บทที่ 4

การใช้ประโยชน์ของทรานสปอนเดอร์ให้มีประสิทธิภาพสูง

การใช้ประโยชน์ของทรานสปอนเดอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงจะต้องให้ทรานสปอนเดอร์สามารถให้กำลังออก (power output) ได้สูงสุด และมี Intermodulation น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะระบบดาวเทียมปาลาป้าออกแบบให้วงจรขยายเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) อาจทำให้เกิด Intermodulation มากได้ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องคำนึงถึง แต่ในการวิเคราะห์ระบบการทำงานที่แท้จริงจะไปลดค่าตัวแปรของ input และ output back-off ของ TWTA ในดาวเทียม และยังปรับค่าของสัญญาณขาขึ้น, สัญญาณขาลงให้สอดคล้องกันอีกด้วย

ในการวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน .-

1. การวิเคราะห์การส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์ผ่านทรานสปอนเดอร์ โดยใช้ระบบครึ่งทรานสปอนเดอร์และส่งสัญญาณเสียงพร้อมไปกับสัญญาณภาพในระบบ Sub. carrier

2. เป็นการวิเคราะห์ในการเลือกระบบใช้งานให้สอดคล้องกับเหตุผลข้อแรก ทั้งนี้เพราะว่า ถ้าส่งสัญญาณภาพแบบครึ่งทรานสปอนเดอร์แล้ว จะทำให้มีช่องว่างอีกประมาณครึ่งทรานสปอนเดอร์ ซึ่งถ้าจะใช้ช่องว่างนี้ส่งสัญญาณโทรศัพท์ หรือ ใช้ในการติดต่อสื่อสารชนิดอื่น ๆ ควรจะใช้วิธีการ Multiple Access ในระบบ FDM/FM/FDMA ซึ่งจะวิเคราะห์ว่าเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้กับการสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ ในการวิเคราะห์นี้ต้องอาศัยการเปรียบเทียบกับระบบมาตรฐานของ INTELSAT ด้วย

4.1 การรับ-ส่งสัญญาณภาพโทรทัศน์

เนื่องจากราคาของช่องสัญญาณดาวเทียม เมื่อคิดประเมินค่าจากการลงทุนแล้ว มีราคาค่อนข้างสูงมาก เมื่อเทียบกับการคมนาคมด้วยวิธีอื่น ๆ จึงได้มีการคิดค้นวิธีที่จะใช้ช่องสัญญาณได้เต็มที่ และมีประโยชน์คุ้มค่าที่สุด ทั้งนี้เพราะในตอนแรก ๆ ได้มีการใช้ช่องสัญญาณหนึ่งทรานสปอนเดอร์ต่อหนึ่งช่องสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งในปัจจุบันนี้ก็ยังใช้อยู่ เรียกว่า แบบเต็มทรานสปอนเดอร์ (FULL TRANSPONDER) แต่เมื่อมีการส่งดาวเทียมเพื่อการสื่อสารภายในประเทศ ทำให้มีผู้นิยมใช้สัญญาณผ่านดาวเทียมมากขึ้น เพราะผลดีบางประการของดาวเทียมภายในประเทศเมื่อเปรียบเทียบกับดาวเทียมสื่อสารระหว่างประเทศ (INTELSAT) ที่สามารถดัดแปลงวิธีการส่ง-รับสัญญาณผ่านดาวเทียมให้มีคุณภาพมาก โดยสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมโดยใช้หนึ่งทรานสปอนเดอร์ต่อสองสัญญาณโทรทัศน์ เรียกว่า แบบครึ่งทรานสปอนเดอร์ (HALF TRANSPONDER) ซึ่งวิธีที่ใช้ส่งนี้ยังคงรักษาคุณสมบัติที่ดีของสัญญาณที่ใช้ส่ง-รับตามมาตรฐานของ INTELSAT IV,IV-A และ V * (INTELSAT IV,IV-A & V PARAMETER)

ในการทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมแบบครึ่งทรานสปอนเดอร์นี้ การคำนวณระบบจะใช้อุปกรณ์ตามหัวข้อ 3.1-3.4 เพียงแต่เปลี่ยนค่าคุณสมบัติบางค่า เพื่อให้เหมาะสมกับระบบนี้เท่านั้น

ส่วนเพิ่มเติมที่ใช้ในการคำนวณ

4.1.1 ส่วนที่ต้องการทดลอง

- สัญญาณภาพโทรทัศน์ : 2 โปรแกรม
- สัญญาณเสียงโทรทัศน์ ** : 1 โปรแกรม ต่อ 1 สัญญาณเสียง

---

* INTELSAT BG DOCUMENTATION PUBLICATIONS SECTION FOUR VOL. 1

** การส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์ของแต่ละโปรแกรม ใช้ระบบ sub-carrier ลงใน TV video baseband ซึ่งมี baseband frequency 6.6 MH_Z หรือ 6.65 MH_Z

- สัญญาณโทรศัพท์ : SCPC (30 KH_Z Bandwidth)
- Space Segment : 1 ทรานสปอนเดอร์

4.1.2 คุณสมบัติของดาวเทียม

- Satellite EIRP * : 32 dBW (รูป 3.1)
- G/T : -6.5 dB/°K (รูป 3.2)
- Input flux density for saturation : -86.1 dBW/m^2

4.1.3 ค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดิน

- Master station (11 m.) : 30.7 dB/°K
- Chiangmai station (10 m.) : 29.4 dB/°K
- Local station (7.5 m.) : 27.3 dB/°K
- Mobile station (4.5 m.) : 25.3 dB/°K

4.1.4 ทรานสปอนเดอร์

- Input Back-off : 0 dB
- Output Back-off : 1.5 dB

---

* BANGKOK CENTRAL AREA : 32 dBW, เชียงใหม่ 30 dBW , บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย : 31 dBW, บริเวณทางใต้ของประเทศไทย: 33 dBW ค่าที่ใช้ในการคำนวณที่แท้จริงสำหรับบริเวณกรุงเทพฯ มาจาก.-

