



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับค่าสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลด้วยเทคนิคการปรับเทียบโครงข่ายความถี่  
เดียวของระบบ DVB-T2 สำหรับ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)  
Digital TV signal tuning with Single Frequency Network of DVB-T2  
for MCOT Plc.

นายคณิน นนทิจันทร์

ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับค่าสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลด้วยเทคนิคการปรับเทียบโครงข่ายความถี่  
เดียวของระบบ DVB-T2 สำหรับ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

Digital TV signal tuning with Single Frequency Network of DVB-T2  
for MCOT Plc.

นายคณิน นนทิจันทร์

ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การปรับค่าสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลด้วยเทคนิคการปรับเทียบโครงข่ายความถี่เดียวของระบบ DVB-T2 สำหรับ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	คณิน นนทิจันทร์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	บัณฑิต รักวีระธรรม
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

### บทคัดย่อ

ระบบการออกอากาศโทรทัศน์ในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนเข้าสู่ยุคดิจิทัลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากเดิมที่เป็นระบบแอนะล็อก ประเทศไทยเองนั้นได้มีการศึกษาและปรับเปลี่ยนการออกอากาศเข้าสู่ระบบดิจิทัลด้วยเช่นกัน โดยหน่วยงานที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงในการศึกษา และกำหนดมาตรฐานการออกอากาศ คือ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. จากการศึกษาดูงาน ทำให้ได้ข้อสรุป และกำหนดระบบการออกอากาศเป็นแบบเดียวกับฝั่งยุโรป คือ Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) การออกอากาศที่เป็นโครงข่ายความถี่เดียว หรือ Single Frequency Network (SFN) นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองและศึกษาโครงข่ายความถี่เดียวนั้นจึงมีความจำเป็นสำหรับผู้ให้บริการโครงข่าย และบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) เป็นหนึ่งในผู้ให้บริการโครงข่าย Mux 3 การทดลองปรับค่าสัญญาณโครงข่ายความถี่เดียวนั้น จะทดลองปรับค่าสัญญาณในกรณีที่สัญญาณทับซ้อนกันจากเครื่องส่ง 2 เครื่อง โดยการปรับดีเลย์ และทำการบันทึกผล เพื่อหาค่าสัญญาณต่ำสุดของผู้ให้บริการทั้ง 5 โครงข่าย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ Power มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ 55 - 65 dBμV , MER มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ 6 - 11 dB , Noise Margin มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ -7 dB ถึง -4 dB และ C/N มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ 15 - 18 dB

คำสำคัญ : DVB-T2 ,SFN

**Co-operative Title :** Digital TV signal tuning with Single Frequency Network of DVB-T2 for MCOT Plc.

**Student Intern Name :** Khanin Nonthichan

**Faculty :** Engineering      **Department :** Telecommunication Engineering

**Advisor Name :** Dr. Sathaporn Promwong and Asst.Prof.Dr. Pichaya Supanakoon

**Mentor Name :** Bundit Ruckveratham

**Company :** MCOT Public Company Limited

## ABSTRACT

Today's television broadcasting system is inevitably transformed into digital age. Thailand has also studied and modified as well. The agency is directly involved in the study and broadcast the standard is the National Broadcasting and Telecommunication Commission or NBTC. The broadcasting system as same as the European side is Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial (DVB-T2) and Single Frequency Network (SFN) is very important, because system used frequencies efficiently. Trial and study of single frequency networks is necessary for network operators and MCOT (MUX 3). The single frequency tuning experiment in case of overlapping signals from two transmitters by change the delays time and recording results to find the lowest signal of 5 network operators. At the result, Power is in the range of 55 - 65 dB $\mu$ V, MER is in the range of 6 - 11 dB, Noise Margin is in the range of -7 dB to -4 dB and C/N is in the range of 15 - 18 dB

**Keywords :** DVB-T2 ,SFN

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและทดลองโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ได้ดำเนินงานจนสามารถสำเร็จเป็นไปอย่างราบรื่น ด้วยการสนับสนุนและการช่วยเหลือจาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา ปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาด และการติดต่อประสานงานสำหรับโครงการนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่เป็นกรรมการสอบสหกิจศึกษาทุกท่านที่ได้ชี้แนะแนวทาง ให้รายงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณความอนุเคราะห์จาก บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่การทำสหกิจศึกษา พร้อมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์การทำงานอย่างหลากหลาย และบุคลากรที่มีความรู้ ประสบการณ์ ความสามารถที่เชี่ยวชาญ คอยให้คำชี้แนะ เสนอแนวทาง และรับฟังคำปรึกษาโดยตลอด นั่นคือ คุณบัณฑิต รักวีระธรรม ผู้ที่คอยให้คำชี้แนะแนวทางการทำงาน คุณสุธี สุวรรณประภา ผู้ที่คอยอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน รวมถึงคุณไกรสิทธิ์ เปี่ยมสง่า และอีกหลาย ๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงภายในบริษัท และขอขอบคุณเพื่อนร่วมการฝึกงานสหกิจด้วยเช่นกัน ที่คอยแลกเปลี่ยนความรู้ และความคิดเห็นต่อกัน

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว และคนใกล้ตัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจมาตลอด ซึ่งการทำโครงการสหกิจศึกษาครั้งนี้ เป็นไปด้วยความเรียบร้อย และประสบผลสำเร็จได้ ผู้จัดทำรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งกับการมาฝึกงานในโครงการสหกิจศึกษา หากโครงการสหกิจศึกษาเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้

คณิน นนทิจันทร์

## สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง.....	1
1.3 ขอบเขตของการทดลอง.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	3
2.2 เทคโนโลยีการแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ Digital Video Broadcasting (DVB).....	4
2.3 ระบบโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network).....	5
2.4 การมอดูเลตสัญญาณ.....	6
2.5 ข้อกำหนดของ กสทช. สำหรับการส่งโทรทัศน์ดิจิทัลประเทศไทย.....	8
2.6 พารามิเตอร์การส่งโทรทัศน์ระบบดิจิทัลสำหรับประเทศไทย.....	10
2.7 วัตินาการบีบอัดสัญญาณวิดีโอ.....	12
2.8 การออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย.....	14
2.9 การตรวจวัดคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
2.10 พารามิเตอร์ในการวัดสำหรับโครงข่าย.....	17
<b>บทที่ 3</b> วิธีดำเนินการทดลอง.....	<b>20</b>
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	20
3.2 การดำเนินการทดลอง.....	24
3.3 การบันทึกภาพของการวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัด (ROVER).....	28
<b>บทที่ 4</b> ผลการทดลอง.....	<b>30</b>
4.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 1 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด.....	30
4.2 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 2 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด.....	31
4.3 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 3 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด.....	33
4.4 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 4 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด.....	34
4.5 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 5 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด.....	35
4.6 ผลเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์สัญญาณต่ำสุด.....	37
4.7 ผลวิเคราะห์สัญญาณต่ำสุดด้วย Correlation Analysis.....	39
4.8 ผลวิเคราะห์สัญญาณต่ำสุดด้วย PDF และ CDF.....	40
4.9 ผลวิเคราะห์สัญญาณต่ำสุดด้วย Regression Analysis.....	44
<b>บทที่ 5</b> สรุปผลการทดลอง.....	<b>51</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	54

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงพารามิเตอร์การมอดูเลตสัญญาณและอัตราการใช้รหัส.....	8
2.2 ตารางแสดงทางเลือกสำหรับแบบรูปสัญญาณไหลอด ในกรณีขนาด FFT และสัดส่วน ช่วงเวลาป้องกันต่าง ๆ โดยอ้างอิงตามเอกสาร ETSI EN 302 755.....	9
2.3 ตารางแสดงทางเลือก FFT Size และ GI Fraction ที่สัมพันธ์กับพื้นที่การให้บริการใน การออกแบบโครงข่ายในลักษณะ Single Frequency Network (SFN).....	9
2.4 ตารางแสดงอัตราบิตสำหรับการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ.....	10
2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย.....	10
4.1 ค่า Correlation ของ Mux 1.....	39
4.2 ค่า Correlation ของ Mux 2.....	39
4.3 ค่า Correlation ของ Mux 3.....	39
4.4 ค่า Correlation ของ Mux 4.....	39
4.5 ค่า Correlation ของ Mux 5.....	39

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการส่งโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่มีการใช้งานอยู่ทั่วโลก.....	3
2.2 พัฒนาการระบบ DVB.....	4
2.3 Single Frequency Network.....	5
2.4 Guard Interval.....	6
2.5 OFDM.....	6
2.6 COFDM.....	7
2.7 รูปแบบการมอดูเลชัน.....	7
2.8 คุณสมบัติของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลตาม กสทช.....	8
2.9 ผลของระบบตามค่าพารามิเตอร์.....	11
2.10 Multiple PLP.....	11
2.11 ผู้ให้บริการโครงข่ายทีวีดิจิทัล.....	14
2.12 ช่องรายการในแต่ละ Mux.....	15
2.13 สเปกตรัมของสัญญาณโทรทัศน์ระบบ Analog และ Digital.....	15
2.14 บล็อกไดอะแกรมการตรวจวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัด.....	16
2.15 การหาค่า BER.....	18
2.16 ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการวัด.....	18
3.1 เครื่องวัดสัญญาณ (ROVER).....	20
3.2 เครื่อง Exciter.....	20
3.3 เครื่อง IRD.....	20
3.4 Dummy Load.....	21
3.5 Noise Generator.....	21
3.6 GPS antenna (1).....	21

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 GPS antenna (2).....	22
3.8 Splitter.....	22
3.9 สายต่อหัว BNC.....	22
3.10 สายต่อหัว BNC และ F-type.....	23
3.11 สายต่อหัวต่อ n-type และ BNC.....	23
3.12 สาย LAN หัว RJ-45.....	23
3.13 สาย AC power.....	24
3.14 แผนผังการต่ออุปกรณ์.....	24
3.15 จานดาวเทียม.....	24
3.16 ช่อง RF IN เครื่อง IRD.....	25
3.17 ช่อง ASI IN เครื่อง Exciter.....	25
3.18 ช่อง GPS เครื่อง Exciter.....	26
3.19 ช่อง RF out เครื่อง Exciter.....	26
3.20 รวมสัญญาณด้วย Splitter.....	27
3.21 หน้าจอตั้งค่า Network.....	27
3.22 หน้าจอ Tx Overview.....	28
3.23 รับสัญญาณภาพโทรทัศน์.....	28
3.24 Constellation 64-QAM.....	29
3.25 หน้าจอ Echo.....	29
3.26 Spectrum ของสัญญาณ.....	29
4.1 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 1.....	30
4.2 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 1.....	30

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 1.....	31
4.4 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 1.....	31
4.5 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 2.....	31
4.6 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 2.....	32
4.7 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 2.....	32
4.8 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 2.....	32
4.9 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 3.....	33
4.10 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 3.....	33
4.11 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 3.....	33
4.12 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 3.....	34
4.13 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 4.....	34
4.14 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 4.....	34
4.15 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 4.....	35
4.16 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 4.....	35
4.17 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 5.....	35
4.18 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 5.....	36
4.19 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 5.....	36
4.20 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 5.....	36
4.21 กราฟแสดงค่า Power ทั้ง 5 Mux.....	37
4.22 กราฟแสดงค่า MER ทั้ง 5 Mux.....	37
4.23 กราฟแสดงค่า Noise Margin ทั้ง 5 Mux.....	38
4.24 กราฟแสดงค่า C/N ทั้ง 5 Mux.....	38

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 PDF ของค่า Power.....	40
4.26 PDF ของค่า MER.....	40
4.27 PDF ของค่า Noise Margin.....	41
4.28 PDF ของค่า C/N.....	41
4.29 CDF ของค่า Power.....	42
4.30 CDF ของค่า MER.....	42
4.31 CDF ของค่า Noise Margin.....	43
4.32 CDF ของค่า C/N.....	43
4.33 Predicted Power (Regression) ของ Mux 1.....	44
4.34 Predicted MER (Regression) ของ Mux 1.....	44
4.35 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 1.....	45
4.36 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 1.....	45
4.37 Predicted Power (Regression) ของ Mux 2.....	45
4.38 Predicted MER (Regression) ของ Mux 2.....	46
4.39 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 2.....	46
4.40 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 2.....	46
4.41 Predicted Power (Regression) ของ Mux 3.....	47
4.42 Predicted MER (Regression) ของ Mux 3.....	47
4.43 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 3.....	47
4.44 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 3.....	48
4.45 Predicted Power (Regression) ของ Mux 4.....	48
4.46 Predicted MER (Regression) ของ Mux 4.....	48

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 4.....	49
4.48 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 4.....	49
4.49 Predicted Power (Regression) ของ Mux 5.....	49
4.50 Predicted MER (Regression) ของ Mux 5.....	50
4.51 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 5.....	50
4.52 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 5.....	50

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ เรื่องความถี่ที่ใช้ในด้านกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ เป็นเรื่องที่ถูกผู้ประกอบการทั้งหลายถือว่า ระบบดิจิทัลได้นำมาสู่การเปลี่ยนแปลง ทั้งแนวคิดและแนวปฏิบัติ ในการส่งข้อมูลข่าวสาร เพียงสัญญาณคลื่นความถี่เดียว ก็สามารถส่งข้อมูลได้มากมายและหลายช่อง จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ ที่ทางผู้ประกอบการจะต้องเข้ามาศึกษาและทำความเข้าใจกับการส่งข้อมูลในระบบดิจิทัล ตลอดจนระเบียบ กฎหมาย และข้อบังคับตามที่ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) กำหนด

เทคโนโลยีการส่งข้อมูลทางโทรทัศน์ หลายประเทศได้ศึกษา พัฒนา และปรับเปลี่ยนไปสู่ระบบดิจิทัลมานานแล้ว บางประเทศสามารถส่งรายการโทรทัศน์ผ่านโทรศัพท์มือถือ ในประเทศไทยเอง ได้เริ่มต้นใช้โทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-T2 ตามยุโรป เพื่อการเปลี่ยนแปลงที่สมบูรณ์ ปัจจุบันจึงอยู่ในช่วงพัฒนา ทั้งด้านการส่งสัญญาณ คุณภาพของภาพและเสียง เพื่อให้ระบบการออกอากาศแบบดิจิทัลครอบคลุมผู้ใช้งานทั่วประเทศ และสามารถยกเลิกการออกอากาศระบบแอนะล็อกได้ในที่สุด

ตามข้อกำหนดของ กสทช. นั้น ประเทศไทยออกอากาศโทรทัศน์ดิจิทัล แบบโครงข่ายความถี่เดียว หรือ Single Frequency Network (SFN) แต่เนื่องจากปัจจุบันยังอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านจากระบบแอนะล็อกไปสู่ดิจิทัล แม้ในบางพื้นที่ที่ยังออกอากาศระบบแอนะล็อกอยู่ ยังต้องใช้โครงข่ายหลายความถี่ (MFN) แต่การศึกษาระบบโครงข่ายความถี่เดียว จึงเปรียบเสมือนการเตรียมพร้อมเข้าสู่ระบบการออกอากาศของประเทศไทยอย่างจริงจัง รวมทั้งทาง อสมท เองก็เป็นหนึ่งในผู้ให้บริการโครงข่าย (Mux 3) รวมถึงเป็นผู้ผลิตรายการโทรทัศน์ด้วย ทำให้การศึกษาระบบโครงข่ายความถี่เดียว (SFN) เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

- 1.2.1 ศึกษากระบวนการออกอากาศการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินยุคที่สอง (DVB-T2)
- 1.2.2 ศึกษาการออกอากาศโครงข่ายความถี่เดียว และพารามิเตอร์ที่สำคัญ
- 1.2.3 ทดลองการส่งสัญญาณที่ต่ำที่สุดที่ยังคงสามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้
- 1.2.4 ศึกษาข้อกำหนด และระเบียบแบบแผนตาม กสทช.

### 1.3 ขอบเขตของการทดลอง

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการออกอากาศในปัจจุบัน คือการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินยุคที่สอง (DVB-T2)
- 1.3.2 ศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกอากาศภายใต้ข้อกำหนดของ กสทช.
- 1.3.3 ศึกษาคลื่นความถี่และทดลองระบบโครงข่ายความถี่เดียว โดยการออกอากาศทั้ง 5 Mux
- 1.3.4 การทดลองวัดสัญญาณ มาจากเครื่องส่งเครื่องเดียวกันทั้งหมด
- 1.3.5 การหาค่าต่ำสุดของสัญญาณ ใช้ทั้ง Attenuator และ Noise Generator ในการลดทอนสัญญาณ

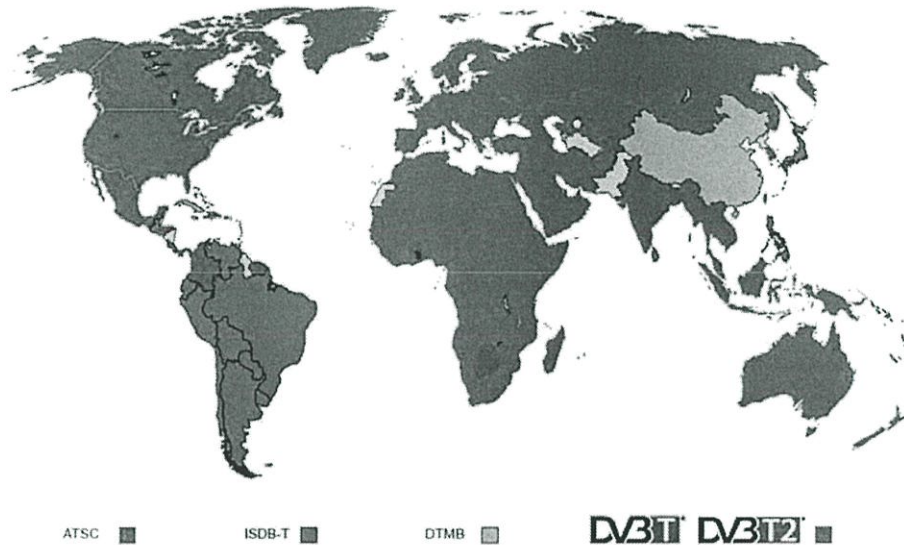
### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้เข้าใจระบบการออกอากาศโทรทัศน์แบบดิจิทัล DVB-T2
- 1.4.2 เตรียมพร้อมรับมือสู่การเปลี่ยนแปลงในวงการโทรทัศน์
- 1.4.3 รับรู้ถึงประสิทธิภาพของการออกอากาศ และคุณภาพของสัญญาณ
- 1.4.4 เก็บข้อมูลการทดลองในเชิงสถิติเพื่อใช้อ้างอิงและเปรียบเทียบในอนาคต
- 1.4.5 เป็นแนวทางสำหรับการทดลองในระบบโครงข่ายความถี่เดียวต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

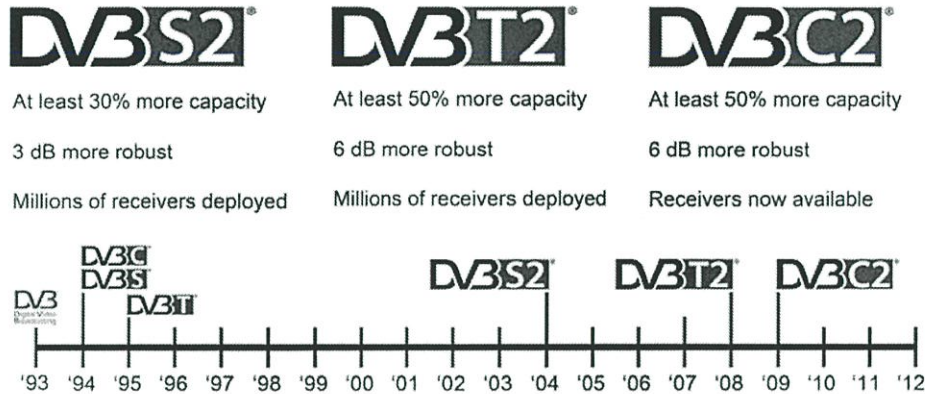
#### 2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล



รูปที่ 2.1 ระบบการส่งโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่มีการใช้งานอยู่ทั่วโลก [12]

- ATSC (Advanced Television System Committee in USA)  
ใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา และเกาหลีใต้
- ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)  
ใช้งานในประเทศญี่ปุ่น บราซิล และกลุ่มประเทศอเมริกาใต้
- DVB (Digital Video Broadcasting)  
ใช้งานจำนวนมากในหลายประเทศ โดยเป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจากทวีปยุโรป
- DMB-T (Digital Multimedia Broadcasting)  
พัฒนาและใช้งานในประเทศจีน

## 2.2 เทคโนโลยีการแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ Digital Video Broadcasting (DVB)



รูปที่ 2.2 พัฒนาการระบบ DVB [11]

เป็นมาตรฐานกลางของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล (digital television) ที่ปรับปรุงและแก้ไขโดย DVB Project ซึ่งเป็นการร่วมมือกันของกลุ่มธุรกิจที่มีสมาชิกมากกว่า 270 ราย โดยมาตรฐานของ DVB นั้น ออกโดย Joint Technical Committee (JTC) ซึ่งเป็นคณะกรรมการที่เกิดจากการรวมตัวกันได้แก่

- European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
- European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)
- European Broadcasting Union (EBU)

DVB สามารถส่งข้อมูลผ่านได้ทั้งสัญญาณดาวเทียม (DVB-S หรือ DVB-S2) ทางสายเคเบิล (DVB-C) หรือผ่านการกระจายสัญญาณจากเสาสัญญาณเหมือนโทรทัศน์ทั่วไป (Terrestrial) (DVB-T) (DVB-T2) หรือระบบสัญญาณเพื่อโทรทัศน์แบบพกพา (DVB-H) โดยการส่งข้อมูลนั้น DVB ได้ระบุรูปแบบในการส่งข้อมูลใน physical layer และ datalink layer ไว้ โดยอุปกรณ์รับสัญญาณจะติดต่อกับ physical layer ผ่านทาง Synchronous Parallel Interface (SPI), Synchronous Serial Interface (SSI), หรือ Asynchronous Serial Interface (ASI) ในการส่งข้อมูลนั้นข้อมูลทั้งหมดจะส่งในรูปแบบของ MPEG-2 Transport stream โดยที่จะมีข้อจำกัดบางอย่างที่ต้องเพิ่มเติมเข้าไป (DVB-MPEG) ส่วนมาตรฐานของการบีบอัดข้อมูลสำหรับอุปกรณ์พกพานั้นกำลังอยู่ในการพัฒนา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้งานระบบ DVB-T2 มีข้อดีดังนี้

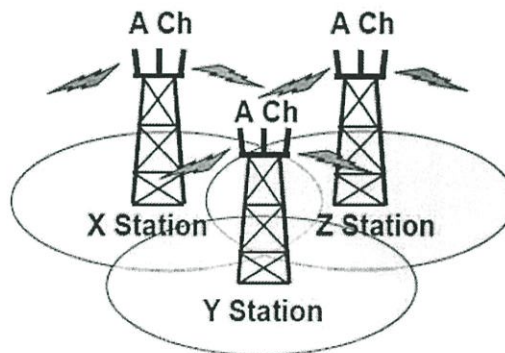
- DVB-T2 เป็นมาตรฐานใหม่ที่พัฒนามาจาก DVB
- DVB-T2 มีประสิทธิภาพการใช้งานคลื่นความถี่ดีกว่า DVB-T ถึง 30-50%
- โครงข่ายแบบ SFN ของระบบ DVB-T2 สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพกว่าระบบ DVB-T

- DVB-T2 สามารถบรรจุจำนวนรายการได้มากกว่าระบบ DVB-T ประมาณ 50%
- อุปกรณ์ DVB-T มีจำนวนมากในท้องตลาด ขณะที่อุปกรณ์ DVB-T2 เริ่มเข้าสู่ตลาดประมาณปี 2009 แต่คาดว่าจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากในปี 2012 (ราคาจะลดลงอย่างรวดเร็ว)

### 2.3 ระบบโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network)

SFN คือการใช้ความถี่เดียวทั่วทุกพื้นที่ของประเทศในการออกอากาศ โครงข่ายแบบ SFN ถือได้ว่ามีจุดเด่นเรื่องประสิทธิภาพการใช้งานความถี่อย่างมาก เนื่องจากใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่น้อยลง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องของการรบกวนแบบ self-interference หรือ inter-symbol interference ซึ่งเกิดจากสัญญาณจากแต่ละสถานีส่งมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกันและออกนอกกรอบเวลาของ guard time

