หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์

ความหมาย

ระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์หมายถึง ระบบซึ่งแต่ละคลื่นพาห์ถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณแถบความถี่พื้นฐาน (Baseband Signal) ที่มีความถี่พื้นฐาน (Baseband Frequency) ระหว่าง 0.3 - 3.4 KHz เพียงสัญญาณเดียว

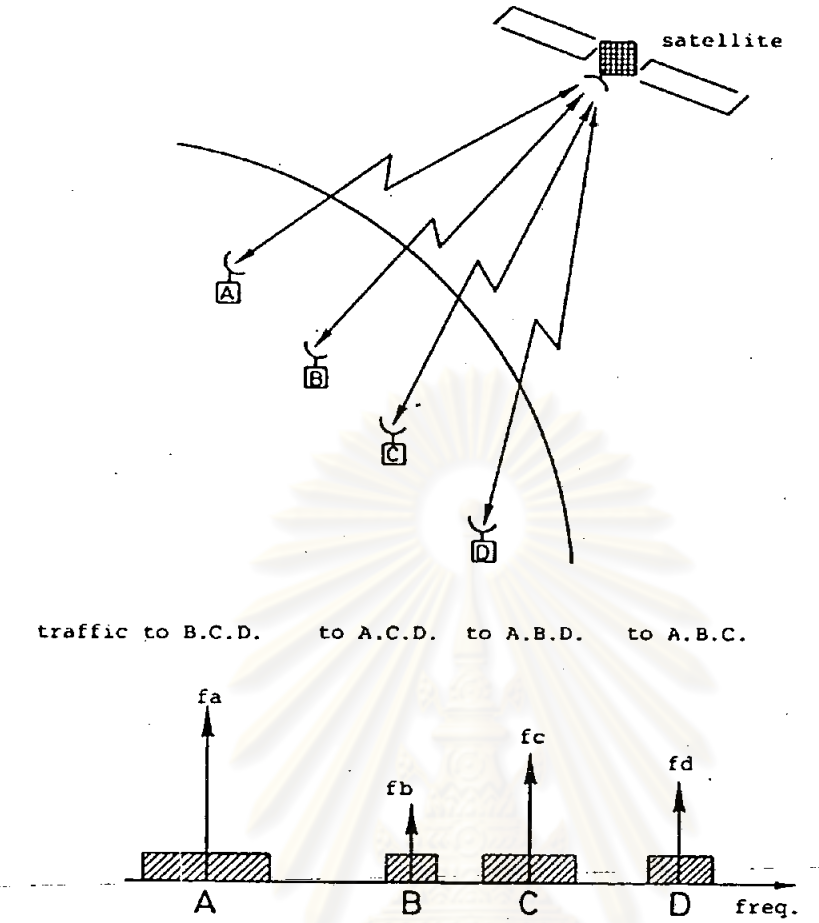
วิธีการ Multiple Access

Multiple Access คือ วิธีการหรือเทคนิคที่ทำให้สถานีภาคพื้นดิน จำนวนมากสามารถติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันโดยใช้ดาวเทียมดวงเดียวกันเป็นตัวกลางถ่ายทอดคลื่นวิทยุ[5]

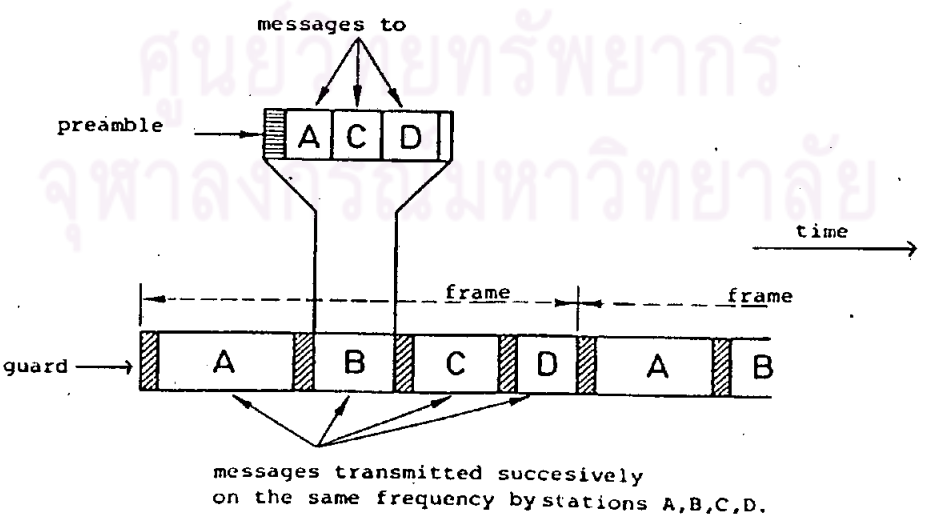
ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการ Multiple Access นี้มีความสำคัญมากในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม เพราะภายในอาณาบริเวณที่ถูกครอบคลุมด้วยสายอากาศของดาวเทียม ทำให้สถานีภาคพื้นดินต่าง ๆ ที่ติดตั้ง ณ สถานที่ต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันได้

ด้วยประสิทธิภาพของวิธีการ Multiple Access มีความเกี่ยวพันกับการเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลตอย่างใกล้ชิด อย่างไรก็ตามวิธีการ Multiple Access สามารถพิจารณาในกรณีของลักษณะการส่งสัญญาณ (Transmission Feature) โดยทั่วไปที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันมี 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ ดังนี้

1. Frequency Division Multiple Access (FDMA) เป็นระบบที่สถานีภาคพื้นดินใช้ทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมร่วมกัน โดยแต่ละสถานีส่งคลื่นพาห์ที่มีความถี่พาห์แตกต่างกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การจัดแบ่งแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของทรานสปอนเดอร์เป็นแบนด์วิดท์ย่อย ๆ ที่พอเหมาะ ในการรับ-ส่งสัญญาณแถบความถี่พื้นฐาน แต่ละชนิดให้มีคุณภาพของสัญญาณเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยใช้ความถี่พาห์ต่างกัน ในระบบ FDMA สถานีภาคพื้นดินใด ๆ จะส่งความพาห์หนึ่งความถี่หรือมากกว่า แต่ทั้งนี้แบนด์วิดท์จะต้อง



รูปที่ 2.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)



