

บทที่ 5

การประเมินผลเชิงตัวเลขและผลการวิจัย

ในบทนี้ได้ทำการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงตัวเลข ตามแนวทางและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทต้น ๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาความจุช่องสัญญาณของทรานส์พอนเดอร์ในระบบ SCPC/CFM ที่มีวิธีการจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาหุในทรานส์พอนเดอร์ทั้งสองแบบ คือ แบบระดับเดียวและแบบหลายระดับ แนวทางในการวิเคราะห์จะทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบ กล่าวคือช่องว่างระหว่างช่อง G/T ของสถานีภาคพื้นดิน และอื่น ๆ เพื่อสังเกตผลกระทบที่มีต่อความจุช่องสัญญาณของทรานส์พอนเดอร์อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ได้นำมาประกอบการวิเคราะห์ ได้แก่ ลักษณะสมบัติของดาวเทียมและอุปกรณ์ระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องว่างระหว่างช่องแต่ละแบบนี้ โดยจะนำดาวเทียม PALAPA-A2 ของประเทศอินโดนีเซียมาเป็นกรณีเพื่อศึกษา ส่วนลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องว่างระหว่างช่องแต่ละแบบ จะนำมาตรฐานของบริษัทหนึ่งมาใช้ ทั้งนี้แนวทางและกระบวนการวิเคราะห์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดาวเทียมและมาตรฐานของอุปกรณ์ของบริษัทอื่นได้เช่นกัน

ในการวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทรานส์พอนเดอร์มีสมรรถนะสูงสุด คือมีความจุช่องสัญญาณสูง และผลการรบกวนที่มีต่อทรานส์พอนเดอร์ข้างเคียง ในกรณีของ out of band intermodulation emission ต้องอยู่ภายในมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจะใช้หลักการออปติไมซ์ให้ผลกระทบของเสียงรบกวนความร้อน และเสียงรบกวนอินเตอร์มอดูเลชันที่เกิดขึ้นในข่ายการสื่อสารดาวเทียมช่องต่าง ๆ มีผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพของสัญญาณที่รับได้น้อยที่สุด กล่าวคือการออปติไมซ์ค่า $(C/N_0)_T$ ของข่ายการสื่อสารดาวเทียมให้มีค่าสูงที่สุดนั่นเอง หรืออีกนัยหนึ่งคือการหาจุดทำงานของทรานส์พอนเดอร์ที่เหมาะสมนั่นเอง

ในกระบวนการวิเคราะห์ได้ทำการแจกแจงรูปแบบและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบ โดยสรุปได้ดังนี้



สมรรถนะ : ความจุของสัญญาณของทรานส์พอนเดอร์

ตัวแปร : ลักษณะสมบัติของดาวเทียม

ลักษณะสมบัติของสถานีภาคพื้นดิน

เทคนิคการมอดูเลชัน, ช่วงห่างระหว่างช่อง

การประมวลสัญญาณและความถี่พื้นฐาน, EIRP ของคลื่นพาห้แต่ละคลื่น

อัตราส่วนกำลังคลื่นพาห้ต่อความเข้มของเสียงรบกวน, (C/N_0)

ข้อบังคับ : อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อเสียงรบกวน, (S/N)

Out of band intermodulation emission

Threshold margin

การประเมินผลเชิงตัวเลขของสัญญาณด้านออกของทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียม PALAPA-A2

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการประเมินผลเชิงตัวเลข ของลักษณะสมบัติของเครื่องขยายกำลัง ในทรานส์พอนเดอร์ของดาวเทียม PALAPA-A2 โดยใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 ทั้งนี้ พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ Scaling factor (α) ซึ่งเท่ากับ 0.8 และสัมประสิทธิ์ของอนุกรมเบสเซล (b_s) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ตารางที่ 5.1 สัมประสิทธิ์ (b_s) ของหลอดขยายกำลัง TWT ของดาวเทียม PALAPA-A2

	b_s (real)	b_s (imaginary)
1	1.4345	1.6512
2	0.728	0.1845
3	0.1863	- 0.0209
4	0.3105	0.0031
5	- 0.0002	- 0.3336
6	- 0.0096	0.1921
7	0.0761	- 0.3066
8	- 0.121	0.1962
9	0.0756	- 0.1637
10	- 0.0614	0.0596

