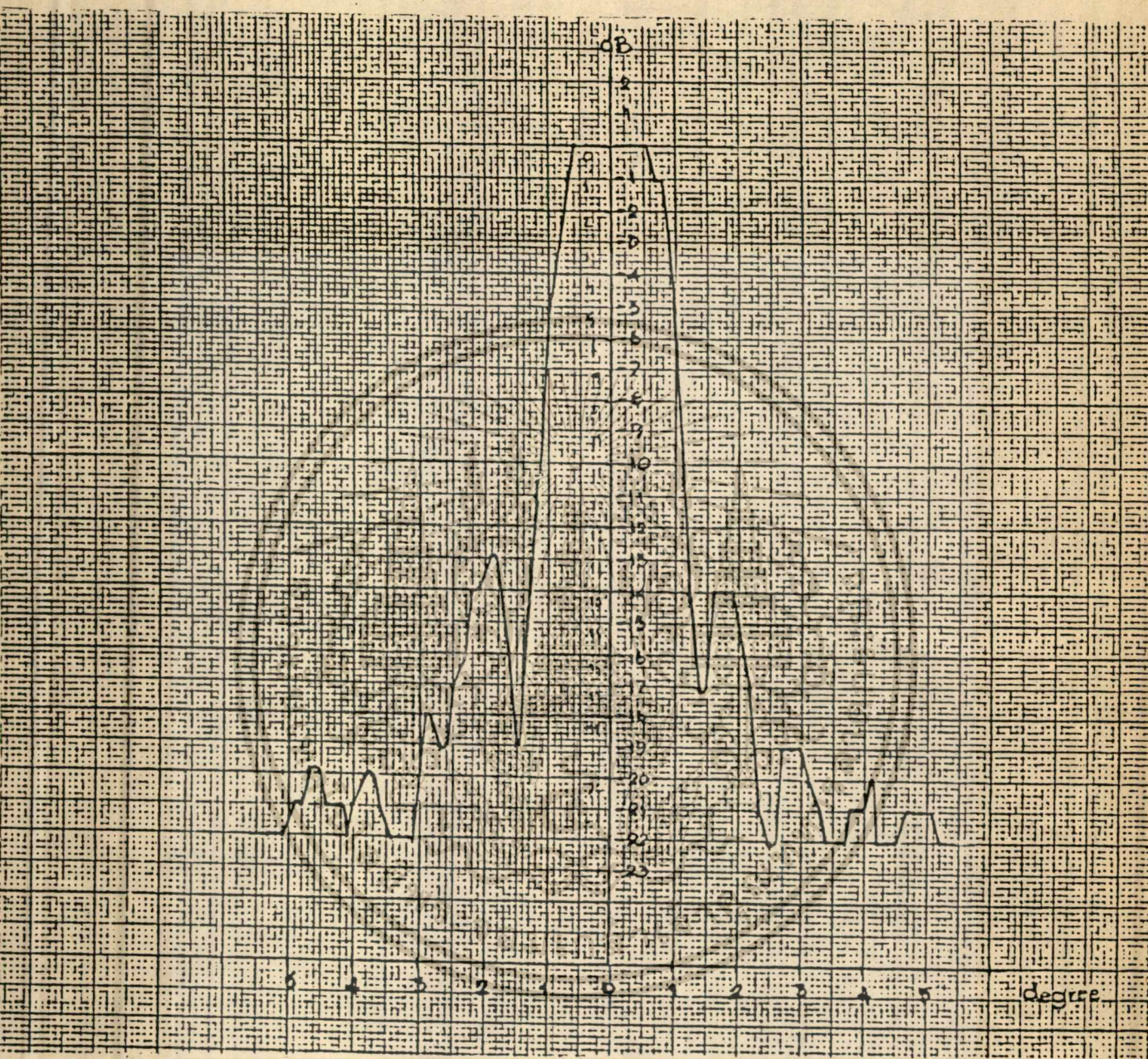
รูป 4.2 แผนภาพแสดงระดับสัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมปลาปา โดยใช้ระบบสายอากาศแบบไพรม์โฟกัสพิด และใช้สายอากาศใช้คอร์ดอร์น เป็นสายอากาศบ่อนสัญญาณ



รูป 4.3 ระบบสายอากาศ แบบคาสซิเกรน ที่ได้ดัดแปลงจากระบบเดิม

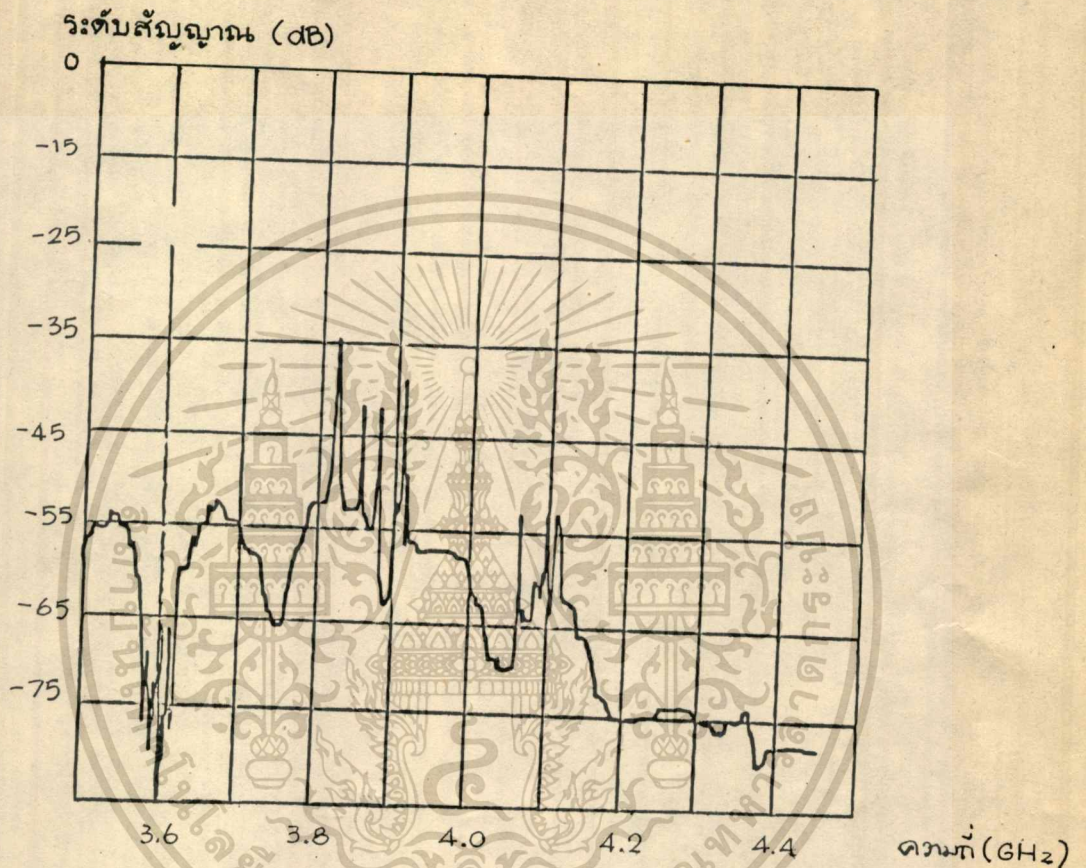
จากการดัดแปลงสายอากาศเป็นระบบคาสซิเกรนดังรูป 4.3 และนำไปทดลองวัดแบบการกระจายคลื่น (radiation pattern) ของจานสายอากาศพาราโบลา โดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมปาลาปา ซึ่งมีระดับสัญญาณแรงพอสมควร เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ ได้ผลตามรูป 4.4