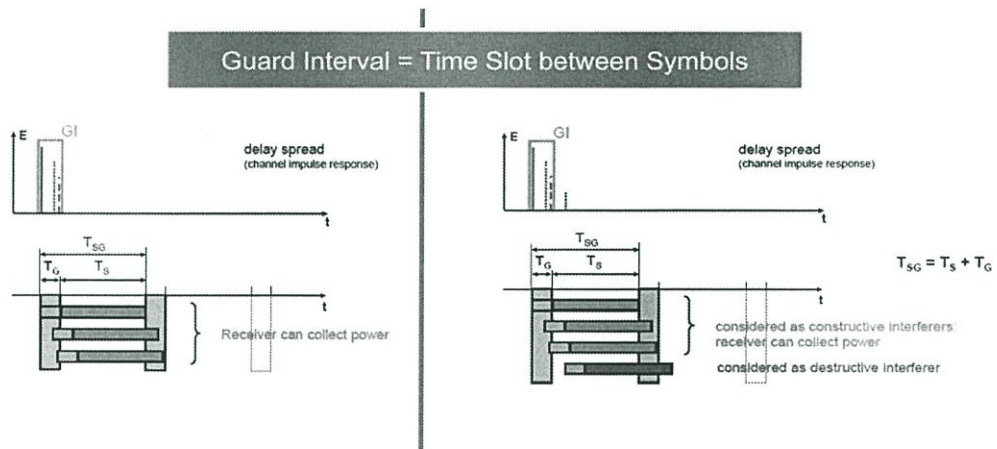
ดังนั้นโครงข่ายแบบ SFN ซึ่งอาศัยเทคโนโลยี COFDM จึงมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะห่างสูงสุดของเครื่องส่ง เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณจากแต่ละแหล่งที่ไปถึงแต่ละจุดของเขตบริการ ยังอยู่ในกรอบเวลาของ guard time



**Single Frequency Network**

รูปที่ 2.3 Single Frequency Network [11]

Guard Interval (GI) ช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งทนทานต่อคลื่นประเภท indirect wave เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าธรรมชาติของการส่งกระจายเสียงด้วยคลื่นวิทยุ นั้น สัญญาณที่วิ่งเข้าเสาอากาศเครื่องรับ ณ เวลาหนึ่ง ๆ จะประกอบไปด้วย direct wave กับสัญญาณที่ได้รับ multipath effect เกิดเป็น indirect wave จำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถคาดเดาค่าเฟสและขนาดของมัน ณ ช่วงเวลาที่วิ่งเข้าเสาอากาศได้ โดยที่ indirect wave เหล่านี้จริง ๆ แล้วก็เปรียบได้กับสัญญาณ delay signal ของ direct wave นั่นเอง

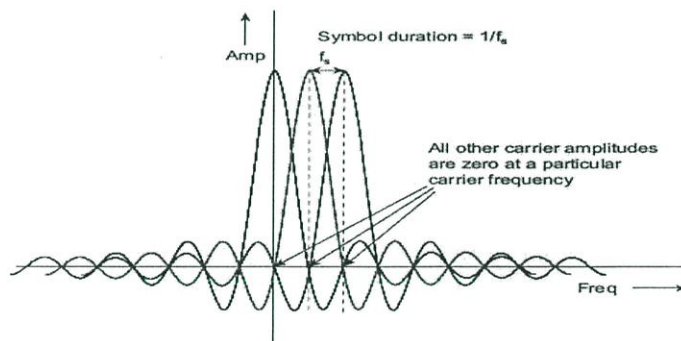


รูปที่ 2.4 Guard Interval [11]

## 2.4 การมอดูเลตสัญญาณ

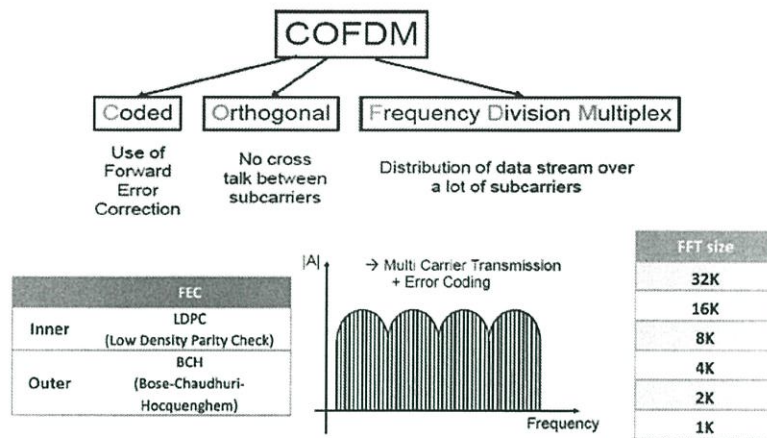
### 1) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

การ Mod ที่ประยุกต์ใช้ Modulator ชนิดต่าง ๆ โดยใช้ Carrier หลาย ๆ ความถี่ (Multi Carrier) ที่ไม่สามารถทวนกันเอง (orthogonal frequency) ปรับไม่ให้เกิดการรบกวนระหว่าง channel หรือ จาก multipath Interference ทำให้ลดปัญหาของ Noise ลงไป



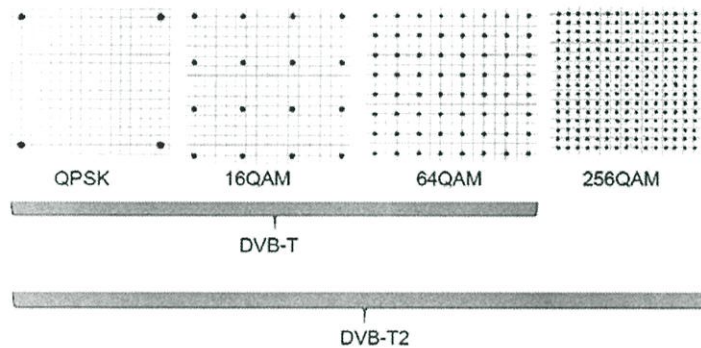
รูปที่ 2.5 OFDM [5]

2) COFDM (Coded-OFDM) คือ OFDM ที่มีการส่งสัญญาณตรวจสอบ ERROR (Forward Correction Coding) เพิ่มไปด้วย ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากขึ้น การตรวจสอบ Error ใน COFDM จะใช้วิธี Convolution บิตของ data ที่ส่งในก้อนนั้น ๆ (Convolution คือ การ Integrate แบบ discrete time) ตาม วิธี Viterbi algorithm เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และ ปรับแก้ข้อมูลให้ถูกต้อง



รูปที่ 2.6 COFDM [10]

## 3) รูปแบบการมอดูเลชัน







รูปที่ 2.7 รูปแบบการมอดูเลชัน [14]

- Quadratic Phase shift keying (QPSK) (ใช้ใน 802.11b) ในการ Mod 1 ครั้ง แทนที่จะใส่แค่ 0 หรือ 1 เราสามารถ 00, 01, 10, 11 ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้น 4 เท่า หรือมากกว่า
- 16-QAM (คือ Amplitude & Quadratic Phase Shift Keying) ใช้ทั้ง Amplitude และ Phase โดยจะได้ bandwidth มากขึ้นไปถึง 16 code (4 bit = 0000, 0001, ..., 1111)
- 64-QAM (คือ Amplitude & Quadratic Phase Shift Keying) ใช้ทั้ง Amplitude และ Phase โดยจะได้ bandwidth มากขึ้นไปถึง 64 code (6 bit = 000000, 000001, ..., 111111)

- 256-QAM (คือ Amplitude & Quadratic Phase Shift Keying) ใช้ทั้ง Amplitude และ Phase โดยจะได้ bandwidth มากขึ้นไปถึง 256 code (8 bit = 00000000, 00000001, ..., 11111111)

## 2.5 ข้อกำหนดของ กสทช. สำหรับการส่งโทรทัศน์ดิจิทัลประเทศไทย

Items	Specification/Requirement
Transmission System	DVB-T2 
Formats (Resolution)	SD and HD HD – High Definition (1080i or 720p) SD – Standard Definition (576i) 
Video compression	MPEG-4 AVC/H.264 
Audio compression	MPEG-4 HE AACv2 (5.1 Channel audio is optional) 
Middleware	- (broadcasters may seek a consensus among themselves and propose to NBTC for approval. The middleware has to be open standard)

รูปที่ 2.8 คุณสมบัติของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลตาม กสทช. [12]

## ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงพารามิเตอร์การมอดูเลตสัญญาณและอัตราการเข้ารหัส

การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)	อัตราการเข้ารหัส (Code Rate)
QPSK หรือ 16-QAM หรือ 64-QAM หรือ 256-QAM	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงทางเลือกสำหรับแบบรูปสัญญาณไหลอด ในกรณีขนาด FFT และสัดส่วนช่วงเวลาป้องกันต่าง ๆ โดยอ้างอิงตามเอกสาร ETSI EN 302 755

ขนาด FFT (FFT Size)	สัดส่วนช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval Fraction)						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	PP7	PP4 PP6	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	
16K	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8K	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4K		PP7 PP4	PP4 PP5		PP2 PP3		PP1
2K		PP7 PP4	PP4 PP5		PP2 PP3		PP1
1K		-	PP4 PP5		PP2 PP3		PP1

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงทางเลือก FFT Size และ GI Fraction ที่สัมพันธ์กับพื้นที่การให้บริการในการออกแบบโครงข่ายในลักษณะ Single Frequency Network (SFN)

Guard Interval ( $\mu$ s)	Max. Cell Radius (km.)	(FFT Size, Guard Interval Fraction), % overhead จาก Guard Interval					
532	159.6	(32k,19/128), 14.8%					
448	134.4	(32k,1/8), 12.5%	(16k,1/4), 25%				
266	79.8	(32k,19/256), 7.4%	(16k,19/128), 14.8%				
224	67.2	(32k,1/16), 6.25%	(16k,1/8), 12.5%	(8k,1/4), 25%			
133	39.9		(16k,19/256), 7.4%	(8k,19/128), 14.8%			
112	33.6	(32k,1/32), 3.1%	(16k,1/16), 6.25%	(8k,1/8), 12.5%	(4k,1/4), 25%		
66.5	19.95			(8k,19/256), 7.4%			
56	16.8		(16k,1/32), 3.1%	(8k,1/16), 6.25%	(4k,1/8), 12.5%	(2k,1/4), 25%	
28	8.4	(32k,1/128), 0.78%		(8k,1/32), 3.1%	(4k,1/16), 6.25%	(2k,1/8), 12.5%	(1k,1/4), 25%
14	4.2		(16k,1/128), 0.78%		(4k,1/32), 3.1%	(2k,1/16), 6.25%	(1k,1/8), 12.5%
7	2.1			(8k,1/128), 0.78%		(2k,1/32), 3.1%	(1k,1/16), 6.25%

ค่าความจุหรืออัตราบิตของระบบ DVB-T2 เป็นค่าที่สำคัญในการกำหนดจำนวนช่องรายการภายในหนึ่งช่องความถี่ ค่าอัตราบิตผันแปรตามพารามิเตอร์ของระบบ อาทิ ขนาด FFT, ช่วงเวลาป้องกัน, แบบรูปสัญญาณไหลอด, แบบวิจจทั้งแบบ Normal Mode หรือ Extended Mode, การมอดูเลตสัญญาณ และอัตราการเข้ารหัส เป็นต้น การคำนวณค่าอัตราบิตในแต่ละพารามิเตอร์สามารถอ้างอิงได้จาก ETSI TS 102 831 การเลือกพารามิเตอร์ให้เหมาะสมต่อการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ กันจะมีผลทำให้อัตราบิตที่ได้แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.6 อ้างอิงจากเอกสาร EBU Tech 3348

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงอัตราบิตสำหรับการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ

Implementation	Fixed Rooftop Reception MFN	Fixed Rooftop Reception (Maximum Coverage Area Extension)	Fixed Rooftop Reception Large Area SFN
Bandwidth	8 MHz	8 MHz	8 MHz
FFT Mode	32k	32k	32k
Carrier Mode	Extended	Extended	Extended
Scattered Pilot Pattern	PP7	PP2	PP2
Guard Interval	1/128 (28 $\mu$ s)	1/8 (448 $\mu$ s)	1/8 (448 $\mu$ s)
Modulation	256-QAM	16-QAM	256-QAM
Code Rate	2/3	2/3	2/3
C/N	20.0 dB	11.6 dB	21.2 dB
Data Rate	40.2 Mbit/s	16.7 Mbit/s	33.4 Mbit/s

## 2.6 พารามิเตอร์การส่งโทรทัศน์ระบบดิจิทัลสำหรับประเทศไทย

ในประเทศไทย ใช้พารามิเตอร์สำหรับระบบ DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) เป็นมาตรฐาน การส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลที่มีความทันสมัย ประสิทธิภาพในการทำงานดีที่สุดในขณะนี้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการส่งสัญญาณระบบ DVB-T2 คือจะได้ภาพและเสียงที่คมชัด และรับช่องสัญญาณได้มากขึ้น

ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
FFT Size	16k Extended
Guard Interval	19/128
Modulation	64-QAM
Code Rate	3/5
Pilot Pattern	PP2
Rotated Constellation	Off
Physical Layer Pipe (PLP)	Single
L1-post Constellation	BPSK

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
T2 Frame per Super Frame	2
Data Symbol per T2 Frame	118 symbols per T2 frame
Max FEC Block per interleaving Frame	139 blocks
Time interleaving Block per interleaving Frame	3 blocks

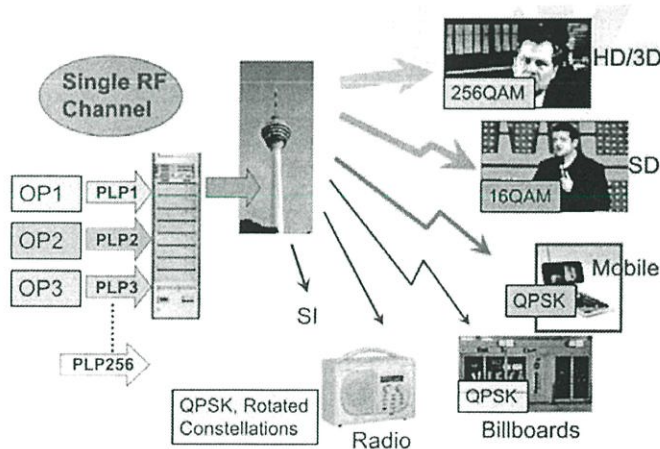
Parameters	Values
FFT Size	16k extended
Guard Interval	19/128
PLP Modulation	64-QAM
PLP Code Rate	3/5



Capacity	21.93 Mbps
Time Interleaving Depth	81.71 msec.
C/N Fixed Rooftop	15.17 dB
C/N Portable Indoor	16.91 dB
Maximum transmitter distance (in case of SFN)	79.74 km

รูปที่ 2.9 ผลของระบบตามค่าพารามิเตอร์ [10]

- การส่งแบบ Multiple PLP (physical layer pipes)



รูปที่ 2.10 Multiple PLP [14]

มีการแยกปรับโหมดเกี่ยวกับการกำหนดค่าความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ ในการที่จะรองรับการให้บริการส่งโทรทัศน์ในรูปแบบต่างสภาพการใช้งาน ตัวอย่าง เช่น การรับสัญญาณโทรทัศน์ภายใน

อาคาร หรือการรับสัญญาณโทรทัศน์จากสายอากาศที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารที่พักอาศัย อีกทั้งช่วยให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยเฉพาะเครื่องรับโทรทัศน์ ช่วยประหยัดพลังงานในการถอดรหัสสัญญาณ ด้วยการให้บริการส่งสัญญาณแบบหลายรายการรวมกัน

## 2.7 วิวัฒนาการบีบอัดสัญญาณวิดีโอ

### 2.7.1 JPEG

การบีบอัดสัญญาณวิดีโอที่ค้นได้มีวิวัฒนาการตั้งแต่การบีบอัดภาพนิ่ง คือมาตรฐาน JPEG พัฒนาโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญภาพนิ่ง (Joint Photographic Expert Group) เป็นการเริ่มต้น ใช้ DCT และการแบ่งนัย (Quantization) เป็นเครื่องมือ ต่อมาพัฒนาเป็น M-JPEG เพื่อการบีบอัดภาพเคลื่อนไหว บีบอัดเฉพาะ I เฟรม จึงบีบอัดได้น้อยแต่เสียเวลาหน่วงเหนี่ยวน้อย เหมาะสำหรับงานตัดต่อ ผลิตรายการในห้องส่ง

### 2.7.2 H.261

ออกแบบเพื่อใช้ในการสื่อสาร Teleconference มีเป้าหมายขนาดข้อมูล 64 kbits หรือผลคูณของ 64 kbits ( $n \times 64 \text{ kbits}$ ) โดยการนำวิธีการขดเคยการเคลื่อนที่ แปลงข้อมูลแบบ DCT เฟรม I และเฟรม P บีบอัดได้พอสมควร และเสียเวลาหน่วงเหนี่ยวน้อย

### 2.7.3 MPEG-1

ในปี ค.ศ.1992 MPEG : Motion photographic Expert Group ได้ออกแบบมาตรฐาน MPEG-1 เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลบนแผ่น CD หรือ HDD สำหรับการแสดงผลแบบ Progressive Scan มาตรฐานภาพ SIF : Standard Interface Format บนจอคอมพิวเตอร์ ขนาดภาพ 352x288 pixel 25 Hz (จึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเพื่อ Interlaced Scan) ขนาดข้อมูลไม่เกิน 1.5 Mbits แปลงข้อมูลแบบ DCT เฟรม I, P และเริ่มใช้ B เฟรม ทั้งการทำนายทั้งแบบไปข้างหน้าและถอยหลัง จึงบีบอัดสัญญาณได้มาก แต่เสียเวลาหน่วงเหนี่ยวพอสมควร ใน MPEG-1 มีเฉพาะ Program Stream : PS ซึ่งประกอบด้วย Packet Element Stream : PES ที่รวมสัญญาณภาพและเสียงไว้ด้วยกัน VLC มีขนาดสูงสุด 64 Kbyte ในรูปแบบสตรีมข้อมูล จึงเหมาะสำหรับจัดเก็บในแผ่น CD และ HDD ไม่ใช้ในการ Transmission MPEG-1 ได้รับการรับรองเป็นมาตรฐาน ISO/IEC ดังนี้

Part 1 System มาตรฐาน ISO/IEC 11172-1 “PES Layer”

Part 2 Video มาตรฐาน ISO/IEC 11172-2

Part 3 Audio มาตรฐาน ISO/IEC 11172-3

### 2.7.4 MPEG-2

พัฒนาต่อจาก MPEG-1 และ H.261 ในปี 1995 โดยมีเป้าหมายความชัดเจนระดับมาตรฐานภาพ BT.601 ขนาดภาพ 720x576 Pixel 25 Hz สำหรับการแสดงผลแบบ Interlaced Scan เพื่อใช้สำหรับแพร่ภาพโทรทัศน์ SDTV และ DVD ขนาดข้อมูล 2-10 Mbps และ 16-50 Mbps สำหรับแพร่ภาพ HDTV จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงนิยมใช้ MPEG-2 เป็นมาตรฐานบันทึกลงใน HDD เพื่อการผลิตรายการ การกระจายสัญญาณ ทั้งแบบ Contribution และ Distribution ทั้ง SDTV และ HDTV ทั้ง MPEG-1 และ MPEG-2 เป็นมาตรฐาน ISO/IEC ดังนี้

Part 1 System มาตรฐาน ISO/IEC 13818-1 “Transportation”

Part 2 Video มาตรฐาน ISO/IEC 13818-2

Part 3 Audio มาตรฐาน ISO/IEC 13818-3

Part 7 Multi Channel audio มาตรฐาน ISO/IEC 13818-7

#### 2.7.5 MPEG-4

องค์การระหว่างประเทศ 2 องค์การ คือองค์การด้าน Broadcasting ISO/IEC และองค์การโทรคมนาคม ITU ร่วมมือกันพัฒนา MPEG-4 ต่อเนื่องจาก MPEG-2 และ H.263 เพื่อใช้ในกิจการสื่อสาร 2 ทาง (Interactive) สำหรับ Multimedia ขนาดข้อมูลเล็ก ๆ เหมาะกับการสื่อสารผ่านโครงข่ายอยู่กับที่ และโครงข่ายไร้สาย โดยเฉพาะการ Streaming ผ่าน Internet แต่การพัฒนาได้ผลดีเกินคาด คือสามารถใช้ขนาดข้อมูลตั้งแต่ 28-500 kbps สำหรับการ Streaming ผ่าน Internet, Mobile Phone และข้อมูลขนาด 0.8-4 Mbps สำหรับแพรภาพ SDTV ซึ่ง MPEG-4 ได้รับการรองรับเป็นมาตรฐาน ISO/IEC ดังนี้

Part 1 System มาตรฐาน ISO/IEC 14496-1

Part 2 Visual มาตรฐาน ISO/IEC 14496-2

Part 3 Audio มาตรฐาน ISO/IEC 14496-3

#### 2.7.6 H.264/AVC

ITU และ ISO/IEC ได้ตั้งคณะทำงานร่วมกันเพื่อพัฒนา มาตรฐานการบีบอัดสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงได้พัฒนา H.264/AVC ขึ้นมาจาก MPEG-4 คือ MPEG-4 part 10 ที่มาตรฐาน ITU เรียกว่า H.264 และด้าน Broadcast มาตรฐาน Part 10 ISO/IEC 14496-10 H.264/AVC: Advance Video Coding

H.264/AVC มีเป้าหมายความชัดเจนระดับมาตรฐาน BT.601 ขนาดภาพ 720x576 Pixel 25 Hz สำหรับการแสดงผลทั้งแบบ Interlaced Scan และ Progressive Scan เพื่อใช้สำหรับการแพรภาพโทรทัศน์ SDTV มีขนาดข้อมูล 0.8-4 Mbps และข้อมูลขนาด 6-12 Mbps สำหรับแพรภาพ HDTV และ HD DVD

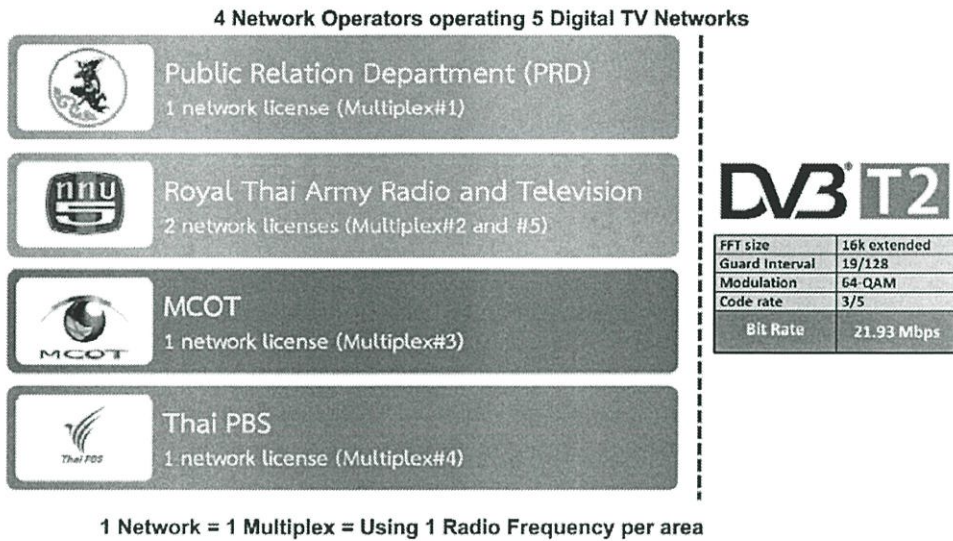
#### 2.7.7 MPEG-7

พัฒนาปี 2001 เพื่อเป็นคำอธิบายเนื้อหาสื่อประสมเพื่อประโยชน์ในการเชื่อมโยงข้อมูล Metadata XML Based ISO/IEC 15938 “Multimedia Content Description Interface”

#### 2.7.8 MPEG-21

พัฒนาในปี 2002 เพื่อกำหนดโครงร่างของสื่อประสม ได้รับการรองรับเป็นมาตรฐาน ISO/IEC Additional “Tools” ISO/IEC 21000

## 2.8 การออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศไทย



รูปที่ 2.11 ผู้ให้บริการโครงข่ายทีวีดิจิทัล [10]

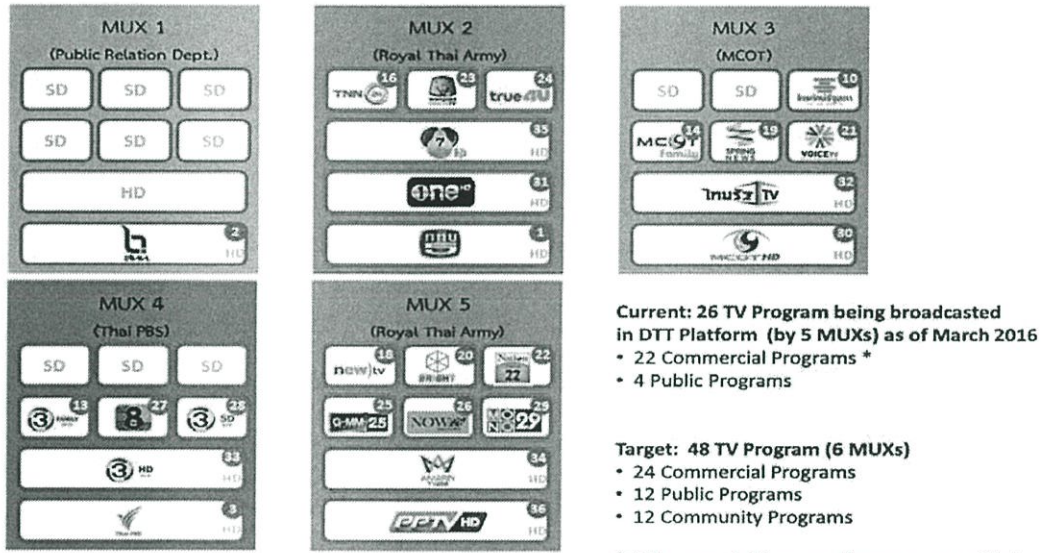
เป็นระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภายในอาณาเขตประเทศไทย โดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นหน่วยงานภาครัฐ ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรง กำหนดระยะเวลาของการทดลองออกอากาศไว้ ระหว่างวันอังคารที่ 1 ถึงวันพฤหัสบดีที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2557 ก่อนจะกำหนดเวลาให้ผู้ประกอบการทุกราย เตรียมความพร้อมขั้นสุดท้าย เพื่อเริ่มออกอากาศในส่วนกลาง ระหว่างวันศุกร์ที่ 25 เมษายน ถึงวันอาทิตย์ที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