ในการประเมินผลเชิงตัวเลขได้นำสมการที่ (3.20) มาเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณด้วยเครื่อง คำนวณ เพื่อทดสอบสมการที่ได้วิเคราะห์ไว้และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง input back-off และ output back-off ของทรานส์ปอนเดอร์ ในกรณีขยายกำลังคลื่นพาห์ของระบบ SCPC ดังแสดงผลการคำนวณในรูปที่ 5.1 สำหรับอัตราส่วนกำลังคลื่นพาห์ต่ออินเทอร์มอดูเลชันโปรตคของคลื่นพาห์ η คลื่นพาห์ตรงกลางทรานส์ปอนเดอร์ได้ใช้สมการที่ (3.31), สมการที่ (3.32), และสมการที่ (3.33) ตามลำดับ โดยได้แสดงผลการคำนวณในรูปที่ 5.2 ทั้งนี้ผลการคำนวณให้ผลตรงกับข้อมูลในเอกสารเผยแพร่ของดาวเทียม PALAPA-A2- ทุกประการ

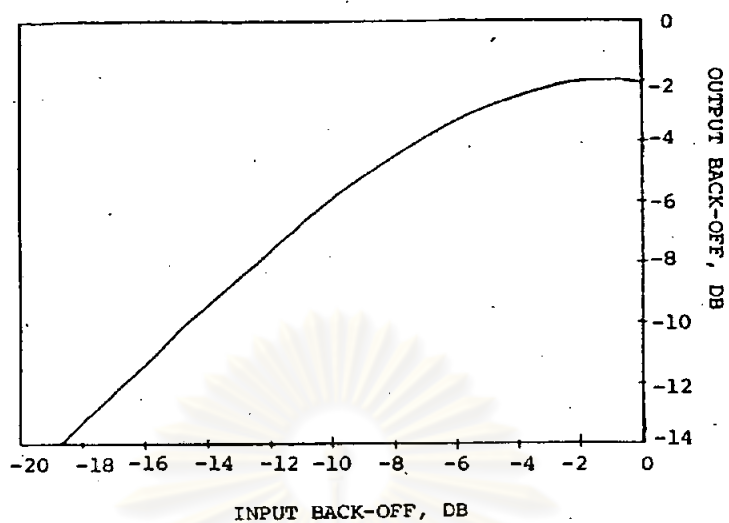
การประเมินผลเชิงตัวเลขของระบบ SCPC/CFM แบบจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห์ในทรานส์ปอนเดอร์แบบระดับเดียว

ในการประเมินผลเชิงตัวเลขเพื่อออกแบบระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ในข่ายการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้น จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้ามาช่วยเป็นส่วนประกอบในการวิเคราะห์และออกแบบมากมาย สรุปได้ดังนี้

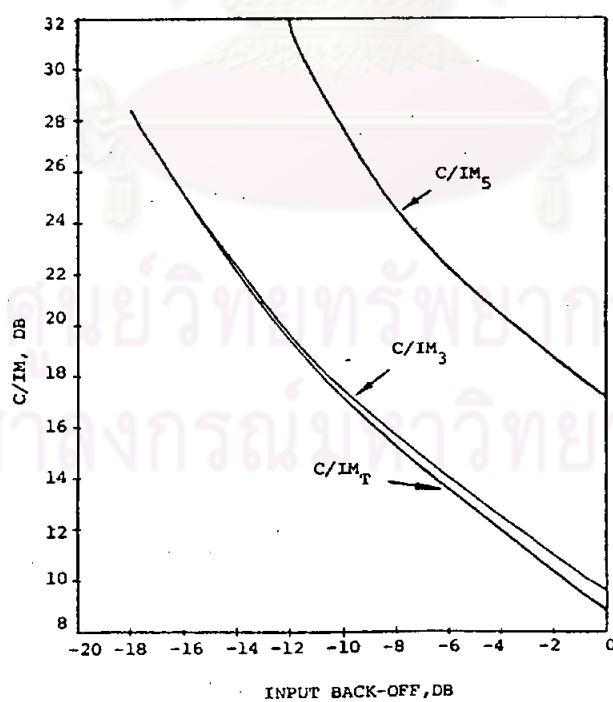
1. พารามิเตอร์ของดาวเทียม PALAPA-A2

- ตำแหน่งของดาวเทียม 77° ตะวันออก
- EIRP ของคลื่นพาห์คลื่นเดียว เมื่อ
ทรานส์ปอนเดอร์ทำงานที่จุดอิมิตัว 32 dBW
- G/T ของดาวเทียม $- 6.5 \text{ dB/}^{\circ}\text{K}$
- ความถี่กึ่งกลางของทรานส์ปอน-
เดอร์หมายเลข 9

ความถี่รับ	6,265 MHz
ความถี่ส่ง	4,040 MHz
- แบนด์วิดท์ใช้งานของ
ทรานส์ปอนเดอร์ 30 MHz
- Saturation input
flux density $- 83 \text{ dBW/m}^2$