จากการรับสัญญาณจากดาวเทียมปาลาปา และดาวเทียมอินเทลแซท ด้วยระบบสายอากาศแบบคาสซิเกรนที่ทำขึ้นนี้ ปรากฏว่าทั้งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง จากดาวเทียมทั้งสองดวงมีความชัดเจนดีมาก และเมื่อต่อเครื่องพล็อตจากเครื่องวัดระดับสัญญาณจะได้ระดับสัญญาณดังรูป 4.5 และ 4.6

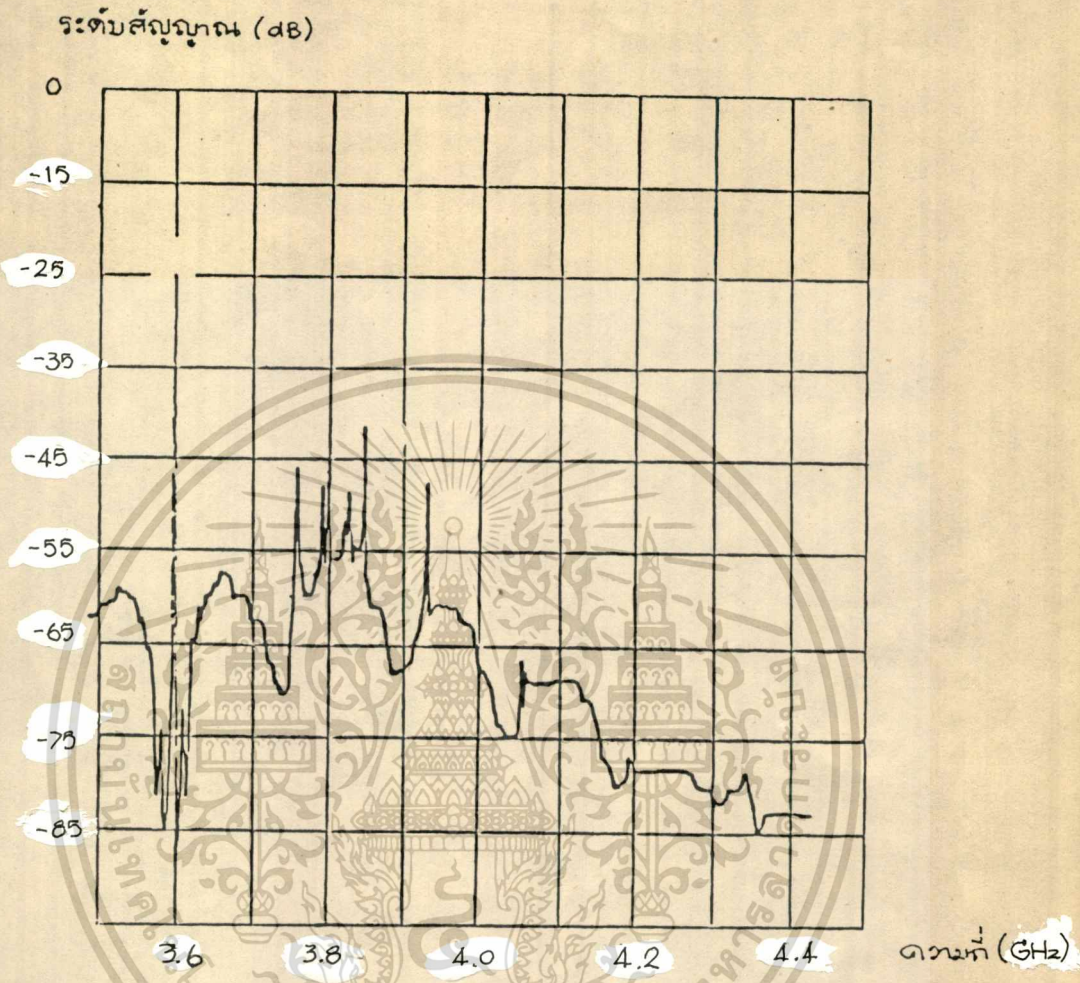


รูป 4.4 แบบการกระจายคลื่น (radiation pattern) ของจานสายอากาศพาราโบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ-58-เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5 แผนภาพแสดงระดับสัญญาณ ที่รับได้จากดาวเทียมปลาปา โดยใช้ระบบสายอากาศแบบคาสซิเกรนและใช้สายอากาศโคเนคคอลฮอร์น เป็นสายอากาศป้อนสัญญาณ