รูปที่ 2.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

ไม่ซ้อนกัน และจะต้องมีช่องว่างของแถบป้องกัน (Guard Band) ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน เนื่องจากทรานส์ปอนเดอร์มีลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นปรากฏการณ์ของอินเตอร์มอดูเลชั่น ทำให้เกิดการรบกวนระหว่างคลื่นพาห์ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ความจุช่องสัญญาณของทรานส์ปอนเดอร์ของดาวเทียมลดลง ในการออกแบบระบบการสื่อสารที่ใช้เทคนิค FDMA นี้ จึงต้องออกแบบให้ทรานส์ปอนเดอร์ทำงานอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีการ Back-off เพื่อควบคุมระดับของการรบกวนเนื่องจากอินเตอร์มอดูเลชั่น ส่วนสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานนั้นมีหลายชนิด กล่าวคือ Frequency Division Multiplex (FDM) ซึ่งหลักการชนิดนี้เรียกว่า FDM/FM/FDMA หรือเป็นแบบ SCPC ซึ่งเรียกว่า SCPC/FDMA โดยสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานจะเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) หรือสัญญาณแบบอนาลอก (Analog) ก็ได้ โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ SCPC/CFM/FDMA, SCPC/PCM/PSK/FDMA และ SCPC/DM/PSK/FDMA

2. Time Division Multiple Access (TDMA) เป็นระบบที่กำหนดวงจรการติดต่อสื่อสารของสถานีภาคพื้นดินด้วยการส่งและรับคลื่นพาห์ที่มีความถี่พาห์ความถี่เดียวกันในช่วงเวลาที่ต่างกันและไม่ซ้อนกัน สัญญาณแถบความถี่พื้นฐานจะมีหลาย ๆ สัญญาณ แต่ก่อนการมอดูเลตจะต้องดำเนินการจัดสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของสัญญาณแบบดิจิตอล ซึ่งจัดเรียงตามช่วงของเวลาก่อน ระบบ TDMA จะถูกจำแนกการรับและการส่งด้วยกรอบเวลา (Time Frame) และช่องเวลา (Time Slot) ดังนั้นจะต้องมีการควบคุมและตรวจสอบจังหวะการส่งและการรับ (Synchronization) ของกรอบของเวลาและช่องของเวลาที่เหมาะสม ระบบนี้จึงมีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนเหนือกว่า FDMAแต่มีข้อดีคือสามารถใช้กำลังงานของทรานส์ปอนเดอร์อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของอินเตอร์มอดูเลชั่น

อย่างไรก็ตามสามารถพิจารณาวิธีการ Multiple Access ในอีกกรณีหนึ่ง คือ ลักษณะของทราฟฟิค (Traffic Feature)[6] หรือการจัดสรรวงจร (Circuit Assignment)[7] โดยทั่วไปที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันมี 2 ประเภทคือ

1. Pre-Assigned Multiple Access (PAMA) เป็นระบบที่กำหนดวงจรการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดินอย่างเป็นการถาวรซึ่งมีข้อดี คือ โอกาสของการสูญเสีย การติดต่อสื่อสารเป็นศูนย์ (Probability of Call Blocked) หมายถึงต้องการ

ติดต่อเมื่อไรก็สามารถติดต่อได้ทันที แต่มีข้อเสียเกี่ยวกับความคล่องตัววงจรการสื่อสารทดแทนกันไม่ได้ และไม่เหมาะสมเมื่อใช้กับสถานีภาคพื้นดินจำนวนมาก

2. Demand Assigned Multiple Access (DAMA) เป็นระบบซึ่งมีการกำหนดวงจรการติดต่อสื่อสารให้ คือถ้าเป็นระบบ FDMA จะจัดสรรความถี่ และถ้าเป็นระบบ TDMA จะจัดสรรช่องเวลา เมื่อสถานีภาคพื้นดินใด ๆ ต้องการติดต่อสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดินอื่น ๆ และเมื่อสถานีภาคพื้นดินคู่นั้นเลิกติดต่อสื่อสารกันแล้ววงจรการสื่อสารนั้น สถานีภาคพื้นดินคู่อื่น ๆ สามารถนำไปใช้ติดต่อสื่อสารกันอีกได้ อีกนัยหนึ่งระบบ DAMA มีลักษณะการทำงานหรือการจัดสรรวงจรคล้ายกับชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัตินั่นเอง ฉะนั้นในระบบ DAMA นี้ จะต้องมีการจัดระบบควบคุมการจัดสรรวงจรอย่างมีประสิทธิภาพให้แก่สถานีภาคพื้นดินต่าง ๆ การควบคุมการจัดสรรวงจรแบ่งได้เป็น 2 ระบบคือ ระบบควบคุมจากส่วนกลาง (Centralized Control) และระบบแยกควบคุม (Decentralized Control)

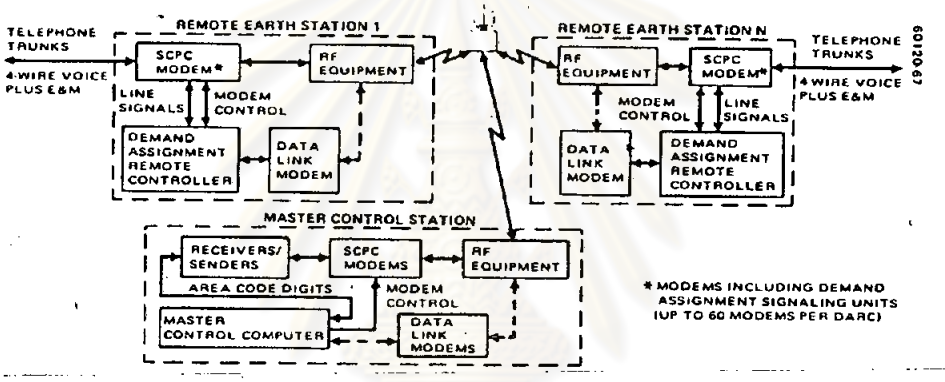
ระบบแยกควบคุม สถานีภาคพื้นดินทุกสถานีมีอุปกรณ์ตรวจสอบและรับรู้ข้อมูลการใช้ช่องสัญญาณอยู่ตลอดเวลา เพื่อรับรู้ว่ายังมีช่องสัญญาณใดที่ว่าง ระบบนี้จะไม่มีสถานีภาคพื้นดินกลางแต่จะมีสถานีภาคพื้นดินสถานีหนึ่งส่งความถี่อ้างอิง หากวิธีการ Multiple Access เป็นแบบ FDMA หรือส่งเวลาอ้างอิง หากวิธีการ Multiple Access แบบ TDMA ตัวอย่างระบบแยกควบคุมในปัจจุบันที่มีวิธีการ Multiple Access แบบ FDMA ซึ่งใช้ในกิจการสื่อสารผ่านดาวเทียมระหว่างประเทศขององค์การ INTELSAT * คือระบบ SPADE** โดยระบบนี้จะมีช่องสัญญาณควบคุมร่วม (Common Control Signalling Channal) เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ร่วมกันในการตรวจสอบและรับรู้ข้อมูลต่าง ๆ ระบบแยกควบคุมมีข้อดีคือ สถานีภาคพื้นดินแต่ละสถานีจะทำงานเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจะสะดวกในการบริหารและปฏิบัติการสถานี ส่วนข้อเสียคือ อุปกรณ์ที่ใช้จะมีราคาแพง