รูปที่ 5.1 TWT Transfer Characteristic ของดาวเทียม PALAPA-A2 ในกรณีการส่งคลื่นพาห์ระบบ SCPC



รูปที่ 5.2 อัตราส่วนกำลังคลื่นพาห์ต่ออินเตอร์มอดูเลชั่นโปรตัก

- การลดทอนกำลังของฟิลเตอร์

ที่ความถี่ ± 20 MHz จากความถี่

กึ่งกลางของทรานส์มิตเตอร์ 3.5 dB

- out of band intermodulation - 38 dBW/4 kHz

2. ตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดิน $13^{\circ} 30'$ เหนือ
 $100^{\circ} 30'$ ตะวันออก

3. พารามิเตอร์ของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ข้างทางระหว่างช่องแต่ละแบบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

4. การประมวลสัญญาณแถบความถี่พื้นฐาน

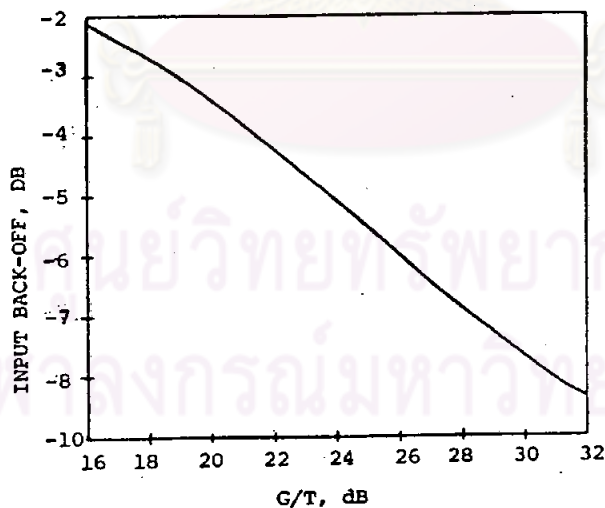
- Compandor 17 dB
- Emphasis 5.8 dB
- Weighting factor 2.5 dB
- Activity factor 0.4

5. อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อเสียงรบกวน, (S/N), ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 52.6 dB ทั้งนี้ (C/N_0) ณ จุดทำงานจะต้องสูงกว่า (C/N_0) ณ จุด threshold, $(C/N_0)_{TH}$, 3 dB คือมี threshold margin 3 dB อย่างไรก็ตามหากใช้ (C/N_0) ที่ได้แล้วยังมีค่า (S/N) น้อยกว่า 52.6 dB จะต้องทำการเพิ่ม threshold margin อีก เพื่อให้ได้ (S/N) ตามที่กำหนดไว้

ศูนย์วิทยุโทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 แสดงพารามิเตอร์ของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่วงห่างระหว่างช่องแต่ละแบบ

ช่องห่างระหว่างช่อง (kHz)	22.5	30	45 ⁽²⁾	45 ⁽¹⁾
สัญญาณแถบความถี่พื้นฐาน (kHz)	0.3 - 3.4			
RMS frequency diviation (kHz)	3.4	5.35	4.8	6.82
Peak limit level (dBmO)	4	4	7	3.5
IF แบนด์วิดท์ (kHz)	19.2	25.8	27.2	30.4
จำนวนช่องสัญญาณสูงสุดในทรานส์ปอน- เดออร์ (แบนด์วิดท์ใช้งาน 30 MHz)	1,333	1,000	666	666



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input back-off ของทรานส์ปอนเดออร์กับ G/T ของสถานีภาคพื้นดิน



การหาจุดทำงานของทรานส์ปอนเดอร์

จุดทำงานของทรานส์ปอนเดอร์ของระบบ SCPC/CFM แบบจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห้ในทรานส์ปอนเดอร์แบบระดับเดียวกัน จะขึ้นอยู่กับค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดินที่มีค่าต่ำที่สุด ถ้าในข่ายการสื่อสารประกอบด้วยสถานีภาคพื้นดินหลายประเภท อย่างไรก็ตามในการประเมินผล จะทำการเปลี่ยนแปลงค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดิน เพื่อสังเกตความเปลี่ยนแปลงของจุดทำงานของทรานส์ปอนเดอร์ การหาจุดทำงานของทรานส์ปอนเดอร์ โดยพื้นฐานคือการหา input back-off ของทรานส์ปอนเดอร์ที่ทำให้ $(C/N_0)_T$ มีค่าสูงสุด จากผลการคำนวณได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input back-off ของทรานส์ปอนเดอร์กับ G/T ของสถานีภาคพื้นดินค่าต่าง ๆ ในรูปที่ 5.3