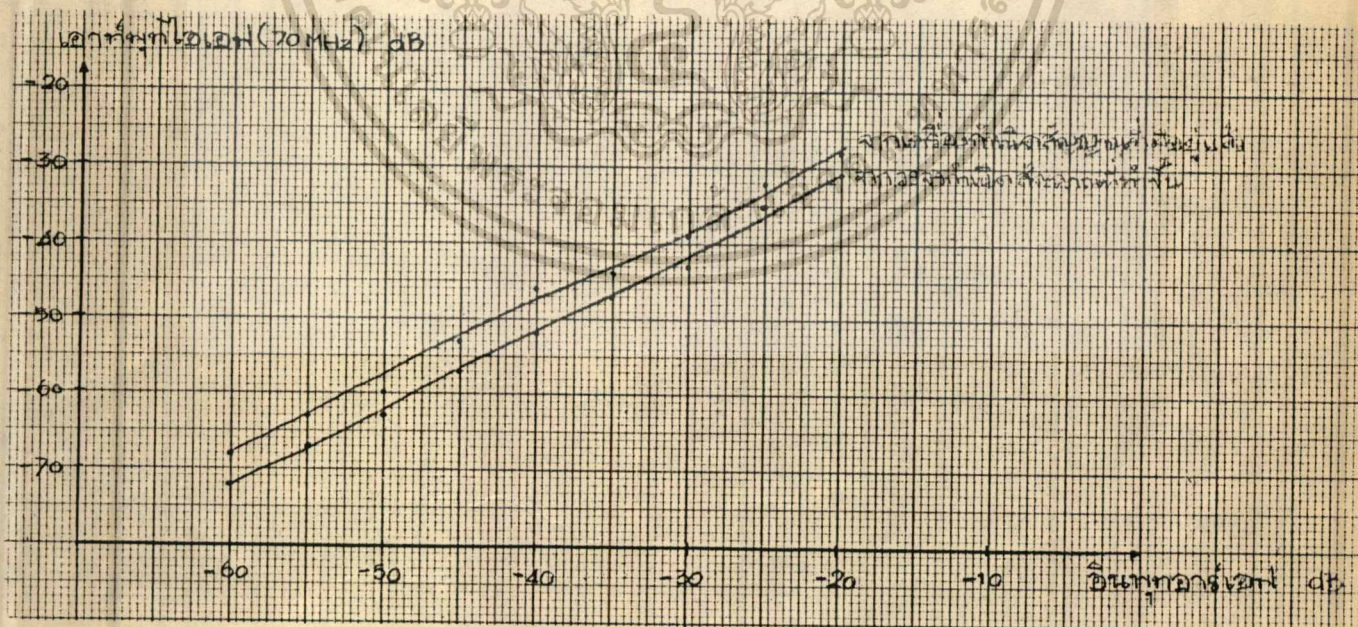


รูป 4.6 แผนภาพแสดงระดับสัญญาณที่ได้รับได้จากดาวเทียมอินเทลแซท
โดยใช้ระบบสายอากาศแบบคาสซิเกรน และใช้สายอากาศ
โคนิคอล ฮอร์น เป็นสายอากาศบ่อนสัญญาณ

สัญญาณจาก LNA มีระดับสัญญาณ -35 dBm ถึง -65 dBm หลังจากการแปลงความถี่ครั้งแรกและขยายสัญญาณความถี่ 880 MHz จะมีระดับสัญญาณประมาณ -20 dBm ถึง -50 dBm เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถหาคริสตอลความถี่ 101.25 MHz ได้ จึงใช้คริสตอลความถี่ 103 MHz สร้างความถี่ 824 MHz แทน โดยที่ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงวงจรแต่อย่างใดเพราะส่วนวงจรรีโซแนนซ์ได้ใช้ตัวเก็บประจุที่ปรับค่าได้ โดยระดับสัญญาณที่ได้ของวงจรกำเนิดความถี่เท่ากับ +2 dBm ดังนั้นในการทดสอบจึงใช้สัญญาณอาร์เอฟอินพุตความถี่ 894 MHz แทนสัญญาณความถี่ 880 MHz เพื่อให้ได้สัญญาณความถี่กลาง 70 MHz สำหรับทดสอบวงจรในลำดับถัดไป

จากการที่ไม่สามารถสร้างวงจรแปลงความถี่ครั้งแรกได้เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวไปแล้ว จึงได้ใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดความถี่สำหรับใช้ในห้องทดลอง โดยการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม และคูณความถี่เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความถี่ 894 MHz ด้วยการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มสำหรับทดสอบมิกเซอร์

เมื่อนำสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพของมิกเซอร์เปรียบเทียบกับระหว่างวงจรกำเนิดความถี่ที่ทดลองสร้างขึ้นกับเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) ที่ใช้ในห้องทดลอง โดยกำหนดให้ระดับสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเท่ากับระดับสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่ที่ได้ คือ +2 dBm ได้ผลการทดลองดังรูป 4.7



รูป 4.7 ระดับสัญญาณเอาต์พุต (70 MHz) เทียบกับสัญญาณอินพุตอาร์เอฟ

โดยมีระดับของสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ +2 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

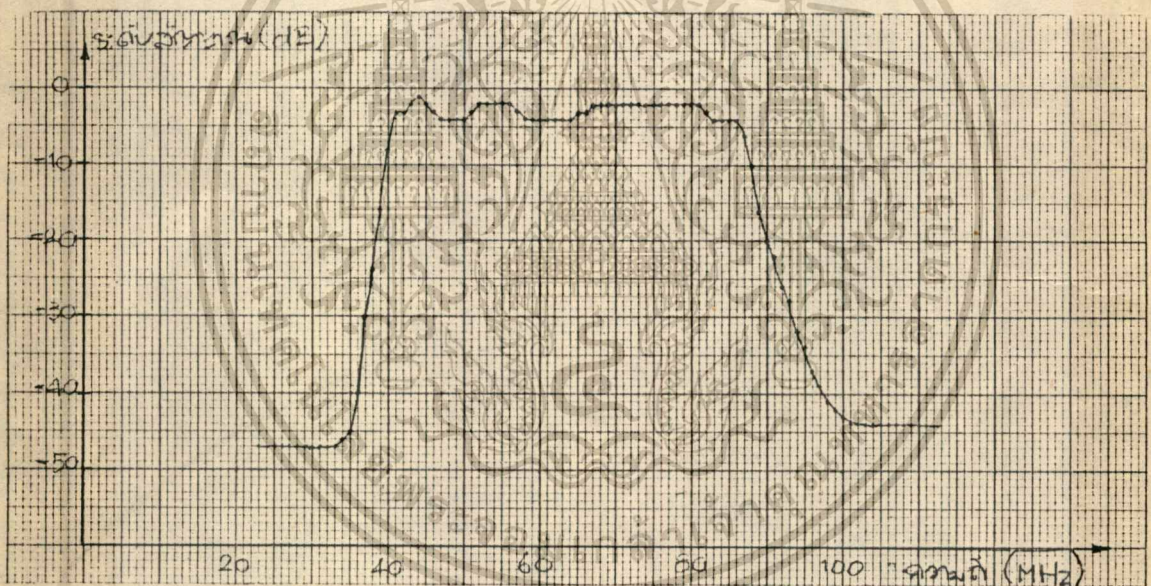
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการผลการทดสอบของมิกเซอร์ เมื่อใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณจะมีการสูญเสียของการผสมสัญญาณน้อยกว่าใช้สัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่สร้างขึ้น โดยที่ผลการสูญเสียจากการผสมสัญญาณมีระดับการสูญเสียประมาณ 8 dB และ 12 dB ตามลำดับ