---

* INTELSAT : International Telecommunication Satellite Organization

** SPADE : Single Channel Per Carrier, Pulse Code Modulation, Multiple Access, Demand Assignment Equipment .

ระบบควบคุมจากส่วนกลาง ระบบนี้จะมีสถานีภาคพื้นดินกลาง (Master Station) ตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณและจัดสรรช่องสัญญาณแก่สถานีภาคพื้นดินลูกข่าย โดยสถานีภาคพื้นดินลูกข่ายจะทำหน้าที่เพียงแจ้งแสดงความจำนง เมื่อต้องการใช้ช่องสัญญาณและรับการจัดสรรช่องสัญญาณ ในระบบควบคุมจากส่วนกลางนี้ สถานีภาคพื้นดินกลางจะมีวงจรควบคุมเชื่อมต่อกับสถานีภาคพื้นดินลูกข่าย ปัจจุบันประเทศอินโดนีเซียได้นำระบบ DAMA ระบบควบคุมจากส่วนกลาง ประยุกต์ใช้กับระบบ SCPC/CFM ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ ดังแผนผังของระบบในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังอุปกรณ์ DAMA ระบบควบคุมจากส่วนกลางที่ประเทศอินโดนีเซีย ได้นำมาประยุกต์ใช้กับระบบ SCPC/CFM

โครงสร้างโดยสังเขปของระบบ คือ สถานีภาคพื้นดินกลางจะติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการจัดสรรและตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณของสถานีภาคพื้นดินลูกข่าย และสถานีภาคพื้นดินลูกข่ายจะติดตั้งอุปกรณ์ Demand Assignment Remote Controller เพื่อติดต่อสื่อสารข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สถานีภาคพื้นดินกลาง การติดต่อสื่อสารนี้ใช้ช่องสัญญาณควบคุมที่ใช้วิธีการ Multiple Access แบบ TDMA ทั้งนี้สถานีภาคพื้นดินกลางจะคอยตรวจสอบสถานภาพของสถานีภาคพื้นดินลูกข่ายตลอดเวลา ข้อดีของระบบควบคุมจากส่วนกลางคือ อุปกรณ์ของสถานีภาคพื้นดินลูกข่ายจะมีราคาถูกกว่าระบบแยกควบคุม กล่าวคือ การ

ลงทุนทั้งระบบถูกกว่า ดังนั้นระบบควบคุมจากส่วนกลาง จึงเหมาะกับการใช้งานสำหรับย่าย การสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาในการเรียกระหว่าง สถานีภาคพื้นดินที่ต้องการเรียกกับสถานีภาคพื้นดินที่ถูกเรียกมากกว่าระบบแยกควบคุม เพราะ การเรียกแต่ละครั้งต้องติดต่อผ่านสถานีภาคพื้นดินกลางก่อนทุกครั้ง เมื่อการเรียกสมบูรณ์แล้ว หมายถึงสถานีภาคพื้นดินทั้งสองสามารถติดต่อกันได้แล้ว ก็จะสามารถติดต่อกันได้โดยตรงต่อไป

ข้อดีของระบบ DAMA ก็คือ เหมาะสำหรับใช้กับสถานีภาคพื้นดินที่มีปริมาณทราฟฟิค น้อยสถานีภาคพื้นดินจำนวนมาก ความคล่องตัวสูง วงจรการสื่อสารทดแทนกันได้ และใช้ ทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนข้อเสียก็คือ ต้องใช้อุปกรณ์ควบคุม ที่มีราคาสูงกว่า เทคนิคการทำงานยุ่งยาก และโอกาสของการสูญเสียการติดต่อสื่อสารสูงกว่า แบบ PAMA

การส่งสัญญาณของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม จะผสมผสานกันระหว่างเทคนิค Multiple Access การมอดูเลตและการมัลติเพล็กซ์ แม้ว่าเทคนิค Multiple Access จะเป็นวิธีการที่เป็นอิสระจากการมอดูเลตและมัลติเพล็กซ์ แต่สิ่งเหล่านี้ก็มีความสัมพันธ์กันอย่าง ใกล้ชิดและต้องนำมาใช้ร่วมกันอย่างสอดคล้องซึ่งกันและกัน

วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการออกแบบระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม คือต้องการย่ายการ สื่อสารที่มีคุณภาพสูงรวมทั้งความคล่องตัวและคุณภาพของสัญญาณจะต้องอยู่ในมาตรฐาน ดังนั้น การเลือกใช้วิธีการ Multiple Access จะต้องคำนึงถึงบรรทัดฐาน ดังข้อสรุปต่อไปนี้

- ต้องใช้ทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- ใช้ทรัพยากรด้านความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ราคาของอุปกรณ์สถานีภาคพื้นดิน รวมทั้งระบบทั้งหมด ควรมีราคาที่เหมาะสม
- มีความเหมาะสมในการส่งสัญญาณ (Transmission) ประเภทต่าง ๆ
- การพัฒนาด้านอุปกรณ์การสื่อสาร
- ง่ายต่อการปฏิบัติงาน และมีความคล่องตัวสูง เช่น ง่ายต่อการดัดแปลง เมื่อปริมาณทราฟฟิคหรือโครงข่าย (Network) เปลี่ยนแปลง
- สอดคล้องและเข้ากันได้กับระบบการสื่อสารที่มีอยู่ทั้งหมด

ความเป็นมาของระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์

ในปี พ.ศ. 2514 องค์การ INTELSAT ได้นำระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์เข้ามาใช้ในกิจการสื่อสารผ่านดาวเทียมระหว่างประเทศ โดยดาวเทียม INTELSAT IV ณ ตำแหน่งมหาสมุทรแอตแลนติค ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า "ระบบ SPADE" โดยระบบ SPADE ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ PCM/PSK และใช้เทคนิค Multiple Access แบบ FDMA ซึ่งเรียกย่อ ๆ ว่า PCM/PSK/FDMA* ซึ่งพัฒนาขึ้นมาจากระบบดิจิตอล จึงถือได้ว่า SPADE เป็นระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์ ระบบแรกในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม การที่องค์การ INTELSAT ได้นำระบบ SPADE เข้ามาใช้ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมระหว่างประเทศ มีวัตถุประสงค์[9] ดังนี้

- เพื่อให้บริการแก่สถานีภาคพื้นดินที่มีปริมาณการติดต่อสื่อสารต่ำ
- เพื่อขยายปริมาณช่องสัญญาณการติดต่อสื่อสารที่จำกัดการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดินที่มีประมาณการติดต่อสื่อสารสูง และปานกลาง
- เพื่อจัดตั้งข่ายการสื่อสาร ในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดินต่าง ๆ ในย่านเดียวกันตามความต้องการ
- เพื่อใช้ประโยชน์จากทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพ
- เพื่อใช้อุปกรณ์ของสถานีภาคพื้นดินอย่างเหมาะสม

ระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์เพิ่มประสิทธิภาพของทรานสปอนเดอร์

ระบบ FDM/FDMA เป็นระบบที่มีคุณภาพดี แต่ต้องใช้แบนด์วิดท์กว้าง ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพเมื่อใช้เพียงหนึ่งคลื่นพาห์ในทรานสปอนเดอร์ แต่เมื่อใช้คลื่นพาห์จำนวนมากกว่าหนึ่งคลื่นพาห์ขึ้นไปจำนวนความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์จะลดลงอย่างมาก[6] ดังแสดงในตารางที่ 2-1

---

* PCM/PSK/FDMA : Pulse Code Modulation, Phase Shift Keying Frequency Division Multiple Access.