EIRP = SATURATION EIRP สำหรับกรุงเทพฯ - OUTPUT BACK OFF สำหรับส่งสัญญาณโทรทัศน์สองสัญญาณ - 10 log (2) = 32 dBW - 1.5 dB - 10 log (2) = 27.5 dBW

4.1.5 ทรานสปอนเดอร์ที่ใช้ทำการทดลอง : ช่อง 4

4.1.6 RF OUT-OF-BAND EMISSIONS PER 4 KH_Z TO ADJACENT TRANSPONDER

1) 3^{rd} order intermodulation product ที่จุดอิ่มตัวในทรานสปอนเดอร์ของ HS-333 มีค่า 15.6 dB (สำหรับการส่งหนึ่งคลื่นพาห์)

ดังนั้น 3^{rd} IM = 32 - 15.6 dBW

= 16.4 dBW

2) ค่า Intermodulation/4 KH_Z

IM/4 KH_Z = 16.4 - 10 log ($2x2x10^3$ KH_Z/4 KH_Z)*

= -13.6 dBW/ 4 KH_Z

3) ค่า IM/4 KH_Z เมื่อใช้เทียบกับ Single carrier ที่จุด saturation เป็นมาตรฐาน

P = x - y

= 33 - (-13.6 - 3.5)

= 50.1 dB

P : IM/4 KH_Z เมื่อใช้เทียบกับ single carrier ที่จุด saturation เป็นมาตรฐาน

x : Single Carrier EIRP ที่จุด saturation

y : IM/4 KH_Z - A

A : attennation at Fo + 29 MH_Z filter ที่ output multiplexer โดยใช้ 4 section ของ CHEBYSHEV FILTER.

---

* ค่า $2x10^3$ KH_Z คือ ค่า peak to peak frequency deviation โดยใช้ energy dispersal

ดังนั้น ค่า RF-OUT-OF-BAND ควรจะได้ 50 dB (ต่ำกว่า single carrier ที่จุด saturation เมื่อใช้เทียบเป็นมาตรฐาน)

4.1.7 ความถี่ที่ใช้ในการทดลอง

ความถี่ส่งช่องที่ 1	6055.75	MH_Z
ความถี่รับช่องที่ 1	3830.75	MH_Z
ความถี่ส่งช่องที่ 2	6073.25	MH_Z
ความถี่รับช่องที่ 2	3848.25	MH_Z
peak to peak deviation	15.0	MH_Z
bandwidth	17.5	MH_Z

4.1.8 ขั้วของสัญญาณ เป็นแบบเชิงเส้น (Linear)

กำหนดให้ส่งเป็นแบบแนวตั้ง (Vertical)

รับเป็นแบบแนวนอน (Horizontal)

แต่ถ้าจะใช้สำหรับเป็นสถานีรับสัญญาณขนาดเล็ก โดยใช้รับสัญญาณโทรทัศน์เพียงอย่างเดียว และมีวงจรพูดกลับไว้ใช้สำหรับติดต่องาน (ORDERWIRED) เราอาจจะลดคุณสมบัติบางอย่างเพื่อให้เหมาะสมที่จะใช้งานได้ในขนาดที่น่าจะประหยัดที่สุด สำหรับสถานีรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมแบบครึ่งทรานสปอนเดอร์ขนาดเล็ก อาจใช้ดังต่อไปนี้.-

ขนาดของจานสายอากาศ	4.5 เมตร
เครื่องขยายสัญญาณอุณหภูมิต่ำ (uncooled LNA)	55 °K
G/T	24.8 dB/°K

อัตราการขยายของจานสายอากาศ	- ส่ง	46.5	dB
	- รับ	43.1	dB
Up-link thermal C/T		-134.6	dBW/°K
Down-link thermal C/T		-134.2	dBW/°K
Total thermal C/T		-144.7	dBW/°K
Total C/N		11.9	dB
Down-link rain margin		3.2	dB
∴ Calculated S/N		44.4	dB
Expected S/N		44.0	dB

<u>สรุป</u> หลังจากที่ได้ผลจากการคำนวณและการทดลอง จะเห็นว่าถ้าใช้ส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมปาลาป้า A2 ของประเทศอินโดนีเซียในปัจจุบันนี้ โดยใช้กรรมวิธีส่งและรับแบบครึ่งทรานสปอนเดอร์แล้ว จะทำให้เกิดการใช้ทรานสปอนเดอร์ได้คุ้มค่าที่สุด นั่นคือ

1) สามารถลดขนาดของจานสายอากาศรับสัญญาณลงได้ให้เหลือขนาดเล็กที่สุดได้เพียง 4.5 เมตร เท่านั้น

2) เครื่องขยายสัญญาณที่อุณหภูมิต่ำ อย่างน้อยที่สุดควรจะเป็น 55°K

3) จากเหตุผลข้อ 1 และ 2 จะให้ผลดีสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์และป้อนสัญญาณนั้นเข้าเครื่องส่งโทรทัศน์ เพื่อนำสัญญาณออกอากาศต่อไป

4) จากเหตุผลข้อ 1 และ 2 จะให้ผลดีที่สุดในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยเท่านั้น ส่วนในบริเวณภาคกลางนั้นพอใช้ได้, ในภาคอีสานบางส่วนและภาคเหนือ สัญญาณไม่ค่อยดีนัก คือ ต่ำกว่า CCIR RECOMMENTED มาก แต่ก็ยังคงใช้ได้อยู่ถ้าแก้ไข parameter บางอย่าง

5) ขนาดที่จะเหมาะสมที่สุดจากการคำนวณ คือ ต้องใช้จานสายอากาศกว้าง 7.5 ม.

