

ปีการศึกษา 2532

งานสายอากาศรับสัญญาณจากดาวเทียมและการส่งออกอากาศ

๗

โดย

1. นาย ชีรศักดิ์	มิ่งอุ่มกลาง	30.3409
3. นาย นพเกียรติ	นนท์จิตร	30.3410
3. นาย บัณฑิต	สาครวิศว์	30.3412
4. นาย ไพศาล	อภิรักษ์เสถียร	30.3417
5. นาย ศรีฟ้า	ศิวิชัย	30.3422
6. นาย สมนศักดิ์	สุขเสื่อ	30.3425
7. นาย สันติวัฒน์	กาญจนะนังคะ	30.3428
8. นาย สุพจน์	คำหรีใจ	30.3430

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. กนก

เจนจิระพงศ์เวช



ปริญญาบัตรปีการศึกษา ๒๕๓๒

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง จานสลากออกงานรับสั่งงานจากชาว เขียมและการส่งมอบที่ภาคฯ

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|---------|
| 1. นาย ชัยศักดิ์ | มืองอมกลาง | หมายเลขทะเบียน | 30.3409 |
| 2. นาย นพเกียรติ | นนทบุรี | " | 30.3410 |
| 3. นาย วิเศษ | ลำปาง | " | 30.3412 |
| 4. นาย ไชยสิทธิ์ | อัครราชูปถัมภ์ | " | 30.3417 |
| 5. นาย ศรีฟ้า | ศรีสะเกษ | " | 30.3422 |
| 6. นาย สมศักดิ์ | สุโขทัย | " | 30.3425 |
| 7. นาย สันติวัฒน์ | กาญจนบุรี | " | 30.3428 |
| 8. นาย สมนัน | อำนาจเจริญ | " | 30.3430 |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(กษก. (วนิ่ง) มอสรก)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

งานสายอากาศรับสัญญาณจากดาวเทียมและการส่งออกอากาศ

นายธีรศักดิ์	มุ่งอ้อมกลาง	นักศึกษา
นายพนเกียรติ	นทจิตร	"
นายบัณฑิต	สาครวิศ	"
นายไพศาล	อภิรักษ์นุสิทธิ์	"
นายศรฟ้า	ศิวิลย์	"
นายสมศักดิ์	สุขเสื่อ	"
นายสันต์วัฒน์	กาญจนะนังคะ	"
นายสมจัน	คำหรีใจ	"
ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2532	

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการเรียบเรียงขึ้นจากโครงการที่ได้จัดทำขึ้น ซึ่งตามโครงการจะประกอบด้วย การออกแบบและการสร้างงานสายอากาศ สำหรับรับสัญญาณจากดาวเทียม มีขนาด 4.5 เมตร สามารถถอดประกอบได้ทั้งหมด 24 เซกเมนต์ เพื่อสะดวกในการขนย้าย ได้ง่าย มีการปรับมุมก้มเงยได้ตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา สามารถหมุนได้รอบตัว (0-360 องศา) นอกจากนี้ยังได้จัดทำ เครื่องส่งขนาดเล็ก พร้อมสายอากาศส่ง โดยเครื่องส่งจะมีย่านความถี่ ประมาณ 1 วัตต์ ส่งในย่านความถี่ประมาณ 478.9 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ UHF ช่อง 15 และสายอากาศส่ง เป็นชนิด ไดโพล 4 สแต็ก ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าโครงการนี้เป็นโครงการที่สมบูรณ์แบบ คือสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียม แล้วนำสัญญาณที่รับได้นั้นส่งออกอากาศไปตามบ้านเรือนผู้คนในรัศมีอันไกลได้ ซึ่งโครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น

สำหรับรูปแบบของโครงการนี้ ยังได้ออกแบบไว้ เพื่อให้รุ่นหลังได้ศึกษาและทำการพัฒนาให้เป็นระบบสื่อสารที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นได้ในอนาคต

SATELLITE DISC ANTENNA RECEIVER AND RADIATION

Mr.Terasak	Mungoumklang	STUDENT
Mr.Nopakiat	Nondhajiti	"
Mr.Bundit	Sakhonvisva	"
Mr.Pisan	Apiraknosit	"
Mr.Srifa	Sivilai	"
Mr.Somsak	Suksuea	"
Mr.Santiwat	Kanchanaphangka	"
Mr.Supoj	Damrichai	"
Dr.Kanok	Janejirapongvech	ADVISER
EDUCATION YEAR 2532		

ABSTACK

This thesis is a conclusion report for the project which are consisting of design and build up the disc antenna to pick up satellite signalling with diameter of 4.5 meters and 24 segments assemble, for easily transportation. The adjustable length for ELEVATION ANGLE is 0 to 90 degree and AZIMUTH ANGLE is 0 to 360 degree. Furthermore, the compact television transmitter with antenna has made with 1 watt gain and the transmitter frequency is 478.9 MHz in UHF band channel 15. The dipole antenna with 4 stag is being made to this project, therefore we could say that this is the most competition project that can be able to receive signalling from satellite and boardcast this signalling to near by area. this project is intended for the purpost of study only.

General purpost of the project is designed for the later studying to the perfect telecommunication system in the future.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 การรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม	1- 36
1.1 ประวัติศาสตร์เทคโนโลยีของดาวเทียม	3- 14
1.2 หลักเบื้องต้นของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม	14- 20
1.2.1 ดาวเทียมซึ่งอยู่ในวงโคจรทั่วไป	14
1.2.2 ดาวเทียมซึ่งอยู่กับที่เมื่อเทียบกับโลก	14
1.3 โครงสร้างภายในของตัวดาวเทียม	20- 24
1.3.1 สายอากาศ	20
1.3.2 ทรานสปอนเดอร์	21
1.3.3 แหล่งจ่ายพลังงาน	21
1.4 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมไปยังเครื่องรับ STVRO	24- 28
1.5 สถานีรับ-ส่ง สัญญาณจากดาวเทียม	29- 36
1.5.1 จานสายอากาศ	29
1.5.2 กรวยรับ-ส่ง สัญญาณ	32
1.5.3 ตัวขยายสัญญาณ	33
1.5.4 ตัวเปลี่ยนความถี่ให้ต่ำลง	33
1.5.5 เครื่องรับสัญญาณ	33
1.5.6 เครื่องส่งกำลังส่ง	36
1.5.7 เครื่องส่งสัญญาณเบื้องต้น	36
บทที่ 2 จานสายอากาศสำหรับรับสัญญาณจากดาวเทียม	37- 57
2.1 หลักพื้นฐานของจานสายอากาศแบบพาราโบลา	37- 42
2.2 คำพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับจานสายอากาศ	42- 53
2.2.1 อัตราขยายกำลังรวม	47

2.2.3	แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศและขั้ววัดที่	46
2.2.4	Side Lobe ของจานสายอากาศ	49
2.2.5	Antenna Noise Temperature	51
2.2.6	ค่า G/T	51
2.3	คุณสมบัติของจานสายอากาศรับสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม	53- 55
2.3.1	ตัวสะท้อนคลื่นและโครงสร้างทางด้านล่างของจานสายอากาศ	53
2.3.2	ค่าความแน่นอนบนพื้นผิวของตัวสะท้อนคลื่น	54
2.3.3	การปรับทิศทางของจานสายอากาศและการเล็งหาตำแหน่ง	54
2.4	สาเหตุของการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศแบบ	
	Prime Focus Feed Antenna	55- 57
2.4.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละชนิด	55
2.4.2	คุณสมบัติของ Side Lobe ของสายอากาศแบบ Off-Set	56
บทที่ 3	การออกแบบและสร้างจานสายอากาศ	58- 74
3.1	คุณลักษณะของจานสายอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้น	58- 59
3.2	การวิเคราะห์การกระจายคลื่นของจานสายอากาศ	59- 63
3.3	การออกแบบและขั้นตอนการสร้างจานสายอากาศ	63- 71
	3.3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	64
	3.3.2 ขั้นตอนการสร้าง	67
3.4	การติดตั้งอุปกรณ์และการปรับทิศทางของจานสายอากาศ	72- 74
	3.4.1 การติดตั้งอุปกรณ์	72
	3.4.2 การปรับทิศทางของจานสายอากาศ	72
บทที่ 4	การทดสอบหาค่ารามีเตอร์ต่าง ๆ ของจานสายอากาศ	75- 82
4.1	การวัด Antenna Receive Gain	75- 76
	4.1.1 เครื่องมือวัด	75
	4.1.2 ขั้นตอนการวัด	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2	การวัด G/T โดยใช้ Spectrum Analysis วัดโดยตรง	77- 78
4.2.1	เครื่องมือวัด	77
4.2.2	ขั้นตอนการวัด	77
4.3	การวัดค่า Receive Antenna Pattern	78- 80
4.3.1	เครื่องมือวัด	78
4.3.2	ขั้นตอนการวัด	79
4.4	การวัดค่า C/N ของสัญญาณโทรทัศน์	80- 82
4.4.1	เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ประกอบ	80
4.4.2	ขั้นตอนการวัด	80
บทที่ 5	Television Translation	83-101
5.1	คุณสมบัติของ TV Translator ช่อง 15	83- 85
5.2	การออสซิลเลเตอร์	85- 86
5.3	Double Balanced Mixers	86- 89
5.3.1	วงจร Single Balanced Mixer และการทำงาน	86
5.3.2	หลักการทำงานของวงจร Double Balanced Mixer	88
5.4	Multiplier Mixer	90
5.5	การกรองผ่านความถี่สูง	91- 93
5.6	ลักษณะของสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้ส่งออกอากาศ	94- 95
5.7	ลำดับขั้นการปฏิบัติและการทดสอบ	95-101
บทที่ 6	สายอากาศไดโพล 4 สแต็ค	102-112
6.1	วัตถุประสงค์	102
6.2	การสร้าง	102-109
6.2.1	Phasing Line	102
6.2.2	การสร้างตัวสายอากาศ	107
6.3	ข้อเสนอแนะ	109-112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 บทสรุป	113-114
7.1 สรุปการออกแบบและการสร้างจานสายอากาศสำหรับ STVRO	113-114
7.1.1 Electrical Parameter	113
7.1.3 Mechanical Parameter	113
7.2 สรุปการออกแบบเครื่องส่งขนาด 1 W.	114
7.3 สรุปการสร้างสายอากาศเครื่องส่ง	114

ภาคผนวกที่ 1.....

ภาคผนวกที่ 2.....

ภาคผนวกที่ 3.....

กิตติกรรมประกาศ.....

หนังสืออ้างอิง.....



บทที่ 1

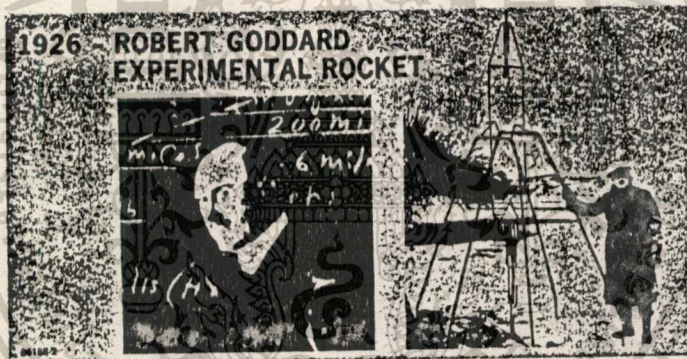
การรับสัญญาณโทรทัศนผ่านดาวเทียม

นับแต่โบราณกาลมา มนุษย์ได้รู้จักการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกัน โดยอาจจะใช้มือเป็นตัวสื่อความหมาย ให้สามารถเข้าใจกันได้ มีการแลกเปลี่ยนสิ่งของกัน เมื่อต้องการของอีกสิ่งหนึ่ง การพบปะกันก็ทำได้โดยอาศัยการเดินทางด้วยเท้า ดังนั้นการติดต่อสื่อสารจึงทำได้ในวงแคบ เมื่อวิวัฒนาการก้าวหน้าขึ้นขอบข่ายการติดต่อสื่อสารก็ได้ขยายกว้างออกไป มนุษย์ได้เริ่มรู้จักใช้สัญลักษณ์แทนสิ่งของ มีการใช้ภาษาพูดเรียกแทนสิ่งต่าง ๆ มีการแลกเปลี่ยนสิ่งของโดยผ่านตัวกลาง เช่น เงิน การไปมาหาสู่กันก็ทำได้สะดวกขึ้น มนุษย์เริ่มรู้จักใช้สัตว์เป็นพาหนะในการเดินทางไปมาหาสู่กัน พอเทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีบทบาท ทำให้มนุษย์รู้จักความสะดวกสบายขึ้น มนุษย์ได้รู้จักใช้รถเป็นพาหนะในการเดินทางไกล ๆ รู้จักใช้ไฟฟ้าให้เป็นประโยชน์ ทำให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น วิทยุ โทรทัศน์ ฯลฯ จึงเกิดมีการถ่ายทอดสัญญาณขึ้น ในขณะแรกการถ่ายทอดสัญญาณทำได้ในรัศมีใกล้ ๆ ไม่สามารถส่งไปไกล ๆ ได้ จึงมีการคิดประดิษฐ์ดาวเทียมขึ้น เพื่อให้ส่งสัญญาณไปในรัศมีที่ไกล ๆ ทำให้การติดต่อสื่อสาร จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งทำได้สะดวกขึ้น

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง ประวัติศาสตร์ของดาวเทียม ตั้งแต่ความคิดริเริ่มในการส่งดาวเทียม จนถึงปัจจุบัน หลักเบื้องต้น ของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โครงสร้างภายในของดาวเทียม การส่งสัญญาณโทรทัศนผ่านดาวเทียมไปยังเครื่องรับและสถานีรับ-ส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมภาคพื้นดิน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรรู้เพื่อศึกษาถึงระบบดาวเทียมต่อไป

1.1 ประวัติศาสตร์เทคโนโลยีของดาวเทียม

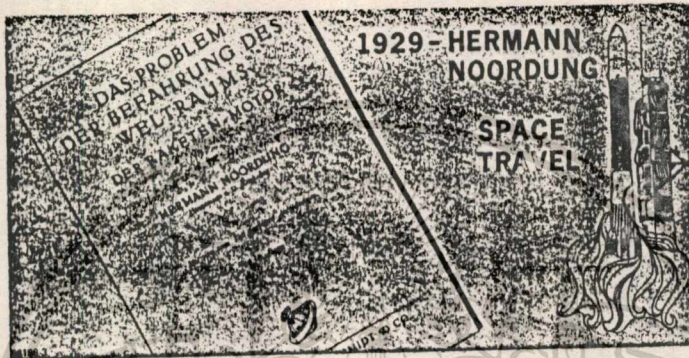
เมื่อสมัย 2000 ปี ก่อนคริสตกาล ชาวจีนได้ประดิษฐ์จรวดเพื่อใช้ในเทศกาลเล่นดอกไม้ไฟ นุ่งขึ้นเหนือพื้นโลกที่ความสูงมากกว่า 100 ฟิต ซึ่งหลักการนี้ได้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ส่งดาวเทียมมาจนถึงปัจจุบันนี้ ในปลายศตวรรษที่ 17 เซอร์ไอแซค นิวตัน (Sir Isaac Newton) ได้ทำให้การคำนวณการสร้างเครื่องจักรกลทางท้องฟ้าในสมัยใหม่และวิทยาศาสตร์ดาราศาสตร์ก้าวหน้าขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรของโลกเมื่อ 250 ปีก่อนที่จรวดจะได้พัฒนาให้มาถึงอย่างเพียงพอนั้น ในปี 1903 เค. อี. ไซล์โกลคอฟสกี (K.E.Tsiolkovsky) นักฟิสิกส์ชาวรัสเซีย ได้มีพิมพ์บทความเกี่ยวกับการใช้ของเหลวที่มีพลังงานสูงกับจรวด ในปี 1926 โรเบิร์ต เอช. กอดดาร์ด (Robert H.Goddard) นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันได้ใช้ของเหลวกับจรวดเป็นครั้งแรก และทำให้มันพุ่งสู่อวกาศได้



รูปที่ 1.1 การทดลองของโรเบิร์ต เอช. กอดดาร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 1929 เฮอร์มาน นอร์ดิง (Hermann Noordung) วิศวกรชาวออสเตรีย ได้ตีพิมพ์บทความ เกี่ยวกับ วงโคจรจีโอสเตชันนารี (Geostationary orbit) เป็นครั้งแรก เขาแสดงให้เห็นว่า ดาวเทียมซึ่งจรวดได้นำไปยังวงโคจรที่ความสูง 36,000 กิโลเมตร จะอยู่กับที่เมื่อเทียบกับโลก

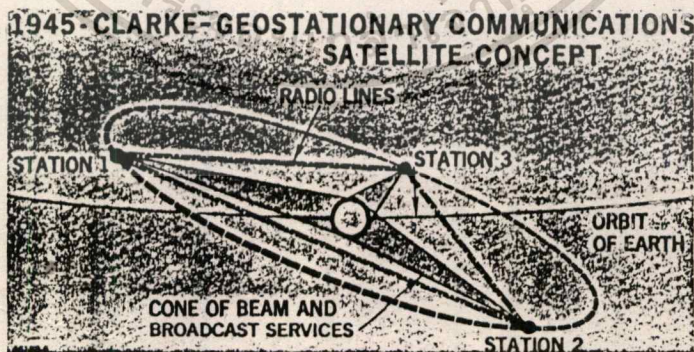


รูปที่ 1.2 เฮอร์มาน นอร์ดิง ในปี 1929

ในปี 1945 อาร์เธอร์ ซี. คลาร์ก (Arthur C. Clarke) นักวิทยาศาสตร์และนักเขียนชาวอังกฤษ ได้อธิบายเกี่ยวกับระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นครั้งแรก เขาแสดงให้เห็นว่าที่วงโคจร จีโอสเตชันนารี เหมาะสำหรับการส่งคลื่นวิทยุ เขาไม่เพียงแต่แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ ในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม แต่เขายังได้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาระบบสื่อสาร ซึ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจ.อาร์.ไพร์ส (J.R.Pierce) ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวอเมริกัน ได้อธิบายลงในบทความที่ตีพิมพ์ในปี 1955 เกี่ยวกับระบบสื่อสารโทรคมนาคมทางไกลโดยใช้สัญญาณวิทยุถ่ายทอด จากวัตถุชนิดต่าง ๆ ที่โคจรรอบโลกในระดับสูง ซึ่งในตอนท้ายของบทความกล่าวว่า "ถึงจุดนี้ ข้อมูลบางอย่างจากนักดาราศาสตร์ เกี่ยวกับวงโคจรต่าง ๆ และจากผู้ที่เกี่ยวข้องทางด้านจรวด ถึงวิธีการสร้างและส่งดาวเทียมต้องสำเร็จ เป็นที่น่าพอใจอย่างแน่นอน" หลังจากนั้น 2 ปี รัสเซียได้ส่งจรวดซึ่งนำเอาดาวเทียม สปุตนิก 1 (Sputnik 1) ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงแรกขึ้นไปด้วย มีขนาดเท่าลูกชอคเกอร์บอล และได้นำเอา เครื่องส่งวิทยุขนาดเล็กขึ้นไปด้วย หลังจากนั้น 1 เดือน อเมริกาได้ส่งดาวเทียม เอ็กซ์พลอเรอร์ 1 (Explorer 1)



รูปที่ 1.3 บทความของคลาร์กเกี่ยวกับวงโคจรจีโอสแตชันนารี

ซึ่งได้แก้ไขให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และได้นำเอาเครื่องมือตรวจสอบ แนวการกระจายคลื่น แวน อเลน (Van Allen) ขึ้นไปด้วย และได้ส่งชนิดของการกระจายคลื่นผ่านอวกาศกลับมายัง โลก

ในปี 1959 โดแนลด์ วิลเลียม (Donald Williams) ได้จัดตั้งกลุ่มขึ้นมาเพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียม และเขาได้พบวิธีการควบคุมตำแหน่งโดยใช้กำลังหมุนไปทางเดียว ซึ่งเขาได้แสดงการสาธิตทางไดนามิค ในปี 1960



รูป J.R. Pierce ในปี 1955

John Monks ได้ถือกำเนิดขึ้นบนดาวเทียมโคจรครั้งแรก เขาได้ออกแบบโครงข่ายใยในอวกาศ และมอบหมายวงจรเป็นจุดไฟให้ จากผลประกอบการทั้งหมด เขาพบการผลิตเป็นดาวเทียม และทำการทดสอบที่สถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน ในปี 1960 และได้ถือครองทรัพย์สินเกี่ยวกับดาวเทียมของ Hughes Aircraft Company และได้เป็นบรรณาธิการในวารสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1960 - DONALD WILLIAMS
PRECESSION DEMONSTRATION WITH SPINNING WHEEL

68199 G.

1960 - SPINNING CONTROL SYSTEM

68199-10

รูปที่ 1.5 วิลเลียม กับทรงกลมของดาวเทียม

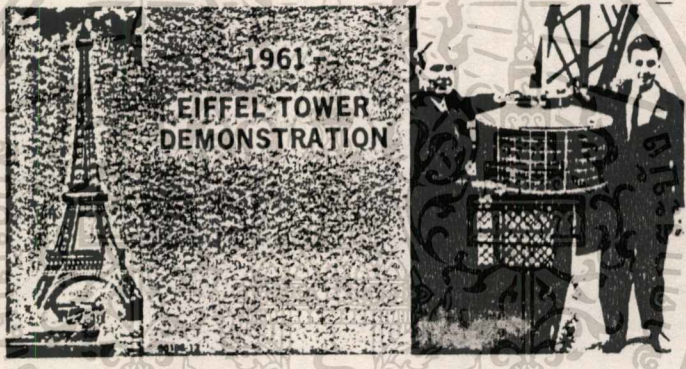
1960 - JOHN MENDEL - TRAVELING WAVE TUBE

68199-11

รูปที่ 1.6 เมนเดล กับท่อนำคลื่นของเขา

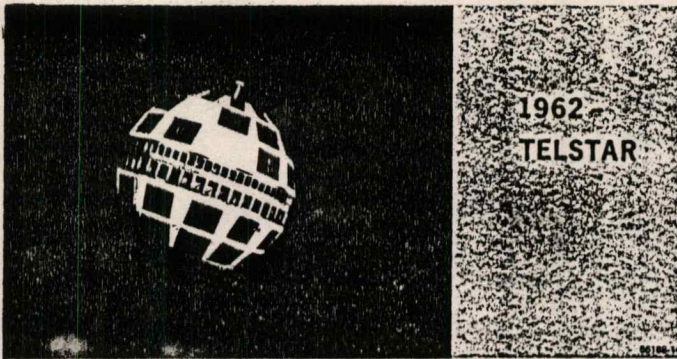
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ว่าข้อเสนอทั้งหมดของพวกเขา ได้ถูกปฏิเสธจากหน่วยงานของรัฐบาลอเมริกัน และบริษัททางด้านโทรคมนาคมทั้งหมด พวกเขาจึงให้ความสนใจทางยุโรป โดยจัดงาน ปารีส แอร์ โชว์ (Paris Air Show) ในเมือง อีเฟล (Eiffel Town) พวกเขามีความรู้สึกทั้งอเมริกาและยุโรป ต่างก็มีข้อสงสัยเกี่ยวกับเทคนิคในการติดต่อสื่อสารโดยผ่านสถานี ดาวเทียมภาคพื้นดิน เพราะว่าช่วงเวลาหน่วงการกระจายคลื่นจากตำแหน่งของดาวเทียมที่อยู่สูง และปฏิกิริยาที่มีผลต่อการสะท้อนของคลื่นในกราวด์ เน็ทเวิร์ค อย่างไรก็ตามผลการทดสอบ ก็แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาหน่วงสามารถยอมรับได้ เมื่อสัญญาณที่ได้มีค่าเท่ากับที่ออกแบบ และ ไม่มีปัญหาต่อการติดต่อสื่อสาร



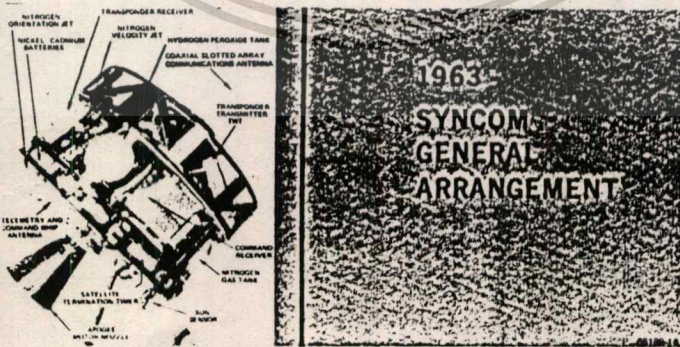
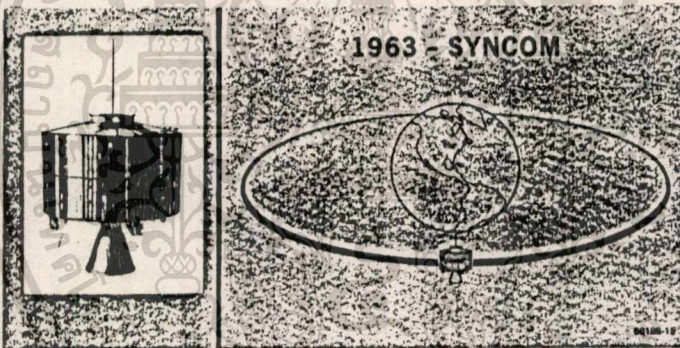
รูปที่ 1.7 ปารีส แอร์ โชว์ ในเมืองอีเฟล

ในปี 1961 นาซ่า (NASA) ได้รับความร่วมมือจาก กระทรวงกลาโหมในการ ทำโปรแกรมการทดสอบ และเป็นที่ยุ้จักกันในนามโปรแกรม ซินคอม (Syncom program) เพื่อ ใช้สำหรับ ซิงโครนัส คอมมูนิเคชั่น (Synohronous Communication) ในปี 1962 หอง ทคลอง เบลล์ เทเลโฟน ของ เอที & ที ได้ผลิตดาวเทียมเทลสตาร์ (Telstar) ขึ้น และถูกส่งไปสู่วงโคจรของโลกที่ตำแหน่งต่ำโดยนาซ่า และแสดงให้เห็นว่าการสื่อสารผ่านดาว เทียมมีรัศมีกว้างมาก



รูปที่ 1.8 ดาวเทียมเทลสตาร์ของ เบลล์ เทเลโฟน

ในเดือน กุมภาพันธ์ ปี 1963 ดาวเทียมซินคอม 1 (SYNCOM 1) ได้ถูกส่งขึ้นแต่ว่า
ได้เกิดระเบิดเมื่อถูกปล่อยส่งโคจรนอกสุด หลังจากนั้นในเดือนกรกฎาคมปีเดียวกัน ได้ส่งขึ้น



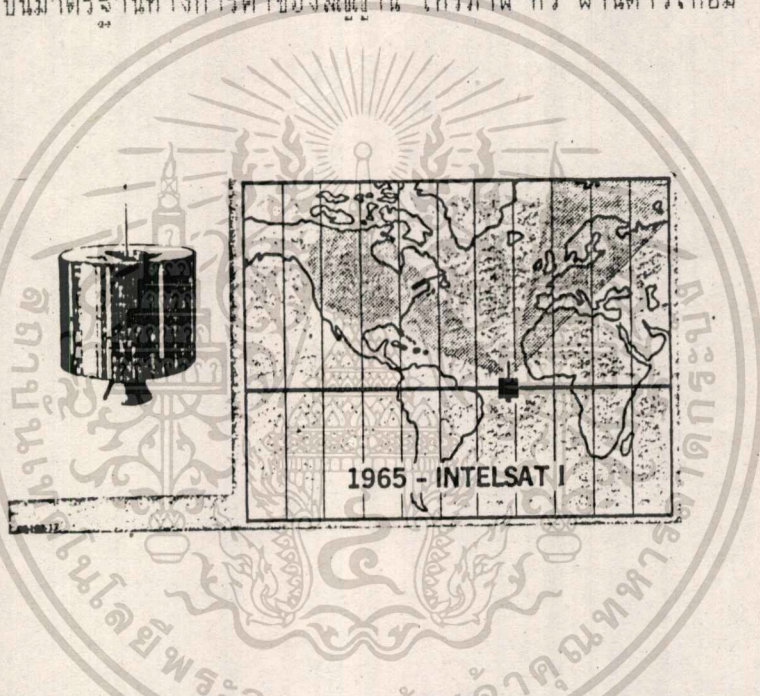
รูปที่ 1.9 ลักษณะของดาวเทียมซินคอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

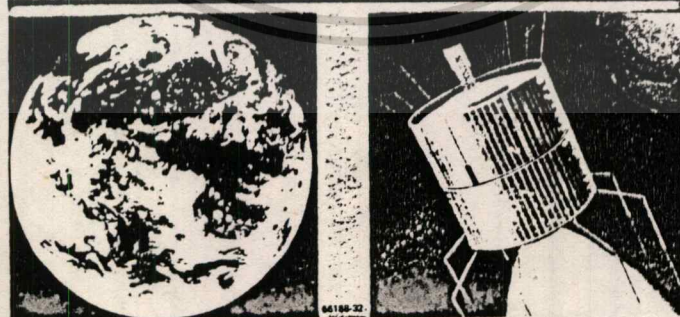


คอม II ขึ้นสู่วงโคจรซิงโครนัล (ไม่ใช่วงโคจรจีโอสเตชันนารี) ในปี 1964 ได้ส่งขึ้นคอม II ขึ้นสู่วงโคจรจีโอสเตชันนารีเป็นครั้งแรก และได้ทำการถ่ายทอดสด กีฬาโอลิมปิก จากกรุงโตเกียว ข้ามมหาสมุทรแปซิฟิกเป็นครั้งแรก

ขึ้นคอม I ถูกส่งโดยบริษัท คอมแซท ของอเมริกา ซึ่งทำตามข้อตกลงในทางการค้าการสื่อสารผ่านดาวเทียม นอกจาก ขึ้นคอมแล้ว คอมแซทยังได้ทำสัญญารับจ้างทำการทดลองผลิตดาวเทียมที่ออกแบบเพื่อใช้ส่งสัญญาณข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก ชื่อ อินเทลแซท (INTELSAT) ในปี 1965 อินเทลแซท I เป็นที่รู้จักกันในนามเออร์ เบิร์ด (Early Bird) ถูกส่งเพื่อใช้ติดต่อสื่อสารเป็นมาตรฐานทางการค้าของสัญญาณ โทรภาพ ทวี ผ่านดาวเทียม



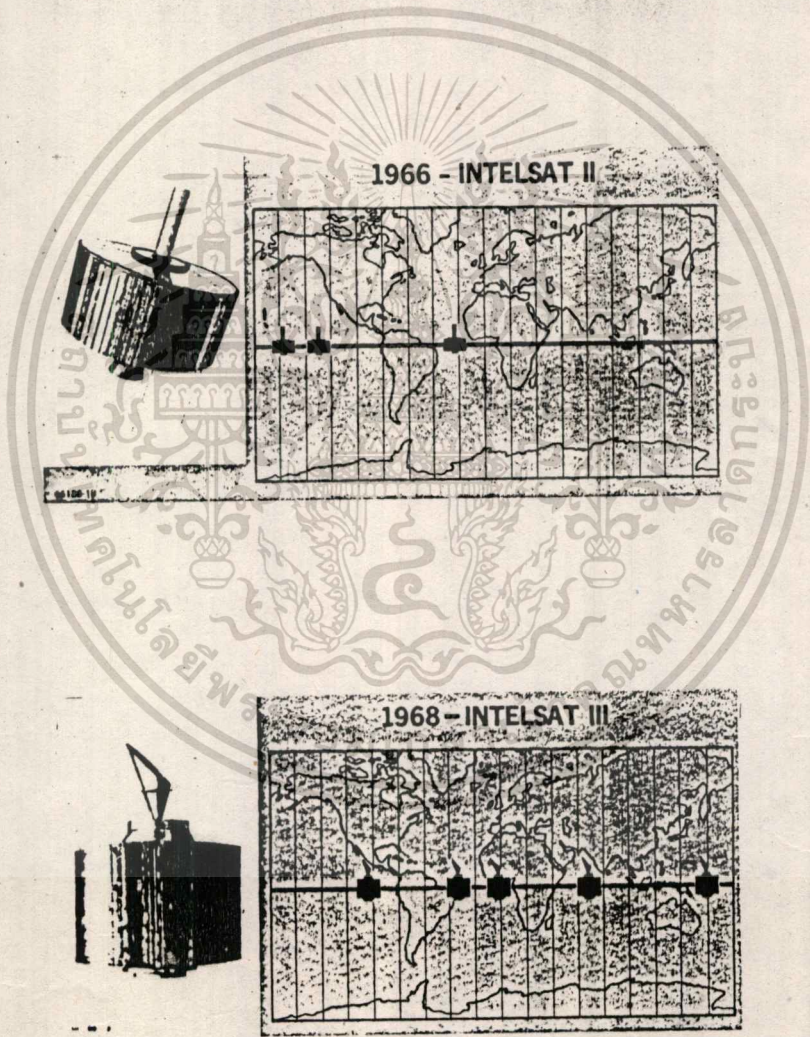
1966 - APPLICATIONS TECHNOLOGY SATELLITE



รูปที่ 1.10 ดาวเทียมอินเทลแซท 1

22.พ.ย.2535

เมื่อเริ่มผลิต เออร์ เบิร์ต นาซ่าได้เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการพัฒนา เป็นลำดับจนเป็นดาวเทียมที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งตำแหน่งของเครื่องจักรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ จะถูกจัด ให้สามารถส่งสัญญาณกลับมายังโลกได้อย่างต่อเนื่อง จากการหมั้นของดาวเทียม เออร์ เบิร์ต ที่ถูกส่งตามไปในปี 1966 คือ อินเทลแซท II ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าและมีขีดความสามารถสูงกว่า และในปี 1968 คือ อินเทลแซท III ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นตรงที่ บีม (beam) ของสายอากาศจะพุ่งไปจุดเดียว จึงไม่มีการแผ่กระจาย และเป็นระบบที่สมบูรณ์ที่ใช้ทั่วโลกเป็นครั้งแรกของอินเทลแซท นอกจากนี้มันยังมีขีดความสามารถสูงกว่าด้วย

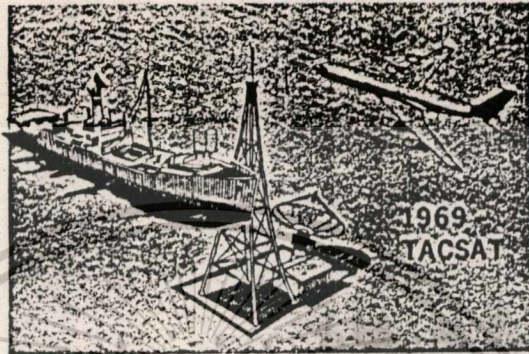


รูปที่ 1.11 ดาวเทียมอินเทลแซท II และ III

ในปี 1969 กระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาได้ทำการส่งดาวเทียม แทคแซท (TACSAT) ขึ้น ซึ่งเป็นดาวเทียมที่มีกำลังส่งสูง และถูกออกแบบมาเพื่อบริการ ทางด้านเรือทะเลและเครื่องบิน

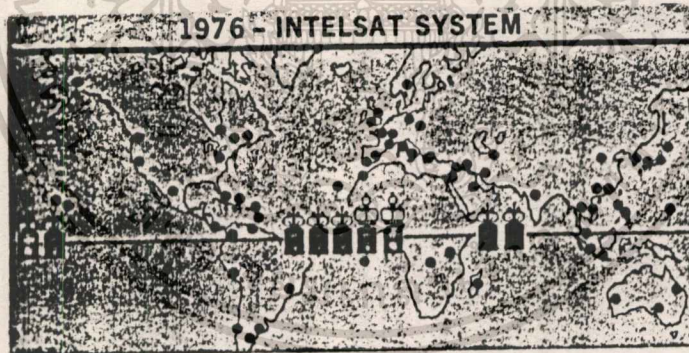
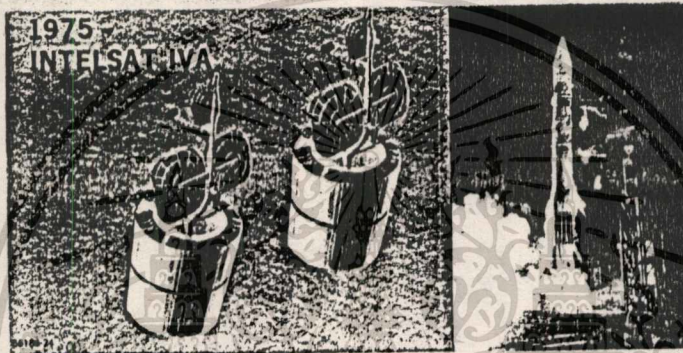
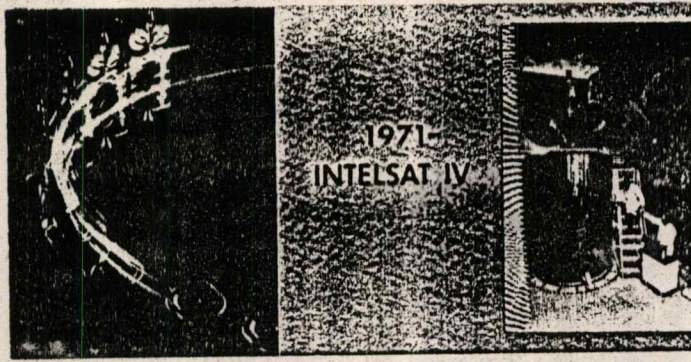


รูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 ลักษณะของดาวเทียม แทคแซท

ในปี 1971 ได้มีการออกแบบ อินเทลแซท IV ซึ่งมีขีดความสามารถสูงขึ้นเพื่อใช้กับทราฟฟิก (Traffic) ของอินเทลแซทที่เพิ่มขึ้น จากการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของอินเทลแซท ที่ต้องการขยายมากขึ้นในปัจจุบัน เพื่อรองรับความก้าวหน้าที่เกิดขึ้นในอนาคต จึงได้มีอินเทลแซท IVA ซึ่งมีขีดความสามารถสูงกว่าตามขึ้นมา ซึ่งทั้ง 2 ดวงถูกส่งขึ้นในระยะเวลาใกล้เคียงกัน อินเทลแซท IVA ถูกพัฒนา ขีดความสามารถของสายอากาศมัลติบีม (Multi beam) ด้วยอีสท์-เวสต์ ไอโซเลชัน (East-West Isolation) ซึ่งทำให้แถบความถี่ (Frequency Spectrum) ได้ ดาวเทียมอินเทลแซท ถูกใช้งานในการส่งสัญญาณทีวีข้ามมหาสมุทร และการสื่อสารทางโทรศัพท์สากล ซึ่งอินเทลแซทจะถูกใช้ร่วมกับสถานีบนโลก 123 สถานี ตั้งอยู่ใน 71 ประเทศ จากจำนวนสมาชิกทั้งหมด 92 ประเทศ ทั่วโลก



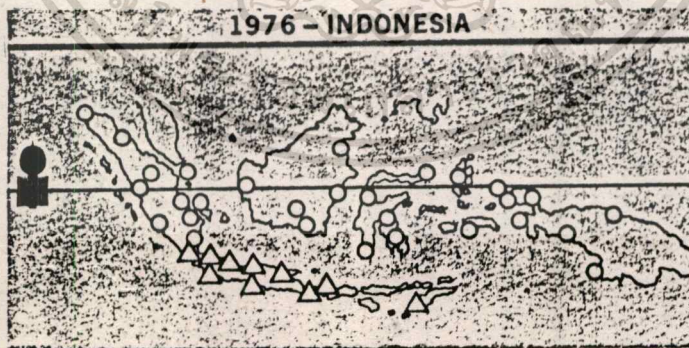
รูปที่ 1.13 ดาวเทียมอินเทลแซท IV และ IVA ที่ถูกส่งขึ้น
 พร้อมทั้งตำแหน่งสถานีดาวเทียมที่กระจายอยู่ทั่วโลก

ในปี 1972 แคนาดาเป็นประเทศแรก ที่ใช้ระบบดาวเทียมภายในประเทศ ซึ่งบริษัท เทเลสแซท (Telesat) ได้ทำการส่งอนิค (Anik) ซึ่งสายอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้บนอนิคจะเป็นสายอากาศบีม ซึ่งแพร่กระจายสัญญาณดาวเทียมไปยังอาณาเขตของแคนาดา



รูปที่ 1.14 ดาวเทียม อินดี เป็นดาวเทียมดวงแรกที่ใช้ในประเทศ

ในปี 1974 บริษัท เวสเทิร์น ยูเนียน (Western Union Company) ของสหรัฐอเมริกา ได้ส่งดาวเทียม เวสตาร์ (Westar) ขึ้นใช้ในประเทศ และในเดือนกรกฎาคม ปีเดียวกัน ประเทศอินโดนีเซีย ได้ส่งดาวเทียมปาราบว (Parapa) ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงแรก ที่ใช้กับระบบของประเทศที่เป็นหมู่เกาะ ในเดือนกุมภาพันธ์ ปีถัดมา กองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา ได้ส่งดาวเทียม มาร์แซท (Marisat) เพื่อใช้กับเรือทะเลเป็นหลักและเปิดให้บริการทางการค้าเกี่ยวกับเรือเดินทะเลของประเทศในปีถัดมา



รูปที่ 1.15 ตำแหน่งสถานีดาวเทียมของ อินโดนีเซีย

ตั้งแต่นั้นมาสัญญาณจากประเทศที่เป็นสมาชิกดาวเทียม ก็สามารถติดต่อกันได้โดยใช้จานสายอากาศเล็ก ๆ เป็นทอมินัลบนโลก รับสัญญาณจากดาวเทียมแล้วแพร่กระจายสัญญาณ

ได้อย่างกว้างขวาง ในความเป็นจริงแล้ว เครื่องรับที่มีราคาถูก จะทำให้สัญญาณที่รับได้ มีขนาดเล็กลงด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับราคา ดังนั้นระบบดาวเทียมของประเทศ ที่มีการแพร่กระจายสัญญาณดาวเทียมอย่างกว้างขวาง จึงขึ้นอยู่กับเศรษฐกิจของประเทศ และจะใช้ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมกับการใช้งานที่มีความสำคัญมากเท่านั้น

1.2 หลักเบื้องต้นของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

ก่อนอื่นเรามาทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาระบบ STVRO ต่อไปนี้

ดาวเทียม ซึ่งมีใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ ถ้าจำแนกตามวงโคจรที่มันโคจรอยู่แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

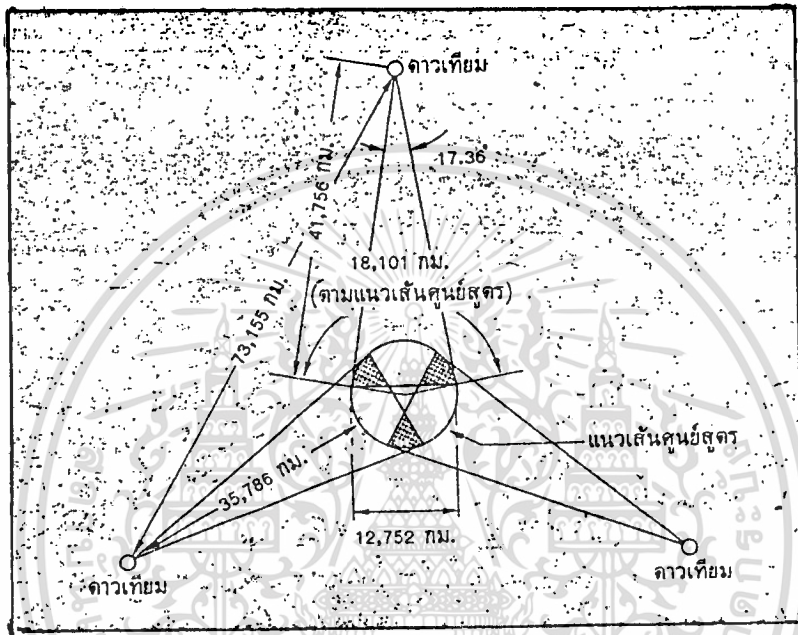
1.2.1 ดาวเทียมซึ่งอยู่ในวงโคจรทั่วไป จะมีวงโคจรเป็นรูปวงรี มีระนาบไม่แน่นอนมักใช้งานในการสำรวจสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ แหล่งทรัพยากรธรณี รวมกระทั่งงานจารกรรมทางทหาร

1.2.2 ดาวเทียมซึ่งอยู่กับที่เมื่อเทียบกับโลก เรียกว่า "ดาวเทียมค้างฟ้า" (Geostationary Satellite) วงโคจรอยู่ในระนาบเดียวกับเส้นศูนย์สูตรอยู่สูงจากผิวโลก ประมาณ 35,786 กิโลเมตร วงโคจรพิเศษนี้ อาจเรียกว่า "วงโคจรค้างฟ้า" หรือ "วงโคจรคล้าก" เพื่อเป็นเกียรติกับ อาร์เธอร์ ซี. คล้าก (Arther C. Clark) ผู้ค้นพบวงโคจรนี้ ดาวเทียมค้างฟ้าส่วนใหญ่ใช้ในงานทั้งการสื่อสารระหว่างประเทศและภายในประเทศ เช่น ดาวเทียมอนุกรมอินเทลแซท ดาวเทียมปลาปา ของอินโดนีเซีย ปัจจุบันมีดาวเทียมค้างฟ้าเป็นร้อย ๆ ดวงที่ปรากฏอยู่ในวงโคจรของคล้าก

วงโคจรคล้าก เป็นวงโคจรในระนาบเส้นศูนย์สูตร ที่มีความสูง เป็นระยะที่ทำให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุม เท่ากับการหมุนของโลกแล้ว ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีค่าเท่ากับแรงดึงดูดของโลกพอดี เป็นผลให้ดาวเทียมดูเหมือนอยู่คงที่ ณ ระดับความสูงนี้

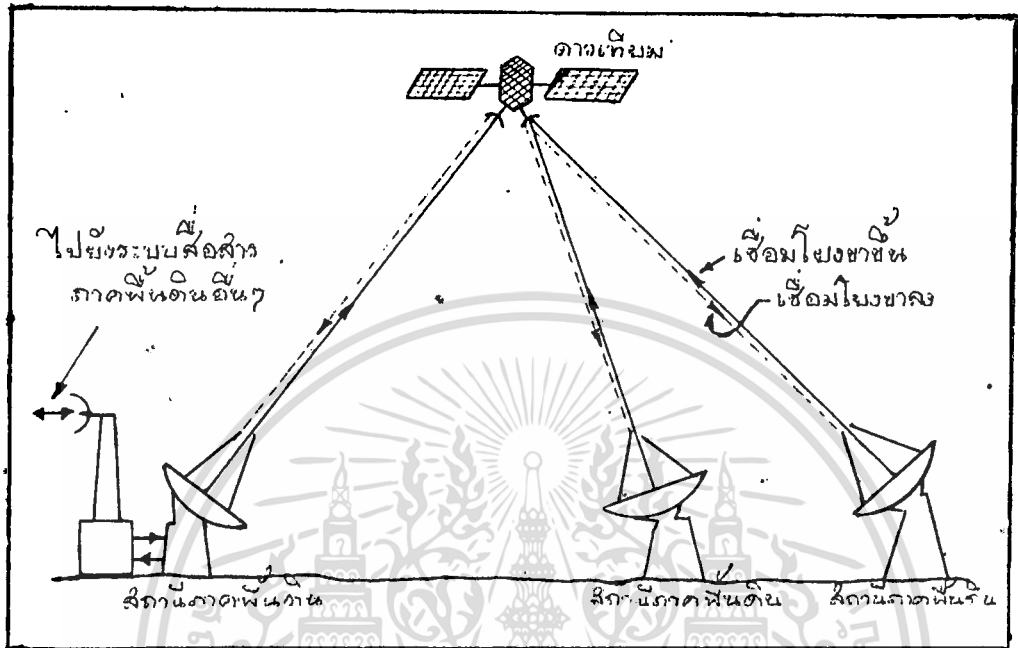
ในการจัดวางตำแหน่งของดาวเทียม เราต้องจัดให้ดาวเทียม 3 ดวง ทำมุมห่างกัน 120 องศาบนวงโคจร เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ดังรูปที่ 1.16 จากลักษณะที่เป็นทรงกลมของโลก ซึ่งเราต้องการให้พื้นที่บนโลกทุกแห่งสามารถมองเห็นดาวเทียมได้อย่างน้อยที่สุด

1 ดวง บริเวณที่แรงาเป็นพื้นที่ซึ่งสามารถมองเห็นดาวเทียมได้ 2 ดวง ข้อได้เปรียบของบริเวณนี้คือ สามารถมองเห็นดาวเทียมได้ 2 ดวง เช่นประเทศไทย ส่วนประเทศที่อยู่ในบริเวณที่เห็นดาวเทียมได้ดวงเดียว ถ้าต้องการติดต่อไปยังอีกซีกโลกหนึ่ง จะต้องอาศัยประเทศในพื้นที่เงาเป็นส่วน เชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมอีกทอดหนึ่ง



รูปที่ 1.16 การจัดวางตำแหน่งดาวเทียมซึ่งใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียมระหว่างประเทศเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่บนผิวโลกได้ทั่วทุกบริเวณ

สำหรับดาวเทียมภายในประเทศ จะใช้ในงานสื่อสารทุกชนิดภายในประเทศ หรือภูมิภาคไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์ โทรเลข โทรทัศน์ ฯลฯ โดยเฉพาะในประเทศที่มีพื้นที่กว้างใหญ่ นับเป็นการเอื้ออำนวยความสะดวกอย่างมาก ตามรูปที่ 1.17 แสดงลักษณะพื้นฐานของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ซึ่งอาศัยดาวเทียมเป็นสถานีถ่ายทอดสัญญาณ การส่งสัญญาณขาขึ้น เราเรียกว่า "การเชื่อมโยงขาขึ้น" (Up - Link) ส่วนการส่งสัญญาณขาลง เราเรียกว่า "การเชื่อมโยงขาลง" (Down - Link) ซึ่งความถี่ขาขึ้น/ความถี่ขาลง ที่นิยมใช้ แบ่งเป็น 6/4 GHz , 14/11 GHz , 30/20 GHz ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม



รูปที่ 1.17 โครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารผ่านดาวเทียม
ซึ่งใช้ดาวเทียมเป็นเสมือนสถานีถ่ายทอดสัญญาณ

พิจารณาจากชั้นบรรยากาศของโลกก่อน เรารู้แล้วว่า โลกมีชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามตารางที่ 1 ข่ายย่านความถี่ได้นั้นคือย่านความถี่ HF และ VHF ดังนั้นความถี่ดังกล่าวจึงใช้ไม่ได้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ก็คือ ย่านความถี่ไมโครเวฟ แต่ทว่าย่านความถี่ไมโครเวฟมีอยู่หลายช่วง ตามตารางที่ 2 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณามีมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการดูดกลืนคลื่นของบรรยากาศ การสทอนกำลังสัญญาณเนื่องจากระยะทาง เป็นต้น แต่ปัจจัยหลักที่ใช้ในการพิจารณา ก็คือ การดูดกลืนคลื่น อันเนื่องมาจากอิเลคตรอน โมเลกุลของออกซิเจนหรือไอน้ำในชั้นบรรยากาศ

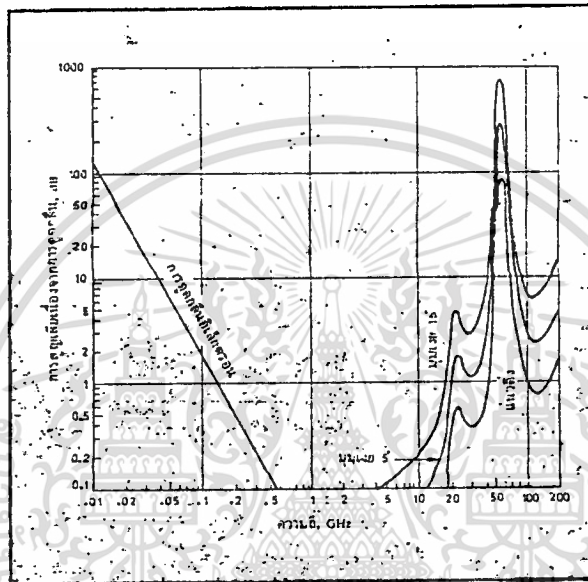
BANDS	Approximate Frequency	USAGES
Very Low Frequency(VLF)	50-100 KHz	Submarine Communications
Low Frequency(LF)	100-535 KHz	Navigational Aids
Medium Frequency(MF)	535-1,600KHz	AM Radio
High Frequency(HF)	1.6-50 MHz	Short Wave Radio
Very High Frequency(VHF)	60-216 MHz	VHF TV (Channels 2-13)
Ultrahigh Frequency(UHF)	470-806 MHz	UHF TV (Channels 14-70)
Microwaves(MW)	1-20 GHz	Satellite Communications
Light	100-10,000GHz	Infrared and Visible Light

ตารางที่ 1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ชื่อแบนด์	ความถี่(GHz)	ชื่อแบนด์	ความถี่(GHz)
UHF	0.30-1.13	Ka	26.5-40.0
L	1.12-1.70	Q	33.0-50.0
Ls	1.70-2.60	U	40.0-60.0
S	2.60-3.95	M	50.0-75.0
C	3.95-5.85	E	60.0-90.0
Xc	5.85-8.20	F	90.0-140.0
X	8.20-12.4	G	140.0-220.0
Ku	12.4-18.0	R	220.0-325.0
K	18.0-26.5	-	-

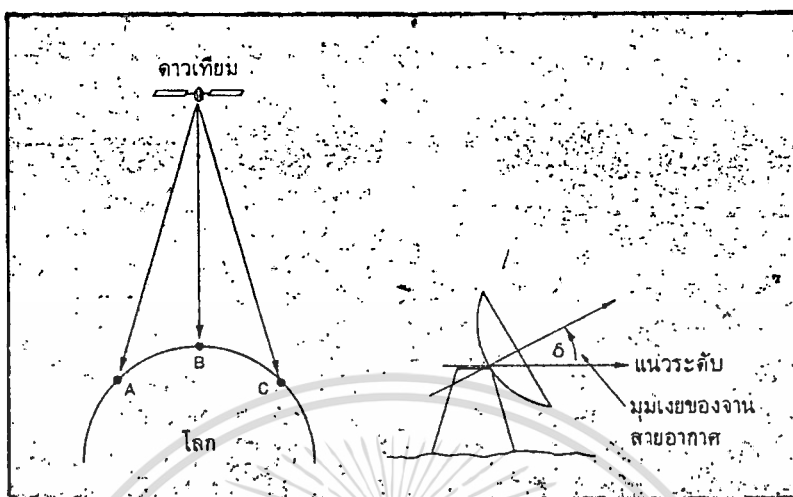
ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงความถี่ย่านไมโครเวฟ

พิจารณากราฟในรูป 1.18 จะเห็นว่าการดูดกลืนคลื่นมีค่าต่ำสุดในช่วง 500 MHz จนถึง 10 GHz เมื่อพิจารณาพร้อมกับปัจจัยอื่น ๆ แล้ว ช่วงความถี่ แบนด์ C จึงถูกเลือกมาใช้งานกับระบบสื่อสารดาวเทียมตั้งแต่เริ่มแรก โดยจัดให้ความถี่เชื่อมโยงขาขึ้น เท่ากับ 6 GHz และความถี่ขาลงเท่ากับ 4 GHz เรียกว่าชุดความถี่ C/4 GHz



รูปที่ 1.18 กราฟแสดงการดูดกลืนคลื่นของชั้นบรรยากาศแอมโมเนียเฟียร์ ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคอิเล็กตรอน โมเลกุลไอน้ำ ออกซิเจน ฯลฯ โดยแสดงที่มุมเงย จานสายอากาศแตกต่างกันไป