โดยตามแผนของ กสทช. จะเริ่มทำการยุติการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก ภายในปี พ.ศ. 2558 แต่ในแผนดำเนินการจริง ของสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบแอนะล็อก เมื่อถึงปี พ.ศ. 2558 ไทยพีบีเอส จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกใน 2 พื้นที่ พ.ศ. 2559 ไทยพีบีเอส จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกใน 26 พื้นที่ พ.ศ. 2560 ไทยพีบีเอส จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกใน 21 พื้นที่ ททบ.5 จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกใน 4 พื้นที่ สทท. จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกในทั่วประเทศ พ.ศ. 2561 ไทยพีบีเอส จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกใน 3 พื้นที่ที่เหลือ ททบ.5 จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกใน 37 พื้นที่ที่เหลือ โมเดิร์นไนน์ทีวี จะยุติการออกอากาศระบบแอนะล็อกในทั่วประเทศ ส่วนช่อง 3 และช่อง 7 จะหมดสัมปทานในปี พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 ตามลำดับ

ตามแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ พ.ศ. 2555 กำหนดให้เริ่มต้นรับส่งสัญญาณ วิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ด้วยระบบดิจิทัลภายในเวลา 4 ปี นับแต่วันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2555 ซึ่งประกาศแผนแม่บทฉบับดังกล่าว และสืบเนื่องด้วย แผนแม่บทกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ ฉบับที่ 1 (กรอบการดำเนินงานอยู่ในช่วงระหว่างปี 2555-2559) มีการกำหนดยุทธศาสตร์ และระยะเวลาในการเปลี่ยนผ่านจากการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ด้วยระบบแอนะล็อก ไปสู่การใช้ระบบดิจิทัล โดยให้เริ่มรับส่ง

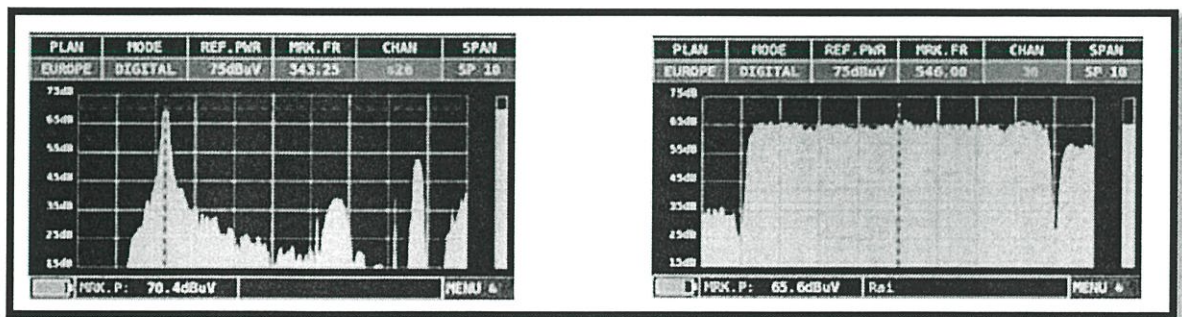
สัญญาณวิทยุกระจายเสียง และวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ด้วยระบบดิจิทัล ภายใน 4 ปี, ให้มีมาตรการสนับสนุนการวิจัย และพัฒนาการผลิตอุปกรณ์รับสัญญาณ วิทยุกระจายเสียงและวิทยุโทรทัศน์ ภายใน 3 ปี, ให้มีมาตรการสนับสนุน อุปกรณ์รับสัญญาณวิทยุกระจายเสียง และวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล สำหรับผู้มีรายได้น้อย ภายใน 3 ปี และให้มีจำนวนครัวเรือนในเมืองใหญ่ ที่สามารถรับสัญญาณวิทยุกระจายเสียง และวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ในระบบดิจิทัลได้ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ภายใน 5 ปี

- ช่องรายการที่ออกอากาศในปัจจุบัน



รูปที่ 2.12 ช่องรายการในแต่ละ Mux [10]

2.9 การตรวจวัดคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล



รูปที่ 2.13 สเปกตรัมของสัญญาณโทรทัศน์ระบบ Analog และ Digital

### 2.9.1 ความแตกต่างระหว่างการวัด Analog TV กับ Digital TV

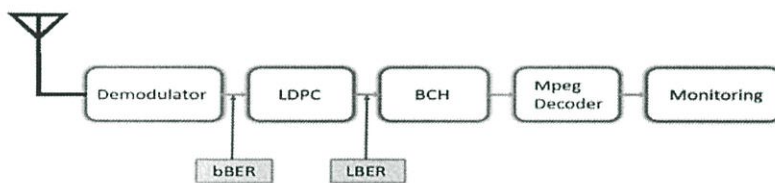
Analog TV เราจะวัดเป็น voltage ของ single video carrier และอ่านในค่าหน่วยเป็น dB $\mu$ V เช่น 60 dB $\mu$ V

Digital TV เราจะวัดเป็น Power ของค่าเฉลี่ยของ Power ทั้งหมด มีหน่วยเป็น mW โดย 0 dBm มีค่าเท่ากับ 1 mW

### 2.9.2 ความเข้มของสนามไฟฟ้าต่อการรับ

Analog TV ความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อการรับอย่างชัดเจน นั่นคือ ถ้าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าสูง ก็จะรับสัญญาณได้ชัดเจน แต่ถ้ามีค่าต่ำก็จะรับสัญญาณได้ไม่ชัดเจน

Digital TV ความเข้มสนามไฟฟ้าที่วัดได้เพียง 50 dB $\mu$ V ก็สามารถทำให้สัญญาณที่รับได้มีความชัดเจน ถึงจะรับสัญญาณแรงกว่านี้ก็ไม่มีผลอะไรกับความชัดเจนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมการตรวจวัดสัญญาณจากเครื่องมือวัด

### 2.9.3 การหา QUASI ERROR FREE (QEF)

QEF เป็นจุดที่ใช้ประเมิน Power หรือ C/N ต่ำที่สุดสำหรับเครื่องรับที่รับได้หรือใช้ประเมิน Receiver Sensitivity ซึ่งเป็นจุดที่สัญญาณอ่อนที่สุดที่ยังคงถอดสัญญาณภาพออกมาได้ มี 2 เทคนิค คือ ESR5 และ BER after LDPC (หรือ BER before BCH)

การหาจุด QEF ด้วย ESR5

- ESR5 ถูกกำหนดอยู่ใน ETSI TR 101 290
- ใช้ step attenuator ในการปรับลดทอนสัญญาณลงจนกระทั่งไม่สามารถชมรายการได้ (ประเมินจากการชมทีวี)
- ทำการเฝ้าดูในช่วงเวลา 20 วินาที
- ในช่วงเวลา 20 วินาทีอนุญาตให้มีภาพผิดพลาดได้ไม่เกิน 1 วินาที ถ้าเกินกว่านี้ถือว่ารับภาพไม่ได้
- จุดที่ step attenuator ปรับจนก่อนรับภาพไม่ได้ หรือก่อน Fail ให้ทำการบันทึกค่า Power วัดได้ เป็นค่า Pin, min หรือ ค่า power ต่ำสุดของสัญญาณขาเข้าเครื่องรับ นำค่านี้มาคำนวณส่วนต่างของ power ก่อนใส่ step attenuator หรือ Pin ได้เป็น Margin of Threshold (dB)

การหาจุด QEF ด้วย BER AFTER LDPC

- BER after LDPC ที่จุด QEF คือค่า  $1 \times 10^{-7}$

- BER after BCH ที่จุด QEF คือ  $1 \times 10^{-11}$
- ในทางปฏิบัติการวัด BER ที่ระดับ  $1 \times 10^{-7}$  จะใช้เวลาในการวัดนาน จึงให้ทำการวัด BER ที่ระดับ  $1 \times 10^{-4}$  และค่า C/N ที่วัดได้ให้ทำการบวกชดเชย 0.2 dB
- ในการทดลองภาคสนาม ที่จุด QEF สามารถประเมินได้จาก BER before LDPC =  $1 \times 10^{-2}$

## 2.10 พารามิเตอร์ในการวัดสำหรับโครงข่าย

### 2.10.1 Power

การวัดค่ากำลังงานของสัญญาณ โดยการวัดสัญญาณนั้นจะต้องเข้าใจการอ่านจากเครื่องมือวัดนั้น ๆ และยังต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้กับเครื่องมือวัดว่ามีค่า 50 หรือ 75 โอห์ม โดยหน่วยการวัดของกำลังส่งใช้เป็นวัตต์ (Watt) ซึ่งปกติแล้วระดับการส่งสัญญาณที่ส่งออกมา นั้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้หน่วยวัดเป็น dBm และ dBμV

ซึ่ง dBm หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัดมิลลิวัตต์ เช่น กำลังส่ง 20 mW เท่ากับ 13 dBm และ dBμV หมายถึง ค่า dB (เดซิเบล) เทียบกับมาตรฐานหน่วยวัด Voltage (dBμV แรงดันไฟฟ้าเทียบกับหนึ่งไมโครโวลต์ นิยมใช้กับระบบโทรทัศน์ โดย 60 dBμV = 0 dBmV)

### 2.10.2 คุณภาพ (Quality)

การวัดคุณภาพของสัญญาณที่ต้องการจะพิจารณาโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณแทรกสอด หรือวิธีการสังเกตอย่างง่ายคือดูจากภาพและเสียงที่แสดงผลออกมา ซึ่งในเครื่องมือวัด ROVER HD PROTAB นี้ จะแสดงค่าเป็น PASS=ดี, MARG=พอรับได้ และ FAIL=ค่อนข้างต่ำ

### 2.10.3 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio (C/N))

คือ อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน เป็นการวัดผลกระทบของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณที่รับเข้ามา หรือบางครั้งเรียก CNR เป็นอัตราส่วนที่สำคัญของดิจิทัลทีวี เพราะเป็นขอบของการตรวจจับสัญญาณ โดยค่าอัตราส่วน C/N จะเปลี่ยนตาม Channel type (Gaussian, Ricean, Rayleigh)

นอกจากนี้การทดสอบการลดลงของคุณภาพสัญญาณเนื่องจากการถูกรบกวน โดยการวัดคุณภาพสัญญาณที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของสัญญาณที่อาจจะเกิดการถูกรบกวนจากภายนอก โดยเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่เครื่องรับสามารถรับได้ที่ระดับ 20 dB เช่นถ้ามีค่าการรบกวนจนทำให้ค่า C/N เท่ากับ 20.5 dB แสดงว่าสัญญาณนี้ถูกทำให้เสื่อมลงไป 0.5 dB

### 2.10.4 ค่า MER

อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันหรือค่า MER เป็นตัวแสดงค่าประสิทธิภาพ ของการส่งสัญญาณ DVB-T2 โดยการวัดค่าเบี่ยงเบนจากค่าในอุดมคติ ค่า MER จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยที่จะส่งผลต่อค่า BER และ ถ้าการส่งสัญญาณมีค่า MER สูงและการรบกวนเป็นแค่การเสื่อมลงของสัญญาณที่รับได้ จากสมการ (1)

$$MER[dB] = 10 \log \left[ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right] \quad (1)$$

เมื่อความผิดพลาดของเวกเตอร์ คือ ค่าที่ได้จากสัญญาณ IQ (I: In-Phase คือ สัญญาณที่ให้ค่าเอาต์พุตเฟสเดียวกันกับอินพุต และ Q: Quadrature-Phase คือสัญญาณเอาต์พุตต่างเฟสกับอินพุต 90 องศา)

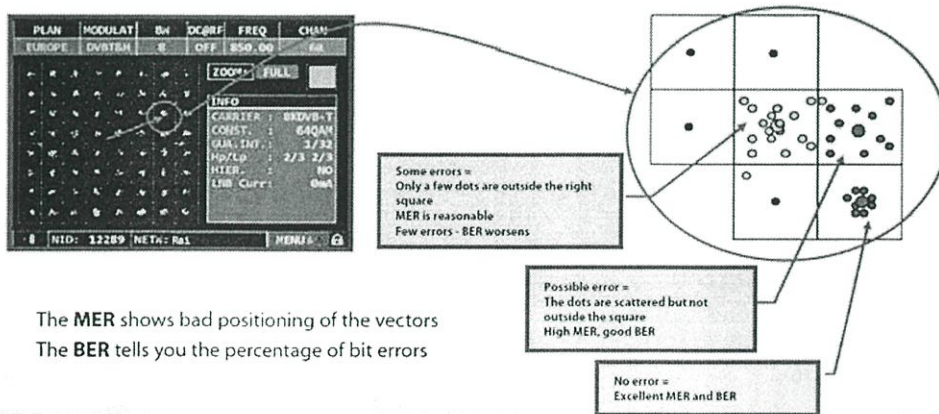
จากการที่เฟสและแอมพลิจูดของ IQ เปลี่ยนไปนั้น จะทำให้สามารถสร้างจุดบน Constellation diagram โดยจุดนั้น ๆ จะเป็นตำแหน่งของ Symbol ข้อมูลที่ทำการส่งไป โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าในอุดมคติกับค่าที่วัดได้ โดยได้จากผลรวมกำลังสองของขนาดเวกเตอร์สัญญาณในอุดมคติ  $(I_j, Q_j)$  หารด้วยผลรวมกำลังสองของขนาดเวกเตอร์สัญญาณที่ผิดพลาด  $(\delta I_j, \delta Q_j)$  โดยจะมีหน่วยเป็น dB

2.10.5 ค่า Bit Error Ratio (BER)

Common definition:  $BER = \frac{\text{erroneous\_bits}}{\text{Total\_number\_of\_bits}}$

รูปที่ 2.15 การหาค่า BER [9]

BER คืออัตราส่วนระหว่างบิตข้อมูลที่ผิดพลาดเทียบกับจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลาที่วัด ถ้าหากบิตข้อมูลที่เครื่องรับรับได้มีความผิดพลาดมีมากจนเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแสดงผลภาพและ เสียงได้ ซึ่งค่า BER นี้ มักจะได้รับผลกระทบจาก Carrier-to-Noise Ratio และ Modulation Error Ratio.



รูปที่ 2.16 ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการวัด [9]

#### 2.10.5.1 before bit error rate (bBER)

หรือเรียกว่า Channel bit error rate คือค่าที่รับได้หลังจากผ่านการดีมอดูเลชัน ก่อนนำไปเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสต่อไป โดยค่านี้จะอยู่ที่ประมาณ  $2 \times 10^{-2}$  ถือเป็นค่ามากที่สุด (ค่ายิ่งต่ำกว่า  $2 \times 10^{-2}$  ยิ่งดี) ที่ยังทำให้การรับสัญญาณ DVB-T2 ยังสามารถรับสัญญาณได้ตามปกติ โดยที่สัญญาณไม่สะดุดหรือสัญญาณภาพไม่มีการขาดหาย

#### 2.10.5.2 LDPC bit error rate (LBER)

คือค่า bBER ที่ถูกส่งผ่านเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสแบบ LDPC (Low-Density Parity-Check) แล้ว นำเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghen) หลังจากนั้นจะทำให้มีค่าต่ำกว่า หรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-11}$  ในการแสดงค่านิยมแสดงเป็นอัตราส่วนเช่น  $1 \times 10^{-11}$  หมายความว่ามีความผิดพลาด 1 บิตต่อการส่งแสนล้านบิต

#### 2.10.6 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน SNR (Signal to Noise Ratio)

คือ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือบางครั้งเรียก S/N เป็นวิธีการวัดค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่ต้องการกับกำลังของสัญญาณรบกวน ค่านี้เป็นการบ่งบอกคุณภาพของสัญญาณ ณ จุดต่าง ๆ ว่ามีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่มากเท่าใด โดยถ้าหากค่า SNR มีค่าสูง แสดงว่ากำลังของสัญญาณที่ต้องการมีมากกว่ากำลังสัญญาณรบกวนแต่ถ้าหากค่า SNR ต่ำ แสดงว่าคุณภาพของสัญญาณไม่ดีคือมีการรบกวนสูง ซึ่งค่า SNR นี้มักจะบอกมาในหน่วย dB นั่นคือค่า SNR ที่ดีต้องมีค่ามาก คุณภาพยิ่งดี

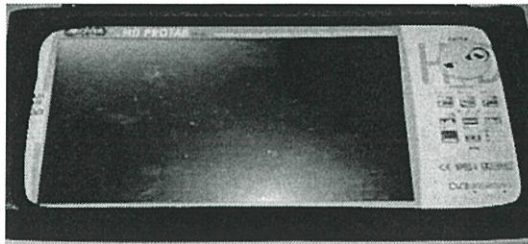
## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

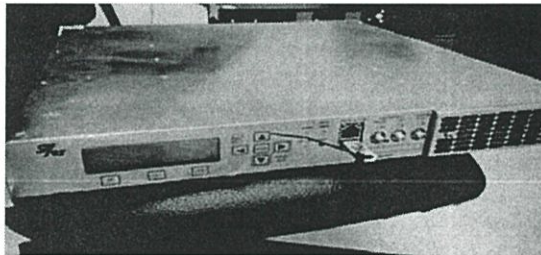
3.1.1 Laptop 2 เครื่อง

3.1.2 เครื่องวัดสัญญาณ Broadcast Analyzer (ROVER HD PROLAB) 1 เครื่อง



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดสัญญาณ (ROVER)

3.1.3 เครื่อง Syes Exciter 2 เครื่อง



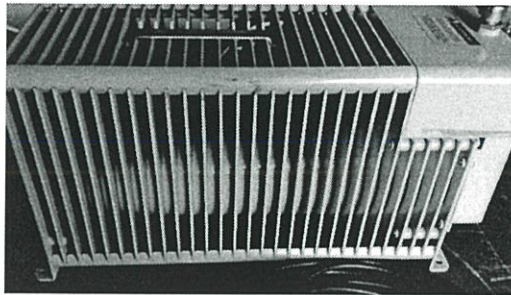
รูปที่ 3.2 เครื่อง Exciter

3.1.4 เครื่อง IRD (Integrated Receive Decoder) 1 เครื่อง



รูปที่ 3.3 เครื่อง IRD

## 3.1.5 Dummy Load 2 ตัว



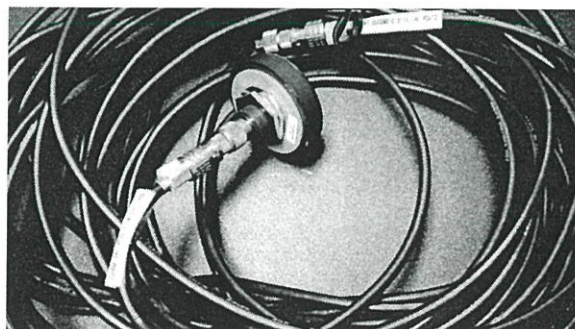
รูปที่ 3.4 Dummy Load

## 3.1.6 Noise Generator 1 เครื่อง

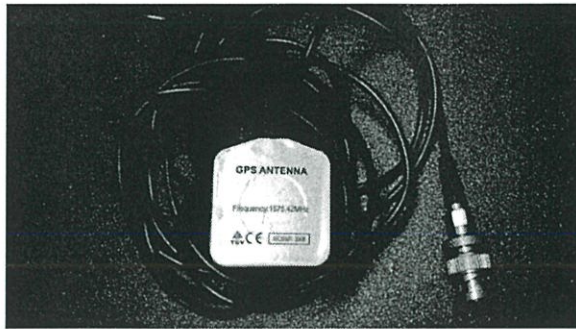


รูปที่ 3.5 Noise Generator

## 3.1.7 GPS Antenna (Global Positioning System Antenna) 2 ตัว

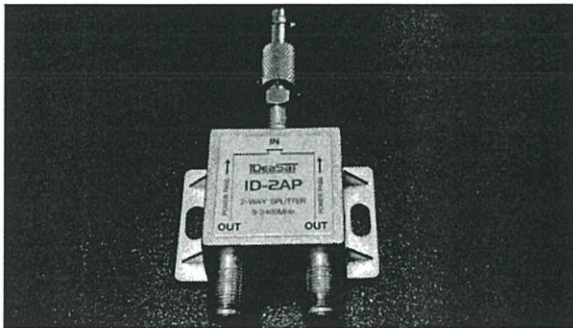


รูปที่ 3.6 GPS antenna (1)



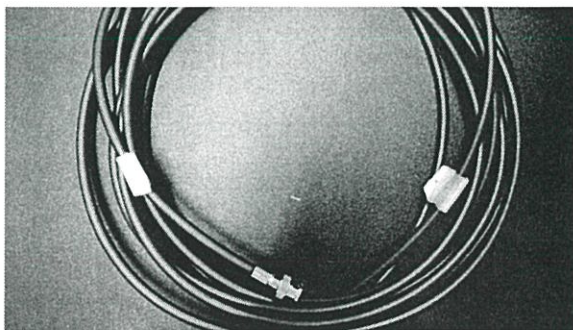
รูปที่ 3.7 GPS antenna (2)

### 3.1.8 Splitter 2 ตัว

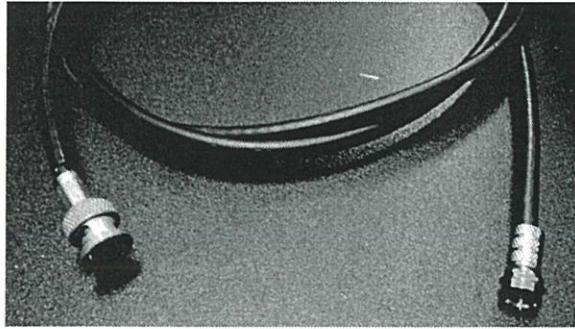


รูปที่ 3.8 Splitter

### 3.1.9 สายเชื่อมต่ออุปกรณ์



รูปที่ 3.9 สายต่อหัว BNC

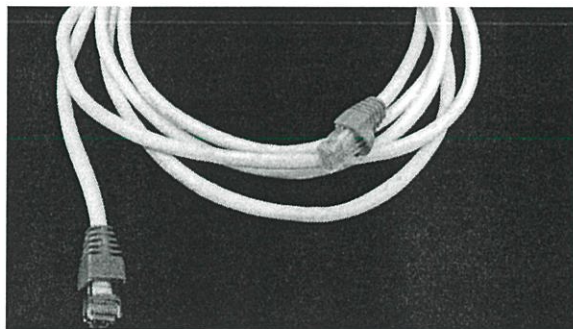


รูปที่ 3.10 สายต่อหัว BNC และ F-type



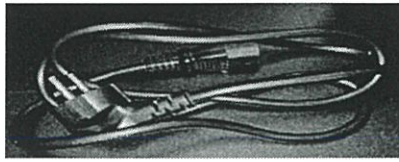
รูปที่ 3.11 สายต่อหัวต่อ n-type และ BNC

### 3.1.10 สาย LAN หัว RJ-45



รูปที่ 3.12 สาย LAN หัว RJ-45

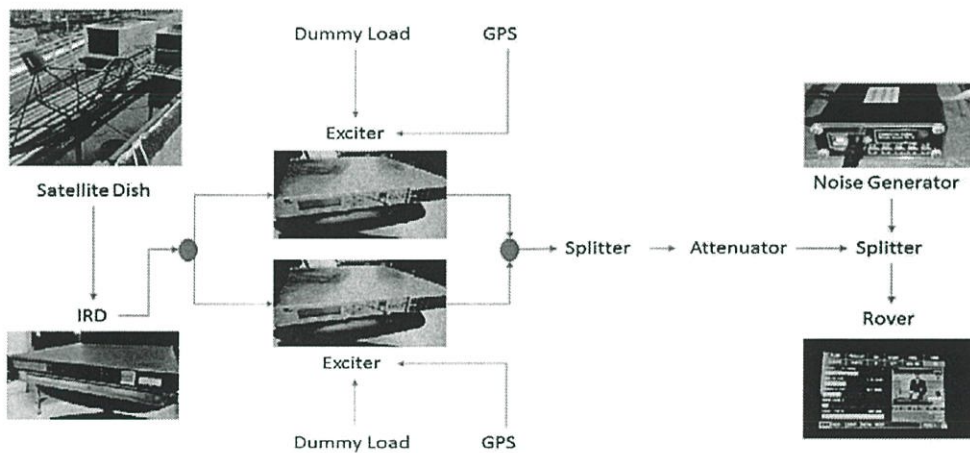
## 3.1.11 สาย AC power



รูปที่ 3.13 สาย AC power

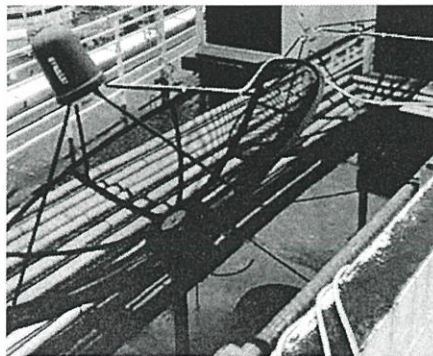
## 3.2 การดำเนินการทดลอง

## 3.2.1 ภาพรวมการต่ออุปกรณ์



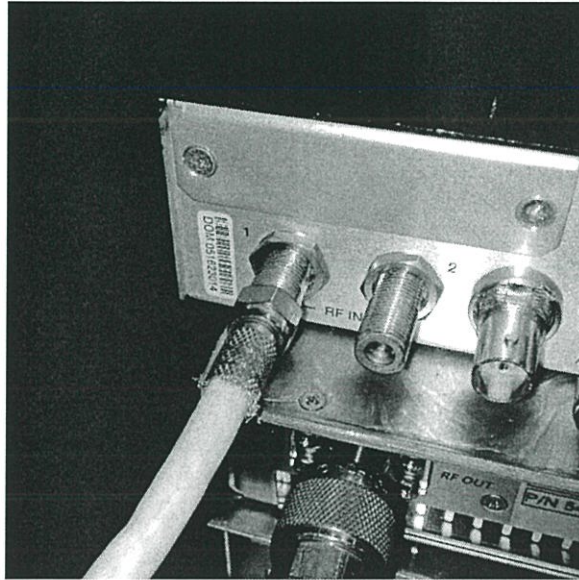
รูปที่ 3.14 แผนผังการต่ออุปกรณ์

## 3.2.2 ต่อสายรับสัญญาณจากจานดาวเทียม



รูปที่ 3.15 จานดาวเทียม

### 3.2.3 ต่อสายสัญญาณเข้าเครื่อง IRD ช่อง RF IN



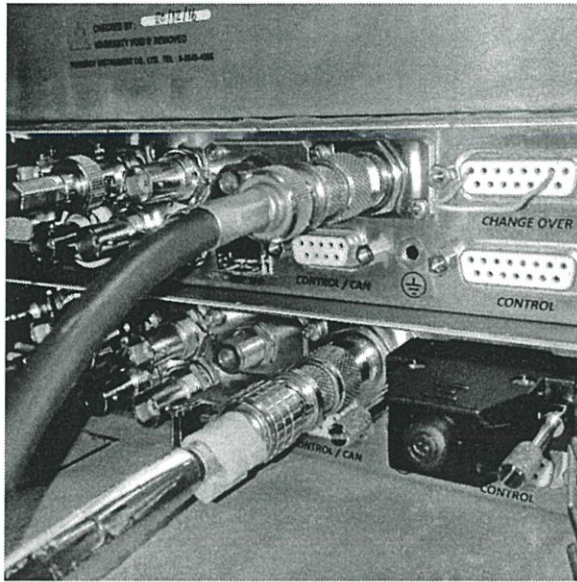
รูปที่ 3.16 ช่อง RF IN เครื่อง IRD

### 3.2.4 ต่อสายจากเครื่อง IRD จากช่อง ASI OUT เข้าเครื่อง Exciter ไปยังช่อง ASI IN



รูปที่ 3.17 ช่อง ASI IN เครื่อง Exciter

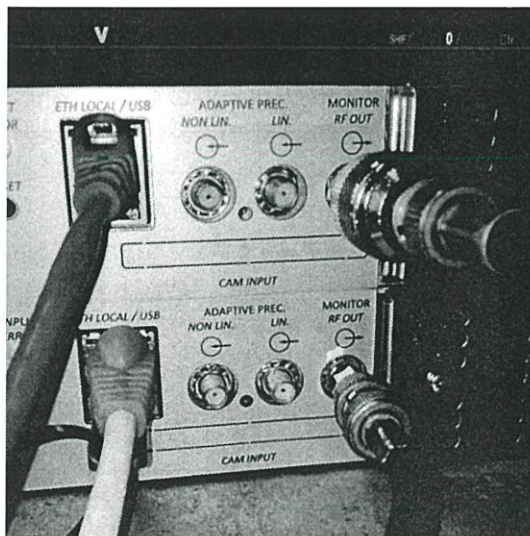
3.2.5 ต่อสาย GPS ตรงช่อง GPS ให้กับเครื่อง Exciter ทั้ง 2 เครื่อง



รูปที่ 3.18 ช่อง GPS เครื่อง Exciter

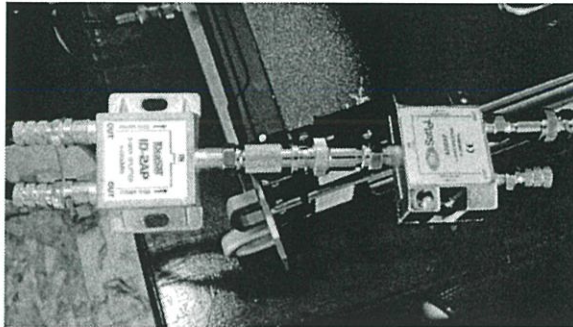
3.2.6 ต่อสายไปยัง Dummy Load จากเครื่อง Exciter ที่ช่อง RF out ตามข้อ 3.2.3

3.2.7 ต่อสาย LAN เข้ากับ Laptop และต่อสายสัญญาณเครื่อง Exciter จากช่อง Monitor RF out



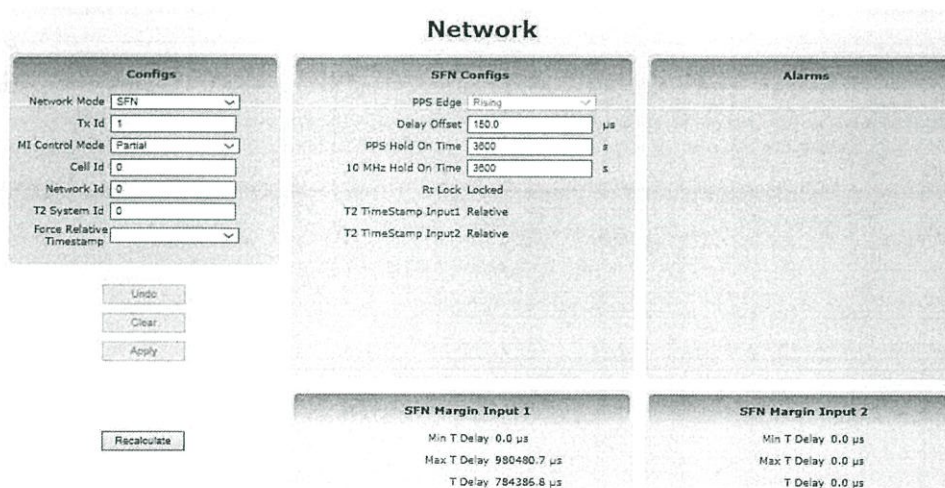
รูปที่ 3.19 ช่อง RF out เครื่อง Exciter

- 3.2.8 รวมสัญญาณจาก Exciter ทั้ง 2 เครื่องด้วย Splitter
- 3.2.9 รวมสัญญาณที่ได้จากข้อ 3.2.7 เข้ากับสัญญาณจาก Noise Generator



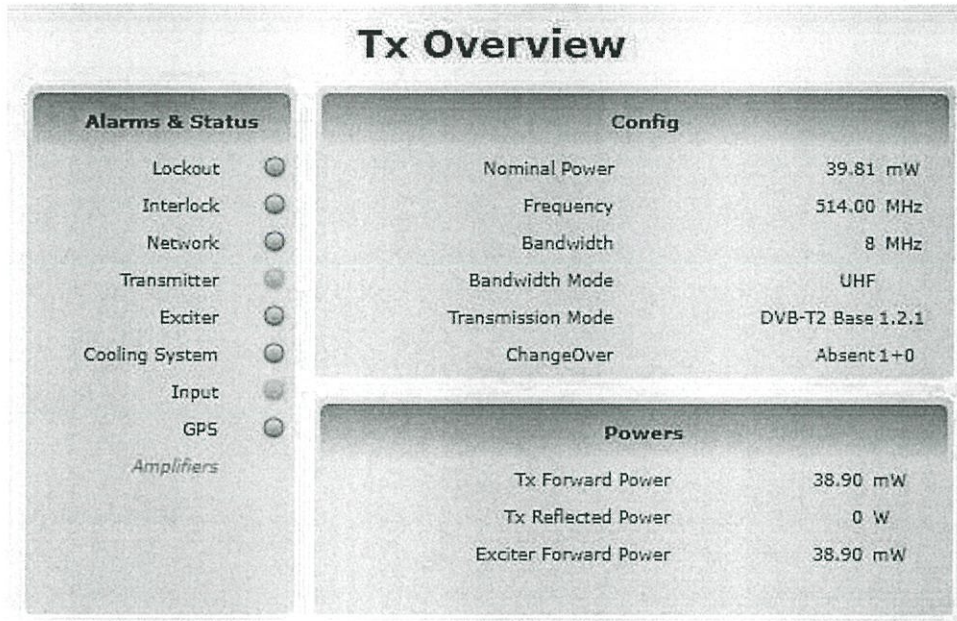
รูปที่ 3.20 รวมสัญญาณด้วย Splitter

- 3.2.10 ต่อสายสัญญาณเข้าเครื่องวัดสัญญาณ (ROVER)
- 3.2.11 เข้าไปเซตค่าเครื่อง Exciter ทั้ง 2 เครื่อง โดยเป็นโหมด DVB-T2 และ Power 16 dBm และค่าพารามิเตอร์ตามที่ กสทช. กำหนด
- 3.2.12 เซตค่าดีเลย์ให้เครื่องแรกคงไว้ที่ 0 us และอีกเครื่องสามารถปรับค่าไปได้เรื่อย ๆ โดยปรับเพิ่มครั้งละ 10 us จาก 0 us ไปจนถึง 270 us แต่ละค่าดีเลย์วัดซ้ำ 20 ครั้ง จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย



รูปที่ 3.21 หน้าจอตั้งค่า Network

- 3.2.13 ปรับเปลี่ยนช่องความถี่ให้ครบทั้ง 5 mux ตามช่องความถี่ที่ใช้ออกอากาศใน กรุงเทพมหานคร



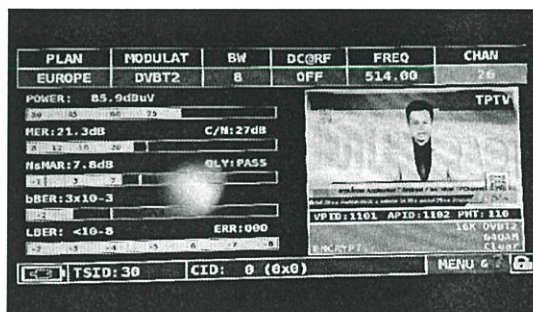
รูปที่ 3.22 หน้าจอ Tx Overview

3.2.14 บันทึกค่าลงตาราง และถ่ายภาพบันทึกผลการทดลอง

### 3.3 การบันทึกภาพของการวัดสัญญาณจากเครื่องวัด (ROVER)

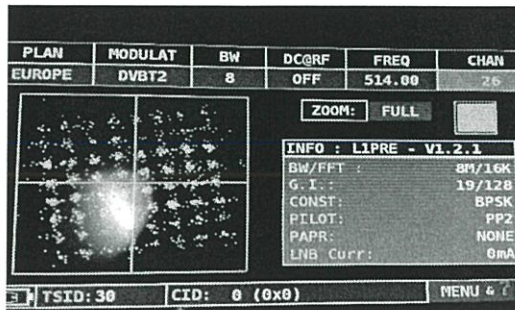
- ผลการวัดในแต่ละ MUX จะมี 2 กรณี คือ ค่าสัญญาณปกติ และค่าสัญญาณต่ำสุด
- ในกรณีหาค่าสัญญาณต่ำสุด เป็นการหาจุด Quasi Error Free (QEF) คือเป็นจุดที่สัญญาณอ่อนที่สุดที่ยังคงถอดสัญญาณภาพออกมาได้

3.3.1 สามารถรับสัญญาณภาพโทรทัศน์ได้



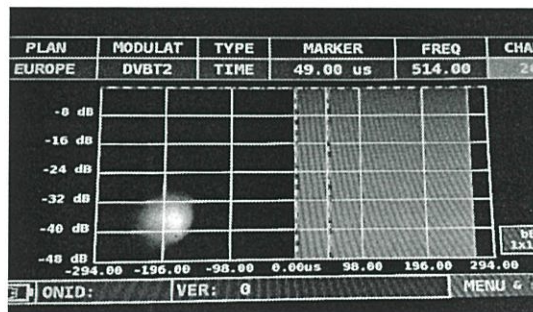
รูปที่ 3.23 รับสัญญาณภาพโทรทัศน์

### 3.3.2 Constellation เป็นแบบ 64-QAM



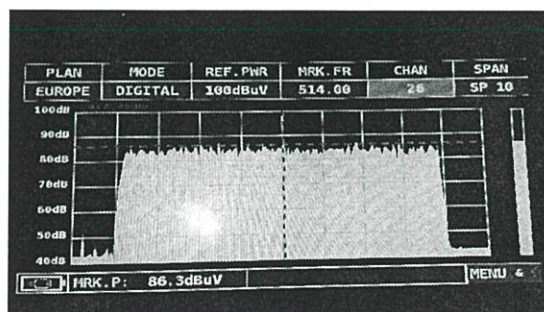
รูปที่ 3.24 Constellation 64-QAM

### 3.3.3 หน้าจอ Echo แสดง Delay ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.25 หน้าจอ Echo

### 3.3.4 หน้าจอแสดงภาพ Spectrum ของสัญญาณ



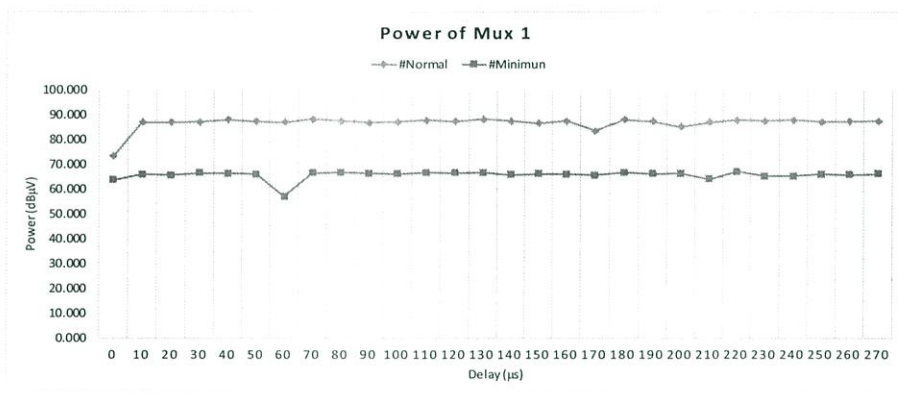
รูปที่ 3.26 Spectrum ของสัญญาณ

## บทที่ 4

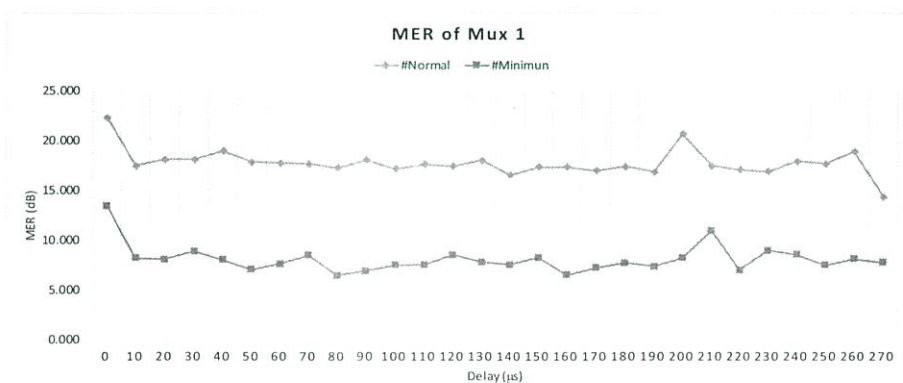
### ผลการทดลอง

การเก็บผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด จากการวัดสัญญาณทั้ง 5 Mux ซึ่งประกอบด้วย ค่า Power (dB $\mu$ V) ,MER (dB) ,Noise Margin (dB) และค่า C/N (dB) ในช่วงดีเลย์ 0 – 270  $\mu$ s โดยเก็บค่าในกรณีที่วัดสัญญาณปกติ และค่าสัญญาณต่ำสุด โดยจะใช้อุปกรณ์ 2 ชนิด สำหรับการลดทอนสัญญาณ คือ Attenuator และ Noise Generator ได้ผลการวัดสัญญาณจากการเฉลี่ย 20 ครั้ง ดังนี้

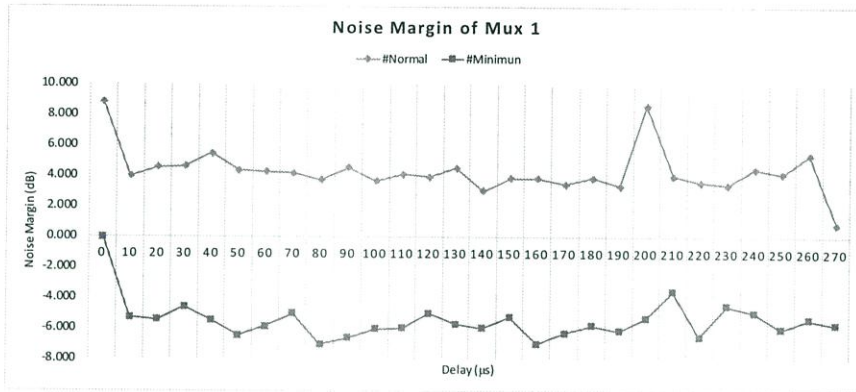
#### 4.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 1 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด



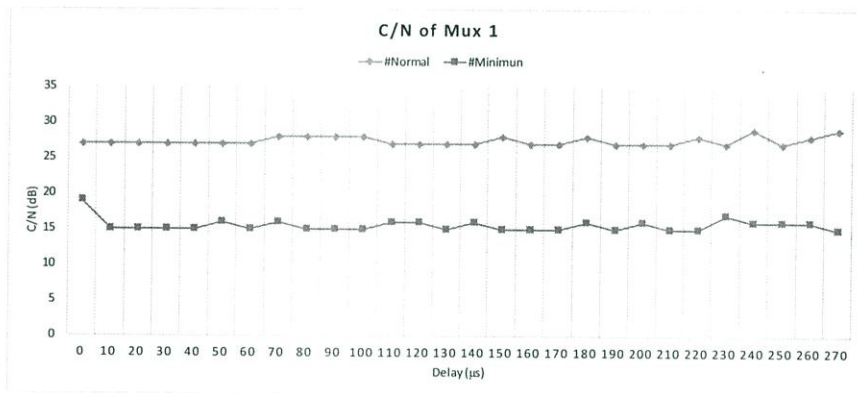
รูปที่ 4.1 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 1



รูปที่ 4.2 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 1

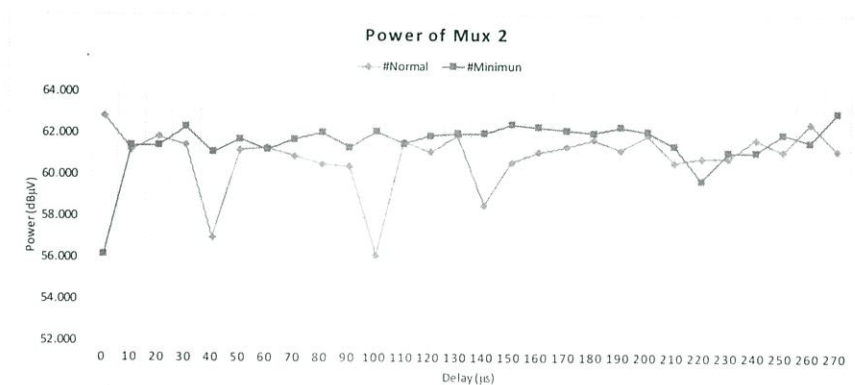


รูปที่ 4.3 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 1

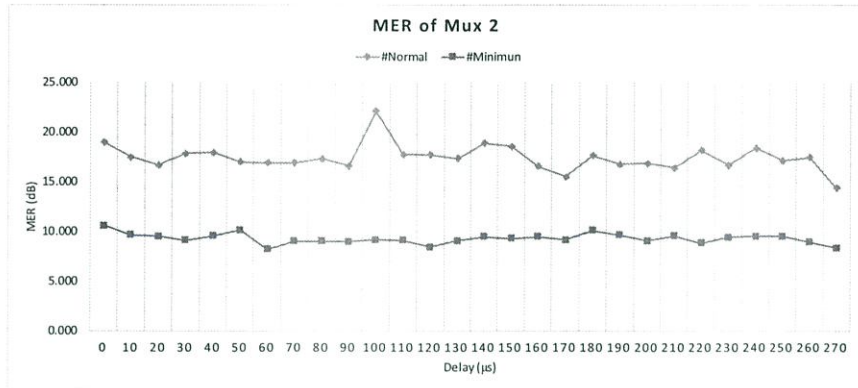


รูปที่ 4.4 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 1

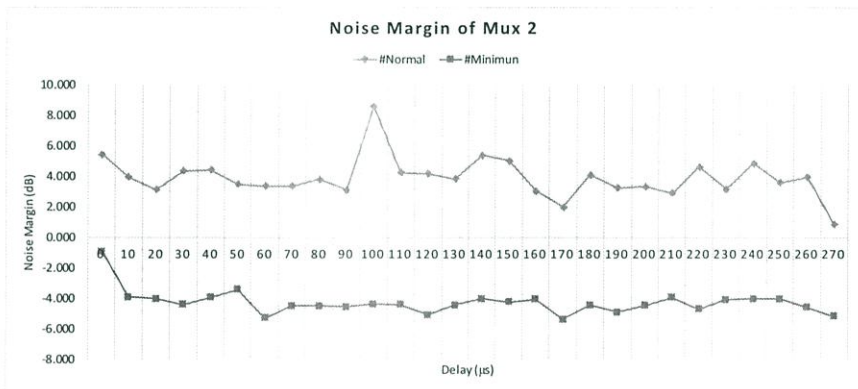
4.2 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 2 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด



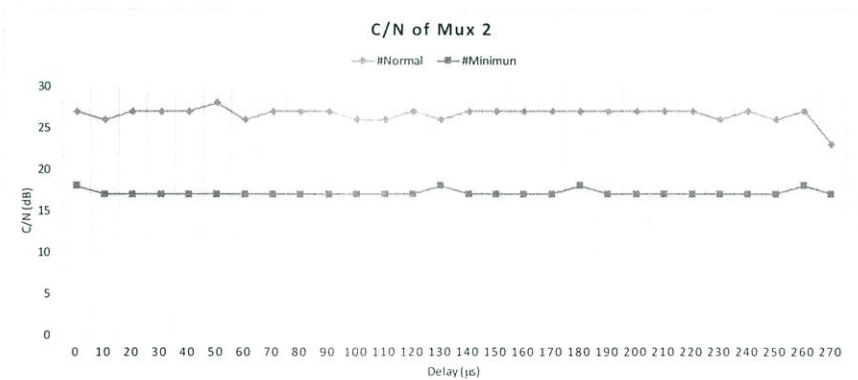
รูปที่ 4.5 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 2



รูปที่ 4.6 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 2

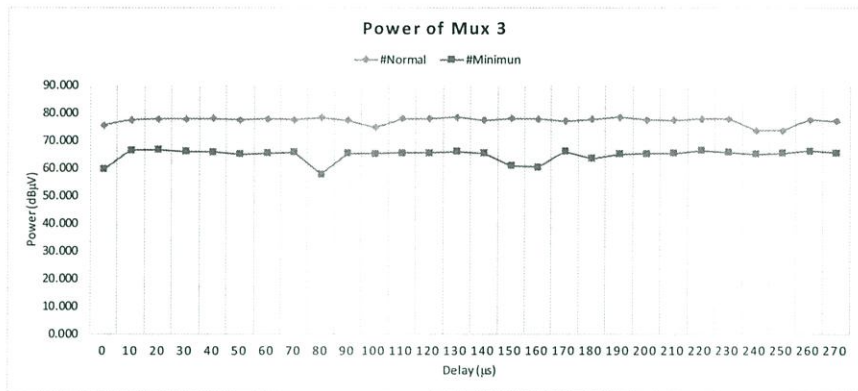


รูปที่ 4.7 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 2

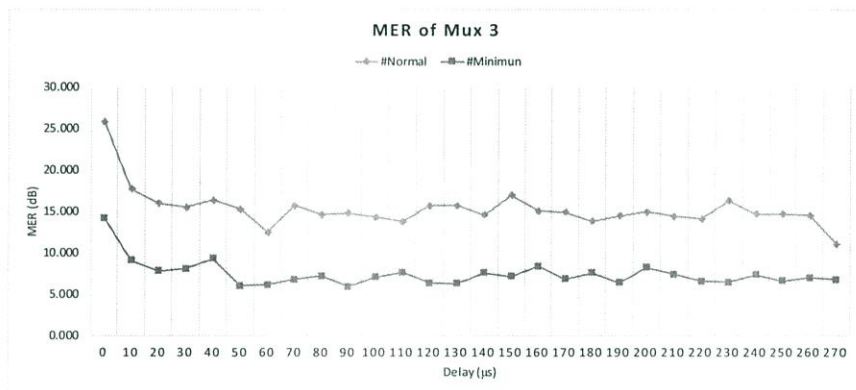


รูปที่ 4.8 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 2

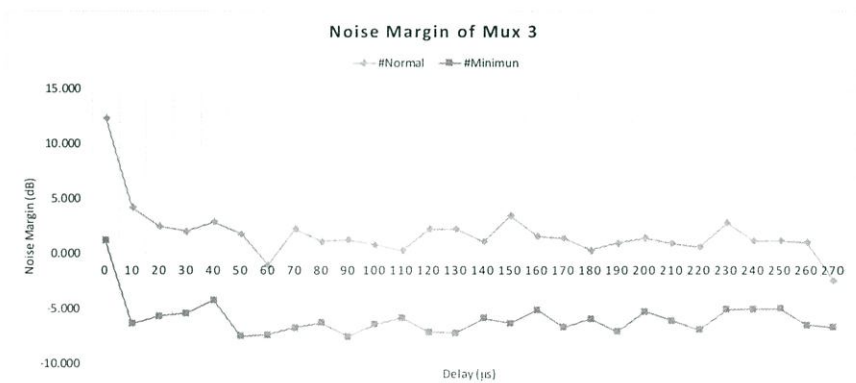
4.3 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 3 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด



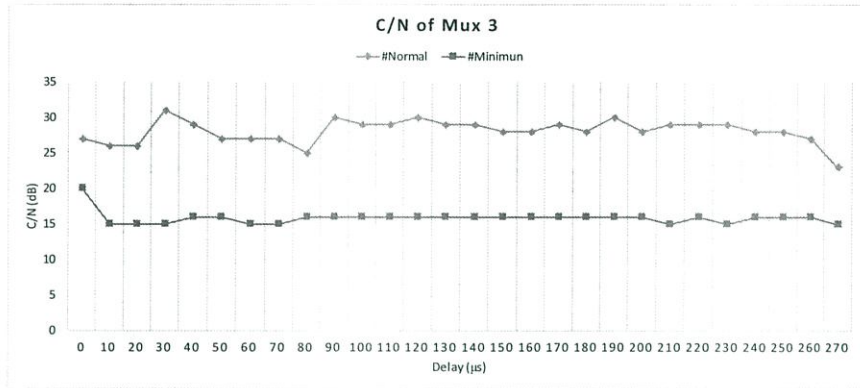
รูปที่ 4.9 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 3



รูปที่ 4.10 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 3

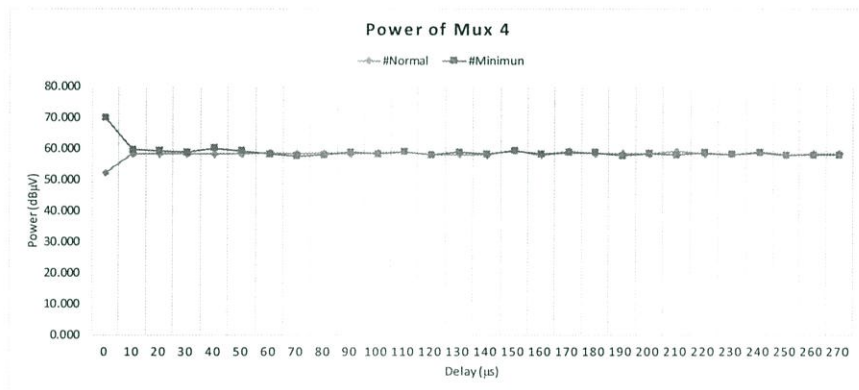


รูปที่ 4.11 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 3

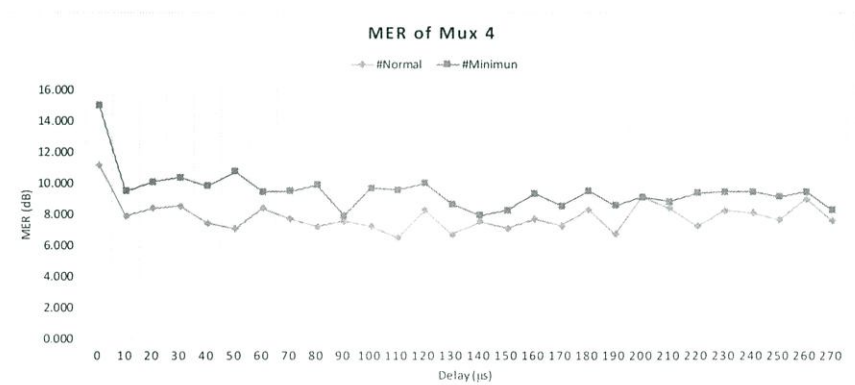


รูปที่ 4.12 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 3

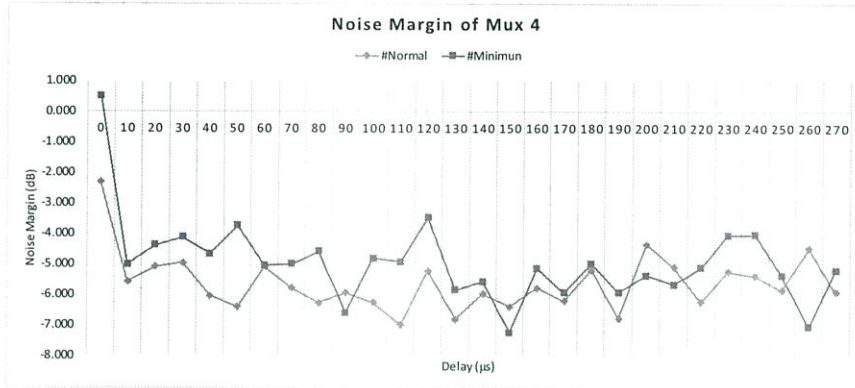
4.4 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 4 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด



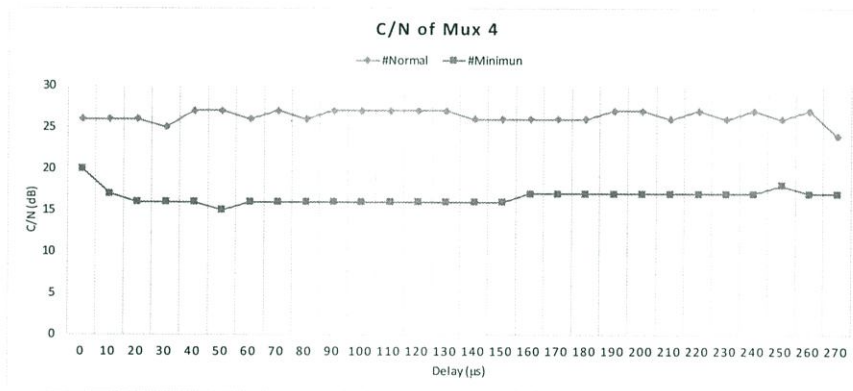
รูปที่ 4.13 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 4



รูปที่ 4.14 เทียบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 4

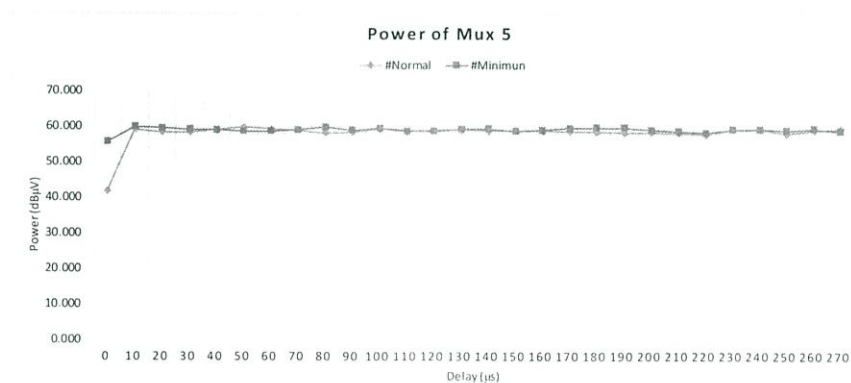


รูปที่ 4.15 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 4

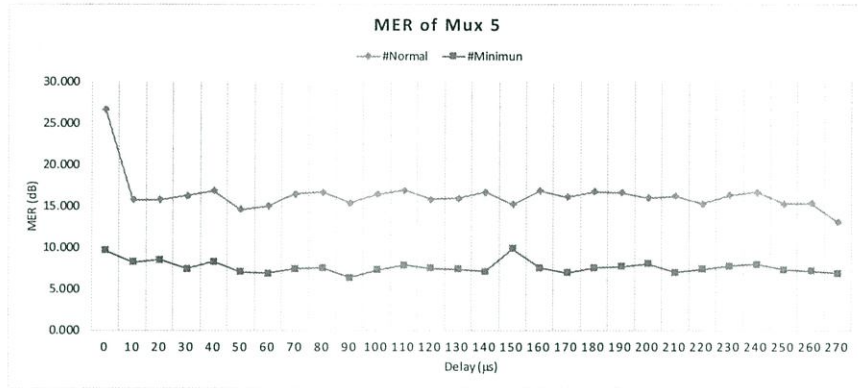


รูปที่ 4.16 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 4

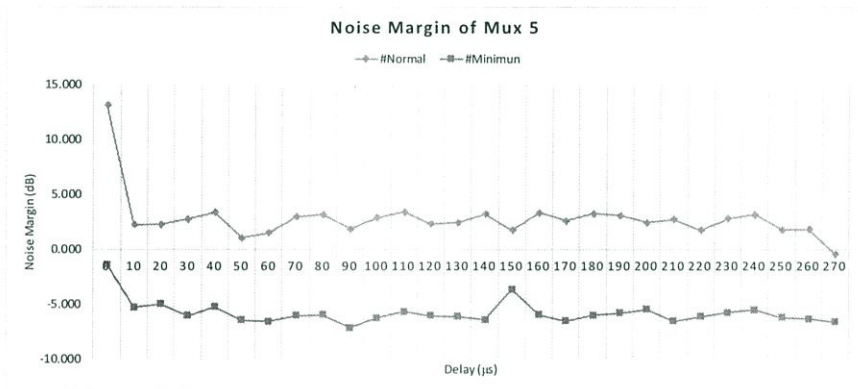
4.5 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ Mux 5 ระหว่างค่าปกติ และค่าต่ำสุด



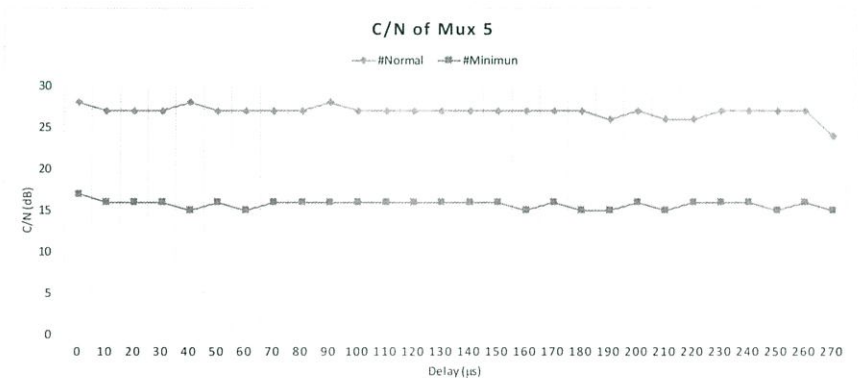
รูปที่ 4.17 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Power ใน Mux 5



รูปที่ 4.18 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า MER ใน Mux 5



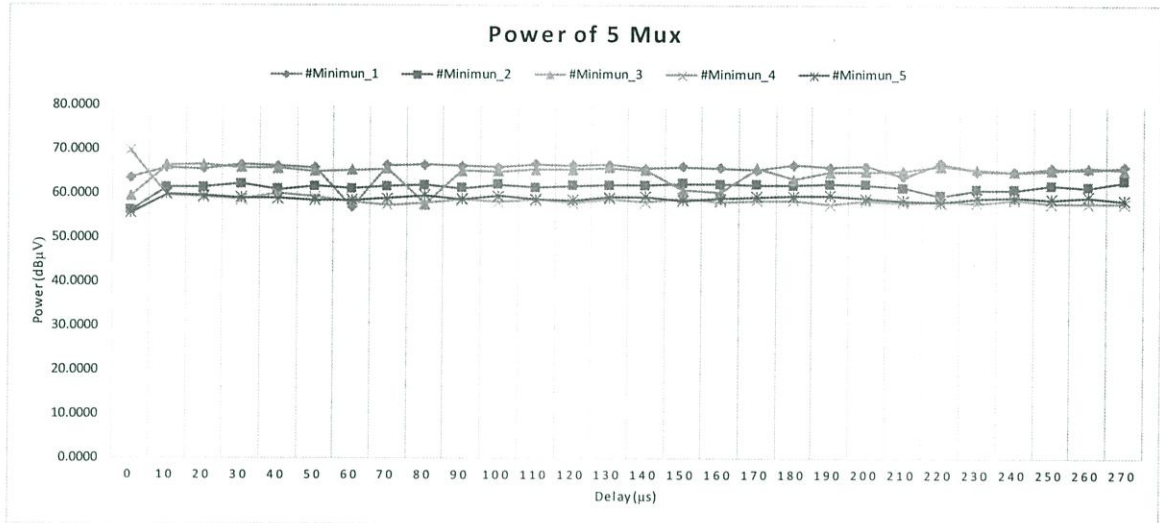
รูปที่ 4.19 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า Noise Margin ใน Mux 5



รูปที่ 4.20 เที่ยบสัญญาณปกติและต่ำสุดของค่า C/N ใน Mux 5

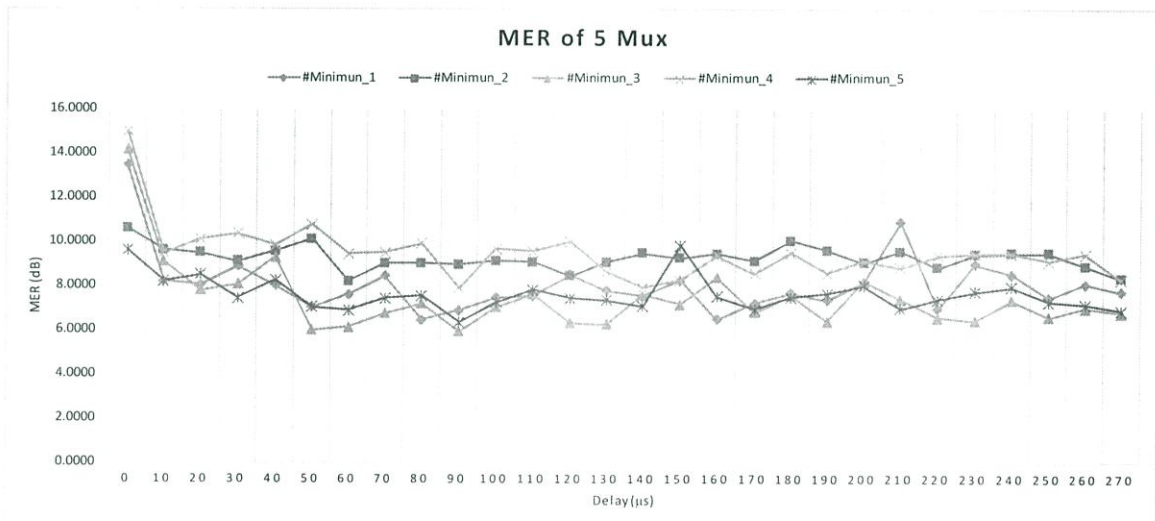
#### 4.6 ผลเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์สัญญาณต่ำสุด

##### 4.6.1 เปรียบเทียบค่า Power (dB $\mu$ V)



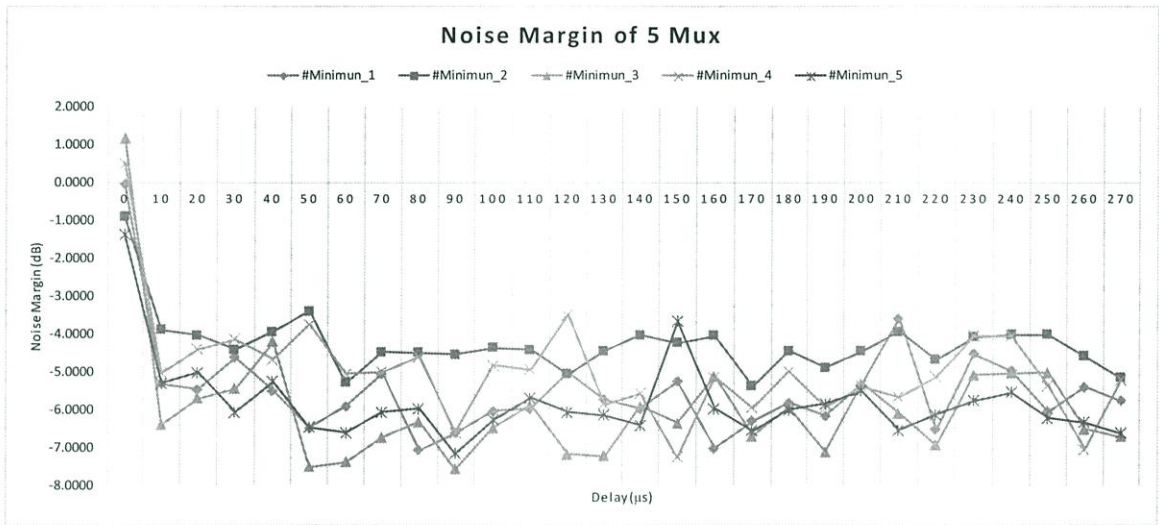
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า Power ทั้ง 5 Mux

##### 4.6.2 เปรียบเทียบค่า MER (dB)



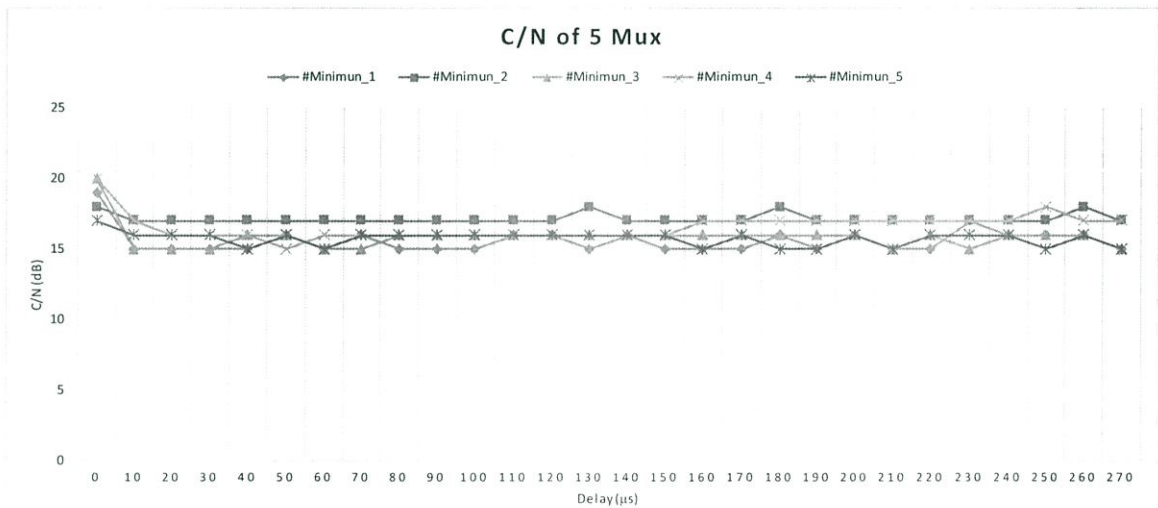
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า MER ทั้ง 5 Mux

4.6.3 เปรียบเทียบค่า Noise Margin (dB)



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่า Noise Margin ทั้ง 5 Mux

4.6.4 เปรียบเทียบค่า C/N (dB)



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า C/N ทั้ง 5 Mux

4.6.5 ผลการวัดทั้ง 5 Mux มีค่า bBER =  $1 \times 10^{-2}$  และค่า aBER =  $2 \times 10^{-9}$

#### 4.7 ผลวิเคราะห์สัญญาณต่ำสุดด้วย Correlation Analysis

ตารางที่ 4.1 ค่า Correlation ของ Mux 1

Mux 1	Power (dB $\mu$ V)	MER (dB)	Noise Margin (dB)	C/N (dB)	Delay ( $\mu$ s)
Power (dB $\mu$ V)	1				
MER (dB)	-0.256182727	1			
Noise Margin (dB)	-0.243888036	0.991267527	1		
C/N (dB)	-0.098709589	0.668517409	0.720238527	1	
Delay ( $\mu$ s)	0.161102981	-0.170328336	-0.204605677	-0.040982015	1

ตารางที่ 4.2 ค่า Correlation ของ Mux 2

Mux 2	Power (dB $\mu$ V)	MER (dB)	Noise Margin (dB)	C/N (dB)	Delay ( $\mu$ s)
Power (dB $\mu$ V)	1				
MER (dB)	-0.445542547	1			
Noise Margin (dB)	-0.764125715	0.788038261	1		
C/N (dB)	-0.373954056	0.318164731	0.351711241	1	
Delay ( $\mu$ s)	0.307362116	-0.229074276	-0.373943807	0.037904902	1

ตารางที่ 4.3 ค่า Correlation ของ Mux 3

Mux 3	Power (dB $\mu$ V)	MER (dB)	Noise Margin (dB)	C/N (dB)	Delay ( $\mu$ s)
Power (dB $\mu$ V)	1				
MER (dB)	-0.421346897	1			
Noise Margin (dB)	-0.43056278	0.911161904	1		
C/N (dB)	-0.532010087	0.700896383	0.735499249	1	
Delay ( $\mu$ s)	0.149675765	-0.410891144	-0.202171972	-0.174004437	1

ตารางที่ 4.4 ค่า Correlation ของ Mux 4

Mux 4	Power (dB $\mu$ V)	MER (dB)	Noise Margin (dB)	C/N (dB)	Delay ( $\mu$ s)
Power (dB $\mu$ V)	1				
MER (dB)	0.838730562	1			
Noise Margin (dB)	0.750311061	0.901748554	1		
C/N (dB)	0.638280448	0.495370931	0.450655106	1	
Delay ( $\mu$ s)	-0.442713049	-0.494997274	-0.437164476	0.243180126	1

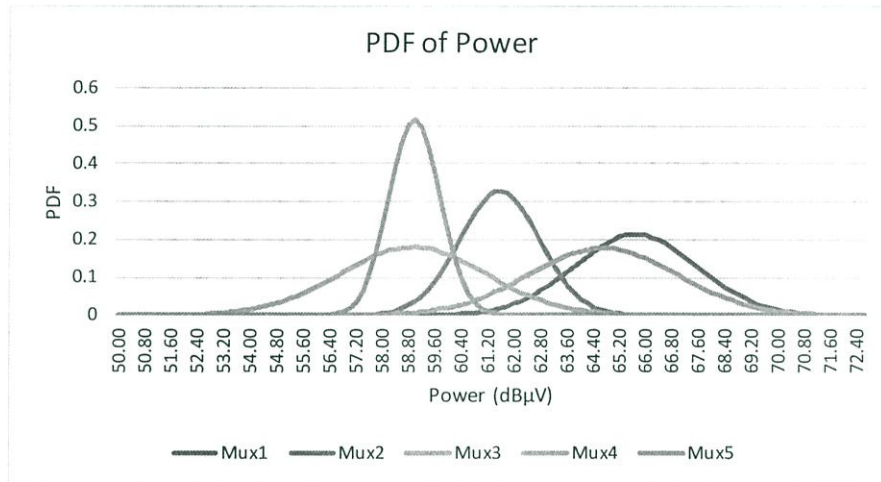
ตารางที่ 4.5 ค่า Correlation ของ Mux 5

Mux 5	Power (dB $\mu$ V)	MER (dB)	Noise Margin (dB)	C/N (dB)	Delay ( $\mu$ s)
Power (dB $\mu$ V)	1				
MER (dB)	-0.37871629	1			
Noise Margin (dB)	-0.632030606	0.927305931	1		
C/N (dB)	-0.33420739	0.366814645	0.464060201	1	
Delay ( $\mu$ s)	0.171475019	-0.285467429	-0.340930777	-0.360586796	1

#### 4.8 ผลวิเคราะห์สัญญาณต่ำสุดด้วย PDF และ CDF

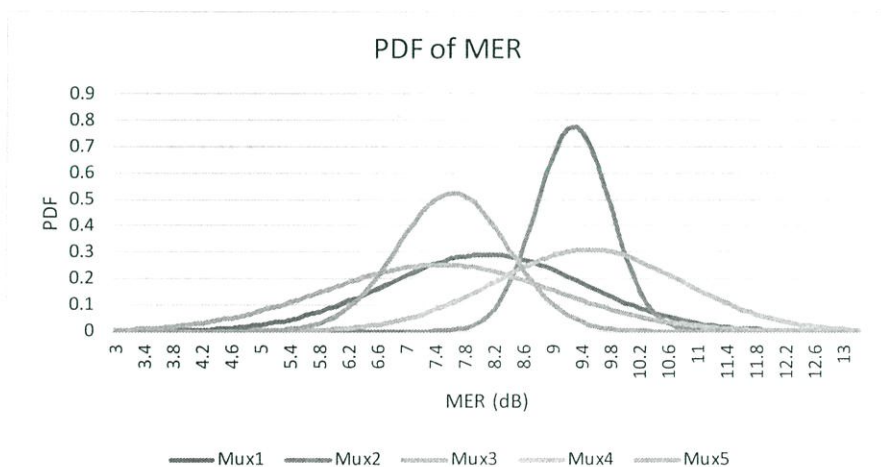
Normal Distribution ทั้ง 2 แบบ คือ Probability Density Function (PDF) เป็นการหาค่าโอกาสใด ๆ และ Cumulative Distribution Function (CDF) เป็นการหาค่าโอกาสสะสม

##### 4.8.1 Probability Density Function ของค่า Power



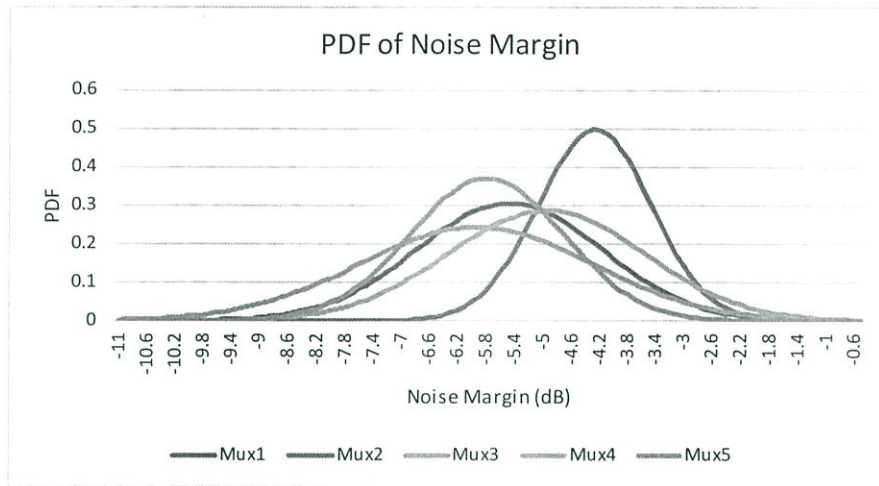
รูปที่ 4.25 PDF ของค่า Power

##### 4.8.2 Probability Density Function ของค่า MER



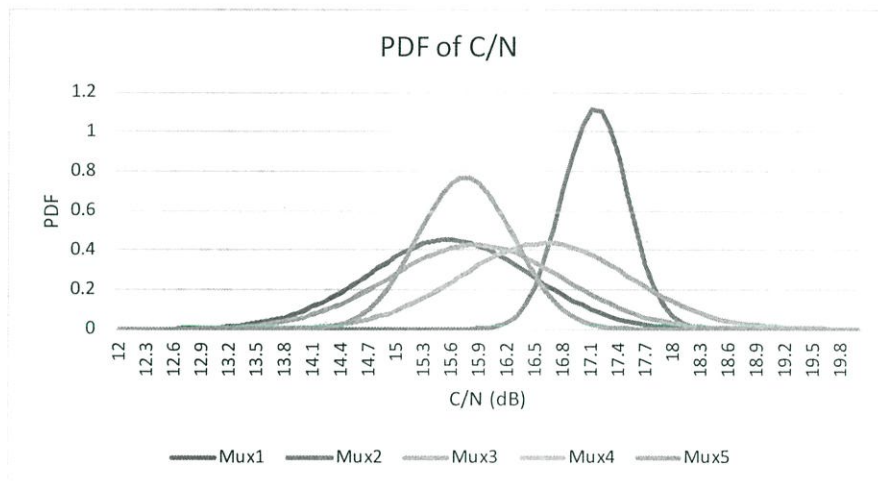
รูปที่ 4.26 PDF ของค่า MER

## 4.8.3 Probability Density Function ของค่า Noise Margin



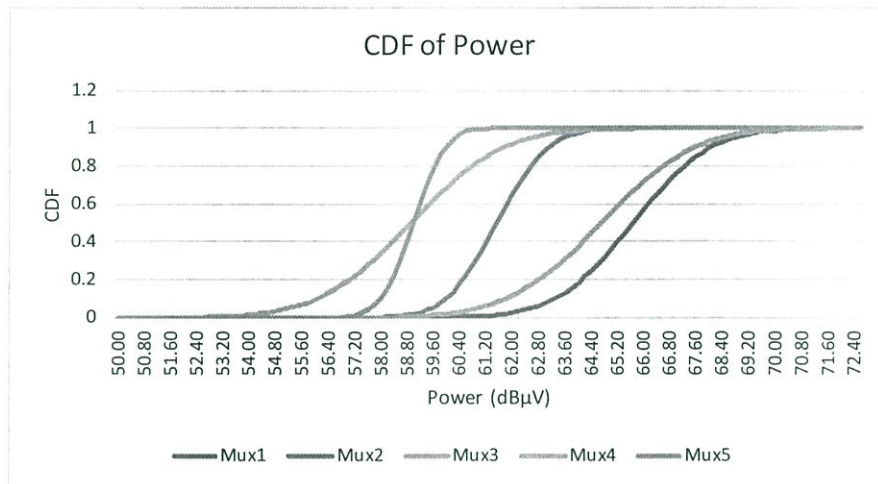
รูปที่ 4.27 PDF ของค่า Noise Margin

## 4.8.4 Probability Density Function ของค่า C/N



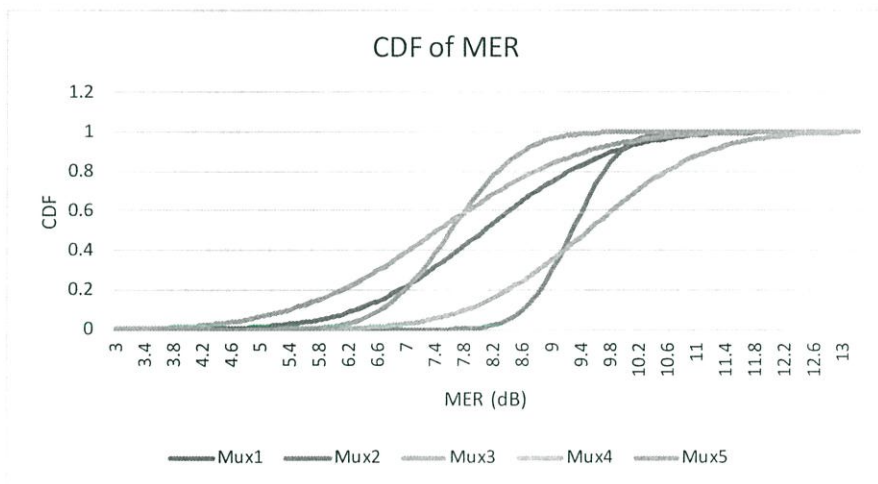
รูปที่ 4.28 PDF ของค่า C/N

## 4.8.5 Cumulative Distribution Function ของค่า Power



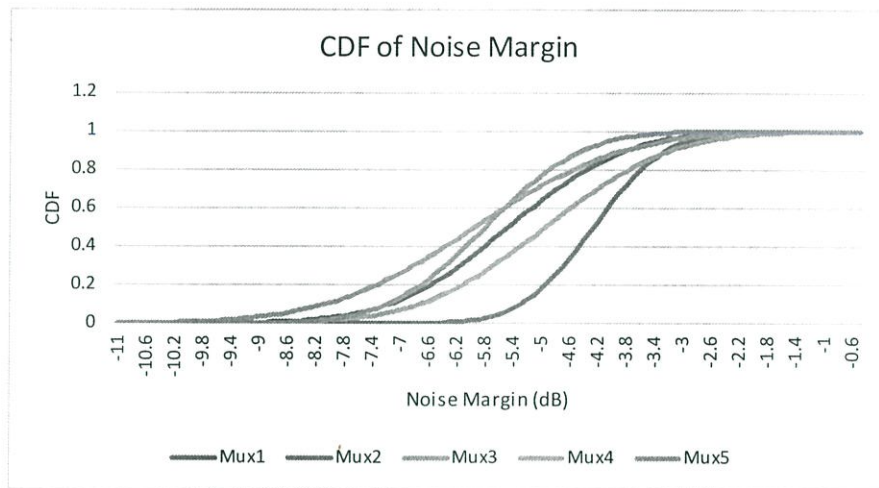
รูปที่ 4.29 CDF ของค่า Power

## 4.8.6 Cumulative Distribution Function ของค่า MER



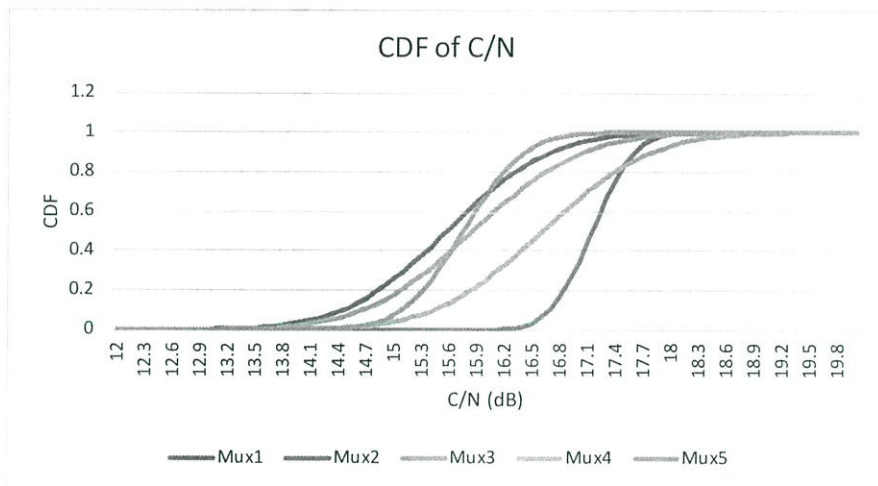
รูปที่ 4.30 CDF ของค่า MER

## 4.8.7 Cumulative Distribution Function ของค่า Noise Margin



รูปที่ 4.31 CDF ของค่า Noise Margin

## 4.8.8 Cumulative Distribution Function ของค่า C/N



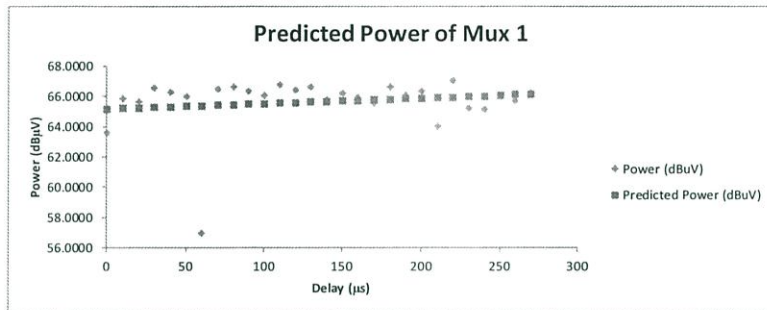
รูปที่ 4.32 CDF ของค่า C/N

#### 4.9 ผลวิเคราะห์สัญญาณต่ำสุดด้วย Regression Analysis

การหาสมการและเส้นกราฟเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Regression เทียบกับเวลา โดยสามารถประมาณการค่าได้ตามรูป มีตัวแปร  $y$  เป็นตัวแปรตาม และตัวแปร  $x$  เป็นตัวแปรตั้งต้น คือเวลา ดังนี้

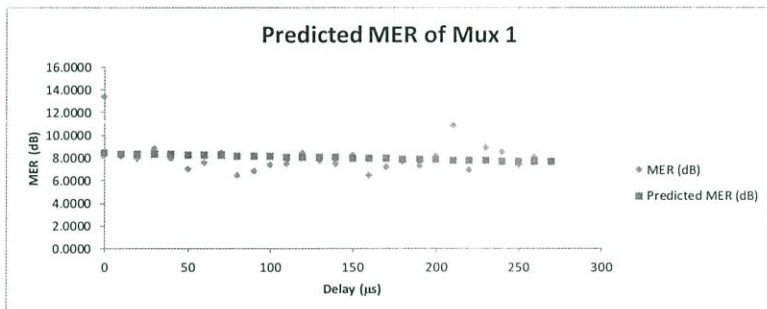
##### 4.9.1 การประมาณค่าด้วย Regression ของ Mux 1

- สมการประมาณค่า Power ของ Mux 1 คือ  $y = 65.18050493 + 0.003653667x$



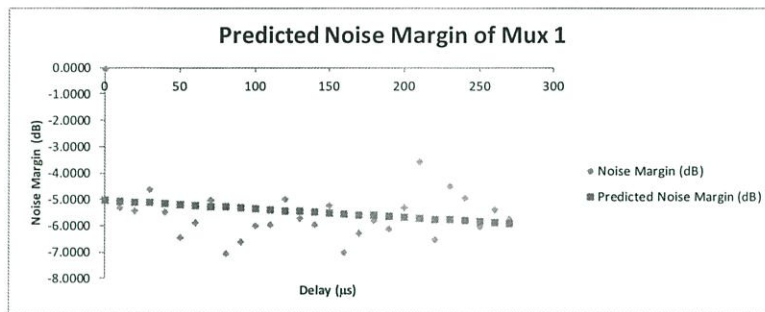
รูปที่ 4.33 Predicted Power (Regression) ของ Mux 1

- สมการประมาณค่า MER ของ Mux 1 คือ  $y = 8.450419 - 0.00285x$



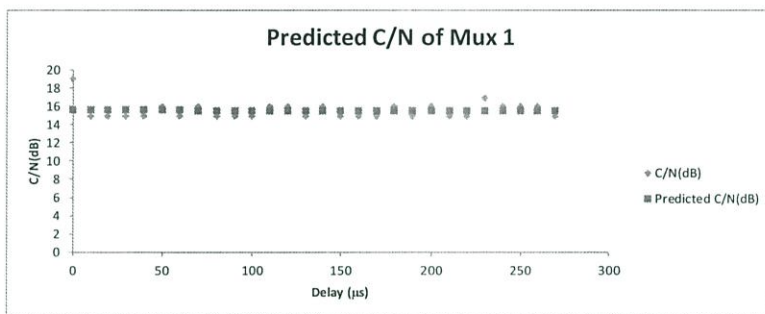
รูปที่ 4.34 Predicted MER (Regression) ของ Mux 1

- สมการประมาณค่า Noise Margin ของ Mux 1 คือ  $y = -5.02988 - 0.00326x$



รูปที่ 4.35 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 1

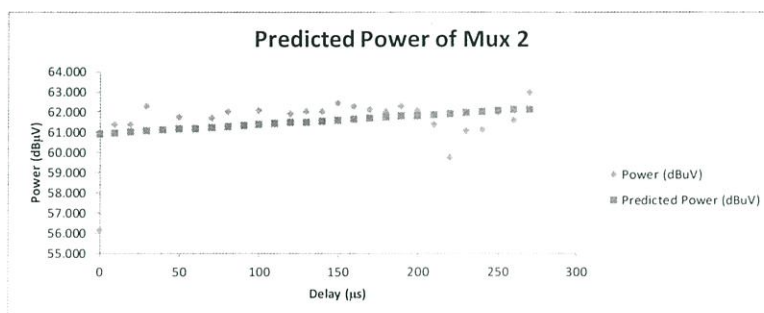
- สมการประมาณค่า C/N ของ Mux 1 คือ  $y = 15.63054 - 0.00044x$



รูปที่ 4.36 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 1

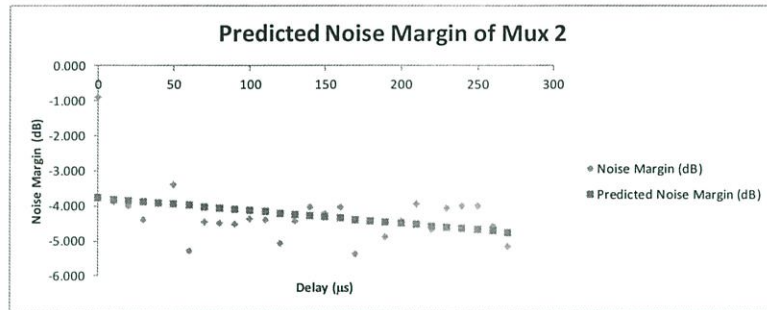
#### 4.9.2 การประมาณค่าด้วย Regression ของ Mux 2

- สมการประมาณค่า Power ของ Mux 2 คือ  $y = 60.93132 + 0.004529x$



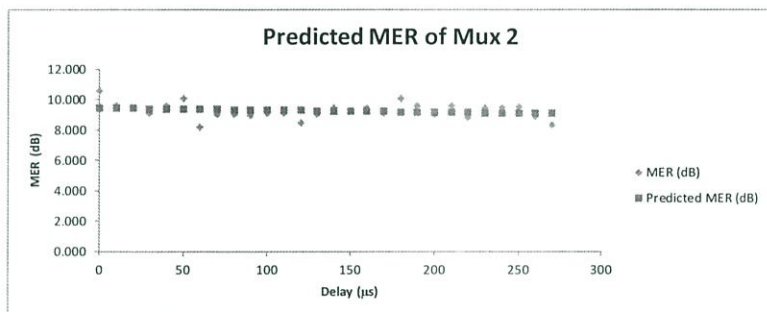
รูปที่ 4.37 Predicted Power (Regression) ของ Mux 2

- สมการประมาณค่า MER ของ Mux 2 คือ  $y = 9.463879 - 0.00143x$



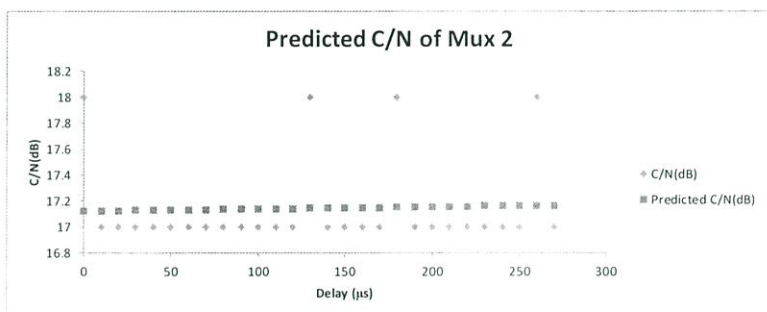
รูปที่ 4.38 Predicted MER (Regression) ของ Mux 2

- สมการประมาณค่า Noise Margin ของ Mux 2 คือ  $y = -3.77257 - 0.00365x$



รูปที่ 4.39 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 2

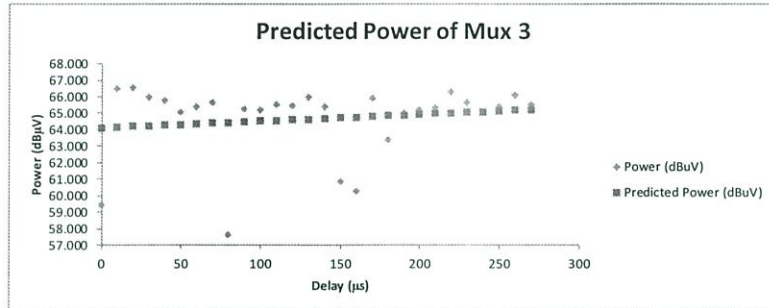
- สมการประมาณค่า C/N ของ Mux 2 คือ  $y = 17.12069 + 0.000164x$



รูปที่ 4.40 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 2

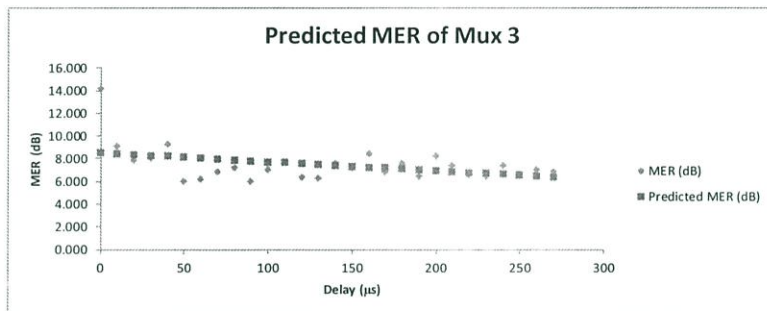
## 4.9.3 การประมาณค่าด้วย Regression ของ Mux 3

- สมการประมาณค่า Power ของ Mux 3 คือ  $y = 64.14259 + 0.004088x$



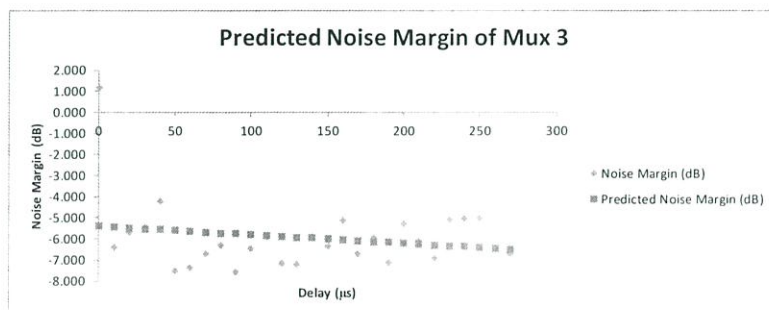
รูปที่ 4.41 Predicted Power (Regression) ของ Mux 3

- สมการประมาณค่า MER ของ Mux 3 คือ  $y = 8.501256 - 0.0079x$



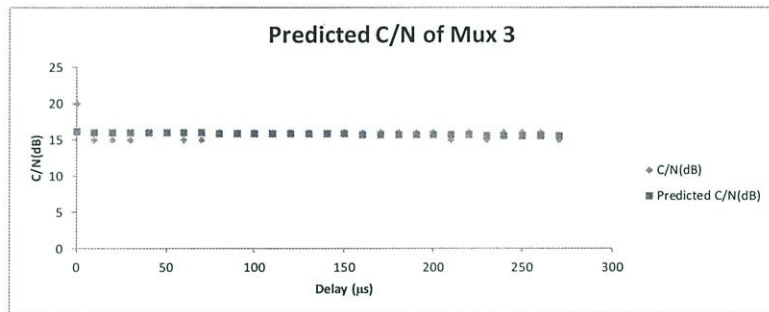
รูปที่ 4.42 Predicted MER (Regression) ของ Mux 3

- สมการประมาณค่า Noise Margin ของ Mux 3 คือ  $y = -5.39552 - 0.00404x$



รูปที่ 4.43 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 3

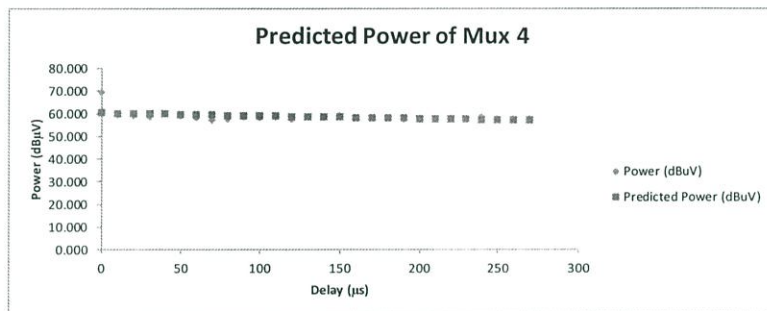
- สมการประมาณค่า C/N ของ Mux 3 คือ  $y = 16.12315 - 0.00197x$



รูปที่ 4.44 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 3

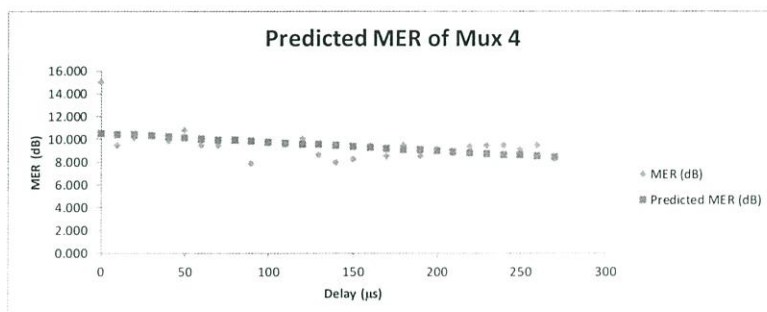
#### 4.9.4 การประมาณค่าด้วย Regression ของ Mux 4

- สมการประมาณค่า Power ของ Mux 4 คือ  $y = 60.52372 - 0.01195x$



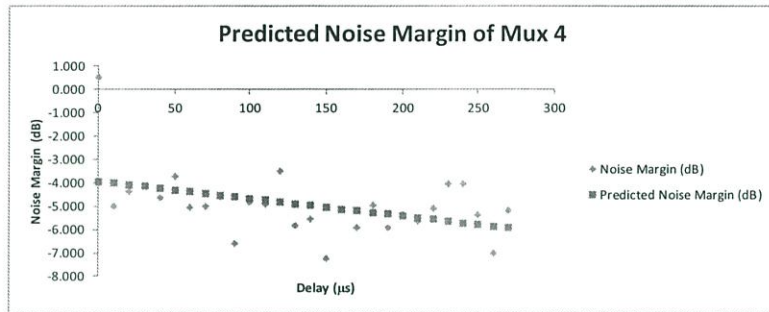
รูปที่ 4.45 Predicted Power (Regression) ของ Mux 4

- สมการประมาณค่า MER ของ Mux 4 คือ  $y = 10.53374 - 0.00775x$



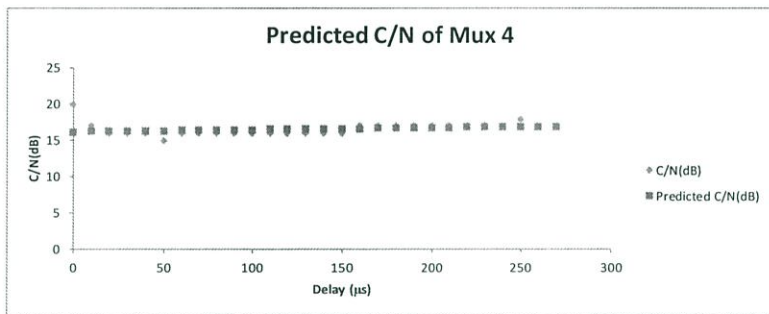
รูปที่ 4.46 Predicted MER (Regression) ของ Mux 4

- สมการประมาณค่า Noise Margin ของ Mux 4 คือ  $y = -3.93916 - 0.00742x$



รูปที่ 4.47 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 4

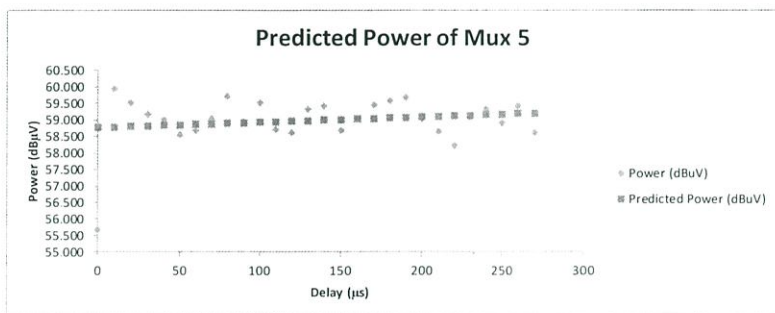
- สมการประมาณค่า C/N ของ Mux 4 คือ  $y = 16.24138 + 0.002709x$



รูปที่ 4.48 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 4

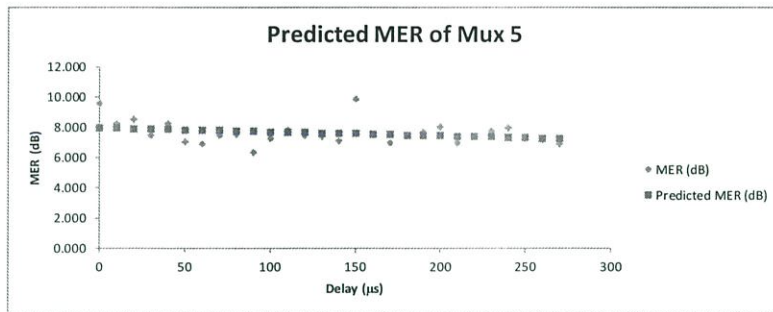
#### 4.9.5 การประมาณค่าด้วย Regression ของ Mux 5

- สมการประมาณค่า Power ของ Mux 5 คือ  $y = 58.75135 + 0.001608x$



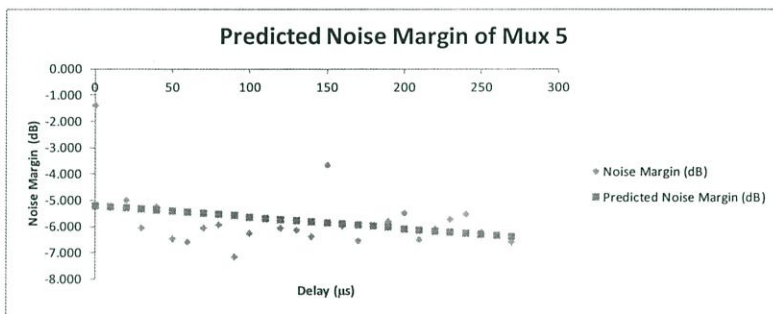
รูปที่ 4.49 Predicted Power (Regression) ของ Mux 5

- สมการประมาณค่า MER ของ Mux 5 คือ  $y = 7.973288 - 0.00264x$



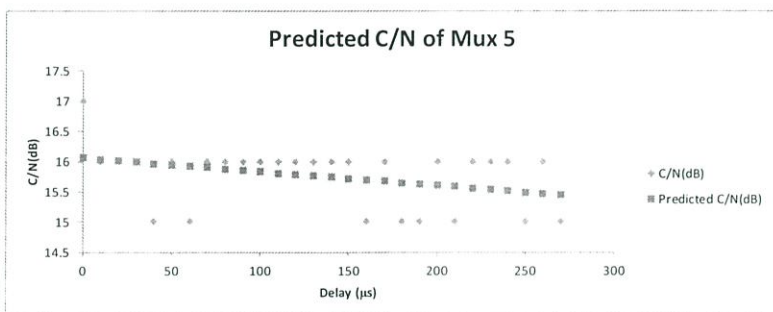
รูปที่ 4.50 Predicted MER (Regression) ของ Mux 5

- สมการประมาณค่า Noise Margin ของ Mux 5 คือ  $y = -5.18804 - 0.00448x$



รูปที่ 4.51 Predicted Noise Margin (Regression) ของ Mux 5

- สมการประมาณค่า C/N ของ Mux 5 คือ  $y = 16.05665 - 0.00227x$



รูปที่ 4.52 Predicted C/N (Regression) ของ Mux 5

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดสัญญาณในระบบ Single Frequency Network ของดิจิทัลทีวี โดยทดลองจากเครื่องส่ง Exciter 2 เครื่อง เพื่อวัดสัญญาณต่ำที่สุด ที่ยังสามารถรับภาพได้ มีดีเลย์ที่เกิดจากการส่งสัญญาณ ภายในช่วง Guard Interval ซึ่งค่าการวัดในแต่ละดีเลย์นั้น เป็นค่าเฉลี่ยที่มาจากการวัด 20 ครั้ง ในทุก ๆ พารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ ผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

Power มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ 55 - 65 dB $\mu$ V โดยในแต่ละ Mux มีความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเกิดขึ้นแตกต่างกัน และผลลัพธ์ไม่ได้เกิดขึ้นเรียงตามลำดับความถี่ แต่จะเห็นว่า Mux 5 จะมีการกระจายตัวน้อยที่สุด ส่วน Power เทียบกับ Delay ในภาพรวมมีค่าไปในแนวเดียวกัน คือเมื่อ Delay เพิ่ม ค่า Power จะเพิ่มขึ้นตามเล็กน้อย ยกเว้น Mux 4 ที่จะมีค่าแนวโน้มตรงข้ามกัน

MER มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ 6 - 11 dB แต่ที่ 0  $\mu$ s จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 9 - 15 dB โดยในแต่ละ Mux ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ไม่ได้มีการกระจายตัวเรียงตามความถี่ และใน Mux 2 มีการกระจายตัวน้อยที่สุด ส่วน MER เทียบกับ Delay ทุก Mux มีค่าแนวโน้มเหมือนกันหมด คือ ค่าเกิดขึ้นตรงกันข้าม คือค่า Delay เพิ่ม ค่า MER ลดลงเล็กน้อย

Noise Margin มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ -7 dB ถึง -4 dB แต่ที่ 0  $\mu$ s จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง -1 dB ถึง 1 dB โดยในแต่ละ Mux ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นใน Mux 2 ที่จะมีการกระจายตัวน้อยที่สุด และค่า MER ที่เกิดขึ้นมีค่าที่สูงขึ้นมาจาก Mux อื่นประมาณ 2 dB ส่วน Noise Margin เทียบกับ Delay มีค่าแนวโน้มตรงข้ามกัน คล้ายกับ MER

C/N มีค่าอยู่ในช่วงที่เกาะกลุ่มกัน คือ 15 - 18 dB แต่ที่ 0  $\mu$ s จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมาอยู่ในช่วง 17 - 20 dB โดยในแต่ละ Mux ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น Mux 2 มีการกระจายตัวน้อยที่สุดเช่นกัน นั้นแสดงให้เห็นว่า Mux 2 มีค่าผลลัพธ์ที่เกาะกลุ่มกันมากที่สุด ส่วน Mux อื่น ๆ ก็มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกัน ส่วน C/N เทียบกับ Delay ใน Mux 1, 3 และ 5 มีค่าแนวโน้มที่เกิดขึ้นตรงข้ามกัน ส่วน Mux 2 และ 4 มีค่าแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ทดลองโดยเว้นช่วงดีเลย์ให้น้อยลงกว่าเดิม จาก 10  $\mu$ s เป็น 5  $\mu$ s หรือ 1  $\mu$ s เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ที่ละเอียดขึ้น และอาจจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กัน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Mattsson. Single frequency networks in DTV. IEEE Transactions on Broadcasting, Volume 51, Issue 4, Dec. 2005
- [2] Caiwei Li, Sato Telemi, Xiaolin Zhang, Roland Brugger, Itziar Angulo, and Pablo Angueira. Planning Large Single Frequency Networks for DVB-T2. IEEE Transactions on Broadcasting, Volume: 61, Issue: 3, Sep. 2015
- [3] DVB. Digital Video Broadcasting (DVB): Measurement Guidelines for DVB Systems; Amendment for DVB-T2 System. DVB BlueBook A14-2, Jul. 2012
- [4] N. Aurala, A. Vainisto, and R. Ekman. Experiments with rotated constellation in DVB-T2. in Proc. Int. Broadcasting Conv., Sep. 2012
- [5] Anritsu. Understanding Single Frequency Network Measurements. A Printed in United States 2011-04.
- [6] Wikipedia. Single Frequency Network [Internet]. 2017 [cited 2017 Nov 2]. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Single-frequency\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Single-frequency_network)
- [7] ไพโรจน์ ปิ่นแก้ว, อุบลรัตน์ ศิริยุวศักดิ์, สุวิทย์ นาคพิระยุทธ, เมธา เสรีชนาวงศ์, ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, พรราชาสิริ กุหลาบ และคณะ. เทคโนโลยีการกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: หจก.บ้านหนังสือโกสินทร์; 2553.
- [8] กิตติ วงศ์ถาวรวัฒน์. เป้าหมายและหลักการพื้นฐานที่สำคัญของการวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. 24-25 กรกฎาคม 2560.
- [9] กิตติ วงศ์ถาวรวัฒน์. พารามิเตอร์ที่สำคัญในการวัดสัญญาณและการกำหนดแผนการวัดสัญญาณ. 24-25 กรกฎาคม 2560.
- [10] สุภัทรสิทธิ์ สวนสุข. การออกแบบโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลและความสัมพันธ์กับผลการวัดสัญญาณ. 24 กรกฎาคม 2560.
- [11] สุภัทรสิทธิ์ สวนสุข. โทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-T2 : เทคโนโลยีและมาตรฐานเทคนิค. ธันวาคม 2555.
- [12] สุภัทรสิทธิ์ สวนสุข. Technical Overview on Parameters, Network Design, and Digital TV Coverage in Thailand.
- [13] กสทช. รายงานผลการดำเนินงานของคณะทำงานด้านเทคนิคสำหรับการทดลอง ระบบการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล. ธันวาคม 2555 - กรกฎาคม 2556.
- [14] สำนักงาน กสทช. Spectrum and Standard for Digital TV [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 23 ต.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.nbtc.go.th/Services/academe/ด้านเทคโนโลยี/Spectrum-and-Standard-for-Digital-TV.aspx>

- [15] สำนักงาน กสทช. Guidelines for the transition from analogue to digital broadcasting [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 23 ต.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.nbtc.go.th/Services/academe/ด้านเทคโนโลยี/Guidelines-for-the-transition-from-analogue-to-\(1\).aspx](http://www.nbtc.go.th/Services/academe/ด้านเทคโนโลยี/Guidelines-for-the-transition-from-analogue-to-(1).aspx)
- [16] สำนักงาน กสทช. กฎระเบียบที่เกี่ยวกับแผนความถี่วิทยุและมาตรฐานทางเทคนิคในกิจการกระจายเสียง และกิจการโทรทัศน์ [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 25 ต.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.nbtc.go.th/Services/academe/ด้านเทคโนโลยี/กฎระเบียบที่เกี่ยวกับแผนความถี่วิทยุและมาตรฐานทาง.aspx>
- [17] ไทยทีวีดิจิตอล. SFN และ MFN สำหรับการออกอากาศทีวีดิจิตอลภาคพื้นดิน [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 30 ต.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaidigitaltelevision.com/sfn-และ-mfn-สำหรับการออกอากาศ/>
- [18] ไทยทีวีดิจิตอล. บทความเทคโนโลยีการแพร่กระจายคลื่นดิจิตอล [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 30 ต.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaidigitaltelevision.com/sfn-และ-mfn-สำหรับการออกอากาศ/>
- [19] ไทยทีวีดิจิตอล. มาทำความรู้จักกับ DVB-T2 คืออะไร [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 30 ต.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaidigitaltelevision.com/มาทำความรู้จักกับ-dvb-t2-คือ/>
- [20] ฉลอง สีแก้วสีว. ความรู้ทางสถิติ [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2560]. เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/site/mystatistics01/home>

## ภาคผนวก ก

### ความถี่วิทยุ

- กำหนดความถี่วิทยุอยู่ในช่วง 510 – 790 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยความกว้างแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) 8 เมกะเฮิร์ตซ์

หมายเลข ช่องความถี่ วิทยุ	ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิร์ตซ์)		ความถี่ กึ่งกลาง (Center Frequency)
	ขอบล่าง	ขอบบน	
26	510	518	514
27	518	526	522
28	526	534	530
29	534	542	538
30	542	550	546
31	550	558	554
32	558	566	562
33	566	574	570
34	574	582	578
35	582	590	586
36	590	598	594
37	598	606	602
38	606	614	610
39	614	622	618
40	622	630	626
41	630	638	634
42	638	646	642
43	646	654	650

หมายเลข ช่องความถี่ วิทยุ	ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิร์ตซ์)		ความถี่ กึ่งกลาง (Center Frequency)
	ขอบล่าง	ขอบบน	
44	654	662	658
45	662	670	666
46	670	678	674
47	678	686	682
48	686	694	690
49	694	702	698
50	702	710	706
51	710	718	714
52	718	726	722
53	726	734	730
54	734	742	738
55	742	750	746
56	750	758	754
57	758	766	762
58	766	774	770
59	774	782	778
60	782	790	786

- กำหนดการจัดกลุ่มช่องความถี่วิทยุ

กลุ่มช่อง ความถี่ วิทยุ	จำนวน ช่อง ความถี่	หมายเลขช่องความถี่วิทยุ															
		N-3	N	N+3	N+4	N+6	N+7	N+8	N+11	N+12	N+15	N+16	N+18	N+19	N+20	N+23	N+24
D1	7	-	28	31	-	-	35	-	39	-	43	-	-	47	-	51	-
D2	7	26	29	32	-	-	36	-	40	-	44	-	-	48	-	-	-
D3	7	27	30	33	-	-	37	-	41	-	45	-	-	49	-	-	-
D4	7	-	34	-	38	-	-	42	-	46	-	50	-	-	54	57	-
D5	3	-	52	55	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D6	3	-	53	56	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I D1	7	-	26	-	30	-	-	34	-	38	-	42	-	-	46	-	50
I D2	7	-	28	-	32	-	-	36	-	40	-	44	-	-	48	-	52

หมายเหตุ กลุ่มช่องความถี่วิทยุ T-D1 และ T-D2 เป็นการจัดกลุ่มช่องความถี่สำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลบริเวณชายแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย

- จำนวนเขตบริการ

กำหนดให้มีเขตบริการจำนวน 39 เขตบริการ ซึ่งประกอบไปด้วย 39 สถานีหลัก และสถานีเสริมอีกประมาณ 114 สถานี โดยในเขตบริการเดียวกันจะมีกลุ่มของช่องรายการเดียวกัน

- พื้นที่ครอบคลุมของเขตบริการ

การกำหนดพื้นที่ครอบคลุมของเขตบริการให้อาศัยคุณลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคมสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลอันได้แก่ กำลังส่งออกอากาศจริง (ERP) รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศ (Antenna Pattern) ความสูงของสายอากาศ และคุณลักษณะอื่นที่จำเป็น โดยนำมาคำนวณพื้นที่ครอบคลุมอ้างอิงวิธีการคำนวณแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation Model) ตามข้อเสนอแนะของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ Recommendation ITU-R P.1546-4[1]

### สถานีหลักและสถานีเสริม

รายละเอียดทางเทคนิคอ้างอิงสำหรับสถานีหลักและสถานีเสริมสำหรับให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์คำนวณพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลจากแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation) ตามโครงการความร่วมมือระหว่างสำนักงาน กสทช. โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) และสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunications Union: ITU) โดยมีคำอธิบายรายละเอียดทางเทคนิคดังนี้

#### A. Site number

ลำดับของสถานีหลักและสถานีเสริมตามประกาศ กสทช. ว่าด้วยแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (กรณีตัวเลขหลังจุดทศนิยมเป็น 0 หมายถึง สถานีหลัก)

#### B. Type

ประเภทของสถานีตามประกาศ กสทช. ว่าด้วยแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลดังนี้

อักษรย่อ	ประเภทสถานี
M	สถานีหลัก
A1	สถานีเสริมกลุ่ม A1
A2	สถานีเสริมกลุ่ม A2
A3	สถานีเสริมกลุ่ม A3

### C. Network ID

รหัสโครงข่ายของแต่ละสถานีบนมัลติเพล็กซ์ที่ 1 - 6 ซึ่งแสดงถึงลักษณะของโครงข่ายแบบความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN) หรือโครงข่ายแบบหลายความถี่ (Multi Frequency Network)

### D. Artificial delay

ค่าการหน่วงเวลาในหน่วย us ของแต่ละสถานี ซึ่งกำหนดจากการวิเคราะห์คำนวณเพื่อแก้ไขปัญหาการรบกวนตัวเอง (self-interference) บนโครงข่ายแบบความถี่เดียว (Single Frequency Network : SFN)

### E. Site name

ชื่อสถานี (ชื่อสถานที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคม)

### F. Longitude

ลองจิจูดของสถานที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคม (°E)

### G. Latitude

ละติจูดของสถานที่ตั้งของสถานีวิทยุคมนาคม (°N)

### H. Antenna Height (m)

ความสูงของสายอากาศจากพื้นดิน ในหน่วยเมตร

### I. ERP (kW)

กำลังส่งออกอากาศสูงสุด (Effective Radiated Power: ERP) ในหน่วยกิโลวัตต์

### J. HRP (Degree)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในแนวนอน (Horizontal Radiation Pattern: HRP) โดยระบุทิศทาง (มุม) ของสายอากาศซึ่งมีการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด

#### K. Antenna Type

ประเภทของสายอากาศ ซึ่งอ้างอิงในการวิเคราะห์คำนวณ โดยรายละเอียดของสายอากาศแต่ละประเภทเป็นไปตามผนวก ข ทั้งนี้ กรณีไม่ระบุประเภทของสายอากาศ หมายถึง การอ้างอิงลักษณะของสายอากาศที่มีอยู่เดิม (Existing Antenna)

#### L. Channel group

กลุ่มช่องความถี่วิทยุตามตารางดังต่อไปนี้

กลุ่มช่องความถี่วิทยุ	จำนวนช่องความถี่	หมายเลขช่องความถี่วิทยุ					
		28	31	35	39	47	51
Da	6	28	31	35	39	47	51
Db	6	26	29	32	36	40	44
Dc	6	27	30	33	37	41	49
Dd	6	34	38	46	50	54	57
De	6	43	45	48	53	56	59
Df	5	42	52	55	58	60	-
TDa	6	26	50	34	38	42	46
TDb	6	28	32	36	40	44	48

#### M. Channel Mux 1

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 1 ภายหลังจากยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

#### N. Channel Mux 2

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 2 ภายหลังจากยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

#### O. Channel Mux 3

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 3 ภายหลังจากยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

#### P. Channel Mux 4

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 4 ภายหลังจากยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

#### Q. Channel Mux 5

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 5 ภายหลังจากยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

#### R. Channel Mux 6

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 6 ภายหลังจากยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
1.00	M	SFN(1-6) 1-Db	0	กรุงเทพมหานคร	100.540270	13.754300	328	100.0	ND		Db	26	36	40	44	32	29
1.01	A1	SFN(1-6) 4-De	0	เขาตึก	100.949558	13.190653	40	1.0	170	Type 3a	De	45	59	53	56	43	48
1.02	A1	SFN(1-6) 4-De	0	พิทยา	100.866450	12.921333	60	1.0	120	Type 2	De	45	59	53	56	43	48
1.03	A2	SFN(1-6) 2-Dc	0	จอมบึง	99.613515	13.627185	112	5.0	250	Type 2	Dc	49	37	41	30	27	33
1.04	A2	SFN(1-6) 4-De	0	บ่อทอง	101.439334	13.278336	72	5.0	155;345	Type 5a	De	45	59	53	56	43	48
1.05	A2	SFN(1-6) 1-Db	0	สมุทรสงคราม	100.003068	13.409810	73	0.5	270	Type 4	Db	26	36	40	44	32	29
1.06	A3	SFN(1-6) 5-Dd	0	สถานีเสริม A3 #100	101.532330	13.560010	70	1.0	140;320	Type 5	Dd	54	50	46	38	57	34
2.00	M	SFN(1-6) 2-Dc	0	กาญจนบุรี	99.420556	14.074444	124	25.0	60	Type 4	Dc	49	37	41	30	27	33
2.01	A2	SFN(1-6) 2-Dc	0	โทรโขภ	99.144000	14.118230	70	0.5	130;310	Type 5	Dc	49	37	41	30	27	33
2.02	A2	SFN(1-6) 2-Dd	0	ทอมนวมี่	98.623956	14.752401	70	0.5	150;330	Type 5	Dd	38	50	46	34	54	57
2.03	A3	SFN(1-6) 2-Dd	0	สถานีเสริม A3 #101	98.344410	15.115130	70	1.0	ND	Type 1	Dd	38	50	46	34	54	57
2.04	A3	SFN(1-6) 2-De	0	สถานีเสริม A3 #064	99.482219	14.583099	70	10.0	270	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
3.00	M	SFN(1-6) 3-Da	0	สิงห์บุรี	100.377004	14.836115	126	15.0	ND		Da	35	51	47	39	31	28
3.01	A1	SFN(1-6) 3-Da	0	สุพรรณบุรี	100.180238	14.463391	100	1.0	260	Type 4	Da	35	51	47	39	31	28
3.02	A1	SFN(1-6) 3-Da	0	คำชะอี 2	99.66790	14.93061	60	0.3	255	Type 3a	Da	35	51	47	39	31	28
3.03	A1	SFN(1-6) 8-Dc	56	มวกเหล็ก	101.153715	14.652015	20	0.5	90	Type 2	Dc	41	49	30	33	37	27
3.04	A1	SFN(1-6) 3-Da	3	สระบุรี(ศูนย์การทหารม้า)	100.926111	14.508056	80	0.5	45	Type 3a	Da	35	51	47	39	31	28
3.05	A2	SFN(1-6) 2-De	0	คำชะอี	99.695923	14.842848	107	2.0	260	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
3.06	A3	SFN(1-6) 3-De	0	สถานีเสริม A3 #102	101.138520	15.191100	70	1.0	ND	Type 1	De	53	43	45	48	56	59
3.07	A3	SFN(1-6) 3-De	0	สถานีเสริม A3 #031	100.833144	15.437557	70	1.0	ND	Type 1	De	53	43	45	48	56	59
4.00	M	SFN(1-6) 4-De	0	ระยอง	101.412925	12.675987	52	50.0	0		De	45	59	53	56	43	48
4.01	A2	SFN(1-6) 4-Da	0	โป่งน้ำร้อน	102.274523	12.889700	92	10.0	ND	Type 1	Da	47	31	35	28	39	51
4.02	A3	SFN(1-6) 4-Da	0	สถานีเสริม A3 #025	102.354020	13.008778	70	10.0	250	Type 2	Da	47	31	35	28	39	51
4.03	A3	SFN(1-6) 4-Da	0	สถานีเสริม A3 #069	101.883540	13.165515	70	2.0	ND	Type 1	Da	47	31	35	28	39	51
5.00	M	SFN(1-6) 5-Od	0	สระแก้ว	102.104231	13.804003	156	50.0	190		Dd	54	50	46	38	57	34
5.01	A1	SFN(1-6) 8-Dc	108	ปราจีนบุรี (ศาลพระพรหมโยธี)	101.373976	14.134715	80	1.0	160	Type 4	Dc	41	49	30	33	37	27