ตารางที่ 2-1 แสดงความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์ในระบบ FDM/FDMA

Number of Carrier Per Transponder	Channel Capacity Relative to Single-carrier Capacity (%)
1	100
2	90
4	60
8	50
16	40

ความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์ในระบบ FDM/FDMA จะเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชั่นของจำนวนของคลื่นพาห์ เนื่องจากข้อจำกัดด้านกำลัง แบนด์วิดท์และลักษณะสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของทรานสปอนเดอร์ โดยจะเป็นตัวประกอบประการสำคัญที่ทำให้ความจุช่องสัญญาณลดลง ในการออกแบบระบบจะต้องทำการออกแบบให้จุดทำงานของทรานสปอนเดอร์อยู่ในย่านที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของทรานสปอนเดอร์และจำนวนของคลื่นพาห์ เพื่อให้อินเตอร์มอดูเลชั่นโปรดัค มีระดับที่อยู่ภายในกฎเกณฑ์ ทำให้เกิดภาวะจำกัดด้านกำลัง (Power Limitted) รวมทั้งการสูญเสียการใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพด้วย เนื่องจากต้องมีแถบป้องกัน (Guard Band) ระหว่างคลื่นพาห์ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน (Adjacant Channel Interference)

ระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์เป็นระบบที่ให้จำนวนความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์สูงเหนือกว่าระบบ FDM/FDMA ในกรณีที่ใช้คลื่นพาห์ในทรานสปอนเดอร์ จำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.2[12]

013313
1 17394636

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบความจุช่องสัญญาณต่อทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียม INTELSAT IV-A (Global Beam) ที่ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณต่างกัน (สถานีภาคพื้นดินมีค่า G/T 40.7 dB/^{O}K)

ระบบ	เทคนิคการส่งสัญญาณ	จำนวนช่องสัญญาณต่อทรานสปอนเดอร์
หนึ่งคลื่นพาห์ต่อทรานสปอนเดอร์	FDM/FM	1,000
แปดคลื่นพาห์ต่อทรานสปอนเดอร์	FDM/FM/FDMA	500
หนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์	FM/FDMA	550
	CFM/FDMA	1,650
	PCM/PSK/FDMA	800

จากตารางที่ 2.2 แสดงว่าระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์จะให้ความจุช่องสัญญาณของทรานสปอนเดอร์สูง ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อพิจารณาในด้านการใช้ทรานสปอนเดอร์อย่างมีประสิทธิภาพและย่ายการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพกรณีที่มีสถานีภาคพื้นดินจำนวนมาก โดยสามารถจัดวงจรการติดต่อสื่อสารแบบ PAMA หรือ DAMA แบบใดแบบหนึ่งหรือทั้งสองแบบผสมกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการวางแผนและการดำเนินการที่เหมาะสม

สรุประบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์มีข้อดี ดังนี้

- สามารถใช้ทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพ
- เหมาะสมสำหรับย่ายการสื่อสารที่มีสถานีภาคพื้นดินจำนวนมาก
- เหมาะสำหรับสถานีภาคพื้นดินที่มีปริมาณวงจรการติดต่อสื่อสารต่ำ
- สามารถใช้กับสถานีภาคพื้นดินขนาดเล็ก (G/T) ต่ำ การติดตั้ง เคลื่อนย้าย และบำรุงรักษากระทำได้โดยง่าย
- สถานีภาคพื้นดินมีราคาถูก

- เป็นย่ายการสื่อสารที่มีความคล่องตัวสูง สามารถจัดระบบการสื่อสารได้ทั้งแบบ PAMA และ DAMA
- ง่ายต่อการวางแผนด้านทราฟฟิค คือ สามารถเพิ่มหรือลดช่องสัญญาณการสื่อสารเพียงการเพิ่มหรือลด Modem ที่สถานีภาคพื้นดิน
- มีระดับคุณภาพ และความแน่นอนของสัญญาณสูง
- การเชื่อมต่อ (Interface) กับระบบสื่อสารภาคพื้นดินในระบบการส่งสัญญาณ (Transmission Interface) ประเภทต่าง ๆ และระบบสัญญาณเรียกขาน (Signalling Interface) กระทำได้โดยง่าย

<u>เทคนิคที่ใช้ในระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์</u>

1. เทคนิคการมอดูเลตในระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์ มีดังนี้

   1.1 Pulse Code Modulation, Phase Shift Keying (PCM/PSK)

   1.2 Delta Modulation, Phase Shift Keying (DM/PSK)

   1.3 Companded FM (CFM)

เทคนิคการมอดูเลตของระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์มีทั้งเทคนิคแบบดิจิตอลและแบบอนาลอก เทคนิคการมอดูเลตแบบดิจิตอล ได้แก่ PCM/PSK และ DM/PSK ส่วนเทคนิคแบบอนาลอก คือ CFM

PCM/PSK ระบบที่ใช้ในปัจจุบันคือระบบ SPADE ซึ่งเป็นระบบดิจิตอลโดยการเปลี่ยนสัญญาณแถบความถี่พื้นฐาน ให้อยู่ในรูปของกระแสดิจิตอล 8 บิทต่อเวอร์ด (8 bit digital words) แล้วทำการมอดูเลตแบบ Coherent Quadrature Phase PSK (QPSK) ด้วยอัตราบิท (bit rate) 64 kB/S โดยมีแบนด์วิดท์ 38 kHz

DM/PSK ใช้เทคนิคการประมวลสัญญาณแบบดิจิตอล โดยเปลี่ยนสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยอัตราบิท 32 kB/S โดยใช้หลักการตรวจจับ (Detect) ว่าสัญญาณนั้นเพิ่มขึ้นหรือลดลง แล้วทำการเข้ารหัส (Encode) ด้วยสัญญลักษณ์ฐานสอง (Binary symbol) 1 หรือ 0 ทุก ๆ การสุ่มตัวอย่าง 1 ครั้งแล้วทำการมอดูเลตด้วยระบบ QPSK โดยทั่วไปในปัจจุบันใช้ระบบ DCDM/PSK (Digitally Controlled Delta Modulation/

