หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ ๑

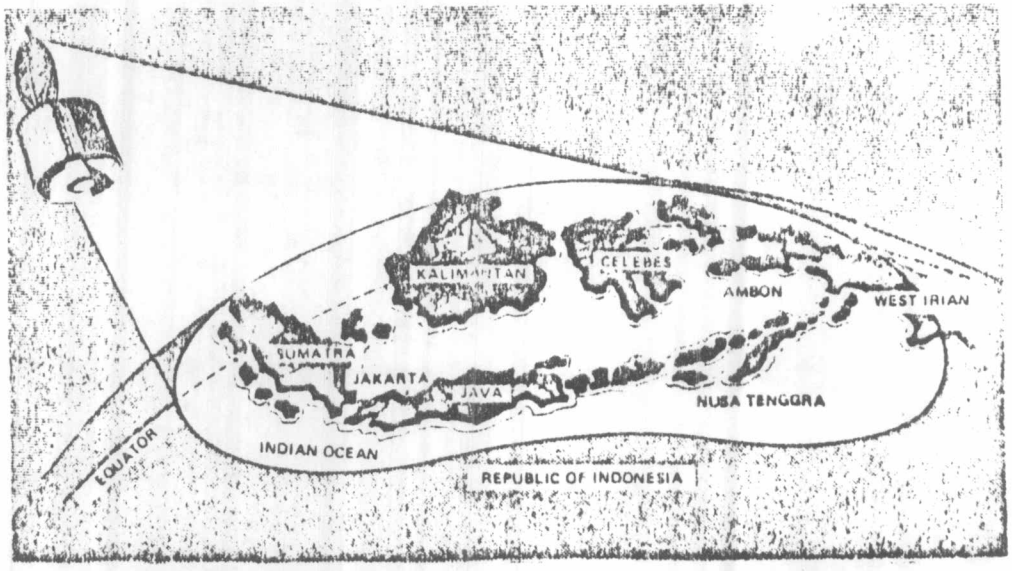
บทนำ

คำนำ

ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite Commonication) นั้น สัญญาณวิทยุจากสถานีภาคพื้นดินต้นทาง (Sending Ground Station) จะถูกส่งขึ้นไปหาดาวเทียมที่ลอยหยุดนิ่งเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลก (Geostationary Satellite) สัญญาณวิทยุจะถูกขยายกำลังโดยเครื่องขยายกำลังสูง (High Power Amplifier) แล้วจะถูกส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดินปลายทาง (Receiving Ground Station) เป็นอันว่าครบวงจรการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมดังแสดงในรูปที่ ๑.๑ ตามปกติดาวเทียมสื่อสารมีลักษณะการทำงานแบบมีการขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งกลับสู่พื้นดินนี้เรียกว่า Active Satellite ดังนั้นดาวเทียมจึงทำหน้าที่เสมือนเป็นเครื่องทวนสัญญาณ (Repeater) แบบหนึ่ง แต่มีคุณลักษณะที่แตกต่างไปจากเครื่องทวนสัญญาณในระบบสื่อสารภาคพื้นดินทั่วไป (Terrestrial Communication) คือสัญญาณที่ส่งกลับสู่พื้นดินจะมีลักษณะกระจายออกครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเช่นเดียวกับลักษณะของการกระจายเสียง (Broad-casting) โดยจานสายอากาศบนดาวเทียมที่เรียกว่า Global Beam Antenna รูปที่ ๑.๒ แสดงความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่การสื่อสารของจานสายอากาศของดาวเทียมสื่อสารที่ใช้ในการสื่อสารภายในประเทศ (Domestic Communication Satellite)

ด้วยคุณลักษณะที่สามารถครอบคลุมพื้นที่การสื่อสารได้กว้างของการสื่อสารดาวเทียมนี้ทำให้ระบบสื่อสารที่มีความคล่องตัว (Flexibility)มากขึ้นกล่าวคือ ในระบบกระจายเสียงที่รู้จักทั่วไปจะประกอบด้วยสถานีเดียว และสถานีรับจำนวนหลายสถานีเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว (one way communication) ส่วนการสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นระบบกระจายเสียงที่มีสถานีส่ง หลายสถานีโดยแต่ละสถานีภาคพื้นดินจะเป็นทั้งสถานีส่งและสถานีรับทำให้มีลักษณะเป็นการสื่อสารแบบสองทาง (two-way communication) สัญญาณส่งออกของแต่ละสถานีจะถูกกระจายออกแผ่ไปทั่วขอบเขตที่ครอบคลุม