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่า input back-off ของทรานส์ปอนเดอร์ขึ้นอยู่กับ G/T ของสถานีภาคพื้นดินแต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่า input back-off ที่ทำให้ค่า $(C/N_0)_T$ มีค่าสูงสุด ดังค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดิน ในช่วงที่กำหนดนี้ ก่อให้เกิด out of band intermodulation emission ในแบนด์วิดท์ 4kHz ณ ความถี่ ± 20 MHz จากความถี่กึ่งกลางของทรานส์ปอนเดอร์ สูงเกินกว่าข้อบังคับที่กำหนดไว้ในการใช้งานดาวเทียม PALAPA-A2 คือสูงกว่า -38 dBW/4 kHz ดังนั้นจะต้องดำเนินการคำนวณหาจุดทำงานของทรานส์ปอนเดอร์ คือ input back-off ณ จุดที่ทำให้เกิด out of band intermodulation emission เท่ากับ -38 dBW/4 kHz จากการคำนวณปรากฏว่า ได้ input back-off ประมาณ 10.2 dB และ output back-off ประมาณ 6.1 dB โดยมี out of band intermodulation emission ประมาณ -38 dBW/4 kHz ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดทุกประการ ดังนั้นในการคำนวณขั้นต่อไปจะใช้ค่า input back-off เท่ากับ 10.2 dB และ output back-off เท่ากับ 6.1 dB ตามลำดับ

การหาค่า $(C/N_0)_{TH}$ ที่จุด threshold

ในการคำนวณออกแบบระบบจะต้องรู้จุด threshold ของระบบเพื่อจะกำหนด margin ได้อย่างเหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพไม่ว่าสภาพแวดล้อมของข่ายการสื่อสารจะเป็นอย่างไรก็ตาม ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่าง $(C/N_0)_{TH}$, (C/N_0) และ (S/N) ตามสมการที่ (4.5) และสมการที่ (4.4) ตามลำดับ ดังได้แสดง

ผลการคำนวณไว้ในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(C/N_o)_{TH}$, (C/N_o) และ (S/N) ของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่องแต่ละแบบ

Spacing kHz	$(C/N_o)_{TH}$ dB-Hz	(C/N_o) dB-Hz	MARGIN dB	(S/N) dB
45 (1)	50.8	53.8	3	54.6
45 (2)	50.48	54.84	4.36	52.6
30	50.33	53.9	3.57	52.6
22.5	49.4	57.8	8.43	52.6

45 (1) คือ ช่องห่างระหว่างช่อง 45 kHz, แบนด์วิดท์ 30.4 kHz

45 (2) คือ ช่องห่างระหว่างช่อง 45 kHz, แบนด์วิดท์ 27.2 kHz

จากผลการคำนวณในตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่อง และมีแบนด์วิดท์สูงนั้น จะมีจุด threshold สูง ดังนั้นระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่อง 45 kHz แบบที่ (1) ใช้ margin เพียง 3dB ทำให้ (S/N) สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้, คือได้ (S/N) เท่ากับ 54.6 dB ส่วนช่องห่างระหว่างช่อง 45 kHz แบบที่ (2), 30 kHz และ 22.5 kHz จะต้องใช้ Margin ประมาณ 4.36 dB, 3.57 dB และ 8.43 dB ตามลำดับ เพื่อจะกำหนดค่า (C/N_o) ที่จุดทำงานจึงได้ค่า (S/N) เท่ากับ 52.6 dB ตามต้องการ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมการที่ (4.4) จะเห็นว่านอกจาก (C/N_o) จะมีผลต่อ (S/N) แล้ว peak deviation ของสัญญาณยังมีผลต่อ (S/N) อีกด้วย รวมทั้งวิธีการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้วย Compandor, emphasis และ weighting factor

การคำนวณค่า EIRP และความจุช่องสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์

ในการออกแบบคำนวณระบบการสื่อสารหลังจากที่ได้ดำเนินการเป็นขั้นตอนดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ก็สามารถหาค่า EIRP ของดาวเทียมของคลื่นพาห์แต่ละคลื่นได้ ตามสมการที่ (4.14),

สมการที่ (4.15) และสมการที่ (4.16) - หลังจากนั้นใช้สมการที่ (4.12) และสมการที่ (4.17) หาค่า EIRP ของสถานีภาคพื้นดินของคลื่นพาห์แต่ละคลื่น รวมทั้งใช้สมการที่ (4.13), สมการที่ (4.18) และสมการที่ (4.19) หาคความรบกวนสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ ทั้งนี้กระบวนการต่าง ๆ ต้องทำการเขียนโปรแกรมการคำนวณเพื่อให้เครื่องคำนวณช่วยในการคำนวณ

