รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับแต่งสัญญาณโครงข่ายความถี่เดียวสำหรับระบบโทรทัศน์ดิจิทัลประเทศไทย

Optimizing Single Frequency Network Signal for Digital Television Broadcasting in Thailand

นายธีรภัทร ศิรวัฒนามงคล

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148488

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับแต่งสัญญาณโครงข่ายความถี่เดียวสำหรับระบบโทรทัศน์ดิจิทัลประเทศไทย

Optimizing Single Frequency Network Signal for Digital Television Broadcasting in Thailand

นายธีรภัทร ศิรวัฒนามงคล

วพ.
ธ636ก
2559
เลขหมู่
เลขทะเบียน 148488
วัน.เดือน.ปี 30 ก.ย. 2560

b.12870808
i.

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การปรับแต่งสัญญาณโครงข่ายความถี่เดียวสำหรับระบบโทรทัศน์ดิจิทัลในประเทศไทย

ชื่อ-สกุล นักศึกษา ธีรภัทร ศิรวัฒนามงคล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร. สถาพร พรหมวงศ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน บัณฑิต รักวีรธรรม

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ด้วยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ประกาศให้ประเทศไทย ใช้การกระจายเสียง และการแพร่ภาพโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง โดยได้เลือกใช้โครงข่ายความถี่เดียว ดังนั้นเพื่อให้การส่งผ่านสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินมีคุณภาพ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ และการปรับแต่งระบบสัญญาณระหว่างสถานีโทรทัศน์ทุกโครงข่ายให้มีความเหมาะสมที่สุด โครงงานนี้ได้ศึกษาคุณลักษณะการประวิงเวลาของช่องสัญญาณการส่งผ่านโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน ระหว่างโครงข่ายสถานีฐานด้วยความถี่เดียว สำหรับการทดสอบได้พิจารณาสถานีส่ง 2 สถานี และใช้สเปกตรัมทำการวัดและบันทึกผล โดยใช้เทคนิคการปรับประวิงเวลาของแต่ละสถานีให้เหมาะสม ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเวลาจะทำให้ผู้บริโภคสามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้มากขึ้น ทั้งนี้แบบแผนวิธีการปรับการประวิงเวลาของสัญญาณมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการปรับความเหมาะสมระหว่างโครงข่ายส่งความถี่เดียว

คำสำคัญ : DVB-T2, SFN, MFN, การวัดสัญญาณ DVB-T2, กสทช.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title:	Optimizing SFN Signal for Digital Television Broadcasting in Thailand
Student Intern Name:	Teerapat Sirawattanamongkol
Faculty: Engineering	**Department:** Telecommunication
Advisor Name:	Dr. Sathaporn Promwong
Mentor Name:	Bundit Ruckveratham
Company:	Mcot Public Company Limited

ABSTRACT

The National Broadcasting and Telecommunication Commission declared that Thailand will be using DVB-T2 by means o Singlr Frequency Network (SFN). In order to ensure the quality of digital television terrestrial broadcasting it is necessary to study parameter related to SFN and how to optimize the signal between each transmission site. This project studied delay characteristic of DVB-T2 transmission channel between each transmission site over SFN. The experiment invole measuring and recording spectrum of two transmission sites while optimizing the delay of each site. The result from analyzing data from this experiment will increase the coverage area of broadcasting. Nevertheless the method of adjusting delay is of great importance for optimizing SFN.

Keywords : DVB-T2, SFN, MFN, DVB-T2 Measurement, NBTC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานและรายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุลวงไปได้ด้วยความอนุเคราะหจากบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ที่ได่มอบโอกาสให่เข่าไปทำสหกิจศึกษา มอบประสบการณและความรู่ตาง ๆ ในการทำงาน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะทีมงานที่ดูแลให่คำปรึกษา และคอยให้คำแนะนำในการทำงานโครงการสหกิจศึกษา และให้ความอนุเคราะห์จัดทำโคงงานอาทิ คุณธานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์ ผู้จัดการฝ่ายแผนงานวิศวกรรม คุณสุธี สุวรรณประภา ผู้จัดการส่วนควบคุมสัญญาณโทรทัศน์ เป็นผู้ให้ความความอนุเคราะห์ทางด้านการจัดการอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน คุณ ศักดิ์สิทธิ์ ชัยพงษ์ วิศวกรอาวุโส ผู้อำนวยความสะดวกในการวัดสัญญาณที่ต่างจังหวัด คุณบัณฑิต รักวีรธรร วิศวกรอาวุโส ผู้เป็นพี่เลี้ยงในทุก ๆ ด้าน อีกทั้งเป็นผู่นิเทศโครงงานนี้ และพี่ ๆใน บมจ.อสมท ทุกท่านเป็นอย่าสูงยิ่งมา ณ ที่นี้ด้วย

โครงงานนี้ไม่อาจสำเร็จได้หากไม่ได้รับความกรุณาจากอาจาร์ย ดร. สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร. พิชญ สุพรรณกูล ซึ่งเป็นอาจาร์ยที่ปรึกษา และเป็นอาจาร์ยนิเทศ เพื่อชี้แนะแนวทางในการทำงาน คอยให้การสนับสนุน และช่วยเหลือเมื่อมีปัญหาตลอดการทำโครงงาน ขแกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คณะทำงานสหกิจศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้จัดทำโครงการสหกิจนี้ขึ้นมา

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ ที่ใหความชวยเหลือ และให่คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยนี้ ชวยตอบปญหา หรือขอสงสัยบางประการที่ไมเขาใจ ใหเขาใจมากยิ่งขึ้น

สุดท่ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสงเสริมและสนับสนุน คอยให่กำลังใจในการทำงานโครงงานสหกิจศึกษานี้

ธีรภัทร ศิรวัฒนามงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3. ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4

2.1. วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย 4

2.2. โทรทัศน์แอนะล็อก 5

2.3. โทรทัศน์ดิจิทัล 7

2.4. เทคโนโลยี DVB-T2 11

2.5. ประโยชน์จากการเปลี่ยนมาใช้ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล 18

2.6. SFN 21

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน 37

3.1. พารามิเตอร์ในการวัดสัญญาณสำหรับโครงข่าย MFN และ SFN 37

3.2. การคำนวณ DELAY ที่เกิดขึ้น 42

3.3. โมเดลการวัดสัญญาณ SFN 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบสัญญาณและผลการทดลอง 50

4.1. การวัดสัญญาณที่มุกดาหาร 50

4.2. การวัดสัญญาณที่ บมจ. อสมท 52

4.3. ผลการวัดสัญญาณ SFN ที่ บมจ. อสมท 64

4.4. ผลการเปรียบเทียบ 75

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 76

5.1. สรุปผลการวิจัย 76

5.2. ปัญหาและอุปสรรค 77

5.3. ข้อเสนอแนะ 77

เอกสารอ้างอิง 78

ภาคผนวก 80

ภาคผนวก ก 81

ภาคผนวก ข 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1. เปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรฐานต่างๆ....9
2.2. ช่วงของอัตราบิตสำหรับแต่ละความคมชัด....15
2.3. กำหนดความถี่ที่ใช้ในประเทศไทย....22
2.4. กำหนดความถี่หมายเลขช่องวิทยุ....23
2.5. พารามิเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย....30
2.6. พารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราบิต....30
2.7. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อ SFN Distance....31
3.1. ความถี่ทั้ง 5 MUX ที่มุกดาหาร....43
ก.1. อักษรย่อและประเภทของสถานี....81
ก.2. กลุ่มช่องความถี่วิทยุ....83
ก.3. รายละเอียดของสถานีในประเทศไทย....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย 4

2.2 มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์แอนะล็อกในแต่ละประเทศ 6

2.3 มาตรฐานระบบโทรทัศน์ดิจิทัลที่ทั่วโลกเลือกใช้ 8

2.4 การเข้ารหัสของฝั่งส่งและการถอดรหัสของฝั่งรับ 13

2.5 ตัวอย่างสัญญาณ OFDM และ คลื่นพาห์ย่อย 14

2.6 ส่วนประกอบของ TS 15

2.7 โครงสร้างของ TS 16

2.8 โครงสร้างและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของ MPEG TABLE SECTION 17

2.9 ส่วนประกอบของ HEADER ใน TS 18

2.10 เปรียบเทียบโครงข่าย MFN และ SFN 21

2.11 โครงสร้างการมอดูเลตสัญญาณ QPSK 23

2.12 สัญญาณ SIN WAVE ที่มุมเฟสต่างๆ 24

2.13 การมอดูเลตแบบต่างๆที่ให้อัตราบิตต่อ SYMBOL แตกต่างกัน 24

2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/N_{MIN} กับ CAPACITY ที่การมอดูเลตแต่ละแบบ 25

2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/N_{MIN} กับ CAPACITY ที่การมอดูเลตและ CODE RATE แต่ละแบบ 25

2.16 PP2 สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2 26

2.17 PP7 สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2 26

2.18 การตั้ง 2K MODE สำหรับช่องสัญญาณ 8 MHZ 27

2.19 การรบกวนกันระหว่าง DIRECT WAVE กับ INDIRECT WAVE 28

2.20 กลไก GI ซึ่งช่วยลดโอกาสเกิด ISI 28

2.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง SFN DISTANCE กับ CAPACITY ที่ GI แต่ละรูปแบบ 29

2.22 ข้อมูลที่มีความถี่เดียวกันทั้ง 2 เครื่องส่ง 32

2.23 ข้อมูลที่ใช้ฐานเวลาเดียวกันทั้ง 2 เครื่องส่ง 32

2.24 ข้อมูลที่มีความถูกต้องระดับบิตทั้ง 2 เครื่องส่ง 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.25 สัญญาณสะท้อนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมและ DELAY จากโครงข่าย SFN 33
2.26 เปรียบเทียบสัญญาณระหว่างมีการสะท้อนจากสภาพแวดล้อมกับไร้การสะท้อน 34
2.27 การแทรก GI เข้าไปตรงส่วนหน้าของแต่ละ OFDM SYMBOL 34
2.28 การรับสัญญาณขณะเคลื่อนที่มีผลต่อ FREQUENCY SHIFT 35
2.29 สัญญาณที่โดน NOISE รบกวนในช่องสัญญาณจนทำให้ข้อมูลมีความผิดพลาด 35
2.30 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแต่งสัญญาณให้มีความคงทนมากขึ้น 36
3.1 การวัดหาอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน 39
3.2 บล็อกไดอะแกรมของอัตราความผิดพลาดบิต 39
3.3 CONSTELLATION DIAGRAM 41
3.4 ระยะห่างระหว่างสถานีหลัก สถานีเสริม และจุดรับสัญญาณ 42
3.5 ห้องที่ใช้ในการทดลอง SFN 44
3.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล 44
3.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ TYPE 4 45
3.8 จุดรับสัญญาณใช้สายอากาศยากิ-อูดะ 5 อิลิเมนต์ เสาสูง 6 เมตร 46
3.9 การตั้งโหมดเป็น SFN 47
3.10 เลือกสัญญาณ INPUT เป็น T2-MI 47
3.11 เลือกความถี่ที่ใช้ในการออกอากาศ 48
3.12 เช็ค STATUS ของ GPS 48
3.13 การตั้ง DELAY ของสัญญาณ 49
4.1 เครื่องวัดสัญญาณ 50
4.2 เสาสูง 6 เมตร 50
4.3 เครื่องส่ง ROHDE&SCHWARZ กรณีทำ SFN ไม่ได้ 51
4.4 เครื่องส่ง ROHDE&SCHWARZ กรณีทำ SFN ได้ 52
4.5 สายอากาศไดโพล 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 IRD 53
4.7 EXCITER 54
4.8 ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาว 54
4.9 สาย COAXIAL CABLE 54
4.10 GPS 55
4.11 สาย BNC 55
4.12 DUMMY LOAD 56
4.13 ต่ออุปกรณ์ลง RACK 57
4.14 แสดง RF STATUS ของ IRD 58
4.15 เช็ค STATUS ของ EXCITER 58
4.16 บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง 59
4.17 การปรับสายอากาศไดโพลให้ได้ความถี่ที่ต้องการ 59
4.18 การเลือก IMPEDANCE ของสายอากาศ 60
4.19 TVMASTER PLAN 60
4.20 ดูค่าสัญญาณที่ได้ 61
4.21 สัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามามีความแตกต่าง 0 us 62
4.22 สัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามามีความแตกต่าง 30 us 62
4.23 สัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามามีความแตกต่าง 300 us 63
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง POWER และ MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 1 64
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ BBER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 1 65
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 1 65
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง POWER และ MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 2 66
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ BBER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 2 66
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 2 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง POWER และ MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 3 67
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ BBER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 3 68
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 3 68
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง POWER และ MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 4 69
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ BBER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 4 69
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 4 70
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง POWER และ MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 5 70
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ BBER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 5 71
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ DELAY ใน MUX ที่ 5 71
4.39 เปรียบเทียบ POWER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN 72
4.40 เปรียบเทียบ MER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN 72
4.41 เปรียบเทียบ SD MER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN 73
4.42 เปรียบเทียบ BBER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN 73
4.43 เปรียบเทียบกราฟ PDF ของ MER ทั้ง 5 MUX 74
4.44 เปรียบเทียบกราฟ CDF ของ MER ทั้ง 5 MUX 74
ข.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในประเทศไทย 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญ

การให้บริการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในประเทศไทย อยู่ในช่วงเปลี่ยนแปลงจากระบบอะนาล็อกไปสู่ระบบดิจิทัล โดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เลือกระบบออกอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลเป็น DVB-T2 (Digital Video Broadcasting–Second Generation Terrestrial) ซึ่งเป็นมาตรฐานการแพร่ภาพดิจิทัลภาคพื้นดิน โดยประเทศไทยมีการให้บริการโครงข่ายของโทรทัศน์ดิจิทัลทั้งหมด 5 โครงข่าย (5 MUX) เพื่อให้การเปลี่ยนเป็นระบบทีวีดิจิทัลเกิดประโยชน์สูงสุด กสทช. จึงได้กำหนดให้ประเทศไทยใช้การออกอากาศโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network : SFN) และเนื่องจากยังมีบางพื้นที่ใช้ระบบออกอากาศทีวีแอนะล็อกอยู่ จึงต้องใช้การออกอากาศโครงข่ายหลายความถี่ด้วย (Multi Frequency Network : MFN)

บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทที่เกี่ยวกับสื่อสารมวลชน ประกอบกิจการด้านวิทยุและโทรทัศน์ มีการแพร่ภาพออกอากาศตลอด 24 ชั่วโมง และมีการให้บริการในด้านของโทรทัศน์ดิจิทัล โดยบริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ให้บริการโครงข่ายที่3 (MUX 3) จึงต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของสัญญาณว่าครอบคลุมครอบคลุมในแต่ละพื้นที่ดีหรือไม่

ในกรณีที่มีบางพื้นที่สัญญาณไม่ครอบคลุม หรือพื้นที่ที่คุณภาพของสัญญาณไม่ดีพอในการรับชมภาพ จึงต้องมีการแก้ไขพื้นที่เหล่านั้นด้วย gap filter แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางเทคนิคบางอย่าง gap filter จึงไม่เหมาะในบางพื้นที่ ดังนั้น SFN จะเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหาเหล่านี้

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยี DVB-T2 ที่ใช้สำหรับประเทศไทย

1.2.2. เพื่อศึกษาหลักการ อุปกรณ์ และระบบโครงข่ายความถี่เดียว

1.2.3. เพื่อศึกษา และออกแบบระบบโครงขายความถี่เดียว

1.2.4. เพื่อศึกษา และทดสอบระบบโครงข่ายความถี่เดียว

1.2.5. เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และประเมินผลการทดสอบระบบโครงข่ายความถี่เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบระบบออกอากาศของโครงข่ายความถี่เดียวโดยใช้พารามิเตอร์ตามที่ กสทช. กำหนด

บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยเล่มนี้ได้ศึกษา ทดลองวัด เปรียบเทียบระหว่างการออกอากาศโครงข่ายความถี่เดียวและโครงข่ายหลายความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล รวมถึงการปรับแต่งสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการออกอากาศโครงข่ายความถี่เดียวที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย

โทรทัศน์ในประเทศไทยเริ่มออกอากาศทางภาคพื้นดินตั้งแต่ปี พ.ศ.2498 โดยเริ่มใช้ย่านความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ประกอบด้วยความถี่ต่ำ (Low band) คือ ช่องสัญญาณที่ 2-4 และช่วงความถี่สูง (High band) คือช่องสัญญาณที่ 5-12 จนกระทั่งปี พ.ศ.2538 จึงเริ่มใช้ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency; UHF) คือช่องสัญญาณที่ 26-60 ซึ่งใช้เป็นระบบสัญญาณแอนะล็อกในการส่งแพร่ภาพขาว-ดำ 525 เส้นต่อภาพ 30 ภาพต่อวินาที (National Television System Committee; NTSC) กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC)

ต่อมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2510 จึงเริ่มนำระบบการส่งแพร่ภาพ 625 เส้นต่อภาพ 25 ภาพต่อวินาที (Phase Alternating Line; PAL) กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการที่ปรึกษานานาชาติว่าด้วยคลื่นวิทยุ (Consultative Committee on International Radio; CCIR) ปัจจุบันคือภาควิทยุคมนาคมโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector; ITU-R) เข้ามาใช้ในประเทศไทยและเริ่มออกอากาศด้วยภาพสีภายใต้ระบบดังกล่าวเป็นต้นมา

จากนั้นก็เริ่มมีการนำระบบดิจิทัลเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตรายการ และควบคุมการออกอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 และนำมาใช้ในกระบวนการส่งแพร่ภาพ ผ่านโครงข่ายอุปกรณ์รวมส่งสัญญาณ (Multiplexer : MUX) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 จนถึงปัจจุบัน (ซึ่งเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 ได้มีมติเลือกระบบ DVB-T2 เป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย) โดยจะยุติการออกอากาศสัญญาณแอนะล็อก ในปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป ดังรูปที่ 2.1 ภาพรวมโทรทัศน์ในประเทศไทย

พ.ศ.2498 ภาพขาว-ดำ FCC 525เส้น

พ.ศ.2510 ภาพสี CCIR PAL 625เส้น

พ.ศ.2556 ระบบ DVB-T2

รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการโทรทัศน์ในประเทศไทย [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1. การแพร่ภาพโทรทัศน์

การมองเห็นภาพเคลื่อนไหวเกิดจากการที่สายตามนุษย์เห็นภาพนิ่งที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยซ้อนเรียงกันตั้งแต่ 16 ภาพต่อวินาทีขึ้นไป ซึ่งจะทำให้สายตาของคนจับการเปลี่ยนแปลงของภาพไม่ทัน จึงเกิดลักษณะการมองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวได้ จากหลักการดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการแพร่ภาพโทรทัศน์ เนื่องจากการแพร่ภาพคือการส่งภาพและเสียงออกไปในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นสัญญาณโทรทัศน์เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับภาพและเสียงได้อย่างต่อเนื่อง

การแพร่ภาพโทรทัศน์ เป็นวิธีการรับส่งข้อมูลข่าวสารทั้งข้อมูลภาพ และเสียง โดยแบ่งการทำงานออกเป็นสองประเภท ได้แก่ การแพร่ภาพโทรทัศน์ระบบแอนะล็อก และระบบดิจิทัล โดยหลักการแพร่ภาพเบื้องต้นเกิดจากเครื่องส่งจะส่งสัญญาณภาพและเสียงพร้อมกับผสมสัญญาณรวมกับคลื่นวิทยุ แล้วกระจายสู่อากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นเครื่องรับจะทำการแยกสัญญาณทำให้เป็นภาพปรากฏที่หน้าจอเครื่องรับ ซึ่งการแพร่ภาพในแต่ละประเภทนี้สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในหลายช่องทางเช่น การส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิล การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมและการส่งสัญญาณแพร่ภาพภาคพื้นดินด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งอาจจะมาจากการถ่ายทอดสดหรือจากการบันทึกเทปไว้

2.2. โทรทัศน์แอนะล็อก (Analog Television)

โทรทัศน์แอนะล็อก คือ โทรทัศน์ที่มีระบบการรับ-ส่งสัญญาณภาพ และเสียงในรูปสัญญาณแอนะล็อกแบบ AM และ FM แบ่งเป็นระบบ NTSC, ระบบ PAL และ SECAM ดังรูปที่ 2.2

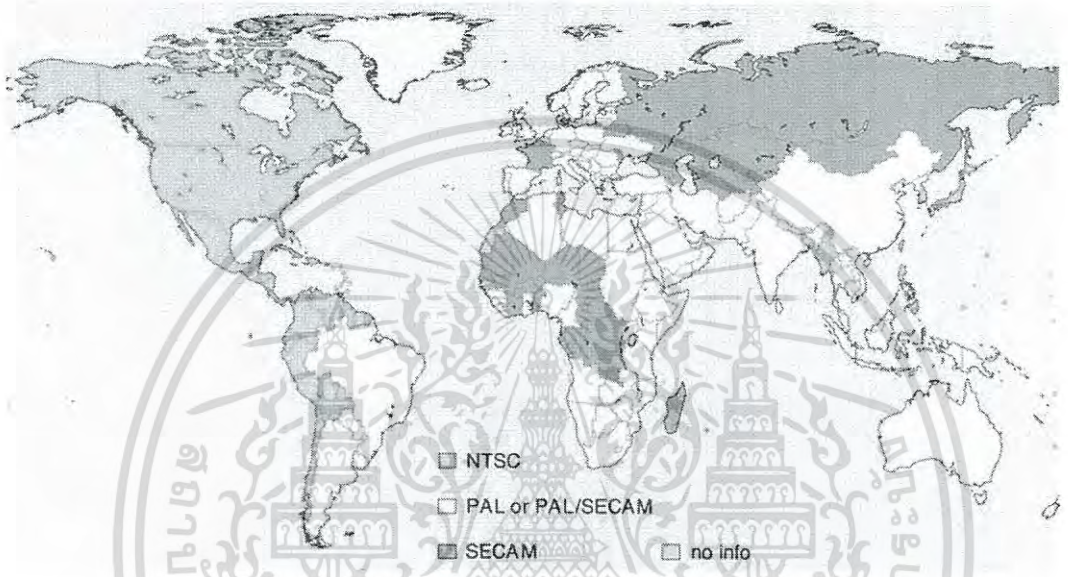
2.2.1. ระบบโทรทัศน์แอนะล็อก

1. ระบบ NTSC ย่อมาจาก Nation Television System Committee โดยมีการส่ง 525 เส้น 30 ภาพ/วินาที หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบเอฟซีซี (FCC) มีการใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศที่เคยอยู่ภายใต้อาณานิคมของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นส่วนใหญ่ หลักการของระบบนี้คือแทรกความถี่พาหะย่อยของสีลงในสัญญาณภาพโดยไม่รบกวนกัน แต่ข้อเสียของระบบนี้คือจะมีความเพี้ยนของสีเกิดขึ้น

2. ระบบ PAL ย่อมาจาก Phase Alternative Line หรือเรียกว่าระบบCCIR ซึ่งเป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบโทรทัศน์ NTSC โดยมีการส่ง 625 เส้น 25 ภาพต่อวินาที ซึ่งหลักการของระบบนี้จะเหมือนกันกับหลักการของระบบเอ็นทีเอสซี (NTSC) โดยปรับปรุงเรื่องความผิดพลาดของสีที่เกิดจากเฟสที่เปลี่ยนไปเปลี่ยนมา โดยมีวิธีการแก้ไขคือเพิ่มเฟสเข้าไป 180 องศา และเป็นระบบการส่งโทรทัศน์ของสถานีโทรทัศน์ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบ SECAM ย่อมาจาก Sequential Color with a memory โดยมีการส่ง 625 เส้น 25 ภาพต่อวินาที เป็นระบบที่ใช้ในประเทศฝรั่งเศสและหลายประเทศในยุโรปและแอฟริกา แยกส่งสัญญาณกำหนดความแตกต่างของสีสลับกันทีละเส้น ในเครื่องรับจะจับสัญญาณไว้ชุดหนึ่งเพื่อรวมกับสัญญาณในเส้นถัดไปทำให้ได้ภาพสีตรงตามสัญญาณภาพที่ส่งมา เป็นระบบที่ใช้ในประเทศฝรั่งเศสประเทศทางแถบยุโรปและแอฟริกา



รูปที่ 2.2 มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์แอนะล็อกในแต่ละประเทศ [11]

2.2.2. คุณภาพของระบบโทรทัศน์สีในระบบต่างๆ

1. ระบบ NTSC เป็นระบบที่มีข้อดี คือ สามารถมองเห็นภาพได้ 30 ภาพ/วินาที (ระบบอื่นมองเห็นได้ 25 ภาพ/วินาที) ทำให้การสั่นไหวของภาพลดน้อยลง และเนื่องจากสัญญาณภาพ ใช้ความกว้างของคลื่นสัญญาณน้อย ทำให้ภาพถูกรบกวนน้อย ภาพที่ได้รับจึงมีความคมชัดมากขึ้น ส่วนข้อเสีย นั้นเกิดจากการที่เส้นสแกนภาพมีจำนวนน้อย หากใช้จอภาพเครื่องรับโทรทัศน์ที่มีขนาดใหญ่รับภาพจะทำให้รายละเอียดภาพมีน้อย ดังนั้นภาพจึงขาดความคมชัดและถ้าใช้เครื่องรับโทรทัศน์ขาว-ดำ สัญญาณสีที่ความถี่ 3.58 MHz จะเกิดการรบกวนสัญญาณขาว-ดำ ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสี วิธีแก้ไข ต้องปรับแก้ที่เครื่องรับโทรทัศน์ เพื่อให้ได้ภาพเป็นธรรมชาติ ซึ่งต้องใช้ความสามารถเฉพาะตัวของผู้รับชมปรับแต่งสีให้ภาพได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบ PAL เป็นระบบที่ให้รายละเอียดของภาพสูง ไม่มีความผิดเพี้ยนของสี ภาพที่ได้เป็นธรรมชาติ ความเข้มของภาพสูง (High Contrast) ดีกว่าระบบ NTSC แต่มีข้อเสียคือภาพที่มองเห็นมีความสั่นไหวมากกว่าระบบ NTSC เนื่องจากภาพที่มองเห็น 25 ภาพ/วินาที ถูกรบกวนสัญญาณ ภาพสูง สาเหตุเพราะมีความกว้างของสัญญาณภาพมากกว่า (Higher Bandwidth)ระบบ NTSC จุดอิ่มตัวความสว่างของสีน้อย (reduce the color saturation) ทำให้เห็นความสว่างของสีน้อยลง

3. ระบบ SECAM เป็นระบบที่ไม่มีความผิดเพี้ยนของสี รายละเอียดของภาพมีคุณภาพสูงเทียบเท่ากันระบบ PAL ข้อเสีย ภาพจะมีการสั่นไหวเหมือนระบบ PAL ส่วนการตัดต่อภาพในระบบนี้ไม่สามารถทำได้ ซึ่งในการผลิตรายการโทรทัศน์ส่วนมากใช้ระบบ PAL และเมื่อผลิตเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนกลับไปเป็นระบบ SECAM แล้วจึงส่งออกอากาศและเนื่องจากความกว้างของคลื่นสัญญาณมีน้อย จึงทำให้เกิดคลื่นความถี่สัญญาณสีรบกวนภาพ (Patterning Effects) จึงทำให้ภาพเกิดมีสีรบกวนในขณะรับชมรายการได้

2.3. โทรทัศน์ดิจิทัล

โทรทัศน์ระบบดิจิทัล (Digital television) หรือทีวีดิจิทัล หรือ DTV คือการส่งผ่านของเสียง และวิดีโอโดยใช้กระบวนการและการผสมสัญญาณแบบดิจิทัลซึ่งมีความแตกต่างโดยสิ้นเชิงกับการส่งผ่านสัญญาณแบบแอนะล็อกที่มีการแยกสัญญาณในช่องที่แยกออกจากกัน สิ่งนี้เป็นนวัตกรรมที่ปฏิวัติเทคโนโลยีโทรทัศน์ที่สำคัญยิ่งนับแต่นวัตกรรมทีวีสีเมื่อปี 1950S มันสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบแอนะล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงเรียกได้อีกอย่างว่า Multicasting การส่งสัญญาณเป็นแบบดิจิทัลจึงทำให้ได้คุณภาพของภาพและเสียงดีกว่าด้วย เช่น โทรทัศน์ระบบ HDTV หลายประเทศกำลังเปลี่ยนระบบการส่งสัญญาณจากแอนะล็อกมาเป็นดิจิทัลซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่วิทยุในอีกรูปแบบหนึ่ง ในหลายๆส่วนของโลกอยู่ในระหว่างการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ ในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง และอยู่ในระหว่างการพัฒนามาตรฐานที่แตกต่างกันออกไป

2.3.1. มาตรฐานการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิตอล

มาตรฐานในการรับส่งสัญญาณในภาคพื้นดินในแนวราบที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง มี 5 ระบบ ดังรูปที่ 2.3 ได้แก่

1. ATSC (Advanced Television System Committee) ใช้ eight-level vestigial sideband (8VSB) ถูกพัฒนาใน 6 ประเทศได้แก่ สหรัฐอเมริกา, คานาดา, เม็กซิโก, เกาหลีใต้, สาธารณรัฐโดมินิกันและฮอนดูรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial) ใช้การผสมสัญญาณแบบ orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) และสนับสนุนการส่งแบบต่างระดับหรือ hierarchical transmission. ถูกพัฒนาในยุโรป, ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์

3. ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) เป็นระบบหนึ่งที่ออกแบบมาให้มีการรับสัญญาณได้ดีทั้งเครื่องรับแบบอยู่กับที่หรือแบบเคลื่อนที่ มันใช้ประโยชน์จาก OFDM และ two-dimensional interleaving มันยังสนับสนุน hierarchical transmission ได้ถึง 3 เลเยอร์และใช้ MPEG-2 video และ Advanced Audio Coding. มันได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่น, ฟิลิปปินส์ ISDB-T International เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาต่อมาโดยการใช้ H.264/MPEG-4 AVC ที่ถูกนำมาใช้ในประเทศในทวีปอเมริกาใต้เป็นส่วนใหญ่และประเทศในทวีปแอฟริกาที่พูดภาษาโปรตุเกส

4. DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting) พัฒนา OFDM technology แบบ time-domain synchronous (TDS) ที่ใช้ pseudo-random signal frame ให้ทำงานเป็น guard interval (GI) ของ OFDM block และเป็นสัญลักษณ์ในการ training มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาในประเทศจีนรวมทั้งฮ่องกงและมาเก๊า

5. DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial) พัฒนาจากระบบ DVB-T เดิมเป็น DVB-T2 รุ่นที่ 2 ที่พัฒนาโดยกลุ่มประเทศยุโรปเป็นระบบการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ทันสมัยที่สุดในขณะนี้

รูปที่ 2.3 มาตรฐานระบบโทรทัศน์ดิจิทัลที่ทั่วโลกเลือกใช้ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรฐานต่างๆ [8]

		ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T
Maintained by		Advance Television System Committee	Digital Video Broadcasting Project		Association of Radio Industries and Business
Compression	Video	MPEG-2 Video	MPEG-2 Video or H.264/MPEG-4 AVC		
	Audio	Dolby AC-3	MPEG-2 Audio or AAC or HE-AAC or Dolby AC-3		AAC (Advanced Audio Coding)
System transport stream		MPEG-2 System	MPEG-2 System	MPEG-2 System/GSE	MPEG-2 System
Modulation	Modulation schemes	8-VSB	COFDM (QPSK, 16QAM, 64QAM)	COFDM (QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM)	BST-COFDM (QPSK, DQPSK, 16QAM, 64QAM)
	No. of subcarriers	Single-carrier (1)	Multi-carrier (FFT Size): 2k, 8k	Multi-carrier (FFT Size): 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k	Multi-carrier: Mode 1 (1,405) Mode 2 (2,809) Mode 3 (5,617)
ราคาเครื่องรับสัญญาณ (ต้นปี 2011)		$50-100	$10-30	>$80	>$50
พื้นที่ครอบคลุมที่กำลังส่งเดียวกัน		กว้างมาก	กว้าง	กว้างที่สุด	กว้าง
ประสิทธิภาพการทำงานเมื่อมีผลการ multipath		ไม่ดี	ดี	ดีมาก	ดี
ประสิทธิภาพการทำงานเมื่อมี impulse interference		ดี	พอใช้	ดีมาก	พอใช้
การรับสัญญาณขณะเคลื่อนที่		ทำไม่ได้	ทำได้เฉพาะ SDTV	ทำได้	ทำได้
ความต่อเนื่องของกาส่งสัญญาณในระดับคุณภาพต่างๆ		พอใช้	ดี	ดีมาก	ดี
การตอบสนองต่ออุปกรณ์รับสัญญาณขณะเคลื่อนที่ (Doppler Effect)		แย่	ดี	ดีมาก	ดี
การให้บริการ HDTV		ทำได้เฉพาะการรับอยู่กับที่	ทำได้เฉพาะการรับอยู่กับที่	ทำได้	ทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) เปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรฐานต่างๆ [8]

	ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T
เสียงสเตริโอ	5.1 channel	5.1 channel	5.1 channel	5.1 channel
เสียงสองภาษา	รองรับ	รองรับ	รองรับ	รองรับ
คำบรรยาย (Closed-Captioning)	รองรับ (EIA-708)	รองรับ (DVB-SUB)	รองรับ (DVB-SUB)	รองรับ (ARIB STD-B24)
การแพร่กระจายข้อมูล (Data broadcasting)	รองรับ	รองรับ	รองรับ	รองรับ (ARIB STD-B24)
Interactive TV platform	ACP	MHP หรือ MHEG-5	MHP หรือ MHEG-5	ARIB STD-B23
ระบบเตือนภัยฉุกเฉิน	ไม่มี	ปรับใช้ DVB-SI (Service information) เพื่อการนี้ได้	ปรับใช้ DVB-SI (Service information) เพื่อการนี้ได้	มี

2.3.2. มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่ประเทศไทยเลือกใช้

หนึ่งในประเด็นสำคัญของการเปลี่ยนผ่านระบบโทรทัศน์จากแอนะล็อกสู่ระบบดิจิทัล คือการเลือกใช้มาตรฐานเทคโนโลยี ที่ปัจจุบันในโลกมีมาตรฐานเทคโนโลยีโทรทัศน์หลักถึง 4 มาตรฐาน แต่ละมาตรฐานต่างมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการพิจารณาเลือกมาตรฐานเทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของไทยในครั้งนี้จึงเป็นประเด็นที่ต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ทั้งประเด็นเชิงประสิทธิภาพทางเทคโนโลยี เชิงประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ และที่สำคัญที่สุดคือความสอดคล้องกับประเทศต่างๆ ในภูมิภาคอาเซียน ทั้งนี้ จากการพิจารณาและคัดเลือกโดย กสทช. มาตรฐานกิจการโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของประเทศไทยที่ได้รับการเลือกใช้ คือ มาตรฐาน DVB-T2 โดยคัดเลือกจากการพิจารณาในสามประเด็นหลัก ดังนี้

1. ประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมาตรฐาน DVB-T2 ได้รับการพัฒนาจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมจากทวีปยุโรป ดังนั้นมาตรฐาน DVB-T2 จึงเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นมาตรฐานที่จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในอนาคตอีกยาวนาน และทำให้ทรัพยากรคลื่นความถี่ที่มีอยู่จำกัดสามารถที่จะรองรับจำนวนผู้ประกอบการได้มากขึ้น จากที่คลื่นความถี่วิทยุเดิมสามารถส่งได้เพียงหนึ่งช่องรายการเท่านั้นสามารถนำมาใช้ส่งได้มากถึง 10-15 ช่องรายการด้วยคุณภาพที่ดีขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ หากประชาชนจำเป็นที่จะต้องรับภาระในการจัดหาอุปกรณ์ภาครับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ในฐานะภาครัฐที่มีอำนาจในการเลือกมาตรฐานจึงควรเลือกมาตรฐานที่ประชาชนมีภาระน้อยที่สุด ดังนั้น การเลือกมาตรฐานที่ประชากรส่วนใหญ่ของโลกเลือกใช้จะส่งผลให้เกิดการผลิตอุปกรณ์เป็นจำนวนมากซึ่งจะทำให้เกิดความประหยัดเชิงขนาด (Economy of Scale) และทำให้ราคาอุปกรณ์ของมาตรฐานนั้นๆ มีราคาลดลง ซึ่งจากการพิจารณาข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่ามาตรฐาน DVB-T2 เป็นมาตรฐานที่จำนวนประเทศประกาศรับรองมากที่สุด อาทิ ประเทศอินโดนีเซีย ประเทศอินเดีย และประเทศรัสเซีย เป็นต้น

3. ความสอดคล้องกับประเทศต่างๆ ในภูมิภาคอาเซียน เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าการเปลี่ยนผ่านกิจการโทรทัศน์ไปสู่ระบบดิจิทัลเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นประเทศต่างๆในภูมิภาคอาเซียนต่างมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเปลี่ยนผ่านเช่นกัน และประเทศต่างๆเหล่านั้นต่างก็มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเลือกมาตรฐานโทรทัศน์เช่นเดียวกับประเทศไทย ดังนั้นรัฐบาลของประเทศต่างๆจึงมีแนวคิดที่ร่วมกันพิจารณาให้ประเทศต่างๆภายในภูมิภาคอาเซียนเลือกใช้มาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ตามที่กล่าวมาในข้างต้น นอกจากนั้นแล้วยังเป็นการสนับสนุนการค้าภายในภูมิภาคอีกด้วย ดังนั้นที่ประชุมรัฐมนตรีสารนิเทศอาเซียน (ASEAN Ministers Responsible for Information : AMRI) ในปี 2555 มีความเห็นร่วมกันให้ใช้มาตรฐาน DVB-T2 เป็นมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของภูมิภาคอาเซียนร่วมกัน

2.4. เทคโนโลยี DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial)

DVB-T2 เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุดที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทน และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ได้นำเสนอการผสมสัญญาณ (modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งาน ในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพ และเสียง และการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับ เครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (mobile) การใช้เทคนิคใหม่นี้ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลอื่น ๆ ที่ใช้งานในโลก ช่อง DVB-T2 จะรับช่องได้มากกว่า ISDB-T และATSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1. การทำงานของ DVB-T2

เทคนิค DVB-T2 ใช้หลักการผสมสัญญาณ OFDM (orthogonal frequency division multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทน สิ่งที่เหมือนกันของ DVB-T และ DVB-T2 คือ มีการเสนอให้มีการปรับโหมดการทำงานได้หลายแบบเป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ที่มีความยืดหยุ่นอ่อนตัว DVB-T2 ใช้เทคนิคระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณเหมือนกับมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (DVB-S2) และมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ผ่านสายนำส่งสัญญาณ (DVB-C2) เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณ LDPC (Low Density Parity Check) รวมกันกับการเข้ารหัสสัญญาณ BCN (Bose – Chaudhuri - Hocquengham) เพื่อให้สัญญาณมีความคงทนหลาย ๆทางเลือกมีให้ใช้ในการกำหนดจำนวนคลื่นความถี่ที่ใช้ออกอากาศ และกำหนดขนาดช่วงคาบเวลา (guard interval size) ในการกำหนดสัญญาณนำร่อง (pilot signal) ดังนั้นสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเป้าหมายในระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ในช่องคลื่นความถี่ที่กำหนด

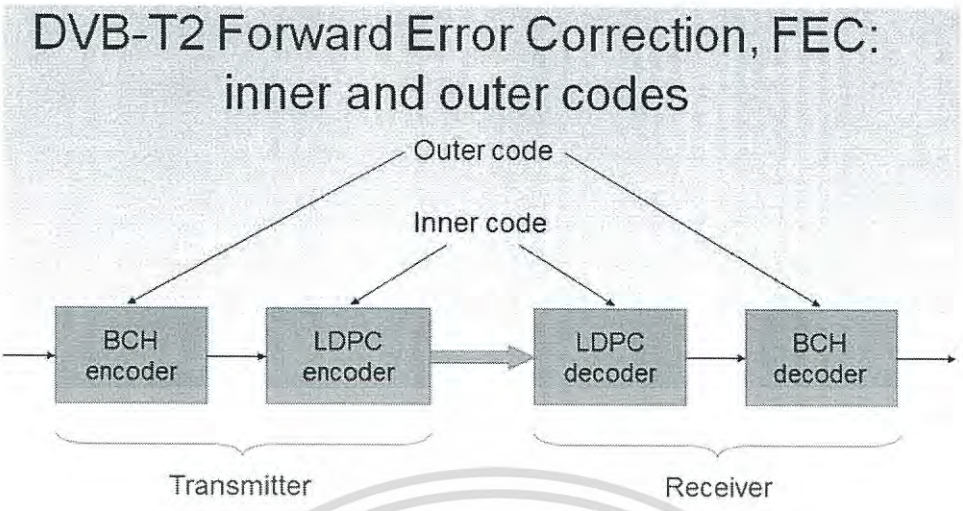
2.4.2. คุณสมบัติของเทคโนโลนี DVB-T2

1. COFDM

เทคโนโลยีพื้นฐานของโทรทัศน์ดิจิทัลอาศัยเทคโนโลยี COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งเป็นการแบ่งคลื่นความถี่ออกเป็นคลื่นพาห์ย่อย (sub-carriers) จำนวนมาก โดยแต่ละคลื่นพาห์ย่อยจะมี คุณสมบัติตั้งฉากซึ่งกันและกัน (Orthogonal) นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัส (Coding) เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดล่วงหน้าด้วย (Forward Error Correction: FEC)

COFDM เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจาก OFDM มีข้อแตกต่างจาก OFDM คือ COFDM จะมีการส่งสัญญาณตรวจสอบความผิดพลาดเข้าไปด้วย เพื่อให้การส่งสัญญาณมีความทนทานต่อการลดทอนและการรบกวนในระหว่างการส่ง สำหรับ DVB-T2 นั้นทางฝั่งส่ง (Transmitter) จะเข้ารหัส 2 ชั้น การเข้ารหัสชั้นที่ 1 คือการเข้ารหัสภายนอก (Outer code) จะเป็นการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) การเข้ารหัสชั้นที่ 2 คือการเข้ารหัสภายใน (Inner code) เป็นการเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเข้ารหัสของฝั่งส่งและการถอดรหัสของฝั่งรับ [12]

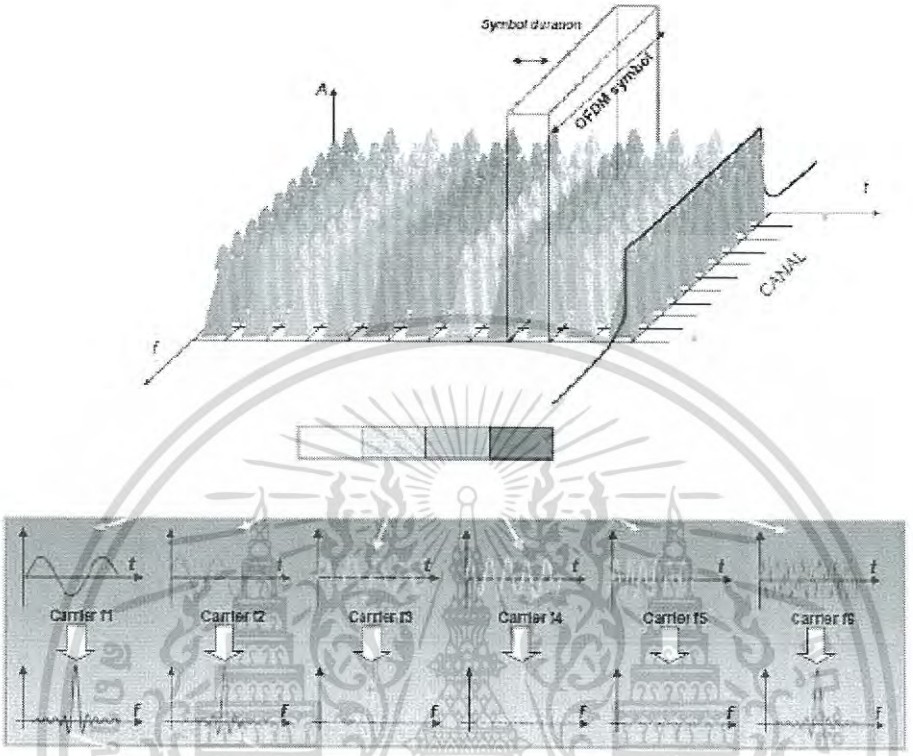
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมลำดับการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาด FEC (Forward Error Correction) ฝั่งส่ง (Transmitter) และการถอดรหัสของฝั่งรับ (Receiver) สำหรับการเข้ารหัสภายในเราสามารถเลือกปรับค่าพารามิเตอร์ในชั้นนี้ได้ตามความเหมาะสมโดยอัตราการเข้ารหัสแบบ LDPC และ BCH มีอยู่ 6 โหมด คือ 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 และ 5/6

หลักการทำงานของ OFDM จะคล้ายกับ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex หรือ FDM) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณหลาย ๆ สัญญาณหรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้นจำเป็นที่จะต้องมีแถบป้องกัน (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่อง โดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเปล่า

ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของแถบป้องกัน โดยแนวคิดหนึ่งที่นำเสนอคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อกันและกันได้ ซึ่งการทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อิสระต่อกันสามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉากต่อกัน เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกันค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน โดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ซึ่งเป็นลักษณะของ การสื่อสารหลายคลื่นพาห์ (Multi-carrier Communication) สามารถช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดี โดยจะทำการกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณออกเป็นหลายๆ ส่วนและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสัญญาณ OFDM และ คลื่นพาห์ย่อย [12]

2. การบีบอัดสัญญาณ

การบีบอัดสัญญาณ MPEG-2 ซึ่งใช้งานในการส่งโทรทัศน์ DVB-T และ ISDB-T หรือการส่งโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม DVB-S และ ISDB-S ส่วนเทคโนโลยีใหม่ในการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล คือ MPEG-4 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า MPEG-2 ปัจจุบันนิยมใช้งานในการบีบอัดสัญญาณโทรทัศน์ความชัดเจนสูง HDTV ในการส่งโทรทัศน์ DVB-T2 หรือ DVB-S2

โดยอัตราบิตของสัญญาณภาพ แต่ละช่องจะมีค่าแบ่งเป็นช่องสัญญาณแบบมาตราฐาน (SD) อยู่ที่ 0.75-2.5 Mbps และช่องสัญญาณแบบความคมชัดสูง (HD) อยู่ที่ 2-7 Mbps ใน 1 MUX (Multiplexer) ซึ่งสามารถออกอากาศได้ทั้งหมด 8 ช่องรายการ โดยแบ่งเป็นช่องสัญญาณแบบมาตราฐาน (SD) จำนวน 6 ช่อง และช่องสัญญาณแบบความคมชัดสูง (HD) จำนวน 2 ช่อง ดังตารางที่ 2.2

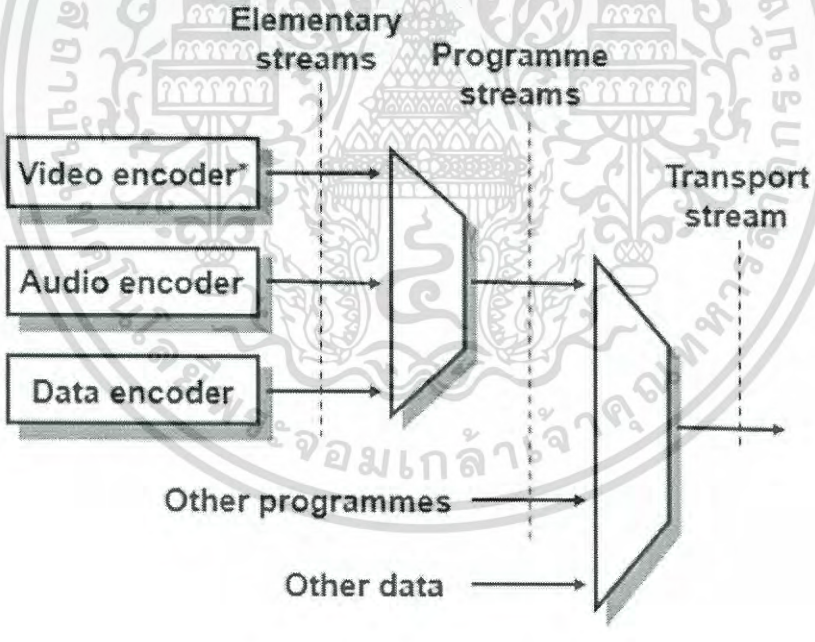
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ช่วงของอัตราบิตสำหรับแต่ละความคมชัด [10]

	กำหนดอัตราบิตของสัญญาณภาพ(Mbps)	
	Min	Max
SD	0.75	2.5
HD	2	7

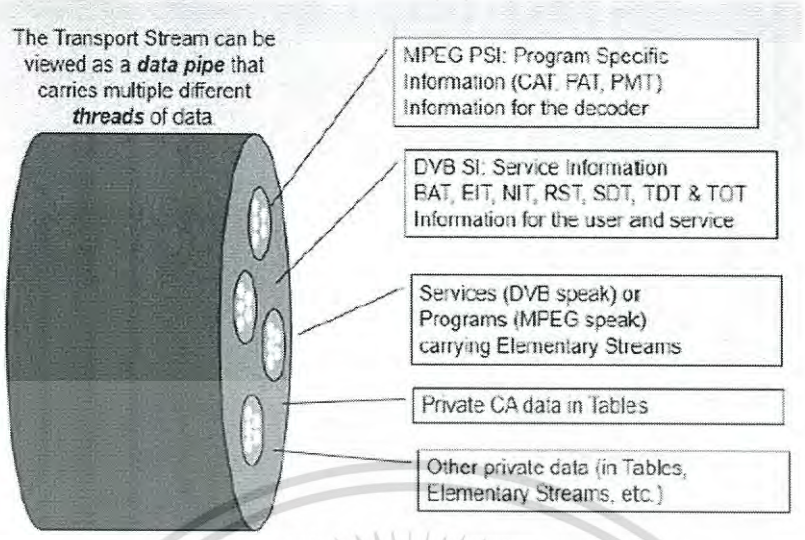
3. Transport Stream (TS)

มีความสำคัญต่อการกระจายเสียงโทรทัศน์ในระบบดิจิทัล เพราะเป็นพื้นฐานในการส่งภาพและเสียง สำหรับมาตรฐาน DVB-T2 นั้นใช้มาตรฐาน MPEG-2 ในการส่ง TS ซึ่งประกอบไปด้วย TS ย่อยๆ คือ Programme Stream หลายสาย แต่ละสายประกอบไปด้วย Elementary Stream ที่ยังมีส่วนประกอบย่อยไปอีกคือ Video Encoder, Audio Encoder และ Data Encoder ซึ่ง TS นี้สามารถเปรียบเทียบได้กับท่อส่งข้อมูลที่ภายในประกอบด้วยสายข้อมูลหลายสายดังแสดงในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 แสดงถึงโครงสร้างของ TS



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของ TS [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ TS [12]

ในอีกมุมหนึ่งกระแสข้อมูลขนส่งที่จะถูกส่งต่อไปออกอากาศนั้นสามารถมองได้ว่าประกอบไปด้วยสองส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

1. MPEG Table Section ซึ่งประกอบไปตารางอ้างอิงต่างๆที่สำคัญต่อการรับและส่งสัญญาณภาพ ดังรูปที่ 2.8 ข้อมูลอ้างอิงที่สำคัญนี้ได้แก่

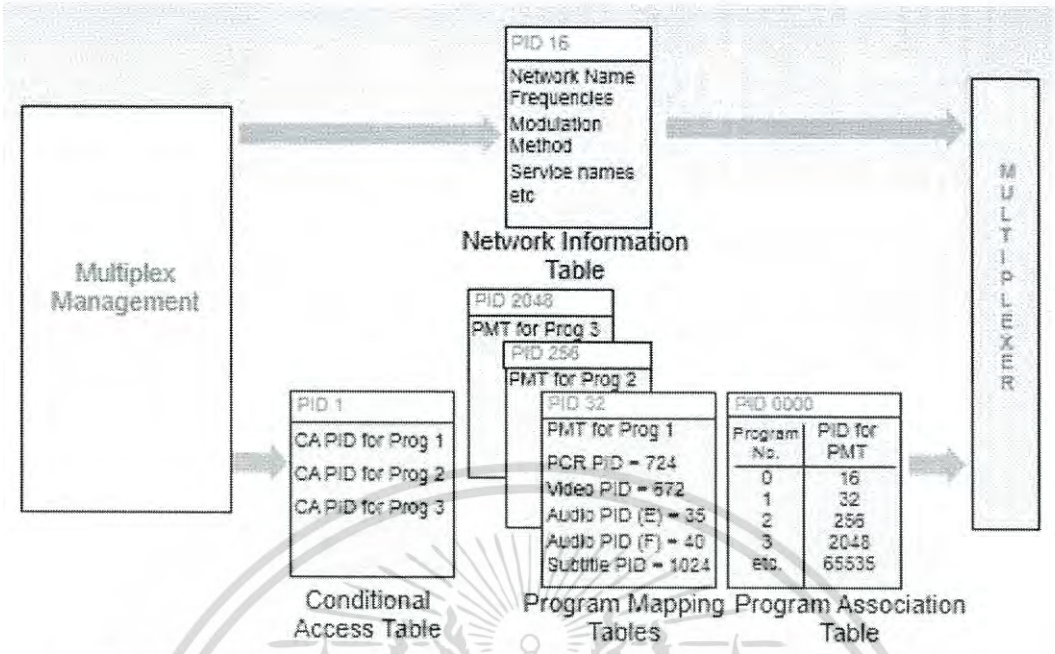
- Program Map Table (PMT): แต่ละโปรแกรมในกระแสข้อมูลขนส่งมีตารางนี้เป็นของตัวเอง ซึ่งตารางนี้อธิบายส่วนประกอบของโปรแกรมรายการและกระแสข้อมูลพื้นฐานของแต่ละโปรแกรมด้วย ตารางนี้ยังสามารถจัดเก็บข้อมูลอื่นที่ต้องการ เช่น Audio and Video encoding parameters, ข้อมูล pan & scan และข้อมูลเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของรายการ

- Program Association Table (PAT): PAT มีค่า PID ที่ 0 ซึ่งค่านี้ถูกนำไปใช้ในการชี้ไปยัง PMT สำหรับแต่ละโปรแกรมหรือบริการ

- Network Information Table (NIT): NIT ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการจูนคลื่นสำหรับแต่ละบริการ เช่น ชื่อโครงข่าย เป็นต้น ข้อมูลโครงข่ายในตารางนี้ใช้โดยกล่อง Set-top-box ในการสแกนหาช่องใหม่โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของ MPEG Table Section [12]

2. PES Packets ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลหลักคือภาพและเสียง ในแต่ละ Packet จะประกอบไปด้วย Header และ Payload โดย Header จะมีส่วนต่างๆดังรูปที่ 2.9 และมีรายละเอียดดังนี้

- Sync byte จะประกอบไปด้วย 8 บิตที่มีค่า 0x47 (0100 0111)

- Transport Error Indicator จำนวน 1 บิต จะถูก set เมื่อDemodulator ไม่สามารถแก้ไขความผิดพลาดของ TS ได้ ทำให้ Packet นี้ใช้งานไม่ได้

- Payload Unit Start Indicator ความยาว1บิต จะถูก set เมื่อPayload เริ่มต้นทันทีหลังจาก Header

- Transport Priority ความยาว1บิต จะถูก set เมื่อ Packet นี้มีความสาคัญมากกว่า Packet อื่นที่มี PID เหมือนกัน

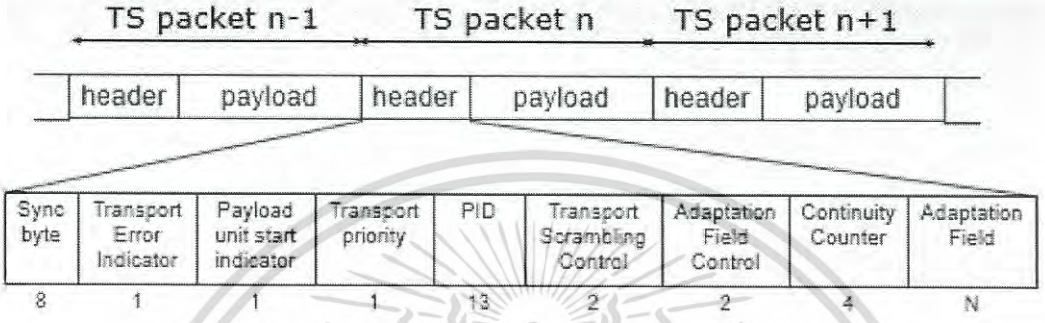
- PID ความยาว 13 บิตบอกว่า Packet นี้อยู่ใน Stream ไหน สร้างโดย Multiplexer ซึ่ง PID นี้จะทาให้เครื่องรับสามารถเลือกเฉพาะ Packet ที่ต้องการใช้งานได้

- Transport Scrambling Control ความยาว 2 บิต บอกรูปแบบการ Scramble ของ TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
148488

- Adaptation field control ความยาว 2 บิต บอกว่ามี Adaptation field หรือไม่

- Continuity counter ความยาว 4 บิต บอกถึงลาดับของ Packet ใน Stream



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของ Header ใน Transport stream [12]

2.5. ประโยชน์จากการเปลี่ยนมาใช้ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล

2.5.1. Bandwidth Efficiency (ใช้ความกว้างช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ)

สามารถจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากเดิมเป็นระบบแอนะล็อกใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการและวางช่องสัญญาณคลื่นความถี่ติดกัน หรือสถานีส่งฯใกล้เคียงกัน ไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่อยู่ติดกันได้ แต่ในระบบดิจิทัลสามารถที่จะใช้ช่องสัญญาณความถี่ติดกัน ทำให้ใช้ช่องสัญญาณได้เต็มที่ครบทุกๆช่อง และสามารถออกอากาศในพื้นที่ใกล้เคียงกันได้โดยไม่รบกวนกัน และในหนึ่งช่องสัญญาณสามารถออกอากาศได้หลายๆรายการไปพร้อมๆกัน (Multi Channel) ทำให้ส่งรายการได้มากขึ้นกว่าเดิม เช่น จากระบบแอนะล็อกใช้ช่องสัญญาณ CH21 ถึง CH69 (48 ช่อง) ใช้ออกอากาศหนึ่งช่องต่อหนึ่งรายการโทรทัศน์ซึ่งเท่ากับ 48 รายการเท่านั้น หากเปลี่ยนเป็นระบบดิจิทัล ช่องหนึ่งสามารถส่งได้ 4 รายการ ทำให้สามารถออกอากาศรายการโทรทัศน์ได้ 4x48 จะเท่ากับ 192 รายการ สำหรับประเทศไทย หนึ่งช่องความถี่ได้ SDTV 6 ช่อง และ HDTV 2 ช่อง สำหรับความถี่ 8 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2. Quality Reliability (สัญญาณมีคุณภาพที่ดีและไม่มีการรบกวน)

ระบบแอนะล็อกมีการผสมคลื่นแบบต่อเนื่อง สภาวะแวดล้อมมีผลกระทบทำให้เกิดการรบกวนและลดทอนสัญญาณลง สัญญาณภาพจะถูกรบกวนและถูกซึมซาบไปมาก ทำให้มีสัญญาณแปลกปลอมสอดแทรกเข้ามารบกวนได้ง่าย การรับชมภาพจึงไม่ชัดเจน สัญญาณขาดขาดหายและเกิดสโนว์เข้ามารบกวนได้

แต่ระบบดิจิทัลมีการผสมคลื่นแบบเข้ารหัสสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง มีการเข้ารหัส (Decode) , ถอดรหัส (Encode) และมีระบบควบคุมเพื่อชดเชยสัญญาณได้ด้วย จึงทำให้สัญญาณไม่ถูกรบกวนได้ สัญญาณภาพมีความต่อเนื่อง ภาพที่รับได้มีความคมชัดมาก (ดิจิทัลเป็นบิต คือ มีแค่ 0 กับ 1 แสดงว่าสัญญาณที่ได้จะมีแค่ภาพคมชัดกับดูไม่ได้เลย)

2.5.3. Compatibility (รูปแบบสัญญาณเป็นมาตรฐานเดียวกัน)

ระบบแอนะล็อกแบบเดิมมีสัญญาณภาพหลายมาตรฐาน คือ PAL, NTSC, SECAM ทำให้การควบคุมคุณภาพ, การตัดต่อภาพและตกแต่งภาพระหว่างมาตรฐานที่แตกต่างกันทำได้ยาก และยังทำให้คุณภาพด้อยลงเมื่อผ่านกระบวนการตัดต่อหลายๆครั้ง

แต่ระบบดิจิทัลใช้มาตรฐานการเข้ารหัสภาพแบบเดียว คือ MPEG-2 ซึ่งให้คุณสมบัติของภาพที่หลากหลาย มีกระบวนการสร้างภาพที่ซับซ้อนกว่า แต่ให้คุณภาพที่ดีมากกว่า สามารถนำไปใช้งานในสื่อผสมอื่นๆที่หลากหลาย เป็นที่นิยมแพร่หลายที่สุดในขณะนี้ ทำให้การนำไปใช้งานได้ครอบคลุมทุกวงการการสื่อสารเป็นมาตรฐานเดียวกัน

2.5.4. Scalability (ขนาดของการมองภาพที่ให้มุมมองภาพที่ดีขึ้น)

ระบบแอนะล็อกมีขนาดของการมองภาพที่แคบ (758 x 578 - PAL อัตราส่วนภาพ 4:3) และภาพมีความละเอียดต่ำ การแสดงผลที่จอภาพไม่มีความชัดเจน ยิ่งจอภาพมีขนาดมากขึ้นยิ่งให้รายละเอียดต่ำกว่า ซึ่งเป็นแบบ SDTV ทั่วไป ยิ่งนำไปแสดงผลบนจอโทรทัศน์ที่มีหน้าจอขนาดใหญ่มากๆ ทำให้ภาพขาดความชัดเจน

แต่ระบบดิจิทัลสามารถเลือกการเข้ารหัสสัญญาณภาพได้หลายขนาด (1080 x 720 , 1920 x 1080 ที่อัตราส่วนภาพ 16:9) ให้ความละเอียดสูง ทำให้การแสดงผลที่จอภาพมีความคมชัดสูงแบบ HDTV มีมุมมองภาพที่กว้างมากขึ้น (Width Screen) ภาพที่ได้ดูสมจริงและมองเห็นภาพได้กว้างขวางมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5. การใช้งานด้านอื่นๆ

1. Mobile Reception

การแพร่กระจายคลื่นระบบดิจิทัลรองรับการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์พกพาประเภทต่างๆได้ โดยผู้รับบริการสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงด้วยโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา ที่มีสัญญาณส่งไปถึง

2. Single Frequency Network (SFN)

รายการเดียวกันออกอากาศความถี่เดียวกัน อยู่ในสถานที่ใกล้เคียงกัน สามารถออกอากาศได้โดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน

3. EPG (Electronic Program Guide)

ถือเป็นบริการ Data Broadcasting ประเภทหนึ่ง เป็นบริการข้อมูลส่งไปพร้อมกับสัญญาณภาพ เป็นเสมือนแผนผังของรายการต่างๆที่เป็นข้อความบอกถึงรายละเอียดต่างๆ ทำให้ผู้รับบริการสามารถเปิดเลือกชมรายละเอียดการออกอากาศ อาทิ ค้นหาผังรายการ, เวลาเริ่มและเวลาจบของรายการ, ข้อมูลสั้นๆประกอบรายการ, ตรวจสอบสภาพภูมิอากาศ, พยากรณ์อากาศ, ค้นหารายการท้องถิ่น, บอกรายละเอียดบริการเสริมอื่นๆ ฯลฯ ในประเทศญี่ปุ่นจะแสดงรายการโทรทัศน์ล่วงหน้าได้ 8 วัน ผู้ชมสามารถใช้รีโมทกดปุ่มเลือกค้นหารายการที่กำหนดไว้ หรือเลือกแสดงข้อมูลต่างๆได้สะดวกด้วยตนเองและสามารถตั้งเวลาเพื่อบันทึกรายการ ตามที่ผังรายการกำหนดไว้ได้ โดยผ่านตัวรีโมท ควบคุมผ่าน Set Top Box (STB) ที่เชื่อมต่อกับ Recorder ได้โดยตรง (หากต่ออุปกรณ์บันทึกร่วมกับ STB)

4. Contents Protection

ปกป้องลิขสิทธิ์ของสัญญาณที่แพร่ภาพได้ด้วยการเข้ารหัสสัญญาณ Scramble ได้ หรือทำระบบป้องกันการบันทึกภาพ Copyright Protection (DRM) หรือการสมัครสมาชิกโดยออกบัตร B-CAS เพื่อควบคุมการใช้งานผ่านตัวเครื่อง STB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. SFN (Single Frequency Network)