รูปที่ ๑.๑ โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารดาวเทียม

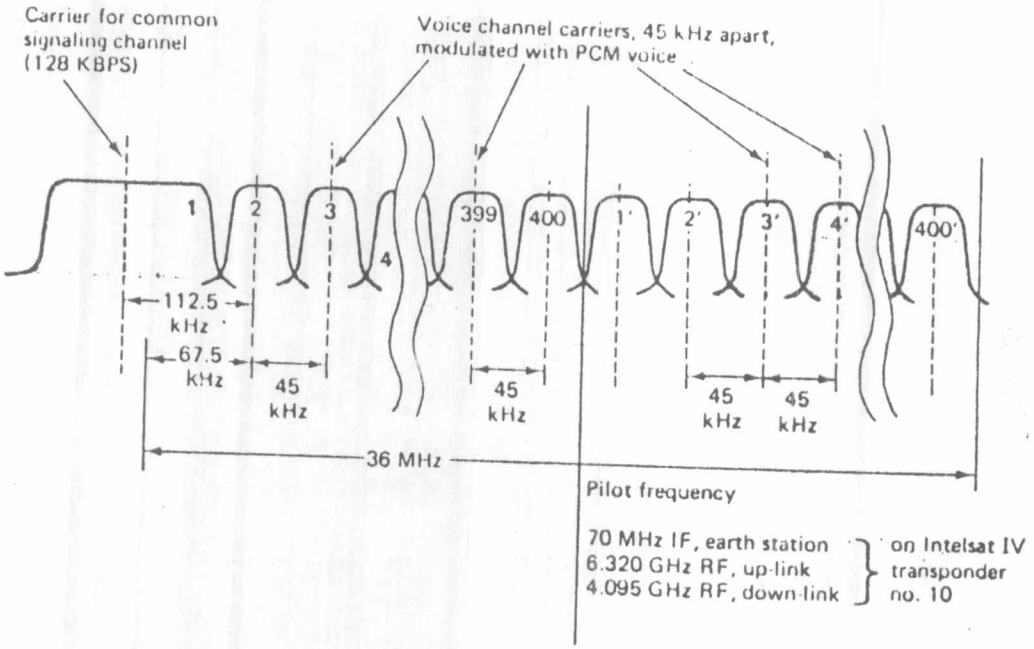


รูปที่ ๑.๒ การครอบคลุมพื้นที่การสื่อสารของจานสายอากาศของดาวเทียมสื่อสาร Palapa I ของ Indonesia

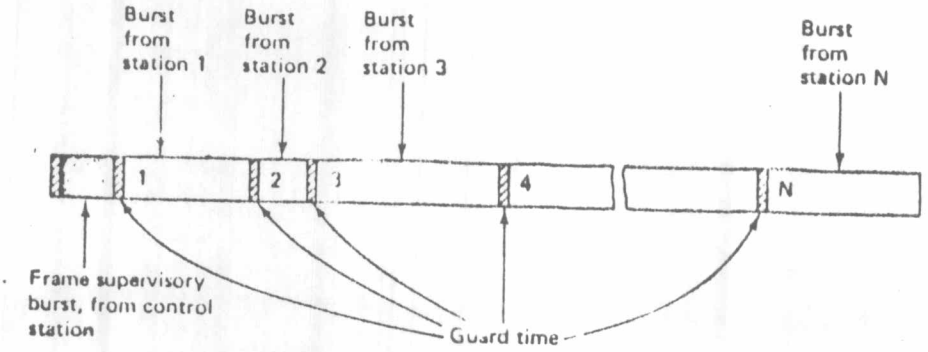
ของจานสายอากาศของดาวเทียมไม่ว่าสถานีส่งออกนั้นจะต้องการหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นแต่ละสถานีภาคพื้นดินสามารถที่จะเลือกรับสัญญาณที่ต้องการจากสถานีส่งออกสถานีใดก็ได้โดยการปรับความถี่ของเครื่องรับให้ตรงกับความถี่ของสัญญาณที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้ทำให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นระบบที่เหมาะในการใช้เป็นระบบสื่อสารที่ติดต่อเชื่อมโยงกับบริเวณที่มีภูมิประเทศไม่เอื้ออำนวยให้สามารถวางระบบสื่อสารแบบภาคพื้นดินในราคาที่เหมาะสมได้ ฉะนั้นความคล่องตัวในการเลือกติดต่อกับสถานีใดๆที่อยู่ภายในพื้นที่ครอบคลุมเดียวกันได้โดยตรงทำให้ระบบสื่อสารดาวเทียมเหมาะสมที่จะเป็นระบบสำรองหรือระบบเสริมของข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินที่มีอยู่