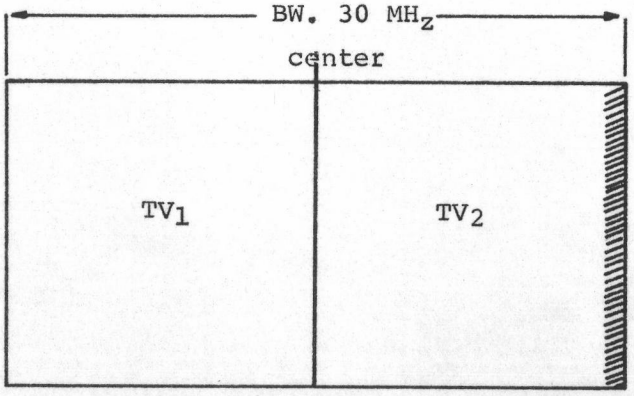
6) ถ้าจะนำเอาไปใช้ทำเป็น Close Circuit TV หรือ CATV จากเหตุผลในข้อ 1 และ 2 ทำให้เป็นสัญญาณที่รับได้ดีมากที่สุด

7) เป็นระบบที่ประหยัดที่สุด

8) เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในปัจจุบัน

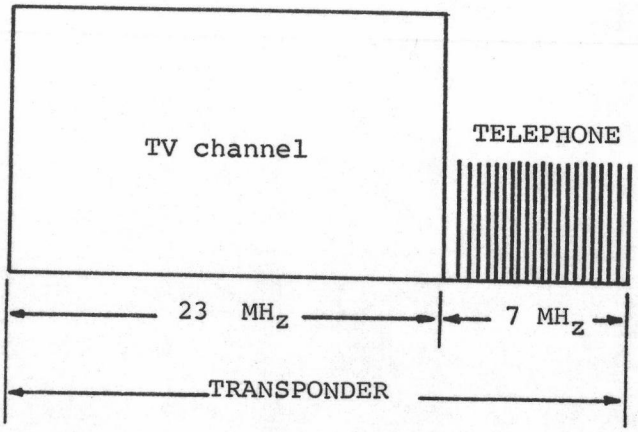
<u>ข้อควรพึงสังวรณ์</u> สำหรับการใช้ครึ่งทรานสปอนเดอร์กับดาวเทียมปาลาป้าของอินโดนีเซีย จากเหตุผลการวิเคราะห์ กล่าวได้ว่า.-

1. เนื่องจาก bandwidth ของทรานสปอนเดอร์ที่จะใช้งานได้มีค่าประมาณ 30 MH_z จะทำให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่อยู่ทางด้านบนหรือปลายทรานสปอนเดอร์เกิดการผิดเพี้ยน (distortion) ได้ง่าย



รูปที่ 4.1 แสดงความผิดเพี้ยนบริเวณปลายทรานสปอนเดอร์

2. ถ้าจะให้ได้ผลดี และเหมาะกับระบบที่จะใช้งานมากที่สุด ควรจะเป็นการส่งสัญญาณโทรทัศน์ 1 สัญญาณ และ สัญญาณโทรศัพท์ ตั้งแต่ 1 ถึง 50 ช่องโทรศัพท์ จึงจะทำให้ Signal to noise ratio เป็นที่ยอมรับทุกสภาวะอากาศ ดังแสดงในรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการแบ่งใช้ทรานสปอนเดอร์

3. ถ้าจะใช้เป็นสถานีขนาดเล็ก (ใช้จานสายอากาศขนาดประหยัด 4.5 ม.) เพื่อใช้รับสัญญาณโทรทัศน์เพียงอย่างเดียวแล้ว จะทำให้คุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้ต่ำกว่ามาตรฐาน (ดูจากตารางที่ 4.1จากการคำนวณและการทดลอง) แต่ก็ยังเหมาะที่จะทำเป็น CCTV สำหรับหมู่บ้านได้ ถ้าจะนำไปใช้เป็นสัญญาณโทรทัศน์เพื่อแพร่ภาพ (RE-BROADCASTING) ก็ยังพอใช้ได้เป็นครั้งคราว ไม่เหมาะที่จะใช้ตลอดไป

		หน่วย	กรุงเทพฯ	เชียงใหม่	ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคใต้	รถถ่ายทอด	หมายเหตุ
1.	Up-link thermal C/T	dBW/ K	-134.6						
	Station EIRP	dBW	71.4						
	Path loss	dB	-199.5						
	Satellite G/T	dB/ K	-6.5						
2!	Down-link thermal C/T	dBW/ K	-137.8	-141.1	-142.7	-141.7	-140.7	-143.7	
	Satellite EIRP	dBW	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	
	Satellite ant. beam advantage	dB	0	-2.0	-1.0	0	+1.0	0	
	Path loss	dB	-196.0	-196.0	-196.0	-196.0	-196.0	-196.0	
	Ant. Pointing Error	dB	-	-	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	
	G/T	dB/ K	30.7	29.4	27.3	27.3	27.3	25.3	
3.	Total thermal C/T	dBW/ K	-139.5	-142.0	-143.3	-142.5	-141.7	-144.2	
4.	Total C/N	dB	17.1	14.6	13.3	14.1	14.9	12.4	**
5.	Rain Margin for Down link	dB	9.6	6.3	4.7	5.7	6.7	3.7	
6.	Calculated S/N	dB	49.6	47.1	45.8	46.6	47.4	44.9	***
7.	Expected S/N	dB	49.0	46.5	45.0	46.0	47.0	44.5	
8.	Measurement S/N	dB	50.3*	49.2*					

หมายเหตุ * with weighting filter at 100 KH_Z, and sub-carrier filter on

** with 17.5 MH_Z IF BAND PASS FILTER (noise bandwidth 15.75 MH_Z)

*** Peak to peak frequency deviation 15 MH_Z at cross-over frequency

ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณ ทุกภาคของประเทศไทยคิดมาจากกำลังส่งจากดาวเทียมที่ลงมายังพื้นโลกเป็นค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง

ทางด้านต่างประเทศ

ประเทศมาเลเซีย ซึ่งอยู่ทางใต้ของประเทศไทยได้มีการใช้ครึ่งทรานสปอนเดอร์ผ่านดาวเทียมปาลาป้า ของประเทศอินโดนีเซีย เช่นเดียวกันกับประเทศไทย จากบนแผ่นดินใหญ่ รัฐกวนตัน (KUANTAN) ไปยัง โกตา กินาบาลู (KOTA KINABALU) รัฐซาบาร์ (SABAH) บนเกาะบอเนียว (BORNEO) โดยส่งสัญญาณโทรทัศน์และวงจรโทรศัพท์ 72 ช่อง แทนการใช้ทรานสปอนเดอร์จาก INTELSAT ซึ่งเป็นทางที่เป็นไปได้

1) ในกรณีใช้ INTELSAT ในขณะที่มาเลเซียใช้ครึ่งทรานสปอนเดอร์จาก INTELSAT โดยใช้จานสายอากาศมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 ม. มุมเงยจากกวนตัน 5.6 ° ไปยังดาวเทียม INTELSAT ในย่านมหาสมุทรปาซิฟิค (POR) ที่ตำแหน่ง 179 ° ตะวันออก และรับสัญญาณที่เมือง ปาปัว ปินัง (PAPAU PINANG) โดยใช้มุมเงย 3.8 ° ทำให้ได้ S/N* สำหรับสัญญาณโทรทัศน์ 44.4 dB

สำหรับสัญญาณโทรศัพท์ 47.0 dB จะเห็นว่าค่า S/Nต่ำมาก และยังไม่มี margin เผื่อไว้เลย ทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลงเนื่องจากบรรยากาศอีกด้วย

แต่ถ้าใช้กับดาวเทียมของ INTELSAT ทางด้านมหาสมุทรอินเดีย (IOR) ซึ่งมี beam เป็นแบบ hemi-beam ซึ่งให้กำลังส่งสูงกว่าอีก 3 dB แล้ว จะทำให้ค่า S/N ดีขึ้นมาอีกประมาณ 1.5 dB ดังนั้น S/Nจะได้ประมาณ 46 dB ซึ่งยังคงต่ำกว่ามาตรฐานอยู่นั่นเอง

2) ในกรณีใช้ดาวเทียมปาลาป้า

โดยการใช้คุณสมบัติเดียวกันกับ INTELSAT จะเห็นว่ากำลังส่งจากดาวเทียมที่จะลงมายังสถานีรับภาคพื้นดิน มากกว่าของ INTELSAT ประมาณ 10 dB และ beam coverage เป็นแบบ zone beam coverage ทำให้ S/N (ภาคผนวกที่ 9)สำหรับ

---

* จะเห็นว่าค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานของอินเทลแซท ที่กำหนดให้

สัญญาณโทรทัศน์มีค่ามากกว่า 50 dB* ขึ้นไป และโทรศัพท์มากกว่า 52 dB

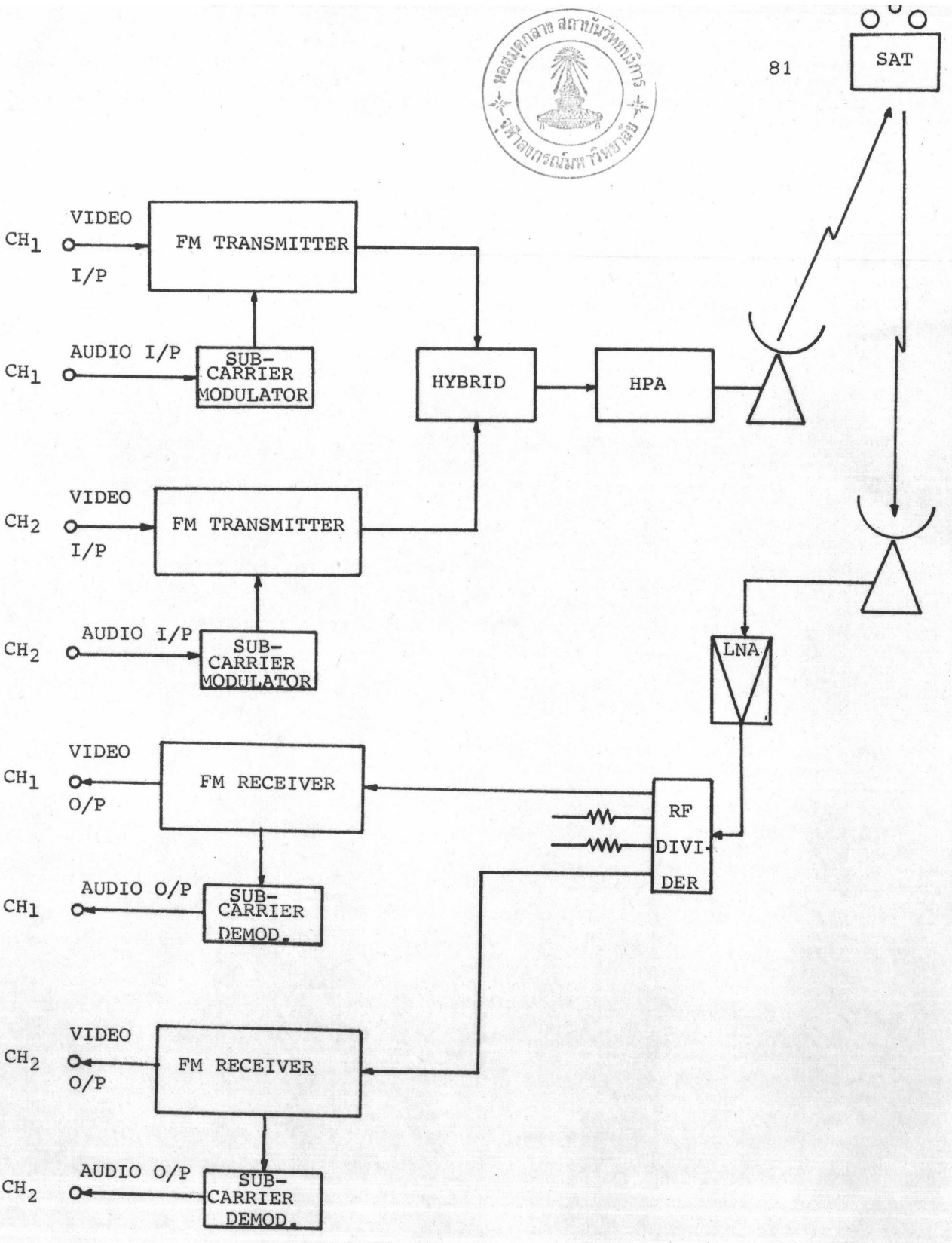
ดังนั้น จึงพอสรุปได้ว่า กรณีของประเทศมาเลเซีย

1. Bandwidth ของปาลาป้าแคบกว่า
2. จะต้องออกแบบให้ back-off ของปาลาป้าทรานสปอนเดอร์สูงกว่า เพื่อให้คงค่า linearity เอาไว้
3. ค่าเช่าช่องสัญญาณต่ำกว่า
4. มีความเหมาะสมที่จะใช้งานดีกว่า
5. ปาลาป้าให้กำลังส่องกลับมายังพื้นโลกสูงกว่า
6. มุมเงยสูง ทำให้การสูญเสียเนื่องจากชั้นบรรยากาศ และการรบกวน (INTERFERENCE) น้อย
7. การใช้ครึ่งทรานสปอนเดอร์นี้ ทำให้มีการใช้ทรานสปอนเดอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

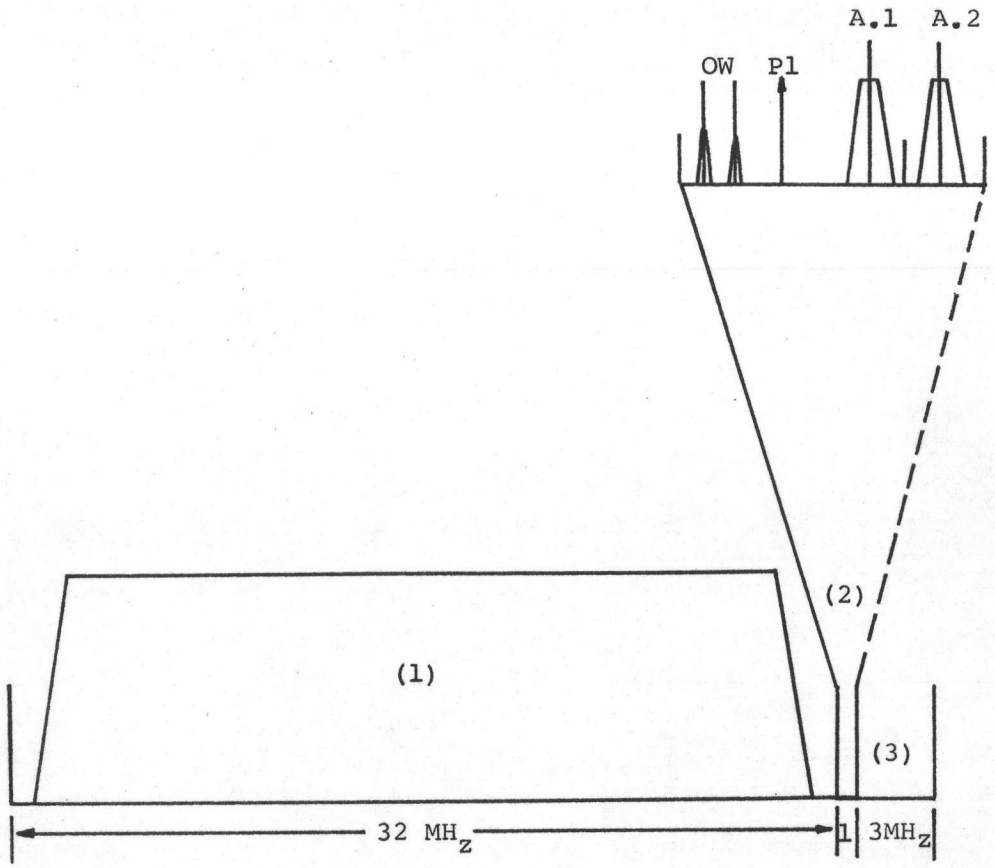
---

* จะเห็นว่าแบบครึ่งทรานสปอนเดอร์ของปาลาป้า และของอินเทลแซท มี bandwidth cut-off ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะว่าทรานสปอนเดอร์ bandwidth ของปาลาป้าแนะนำให้ใช้เพียง 30 MH_Z ส่วนของอินเทลแซทใช้ได้ถึง 36 MH_Z ดังนั้น ที่ sharp cut-off ของครึ่งทรานสปอนเดอร์ของปาลาป้า ประมาณ 18 MH_Z ในขณะที่ของอินเทลแซท 24 MH_Z นี่คือเหตุผลที่ค่า S/N ของทั้งสองระบบยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดง Block Diagram วิธีส่ง-รับ สำหรับครึ่งทรานสปอนเดอร์



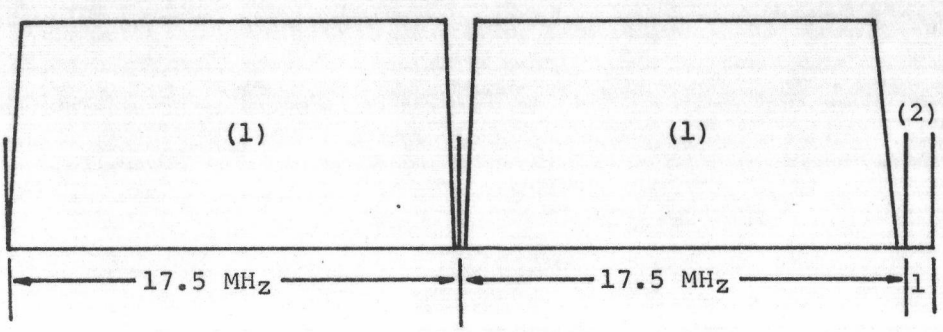
รูปที่ 4.4 แสดงการส่งแบบเต็มทรานสปอนเดอร์

ความหมายของหมายเลขต่าง ๆ จากรูป

(1) : ช่องความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณภาพ

(2) : ช่องความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณเสียง (A.1, A.2), Orderwired และ pilot

(3) Guard band



รูปที่ 4.5 แสดงการส่งแบบครึ่งทรานสปอนเดอร์

4.2 การเลือกชนิดของการรับ-ส่งสัญญาณเสียงโทรทัศน์และโทรศัพท์

การศึกษาถึงข้อได้เปรียบของการสื่อสารแบบหนึ่งช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์ในระบบการสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศ เมื่อเทียบกับการใช้วิธีอื่น ๆ ในระบบการสื่อสารระหว่างประเทศ

การสื่อสารแบบหนึ่งช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์ (SINGLE CHANNEL PER CARRIER ; SCPC) * เป็นระบบเก่าซึ่งเริ่มมีมานานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ได้นำมาพัฒนาการทางด้านเทคนิคจนมีประโยชน์มาก และเป็นที่นิยม ดังนั้นเมื่อนำเอามาใช้ในระบบเสียง เช่น ในระบบโทรศัพท์จะใช้คลื่นพาห์ของแต่ละสัญญาณแยกออกจากกันเลย แต่ในปัจจุบันนี้ การใช้ทรานสปอนเดอร์ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด (TRANSPONDER) สำหรับส่งสัญญาณโทรศัพท์ซึ่งมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีที่หนึ่ง FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (FDMA) ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดความถี่ในการสื่อสารให้กับแต่ละสถานีภาคพื้นดินที่แตกต่างกัน โดยการกำหนดค่าความถี่นั้นอาจกำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างแน่นอน (PRE-ASSIGNMENT) หรืออาจกำหนดค่าความถี่ใดก็ได้ (DEMAND ASSIGNMENT) และวิธีที่สอง TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS (TDMA) ซึ่งเป็นการแบ่งช่องของเวลา (TIME SLOT) สำหรับการสื่อสารให้กับสถานีต่าง ๆ ซึ่งในแบบวิธีนี้ จะทำให้ที่เวลาหนึ่งจะมีคลื่นพาห์เดียวเท่านั้น ที่จะถูกส่งทอดผ่านไปในเครื่องขยายกำลังของดาวเทียม นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ ปัญหาทางพื้นฐานของการใช้ทรานสปอนเดอร์ให้ได้ประโยชน์มากขึ้น ได้มีการดัดแปลงและนำเอาเทคนิคต่าง ๆ มาใช้.-

---

* SCPC ได้ถูกใช้งานและดัดแปลงมาเรื่อย ๆ เช่น ใน STAR : Satelitte Telecommunication with Automatic Routing system developed under the technical coorporation of Hughes Aircraft Company and Nippon Electric Company Ltd. ตั้งแต่ปี 1966 และ SPADE เป็นระบบ demand assignment multiple - access system ก็ใช้พื้นฐานของ SCPC แบบ FDMA เป็นต้น แต่ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะคิดว่า FDM/FM/FDMA จะเป็นระบบที่มีคุณภาพของการสื่อสารดี แต่ถ้ามีคุณสมบัติประจำตัวที่เสียคือ ต้องการความกว้างของแถบความถี่มาก

- ดัดแปลงระบบการทำงานใหม่ โดยขณะใช้งานจะมีคลื่นพาห์ออกไป แต่เมื่อไม่ใช้งานหรือไม่มีสัญญาณป้อนเข้าไปจะไม่มีคลื่นพาห์ส่งออก ซึ่งวิธีนี้จะลดการรบกวน (INTERMODULATION) ได้

- สามารถดัดแปลงระบบ Syllabic compander เพื่อที่จะลดการรบกวน ซึ่งจะเป็นการ improved noise immunity

- Modulation frequency band แคบพอที่จะปรับปรุง threshold characteristic ของ threshold extension demodulator ได้ ซึ่งจะเห็นว่า tracking filter bandwidth ของ PLL demodulator มีความแคบพอ เมื่อเปรียบเทียบกับ bandwidth ของ multi carrier

ซึ่งจากเหตุผลข้างบนนี้ ระบบหนึ่งช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์โดยใช้ FM ได้กลับมาได้รับความสนใจอีกครั้งหนึ่ง

ในการคำนวณหาค่า C/T ของระบบดาวเทียมจะต้องพิจารณาจากการใช้ syllabic compander และ improved threshold extension ด้วยเพื่อหาเหตุผลในการคำนวณที่ถูกต้อง

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง S/N และ C/T

ในการส่ง SCPC FM สำหรับโทรทัศน์เพียง 1 คลื่นพาห์ จะเห็นว่า FM noise ในช่องการส่งจะออกมาในรูป uniform distributed เพราะว่าต้อง intergrated noise จากความถี่ต่ำสุด (fa = 300 H_z) ถึงความถี่สูงสุด (fm= 3400 H_z) ในระบบ FM มีดังนี้.-

$$S/N = \frac{C}{T} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{3\,fr^2}{fm^3 - fa^3} \qquad (27)$$

fm : ความถี่สูงสุด 3400 H_z

fa : ความถี่ต่ำสุด 300 H_Z

fr : rms frequency deviation in H_Z by test tone โดยให้ emphasis improvement 6 dB* และ sophometric improvement 2.5 dB**

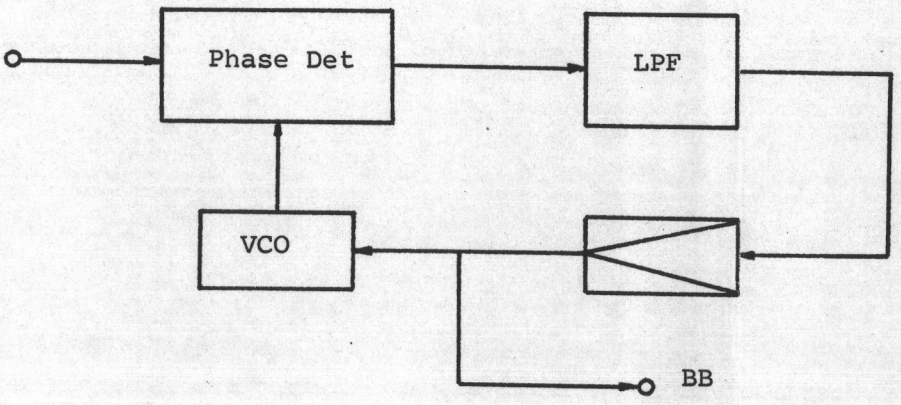
ดังนั้น จาก (27) จึงเขียนได้เป็น.-

$$(S/N)_{E.pWp} = \left[\frac{C}{T}\right] + 228.6 + 10 \log \left[\frac{3fr^2}{3400^3-300^3}\right] + 6 + 2.5 \quad (27.1$$

$$= \left[\frac{C}{T}\right] + 20 \log fr\ (KH_Z) + 195.9 \quad (27.2$$

4.2.2 Threshold ของ PLL Demodulator

จากสมการ (27.2) ถ้าต้องการค่า S/N ที่พอเหมาะแล้ว ค่า fr จะต้องสูงพอด้วย ค่าของ C/T อาจจะเล็กลงเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ค่าต่ำสุดจะต้องอยู่ใน threshold ของ FM ซึ่งจะหาค่า C/T ที่ threshold ของ PLL Demodulator ได้ดังนี้.-



รูปที่ 4.6 แสดง PLL Demodulator

---

* ตาม CCITT

** สำหรับหูของมนุษย์

$$\frac{C}{T} = 10 \log Bn + 7 - 228.6 \qquad (28)^{*}$$

$$Bn = 5.85 \left[\frac{fm^5 - fa^5}{fm^3 - fa^3} \; fr\,ms^2 \right]^{1/4} \qquad (29)^{*}$$

Bn : The equivalent noise band of the threshold extension demodulator

frms : The effective frequency deviation of the signal to be transmitted

ซึ่งทั้งสองสมการมีความหมายดังนี้.-

ก) เมื่อกำหนดให้ Effective frequency deviation ของสัญญาณที่ต้องการจะส่งแล้ว สามารถที่จะคำนวณหา Effective noise band ของ threshold extension demodulator ตามสมการ (29) ได้

ข) จากสมการ (28) ถ้าไม่มีจุด threshold ที่ค่า C/N = 7 dB (สำหรับ effective noise band)

ดังนั้น สมการ** จะเขียนใหม่ได้เป็น.-

$$\left[\frac{C}{T}\right]_{TH} = 5 \log frms - 181.3 \qquad dBW/^{\circ}K \qquad (30)$$

frms*** : rms frequency deviation of voice signal KH_Z

---

* J. Klapper and J.T. Frankle. "PHASE - LOCKED AND FREQUENCY FEEDBACK SYSTEM"
ACADEMIC PRESS, N.Y., 1972

** จะต้องปรับปรุงวงจร pre-emphasis ด้วย

*** frms ในสมการ (30) เป็น frequency deviation ที่เกิดจากสัญญาณที่จะส่ง fr ในสมการ (27.1), (27.2) เป็น frequency deviation ที่เกิดจาก test tone

4.2.3 การกำหนดค่า C/T และ Bandwidth ตามที่ต้องการ

เมื่อต้องการหาค่า C/T อาจจะหาได้จากสมการ (27.2) และ (30) ทั้งนี้แล้วแต่ความต้องการอะไรบ้าง

1) เมื่อต้องการค่า S/N

สมมุติว่า noise มีค่า 7500 pWp (S/N = 51.3 dB) และหลังจากนั้นค่านี้ได้ถูกทำให้ดีขึ้นโดยใช้ Syllabic compander มีค่า (ƶ)* dB

ดังนั้น สมการ (27.2) จะมีค่า

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{E.pWp} = 51.3 - (\text{ƶ}) \quad \text{dB} \quad (31)$$

แต่จากการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ทำให้ได้ผลของ (ƶ) มีค่าอยู่ระหว่าง 15 dB ถึง 20 dB (แต่ในการคำนวณแต่ละครั้งจะใช้ค่ากลาง ๆ คือ 17 dB)

2) ความสัมพันธ์ระหว่าง fr และ frms

กำหนดค่าได้ดังนี้.-

$$20 \log frms = 20 \log fr - (V)^{**} \quad \text{dB} \quad (32)$$

อาจพูดได้ว่า ค่าmean rms ของโทรศัพท์จะมีค่าต่ำกว่า test tone 10 dB ดังนั้น ในกรณีของการส่งหนึ่งช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์ จะต้องพิจารณาสัญญาณเพียงช่องเดียว

3) สมมุติว่าค่าS/N ถูก improved โดย Compander

จากสมการ (27.2) จะเขียนได้เป็น.-

$$51.3 - (Z) = \left(\frac{C}{T}\right)^{***}_{op} + 20 \log fr + 195.9 \quad (33)$$

---

* improvement of syllabic compander

** เป็นค่าความแตกต่างระหว่าง fr และ frms มีค่าระหว่าง 0-10 dB แต่เป็นค่าที่ใช้อาจจะเป็น 5 dB

*** เป็น C/T ที่จุดทำงาน

$$\left.\frac{C}{T}\right|_{op} = \left.\frac{C}{T}\right|_{TH} + \left.M\right|_{TH}^{*} \qquad (34)$$

4) การหาค่า $\left.\frac{C}{T}\right|_{op}$ หาได้ 2 วิธี คือ.-

- นำค่า (≅), $(M)_{TH}$ และ (V) มาจากสมการ (30), (32), (33) และ (34) แล้วนำมาแทนค่าต่อไป.-

$$\left.\frac{C}{T}\right|_{op} = -0.2\,(Z) + 0.8\,(M)_{TH} - 0.2\,(V) - 174 \qquad (35)$$

- หาได้จากสมการ (27.2) โดยการแทนค่า $\left.\frac{C}{T}\right|_{op}$ ลงไปที่ค่าของ C/T

$$\left.\frac{C}{T}\right|_{op} = 0.2\,(S/N)_{E.pWp} + 0.8\,(M)_{TH} - 0.2\,(V) - 184.2 \qquad (36)$$

เมื่อได้ค่าของ $\left.\frac{C}{T}\right|_{op}$ จะหาค่าของ test tone deviation fr ได้จากสมการ (27.2) หรือ (33) และค่า CARSON Bandwidth (B) จะหาได้จาก

$$B = 2\,(p^{**} fr + fm)$$

5) แสดงค่าของ SCPC - FM

Transmission Band (fa - fm)	300 - 3400	H_Z
Channel noise (S/N)	7500	pWp***
rms frequency deviation of test tone (fr)	4.8	KH_Z
rms frequency deviation of voice (frms)	2.7	KH_Z****

---

* threshold margin

** เป็นค่า peak factor ของ voice signal to test tone

*** improvement of compander ให้มีค่า 17 dB

**** deviation สมมติให้มีค่าประมาณ 5 dB ต่ำกว่า test tone

Bandwidth (B)	30	KH_z
$\left.\frac{C}{T}\right\|_{op}$	-175.2	dBW/°K
Threshold Margin (MTH)	4.0	dB
Threshold $\left.\frac{C}{T}\right\|_{TH}$	-179.2	dBW/°K
C/N ที่ threshold*	4.7	dB
voice peak factor (20 log P) ให้มีค่า	7.5	dB

ดังนั้น จากที่ได้ศึกษาและจากค่าต่าง ๆ ในข้อ 5) จะเห็นว่า SCPC-FM มี $\left.\frac{C}{T}\right|_{TH}$ และ Bandwidth ดีกว่าแบบ PCM, PSK และยังประหยัด space segment ใน transponder ได้ดีกว่าอีกด้วย

<u>Parameter ของการสื่อสารดาวเทียม</u> (ภาคผนวกที่ 10)

ตัวอย่างเช่น.-

สถานีภาคพื้นดินมี G/T	=	30	dB/°K
เส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศ	=	8	m.
กำลังขยายด้านส่งของจานสายอากาศ	=	50	dB

แต่เมื่อนำเอาระบบ SCPC-FM เข้าไปใช้กับทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมสื่อสารระหว่างประเทศ (INTELSAT) จะเห็นว่า

C/T Up-link	-132.6	dBW/°K
C/T Intermodulation	-135.4	dBW/°K

(แต่ G/T ของ STANDARD A กำหนดให้ 40.7 dB/ K)

G/T ของสถานีภาคพื้นดินต่ำกว่ามาตรฐาน	10.7	dB/°K

---

* $\frac{C}{T}$ ที่ Bandwidth B

C/T Downlink ต่ำกว่ามาตรฐาน 10.7 dB

$T/C\big|_T = T/C\big|_U + T/C\big|_D + T/C\big|_I$

$C/T\big|_{TM}^{*} = -149.3$ dBW/ K

$C/T = -149.3 - (-175.2)$

$= 25.9$ dB

นั่นคือสูงกว่าในข้อ 5)

เมื่อเราส่ง SCPC-FM ที่มี eirp 59.7 dBW จะต่ำกว่าของ STANDARD A 25.9 dB (eirp STANDARD A 85.6 dBW) และพารามิเตอร์ต่าง ๆ.-

earth station EIRP	59.7	dBW
Tx. antenna gain	50.0	dB
HPA output power per carrier	9.3	W
$(C/T)\big\|_u$	-158.5	dBW/ K
$(C/T)\big\|_I$	-161.3	dBW/ K
Satellite EIRP	-8.2	dBW
earth station G/T	30.0	dB/ K
Down-link C/T	-174.9	dBW/ K
$(C/T)\big\|_T$	-175.2	dBW/ K
Threshold Margin $(M)_{TH}$	4.0	dB
Rain Margin $(M)_R$	4.2	dB

---

* total carrier to noise ratio to the total transmitt power

สรุป

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องราวต่าง ๆ ของระบบสื่อสารแบบหนึ่งช่องต่อหนึ่งคลื่นพาห์ ใช้การผสมคลื่นแบบ FM (SCPC-FM) ซึ่งได้ผลต่าง ๆ ดังนี้.-

1. คุณภาพของสัญญาณเสียง, ข้อมูลต่าง ๆ หรือโทรพิมพ์ ที่ใช้ส่งด้วยระบบนี้ดี

2. จะลดค่า thermal noise โดยการใช้ Compander Technique เพื่อผลการสอดคล้องกับ CCITT RECOMMENDATIONS ที่ G 162 และ G 132

3. เพื่อลดกำลังงานของดาวเทียม โดยใช้แบบ voice activated carrier operation ซึ่งเมื่อเทียบกับ Digital modulation แบบนี้จะต่ำกว่าทั้งกำลังส่ง และ Bandwidth

4. มี Carrier ของวงจรรับและส่งแยกกัน

5. ใช้ระบบ Carrier เครื่องรับและส่งแยกจากกัน

6. ถ้ายอมให้ minimum spacing ของแต่ละคลื่นพาห์เท่ากับ 22.5 KH_z แล้วในหนึ่งทรานสปอนเดอร์ซึ่งกว้าง 36 MH_z จะใช้ SCPC CARRIER ได้ถึง 1600 ช่อง

7. ประหยัดค่าใช้จ่าย

8. เหมาะสำหรับนำมาใช้กับสถานีดาวเทียมขนาดเล็ก