จากการใช้สัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่สร้างขึ้นร่วมกับมิกเซอร์ จะได้ระดับของสัญญาณความถี่กลางประมาณ -63 dBm ถึง -32 dBm

ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณความถี่ 70 MHz โดยคำนวณให้มีการขยายสแควร์ 13 dB จากการทดลองวงจรขยายสัญญาณครั้งที่หนึ่งให้ระดับสัญญาณเอาต์พุต 0 dBm เมื่อมีระดับสัญญาณอินพุต -65 dBm ขึ้นไป

สัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณผ่านฟิลเตอร์เพื่อกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป ฟิลเตอร์ที่ใช้มีการตอบสนองความถี่ดังรูป 4.8



รูป 4.8 ผลการตอบสนองความถี่ของฟิลเตอร์ที่ใช้งาน

สัญญาณจากฟิลเตอร์จะมีการสูญเสียและเกิดริบเบิ้ล ด้วยการขยายจากวงจรขยายสัญญาณครั้งที่สองจะใส่สัญญาณ 70 MHz ที่ระดับสัญญาณ -3 dBm สำหรับการดีเทคท์

จากการทดสอบวงจรดีเทคเตอร์สามารถดีเทคท์ได้ที่ระดับสัญญาณ -5 dBm สำหรับการทดลองทำงานร่วมกันของวงจรแปลงความถี่ลงครั้งที่สอง วงจรขยายสัญญาณ และวงจรดีเทคเตอร์ ได้เอาต์พุตของระบบเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีมอดูเลตเท่ากับสัญญาณความถี่ 894 MHz ที่ใช้เป็นสัญญาณทดสอบตามต้องการ

เนื่องจากไม่สามารถสร้างวงจรแปลงความถี่ครั้งแรกได้ จึงอาศัยการทดสอบในห้องทดลองด้วยวงจรแปลงความถี่ครั้งที่สองแปลงความถี่ลงมา ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ดังนั้นการทดลองรับสัญญาณจริง จึงต้องอาศัยวงจรแปลงความถี่ที่มีอยู่แล้วร่วมกับบางจรส่วนอื่น ๆ ที่ได้ทดลองสร้างขึ้น จึงสามารถทดลองรับสัญญาณจริงจากดาวเทียมได้



บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

การศึกษาปริญญาโทครั้งนี้ ทางกลุ่มผู้ทำการทดลองได้ความคิดมาจากการที่ได้มีส่วนร่วมในการติดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแห่งนี้ ตั้งแต่ต้นปีการศึกษา 2530 จนกระทั่งการติดตั้งได้เสร็จสิ้นลง ด้วยกำลังของอาจารย์และนักศึกษาที่ได้ร่วมมือกันติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆที่ได้รับความช่วยเหลือจากองค์กรภายนอก ซึ่งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแห่งนี้ เดิมเคยใช้สำหรับการสื่อสารรับส่งสัญญาณของทหารในย่านความถี่ 7 GHz ในระยะแรกหลังจากการติดตั้งเสร็จสิ้นลง ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลสำหรับการสื่อสาร และอุปกรณ์ที่ได้รับมาบางส่วนก็ใช้งานไม่ได้

ดังนั้นกลุ่มผู้ทำการทดลองจึงได้รับมอบหมายให้ศึกษา เพื่อให้สามารถใช้งานได้ ในย่านความถี่ 4 GHz โดยแบ่งการศึกษาสำหรับสถานีรับสัญญาณดาวเทียมเป็นสองส่วนคือ ส่วนของระบบสายอากาศและส่วนของเครื่องรับสัญญาณ

ระหว่างทำการทดลอง ได้พบอุปสรรคมากมายพอสมควร เนื่องจากเป็นกลุ่มแรกที่ได้ศึกษาและพัฒนาให้ใช้งานได้ จากเดิมที่ไม่สามารถใช้ปฏิบัติงานได้ ในหลายส่วนได้แก่การปรับปรุงระบบไฟฟ้า และระบบระบายอากาศภายในราโดม (Radome) ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานสำหรับการปฏิบัติงานภายในสถานีแห่งนี้ จึงได้ทำการปรับปรุงและในระหว่างนั้นได้ศึกษาส่วนของโครงงานควบคู่กันไป ซึ่งนับว่าเป็นงานที่หนักพอสมควร เนื่องจากการทำงานทั้งหมดมีเพียงกลุ่มผู้ทำการทดลองเพียง 3 คนเท่านั้น อุปสรรคสำหรับการติดตั้งและการทำงานที่สำคัญของสถานีแห่งนี้ได้แก่

- ระบบไฟฟ้า ซึ่งในระยะแรกมิได้ทำการต่อสายเข้าไปโดยตรงอย่างถาวรเป็นการพ่วงสายจากสายไฟหลักมาใช้ชั่วคราว และมีเฉพาะไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ ที่จะต้องมีหม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็น 110 โวลท์ เพื่อใช้กับอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้กับไฟฟ้าระบบ 110 โวลท์ ระหว่างปฏิบัติการจะมีปัญหากระแสไฟฟ้าเกิดขัดข้องเป็นประจำ จึงต้องทำการแก้ไขเป็นครั้งคราวไป .

- ระบบระบายอากาศ นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปฏิบัติงานภายในสถานี เนื่องจากเป็นลักษณะโดมครอบปิดซึ่งรับแสงอาทิตย์โดยตรง อุณหภูมิภายในจึงสูงและอบอ้าวมาก ภายในมีช่องระบายอากาศเพียง 3 ทาง คือ บนยอดราโดมเป็นพัดลม 110 โวลท์ ระบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อากาศออก และด้านล่างซึ่งเดิมเป็นช่องสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ได้ดัดแปลงเป็นพัดลมดูดอากาศ 220 โวลต์ เพื่อให้อากาศภายในสถานีมีการหมุนเวียน มิฉะนั้นจะเป็นอุปสรรคอย่างมากในขณะที่ปฏิบัติงานเนื่องมาจากความอบอ้าวภายในสถานี

- การปฏิบัติงานในระยะแรกเป็นการติดตั้งระบบสายอากาศ ซึ่งจะต้องมีการขึ้นลงระหว่างพื้นกับจานสายอากาศ สิ่งที่จะช่วยได้คือ Vert-A-Lift ซึ่งเป็นลิฟท์เคลื่อนที่แบบรอกไถที่ได้มาพร้อมกับสถานีเพื่อการใช้งานสำหรับการนี้โดยเฉพาะ ในระยะแรกของการใช้งานมีการขัดข้องเนื่องจากมอเตอร์บังคับการขับเคลื่อนของล้อเสีย ต้องรอให้ซ่อมเสร็จ ไม่สามารถขึ้นไปปฏิบัติการเกี่ยวกับระบบสายอากาศได้ ระหว่างนั้นจึงได้เตรียมการสำหรับการปรับปรุงระบบสายอากาศ

- เนื่องจากขณะศึกษาายังไม่ได้มีการสร้างห้องปฏิบัติการ (Warehouse) ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆ อันได้แก่สเปคตรัมอานาไลเซอร์ (Spectrum Analyser) เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ต้องมีการโยกย้ายไปมาระหว่างตึกโทรคมนาคมกับสถานีรับสัญญาณ เกิดความไม่สะดวกในการ เชื้อระบบกันใหม่ทุกครั้งที่ต้องการวัดระดับสัญญาณ จากการเคลื่อนย้ายเครื่องมือวัดต่างๆ ไปมาทำให้เกิดการกระทบกระเทือนเป็นเหตุให้การทำงานของเครื่องขัดข้องขึ้นบ้าง ต้องเสียเวลาในการซ่อมเครื่องมือวัดจนใช้งานได้

- การหมุนของจานสายอากาศยังต้องใช้มือหมุน เนื่องจากยังไม่ได้มีการต่อระบบควบคุมต้องรอให้สร้างห้องสำหรับปฏิบัติงานจึงสามารถติดตั้งได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือต้องใช้เวลาอย่างมากในการปรับมุมของจานเพื่อการวัดสัญญาณต่างๆ การหมุนจานสายอากาศให้ได้มุมละเอียดและมุมเอเลเวชันที่ใช้ ได้จากการวัดด้วยเข็มทิศและระดับน้ำตามลำดับแล้วใช้ระดับความแรงที่สุดที่อ่านได้จากสเปคตรัมอานาไลเซอร์ เป็นจุดอ้างอิง ทำให้ขนาดมุมต่างๆที่ใช้เป็นมุมที่เทียบเท่ากับแกนของปิมของสายอากาศ

การทดลองในส่วนของระบบเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมมีอุปสรรคบ้างเกี่ยวกับคุณภาพของอุปกรณ์ เนื่องจากวงจรส่วนใหญ่ที่ใช้ได้ดัดแปลงมาจากระบบที่สามารถใช้งานได้สามารถคาดคะเนผลไว้ล่วงหน้า ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่นการขาดอุปกรณ์บางอย่างที่ไม่มีขายในประเทศ ปัญหาเกี่ยวกับการทำงานของวงจร และอื่นๆ

จากการรับสัญญาณจากดาวเทียมอินเทลแซทนี้ทำให้รับสัญญาณโทรทัศน์จากประเทศจีน และ ประเทศมาเลเซียได้ ซึ่งใช้ดาวเทียมในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปทั่วประเทศ และระหว่างที่ทำการทดลอง เป็นช่วงเวลาที่กำลังจะมีการถ่ายทอดสดกีฬาโอลิมปิคครั้งที่ 23 จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้ ระหว่างวันที่ 17 กันยายน ถึง 2 ตุลาคม 2530 ผ่านดาวเทียม อินเทลแซท ทางกลุ่มผู้ทำการทดลองจึงได้มีโอกาสเตรียมการส่งสัญญาณจากสถานีรับสัญญาณจาก ดาวเทียมไปยัง หอประชุมใหญ่ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องขยายสัญญาณ และผสมสัญญาณของภาควิชาเทคนิค- อดสาหกรรม ส่งสัญญาณไปตามสายมีความยาวประมาณ 500 เมตร แล้วขยายสัญญาณอีก ครั้ง ที่ห้องปฏิบัติการ (T-103) ตึกโทรคมนาคม ก่อนส่งต่อไปยังหอประชุมใหญ่ ห้องคอมพิวเตอร์ และห้องอื่น ๆ ที่มีผู้ต้องการชม

จากการปรับปรุงระบบสายอากาศจากย่านความถี่ 7GHz มาเป็นสายอากาศระบบ คลาสสิกเทรน ทำให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมที่ใช้การส่งสัญญาณในย่าน 4 GHz ได้ และได้ทดลองสร้างเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมสำหรับส่วนของการรับสัญญาณโทรทัศน์ขึ้นมา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความพยายามที่จะศึกษา และใช้งานสถานีรับสัญญาณดาวเทียม ของภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ลาดกระบัง

สถานีรับสัญญาณจากดาวเทียมแห่งนี้สามารถใช้ศึกษาระบบการสื่อสารได้อีกมาก อาทิเช่นระบบการติดตามดาวเทียม การสื่อสารข้อมูล การส่งสัญญาณขึ้นสู่ดาวเทียม และอื่น ๆ ตามแต่การพัฒนาเทคโนโลยีและสิ่งที่ต้องการจะศึกษา

กลุ่มผู้ทำการทดลองคาดหวังว่า สถานีรับสัญญาณจากดาวเทียมแห่งนี้จะเป็นสถานที่ ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ทางการศึกษาเป็นอย่างมาก และถ้าสามารถปรับปรุงให้ใช้งานได้ อย่างสมบูรณ์แล้ว ก็น่าจะได้จัดทำเป็นห้องสำหรับปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับระบบการสื่อสารผ่าน ดาวเทียมเพื่อให้เกิดความเข้าใจแก่นักศึกษาภาควิชา โทรคมนาคมนอกเหนือจากความรู้ที่ได้รับ จากห้องเรียน



MOTOROLA
Semiconductors

BOX 20912, PHOENIX, ARIZONA 85036

2N5179

The RF Line

NPN SILICON RF HIGH FREQUENCY TRANSISTOR

... designed primarily for use in high-gain, low-noise amplifier, oscillator, and mixer applications. Can also be used in UHF converter applications.

- High Current-Gain – Bandwidth Product – $f_T = 1.4 \text{ GHz (Typ) @ } I_C = 10 \text{ mA dc}$
- Low Collector-Base Time Constant – $\tau_b C_c = 14 \text{ ps (Max) @ } I_E = 2.0 \text{ mA dc}$
- Characterized with Scattering Parameters
- Low Noise Figure – $NF = 4.5 \text{ dB (Max) @ } f = 200 \text{ MHz}$

4.5 dB @ 200 MHz

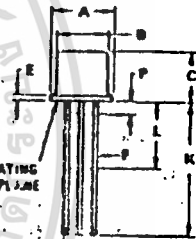
HIGH FREQUENCY TRANSISTOR
NPN SILICON



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage Applicable 1.0 to 20 mA dc	V _{CE0}	12	V _{dc}
Collector-Base Voltage	V _{CB}	20	V _{dc}
Emitter-Base Voltage	V _{EB}	2.6	V _{dc}
Collector Current	I _C	80	mA dc
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	200 1.14	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	300 1.71	mW mW/°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +200	°C

*Indicates JEDEC Registered Data.



STYLE #

1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR
4. CASE



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.21	1.84	0.109	0.220
B	4.57	4.93	0.179	0.193
C	4.32	5.20	0.170	0.205
D	0.41	0.53	0.016	0.021
E	—	0.76	—	0.030
F	0.41	0.40	0.016	0.016
G	0.254 BSC	0.104 BSC	—	—
H	0.81	1.17	0.032	0.046
J	0.71	1.52	0.028	0.060
K	1.19	—	0.047	—
L	0.30	—	0.012	—
M	0.762 BSC	0.762 BSC	—	—
N	1.27 BSC	0.654 BSC	—	—
P	—	1.27	—	0.050

ALL JEDEC dimensions and notes apply

CASE 20-03
TO 77

Fig. 5-14. Data sheet. (Courtesy Motorola Semiconductor Products Inc.)

Cont. on next page

2N5179

***ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)**

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Sustaining Voltage (I _C = 3.0 mA, I _B = 0)	V _{CE0} (sus)	17	—	V _{dc}
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 0.001 mA, I _E = 0)	BV _{CB0}	20	—	V _{dc}
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 0.01 mA, I _C = 0)	BV _{EB0}	2.5	—	V _{dc}
Collector Cutoff Current (V _{CB} = 15 V, I _E = 0) (V _{CB} = 15 V, I _E = 0, T _A = 150°C)	I _{CBO}	—	0.02 1.0	μA _{dc}

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain (I _C = 3.0 mA, V _{CE} = 1.0 V)	h _{FE}	25	250	—
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 10 mA, I _B = 1.0 mA)	V _{CE(sat)}	—	0.4	V _{dc}
Base-Emitter Saturation Voltage (I _C = 10 mA, I _B = 1.0 mA)	V _{BE(sat)}	—	1.0	V _{dc}

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current-Gain - Bandwidth Product ^① (I _C = 5.0 mA, V _{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)	f _T	900	2000	MHz
Collector-Base Capacitance (V _{CB} = 10 V, I _E = 0, f = 0.1 to 1.0 MHz)	C _{cb}	—	1.0	pF
Small-Signal Current Gain (I _C = 2.0 mA, V _{CE} = 5.0 V, f = 1.0 kHz)	h _{fe}	25	300	—
Collector-Base Time Constant (I _E = 2.0 mA, V _{CB} = 5.0 V, f = 31.8 MHz)	τ _b C _b	3.0	14	ps
Noise Figure (See Figure 1) (I _C = 1.5 mA, V _{CE} = 5.0 V, R _s = 50 ohms, f = 200 MHz)	NF	—	4.5	dB

FUNCTIONAL TEST

Common-Emitter Amplifier Power Gain (See Figure 1) (V _{CE} = 5.0 V, I _C = 5.0 mA, f = 200 MHz)	G _{pa}	18	—	dB
Power Output (See Figure 2) (V _{CE} = 10 V, I _E = 12 mA, f = 500 MHz)	P _{out}	20	—	mW

*Indicates JEDEC Registered Values.

① f_T is defined as the frequency at which |h_{fe}| extrapolates to unity.

MOTOROLA Semiconductor Products Inc.



Cont. on next page

Fig. 5-14.—Cont. Data sheet. (Courtesy Motorola Semiconductor Products Inc.).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N5179

FIGURE 6 - CURRENT-GAIN BANDWIDTH PRODUCT

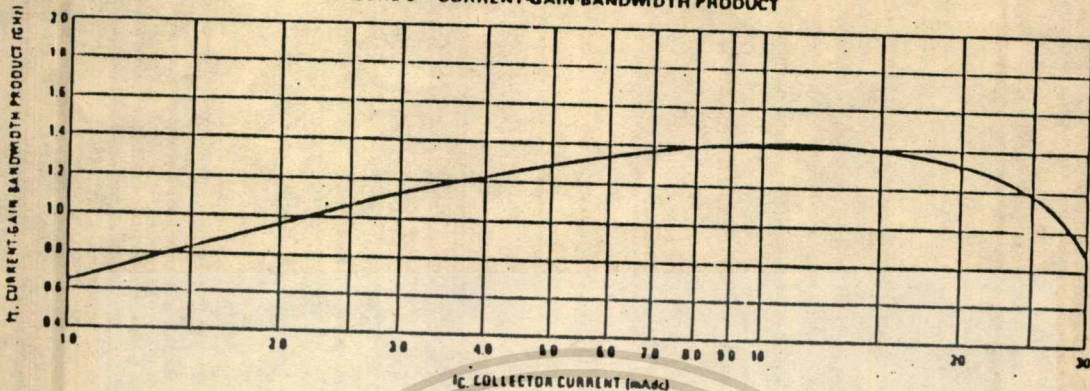


FIGURE 7 - INPUT ADMITTANCE versus FREQUENCY

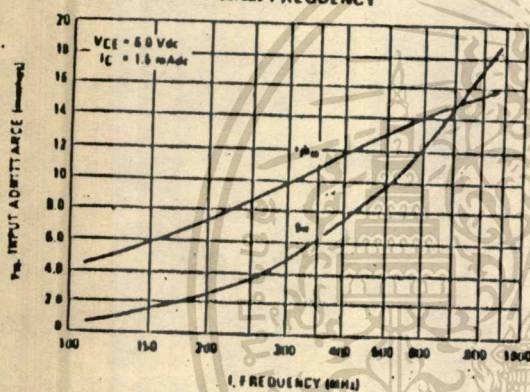


FIGURE 8 - OUTPUT ADMITTANCE versus FREQUENCY

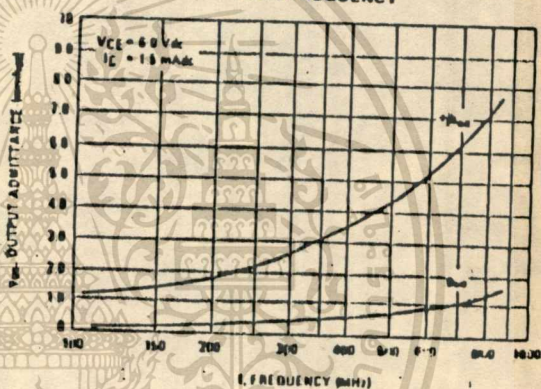


FIGURE 9 - FORWARD TRANSFER ADMITTANCE versus FREQUENCY

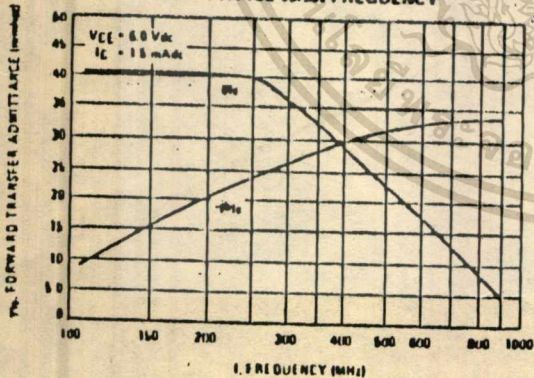
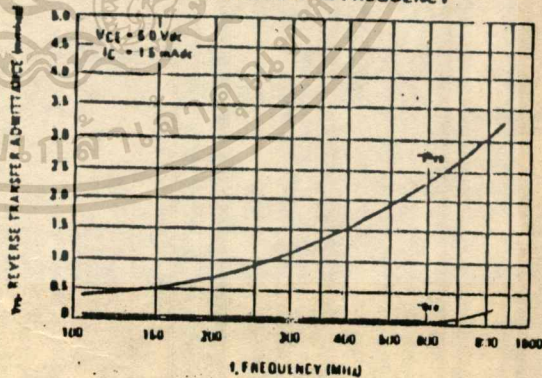


FIGURE 10 - REVERSE TRANSFER ADMITTANCE versus FREQUENCY



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

Fig. 5-14.-Cont. Data sheet. (Courtesy Motorola Semiconductor Products Inc.).

Cont. on next page

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N5179

FIGURE 11 - S_{11} INPUT REFLECTION COEFFICIENT

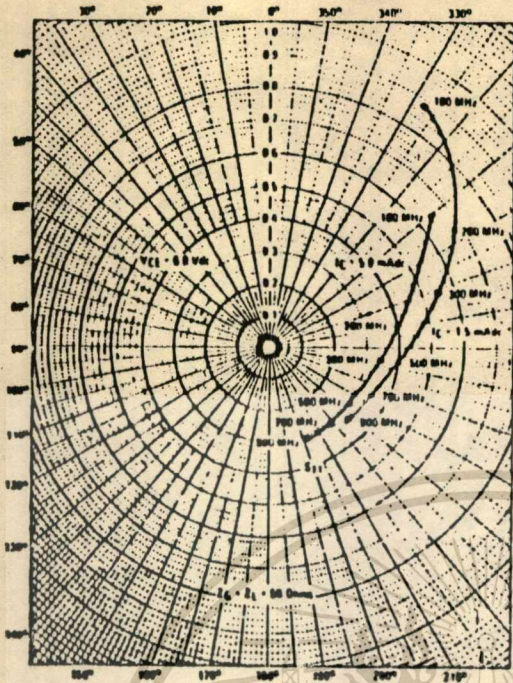


FIGURE 12 - S_{22} OUTPUT REFLECTION COEFFICIENT

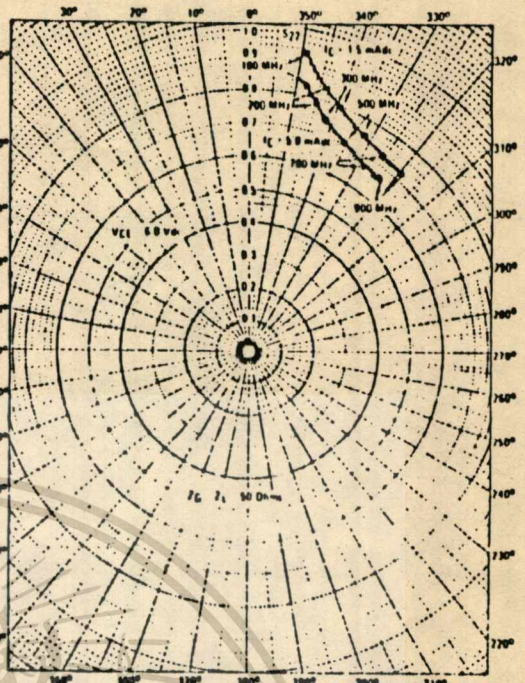


FIGURE 13 - S_{12} REVERSE TRANSMISSION COEFFICIENT

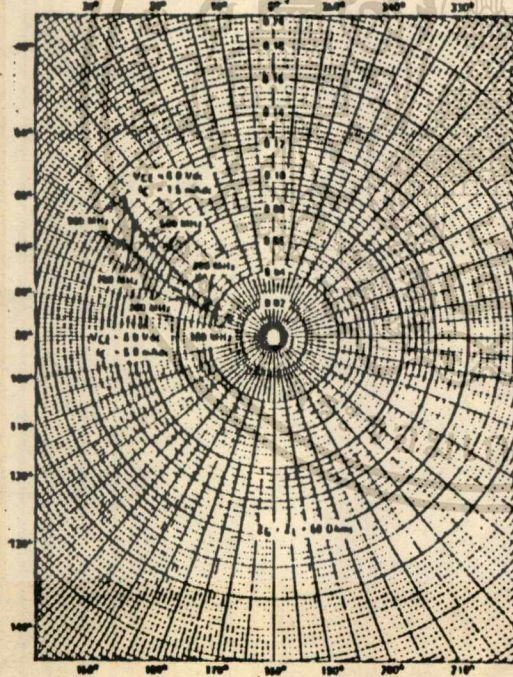
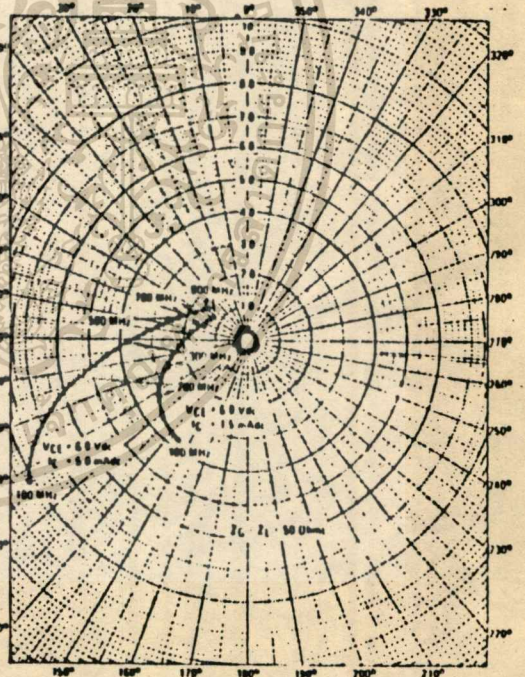


FIGURE 14 - S_{21} FORWARD TRANSMISSION COEFFICIENT



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.



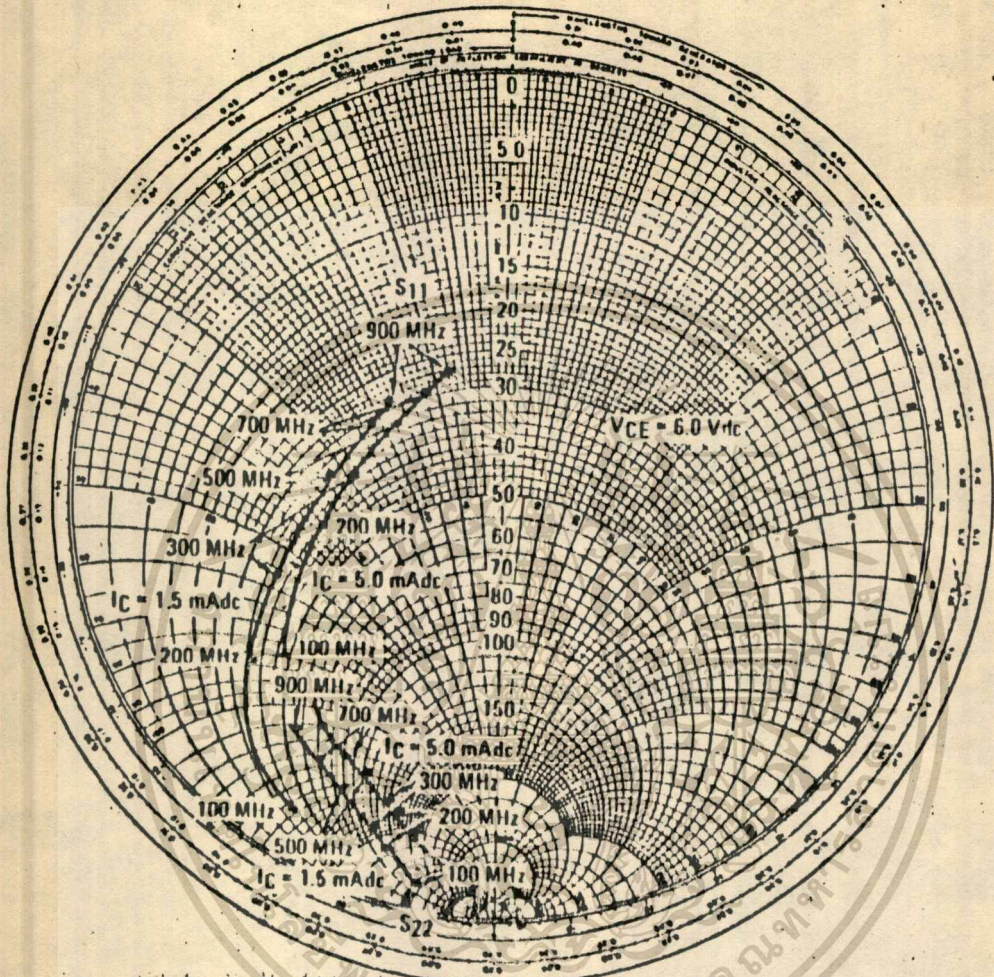
Cont. on ne

Fig. 5-14.-Cont. Data sheet. (Courtesy Motorola Semiconductor Products Inc.).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N5179

FIGURE 15— S_{11} , INPUT REFLECTION COEFFICIENT AND S_{22} , OUTPUT REFLECTION COEFFICIENT



MOTOROLA Semiconductor Products Inc.

Fig. 5-14.—Cont. Data sheet. (Courtesy Motorola Semiconductor Products Inc.).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานใดก็ตามจะต้องเกี่ยวข้องกับบุคคลรอบด้าน เปรียบเป็นกระจกเงาสะท้อนให้ผู้ทำงานเห็นข้อบกพร่อง เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น เช่นเดียวกับปริญญาโทและโครงการที่กลุ่มผู้ทดลองได้ทำขึ้นมา

ขอขอบพระคุณ อ.สมพล โกศลวิจิตร ผศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ อ.โมไนย ไกรฤกษ์ อ.ทองทศ วาณิชศรี และอ.กิตติชัย พาณิชปฐมพงศ์ ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ทางด้านอุปกรณ์ คำแนะนำและกำลังใจ ที่ช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ที่ได้ให้ความสนใจช่วยเหลือ และซักถามกันตลอดเวลา ทำให้เกิดความกระตือรือร้นจนงานสำเร็จทันตามเวลา และขอบคุณแอสโล (Yellow) และสมชายที่เอื้อเฟื้อกระดาษสำหรับต้นฉบับปริญญาโทฉบับนี้

บุญศิริ เลิศสัตยานุกิตต์
พฤกษ์ พัฒน์
อดิศร จำลองเพชร

เอกสารอ้างอิง

1. ฝรั่งค์ เหมภรณ์, "เอกสารประกอบการเรียนวิชา Satellite Communication", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
2. ทองทศ วาณิชตรี, "เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
3. C.A.Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", Harper Row, Publishers, New York, 1982.
4. F.Baylin & B.Gale, "The Home Satellite TV Installation and Troubleshooting Manual", Howard W.Sams & Co., 1985.
5. Herbert L.Krauss, Charles W.Bostian & Frederick H.Raab, "Solid State Radio Engineering", John Wiley & Sons, Inc., New York.
6. K.Miya, "Satellite Communications Engineering", Lattice Company, Ltd, Japan, 1975
7. K.Miya, "Satellite Communication Technology", KDD Engineering and Consulting, Inc, Inc., Tokyo, Japan, 1983.
8. M.K.Labar, Colonel, "Introduction to Satellite Communications", U.S.Army Communications Command, Arizona, 1975.
9. T.A.Milligan, "Modern Antenna Design", McGraw-Hill Book Company, 1985.
10. T.Pratt, C.W.Bastian, "Satellite Communication", John Wiley & Sons, 1986.
11. Chris Bowick, "RF Circuit Design", Howard W.Sams, 1982.
12. James K.Hardy, "High Frequency Circuit Design", Reston Publishing Company, Inc., A Prentice Hall Company, Reston, Virginia, USA.
13. "Operation and Maintenance Instructions with Parts Lists Video and Audio Receiver Model 7500", Scientific Atlanta.