เนื่องจากระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมีจำนวนสถานีส่งหลายสถานีดังนั้นสถานีส่งทอดสัญญาณวิทยุบนดาวเทียมจึงถูกออกแบบให้มีความสามารถที่จะส่งทอดสัญญาณวิทยุที่ส่งจากสถานีภาคพื้นดินต่างๆได้ในเวลาเดียวกันตามวิธีการที่เรียกว่า Multiple Access Multiple Access มีอยู่ด้วยกัน ๒ วิธีคือ วิธีที่หนึ่ง เป็นวิธี Frequency Division Multiple Access (FDMA) ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดความถี่ในการสื่อสารให้กับแต่ละสถานีภาคพื้นดินที่แตกต่างกันดังในรูปที่ ๑.๓ การกำหนดค่าความถี่นั้นอาจจะกำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างแน่นอน (Preassignment) หรืออาจจะกำหนดค่าความถี่ใดก็ได้ (Demand Assignment) วิธีที่สองเป็นวิธี Time Division Multiple Access (TDMA) ซึ่งเป็นวิธีการแบ่งช่องของเวลา (Time Slot) การสื่อสารให้กับสถานีต่างๆดังในรูปที่ ๑.๔ วิธีนี้จะทำให้ที่เวลาหนึ่งๆจะมีคลื่นพาหะเดียวเท่านั้นที่ผ่านไปในเครื่องขยายกำลังของดาวเทียม

ในการส่งทอดสัญญาณวิทยุของดาวเทียมนั้น สัญญาณที่ส่งไปยังดาวเทียม (Up Link) กับสัญญาณที่ส่งกลับสู่สถานีภาคพื้นดิน (Down Link) จะมีความถี่ของคลื่นพาหะต่างกันเพื่อที่จะสามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณได้ ความถี่ที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นคู่คือ ๔/๖ GHz , ๑๒/๑๔GHz และ ๒๐/๓๐ GHz ตัวเลขที่นำหน้าจะเป็นความถี่ของสัญญาณขาลงและตัวเลขหลังเป็นความถี่สัญญาณขาขึ้น ดังนั้นเครื่องขยายกำลัง (Power Amplifier) ในดาวเทียมจะต้องทำหน้าที่ขยายกำลังและแปลงความถี่ของสัญญาณขาขึ้นเป็นความถี่ของสัญญาณขาลง เครื่องขยายชนิดนี้เรียกว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder หรือ Frequency Translating Repeater) ในดาวเทียมดวงหนึ่งจะมีทรานสปอนเดอร์มากกว่า ๑ ตัว โดยทั่วไปทรานสปอนเดอร์ตัวหนึ่งจะมีแถบความถี่กว้าง (Bandwidth) ๓๖ MHz ความกว้างของแถบความถี่นี้สามารถที่จะส่งทอด



รูปที่ ๑.๓ โครงสร้างทั่วไปในการจัดความถี่ให้แต่ละสถานี (FDMA)



รูปที่ ๑.๔ โครงสร้างทั่วไปในการจัดช่วงเวลาของแต่ละสถานี (TDMA)

สัญญาณเสียงได้จำนวนมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการทำโมดูเลชั่น

ส่วนประกอบที่อยู่ในชั้นสุดท้ายของ ทรานสปอนเดอร์เป็นเครื่องขยายที่มีกำลังขยายสูง เช่น Traveling Wave Tube Amplifier (TWT) สัญญาณวิทยุขาลงมีกำลังสูงเพียงใดค่าลงทุนของสถานีภาคพื้นดินก็จะลดลงมากขึ้น เครื่องขยายกำลังจะให้ผลของความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity effect) แก่สัญญาณขาออก เมื่อสัญญาณขาเข้ามีกำลังสูงมากจนเกินช่วงเชิงเส้นของเครื่องขยายกำลัง ในกรณีเช่นนี้กำลังของสัญญาณขาออกจะอิ่มตัว