การออกอากาศความถี่เดียวกันในสถานที่ใกล้เคียงกันโดยคลื่นสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน เป็นแนวคิดหนึ่งในการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนในพื้นที่ในเมือง ซึ่งนำไปสู่การนำ Single Frequency Network (SFN) มาใช้ในกิจการกระจายเสียงและโทรทัศน์ ปัจจุบันอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (transmitters) จำนวนมากถูกปรับปรุงเพื่อพัฒนาพื้นที่ครอบคลุมให้ดียิ่งขึ้นอันส่งผลให้การทำ SFN มีความเป็นไปได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าการทำ SFN ต้องอาศัยการขยายจำนวนอุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งจะเพิ่มต้นทุนด้านโครงข่าย แต่ต้นทุนดังกล่าวจะถูกแบ่งปันร่วมกันในหลายบริการ ทำให้ผลประโยชน์โดยรวมของการทำ SFN นั้นมากกว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมา ดังรูปที่ 2.10 แสดงความแตกต่างระหว่างโครงข่ายที่ใช้งานหลายคลื่นความถี่และโครงข่ายที่ใช้งานคลื่นความถี่เดียว

รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบโครงข่าย MFN และ SFN [13]

2.6.1. โครงข่ายที่ใช้ในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการให้บริการโทรทัศน์ทั้งในระบบแอนะล็อกและระบบดิจิทัล ดังนั้นโครงข่ายที่ใช้จะเป็น SFN+MFN ซึ่งเป็นการนำข้อดีของโครงข่ายทั้ง 2 มาใช้ร่วมกับ กล่าวคือ ปัจจุบันประเทศไทยมีสถานีหลัก 39 สถานี และสถานีเสริมอีกมากกว่า 100 สถานี ทั้งนี้ในสถานีหลักแต่ละสถานีจะใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน หรือ MFN ส่วนสถานีย่อยๆจะใช้คลื่นความถี่เดียวกัน หรือ SFN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจัดสรรความถี่ที่ใช้ออกอากาศสำหรับระบบโทรทัศน์ดิจิทัล ทั้งช่วงก่อนและหลังการยุติการรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบแอนะล็อกจะเป็นดังข้อกำหนดเหล่านี้

1. กำหนดความถี่ 510 – 790 MHz
2. กำหนด Bandwidth 8 MHz
3. กำหนดช่องความถี่เป็นดังตารางที่ 2.3
4. กำหนดการจัดกลุ่มช่องความถี่เป็นดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 กำหนดความถี่ที่ใช้ในประเทศไทย [3]

หมายเลขช่องความถี่วิทยุ	ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิรตซ์)		ความถี่กึ่งกลาง (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

หมายเลขช่องความถี่วิทยุ	ความถี่วิทยุ (เมกะเฮิรตซ์)		ความถี่กึ่งกลาง (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

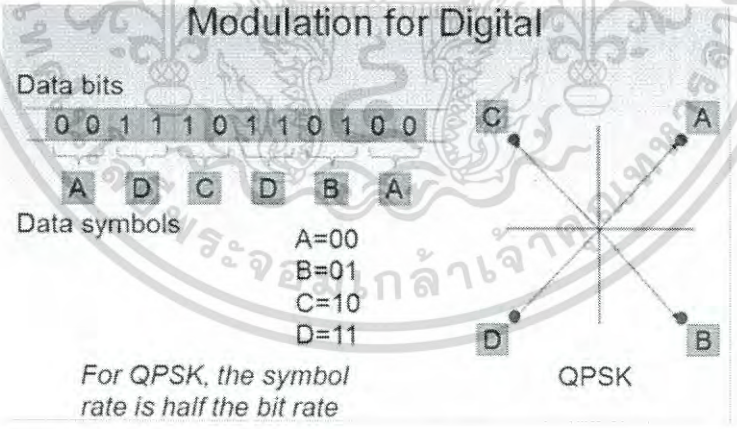
ตารางที่ 2.4 กำหนดกลุ่มความถี่หมายเลขช่องวิทยุ [3]

กลุ่มความถี่ช่องวิทยุ	จำนวนช่องความถี่วิทยุ	หมายเลขช่องความถี่วิทยุ					
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	6	42	52	55	58	60	-
TDa	6	26	50	34	38	42	46
TDb	6	28	32	36	40	44	48

2.6.2. พารามิเตอร์ในระบบ SFN

1. Modulation

การมอดูเลตสัญญาณในระบบดิจิทัลคือการฝากข้อมูลดิจิทัล 0 หรือ 1 ไปบนคลื่นความถี่พาห์ โดยแปลงเป็นข้อมูลสัญลักษณ์ (Data symbols) ก่อนนำข้อมูลสัญลักษณ์ ไปแทนเป็นลักษณะขนาดและเฟสของความถี่คลื่นพาห์



รูปที่ 2.11 โครงสร้างการมอดูเลตสัญญาณ QPSK [12]

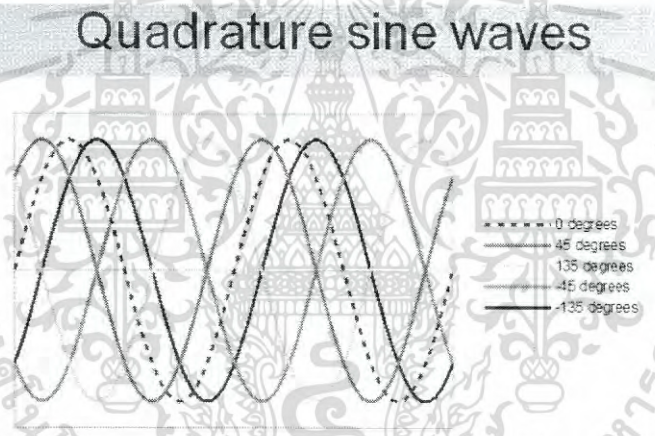
จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลแบบ QPSK ซึ่งให้ symbol rate เป็น 1/2 ของอัตราบิต ตามรูปจะเห็นว่า ข้อมูลสัญลักษณ์ A B C และ D จะแทนด้วยข้อมูลดิจิทัล 2 บิต คือ 00 01 10 และ 11 ตามลำดับ โดยข้อมูลสัญลักษณ์จะเป็นคลื่นพาห์ที่ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

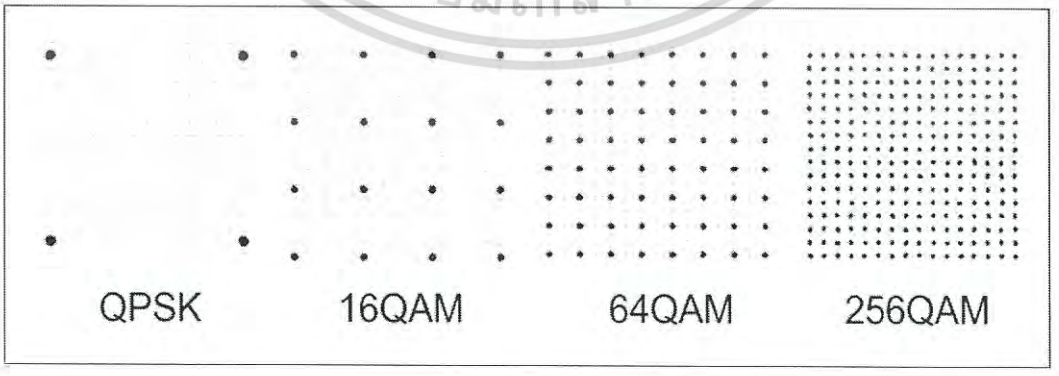
เดียวกัน ขนาดแอมผลิจูดเท่ากัน โดย A มีเฟส 45 องศา B มีเฟส -45 องศา C มีเฟส 135 องศาและ D มีเฟส -135 องศา ซึ่งจะเห็นว่ามีความต่างเฟสกัน 90 องศาระหว่างข้อมูลสัญลักษณ์ด้วยกัน เรียกว่า Quadrature

เมื่อนำข้อมูลสัญลักษณ์ A มุมเฟส 45 องศา B มุมเฟส -45 องศา C มุมเฟส 135 องศาและ D มุมเฟส -135 องศา ที่เป็นคลื่นความถี่พาห์ที่มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากัน แสดงในรูปสัญญาณ sine wave ในเชิงเวลา มีลักษณะตามรูปที่ 2.12

การมอดูเลตสัญญาณมีอยู่ด้วยกัน 2 โหมด คือ QPSK และแบบ QAM (ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก เช่น 16QAM, 64QAM, 256 QAM) โดยแต่ละโหมดจะให้อัตราบิตต่อ symbol ที่เพิ่มขึ้นตามล่าดับ จะเห็นว่าการมอดูเลตสัญญาณแบบ 256 QAM จะให้การส่งข้อมูลได้สูงที่สุดคือ 1 symbol ต่อข้อมูล 8 บิต ดังรูปที่ 2.13



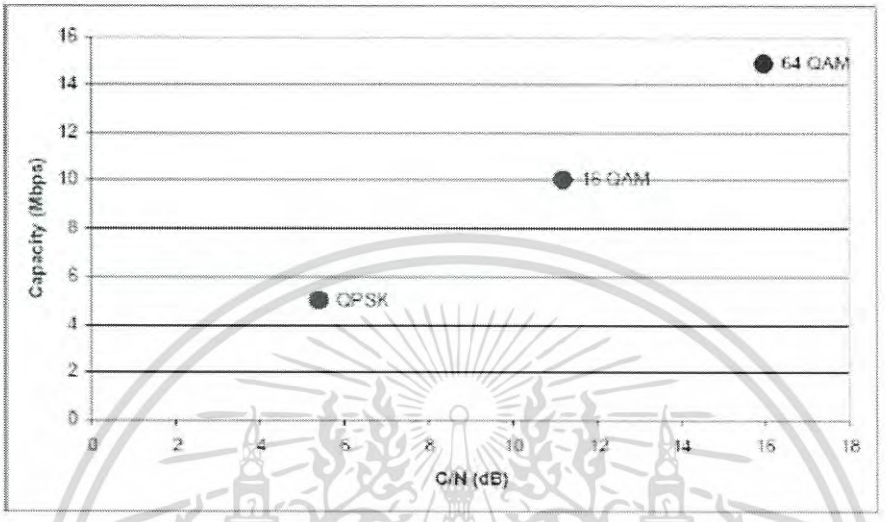
รูปที่ 2.12 สัญญาณ sine wave ที่มุมเฟสต่างๆ [12]



รูปที่ 2.13 การมอดูเลตแบบต่างๆที่ให้อัตราบิตต่อ symbol แตกต่างกัน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

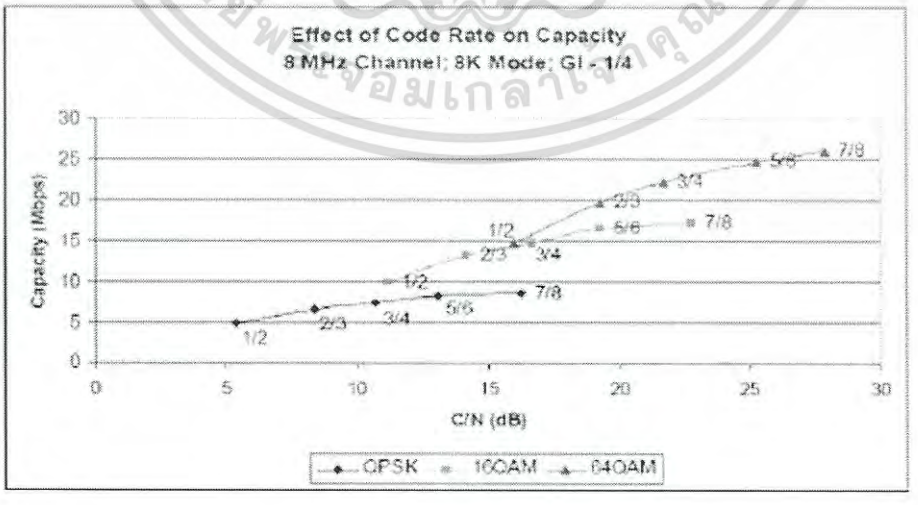
ในเทคโนโลยี DVB-T2 ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการมอดูเลตสัญญาณมีด้วยกัน 2 โหมด คือ QPSK และ QAM (แบ่งย่อยได้อีก คือ 16QAM, 64QAM และ 256QAM) แต่ละโหมดจะให้อัตราบิตต่อ symbol ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ได้ capacity และค่า C/N_{min} ที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/N_{min} กับ capacity ที่การมอดูเลตแต่ละแบบ [12]

2. Code rate

เป็นอัตราการเข้ารหัสของข้อมูลจริงต่อข้อมูลที่ถูกส่ง ในเทคโนโลยี DVB-T2 จะสามารถตั้งค่าที่แตกต่างกันได้ 6 ค่า ได้แก่ 1/2 , 3/5 , 2/3 , 3/4 , 4/5 และ 5/6 พารามิเตอร์ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อ capacity และ ค่า C/N_{min} ดังรูปที่ 2.15



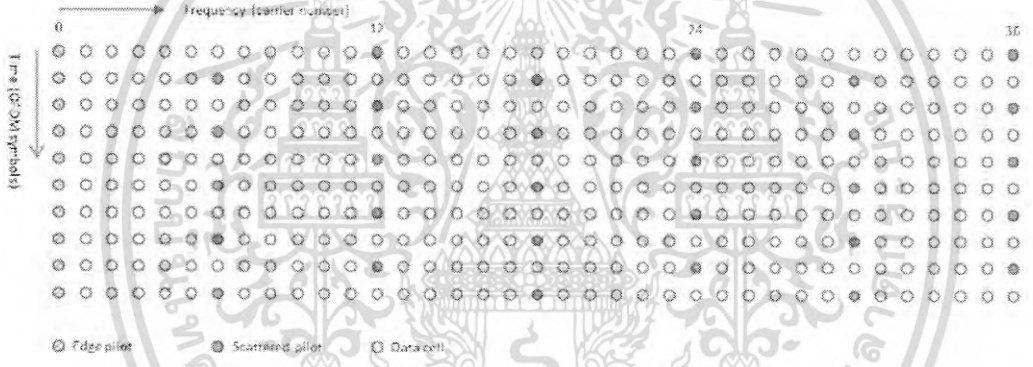
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/N_{min} กับcapacityที่การมอดูเลต และcode rateแต่ละแบบ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

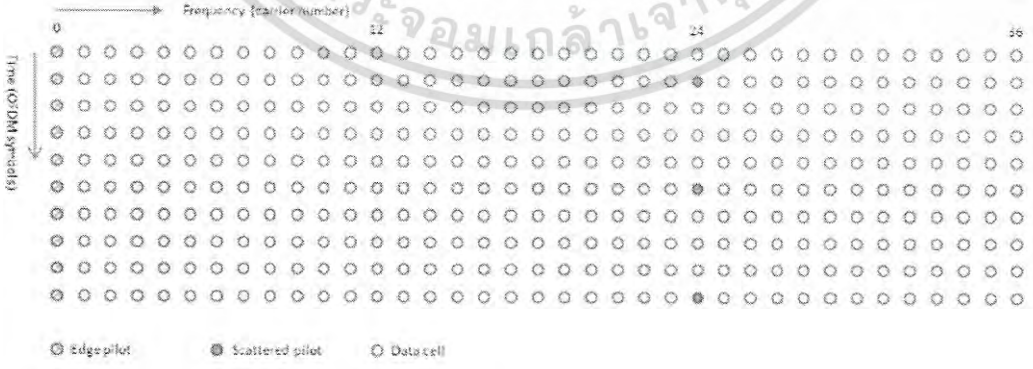
3. PP (Pilot Pattern)

DVB-T มี PP รูปแบบเดียว สำหรับ DVB-T2 มี PP8 รูปแบบซึ่งจะเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งาน รูปแบบ PP ทั้ง 8 ควรจะเลือกตามประเภทของเครื่องรับ โดยที่ต้องคำนึกถึงความสมดุลระหว่างอัตราบิต และ performance(ความทนต่อสัญญาณรบกวน)

สำหรับการรับสัญญาณแบบโมบายหรือเคลื่อนที่ ต้องการความคงทนต่อปรากฏการณ์ดอปเปอร์ รูปแบบ PP ควรจะเลือกรูปแบบที่มีปริมาณ Scattered pilot มาก โดยที่ PP2, PP4 และ PP6 จะมีปริมาณ Scattered pilot ทุกๆ 2 OFDM symbol ส่วน PP1 ,PP3 ,PP5 ,PP7 จะมี Scattered ทุกๆ 4 OFDM symbol ดังนั้นถ้าต้องการอัตราบิตที่มากควรเลือกรูปแบบที่มี Scattered pilot น้อย เพราะจะขนข้อมูลได้มากขึ้น ดังรูปที่ 2.16 และ2.17 แสดงตัวอย่าง PP2 และ PP7 สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2



รูปที่ 2.16 PP2 สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2 [7]

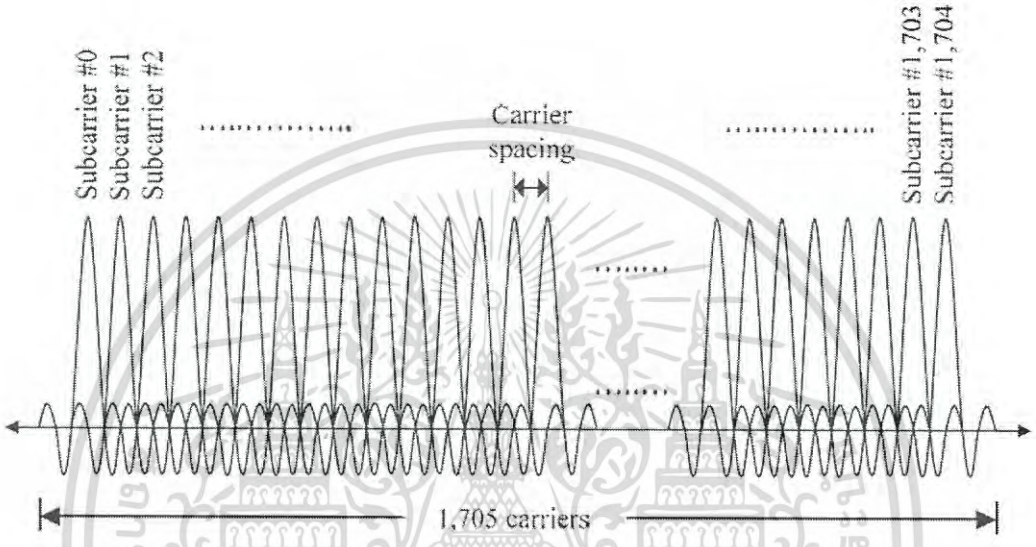


รูปที่ 2.17 PP7 สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2 [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. FFT Size (Fast Fourier Transform)

เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกจำนวน sub-carrier ใน 1 ช่องสัญญาณ สำหรับเทคโนโลยี DVB-T2 ซึ่งจะมีได้ 6 ค่า คือ 1k mode, 2k mode, 4k mode, 8k mode, 16k mode และ 32k mode จะมีจำนวน sub-carrier ดังนี้ 853 1,705 3,409 6,817 13,633 และ 27,265 carrier ดังรูปที่ 2.18 แสดงจำนวน sub-carrier ใน 2k mode สำหรับช่องสัญญาณ 8 MHz



รูปที่ 2.18 การตั้ง 2k mode สำหรับช่องสัญญาณ 8 MHz [17]

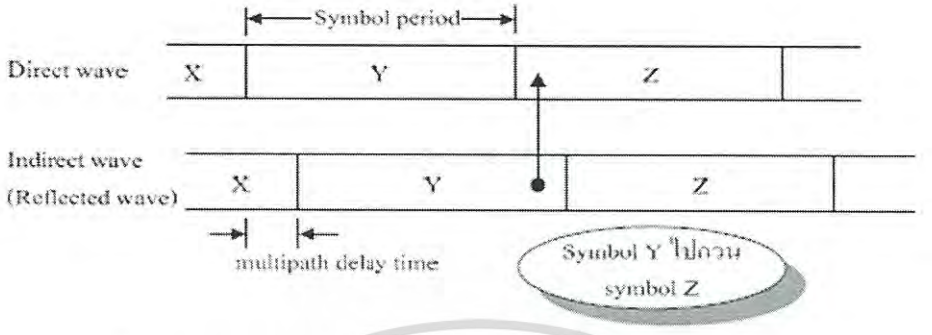
5. Guard Interval (GI)

ช่วยเพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อคลื่นประเภท indirect wave เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าธรรมชาติของการส่งกระจายเสียงด้วยคลื่นวิทยุนั้น สัญญาณที่วิ่งเข้าเสาอากาศเครื่องรับ ณ เวลาหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วย direct wave กับสัญญาณที่ได้รับ multipath effect เกิดเป็น indirect wave จำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถคาดเดาค่าเฟสและขนาดของมัน ณ ช่วงเวลาที่วิ่งเข้าเสาอากาศได้ โดยที่ indirect wave เหล่านี้จริงๆแล้วก็เปรียบได้กับสัญญาณ delay signal ของ direct wave นั่นเอง

และอย่างที่ได้กล่าวไปแล้วว่า indirect wave เหล่านี้เปรียบได้กับ delay signal เพราะฉะนั้นผลรวมระหว่าง direct wave กับ indirect wave จึงอาจจะมีการหักล้างทางขนาดเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากสัญญาณทั้งหมดไม่ได้มีเฟสที่ตรงกัน ส่งผลให้สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้เกิดการจางหาย หรือ ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณต้นฉบับ เรียกสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ว่า Inter-symbol Interference (ISI)

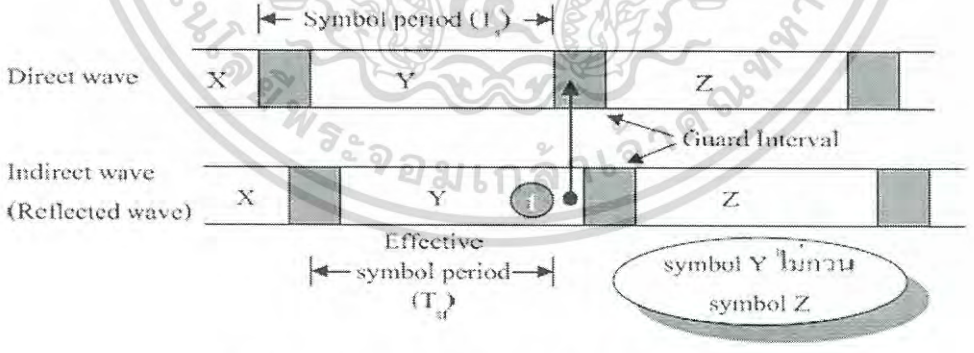
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเกิดการรบกวนกันเองระหว่าง OFDM symbol ใน direct wave กับ indirect wave ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การรบกวนกันระหว่าง Direct wave กับ Indirect wave [17]

การเกิด multipath effect เป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่อย่างไรก็ตามในเทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล DVB-T2 ก็ได้มีการออกแบบกลไกเพื่อบรรเทาการเกิด ISI อันเนื่องมาจาก delay signal ตามรูปที่ 2.20 เอาไว้ซึ่งก็คือ Guard Interval จะเป็นกลไกตัวหนึ่งที่มีในเทคโนโลยีทีวีระบบดิจิทัล DVB-T2 เพื่อเอาไว้ใช้ลดโอกาสของการเกิด ISI จากสัญญาณ indirect wave โดยระบบส่งจะทำการแทรก GI เอาไว้ตรงตำแหน่งด้านหน้าของ OFDM symbol แต่ละตัว ทั้งนี้ GI จะถูกระบุเป็นเศษส่วนความยาวของ GI ต่อความยาว useful part (T_u) สามารถตั้งค่าที่แตกต่างกันดังนี้ 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128 และ 1/4

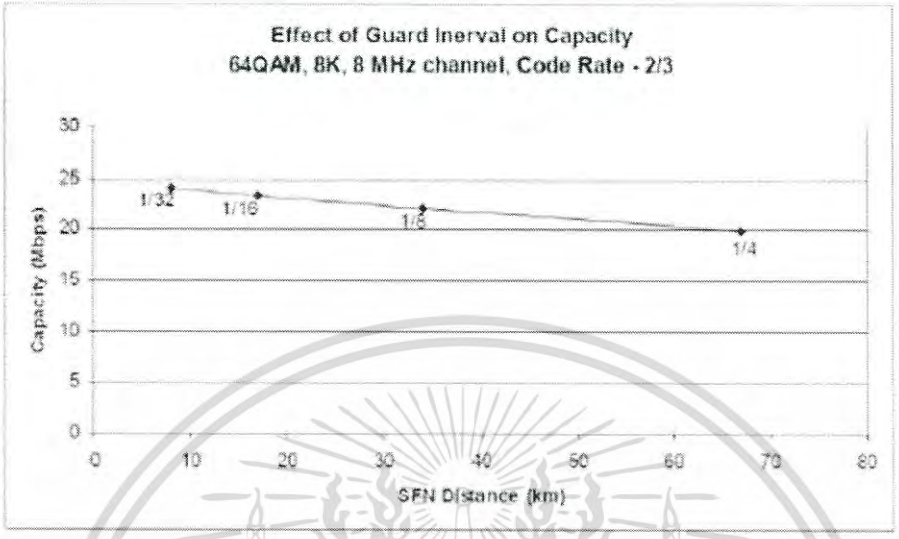


รูปที่ 2.20 กลไก GI ซึ่งช่วยลดโอกาสเกิด ISI [17]

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า GI เป็นอัตราส่วนความยาวของ GI ต่อความยาว T_u จะเห็นได้ว่า GI เท่ากับ 1/4 มีความสามารถในการจัดการกับ delay ดีที่สุด และมีความสามารถที่ต่ำที่สุดในด้านการออกอากาศ ในขณะที่ GI 1/128 มีความสามารถในการจัดการ delay แย่ที่สุด และจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสามารถสูงสุดในด้านการออกอากาศ ทั้งนี้ GI ไม่ได้มีผลแค่ delay หรืออัตราบิตเท่านั้น แต่จะมีผลต่อ SFN Distance อีกด้วย ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง SFN Distance กับ Capacity ที่ GI แต่ละรูปแบบ [12]

จากพารามิเตอร์ข้างต้น กสทช. ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย มีอัตราบิต 21.93 Mbps และระยะห่างสูงสุดของเครื่องส่งในกรณีทำ SFN เท่ากับ 79.74 km มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.5 โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราบิตเป็นดังตารางที่ 2.6 สำหรับ Channel Bandwidth 8 MHz, FFT Size 16k extended และพารามิเตอร์ที่มีผลต่อ SFN Distance ดังตารางที่ 2.7 สำหรับ Channel Bandwidth 8 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในประเทศไทย [10]

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
T2 Frame per Super Frame	2
Data Symbol per T2 Frame	118 symbol per T2 frame
Max FEC Block per interleaving Frame	139 block
Time interleaving Block per interleaving Frame	3 block

ตารางที่ 2.6 พารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราบิต [18]

Modulation	Code rate	Scattered Pilot Pattern 1 & 2 GIF							Scattered Pilot Pattern 3 & 4 GIF						
		1/128 [Mbit/s]	1/32 [Mbit/s]	1/16 [Mbit/s]	19/256 [Mbit/s]	1/8 [Mbit/s]	19/128 [Mbit/s]	1/4 [Mbit/s]	1/128 [Mbit/s]	1/32 [Mbit/s]	1/16 [Mbit/s]	19/256 [Mbit/s]	1/8 [Mbit/s]	19/128 [Mbit/s]	1/4 [Mbit/s]
QPSK	1/2	6.9	6.8	6.6	6.5	6.2	6.1	5.6	7.3	7.1	6.9	6.8	6.5	6.4	5.9
	3/5	8.3	8.2	7.9	7.8	7.5	7.3	6.7	8.7	8.5	8.3	8.2	7.8	7.7	7.0
	2/3	9.3	9.1	8.8	8.7	8.3	8.2	7.5	9.7	9.5	9.2	9.1	8.7	8.5	7.8
	3/4	10.4	10.2	9.9	9.8	9.4	9.2	8.4	10.9	10.7	10.4	10.2	9.8	9.6	8.8
	4/5	11.1	10.9	10.6	10.5	10.0	9.8	9.0	11.6	11.4	11.1	10.9	10.4	10.2	9.4
	5/6	11.6	11.4	11.0	10.9	10.4	10.2	9.4	12.1	11.9	11.5	11.4	10.9	10.7	9.8
16-QAM	1/2	13.9	13.6	13.2	13.1	12.5	12.2	11.3	14.6	14.2	13.8	13.7	13.1	12.8	11.8
	3/5	16.8	16.4	15.9	15.7	15.0	14.7	13.5	17.5	17.1	16.6	16.4	15.7	15.4	14.1
	2/3	18.6	18.2	17.7	17.5	16.7	16.4	15.1	19.5	19.0	18.5	18.3	17.5	17.1	15.7
	3/4	21.0	20.5	19.9	19.7	18.8	18.4	16.9	21.9	21.4	20.8	20.6	19.6	19.2	17.7
	4/5	22.4	21.9	21.2	21.0	20.1	19.7	18.1	23.4	22.9	22.2	21.9	21.0	20.5	18.9
	5/6	23.3	22.8	22.1	21.9	20.9	20.5	18.8	24.4	23.8	23.1	22.9	21.9	21.4	19.7
64-QAM	1/2	20.9	20.4	19.8	19.6	18.7	18.3	16.9	21.8	21.3	20.7	20.5	19.6	19.2	17.6
	3/5	25.1	24.5	23.8	23.6	22.5	22.0	20.3	26.2	25.6	24.9	24.6	23.5	23.0	21.2
	2/3	27.9	27.3	26.5	26.2	25.0	24.5	22.6	29.2	28.5	27.7	27.4	26.2	25.6	23.6
	3/4	31.4	30.7	29.8	29.5	28.2	27.6	25.4	32.8	32.1	31.1	30.8	29.4	28.8	26.5
	4/5	33.5	32.8	31.8	31.5	30.0	29.4	27.1	35.0	34.2	33.2	32.9	31.4	30.8	28.3
	5/6	34.9	34.1	33.2	32.8	31.3	30.7	28.2	36.5	35.7	34.6	34.3	32.7	32.1	29.5
256-QAM	1/2	27.9	27.3	26.5	26.2	25.0	24.5	22.5	29.1	28.5	27.7	27.4	26.1	25.6	23.5
	3/5	33.5	32.8	31.8	31.5	30.1	29.4	27.1	35.0	34.2	33.2	32.9	31.4	30.8	28.3
	2/3	37.3	36.5	35.4	35.0	33.4	32.8	30.1	39.0	38.1	37.0	36.6	34.9	34.2	31.5
	3/4	42.0	41.0	39.8	39.4	37.6	36.9	33.9	43.8	42.9	41.6	41.2	39.3	38.5	35.4
	4/5	44.8	43.8	42.5	42.0	40.1	39.3	36.2	46.8	45.7	44.4	43.9	41.9	41.1	37.8
	5/6	46.7	45.6	44.3	43.8	41.9	41.0	37.7	48.8	47.7	46.3	45.8	43.7	42.8	39.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อ SFN Distance [4]

	Guard-interval fraction						
FFT size	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	28	112	224	266	448	532	N/A
16k	14	56	112	133	224	266	448
8k	7	28	56	66.5	112	133	224
4k	N/A	14	28	N/A	56	N/A	112
2k	N/A	7	14	N/A	28	N/A	56
1k	N/A	N/A	7	N/A	14	N/A	28

2.6.3. ข้อบังคับการทำ SFN

โครงข่ายแบบ SFN ถือได้ว่ามีจุดเด่นเรื่องประสิทธิภาพการใช้งานคลื่นความถี่อย่างมาก เนื่องจากใช้ทรัพยากรคลื่น ความถี่น้อยลง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องของการรบกวนแบบ self-interference หรือ inter-symbol interference ซึ่งเกิดจาก สัญญาณจากแต่ละสถานีส่งมาถึงเครื่องรับในเวลาไม่พร้อมกันและออกนอกกรอบเวลาของ guard interval ดังนั้นโครงข่าย แบบ SFN ซึ่งอาศัยเทคโนโลยี COFDM จึงมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะห่างสูงสุดของเครื่องส่ง เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณจากแต่ละแหล่งที่ไปถึงแต่ละจุดของเขตบริการยังอยู่ในกรอบเวลาของ guard interval