จากกราฟ คำว่า "อีลิเวชัน" (Elevation) คือมุมเงยของจานสายอากาศเทียบกับแนวระดับ จะมีค่าแตกต่างกันตามตำแหน่งต่าง ๆ บนโลก ปกติจะมีค่าต่ำสุดที่ 5 องศา และมากที่สุดที่ 90 องศา ถ้ามุมเงยมีค่าน้อย แสดงว่าสถานีภาคพื้นดินแห่งนั้นอยู่ห่างจากดาวเทียมมาก ตามรูปที่ 1.19 ซึ่งที่มุมเงย 5 องศา สถานีอยู่ห่างจากดาวเทียมประมาณ 41,000 กิโลเมตร ที่ 90 องศา อยู่ห่างประมาณ 35,700 กิโลเมตร

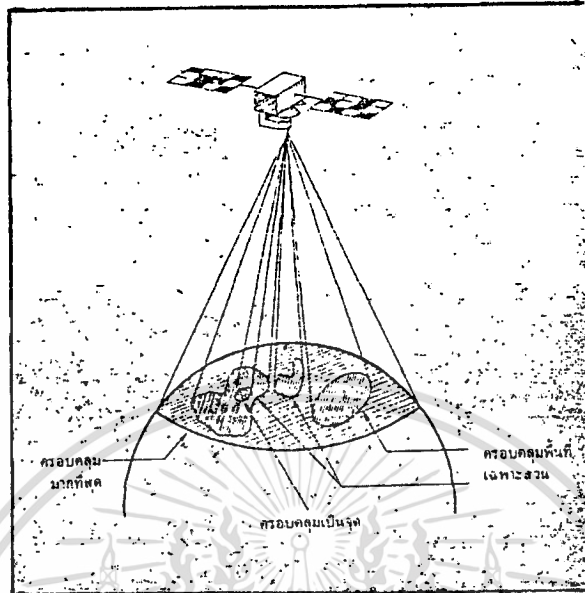


รูปที่ 1.19 มุมเงยงานสายอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวโลกมีค่าไม่เท่ากัน
 ที่จุด B มีความมุมเงยมากที่สุด 90 องศา ค่าการตกคลื่นก็จะมากที่สุดด้วย

การที่ต้องพิจารณารูปแบบกระจายคลื่น ก็เพราะว่า ระยะทางที่ไกลหลายหมื่นกิโลเมตร กำลังของสัญญาณทั้งขาขึ้นและขาลง ถูกลดทอนลงจากระยะทางมาก จึงจำเป็นต้องเลือกความถี่ที่จะถูกลดทอนโดยชั้นบรรยากาศน้อยที่สุด

งานสายอากาศบนดาวเทียมมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแตกต่างกัน เพื่อจุดประสงค์ในการครอบคลุมพื้นที่ของผิวโลก ในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น แบบครอบคลุมมากที่สุด แบบครอบคลุมพื้นที่เฉพาะส่วน และแบบครอบคลุมเป็นจุด ดังแสดงในรูปที่ 1.20

คลื่นไมโครเวฟจากดาวเทียม เมื่อผ่านงานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน ก็จะถูกส่งผ่านชบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้สัญญาณขึ้นต้นกลับมา แล้วจึงส่งต่อไปยัง ข่ายสื่อสารภาคพื้นดินต่อไป



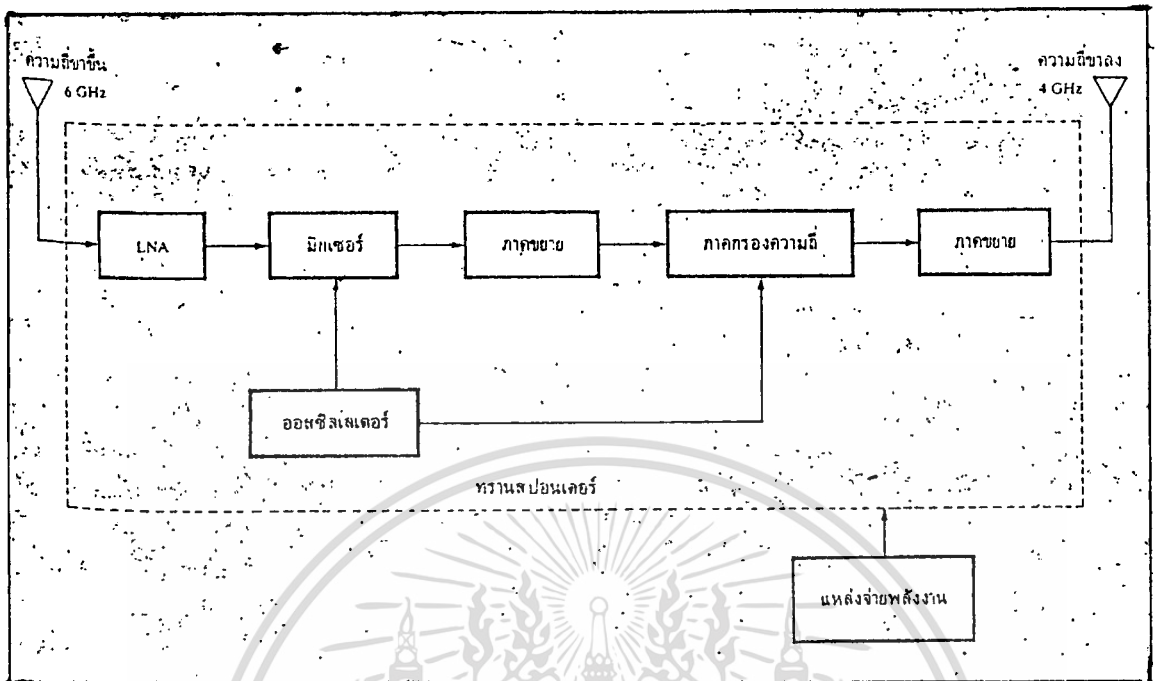
รูปที่ 1.20 รูปแบบการกระจายคลื่นของจานสายอากาศบนดาวเทียม
ถูกออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวโลกในหลายลักษณะ

1.3 โครงสร้างภายในของตัวดาวเทียม

โครงสร้างของตัวดาวเทียมมีมากมายหลายรูปแบบ ตามลักษณะ การใช้งานแต่สำหรับโครงสร้างของดาวเทียมที่ใช้ในกิจการสื่อสาร อาจจะสรุปได้เป็นแผนผังดังรูปที่ 1.21 ซึ่งไม่นับรวม ระบบควบคุมการโคจร และตำแหน่ง โครงสร้างแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ สายอากาศ อุปกรณ์หลักในการถ่าย ทอดสัญญาณหรือทรานสปอนเดอร์ (Transponder) และแหล่งจ่ายพลังงาน

1.3.1 สายอากาศ

สายอากาศของดาวเทียม มีหลายรูปแบบ ตามจุดประสงค์การใช้งานในการครอบคลุมพื้นที่บนโลก อาจเป็นได้ทั้งแบบจานพาราโบลา เป็นกลุ่มของสายอากาศฮอร์น หรือ พวงสายอากาศแบบสล็อตเวฟไกด์ เป็นต้น



รูปที่ 1.21 แผนผังโครงสร้างภายในของทรานสปอนเดอร์

1.3.2 ทรานสปอนเดอร์

รูปที่ 1.2.1 แสดงรายละเอียดภายในของทรานสปอนเดอร์ ทรานสปอนเดอร์ คือ ชุดอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดสัญญาณที่รับได้กลับลงมายังภาคพื้นดิน เริ่มจากการขยายสัญญาณที่รับจากสายอากาศ จากนั้นแปลงความถี่ให้ต่ำลงในภาคมิกเซอร์ แล้วจึงขยายสัญญาณให้มีความถี่สูงขึ้น แล้วส่งกลับลงมายังโลก ซึ่งขั้นตอนการทำงานอยู่ในย่านไมโครเวฟทั้งสิ้น

ตามปกติ ทรานสปอนเดอร์บนดาวเทียมบนดาวเทียมมีอยู่ด้วยกัน 12 ชุดแยกกันตามแถบความถี่ที่ทำงาน ซึ่งแต่ละชุดจะคลุมความถี่ 36 เมกกะเฮิรตซ์ รวมทั้ง 12 ชุดจะคลุมความถี่ทั้งหมดเท่ากับ 500 เมกกะเฮิรตซ์ ของระบบสื่อสารดาวเทียม หนึ่งทรานสปอนเดอร์จะใช้งานกับช่องสัญญาณเสียง (300-3400 เฮิรตซ์) หรือที่เรียกว่า ช่องสัญญาณโทรศัพท์ ได้ประมาณ 400 ช่อง หรือถ้าใช้กับช่องสัญญาณภาพจะได้ 1 ถึง 2 ช่อง แล้วแต่เทคนิคในการจัดสรรช่องสัญญาณ

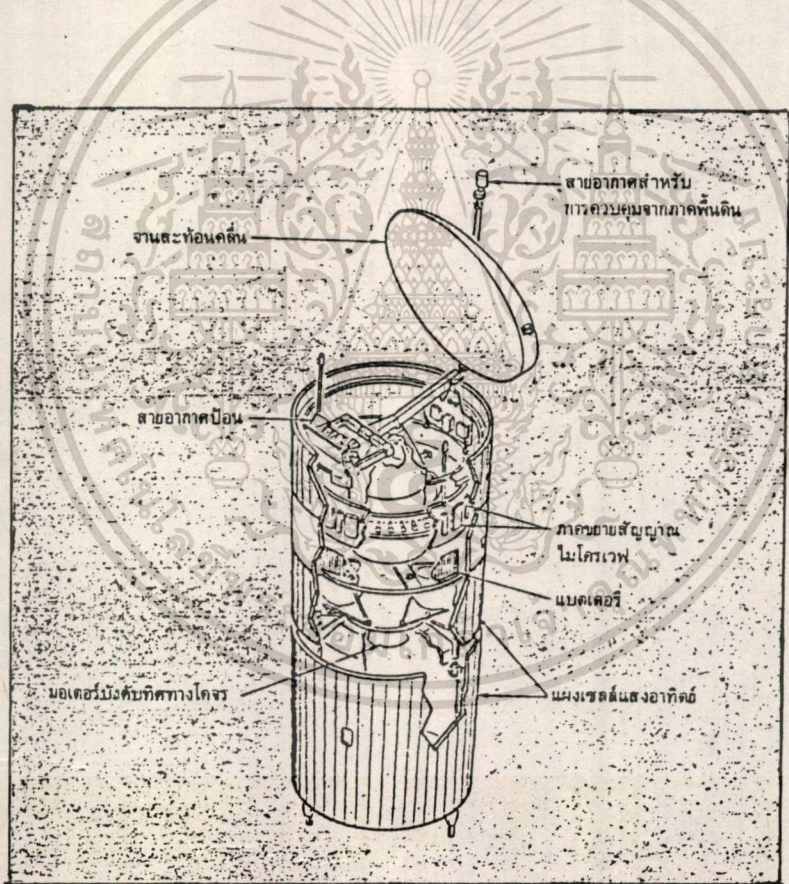
1.3.3 แหล่งจ่ายพลังงาน

แหล่งจ่ายพลังงานที่เหมาะสมที่สุด ก็คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่

เคอร์เนลบีเกิลแคตเมียม ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงาน เป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของดาวเทียม เพราะมีการเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ตามระยะเวลาที่ใช้งาน

อายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของดาวเทียมในปัจจุบัน มีค่าประมาณ 7 ปี ต่อไปในอนาคต ความก้าวหน้าในเทคโนโลยี การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ คงสามารถยืดอายุการใช้งานของดาวเทียมให้มากขึ้นไปอีก นั่นเอง จึงจะทำให้เราสามารถลดต้นทุนในการส่งดาวเทียมขึ้นไปเปลี่ยนดาวเทียมที่หมดอายุลง

รูปที่ 1.22 เป็นดาวเทียมปาลาปา-บี ที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี พ.ศ. 2526 มีอายุการใช้งาน 7 ปี โดยประมาณ แสดงไว้เป็นตัวอย่างของลักษณะภายนอกของดาวเทียม ค้างฟ้าที่ใช้ในกิจการสื่อสารภายใน ของประเทศอินโดนีเซีย

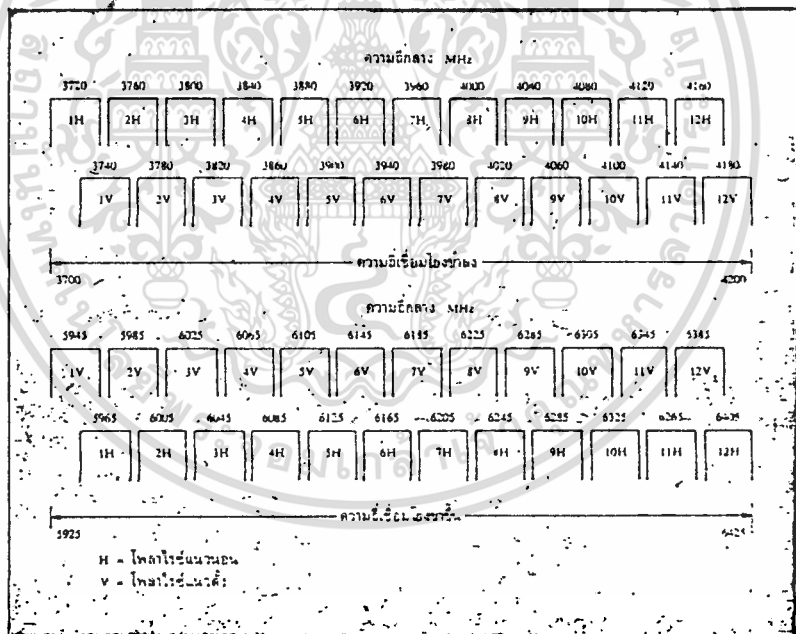


รูปที่ 1.22 ดาวเทียมปาลาปา-บี เป็นดาวเทียมซึ่งใช้ในกิจการ ดอมแซท (Domosat) ของอินโดนีเซีย

เนื่องจากแถบความถี่ทางธรรมชาติมีจำกัด จึงมีการคิดค้นเทคนิคที่จะทำให้การใช้ความถี่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เทคนิคนี้เรียกว่า เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งาน (Frequency reuse technique) เทคนิคซึ่งใช้ในระบบดาวเทียมมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ

ลักษณะแรก อาศัยคุณสมบัติของโพลาริเซชัน ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แยกแนวแกนการส่งเป็นโพลาริเซชันแนวตั้ง และโพลาริเซชันแนวนอน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความถี่โดยเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณได้ถึงเท่าตัว

รูปที่ 1.23 เป็นแผนผังแสดงแถบความถี่ของทรานสปอนเดอร์ทั้ง 12 ชุด ของดาวเทียม ปลาปา-บี โดยแยกเป็นแนวตั้ง และแนวนอน จะเห็นว่ามีแถบความถี่เหลื่อมกันอยู่ ทั้งนี้เพื่อลดผลการรบกวนแบบสอดแทรกที่อาจเกิดขึ้นได้ เทคนิคแบบนี้เป็นเทคนิคที่ใช้กับระบบส่งคลื่นแบบโพลาริเซชันเชิงเส้น



รูปที่ 1.23 แผนผังแสดงแถบความถี่ของทรานสปอนเดอร์ทั้ง 12 ชุด ของดาวเทียมปลาปา-บี โดยแยกเป็นโพลาริเซชันแนวนอนและแนวตั้ง จัดความถี่กลางให้เหลื่อมกันเพื่อลดผลการรบกวนการสอดแทรก

ส่วนเทคนิคแบบที่สอง เป็นเทคนิคซึ่งใช้กับการส่งคลื่นแบบโพลาไรซ์วงกลม โดยแยกโพลาไรซ์เป็นการหมุนซ้าย และหมุนขวา เทคนิคแบบนี้ให้ผลดีกว่าในด้านคุณภาพของสัญญาณ แต่ในด้านการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณแล้ว ยังคงมีคุณสมบัติเท่ากัน

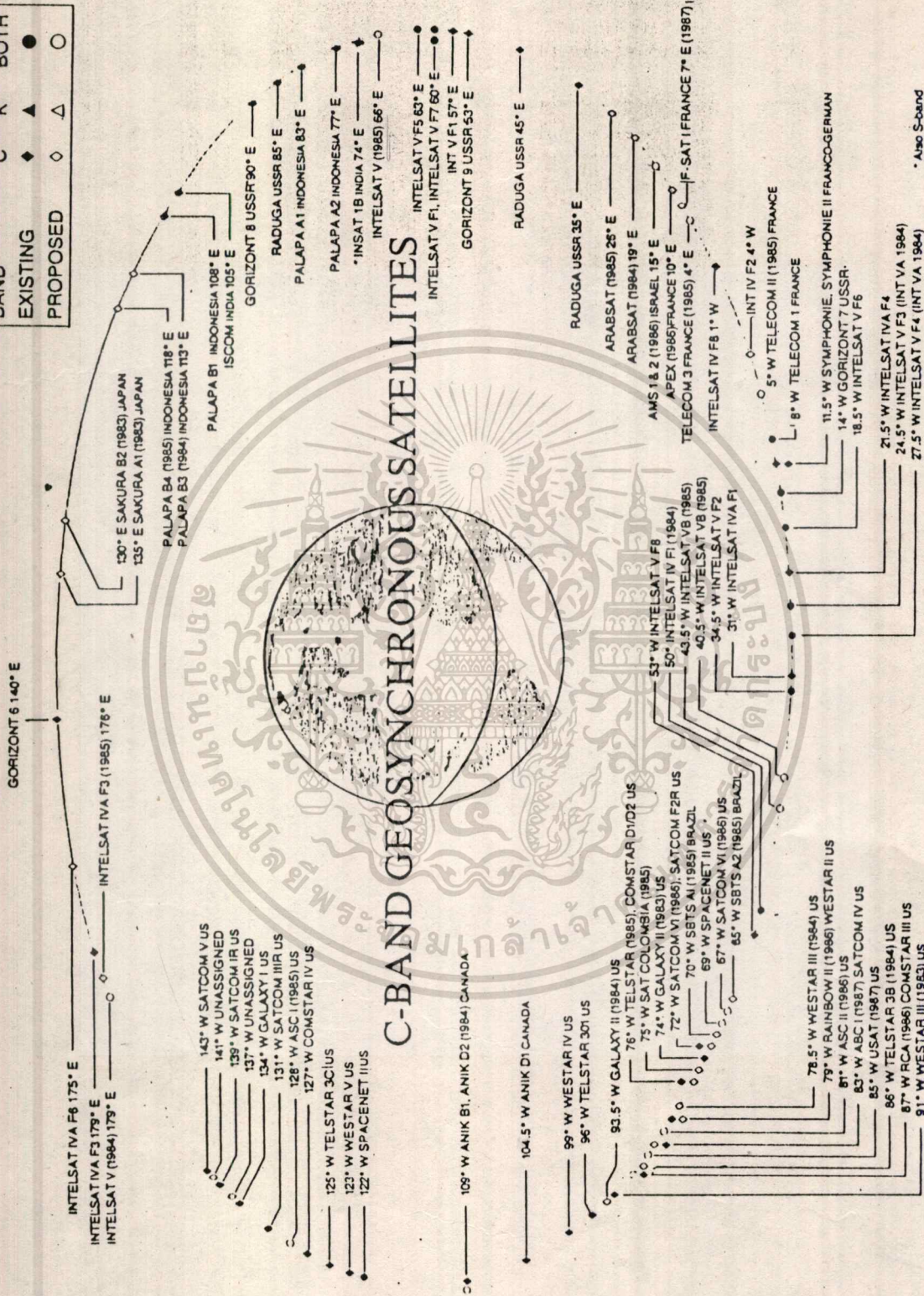
สำหรับระบบโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม โดยส่วนใหญ่ เกือบทั้งหมด จะเป็นแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น ส่วนโพลาไรซ์วงกลมจะใช้อยู่ในงานสื่อสารระหว่างประเทศ

1.4 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมไปยังเครื่องรับ STVRO

การรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมเพียงอย่างเดียว (SATELLITE TELEVISION RECEIVING ONLY, STVRO) หมายถึง การที่สถานีส่งโทรทัศน์ ส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมมายังผู้ชมรายการ โดยที่ผู้รับชมรายการ ไม่สามารถส่งสัญญาณย้อนกลับไปยังสถานีส่งได้ เมื่อสถานีโทรทัศน์ส่งรายการโทรทัศน์ไปยังสถานีภาคพื้นดินที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณขึ้นไปยังดาวเทียมนั้น จะต้องกำหนดลักษณะของสัญญาณ เพื่อให้ผู้รับสัญญาณที่ส่งกลับลงมาจากดาวเทียมรับสัญญาณนั้นได้สะดวกด้วย จึงเกิดลักษณะของดาวเทียมที่สร้าง เพื่อประโยชน์ในลักษณะบริการต่อผู้ชมโดยตรงมิได้มองไปในด้านการสื่อสารคมนาคม ดาวเทียมที่สร้างในลักษณะนี้จะเป็นกลุ่มที่เรียกว่า ไดเร็ก บรอดคาสติง แซทเทลไลท์ (DIRECT BROADCASTING SATELLITE, DBS) ทำหน้าที่เสมือนสถานี กระจายสัญญาณโทรทัศน์ลงมาจากอวกาศ ไปยังผู้รับชมรายการพื้นดินโดยตรง ลักษณะของการผสมคลื่นสัญญาณ และย่านความถี่จะแตกต่างจากระบบโทรทัศน์ทั่วไปในปัจจุบัน กล่าวคือ ระบบโทรทัศน์ปัจจุบันจะใช้ความถี่ย่าน VHF และ UHF ในระบบ STVRO จะแบ่งย่านความถี่ต่าง ๆ เหมือนระบบไมโครเวฟ ที่ใช้งานกันมากคือ C-BAND และ KU BAND ตำแหน่งของดาวเทียมที่ใช้งานในย่าน C-BAND และ KU-BAND ดังแสดงในรูปที่ 1.24 และ 1.25 ตามลำดับ

ในระบบดาวเทียมจะมีแบนด์วิดท์ ของสัญญาณที่ส่งลงมา 500 MHz ดาวเทียมของ SATCOM ของสหรัฐอเมริกาจะแบ่งความกว้าง 500 MHz นี้เป็น 24 ช่อง โดยจะมีความกว้างแต่ละช่องเท่ากับ 40 MHz มีวิธีการส่งสัญญาณทั้ง 24 ช่อง ให้แยกกันไม่ปะปนกันโดยใช้วิธีผสมสัญญาณแล้วส่งขึ้นไปยังดาวเทียมให้ต่าง โพลาไรเซชันกัน แต่ละช่องจะมีออร์ชันทัลโพลาไรเซชัน (HORIZONTAL POLARIZATION) และเวทิตัลโพลาไรเซชัน (VERTICAL POLARIZATION) แตกต่างกัน ดังรูป 1.26 ระบบการส่งสัญญาณเช่นนี้ทำให้ลดการรบกวนระหว่างช่อง

BAND	C	K	BOTH
EXISTING	◆	▲	●
PROPOSED	◇	△	○



รูปที่ 1.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUSSAT I (1985) AUSTRALIA 156° E
 AUSSAT II (1986) AUSTRALIA 160° E
 AUSSAT III (1986) AUSTRALIA 164° E

INTELSAT V (1984) 179° E —○

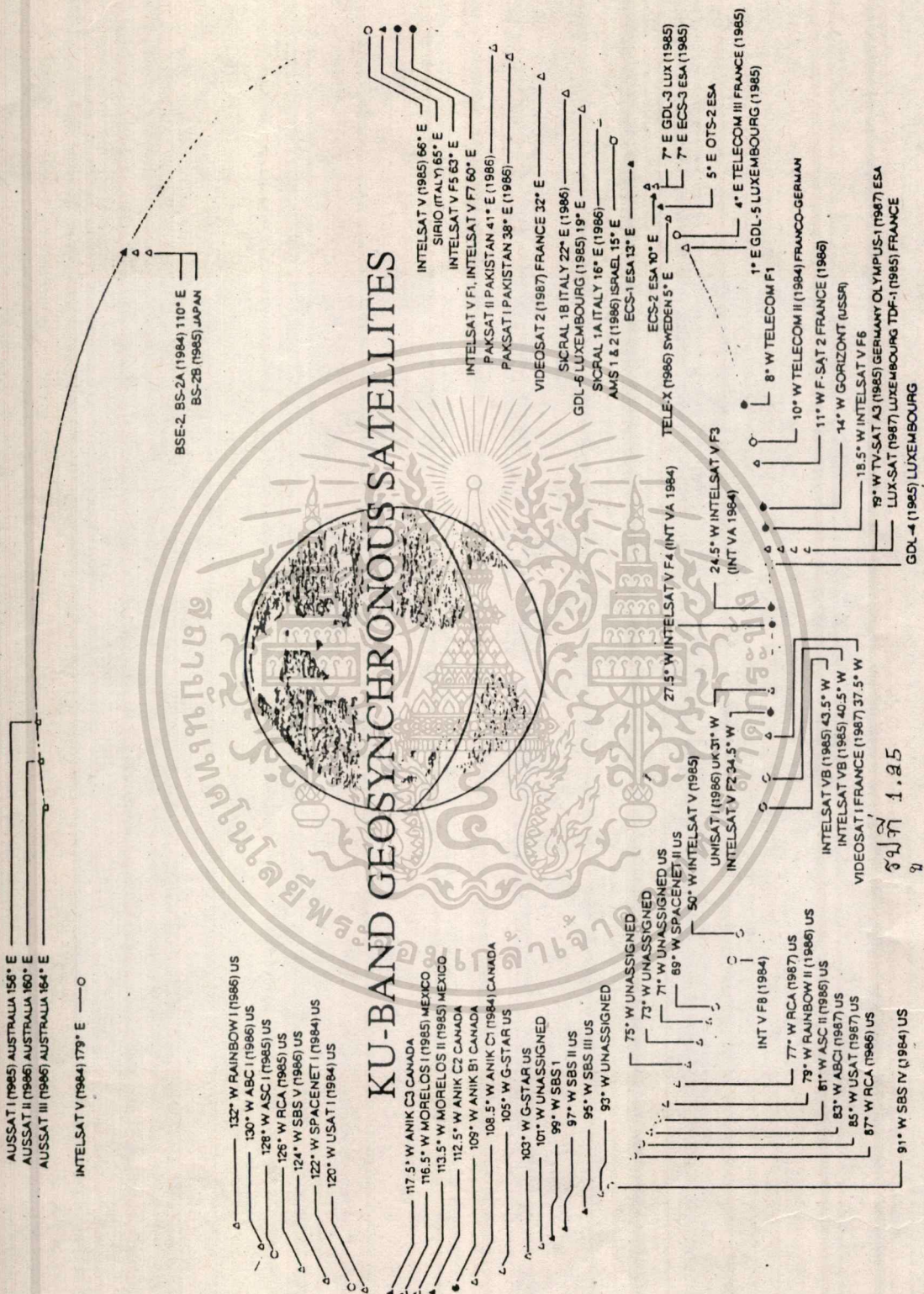
132° W RAINBOW I (1986) US
 130° W ABC I (1986) US
 128° W ASC I (1985) US
 126° W RCA (1985) US
 124° W SBS V (1985) US
 122° W SPACENET I (1984) US
 120° W USAT I (1984) US

117.5° W ANIK C3 CANADA
 116.5° W MORELOS I (1985) MEXICO
 113.5° W MORELOS II (1985) MEXICO
 112.5° W ANIK C2 CANADA
 109° W ANIK B1 CANADA
 108.5° W ANIK C1 (1984) CANADA
 105° W G-STAR US
 103° W G-STAR US
 101° W UNASSIGNED
 99° W SBS I
 97° W SBS II US
 95° W SBS III US
 93° W UNASSIGNED

75° W UNASSIGNED
 73° W UNASSIGNED
 71° W UNASSIGNED US
 69° W SPACENET II US
 50° W INTELSAT V (1985)
 UNISAT I (1986) UK 31° W
 INTELSAT V F2 34.5° W
 INT V F8 (1984)
 77° W RCA (1987) US
 79° W RAINBOW II (1986) US
 81° W ASC II (1986) US
 83° W ABCI (1987) US
 85° W USAT (1987) US
 87° W RCA (1986) US
 91° W SBS IV (1984) US

INTELSAT VB (1985) 43.5° W
 INTELSAT VB (1985) 40.5° W
 VIDEOSAT I FRANCE (1987) 37.5° W

รูปที่ 1.85



BSE-2, BS-2A (1984) 110° E
 BS-2B (1985) JAPAN

KU-BAND GEOSYNCHRONOUS SATELLITES

INTELSAT V (1985) 66° E
 SIRIO (ITALY) 65° E
 INTELSAT V F5 63° E
 INTELSAT V F1, INTELSAT V F7 60° E
 PAKSAT II PAKISTAN 41° E (1986)
 PAKSAT I PAKISTAN 38° E (1986)

VIDEOSAT 2 (1987) FRANCE 32° E
 SICRAL 1B ITALY 22° E (1986)
 GDL-6 LUXEMBOURG (1985) 19° E
 SICRAL 1A ITALY 16° E (1986)
 AMS 1 & 2 (1986) ISRAEL 15° E
 ECS-1 ESA 13° E

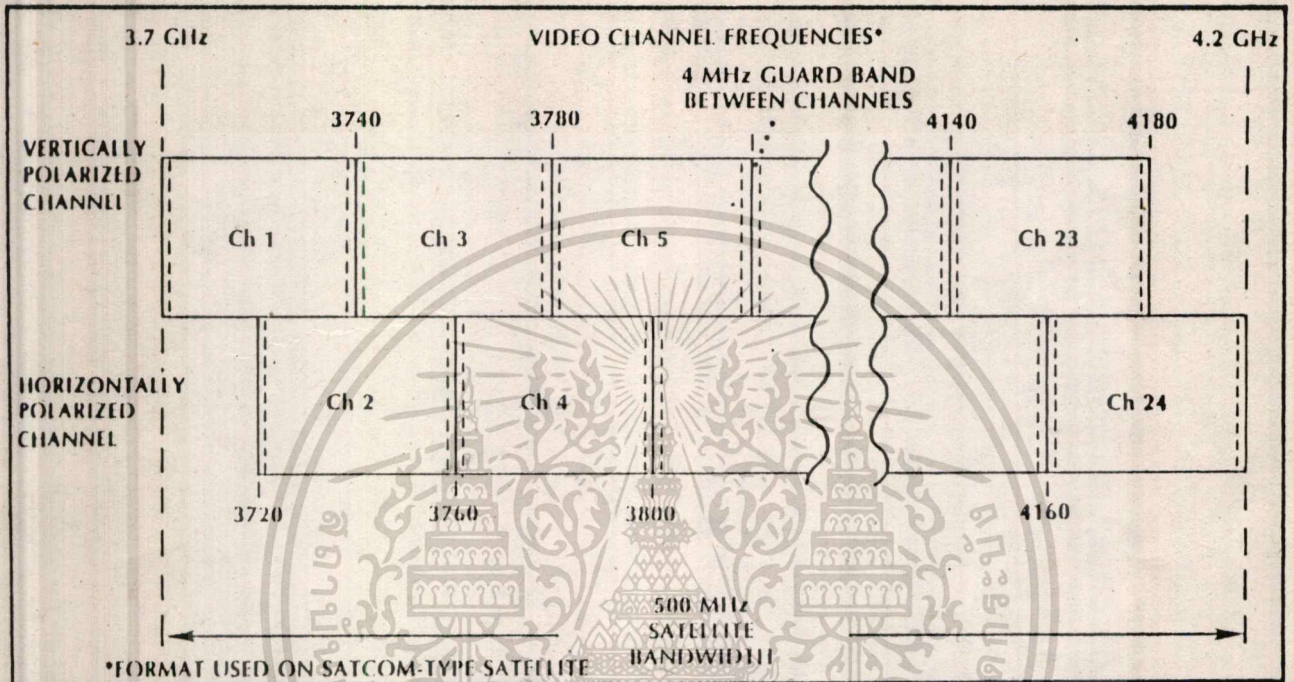
ECS-2 ESA 10° E
 TELE-X (1986) SWEDEN 5° E
 7° E ODL-3 LUX (1985)
 7° E ECS-3 ESA (1985)
 5° E OTS-2 ESA
 4° E TELECOM III FRANCE (1985)
 1° E GDL-5 LUXEMBOURG (1985)

8° W TELECOM F1
 10° W TELECOM II (1984) FRANCO-GERMAN
 11° W F-SAT 2 FRANCE (1986)
 14° W GORIZONT (USSR)
 18.5° W INTELSAT V F6
 19° W TV-SAT A3 (1985) GERMANY OLYMPUS-1 (1987) ESA
 LUX-SAT (1987) LUXEMBOURG TDF-1 (1985) FRANCE
 GDL-4 (1985) LUXEMBOURG

24.5° W INTELSAT V F3
 (INT V A, 1984)

27.5° W INTELSAT V F4 (INT V A, 1984)

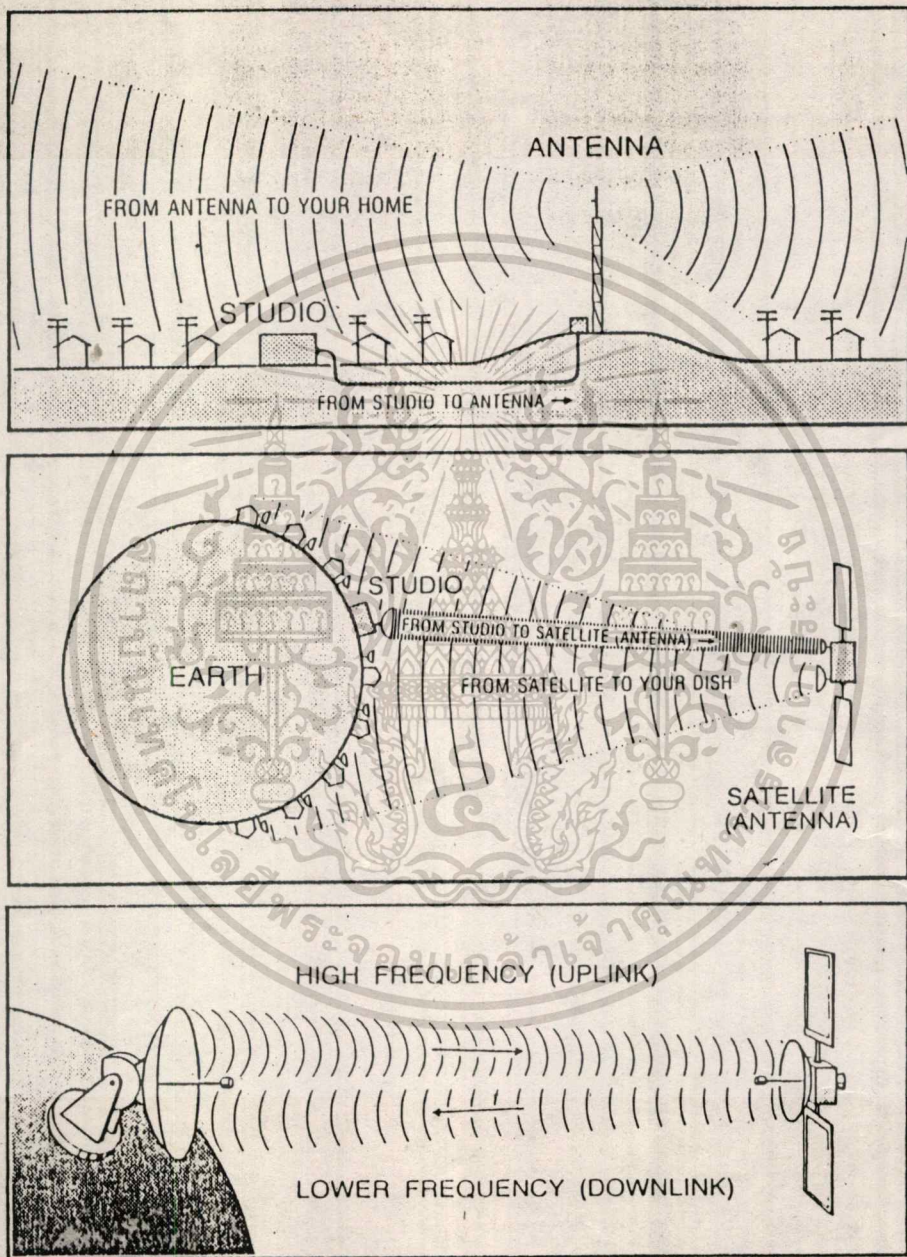
ลงได้มาก วิธีการเช่นนี้ มิได้ใช้กับดาวเทียมทุกดวง นำมายกตัวอย่างเพื่อเป็นแนวทางในการ
เลือกรับสัญญาณแต่ละรายการต่อไป



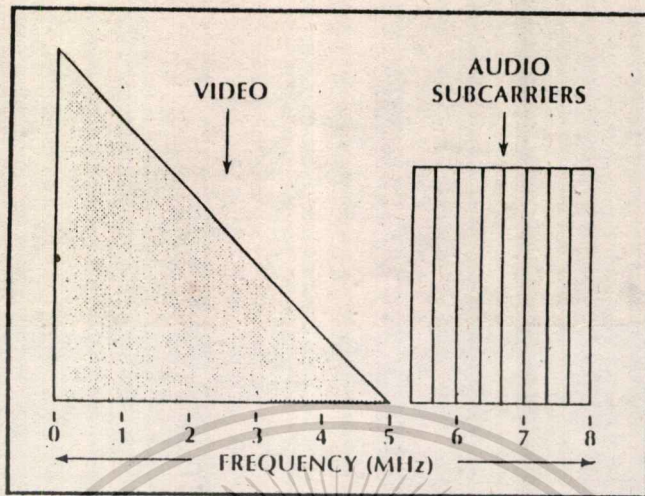
รูปที่ 1.26 ตัวอย่างการจัดช่องสัญญาณที่ส่งไปยังดาวเทียม

ในสัญญาณที่ส่งลงมาจาดาวเทียมนั้น จะเป็นการผสมสัญญาณแบบ FM (FREQUENCY MODULATION) ซึ่งให้ผลดีในการที่สัญญาณ ต้องเดินทางเป็นระยะไกล ๆ จากดาวเทียม ในอวกาศ ลงมายังสถานีรับภาคพื้นดิน และเมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมลงมาแล้ว 1 ช่อง นำมาแปลงสัญญาณ (DEMODULATION) จะได้สัญญาณภาพ และเสียงของรายการโทรทัศน์ สัญญาณภาพจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ต้นของสัญญาณ คือ 0 MHz ไปจนถึง 4.6 MHz และสัญญาณเสียง จะอยู่ในลักษณะซับแคเรียร์ (SUBCARRIER) ที่ประมาณ 5 ถึง 8.5 MHz (ในสหรัฐอเมริกา AUDIO SUBCARRIER อยู่ที่ 6.8 MHz) สำหรับดาวเทียมของชาติอื่น ๆ อาจจะใช้ SUBCARRIER ความถี่อื่น ๆ ได้เช่นกัน) ดังรูป 1.28 มีบางครั้งที่ไม่ได้ส่งสัญญาณเสียงมาในระบบซับแคเรียร์

แต่สัญญาณเสียงจะถูกส่งมาในลักษณะที่เรียกว่า SCPC (SINGLE CHANNEL PER CARRIER)
 การแปลงสัญญาณก็จะต้องเปลี่ยนไปให้เหมาะสมที่จะทำให้ได้สัญญาณเสียงนั้นออกมาฟังกัน



รูปที่ 1.27 แสดงการส่งสัญญาณโทรทัศน์ของสถานีส่ง ซึ่งอาจจะส่ง
 ไปตามบ้านโดยตรง หรืออาจจะส่งผ่านดาวเทียมก็ได้



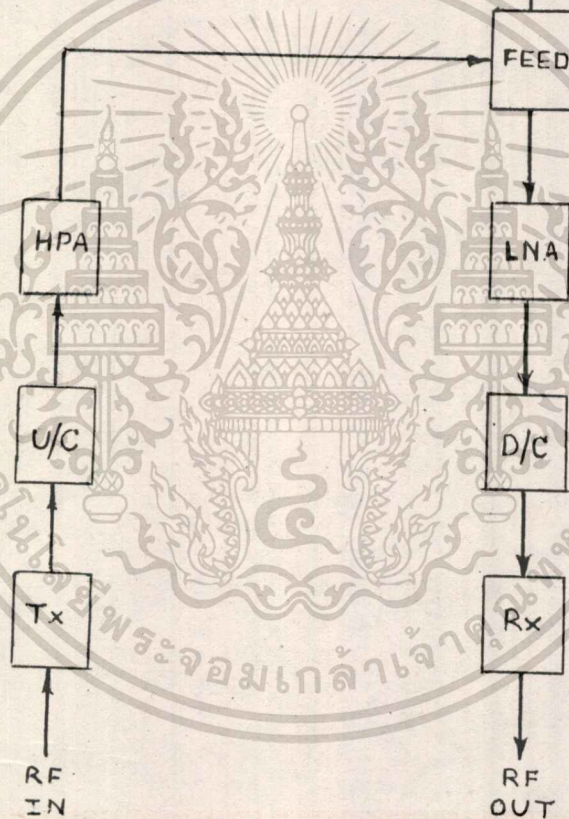
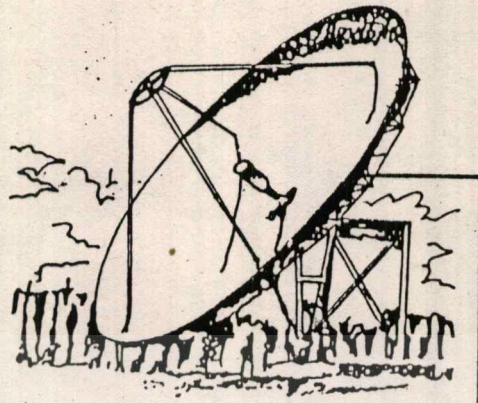
รูปที่ 1.28 แสดงการจัดช่องของสัญญาณ

1.5 สถานีรับ-ส่ง สัญญาณจากดาวเทียม

โครงสร้างของสถานีรับ-ส่งสัญญาณจากดาวเทียม จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ดังแสดงในรูปที่ 1.29 จากรูปจะเห็นได้ว่าโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกจะเป็นส่วนรับสัญญาณ ประกอบด้วย จานสายอากาศ พีดอว์น ตัวขยายสัญญาณ (LNA) ตัวเปลี่ยนความถี่ให้ต่ำลง (DOWN CONVERTER) และเครื่องรับสัญญาณ (RECEIVER) ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ใช้เวลาส่ง ประกอบด้วยอุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นคือ HPA U/C และเครื่องส่งสัญญาณ ดังรูป 1.29

1.5.1 จานสายอากาศ (DISH ANTENNA)

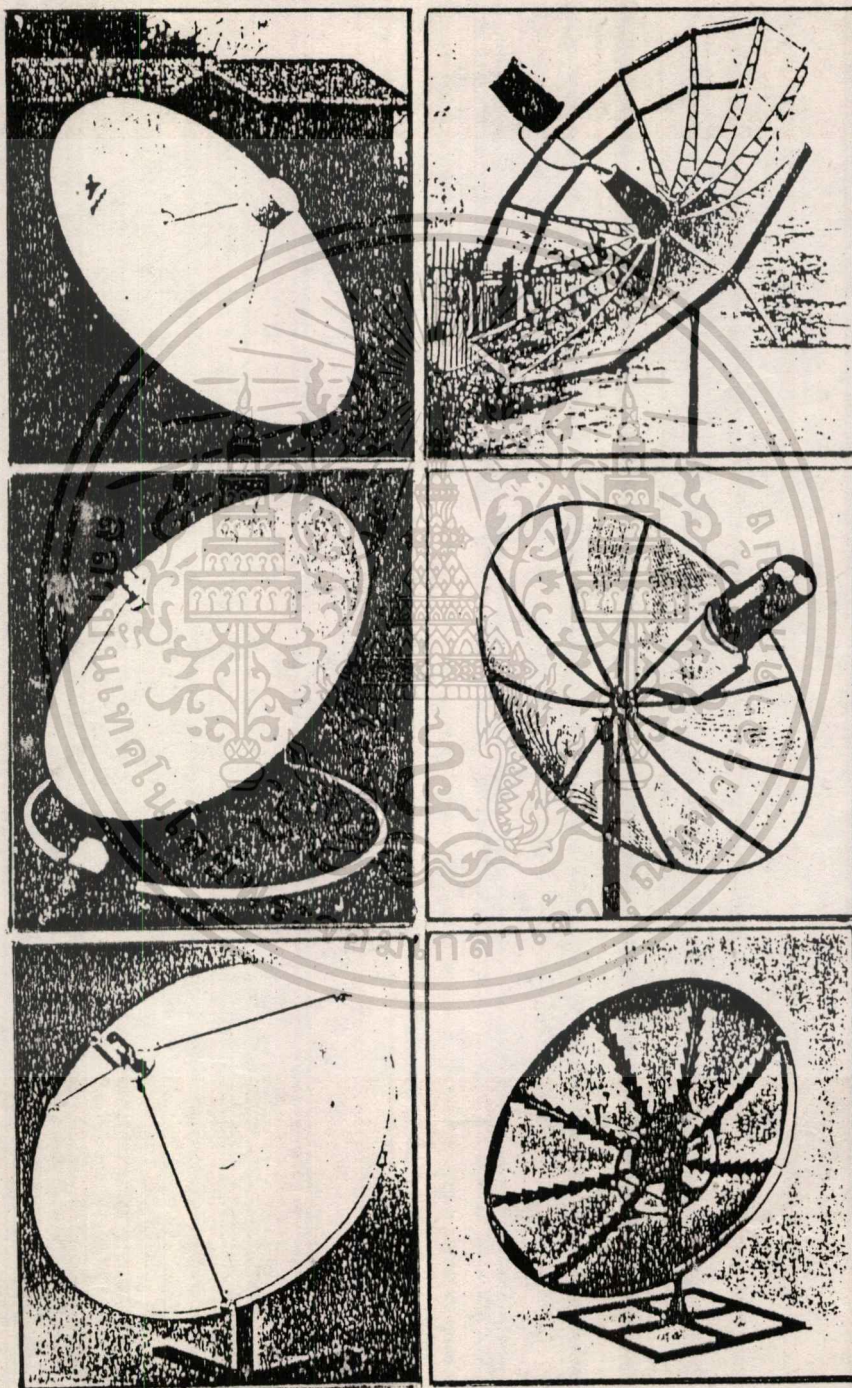
เมื่อทราบว่า จะรับ-ส่ง สัญญาณกับดาวเทียมดวงไหน สิ่งสำคัญอันดับแรกที่จะทำ ให้คุณภาพของสัญญาณที่ได้นั้นดีมาน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับจานสายอากาศนี้ ในย่านความถี่ C-BAND ขนาดของจานสายอากาศจะค่อนข้างใหญ่ คือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 จนถึง 10 เมตร จานสายอากาศรูปพาราโบลาจะเป็นชนิดแผ่นโลหะทึบ ถ้าเป็นจานสายอากาศที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 4 เมตร ถ้ามีขนาดใหญ่กว่านี้จะใช้เป็นชนิดตะแกรงโปร่งก็ได้ เพื่อลดแรงที่เกิดจากการพัดเข้าปะทะของลม วัสดุที่ใช้ทำจานสายอากาศมักจะเลือกชนิดที่มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา ทนทานต่อสภาพลมฟ้าอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น อลูมิเนียม ไฟเบอร์กลาส เป็นต้น โครงสร้างจานสายอากาศจะมีลักษณะต่าง ๆ กันไป อาจทำเป็นชั้นเด็กลว



รูปที่ 1.29 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสถานีรับ-ส่งสัญญาณดาวเทียม

โดยขึ้นรูปครึ่งเดียวด้วยโลหะแผ่น หรือทำเป็นหลายชั้นมาประกบกันเพื่อลดขนาดในการขนส่ง ความถูกต้องแม่นยำของลักษณะพื้นผิว ที่ต้องโค้งเป็นรูปพาราโบลา ก็จะเป็นตัวกำหนด คุณภาพ และความแรงของสัญญาณ ตัวแปรอีกอย่างหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย คือ อัตราส่วนความ

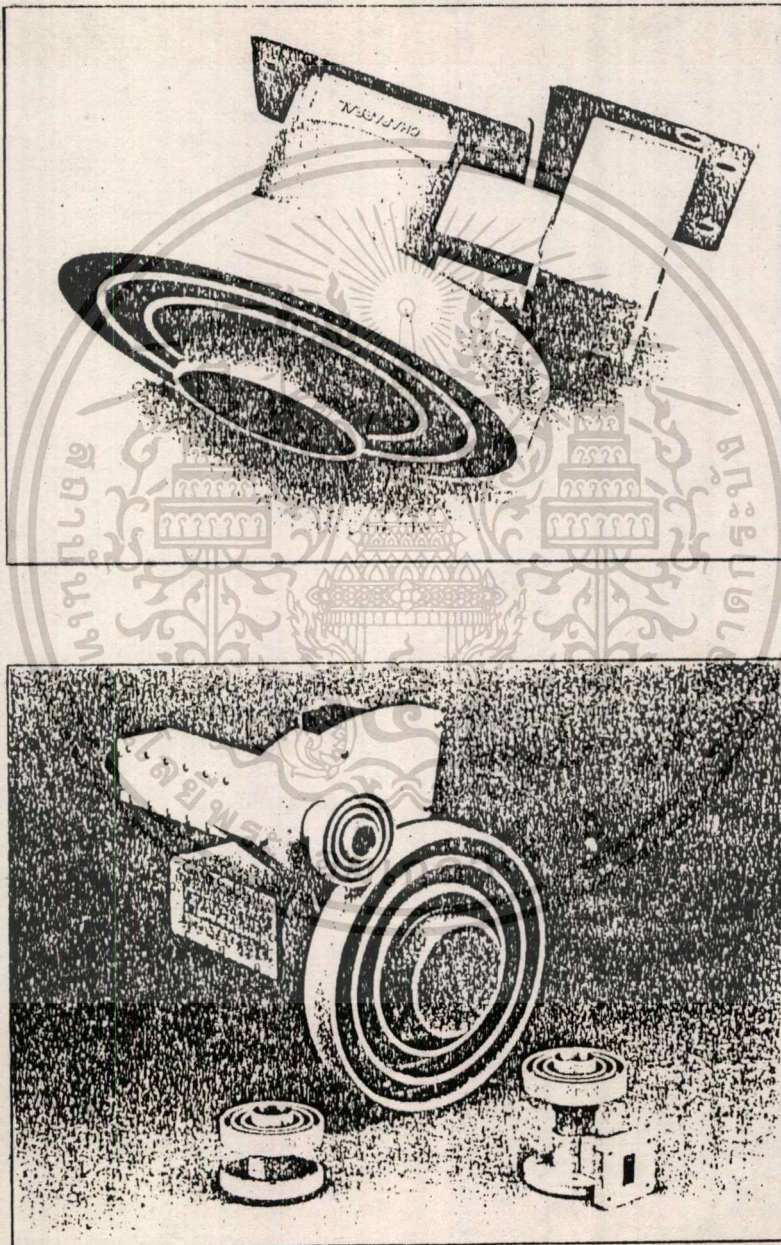
ของความยาวโฟกัสของจานสายอากาศ กับเส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศ ขณะนี้ในท้องตลาดประเทศไทยมีเพียงน้อยรายที่ผลิตจานสายอากาศขาย ซึ่งอาจจะต้องเป็นการสั่งทำเฉพาะงาน แต่ต่อไปหากเป็นที่นิยมใช้งานมากขึ้น ก็จะมีผลิตหรือสร้างขึ้นได้ไม่ยากด้วยวัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไป รูปที่ 1.30 แสดงจานสายอากาศชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 1.30 แสดงจานสายอากาศแบบต่าง ๆ

1.5.2 กรวยรับ-ส่งสัญญาณ (FEED HORN)

เมื่อสัญญาณจากดาวเทียมมากกระทบจานสายอากาศ จะสะท้อนมาที่ฟีดฮอร์น นี้ ซึ่ง จะรวบรวมสัญญาณและเลือกเอาเฉพาะสัญญาณที่มีโพลาไรเซชัน ที่ต้องการส่งไปให้อุปกรณ์ขยาย สัญญาณต่อไป หรือในขณะที่ส่งสัญญาณไปสู่ดาวเทียม ฟีดฮอร์นก็จะแพร่กระจายสัญญาณไปสู่จาน



รูปที่ 1.31 แสดงฟีดฮอร์นชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ และก็จะสะท้อนไปสู่ดาวเทียมที่มุมเดียวกับการรับสัญญาณ ในขณะที่ไม่มีฟีดฮอร์นหลายยี่ห้อที่ขายอยู่ในตลาดต่างประเทศ ซึ่งต่างก็ใช้ขนาดความถี่เด่นของตนต่าง ๆ เมื่อจะเลือกใช้ฟีดฮอร์นยี่ห้อใด จะต้องดูข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ระบุให้ถี่ถ้วน ไม่ว่าจะเป็นชนิดที่มีโพรบ (PROBE) อยู่ในเชิงมุมแคบ คิวมิเตอร์ หรือมุมแคบด้วยเซอร์โว มอเตอร์ หรือชนิดที่เป็นเฟอไรท์ที่อยู่ภายในที่จะเลือก โพลาริเซชัน ด้วยการปรับจากสัญญาณไฟฟ้าก็ตาม เพราะแต่ละชนิด จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน จะมีความเหมาะสมที่จะใช้กับงานสายอากาศต่างขนาดต่างแบบกัน รูปที่ 1.31 แสดงตัวอย่างของฟีดฮอร์น ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป

1.5.3 ตัวขยายสัญญาณ (Low Noise Amplifier : LNA)

เป็นอุปกรณ์ที่รับสัญญาณจากฟีดฮอร์น มาขยายให้มีความถี่เพิ่มขึ้น มีขนาดกำลังขยายต่าง ๆ กัน จากการใช้เทคโนโลยีด้านสารกึ่งตัวนำก้าวหน้าไปมาก ทำให้ตัวขยายสัญญาณมีราคาถูกลง มีคุณภาพดี กำลังขยายสูง และเนอส์ต่ำ ส่วนมากจะบอกค่ากำลังขยายและเนอส์ เทมเพอเรเจอร์ อีควิวาเลนต์ (NOISE TEMPERATURE EQUIVALENT) เป็นองศาเคลวิน เนื่องจากตัวขยายสัญญาณ เป็นอุปกรณ์ภาคแรกที่มีการขยายสัญญาณ ดังนั้น ถ้ามีกำลังส่งสูง จึงควรมีเนอส์ เทมเพอเรเจอร์ ต่ำ ๆ

1.5.4 ตัวเปลี่ยนความถี่ให้ต่ำลง (DOWN CONVERTER , D/C)