<u>ความเป็นมาของการศึกษาผลของการผสมผสานกัน (Intermodulation effect) ระหว่างสัญญาณที่มีต่อระบบสื่อสาร</u>

มีการศึกษาผลของความไม่เป็นเชิงเส้น (๑), (๒), (๓) ของเครื่องขยายกำลังที่มีต่อสัญญาณขาเข้าที่ประกอบด้วยหลายคลื่นพาหะ ผลงานเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่ได้ทางด้านขาออกจะประกอบด้วยสัญญาณที่เป็นส่วนของสัญญาณขาเข้าส่วนหนึ่งและสัญญาณที่เกิดจากการผสมผสานกันระหว่างสัญญาณขาเข้าอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งส่วนหลังนี้เรียกว่า อินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค (Intermodulation Products หรือ Cross Products) สัญญาณที่เกิดจากการผสมผสานกันนี้จะมีการกระจายของกำลัง (Distribution of Power Spectral Density) ตลอดความกว้างของแถบความถี่ของช่องสื่อสาร ส่วนของกำลังของอินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค ที่อยู่ในแถบความถี่เดียวกับส่วนของสัญญาณที่ต้องการจะกลายเป็นสัญญาณรบกวน (Intermodulation Noise) ที่มีผลกระทบต่อการแปลสัญญาณ (Demodulation) ของสถานีรับ

อินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค ที่เกิดขึ้นนอกจากจะเกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นของเครื่องขยายที่มีต่อขนาดของสัญญาณ (Amplitude Nonlinearity) แล้ว ยังเกิดจากปรากฏการณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งจะเกิดในอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น คือ การเคลื่อนไปของมุม (phase) ในสัญญาณขาออกโดยเป็นฟังก์ชั่นของรูปโครงนอกของสัญญาณขาเข้า (Envelope of Input - Signal) ซึ่งเรียกว่า AM-PM Conversion ระดับของกำลังของอินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค (๔) ที่เกิดขึ้นจะเป็นฟังก์ชั่นของจำนวนคลื่นพาหะที่ประกอบกันขึ้นเป็นสัญญาณขาเข้าและขั้นของการทำโมดูเลชั่น (Degree of Modulation)

ระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ (Single Channel per Carrier, SCPC) เป็นระบบที่มีลักษณะ Multiple Access แบบ FDMA ดังนั้นจะได้รับผลกระทบต่อการทำงานของระบบจากความไม่เป็นเชิงเส้นของเครื่องขยายกำลังดังที่ได้กล่าวด้วย ดังนั้นการเลือกจุดทำงานของเครื่องขยายกำลังที่ใช้ระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่จะทำให้ได้สัญญาณขาออกของเครื่องขยายกำลังมีกำลังออกสูงสุดโดยที่ปริมาณของ อินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค ที่เกิดขึ้นยังคงอยู่ในระดับที่ความสามารถของการแปลสัญญาณในระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะจะยอมรับได้

เนื่องจากคุณลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นของเครื่องขยายกำลังไม่สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของสูตรทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายๆได้และคุณลักษณะนี้จะแตกต่างกันไปในระหว่างเครื่องขยายชนิดต่างๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์หาผลที่เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นจึงกระทำได้เพียงการประมาณให้ได้ผลที่ใกล้เคียงความจริงเท่านั้น ในการศึกษาผลของอินเตอร์โมดูเลชั่นที่เกิดขึ้นนั้นจะทำการวิเคราะห์จากคุณลักษณะที่จำลองขึ้น (Simulated Characteristic) ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเครื่องขยายกำลังในกรณีที่สัญญาณขาเข้าประกอบด้วยคลื่นพาหะเดียว (Single - Carrier - Amlitude Characteristic) คุณลักษณะที่จำลองขึ้นจะสามารถแทนคุณลักษณะของเครื่องขยายกำลังในช่วงที่ต้องการได้โดยการเลือกค่าตัวแปร (Parameter) ที่เหมาะสม

ผลงานที่ได้มีการศึกษาในด้านนี้จึงมีความแตกต่างกันออกไปในการเลือกรูปแบบจำลองเครื่องขยายกำลัง และการกำหนดสภาพแวดล้อมของระบบเช่น

Shaft[๕] ได้จำลองเครื่องขยายด้วยรูปแบบของ Hard limiter, และกำหนดให้การกระจายกำลังของ (Spectral Density) แต่ละสัญญาณคลื่นความถี่จะมีรูปร่างเป็น Gaussian.

Cahn[๖] ศึกษาด้วยสภาพแวดล้อมที่ใกล้กับ Shaft[๕] แต่จำลองคุณลักษณะของเครื่องขยายด้วย Soft limiter ที่มีบางส่วนเป็นเชิงเส้น

Pawula[๗] ได้จำลองเครื่องขยายด้วย error function และใช้วิธีหาอินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค ด้วยการลบกำลังงานทั้งหมดของสัญญาณขาออกของเครื่องขยายด้วยกำลังของสัญญาณขาเข้า

Sunde[๔] ได้ทำการศึกษาทั้งกรณีที่ อินเตอร์โมดูเลชั่น โปรดัค ที่เกิดจากการที่สัญญาณขาเข้ามีขนาดตกอยู่ในย่านความไม่เป็นเชิงเส้นของเครื่องขยายกำลัง และ AM-PM conversion โดยพิจารณาแยกกันแล้วนำผลทั้งสองมารวมกันแบบกำลัง (Power Addition) Sunde กำหนดรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นกรณีที่ระดับ อินเตอร์โมดูเลชั่นต่ำๆและรูปร่างของการกระจายกำลังบนแถบความถี่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Power Spectral Density)

ผลงานที่ได้กล่าวมานี้ส่วนใหญ่จึงเป็นการศึกษาในกรณีที่แต่ละสัญญาณที่ประกอบกันเป็นสัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณในระบบ FDM และสนใจเฉพาะคุณภาพของสัญญาณที่ขาออกของเครื่องขยายกำลังเท่านั้น

<u>เป้าหมายของงานวิจัย</u>

ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาผลของ อินเตอร์โมดูเลชั่นโปรดัค ที่มีต่อการทำงานของระบบสื่อสารดาวเทียมในระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะที่ใช้โมดูเลชั่นเทคนิค ชนิด FM โดยจำลองคุณลักษณะของเครื่องขยายกำลังด้วย Soft limiter ที่มีส่วนเป็นเชิงเส้น (Linear piecewise Soft Limiter) และกำหนดให้ความถี่ของคลื่นพาหะถูกโมดูเลทด้วยสัญญาณ โคซายน์

ผลการศึกษาที่ได้นำไปทำโปรแกรมเพื่อศึกษาคุณภาพของสัญญาณในเชิงตัวเลขทั้งที่ขาออกของเครื่องขยายและที่ขาออกของเครื่องรับ FM

เหตุที่เลือกศึกษาระบบ SCPC/CFM เป็นหัวข้อวิทยานิพนธ์ก็เนื่องจากการสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศกำลังได้รับความสนใจและตื่นตัวเป็นอันมาก ทั้งนี้เนื่องจากการพัฒนาเทคนิคในการโมดูเลชั่น[๘] ของเดลต้าโมดูเลชั่น (DCDM) และ CFM ทำให้สามารถใช้กับจานสายอากาศขนาดของสถานี B ซึ่งมีกำลังขยายเท่ากับ ๓๑.๗ dB/$^{\circ}$K โดยยังคงรักษาคุณภาพของสัญญาณไว้ได้ตามมาตรฐาน นอกจากนี้การใช้เทคนิคทั้งสองยังสามารถเพิ่มความจุของจำนวนช่องสัญญาณต่อทรานสปอนเดอร์อีกด้วย ดังนั้น DCDM และ CFM จึงเป็นแนวโน้ม[๙]ของการสื่อสารดาวเทียมภายในประเทศ ระบบ SCPC/FM นิยมใช้กับการสื่อสารที่สัญญาณพื้นฐาน[๑๐] เป็นสัญญาณต่อเนื่อง(analog signal) เช่น สัญญาณเสียง และการนำคอมแพนเดอร์(compandor) มาใช้ในระบบ FM [๑๑] จะช่วยเพิ่มความจุของจำนวนช่องสัญญาณต่อทรานสปอนเดอร์ได้จำนวนมาก ความเหมาะสมของระบบที่ศึกษานั้นได้กล่าวในเชิงเปรียบเทียบกับระบบอื่นในหัวข้อโมดูเลชั่นเทคนิคในระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