Quadrature Phase PSK) ระบบ DCDM/PSK มีข้อดีกว่าระบบ PCM/PSK เพราะระบบ DCDM/PSK ใช้อัตราบิทเพียงหนึ่งในสองของระบบ PCM/PSK จึงต้องการแบนด์วิดท์และกำลังส่งต่อช่องสัญญาณน้อยกว่าระบบ PCM/PSK

CFM เป็นระบบซึ่งใช้การมอดูเลตแบบ FM ธรรมดานั่นเอง แต่มีการประมวลสัญญาณด้วยเทคนิค Compandor ส่วนวงจรการดีมอดูเลตจะใช้เทคนิค Threshold Extension Demodulator แบบ Phase Lock Loop (PLL)

ในการเลือกวิธีการมอดูเลตของระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ระบบ PCM/PSK เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระบบ DCDM/PSK และ CFM ในกรณีการใช้ทรานส์polonเดอร์อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนในการเลือกใช้ระหว่างระบบ DCDM/PSK และ CFM ดังนั้นการเลือกใช้จึงควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งาน เช่น ด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

ปัจจุบันระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์แบบ CFM ได้ถูกนำมาใช้งานในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ เช่น ประเทศอัลจีเรีย ประเทศอินโดนีเซีย ประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศไทย เป็นต้น

2. การประมวลสัญญาณแถบความถี่พื้นฐาน (Baseband Processing)

สัญญาณแถบความถี่พื้นฐานที่ถูกใช้ในกิจการดาวเทียมประจำที่โดยทั่วไปจะถูกทำการประมวลสัญญาณ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมหาศาลในด้านการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณ (S/N)* ทำให้การใช้ทรานส์polonเดอร์อย่างมีประสิทธิภาพ การประมวลสัญญาณอาจจะกระทำที่ย่ายการสื่อสารเชื่อมต่อภาคพื้นดิน หรือย่ายการสื่อสารผ่านดาวเทียม กรณีใดกรณีหนึ่ง ในระบบ SCPC/CFM ก็มีการประมวลสัญญาณ สัญญาณแถบความถี่พื้นฐานเช่นกัน โดยจะกล่าวเพียงสังเขปดังนี้

2.1 Pre-emphasis/De-emphasis

ด้วยเสียงรบกวน (Noise) ที่ขาออกของ FM Channel มีสเปกตรัมของกำลังแบบพาราโบลิก (Parabolic Power Spectrum) ดังนั้น S/N ของสัญญาณแถบ

---

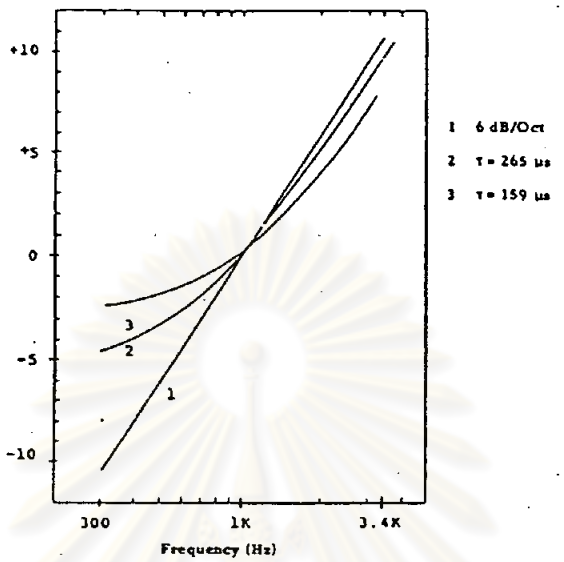
* S/N : Signal to Noise Power Ratio

ความถี่พื้นฐาน ณ ความถี่สูงจึงมีค่าต่ำ หรืออีกนัยหนึ่งผลของสัญญาณรบกวนขึ้นอยู่กับการเบี่ยงเบนของความถี่ (Frequency Diviation) ของสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานที่ความถี่ใด ๆ โดยทั่วไปความเข้มข้นของพลังงานของสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานของเสียงพูดจะมีความเข้มข้นบริเวณ 800 Hz/1000 Hz และความเข้มข้นจะน้อยลงเมื่อความถี่สูงขึ้น จึงมีผลทำให้การเบี่ยงเบนของความถี่ของสัญญาณ ณ ความถี่สูงถูกจำกัด ดังนั้นเพื่อให้ S/N ของสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานมีค่าอยู่ในข้อกำหนดตลอดย่านความถี่ จำเป็นต้องทำการประมวลสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานด้านความถี่สูงด้วยการ Emphasis โดยใช้วงจร Pre-emphasis ทางด้านส่งทำการประมวลสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานก่อนแล้วจึงทำการมอดูเลต เพื่อยกระดับกำลังของสัญญาณด้านความถี่สูง ในทางกลับกันทางด้านรับใช้วงจร De-emphasis ทำการลดระดับกำลังของสัญญาณด้านความถี่สูง เพื่อให้สัญญาณแถบความถี่พื้นฐานที่รับได้นั้นมีการกระจายกำลังเช่นเดียวกับสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานเดิมทุกประการ ทั้งนี้ Pre-emphasis และ De-emphasis เป็นคู่ประกอบกัน (Complementary)

ลักษณะสมบัติของ Emphasis ที่ใช้ในระบบ SCPC/CFM โดยทั่วไปในปัจจุบัน มีด้วยกัน 3 แบบคือ

1. แบบ 6 dB/Octave
2. แบบ Roll-off (265 μs time constant)
3. แบบ Roll-off (159 μs time constant)

โดยกำหนดให้ Emphasis ทุก ๆ แบบมีความถี่ครอสโอเวอร์ (Crossover Frequency) เท่ากันคือ 1kHz ลักษณะสมบัติของ Pre-emphasis ทั้งสามแบบได้แสดงไว้ในรูป 2.4 ทั้งนี้ลักษณะสมบัติของ De-emphasis จะเป็นคู่ประกอบกับ Pre-emphasis



รูปที่ 2.4 ลักษณะสมบัติของ Pre-emphasis

การปรับปรุง S/N ของสัญญาณเนื่องจาก Emphasis สำหรับสเปกตรัมของเสียงรบกวนแบบเรียบ (Flat Noise)* และแบบสามเหลี่ยม (Triangular Noise)** ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 S/N Improvement by Emphasis

Type of Emphasis	Noise Spectrum	
	Flat	Triangular
1. 6 dB/oct	0.1 dB	6.3 dB
2. τ *** = 265 μs	1.7 dB	5.8 dB
3. τ = 159 μs	1.9 dB	4.9 dB

* Flat Noise : เสียงรบกวนที่มีการกระจายกำลังแบบสม่ำเสมอตลอดย่านความถี่

** Triangular Noise : เสียงรบกวนที่มีการกระจายกำลังเป็นแบบกำลังสองของความถี่

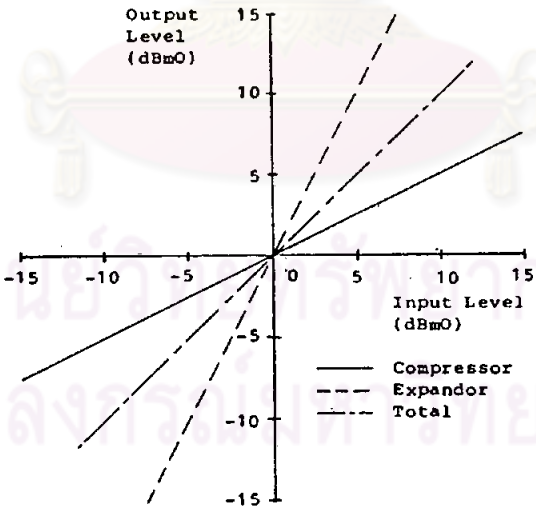
*** τ : Time Constant

โดยการพิจารณาการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเนื่องจาก Emphasis จะเห็นว่า การปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้วย Emphasis ที่มีค่าคงที่เวลาแบบ 265 µs จะมีความเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด

2.2 Compandor

ในระบบ SCPC/CFM ใช้ Syllabic Compandor เป็นอุปกรณ์ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงพูด (Speech Signal) โดยอัตราการขยายของสัญญาณนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามเอนวิโลปของสัญญาณเสียงพูด (Speech Signal Envelope)

Syllabic Compandor ประกอบด้วย Compressor ติดตั้งที่หน่วยส่งของช่องสัญญาณ (Transmit Channel Unit) ก่อนวงจรมอดูเลต และ Expandor ติดตั้งที่หน่วยรับของช่องสัญญาณ (Receive Channel Unit) หลังวงจรดีมอดูเลต ทั้งนี้ Compressor และ Expandor เป็นคู่ประกอบกัน ลักษณะสมบัติของ Compressor และ Expandor ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2-5 ลักษณะสมบัติของ Compandor

ด้วยลักษณะสมบัติของ Compressor มีระดับของสัญญาณระดับหนึ่งที่ไม่ถูกกระทบกระเทือนหรือถูกเปลี่ยนแปลงระดับ จะให้นิยามของระดับนี้ว่า Unaffected Level* ที่ 0 dBmO ของระบบ หลักการทำงานของ Compandor ขึ้นอยู่กับเอนวิโลปของสัญญาณเสียงพูด Compressor จะลดระดับของสัญญาณ** เมื่อสัญญาณมีระดับเหนือ Unaffected Level แต่จะเพิ่มระดับของสัญญาณเมื่อสัญญาณมีระดับใต้ Unaffected Level ทำให้คุณภาพของสัญญาณที่ระดับต่ำได้รับการปรับปรุง ส่วน Expandor จะทำงานในด้านตรงกันข้ามกับ Compressor เพื่อให้สัญญาณที่รับได้เป็นสัญญาณที่มีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณที่ต้องการส่งมาทุกประการ ทั้งนี้ในระหว่างที่ไม่มีการส่งสัญญาณหรือช่วงระหว่างคำพูด Expandor จะทำการลดระดับของเสียงรบกวน ทำให้การได้ยินเสียงรบกวนลดลงอย่างมาก ทั้งนี้ลักษณะสมบัติของ Compandor ที่ใช้ควรสอดคล้องกับคำแนะนำของ CCITT Rec.G.162 ดังนี้

- Unaffected Level 0 dBmO
- อัตราส่วน Compression 2:1
- อัตราส่วน Expansion 1:2
- พิสัยของระดับสัญญาณ
  ขาเข้าของ Compressor - 45 ถึง + 5 dBmO
  ขาออกของ Expandor - 50 ถึง + 5 dBmO

สรุปข้อเด่นประการสำคัญของการใช้ Compandor โดยสังเขป

- ป้องกันการเกิด Crosstalk ของคลื่นพาห์ระหว่างช่องสัญญาณข้างเคียง เมื่อระดับสัญญาณที่ถูกส่งมีระดับสูงกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้คลื่นพาห์มีการเบี่ยงเบนทางความถี่เกินกำหนด
- สามารถส่งสัญญาณด้วยคลื่นพาห์ที่มีแบนด์วิดท์ต่ำ
- ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ (เพิ่ม S/N เมื่อสัญญาณที่ถูกส่งมีระดับต่ำ)
- ลดการได้ยินเสียงรบกวนในช่วงระหว่างคำพูดหรือหยุดพูด

---

* Unaffected Level : เป็นระดับ ณ point of zero relative level

** ค่า rms ของสัญญาณ

ในการทำ Subjective Test[8] ได้แสดงว่าการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้วย Compandor สำหรับเสียงที่มีความดังต่ำ จะได้ผลดีกว่าเสียงที่มีความดังสูง อย่างไรก็ตามการทำ Subjective Tests มักจะปฏิบัติการควบคู่ไปกับการใช้ Emphasis ด้วย ในการทดลองโดยเฉลี่ย Compandor จะปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณประมาณ 20 dB แต่การปฏิบัติในการคำนวณออกแบบระบบทั่วไป มักจะใช้ค่าเฉลี่ยประมาณ 17 dB[20),(22)

2.3 Voice Activation

Voice Activation คือ เทคนิคการประมวลสัญญาณโดยใช้หลักการส่งคลื่นพาห์เมื่อมีสัญญาณ และหยุดส่งคลื่นพาห์เมื่อไม่มีสัญญาณ การใช้ Voice Activation เป็นผลมาจากการหาสถิติของการพูดของมนุษย์ ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ จะใช้เวลาในการพูดเพียง 40 % ของเวลาการพูดของคู่สนทนาในแต่ละด้าน ทำให้จำนวนของคลื่นพาห์ที่ถูกขยายบนทรานสปอนเดอร์จะน้อยกว่าคลื่นพาห์ผลรวมที่ทรานสปอนเดอร์นั้นสามารถรับได้ เนื่องจากปรากฏการณ์นี้ทำให้อินเตอร์มอดูเลชั่นโปรดัค ที่เกิดขึ้นจะลดลง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานทรานสปอนเดอร์ กล่าวได้ว่าทำให้ประหยัดพลังงานของทรานสปอนเดอร์โดยเฉลี่ยประมาณ 2.5 เท่าหรือประมาณ 4 dB ของเมื่อไม่ได้ใช้ Voice Activation