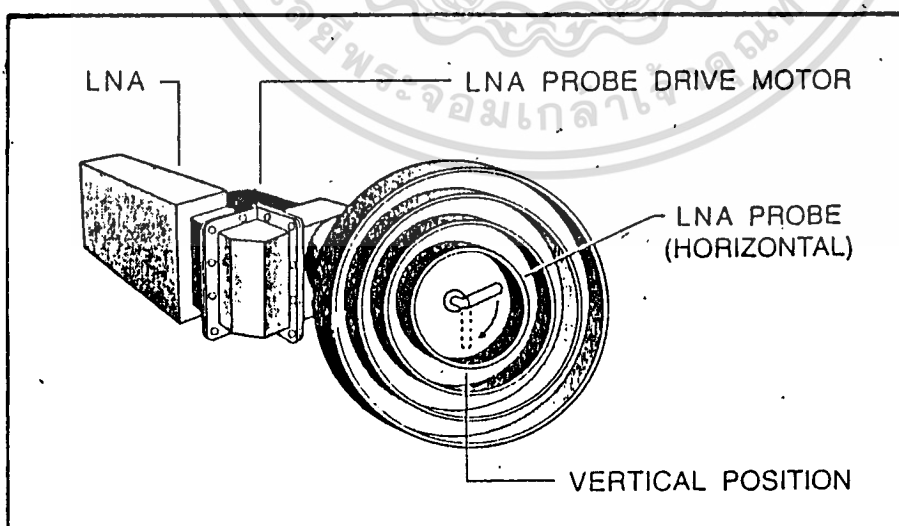
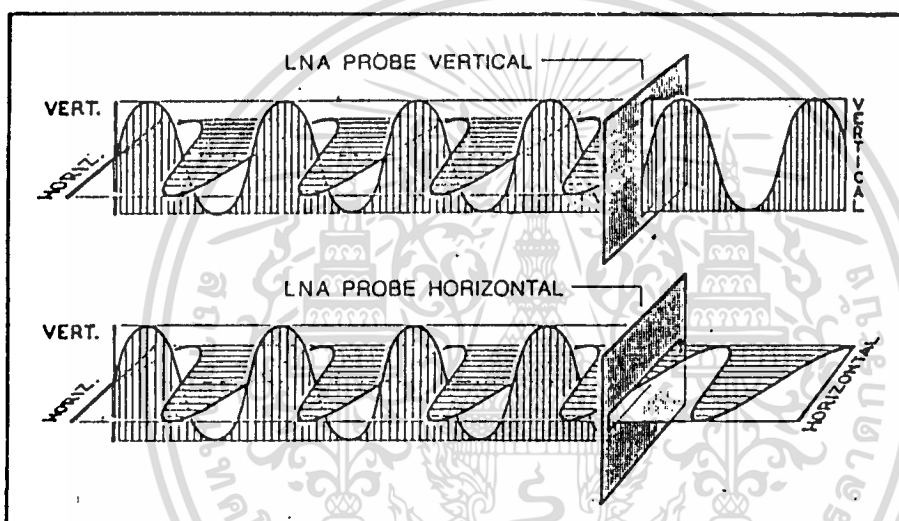
เมื่อสัญญาณไมโครเวฟถูกขยายจากภาคขยายสัญญาณ และส่งมายังตัวเปลี่ยนความถี่นี้ จะเกิดการผสมและคัดเลือกสัญญาณในตัวเปลี่ยนความถี่ คือ เมื่อสัญญาณไมโครเวฟผสมกับสัญญาณความถี่สูง ผ่านไมโครเวฟอีกตัวหนึ่ง จะเกิดผลของการผสมสัญญาณหลาย ๆ ความถี่ ภาคกรองสัญญาณความถี่ต่ำจะกรองเอาเฉพาะผลที่มีความถี่ต่ำ ๆ ออกมายังไปยังเครื่องรับต่อไป ดังรูป 1.33 ความถี่ที่ออกจากตัวเปลี่ยนความถี่ จะประมาณ 70 MHz ก็ได้ ในกรณีที่ความถี่ออกจากตัวเปลี่ยนความถี่เป็น 70 MHz จะต้องมีการปรับความถี่ในตัวเปลี่ยนความถี่ ให้เหมาะสมกับความถี่ที่รับจากดาวเทียม โดยส่งแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องรับ ไปแปรเปลี่ยนความถี่ของตัวกำเนิดความถี่ในตัวเปลี่ยนความถี่ด้วย

1.5.5 เครื่องรับสัญญาณ (RECEIVER)

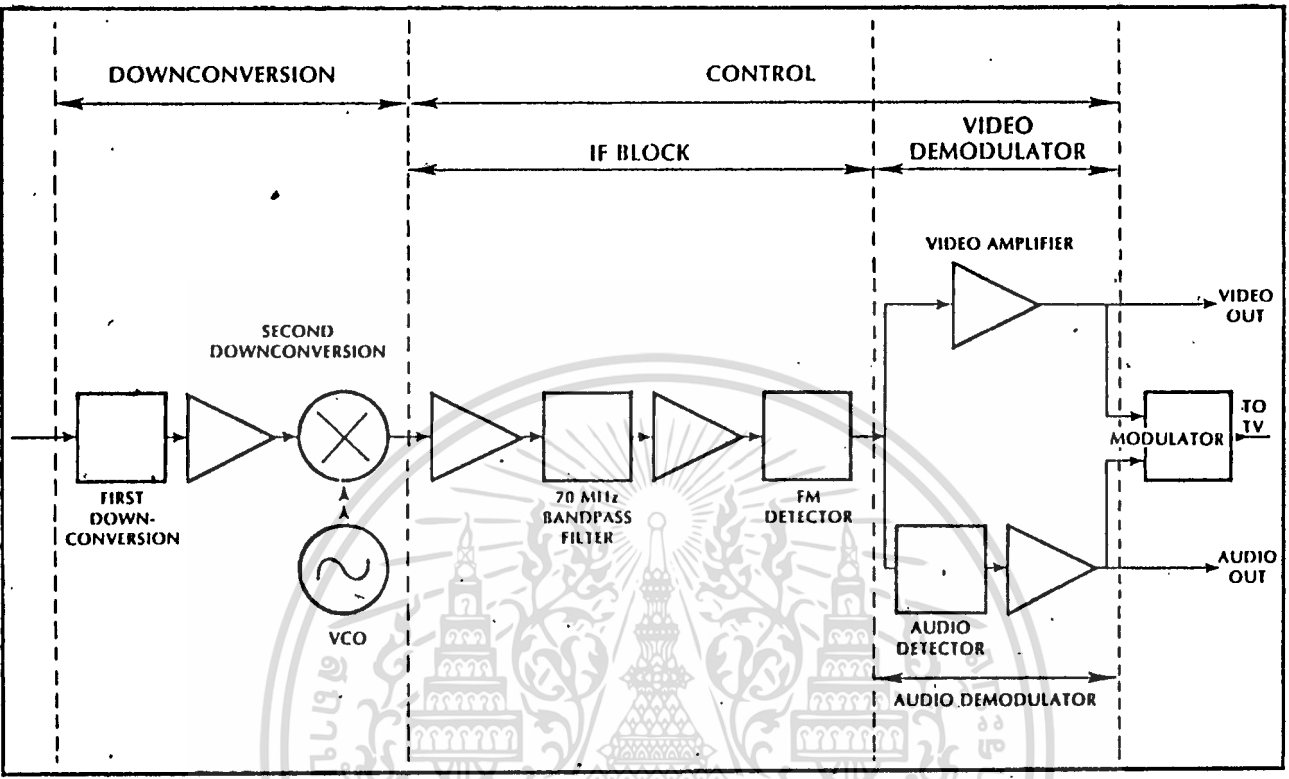
อุปกรณ์สำคัญที่สุดที่จะแปลงสัญญาณจากดาวเทียมให้เห็นเป็นภาพและได้ยินเสียงในโทรทัศน์จะเป็นเครื่องรับสัญญาณนี้เอง เมื่อรับสัญญาณจากตัวเปลี่ยนความถี่มาแล้ว ในกรณีที่ เป็น 70 MHz ก็จะนำไปเข้าขบวนการต่าง ๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จัดระดับสัญญาณ ขยายสัญญาณ

แปลงสัญญาณ แยกเป็นสัญญาณตามและเสียง หรือผสมให้ออกมาเป็นความถี่สูง ส่งไปให้เครื่องรับโทรทัศน์ เมื่อดูภาพและฟังเสียงต่อไป หากเป็นสัญญาณย่าน 950 - 1450 MHz จากตัวเปลี่ยนความถี่ เครื่องรับจะเลือกเฉพาะช่องที่ต้องการดูรายการ แล้วนำไปดำเนินการเช่นเดียวกัน จนได้ภาพและเสียงออกมา ดังรูปที่ 1.34

เนื่องจากสัญญาณที่รับจากดาวเทียมมี โพลาริเซชัน ต่าง ๆ ในเครื่องรับสัญญาณนี้จึงมีตัวควบคุม ที่ส่งสัญญาณไปให้ ฟีดฮอร์น อีกด้วย จึงสามารถปรับโพลาไรเซชัน ในฟีดฮอร์น ให้ได้สัญญาณตามที่ต้องการ ได้ด้วยการควบคุมจากเครื่องรับสัญญาณนั่นเอง



รูปที่ 1.32 แสดงตำแหน่งและสัญญาณของตัวขยายสัญญาณ



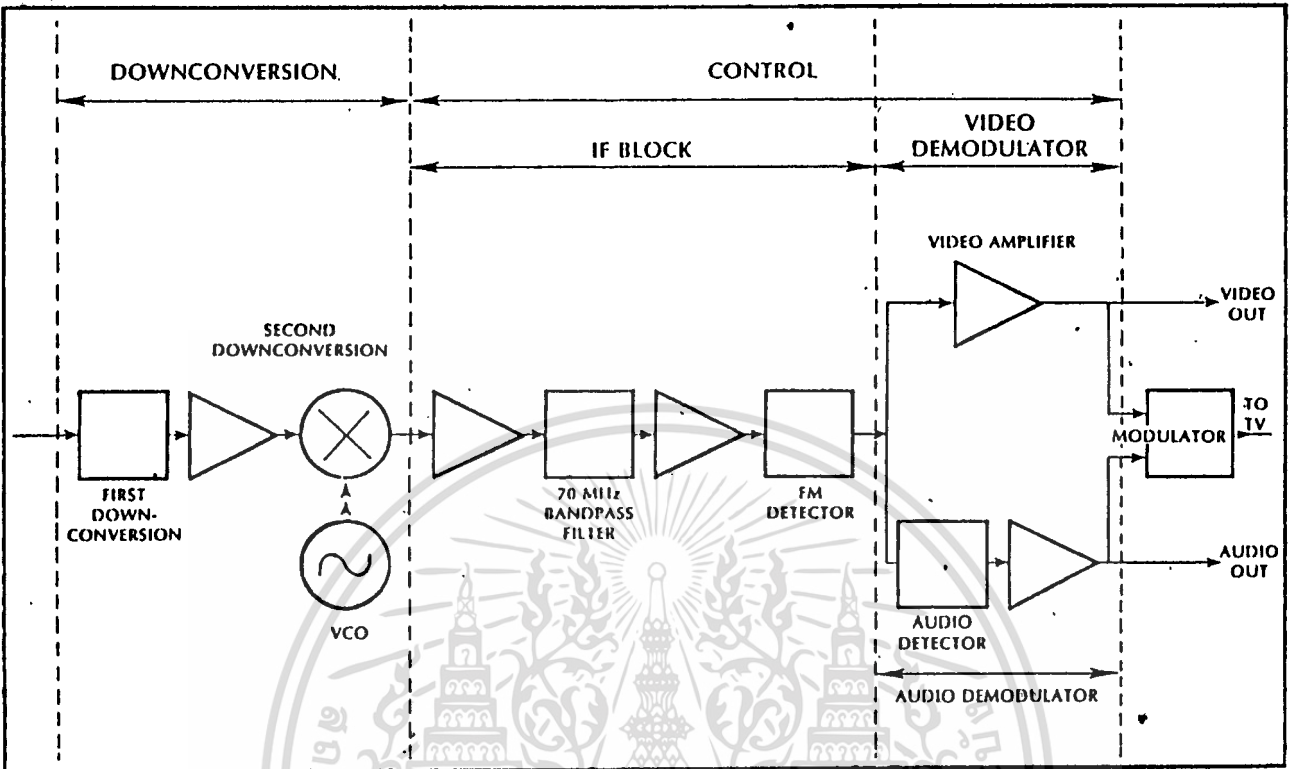
รูปที่ 1.34 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ

1.5.6 เครื่องส่งกำลังสูง (HIGH POWER AMPLIFIER, HPA)

เป็นอุปกรณ์ทางด้านส่งสัญญาณโทรทัศน์ ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มำกำลังเพียงพอที่จะส่งไปยังดาวเทียมได้

1.5.7 เครื่องส่งสัญญาณเบื้องต้น (TRANSMITTER)

เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ ตามที่เห็นและเสียงที่ได้ยินให้กลับไปเป็นสัญญาณความถี่ เพื่อส่งไปเข้า HPA ทำการขยายส่งไปยังดาวเทียมอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 1.34 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ

1.5.6 เครื่องส่งกำลังสูง (HIGH POWER AMPLIFIER, HPA)

เป็นอุปกรณ์ทางด้านส่งสัญญาณโทรทัศน์ ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีกำลังเพียงพอที่จะส่งไปยังดาวเทียมได้

1.5.7 เครื่องส่งสัญญาณเบื้องต้น (TRANSMITTER)

เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ ตามที่เห็นและเสียงที่ไต่ยอนให้กลับไปเป็นสัญญาณความถี่ เพื่อส่งไปเข้า HPA ทำการขยายส่งไปยังดาวเทียมอีกต่อหนึ่ง

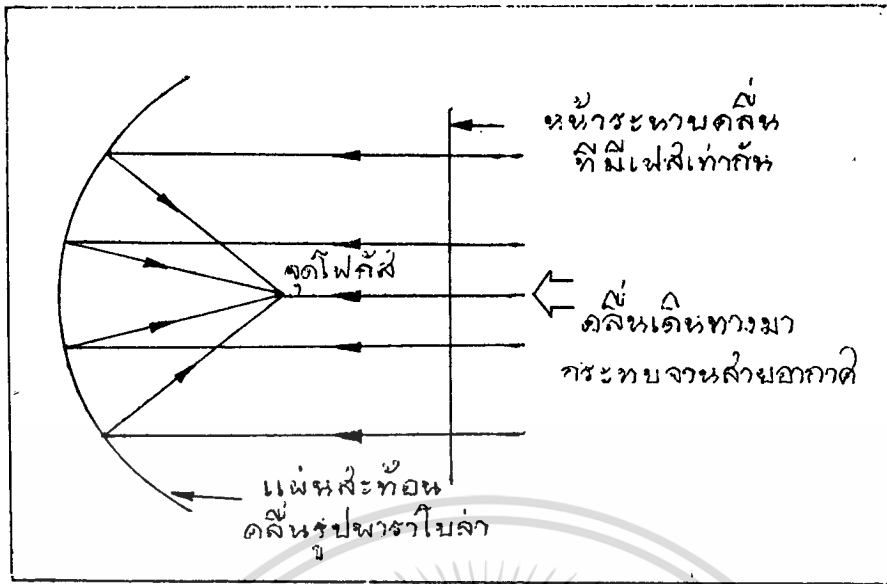
จายสายอากาศสำหรับรับสัญญาณจากดาวเทียม

สถานีภาคพื้นดินที่รับสัญญาณโทรทัศน์โดยตรงจากดาวเทียม (STVRO EARTH STATION) อุปกรณ์อย่างหนึ่งที่มีความสำคัญก็คือ จานสายอากาศ ซึ่งคุณภาพในการรับสัญญาณจะดีหรือเลวนั้น จานสายอากาศก็มีส่วนด้วย จานสายอากาศคุณลักษณะโดยทั่วไป มันจะทำหน้าที่ รับและส่งคลื่นไมโครเวฟ ย่านความถี่ 6/4 GHz, 14/11 GHz, 30/20 GHz ระหว่าง สถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียมเป็นหลัก จานสายอากาศที่นิยมใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟโดยทั่วไปจะมีรูปทรงเป็นแบบพาราโบลา (PARABOLOID) ผิวเรียบ เนื่องจากความยาวคลื่นไมโครเวฟสั้นมาก ประมาณ 0.5 - 1.0 CM. จึงมีคุณสมบัติคล้ายแสง เมื่อคลื่นมาตกกระทบที่ผิวของจานสายอากาศที่ทำด้วยวัสดุ ที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่น ก็จะทำให้คลื่นที่มาตกกระทบผิวจานเกิดการสะท้อนไปเข้ายังจุดโฟกัส (FOCUS) ทำให้ที่บริเวณจุดโฟกัสเป็นบริเวณที่คลื่นมีความแรงที่สุด ถ้านำเอาฟีดฮอร์นและอุปกรณ์อื่น ๆ ไปวางที่จุด โฟกัสก็จะสามารถรับสัญญาณนี้ได้ ดังนั้น จานสายอากาศแบบพาราโบลาชนิดนี้จึงมีอัตราขยาย (GAIN) สูงกว่าจานสายอากาศแบบอื่น ดังนั้น จึงนิยมนำจานสายอากาศแบบนี้มาใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม ซึ่งเป็นระบบสื่อสารที่สามารถส่งไปได้ไกลที่สุดในยุคปัจจุบันนี้

เนื้อหาของบทนี้ จะเป็นการกล่าวถึง จานสายอากาศแบบพาราโบลาโดยทั่วไป ตั้งแต่หลักการพื้นฐานของสายอากาศ ค่าพารามิเตอร์ ของจานสายอากาศ คุณสมบัติ ที่สำคัญของจานสายอากาศ และสาเหตุที่เลือกใช้สายอากาศแบบ PRIME FOCUS FEED ANTENNA ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างจานสายอากาศที่ควรทราบไว้

2.1 หลักพื้นฐานของจานสายอากาศแบบพาราโบลา

ในการวิเคราะห์จานสายอากาศ แบบพาราโบลานี้ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการวิเคราะห์ก็คือ หลักการของแสง (OPTICAL PRINCIPLE) ทางเรขาคณิต ได้แก่ การสะท้อนของแสง เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่ง่าย และได้ค่าใกล้เคียงที่สุด เมื่อลำคลื่นขนานที่ส่งมาจากดาวเทียม เดินทางมากระทบกับแผ่นสะท้อน (REFLECTOR) ของรูปพาราโบลา ก็จะเกิดการสะท้อนของคลื่นเข้าจุดโฟกัส ดังรูปที่ 2.1 ในทางกลับกันคลื่นที่ออกจากจุดโฟกัสเมื่อกระทบกับแผ่นสะท้อน ก็จะสะท้อนเป็นลำขนานออกจากจานสายอากาศไปสู่ดาวเทียม

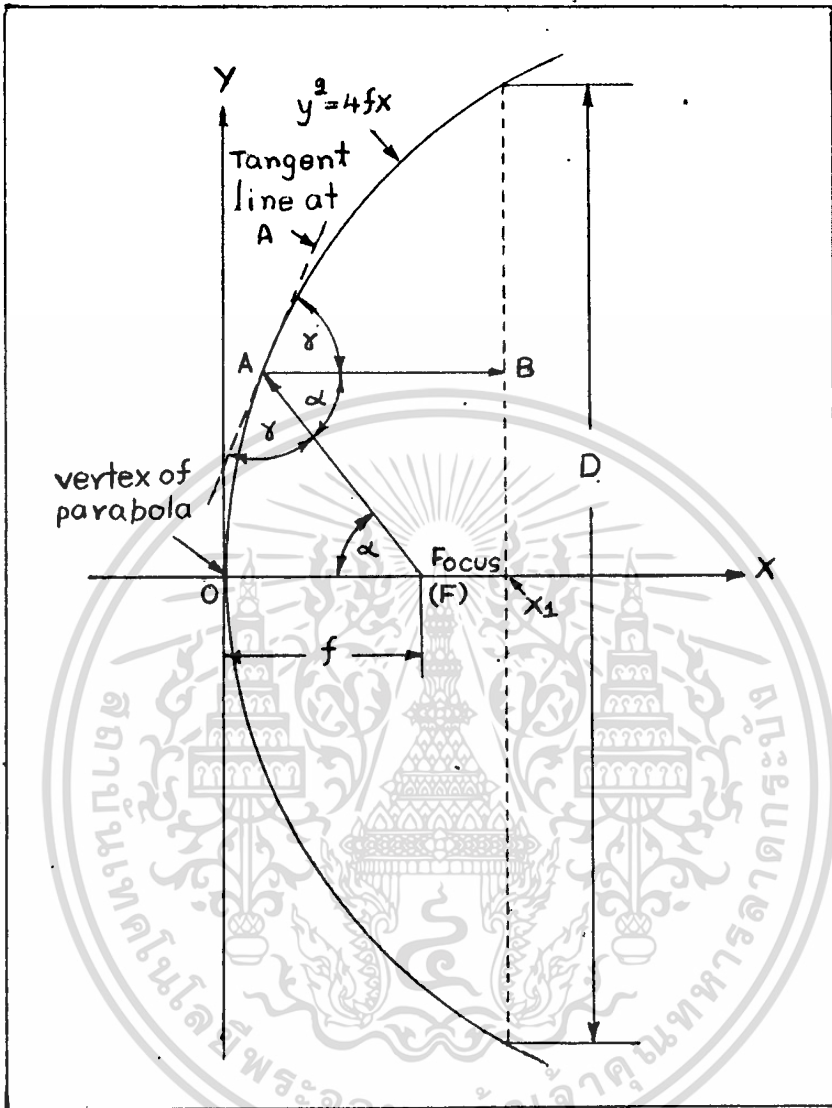


รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของคลื่นที่ตกกระทบจานส่งอากาศ

คุณสมบัติทางเรขาคณิตของกราฟพาราโบลา สามารถแสดงอยู่ในเทอมของระบบคาร์ทีเซียน (CARTESIAN COORDINATE) ดังรูปที่ 2.2 แกนทางแนวนอนคือ แกน X ซึ่งลากผ่านจุดกึ่งกลางของกราฟพาราโบลา ซึ่งสมมาตรกันทั้งช่วงบนและช่วงล่าง และตั้งฉากกับแกน Y ซึ่งลากสัมผัสกราฟพาราโบลา จุดตัดระหว่างแกนทั้ง 2 คือ จุดยอด (vertex) ระยะทางจากจุดยอดมายังจุดโฟกัส F ของกราฟยาว f ดังนั้นสมการของกราฟพาราโบลาซึ่งอยู่ในเทอมของพิกัด X, Y และระยะ f คือ

$$Y^2 = 4fX \quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1) ถ้ากำหนดให้ X เพิ่มขึ้น จาก 0 ถึง INFINITY ค่า Y จะมี 2 ค่า คือ +Y และ -Y และจะขยายออกไปตามแกน Y จนถึง INFINITY ในทางปฏิบัติแผ่นสะท้อนคลื่นจะมีขนาดจำกัด ขนาดของจานส่งอากาศดังรูป 2.2 คือระยะ D ค่า X_1 คือความลึกของจาน ถ้า X_1 น้อยกว่าระยะ f จุดโฟกัสจะวางอยู่ข้างนอกจานส่งอากาศ แต่ถ้า X_1 มากกว่าระยะ f จุดโฟกัส จะวางอยู่ข้างในของจานส่งอากาศ ซึ่งไม่นิยมใช้ อัตราส่วนของระยะ f กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง D เรียกว่า f/D RATIO



รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางเรขาคณิตของกราฟพาราโบลาในระนาบคาร์ทีเซียน

ค่า f/D นี้เป็นตัวกำหนดความลึกของแผ่นสะท้อน (x_1) ที่สัมพันธ์กับระยะโฟกัส (f) ซึ่งจานสายอากาศแบบพาราโบลา ทั่ว ๆ ไปจะมีค่าความลึก (x_1) < ระยะจุดโฟกัส (f) เสมอ

กำหนดให้

$$x_1 = f/2 \quad (2.2)$$

แทนค่าในสมการ (2.1)

$$Y^2 = 4f [f/2]$$

$$Y = \pm \sqrt{2} f$$

กำหนดให้

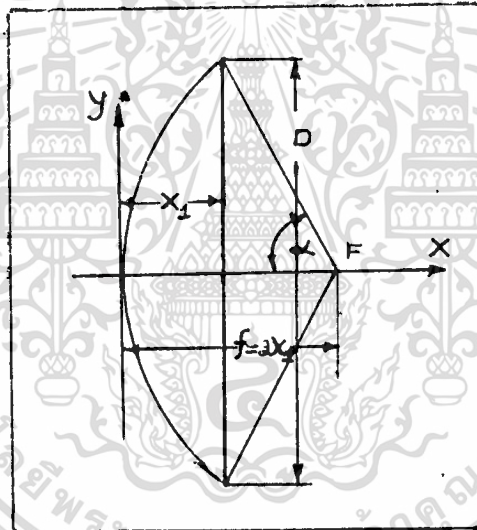
$$+ Y = - Y = D/2 \quad (2.3)$$

$$D/2 = \sqrt{2} f$$

เพราะฉะนั้น

$$f/D = 1/\sqrt{2} \times 2 = 0.353$$

งานสายอากาศแบบพาราโบลาที่มีค่า $f/D = 0.35$ ดังแสดงในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงงานสายอากาศแบบพาราโบลาที่มีค่า $f/D = 0.35$

ตามปกติงานสายอากาศรูปพาราโบลาทั่ว ๆ ไป จะมีค่า f/D ระหว่าง 0.25 ถึง 0.5 เสมอ จากรูปที่ 2.2 สมมติคลื่นตกกระทบบนที่จุด A เมื่อคลื่นออกจากจุดโฟกัสไปกระทบแผ่นสะท้อนที่จุด A มุมตกกระทบบน จะเท่ากับมุม δ ตามทฤษฎีของแสง มุมตกกระทบบนจะเท่ากับมุมสะท้อน คลื่นก็จะสะท้อนจากจุด A เป็นเส้นขนานกับแกน X ของกราฟพาราโบลา จากคุณสมบัติของกราฟพาราโบลา ระยะทางจากจุดโฟกัส F ไปจุด A (FA) รวมกับระยะทางจากจุด A ไปยังจุด B (AB) จะมีค่าเท่ากับระยะทาง 2 เท่าของความยาวโฟกัส ดังสมการที่ (2.4)

$$FA+AB = 2f \quad (2.4)$$

$$AB = FA \cos \alpha$$

$$FA+FA \cos \alpha = 2f$$

$$FA(1+\cos \alpha) = 2f$$

$$FA = 2f/(1+\cos \alpha) \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.5) เราสามารถหาระยะทาง FA ได้ ถ้าเราทราบ ระยะ f และมุม α จากรูป 2.2 ที่บริเวณเส้นประ D คลื่นจะมีเฟส (PHASE) ตรงกัน (INPHASE) บริเวณนี้เราเรียกว่า หน้าคลื่น (WAVE FRONT) ดังนั้นหน้าคลื่นก็จะขนานกันไปเป็นลำออกมาจากจานสายอากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ f กับมุม α สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.6) ดังนี้

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{(f/2D) - [(f/D)^2 - (1/16)]^{1/2}}{(1/16)^{1/2}} \right\} \quad (2.6)$$

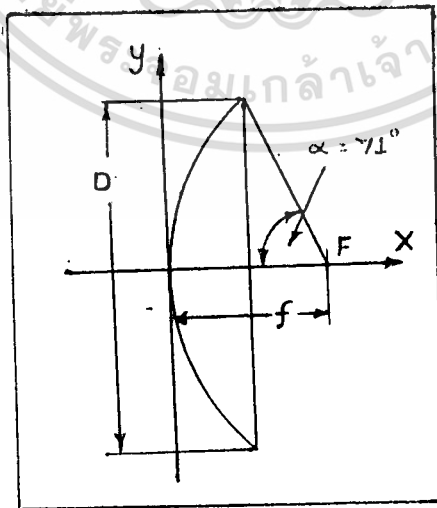
จากสมการ (2.6) ถ้าเราทราบค่า f/D RATIO เราก็สามารถหาค่ามุม α ได้ เช่นเมื่อให้ f/D = 0.35

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{(0.35/2) - [(0.35)^2 - (1/16)]^{1/2}}{(1/16)^{1/2}} \right\}$$

$$= \tan^{-1} (2.916)$$

เพราะฉะนั้น $\alpha = 71$ องศา

ดังนั้นถ้าเราให้ f/D = 0.35 ก็จะได้มุม $\alpha = 71$ องศา ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงมุม α เมื่อให้ f/D = 0.35

หรือเราอาจจะหาระยะ f เมื่อรู้ค่า D และมุมค่า α ได้ดังนี้

$$f = [D/4 \tan(\alpha/2)] \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.1) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูป f/D RATIO ดังสมการที่ (2.8)

$$Y^2 = 4D (f/D)X \quad (2.8)$$

จากสมการที่ (2.8) เมื่อเราทราบเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ของจานสายอากาศ ระยะ X_1 ที่สัมพันธ์กับระยะโฟกัส เมื่อนำไปหาค่า f/D RATIO และเมื่อเรากำหนดค่า X ให้เพิ่มขึ้น จาก 0 จนถึง X_1 เราจะได้ค่า Y ที่เพิ่มขึ้นด้วย จาก 0 ไปทางซีกลบและซีกบวกของแกน Y และเมื่อเรานำค่า X และค่า $\pm Y$ ที่ได้ไปพล็อต กราฟ (PLOT CURVE) ก็จะได้เป็นลักษณะของจานสายอากาศรูปพาราโบลาตามต้องการ

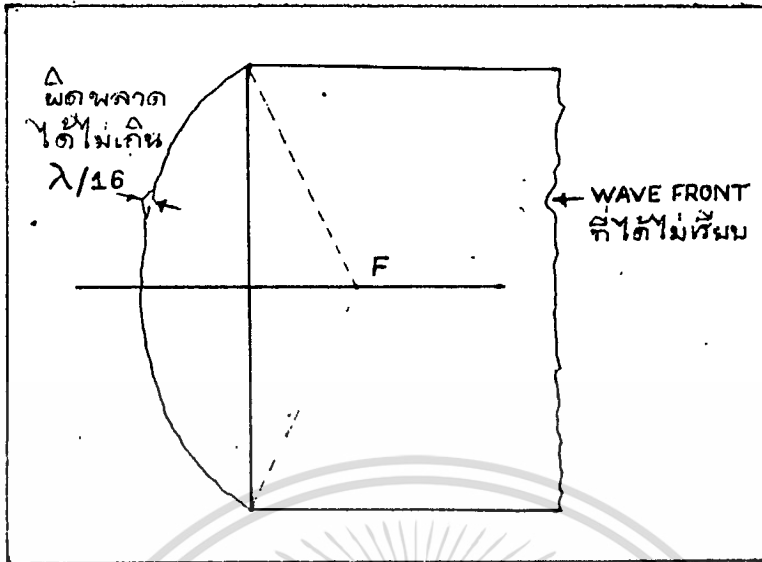
2.2 ค่าพารามิเตอร์ (PARAMETER) ที่สำคัญสำหรับจานสายอากาศ

ก่อนที่จะศึกษาถึงการสร้างจานสายอากาศ เราจะต้องทราบถึงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของจานสายอากาศเสียก่อน ค่าพารามิเตอร์ของจานสายอากาศที่สำคัญ มีดังนี้

2.2.1 ค่าความเที่ยงตรงของผิวสะท้อน (Reflector Surface Accuracy)

คือ ค่าความเที่ยงตรงของพื้นผิวหน้าจาน บริเวณส่วนโค้งของพาราโบลาที่คลื่นมาตกกระทบ ทางทฤษฎีต้องการให้คลื่นที่สะท้อนกลับออกมาบนหน้าจาน มีเฟสตรงกัน แต่ทางปฏิบัติทำได้ยาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องรู้ค่าผิดพลาดของส่วนโค้งน้อยที่สุดที่จะไม่มีผลต่อการรับสัญญาณของจานสายอากาศ

โดยทั่ว ๆ ไปค่าที่ยอมให้ผิดพลาดทางทฤษฎีมีค่าไม่เกิน $\lambda/16$ ระหว่าง $(\lambda/16) - (\lambda/32)$ ดังนั้น พื้นผิวหน้าจานจะต้องเรียบและสูงไม่เกิน $\lambda/16$ ของความถี่สูงสุดที่ใช้งาน เช่นการรับสัญญาณโทรทัศน์ ในช่วงความถี่ย่าน C-BAND ความถี่สูงสุด = 4.2 GHz เพราะฉะนั้นพื้นผิวจานจะต้องไม่สูงหรือต่ำเกิน 4.5 มม. ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงค่าผิดพลาดของผิวจานทำให้ WAVE FRONT ไม่เรียบ

การวิเคราะห์นี้ได้คิดค้นโดย ดร. เจ. รูเซ (DR. J. RUZE) ซึ่งเขาได้ทดลองและให้รายละเอียด ดังนี้ ค่าผิดพลาดของผิวจานที่ผลิตจากทฤษฎี จะทำให้คลื่นเกิดการสะท้อนสะเปะสะปะ (Diffuse Reflection) ซึ่งจะเพิ่มระดับ side-lobe และ ทำให้ เกนจากสายอากาศลดลง เขาได้กำหนดค่าผิดพลาดนี้เป็นค่าเฉลี่ย (rms Deviation) ใช้สัญลักษณ์ σ จากสายอากาศ พาราโบลา จะมีค่าความยาวคลื่นค่าหนึ่งที่จะทำให้ เกนจานสูงสุด ค่าความยาวคลื่นนี้คือ λ_{max} ดังนั้น จะมีค่าเท่ากับ

$$\sigma = \lambda_{max}/4 \quad \equiv \quad \lambda_{max}/16 \quad (2.9)$$

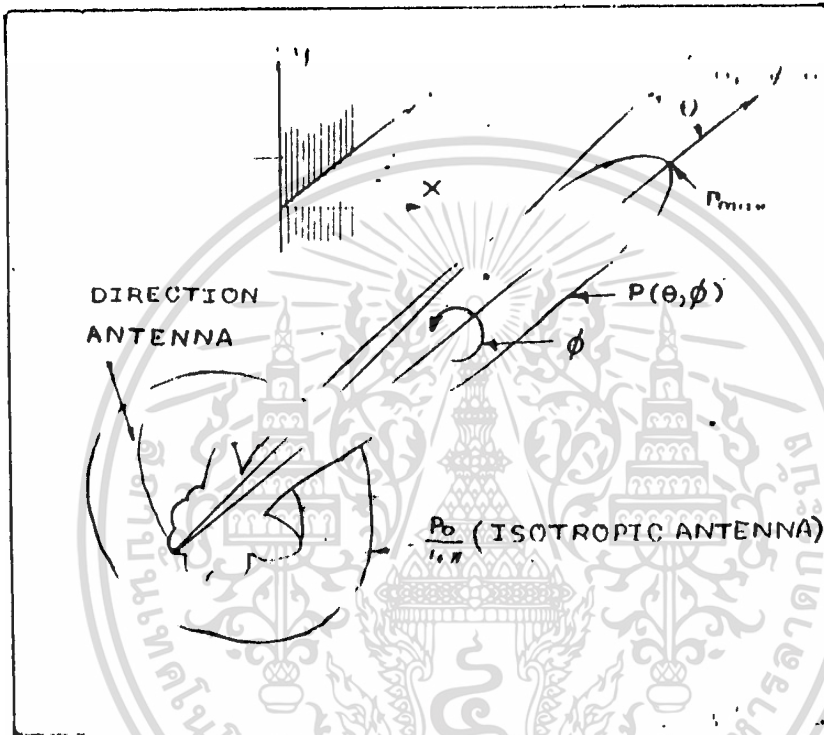
$$\lambda_{max} = 16\sigma \quad (2.10)$$

2.2.2 อัตราการขยายของสายอากาศ (Antenna Gain)

ถ้าสายอากาศด้านส่ง มีแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น รอบตัวทุกทิศทาง เรียกว่า สายอากาศรอบตัว (Isotropic Antenna) มันจะแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปทรงกลม ซึ่งมียูนิฟอร์ม เพาเวอร์ (Uniform Power) = P_0 ในทุกทิศทางตามมุม (θ, ϕ) รอบ ๆ ตัว เมื่อ P_0 คือกำลังส่งที่ป้อนเข้าสายอากาศ

จากรูปที่ 2.6 เป็นสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นไปตามทาง P มีทิศมุมเป็น (θ, ϕ) จะได้อัตราขยาย (Gain, G) เป็น

$$G = [P(\theta, \phi)] / (P_0/4\pi) \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.6 แสดงสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายไปตำ่ิมทาง P ที่มีมุม (θ, ϕ)

เมื่อ

$P(\theta, \phi)$ คือ กำลังที่แพร่กระจายออกจากจานสายอากาศในทิศมุม (θ, ϕ)

$P_0/4\pi$ คือ กำลังที่แผ่กระจายออก

แนวระนาบแนวทแยงมุมของจาน คือ จานสายอากาศกำลังที่แผ่กระจายออกของจานสายอากาศ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เทียบกับกำลังส่ง ที่แผ่กระจายออกจาก จานสายอากาศแนวระนาบ

$$P_{\text{rad}} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.12)$$

ในกรณีทางตรงข้าม ดังรูป 2.7 ถ้าคลื่นตกกระทบบนหน้าจานสายอากาศพาราโบลา ซึ่งมีพื้นที่ประสิทธิผลของจาน (Effective Aperture Area, A_e) ถ้าจานสายอากาศไม่มีการสูญเสียเลย พื้นที่ประสิทธิผล จะเท่ากับ พื้นที่วงกลมของจาน ($A = \pi D^2/4$) แต่ในทางปฏิบัติจะต้องมีการสูญเสีย เช่น มีการบังคลื่นของฟีดฮอร์นหน้าจาน ดังนั้น

$$A_e = \eta \cdot A$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของจาน ปกติมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

เพราะฉะนั้น

$$\text{อัตราขยาย (G)} = 4\pi A_e / \lambda^2 \quad (2.13)$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่น

เกนของจานสายอากาศพาราโบลาตรงกลมจะมีค่า

$$G_{\text{max}} = \eta (\pi D / \lambda)^2 \quad (2.14)$$

เขียนให้อยู่ในรูปของ เดซิเบล (dB) ได้เป็น

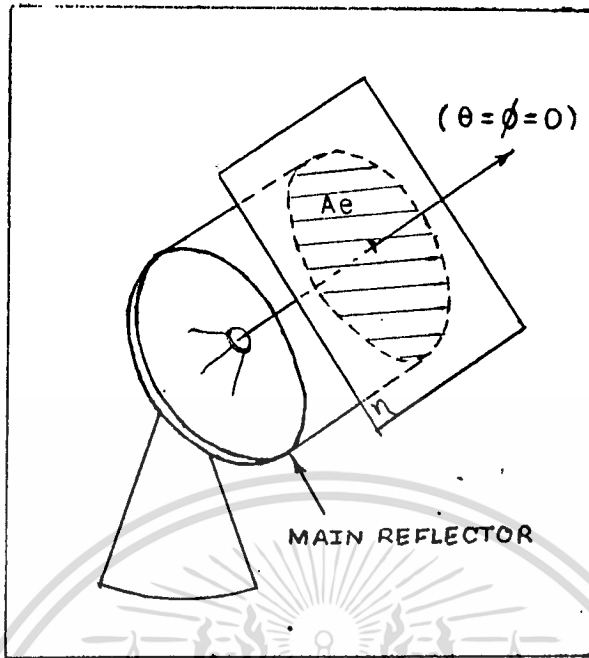
$$G_{\text{max}} = 10 \log [\eta (\pi D / \lambda)^2] \text{ dB} \quad (2.15)$$

ในการออกแบบจานสายอากาศ ค่า η เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวทำให้เกนของจานสายอากาศเปลี่ยน การออกแบบจึงพยายามทำให้ค่า η มีค่าสูงที่สุดจานสายอากาศพาราโบลา จะมีค่า η ประมาณ 0.5 - 0.8 ในสมการ (2.16) เป็นเกนจาก สายอากาศที่มุม θ และ ϕ ใด ๆ ซึ่งจะมีค่าเกนสูงสุด (G_{max}) เมื่อ $\theta = \phi = 0$

$$G_{(\theta, \phi)} = 4\pi A_{(\theta, \phi)} / \lambda^2 \quad (2.16)$$

$A_{(\theta, \phi)}$ คือ ค่าพื้นที่ประสิทธิผลของจานที่มุม (θ, ϕ) ใด ๆ เกนจากสายอากาศรอบตัว จะได้ $G_{\text{max}} = G_{(\theta, \phi)} = 1$ จากสมการ (2.16) หากค่าพื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศรอบตัวได้จาก

$$A_e = \lambda^2 / 4\pi \quad (2.17)$$

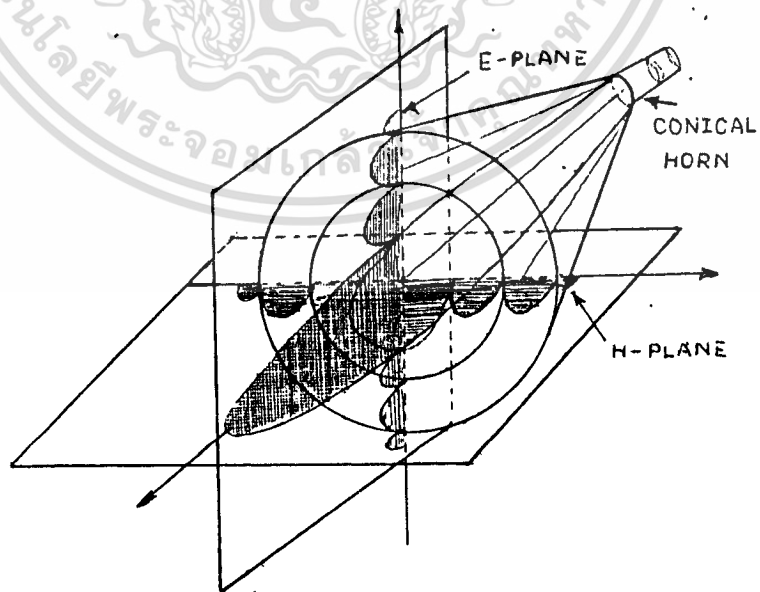


รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่ประสิทธิภาพของสายอากาศพาราโบล่าตัวรับ

2.2.3 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ และมุมวิศก

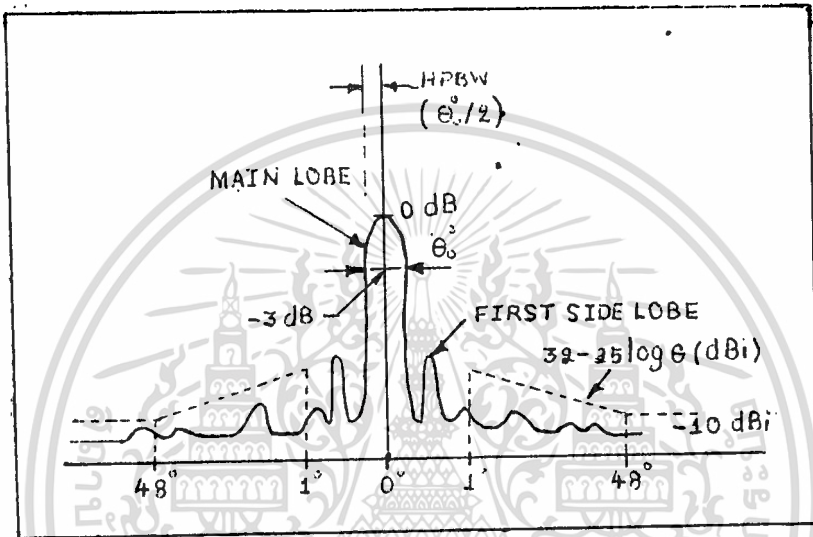
(Radiation Pattern And Beam Width)

ทิศทางการแพร่กระจายคลื่น หรือการรับคลื่นของสายอากาศ เราเรียกว่า Radiation Pattern ดังแสดงในรูป 2.8 แพทเทิร์นของจานจะมีทั้ง E-plane pattern และ H-plane pattern



รูปที่ 2.8 แสดงแพทเทิร์นของสนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H)

แพทเทิร์นในแนวดิ่ง เราเรียกว่า E-pattern ซึ่งจะสมมาตรกับแนกกลางของ
 ฟ้าดอร์น ขณะที่แพทเทิร์นทางแนวนอน เรียก H-pattern จะตั้งฉากกับ E-pattern
 เสมอ บีมวิทท์ที่สามารถหาได้จากรูปแพทเทิร์นที่พล็อตได้จากกราฟดังแสดงในรูป ที่ 2.9 ความ
 กว้างระหว่างจุด 2 จุด ซึ่งเป็นจุดต่ำกว่า Main beam ลงมาอีกข้างละ 3 dB เราเรียกว่า
 Beam Width Angle หรือ Half Power Beam Width



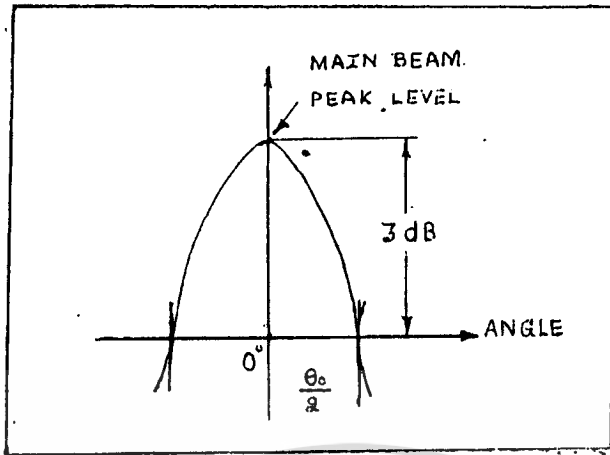
รูปที่ 2.9 แสดงบีมวิทท์ของสายอากาศ

ครึ่งหนึ่งของมุม HPBW ($\theta/2$) คือระหว่าง Main beam กับจุด -3 dB ดังนั้น
 บีมวิทท์ (θ) นี้จะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด ของคลื่นที่กระจายอยู่บนหน้าจานสายอากาศ ค่าประมาณ
 ของ HPBW ของจานสายอากาศนาราโบล่าจะมีค่า

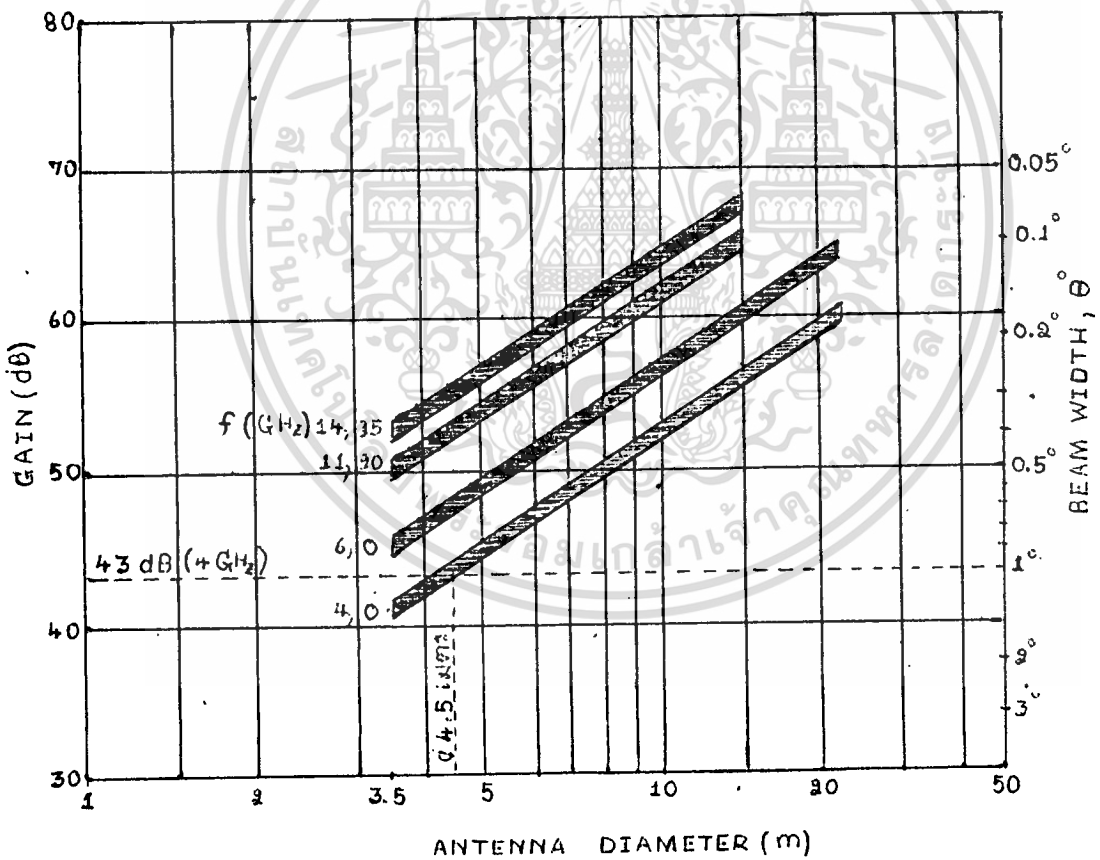
$$\theta = 140 \lambda / D \quad (2.18)$$

เช่น จานสายอากาศ $D = 4.5$ เมตร ที่ความถี่ 4 GHz จะมีค่า

$$\text{HPBW} = 2.32 \text{ องศา}$$



รูปที่ 2.10 แสดงมุม HPBW และ 3 dB บีมวิดท์



รูปที่ 2.11 แสดงค่าเกนสายอากาศ , เส้นผ่าศูนย์กลาง
ของจานสายอากาศ และ 3 dB บีมวิดท์

2.2.4 Side lobe ของจานสายอากาศ

โดยทั่วไป กำลังคลื่นที่แพร่กระจายออกจากจานสายอากาศ จะ เป็นไปตาม Main lobe ของแพทเทิร์น แต่มีกำลังคลื่นบางส่วนแพร่กระจาย ในบริเวณ Side lobe ในทางกลับกันแพทเทิร์นการแพร่กระจายทางด้านรับจะเหมือนกันกับทางด้านส่ง ถ้า Side lobe ของแพทเทิร์นทางด้านรับสูง มันก็จะไปรับเอาคลื่นที่ไม่ต้องการเข้ามาด้วย Side lobe จะเกิดขึ้นกับจานสายอากาศแบบพาราโบลาทุกชนิด และไม่สามารถกำจัดให้หมดได้ แต่สามารถลด Side lobe ลงให้ต่ำ ๆ ได้โดยการออกแบบจานสายอากาศชนิดพิเศษ เช่น จานสายอากาศแบบ Offset Paraboloid Reflector การลด Side lobe สามารถกระทำได้ดังนี้

- (1) ลดระดับของคลื่นที่กระจายอยู่บริเวณขอบ ๆ จานให้น้อยที่สุด
- (2) ลดหรือปรับปรุงความเที่ยงตรงของพื้นผิวจาน (Reflector Surface Accuracy)
- (3) ออกแบบสายอากาศที่ไม่ให้มีอะไรมาบังผิวหน้าจานสะท้อนคลื่น
- (4) ปรับปรุงระบบฟีดฮอร์น คือให้มีการแพร่กระจายคลื่นที่สม่ำเสมอ

ค่าคุณสมบัติทาง Side lobe ของจานสายอากาศ ของสถานีภาคพื้นดิน มีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นตัวรับเอา อินเตอร์เฟอเรนซ์ นอยส์ (Interference noise) ในระบบดาวเทียม เนื่องจากระดับ Side lobe ของสถานีภาคพื้นดินสูงเกินไป ดังรูป 2.11 จะทำให้คลื่นที่เกิดจาก Side lobe ด้านส่งไปปรากฏที่ดาวเทียมดวงอื่น ที่อยู่ใกล้กันในวงโคจร ดังนั้น CCIR ได้กำหนดข้อกำหนดของระดับ Side lobe สำหรับสถานีภาคพื้นดินขึ้น คือ

จานสายอากาศที่มีค่า D/λ มากกว่า 100 อัตราการขยายของ Side lobe ที่มุมต่าง ๆ (θ) จะต้องไม่เกิน

$$\begin{aligned} G(\theta) &= 32 - 25 \log \theta \text{ dBi} \text{ เมื่อ } 1 < \theta < 48 \\ &= -10 \text{ dBi} \text{ เมื่อ } 48 < \theta < 180 \end{aligned}$$

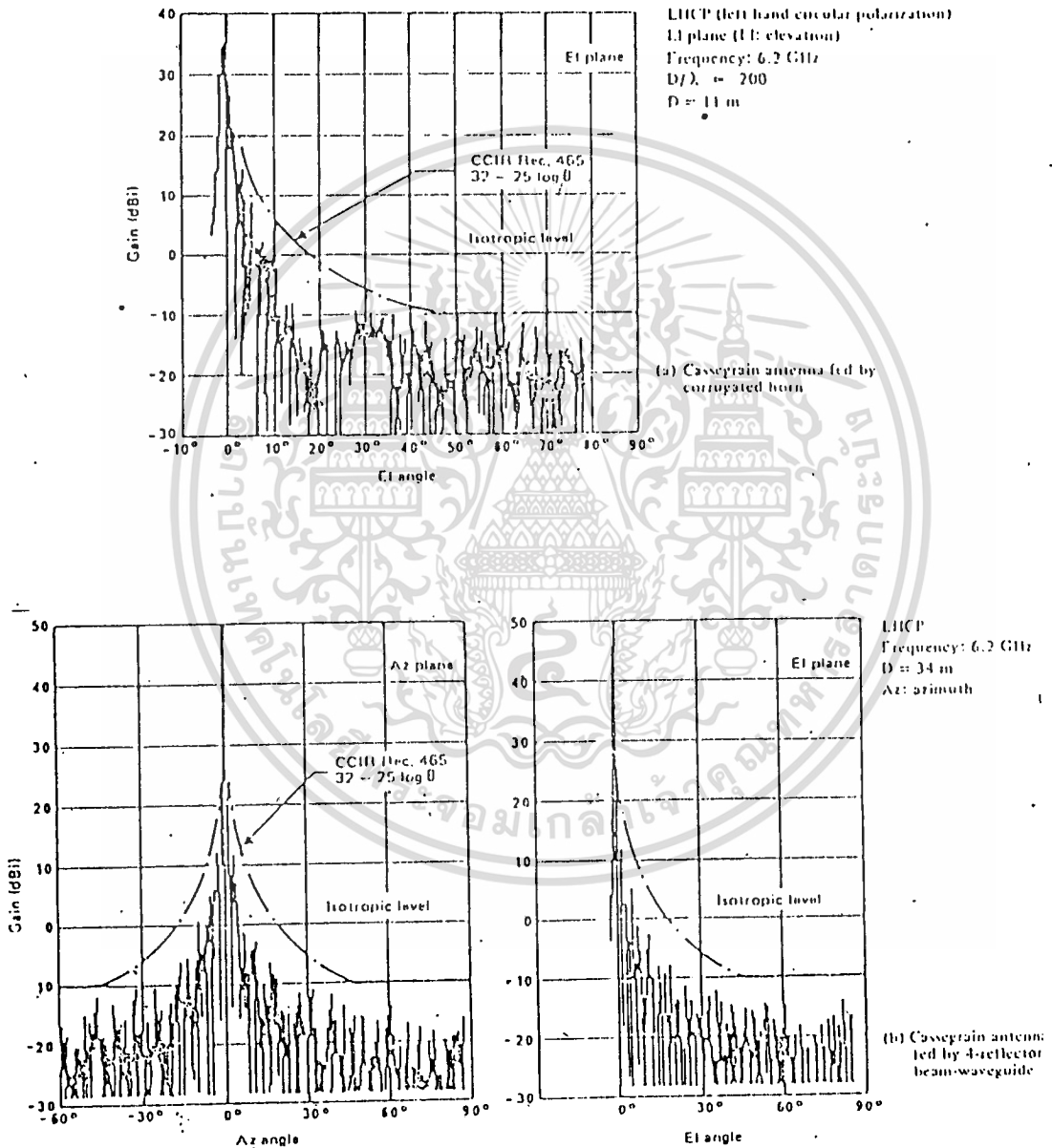
จานสายอากาศที่มีค่า D/λ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 อัตราการขยายของ Side lobe ที่มุมต่าง ๆ (θ) จะต้องไม่เกิน

$$\begin{aligned} G(\theta) &= 52 - 10 \log D - 25 \log \theta \text{ dBi} \text{ เมื่อ } 100 < \theta < 48 \\ &= 10 - 10 \log D \text{ dBi} \text{ เมื่อ } 48 < \theta < 180 \end{aligned}$$

ส่วนสายอากาศที่ออกแบบสร้างหลังปี 2530 CCIR ได้กำหนด Side lobe ใหม่ คือ สายอากาศจะต้องมี Side lobe สูงสุดไม่เกิน 10 % ของค่า

$$G(\theta) = 29 - 25 \log \theta \quad \text{dBI}$$

ซึ่งเป็นจวนสายอากาศที่มีค่า $D/\lambda = 150$ ดังแสดงในรูป 2.12

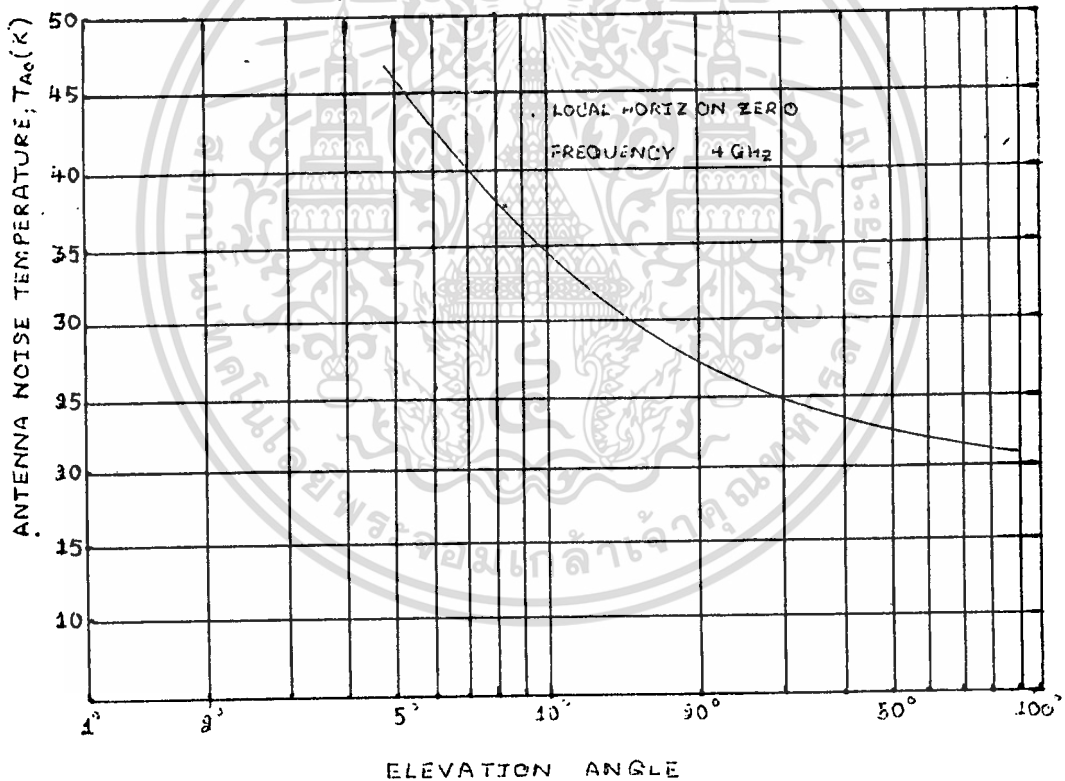


รูปที่ 2.12 แสดงแนวทอรัณการกระจายคลื่นของจวนสายอากาศชนิดต่าง ๆ

2.2.5 Antenna Noise Temperature

นอยส์จากจานสายอากาศจะต้อง ให้มีค่านอยส์ที่ต่ำกว่าที่จะเป็นได้ เพราะนอยส์จะมีผลต่อเกนของจานสายอากาศ แหล่งที่เป็นตัวกำเนิดนอยส์จากจานสายอากาศ ได้แก่

- (1) นอยส์เกิดจากการรบกวนคลื่นของชั้นบรรยากาศ Atmosphere นอยส์ชนิดนี้จะลดลงถ้ามุมเงย (Elevation) ของจานสายอากาศเพิ่มขึ้น
- (2) คอสมิก นอยส์ (Cosmic Noise) คือ นอยส์ที่เกิดจากดวงดาวต่าง ๆ ในอวกาศ
- (3) นอยส์จากพื้นดิน เกิดจากการแผ่กระจายรังสีคลื่นวิทยุของพื้นดิน



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างนอยส์จากจานสายอากาศ กับมุมเงยของจานสายอากาศ

2.2.6 ค่า G/T (Figure of merit at receiver side)

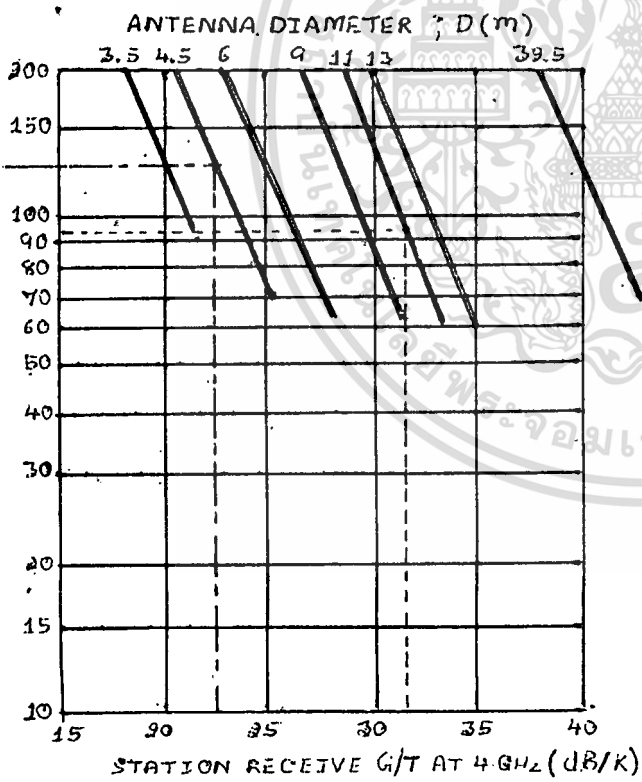
ค่า G/T เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เป็นพื้นฐานสำคัญ ทางภาครับของสถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

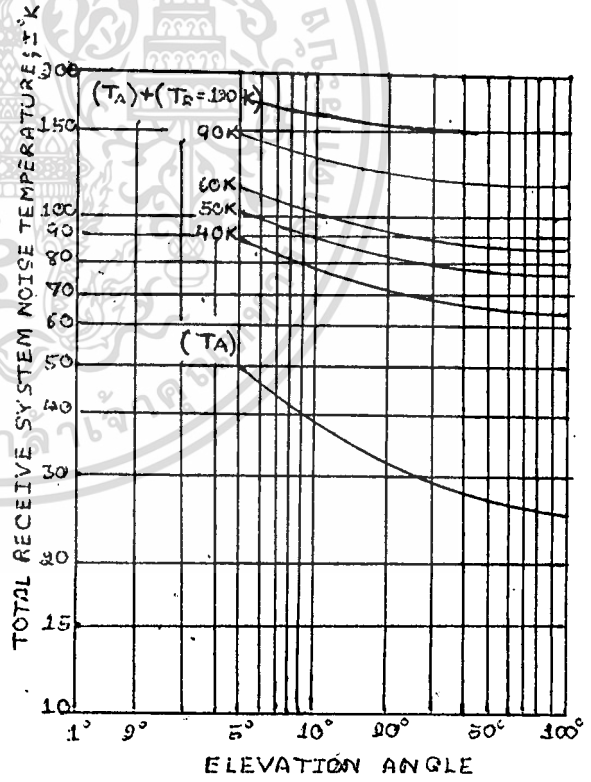
เพราะ เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพของจานสายอากาศและ LNA ว่ามีคุณภาพในการรับ ดีหรือเลว
 อย่างไร ถ้า ค่า G มีค่าสูง ๆ แสดงว่า สถานีนั้นมีคุณภาพในการรับดี เช่น สถานีดาวเทียม
 ภาคพื้นดินของอินเทลแซทมาตรงฐาน A จะต้องมียุทธศาสตร์ $G/T > 40.7 \text{ dB/K}$ ขึ้นไป ค่า G/T จะขึ้น
 อยู่กับอัตราการขยายของจานสายอากาศทางด้านรับกับน้อยสจจากจานสายอากาศและจากเครื่อง
 รับ LNA ดังรูปที่ 2.14 และ 2.15 ตามลำดับ

รูปที่ 2.14 แสดงค่า G/T ที่ความถี่ 4 GHz ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ System noise
 temperature และเส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศ

รูปที่ 2.15 แสดงค่าผลรวมของ System noise temperature ทั้งหมด (T)
 จะขึ้นอยู่กับมุม Elevation ของจานสายอากาศรวมกับ Antenna noise temperature
 และน้อยสจจากเครื่องรับ LNA



รูปที่ 2.14



รูปที่ 2.15

ตัวอย่าง เส้นประแสดงค่า $G/T = 31.7 \text{ dB/K}$ ของจานสายอากาศขนาด 11 เมตร System noise temperature = 50°K ที่มุม Elevation = 8.3°

2.3 คุณสมบัติของจานสายอากาศรับสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม

จากการศึกษา คุณสมบัติต่าง ๆ ของจานสายอากาศ รับสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียมพบว่า จานสายอากาศที่ดีควรมีลักษณะดังนี้ :-

- มีอัตราการขยายสูงในทิศทางที่รับสัญญาณที่ต้องการ
- มีอัตราการขยายต่ำในทิศทางที่รับสัญญาณที่ไม่ต้องการ
- มีประสิทธิภาพสูง (high efficiency)
- มีผลกระทบกระเทือนต่อ noise temperature ของการรับสัญญาณต่ำ
- สามารถที่จะปรับทิศทางของสายอากาศให้รับสัญญาณได้ง่าย
- เมื่อเลี้ยงสายอากาศไปยังดาวเทียมแล้ว ตำแหน่งที่ตั้งของสายอากาศจะต้องเที่ยงตรงและแน่นอน
- มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสายอากาศมาก ต่อกระแสลมและภูมิอากาศที่แปรปรวน
- มีการเปลี่ยนแปลงต่อการสะท้อนคลื่นน้อย
- สามารถให้ความแตกต่างในชั้นของสัญญาณที่รับและส่งได้สูง
- สามารถนำไปดัดแปลงใช้ใน ระบบสายอากาศแบบ multi-beam หรือ multi-band ได้

ซึ่งสิ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติของจานสายอากาศมากที่สุด ได้แก่ รูปร่างและโครงสร้างของจานสายอากาศนั่นเอง ซึ่งพอจะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

2.3.1 ตัวสะท้อนคลื่น และโครงสร้างทางด้านล่างของจานสายอากาศ

ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงรูปร่าง และการปรับทิศทางของจานสายอากาศซึ่งพอจะแบ่งได้ 3 วิธีคือ

- แบบ azimuth -elevation
- แบบ x-y
- แบบ polar mount

ซึ่ง ทั้ง 3 ชนิด จะต้องให้ค่าความเที่ยงตรงสูง แม้ว่าจะมีลมแรงกรรโชก หรือ อนุหภูมิเปลี่ยนแปลงไปมาก ๆ ก็ตาม

2.3.2 ค่าความแน่นอนบนพื้นผิวของตัวสะท้อนคลื่น

พื้นผิวของตัวสะท้อนคลื่นนี้ จะต้องให้มีความแน่นอนมาก แม้จะมีสิ่งมากระทบก็ยังคงที่ จะรักษาสภาพเช่นนั้นไว้ได้ เพราะถ้าเรารักษาสภาพเช่นนั้นไม่ได้แล้ว จะทำให้เกิดสาเหตุ ดังนี้ :-

- เกิดการสูญเสียอัตราการขยายของสัญญาณ
- เกิด side-lobe สูงขึ้นกว่าเดิม
- การสูญเสียของอัตราการขยายของสายอากาศ

$$X = 0.00761 e^{3f^2} \text{ dB}$$

X : การสูญเสียของอัตราการขยายของสายอากาศ dB

e : surface rms error mm.

f : ความถี่ GHz

ถ้าใช้ความถี่ในย่าน 11 GHz หากผิวของจานไม่เรียบ แม้แต่เพียง 1 มม. เท่านั้น จะมีผลทำให้อัตราการขยายลดลงไปประมาณ 1 dB

- การเกิด side - lobe ในย่านความถี่ที่ใช้งานในการทดลองนี้ใช้ย่าน 4/6 GHz ค่าความผิดพลาดบนผิวของจานสายอากาศเพียง 1 มม. (rms) จะทำให้เกิด Side lobe ห่างจากแกนกลางขึ้นมา 2 แต่ถ้าเกิดความผิดพลาด 0.5 มม. ของการปรับ ผิวของจานสายอากาศแต่ละแผ่นจะทำให้เกิด side lobe อยู่ในระหว่าง 2 กับ 10 (ห่างจากแกนกลาง) ดังนั้นจะเห็นว่า ถ้าปรับแผงสายอากาศแต่ละแผ่น ให้ผิวหน้าราบเรียบตามส่วนโค้งของจาน จะทำให้ได้ประโยชน์ :-

- ลดระดับของ side lobe ได้ทั้งหมด
- แหล่งกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ ที่สามารถเข้ามารบกวนจะลดน้อยลง

2.3.3 การปรับทิศทางของจานสายอากาศและการเล็งหาตำแหน่งของดาวเทียม

ในทุก ๆ ระบบ ถ้าการปรับทิศทางของจานสายอากาศ และการเล็งหาตำแหน่งของดาวเทียม กระทำไม่ถูกต้องและแน่นอนจะทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณอย่างมาก เช่น ถ้าใช้จานขนาด 30 เมตร จะต้องมีความแน่นอนอย่างน้อยก็ 0.01 องศา ซึ่งในจานขนาด

ใหญ่ ๆ นี้เขานิยมใช้การปรับทิศทาง และการเล็งหาตำแหน่งของดาวเทียมแบบอัตโนมัติเพียง
 แค่ใช้รับด้วยมือก็พอเพียง ทั้งนี้เพราะว่ามีวิถี ของจานสายอากาศกว้างมาก เมื่อเปรียบ
 เทียบกับจานสายอากาศ ขนาดใหญ่กว่า เช่น จานสายอากาศ ขนาด 4.5 เมตร จะมีมิติ
 ประมาณ 2-3 องศา เท่านั้น

2.4 สาเหตุของการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศแบบ Prime focus feed antenna

2.4.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละชนิด

ในการหาความสัมพันธ์ของสายอากาศนั้น จะคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของสาย
 อากาศที่นำมาใช้งาน เช่น side lobe characteristics, radiation pattern
 เป็นต้น

ชนิดต่าง ๆ ของสายอากาศนั้น พอแยกได้ดังนี้

- (1) Cassegrain antenna
- (2) Prime focus feed antenna
- (3) Off-set reflector antenna
- (4) Horn reflector with conical horn feed
- (5) Cassegrain (Cassegrain feed)

การเปรียบเทียบจะแสดงได้โดยกราฟ pattern ของสายอากาศแต่ละชนิด ซึ่ง
 สามารถคำนวณได้จากการใช้สมการ

$$G(\beta)/G = 1/[1+(\beta/\beta_0)^n] \quad ; \quad 2 < \beta/\beta_0 < 100$$

G = เป็น main beam gain ของสายอากาศ

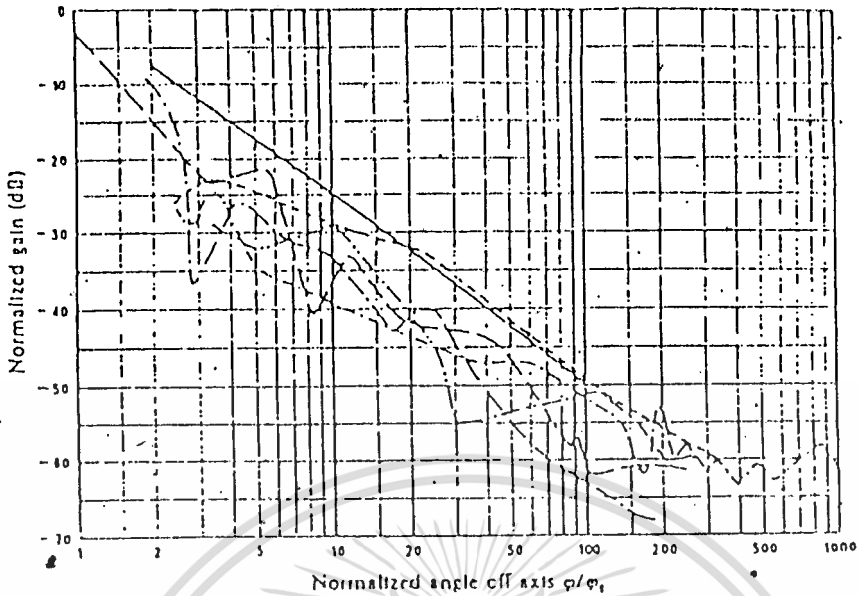
β = เป็นมุมของ main beam axis

$$G(\beta) = 32-25 \log (\beta)$$

$$n = 2.5$$

$$\beta/\beta_0 = \text{half beam width}$$

ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 Measured patterns of various types of antennas

$$G(\rho) = [1 + (\rho/\rho_0)^{2.5}]^{-1}$$

Cassegrain antenna $D = 500$

Prime focus feed antenna $D = 500$

Off-set reflector antenna $D = 100$

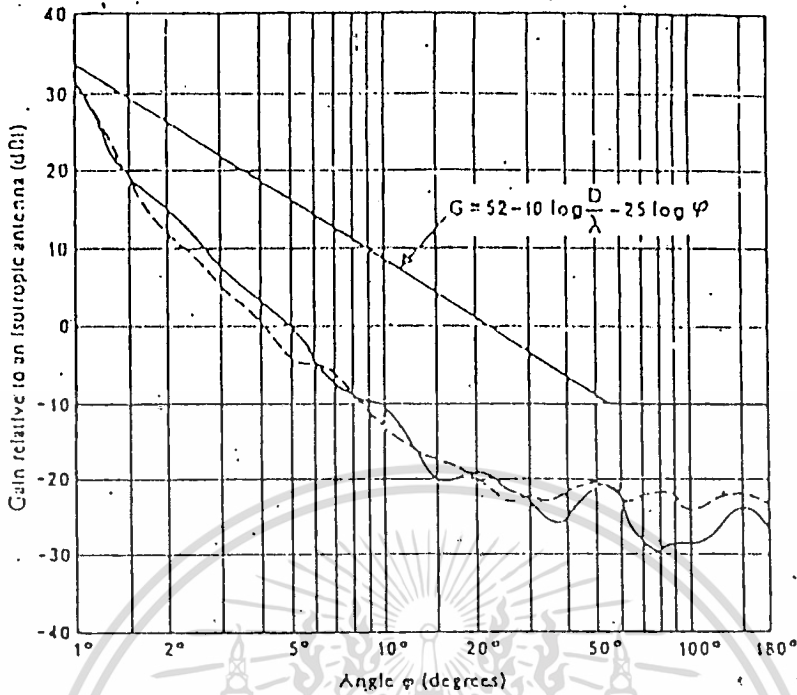
Horn reflector with Cassegrain feed $D = 128$

Horn reflector with conical feed $D = 250$

2.4.2 คุณสมบัติของ side lobe ของสายอากาศแบบ Off-set

ปกติเราต้องการให้ side lobe ของสายอากาศทุกชนิดมีค่าต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งมีการดัดแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศ เช่น ท่อนำคลื่นใช้แบบ dielectric-loaded horn หรือใช้ corrugated horn เป็น primary radiator ก็ได้ ซึ่งจะไม่ทำให้มีส่วนที่จะไปบังการกระจายคลื่นอันเป็นเหตุให้เกิด side lobe

แต่ในบางครั้ง edge-diffraction และ scatter ที่เกิดขึ้นนี้มาจาก side lobe ของสายอากาศนั่นเอง ซึ่งจะสามารถลดได้ โดยใช้ microwave absorber ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Peak envelope pattern of off-set Gregorian antenna without microwave absorber

ดังนั้นจะเห็นว่า คุณสมบัติของสายอากาศแบบ Prime Feed จะมีอัตราการขยายสูงกว่าแบบอื่น ๆ เนื่องจาก Efficiency (η) หรือประสิทธิภาพของจานสูง แต่มี Beam width ค่อนข้างกว้าง ระดับ side lobe ต่ำ การออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นจานรับสัญญาณโทรทัศน์ โดยตรงจากดาวเทียม ซึ่งไม่ต้องมีดิ้นมากนัก

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างจานสายอากาศ

จานสายอากาศที่ออกแบบและสร้างในโครงการนี้ เป็นแบบที่เรียกว่า PRIME FOCUS PARABOLOID ANTENNA ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ เป็นจานรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียม เพราะมีอัตราการขยายสูง ระดับ side lobe ต่ำ การออกแบบและสร้างทำได้ง่ายแต่มีข้อเสียคือมี บีมวิทล์ กว้างกว่าแบบอื่น ๆ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะไม่มีผลต่อการรับชมรายการโทรทัศน์เท่าใดนัก ถ้าต้องการให้จานสายอากาศนี้ส่งสัญญาณขึ้นดาวเทียม จะต้องทำการปรับปรุง ฟีดฮอร์น และจานสะท้อนคลื่นใหม่ ให้มี แพทเทิร์นการแพร่กระจายสัญญาณ ทางด้านส่งและด้านรับแคบลงตามมาตรฐานของ CCIR กำหนดขึ้น และต้องเพิ่มอุปกรณ์ ดังรูปที่ 1.29 ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1

เนื้อหาของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง คุณลักษณะของจานสายอากาศ ที่จะออกแบบและสร้างขึ้น การวิเคราะห์การกระจายคลื่นของจาน การออกแบบและขั้นตอนการสร้างจาน ตลอดจนการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมออกมาเป็นภาพและเสียงได้

3.1 คุณลักษณะของจานสายอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้น

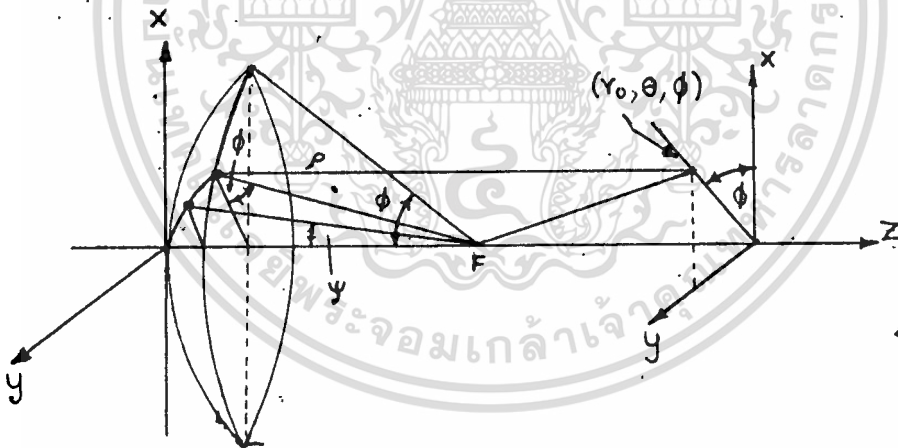
การออกแบบจานสายอากาศ สิ่งที่เราควรจะทำก่อนสร้าง กำหนดได้ดังต่อไปนี้

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปากจาน	4.5	เมตร
2. อัตราการขยายทางด้านรับอย่างความถี่ 4 GHz ด้านวงไว้ 43		dB
3. ลักษณะของ Reflector	Ideal Parabolar	
4. FOCUS/DIAMETER RATIO	0.35	
5. แถบความถี่ใช้งาน ย่าน C-BAND	3.7 - 4.2	GHz
6. ระบบการปรับมุม	Elevation/ Azimuth	
- Elevation กำหนดให้ก้มเงยได้	0-90	องศา
- Azimuth กำหนดให้หมุนได้รอบตัว	0-360	องศา
7. ประสิทธิภาพของจาน (η)	55	%
8. G/T	22	dB/K

ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่กำหนดไว้นี้เป็นค่าที่กำหนดทางทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงแล้ว อาจจะไม่ได้ออกมาตามที่กำหนดไว้ก็เป็นได้ แต่ก็อาจจะได้ค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นแล้ว เรายังต้องควรรู้รายละเอียดของควาเทียมคองที่เราต้องการรับสัญญาณคือ Parape-B และวัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวสะท้อนคลื่น เราจะใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อน

3.2 การวิเคราะห์การกระจายคลื่นของจานสายอากาศ

การวิเคราะห์การกระจายคลื่นของจานสายอากาศ แบบพาราโบลานี้ เนื่องจากจานสายอากาศทำหน้าที่สะท้อนคลื่นจากฟีดฮอร์น ทำให้เป็นคลื่นระนาบ กล่าวคือ มีเฟสตรงกันบนปากของช่องเปิด เพราะฉะนั้น การวิเคราะห์จึงต้องคำนึงถึงลักษณะของฟีดฮอร์นด้วย



รูปที่ 3.1 การวิเคราะห์สายอากาศแบบพาราโบล่า

จากรูปที่ 3.1 เมื่อ F เป็นระยะโฟกัสของจานจากจุดยอด o เป็นรัศมีของจาน r เป็นมุมเงยของจานเมื่อมองจากจุดโฟกัสของจาน สำหรับ ψ คือเส้นตรงจากจุดโฟกัสถึงปากจาน และ F คือจุดโฟกัสของจาน

มุม θ คือมุมที่ r ทำกับแกน X มุม ϕ คือมุมที่ระนาบ $r - Z$ ทำกับแกน X และ จุดสังเกตคือ (r_0, θ, ϕ) ถ้าให้ P เป็นกำลังคลื่นทั้งหมดที่ออกจากฟีดฮอร์น และ $D_p(\Psi, \phi)$ เป็นเพาเวอร์แพทเทิร์นของฟีดฮอร์น และการสะท้อนที่ผิว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟส แต่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ การสะท้อนคลื่นที่ผิวจาน จะเปรียบเสมือนการสะท้อนของคลื่นระนาบที่ผิวโลหะเรียบที่มีขนาดใหญ่เป็นอนันต์ และ ถ้าสนามไฟฟ้าที่ออกจากฟีดฮอร์นมีเฉพาะทิศ X จะได้ผลว่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบนช่องเปิดเป็นดังนี้

$$E_x = Z_0 \bar{H}_y = -(1/\rho) \{ (Z_0/4\pi) D_p(\Psi, \phi) P \}^{1/2} \quad (3.1)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าสมบูรณ์และกระแสแม่เหล็กสมบูรณ์จะเขียนได้ดังนี้

$$J_x = \frac{1}{\eta} \bar{E}_y = (1/\rho) \{ (Z_0 P/4\pi) D_p(\Psi, \phi) \}^{1/2} \quad (3.2)$$

$$M_y = \bar{E}_x * \eta = (1/\rho) \{ (Z_0 P/4\pi) D_p(\Psi, \phi) \}^{1/2} \quad (3.3)$$

และเนื่องจากพื้นที่เล็ก ๆ ds บนช่องเปิดของจานสามารถหาได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \rho &= 2r/(1+\cos\Psi) = r(1+\tan^2(\Psi/2)) \\ &= r \sec^2(\Psi/2) \\ ds &= 2r^2 \tan(\Psi/2) * \sec^2(\Psi/2) d\Psi d\phi \end{aligned} \quad (3.4)$$

ดังนั้นเวกเตอร์โพเทนเชียล ที่ได้จากกระแสไฟฟ้าสมบูรณ์ \bar{A}_x และกระแสแม่เหล็กสมบูรณ์ \bar{F}_y จะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} A_x &= \mu (e^{-jkr_0}/4\pi r_0) (P/4\pi Z_0)^{1/2} 2r \int_0^\Psi \int_0^{2\pi} D_p(\Psi, \phi)^{1/2} \\ &\quad \tan(\Psi/2) e^{+jkr \cos\theta} d\Psi d\phi \\ &= H_y / Z_0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

โดยที่

$$\cos \phi = \{1 + \cos \Psi \cos \theta - \sin \theta \cos(\phi - \theta)\}$$

เมื่อทำการคำนวณกำลังคลื่นที่ออกไป ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยใช้สมการ (3.1)

และสมการ (3.2) และให้เป็น $P_u(\theta, \phi)$ จะได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} G &= P_u(0,0) / (P / 4\pi r_0^2) \\ &= (4\pi f / \lambda)^2 \left| \int_0^\Psi D_p(\Psi)^{1/2} \tan(\Psi/2) d\Psi \right|^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

รูปแสดงผลการคำนวณ ค่าอัตราขยาย โดยแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ประสิทธิภาพ และพื้นที่จริง

$$\begin{aligned} \eta &= A_{eff} / \pi a^2 = G(\lambda^2 / 4\pi) / \pi a^2 \\ &= (2f/a)^2 \left| \int_0^\Psi D_p(\Psi)^{1/2} \tan(\Psi/2) d\Psi \right|^2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

ที่ η โดยทั่วไป มีค่าเท่ากับ 2 จะได้ $D_p(\Psi)$ ดังต่อไปนี้

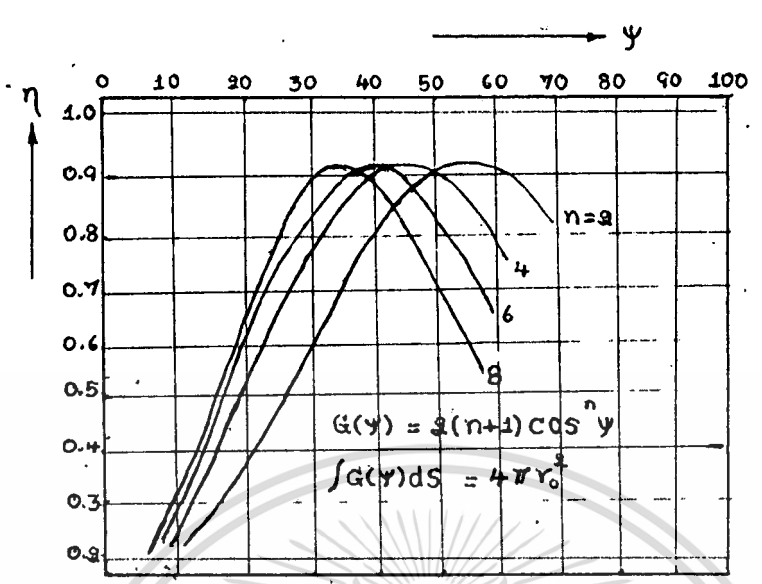
$$D_p(\Psi) = \begin{cases} 2(\eta+1)\cos^2\Psi & \Psi \leq \pi/2 \\ 0 & \Psi > \pi/2 \end{cases} \quad (3.8)$$

จากสมการที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าที่ค่า η ต่าง ๆ จะมีมุมเงยของช่องเปิด Ψ มุมหนึ่งที่ให้ค่า η สูงสุด ดังรูป 3.2 ดังนั้นในการออกแบบโดยเน้นอัตราขยายสูงจำเป็นต้องเลือกค่า Ψ ดังกล่าว

โดยทั่วไปแล้ว ค่า η จะมีผลมาจากหลาย ๆ ด้านด้วยกัน ดังนี้คือ

1. ผลจากการไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบนช่องเปิดเป็น $F(x,y)$ สามารถเขียนได้ดังรูปสมการที่ 3.9

$$\eta_e = \left| \int F(x,y) ds \right|^2 / \int |F(x,y)|^2 ds \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ประสิทธิผล และพื้นที่จริง กับมุมเงยของช่องเปิด

2. ผลจากการล้นจาน (Spill Over) คือการที่พลังงานบางส่วนไม่ได้ถูกสะท้อนด้วยจานสะท้อนซึ่งขึ้นอยู่กับแนวทอร์นของฟีดฮอร์น และมุมเงยของช่องเปิด กำหนดให้เป็น η_s
3. ผลจากการที่คลื่นถูกบังหรือถูกขวาง (Blocking) เกิดจากการที่ฟีดฮอร์น หรือจานสะท้อนคลื่น ตัวรองที่อยู่ทางด้านหน้าของจานสะท้อนคลื่นตัวหลัก บังลำคลื่นที่เข้ามากระทบจานสะท้อนคลื่นตัวหลัก กำหนดให้เป็น η_b
4. ผลจากการกระจัดกระจาย (Scattering) ของคลื่น ซึ่งเกิดจากโครงที่ยึดฟีดฮอร์น ผลส่วนนี้ให้เป็น η_{sc} นอกจากนี้คลื่นยังอาจเกิดกระจัดกระจายเนื่องจากความไม่เรียบของผิวสะท้อน ให้ส่วนนี้เป็น η_{sr}

เพราะฉะนั้น จากรูปที่ 3.3 ประสิทธิภาพของช่องเปิด (η) โดยทั่ว ๆ ไป สามารถเขียนได้ ดังนี้

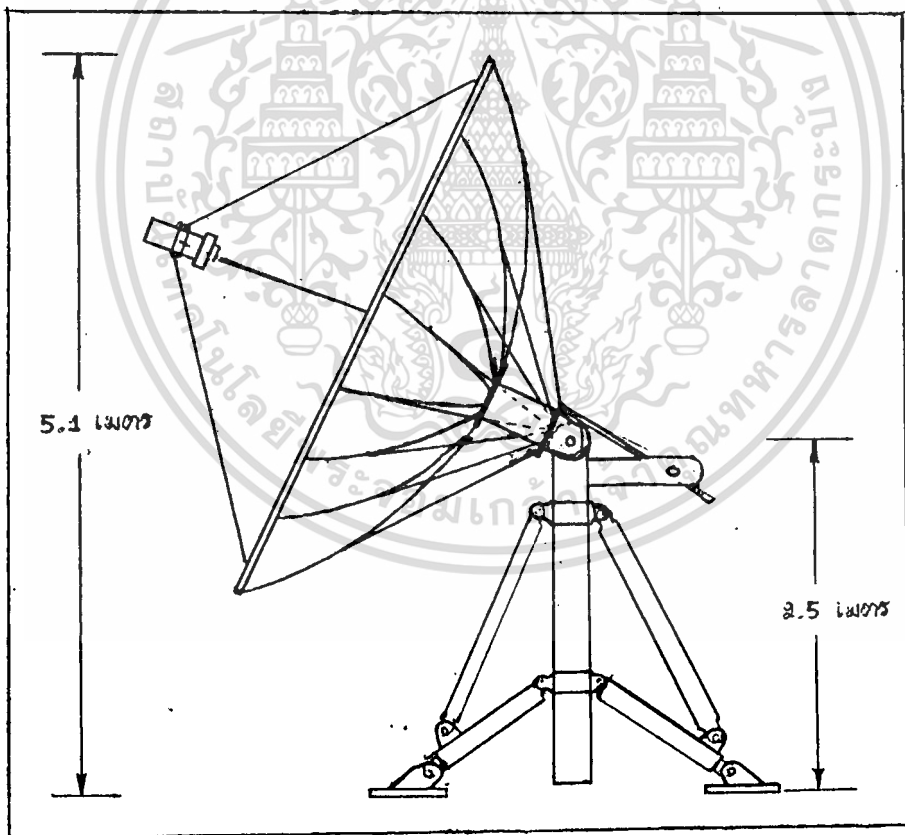
$$\eta = \eta_s \cdot \eta_b \cdot \eta_{sc} \cdot \eta_{sr} \quad (3.10)$$

สำหรับสายอากาศแบบพาราโบลาทั่วไป เนื่องจากฟีดฮอร์นมีขนาดเล็ก และ

น้ำหนักเขาไม่ต้องใช้กันยัดหลาย ๆ กันนัก เพราะฉะนั้น การบดบังคลื่นและการกระจายกระจาย จึงมีไม่มากนัก มีค่าประมาณ -0.1 ถึง -1 dB ขึ้นอยู่กับลักษณะการยัดและความโค้งที่ได้ ส่วนของผิวสะท้อนคลื่น โดยทั่วไปในกรณีที่ใช้คลื่นแบบ ลิเนียร์ โพลาริเซชัน กันยัดที่ห้ามุมตั้งฉากกับ โพลาริเซชัน ของคลื่นจะทำให้เกิดผลจากการกระจายน้อยกว่า ค่า η_1 และ η_2 จะเป็นค่าที่มีความสำคัญมากกว่า โดยทั่วไปผลคูณของค่า ทั้งสองนี้จะประมาณ 0.45 ถึง ค่าประมาณ 0.65

3.3 การออกแบบและขั้นตอนการสร้างจานสายอากาศ

จานสายอากาศพาราโบลาทั่ว ๆ ไป ค่าความยาวโฟกัสจากจุดยอด จะต้องยาว



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของจานที่จะสร้าง

กว่าค่าความยาวจากจุดยอดถึงปากจาน เพราะคลื่นที่วิ่งมากระทบขอบจาน ถ้าเป็นขอบจานที่มีปากจานยาวกว่า ความยาวโฟกัสที่เหมาะสม คลื่นจะไม่สะท้อนเข้าหาจุดโฟกัส ทำให้กลายเป็นพื้นที่สิ้นเปลือง ดังนั้นค่าที่เหมาะสมจะให้ค่า f/D Ratio ประมาณ 0.25 - 0.5 แต่สำหรับจานสายอากาศที่ได้ออกแบบนี้มีความถี่ตั้งหัวข้อ 3.1 และมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.3

3.3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

เริ่มแรกเราต้องกำหนดเป้าหมายก่อนว่าจะรับดาวเทียมดวงไหน และสัญญาณของดาวเทียมที่ส่งลงมา มีความแรงของสัญญาณเท่าใด เพื่อที่จะนำไปประกอบการพิจารณาในการสร้างจานตามโครงการแล้ว กำหนดเป้าหมายที่จะรับจากดาวเทียม PALAPA-B1 ของประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งใช้จานขนาด 3 เมตร จะได้เกนประมาณ 37 dB ก็เพียงพอ แต่ในการสร้างจานอาจจะเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ทำให้เกนของสัญญาณที่รับได้ลดลง อาจจะมีผลมาจากสภาวะแวดล้อมด้วย ดังนั้นในการสร้าง จึงใช้จานสายอากาศขนาด 4.5 เมตร เพื่อหวังผลในการรับสัญญาณจากดาวเทียมอินเทลแซทด้วย ดังนั้น จึงหาค่า เกน ได้ตามสูตร

$$\text{Gain} = 10 \log[\eta(\pi D/\lambda)^2] \quad (3.11)$$

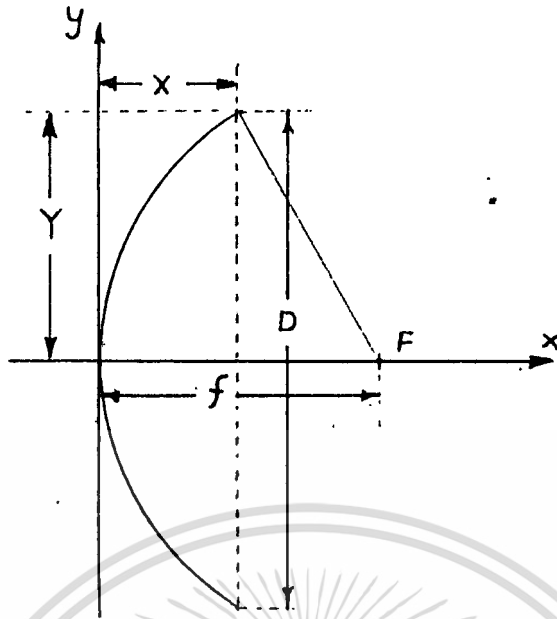
เมื่อ η = ประสิทธิภาพของจาน กำหนดไว้ 55 %
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางของจาน กำหนดไว้ 4.5 เมตร
 λ = ความยาวคลื่นที่ความถี่ 4 GHz มีความยาวคลื่น 0.075 m.
 จะได้ $\text{Gain} = 10 \log (0.55 (\pi * 4.5 / 0.075)^2)$
 $= 49 \text{ จอมเกิ้ล้า dB}$

ต่อไปก็หาค่าโฟกัสของจาน ซึ่งเราให้มี $f/D = 0.35$ ดังนั้น จะได้ระยะโฟกัสจากจุดยอดของจานมีค่า

$$f = 0.35 * 4.5 = 1.575 \text{ เมตร}$$

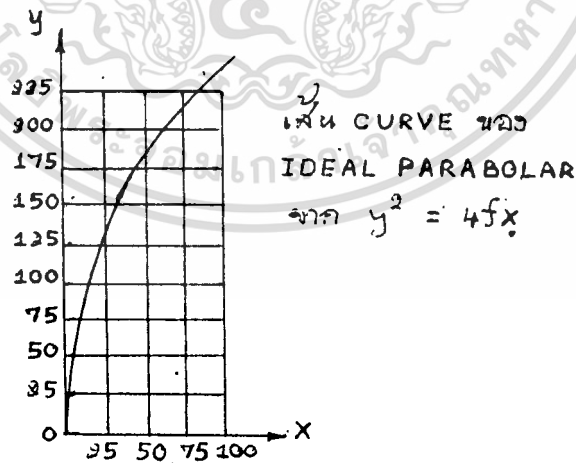
เมื่อได้จุดโฟกัสของจาน ต่อไปก็คำนวณหาความโค้งของจานพาราโบลา ดังรูปที่ 3.4 จาก

$$x = Y^2 / 4(f/D)D \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.4 แสดงความโค้งของจานตามสมการ (3.12)

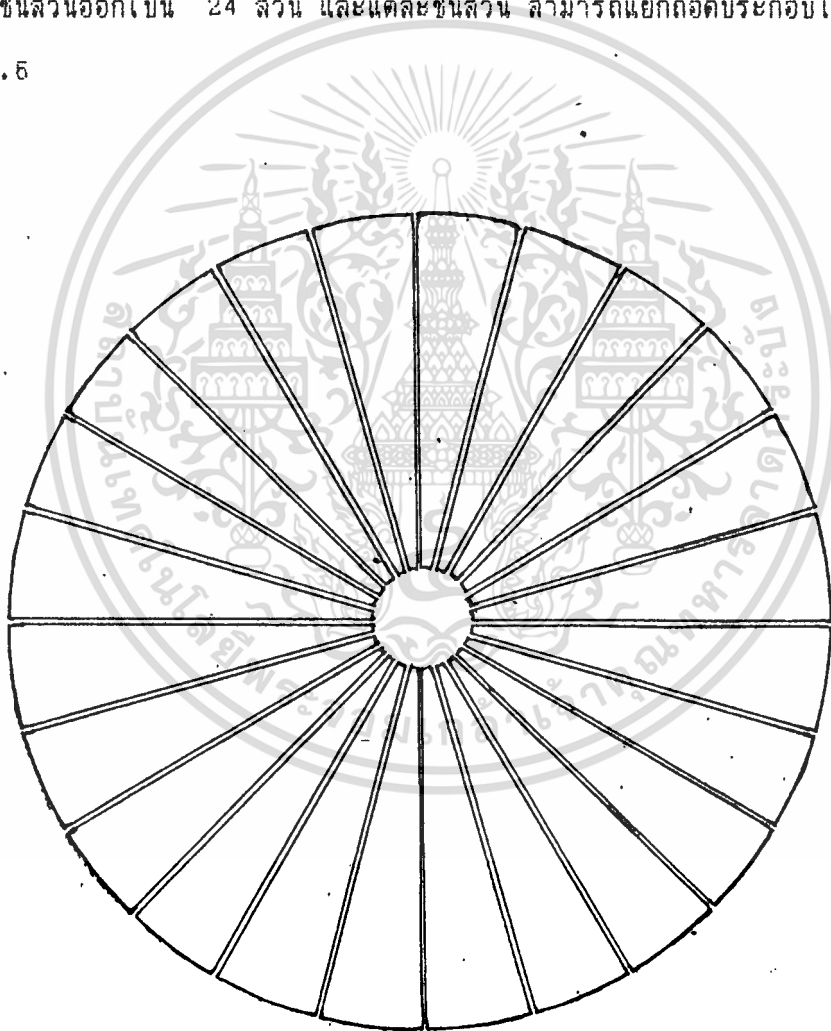
เมื่อแทนค่า Y ในสมการที่ (3.12) ตั้งแต่ 0-2.25 เมตร โดยให้มีความละเอียดในการคำนวณ = 10 cm ก็จะได้ค่า X ออกมา แล้วนำมาพล็อต CURVE จะได้ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็น CURVE ที่เราจะนำไปสร้างเป็นแบบเพื่อใช้ตัดเหล็ก



รูปที่ 3.5 ลักษณะ Curve ของจานเพราโรโบล่า ที่จะสร้าง

สำหรับพื้นผิวสะท้อนของจานหรือ MAIN REFLECTOR วัสดุที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุตัวนำไฟฟ้า ที่มีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นได้ดี เช่น โลหะผิวมัน มีความทนต่อสภาพแสงแดด ฝน การเกิดสนิม การเปลี่ยนรูปร่างได้ยากขณะใช้งาน ราคาถูก สามารถขึ้นรูปร่างง่าย และที่สำคัญคือมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียม ซึ่งมีขายในท้องตลาดคือขนาด 5x8 ฟุต หนา 1.5 มิลลิเมตร มาทำเป็นตัวสะท้อนคลื่น

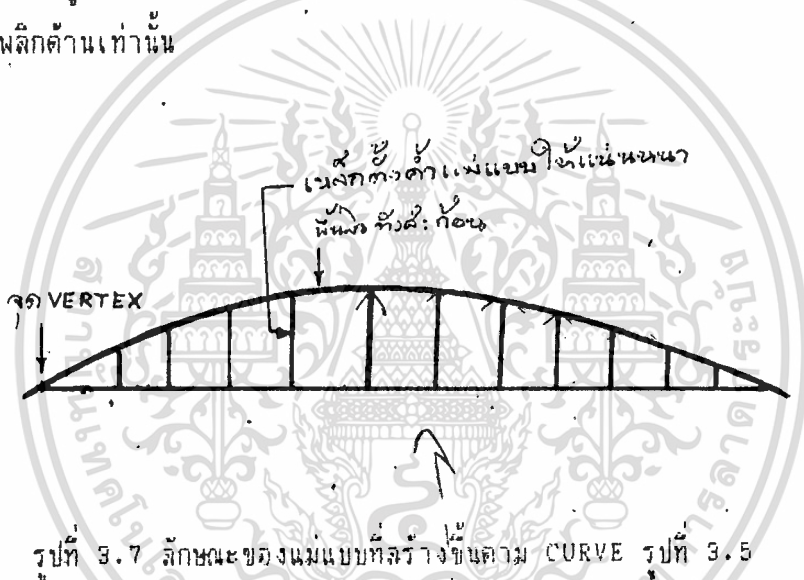
ในการทำโครงสร้างจานนั้น ถ้าโครงสร้างจานยังมีความละเอียดของจำนวนชิ้นส่วนมากเท่าไร ก็จะได้ความโค้งที่ใกล้เคียงกับ IDEAL PARABOLA มากเท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกแบ่งชิ้นส่วนออกเป็น 24 ส่วน และแต่ละชิ้นส่วน สามารถแยกถอดประกอบได้ทั้ง 24 ชิ้น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนของจานพาราโบลาได้ 24 ส่วน

3.3.2 ขั้นตอนการสร้าง

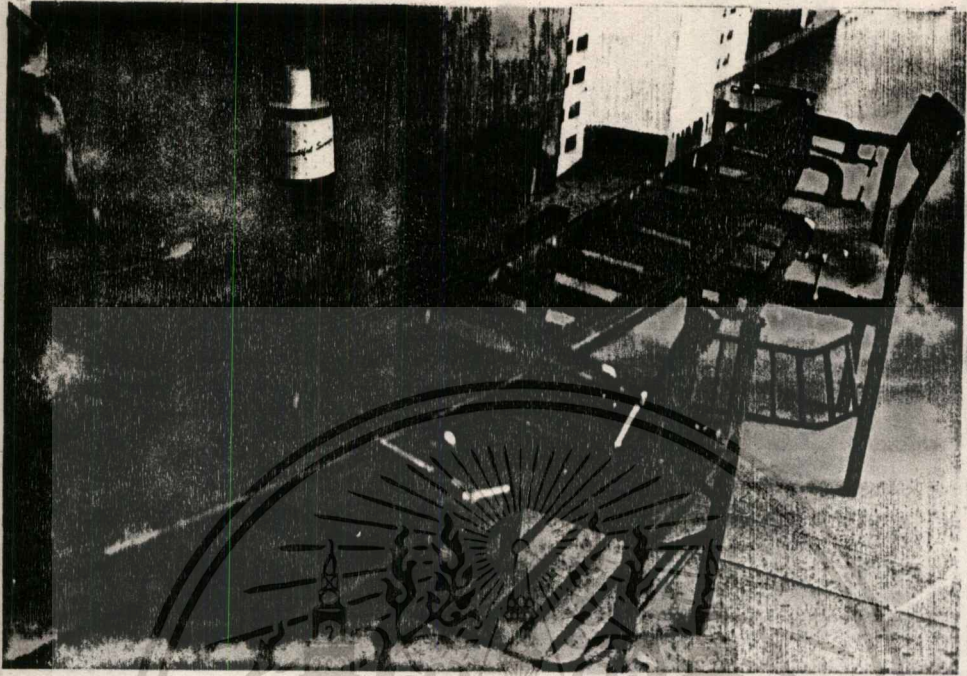
เมื่อทำการออกแบบงานเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ การสร้างงาน จากสมการที่ (3.12) เมื่อหาค่า X และ Y ได้แล้วนำมาพล็อต Curve ได้ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งอาจจะใช้โปรแกรมในภาคผนวก ค. มาคำนวณหา Curve ได้ จาก Curve ที่ได้นำมาสร้างเป็นแม่แบบ เพื่อใช้ตัดเหล็กฉากทำโครงยึดอลูมิเนียม การสร้างแม่แบบ สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าเราจะตัดเหล็กโดยใช้วิธีใด ในการสร้างงานสายอากาศนี้ได้เลือกวิธีที่ให้ความร้อนแก่เหล็กโดยใช้แก๊สเป่า และเนื่องจากว่า ชิ้นส่วนทุกชิ้นสามารถถอดประกอบได้ 24 ส่วน ดังนั้นจึงต้องตัดเหล็กทั้งหมด 48 เส้น แบ่งเป็นข้างซ้ายของชิ้นส่วนได้ 24 เส้น และข้างขวา 24 เส้น จึงเลือกทำแม่แบบดังรูปที่ 3.7 เพื่อที่จะได้สามารถตัดเหล็กทั้ง 48 เส้น โดยใช้แม่แบบอันเดียวกัน เพียงแต่พลิกด้านเท่านั้น



แม่แบบที่สร้างขึ้น จะต้องมีความคงทน แข็งแรง และมีความแข็งแรงกว่าเหล็กฉากที่จะนำมาตัด มิฉะนั้น แล้วเวลาตัดตัวแม่แบบไม่แข็งแรงกว่าเหล็กฉาก จะทำให้แม่แบบชดองได้ เมื่อได้แม่แบบมาแล้วก็นำมาตัดเหล็กฉาก โดยใช้ ขี้-แกล้มป์ เป็นตัวยึดเหล็กฉาก กับแม่แบบ ดังรูปที่ 3.8

วิธีการยึดเหล็กฉากกับแม่แบบ

1. เอา ขี้-แกล้มป์ ตัวที่ 1 ยึดเหล็กฉากกับแม่แบบที่จุดไฟก๊สให้แน่น
2. เอา ขี้-แกล้มป์ ตัวที่ 2 ยึดที่จุดห่างจากจุดไฟก๊สเท่าที่ ขี้-แกล้มป์จะสามารถยึดได้

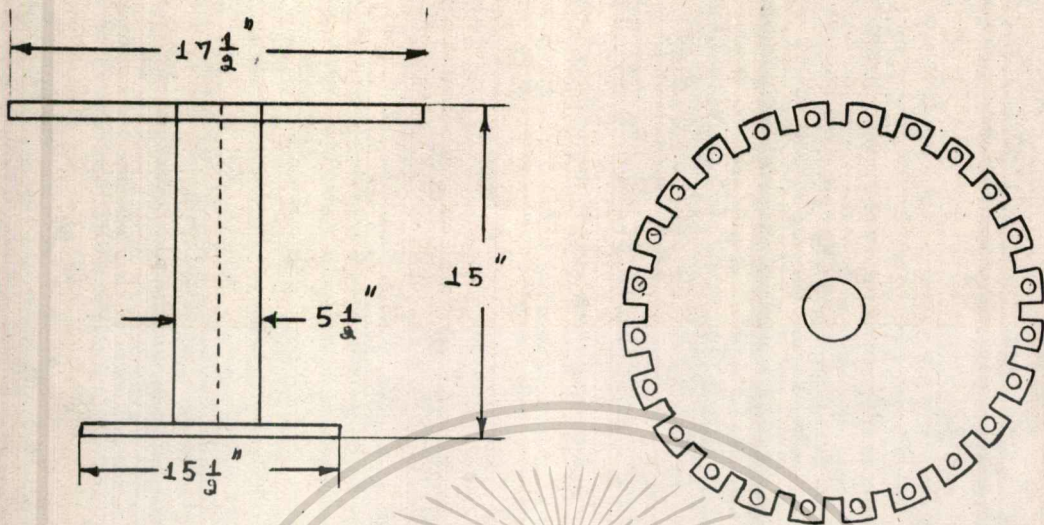


รูปที่ 3.8 การตัดเหล็กจากโตยใช้ ซี-แคลมป์ ยึดติดกับแม่แบบ

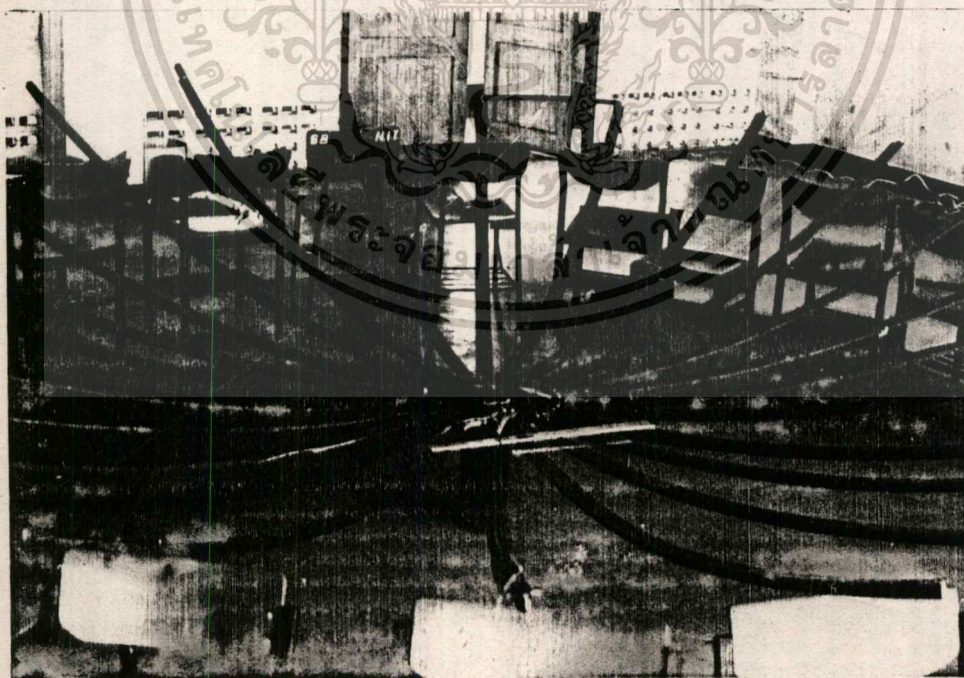
3. เอาแก๊สเป่าเหล็กฉากให้เกิดความร้อน จนเหล็กฉากเกือบจะร้อนแดง โดยไล่ความร้อนเริ่มจากจุดไฟก๊สเป็นหลัก จนสลับปลายอีกด้านหนึ่ง ในระหว่างที่ไล่ความร้อนที่เหล็กให้เอาซี-แคลมป์ที่เหล็กยึดเหล็กฉากกับแม่แบบให้แน่นพอประมาณ โดยยึดไล่หลังจากให้ความร้อนแก่เหล็กบริเวณนั้นแล้ว เมื่อไล่ความร้อนจนสลับปลายอีกด้านหนึ่งแล้ว ถึงจะยึดซี-แคลมป์ให้แน่น เพื่อที่จะได้ให้เหล็กเกิดการขยายตัวเต็มที่ แล้วจะเกิดการคืนรูปเต็มได้น้อยที่สุด ทำให้ได้ CURVE ที่ใกล้เคียงกับแม่แบบมากที่สุด

4. เมื่อตัดเหล็กได้ครบ 24 เส้นแล้ว ให้พลิกแม่แบบ ทำการตัดเหล็ก อีก 24 เส้น ที่เหลือ

เมื่อทำการตัดเหล็กครบ 48 เส้น ก็นำมาแต่ง CURVE ใหม่ จนมีความผิดพลาดน้อยที่สุด แล้วนำเหล็กฉากที่ตัดทั้ง 2 ด้าน มาประกบกันแล้วเจาะรูด้วยนอต จนครบ 24 ชิ้น แล้วนำเข้าไปประกอบกับฐานที่ทำขึ้น ลักษณะของฐานจะเป็นดังรูปที่ 3.9 เมื่อประกอบเสร็จแล้วจะได้ดังรูป 3.10



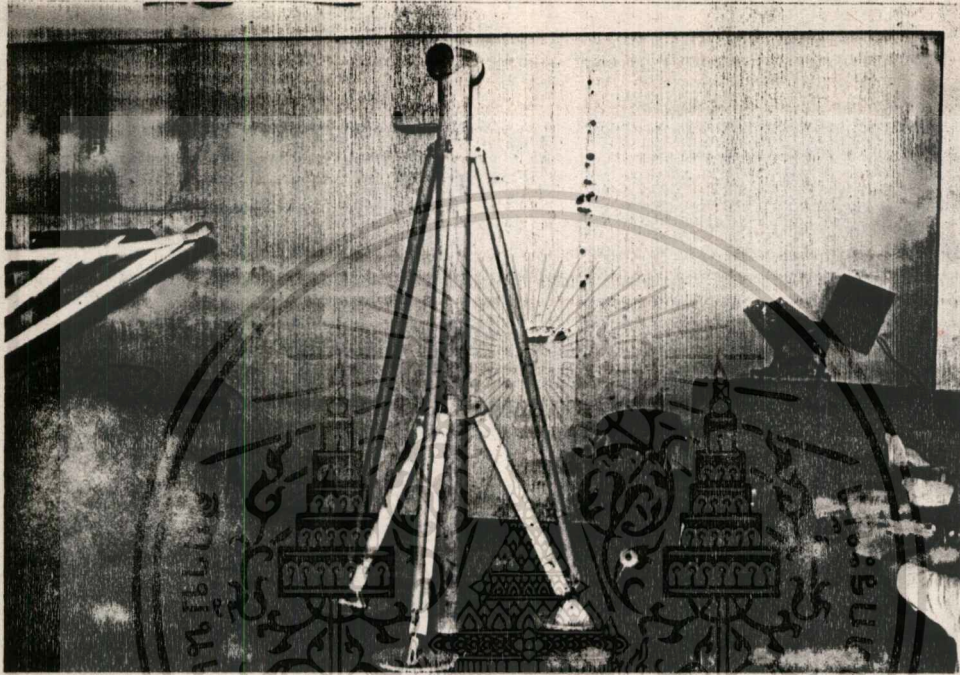
รูปที่ 3.9 งานเบื้องต้นที่ขีดโครงของงานสายอากาศ



รูปที่ 3.10 เมื่อขีดโครงครบ 24 ชิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็ทำโครงขั้วเส้นรอบวงของจาน และที่จุดโฟกัสของแต่ละเชกเมนต์ โดยใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้า แล้วทำการปรับแต่งจนได้ CURVE ของตัวโครงจานทั้งหมดมีขนาดน้อยที่สุด โดยใช้เหล็กเสริมเข้าไปค้ำระหว่างเชกเมนต์ไว้ ซึ่งจะทำให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

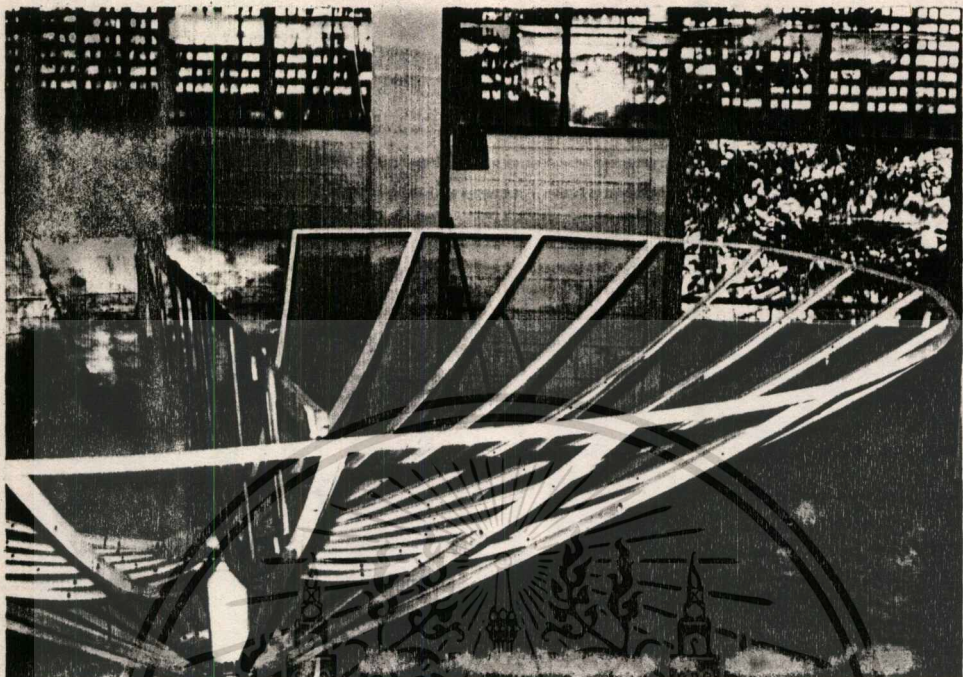


รูปที่ 3.11 โครงของฐานล่างที่ใช้เป็นตัวยึดจานสายอากาศ

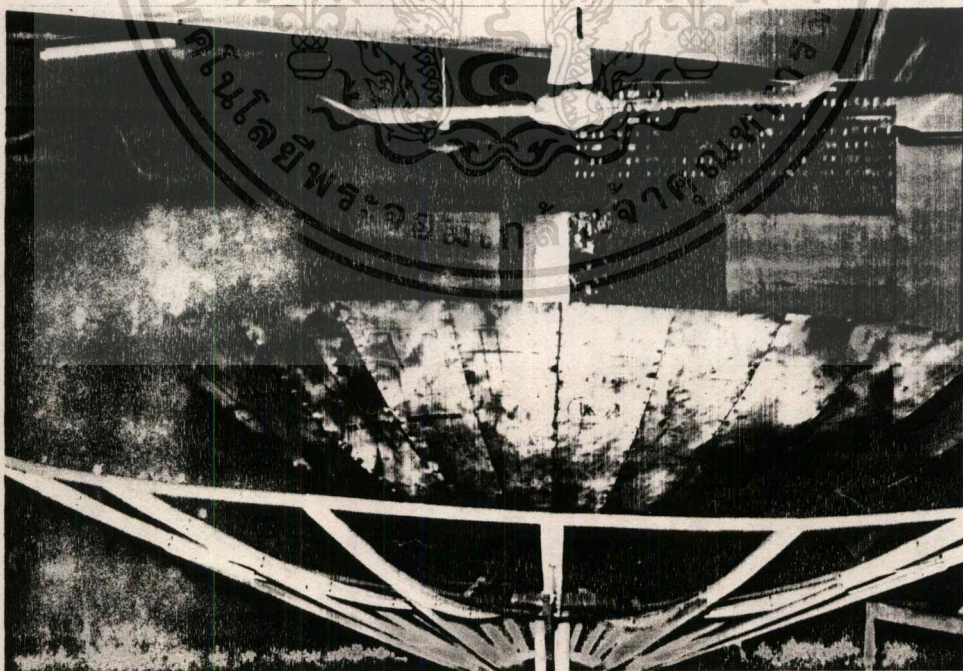
จากนั้นก็ถอดออกมาเป็นเชกเมนต์ แล้วนำมาทำความสะอาด ขัดสีนูนที่มีอยู่ออกให้หมด แล้วทำสีกันสนิมชั้นที่ 1 และสีรองพื้นอีกชั้นหนึ่ง เมื่อสีแห้งสนิท ก็นำมาประกอบเป็นโครงลักษณะเดิม ดังรูปที่ 3.12 เพื่อเตรียมปูพื้น อลูมิเนียมเป็นตัวสะท้อนคลื่น

เนื่องจากแต่ละเชกเมนต์จะมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่จะไม่เท่ากันทีเดียว ดังนั้นจึงต้องทำการวัด แต่ละเชกเมนต์ แล้วตัดกระดาษทำแบบก่อน ถึงจะนำไปตัดแผ่นอลูมิเนียมจริง เมื่อได้แผ่นอลูมิเนียมแล้ว ก็นำไปยึดติดกับเชกเมนต์ โดยใช้ RIVET ยิงยึดติด เมื่อครบทุกเชกเมนต์แล้ว ก็พับล็อกครึ่งหนึ่ง

ในการยึดแผ่นอลูมิเนียม ต้องทำด้วยความละเอียดรอบคอบ นิถีนิถีกันมาก เพื่อให้แผ่นอลูมิเนียมยึดติดกับโครงให้สนิทที่สุด และมีความเรียบเสมอกันตลอด CURVE ของเชกเมนต์ จาก



รูปที่ 3.12 โครงของงานสายอากาศที่ทาสีแล้ว
 นี้ก็นำงานสายอากาศที่ทาสีเรียบร้อยแล้ว ไปยึดติดกับฐานค้ำที่สร้างขึ้น แล้วตั่งสีใหม่อีกครั้ง
 หนึ่ง ก็จะได้งานที่สำเร็จสมบูรณ์พร้อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เสริมต่อไป

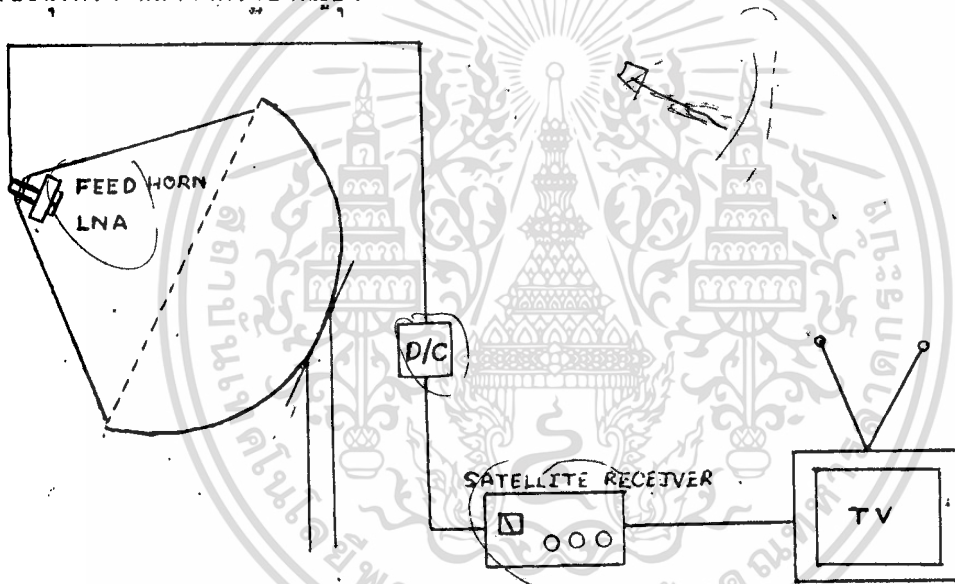


รูปที่ 3.13 ตัวงานสายอากาศที่สร้างเสร็จแล้ว

3.4 การติดตั้งอุปกรณ์และการปรับทิศทางของจานสายอากาศ

3.4.1 การติดตั้งอุปกรณ์

สามารถทำได้ดังรูป ที่ 3.14 สิ่งสำคัญในการติดตั้งอุปกรณ์ คือ การยึดฟีดฮอร์น ถ้าเราทำการยึดฟีดฮอร์นไม่ดี ก็จะมีผลทำให้เกนของสัญญาณที่รับได้ลดลงเป็นอย่างมาก ในการยึดฟีดฮอร์น จะใช้เหล็กเส้นทำเป็น 3 ก้าน ยึดฟีดฮอร์นให้อยู่ตรงจุดโฟกัสของจาน เพื่อความแข็งแรง และจุดโฟกัสจะไม่เกิดการคลาดเคลื่อนในภายหลัง ซึ่งจะทำให้เกิดการบังลำคลื่นที่มาตกกระทบบานมากกว่า แบบที่ใช้ก้านเดียวตั้งตรงจุด Vertex ของจานก็ตาม แต่ความคงทนจะมีมากกว่าตามรูปที่ 3.14 ซึ่งฟีดฮอร์น , LNA , DOWN CONVERTER และ RECEIVER ได้ รับอนุเคราะห์ที่มาจากรัฐบาลญี่ปุ่น



รูปที่ 3.14 การติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับจาน

3.4.2 การปรับทิศทางของจานสายอากาศ

ในการปรับทิศทางของจานสายอากาศ มี

1. ตำแหน่งของจาน

2. ตำแหน่งที่จะรับสัญญาณโลก

- ดาวเทียม PALAPA B1 อยู่ที่ตำแหน่ง Longitude 108 °E เหนือ Equat

- กรุงเทพ ฯ อยู่ตำแหน่ง

Latitude 13 43' 30" N

Longitude 100 31' 03" E

การปรับจ่านิมิตทั้งหมดรอบตัว (Azimuth Angle)

และมุมเงย (Elevation Angle)

การปรับมุมเงย : หาได้จากสูตร

$$QE = \tan^{-1} \left\{ (\cos \alpha \cos \beta - 0.15084) / (1 - \cos \alpha^2 \cos \beta^2)^{1/2} \right\}$$

α = คือตำแหน่ง Latitude ที่จะรับที่ประเทศไทย คือ 13.73 N

β = คือตำแหน่งของดาวเทียม-ตำแหน่ง Longitude ที่จะรับ

$$= 108 - 100.52 = 7.48$$

0.15084 คือค่า Constant หาได้จาก

$$R / (R + H)$$

R = คือรัศมีของโลก = 6370 กิโลเมตร

H = คือความสูงของดาวเทียม = 35860 กิโลเมตร

แทนค่าในสูตร

$$QE = \tan^{-1} \left\{ (\cos 7.48 \cos 13.73 - 0.15084) / [1 - (\cos 7.48)^2 (\cos 13.73)^2]^{1/2} \right\}$$

$$= 71.67 \text{ องศา}$$

หรือมุมเงยทำมุมกับระดับสายตาขึ้นไป เป็นมุม 71.67 องศา

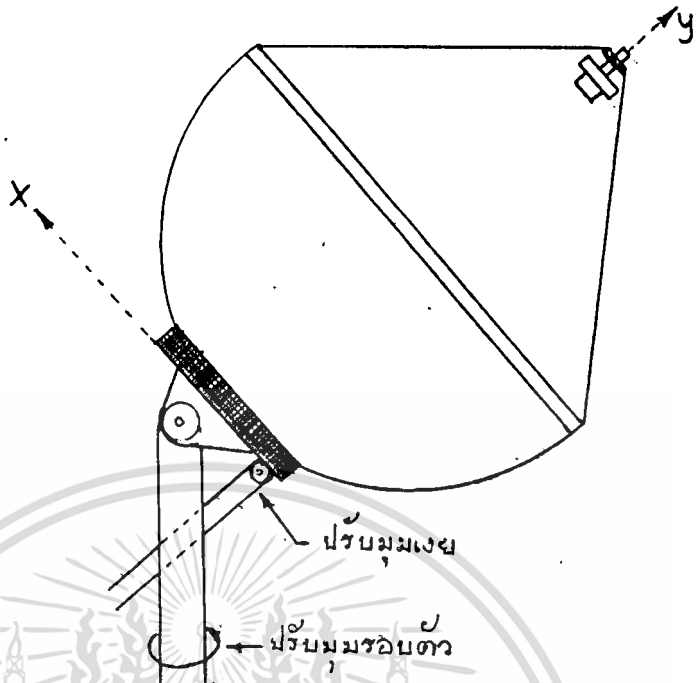
หามุมรอบตัว : หาได้จากสูตร

$$QA = \tan^{-1} (\tan \beta / \sin \alpha)$$

$$= \tan^{-1} (\tan 7.48 / \sin 13.73)$$

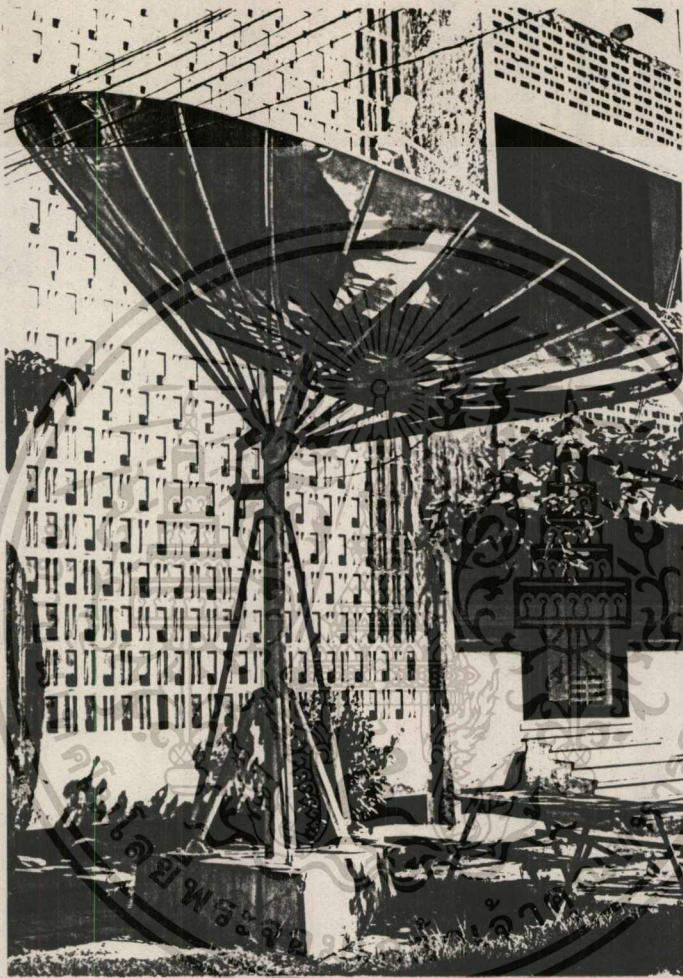
$$= 28.95 \text{ องศา}$$

คือมุมรอบตัวหวนจากทิศใต้ไปทางตะวันออก = 28.95 องศา

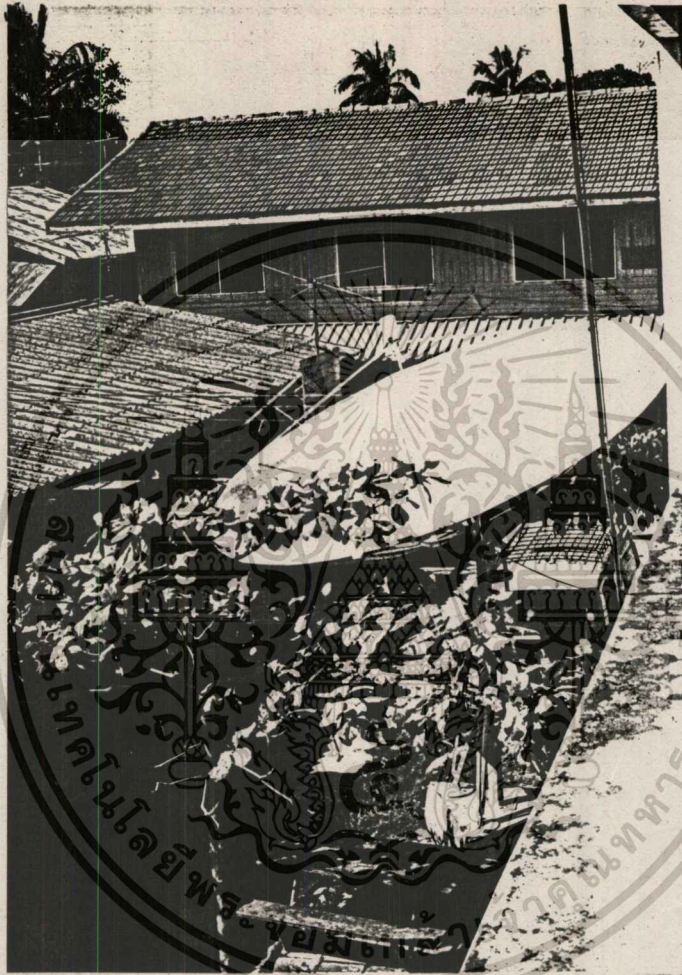


รูปที่ 3.15 การปรับทิศทางของจานสายอากาศ

เมื่อเราหามุมเงย และมุมหมุนรอบตัวได้แล้วจากการคำนวณ เราก็ปรับตามที่คำนวณได้ โดยตอนแรกเราให้ แกนฐานของจานเป็นแกน X และแกนแนวตั้งฉากกับฐานของจาน หรือแนว Focus เป็นแกน X โดยเราจะให้แกน X หรือแกนฐานของจานชี้ไปทางทิศใต้ (Magnetic South Pole) ก่อน ต่อมาก็ปรับแกน หรือแกนแนว Focus ให้ทำมุมกับระดับสายตาขึ้นไปบนท้องฟ้าเท่ากับมุมที่คำนวณได้ คือ 71.67° แล้วจึงปรับมุมรอบตัวของแกน X หรือแกนฐานของจานไปทางทิศตะวันออก เป็นมุม 28.95° องศา ก็เป็นอันเสร็จพิธีการในการปรับฐาน เราก็จะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียม PALAPA-B1 ได้



รูปที่ 3.16 ลักษณะของจานรับพลังงานจากดวงอาทิตย์
ที่ติดตั้งเสร็จพร้อมที่จะรับพลังงาน



รูปที่ ๓.๑๗ ลักษณะของงานรับสัญญาณเมื่อถ่ายจากที่สูง

บทที่ 4

การทดสอบหาค่า พารามิเตอร์ ต่าง ๆ ของจานสายอากาศ

จานสายอากาศที่ได้ออกแบบ และสร้างขึ้นนี้ เป็นจานสายอากาศ ที่ใช้กับระบบ STVRO คือ รับสัญญาณโทรทัศน์ได้อย่างเดียว เพราะได้ออกแบบ Main Reflector เป็น ideal curve ดังนั้นการหาค่าพารามิเตอร์ของจานสายอากาศ จึงหาเฉพาะด้านรับด้านเดียว

ค่าพารามิเตอร์ของจานสายอากาศสำหรับ STVRO : มีดังนี้

- ANTENNA RECEIVE GAIN
- FIGURE OF MERIT [G/T]
- RECEIVE ANTENNA PATTERN
- HALF POWER BEAM WIDTH [3 dB BEAM WIDTH]
- 12 dB BEAM WIDTH
- SIDE LOBE
- CARRIER TO NOISE RATIO [C/N]

ในการหาค่าพารามิเตอร์นี้ ได้นำขั้นตอนวิธีการปฏิบัติ ตามมาตรฐานขององค์การ INTELSAT ซึ่งจะได้แสดงดังต่อไปนี้

4.1 การวัด ANTENNA RECEIVE GAIN [G]

4.1.1 เครื่องมือวัด

1. Spectrum Analyzer
2. LNA Gain = 49 dB
3. Down Converter [4GHz/70 MHz] Gain 25 dB

4.1.2 ขั้นตอนการวัด

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูป 4.1 ปรับจานสายอากาศ ให้ตรงดาวเทียมมากที่สุด โดยใช้ Spectrum Analyzer วัด Clean Carrier จากดาวเทียม [Clean Carrier คือ Carrier ที่ไม่มีการ Modulate Information เข้าไป]
2. วัดค่า IF Level ของโทรทัศน์ ที่ Output ของ Down Converter

3. คำนวณ Receive Gain [Grx] ของจานสายอากาศจากสูตร

$$G_{rx} = R_{rx} [dBm] - [EIRP]_{sat} + LOSS - G_{[LNA]} + L_{[D/C]} - G_{[D/C]} - 30 \quad (4.1)$$

โดยที่ :-

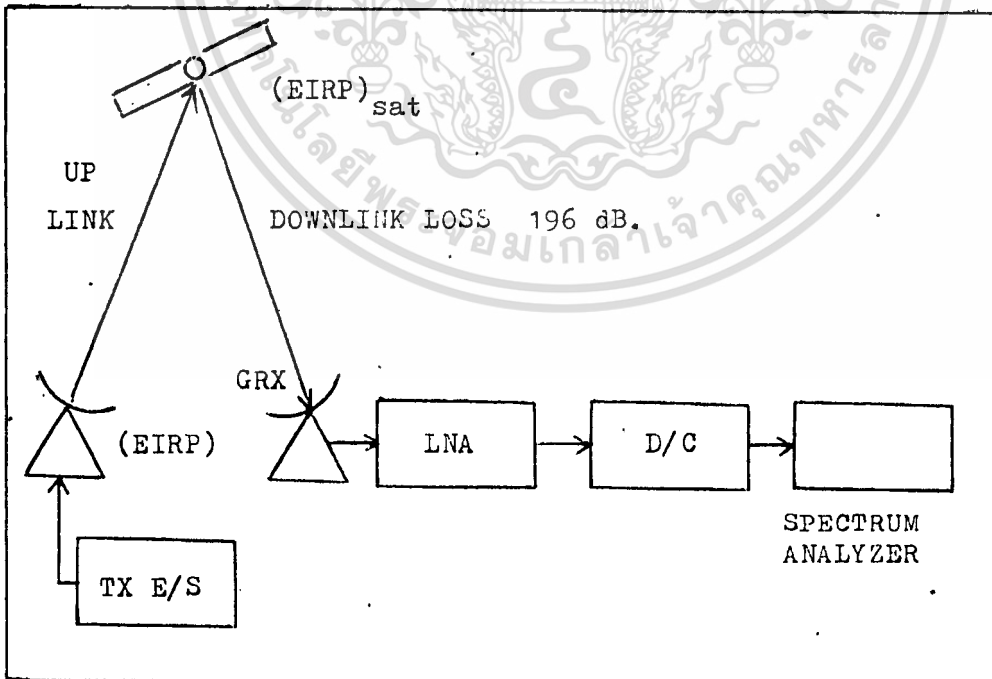
- [EIRP]_{sat} = 26 dBw
- LOSS = 196 dB [Path Loss]
- R_{rx} = Receiver Level [dBm]
- G_[LNA] = 49 dB [LNA Gain]
- L_s = 3 dB [Coaxial Loss]
- G_[D/C] = 25 dB [D/C Gain]

แทนค่าในสมการ (4.1)

$$G_{rx} = -28 - 26 + 196 - 49 + 3 - 25 - 30$$

$$= 41 \text{ dB}$$

เทียบกับมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เมตร คือ 43.6 dB.



รูปที่ 4.1 การวัด Receive Gain ของจานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัด G/T โดยใช้ SPECTRUM ANALYZER วัดโดยตรง

การวัดค่า G/T วิธีนี้สามารถทำได้โดยวัดจากสัญญาณ Beacon หรือสัญญาณ Setu rated Unmodulate on Test Carrier

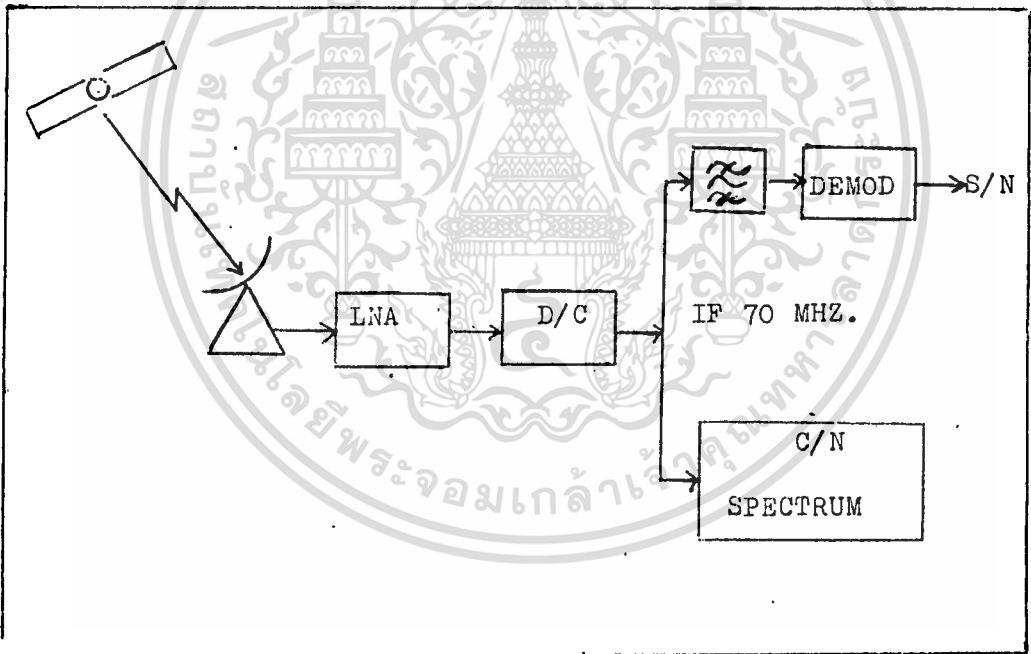
4.2.1 เครื่องมือวัด

- Spectrum Analyzer

4.2.2 ขั้นตอนการวัด

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูป 4.1 ปรับจานสายอากาศให้ตรงดาวเทียมมากที่สุด โดยใช้ Spectrum Analyzer วัดสัญญาณโทรทัศน
2. วัดค่าของสัญญาณที่สูงสุดกับระดับ Noise ดังรูป 4.3 เรียกค่า Y Factor ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$Y \text{ Factor} = \text{Peak Carrier Level} - \text{Noise Level} \quad [\text{dB}]$$



รูปที่ 4.2 แสดงการวัด C/N ของสัญญาณโทรทัศน

3. หาค่า C/N₀ โดยแทนค่าในสูตร

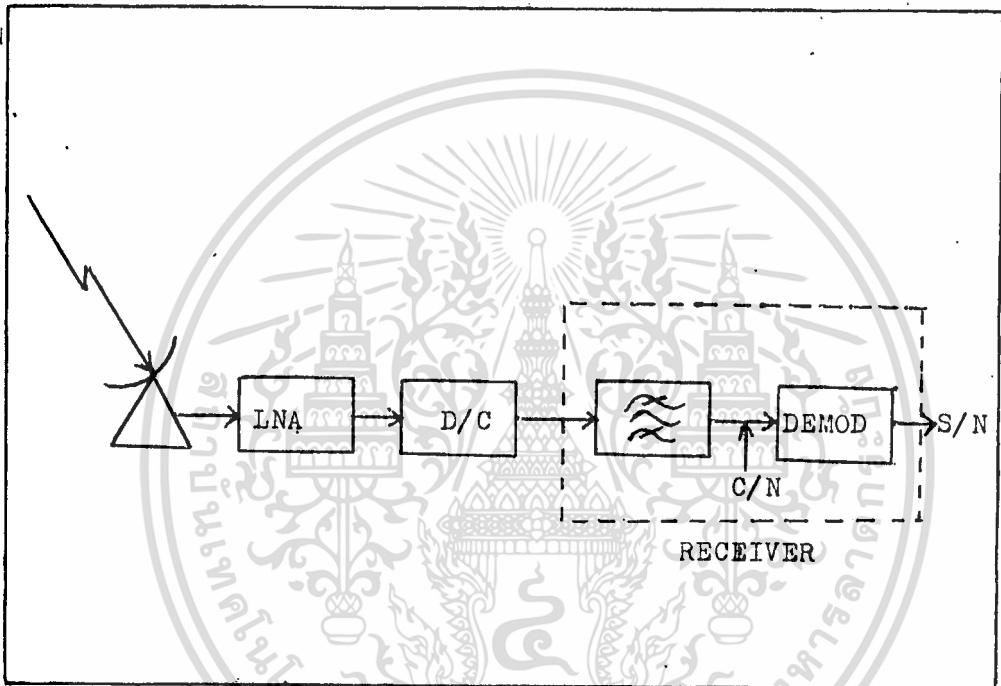
$$C/N_0 = Y - 10 \text{ LOG} (1\text{Hz}/\text{RBW}) - 2.5 \quad [\text{dB}/\text{Hz}] \quad (4.2)$$

C/N₀ คือค่า Carrier to Noise Density ที่ Band Width 1 Hz

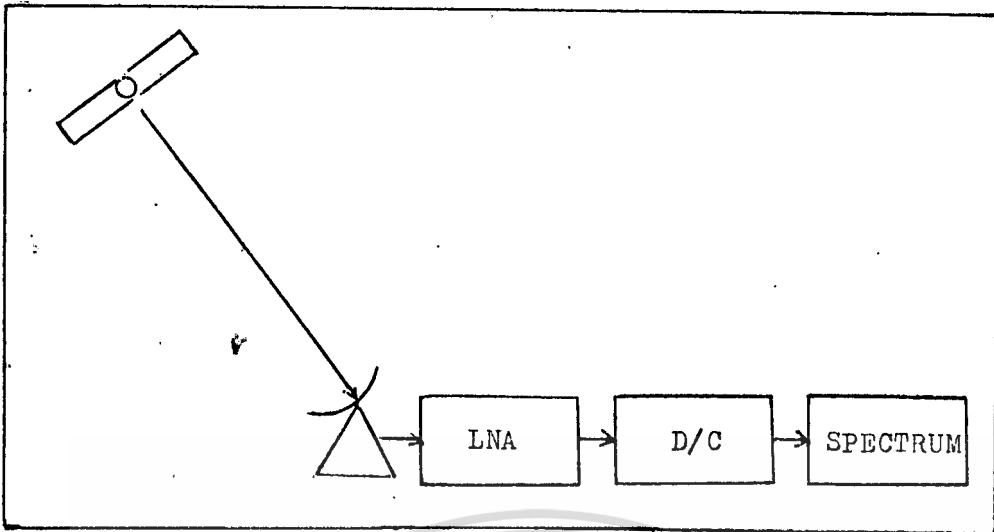
RBW คือค่า Resolution Band Width ของ Spectrum Analyzer

จะเห็นได้ว่าค่า C/N ที่รับได้จากดาวเทียม PALAPA B-1 จะสูงกว่าค่า C/N ที่รับได้จากดาวเทียม INTELSAT อยู่ 5 dB ซึ่งเป็นผลมาจากกำลังส่งของดาวเทียม PALAPA B-1 สูงกว่า ของดาวเทียม INTELSAT อยู่ประมาณ 5 dB ณ จุดที่รับสัญญาณดาวเทียมในประเทศไทย

ค่า C/N สามารถเลือกได้จากวงจร Band Pass Filter ใน Receiver ซึ่งถ้าจะให้ค่า C/N สูงขึ้น ต้องเลือก BPF ให้มี BW แคบลง



รูปที่ 4.4 Block Diagram การวัด C/N



รูปที่ 4.3 แสดงการวัด Pattern ของจานสายอากาศด้านรับ

4.3.2 ขั้นตอนการวัด

1. ต่อดวงจรรูป 4.3 ปรับจานสายอากาศให้ตรงกับดาวเทียมมากที่สุด โดยใช้ Spectrum Analyzer วัดสัญญาณ Unmodulate Carrier [ในที่นี้ใช้สัญญาณของ TV CH-5 จากดาวเทียม PALAPA B-1] แล้ววัดระดับของสัญญาณนี้ไว้
2. ปรับจานสายอากาศจากมุมมองที่ตรงที่สุดทางแนวนอนไปตามเข็มนาฬิกา [ทาง Azimuth หรือ ทางแนวระดับ] จนจานห่างจาก Main Beam ประมาณ 40 องศา และกลับมาที่ Main Beam แล้วปรับทวนเข็มนาฬิกาอีก 40 องศา ทุก ๆ 0.5 องศา ที่ปรับต้องบันทึกค่าระดับสัญญาณสูงสุดไว้
3. นำค่าระดับสัญญาณสูงสุดจากขั้นที่ 2 มา Plot Graph ดังแสดงในรูป 4.3 ทำการวัดค่า

ระดับ 3 dB ต่ำกว่าระดับสูงสุด	= 3.2 องศา
12 dB ต่ำกว่าระดับสูงสุด	= 3.5 องศา
First Side Lobe	= 9 องศา

ค่าที่วัดได้เมื่อเทียบกับจานมาตรฐานแล้ว สรุปได้ว่า Beam Width ของจานสายอากาศที่สร้างขึ้นนี้ กว้างกว่ามาตรฐานการแก้ไขข้อเสียนี้ อาจจะต้องปรับปรุงที่ Feed Horn ของจานสายอากาศ

ในกรณีที่ดาวเทียมในวงโคจรอยู่ต่างกันมากกว่า 3 องศา ถ้าเอาจานสายอากาศ
นี้ไปรับจะไม่เกิดปัญหารบกวนจากดาวเทียมค้างแข็ง แต่ถ้าดาวเทียมอยู่ใกล้กันไม่เกิน 3 องศา
เมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียม จะเกิดการรบกวนจากดาวเทียมดวงข้างเคียงได้

4.4 การวัดค่า C/N ของสัญญาณโทรทัศน์

จุดประสงค์คือต้องการวัด คุณภาพ C/N ของสัญญาณโทรทัศน์ ที่รับได้ก่อนจะถูก
Demodulate แล้วเปรียบเทียบกับ ทฤษฎี

4.4.1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ส่วนประกอบ

1. Spectrum Analyzer
2. LNA, D/C , Receiver

4.4.2 ขั้นตอนการวัด

- ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.2 เพื่อทำการหาค่า C/No ก่อนแล้วจึงนำมา
แทนค่าในสมการ

$$C/N = C/No - 10 \text{ LOG } [BW] \quad [dB] \quad (4.4)$$

เมื่อ C/N คือ Carrier to Noise ที่ Band Width ค่าหนึ่ง

C/No คือ Carrier to Noise ที่ Band Width 1 Hz

BW คือ Band Width ของ Receiver ก่อนที่จะ Demodulating

ปัจจุบัน นิยมใช้ 17.5 MHz , 20 MHz, 27 MHz ,30 MHz,36 MHz

- วัดค่า C/No ของสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียม INTELSAT ที่ความถี่ 3.771
GHz ได้

$$C/No = 81.5 - 10 \text{ LOG } [27*10^6]$$

$$C/N = 7.2 \quad [dB]$$

- วัดค่า C/No ของสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 5 จากดาวเทียม PALAPA B-1 ได้

$$C/No = 87.5 \quad dB/Hz$$

$$C/N = 87.5 - 10 \text{ LOG } (27*10^6)$$

$$= 13.2 \quad dB$$

2.5 คีอค่า Correction Factor Error ของ Spectrum Analyzer
จากการทดลอง ได้ค่า

$$\begin{aligned} Y \text{ Factor} &= 24 \text{ dB} \\ \text{RBW} &= 1 \text{ MHz} \\ \text{C/No} &= 24 - 10 \text{ LOG } 10^{-6} - 2.5 \\ &= 81.5 \text{ dB/Hz} \end{aligned}$$

แทนค่า C/No ที่ได้ในสมการ (4.3)

$$G/T = \text{C/No} - [\text{EIRP}]_{\text{max}} + \text{Part Loss} - 228.6 \text{ dB/K} \quad (4.3)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \text{EIRP} &= 26 \text{ dBW} \\ \text{Part Loss} &= 196 \text{ dB} \\ \text{C/No} &= 81.5 \text{ dB/Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} G/T &= 81.5 - 26 + 196 - 228.6 \\ &= 22.9 \text{ dB/K} \end{aligned}$$

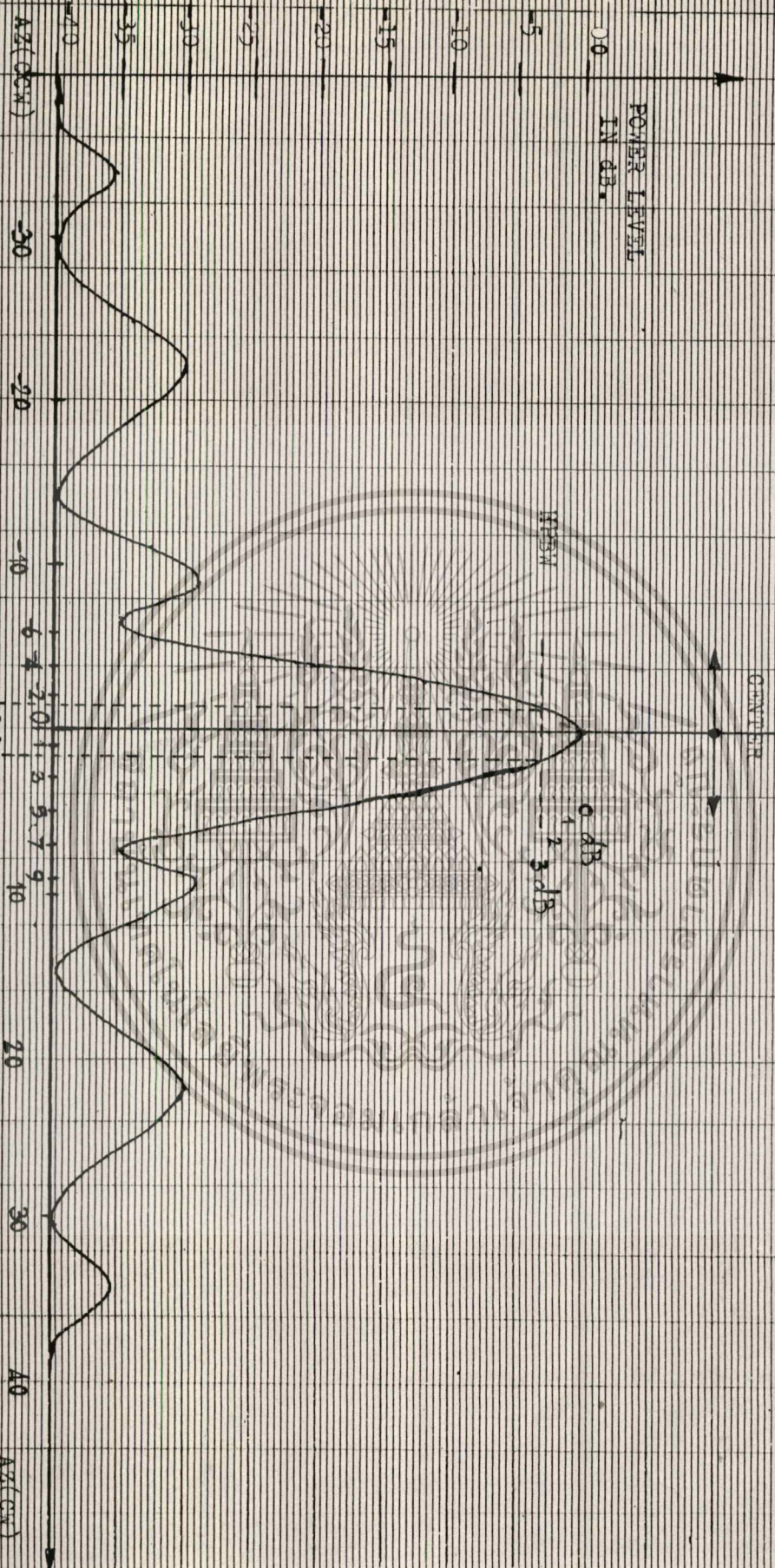
จะเห็นว่าค่า G/T ที่วัดได้เมื่อเทียบกับที่ได้ออกแบบไว้คือมีค่า G/T = 22 dB/K [จากบทที่ 3] จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

4.3 การวัดค่า RECEIVE ANTENNA PATTERN

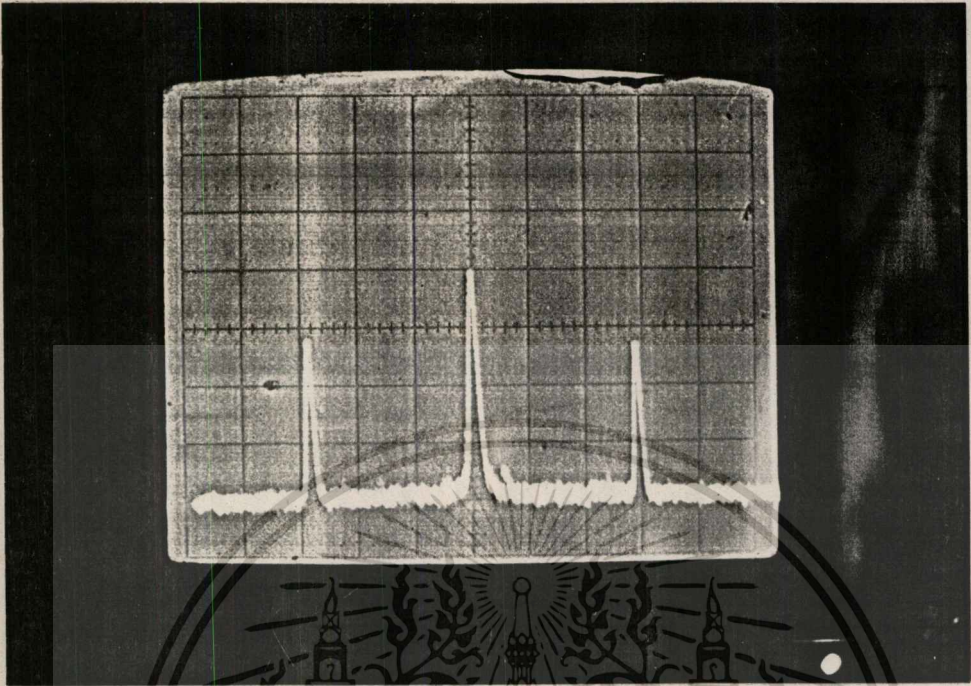
การวัดค่า Pattern ของจานสายอากาศทางด้านรับนี้ถือว่าผู้ใช้งานจะต้องทราบ เพราะเป็นค่าที่บอกถึง Beam Width ของจานสายอากาศ ถ้ามี Beam Width ของจานกว้าง จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน จากดาวเทียมข้างเคียงได้ หากดาวเทียมอยู่ห่างกัน 2-4 องศาใน วงโคจร

4.3.1 เครื่องมือวัด

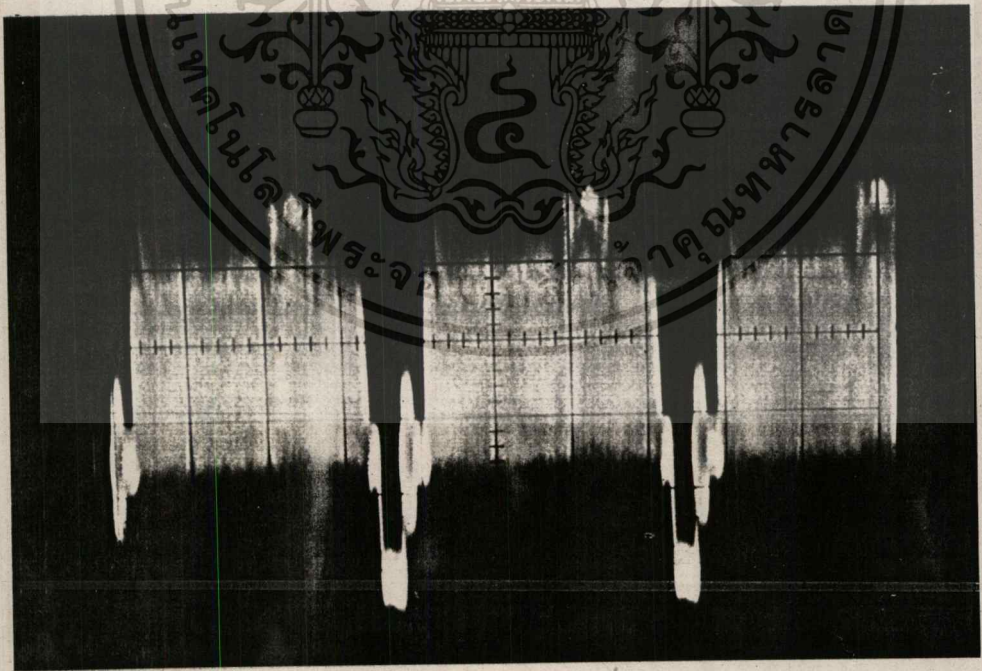
- Spectrum Analyzer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

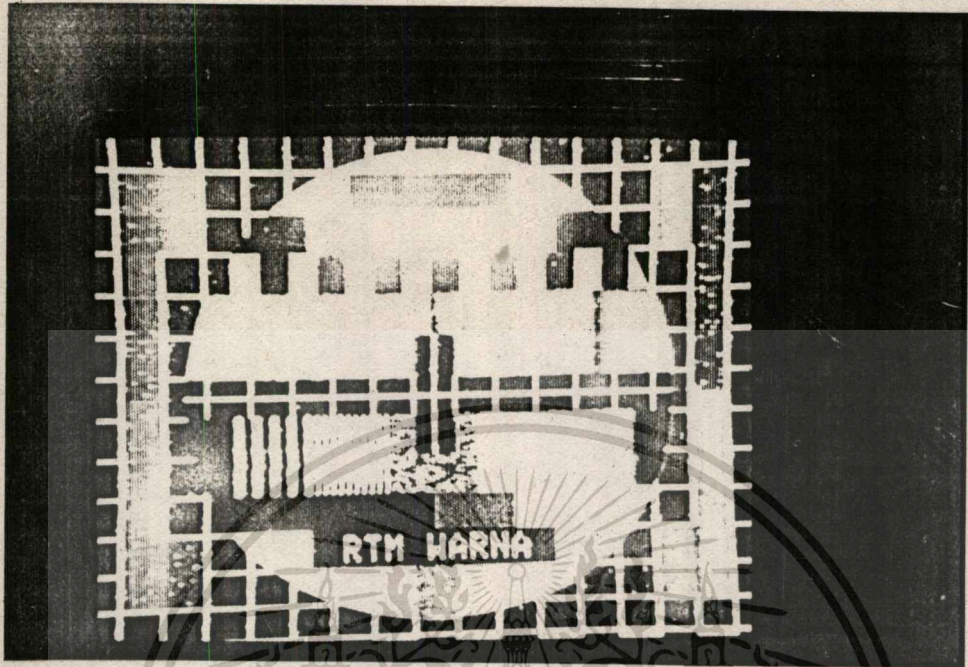


รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ IF ที่ออกจาก Receiver
โดยใช้ Spectrum วัดสัญญาณ



รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณ IF จาก Receiver
โดยใช้สโคป วัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁸²⁻² และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงภาพที่รับชมได้จากดาวเทียม PALAPA

ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งมาจาก ประเทศมาเลเซีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

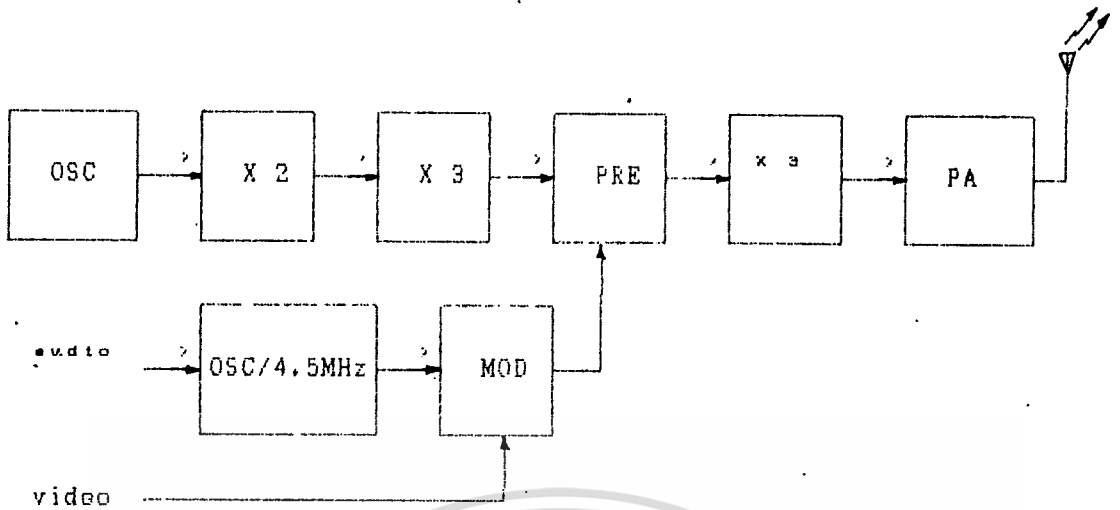
TELEVISION TRANSLATION

TV.Translator เป็นเครื่องส่งสัญญาณ TV ที่มีกำลังออกอากาศเป็นแบบ Line of sight เพราะเป็นการส่งในย่านความถี่ UHF (ULTRAHIGH FREQUENCY) โดยการอาศัยสัญญาณ Composite video signal จากการรับสัญญาณดาวเทียม แล้วนำมา MIXER กับความถี่ Oscillator ที่สร้างใหม่ เพื่อใช้ส่งตามช่องสัญญาณที่ต้องการ โดยมี การขยายทาง ด้านความถี่และกำลัง (Frequency Power) จนได้ความถี่ตามช่องที่ต้องการ และมีกำลังออก อากาศที่พอเพียง แล้วทำการส่งออกอากาศ โดยอาจจะใช้สายอากาศ ชนิดบังคับทิศทาง (Di rectional Antenna) ส่งออกอากาศได้

5.1 คุณสมบัติของ TV TRANSLATOR ช่อง 15 (476-482 MHz)

กำลังออกอากาศ	1 WATT (โดยประมาณ)
ชนิดของการส่ง	สัญญาณภาพ สัญญาณเสียง
ความถี่ออกอากาศ	478.9 MHz (ช่อง 15)
ระบบที่ใช้งาน	PAL
BAND WIDTH	6 MHz
IMPEDANCE ของสายอากาศ	50 โอห์ม
POWER SUPPLY (DC)	13.8 V

ทางคณะผู้จัดทำชิ้นงานนี้ได้ทำการทดลองสร้างชุดส่งสัญญาณ TV ขึ้นมาโดยอาศัย หลักการของเครื่องส่งวิทยุย่าน UHF นำมาดัดแปลงเป็นเครื่องส่งสัญญาณ TV ย่าน UHF โดย การเพิ่มเติมชุด MODULATE เข้าไปเพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการซึ่งเราสามารถแยกชุดการทำงาน ของภาคต่าง ๆ ได้ตาม Block Diagram ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดง Block diagram ของเครื่องส่งสัญญาณ TV.

จาก Block Diagram สัญญาณ RF ที่จะใช้ส่งออกไป เราสามารถสร้างได้โดยอาศัยหลักการดังต่อไปนี้

ขั้นแรกจะเป็นการสร้างสัญญาณความถี่โดยใช้ Crystal - Control มี Transistor (Q_{104}) ช่วยขยายสัญญาณความถี่ที่ 26.610 MHz ซึ่งเมื่อเราทำการเพิ่มความถี่ให้กับสัญญาณนั้นแล้ว จนได้ค่าที่ Out put ที่ 478.980 MHz สัญญาณ Video ที่ได้อยู่ในย่าน UHF ช่องที่ 15

การ Oscillator ที่สร้างขึ้นมา เรามีการ Mix ความถี่ให้เพิ่มขึ้นอยู่ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ความถี่อยู่ในย่านที่ต้องการ คือ ย่าน UHF ช่องที่ 15 เมื่อคริสตัลผลิตความถี่ ขึ้นมา 26.610 MHz ในครั้งแรกเราจะใช้วงจร Double Balanced Mod ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความถี่ขึ้น 2 เท่า หรือคูณด้วย 2 จะได้ความถี่ออกมามีค่าเท่ากับ 53.220 MHz จากนั้นก็จะนำไปผ่านวงจร Multiplier Mixer ซึ่งความถี่ที่ออกมาจะมีค่าเป็น 3 เท่าของที่ป้อนเข้าไป ในตอนนี้ความถี่ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 159.66 MHz การที่ใช้วิธีเพิ่มความถี่เช่นนี้ก็เพราะว่า คริสตัลความถี่สูงมาก ๆ หาซื้อได้ยากมาก และค่าก็ได้ไม่ตรงกับที่ต้องการ นอกจากนี้การสร้างวงจรที่ จะทำให้คริสตัลเกิดการออสซิเลต ความถี่ที่ต้องการที่ตัวเลขนั้นเท่าใดยากจะเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่ายกว่าจึงต้องใช่วิธีเพิ่มความถี่ที่ละ 2 เท่า และ 3 เท่า ตามลำดับ เมื่อได้ความถี่ออกมา มีค่าเท่ากับ 159.66 MHz แล้ว ก็จะนำไปมอดคูล์เข้ากับสัญญาณของภาพและเสียงที่รวมกัน

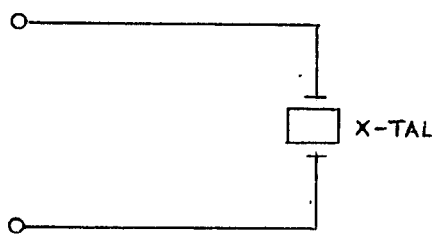
แล้วและก็ทำการขยายเบื้องต้นเพื่อให้มีความแรงของสัญญาณพอที่จะไปเพิ่มความถี่อีก 3 เท่าให้ได้ความถี่ที่ต้องการคือ 478.98 MHz ตามที่ต้องการและเข้าสู่ภาค PA (Power Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้ได้ Power out put เป็น 1 watt ส่งออกอากาศไป

สัญญาณ Video ที่ป้อนเข้ามาจะถูก Modulate ที่ Transistor #2N3563 กับ #2N3866 นำมารวมกับสัญญาณ Audio ที่ป้อนเข้ามาด้วยเพื่อนำไปร่วมกับ Q_{107} (M9494) จากนั้น สัญญาณก็จะถูกคูณด้วย 3 เท่าอีกครั้ง สัญญาณที่ได้ในช่วงนี้ จะมีความถี่ 478.980 MHz (RF) สัญญาณนี้จะถูกนำไปขยายให้มิกำลังส่งสูงขึ้นโดย Transistor Q_{111} (M74G10) และ Q_{112} (M9887) ให้ได้ Power out put ที่ 1 watt (โดยประมาณ)

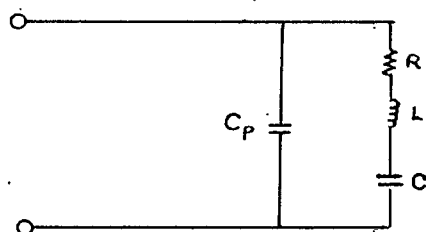
สัญญาณ Audio ที่เข้ามาจะถูกขยายด้วย Transistor #2N 3565 ให้มิกำลังส่งขึ้นแล้วนำมารวมกับ Carrier ที่สร้างขึ้นมามีความถี่ $4.5 \text{ MHz} \pm 25 \text{ KHz}$ ซึ่งความถี่ที่ได้นี้ มีค่าแตกต่างจากความถี่ Crystal Oscillate มาก ซึ่งสัญญาณเสียงที่รับจาก TV จะมีค่าความแตกต่างได้ไม่เกิน $\pm 10 \text{ KHz}$ เท่านั้น

5.2 การออสซิลเลเตอร์ (Oscillator: OSC)

วงจร OSC ที่ใช้เป็นแบบ Crystal Control ในทางโทรคมนาคม คริสตัลใช้ในเครื่องรับ-ส่ง ในภาคกำเนิดทั้งกำหนดความถี่ของสัญญาณที่ผลิตขึ้นในวงจร OSC โดยวงจรมกำเนิดออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ คริสตัล แทน Tank-Circuit (L และ C) จะผลิตความถี่ที่แน่นอน ไม่เปลี่ยนแปลงง่าย ๆ กับอุณหภูมิ และมี Band Width แคบทั้งนี้เพราะคริสตัลมีค่า Q สูงมาก การใช้งานในเครื่องส่ง ถ้ามี Band Width ที่กว้างมาก ๆ แล้วก็จะส่งกระจายไปควมสดานอื่น ๆ ได้



สัญญาณลักษณะ



Equivalent circuit ของ Crystal

รูปที่ 5.2 คุณสมบัติของผลึกหินคลิสตัลซึ่งเหมือนกับวงจร L และ C ต่อกัน

คุณสมบัติของผลึกหิน คริสตัลเหมือนกับการทำงานของ วงจรคอยล์และคอนเด็นเซอร์ ที่จะต่อกัน ดังรูป โดยภายในของคริสตัลเหมือนมีคอนเด็นเซอร์ C_c ต่อขนานกับคอยล์ L ซึ่งมีความต้านทานน้อยที่สุด และต่ออนุกรมกับคอนเด็นเซอร์ C_c ดังรูป ซึ่งจริง ๆ แล้วภายในคริสตัลก็เป็นเพียงผลึกหินสีขาวขุ่น ๆ เท่านั้น แต่ทำงานเหมือนกับวงจร Tank-Circuit.

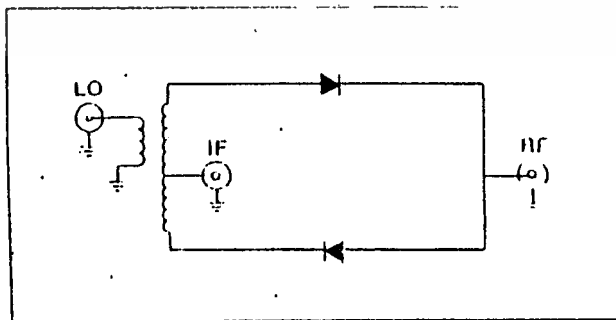
5.3 DOUBLE BALANCED MIXERS (DBM)

Double-Balanced Mixers นับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญชิ้นหนึ่งในระบบโทรคมนาคม ไม่ว่าจะเป็น ระบบ Microwave link, Spectrum analyzer และอุปกรณ์ ECM ก็ใช้ระบบซึ่งมี DBM เป็นส่วนประกอบในการที่ทำให้เกิด Distortion น้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงในการขจัดสัญญาณรบกวน แต่ทั้งนี้มิได้หมายความว่า DBM จะสามารถใช้ได้กับทุกงาน การนำ DBM ไปใช้งานจึงต้องคำนึงถึง ความถูกต้อง ความเหมาะสมและประหยัด

จะเป็นการดีมากที่สุด หากเราได้ศึกษาถึงรายละเอียดการทำงาน องค์ประกอบต่าง ๆ ในธรรมชาติที่มีผลต่อระบบ และวิธีการตรวจสอบ ถึงแม้ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ศึกษาวงจรเล็ก ๆ น้อย ๆ ต่าง ๆ ก็จะเป็นการสามารถทำให้ Engineer ได้เพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ได้มากที่สุด ซึ่งจะได้กล่าวถึงวงจรที่เกี่ยวข้องและการทำงานโดยสังเขปดังนี้

5.3.1 วงจร Single -Balanced Mixer และการทำงาน

ก่อนที่จะเริ่มถึงเรื่อง Double - Balanced Mixer จะขอกล่าวถึงเรื่องราวของ Single - Balanced Mixer เสียก่อน โดยได้ยกเอาตัวอย่างวงจรง่ายๆ มาอธิบายกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.3



1. A single-balanced mixer offers good isolation between LO and IF but poor isolation between IF and RF.

รูปที่ 5.3 แสดงวงจร Single Balanced Mixer อย่างง่าย

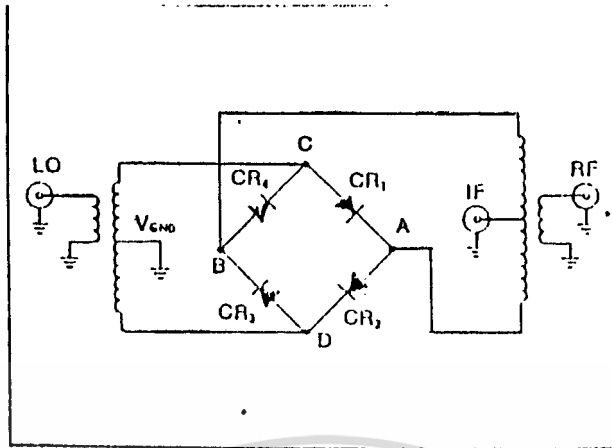
ต่อไปเราจะมาพิจารณาถึงในกรณีที่เราป้อนสัญญาณ RF เข้ามา สมมุติให้ชื่อของสัญญาณ RF มีทิศทางตั้งรูป กระแสที่ไหลออกมาจะแยกออกเป็น 2 ทิศทางคือ iRF_1 และ iRF_2 กระแสทั้งสองจะไหลไปรวมกันอีกครั้งที่ความต้านทานของแหล่งจ่าย $IF(R_{IF})$ ในกรณีเช่นนี้ เราสรุปได้เลยว่าวงจร Single-Balanced Mixer ไม่มี Isolation ระหว่างสัญญาณ RF และ IF แต่อย่างไรก็ตาม Isolation ระหว่างสัญญาณ RF และ LO ยังมีอยู่ กล่าวคือ กระแส iRF ที่ไหลผ่านขดลวดของ Transformer ที่ไหลในทิศทางที่ตรงข้ามกันด้วย ดังนั้น Voltage ที่ตกคร่อมที่เกิดจากสัญญาณ RF จึงไม่มี นั่นคือสรุปได้ว่าสัญญาณ RF และ Isolation กัน

จากที่ได้อธิบายมานั้นเป็นการกล่าวถึงการทำงานของวงจรพื้นฐานที่มี Amplitude ของกระแสเท่ากันโดยตลอด แต่ในการใช้งานจริง Factor ต่างๆ เหล่านี้จะมีผล ทำให้ผลที่ได้ผิดไปจากที่ควรจะได้ในอุดมคติ เช่น การเปลี่ยนแปลง Transformer Balance และ Impedance ของ diode ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้เกิดการเบี่ยงเบน (deviation) ของ current balance ที่ความถี่ 100 MHz ขึ้นไป ค่าความจุที่เกิดจากการ wiring สาย ค่าความจุของขดลวดของ transformer และส่วนประกอบอื่นๆ (Physical Location Component) จะมีผลทำให้การ Balance ไม่ได้ผลดังอุดมคติเหมือนกัน การคำนึงถึงความถี่ที่ใช้งานก็ต้องระมัดระวังอย่างมากด้วย กล่าวคือ เมื่อความถี่สูงกว่ากำหนด ประสิทธิภาพของการ Balance ก็ลดลงตามลำดับ

วงจร

5.3.2 หลักการทำงานของวงจร Double Balance Mixer

Double-Balance Mixer เป็นวงจรที่เพิ่ม Isolation ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งได้แสดงวงจรอย่างง่ายไว้ในรูปที่ 5.5 หลักการทำงานของวงจรมี คือ ถ้าให้ CR_1, CR_2 และ LO Transformer ทำงานเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน Voltage ที่จุด A จะมีคีย์เหมือนกับที่ Center-tap ของ Transformer นั่นก็คือ จะเป็น 0-Volt และในลักษณะเดียวกันเมื่อ CR_3 และ CR_4 ทำงานแบบ Symmetrical กันแล้ว Voltage ตกคร่อมระหว่างจุด A และ B หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าไม่มี Voltage ตกคร่อมที่ RF หรือ IF เลย จากที่ได้กล่าวมาแล้ว แสดงให้เห็นว่าวงจรมี Isolation ระหว่าง LO, RF และ IF



3. The symmetry of a double-balanced mixer's configuration is the key to the excellent isolation obtained between LO, rf and IF ports.

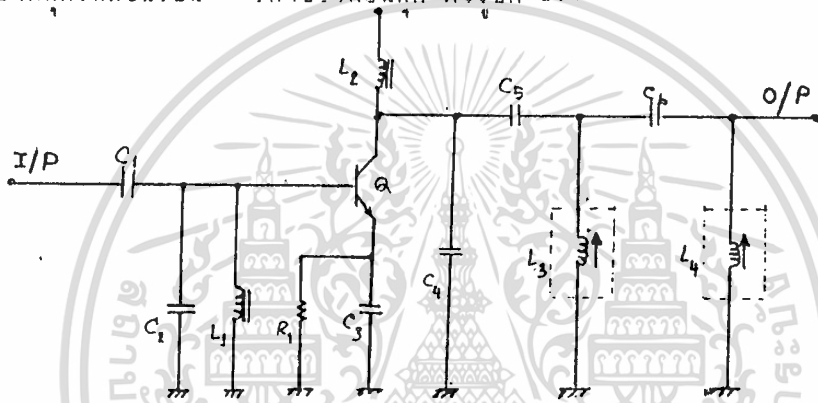
รูปที่ 5.5 แสดงวงจร Double Balanced Mixer อย่างง่าย

คุณสมบัติ	งานที่ประยุกต์ใช้ได้
- มี Isolation ระหว่าง LO และ RF, IF	- ไม่มี Filter จึงใช้ได้กับการ Mod
- มี Isolation ระหว่าง RF และ LO, IF	- แบบ Suppress Carrier
- มี Isolation ระหว่าง IF และ LO, RF	
- IF DC Coupled	- สามารถใช้เป็นวงจร Phase Detector ได้
- Isolation ขึ้นอยู่กับ การ Symmetry ของ Transformer และ Diode	- มี Isolation สูง สามารถใช้เป็น Electronic Switch และ Attenuator โดยการกำจัดการกระแส PC เพื่อทำให้เกิดการ Unbalance
- ตอบสนองสัญญาณ RF ซึ่งมีขั้วเหมือนกับ Amplitude ของสัญญาณ	- ขจัด Even-Order Harmonic ได้ดี

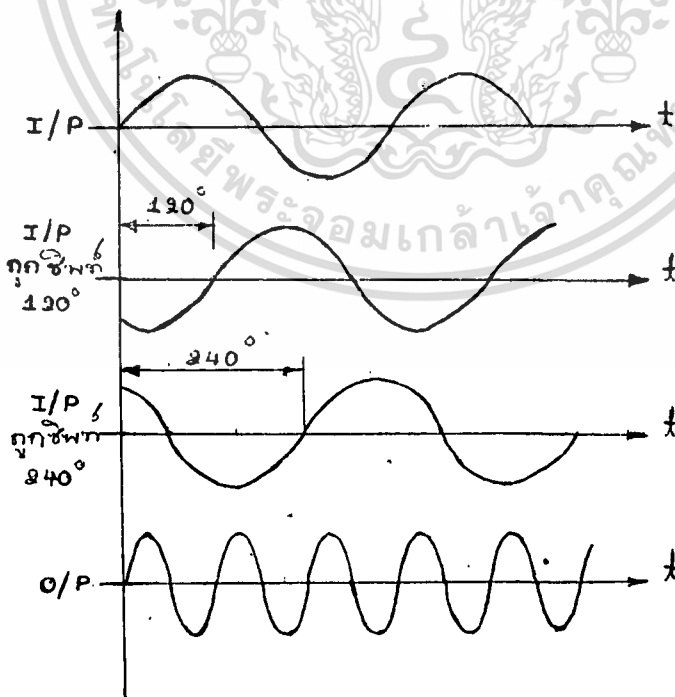
ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของ Double Balanced Mixer

5.4 MULTIPLIER MIXER

Multiplier Mixer เป็นวงจรที่นำสัญญาณจากที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตขยายและเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นเป็น 3 เท่าออกไปทางเอาต์พุต ดังรูปที่ 5.6 แสดงวงจร Multiplier Mixer จากวงจรจะประกอบด้วย C_1 เป็นตัวคัปปลิ่งความถี่เข้ามาที่อินพุต L_1, C_2 ต่อกันเป็นวงจรแท่งค้เพื่อกำหนดความถี่ที่อินพุต จากนั้นจะถูกขยายโดยทรานซิสเตอร์ (Q) สัญญาณที่ขยายแล้วจะถูกทำให้มีความถี่สูงขึ้น 3 เท่าโดย C_3, L_3 และ C_4, L_4 ซึ่งจะต่อเป็นวงจรเลื่อนเฟสไปทีละ 120 องศา เมื่อรวมความถี่เดิม และความถี่ที่ถูกเลื่อนเฟสไปแล้ว จะเป็นผลทำให้ความถี่ที่ออกไปที่เอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าของที่อินพุต ดังรูปที่ 5.7



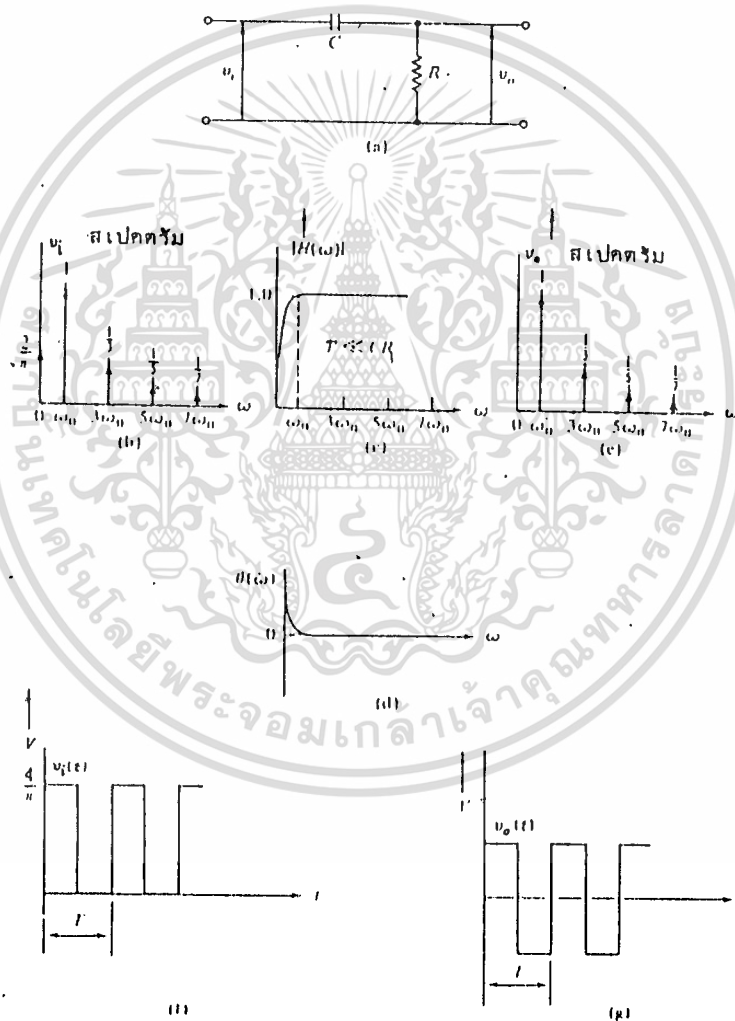
รูปที่ 5.6 เป็นวงจร Multiplier Mixer



รูปที่ 5.7 แสดงการเพิ่มความถี่ขึ้น 3 เท่า

5.5 การกรองผ่านความถี่สูง (High Pass Filter)

การกรองผ่านความถี่สูง (HPF) คือ ตัวกรองความถี่ที่ยอมให้สเปกตรัมความถี่สูงผ่านไปโดยไม่ต้องคำนึงถึงความผิดเพี้ยนทางความสูงหรือเฟส ตัวอย่างง่าย ๆ คือการใช้คอนเดนเซอร์กับไฟตรงไม่ให้ผ่านตามรูปที่ 5.8 ในวงจร R เป็นความต้านทานเข้าของวงจรต่อไป สมมุติให้ป้อนคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square wave) ตามรูป 5.8 (f) เข้าไปและเวลาคงที่ (Time constant) RC ของตัวกรองมีค่ามากกว่าคาบเวลา (Periodic time) T ของสัญญาณมาก ๆ



รูปที่ 5.8 ตัวกรองผ่านความถี่สูง (a) วงจร (b) สเปกตรัมความถี่สัญญาณเข้า (c) ทราบเฟอ์รึงขึ้นความถี่สูง (d) ทราบเฟอ์รึงขึ้นเฟส (e) สเปกตรัมความถี่สัญญาณออก (f) รูปคลื่นสัญญาณเข้า (g) รูปคลื่นสัญญาณออก

สเปกตรัมของสัญญาณเข้า (Input spectrum) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามรูป (b) และทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันความสูงกับเฟสที่เปลี่ยนไป (Phase shift) ตามรูป (c) กับ (d)

จะเห็นได้ว่า ถ้าไม่คำนึงถึงความผิดเพี้ยนของความสูงหรือเฟสแล้วสเปกตรัมที่ออกมาจะไม่เปลี่ยน สำหรับส่วนกระแสสลับ (Alternating current) อย่างไรก็ตามตัวกรองจะตัดกระแสตรงออกไปด้วย และคลื่นจะมีความสมมาตร (Symmetry) กันตามแกนเวลา

ถ้ากำหนดให้เวลาคงที่ของตัวกรองน้อยกว่าคาบเวลาของคลื่นมาก ๆ ตามรูป 5.9 กำหนดให้ $T = 440CR$ การลดทอน (Attenuation) และเฟสที่เปลี่ยนไปจะทำให้รูปคลื่นเปลี่ยนไปตามแกนเวลา จะเห็นได้ว่าวงจรนี้ คือวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ (Differentiator) ซึ่งจะต้องมีข้อแม้ว่า $T \gg CR$

โวลเตจ V_c ตกคร่อม C จะมากกว่าโวลเตจ V_o ตกคร่อม R คือ

$$V_c \gg V_o$$

ดังนั้น

$$V_c \approx V_o$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{dV_o}{dt}$$

$$= (1/C) dq/dt$$

$$= i/C$$

ดังนั้น

$$i = C(dV_c/dt)$$

$$V_o = iR$$

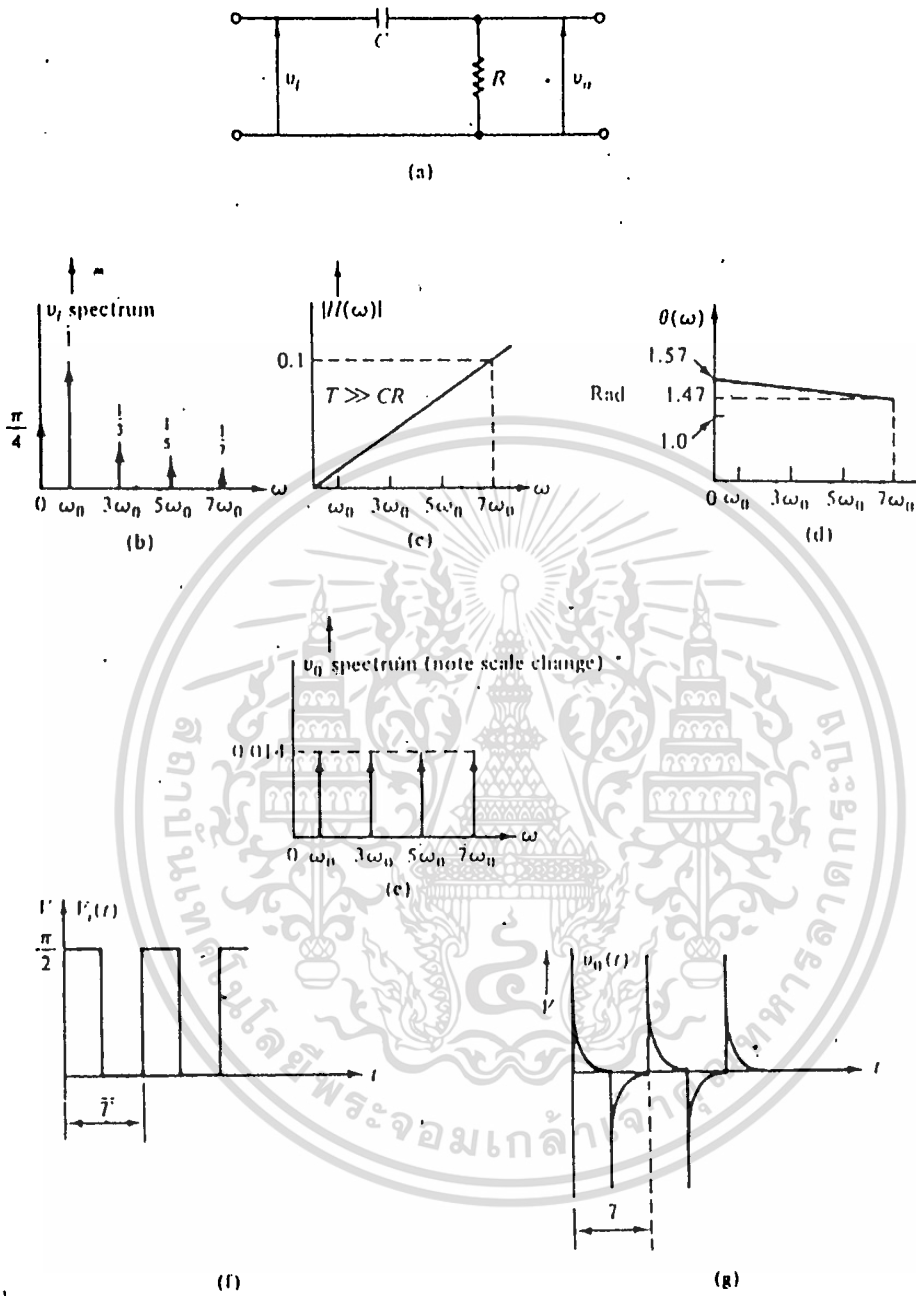
$$= RC di/dt$$

และ

$$V_o = iR$$

$$= RC di/dt$$

ดังนั้น โวลเตจของสัญญาณออก จะแปรตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า และจะน้อยกว่า V_o อัตราการเปลี่ยนแปลงของการขึ้น (Rise) และการตก (Fall) ของ V_c จะเป็นทางบวก และทางลบ ตามรูปที่ 5.9 (e) ในขณะที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงของด้านบน (Top) และด้านล่าง (Bottom) เป็นศูนย์

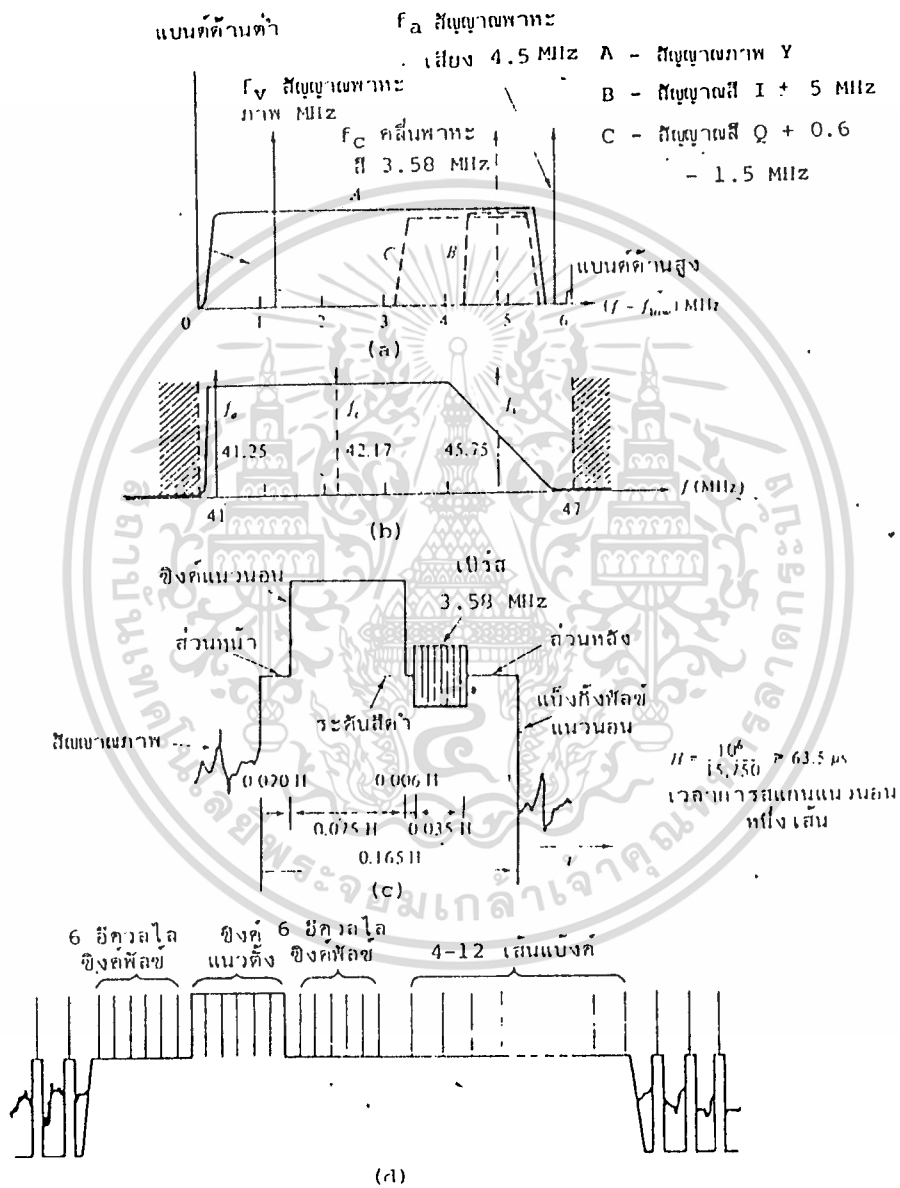


รูปที่ 5.9 วงจรดีฟเฟอร์เรนทีเอเตอร์ (a) วงจร (b) สเปกตรัมความถี่สัญญาณเข้า (c) ทราจเฟอ์ฟังก์ชันความสูง (d) ทราจเฟอ์ฟังก์ชันเฟส (e) สเปกตรัมความถี่สัญญาณออก (f) รูปคลื่นสัญญาณเข้า (g) รูปคลื่นสัญญาณออก

5.6 ลักษณะของสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้ส่งออกอากาศ

สัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้ส่งออกอากาศนั้นจะต้องประกอบด้วยสัญญาณต่าง ๆ ถึง 4 สัญญาณคือ สัญญาณเสียง, สัญญาณภาพ, สัญญาณซิงค์ และสัญญาณสี สัญญาณภาพจะส่งแบบ AM รูปที่

5.10 (a) จะแสดงถึงสเปกตรัมของสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และคลื่นพาหะของสัญญาณสีที่ส่ง



รูปที่ 5.10 แสดงคุณสมบัติของสัญญาณโทรทัศน์ (a) สเปกตรัมของสัญญาณช่วงกว้างคลื่น 6 MHz (b) คุณสมบัติของ IF ภาพ (c) ขิงค์แนวนอน (d) ขิงค์แนวตั้ง

สัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลตแบบ F.M. และความถี่ของคลื่นพาหะเสียงจะมากกว่าความถี่ของคลื่นพาหะภาพอยู่ 4.5 MHz มีช่วงกว้างความถี่ 200 MHz สัญญาณเสียงจะถูกพาไปโดยสัญญาณเฉพาะคือ I และ Q สัญญาณภาพที่ส่งเรียก Y หรือสัญญาณ ลูมิแนนซ์ (Luminance Signal) และสัญญาณสีอีก 2 ช่อง คือ I และ Q สัญญาณ Q มีช่วงกว้างความถี่ 0.5 MHz และสัญญาณ I มีช่วงกว้างความถี่ 1.5 MHz

สัญญาณซึ่งจะรวมไปกับสัญญาณภาพในช่วงการสับคัลป์ระหว่างเส้นสแกน และระหว่างเฟรม ภาพจะถูกสแกนทางแนวอนด้วยความถี่ 15,750 Hz และแนวตั้งด้วยความถี่ 60 Hz สัญญาณคลื่นพาหะย่อย (Subcarrier) 3.58 MHz จะทำหน้าที่ซึ่งค้กับวงจรดีมอดูเลเตอร์สี่ของเครื่องรับ รูปร่างของสัญญาณภาพในช่วงสัญญาณซึ่งค้ทางแนวอนแสดงตามรูป 5.10 (d)

สำหรับสัญญาณภาพและเสียง ที่จะนำมาส่งออกอากาศ ตามโครงการนี้ ได้มาจากสัญญาณที่รับมาจากดาวเทียมซึ่งเมื่อผ่าน อุปกรณ์ต่าง ๆ จนมาถึง Receiver แล้ว ก็จะได้เป็นสัญญาณ RF ซึ่งประกอบด้วย ภาพ และเสียง ซึ่งเราสามารถต่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ได้เลย ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณนี้มามอดูเข้ากับ ความถี่พาหะ และทำการขยายให้มีเกนสูง ๆ ก็จะสามารถส่งออกอากาศได้เลย

5.7 ลำดับขั้นการปฏิบัติการและการทดลอง

การปฏิบัติการ

- ได้ทำการตรวจสอบเครื่องส่งสัญญาณในย่าน UHF ซึ่งวงจรที่ใช้เป็นวงจรของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุของ MOTOROLA มี POWER OUTPUT 1 Watt

- ตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในท้องตลาด (บ้านหม้อ) และจากต่างประเทศ

- สั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศ

- ออกแบบสายรีเฟ้นท์ และประกอบอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.11 รูป 5.12 และ

รูป 5.13 ตามลำดับ

ผลการทดลอง

หลังการประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงรีเฟ้นท์เรียบร้อยแล้ว ก็ได้ทำการทดลองนำสัญญาณวิทยุของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุไปส่งเข้าเครื่องรับโทรทัศน์

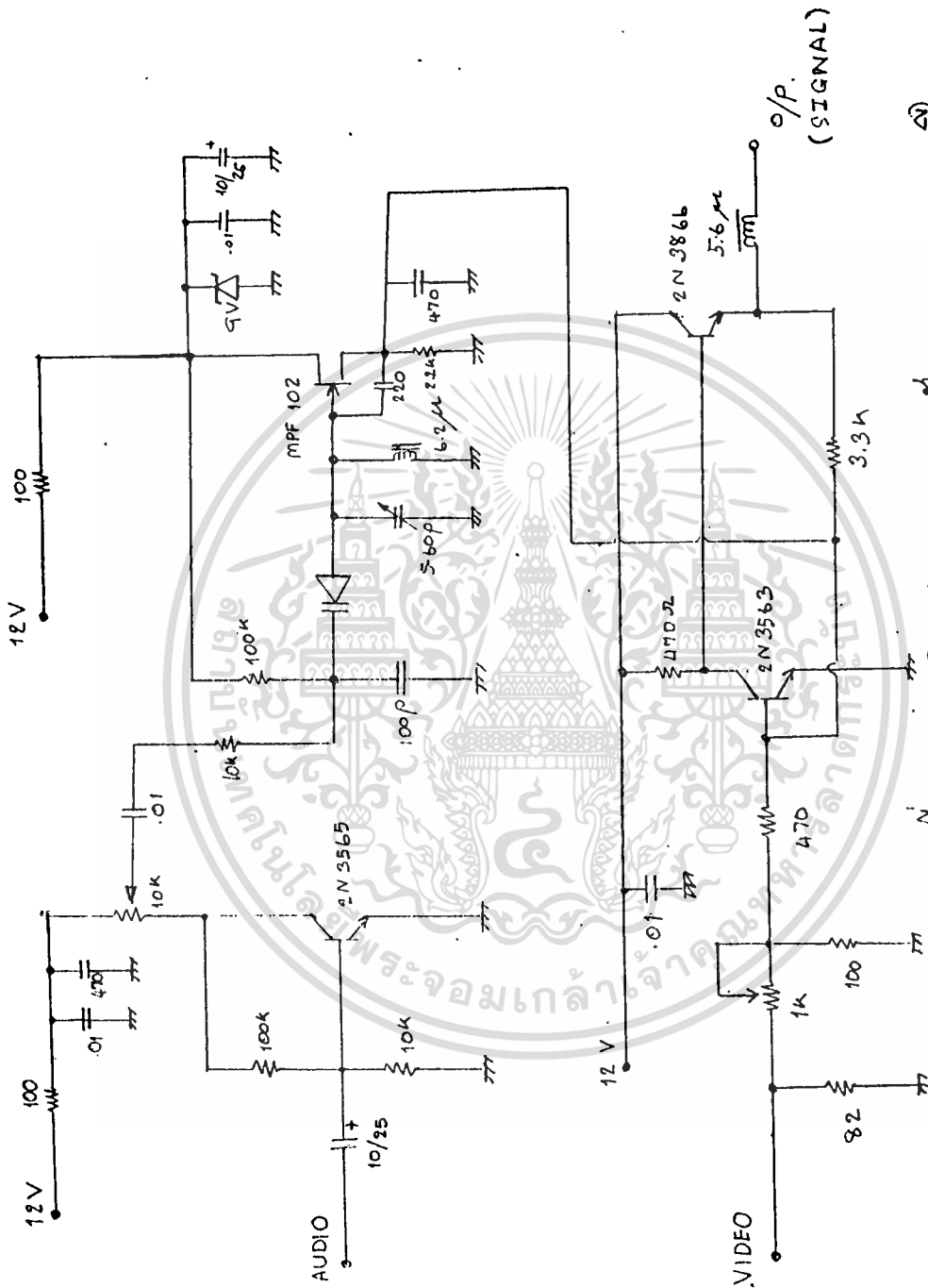
-จากการทดลองปรากฏว่า สัญญาณภาพและเสียง มีการรบกวนกัน โดยมีลักษณะ เป็น การรบกวนภาพ และเสียงที่ได้จะเบามาก ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงเครื่องส่งสัญญาณ TV ขึ้น อีก เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการส่งสูงขึ้นไปทั้งนี้จะต้องมีเครื่องมือชั้นพร้อมกว่านี้

-รัศมีที่สามารถรับได้ประมาณ 1 กิโลเมตร

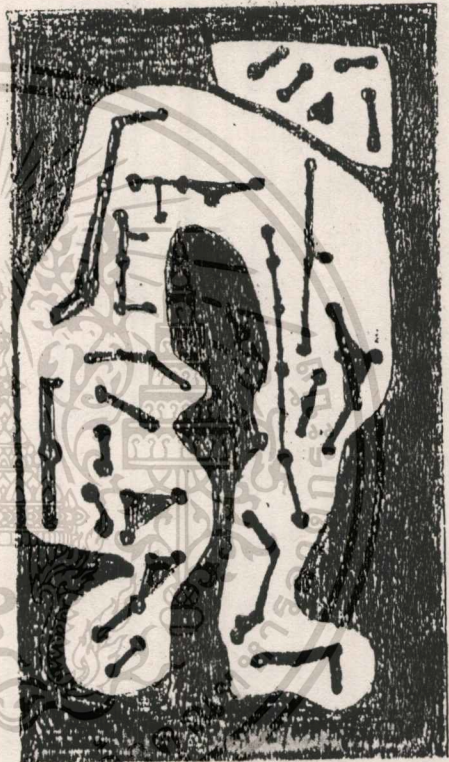
ปัญหาที่เกิดขึ้น

-เนื่องจากเครื่องส่งสัญญาณ TV นี้ใช้ความถี่สูงมาก ทำให้เกิดปัญหามาก เช่น การเกิด RESONANCE เนื่องจากขาของอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งจะต้องมีความถี่ให้มากที่สุด และปัญหา ทาง ด้านเครื่องมือทดสอบ รวมทั้งเวลาที่ทำเครื่องส่งนี้ด้วย เพราะจะต้องรอกอุปกรณ์จาก ต่างประเทศด้วย จึงมีเวลาทดสอบและแก้ไขน้อย





รูปที่ 5.12 แสดงชุดกำเนิดสัญญาณภาพและเสียง



รูปที่ 5.13 แสดงลายวงจร
ขนาดเท่าของจริง

อุปกรณ์ใช้

1. CAPACITOR

C ₁₁₃	680	pF	:	C ₁₁₃	180	pF
C ₁₁₄	3300	pF	:	C ₁₁₅	2200	pF
C ₁₁₆	43	pF	:	C ₁₁₇	10	μF/25v.
C ₁₁₈	30	pF	:	C ₁₁₈	0.022	μF
C ₁₂₀	1.2	pF	:	C ₁₃₁	150	pF
C ₁₂₃	68	pF	:	C ₁₃₃	47	pF
C ₁₂₄	1.0	pF	:	C ₁₃₄	22	pF
C ₁₂₆	100	pF	:	C _{127.128}	2200	pF
C ₁₂₉	22	pF	:	C ₁₃₀	18	pF
C ₁₃₁	0.01	pF	:	C _{132.133}	18	pF
C ₁₃₄	1.0	pF	:	C ₁₃₅	3.9	pF
C ₁₃₆	30	pF	:	C ₁₃₇	33	pF
C ₁₃₈	0.2	pF	:	C ₁₃₉	39	pF
C ₁₆₃	100	pF	:	C ₁₆₄	1.2	pF
C ₁₆₅	33	pF	:	C ₁₆₆	15	pF
C ₁₆₇	18	pF	:	C ₁₆₈	1	μF/25v.
C ₁₆₉	33	pF	:	C ₁₇₀	10	pF
C ₁₇₁	5	pF	:	C ₁₇₂	5.6	pF
C ₁₇₃	6.8	pF	:	C ₁₇₄	10	pF
C ₁₇₅	6.8	pF	:			

2. INDUCTOR

L ₁₀₁	1.2	μH	:	L ₁₀₃	2.6	μH
L _{103.104}	Code BLK 33(1/2) turns					
L _{107.108}	Code GRAY 8(1/2) turns					

L₁₀₉ 6.2 μ H
 L₁₁₀ Code VIOLET 7(1/2) turns
 L₁₁₁ Code YELLOW 4(1/2) turns
 L₁₁₂ 1.2 μ H : L₁₁₄ 0.29 μ H
 L_{115,116} Code GRN 2(1/2) turns
 L_{125,126} 0.29 μ H
 L₁₂₇ Code ORG 3(1/2) turns
 L₁₂₈ 0.29 μ H : L₁₂₉ 0.085 μ H
 L₁₃₀ No.22 Gauge wire 1(1/4) turns
 L₁₃₁ Code GRN 2(1/2) turns
 L_{132,133} Code Grn 3(1/2) turns

3. RESISTOR

R₁₀₁ 1 Kohm : R₁₀₂ 56.2 ohm
 R₁₀₃ 1.5 Kohm : R_{105,109} 47 Kohm
 R₁₁₀ 51.1 Kohm : R₁₁₁ 59 Kohm
 R₁₁₂ .34 Kohm : R_{113,114} 1 Kohm
 R₁₁₇ 680 ohm : R₁₁₈ 22 Kohm
 R₁₁₉ 12 Kohm : R₁₂₀ 390 ohm
 R₁₂₁ 330 ohm : R₁₂₂ 12 Kohm
 R₁₂₃ 3.9 Kohm : R₁₂₄ 6.8 Kohm
 R₁₂₅ 4.7 Kohm : R₁₂₇ 10 Kohm
 R₁₂₈ 100 ohm : R₁₂₉ 27 Kohm
 R₁₃₀ 2.2 Kohm : R₁₃₁ 270 ohm
 R₁₃₂ 82.5 ohm : R₁₄₀ 56.2 ohm
 R₁₄₂ 2.2 Kohm : R₁₄₃ 270 ohm

บทที่ 6

สายอากาศไดโพล 4 สแต็ก

6.1 วัตถุประสงค์

6.1.1 เพื่อใช้ติดตั้งให้กับแม่ข่ายสถานีโทรทัศน์ขนาดเล็ก ในระบบ UHF เพื่อใช้ทดลองส่งสัญญาณ

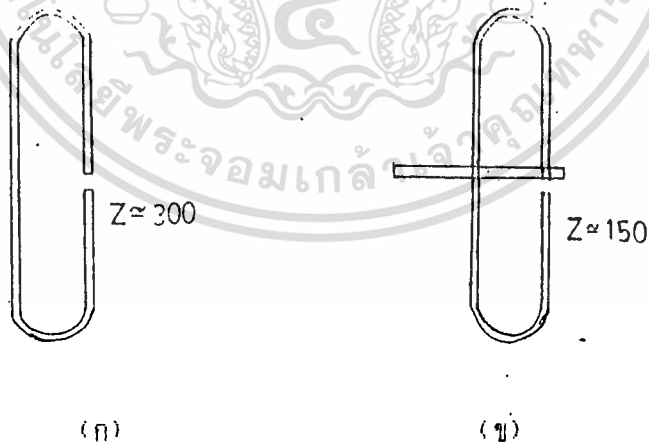
6.2.2 เพื่อเป็นสายอากาศที่ Gain สูงและมี Band Width กว้างสามารถครอบคลุมความถี่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 การสร้าง

1. ส่วนของ Phasing line
2. ส่วนของตัวสายอากาศ

6.2.1 Phasing Line

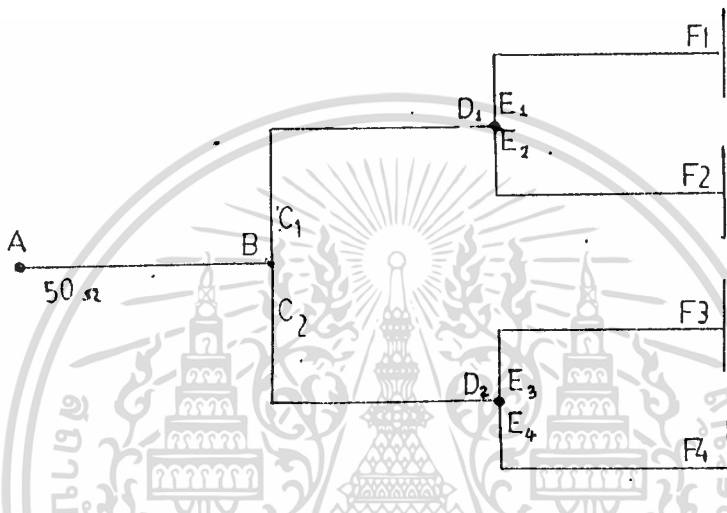
ตามปกติเราก็มักทราบกันอยู่แล้วว่าสายอากาศชนิดที่เป็น Folded dipole ตัวเดียวโดด ๆ โดยไม่มี Element ใด ๆ คัดรวมอยู่เลยจะมีค่า Z (Impedance) โดยประมาณ 300 ตามรูป 6.1 (ก)



รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบ Folded Dipole

แต่ถ้าเรานำมายึดติดบนท่อนโลหะโดย Short ตัว Dipole ลงครึ่งหนึ่งตามรูปที่ 6.1 (ข) จะทำให้ค่า Z ลดลงครึ่งหนึ่งเช่นกันจะเหลือประมาณ 150 โอห์ม

เมื่อพิจารณาการล้าปรังประกอบการค่านวดตามรูปที่ 6.2 เรารู้ทันทีว่า Z ที่จุด A ซึ่งจะเป็นจุดที่ต้องต่อเข้ากับเครื่องรับ-ส่งวิทยุจะต้องการค่า $Z = 50$ โอห์ม เพื่อให้ Match หรือเท่ากับ Z ของเครื่องรับ-ส่ง และถ้าเรากำหนดให้ จุด B มีค่า Z เป็น 50 โอห์ม เช่นเดียวกับ A ดังนั้นปลายจุด C ทั้งสองที่จะมาต่อกับปลาย B จะต้องมีค่า Z รวมเป็น 50 โอห์ม



รูปที่ 6.2 แสดงค่า Z ของ Phasing Line ตามจุดต่างๆ

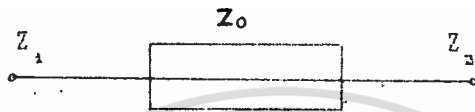
โอห์มด้วย และค่า 50 โอห์ม จะเกิดขึ้นได้ ต่อเมื่อปลายสายตาม C1 และ C2 มีค่า Z เป็น 100 โอห์ม แล้วมาต่อรวมกัน ค่า Z จึงลดมาเป็น 50 โอห์ม ตามที่เราต้องการ หลังจากนั้น เราก็มาพิจารณาต่อไปว่า เมื่อเราให้ค่า Z ที่ปลายสายตรง C1 และ C2 เป็น 100 โอห์ม แล้ว ถ้าในสายเส้นเดียวกัน แต่เป็นที่ปลายด้าน D คือทั้ง D1 และ D2 ถ้าจะให้ $Z = 100$ โอห์ม ตาม C1, C2 จะเกิดปัญหาทันที กล่าวคือจะต้องหาค่า $Z = 200$ โอห์ม มาต่อขนานกัน ก็คือปลาย E1, E2 มีค่าเป็น 200 โอห์ม แต่สายเส้นที่เป็นปลาย E อีกด้านหนึ่งคือ E1 และ E2 จะต้องไปต่อกับสายอากาศ ดังนั้นการที่ต้องการให้เป็น 200 โอห์ม นั้นย่อมเป็นไปได้ยากมาก เราจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนค่า Z ที่ปลาย D ทั้ง D1 และ D2 ให้มีค่าเท่ากับประมาณ $1/2$ ของ Z ที่ตัวสายอากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ 150 โอห์ม ได้โดยวิธีการ Transform ค่า Impedance โดยใช้สูตร

$$Z_o = \sqrt{Z_1 * Z_2}$$

เมื่อ Z_o = ค่า Impedance ประจำตัวของสายโดยทั่วไปจะมีค่าเป็น 50 โอห์ม เช่นสาย RGA/U และ 75 โอห์มเช่นสาย RG11

Z_1 = ค่า Impedance ทาง Input

Z_2 = ค่า Impedance ทาง Output



จากสูตรเราจะได้ว่า $Z_2 = Z_o^2 / Z_1$

โดยที่ถ้าเรากำหนด Z_o เป็นสาย RG 11 ซึ่ง = 75

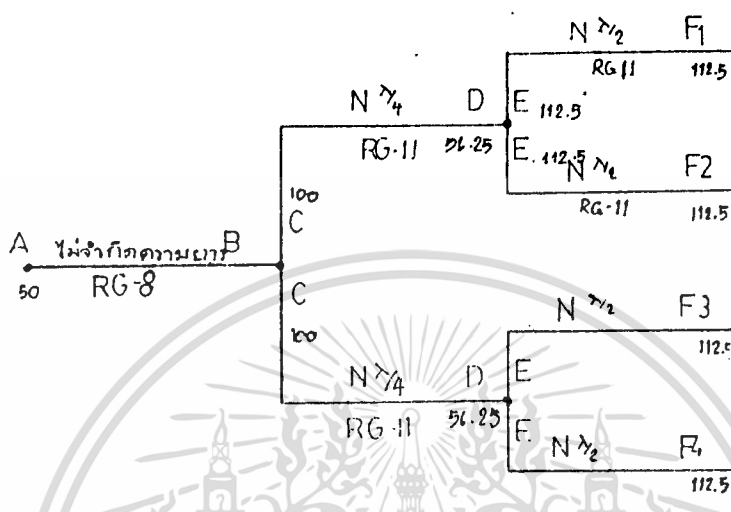
Z_1 เป็น 100 โอห์ม(ตามค่า Z ปลายด้าน C1 และ C2 ที่ต้องการเปลี่ยนเป็นค่าอื่น)

Z_2 เป็น Z ที่ต้องการหาโดยแปลงจาก 100 โอห์ม

แทนค่า $Z_2 = \frac{75^2}{100} = 56.25$ โอห์ม

หมายเหตุ ทั้งนี้เราจะใช้สูตร และได้ผลการคำนวณออกมาเป็น 56.25 โอห์ม ได้ก็ต่อเมื่อเราตัดสาย CD ให้ยาวเป็น $n(\lambda/4)$ โดยที่ N เป็นเลขจำนวนเต็มและเป็นจำนวนคี่ใด ๆ เช่น 1, 3, 5, 7, ...

เมื่อเราทราบค่า Z ปลายด้าน D แล้วคือ 56.25 โอห์ม ดังนั้นเราจะทราบได้ทันทีว่าค่า Z ปลาย E แต่ละตัวที่จะมาต่อร่วมกันจะมีค่า Z เป็น 2 เท่าของปลาย D คือ มีค่า = 112.5 โอห์ม นั้นหมายความว่าสายอากาศของเราจะมีค่า Z เป็น 112.5 โอห์ม ซึ่งตรงกับที่เราประมาณไว้ในขั้นต้นคือ ต่ำกว่า 150 โอห์ม ลงมา ดังนั้นมาถึงขั้นตอนนี้จะพบปัญหาขั้นสุดท้ายก็คือ จะทำตัวสายอากาศอย่างไรให้มีค่า Impedance เป็น 112.5 โอห์ม (ตามที่คำนวณ) และมี Frequency Response ตรงกับความถี่ ที่เราใช้งาน 478.9 MHz ซึ่งจะกล่าวต่อไปถึงการทำตัวสายอากาศอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 6.3 แสดงค่า Z และความยาวของ Phasing Line

จากรูป 6.3 เป็นการสรุปผลการคำนวณตามจุดต่าง ๆ ของสายอากาศ Dipole 4 stack ตามรูปเราจะเห็นได้ว่าสาย AB และ EF ที่ปลายทั้ง 2 ด้านจะมีค่า Z เท่ากัน ซึ่งเราเรียกว่าเป็นการ Transfer Impedance ซึ่งเราสามารถคำนวณหาความยาวของสายได้ โดยการตัดสาย Transmission line ให้ยาวเป็น $N\lambda/2$ โดยที่ N เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ เช่น 1, 2, 3, 4, ส่วนสาย CD ปลายทั้ง 2 ข้างมี Z ไม่เท่ากัน มีลักษณะคล้ายเป็น Transformer ซึ่งเราเรียกว่าเป็นการ Transform Impedance การคำนวณความยาวสาย โดยการตัดสายให้ยาวเป็น $N\lambda/2$ โดยที่ N เป็นเลขจำนวนเต็มและเป็นจำนวนคี่ใด ๆ เช่น 1, 3, 5, 7, ... ดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว สำหรับค่า N ของการคำนวณทั้ง Transfer และ Transform Impedance ที่เหมาะสมในขั้นนี้ยังเป็นการยากที่จะระบุว่าจะควรเป็นเลขใด ทั้งนี้เพราะค่า Z ที่ปลาย F จะเปลี่ยนไปตามระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศแต่ละตัว รวมทั้งระยะห่างระหว่างตัว Reflect กับตัวโครงยึดเสาอากาศ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจะขอใช้ค่าที่ได้จากผลการทดลองมาแล้วคือ

1. สาย EF จะใช้ค่า $N = 4$ แล้วคูณด้วยค่า K หรือ Velocity factor ประจำตัวของสาย ซึ่งสาย RG8/U จะใช้ค่า $= 0.66$ และ ดัดที่ความถี่กลางคือ 478.9 MHz

$$\begin{aligned} \text{สาย EF ยาวจริง} &= K \cdot N \lambda / 2 \\ &= .66 \times 4 \times 300 / (478.9) \times (1/2) = 82.69 \text{ cm} \end{aligned}$$

2. สาย EC ใช้ค่า $N = 7$ ค่า K ของสาย RG11 $= .66$ ความถี่ 478.9 MHz

$$\begin{aligned} \text{สาย BC ยาวจริง} &= 0.66 \times 7 \times 300 / (478.9) \times (1/4) \\ &= 72.35 \text{ cm.} \end{aligned}$$

3. สาย AB เนื่องจากที่จุด B มีค่า $Z = 50$ โอห์ม อยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อนำสาย RG8/U ซึ่งมี $Z_0 = 50$ โอห์ม มาต่อไม่ว่าสาย AB จะยาวเท่าใดหรือพูดได้ว่าทุกๆ จุดบนสาย RG8/U จะมีค่า $Z = 50$ โอห์ม ตลอดดังนั้นความยาวของสาย AB จึงไม่มีผลต่อค่า Z ที่จุด A สำหรับทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติถ้าทดสอบแล้วปรากฏว่าที่ปลาย A มี Reflect นั้นแสดงว่า ที่ปลาย A ที่ต่อเข้าเครื่องมีค่า Z ไม่ตรงกับเครื่องส่งคือ $= 50$ ถ้าลองตัดปลายสายด้าน A ลงเรื่อยๆ อาจจะช่วยลด Reflect power ลงได้บ้าง ซึ่งเป็นทางหนึ่ง ที่ค่อนข้างสะดวกกว่าการตัดสายเส้นอื่น ๆ

ในทางปฏิบัติจริงเราจำเป็นต้องเพิ่มความยาวของสายจากที่คำนวณไว้อีกประมาณ 2 cm. เพื่อชดเชยส่วนของสายที่เลยไปตรงปลายที่ต่อไม่ว่าส่วนที่ต่อกับ Connector, ทางปลา หรือแม้กับตรงที่เป็น 3 ทางก็ตาม ซึ่งความยาวจริงที่ปรากฏจริงจากการคำนวณและทางปฏิบัติจะเป็นดังนี้

ลำดับ	ชื่อสาย	ชนิดสาย	Z_0 โอห์ม	ความยาว คำนวณ cm.	ความยาวจริง	ลักษณะการ ใช้งาน	
1.	AB	RG8/U	50	--	ไม่จำกัด	Transfer	$N(\lambda/2)$
2.	CD	RG 11	75	72.35	76	Transform	$N(\lambda/4)$
3.	EF	RG8/U	50	82.69	86	Transfer	$N(\lambda/2)$

6.2.2 การสร้างตัวสายอากาศ

เนื่องจากผลการคำนวณ Phasing Line ในขั้นตอนแรกหาได้แล้วว่าที่ปลาย F ที่ต่อกับตัวสายอากาศ ต้องการค่า $Z = 112.5$ โอห์ม ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องสร้างตัวสายอากาศให้มีค่า $Z = 112.5$ โอห์ม เช่นกัน แต่เป็นการยากที่จะคำนวณโครงสร้างต่าง ๆ ของตัวสายอากาศแล้วให้มีค่า Z เป็น 112.5 โอห์ม และมี Frequency Response ตรงกับความถี่ที่ต้องการใช้งานคือ 478.9 MHz จึงจะขอสรุปเอาผลลัพธ์ที่ได้ทดลองในห้องปฏิบัติการแล้วใช้งาน ได้ผลมาแสดงในที่นี้



รูปที่ 6.4 แสดงโครงสร้างของตัวสายอากาศ

DRIVER สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรเป็น $K\lambda/2$

โดย K เป็นค่า Velocity Factor ของท่ออลูมิเนียม ซึ่งจากการทดลองหาได้ว่าย่าน UHF จะอยู่ในช่วง $0.911 - 0.94$ ซึ่งเป็นการยากที่จะระบุลงไปให้ชัดว่าควรเป็นค่าใด เนื่องจากท่ออลูมิเนียมที่นำมาใช้งานมีอยู่ด้วยกันหลายแบบทั้งแบบเคลือบผิวกับแบบไม่เคลือบ ซึ่งมีผลทำให้ค่าความนำทางไฟฟ้าแตกต่างกันออกไปอีกทั้งความหนาของท่อก็มีต่าง ๆ กันไป เวลานำมาตัดโค้งความยาวหลังจากตัดโค้งจะไม่เท่ากัน ดังนั้นค่า K ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าความเร็วของคลื่นวิทยุที่ผิวท่ออลูมิเนียมกับความเร็วที่คลื่นวิ่งในสุญญากาศจะเปลี่ยนไป ดังนั้นตัว Driver เราจะคำนวณได้เป็น

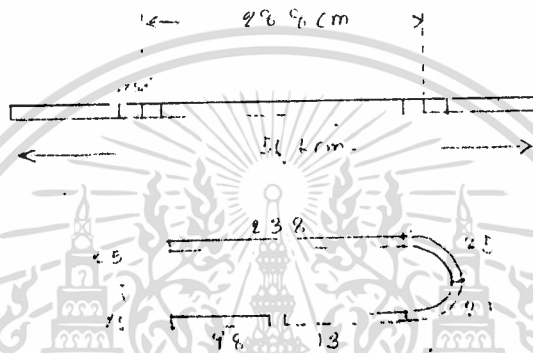
$K\lambda/2$ (ค่า K จากการทดลองปรากฏว่าได้ = 0.92 ที่

ความถี่ 478.9 MHz)

$$= .92 \times 300 / (478.9 \times 2)$$

$$= 28.8 \text{ cm}$$

ดังนั้นเราจึงสามารถสร้างตัว Driver ได้โดยใช้ท่อลุ่มีเนี่ยมขนาด 3/8 นิ้ว
ได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงขนาดและลักษณะของตัว Driver

หมายเหตุ ความยาวของท่อลุ่มีเนี่ยมตามรูป 6.5 (ข) อาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย
ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อัตราการยึดของท่อที่จะนำมาตัดโค้ง เพื่อให้มีขนาดหลังจากการตัดโค้งเรียบร้อยแล้วตรงตามรูปที่ 6.5 (ก)

วิธีการสร้าง ส่วนของ Phasing Line

1. ตัดสาย RG8/U ยาว 66 cm และปลอกสายตามรูป 6.7 (ก) และ 6.7 (ข) จำนวน 4 เส้น
2. ตัดสาย RG11 ยาว 76 cm. และปลอกสายตามรูป 6.7 (ค) จำนวน 2 เส้น
3. ทำการต่อสาย Phasing ตามรูป 6.7 (ง) โดยคำนวณการตามขั้นตอนดังนี้
 - 3.1 นำสายทองแดง (Inner) ของทั้ง 3 เส้นนำมาตรวมกันแล้วบัดกรี
 - 3.2 ใช้เทปละลายสายพันส่วนที่เป็นรอยบัดกรีต่อของ Inner และพันให้หนา

พอสมควร

3.3 ตึงสาย Shield ของทั้ง 3 เส้น มาคลุมส่วนที่เราพันเทปไว้ให้ทั่ว แล้วบัดกรี เพื่อให้จุดที่เชื่อมต่อนี้มีความแข็งแรงมากขึ้น

3.4 หลังจากข้อ 3.3 อาจนำแผ่นทองแดงบาง ๆ หรือลวดเส้นเล็ก ๆ มา หุ้มหรือพันรอบๆ จุดที่บัดกรี Shield ไว้อีกครั้งหนึ่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแล้วใช้เทปละลายพัน

3.5 ทำการต่อสาย Phasing ทั้งหมดจำนวน 3 จุด ส่วนปลายเดี่ยวเส้น

สุดท้ายต่อสาย RGB/U ยาวพอประมาณแล้วต่อ Connector เพื่อใช้ต่อเข้าเครื่องรับ-ส่งวิทยุ

การปรับแต่งและวัดผล

หลังจากประกอบเสร็จแล้ว ให้ติดตั้งสายอากาศแต่ละตัว ห่างกันประมาณ 60 ถึง 70 cm. ตามรูป 6.7 ทั้งนี้ให้ทดลองเลื่อนแต่ละตัวให้ห่างในระยะที่เท่า ๆ กันจนวัด Power Reflect ให้ต่ำที่สุด โดยปกติถ้าวัดที่ใกล้ตัวสายอากาศที่สุดไม่ควรให้ Reflect Power เกิน 1 W. โดยปกติจะอยู่ในราว 0.05 W.-0.2 W. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความผิดพลาด ในการประกอบ การต่อสาย Phasing

6.3 ข้อเสนอนแนะ

6.3.1 เพื่อความสะดวกควรทดลองประกอบ และทดลองปรับ เพื่อหาระยะห่างที่แน่นอน ก่อนนำขึ้นไปติดตั้งใช้งานจริงบนเสาสูง

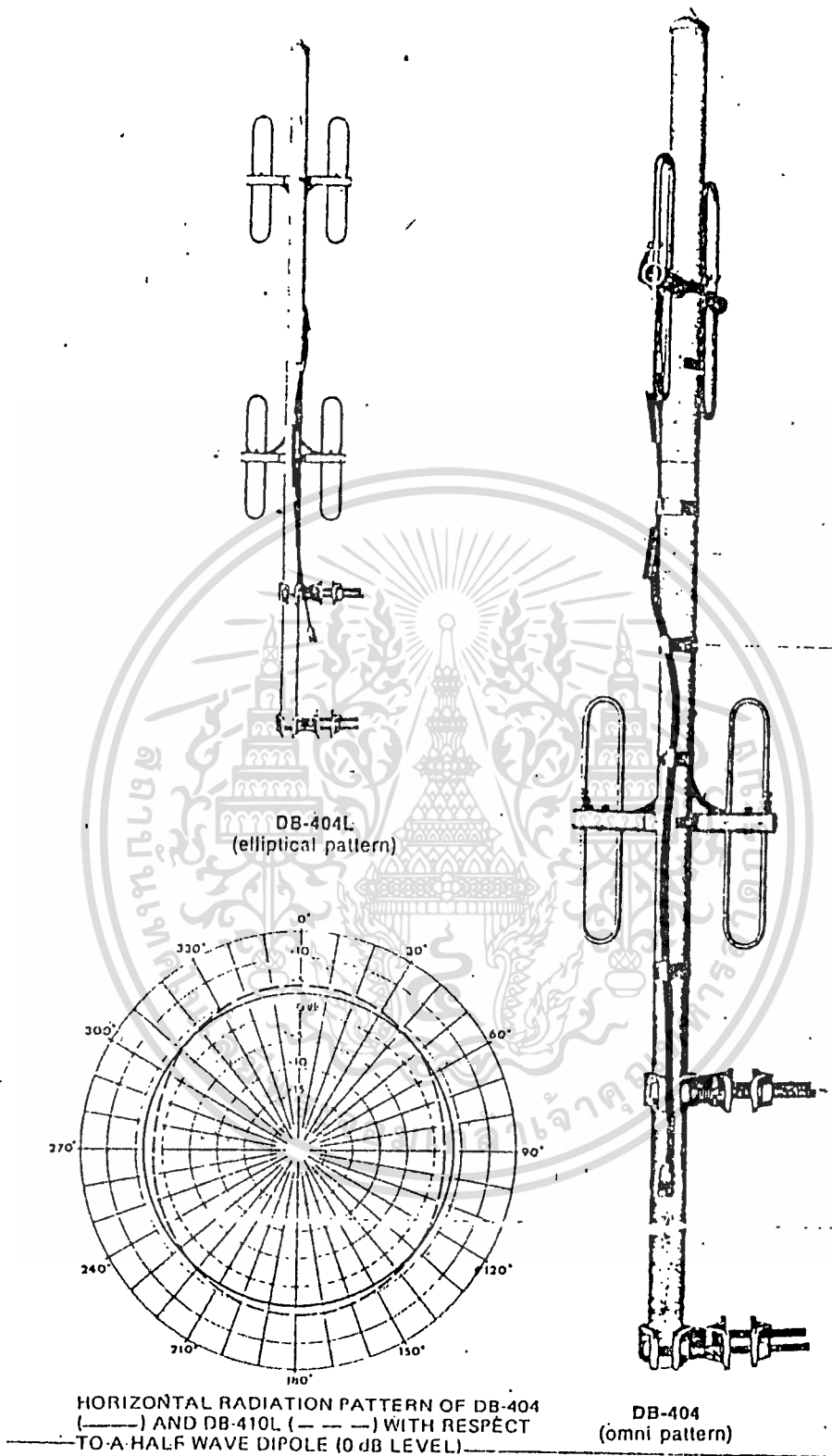
6.3.2 สายทุกเส้นโดยเฉพาะเส้นที่ต่อกับสายอากาศแต่ละตัวควรแนบกับตัว Boom หรือ ตัวเสาที่สูง

6.3.3 ส่วนที่เป็น Nut. ต่าง ๆ ควรตัดให้สั้นที่สุดและควรใช้ไข่มันทาเพื่อกันสนิมอันอาจ เกิดขึ้น ภายหลังใช้งานไปนาน ๆ

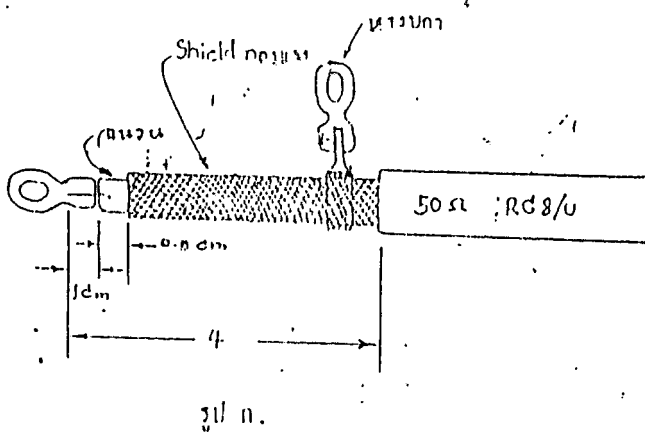
6.3.4 ตรงส่วนที่เป็นจุดต่อของ Phasing line เวลาบัดกรีสาย Shield หุ้มรอยต่อ ไม่ควรใช้ความร้อนนาน เพราะจะทำให้เทปที่พัน Inner ไว้ละลาย แล้วทำให้ Inner Short กับ Shield ได้

6.3.5 ตรงส่วนที่เป็นจุดต่อของ Phasing แล้วพันเทปละลายเวลาติดตั้งควรคว่ำจุดต่อ ลงเพื่อกันน้ำฝนไหลย้อนกลับลงไปในช่วงว่างระหว่างสายได้

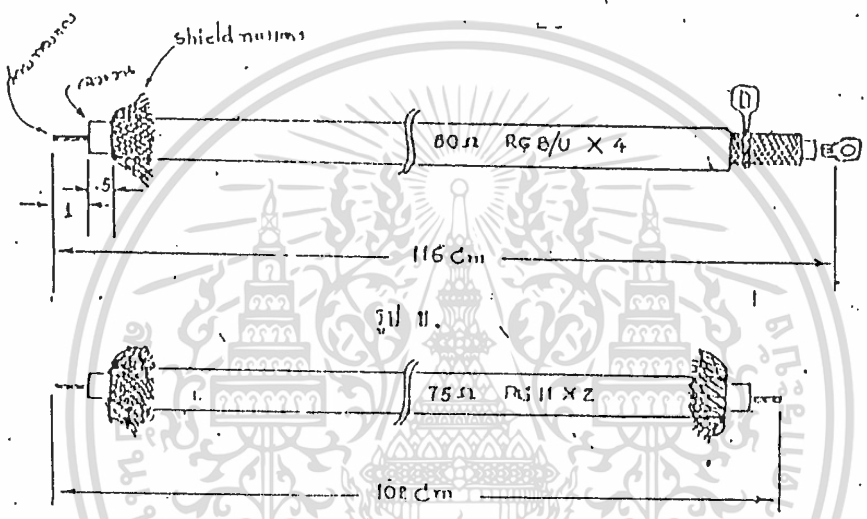
6.3.6 ในกรณีที่เรามีสายอากาศแบบเดิมที่เป็นตัวเดียวโดดๆ และมีค่า $Z = 50$ โอห์ม อยู่แล้ว เราสามารถที่จะนำมาต่อเป็น 2 stack และ 4 stack เพื่อเพิ่ม gain ของสาย อากาศสามารถทำ Phasing ใหม่ได้



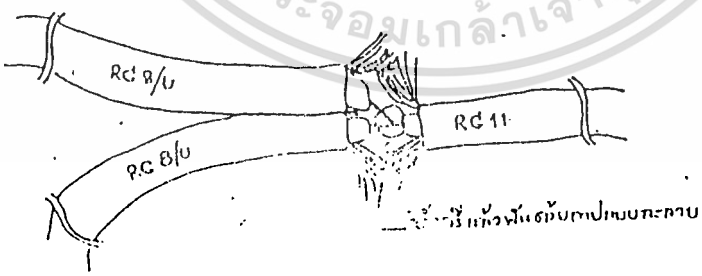
รูปที่ 6.6 แสดงการทำและติดตั้งตัวสายอากาศไดโนล 4 สแต็ค



รูป ก.



รูป ข.



รูป ค.

รูปที่ 6.7 แสดงการตัดและต่อสาย Phasing Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุป

7.1 สรุปการออกแบบและสร้างจานสายอากาศสำหรับ STVRO

จากการที่ได้ออกแบบและสร้างจานสายอากาศชนิด PRIME FOCUS FEED PARA BOLOID ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เมตร และได้ทำการทดลองวัดค่า PARAMETER ต่างๆ สรุปผลได้ดังนี้

7.1.1 ELECTRICAL PARAMETER

1. อัตราการขยายของจานสายอากาศด้านรับ $[G_{dB}]$ ในย่าน C-BAND [3700 - 4200 MHz] มีค่า 40 dB ปรากฏว่า ได้ค่าต่ำกว่า Standard เล็กน้อย แต่ก็ได้ผล เป็นที่พอใจ

2. PATTERN ของจานสายอากาศด้านรับ [RECEIVER PATTERN ANTENNA] ที่สร้างขึ้น มีค่า BEAM WIDTH กว้างกว่ามาตรฐานสาเหตุ เนื่องจากการ ERROR จากจานสายอากาศ เพราะอุปกรณ์ในการทำยังไม่พร้อมเท่าที่ควร

3. จานสายอากาศที่ได้สร้างขึ้นนี้ หวังผลในการรับสัญญาณโทรทัศน์เท่านั้น ซึ่งผลที่ได้ก็ค่อนข้างเป็นที่พอใจ

4. จานสายอากาศที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น ก็ได้ทักษะทางด้านแนวคิดได้ดี

7.1.2 MECHANICAL PARAMETER

1. การสร้างจานสายอากาศในโครงงานนี้ ประกอบด้วยเหล็กเป็นโครงสร้าง

2. ใช้ Gas เป่าตาม CURVE ที่เป็นแบบทำให้ลำบาก ต่อการขึ้นรูป ทำให้เกิด ERROR กับ CURVE ที่ได้

3. แล้วยึดด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 1.5 mm.

4. การใช้แผ่นอลูมิเนียมทำ จะได้ความคงทน เพราะไม่เป็นสนิม น้ำหนักเบา เหมาะสมสำหรับใช้เป็นจานสายอากาศ ขนาดเล็กได้

5. ทาสีป้องกันสนิม เพื่อให้สามารถใช้งานได้นาน

6. ค่า ERROR เนื่องมาจากความไม่เรียบของ REFLECTER ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมมีค่าน้อยกว่าที่จะใช้ FIBER GLASS เพราะแผ่นอลูมิเนียม มีความเป็นมันของเนื้อผิวมากกว่า

7. การติดตั้ง FEED HORN ที่จุด FOCUS ของจานทำได้ง่ายกว่า
8. จานสายอากาศออกแบบให้สามารถถอดได้เป็น 24 SEGMENT และสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้ง ที่อื่นได้สะดวกกว่า

7.2 สรุปการออกแบบเครื่องส่ง ขนาด 1 W.

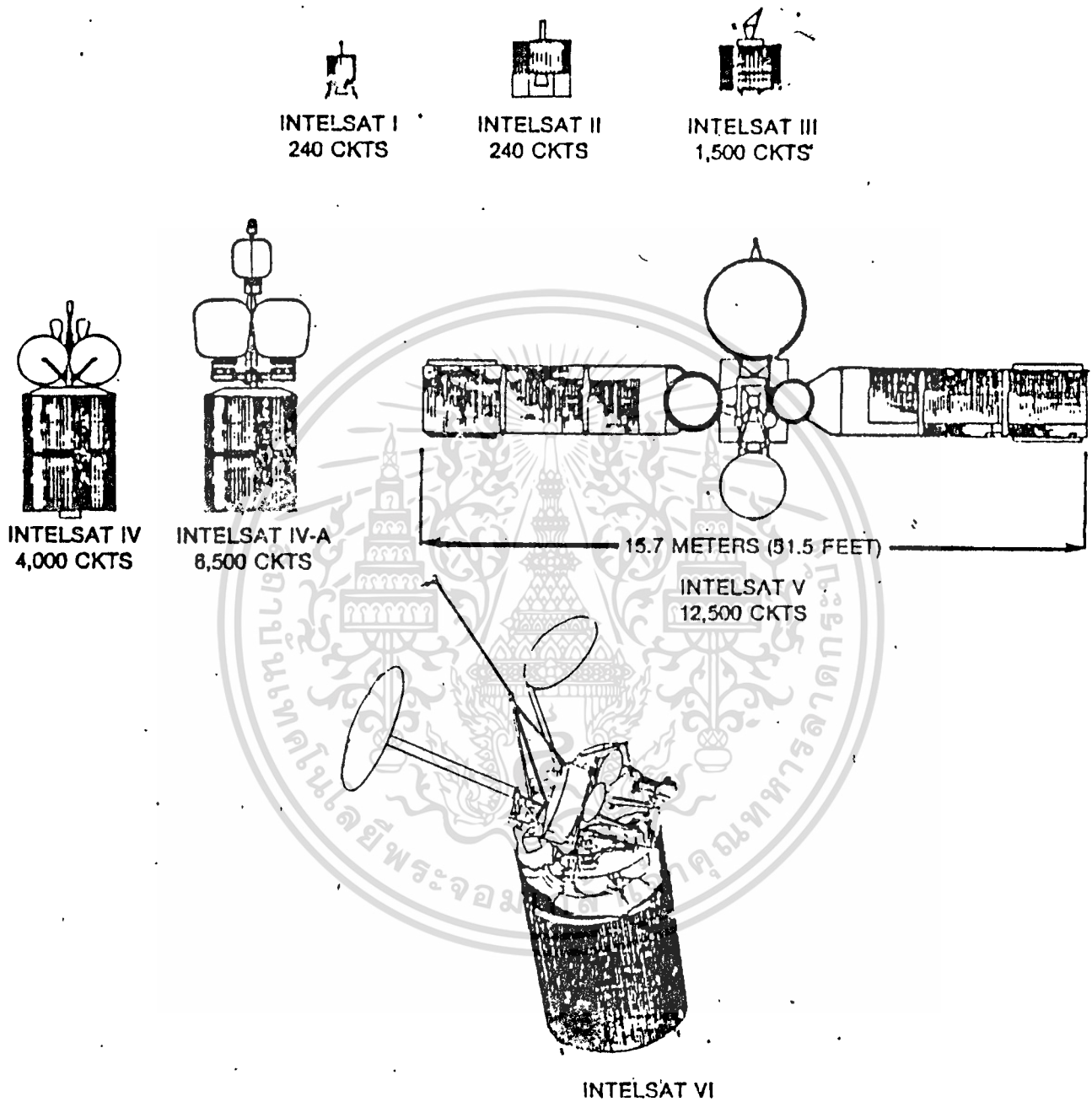
1. สามารถใช้งานได้ในรัศมีประมาณ 500 เมตร
2. อุปกรณ์ที่ประกอบส่วนมาก สามารถหาได้ในท้องตลาด ยกเว้นบางตัวต้องซื้อจากต่างประเทศ
3. คุณภาพที่ได้เป็นที่น่าพอใจ
4. สามารถเรียนรู้ระบบของเครื่อง สถานีส่งขนาดเล็ก
5. สามารถ MODIFY ให้มีรัศมีทำการกว้างขึ้นได้ โดยการเพิ่มชุด Power Amplifier
6. ได้แสดงวงจรที่ทดลองได้ และใช้งานได้จริงมาพร้อมด้วย

7.3 สรุปการสร้างสายอากาศเครื่องส่ง

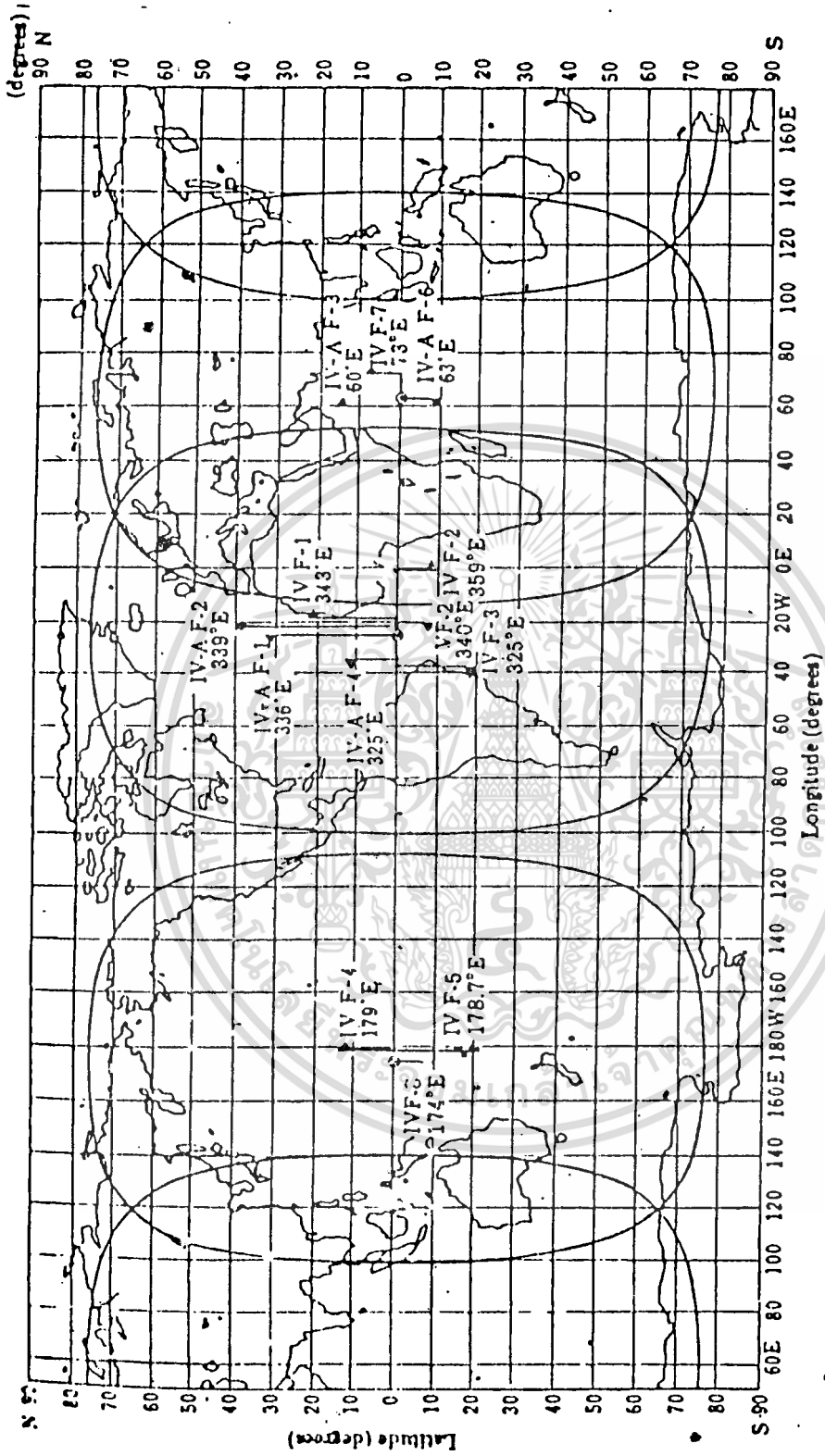
1. สามารถเรียนรู้การทำสายอากาศ DIPOLE 4 STACK [GAIN 6 dB] ที่ FREQUENCY ในย่าน UHF ได้
2. ปรับปรุงสายอากาศให้มีส่วนเพิ่มรัศมีการกระจายคลื่นให้ได้ไกล
3. ลักษณะโครงสร้างเป็นอลูมิเนียมขนาด $\phi = 3/8$ ซึ่งรูปแบบโครงสร้างและการ MATCHING กับ FREQUENCY ของเครื่องส่ง [478.9 MHz] ได้แสดงลักษณะการสร้างตามบทที่ 6
4. การติดตั้งสายอากาศ ใช้แบบ Vertical OMNI-DIRECTIONAL (กระจายคลื่นได้รอบทิศทาง)

การสร้างอาจจะซุกซนเล็กน้อยสมควร ทั้งเวลา และอุปกรณ์ เครื่องมือช่วย ในการสร้าง ข้อดี คือได้เรียนรู้การทำงาน กับโครงงานที่ต้องใช้ทักษะหลายด้าน ทั้งแนวคิด, ข้อแก้ไข เพื่อให้ได้ผลจากโครงงานนี้ดีที่สุด แต่ยังมีข้อเสียคือ ความคลาดเคลื่อนผิดไปจากหลักการและการคำนวณบ้าง แต่ก็เป็นที่น่าพอใจ สำหรับโครงงานนี้ และยังสามารถที่จะใช้เป็น ชุดทดลอง และแนวคิดการปรับปรุงเพิ่มเติมได้

ภาพผนวกที่ 1.



รูปที่ 1.1 ลักษณะของดาวเทียม INTELSAT



รูปที่ 1.8

Arrows denote the direction to which the satellite drifts. The satellite coverages are based on the elevation angle of 5° for the primary satellites marked with white circles.

Positions of INTELSAT satellites (As of 30 April 1981)

TABLE 1.1
STATUS OF INTELSAT SATELLITES

<u>FLIGHT</u>	<u>LAUNCH DATE</u>	<u>LOCATION</u>	<u>REMARKS</u>
<u>INTELSAT I</u> (EARLY BIRD)	6 APR 1965	-	Operated over Atlantic to Aug. 69
<u>INTELSAT II</u>			
F-1	26 OCT 1966	-	Failed to achieve Synchronous Orbit
F-2	11 JAN 1967	-	Operated over Pacific to Feb. 1969
F-3	22 MAR 1967	-	Operated over Atlantic Feb. 1970
F-4	27 SEP 1967	-	Operated over Pacific to August 1971
<u>INTELSAT III</u>			
F-1	18 SEP 1969	-	Launch Failure
F-2	18 DEC 1969	-	Operated over Atlantic to March 1970
F-3	5 FEB 1969	-	Operated over Pacific & Indian Oceans
F-4	21 MAY 1969	-	Operated over Pacific Feb. 1972
F-5	25 JUL 1970	-	Launch failure
F-6	22 JAN 1970	-	Operated over Atlantic & Pacific Oceans to January 1975

<u>FLIGHT</u>	<u>LAUNCH DATE</u>	<u>LOCATION</u>	<u>REMARKS</u>
F-7	22 APR 1970	-	Operated until failure over the Atlantic 15 March 1975
F-8	29 JUL 1970	-	Launch Failure

INTELSAT IV

F-1	25 SEP 1975	-	Retired October 1987
F-2	25 Jan 1971	-	Retired from service August 1980
F-3	19 DEC 1971	-	Retired from service May 1983
F-4	23 JAN 1972	-	Retired from service February 1983
F-5	13 JUN 1972	-	Retired from service February 1982
F-6	20 FEB 1975	-	Launch Failure
F-7	23 AUG 1973	-	Retired from service January 1983
F-8	21 NOV 1974	-	Retired from service August 1985

INTELSAT IV-A

F-1	25 SEP 1975	-	-
F-2	29 JAN 1976	-	Retired from Service January 1984
F-3	6 JAN 1978	177 E	-

-118-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>FLIGHT</u>	<u>LAUNCH DATE</u>	<u>LOCATION</u>	<u>REMARKS</u>
F-4	26 MAY 1977	338.5 E	-
F-5	29 SEP 1977	-	Launch Failure
F-6	31 MAR 1978	-	-

INTELSAT V

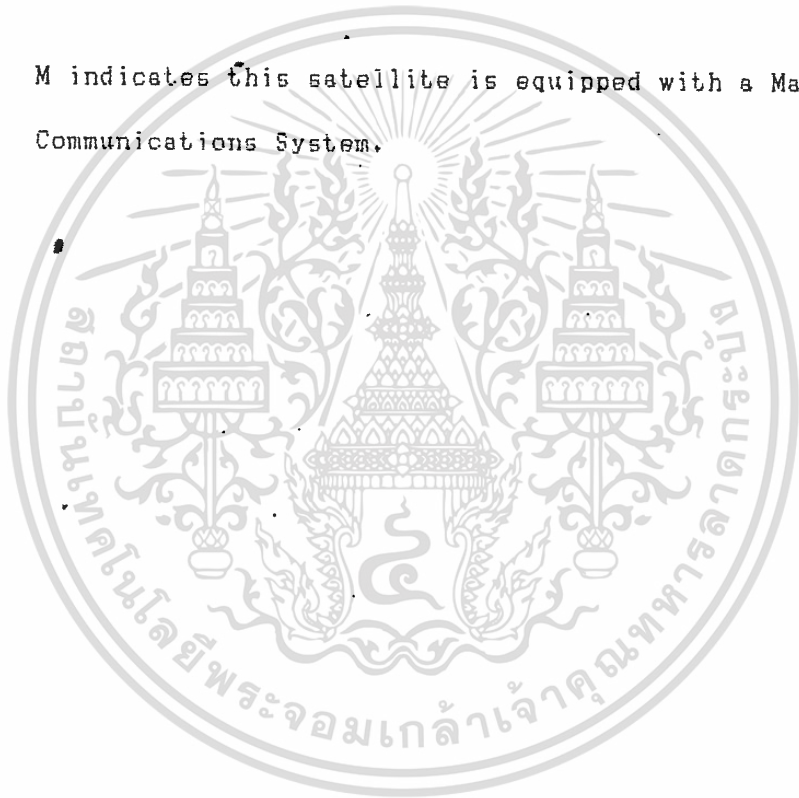
F-1	24 MAY 1981	174 E	POR	-
F-2	6 DEC 1980	359 E	AOR	-
F-3	15 DEC 1981	307 E	AOR	-
F-4	4 MAR 1982	325.5 E	AOR	-
F-5M	DEC 1982	63 E	IOR	-
F-6M	19 MAY 1983	341.5 E	AOR	-
F-7M	18 OCT 1983	66 E	IOR	-
F-8M	4 MAR 1984	180 E	POR	-
F-9M	9 JUN 1984	-	-	Launch failure.

INTELSAT V-A

F-10	MAR 1985	335.5 E	AOR	-
F-11	MAY 1985	332.5 E	AOR	-
F-12	OCT 1985	60 E	IOR	-
F-13	1988			Ariane 2 Launch.
F-14	MAY 1986			Launch failure.
F-15	1988			Ariane 2 Launch.

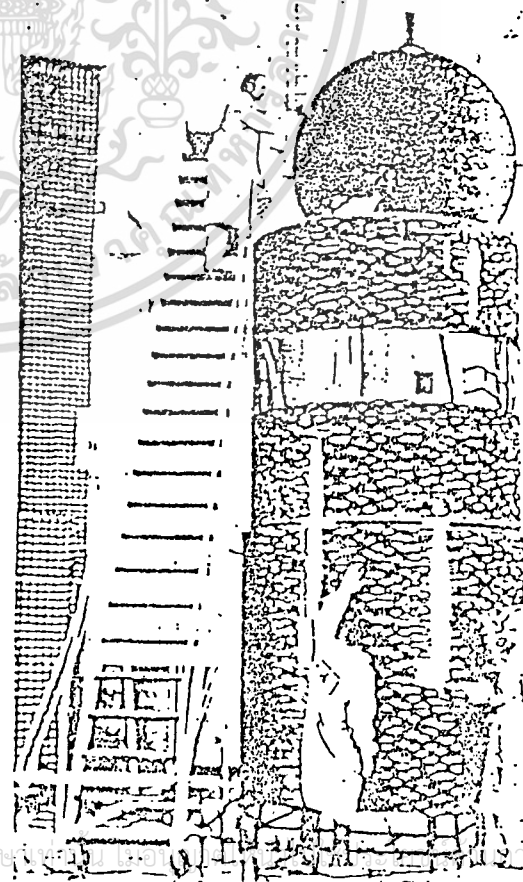
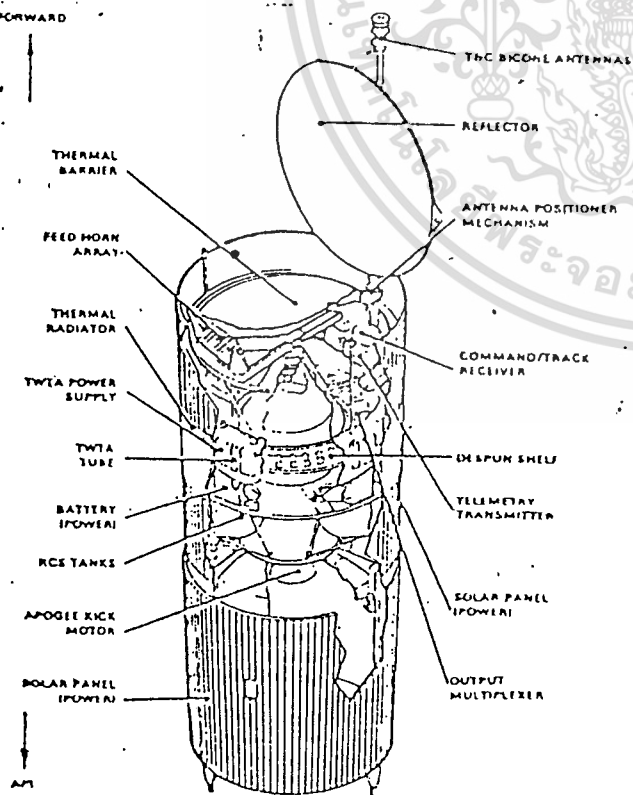
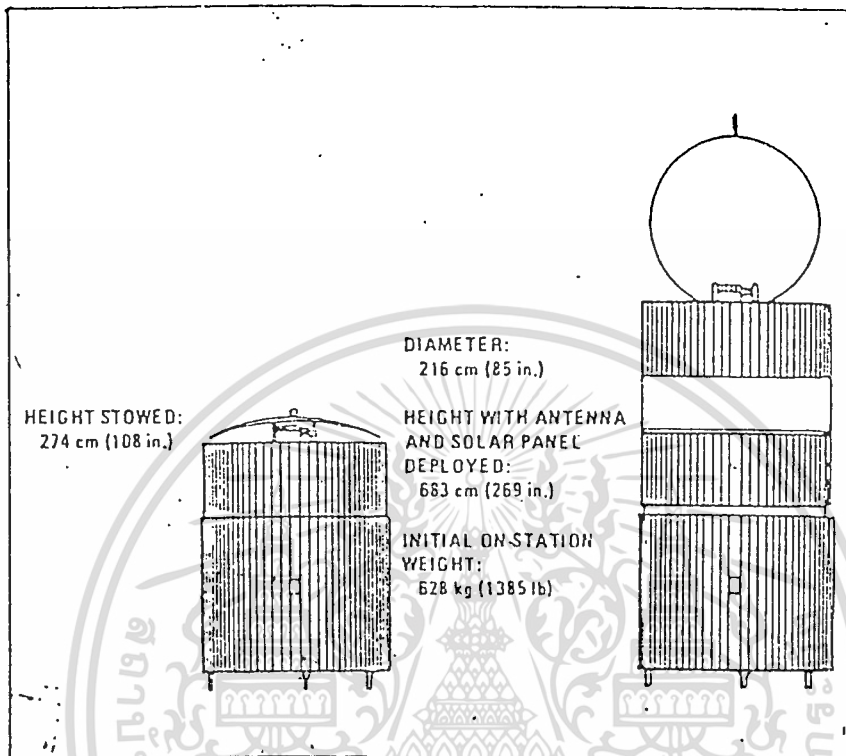
<u>FLIGHT</u>	<u>LAUNCH DATE</u>	<u>LOCATION</u>	<u>REMARKS</u>
<u>INTELSAT VI</u>			
F-1	To be determined		Titan
F-2	MID 1989		Ariane
F-3	EARLY 1990		Ariane
F-4	MID 1990		Ariane
F-5	To be determined		Titan

NOTES : M indicates this satellite is equipped with a Maritime Communications System.



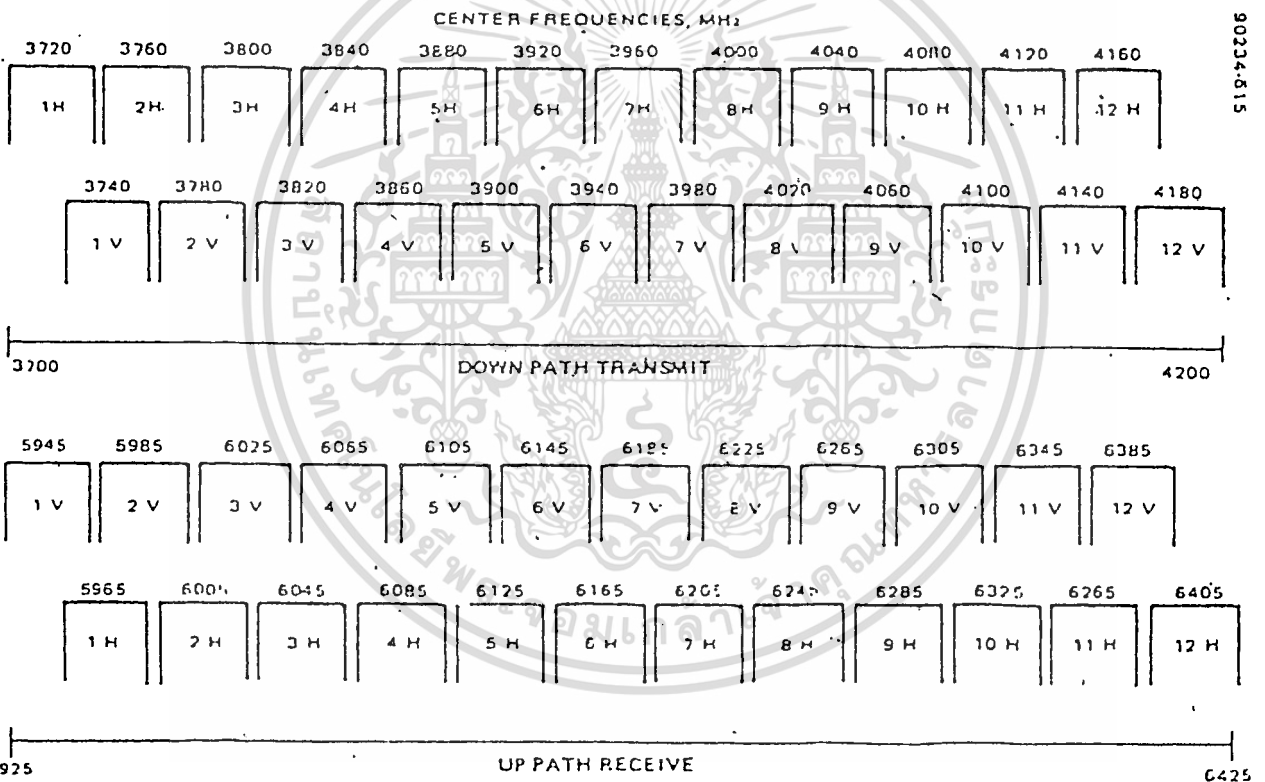
PALAPA - B

INDONESIA'S SECOND GENERATION COMMUNICATIONS SATELLITES



FREQUENCY AND POLARIZATION PLAN

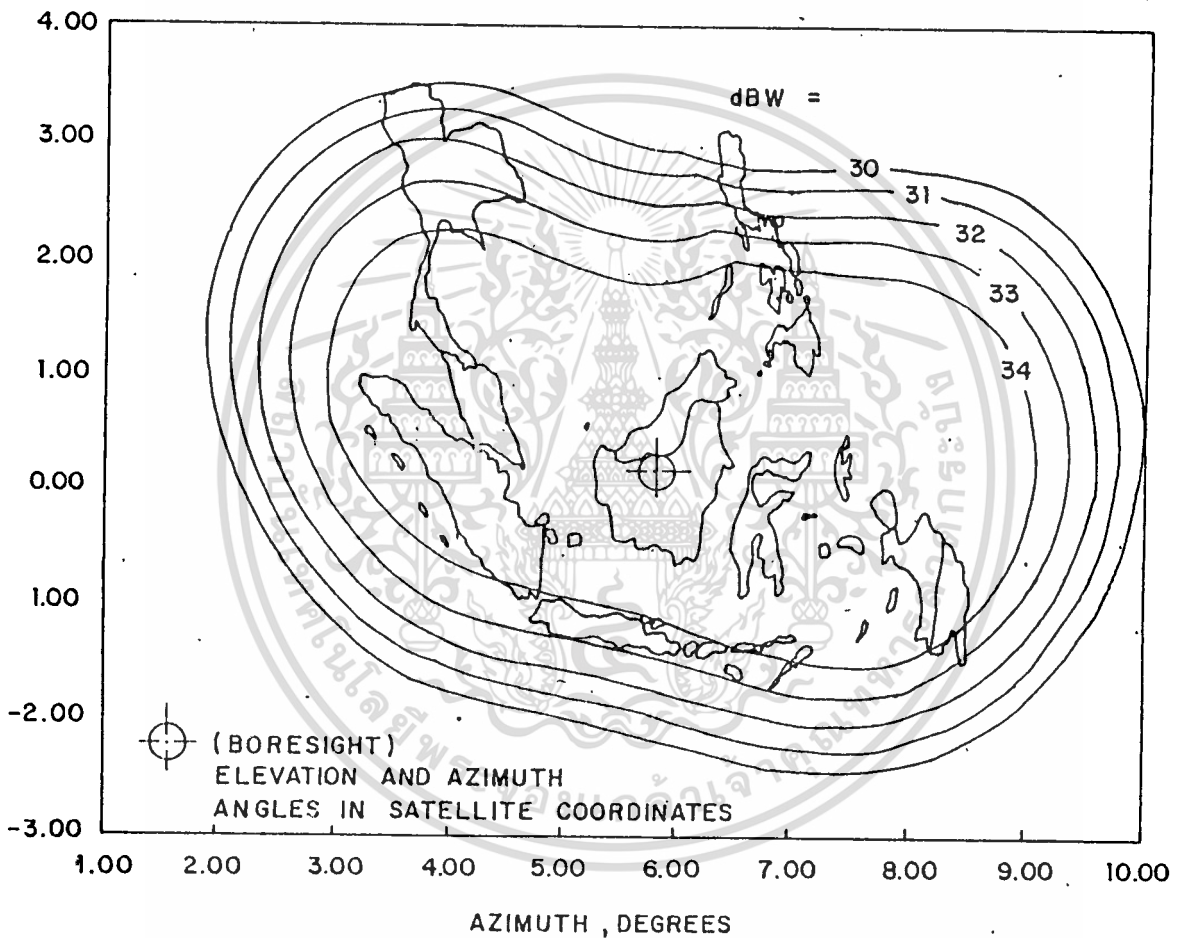
90234-815



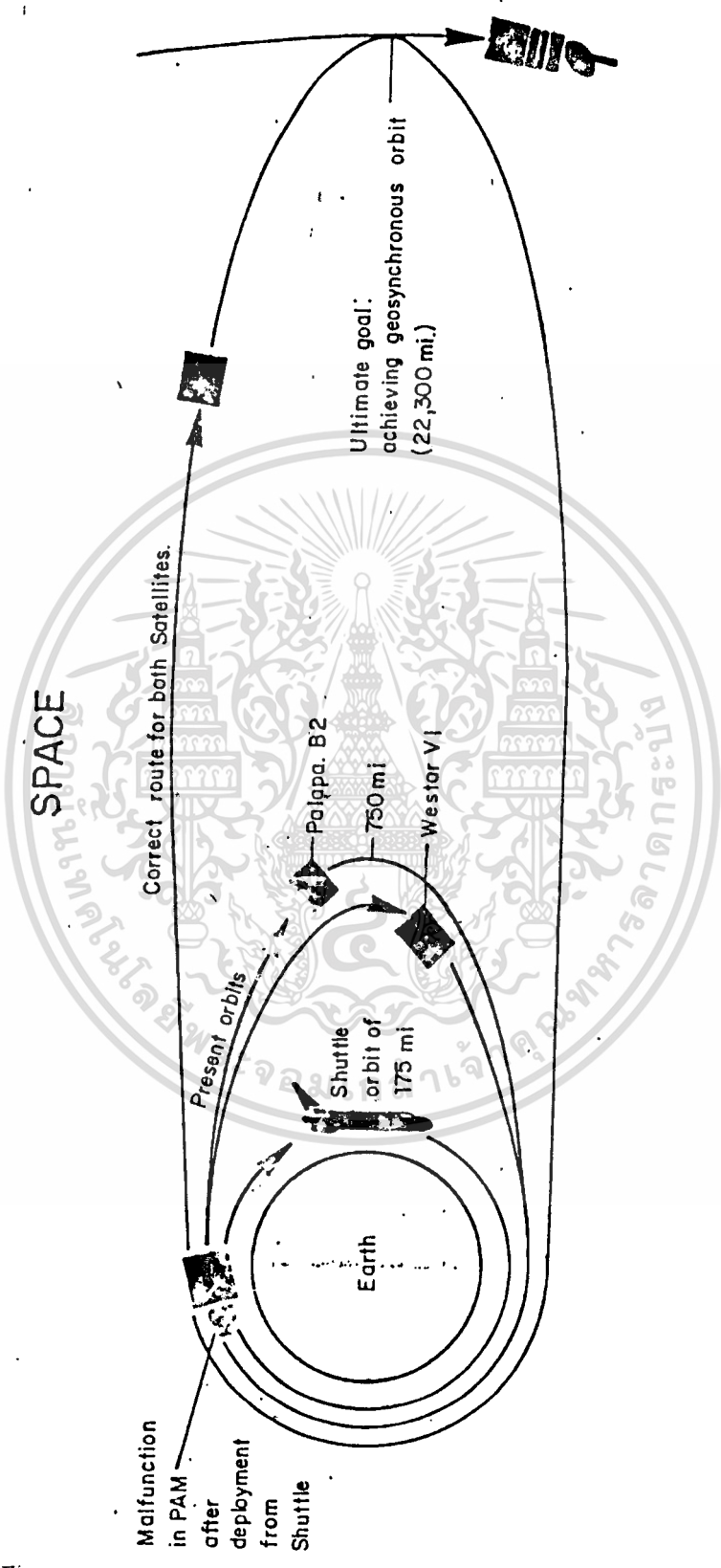
H - HORIZONTAL POLARIZATION
 V - VERTICAL POLARIZATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PALAPA SATELLITE COVERAGE



d) SATELLITE AT 77° E LONGITUDE



- System name : P A L A P A - B.
- Number of satellite network in system : 3 (three).
- Locations : PALAPA B1 108°E ± 0.5°
PALAPA B2 113°E ± 0.5°
PALAPA B3 118°E ± 0.5°
- Usage : Domestic and Regional.
- No bandwidth and EIRP of satellite channels : 24 transponder with total bandwidth 500 MHz for each satellite.
EIRP saturated:
36.5 dBW at beam center.
31.5 dBW at beam edge.
- Transmit and receive satellite antenna gains and noise temperature : Transmit and receive:
28 dBi at beam center.
24 dBi at beam edge.
Noise temperature:
1000°K.
- Satellite antenna pointing tolerances : ± 0.5°
- Polarization : Orthogonal.
- Satellite antenna beam shaping : Spot beam over ASEAN region plus Papua New Guinea.
- Frequency re-use : dual.
- Expected satellite life : 10 years.
- Expected system life : 8 years from July 1983 until July 1991..

-	No of earth stations	:	125					
-	Earth stations	:						
	Antenna sizes		13.0	11.0	10.0	4.5	3.0	(m)
	Gain transmit		56.0	54.5	53.5	46.5	43.0	dBi
	Gain receive		53.0	51.5	50.5	43.5	40.0	dBi
	Noise temperature		23.3	22.8	24.5	27.9	26.0	dB.K
-	Earth station side-lobe envelope	:	Conforming with CCIR Rec. 465 - 2.					
-	Type of modulation and multiple access	:	FM	-	FDMA			
			FM	-	SCPC			
			PSK	-	TDMA			
-	Bandwidth of carrier and associated up-path and down-path EIRP's	:						
	Carrier type		Bandwidth (MHz)	E/S transmit power (dBW)		S/C transmit EIRP (dBW)		
				min	max	min	max	
	TV		36.0	27.0	31.0	31.5	36.5	
			17.5	24.0	27.0	26.0	31.0	
	FDM/FM							
	1200 chn.		36.0	24.0	31.0	31.5	36.5	
	1068 chn.		36.0	24.0	31.0	31.5	36.5	
	952 chn.		36.0	24.0	31.0	31.5	36.5	
	360 chn.		21.5	13.5	19.3	24.6	29.9	
	180 chn.		11.0	10.6	16.8	21.7	27.0	
	144 chn.		10.0	10.1	15.9	21.2	26.5	
	120 chn.		8.5	9.5	15.3	20.6	25.9	
	108 chn.		8.0	9.1	14.9	20.2	25.5	
	96 chn.		7.0	8.7	14.5	19.8	25.1	
	84 chn.		8.5	8.2	14.0	19.3	24.6	

SPACECRAFT SYSTEM CHARACTERISTICS

Physical characteristics

Diameter, in.	85
Height, in.	
Transfer/drift orbit	111
On-station	258.25
Weight (dry), lb.	1146.68
Spinning section	674.48
Despun section	472.20

Stabilization

Spacecraft/PAM coast	ANC via spacecraft thrusters
Transfer/drift orbit	Stable spinner
On station	Gyrostat with despun active nutation damping via despin motor torque

Stationkeeping performance

	Limit, deg	Correction interval, days
Longitude	+ 0.1	
Latitude	+ 0.1	
Attitude	+ 0.15	

Spin speed range, rpm

Transfer/drift orbit	45 to 75
On-station	50 to 90
Despun nominal	60 to 65

Reliability

8 year 22 of 24 channels operating	0.768
------------------------------------	-------

Communications subsystem

Transponder

Number of channels	24
Redundancy	5 for 4
Channel multiplexing	Even/odd
Usable channel bandwidth, MHz	36
Receive frequency band, GHz	5.925 to 6.425
Transmit frequency band, GHz	3.7 to 4.2
Receiver redundancy	4 for 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Antenna

Single aperture, dia. in.	71
Focal length, in.	60

System performance

Coverage CONUS

Polarization

Vertical Receive

Horizontal Transmit

Regional Performance

	<u>G/T, dB/K</u>	<u>EIRP, dB</u>
1. Indonesia	- 5	34
2. ASEAN / PNG	- 7	32

Telemetry subsystem (redundant spinning and despun PCM encoders with subcommutation)

Frame rate	0.512 sec/frame
Format	64 words/minor frame, 32 minor frames/ major frame
Subcommutation	1 bit, 1 word, and control for 2 batte ry cell monitors
Capacity	126 spinning, 126 despun
Frequency, GHz	
C band	4.196 to 4.200

Antenna

Transfer/drift orbit (C band) Dual mode bicone, toroidal beam cover-
age $\pm 20^\circ$

On-station (K band) Dual mode bicone, area beam
through communications antenna

EIRP, dBW

Transfer/drift orbit 5.1

On-station 4.2

Alternate telemetry modes

FM attitude sensor data

Frequency modulation and deviation of 14.5 kHz subcarrier by earth, sun, MIP, and execute pulses in real time Real time output of spin axis oriented accelerometer in IRIG channel 13; two scales:

+ 1.0 g or + 0.05 g full scale

FM nutation accelerometer

Command subsystem (redundant spinning and despun decoders individually addressable)

Format

RZ tone digital - Separate execute

Capacity

191 spinning

255 despun

Frequency, GHz

5.925 to 6.425

C band

Antenna

Transfer/drift orbit

Dual mode bicone, toroidal beam coverage + 35°

On-station

Dual mode bicone or area beam through communications antenna

Threshold flux density, dBW/m²

Transfer/drift orbit

< - 85

On-station

< - 95

Attitude control (fully redundant control electronics with two-axis RF tracking system, antenna elevation and azimuth control)

Pointing error (including transients), deg

North-south

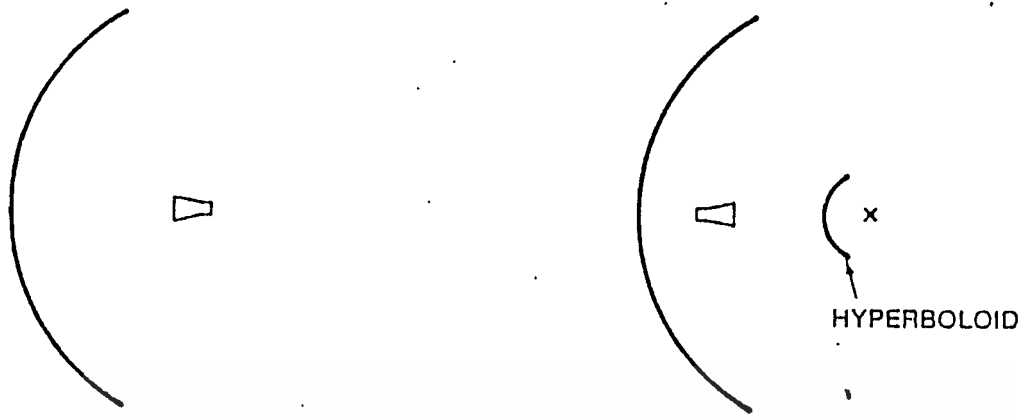
< .05

East-west

< .05

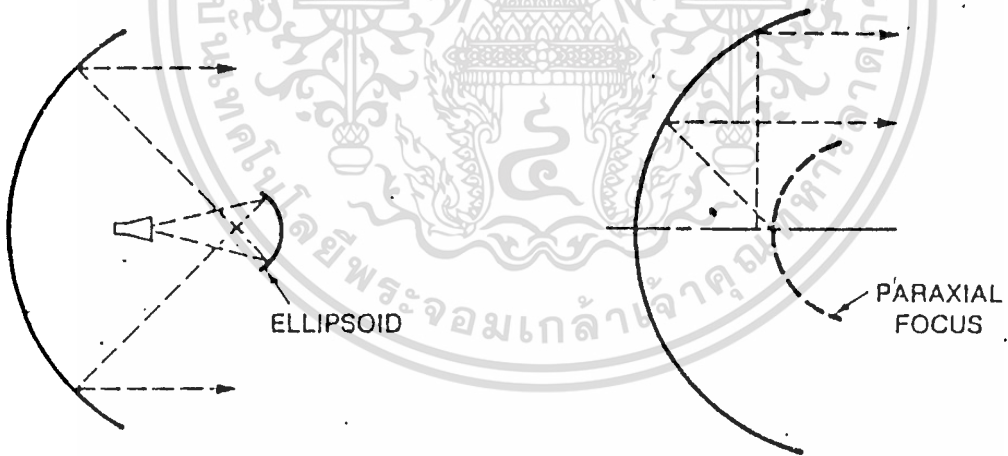
Beam rotation

< .19



FOCAL POINT FEED PARABOLOID

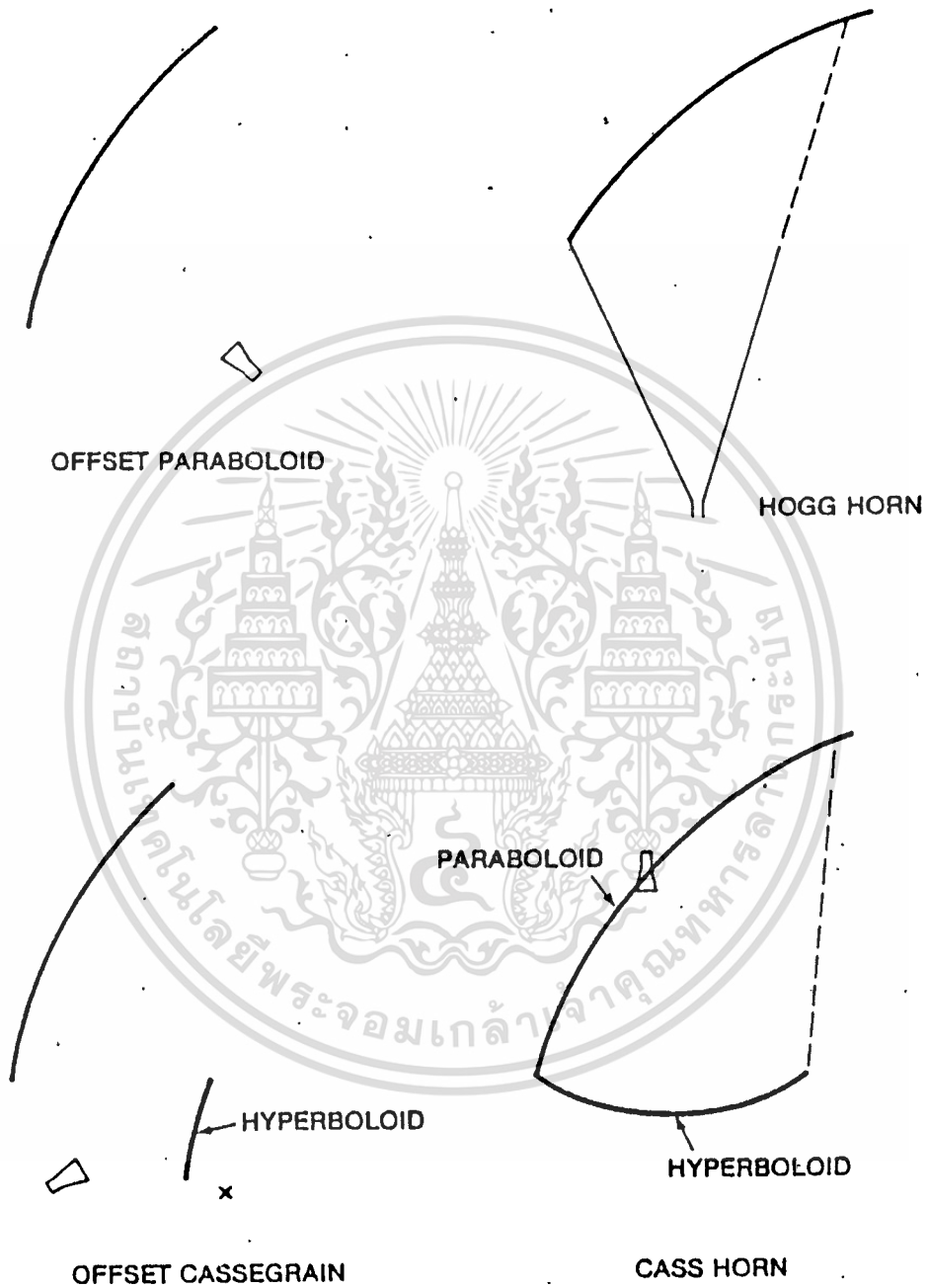
CASSEGRAIN FEED SYSTEM



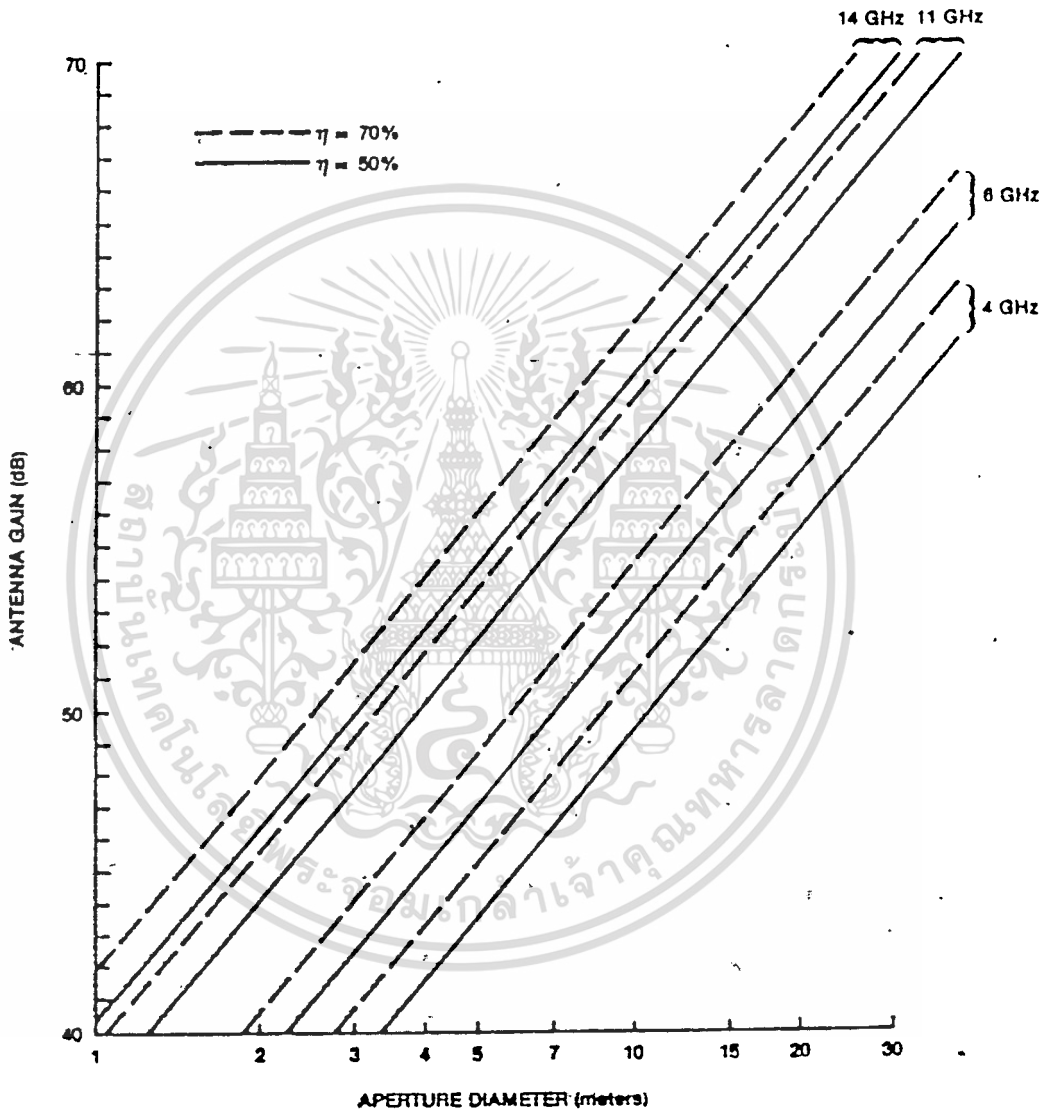
GREGORIAN FEED

SPHERICAL REFLECTOR

รูปที่ 1.7 MOST COMMONLY USED ANTENNA FEED SYSTEMS



รูปที่ 1.8 OTHER ANTENNA FEED SYSTEMS



รูปที่ 1.9 ANTENNA GAIN VERSE DIAMETER

SATELLITE PARAMETERS (INTELSAT V)

1. Satellite beam coverage Hemi East
transponder capacity leased:
 - (a) SCPC service
 - Phase 1&2 9 MHz
 - Phase 3 19 MHz
 - (b) TV service (future) 36 MHz full transponder
2. Satellite lease resources:
 - (a) SCPC service
 - E.I.R.P. (beam edge)
 - for 9 MHz: 14 dBW
 - for 19 MHz: 17 dBW
 - Receiving sensitivity (beam edge): -11.6 dB/K
 - Sat. Flux density
 - for 9 MHz: -91 dB/m²
 - for 19 MHz: -88 dB/m²
 - Geographic advantage: 2 dB
 - Satellite gain: 145 dB
 - (b) TV service
 - E.I.R.P. (beam edge)
 - in 36 MHz full transponder 26 dBW
 - Receiving sensitivity (beam edge): -11.6 dB/K
 - Sat. Flux density: -75 dBW/m²

- Transponder operating point
(for 2 TV per transp. operating):
 - Total output back off - 2 dB
 - Total input back off - 4 dB
- Output back off per
 - 1 TV carrier: - 5 dB
- Input back off per
 - 1 TV carrier - 7 dB
- Geographic advantage: - 2 dB
- Available satellite
E.I.R.P. power for
1 TV carrier transm.
(Including geographic
advantage) 23 dBW



ภาคผนวกที่ 2.

แสดง สูตรคำนวณเกี่ยวกับระบบดาวเทียม

Summary of major formula adopted in link calculation

$$(C/W)_U = E_E + G/T_S - L_U - K - B_N \quad (\text{dB})$$

$$(C/N)_D = E_S + G/T_E - L_D - K - B_N \quad (\text{dB})$$

$$(C/N)_{is} = E_S - N_D - B_N$$

where :

$$L_U = \text{U}_r \text{ link path loss} \quad (\text{dB})$$

$$L_D = \text{Down link path loss} \quad (\text{dB})$$

$$E_E = \text{E.I.R.P./carrier of the Tx station} \quad (\text{dBW})$$

$$E_S = \text{E.I.R.P./carrier of the satellite} \quad (\text{dBW})$$

$$G/T_S = \text{Gain to noise temp. ratio of the satellite} \quad (\text{dB/K})$$

$$G/T_E = \text{Gain to noise temp. ratio of the earth station} \quad (\text{dB/K})$$

$$N_D = \text{Intermodulation + interference} \\ \text{E.I.R.P. density} \quad (\text{dBW/Hz})$$

$$B_N = \text{Noise bandwidth} \quad (\text{dBW/K-Hz})$$

$$(C/N)_{is} = \text{Satellite carrier to intermodulation} \\ \text{noise ratio} \quad (\text{dB})$$

TV VIDEO SERVICE LINK BUDGET SUMMARY
FOR MASTER TO LOCAL STATION

	Receive local station $\phi = 9$ m	Receive local station $\phi = 4.5$ m
<u>UP-link</u>		
- E/S transmit E.I.R.P./		
carrier	78.5	78,5
- Satellite G/T at		
beam edge	- 11.5	- 11.5
- Up link antenna		
correction	2.0	2.0
- Up link path loss	- 119.5	- 119.5
- Boltzman constant	+ 228.5	+ 228.5
Up link C/KT	98	98
<u>Down link</u>		
- Satellite power available		
for TV carrier (including		
geographic advantage)	+ 23.0	+ 23.0
- Down link path loss	- 196.0	- 196.0
- Earth station G/T	- 30.5	+ 23
- Boltzman constant	+ 228.5	+ 228.5
Down link C/KT	86.1	78.6

Total

- Up link C/KT	98.0	98.0
- Down link	86.5	78.5
- Carrier intermodulation	<u>93.0</u>	<u>93.0</u>
Total C/KT	86.0	78.5
- Noise bandwidth (17.5 MHz)	<u>72.0</u>	<u>72.0</u>
- Operating C/N	<u>14.0</u>	<u>6.5</u>

E.I.R.P. ANALYSIS FOR TV VIDEO TRANSMISSION (FUTURE)

- Saturation flux density for (18 MHz transponder)	: - 75.0 dBW/m ²
- Geographic advantage	: - 2.0 dB
- Input back-off per carrier (2 TV per transponder operation)	: - <u>7.0</u> dB
- Operational flux density	: - 84.0 dBW/m ²
- Ref. antenna gain	: - <u>37.0</u> dB
- Required power at satellite input	: - 121.0 dBW
- Up link path loss	: <u>199.5</u> dBW
- Minimum required earth station transmit E.I.R.P.	: <u><u>78.5</u></u> dBW

ภาคผนวกที่ 3.

โปรแกรมการคำนวณการสร้างงานสายอากาศ
โดยใช้ภาษา BASIC ของ APPLE II



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

50 REM : -----
51 REM :
52 REM :
53 REM : CERTAIN LINES IN THIS PROGRAM HAVE BEEN
54 REM : MODIFIED, NOTABLY 260 & 350 FOR
55 REM : USE WITH 80-COLUMN BOARDS LOCATED
56 REM : IN SLOT #3; TO USE THIS PROGRAM
57 REM : WITH A 40-COLUMN APPLE, DELETE
58 REM : ALL LINES WHICH HAVE A 'PR#3' IN THEM
59 REM :
94 REM : INITIALIZE PRINTER
95 PRINT " "; "PR#1"
96 PRINT
97 PRINT " "; "PR#3"
99 GOTO 350
100 REM : SATELLITE TRACKING PROGRAM II
101 REM : FOR GEOSTATIONARY SATELLITES
102 REM : IN THE 'CLARKE ORBIT'
103 REM :
104 REM : CALCULATES AZIMUTH & ELEVATION
105 REM : ANTENNA POINTING ANGLES FOR
106 REM : OVER 50 SATELLITES IN ORBITS;
107 REM : ALSO COMPUTES DECLINATION FOR
108 REM : POLAR MOUNT ANTENNAS.
109 REM : AZ/EL FOR A SPECIFIC WEST-
110 REM : LONGITUDE ORBITAL LOCATION
111 REM : ENTERED BY THE USER CAN ALSO
112 REM : BE COMPUTED.
113 REM :
114 REM : A DATA BASE OF POPULAR WORLD
115 REM : CITIES (LONGITUDE & LATITUDE)
116 REM : AND A SECOND DATA BASE OF
117 REM : GLOBAL SATELLITES IS PROVIDED.
118 REM :
119 REM : COPYRIGHT 1983, THE SATELLITE CENTER
120 REM : BY ANTHONY T. EASTON, JULY, 1983
121 REM : ALL RIGHTS RESERVED
122 REM :
123 REM : THIS PROGRAM MAY BE USED ONLY
124 REM : BY THE BUYER OF THIS BOOK FOR
125 REM : PERSONAL USE ONLY. IT MAY NOT
126 REM : BE SOLD OR USED COMMERCIALY
127 REM : WITHOUT SPECIFIC WRITTEN
128 REM : PERMISSION OF THE SATELLITE CENTER.
129 REM :
130 REM : -----
131 REM : A COMPLETE PRINTOUT OF ALL SATELLITES
132 REM : VISIBLE FROM YOUR OWN SITE IS AVAILABLE
133 REM : FOR $10 (NON-US ORDERS: $15 IN US FUNDS
134 REM : DRAWN ON A NEW YORK BANK) FROM:
135 REM :
136 REM : THE SATELLITE CENTER
137 REM : POST OFFICE BOX 330045
138 REM : SAN FRANCISCO, CA, 94133
139 REM : PHONE: (415) 673-7000
140 REM : --NO COD ORDERS PLEASE/VISA & MC OK--
141 REM : -----
142 REM :
143 REM : OTHER PRODUCTS AVAILABLE FROM
144 REM : THE SATELLITE CENTER INCLUDE:
145 REM : 1) THIS PROGRAM ON APPLE II
146 REM : DOS 3.3 DISK W/INSTRUCTIONS
147 REM : ON ITS USE.....$20 (NON-US: $30)
148 REM : 2) THE 'SAT FINDER TOOL'
149 REM : A MULTI-FUNCTION COMPASS,
150 REM : SITE FINDER & PROTRACTOR.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมแผนที่ทหารบก เพื่อแจกจ่ายให้ประชาชนได้ทราบและใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และขอสงวนสิทธิ์ในการนำออกไปใช้

```

308 REM : WS - MILES/KM OPTION USER OPTION (M
OR K)
309 REM : Z1 - RADIUS OF EARTH
310 REM : Z2 - DISTANCE FROM EARTH TO SATELLI
TE BELT
311 REM : M1/M2/M3 - LATITUDE OF CITY IN DEGREES, M
INS, SECS
312 REM : M$ - LATITUDE DESCRIPTION (N OR S)
313 REM : L1/L2/L3 - LONGITUDE OF CITY IN DEGREES,
MINS, SECS
314 REM : L$ - LONGITUDE DESCRIPTION (E OR W)
315 REM : J1 - NUMBER OF US/CANADIAN SATS IN
SAT DATA BASE
316 REM : J2 - TOTAL NUMBER OF SATELLITES IN
SAT DATA BASE
317 REM : N$ - SATELLITE NAME IN SAT DATA BAS
E
318 REM : N - WEST LONGITUDE OF A SATELLITE
IN SAT DATA BASE
319 REM : D1 - NUMBER OF CITIES IN CITY DATA
BASE
320 REM : I/J - LOOP COUNTERS
321 REM : C1-C4 - CALCULATION SUB-COMPONENTS
322 REM : L4/X/Y - CALCULATION SUB-COMPONENTS
323 REM : A - AZIMUTH OF ANTENNA
324 REM : R - RANGE TO SATELLITE
325 REM : E - ELEVATION OF ANTENNA
326 REM : D - DECLINATION ANGLE OF A POLAR A
NTENNA
349 REM :
350 PRINT "PR#3"
351 TEXT
352 HOME
353 RESTORE
360 LET K = 0
361 LET K1 = 0
362 LET K2 = 0
370 LET CS = ""
380 LET ES = ""
390 REM : PRINTER IS ASSUMED TO BE IN SLOT 1, S=SLOT
#
391 LET S = 1
399 REM :
400 REM : INPUT USER OPTIONS & SAT/CITY LOCATION ROUT
INE
401 REM : -----
402 REM :
410 REM : 'ALL' PRINTS AZ/EL FOR ALL SATELLITES
411 REM : IN THE DATA BASE
412 REM :
420 REM : 'US' PRINTS US & CANADIAN SATELLITES ONLY
421 REM :
430 REM : 'KYBD' ASKS USER FOR A SPECIFIC SATELLITE
431 REM : W. LONGITUDE ORBCTAL 'SLOT', IN DEGREES
432 REM :
440 REM : 'LIST' PRINTS A LIST OF ALL SATELLITES IN T
HE
441 REM : DATA BASE, THEIR NAMES & W. LONGITUDES
445 REM :
446 GOSUB 220
448 PRINT
450 PRINT "SATELLITE TRACKING PROGRAM II"
455 PRINT "COMPUTES ANTENNA POINTING ANGLES"
460 PRINT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์ปฏิบัติการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

465 PRINT "COPYRIGHT C 1983, THE SATELLITE CENTER"
500 GOSUB 220
502 PRINT "PRINTER OR CRT (P OR C)";
504 INPUT US
506 PRINT
510 PRINT "OUTPUT OPTION (ALL,US,KYBD,LIST)";
520 INPUT TS
521 PRINT
524 IF TS = "LIST" THEN 4000
525 PRINT "WHAT IS YOUR CITY";
526 INPUT DS
527 PRINT
530 IF TS < > "KYBD" THEN 600
540 PRINT "ENTER W. LONGITUDE OF DESIRED SLOT";
550 INPUT N
560 LET NS = "SLOT AT "
570 LET OS = "N/A "
600 PRINT
640 PRINT "MILES OR KILOMETERS (M OR K)";
650 INPUT WS
655 PRINT
660 IF WS = "M" THEN 690
670 REM : RADIUS OF EARTH & DISTANCE TO SATELLITE
671 REM : BELT FROM EQUATOR IN KILOMETERS
680 LET Z1 = 6367
685 LET Z2 = 35800
687 LET Z3 = 111.136
688 PRINT "DISTANCES ARE IN KILOMETERS"
689 GOTO 700
690 REM : RADIUS OF EARTH & DISTANCE TO SATELLITE
691 REM : BELT FROM EQUATOR IN MILES
695 LET Z1 = 3957
697 LET Z2 = 22245
698 LET Z3 = 69.857
699 PRINT "DISTANCES ARE IN MILES"
700 PRINT
799 REM :
800 REM : CITY DATA BASE READ ROUTINE
801 REM :
802 REM : CHECK CITY NAME DS FROM USER TO SEE IF IT'S
803 REM : ALREADY IN THE DATA BASE. IF NOT, QUERY USE
R
804 REM : FOR ITS LATITUDE & LONGITUDE (L'S & M'S)
805 REM : FORMAT IS CITY, STATE/COUNTRY, LATITUDE, LO
NGITUDE
806 REM :
810 RESTORE
815 REM : GET SIZE OF CITY DATA BASE LIST
820 READ D1
830 FOR I = 1 TO D1
840 READ PS,ES,M1,M2,MS,L1,L2,LS
845 IF DS = PS THEN 875
850 NEXT I
855 PRINT
860 PRINT DS;" NOT FOUND IN DATA BASE"
865 PRINT
866 LET ES = ""
870 GOTO 1000
874 REM : ADVANCE POINTER TO START OF SATELLITE DATA
BASE
875 LET CS = ", "
876 RESTORE
880 READ D1
881 FOR I = 1 TO D1
882 READ PS,PS,IL,IL,PS,IL,IL,PS

```

```

883 NEXT I
898 GOTO 1058
899 REM :
900 REM : IF CITY NAME IS NOT IN DATA BASE, GET ITS C
COORDINATES
901 REM : IN DEGREES (NOT RADIANS) FROM THE USER.
902 REM :
903 REM : NOTE THAT TRIG FUNCTIONS COMPUTE IN RADIANS
, NOT DEGREES,
904 REM : THEREFORE CONVERSION MULTIPLIERS OF 57.2957
8 AND .0174533
905 REM : ARE USED IN THE FORMULAS!
906 REM :
994 REM :
1000 REM : ANTENNA COORDINATE ENTRY ROUTINE
1001 REM : -----
1002 REM :
1005 PRINT "ENTER LATITUDE IN FORMAT:"
1006 PRINT "DEGREES, MINUTES, SECONDS, N OR S"
1010 INPUT M1,M2,M3,M$
1020 PRINT
1030 PRINT "ENTER LONGITUDE IN FORMAT:"
1031 PRINT "DEGREES, MINUTES, SECONDS, E OR W"
1040 INPUT L1,L2,L3,L$
1050 LET L = L1 + (L2 + (L3 / 60)) / 60
1060 LET M = M1 + (M2 + (M3 / 60)) / 60
1070 IF L$ = "E" THEN 1090
1080 LET L = - L
1090 IF M$ = "N" THEN 1100
1095 LET M = - M
1099 REM :
1100 REM : DECLINATION ANGLE COMPUTATION ROUTINE
1101 REM :
1110 LET C5 = 3964 * SIN (M * .0174533)
1120 LET C6 = 22300 + 3964 * (1 - COS (M * .0174533)
)
1130 LET D = - 57.29578 * ATN (C5 / C6)
1199 REM :
1200 REM : PRINTING HEADER ROUTINE
1201 REM : -----
1202 IF U$ = "C" THEN 1212
1203 PRINT "TURN ON PRINTER AND PUSH RETURN"
1204 PRINT ";" "PR#";S
1205 GET Q$
1206 GOSUB 220
1207 PRINT "GEOSTATIONARY SATELLITE LOCATION TABLE"
1208 PRINT "-----"
1209 PRINT
1210 PRINT "COURTESY OF THE SATELLITE CENTER, SAN FRA
NCISCO"
1211 PRINT " (PRODUCED BY SATELLITE TRACKING PROGRAM
II)"
1212 PRINT
1213 PRINT
1214 PRINT "LOCATION: ";D$;C$;E$;" ";M1;"-";M2;"
";M$;" LATITUDE ";L1;"-";L2;" ";L$;" LONGITUDE"
1215 PRINT
1216 PRINT "DECLINATION= ";( INT (D * 100)) / 100;" D
EGREES (POLAR MOUNT)"
1217 PRINT
1218 PRINT
1219 IF U$ = "C" THEN 2000
1240 PRINT
1250 PRINT "SATELLITE",DATE"; TAB( 3);"DEGREE",OWNE
R","AZIMUTH";ELEVATION","DISTANCE","SUBPOINT"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่พิมพ์โดยกรมการศึกษานานาชาติ

```

1251 PRINT "-----", "-----"; TAB( 3); "-----", "-----"
      "-----", "-----", "-----", "-----"
2000 REM : READ SATELLITES FROM DATA BASE
2001 REM : -----
2003 REM :
2005 IF TS = "KYBD" THEN 2025
2010 READ J1, J2
2011 IF TS < > "US" THEN 2014
2012 LET J = J1
2013 GOTO 2015
2014 LET J = J2
2015 FOR I = 1 TO J
2020 READ NS, OS, N, LS, CS, XS
2025 LET C1 = 0
2026 LET C2 = 0
2027 LET C3 = 0
2028 LET C4 = 0
2099 REM :
2100 REM : CHECK IF SATELLITE IS BELOW HORIZON .
2101 REM : -----
2110 REM :
2115 LET K1 = 1
2120 LET L4 = L + N
2125 IF L4 < = 180 THEN 2135
2130 LET L4 = L4 - 360
2135 IF L4 > = - 180 THEN 2145
2140 LET L4 = L4 + 360
2145 IF L4 < 81.3 THEN 2180
2150 IF US = "P" THEN 2600
2155 LET X = L4 - 81.3
2160 PRINT NS; " AT "; N; " W. LONGITUDE"
2165 PRINT "IS BELOW THE LOCAL HORIZON BY"
2170 PRINT INT (X + .5); " DEGREES. NOT VISIBLE."
2175 GOTO 2452
2180 LET Y = "M"
2185 LET X = L4
2200 REM : MAIN CALCULATION & PRINT ROUTINE
2201 REM : -----
2202 REM :
2203 REM : COMPUTE GREAT CIRCLE MEASUREMENTS
2204 REM :
2210 LET C1 = COS (0.8174533 * X) * COS (0.8174533 *
Y)
2219 REM :
2220 REM : COMPUTE GREAT CIRCLE ANGLE BETWEEN SITE
2221 REM : AND POINT ON THE EQUATOR BELOW SATELLITE
2225 REM : INVERSE COSINE FORMULA FOR C2
2226 REM :
2230 LET C2 = 57.29578 * ( - ATN (C1 / SQRT ( - C1 *
C1 + 1)) + 1.5708)
2232 IF C2 < 81.3 THEN 2240
2234 IF US = "P" THEN 2600
2235 LET X = C2 - 81.3
2236 PRINT NS; " AT "; N; " W. LONGITUDE"
2237 PRINT "IS BELOW THE LOCAL HORIZON BY"
2238 PRINT INT (X + .5); " DEGREES. "NS; " NOT VISIBLE"
.
2239 GOTO 2452
2240 REM :
2241 REM : CALCULATE DISTANCE TO SUB-POINT
2242 REM :
2250 LET C4 = Z3 * C2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2259 REM :
2260 REM : CALCULATE AZIMUTH OF ANTENNA TO SATELLITE
2261 REM :
2270 LET A = 180 + 57.29578 * ( ATN ( TAN (0.0174533 *
X) / SIN (0.0174533 * Y)))
2280 IF A > 0 THEN 2300
2290 LET A = A + 180
2299 REM :
2300 REM : CALCULATE RANGE FROM EARTH STATION
2301 REM : TO SATELLITE IN ORBIT
2302 REM :
2310 LET R = SQR (Z1 ^ 2 + (Z1 + Z2) ^ 2 - 2 * Z1 *
(Z1 + Z2) * COS (0.0174533 * C2))
2319 REM :
2320 REM : CALCULATE ELEVATION FROM SITE TO SATELLITE

2321 REM :
2325 LET C3 = ((R ^ 2 + Z1 ^ 2 - (Z1 + Z2) ^ 2) / (2 *
Z1 * R))
2330 LET E = - 90 + 57.29578 * ( - ATN (C3 / SQR (
- C3 * C3 + 1)) + 1.5708)
2410 IF US = "C" THEN 2450
2422 PRINT NS,LS; TAB( 5);N,OS, ( INT (A * 10)) / 10,(
INT (E * 10)) / 10, INT (R), INT (C4)
2440 GOTO 2600
2450 PRINT NS;" ";N;" AZ=";( INT (A * 10)) / 10;" E
=";( INT (E * 10)) / 10
2451 PRINT "RANGE =" ; INT (R); " SUBPOINT =" ; INT (C4)

2452 PRINT
2455 IF US = "P" THEN 2600
2460 LET K = K + 1
2470 IF K < 7 THEN 2600
2480 PRINT
2490 PRINT "MORE (Y OR N)";
2500 INPUT QS
2510 IF QS = "N" THEN 2700
2520 LET K = 0
2530 PRINT
2600 IF K2 = 1 THEN 2700
2605 IF TS = "KYBD" THEN 2700
2610 NEXT I
2620 IF K1 = 1 THEN 2700
2630 LET K2 = 1
2640 GOTO 2025
2700 GOSUB 220
2710 GOTO 260
2999 REM :
4000 REM : SATELLITE DATA BASE LIST PRINTING ROUTINE
4001 REM : -----
4002 REM :
4010 REM : READ NAMES & W. LONGITUDE OF SATELLITES
4015 RESTORE
4016 REM : MOVE POINTER DOWN D.B. PAST CITY LIST
4017 READ D1
4018 FOR I = 1 TO D1
4019 READ PS,ES,M1,M2,MS,L1,L2,LS
4020 NEXT I
4025 READ J1,J2
4026 IF US = "C" THEN 4040
4027 PRINT "TURN ON PRINTER AND PUSH RETURN"
4028 PRINT " "; "PR"; S
4029 GET QS
4030 GOSUB 220
4031 PRINT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ข้าพเจ้าขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

4033 PRINT "THE SATELLITE CENTER, SAN FRANCISCO"
4034 PRINT
4035 PRINT "LISTING OF GEOSTATIONARY SATELLITES IN GL
GLOBAL DATA BASE"
4036 PRINT "-----"
-----
4037 PRINT
4040 PRINT "US/CAN SAT", "DATE"; TAB( 3); "DEGREE", "OWN
ER", "C-BAND", "KU-BAND"
4050 PRINT "-----", "-----"; TAB( 3); "-----", "-----"
-----
4060 PRINT
4070 FOR I = 1 TO J1
4080 READ N$, O$, N, L$, C$, K$
4090 PRINT N$, L$; TAB( 5); N, O$, C$, K$
4100 NEXT I
4110 PRINT
4120 PRINT "WORLD SATS", "DATE"; TAB( 3); "DEGREE", "OWN
ER", "C-BAND", "KU-BAND"
4130 PRINT "-----", "-----"; TAB( 3); "-----", "-----"
-----
4140 PRINT
4150 FOR I = 1 TO J2 - J1
4160 READ N$, O$, N, L$, C$, K$
4170 PRINT N$, L$; TAB( 5); N, O$, C$, K$
4180 NEXT I
4190 GOSUB 220
4200 GOTO 250
4998 REM : *****
4999 REM :
5000 REM : CITY DATA BASE OF LATITUDES & LONGITUDES
5001 REM : -----
5005 REM :
5006 REM : TO ADD MORE CITIES, SIMPLY PLACE THEM
5007 REM : BEFORE LINE 5999.
5008 REM : BE SURE TO CHANGE THE CITY & COUNT
5009 REM : IN LINE 5020 TO MATCH DATA COUNT.
5010 REM : NUMBER OF CITIES IN LIST
5020 DATA 35
5030 REM : FORMAT IS* CITY, STATE/COUNTRY,
5031 REM : LATITUDE, LONGITUDE
5040 REM :
5101 DATA ANCHORAGE, ALASKA, 61, 12, N, 149, 48, W
5102 DATA ATLANTA, GEORGIA, 33, 45, N, 84, 24, W
5103 DATA BOSTON, MASS, 42, 21, N, 71, 83, W
5104 DATA CHICAGO, ILLINOIS, 41, 52, N, 87, 38, W
5105 DATA DALLAS, TEXAS, 32, 47, N, 96, 48, W
5106 DATA DENVER, COLORADO, 39, 45, N, 104, 59, W
5107 DATA HONOLULU, HAWAII, 21, 20, N, 158, 0, W
5108 DATA HOUSTON, TEXAS, 29, 45, N, 95, 22, W
5109 DATA LAS VEGAS, NEVADA, 36, 10, N, 115, 09, W
5110 DATA LOS ANGELES, CALIFORNIA, 34, 03, N, 118, 14, W
5111 DATA MIAMI, FLORIDA, 25, 47, N, 80, 12, W
5112 DATA NEW YORK, NEW YORK, 40, 45, N, 74, 00, W
5113 DATA PHILADELPHIA, PENNSYLVANIA, 39, 57, N, 75, 09, W
5114 DATA SALT LAKE CITY, UTAH, 40, 45, N, 111, 53, W
5115 DATA SAN FRANCISCO, CALIFORNIA, 37, 46, N, 122, 27, W
5116 DATA SEATTLE, WASHINGTON, 47, 37, N, 122, 20, W
5117 DATA WASHINGTON, D. C., 38, 54, N, 77, 01, W
5118 DATA SAN JUAN, PUERTO RICO, 18, 22, N, 66, 07, W
5119 DATA MONTREAL, CANADA, 43, 31, N, 73, 34, W
5120 DATA TORONTO, CANADA, 43, 39, N, 79, 23, W
5121 DATA VANCOUVER, CANADA, 49, 16, N, 123, 07, W
5201 DATA AMSTERDAM, NETHERLANDS, 55, 22, N, 4, 54, E
5202 DATA BERLIN, GERMANY, 52, 30, N, 13, 20, E
5203 DATA GENEVA, SWITZERLAND, 42, 12, N, 6, 09, E

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมแผนที่ทหารบก เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและเผยแพร่ความรู้แก่ประชาชนโดยไม่หวังผลตอบแทน
 ไม่ว่ากรรมสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

5204 DATA HONG KONG, UK, 22, 15, N, 114, 18, E
5205 DATA LONDON, ENGLAND, 51, 30, N, 0, 10, W
5206 DATA MADRID, SPAIN, 40, 24, N, 3, 41, W
5207 DATA MANILA, PHILIPPINES, 41, 53, N, 95, 14, W
5208 DATA MEXICO CITY, MEXICO, 23, 0, N, 102, 0, W
5209 DATA MOSCOW, RUSSIA, 55, 45, N, 37, 35, E
5210 DATA PARIS, FRANCE, 48, 52, N, 2, 20, E
5211 DATA ROME, ITALY, 41, 54, N, 12, 29, E
5212 DATA SINGAPORE, CITY STATE, 1, 22, N, 103, 48, E
5213 DATA SYDNEY, AUSTRALIA, 33, 52, S, 151, 13, E
5214 DATA TOYKO, JAPAN, 35, 42, N, 139, 46, W
5999 REM :
6000 REM : SATELLITE DATA BASE
6001 REM : -----
6005 REM :
6006 REM : TO ADD MORE SATELLITES, SIMPLY PLACE
6007 REM : THEM BEFORE LINE 9999
6008 REM : BE SURE TO CHANGE THE SATELLITE #
6009 REM : COUNT IN LINE 6020.
6010 REM : NUMBER OF US/CANADIAN SATELLITES,
6011 REM : TOTAL # OF SATELLITES IN LIST
6020 DATA 36, 110
6025 REM
6030 REM : FORMAT IS SAT, OWNER, W. LONGITUDE, LAUNCH
DATE, C & KU-BAND
6040 REM :
6090 REM : NORTH AMERICAN SATELLITES
6099 REM : -----
6100 DATA SATCOM 2R, RCA, 72, ON, *,
6101 DATA WESTAR 2, WU, 79, ON, *,
6102 DATA SATCOM 4, RCA, 83, ON, *,
6103 DATA COMSTAR 3, ATT, 87, ON, *,
6104 DATA SBS 3, SBS, 94, ON, *,
6105 DATA COMSTAR 1/2, ATT, 95, ON, *,
6106 DATA SBS 2, SBS, 97, ON, *,
6107 DATA WESTAR 4, WU, 99, ON, *,
6108 DATA SBS 1, SBS, 100, ON, *,
6109 DATA ANIK D, TELSAT, 104.5, ON, *,
6110 DATA ANIK B1, TELSAT, 109, ON, *,
6111 DATA ANIK A3, TELSAT, 114, ON, *,
6112 DATA SATCOM 2, RCA, 119, ON, *,
6113 DATA WESTAR 5, WU, 123.5, ON, *,
6114 DATA COMSTAR 4, ATT, 127, ON, *,
6115 DATA SATCOM 3R, RCA, 131, ON, *,
6116 DATA GALAXY 1, EUGHES, 134.5, ON, *,
6117 DATA SATCOM 1R, RCA, 139, ON, *,
6118 DATA AURORA 1, ALASCOM, 143, ON, *,
6119 DATA SPACENET 2, SPC, 70, 84, *,
6120 DATA GALAXY 2, EUGHES, 74, 83, *,
6121 DATA ADV-W 2, WU, 79, 84, *,
6122 DATA TELSTAR 2, ATT, 87, 84, *,
6123 DATA WESTAR 6, WU, 91, 83, *,
6124 DATA ADV-W 1, WU, 91, 84, *,
6125 DATA TELSTAR 1, ATT, 95, 83, *,
6126 DATA GSTAR 1, GTE, 103, 84, *,
6127 DATA GSTAR 2, GTE, 106, 84, *,
6128 DATA ANIK C3, TELSAT, 109, 84, *,
6129 DATA ANIK D3, TELSAT, 109, 84, *,
6130 DATA ANIK D2, TELSAT, 114, 83, *,
6131 DATA ANIK C2, TELSAT, 116, 83, *,
6132 DATA GALAXY 3, EUGHES, 119, 84, *,
6133 DATA SPACENET 1, SPC, 119, 84, *,
6134 DATA AMSAT 1, AMSAT, 122, 84, *,
6135 DATA TELSTAR 3, ATT, 127, 85, *,
6197 REM :
6198 REM : INTERNATIONAL SATELLITES

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับที่จัดทำขึ้นโดยกองทัพอากาศและต้องขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกองทัพอากาศ

6199 REM : -----

6201 DATA INT IV,INTL,.1,ON,*..

6202 DATA INT IV,INTL,1,ON,*..

6203 DATA TELCOM 1B,FRANCE,7,84,*..*

6204 DATA TELCOM 1A,FRANCE,18,83,*..*

6205 DATA SYMPHONIE 1/2,FR/GERMANY,11.5,ON,*..

6206 DATA GORIZONT 2, USSR,14,ON,*..

6207 DATA MARISAT-1,MARINE,16,ON,*..

6208 DATA INT IVA,INTL,18.5,ON,*..

6209 DATA INT V,INTL,18.5,83,*..*

6210 DATA TV-SAT,GERMANY,19,ON,..*

6211 DATA TDF-1,FRANCE,19,86,..*

6212 DATA LUXSAT,LUXEMBOURG,19,87,..*

6213 DATA L-SAT,EUROPE,19,87,..*

6214 DATA NATO-3B,INTL,28,ON,*..

6215 DATA INT IVA,INTL,21.5,ON,*..

6216 DATA INT V,INTL,22,83,*..*

6217 DATA INT V,INTL,24.5,ON,*..*

6218 DATA INT V,INTL,27.5,ON,*..*

6219 DATA INT V,INTL,31,83,*..*

6220 DATA HALLEY 1,UK,31,86,..*

6221 DATA INT IVA,INTL,34.5,ON,*..

6222 DATA INT V,INTL,35,ON,*..*

6223 DATA TDRS-2,USA-NASA,41,83,..*

6224 DATA INT IV,INTL,53,ON,*..

6225 DATA BRASILSAT 2,BRAZIL,68,86,*..

6226 DATA BRASILSAT 3,BRAZIL,65,87,*..

6227 DATA BRASILSAT 1,BRAZIL,78,85,*..

6228 DATA SATCOL 2,COLUMBIA,78,84,*..

6229 DATA SATCOL 1,COLUMBIA,75.5,84,*..

6230 DATA MEXSAT,MEXICO,85,85,*..*

6231 DATA MEXSAT 2,MEXICO,182,85,*..*

6232 DATA TDRS 1,USA-NASA,171,83,..*

6233 DATA INT IV,INTL,181,ON,*..

6234 DATA INT V,INTL,181,83,*..*

6235 DATA MARECS 3,MARINE,183,84,*..

6236 DATA MARISAT 2,MARINE,184,ON,*..

6237 DATA INT IV,INTL,186,ON,*..

6238 DATA AUSSAT 2,AUSTRALIA,196,86,..*

6239 DATA AUSSAT 3,AUSTRALIA,200,87,..*

6240 DATA AUSSAT 1,AUSTRALIA,204,85,..*

6241 DATA CS 1,JAPAN,225,ON,*..*

6242 DATA CS 2,JAPAN,225,84,*..*

6243 DATA ETS 2,JAPAN,238,ON,..*

6244 DATA CS 2a,JAPAN,238,83,*..*

6245 DATA ETS 3,JAPAN,238,ON,..*

6246 DATA PALAPA B3,INDONESIA,242,85,*..

6247 DATA PALAPA B2,INDONESIA,247,84,*..

6248 DATA BS 2A,JAPAN,249,84,..*

6249 DATA BSE 2,JAPAN,250,83,..*

6250 DATA BS2B,JAPAN,251,85,..*

6251 DATA PALAPA B1,INDONESIA,252,83,*..

6252 DATA APPLE 1,INDIA,255,ON,*..

6253 DATA INSAT 1B,INDIA,266,83,*..

6254 DATA GORIZONT 4,USSR,278,ON,*..

6255 DATA RADUGA,USSR,275,ON,*..

6256 DATA PALAPA A2,INDONESIA,279,ON,*..

6257 DATA KOSMOS 1366,USSR,280,ON,..*

6258 DATA PALAPA A1,INDONESIA,283,ON,*..

6259 DATA INSAT 1A,INDIA,286,ON,*..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6260 DATA MARISAT 3, MARINE, 288, ON, *,,
 6261 DATA MARECS 2, MARINE, 295, ON, *,,
 6262 DATA INT IVA, INTL, 297, ON, *,,
 6263 DATA INT V, INTL, 297, ON, *,,
 6264 DATA INT IVA, INTL, 300, ON, *,,
 6265 DATA INT V, INTL, 300, ON, *,,
 6266 DATA GORIZONT 5, USSR, 307, ON, *,,
 6267 DATA GORIZONT 3, USSR, 309, ON, *,,
 6268 DATA RADUGA 9, USSR, 325, ON, *,,
 6269 DATA ARABSAT 2, ARAB, 334, 85, *,,
 6270 DATA ARABSAT 1, ARAB, 341, 84, *,,
 6271 DATA ECS 2, EUROPE, 347, 83, *,,
 6272 DATA ECS 1, EUROPE, 350, 83, *,,
 6273 DATA OTS 2, EUROPE, 355, ON, *,,
 6274 DATA TELE X, NORDIC, 355, 87, *,,
 9999 END

Fig. E-9-cont. Satellite Tracking Program II listing

THE SATELLITE CENTER, SAN FRANCISCO

LISTING OF GEOSTATIONARY SATELLITES IN GLOBAL DATA BASE

US/CAN SAT	DATE	DEGREE	OWNER	C-BAND	KU-BAND
SATCOM 2R	ON	72	RCA	.	.
WESTAR 2	ON	79	WU	.	.
SATCOM 4	ON	83	RCA	.	.
COMSTAR 3	ON	87	ATT	.	.
SBS 3	ON	94	SBS	.	.
COMSTAR 1/2	ON	95	ATT	.	.
SBS 1	ON	97	SBS	.	.
WESTAR 4	ON	99	WU	.	.
SBS 1	ON	100	SBS	.	.
ANIK D	ON	104.5	TELSAT	.	.
ANIK B1	ON	109	TELSAT	.	.
ANIK A3	ON	114	TELSAT	.	.
SATCOM 2	ON	119	RCA	.	.
WESTAR 5	ON	123.5	WU	.	.
COMSTAR 4	ON	127	ATT	.	.
SATCOM 3R	ON	131	RCA	.	.
GALAXY 1	ON	134.5	HUGHES	.	.
SATCOM 1R	ON	139	RCA	.	.
AURORA 1	ON	143	ALASCOM	.	.
SPACENET 2	84	70	SPC	.	.
GALAXY 2	83	74	HUGHES	.	.
ADV-2	84	79	WU	.	.
TELSTAR 2	84	87	ATT	.	.
WESTAR 6	83	91	WU	.	.
ADV-1	84	92	WU	.	.
TELSTAR 1	83	95	ATT	.	.
GSTAR 1	84	103	GTE	.	.
GSTAR 2	84	106	GTE	.	.
ANIK C3	84	109	TELSAT	.	.
ANIK D3	84	109	TELSAT	.	.
ANIK C2	83	114	TELSAT	.	.
ANIK C2	83	116	TELSAT	.	.
GALAXY 3	84	119	HUGHES	.	.
SPACENET 1	84	119	SPC	.	.
AMSAT 1	84	122	AMSAT	.	.
TELSTAR 3	85	127	ATT	.	.

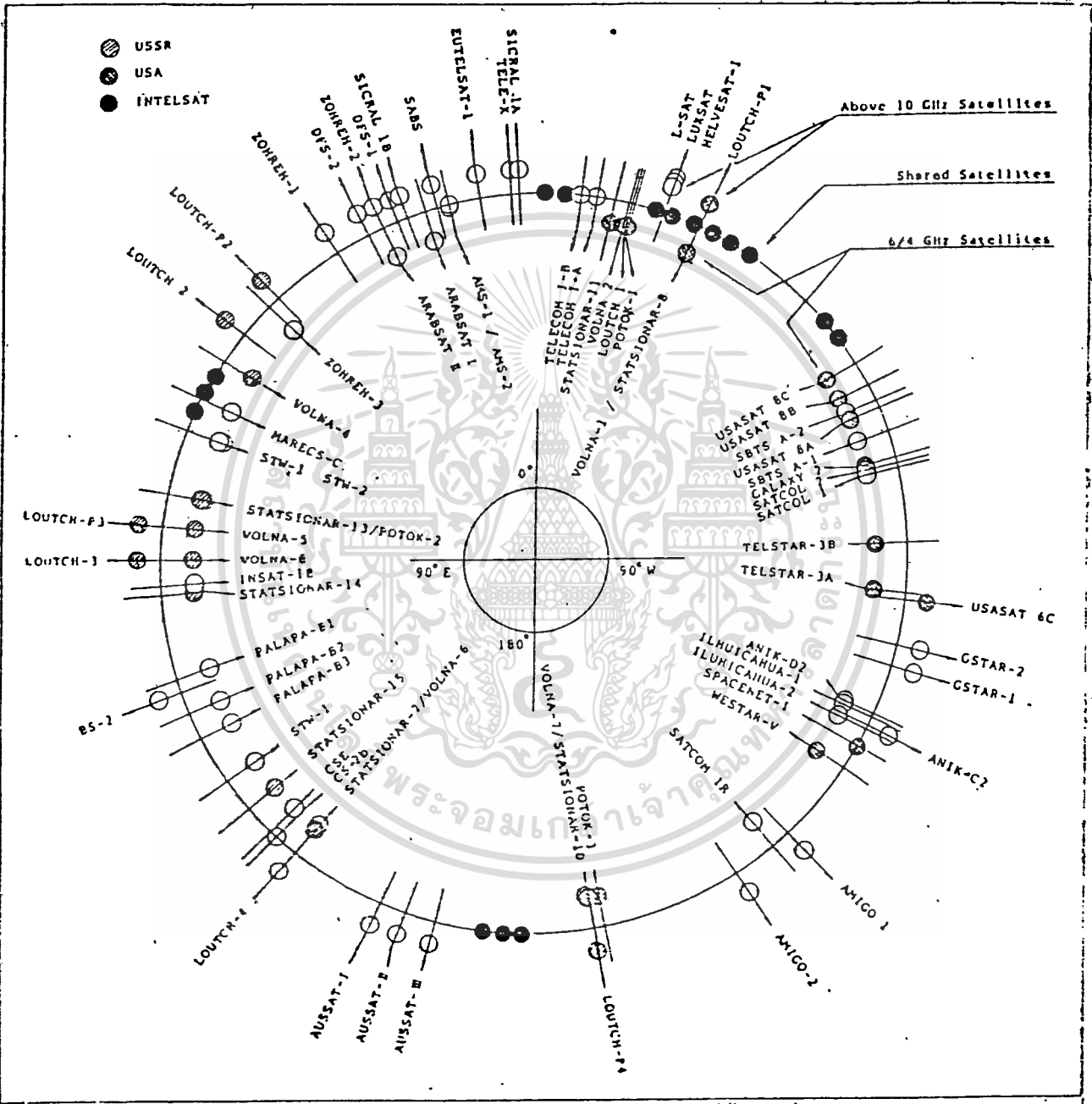
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WORLD SATS	DATE	DEGREE	OWNER	C-BAND	KU-BAND
INT IV	ON	1	INTL	.	.
INT IV	ON	1	INTL	.	.
TELCOM 1B	84	7	FRANCE	.	.
TELCOM 1A	83	18	FRANCE	.	.
SYMPHONIE 1/2	ON	11.5	FR/GERMANY	.	.
GORIZONT 2	ON	14	USSR	.	.
MARISAT-1	ON	16	MARINE	.	.
INT IVA	ON	18.5	INTL	.	.
INT V	83	18.5	INTL	.	.
IV-SAT	ON	19	GERMANY	.	.
TDF-1	86	19	FRANCE	.	.
LUXSAT	87	19	LUXEMBOURG	.	.
L-SAT	87	19.5	EUROPE	.	.
WATO-3B	ON	20	INTL	.	.
INT IVA	ON	21.5	INTL	.	.
INT V	83	22	INTL	.	.
INT V	ON	24.5	INTL	.	.
INT V	ON	27.5	INTL	.	.
INT V	83	31	INTL	.	.
BALLEY 1	86	31	UK	.	.
INT IVA	ON	34.5	INTL	.	.
INT V	ON	35	INTL	.	.
TDRS-2	83	41	USA-NASA	.	.
INT IV	ON	53	INTL	.	.
BRASISAT 2	86	68	BRAZIL	.	.
BRASISAT 3	87	65	BRAZIL	.	.
BRASISAT 1	85	78	BRAZIL	.	.
SATCOL 2	84	78	COLUMBIA	.	.
SATCOL 1	84	75.5	COLUMBIA	.	.
MEXSAT	85	85	MEXICO	.	.
MEXSAT 2	85	102	MEXICO	.	.
TDRS 1	83	171	USA-NASA	.	.
INT IV	ON	181	INTL	.	.
INT V	83	181	INTL	.	.
MARECS 3	84	183	MARINE	.	.
MARISAT 2	ON	184	MARINE	.	.
INT IV	ON	186	INTL	.	.
AUSSAT 2	86	196	AUSTRALIA	.	.
AUSSAT 3	87	208	AUSTRALIA	.	.
AUSSAT 1	85	204	AUSTRALIA	.	.
CS 1	ON	225	JAPAN	.	.
CS 2	84	225	JAPAN	.	.
ETS 2	ON	238	JAPAN	.	.
CS 2A	83	238	JAPAN	.	.
ETS 3	ON	238	JAPAN	.	.
PALAPA B3	85	242	INDONESIA	.	.
PALAPA B2	84	247	INDONESIA	.	.
ES 2A	84	249	JAPAN	.	.
ESI 2	83	250	JAPAN	.	.
ES2E	85	251	JAPAN	.	.
PALAPA B1	83	252	INDONESIA	.	.
APPLE 1	ON	255	INDIA	.	.
INSAT 1B	83	266	INDIA	.	.
GORIZONT 4	ON	278	USSR	.	.
RADUGA	ON	275	USSR	.	.
PALAPA A2	ON	279	INDONESIA	.	.
KOSMOS 1366	ON	280	USSR	.	.
PALAPA A1	ON	283	INDONESIA	.	.
INSAT 1A	ON	286	INDIA	.	.
MARISAT 3	ON	288	MARINE	.	.
MARECS 2	ON	295	MARINE	.	.
INT IVA	ON	297	INTL	.	.
INT V	ON	297	INTL	.	.
INT IVA	ON	300	INTL	.	.
INT V	ON	300	INTL	.	.
GORIZONT 5	ON	307	USSR	.	.
GORIZONT 3	ON	309	USSR	.	.
RADUGA 9	ON	325	USSR	.	.
ARABSAT 2	85	334	ARAB	.	.
ARABSAT 1	84	341	ARAB	.	.
ECS 2	83	347	EUROPE	.	.
ECS 1	83	350	EUROPE	.	.
OTS 2	ON	355	EUROPE	.	.
TELE X	87	355	NORDIC	.	.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Planned geostationary satellites for fixed, broadcast, and maritime mobile services

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงงานนี้ใคร่ขอขอบคุณ ทางบริษัท อีริคสัน ๙ ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือที่จัดทำโครงงาน , ช่อง 7 สี ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือทดสอบ , พนักงานการสื่อสารแห่งประเทศไทยที่ได้ให้ข้อมูล และหลักการสร้างงานสายอากาศ , เครื่องส่ง พร้อมสายอากาศส่งสัญญาณโทรทัศน์ , และที่ขาดไม่ได้ คือ รัฐบาลญี่ปุ่น ที่ได้จัดส่งชุด ฝึกออร์บ LNA , Down Converter พร้อมทั้ง Receiver มาให้ ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี



หนังสืออ้างอิง

- 1.ดร.อมฤต กุญชรรัตน์, "ความรู้เบื้องต้นสื่อสารดาวเทียม", การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ฯ
25 หน้า 2527
- 2.ผศ.ประกิจ ตั้งศิลาพันธ์, "วิศวกรรมการสื่อสารไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์", สจล.
217 หน้า 2527
- 3.ครองอรรถ ว่องวาทัญญู, "การรับชมโทรทัศน์จากดาวเทียม", การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ฯ
30 หน้า 2530
- 4."เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
ฉบับที่ 77 เมษายน 2530
- 5.Walter L.Morgan, "C-Band Geostationary Satellite Locations"
1987
- 6.Anthony T.Easton, "The Satellite TV Handbook", Howard W.Sams&Co., Ln
- 7.Harold A.Rosen, "The History of Geostationary Communications
Satellite", 1976
- 8."Cable and Wireless PLC", Engineering College .
- 9.Collin, R.E., "Foundations of Microwave Engineering", McGraw Hill
1966
- 10."Earth Station Antenne Technology Seminar", COMSAT Labs
1980
- 11."INTELSAT TDMA Seminar"
November 1980
- 12."5th International Conference on Digital Satellite Communication
March 1980
- 13.Oxner, E.S., "Power FETS and Their Applications", Prentice Hall, Inc.
1982
- 14."Scientific Atlanta Satellite Communications Symposium"
1982

15. "United States Seminar on Communications Satellite Earth Station
Technology", May 1966



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้