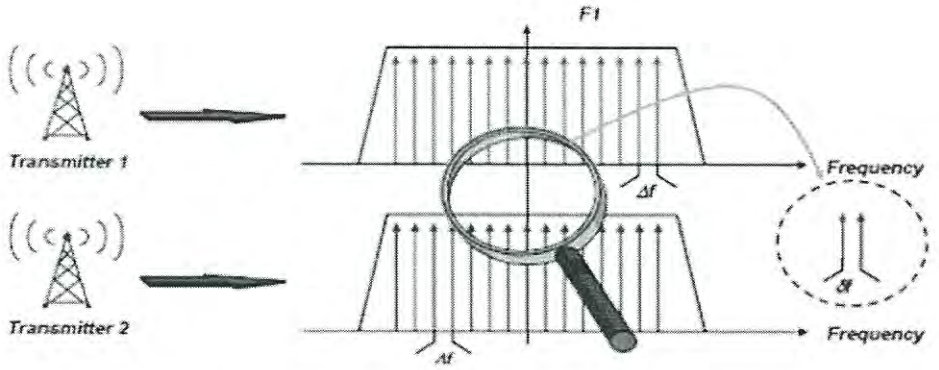
ทั้งนี้ การออกแบบและใช้งานโครงข่ายความถี่เดียวจะสามารถเกิดขึ้นได้โดยต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. ใช้ช่องความถี่เดียวกัน – On the same channel

วัตถุประสงค์ : เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนระหว่างคลื่นพาห์ (inter-carrier interference) ขอบเขตความทนทาน : ไม่เกิน +/- Δf/1000 ดังรูปที่ 2.22

เทคนิคที่ใช้ : เครื่องส่งทุกเครื่องต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงความถี่เดียวกัน (GPS frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

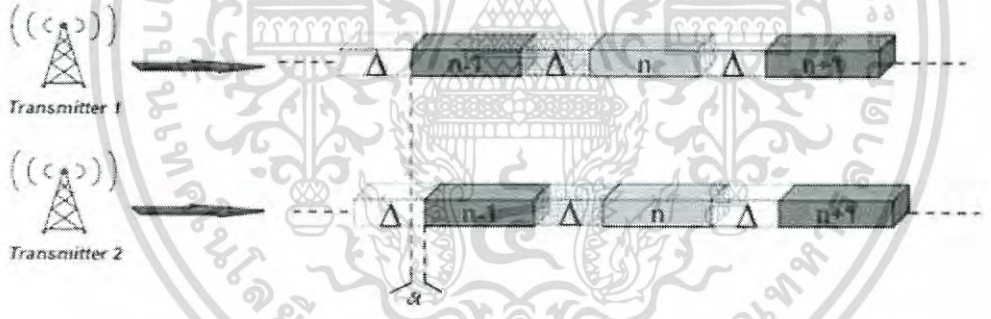


รูปที่ 2.22 ข้อมูลที่มีความถี่เดียวกันทั้ง 2 เครื่องส่ง [12]

2. ใช้ฐานเวลาเดียวกันในการซิงโครไนซ์ – At the same time

วัตถุประสงค์ : เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนระหว่างคลื่นพาห์ (inter-carrier interference) ขอบเขตความทนทาน : ไม่เกิน +/- 1 us ดังรูปที่ 2.23

เทคนิคที่ใช้ : เครื่องส่งทุกเครื่องต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงเวลาเดียวกัน (Pulse Per Second, 1pps)



รูปที่ 2.23 ข้อมูลที่ใช้ฐานเวลาเดียวกันทั้ง 2 เครื่องส่ง [12]

3. ใช้บริการข้อมูลเดียวกัน – Exactly the same content

วัตถุประสงค์ : เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (inter-symbol interference) ขอบเขตความทนทาน : ไม่เกิน +/- 1 us ดังรูปที่ 2.24

เทคนิคที่ใช้ : เครื่องส่งทุกเครื่องต้องอาศัยสัญญาณอ้างอิงเวลาเดียวกัน (Pulse Per Second, 1pps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 ข้อมูลที่มีความถูกต้องระดับบิตทั้ง 2 เครื่องส่ง [12]

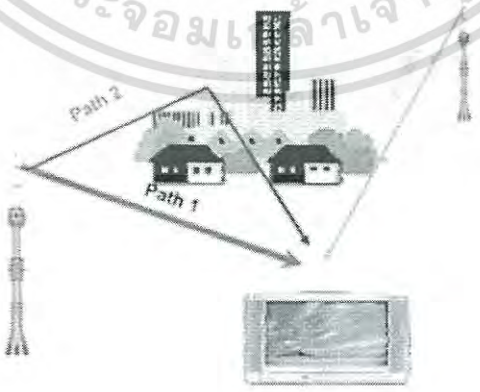
2.6.4. ช่องสัญญาณ (transmission channel)

ช่องสัญญาณมีองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งผ่าน

1. การสะท้อน (Echoes) คือ ผลที่เกิดจากสัญญาณที่สะท้อนเข้ามาเครื่องรับสัญญาณในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้เกิด delay และการเฟดของสัญญาณ (fading effect) โดยแบ่งได้ 2 กรณีดังนี้

1.1. แบบพาสซีฟ (passive) เกิดจากการสะท้อนจากสิ่งกีดขวางหรือสิ่งแวดล้อมในเส้นทางที่ 2 ดังรูปที่ 2.25

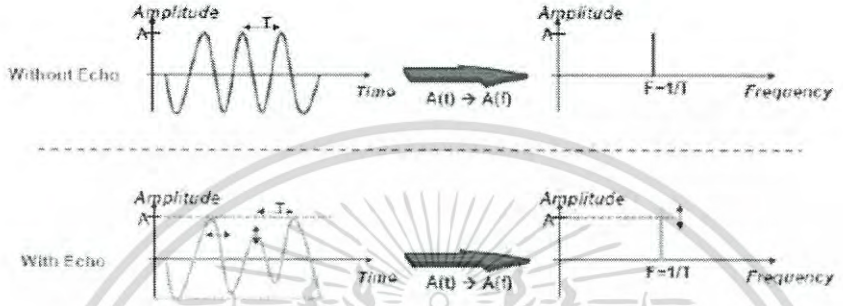
1.2. แบบแอกทีฟ (active) เกิดจากสัญญาณจากเครื่องส่งภายใต้โครงข่ายSFN เดียวกัน ในเส้นทางที่ 3 ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 สัญญาณสะท้อนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมและ delay จากโครงข่าย SFN [12]

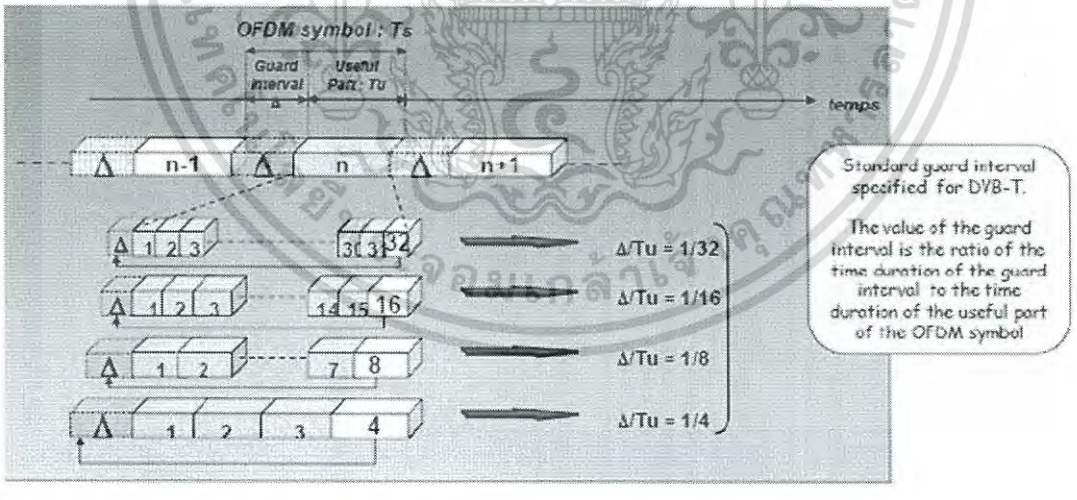
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากสัญญาณสะท้อน ทำให้สัญญาณรวมที่จุดรับสัญญาณมีโอกาสเสริมและหักล้างกับสัญญาณจากทางตรง ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่จุดรับสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 2.26 จนอาจทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ในกรณีที่เกิดการสะท้อนมากเกินไป การสะท้อนมากหรือน้อยขึ้นกับสิ่งแวดล้อม เขตชุมชนเมืองมีโอกาสเกิดการสะท้อนได้มาก และเขตชนบท มีโอกาสเกิดการสะท้อนน้อยกว่า



รูปที่ 2.26 เปรียบเทียบสัญญาณระหว่างมีการสะท้อนจากสภาพแวดล้อมกับไร้การสะท้อน [12]

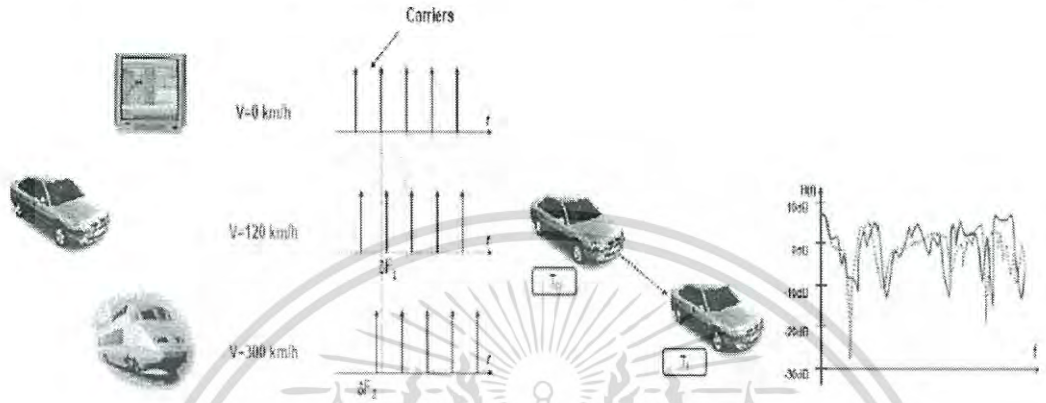
เทคนิคที่ใช้ : การแก้ไขหรือลดผลจากการสัญญาณสะท้อนทำได้โดยการเพิ่มช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval) ให้สูงขึ้น แต่จะส่งผลให้อัตราบิตลดลงด้วย ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การแทรก GI เข้าไปตรงส่วนหน้าของแต่ละ OFDM symbol [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

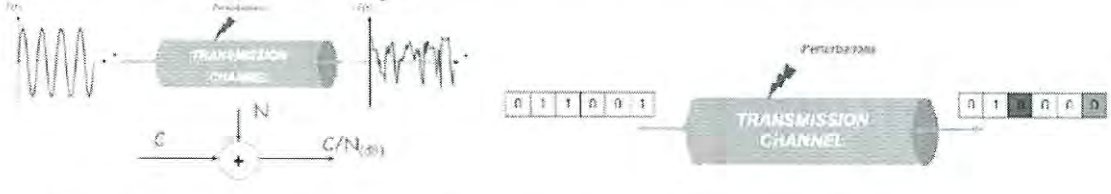
2. ปรากฏการณ์ดอปเลอร์ (Doppler effect) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดการรับสัญญาณในขณะเคลื่อนที่หรืออาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมมีการเคลื่อนที่ก็ได้ โดยผลของ ปรากฏการณ์นี้จะทำให้ความถี่ของสัญญาณเลื่อนออกจากตำแหน่งที่ส่งไป (frequency shift) ยิ่งการรับสัญญาณขณะ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวจะปรากฏเด่นชัดขึ้น ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การรับสัญญาณขณะเคลื่อนที่มีผลต่อ frequency shift [12]

เทคนิคที่ใช้ : การแก้ไขหรือลดผลจากปรากฏการณ์ดอปเลอร์ทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างระหว่าง คลื่นพาห์ (inter-carrier distance) แต่จะส่งผลให้ความทนทานต่อ impulsive noise และระยะห่างสูงสุดของเครื่องส่งลดลงด้วย

3. สัญญาณรบกวน (Noise) คือการรบกวนของช่องสัญญาณในลักษณะสุ่ม (random) ทำให้สัญญาณที่ปลายทางเกิดความผิดเพี้ยนไปจากต้นทาง ดังรูปที่ 2.29 โดยในระบบการส่งสัญญาณหนึ่งๆ สัญญาณที่ปลายทางนั้นจะต้องมีค่า C/N มากเกินข้อกำหนดของพารามิเตอร์ระบบจึงจะทำให้สามารถถอดรหัสสัญญาณได้ ทั้งนี้ในระบบ DVB-T2 นั้น ค่า C/N ที่ ต้องการ จะมีค่าตามการปรับพารามิเตอร์ของ Modulation และ code rate เป็นหลัก และการวัดข้อผิดพลาดนั้น นิยมวัดในรูปแบบของ Bit Error Ratio (BER)



รูปที่ 2.29 สัญญาณที่โดน Noise รบกวนในช่องสัญญาณจนทำให้ข้อมูลมีความผิดพลาด [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ใช้ : หากต้องการสัญญาณมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้น ทำได้โดยปรับ Code rate หรือ Modulation ให้ต่ำลง เพื่อให้สัญญาณมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น แต่จะส่งผลให้อัตราบิตต่ำลง ดังรูปที่ 2.30

รูปที่ 2.30 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับสัญญาณให้มีความคงทนมากขึ้น [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1. พารามิเตอร์ในการวัด และวิเคราะห์สัญญาณสำหรับโครงข่าย MFN และ SFN

พารามิเตอร์ข้างต้นนี้มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสัญญาณ DVB-T2 ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดสัญญาณ ROVER HD PROTAB โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

3.1.1. Power

การวัดค่ากำลังงานของสัญญาณ โดยการวัดสัญญาณนั้นจะต้องเข้าใจการอ่านจากเครื่องมือวัดนั้นๆ และยังต้องทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้กับเครื่องมือวัดว่ามีค่า 50 หรือ 75 โอห์ม โดยหน่วยการวัดของกำลังส่งใช้เป็นวัตต์ (Watt) ซึ่งปกติแล้วระดับการส่งสัญญาณที่ส่งออกมานั้นจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้หน่วยวัดเป็น dBm และ dBuV

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

3.1.2. คุณภาพ (Quality)

การวัดคุณภาพของสัญญาณที่ต้องการจะพิจารณาโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกสอด หรือวิธีการสังเกตอย่างง่ายคือดูจากภาพและเสียงที่แสดงผลออกมา ซึ่งในเครื่องมือวัด ROVER HD PROTAB นี้ จะแสดงค่าเป็น PASS=ดี, MARG=พอรับได้ และ FAIL=ค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณร่วมด้วย คือ BER, MER, C/N และ SNR โดยจะแสดงความหมายของแต่ล่ะค่าต่อไป

3.1.3. อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio (C/N))

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การวัดความแรงของอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนมีความสำคัญเพื่อใช้แสดงถึงคุณภาพของการมอดูเลชันแบบดิจิทัล ซึ่งนำไปวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการรับสัญญาณได้

3.1.4. อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน (Modulation Error Ratio (MER))

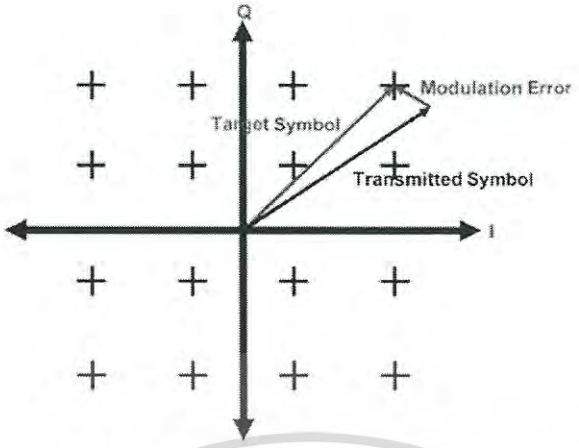
อัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชันหรือค่า MER เป็นตัวแสดงค่าประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ DVB-T2 โดยการวัดค่าเบี่ยงเบนจากค่าในอุดมคติ ค่า MER จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยที่จะส่งผลต่อค่า BER และ ถ้าการส่งสัญญาณมีค่า MER สูงและการรบกวนเป็นแค่การเสื่อมลงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1)

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

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

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

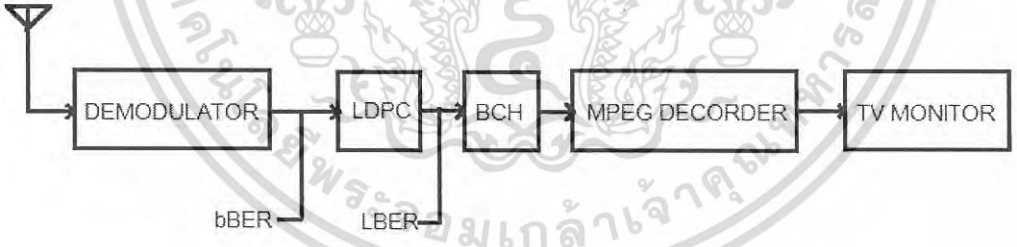
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การวัดหาอัตราส่วนความผิดพลาดในการมอดูเลชัน [14]

3.1.5. อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Ratio (BER))

BER คืออัตราส่วนระหว่างบิตข้อมูลที่ผิดพลาดเทียบกับจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลาที่วัด ถ้าหากบิตข้อมูลที่เครื่องรับรับได้มีความผิดพลาดมีมากจนเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแสดงผลภาพ และเสียงได้ ซึ่งค่า BER นี้ มักจะได้รับผลกระทบจาก Carrier-to-Noise Ratio และ Modulation Error Ratio



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของอัตราความผิดพลาดบิต [1]

3.1.5.1 before bit error rate (bBER)

หรือเรียกว่า Channel bit error rate คือค่าที่รับได้หลังจากผ่านการดีมอดดูเลชั่น ก่อนนำไปเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสต่อไป โดยค่านี้จะอยู่ที่ประมาณ $2x10^{-2}$ ถือเป็นค่ามากที่สุด (ค่ายิ่งต่ำกว่า $2x10^{-2}$ ยิ่งดี) ที่ยังทำให้การรับสัญญาณ DVB-T2 ยังสามารถรับสัญญาณได้ตามปกติ โดยที่สัญญาณไม่สะดุดหรือสัญญาณภาพไม่มีการขาดหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5.2 LDPC bit error rate (LBER)

คือค่า bBER ที่ถูกส่งผ่านเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสแบบ LDPC (Low-Density Parity-Check) แล้วนำเข้าสู่บล็อกการถอดรหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghen) หลังจากนั้นจะทำให้มีค่าต่ำลงกว่า หรือเท่ากับ $1x10^{-11}$

ในการแสดงค่า นิยมแสดงเป็นอัตราส่วนเช่น $1x10^{-11}$ หมายความว่ามีความผิดพลาด 1 บิตต่อการส่ง แสนล้านบิต (10^{11})

3.1.6. อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio (SNR))

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

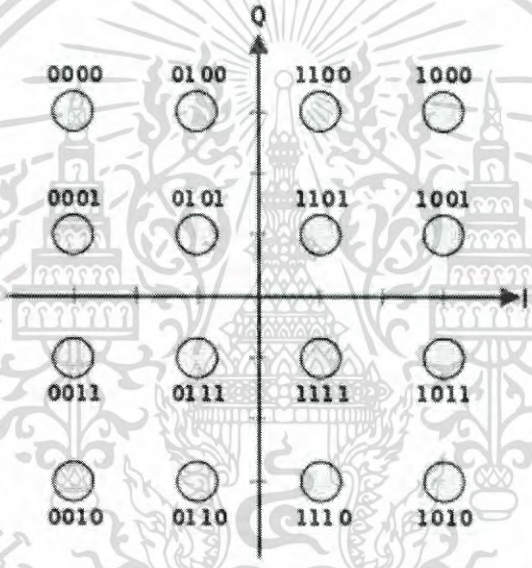
3.1.7. Constellation Diagram

เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห์คลื่นไซน์ตามบิตข้อมูลถึง 2 คุณลักษณะ คือ ค่าขนาดแรงดัน และมุมเฟสสามารถเลือกเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดัน และมุมเฟสตามลักษณะของ QAM เช่น 8-QAM สามารถเลือกค่าขนาดและมุมได้หลายแบบ เช่น มี 1 ค่าขนาดแรงดัน และ 8 มุมเฟส หรือ มี 2 ค่าขนาดแรงดัน และ 4 มุมเฟสได้เช่นกัน ซึ่งค่าขนาดและมุมเลื่อนที่ถูกเลือกใช้สำหรับ QAM สามารถแสดงได้ในกราฟ Constellation diagram โดยรัศมีของพิกัดของแต่ละจุดจากจุดศูนย์กลางของ Constellation diagram แสดงถึงขนาดของสัญญาณพาห์ และ มุมของพิกัดแต่ละจุดเป็นมุมเลื่อนของสัญญาณพาห์นั่นเอง ตัวอย่างของ Constellation diagram ของ 8-QAM และ 16-QAM สำหรับเทคนิคการสร้างสัญญาณQAM ทำได้ดังแสดงในi รูปที่ 3.3 โดยทางภาคส่งจะทำการสร้างสัญญาณ QAM หนึ่งชุดที่เป็นตัวแทนข้อมูล 2 บิต จึงมีส่วนของการแปลง serial-to-parallel มาช่วย เพื่อทำให้สามารถส่งสัญญาณ 2 บิต (X และ Y) ไปบนสัญญาณพาห์ที่ความถี่เดียวกัน โดยเอาสัญญาณบิตที่ 1 (X) คูณกับสัญญาณพาห์ที่เป็นสัญญาณ cosine ส่วนบิตที่ 2 (Y) จะถูกคูณกับสัญญาณพาห์ cosine ที่เลื่อนไป 90 องศา นั่นคือ สัญญาณพาห์ sine นั่นเอง จากนั้นสัญญาณของทั้งสองบิตจะถูกรวมเพื่อส่งออกไปพร้อมกันเป็นสัญญาณ QAM ส่วนที่ภาครับจะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ QAM ที่ได้รับ มาทำการถอดสัญญาณบิต X และ บิต Y ทีละบิต แล้วจึงจัดเรียงลำดับบิตข้อมูลส่งออกไป (Parallel-to-Serial) โดยการถอดบิตข้อมูลบิต X สามารถทำได้ด้วยการนำสัญญาณ QAMคูณกับสัญญาณพาห์ cosine

อย่างไรก็ดี เมื่อสัญญาณเดินทางผ่านช่องนำสัญญาณ สัญญาณอาจมีการเลื่อนตัวทำให้สัญญาณ QAM ที่ได้รับอาจเลื่อนไปจากที่ภาคส่งส่งออกมา ดังนั้น จึงต้องมีการ Sync สัญญาณพาห์ cosine ของภาครับให้ตรงกับภาคส่ง โดยปรับเลื่อนให้สัญญาณพาห์ตรงกับสัญญาณ QAM ด้วย phase shifter จากนั้น กรองสัญญาณด้วย LPF เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนสุดท้าย จะต้องมีการตัดสินใจว่าสัญญาณที่ได้รับ ควรเป็นข้อมูล '0'หรือ '1' ซึ่งทำได้โดยใช้ Decision Maker และจะได้สัญญาณบิต X กลับออกมาที่ภาครับ ส่วนขั้นตอนในการถอดข้อมูลบิต Y ทำได้เช่นเดียวกัน

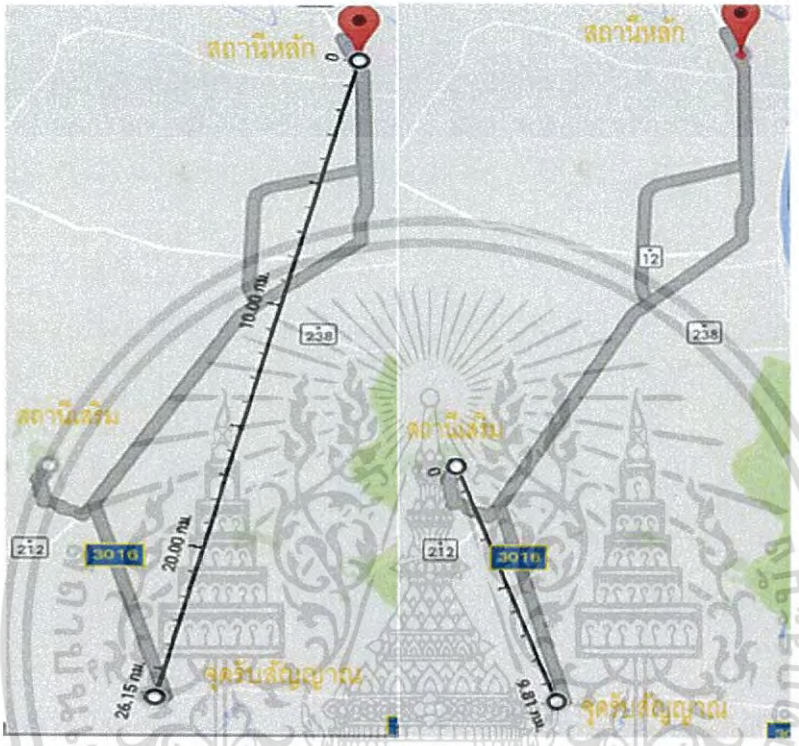


รูปที่ 3.3 Constellation Diagram [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. การคำนวณ Delay ที่เกิดขึ้น

ในกรณีที่สถานีส่งทั้ง 2 สถานีและเครื่องรับสัญญาณอยู่คนละตำแหน่ง จะต้องมีการคำนวณถึง delay ที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างสถานีหลัก สถานีเสริม และจุดรับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.4 เห็นได้ว่าสถานีหลัก สถานีเสริม และจุดรับสัญญาณอยู่คนละตำแหน่งกัน ดังนั้น delay ของสัญญาณทั้งสถานีหลัก และ สถานีเสริมที่เดินทางมาถึงจุดรับสัญญาณจะไม่พร้อมกัน เวลาที่ใช้เดินทางของสัญญาณคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$t = \frac{s}{c} \tag{2}$$

เมื่อ c คือ อัตราเร็วของแสง = 299,792,458 m/s

s คือ ระยะทาง

t คือ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2 เมื่อคำนวณเวลาที่สัญญาณเดินทางระหว่างจุดรับสัญญาณจากสถานีหลัก เท่ากับ 87.22 us และสัญญาณที่เดินทางระหว่างจุดรับสัญญาณจากสถานีเสริม เท่ากับ 32.72 us หมายความว่าสัญญาณจากสถานีเสริมจะใช้เวลาเดินทางมายังจุดรับสัญญาณน้อยกว่าสถานีหลัก 54.5 us

3.3. โมเดลการวัดสัญญาณ SFN

การทำ SFN ต้องให้สถานีส่งทั้ง 2 สถานี มีความถี่เดียวกัน กลุ่มความที่ใช้ในการทดลองจะเป็นกลุ่มความถี่ Da ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการทำ SFN ที่มุกดาหาร ดังตารางที่ 3.1

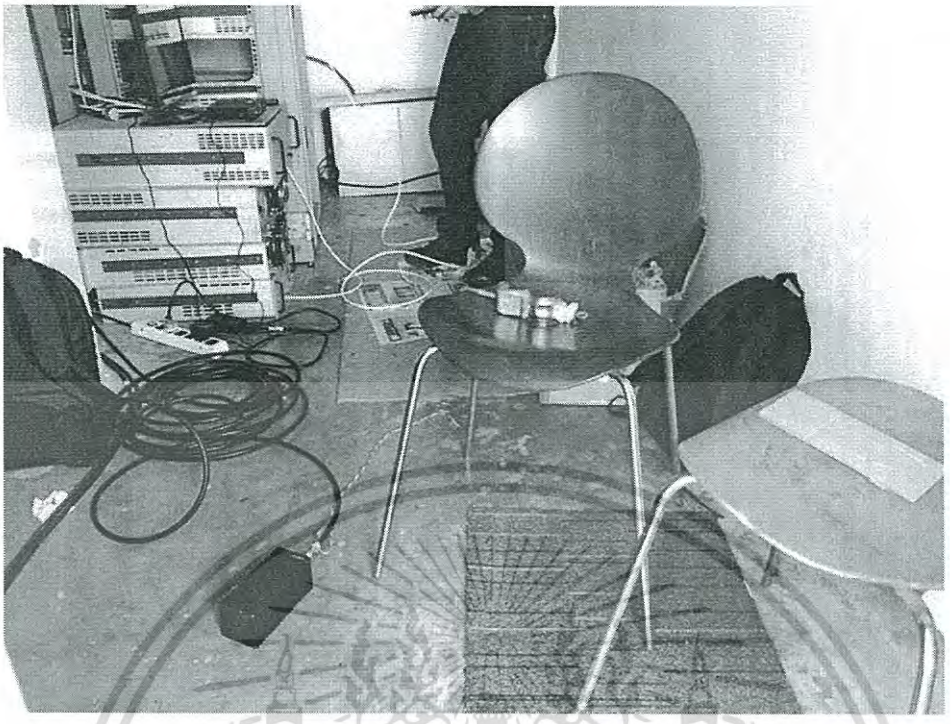
ตารางที่ 3.1 ความถี่ทั้ง 5 MUX ที่มุกดาหาร

MUX	Channel	Frequency (MHz)
1	47 – NBT	682
2	39 – TV 5	618
3	35 – MCOT	586
4	28 – TPBS	530
5	51 – TV 5	714

3.3.1. วัดสัญญาณที่ อสมท

การทำ SFN ต้องมีสถานีส่งอย่างน้อย 2 สถานี ในที่นี้จะใช้ Dummy load ในการส่งสัญญาณออกอากาศ ใช้สายอากาศไดโพลในการรับสัญญาณ โดยเครื่องส่งและจุดรับสัญญาณจะอยู่ภายในห้องด่านฟ้าอาคารจอดรถ ชั้น 13 ดังรูปที่ 3.5 และอยู่ใกล้กันมากจนถือว่าเป็นจุดเดียวกัน

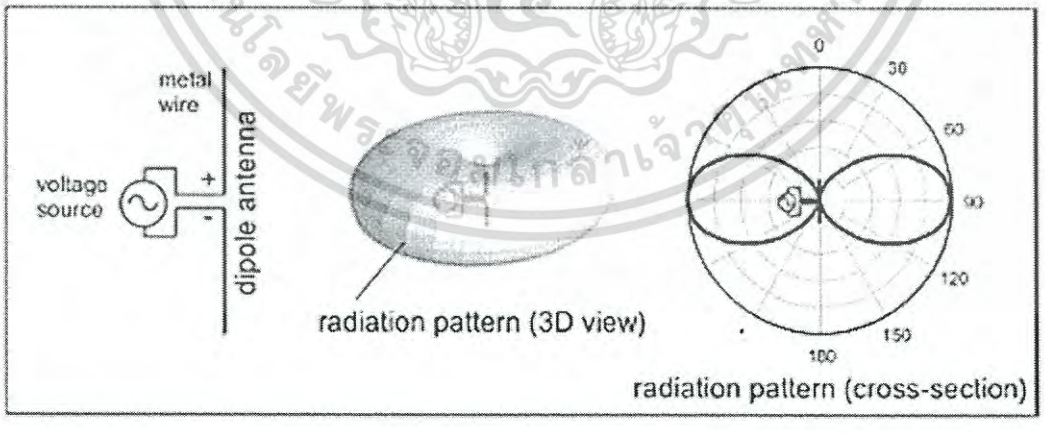
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ห้องที่ใช้ในการทดลอง SFN

Power ที่ใช้ส่งแต่ละเครื่องส่งและแต่ละ MUX ไม่เท่ากัน ในการรับสัญญาณจะหาจุดที่ทำให้เครื่องวัดสัญญาณมี Power ใกล้เคียงกัน

สายอากาศรับจะใช้สายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. วัดสัญญาณที่มุกดาหาร

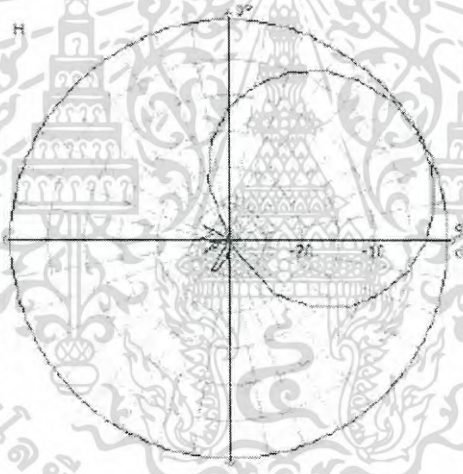
เป็นการทำ SFN สถานี High Power ที่สถานีหลักมุกดาหารและสถานีเสริมภูหินขัน (มุกดาหาร)

Power ที่ใช้ส่ง 760 W ความสูงของเสาส่งสถานีหลัก 124 เมตร Longitude 104.718181 และ Latitude 16.613679

Power ที่ใช้ส่ง 190 W ความสูงของเสาส่งสถานีเสริม 80 เมตร Longitude 104.629602 และ Latitude 16.468387 ชนิดสายอากาศที่ใช้เป็น Type 4 ดังรูปที่ 3.6

จุดที่รับสัญญาณใช้สายอากาศ ยากิ-อูดะ 5 อิลิเมนต์ มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ดังรูปที่ 3.7 ตั้งเสาสูง 6 เมตร Longitude 104.70688 และ Latitude 16.38655 ดังรูปที่ 3.8

ข้อมูลเพิ่มเติม ภาคผนวก ก และ ข



รูปที่ 3.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ Type 4 [10]

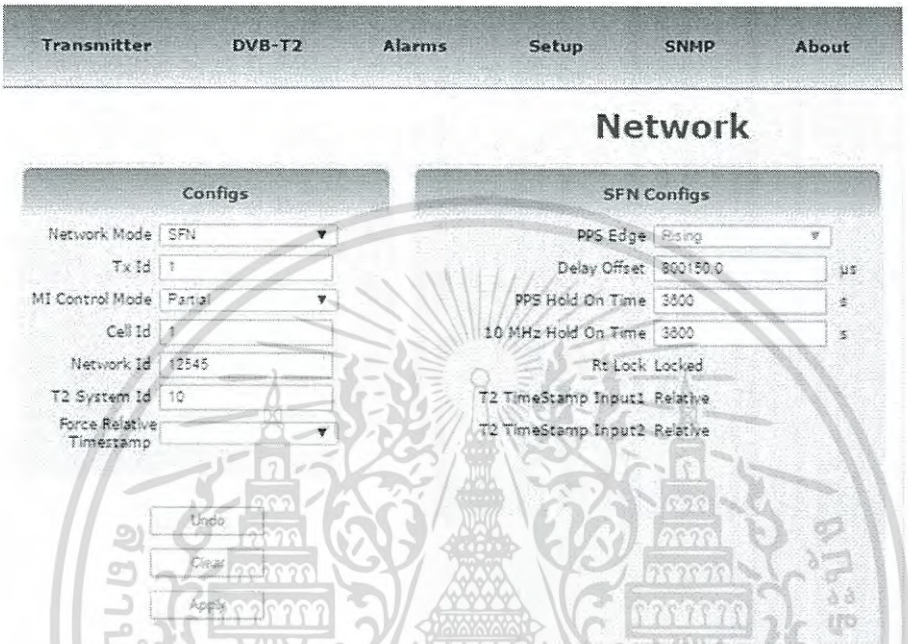
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 จุดรับสัญญาณใช้สายอากาศ ยากิ-อูดะ 5 อิลิเมนต์ เสาสูง 6 เมตร

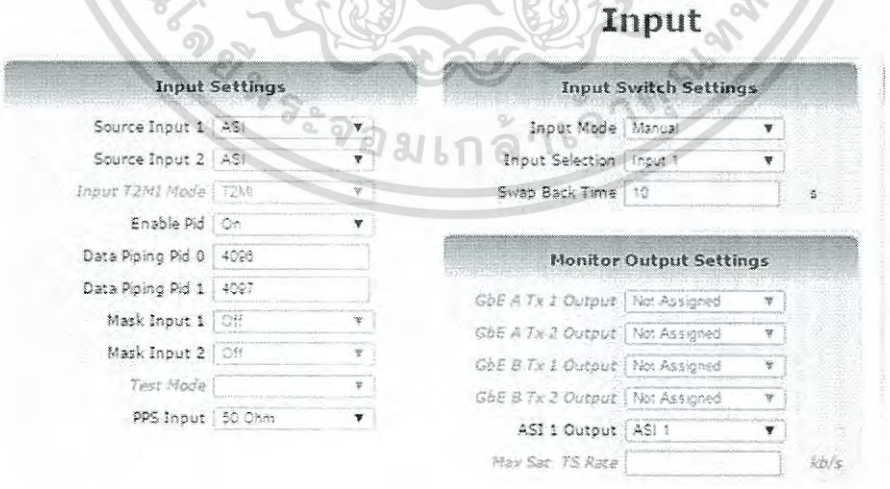
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. การ SET SFN

ในเครื่องส่งบางเครื่องจะมีฟังก์ชันเลือกโหมดการทำงานได้ว่าจะใช้ Network Mode แบบ SFN หรือ MFN ในการออกอากาศ และมี Input ที่หลากหลาย ดังนั้นในการทำ SFN จะต้องตั้ง Network Mode แบบ SFN และเลือกใช้ Input Mode เป็น T2-MI ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.9 การตั้งโหมดเป็น SFN



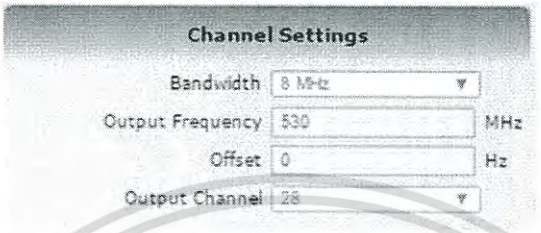
รูปที่ 3.10 เลือกสัญญาณ Input เป็น T2-MI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่เคยกล่าวในบทที่ 2 ข้อบังคับการทำ SFN มี 3 ข้อ คือ

1. ใช้ช่องความถี่เดียวกัน

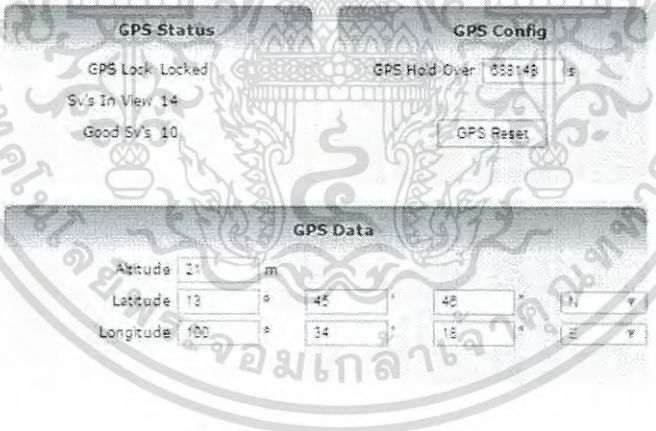
สามารถตั้งค่าได้ที่ Exciter โดยเลือกที่ Output Channel ให้ Exciter ทั้ง 2 เครื่อง มีความถี่เดียวกัน ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เลือกความถี่ที่ใช้ในการออกอากาศ

2. ใช้ฐานเวลาเดียวกันในการซิงโครไนซ์

เป็นการออกอากาศในเวลาเดียวกัน โดยใช้ GPS เป็นตัว Reference เทียบกับ 1 pps เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างคลื่นพาห์ ดังรูปที่ 3.12

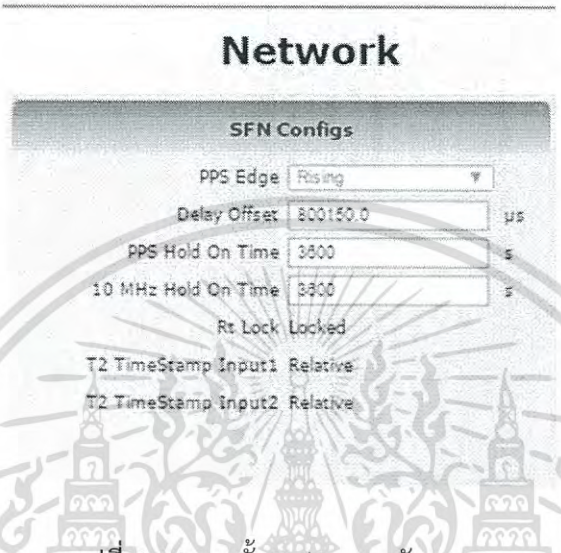


รูปที่ 3.12 เช็ค Status ของ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้บริการข้อมูลเดียวกัน

การออกอากาศโดยใช้ข้อมูลเดียวกัน เพื่อป้องกันการรบกวนระหว่าง Symbol ตั้งค่าได้ที่ Delay Offset ดังรูปที่ 3.13 โดยการตั้ง Delay Offset ต้องคำนึกถึง Delay ระหว่างสัญญาณจาก Exciter ทั้ง 2 เครื่อง ต้องมาถึงเครื่องรับอยู่ในช่วง GI หรือไม่เกิน 266 us



รูปที่ 3.13 การตั้ง Delay ของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ขั้นตอนการทดสอบสัญญาณและผลการทดลอง

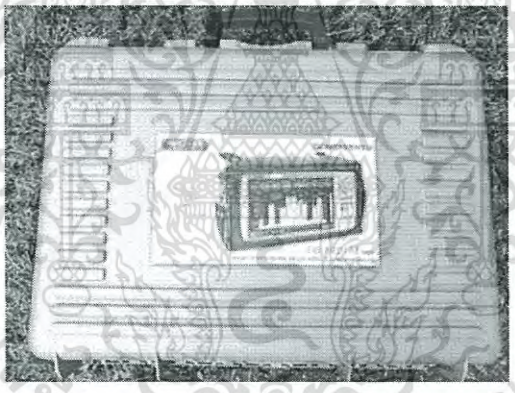
4.1. การวัดสัญญาณที่มุกดาหาร

4.1.1. ขั้นตอนการวัดสัญญาณ

1. เตรียมสถานที่และอุปกรณ์การวัด
2. ติดตั้งอุปกรณ์ วัดสัญญาณก่อนทำ SFN
3. ทดลองปรับ delay ของสถานีส่งและทำการวัดสัญญาณ
4. ดูผลที่ได้จากการทำ SFN

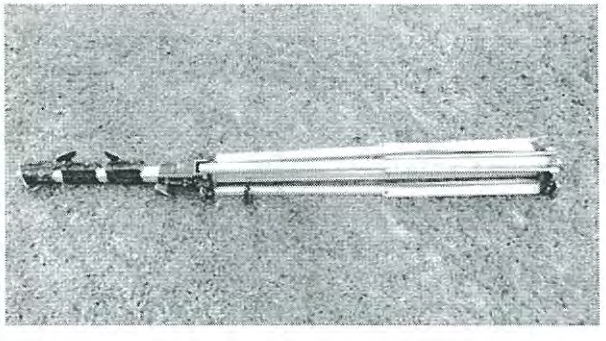
4.1.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือวัดสัญญาณ BROADCAST ANALAZERS ของ ROVER HD PROTAB ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องวัดสัญญาณ

2. เสาสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.2 เสาสูง 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สายอากาศ ยากิ-อูดะ 5 อิลิเมนต์

4. สาย F-type 75 โอห์ม

5. โน๊ตบุ๊คที่มีโปรแกรม Teamviewer

4.1.3. การติดตั้งอุปกรณ์

1. ประกอบสายอากาศเข้ากับขาตั้ง

2. นำสาย F-type ต่อกับสายอากาศและเครื่องวัดสัญญาณ จากนั้นทำการปรับเสาสัญญาณให้มีความสูง 6 เมตร

3. ทำการเชื่อมต่อผ่าน VPN (Virtual Private Network)

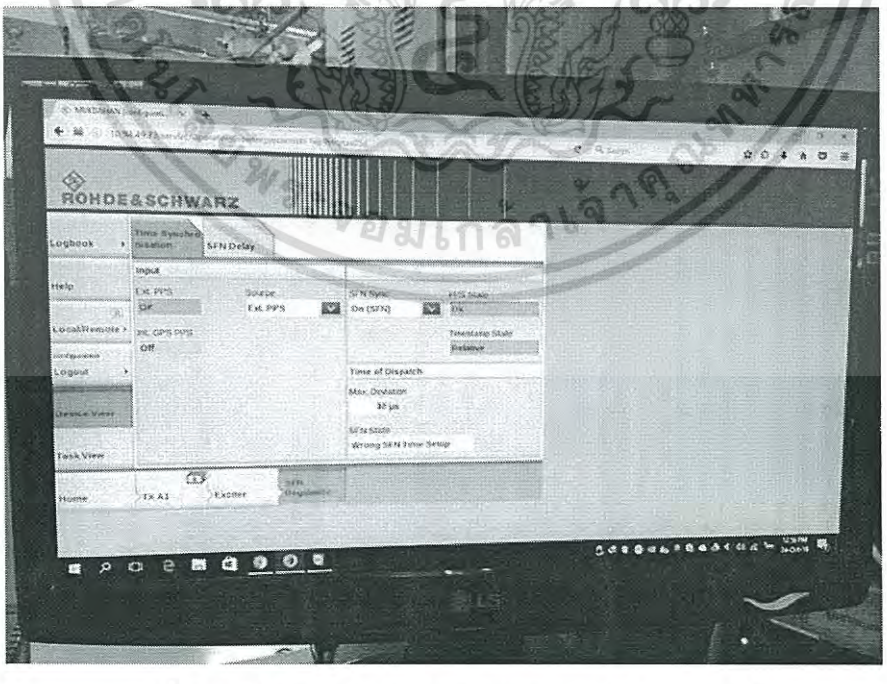
4. เปิดเครื่องวัดสัญญาณ และกดปุ่ม Configuration เลือก RF IN เป็น 75 โอห์ม

5. ที่หน้า Home เลือกโหมด TV ตั้งค่าความถี่ตามตารางที่ 3.1

6. วัดสัญญาณที่ได้

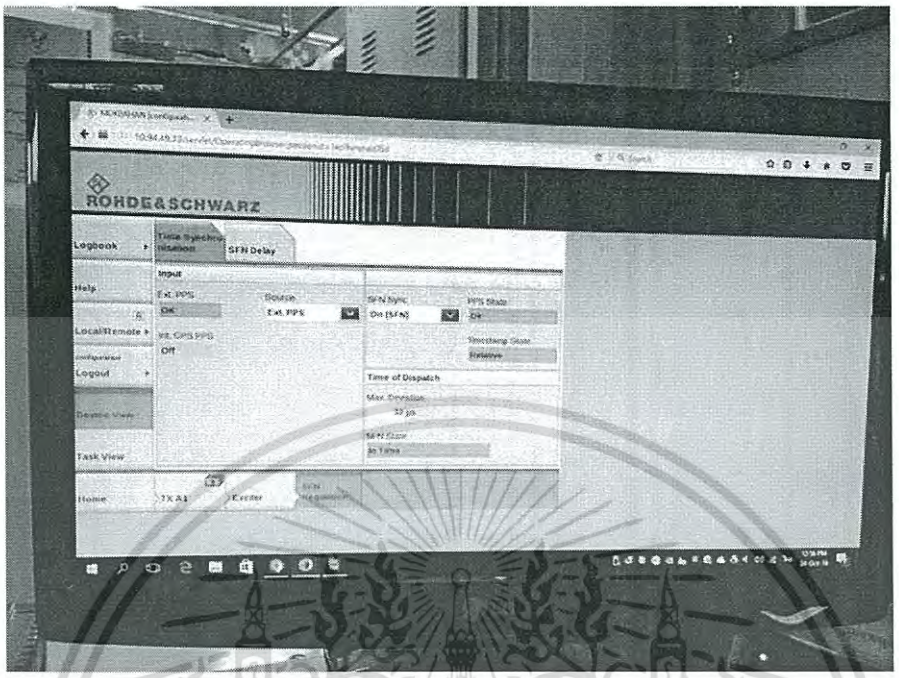
7. ปรับ delay ของสถานีส่ง ดังนี้

7.1. ตรวจสอบว่าเครื่องส่งทั้ง 2 สถานีอยู่ในโหมดการทำ SFN หรือไม่ ในกรณีเครื่องส่ง ROHDE&SCHWARZ สามารถดูได้จากหน้า HOME -> เลือกเครื่องส่งที่ใช้ออกอากาศ -> Exciter -> SFN Regulation ดังรูปที่ 4.3 เป็นตัวอย่างกรณีเครื่องส่งไม่สามารถทำ SFN ได้ และ รูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างกรณีเครื่องส่งสามารถทำ SFN ได้



รูปที่ 4.3 เครื่องส่ง ROHDE&SCHWARZ กรณีทำ SFN ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เครื่องส่ง ROHDE&SCHWARZ กรณีทำ SFN ได้

7.2. คำนวณระยะเวลาที่สถานีส่งทั้ง 2 สถานีจะเดินทางมาถึงเครื่องรับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.4

7.3. ตรวจสอบความแตกต่าง delay ของเครื่องส่งทั้ง 2 เครื่อง และ delay จากสถานีทั้ง 2 มายังจุดรับสัญญาณ โดยความแตกต่างสัญญาณที่เข้ามาที่เครื่องรับสัญญาณ จะต้องอยู่ในช่วงเวลาของ GI หรือไม่เกิน 266 us

7.4. บันทึกผล

4.2. การวัดสัญญาณที่ บมจ. อสมท

4.2.1. ขั้นตอนการวัดสัญญาณ

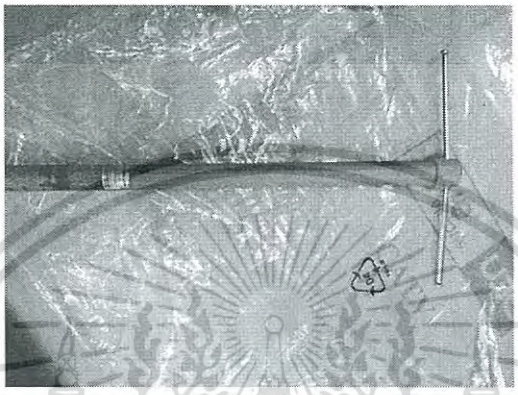
1. เตรียมสถานที่และอุปกรณ์การวัด
2. ติดตั้งอุปกรณ์ วัดสัญญาณก่อนทำ SFN
3. วัดสัญญาณ SFN โดยการทดลองปรับ delay ของเครื่องส่งให้แตกต่างกัน 0 us และเพิ่มทีละ 10 us จนถึง 260 us วัดสัญญาณทุกครั้งที่มีการปรับ delay
4. ดูผลที่ได้จากการทำ SFN ทั้ง 5 MUX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

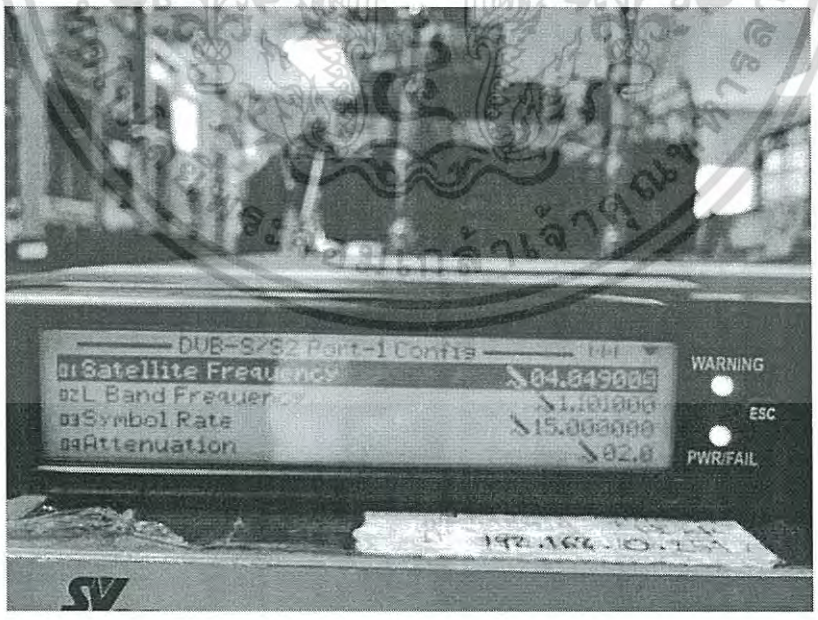
1. เครื่องวัดสัญญาณ BROADCAST ANALYZERS ของ ROVER HD PROTAB ดังรูปที่ 4.1

2. สายอากาศไดโพล ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพล

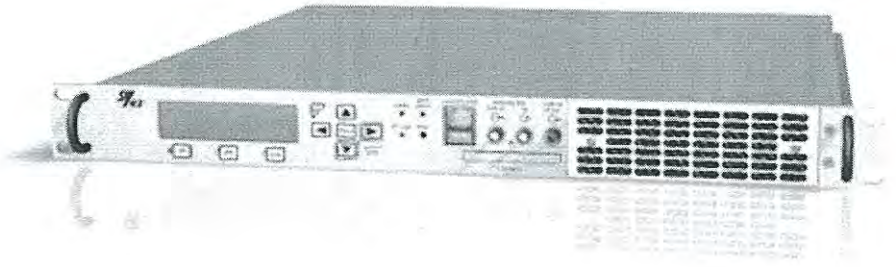
3. IRD (Integrated receive decoder) ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 IRD

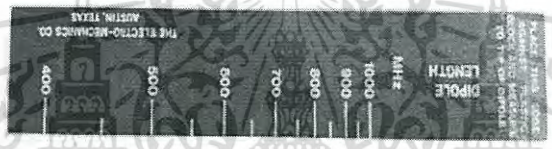
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Exciter 2 เครื่อง ดังรูปที่ 4.7



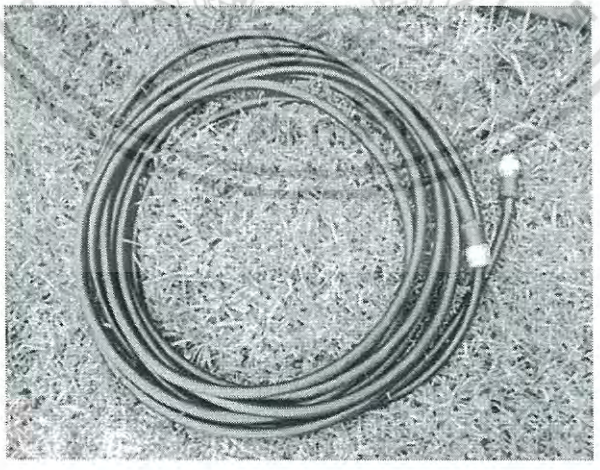
รูปที่ 4.7 Exciter

5. ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาวให้เหมาะสมกับความถี่ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ไม้บรรทัดสำหรับปรับความยาว

6. สาย coaxial cable RG-214 ดังรูปที่ 4.9



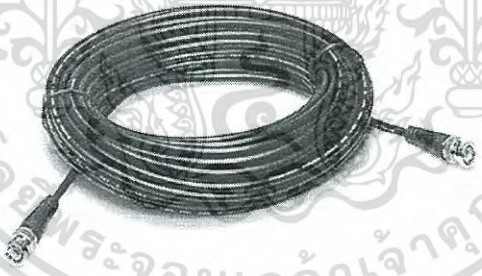
รูปที่ 4.9 สาย coaxial cable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. GPS (Global Positioning System) ดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 GPS

8. สาย BNC Male to Male ดังรูปที่ 4.11



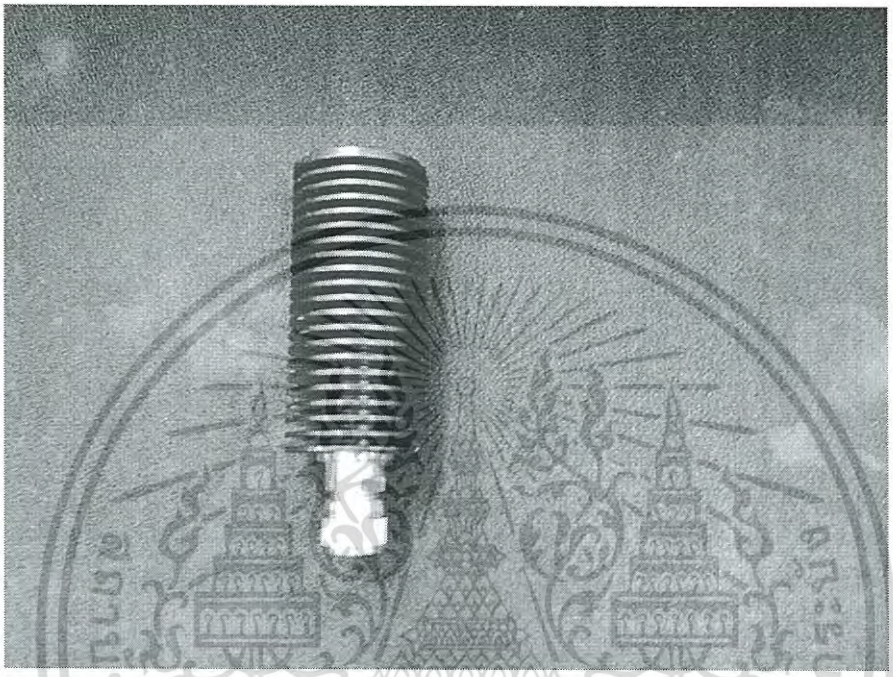
รูปที่ 4.11 สาย BNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สาย LAN RJ45

10. โน๊ตบุ๊ค

11. Dummy load ดังรูปที่ 4.12



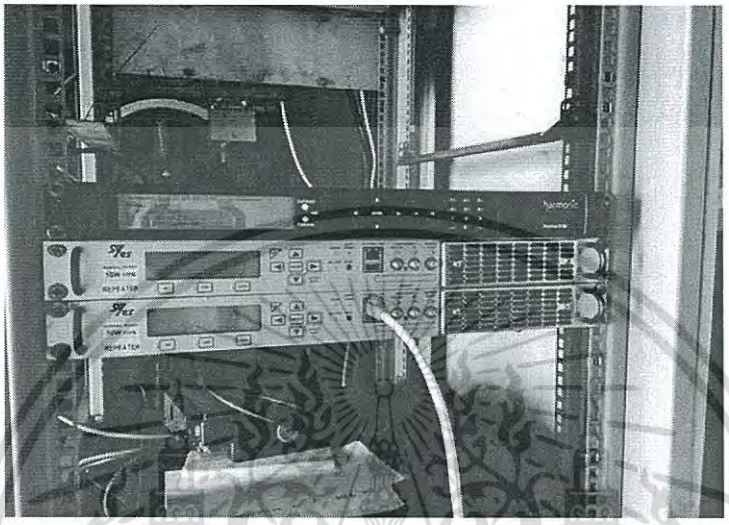
รูปที่ 4.12 Dummy load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3. การติดตั้งอุปกรณ์

1. ภาคส่ง

1.1. นำ Exciter และ IRD ต่อลง rack ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ต่ออุปกรณ์ลง rack

1.2. นำสาย F-type ต่อเข้ากับ RF IN ของ IRD

1.3. เลือกสัญญาณดาวเทียมของ MUX ช่อง 9 โดยตั้งค่าดังนี้

Satellite Frequency : 4.049 GHz

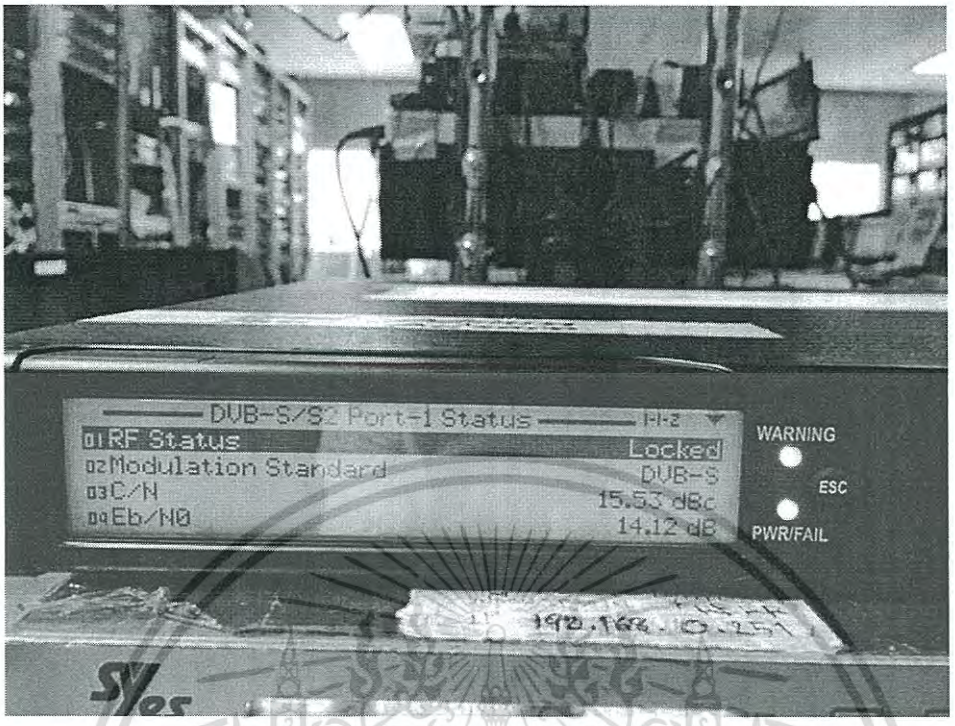
Symbol Rate : 15

LNB (Low-noise block) : Horizontal 18 V

Modulation Standard : DVB-S2

ตรวจสอบสถานะว่า RF Lock หรือไม่ ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

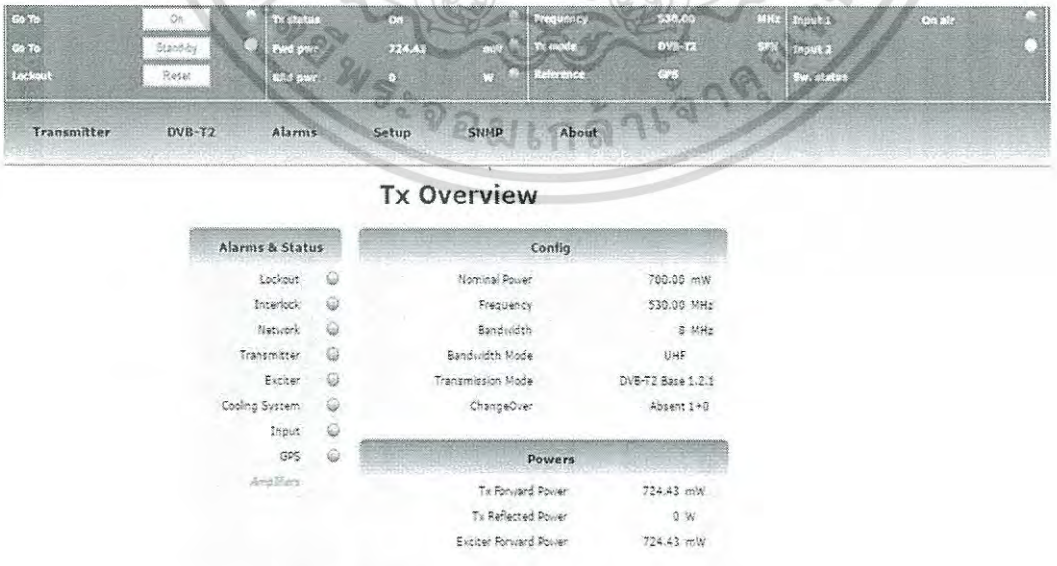


รูปที่ 4.14 แสดง RF Status ของ IRD

1.4. นำสาย BNC ต่อระหว่าง RF Out ของ IRD เข้ากับ ASI IN ของ Exciter และต่อ GPS กับ Exciter ทั้ง 2 เครื่อง

1.5. ต่อสาย coaxial cable เข้ากับ Dummy load และ Exciter

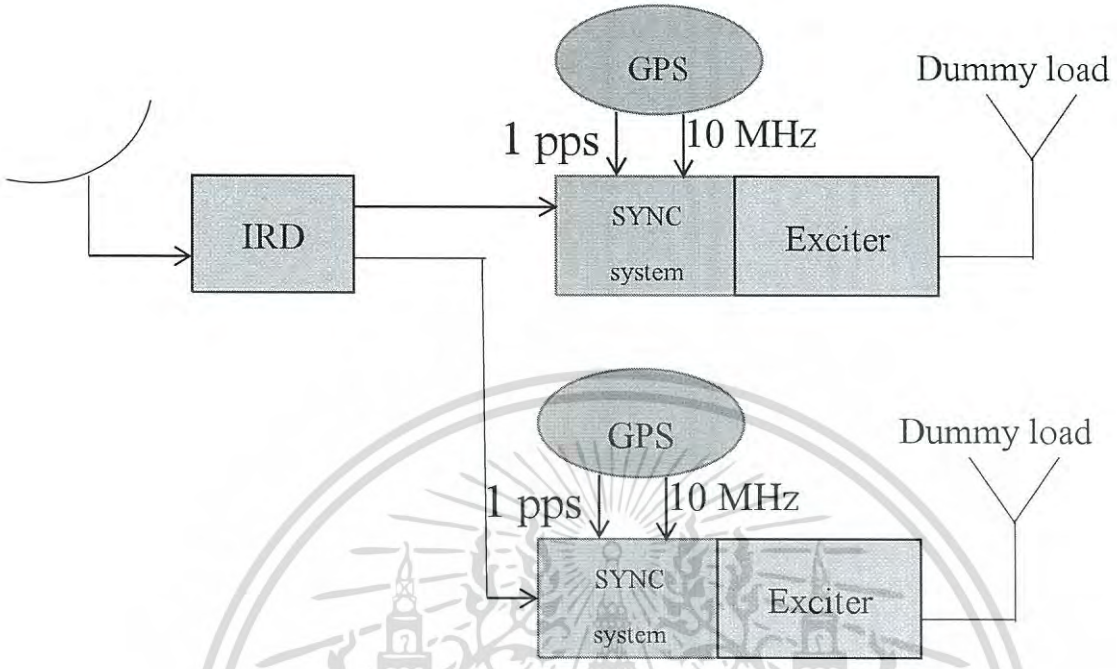
1.6. เชื่อมต่อ Exciterผ่านทางWeb Browser เช็คAlarms&Status ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 เช็ค Status ของ Exciter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

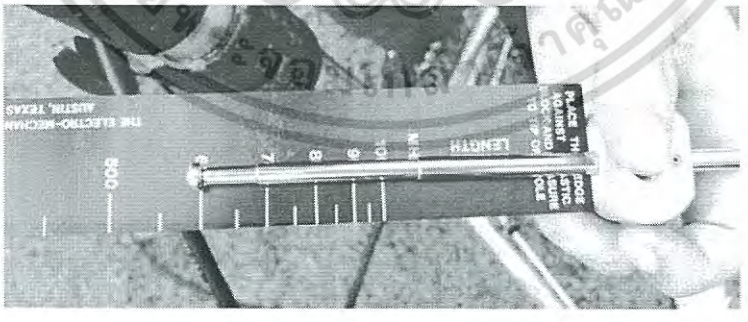
จากการเซ็ทอุปกรณ์ในภาคส่งจะได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง

2. ภาครับ

2.1. ปรับความยาวสายอากาศไดโพลตามตารางที่ 3.1 โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความยาวตามความถี่ที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.17

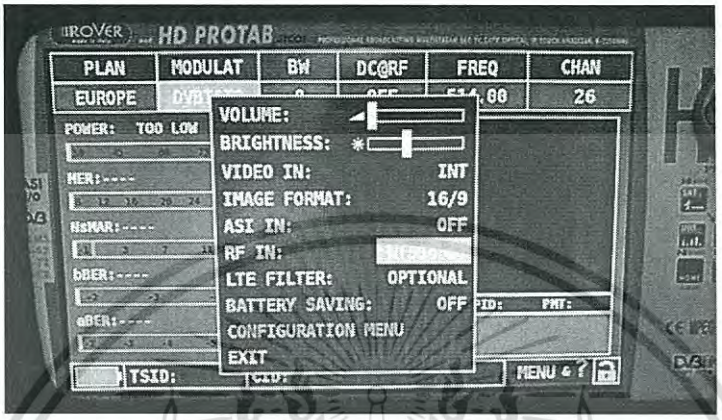


รูปที่ 4.17 การปรับสายอากาศไดโพลให้ได้ความถี่ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

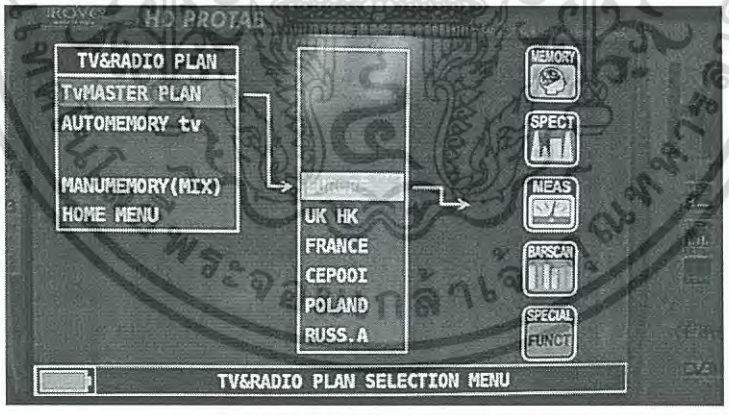
2.2. นำสาย coaxial cable RG-214 ต่อเข้ากับเครื่องวัดสัญญาณ และสายอากาศ

2.3. เปิดเครื่องวัดสัญญาณ และกดปุ่ม Configuration เลือก RF IN เป็น 50 โอห์ม ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การเลือก Impedance ของสายอากาศ

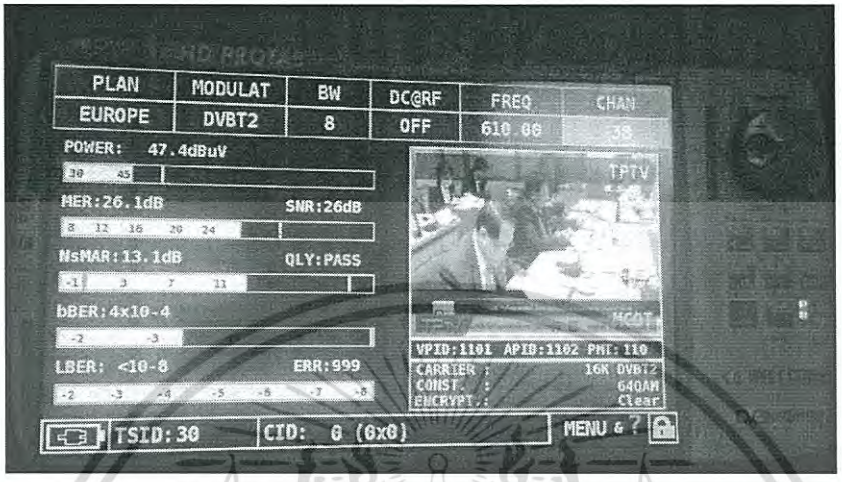
2.4. เลือก PLAN Select > TvMASTER PLAN > EUROPE > MEAS ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 TvMASTER PLAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. หน้า HOME เลือกโหมด TV ตั้งค่าความถี่ตามที่ต้องการ ดูค่าสัญญาณที่รับได้ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ดูค่าสัญญาณที่ได้

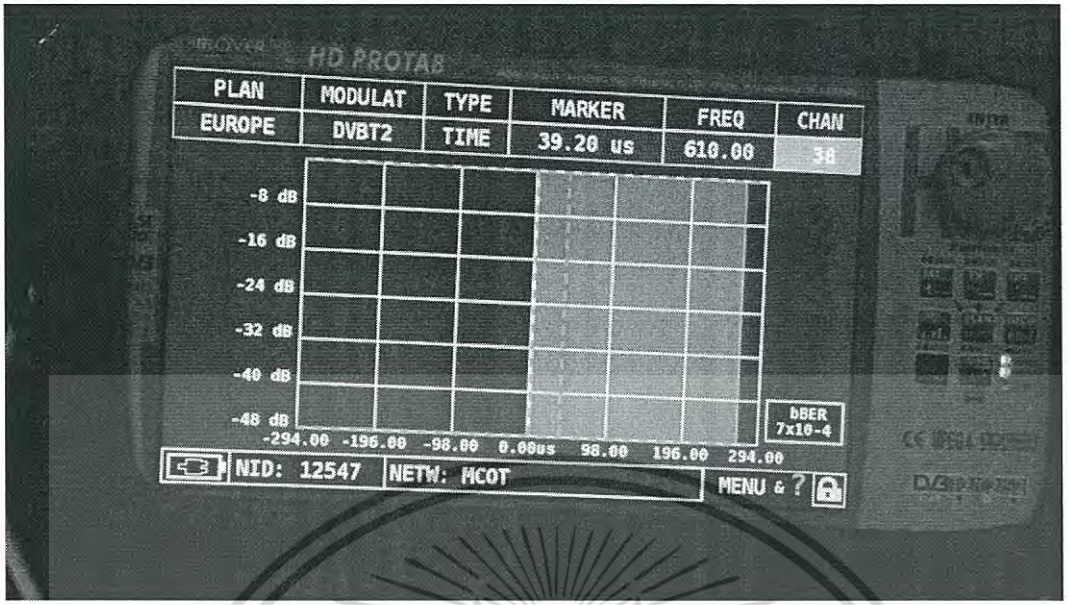
3. Delay

โดยทั่วไปแล้ว delay ของสถานีส่งแต่ละสถานีจะมี delay ไม่เท่ากัน ขึ้นกับว่ารับสัญญาณมาจากอะไร เช่น การรับสัญญาณจากดาวเทียม และ IP ก็จะมี delay ที่แตกต่างกัน อุปกรณ์ที่แตกต่างกันก็มีผลต่อ delay เช่นกัน ในการตั้งค่า delay แต่ละสถานีจะขึ้นกับผู้ดูแลประจำสถานีนั้นๆ

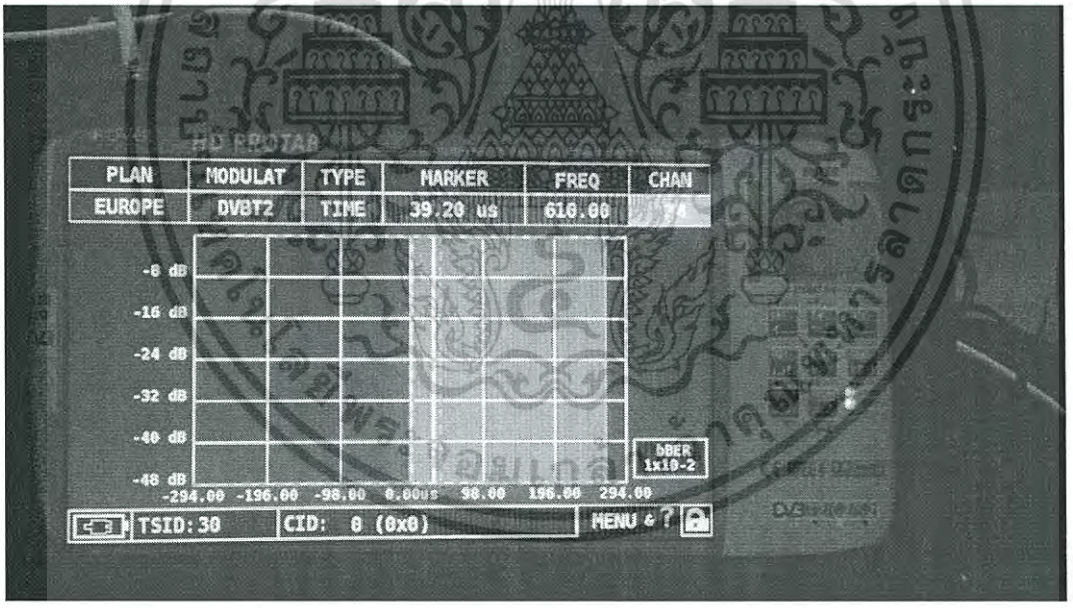
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการรับสัญญาณมาจากดาวเทียมเหมือนกัน ผ่าน IRD ตัวเดียวกัน มายัง Exciter ทั้ง 2 เครื่อง ซึ่งแสดงว่า delay ของสัญญาณจะเท่ากัน ดังรูปที่ 4.21 ดังนั้นถ้าเราปรับ delay ของ Exciter เครื่องใดเครื่องนึง สัญญาณที่เข้ามาก็จะไม่พร้อมกัน ดังรูปที่ 4.22

ในการปรับ delay จะเริ่มที่สัญญาณเข้ามาพร้อมกัน หรือมี delay เป็น 0 us และเพิ่ม delay ทีละ 10 us ไปจนถึง 260 us ถ้าปรับ delay เกินกว่าช่วงเวลาของ GI จะทำให้สัญญาณที่ได้มีคุณภาพที่แย่ ดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

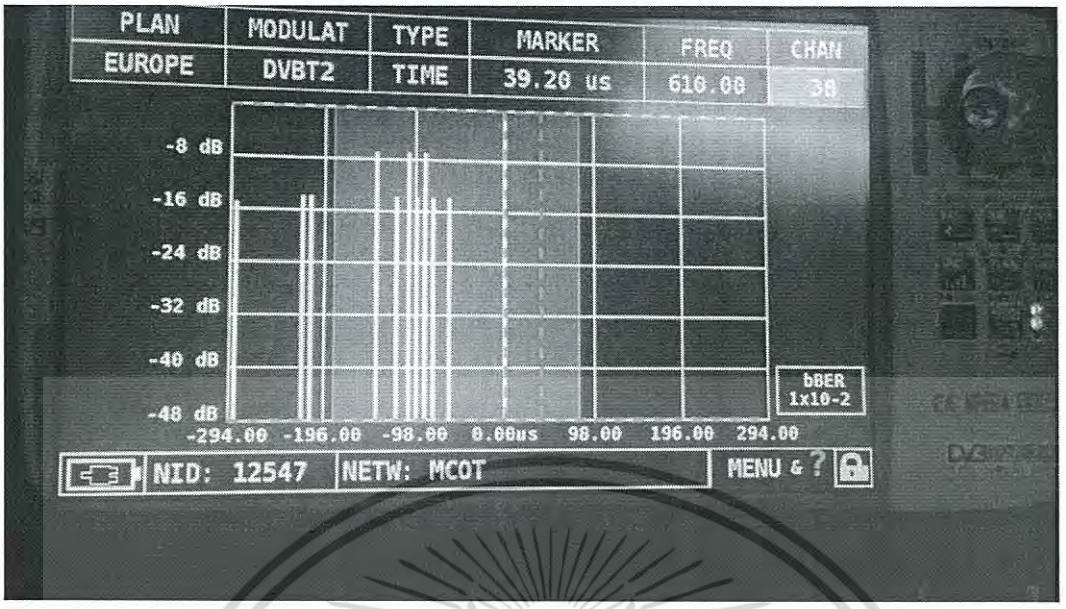


รูปที่ 4.21 สัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามามีความแตกต่างกัน 0 us



รูปที่ 4.22 สัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามามีความแตกต่างกัน 30 us

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 สัญญาณ 2 สัญญาณที่เข้ามามีความแตกต่างกัน 300 us

4. บันทึกผล

การบันทึกผลจะเก็บค่าทั้งก่อนทำ SFN(หรือ MFN) และหลังทำ SFN แล้ว เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าการทำ SFN มีผลอย่างไรต่อสัญญาณบ้าง และการปรับ delay มีผลอย่างไรต่อ SFN สามารถบันทึกผลได้โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณ

การบันทึกผลจะเป็นการเก็บค่าทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 10 วินาที ในกรณีเก็บค่า SFN จะเก็บค่าตั้งแต่ Delay ที่ 0 us ถึง 260 us

4.1 เลือก SPECIAL FUNCT > Drive test

4.2 ตั้งค่าเป็น DVB-T2, Bandwidth 8 MHz, Frequency ตามตารางที่ 3.1

4.3 ใส่แฟลชไดร์ฟ ตั้งชื่อไฟล์ กด Enter เพื่อเริ่มการบันทึก

4.4 รอจนครบ 10 วินาที กด Enter อีกครั้งเพื่อหยุดบันทึก

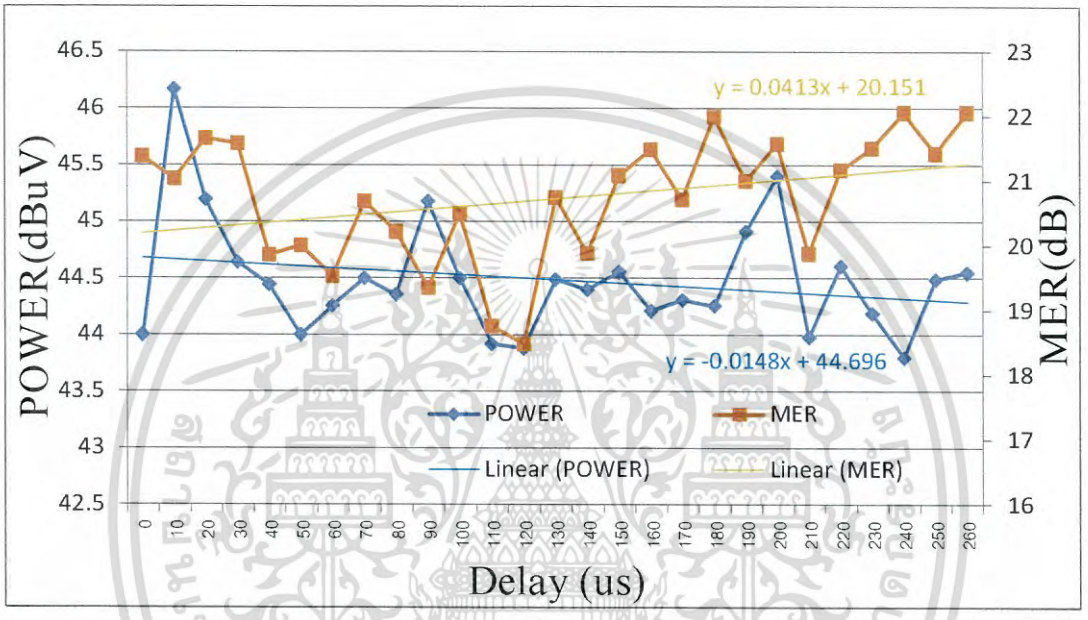
4.5 เปลี่ยน delay ที่ Exciter บันทึกผลจนครบทั้ง 5 MUX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการวัดสัญญาณ SFN ที่ บมจ. อสมท

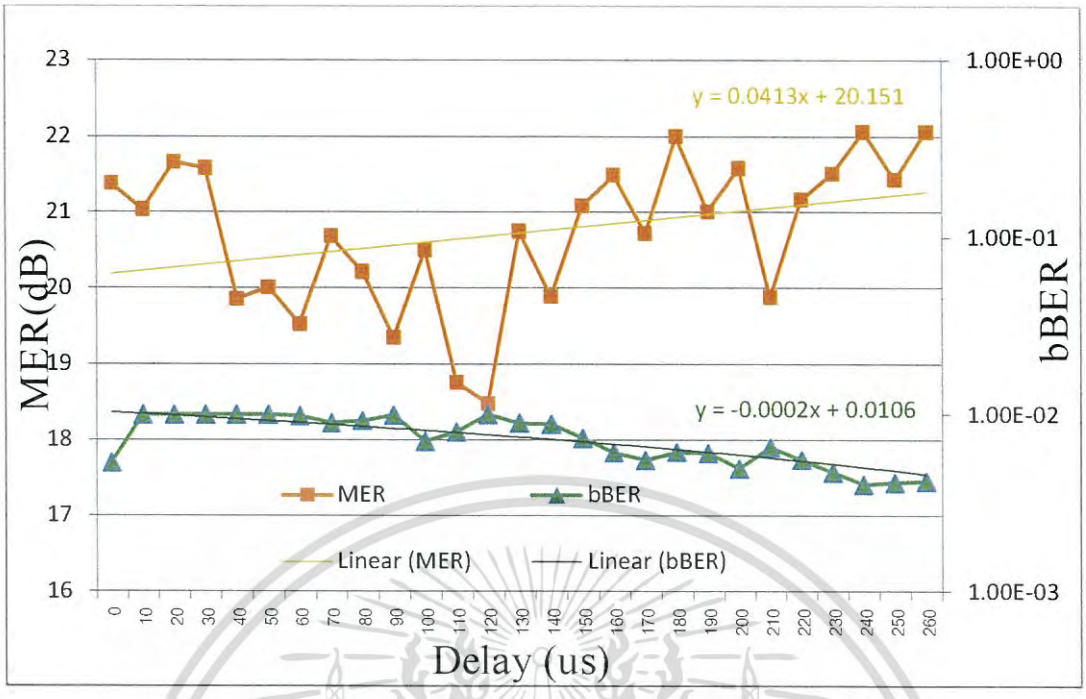
จากการเก็บผลการวัดสัญญาณทั้งแบบ MFN และ SFN เลือก delay ตั้งแต่ 0 – 260 us โดยเพิ่ม delay ทีละ 10 us แต่ละ delay เก็บค่าทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 10 วินาที ของทั้ง 5 MUX ผลที่ได้จะเป็นค่า POWER, MER, bBER และSD MER ของแต่ละ delay ตลอดช่วงเวลา 0 – 260 us

4.3.1. MUX ที่ 1 ช่อง 47 NBT ความถี่ 682 MHz

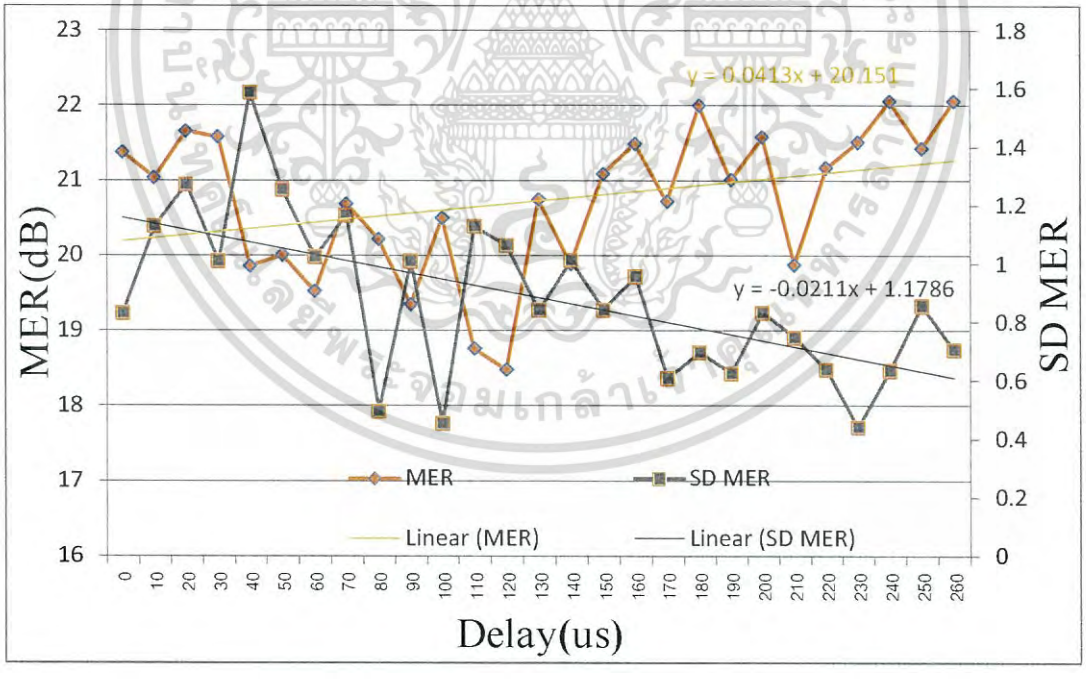


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power และ MER ของแต่ละ delay ใน mux ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



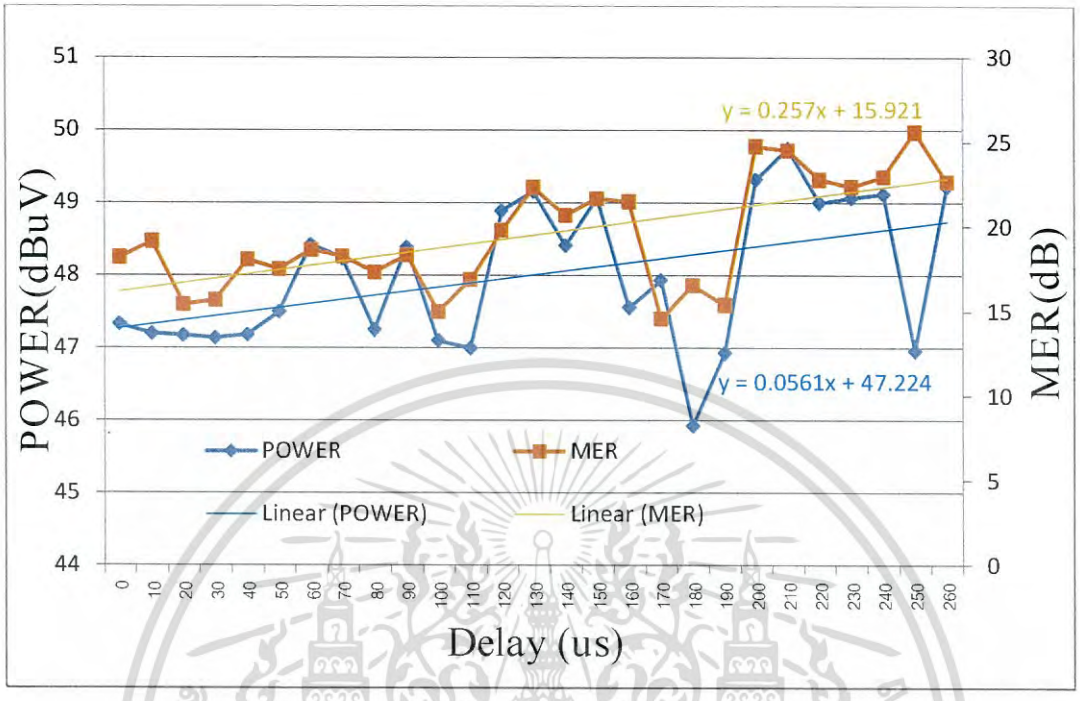
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ bBER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 1



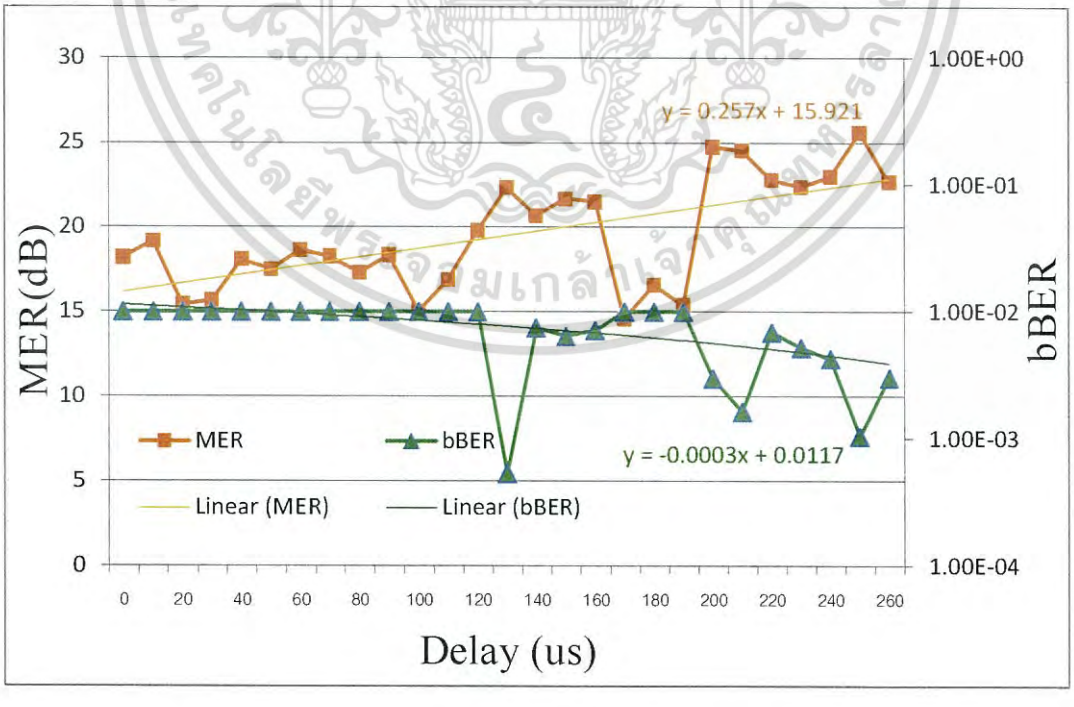
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. MUX ที่ 2 ช่อง 39 TV 5 ความถี่ 618 MHz

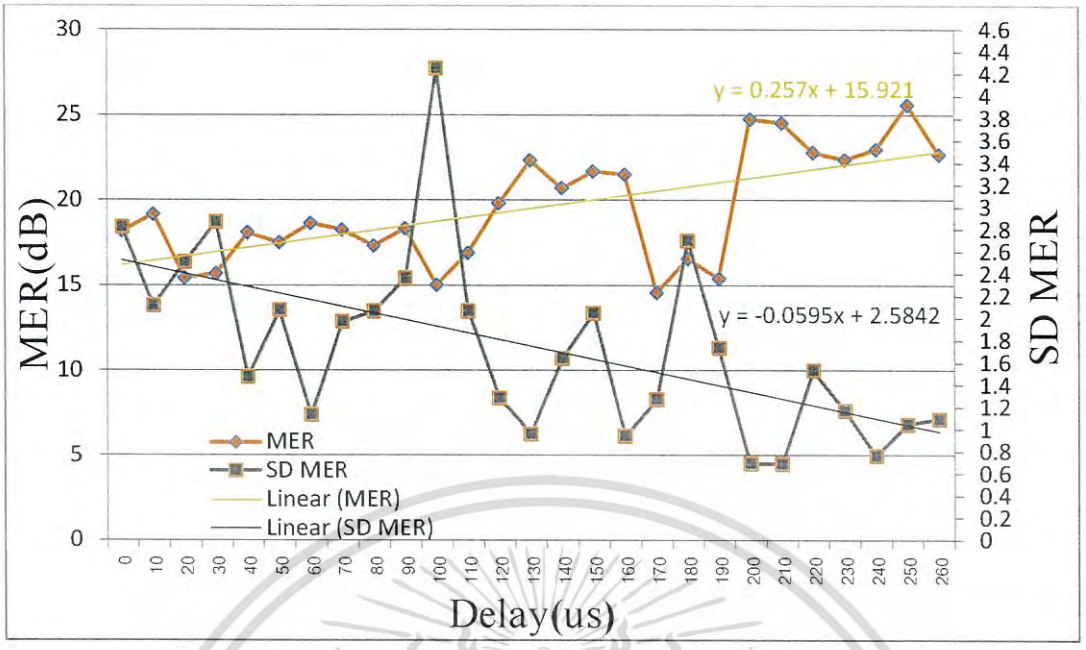


รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power และ MER ของแต่ละ delay ใน mux ที่ 2



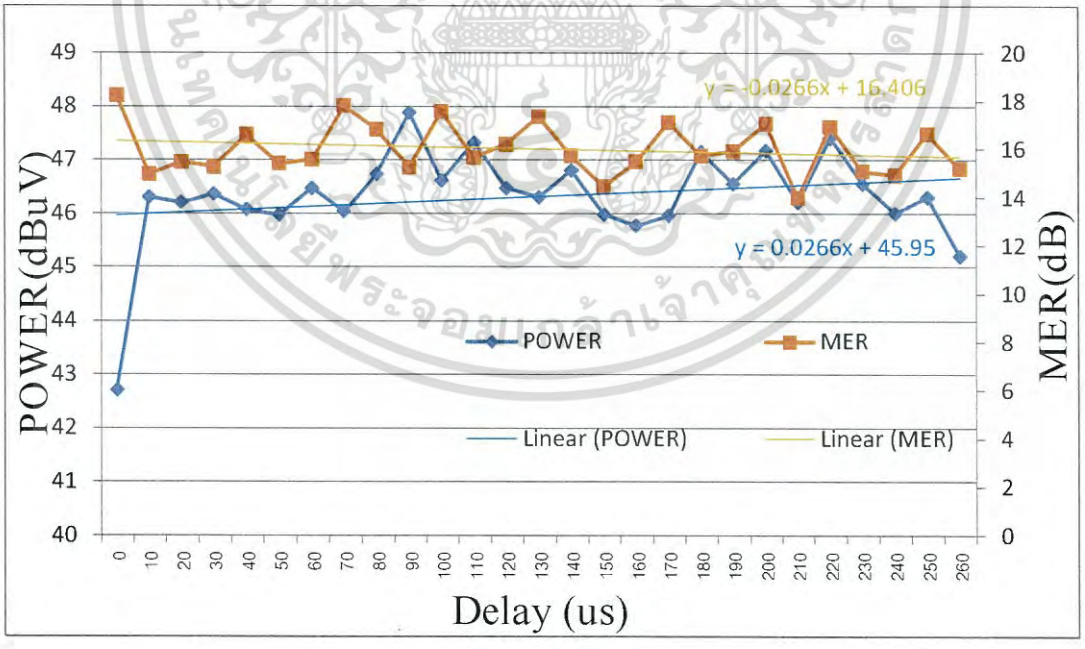
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ bBER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



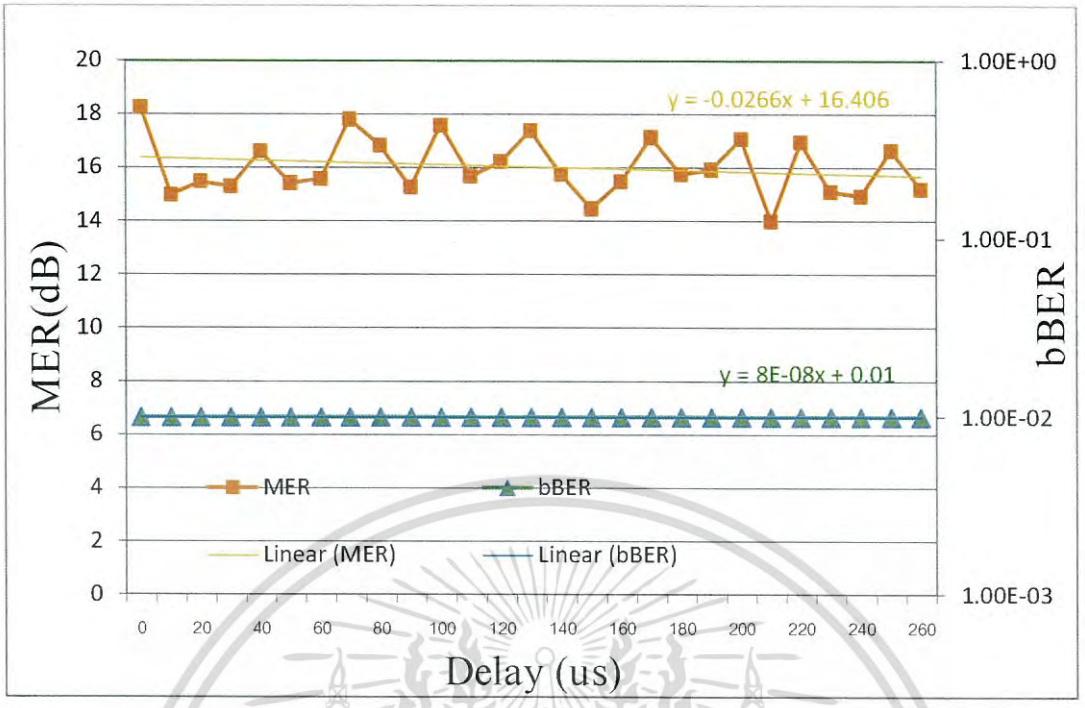
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 2

4.3.3. MUX ที่ 3 ช่อง 35 MCOT ความถี่ 586 MHz

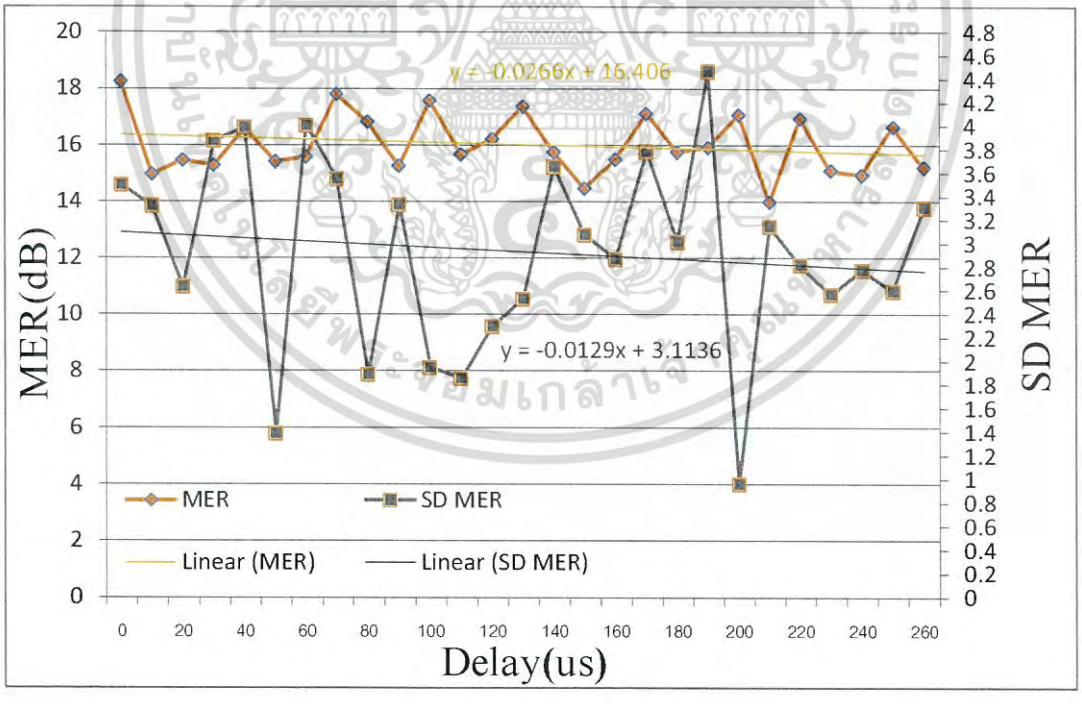


รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power และ MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



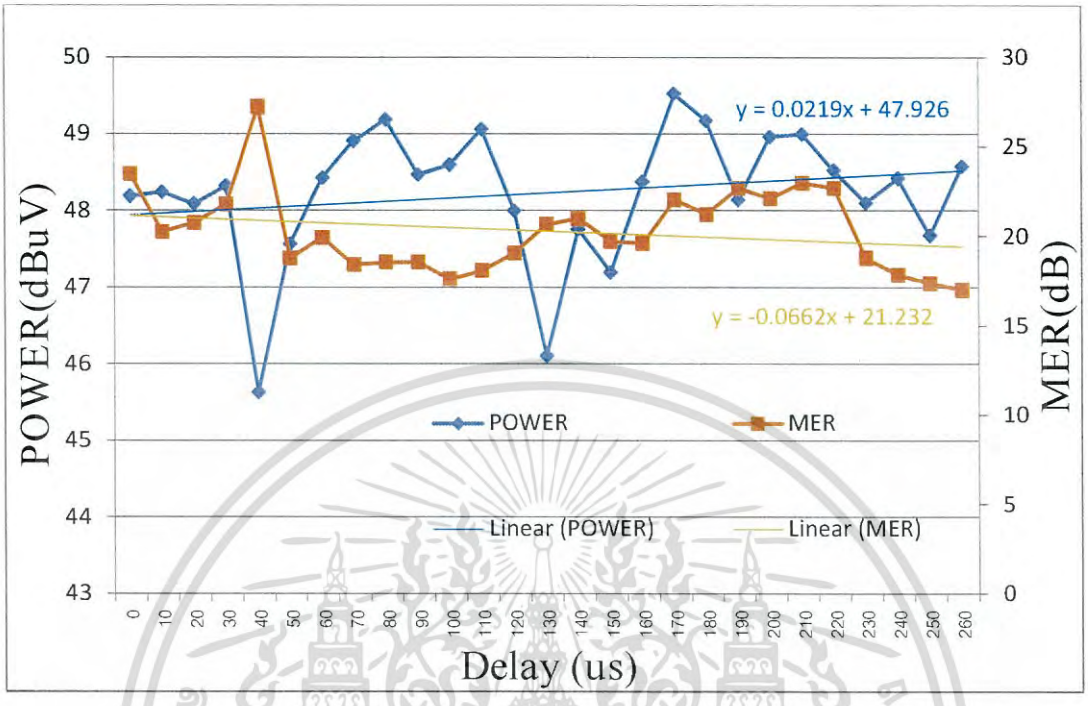
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ bBER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 3



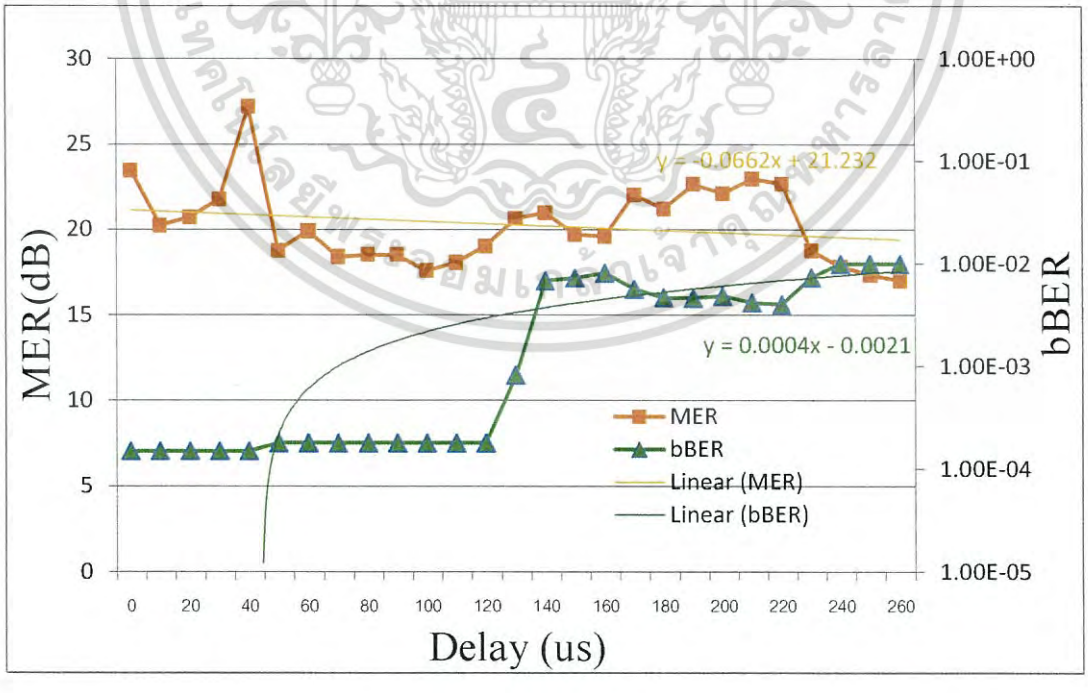
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4. MUX ที่ 4 ช่อง 28 TPS ความถี่ 530 MHz

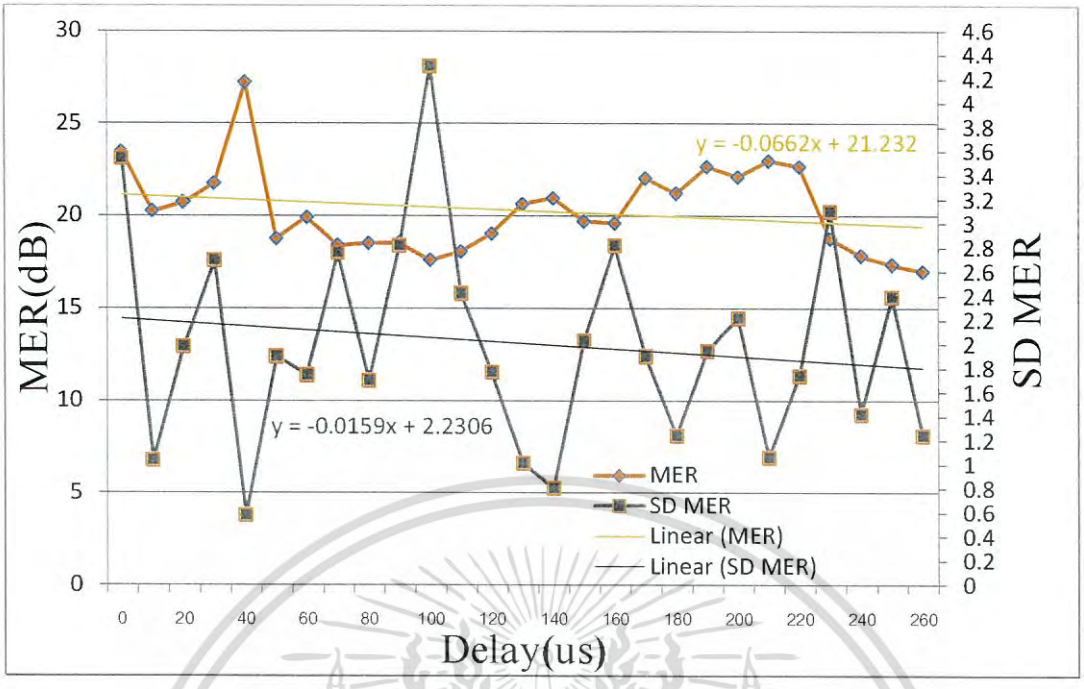


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power และ MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 4



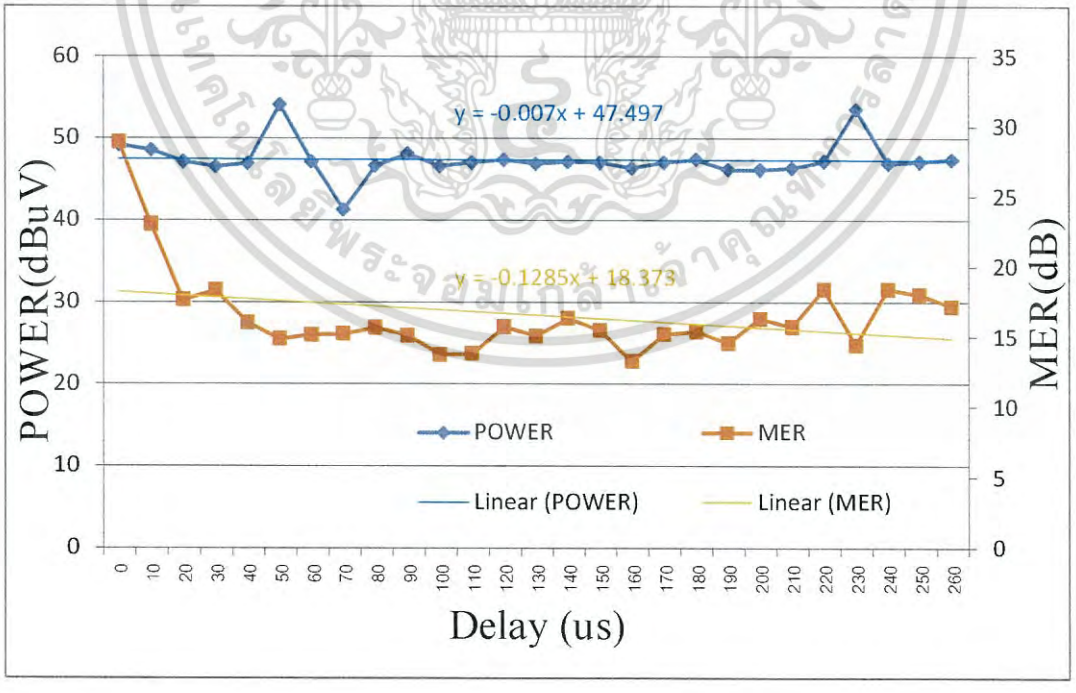
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ bBER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



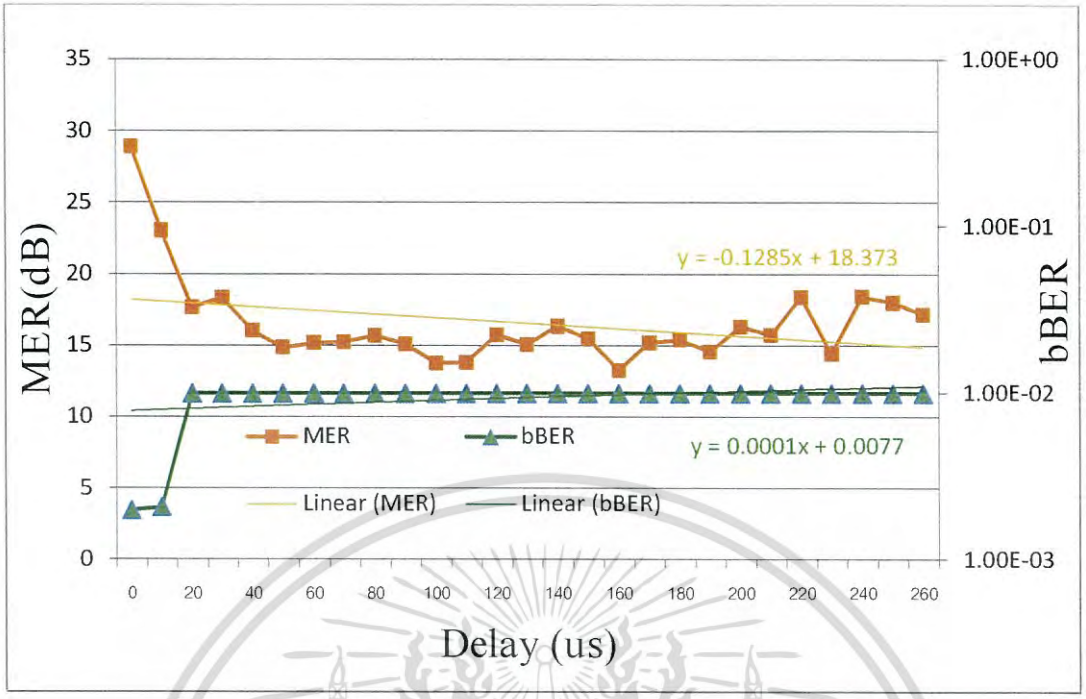
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 4

4.3.5. MUX ที่ 5 ช่อง 51 5 ความถี่ 714 MHz

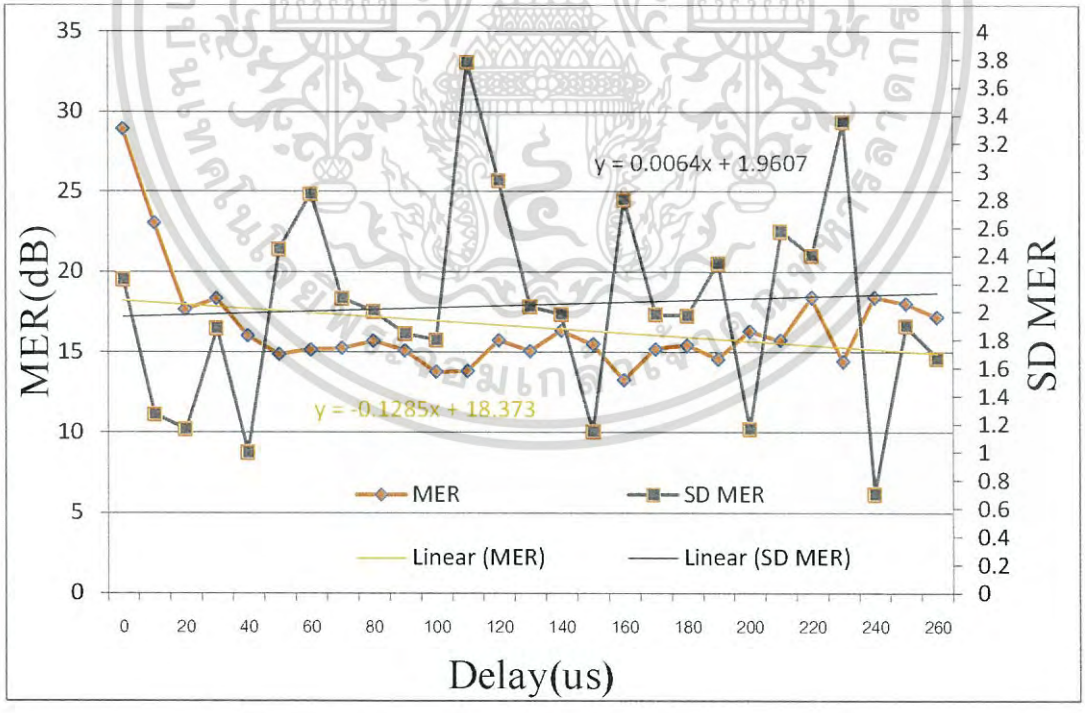


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power และ MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ bBER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 5

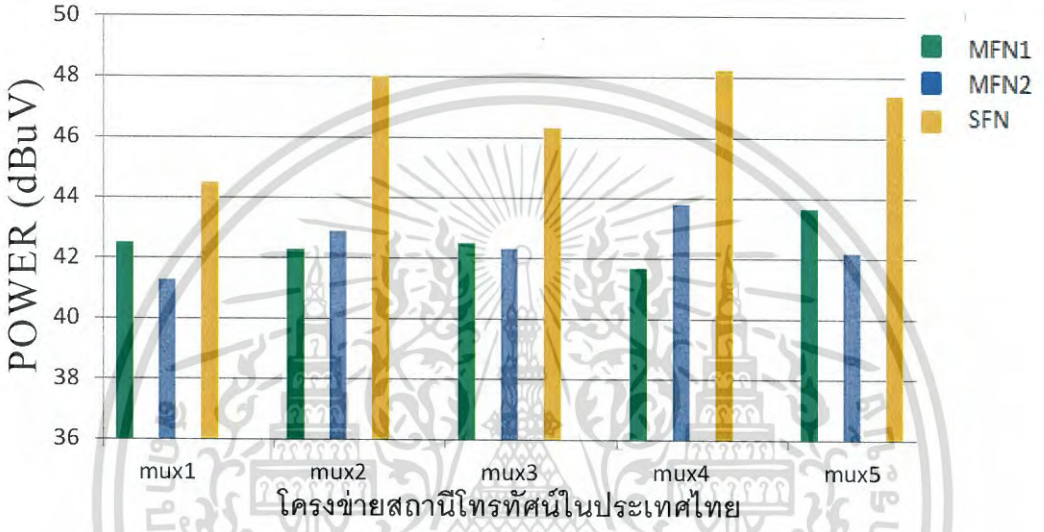


รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่าง MER และ SD MER ของแต่ละ delay ใน MUX ที่ 5

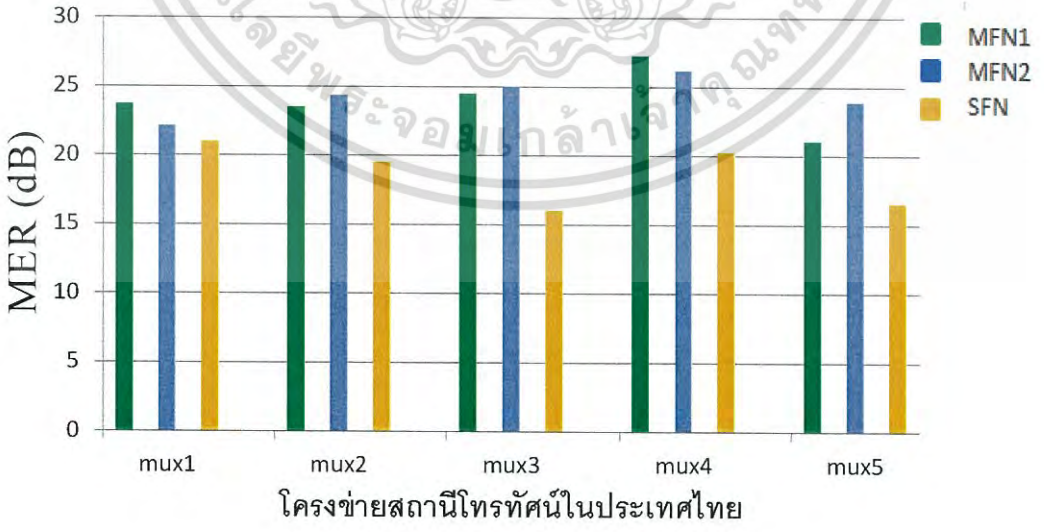
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6. เปรียบเทียบทั้ง 5 MUX

เป็นการเปรียบระหว่างการออกอากาศแบบ MFN และ SFN ของทั้ง 5 MUX โดยที่ MFN1 และ MFN2 จะแทนสถานีส่งที่ 1 และ 2 ตามลำดับและ SFN จะเป็นการเฉลี่ย delay ตั้งแต่ 0 ถึง 260 us ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ POWER, MER, SD MER และ bBER ดังรูปที่ 4.39 – 4.42 ตามลำดับ

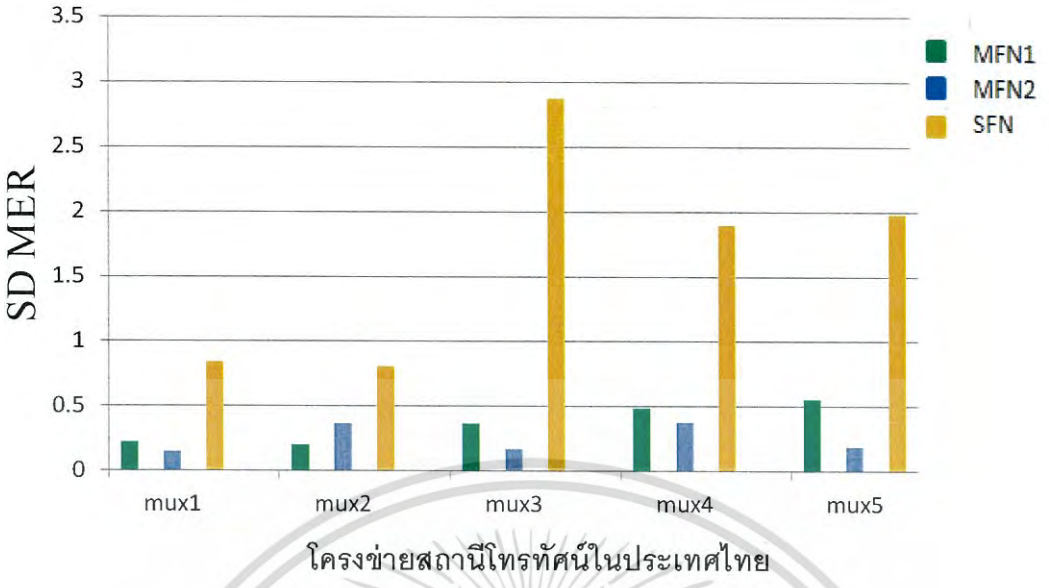


รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบ Power ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN

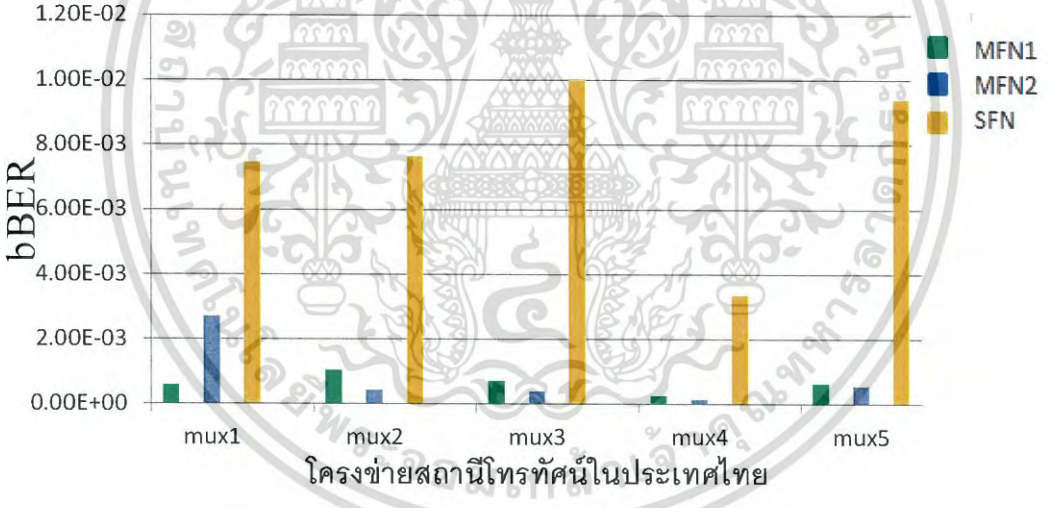


รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบ MER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



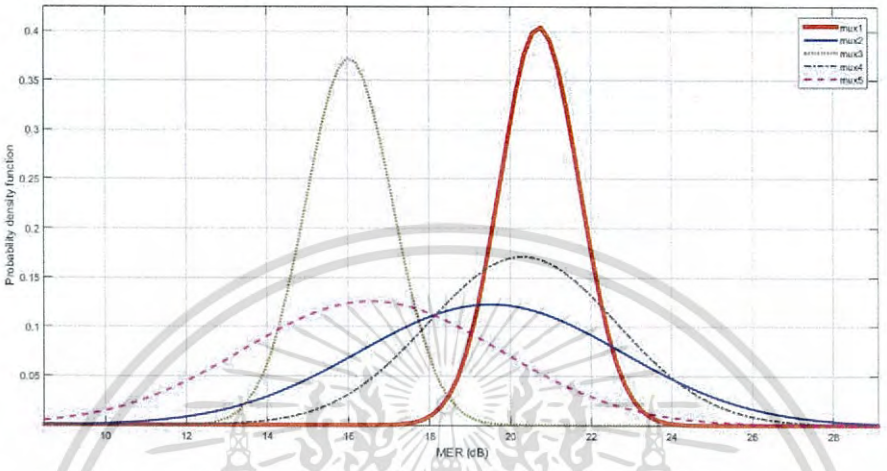
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบ SD MER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN



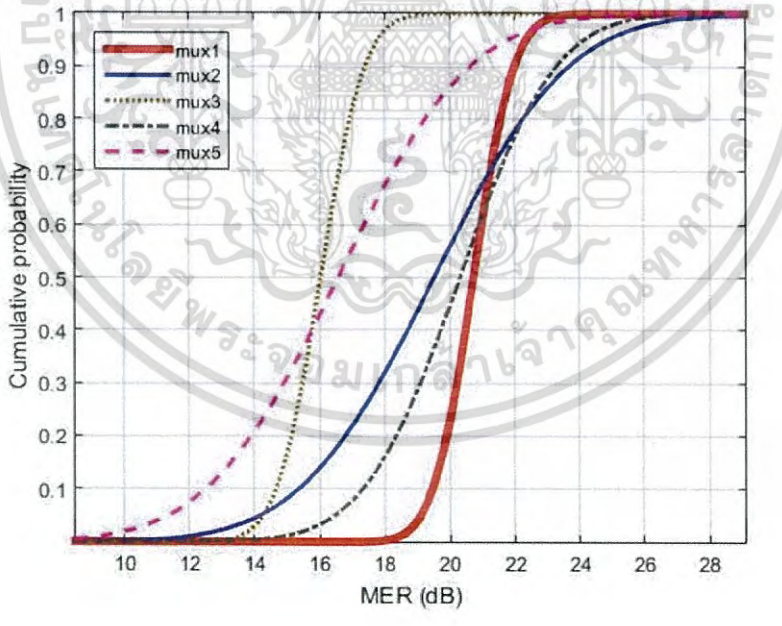
รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบ bBER ทั้ง 5 MUX ในโครงข่าย MFN และ SFN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า MER ที่วัดได้จาก Delay ตั้งแต่ 0 ถึง 260 us ในแต่ละ MUX มาพล็อตกราฟฟังก์ชั่นการกระจายความน่าจะเป็น (Probability distribution function : PDF) ดังรูปที่ 4.43 และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function : CDF) ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบกราฟ PDF ของ MER ทั้ง 5 MUX



รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบกราฟ CDF ของ MER ทั้ง 5 MUX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ผลการวัดเปรียบเทียบ

จากกราฟที่ 4.23 ถึง 4.37 สังเกตได้ว่าการปรับ Delay มีผลต่อการทำ SFN ในการเปรียบเทียบนั้นจะเลือกใช้พารามิเตอร์ ดังนี้ คือ Power, MER และ bBER โดยจะเป็นการจับคู่เทียบกันระหว่าง Power กับ MER, MER กับ bBER และ MER กับ SD MER (Standard Deviation) ของทั้ง 5 MUX เพื่อให้การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ง่ายขึ้น จะเลือกใช้ Trend Line รูปแบบเส้นตรงเปรียบเทียบในแต่ละพารามิเตอร์ของทุก MUX ซึ่งแต่ละ MUX ผลที่ได้จะมีความแตกต่างกัน ใน MUX ที่ 1 เมื่อ delay มากขึ้นแนวโน้มของค่า MER จะมีค่ามากขึ้น bBER และ Power มีค่าที่ต่ำลง บ่งบอกถึงสัญญาณจะมีความผิดพลาดน้อยลงเมื่อ delay มากขึ้น โดย Power จะมีค่าที่น้อยลง MUX ที่ 2 สังเกตได้ว่า Power และ MER มีค่ามากขึ้น เมื่อ delay มากขึ้น โดย bBER จะมีค่าที่น้อยลง หมายถึง เมื่อ delay มากขึ้น จะมีความแรงของสัญญาณที่มากขึ้น และสัญญาณจะมีความผิดพลาดน้อยลง ในMUX ที่ 3 MER จะมีค่าน้อยลง เมื่อ delay มีค่ามากขึ้นในขณะที่ Power และ bBER จะมีค่าที่มากขึ้น หมายถึง สัญญาณจะมีความแรงที่มากขึ้น โดยที่คุณภาพของสัญญาณจะมีค่าน้อยลง ในส่วนของ MUX ที่ 4 จะมีลักษณะเดียวกับ MUX ที่ 3 คือ MER มีค่าต่ำลง Power และ bBER มีค่าสูงขึ้นเมื่อ delay มีค่ามากขึ้น และ MUX ที่ 5 เมื่อ delay มีค่ามากขึ้น Power ของสัญญาณจะมีค่าคงที่ โดย MER มีแนวโน้มลดลง และ bBER มีค่าที่มากขึ้น แสดงถึง สัญญาณจะมี Power ที่คงที่ตลอดทั้ง delay แต่ สัญญาณจะมีคุณภาพที่น้อยลงเมื่อ delay มากขึ้น

จากกราฟที่ 4.38 ถึง 4.41 จะเป็นการเปรียบระหว่างการออกอากาศแบบ MFN และ SFN ของทั้ง 5 MUX เพื่อวิเคราะห์ถึงความแตกต่างของสัญญาณที่รับได้ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Power, MER, bBER และ SD MER จากกราฟจะเห็นได้ว่า Power ของการออกอากาศแบบ SFN จะมีมากกว่าการออกอากาศแบบ MFN แต่ค่า MER ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า ซึ่งค่า MER เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพสัญญาณเช่นเดียวกับ bBER ดังนั้น bBER จะมีค่าที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับการออกอากาศแบบ MFN

จากกราฟที่ 4.42 และ 4.43 เป็นกราฟ PDF และ CDF ของค่า MER จากกราฟ MUX ที่ 5 จะมีการกระจายของค่า MER ที่มากที่สุด โดยที่ MUX ที่ 2 และ 4 จะมีการกระจายของ MER ที่มากเช่นกัน ในส่วนของ MUX ที่ 1 และ 3 จะมีการกระจายของ MER ที่น้อยกว่า MUX อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการเลือกใช้ระบบทีวีดิจิทัล ใช้การออกอากาศแบบโครงข่ายความถี่เดียว (SFN) และโครงข่ายหลายความถี่ (MFN) โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่ออัตราบิต และ SFN Distance จะถูกกำหนดโดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

สิ่งที่มีผลต่อคุณภาพสัญญาณของระบบ SFN คือ delay ของสัญญาณ โดยในการวิเคราะห์ถึงคุณภาพของสัญญาณจะเลือกใช้พารามิเตอร์ คือ Power, MER และ bBER

จากการศึกษา ออกแบบ ทดลองการออกอากาศแบบ SFN และการออกอากาศแบบ MFN เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัด สังเกตได้ว่า การออกอากาศแบบ SFN จะมีกำลังของสัญญาณที่มากกว่าการออกอากาศแบบ MFN แต่คุณภาพของสัญญาณจะด้อยกว่าสังเกตได้จาก MER ที่น้อยลง และ bBER ที่มากขึ้น เนื่องจากการออกอากาศแบบ SFN สัญญาณทั้งสองที่มาจากสถานีส่งคนละที่ มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน สัญญาณที่เข้ามาจะมีความแตกต่างกันในเชิงของเฟสและแอมพลิจูด แม้จะเป็นความถี่เดียวกันก็ตาม จึงมีความเป็นไปได้ว่าสัญญาณที่รับเข้ามาก็จะมีความผิดเพี้ยนที่มากขึ้นเทียบกับการรับสัญญาณแบบ MFN

ในการวัดการออกอากาศแบบ SFN ทั้ง 5 MUX ผลที่ได้สังเกตได้ว่า MUX ที่ 2 มีกำลังของสัญญาณมากที่สุด และ MUX ที่ 4 จะมีคุณภาพของสัญญาณดีที่สุด เนื่องจากมีค่า MER ที่มากและมี bBER ที่น้อย ทั้งนี้ถ้าใช้กราฟ CDF และ PDF ประกอบในการวิเคราะห์ MUX ที่มีคุณภาพมากที่สุด คือ MUX ที่ 2 สังเกตได้จากมีการกระจายของค่า MER มีค่าน้อย และอยู่ในช่วงที่ MER มีค่ามาก ซึ่งสำคัญมากในการออกอากาศแบบ SFN เนื่องจากเป็นการบ่งบอกถึงที่ delay ต่างๆ คุณภาพของสัญญาณจะไม่เปลี่ยนแปลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. ปัญหาและอุปสรรค

1. มีความยุ่งยากในการวัดสัญญาณการออกอากาศแบบ SFN ของสถานี High-Power เนื่องจากเป็นสถานีที่ใช้ออกอากาศจริง การจะออกอากาศแบบ SFN ต้องเปลี่ยนโหมดเป็น SFN ซึ่งต้องหยุดการออกอากาศในช่วงเวลาสั้นๆ มีผลให้อาจเกิดการร้องเรียนจากประชาชนได้

2. ในการวัดสัญญาณการออกอากาศสถานี High-Power ต้องมีการร้องขอผู้ให้บริการโครงข่าย ในการเปลี่ยนโหมดเป็น SFN ซึ่งในขณะวัดสัญญาณอาจจะมีบางพื้นที่ไม่สามารถรับชมภาพได้ เนื่องจากได้รับผลกระทบจาก Inter-symbol Interference (ISI)

5.3. ข้อเสนอแนะ

การทดลองในโครงงานเล่มนี้จะใช้ IRD รับสัญญาณจากดาวเทียมต่อเข้ากับเครื่องส่ง และออกอากาศผ่านสายอากาศภายในห้องด่านฟ้าชั้น 13 ซึ่งผลที่ได้อาจจะไม่ถูกต้องมากนัก เนื่องจากจะมีปัญหาการสะท้อนของสัญญาณ ดังนั้นควรใช้ coupler ในการรวมสัญญาณ จากเครื่องส่งทั้ง 2 เครื่องต่อเข้ากับเครื่องวัดสัญญาณ เนื่องจากจะช่วยลดปัญหาการสะท้อนของสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] บัณฑิต รักวีรธรรม และสถาพร พรหมวงศ์. "การประเมินผลการปฏิบัติงานของ DVB-T2 สำหรับการรับสัญญาณแบบภายนอกอาคาร." เอกสารวิชาการระดับดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558

[2] Iñaki Eizmendi, Gorka Prieto, Gorka Berjon-Eriz, Iratxe Landa, and Manuel Velez. Empirical DVB-T2 Thresholds for Fixed Reception. Translated by Bundit Ruckveratham, and Sathaporn Promwong. Bangkok, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

[3] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร, 2558.

[4] Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), ETSI Technical Specification TS 102 831 V1.1.1, Aug. 2012

[5] TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems, Tech. Report ETSI, 2001.

[6] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. *"โทรทัศน์ในประเทศไทย"*

https://th.wikipedia.org/wiki/โทรทัศน์ในประเทศไทย

[7] http://www.progira.com. *"An Introduction to the Whats, Whys, and Hows of DVB-T2 Scattered Pilot Pattern"*

http://www.progira.com/en-gb/news/an-introduction-to-the-whats-whys-and-hows-of-dv

[8] ปริตา วงศ์ชุตินาท. "Spectrum and Standard for Digital TV"

[9] คณะเจ้าหน้าที่บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). *"เทคโนโลยีการแพร่กระจายคลื่นดิจิทัล"*.

http://dtv.mcot.net/techno_one.php?dateone=1247363871

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[10] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. เรื่อง แนวปฏิบัติทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร, 2558.

[11] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. *"Constellation diagram"*

https://en.wikipedia.org/wiki/Constellation_diagram

[12] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.). *"สรุปรายงาน การเข้าฝึกอบรม Digital Transmission Training Course ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ระหว่างวันที่ 18 – 22 สิงหาคม 2557"*.

http://lib.nbtc.go.th/ebook_detail?cid=11268&ctype=1

[13] http://www.genamahang.com. *"Single Frequency Network"*

http://www.gehamahang.com/DTV.html

[14] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. *"Modulation error ratio"*

https://en.wikipedia.org/wiki/Modulation_error_ratio

[15] Colonel Anurat Ingun, Ph.D. DVB-T2 Field Trial and Optimized Parameters in Thailand. Chairman Broadcasting Technical Subcommittee, National Broadcasting and Telecommunication Commission Bangkok, Thailand.

[16] Constantine A. Balanis, antenna theory - analysis and design 3rd ed. John Wiley & Sons: New Jersey, 2005.

[17] ภูษิต มุ่งมานะกิจ. "DVB Technology"

[18] Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2, TECH 3348, Oct. 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดทางเทคนิคอ้างอิงสำหรับสถานีหลักและสถานีเสริมสำหรับให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์คำนวณพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลจากแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation) ตามโครงการความร่วมมือระหว่างสำนักงาน กสทช. โดยสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.) และสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunications Union: ITU) เป็นดังตารางที่ ก.3 โดยมีคำอธิบายรายละเอียดทางเทคนิคดังนี้

A. Site number

ลำดับของสถานีหลักและสถานีเสริมตามประกาศ กสทช. ว่าด้วยแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (กรณีตัวเลขหลังจุดทศนิยมเป็น 0 หมายถึง สถานีหลัก)

B. Type

ประเภทของสถานีตามประกาศ กสทช. ว่าด้วยแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลดังนี้

ตารางที่ ก.1 อักษรย่อและประเภทของสถานี

อักษรย่อ	ประเภทสถานี
M	สถานีหลัก
A1	สถานีเสริม กลุ่ม A1
A2	สถานีเสริม กลุ่ม A2
A3	สถานีเสริม กลุ่ม A3

C. Network ID

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

กลุ่มช่องความถี่วิทยุตามตารางที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 กลุ่มช่องความถี่วิทยุ

กลุ่มช่องความถี่วิทยุ	จำนวนช่องความถี่	หมายเลขช่องความถี่วิทยุ					
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	30	34	38	42	46
TDb	6	28	32	36	40	44	48

M. Channel MUX 1

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 1 ภายหลังการยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

N. Channel MUX 2

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 2 ภายหลังการยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

O. Channel MUX 3

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 3 ภายหลังการยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

P. Channel MUX 4

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 4 ภายหลังการยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

Q. Channel MUX 5

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 5 ภายหลังการยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

R. Channel MUX 6

หมายเลขช่องความถี่วิทยุสำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 6 ภายหลังการยุติการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของสถานีในประเทศไทย

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Ant. delay (us)	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	กรุงเทพ	100.540270	13.754300	328	100.0	ND		Db	26	36	40	44	32	29
1.01	A1	SFN(1-6) 4-De	0	ชลธาร	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	พัทยา	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	ชะอำ	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	บ้านฉาง	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	เมืองสิงห์บุรี	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	สถานีเครือ 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	อยุธยา	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	ไทรน้อย	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	ทองหลาง	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	สถานีเครือ 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	สถานีเครือ A3 #106	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	ลพบุรี	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	อ่างทอง 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	ชะอำเหนือ	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	สนามบินสุวรรณภูมิ(ชั่วคราว)	100.826111	14.508056	80	0.5	45	Type 3a	Da	35	51	47	39	31	28
3.05	A2	SFN(1-6) 2-De	0	อ่างทอง	99.695923	14.8428648	107	2.0	260	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
3.06	A3	SFN(1-6) 3-De	0	สถานีเครือ 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	สถานีเครือ A3 #051	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	สถานีเครือ 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-De	0	สถานีเครือ A3 #009	101.883540	13.165515	70	2.0	ND	Type 1	Da	47	31	35	28	39	51
5.00	M	SFN(1-6) 5-Dd	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	ฉะเชิงเทรา (ชั่วคราวถาวร)	101.373976	14.134715	80	1.0	160	Type 4	Dc	41	49	30	33	37	27
5.02	A2	MFN(1-6) 5-De	0	คลองหาด	102.604796	14.002854	97	0.5	310	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
6.00	M	SFN(1-6) 6-Dc	0	ตราด	102.298440	12.195510	64	50.0	90		Dc	33	37	41	49	30	27
6.01	A3	SFN(1-6) 6-Dc	0	สถานีเครือ A3 #015	102.469067	12.408588	72	1.0	ND	Type 1	Dc	33	37	41	49	30	27
7.00	M	SFN(1-6) 7-Dd	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-De	0	เขาชุมทอง	99.929012	13.104522	82	0.5	70	Type 2	De	47	31	35	28	39	51
7.03	A1	SFN(1-6) 7-De	0	ปากน้ำปราณ	99.568250	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	สถานีเครือ 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	สถานีเครือ A3 #106	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	นครนายก	101.095052	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	เขาอ่างฤาไน	101.546679	14.786090	80	5.0	225	Type 3a	Dc	41	49	30	33	37	27
8.03	A2	SFN(1-6) 8-Dc	0	เขาหินโค้ง ปักน้ำเรียบ	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	ขันเงิน	102.026740	15.729570	120	15.0	0		Da	31	47	39	35	51	28
9.01	A1	SFN(1-6) 9-Da	0	หมอนบ้านแดง	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	หมอนบ้านแดง 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	สถานีเครือ 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	สถานีเครือ 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	นางรอง	102.794802	14.630352	72	20.0	240	Type 2	Db	26	32	40	36	44	29
10.03	A3	SFN(1-6) 14-Dd	0	สถานีเครือ 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	กันทรลักษ์	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	สถานีเครือ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) รายละเอียดของสถานีในประเทศไทย

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site id	Type	Network ID	Ant. delay (µs)	Site name	Longitude	Latitude	Ant. height (m)	Max ERP (KW)	HRP (degrees)	Antenna type	Chgr	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	อำเภอพรีญ	104.618922	15.898967	100	0.5	350	Type 2	Dc	43	30	33	27	49	37
12.02	A2	MFN(1-6) 12-Db	0	บุณฑริก	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	น้ำยืน	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	ห้วยสังหาร	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	สถานีแม่ใหม่ A3 #015	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	บุณฑาสาร	104.718181	16.613679	124	20.0	240		Da	47	39	35	28	51	31
13.01	A1	SFN(1-6) 13-Da	0	ภูผาเหล็ก (บุณฑาสาร)	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	สถานีแม่ใหม่ 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	อโรคา	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	ยโสธร	102.946722	16.463686	156	50.0	ND		De	59	45	53	56	48	43
15.01	A1	SFN(1-6) 15-De	52	ม่วงหวาน	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	กลิ่นสุคนธ์ (หนองบัวแดง)	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	หนองบัวแดง	102.590232	15.809009	60	0.5	175	Type 3a	De	59	45	53	56	48	43
15.04	A2	SFN(1-6) 15-De	3	ศรีสงคราม (ภูผาเหล็ก)	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	สถานีแม่ใหม่ A3 #107	103.35015	15.43819	70	10.0	250	Type 3	Dd	57	50	46	54	34	38
15.06	A3	SFN(1-6) 13-Da	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #105	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	เลย	101.444519	17.470655	35	20.0	130		Dd	46	50	57	54	38	34
16.01	A1	SFN(1-6) 17-Da	0	หลุมข้าวปุ้น	102.429348	17.228005	100	0.2	235	Type 3a	Da	47	35	31	39	51	28
16.02	A3	SFN(1-6) 16-Dd	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #092	101.816656	17.262750	70	2.0	230	Type 2	Dd	46	50	57	54	38	34
16.03	A3	SFN(1-6) 17-Da	54	สถานีแม่ใหม่ A3 #067	101.989770	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	อุดรธานี	102.794088	17.664041	156	50.0	ND		Da	47	35	31	39	51	28
17.01	A2	SFN(1-6) 17-Da	0	นิ่มใหญ่	102.189221	17.73359	70	1.0	15	Type 4	Da	47	35	31	39	51	28
18.00	M	SFN(1-6) 18-Db	0	ศรีสะเกษ	103.553190	15.354690	100	10.0	180		Db	44	32	36	40	26	29
19.00	M	SFN(1-6) 19-De	0	สุรินทร์	103.987520	17.133050	109	50.0	340		De	30	49	41	33	37	27
19.01	A1	SFN(1-6) 19-Dc	26	เสม็ดงาม	104.770131	17.374367	120	0.5	90	Type 3	Dc	30	49	41	33	37	27
19.02	A3	SFN(1-6) 18-Db	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #110	104.167004	18.017511	70	0.1	270	Type 3	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;120		Dd	46	50	54	57	38	34
20.01	A1	SFN(1-6) 20-Db	0	ไชยปราการ	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	เชียงการเวกที่ราบสูงน่าน	98.951142	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	พร้าว	99.197111	19.365972	30	2.0	ND	Type 1	Db	32	29	36	26	40	44
20.04	A2	SFN(1-6) 22-Db	3	สี่คิ้ว	98.947641	17.601315	85	2.0	155;345	Type 5	Db	26	44	32	36	40	29
20.05	A2	MFN(1-6) 20-De	0	สันกำแพง	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	19.521635	90	10.0	ND	Type 1	Db	32	29	36	26	40	44
20.07	A3	SFN(1-6) 20-Dd	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #007	98.364610	18.556330	70	0.5	0;180	Type 5	Dd	46	50	54	57	38	34
20.08	A3	SFN(1-6) 20-Dd	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #111	98.873759	18.934455	70	2.0	20	Type 4	Dd	46	50	54	57	38	34
20.09	A3	SFN(1-6) 20-Dd	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #086	98.637405	18.613626	70	10.0	ND	Type 1	Dd	46	50	54	57	38	34
20.10	A3	SFN(1-6) 20-Db	0	สถานีแม่ใหม่ 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-Da	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #057	99.452483	19.981013	70	1.0	170	Type 2	Da	47	31	35	28	39	51
21.00	M	SFN(1-6) 21-Dc	0	แม่ฮ่องสอน (หลักเขตที่ 1)	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 (ห้วยผาคี)	98.034777	19.106500	50	1.0	90	Type 3	Dc	37	41	49	30	33	27
21.02	A1	MFN(1-6) 21-Da	0	แม่สะเรียง	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	ปาย	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	ตากฟ้า	99.560597	15.234928	80	50.0	220		Db	26	44	32	36	40	29
22.01	A1	SFN(1-6) 22-Db	0	เดิม	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	ร้องเข็ม	99.619450	19.144704	75	2.0	ND	Type 1	Dc	49	30	33	37	41	27
22.03	A3	SFN(1-6) 25-De	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #112	99.768928	18.543496	70	10.0	ND	Type 5	De	45	48	59	56	43	53
22.04	A3	SFN(1-6) 22-Db	0	สถานีแม่ใหม่ A3 #113	99.9276872	18.786188	70	0.5	150;330	Type 5	Db	26	44	32	36	40	29
23.00	M	SFN(1-6) 23-Dc	0	เชียงราย	99.867041	19.813755	70	50.0	90		Dc	49	30	33	37	41	27
23.01	A1	SFN(1-6) 23-Dc	0	พะเยา(เชียง)	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	พะเยา(บ้านไร่ขาคีรี)	99.911417	18.988339	120	0.5	0;180	Type 5	Da	28	31	35	39	51	47
23.03	A2	SFN(1-6) 23-Dd	0	เชียงคาน	100.411051	20.246216	60	10.0	240	Type 2	Dd	38	50	46	34	54	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) รายละเอียดของสถานีในประเทศไทย

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Ant. 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	เขื่อนป่าสัก	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	แม่สรวย (ดอยแม่ปาย้อย)	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	สถานีเล็ก 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	สถานีเล็ก A3 #118	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	สถานีเล็ก 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	สถานีเล็ก A3 #006	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	สถานีเล็ก 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	สถานีเล็ก 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	น่าน	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	เขื่อนสิริกิติ์/ปิง	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	แพร่	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	สุโขทัย	100.125433	17.619686	120	2.0	180		Dc	41	30	33	37	49	52
26.01	A3	SFN(1-6) 25-De	0	สถานีเล็ก A3 #003	100.277810	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	ตุ้งหัด	100.010563	16.984763	156	50.0	ND		Dc	41	30	33	37	49	27
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	ตลุกงาม	99.319278	16.204277	90	10.0	85	Type 2	De	53	43	45	48	56	59
27.03	A2	SFN(1-6) 30-Db	0	บ้านไทย (แหล่งน้ำบึงสีไฟ)	100.856456	16.871538	72	10.0	ND	Type 1	Db	40	44	29	32	36	26
27.04	A3	SFN(1-6) 27-Dc	0	สถานีเล็ก A3 #001	100.585538	16.984139	70	10.0	ND	Type 1	Dc	41	30	33	37	49	27
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	16.732622	100	5.0	260	Type 2	Da	31	35	39	51	47	28
28.02	A2	SFN(1-6) 28-Da	0	พบพระ	98.691930	16.592920	70	0.5	70	Type 2	Da	31	35	39	51	47	28
28.03	A3	MFN(1-6) 28-Db	0	สถานีเล็ก A3 #042	98.391300	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	100.138580	15.716170	86	50.0	ND		Dd	57	46	50	54	38	34
29.01	A1	SFN(1-6) 27-Dc	0	พิจิตร	100.420572	16.448243	33	2.0	160	Type 2	Dc	41	30	33	37	49	27
29.02	A2	SFN(1-6) 29-Dd	0	ตากฟ้า	99.549740	15.460938	70	30.0	70	Type 2	Dd	57	46	50	54	38	34
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	60	5.0	185;355	Type 5a	De	53	43	45	48	56	59
30.02	A2	SFN(1-6) 16-Dd	0	หล่มสัก	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	สถานีเล็ก A3 #018	100.885530	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	สถานีเล็ก A3 #094	100.962687	16.270036	70	0.5	200	Type 2	Db	40	44	29	32	36	26
31.00	M	SFN(1-6) 31-Da	0	อุบลฯ	99.191480	10.530818	154	50.0	40;190		Da	51	47	31	35	39	28
31.01	A1	SFN(1-6) 31-Da	0	หนองคาย	99.064853	9.955556	120	2.0	185;355	Type 5a	Da	51	47	31	35	39	28
31.02	A1	SFN(1-6) 31-Da	62	ท่าแขก (แขวงคำม่วน)	99.215555	10.635377	32	0.5	20	Type 2	Da	51	47	31	35	39	28
31.03	A3	SFN(1-6) 31-Da	0	สถานีเล็ก A3 #116	98.9321533	10.2367322	70	0.5	20;200	Type 5	Da	51	47	31	35	39	28
32.00	M	SFN(1-6) 32-Dc	0	ระนอง	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	สถานีเล็ก 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	เกาะสมุย	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	ตะกั่วป่า (พังงาใหม่)	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	สถานีเล็ก A3 #036	98.809130	9.865117	70	0.5	10;190	Type 5	Dc	49	30	37	41	33	27
33.04	A3	SFN(1-6) 33-Db	0	สถานีเล็ก 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	สถานีเล็ก 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	ภูเก็ต	98.395300	7.898710	64	25.0	50		Da	35	39	51	47	31	28
34.01	A1	SFN(1-6) 34-Dd	0	เขาหัวป่า	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	กระบี่	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	พังงา	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	ปากคลอง	98.316287	7.880979	35	0.5	310	Type 4	Da	35	39	51	47	31	28
34.05	A2	SFN(1-6) 34-Da	0	ตะกั่ว	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	ปัตตพงษ์บน	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	สถานีเล็ก 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

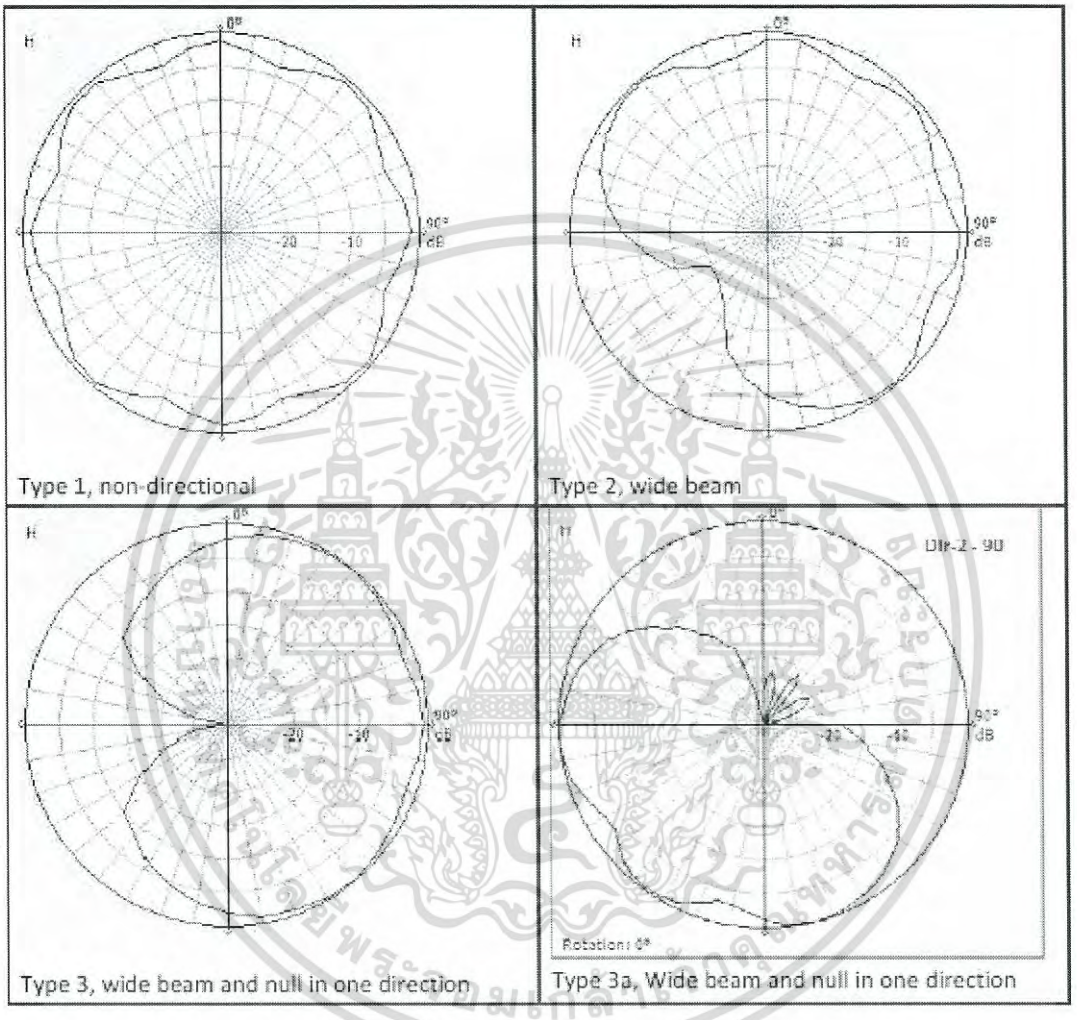
ตารางที่ ก.3 (ต่อ) รายละเอียดของสถานีในประเทศไทย

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Site nr	Type	Network ID	Ant. 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	[illegible]	99.489993	8.210180	63	10.0	270	Type 7a	Dc	30	33	37	41	49	27
35.02	A2	SFN(1-6) 33-Db	0	[illegible]	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	[illegible] 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	[illegible]	99.486511	7.656956	126	40.0	260		De	43	59	48	53	56	45
37.00	M	SFN(1-6) 37-TDa	0	[illegible]	100.519690	7.015170	66	50.0	230		TDa	50	42	46	38	26	34
37.01	A2	SFN(1-6) 39-TDb	0	[illegible]	100.936000	6.739820	50	10.0	ND	Type 1	TDb	32	48	36	44	28	40
37.02	A2	SFN(1-6) 37-TDa	0	[illegible]	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	[illegible]	100.025600	6.635370	64	30.0	270		TDa	50	42	46	38	26	52
38.01	A3	SFN(1-6) 37-TDa	0	[illegible] A3 #076	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	[illegible]	101.367220	6.336110	84	30.0	120		TDb	32	48	36	44	28	40
39.01	A1	SFN(1-6) 39-TDb	0	[illegible]	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	[illegible]	101.263149	6.477219	80	2.0	90	Type 3	TDb	32	48	36	44	28	40
39.03	A1	SFN(1-6) 39-TDb	0	[illegible]	101.301944	6.411111	100	2.0	210	Type 3	TDb	32	48	36	44	28	40
39.04	A3	SFN(1-6) 39-TDb	32	[illegible] 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	[illegible] A3 #103	101.511731	6.748860	70	5.0	10;190	Type 5	TDb	32	48	36	44	28	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

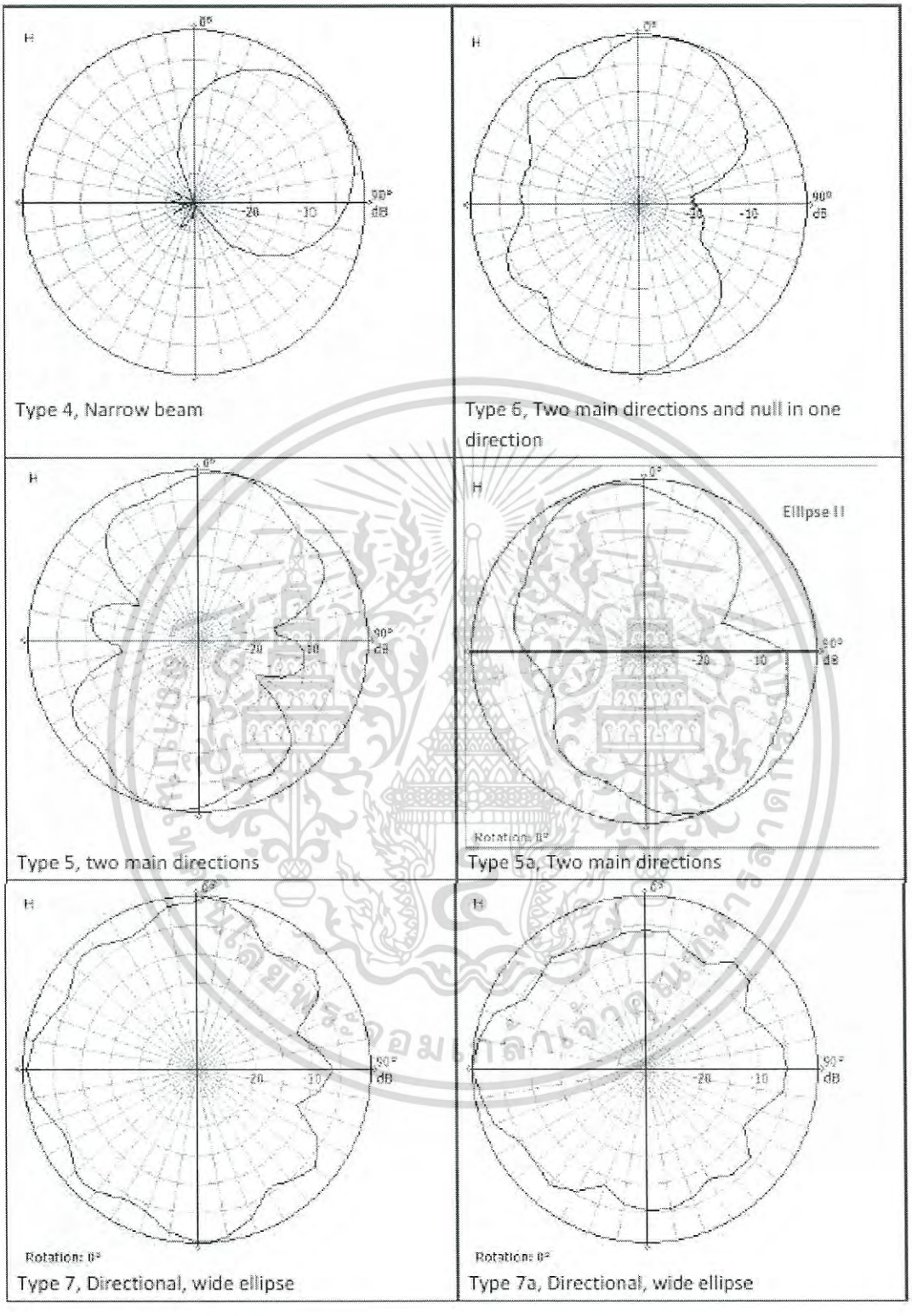
ภาคผนวก ข

ประเภทและลักษณะของสายอากาศ ซึ่งใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์คำนวณเป็นดังนี้



รูปที่ ข.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 (ต่อ) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้