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
5.02	A2	MFN(1-6) 5-De	0	ดาวพระยา	102.804796	14.002854	97	0.5	310	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
6.00	M	SFN(1-6) 6-Dc	0	ครุฑ	102.298440	12.195510	64	50.0	90		Dc	33	37	41	49	30	27
6.01	A3	SFN(1-6) 6-Dc	0	สถานีเสริม A3 #103	102.469067	12.408588	70	1.0	ND	Type 1	Dc	33	37	41	49	30	27
7.00	M	SFN(1-6) 7-Bd	0	ประจวบคีรีขันธ์	99.801300	11.905940	60	20.0	ND		Dd	46	50	54	57	38	34
7.01	A1	SFN(1-6) 7-Dd	0	หัวหิน	99.935176	12.565142	75	1.0	270	Type 7	Dd	46	50	54	57	38	34
7.02	A1	MFN(1-6) 7-Da	0	เพชรบุรี	99.929012	13.104522	80	0.5	70	Type 2	Da	47	31	35	28	39	51
7.03	A1	SFN(1-6) 7-De	0	ทับสะแก	99.588250	11.418960	84	5.0	25,195	Type 5a	De	53	43	45	48	56	59
7.04	A3	SFN(1-6) 7-Dd	0	สถานีเสริม A3 #019	99.978240	12.447620	70	0.5	270	Type 3	Dd	46	50	54	57	38	34
7.05	A3	SFN(1-6) 7-De	0	สถานีเสริม A3 #104	99.415020	11.154510	70	2.0	10,190	Type 5	De	53	43	45	48	56	59
8.00	M	SFN(1-6) 8-Dc	0	นครราชสีมา	101.995052	14.947688	156	50.0	ND		Dc	41	49	30	33	37	27
8.01	A1	SFN(1-6) 10-Db	22	ชุมพร	102.794060	15.273160	120	5.0	295	Type 2	Db	26	32	40	36	44	29
8.02	A1	SFN(1-6) 8-Dc	0	เขายายเที่ยง	101.546679	14.786900	80	5.0	225	Type 3a	Dc	41	49	30	33	37	27
8.03	A2	SFN(1-6) 8-Dc	0	เขาสังคโค วัฒนชัย	101.900449	14.415619	40	0.5	185	Type 2	Dc	41	49	30	33	37	27
9.00	M	SFN(1-6) 9-Da	0	ชัยภูมิ	102.026740	15.729570	120	15.0	0		Da	31	47	39	35	51	28
9.01	A1	SFN(1-6) 9-Da	0	หนองบัวแดง	101.895300	15.999858	120	0.5	345	Type 4	Da	31	47	39	35	51	28
9.02	A2	SFN(1-6) 9-Da	0	หนองบัวแดง 2	101.804348	16.082553	70	0.5	270	Type 2	Da	31	47	39	35	51	28
9.03	A3	SFN(1-6) 9-Da	0	สถานีเสริม A3 #055	101.586120	15.871080	70	0.5	30,210	Type 5	Da	31	47	39	35	51	28
9.04	A3	SFN(1-6) 15-De	0	สถานีเสริม A3 #046	102.352360	16.366759	70	10.0	ND	Type 1	De	59	45	53	56	48	43
10.00	M	SFN(1-6) 10-Db	0	สุรินทร์	103.507680	14.919520	126	50.0	ND		Db	26	32	40	36	44	29
10.01	A1	SFN(1-6) 10-Db	0	บุรีรัมย์	103.098123	14.934247	80	2.0	255	Type 3a	Db	26	32	40	36	44	29
10.02	A2	SFN(1-6) 10-Db	11	นารายณ์	102.794802	15.630352	72	2.0	240	Type 2	Db	26	32	40	36	44	29
10.03	A3	SFN(1-6) 14-Dd	0	สถานีเสริม A3 #105	103.922471	15.411229	70	0.5	ND	Type 1	Dd	57	50	46	54	34	38
11.00	M	SFN(1-6) 11-Dc	0	ศรีสะเกษ	104.345228	15.042331	120	20.0	ND		Dc	41	30	33	27	49	37
11.01	A2	SFN(1-6) 12-Da	0	กันทรลักษณ์	104.651717	14.641479	72	2.0	160	Type 2	Da	47	31	35	28	39	51
11.02	A3	SFN(1-6) 11-Dc	177	สถานีเสริม A3 #106	104.104981	14.489833	70	0.5	260,80	Type 5	Dc	41	30	33	27	49	37
12.00	M	SFN(1-5) 11-Dc	0	อุบลราชธานี	104.923611	15.381667	156	50.0	ND		Dc	41	30	33	27	49	52

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
12.01	A1	SFN(1-6) 11-Dc	67	อำนาจเจริญ	104.618922	15.898967	100	0.5	350	Type 2	Dc	41	30	33	27	49	37
12.02	A2	MFN(1-6) 12-Db	0	บุษราคัม	105.413027	14.756517	102	2.0	300	Type 2	Db	32	29	36	26	40	44
12.03	A2	SFN(1-6) 12-Da	0	หัวหิน	105.002684	14.490170	107	5.0	350	Type 2	Da	47	31	35	28	39	51
12.04	A2	SFN(1-6) 12-De	0	หัวหินนคร	104.985411	15.942518	100	5.0	35	Type 3a	De	53	43	45	48	56	59
12.05	A3	SFN(1-6) 12-De	0	สถานีเสริม A3 #075	105.487970	15.643609	70	10.0	240	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
13.00	M	SFN(1-6) 13-Da	0	ภูค้ำหวาย	104.718181	16.613679	124	20.0	240		Da	47	39	35	28	51	31
13.01	A1	SFN(1-6) 13-Da	0	สุรินทร์ (ภูค้ำหวาย)	104.629602	16.468387	80	2.0	190	Type 4	Da	47	39	35	28	51	31
13.02	A3	SFN(1-6) 13-Da	0	สถานีเสริม A3 #070	104.238151	16.706297	70	10.0	ND	Type 1	Da	47	39	35	28	51	31
14.00	M	SFN(1-6) 14-Dd	0	ร้อยเอ็ด	103.624210	15.978350	126	50.0	ND		Dd	57	50	46	54	34	38
14.01	A1	SFN(1-6) 14-Dd	0	บึงสรวง	104.142504	15.803563	100	1.0	145	Type 3a	Dd	57	50	46	54	34	38
15.00	M	SFN(1-6) 15-De	0	ขอนแก่น	102.946222	16.463686	156	50.0	ND		De	59	45	53	56	48	43
15.01	A1	SFN(1-6) 15-De	52	ชุมพล	102.061324	16.562602	124	2.0	ND	Type 1	De	59	45	53	56	48	43
15.02	A1	SFN(1-6) 15-De	40	ภูสิงห์ กาฬสินธุ์	103.518611	16.722778	112	1.0	70	Type 3	De	59	45	53	56	48	43
15.03	A1	SFN(1-6) 15-De	125	พล	102.600232	15.809009	60	0.5	175	Type 3a	De	59	45	53	56	48	43
15.04	A2	SFN(1-6) 15-De	3	แก่งศรีภูมิ (อุดรธานี)	102.295658	16.098189	25	0.5	130	Type 4	De	59	45	53	56	48	43
15.05	A3	SFN(1-6) 14-Dd	0	สถานีเสริม A3 #107	103.35015	15.438119	70	10.0	250	Type 3	Dd	57	50	46	54	34	38
15.06	A3	SFN(1-6) 13-Da	0	สถานีเสริม A3 #108	104.0663822	16.7516608	70	0.5	140,320	Type 5	Da	47	39	35	28	51	31
16.00	M	SFN(1-6) 16-Dd	0	เดช	101.444519	17.470655	35	20.0	130		Dd	46	50	57	54	38	34
16.01	A1	SFN(1-6) 17-Da	0	หนองบัวลำภู	102.429346	17.228005	100	0.2	235	Type 3a	Da	47	35	31	39	51	28
16.02	A3	SFN(1-6) 16-Dd	0	สถานีเสริม A3 #002	101.816650	17.262750	70	2.0	230	Type 2	Dd	46	50	57	54	38	34
16.03	A3	SFN(1-6) 17-Da	54	สถานีเสริม A3 #067	101.909770	17.836250	70	2.0	20,200	Type 5	Da	47	35	31	39	51	28
17.00	M	SFN(1-6) 17-Da	0	อุตรดิตถ์	102.794088	17.664041	156	50.0	ND		Da	47	35	31	39	51	28
17.01	A2	SFN(1-6) 17-Da	0	น้ำโสม	102.189221	17.79859	70	1.0	15	Type 4	Da	47	35	31	39	51	28
18.00	M	SFN(1-6) 18-Db	0	วังยาง	103.553190	18.354690	100	10.0	180		Db	44	32	36	40	26	29
19.00	M	SFN(1-6) 19-Dc	0	สกลนคร	103.987520	17.138050	109	50.0	340		Dc	30	49	41	33	37	27
19.01	A1	SFN(1-6) 19-Dc	26	นครพนม	104.770131	17.374367	120	0.5	90	Type 3	Dc	30	49	41	33	37	27

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
19.02	A3	SFN(1-6) 18-Db	0	สถานีเสริม A3 #110	104.167004	18.017511	70	0.1	270		Db	44	32	36	40	26	29
20.00	M	SFN(1-6) 20-Dd	0	เชียงใหม่	98.915020	18.808140	78	50.0	40,180		Dd	46	50	54	57	38	34
20.01	A1	SFN(1-6) 20-Db	0	โรงพยาบาล	99.144830	19.628480	19	2.0	20	Type 4	Db	32	29	36	26	40	44
20.02	A1	SFN(1-6) 20-Dd	0	เชียงใหม่(ท่าอากาศยาน)	98.951143	19.250543	32	0.5	0,180	Type 5	Dd	46	50	54	57	38	34
20.03	A2	SFN(1-6) 20-Db	0	พริ้ว	99.197111	19.369972	30	2.0	ND	Type 1	Db	32	29	36	26	40	44
20.04	A2	SFN(1-6) 22-Db	3	สี่	98.947841	17.801315	85	2.0	155,345	Type 5	Db	26	44	32	36	40	29
20.05	A2	MFN(1-6) 20-De	0	พุดเตา	98.681750	17.953028	58	10.0	ND	Type 1	De	53	43	45	48	56	59
20.06	A2	SFN(1-6) 20-Db	0	เวียงแหง	98.725861	19.521639	30	10.0	ND	Type 1	Db	32	29	36	26	40	44
20.07	A3	SFN(1-6) 20-Dd	0	สถานีเสริม A3 #007	98.364610	18.596330	70	0.5	0,180	Type 5	Dd	46	50	54	57	38	34
20.08	A3	SFN(1-6) 20-Dd	0	สถานีเสริม A3 #111	98.878759	18.934455	70	2.0	20	Type 4	Dd	46	50	54	57	38	34
20.09	A3	SFN(1-6) 20-Dd	0	สถานีเสริม A3 #086	98.637408	18.613626	70	10.0	ND	Type 1	Dd	46	50	54	57	38	34
20.10	A3	SFN(1-6) 20-Db	0	สถานีเสริม A3 #058	98.849604	19.715375	70	0.1	ND	Type 1	Db	32	29	36	26	40	44
20.11	A3	SFN(1-6) 23-De	0	สถานีเสริม A3 #057	99.452483	19.981013	70	1.0	170	Type 2	De	47	31	35	28	39	51
21.00	M	SFN(1-6) 21-Dc	0	แม่ฮ่องสอน (หอประชุม)	97.957950	19.297550	64	1.0	ND		Dc	37	41	49	30	33	27
21.01	A1	SFN(1-6) 21-Dc	0	แม่ฮ่องสอน (ห้วยทราย)	98.034777	19.106500	50	1.0	90	Type 3	Dc	37	41	49	30	33	27
21.02	A1	MFN(1-6) 21-De	0	แม่ฮ่องสอน	97.944614	18.169806	82	1.0	10,170	Type 5a	Da	47	31	35	28	39	51
21.03	A1	SFN(1-6) 21-Dc	0	ป่า	98.421248	19.385555	100	0.5	165,335	Type 5a	Dc	37	41	49	30	33	27
22.00	M	SFN(1-6) 22-Db	0	ลำปาง	99.560597	18.234928	80	50.0	220		Db	26	44	32	36	40	29
22.01	A1	SFN(1-6) 22-Db	0	เนิน	99.104840	17.664020	80	5.0	135	Type 3a	Db	26	44	32	36	40	29
22.02	A2	SFN(1-6) 23-Dc	0	วังเหนือ	99.619450	19.144704	75	2.0	ND	Type 1	Dc	49	30	33	37	41	27
22.03	A3	SFN(1-6) 23-De	0	สถานีเสริม A3 #112	99.768928	18.543496	70	10.0	ND	Type 5	Dc	45	48	59	56	43	53
22.04	A3	SFN(1-6) 22-Db	0	สถานีเสริม A3 #113	99.9276872	18.788188	70	0.5	150,330	Type 5	Db	26	44	32	36	40	29
23.00	M	SFN(1-6) 23-Dc	0	เชียงใหม่	99.867041	19.813755	70	50.0	90		Dc	49	30	33	37	41	27
23.01	A1	SFN(1-6) 23-Dc	0	พญา(เมือง)	99.880542	19.194063	100	0.5	60	Type 2	Dc	49	30	33	37	41	27
23.02	A1	SFN(1-6) 24-Da	0	พญา(บ้านไร่มาด)	99.911417	18.988389	120	0.5	0,180	Type 5	Da	28	31	35	39	51	47
23.03	A2	SFN(1-6) 23-Dd	0	เชียงใหม่	100.411051	20.246216	80	10.0	240	Type 2	Dd	38	50	46	34	54	57

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
23.04	A2	SFN(1-6) 23-Dc	0	วังน้ำเขียว	99.508308	19.344348	95	10.0	175,345	Type 5	Dc	49	30	33	37	41	27
23.05	A2	SFN(1-6) 23-Dc	0	แม่สอด (หอประชุมท่าอากาศยาน)	99.466883	19.663794	97	1.0	ND	Type 1	Dc	49	30	33	37	41	27
23.06	A3	SFN(1-6) 23-Da	0	สถานีเสริม A3 #059	99.709690	20.288217	70	1.0	160	Type 2	Da	47	31	35	28	39	51
23.07	A3	SFN(1-6) 23-Dc	0	สถานีเสริม A3 #115	99.6512700	19.4641781	70	0.5	10,190	Type 5	Dc	49	30	33	37	41	27
23.08	A3	SFN(1-6) 23-Dd	0	สถานีเสริม A3 #009	100.402130	19.907417	70	2.0	30,210	Type 5	Dd	38	50	46	34	54	57
23.09	A3	SFN(1-6) 23-Dd	0	สถานีเสริม A3 #008	100.265720	20.217040	70	1.0	0,180	Type 5	Dd	38	50	46	34	54	57
23.10	A3	SFN(1-6) 23-Dd	0	สถานีเสริม A3 #114	100.292240	19.582662	70	0.5	40	Type 4	Dd	38	50	46	34	54	57
23.11	A3	SFN(1-6) 24-Da	0	สถานีเสริม A3 #004	100.238690	19.100680	70	0.5	10,190	Type 5	Da	28	31	35	39	51	47
24.00	M	SFN(1-6) 24-Da	40	บ้าน	100.741150	18.742640	70	50.0	10,190		Da	28	31	35	39	51	47
24.01	A1	SFN(1-6) 24-Da	0	เชียงใหม่(หอประชุมท่าอากาศยาน)	100.822040	19.219755	22	1.0	90	Type 3	Da	28	31	35	39	51	47
25.00	M	SFN(1-6) 25-De	0	พริ้ว	100.001030	17.932690	64	30.0	110,190		De	45	48	59	56	43	53
25.01	A2	SFN(1-6) 25-De	0	วังชิ้น	99.601694	17.909139	58	0.5	55, 235	Type 5a	De	45	48	59	56	43	53
26.00	M	SFN(1-5) 27-Dc	20	อุตรดิตถ์	100.125433	17.619686	120	2.0	180		Dc	41	30	33	37	49	52
26.01	A3	SFN(1-6) 25-De	0	สถานีเสริม A3 #003	100.777810	17.844210	70	0.5	30,210	Type 5	De	45	48	59	56	43	53
27.00	M	SFN(1-6) 27-Dc	0	สุโขทัย	100.010563	16.984763	156	50.0	ND		Dc	41	30	33	37	49	52
27.01	A1	SFN(1-6) 27-De	0	กำแพงเพชร	99.524040	16.517987	120	1.0	ND	Type 1	De	53	43	45	48	56	59
27.02	A2	SFN(1-6) 27-De	0	คลองลาน	99.319228	16.204277	90	10.0	85	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
27.03	A2	SFN(1-6) 30-Db	0	นครไทย (ท่าอากาศยาน)	100.856456	16.873538	72	10.0	ND	Type 1	Db	40	44	29	32	36	26
27.04	A3	SFN(1-6) 27-Dc	0	สถานีเสริม A3 #001	100.585538	16.984139	70	10.0	ND	Type 1	Dc	41	30	33	37	49	52
28.00	M	SFN(1-6) 28-Da	0	ตาก	98.927687	16.778691	80	50.0	350		Da	31	35	39	51	47	28
28.01	A1	SFN(1-6) 28-Da	0	แม่สอด	98.566522	16.732602	100	5.0	260	Type 2	Da	31	35	39	51	47	28
28.02	A2	SFN(1-6) 28-Da	0	ตาก	98.691930	16.392920	70	0.5	70	Type 2	Da	31	35	39	51	47	28
28.03	A3	MFN(1-6) 28-Db	0	สถานีเสริม A3 #042	98.391390	17.139700	70	0.5	130,310	Type 5	Db	32	29	36	26	40	44
29.00	M	SFN(1-6) 29-Dd	0	นครสวรรค์	100.133580	15.716170	86	50.0	ND		Dd	57	46	50	54	38	34
29.01	A1	SFN(1-6) 27-Dc	0	พิจิตร	100.320572	16.448243	33	2.0	160	Type 2	Dc	41	30	33	37	49	52
29.02	A2	SFN(1-6) 29-Dd	0	ตาก	99.549740	15.460930	70	10.0	70	Type 2	Dd	57	46	50	54	38	34

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
30.00	M	SFN(1-6) 30-Db	0	เพชรบูรณ์	101.071373	16.251014	154	10.0	10,190		Db	40	44	29	32	36	26
30.01	A1	SFN(1-6) 3-De	0	วิเชียรบุรี	101.103522	15.656473	80	5.0	185,355	Type 5a	De	53	43	45	48	56	59
30.02	A2	SFN(1-6) 16-Dd	0	พลับพลา	101.232273	16.884594	70	0.5	10,190	Type 5	Dd	46	50	57	54	38	34
30.03	A3	SFN(1-6) 30-Db	0	สถานีเสริม A3 #018	100.885630	16.668883	70	20.0	160,340	Type 5	Db	40	44	29	32	36	26
30.04	A3	SFN(1-6) 30-Db	0	สถานีเสริม A3 #094	100.962687	16.270036	70	0.5	230	Type 2	Db	40	44	29	32	36	26
31.00	M	SFN(1-6) 31-Da	0	ชุมพวง	99.191480	10.530810	154	50.0	40,190		Da	51	47	31	35	39	28
31.01	A1	SFN(1-6) 31-Da	0	พญ่าไทร	99.064853	9.959558	120	2.0	185,355	Type 5a	Da	51	47	31	35	39	28
31.02	A1	SFN(1-6) 31-Da	62	บ้านชะ (บ้านชะอี)	99.215555	10.835377	32	0.5	20	Type 2	Da	51	47	31	35	39	28
31.03	A3	SFN(1-6) 31-Da	0	สถานีเสริม A3 #116	98.9921533	10.2387322	70	0.5	20,200	Type 5	Da	51	47	31	35	39	28
32.00	M	SFN(1-6) 32-Dc	0	วังยาง	98.669486	10.028664	123	15.0	20,200		Dc	49	30	37	41	33	27
32.01	A3	SFN(1-6) 31-Da	0	สถานีเสริม A3 #041	98.894538	10.482280	70	10.0	20,200	Type 6	Da	51	47	31	35	39	28
33.00	M	SFN(1-6) 33-Db	0	สุราษฎร์ธานี	99.348530	9.092330	84	50.0	270		Db	26	36	40	44	32	29
33.01	A1	SFN(1-6) 33-Dd	0	เกาะลันตา	99.988110	9.490660	60	0.5	5,195	Type 5a	Dd	38	50	46	34	54	57
33.02	A2	SFN(1-6) 34-Dd	0	พญา (บ้านศรีสวัสดิ์)	98.800205	8.835879	45	10.0	ND	Type 1	Dd	38	50	46	34	54	57
33.03	A3	SFN(1-6) 32-Dc	0	สถานีเสริม A3 #036	98.809130	9.665117	70	0.5	10,190	Type 5	Dc	49	30	37	41	33	27
33.04	A3	SFN(1-6) 33-Db	0	สถานีเสริม A3 #095	99.489974	8.695960	70	10.0	200	Type 4	Db	26	36	40	44	32	29
33.05	A3	SFN(1-6) 33-Dd	0	สถานีเสริม A3 #117	100.026494	9.532565	70	0.1	50	Type 4	Dd	38	50	46	34	54	57
34.00	M	SFN(1-6) 34-Da	0	คูบัว	98.395300	7.898710	64	25.0	50		Da	35	39	51	47	31	28
34.01	A1	SFN(1-6) 34-Dd	0	สะแกกรัง	98.350806	8.839694	60	2.0	185,355	Type 5a	Dd	38	50	46	34	54	57
34.02	A1	SFN(1-6) 34-Da	0	เกาะจันทร์	98.906656	8.063000	100	5.0	ND	Type 1	Da	35	39	51	47	31	28
34.03	A1	SFN(1-6) 34-Da	0	พังนก	98.506540	8.434645	100	2.0	ND	Type 1	Da	35	39	51	47	31	28
34.04	A2	SFN(1-6) 34-Da	0	ป่าตอง	98.316287	7.890979	35	0.5	310	Type 4	Da	35	39	51	47	31	28
34.05	A2	SFN(1-6) 34-Da	0	ถลาง	98.329306	8.033861	35	2.0	ND	Type 1	Da	35	39	51	47	31	28
34.06	A2	SFN(1-6) 34-Dd	0	ป่าตองทะเล	98.863561	8.529853	87	10.0	ND	Type 1	Dd	38	50	46	34	54	57
34.07	A3	SFN(1-6) 34-Da	0	สถานีเสริม A3 #092	98.363047	8.532641	70	2.0	ND	Type 1	Da	35	39	51	47	31	28
35.00	M	SFN(1-6) 35-Dc	0	นครศรีธรรมราช	99.977210	8.366790	124	30.0	140,320		Dc	30	33	37	41	49	27

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Art. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (kW)	HRP (degrees)	Antenna type	Ch gr	Ch Mux 1	Ch Mux 2	Ch Mux 3	Ch Mux 4	Ch Mux 5	Ch Mux 6
35.01	A1	SFN(1-6) 35-Dc	0	พุนง (เขาพุนง)	99.489998	8.210180	63	10.0	270	Type 7a	Dc	30	33	37	41	49	27
35.02	A2	SFN(1-6) 33-Db	0	เขาชะพลู	99.825820	9.118560	70	0.5	350	Type 2	Db	26	36	40	44	32	29
35.03	A3	SFN(1-6) 35-Dc	0	สถานีเสริม A3 #118	99.801770	8.199539	70	10.0	195	Type 4	Dc	30	33	37	41	49	27
36.00	M	MFN(1-6) 36-De	0	ศรี	99.486511	7.656956	126	40.0	260		De	43	59	48	53	56	45
37.00	M	SFN(1-6) 37-TDa	0	ศรีนคร	100.519690	7.015170	66	50.0	230		TDa	50	42	46	38	26	34
37.01	A2	SFN(1-6) 39-TDb	0	เขาพญา	100.938000	6.739820	50	10.0	ND	Type 1	TDb	32	48	36	44	28	40
37.02	A2	SFN(1-6) 37-TDa	0	นาทวี	100.691846	6.741278	47	10.0	ND	Type 1	TDa	50	42	46	38	26	34
38.00	M	SFN(1-5) 37-TDa	0	สุราษฎร์	100.025600	6.635370	64	30.0	270		TDa	50	42	46	38	26	52
38.01	A3	SFN(1-6) 37-TDa	0	สถานีเสริม A3 #074	100.077530	6.973240	70	10.0	230	Type 2	TDa	50	42	46	38	26	34
39.00	M	SFN(1-6) 39-TDb	0	เขาชะ	101.387220	6.336110	84	30.0	120		TDb	32	48	36	44	28	40
39.01	A1	SFN(1-6) 39-TDb	0	เขาชะ	101.051735	5.771216	100	1.0	ND	Type 1	TDb	32	48	36	44	28	40
39.02	A1	SFN(1-6) 39-TDb	0	สุ่มพรพาศิ	101.283149	6.477219	80	2.0	90	Type 3	TDb	32	48	36	44	28	40
39.03	A1	SFN(1-6) 39-TDb	0	บึงฉลือ	101.801944	6.411111	100	2.0	210	Type 3	TDb	32	48	36	44	28	40
39.04	A3	SFN(1-6) 39-TDb	32	สถานีเสริม A3 #119	101.924532	6.055026	70	1.0	30,210	Type 5	TDb	32	48	36	44	28	40
39.05	A3	SFN(1-6) 39-TDb	0	สถานีเสริม A3 #120	101.511731	6.748860	70	5.0	10,190	Type 5	TDb	32	48	36	44	28	40