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการคำนวณค่า EIRP ของดาวเทียมและของสถานีภาคพื้นดินของคลื่นพาห์แต่ละคลื่น โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดิน รวมทั้งได้แสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องว่างระหว่างช่องแต่ละแบบด้วย

ส่วนตารางที่ 5.5 นั้น จะเป็นตารางที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับตารางที่ 5.4 กล่าวคือ เป็นผลการคำนวณต่อเนื่องจากตารางที่ 5.4 โดยแสดงผลของความรบกวนสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ ทั้งนี้ได้นำข้อมูลของตารางที่ 5.5 ไปแสดงผลด้วยกราฟในรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 5.4 จะเห็นว่า EIRP ของดาวเทียมและของสถานีภาคพื้นดิน ของคลื่นพาห์แต่ละคลื่นเป็นฟังก์ชันของ G/T ของสถานีภาคพื้นดิน

ส่วนข้อมูลในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าความรบกวนสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์เป็นฟังก์ชันของ G/T ของสถานีภาคพื้นดิน โดยแสดงความสัมพันธ์ว่าเมื่อค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดินเพิ่มขึ้น ความรบกวนสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์จะเพิ่มตามไปด้วย ซึ่งหากนำข้อมูลในตารางที่ 5.4 ไปทำการพล็อตกราฟจะพบว่า มีความสัมพันธ์ที่ตรงกันข้ามกับข้อมูลในตารางที่ 5.5 แต่เนื่องจากเห็นว่าไม่จำเป็นจึงไม่ได้นำเสนอมูลในรูปของกราฟ

เมื่อทำการพิจารณาระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องว่างระหว่างช่องแต่ละแบบจะพบว่า ช่องว่างระหว่างช่องแบบที่ 1 จะใช้ EIRP ต่ำที่สุด แต่ได้คุณภาพของสัญญาณสูงที่สุดคือ 54.6 dB ทั้งนี้ ค่า G/T ที่เหมาะสมสำหรับช่องว่างระหว่างช่องแบบนี้ ควรจะมีค่าประมาณ 21 dB/K เพราะทำให้การไถ่ใช้งานของทรานส์ปอนเดอร์เหมาะสมที่สุดในกรณีใช้ดาวเทียม PALAPA เพราะเป็นช่องที่ทรานส์ปอนเดอร์ถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ (bandwidth limited) หากใช้ G/T สูงกว่านี้ก็จะไม่เกิดผลประโยชน์แต่ประการใด

ตารางที่ 5.4 ค่า EIRP ของคลื่นพาห้แต่ละคลื่นของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่องแต่ละแบบ เมื่อใช้ G/T ของสถานีภาคพื้นดินค่าต่าง ๆ

G/T dB/°K	ช่องห่างระหว่างช่อง							
	45 kHz ⁽¹⁾		45 kHz ⁽²⁾		30 kHz		22.5 kHz	
	(EIRP) _s	(EIRP) _e	(EIRP) _s	(EIRP) _e	(EIRP) _s	(EIRP) _e	(EIRP) _s	(EIRP) _e
16	5.50	49.14	6.55	50.18	5.60	49.24	9.54	53.18
18	3.59	47.23	4.64	48.27	3.69	47.33	7.63	51.27
20	1.73	45.37	2.77	46.41	1.83	45.47	5.77	49.41
22	-0.06	43.58	0.98	44.62	0.04	43.68	3.98	47.62
24	-1.75	41.89	-0.70	42.93	-1.65	41.99	2.29	45.93
26	-3.29	40.34	-2.25	41.39	-3.19	40.44	0.74	44.38
28	-4.66	38.98	-3.62	40.02	-4.56	39.08	-0.62	43.02
30	-5.81	37.83	-4.77	38.87	-5.71	37.92	-1.77	41.86
31.7	-6.61	37.03	-5.57	38.07	-6.51	37.12	-2.58	41.06

(EIRP)_s คือ EIRP ของดาวเทียมของคลื่นพาห้แต่ละคลื่น, dBW

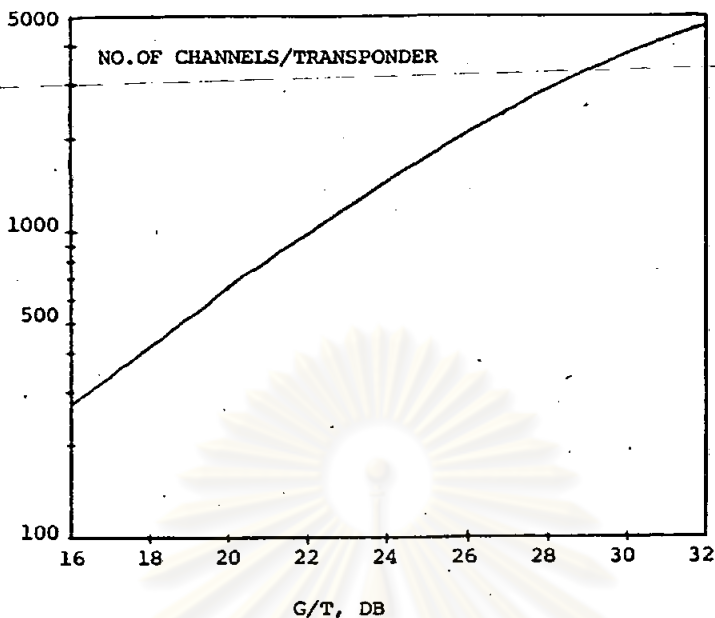
(EIRP)_e คือ EIRP ของสถานีภาคพื้นดินของคลื่นพาห้แต่ละคลื่น, dBW

ตารางที่ 5.5 ความจุช่องสัญญาณของทรานสโคมเตอร์ของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่องแต่ละแบบ เมื่อใช้ G/T ของสถานีภาคพื้นดินค่าต่าง ๆ

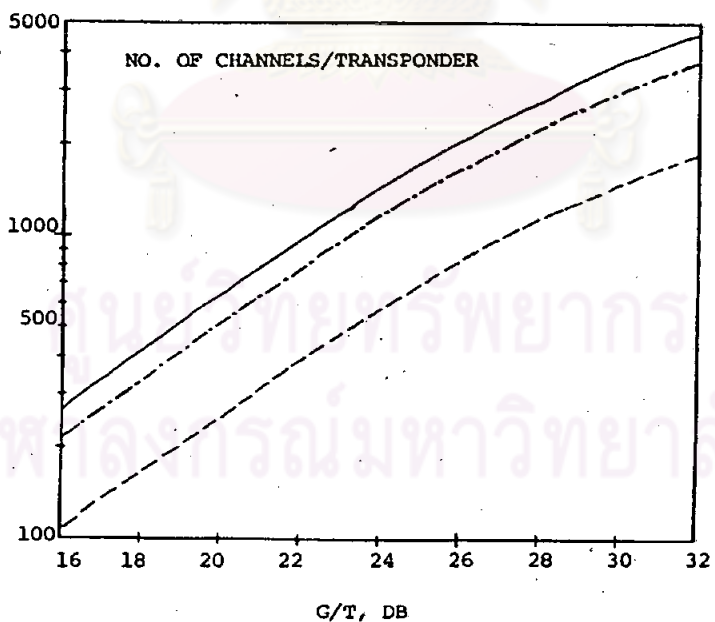
ช่องห่างระหว่างช่อง								
G/T dB/°K	45 kHz ⁽¹⁾		45 kHz ⁽²⁾		30 kHz		22.5 kHz	
	\bar{N}	N	\bar{N}	N	\bar{N}	N	\bar{N}	N
16	110	275	86	215	107	267	43	107
18	170	425	134	335	167	417	67	167
20	262	655	206	515	256	640	103	257
22	396	990	311	777	387	967	156	390
24	584	1460	459	1147	571	1427	230	575
26	834	2085	656	1640	816	2040	329	822
28	1143	2857	899	2247	1117	2792	451	1127
30	1490	3725	1172	2930	1457	3642	588	1470

\bar{N} คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งานจริง

N คือ จำนวนช่องสัญญาณเมื่อใช้ voice activation ที่มี activity factor เท่ากับ 0.4



รูปที่ 5.4 ความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์ของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่วงห่างระหว่างช่อง 45 kHz แบบที่ 1, S/N 54.6 dB



รูปที่ 5.5 ความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์ของระบบ SCPC/CFM

- ช่วงห่างระหว่างช่อง 45 kHz แบบที่ 2, S/N 52.6 dB
- ช่วงห่างระหว่างช่อง 30 kHz, S/N 52.6 dB
- ช่วงระหว่างช่อง 22.5 kHz, S/N 52.6 dB

ส่วนระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่อง 45 kHz แบบที่ (2), 30 kHz และ 22.5 kHz ค่า G/T ที่เหมาะสมสมควรมีค่าประมาณ 22.5 dB/°K, 23.5 dB/°K และ 30 dB/°K ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่องทั้ง 3 แบบนี้ จะได้ค่า (S/N) ตามเป้าหมายทุกประการ ทั้งนี้ช่องห่างระหว่างช่อง 22.5 kHz จะเป็นระบบที่ให้ประสิทธิภาพน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาโดยส่วนรวมทั้งหมดแล้ว จะเห็นว่าระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่องห่างระหว่างช่อง 30 kHz จะมีความเหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาในด้านการใช้กำลังงานและแบนด์วิดท์ของดาวเทียม

การประเมินผลเชิงตัวเลขของระบบ SCPC/CFM แบบจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห်ใน ทรานส์ปอนเดอร์แบบหลายระดับ

ในการประเมินผลเชิงตัวเลข SCPC/CFM ระบบนี้จะกระทำโดยใช้ความสัมพันธ์ร่วมกับแบบจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห်แบบระดับเดียวกันคือ เริ่มต้นด้วยการหาค่า G/T รวมของสถานีภาคพื้นดินในข่ายการสื่อสารทุกประเภท แล้วดำเนินการหา EIRP เฉลี่ยของคลื่นพาห်ในทรานส์ปอนเดอร์ ด้วยวิธีการที่ใช้ในการจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห်แบบระดับเดียว หลังจากนั้นดำเนินการตามวิธีการที่ได้ระบุไว้ในส่วนที่เกี่ยวกับการออกแบบจัดการกระจายกำลังคลื่นพาห်แบบหลายระดับดังได้เสนอไว้ในบทที่ 5 ในการดำเนินการนี้จะกำหนดให้ตัวประกอบให้น้ำหนักคือ B_j เท่ากับ 1 คือสถานีภาคพื้นดินแต่ละประเภท จะมีคุณภาพของสัญญาณที่ได้เท่ากัน

ในการคำนวณจะกำหนดพารามิเตอร์ของข่ายการสื่อสารโดยให้สถานีภาคพื้นดินในข่ายการสื่อสารประกอบ ด้วยสถานี 2 ประเภท คือมีค่า G/T ต่ำและค่า G/T สูง สถานีภาคพื้นดินที่มีค่า G/T สูงจะกำหนดให้เท่ากับ 31.7 dB/°K ส่วนสถานีภาคพื้นดินที่มีค่า G/T ต่ำจะกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 16-24 dB/°K เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ Fractional number ของกราฟฟิค ของสถานีใหญ่และเล็กเท่ากันคือ $R_j = 0.5$ โดยได้แสดงผลการคำนวณของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบในตารางที่ 5.6 ส่วนความลู่ของสัญญาณได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 ตามลำดับ



ตารางที่ 5.6 แสดงผลการคำนวณหาค่า $(G/T)_{eq}$ และ EIRP เฉลี่ยของดาวเทียม ระหว่างค่า G/T ของสถานีภาคพื้นดินในตารางกับ G/T 31.7 dB/°K

Fractional number 0.5			EIRP เฉลี่ยของดาวเทียมของ ช่องห่างระหว่างช่องแต่ละแบบ ,dBW			
(G/T) dB/°K	$(G/T)_{eq}$ dB/°K	r_j (dB)	45 kHz ⁽¹⁾	45 kHz ⁽²⁾	30 kHz	22.5 kHz
16	18.89	-12.12	2.75	3.8	2.85	6.79
18	20.83	-10.21	0.98	2.02	1.08	5.02
20	22.73	- 8.34	-0.69	0.36	-0.59	3.35
22	24.57	- 6.55	-2.20	-1.16	-2.10	1.83
24	26.33	- 4.87	-3.53	-2.49	-3.43	0.51

ส่วนผลการคำนวณหาค่า EIRP ของดาวเทียมและของสถานีภาคพื้นดิน ปรากฏผลว่า ได้ผลเท่ากับค่า EIRP ที่ได้คำนวณไว้ในตารางที่ 5.4 กล่าวคือ สถานีภาคพื้นดินขนาดใหญ่จะส่ง EIRP ของสถานีภาคพื้นดินและของดาวเทียม ของคลื่นพาห้แต่ละคลื่นเท่ากับ EIRP ที่ใช้ส่งในแบบการสัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห้แบบระดับเดี่ยว ของ G/T ของสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก ในทางกลับกันก็เป็นเช่นเดียวกัน ดังนั้นสามารถสรุปผลว่าข้อสมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบการสัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห้แบบหลายระดับให้ผลถูกต้องสมควรความมุ่งหมายทุกประการ

ขั้นต่อไปจะทำการพิจารณาค่า r_j ในตารางที่ 5.6 ซึ่งค่า r_j คืออัตราส่วนระหว่างระดับกำลังของคลื่นพาห้ประเภท j และคลื่นพาห้ประเภท 1 จากการพิจารณาจะพบว่าค่า r_j จะไม่ขึ้นอยู่กับช่วงห่างระหว่างช่องแต่ r_j จะขึ้นอยู่กับและเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความแตกต่างระหว่าง G/T ของสถานีภาคพื้นดินประเภทต่าง ๆ รวมทั้ง r_j ไม่ขึ้นกับ fractional number, R_j , ของกราฟฟิคในข่ายการสื่อสารอีกด้วย

อีกกรณีหนึ่งที่จะนำมาพิจารณา คือ การสัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห้ในทรานส์ปอนเดอร์ เพิ่มความจุช่องสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์อย่างไร ในการพิจารณาจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.7 เทอมต่อเทอม จะพบว่าความจุช่อง

ตารางที่ 5.7 แสดงความจุช่องสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ เมื่อจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห์แบบ 2 ระดับ

G/T dB/°K	Spacing 45 kHz ⁽¹⁾		Spacing 45 kHz ⁽²⁾		Spacing 30 kHz		Spacing 22.5 kHz	
	\bar{N}	N	\bar{N}	N	\bar{N}	N	\bar{N}	N
16	207	517	163	407	202	505	81	202
18	312	780	245	612	305	762	123	307
20	457	1142	360	900	447	1117	180	450
22	649	1622	510	1275	634	1585	256	640
24	881	2202	693	1732	862	2155	348	870

\bar{N} คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งานจริง

N คือ จำนวนช่องสัญญาณเมื่อใช้ voice activation ที่มี activity factor เท่ากับ 0.4

สัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ในตารางที่ 5.7 สูงกว่าในตารางที่ 5.5 จริง อย่างไรก็ตาม อัตราการเพิ่มความจุช่องสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ จะขึ้นอยู่กับ fractional number ของทรานส์ปอนเดอร์ในข่ายการสื่อสารหรืออีกนัยหนึ่งค่า G/T รวมของ G/T ของสถานีภาคพื้นดิน ทุกประเภทขึ้นอยู่กับ fractional number ของทรานส์ปอนเดอร์ในข่ายการสื่อสาร ทั้งนี้เพราะความจุช่องสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ขึ้นอยู่กับค่า G/T นั้นเอง ดังนั้นจะแสดงความเปลี่ยนแปลงของค่า (G/T) รวมของสถานีภาคพื้นดินแต่ละประเภทในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ G/T รวม ของสถานีภาคพื้นดิน เมื่อ fractional number เปลี่ยนแปลง

$G/T = 22.5 \text{ dB/}^\circ\text{K}$	$G/T = 31/7 \text{ dB/}^\circ\text{K}$	$(G/T)_{\text{eq}} \text{ dB/}^\circ\text{K}$
fractional number	fractional number	
.1	.9	29.32
.2	.8	27.78
.4	.6	25.76
.6	.4	24.38
.8	.2	23.34

ในการออกแบบระบบ SCPC/CFM ที่มีการจัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห้แบบหลายระดับนั้น การที่ได้เล่นอผลการประเมินเชิงตัวเลขเพียง 2 ระดับ เพราะสามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน และสะดวกในการนำเล่นอผลการวิจัย อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าว มิได้จำกัดการกระจายกำลังของคลื่นพาห้เพียง 2 ระดับเท่านั้น สามารถนำวิธีการและหลักการไปใช้ในการออกแบบได้โดยไม่จำกัดระดับกำลังส่วนรูปแบบในการจัดวางคลื่นพาห้ที่มีระดับกำลังแตกต่างกันมีหลายวิธี เช่น วางคลื่นพาห้สลับกันระหว่างคลื่นพาห้ที่มีระดับกำลังต่ำและระดับกำลังสูง หรือจัดวางคลื่นพาห้แบบกลุ่ม หรือจัดวางระดับกำลังของคลื่นพาห้เป็นกลุ่ม อย่างไรก็ตามการจัดวางระดับกำลังของคลื่นพาห้ที่มีประสิทธิภาพที่สุดคือ การจัดตามรูปที่ 4.2 เพราะทำให้ได้เปกตรัมของกำลังของอินเตอร์มอดูเลชันที่

เกิดขึ้นในทรานส์ปอนเดอร์มีลักษณะเรียบทั่วแบนด์วิดท์ของทรานส์ปอนเดอร์⁽⁴⁴⁾ และองค์การ
INTELSAT ได้ทำวิธีการตัดคลื่นพาห้ รูปแบบนี้ไปประยุกต์ใช้งานแล้ว⁽⁴⁵⁾



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย