

# ผลกระทบของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุมในอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมต่อ ประสิทธิภาพของเครื่องปลายทางผู้ใช้ดาวเทียมไทยคม 4

## Effect of Amplitude-Modulation-to-Phase-Modulation of Block Upconverter to Thaicom 4 User Terminal Performances

นายสรารัฐ ขมหวาน 50056779

ผศ.ดร.เด่นชัย วรเศวต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2942-8555 ต่อ 1538 โทรสาร 0-2942-8555 ต่อ 1550 E-mail: fengdcw@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

อุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม (Block Upconverter) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หนึ่งที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม อุปกรณ์นี้จะทำงานแบบไม่เชิงเส้นเมื่อสัญญาณด้านออกมีระดับกำลังงานมากกว่า P1dB โครงการนี้จึงได้ศึกษาการวัดค่า P1dB และหาความสัมพันธ์การกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงขนาด (Amplitude-Modulation-to-Amplitude-Modulation : AM-AM) และการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (Amplitude-Modulation-to-Phase-Modulation : AM-PM) ของอุปกรณ์จริง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer) วัดทั้งการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดและการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม ทั้งนี้การทดลองยังใช้การส่งสัญญาณจริงผ่านระบบดาวเทียมเพื่อวัดค่า P1dB ประสิทธิภาพของเครื่องปลายทางผู้ใช้ดาวเทียมไทยคม 4 ที่ระดับกำลังงานเท่ากับ P1dB และที่ 10 dB ต่ำกว่า P1dB ได้ถูกทดสอบและรายงานไว้ในการทดลองนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องปลายทางผู้ใช้

คำสำคัญ: อุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม, ไทยคม 4, ความไม่เชิงเส้น

### Abstract

A Block Upconverter is an electronics device used in satellite communications. The device works in a nonlinear region when the output power is more than P1dB. This project is to study the method to measure P1dB, Amplitude-Modulation-to-Amplitude-Modulation (AM-AM), and Amplitude-Modulation-to-Phase-Modulation (AM-PM) of the actual device using a vector network analyzer. Moreover, in this project, P1dB is measured by transmitting through Thaicom 4 satellite system as well. Thaicom 4 user terminal performances are tested at the

transmitting power of P1dB and 10 dB-back-off. The results are reported and shown that nonlinearity of the device does not affect the performances.

Keywords: Block Upconverter, Thaicom 4, Nonlinearity

### 1. บทนำ

#### 1.1. ที่มาและความสำคัญ

อุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม (Block Upconverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม เป้าหมายการใช้งานคือทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดเพื่อคงคุณภาพของสัญญาณตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ด้านกำลังงานที่ส่ง หากใช้งานเกินข้อจำกัดจะส่งผลให้สัญญาณที่ส่งไปผิดพลาดได้ ดังนั้นโครงการนี้จึงศึกษาการใช้งานอุปกรณ์นี้ โดยมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (Amplitude-Modulation-to-Phase-Modulation : AM-PM) ของอุปกรณ์นี้ที่มีต่อประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยคม 4 เพื่ออธิบายผลกระทบดังกล่าวแก่ บมจ.ไทยคม

#### 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการหาจุดที่อัตราขยายลดลง 1 dB (P1dB) ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม และการทดลองผ่านระบบดาวเทียมไทยคม 4
2. ศึกษาและทดลองหาการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) ในอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม
3. ศึกษาและวิเคราะห์ผลของความไม่เชิงเส้นดังกล่าวที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องปลายทางผู้ใช้ดาวเทียมไทยคม 4

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะศึกษาการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม และในการวิเคราะห์ผลของความไม่เป็นเชิงเส้นดังกล่าวจะศึกษาในภาคการส่งสัญญาณ (Uplink) จากผู้ใช้ไปยังดาวเทียมไทยคม 4 เพื่อส่งต่อไปยังเกตเวย์ (Gateway)

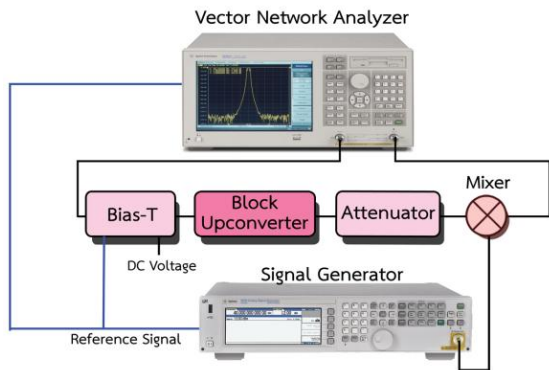
## 2. การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุมในอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียม

การกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (Amplitude-Modulation-to-Phase-Modulation) เป็นการแสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเมื่ออุปกรณ์ทำงานในช่วงอิมิตัวจะทำให้เกิดเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับขณะทำงานในช่วงเชิงเส้น (James F. Moss, 1987 : 780)

โดยทั่วไปในการทดลองจะให้ด้านเข้าและด้านออกของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความถี่เดียวกัน แต่เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงขึ้นเพื่อส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม ดังนั้นในการทดลองจึงใช้ตัวผสมสัญญาณ (Mixer) แปลงความถี่ต่ำลงมา ให้มีความถี่เท่ากับความถี่ด้านเข้า

การทดลองจะใช้เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณเมื่อป้อนกำลังงานที่ค่าต่างๆ กัน (A. A. Moulthrop, C. J. Clark, C. P. Silva, and M. S. Muha, 1997 : 1455) และใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) สำหรับการผสมสัญญาณที่ตัวผสมสัญญาณ (Mixer)

การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดลองหาการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) นี้แสดงไว้ในรูปที่ 1



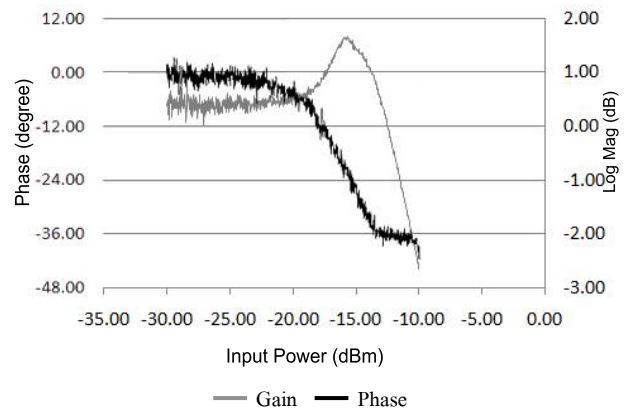
รูปที่ 1 ผังการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดลองหาการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM)

จากข้อมูลในตารางที่ 1 สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาช่วงกำลังงานที่จะป้อนเข้าอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานในช่วงอิมิตัว ซึ่งจะต้องคำนวณกำลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากอุปกรณ์อื่นๆ ด้วย จากการคำนวณพบว่ากำลังงานที่สูญเสียไปที่อุปกรณ์อื่นๆ อยู่ที่ 8 dB ดังนั้นจุดที่อัตราขยายลดลง 1 dB (P1dB) ของอุปกรณ์ทดสอบจะอยู่ที่กำลังงานด้านเข้าเท่ากับ -12 dBm ในการทดลองจึงป้อนกำลังงานด้านเข้าในช่วง -30 dBm ถึง -10 dBm ที่ความถี่ 1.2 GHz และกำหนดให้เครื่องกำเนิดสัญญาณมีความถี่ 13.05 GHz

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ทดสอบ

บริษัท	New Japan Radio
รุ่น	NJT8301F
ความถี่ด้านเข้า	0.95 - 1.45 GHz
ความถี่ด้านออก	14.0 - 14.5 GHz
ความถี่ตัวกำเนิดสัญญาณภายใน (Local Oscillator)	13.05 GHz
P1dB	30 dBm
อัตราขยาย	50 dB

สัญญาณที่ออกมาจากด้านออกของอุปกรณ์ส่งสัญญาณมีกำลังงานสูงจนอาจก่อความเสียหายกับอุปกรณ์อื่นๆ จึงใช้ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ขนาด 37 dB ก่อนต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่น



รูปที่ 2 การกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) เมื่อป้อนกำลังงานค่าต่างๆ

จากกราฟในรูปที่ 2 สามารถคำนวณการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) ได้จากความชันของกราฟเฟส จากสมการ 1

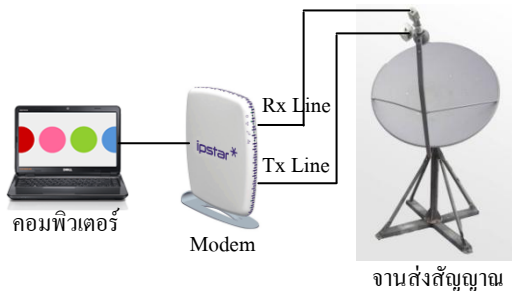
$$\text{Slope} = \frac{\Delta \text{Phase}}{\Delta \text{Input Power}} \quad (1)$$

จากรูปที่ 2 อ่านค่ากำลังงานด้านเข้าที่ -20 dBm มีเฟส -5.34 องศา และที่ -13.08 dBm มีเฟส -36.03 องศา จะได้ความสัมพันธ์ของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุมของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ทดลองเท่ากับ -4.435 องศา/dB

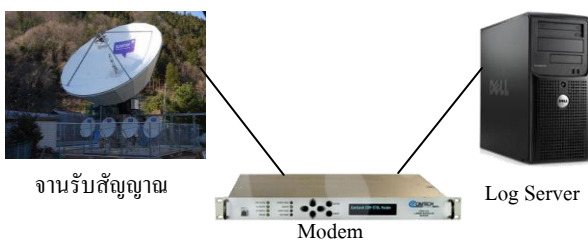
### 3. การวิเคราะห์ผลของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) ในอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมที่กระทบต่อประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยคม 4

โครงการนี้จะใช้ค่า Es/N0 และ CRC ในการวิเคราะห์ผลของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (AM-PM) ที่มีต่อประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยคม 4 (บรรพต เกลียวพวงพิทย์, 2554) ซึ่ง Es/N0 จะแสดงถึงอัตราส่วนของกำลังงานของสัญญาณข่าวสารต่อกำลังงานของสัญญาณรบกวน ส่วนค่า CRC จะเป็นวิธีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแพ็คเกจ (Packet) ที่ส่งมาว่ามีความผิดพลาดหรือไม่ (Behrouz A. Forouzan. 2007 : 284)

การทดลองจะติดตั้งอุปกรณ์อยู่ 2 ชุดคือ ชุดแรกใช้สำหรับการส่งสัญญาณ การติดตั้งอุปกรณ์แสดงไว้ในรูปที่ 3 ส่วนชุดที่สองใช้ในการรับสัญญาณและการวิเคราะห์ในการทดลอง โดยใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมของเกตเวย์ และใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่ภายในเกตเวย์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยคม 4 ในภาคส่งสัญญาณ



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดลองหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของดาวเทียมไทยคม 4 ในภาครับสัญญาณ

การทดลองจะเริ่มต้นจากการหาจุดที่อัตราขยายลดลง 1 dB (P1dB) ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ โดยจะป้อนกำลังงานด้านเข้า เริ่มจาก -20 dBm ไปจนกว่าอุปกรณ์จะทำงานในช่วงอิมิตัว จากการทดลองจะได้จุดที่อัตราขยายลดลง 1 dB (P1dB) อยู่ที่ -9 dBm

ในการทดลองขั้นต่อไปจะทดลองป้อนกำลังงานด้านเข้าที่จุดที่อัตราขยายลดลง 1 dB (P1dB) และ 10 dB ต่ำลงมา ดังนั้นจึงได้ทำการป้อนกำลังงานด้านเข้าที่ -19 dBm และ -9 dBm การทดลองจะควบคุมค่า C/N ให้มีค่าประมาณ 7 dB โดยใช้เทคนิคควบคุมมุมของจานดาวเทียมให้มีค่าต่างกัน การเก็บค่า Es/N0 และ CRC ที่วัดได้จะเก็บมาจากเครื่องบริการเก็บบันทึก (Log Server) ที่เกตเวย์ (Gateway) ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ตามตารางที่ 2 และ 3

ค่า CRC ที่แสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 เป็น 1 แสดงว่าไม่มีข้อผิดพลาดในแพ็คเกจที่รับมา หากเป็น 0 แสดงว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเมื่อป้อนกำลังงานด้านเข้าที่ -19 dBm

เวลา	Es/N0 (dB)	C/N (dB)	ช่องสัญญาณ	CRC
16:54:33.226213	-71.4	7.8	CH00	1
16:54:34.001628	-71.8	7.8	CH00	1
16:54:35.004433	-71.8	7.8	CH00	1
16:54:36.002448	-71.8	8	CH00	1
16:54:37.000552	-71.7	7.7	CH00	1
16:54:38.004488	-71.5	7.9	CH00	1
16:54:39.003200	-72.1	7.6	CH00	1
16:54:40.001917	-72.2	8.2	CH00	1
16:54:41.000535	-72.5	7.8	CH00	1
16:54:42.003698	-72.8	7.5	CH00	1

### 4. สรุปผลการทดลอง

เมื่อให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมทำงานในช่วงอิมิตัว เฟสของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับขณะทำงานในช่วงเชิงเส้น โดยมีความสัมพันธ์ของการกล้ำสัญญาณเชิงขนาดต่อการกล้ำสัญญาณเชิงมุมของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ทดลองเท่ากับ -4.435 องศา/dB อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อการส่งสัญญาณ (Uplink) จากผู้ใช้งานไปยังเกตเวย์ พบว่าค่า Es/N0 ที่จุดที่อัตราขยายลดลง 1 dB (P1dB) และที่ 10dB ต่ำลงมา มีค่าใกล้เคียงกัน และ CRC เป็น 1 ทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมไม่มีผลต่อการส่งสัญญาณ (Uplink) จากผู้ใช้งานไปยังเกตเวย์

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเมื่อป้อนกำลังงานด้านเข้า ที่ -9 dBm

เวลา	Es/N0 (dB)	C/N (dB)	ช่อง สัญญาณ	CRC
17:05:29.241625	-71.9	8	CH00	1
17:05:30.003031	-71.5	8	CH00	1
17:05:31.000899	-71.7	8.4	CH00	1
17:05:32.004681	-71.9	7.7	CH00	1
17:05:33.003564	-72.3	7.9	CH00	1
17:05:34.001488	-72	8.4	CH00	1
17:05:35.004483	-72.1	8.6	CH00	1
17:05:36.002044	-72.1	8.1	CH00	1
17:05:37.004630	-71.8	8.1	CH00	1
17:05:38.001914	-71.2	8.2	CH00	1

## 5. กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการนี้ได้รับความร่วมมือและการสนับสนุนจากหลายหน่วยงาน จึงขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ อันได้แก่ บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสในการทำโครงการร่วมกับบริษัทฯ และการให้ความอุปการะด้านอุปกรณ์ ห้องทดลองและเงินทุนสนับสนุนการทำโครงการนี้, ห้องวิจัยร่วมทางโทรคมนาคมอิเล็กทรอนิกส์และระบบสมองกลฝังตัว (NTC Telecommunications Research Laboratory) ที่ให้ความอุปการะด้านอุปกรณ์และห้องทดลอง และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและเงินทุนสนับสนุน

## เอกสารอ้างอิง

- บรรพต เคลือบพวงพิทย์, วิศวกร บมจ.ไทยคม, 11 กุมภาพันธ์ 2554
- A. A. Moulthrop, C. J. Clark, C. P. Silva, and M. S. Muha. A Dynamic AM/AM and AM/PM Measurement Technique. Microwave Symposium Digest, 1997 : 1455-1458.
- Behrouz A. Forouzan. Data Communications and Networking. 4th. Singapore. McGraw-Hill.
- James F. Moss, AM-AM and AM-PM Measurement Using the PM Null Technique. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 1987 : 780-782.