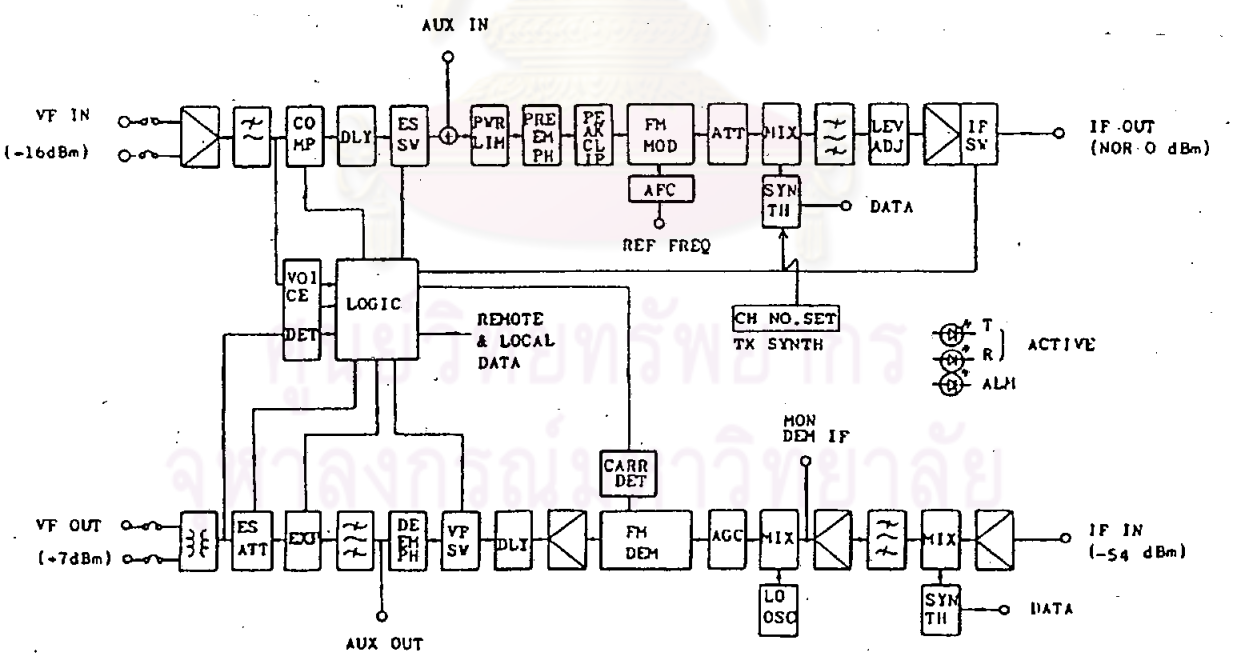
2.4 Echo Suppressor

ด้วยการแผ่กระจายคลื่นในหนึ่งช่วง (hop) การสื่อสารของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม จากสถานีภาคพื้นดินด้านส่งไปยังสถานีภาคพื้นดินภาครับต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 250 มิลลิวินาทีหรืออีกนัยหนึ่ง สัญญาณเกิดการถ่วงเวลา (Delay) กอรัปกับความไม่เข้ากัน (Mismatch) ระหว่างขั้วต่อของวงจรที่เปลี่ยนจากระบบ 4 สายเป็น 2 สาย (2W/4W hybrids) ของสถานีภาคพื้นดินด้านรับ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ของเสียงก้อง (Echo) เนื่องจากสัญญาณย้อนกลับมายังสถานีภาคพื้นดินด้านส่ง ซึ่งจะรบกวนผู้พูด เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงใช้อุปกรณ์ Echo Suppressor ลดเสียงก้องติดตั้งในวงจรการสื่อสารผ่านดาวเทียมทั้งทางด้านรับและด้านส่งของช่องสัญญาณ อุปกรณ์ Echo Suppressor ที่ใช้ควรสอดคล้องกับคำแนะนำของ CCITT G. 161

2.5 Deviation Limiter

Deviation Limiter เป็นวงจรการยลิบโวลท์เตจ (Voltage Clipping) กับวงจรกรองผ่านต่ำ (Low Pass Filter) ที่ติดตั้งก่อนวงจรมอดูเลตเพื่อยลิบยอดชั่วขณะ (Instantaneous Peak) ของสัญญาณที่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันมิให้คลื่นพาห์มีความเบี่ยงเบนทางความถี่เกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งจะก่อให้เกิดการรบกวนต่อคลื่นพาห์ข้างเคียงได้

ในระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์เทคนิคที่สำคัญของระบบ ก็คือเทคนิคการมอดูเลตและเทคนิคการประมวลสัญญาณแถบความถี่พื้นฐานนั่นเอง ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ได้ประกอบกันเป็นวงจรแต่ละภาคการทำงานในอุปกรณ์หน่วยช่องสัญญาณ (Channel Unit) หรือเรียกว่า FM Modem ทั้งนี้ในอุปกรณ์ หน่วยช่องสัญญาณจะมีภาคสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizer) ซึ่งจะกำหนดความถี่พาห์ของช่องสัญญาณแต่ละช่องที่เป็นอิสระต่อกันระหว่างด้านรับและด้านส่ง แผนภาพอุปกรณ์หน่วยช่องสัญญาณได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภาพอุปกรณ์หน่วยช่องสัญญาณ (FM Modem) ของระบบ SCPC/CFM

การจัดความถี่ของระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์

ระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์ เป็นระบบที่ใช้หลักการ Multiple Access แบบ FDMA โดยการจัดสรรความถี่พาห์ในทรานสปอนเดอร์ด้วยการกำหนดให้คลื่นพาห์แต่ละคลื่นมีความถี่พาห์ ณ กึ่งกลางของช่องสัญญาณมีช่วงห่างเท่า ๆ กัน รวมทั้งมี แบนด์วิดท์ครอบครอง (Occupied Bandwidth) เท่ากันด้วย ซึ่งหลักการที่กำหนดดังกล่าว ก็คือการกำหนดช่วงห่างระหว่างช่อง (Channel Spacing) ของระบบหนึ่งช่องสัญญาณต่อหนึ่งคลื่นพาห์นั่นเอง ปัจจุบันช่วงห่างระหว่างช่องที่ใช้ในระบบ SCPC/CFM อย่างกว้างขวางมีด้วยกัน 3 แบบคือ แบบ 45 kHz, 30 kHz และ 22.5 kHz โดยได้แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของพารา-มิเตอร์แต่ละแบบในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงพารามิเตอร์ของระบบ SCPC/CFM ที่ใช้ช่วงห่างระหว่างช่องแต่ละแบบ*(20)

Channel Spacing (kHz)	22.5	30	45	45
Baseband Frequency (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 Bandwidth (kHz)	19.2	25.8	27.2	30.4
Number of Channel in a 36 MHz Transponder	1600	1200	800	800

ในการเลือกใช้ช่วงห่างระหว่างช่อง แต่ละแบบขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบโดยต้องคำนึงสภาพและเงื่อนไขทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ เพราะช่วงห่างระหว่างช่องแต่ละแบบมีข้อเด่นและข้อด้อยต่างกัน ซึ่งต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ

---

* ในปัจจุบันพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในช่วงห่างระหว่างช่อง แต่ละแบบยังไม่มีมาตรฐานกลาง ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์จะมีมาตรฐานของบริษัทโดยเฉพาะ

ของระบบ เช่น ลักษณะสมบัติของทรานสปอนเดอร์ขนาดของสถานีภาคพื้นดิน ปริมาณช่องสัญญาณที่ใช้ในปัจจุบันและจะขยายในอนาคต รวมทั้งคุณภาพของสัญญาณที่ต้องการ เป็นต้น

กระบวนการจัดความถี่ของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแต่ละแบบต้องกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และหมายเลขช่องสัญญาณ (Channel Number) เพื่อสะดวกในการปฏิบัติการ สมการ (2.1), (2.2) และ (2.3) เป็นสมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความถี่พาห์จัดสรร (Assigned Frequency) กับหมายเลขช่องสัญญาณของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแบบ 22.5 kHz, 30 kHz และ 45 kHz ตามลำดับ

$$Fc = Fo + 0.0225\ N - 18 \qquad (2.1)$$

$$Fc = Fo + 0.015\ (2N - 1) - 18 \qquad (2.2)$$

$$Fc = Fo + 0.0225\ (2N - 1) - 18 \qquad (2.2)$$

ในที่นี้

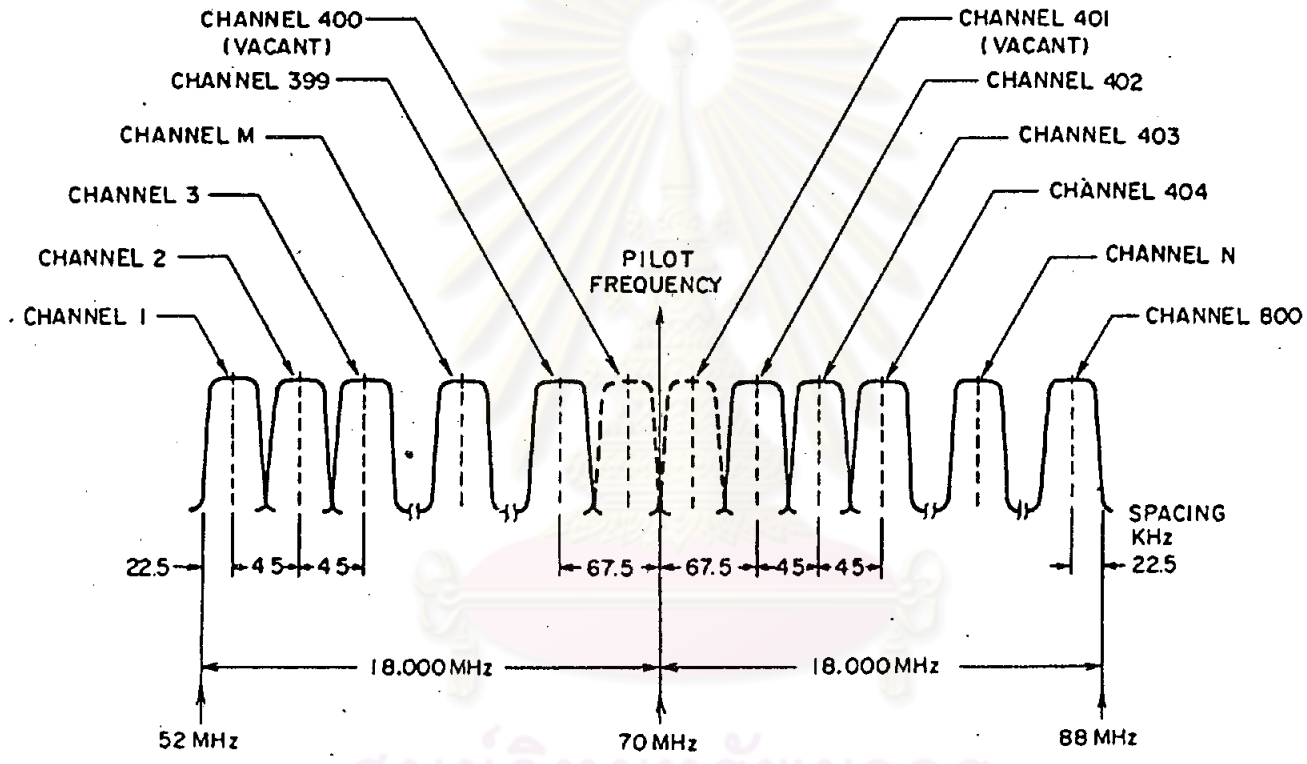
Fc = ความถี่พาห์ขาขึ้นหรือขาลง (MHz)

Fo = ความถี่กึ่งกลางของทรานสปอนเดอร์ขาขึ้น หรือขาลง (MHz)

N = หมายเลขช่องสัญญาณ

ในการจัดความถี่ตามสมการดังกล่าว ความถี่ของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแบบ 45 kHz จะตรงกับความถี่ของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแบบ 22.5 kHz ซึ่งมีหมายเลขช่องสัญญาณเป็นเลขคี่ (odd Channel) รูปที่ 2.7 แสดงผังความถี่ (Frequency Plan) ของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแบบ 45 kHz โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขช่องสัญญาณกับความถี่ของ (Intermediate Frequency) เพื่อเป็นผังความถี่มาตรฐานของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแบบ 45 kHz ไม่ว่าจะใช้ทรานสปอนเดอร์หมายเลขใดก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กลางกับหมายเลขช่องสัญญาณของระบบช่วงห่างระหว่างช่องแต่ละแบบคือ 25.5 kHz, 30 kHz และ 45 kHz สามารถใช้สมการที่ (2.1) - (2.3) ได้ตามลำดับ เพียงแต่แปลงความถี่กึ่งกลาง (Fo) เป็นความถี่ 70 MHz เท่านั้น ดังนั้นความถี่กลางของช่องสัญญาณแต่ละช่องจะอยู่ระหว่างย่านความถี่ 52 - 88 MHz

ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนช่องสัญญาณจะควบคุมโดยภาคสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizer) ของอุปกรณ์หน่วยช่องสัญญาณ (Channel Unit) ทางด้านรับหรือด้านส่ง โดยวิธีการเปลี่ยนช่องสัญญาณนั้นจะใช้วิธีการปรับสวิตช์ เลือกช่องถ้าการจัดสรรวงจรเป็นแบบ



รูปที่ 2.7 SCPC Frequency Plan for Full Transponder Operation

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PAMA หากการจัดสรรวงจรเป็นแบบ DAMA การเปลี่ยนช่องสัญญาณจะกระทำโดยอัตโนมัติ ด้วยอุปกรณ์ควบคุมการจัดสรรวงจร (Demand Assigned Remote Control) ซึ่งจะทำการควบคุมการทำงานของภาคสังเคราะห์ความถี่โดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย