

สายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลแบบภายในอาคาร

DVB-T2 INDOOR ANTENNA

โดย

นายสิทธิกร

อุ่งจิตต์ตระกูล

นายสิรภพ

มี้งมณี

นายสุทธิ์นที

กลางเหลือ่อง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

สายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลแบบภายในอาคาร
DVB-T2 INDOOR ANTENNA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลแบบภายในอาคาร

DVB-T2 INDOOR ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นายสิทธิกร อุงจิตต์ตระกูล 53011677
2. นายสิรภพ มิ่งมณี 53011698
3. นายสุทธินที กลางเหลือ 53011735

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องมาจากความมานะอดทน และคำแนะนำช่วยเหลือจาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ขอขอบคุณอาจารย์ทั้งสองสำหรับคำปรึกษาที่ดี ความรู้และแนวความคิด การแก้ไขข้อผิดพลาดและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน การอนุญาตให้ใช้งานอุปกรณ์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงาน รวมถึงประสบการณ์ที่ดี ทำให้โครงการนี้สามารถสำเร็จได้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งใจและขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์อย่างสูง

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท และปริญญาเอกในห้องโครงการสำหรับคำแนะนำ คำปรึกษา และสอนการใช้งานอุปกรณ์และโปรแกรมใช้งานต่างๆ รวมทั้งคอยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำงานเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ช่วยกันแบ่งเบางาน และช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด รวมทั้งสร้างกำลังใจให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณพี่ๆ ที่ บมจ. อสมท. ที่คอยช่วยให้คำแนะนำต่างๆ รวมถึงอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลองต่างๆ

และสุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำงาน รวมทั้งความห่วงใย ความเข้าใจ และสร้างแรงบันดาลใจ เพื่อช่วยผลักดันการทำปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

นายสิทธิกร อุงจิตต์ตระกูล
นายสิรภพ มิ่งมณี
นายสุทธินันท์ กลางเหลืออง
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลแบบภายในอาคาร
DVB-T2 INDOOR ANTENNA

โดย นายสิทธิกร อัจฉิตตระกูล 53011677
นายสิรภพ มิ่งมณี 53011698
นายสุทัศน์ กลางเหลือ 53011735

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สถาพร พรหมวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศแกลวลำดับรายคาบสำหรับใช้งานในย่านความถี่สูงยิ่ง โดยใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สองแบบภายในอาคาร ในช่วงความถี่โทรทัศน์ดิจิทัลในประเทศไทย ซึ่งเป็นมาตรฐานใหม่ในการกระจายเสียงวิทยุ-โทรทัศน์ โดยโทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะมีคุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่าระบบแอนะล็อก มีการวิเคราะห์ และปรับแต่งสายอากาศแกลวลำดับรายคาบเพื่อให้สามารถใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณแบบภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

This project presents the design and fabrication of the log-periodic antenna for UHF band. Using the log-periodic antenna in Digital Video Broadcasting-second generation terrestrial system (DVB-T2) as a received indoor antenna at the DVB-T2 frequency in Thailand that is a new standard in the broadcasting and telecommunication. The DVB-T2 system has a higher signal quality than an analog system. The received signal is analyzed and adjusted by using the log-periodic antenna. And this antenna is usable for indoor application effectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล	4
2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน ยุคที่สอง	6
2.3 ทฤษฎีสายอากาศ	13
2.4 สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล	17
2.5 การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน	31
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	33
3.1 การออกแบบสายอากาศ	33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	50
4.1 ผลการวิเคราะห์สายอากาศแบบร่อง	50
4.2 ผลการวิเคราะห์สายอากาศแถวลำดับราคาบลิค	53
4.3 ผลการวิเคราะห์สายอากาศอื่นๆ	58
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผล	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การใช้งานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศต่างๆ ทั่วโลก	6
2.2 โครงข่ายความถี่เดียว	7
2.3 สเปกตรัมของสัญญาณ OFDM	8
2.4 การใช้ OFDM มีความทนทานต่อช่องสัญญาณพหุวิถี	9
2.5 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น โดยใช้การมอดูเลตสตรีมข้อมูลแบบ 64QAM และฝังสตรีมข้อมูลที่ถูกลมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย	10
2.6 สัญลักษณ์ของโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง	11
2.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	14
2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีพู่ข้าง	15
2.9 ความกว้างลำคลื่น	16
2.10 การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดิน	17
2.11 สายอากาศในระบบดิจิตอลแบบต่างๆ	18
2.12 โครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับรายคาบสี่เหลี่ยม	19
2.13 การบ่อนสัญญาณเข้าสายอากาศ	21
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณตำแหน่งและตัวคูณช่องว่าง	22
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยของสายอากาศไดโพลกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ	24
2.16 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	25
2.17 สายอากาศไมโครสตริปรูปแบบต่างๆ	26
2.18 สายอากาศรูปห้วงในแบบต่างๆ	28
2.19 การออกแบบสายอากาศแบบร่อง	30
2.20 สายอากาศไดโพล	30
3.1 สายอากาศแบบร่อง	34
3.2 กราฟค่าสภาพเจาะจงทิศทาง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยของสายอากาศไดโพลกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ	37
3.4 สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อกผ่านโปรแกรม CST	40
3.5 ผลการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับผ่านโปรแกรม CST	41
3.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้าแนวอนผ่านโปรแกรม CST	41
3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กแนวตั้งผ่านโปรแกรม CST	42
3.8 อัตราขยายของสายอากาศผ่านโปรแกรม CST	42
3.9 สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก	43
3.10 โปรแกรม CST	44
3.11 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	44
3.12 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	45
3.13 เครื่องเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัล	45
3.14 ก่อรับสัญญาณดิจิทัล	46
3.15 สายอากาศรูปทรงแท่ง	47
3.16 สายอากาศไดโพล	47
3.17 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	48
3.18 การวัดกำลังการรับสัญญาณ	49
3.19 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล	49
4.1 ผลการวัด S_{11} ของสายอากาศแบบร่อง	50
4.2 ผลการวัด smith chart ของสายอากาศแบบร่อง	51
4.3 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศแบบร่อง	51
4.4 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศแบบร่อง	52
4.5 ผลการวัด S_{11} ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก	53
4.6 ผลการวัด smith chart ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก	54
4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้าแนวอนที่ความถี่ 700 MHz	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กแนวตั้งที่ความถี่ 700 MHz	55
4.9 ผลการวัด S_{21} ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก	55
4.10 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก	56
4.11 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก	57
4.12 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศรูปห้วง	58
4.13 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศรูปห้วง	59
4.14 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศไดโพล	59
4.15 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศไดโพล	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความหนาขององค์ประกอบย่อย	39
3.2 ความยาวขององค์ประกอบย่อย	39
3.3 ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบย่อย	40
4.1 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศแบบร่อง	52
4.2 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศแถวลำดับรายคาบลึก	57
4.3 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศรูปห้วง	59
4.4 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศไดโพล	61
4.5 การเปรียบเทียบสายอากาศชนิดต่างๆ ในเวลากลางวัน	62
4.6 การเปรียบเทียบสายอากาศชนิดต่างๆ ในเวลากลางคืน	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน รายการโทรทัศน์ในประเทศไทย มีการออกอากาศผ่านเสาอากาศโทรทัศน์ รับชมได้ฟรีโดยไม่มีค่าบริการรายเดือน หรือที่เรียกว่า ฟรีทีวี และโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม ทั้งแบบติดกล่องรับสัญญาณ มีการบอกรับสมาชิกรายเดือน และรับสัญญาณจากจานดาวเทียมโดยไม่มีค่าบริการรายเดือน ขณะนี้ได้มีการพัฒนาเข้าสู่ยุคของการจัดการคลื่นความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยเป็นหน้าที่สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ในการออกใบอนุญาตและดำเนินการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคโทรทัศน์ดิจิทัล ล่าสุด ได้มีประกาศมาตรฐานการแพร่ภาพโทรทัศน์ดิจิทัลแบบ Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) ยิ่งกระตุ้นให้เราเห็นว่า ยุคของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลใกล้ตัวเรามากขึ้นแล้ว เราจะเตรียมพร้อมอย่างไร

หากสังเกตพฤติกรรมของคนเราในปัจจุบันจะพบว่า ก่อนหน้านี้เรามีข้อจำกัดด้านเวลาออกอากาศ เราจึงต้องรีบกลับบ้านมาเพื่อดูรายการโปรด ละครเรื่องโปรด เกิดปรากฏการณ์ถนนโล่งในคืนวันที่ละครฉายตอนอวสาน แต่ยุคของสื่อสังคมนั้นได้เปลี่ยนพฤติกรรมของผู้รับชมไปโดยสิ้นเชิง นอกจากนี้ยังเกิดปรากฏการณ์ Multi-Screen ซึ่งผู้ชมไม่ได้นั่งหน้าจอโทรทัศน์เพียงอย่างเดียว แต่จะคุยโทรศัพท์ หรือใช้งาน Social Network ผ่านสมาร์ตโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ไปพร้อมๆ กับการรับชม ส่วนโทรทัศน์ก็เปิดทิ้งไว้ มีประเด็นอะไรน่าสนใจได้ยื่นผ่านทุกเเจกหน้าจอขึ้นฟังพร้อมโพลบน Social Network เพื่อแสดงความคิดเห็นของตนได้ทันที

ในอนาคต โทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะมีช่องเพิ่มเป็น 60 – 100 ช่อง ทุกคนจะผลิตเนื้อหาได้เอง สามารถขอเวลาออกอากาศได้เอง หากผู้สนับสนุนเข้ารายการได้เอง ยืดหยุ่นกว่าฟรีทีวี และมีช่องทางในการออกอากาศของตนเอง แคมยังมีเครือข่ายสังคมของรายการและช่องช่วยสนับสนุนการประชาสัมพันธ์ เมื่อถึงเวลานั้นเนื้อหาของรายการ ความน่าสนใจในการนำเสนอจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตัดสินให้ผู้ชมทีวีโมทเข้าไปดู ในประเทศไทยจะใช้มาตรฐานการออกอากาศโทรทัศน์ระบบ ดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง เป็นมาตรฐานหลักในการออกอากาศระบบดิจิตอลทั้งภาคดาวเทียม และเคเบิล (DVB-S, DVB-C) ที่มีผู้ให้บริการหลายราย ทั้งแบบบอกรับสมาชิก และแบบซื้อขาดไม่มี รายเดือน ส่วนภาคพื้นดินนั้นเดิมที่จะใช้ระบบ DVB-T ซึ่งเคยมีการทดสอบเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2543 ถึงพฤษภาคม 2544 จากตึกโบหยก 2 แต่ความล่าช้าของการออกกฎหมายกสข ผ่านมา 10 ปี เทคโนโลยี DVB พัฒนาดีขึ้น ประเทศไทย และสมาชิกอาเซียนจึงมีการตกลงจะใช้ระบบ DVB-T2 ประเทศไทยต้องรอกการอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ก่อน ซึ่งเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 จะประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษา เพื่อเริ่มนำร่องโครงการทดลองโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดิน และในรูปแบบโทรศัพท์ที่สามารถดู โทรทัศน์ได้ เป็นลำดับแรกในเดือนมิถุนายน 2555 การทดลองโทรทัศน์ระบบดิจิตอล เคยทดลอง มาแล้วโดยช่อง 5 ในปี พ.ศ. 2554 และจะยุติระบบแอนาล็อกในปี พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2563

ดังนั้นโครงการขึ้นนี้จึงจัดทำสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ชนิดรับ สัญญาณแบบภายในอาคารเพื่อความสะดวกในการใช้งาน และตอบสนองเทคโนโลยีที่จะเกิดขึ้นใน อนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

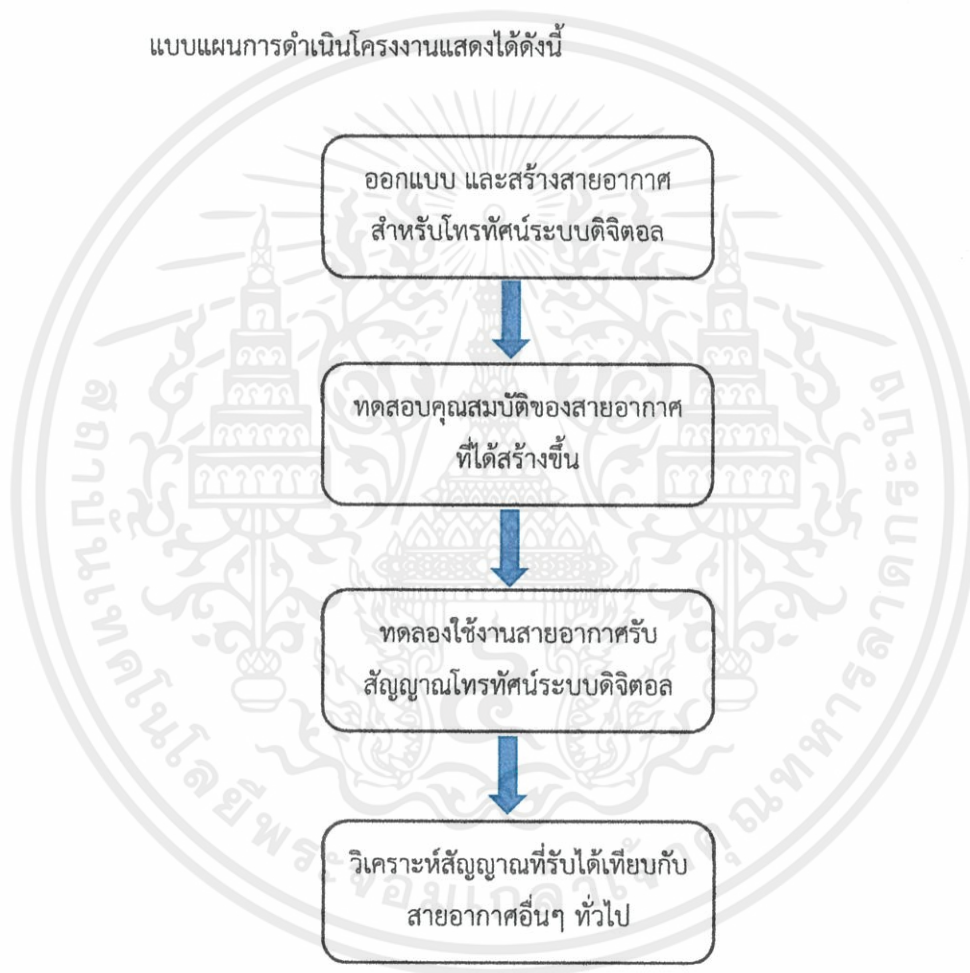
- 1) ศึกษาทฤษฎีและหลักการของมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง
- 2) คำนวณ ออกแบบ และสร้างสายอากาศสำหรับใช้งานในโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ภาคพื้นดิน
- 3) ทดสอบ และวัดผลของสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น
- 4) วิเคราะห์และปรับแต่งสายอากาศที่ออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- 5) สามารถนำสายอากาศที่ได้สร้างขึ้นไปใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ศึกษาข้อมูลของมาตรฐานการกระจายสัญญาณวิทยุ-โทรทัศน์ระบบดิจิทัล เพื่อออกแบบและสร้างสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลชนิดใช้ภายในอาคาร โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองรูปแบบของสายอากาศ จากนั้นสร้างสายอากาศขึ้นมา วัดค่าคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้สร้างขึ้น ตรวจสอบคุณภาพในการรับสัญญาณ เพื่อนำไปใช้งานในการรับชมสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้จริง

แบบแผนการดำเนินโครงการแสดงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินในยุคที่สอง มีหัวข้อในการศึกษาหลักๆ ได้แก่ ความเป็นมาของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินยุคที่สอง ทฤษฎีของสายอากาศ ความหมายของค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ ชนิดของสายอากาศที่นำมาใช้ในโครงงาน และมาตรฐานของสายอากาศที่ใช้ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

เป็นเวลาหลายสิบปีที่กิจการโทรทัศน์แอนะล็อกให้บริการสู่ผู้ชมทั้งที่ผ่านดาวเทียม เคเบิลทีวี และจากสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน มีความพยายามลดจำนวนมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ตั้งแต่ยุคโทรทัศน์ ขาว-ดำ ที่มีจำนวนเส้นสแกนต่างถึง 4 ระบบคือ 405, 525, 625 และ 819 เส้น เหลือเพียง 2 ระบบคือ 525 และ 625 เส้น แต่มีระบบโทรทัศน์สี 3 ระบบ คือ NTSC, PAL และ SECAM คือระบบ NTSC 525 เส้น PAL มีทั้ง 525 / 625 เส้น และ SECAM 625 เส้น เมื่อเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาไปสู่โทรทัศน์ยุคดิจิทัล จึงคาดทวงกันว่าน่าจะมีมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลเพียงมาตรฐานเดียว อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติประเทศหรือกลุ่มประเทศที่เป็นผู้นำทางเทคโนโลยีต่างก็พัฒนามาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่เป็นของตนเองขึ้นมาใช้งาน แต่กระนั้น มีข้อพิงสงสัยกันว่าโดยพื้นฐานแล้วมาตรฐานของแต่ละระบบต่างก็ใช้สัญญาณภาพที่เป็นดิจิทัลและใช้การบีบอัดแบบ MPEG-2 เหมือนกัน

โทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television หรือ DTV) คือระบบการแพร่สัญญาณภาพเคลื่อนไหวและสัญญาณเสียงไปสู่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับการใช้สัญญาณแอนะล็อกในระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยทั่วไปโทรทัศน์ระบบดิจิทัลใช้สัญญาณดิจิทัลที่ถูกบีบอัดและเข้ารหัส MPEG-2 การรับชมจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์เลยหากเป็นโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นมาเพื่อรองรับระบบดิจิทัล หรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัสที่แยกอยู่โดดๆ ในอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่เรียกว่า STB (Set Top Box) ซึ่งใช้ในการถอดรหัสสัญญาณและป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์แอนะล็อกที่มีใช้งานทั่วไป หากเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับชมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ก็จะมีการรับสัญญาณที่สามารถถอดรหัสได้ ในระบบโทรทัศน์ดิจิทัล สัญญาณภาพและเสียงที่รับได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบโทรทัศน์แอนะล็อก เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลมีขีดความสามารถในการจัดปัญหาของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าแอนะล็อก ภาพเสียงชัดเจนไม่มีภาพเงา การเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคโทรทัศน์ระบบดิจิทัลนับว่าเป็นการปฏิวัติวงการโทรทัศน์ยิ่งกว่าตอนเปลี่ยนจากโทรทัศน์ขาว-ดำไปเป็นโทรทัศน์สี ก่อให้เกิดธุรกิจและโอกาสใหม่ๆ ในวงการวิทยุกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งการให้บริการผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ผ่านเคเบิล ผ่านบรอดแบนด์ และผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

ระบบกระจายสัญญาณดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television Broadcasting: DTTB) ใช้วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-S และ DVB-C ระบบ DTTB ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่ระบบโทรทัศน์แอนะล็อก โดยระบบใหม่นี้มีข้อดีคือมีจำนวนช่องรายการมากกว่าและมีคุณภาพของภาพและเสียงที่ดีกว่าโทรทัศน์แอนะล็อก สำหรับการรับสัญญาณสามารถทำได้โดยใช้สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจะประหยัดกว่าการใช้งานรับสัญญาณดาวเทียมหรือการสมัครเป็นสมาชิกเคเบิลทีวี ปัจจุบันระบบ DTTB ในโลกนี้มีอยู่ 4 มาตรฐาน ได้แก่

- 1) ATSC ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) DVB-T ถูกพัฒนาขึ้นมาในทวีปยุโรป
- 3) ISDB-T ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศญี่ปุ่น
- 4) DTMB ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศจีน

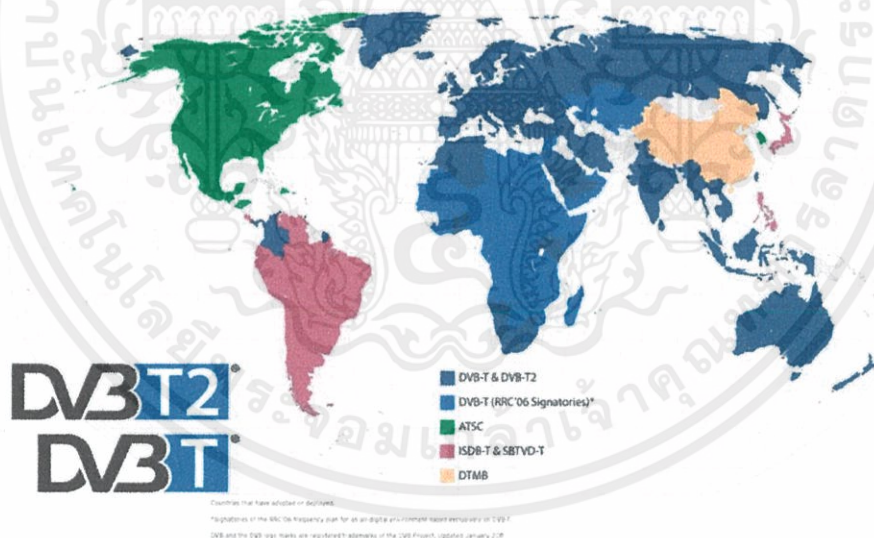
ซึ่งประเทศไทย กสทช. ได้ประกาศว่าให้ใช้ระบบ DVB-T2 ที่เป็นการปรับปรุงระบบ DVB-T เดิมให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น โดยกำหนดความถี่ออกอากาศอยู่ในช่วง UHF Band

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง

มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง : Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) เป็นมาตรฐานของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินที่ประเทศไทยเลือกมาให้แทนระบบ PAL ซึ่งเดิมเป็นระบบแอนะล็อกซึ่งใช้มานานกว่า 40 ปี ในช่วงความถี่เดิมโทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะสามารถส่งได้จำนวนช่องที่มากกว่าเดิม ทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และรองรับช่องความคมชัดสูง (High Definition: HD)

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง เป็นมาตรฐานการส่งระบบดิจิทัลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทน และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ได้นำเสนอการผสมสัญญาณ (Modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้ในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพ และเสียง และการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (Portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (Mobile) นับว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลอื่น ๆ ทั่วโลก

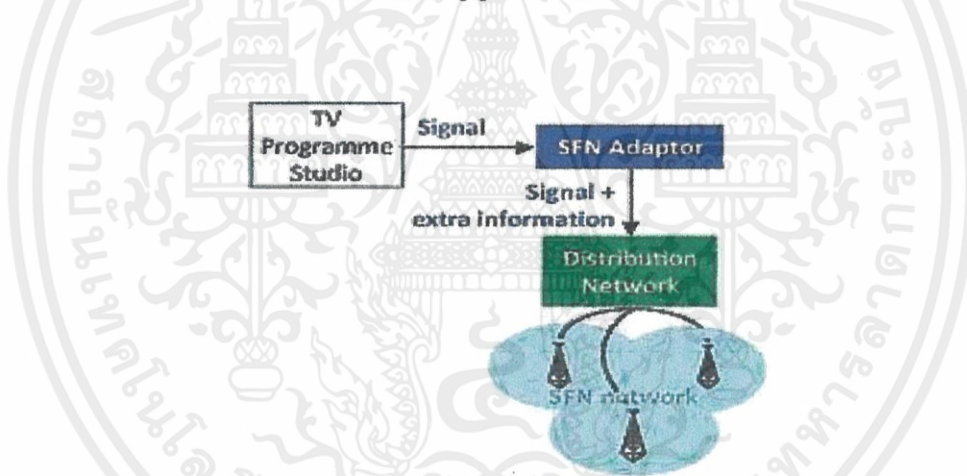


รูปที่ 2.1 การใช้งานโทรทัศน์ระบบดิจิทัลในประเทศต่างๆ ทั่วโลก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความเป็นมาของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลถูกพัฒนาขึ้นในทวีปยุโรป ในปี ค.ศ. 1998 เพื่อทดแทนระบบ PAL & SECAM 625 เส้น 50 Hz โดยองค์การ Digital Video Broadcasting Project (DVB) ซึ่งเป็นความร่วมมือกันระหว่าง สถาบันวิทยุโทรทัศน์ และบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมวิทยุโทรทัศน์ โดยการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินถูกออกแบบเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่เขตบริการได้ดีทั้งในบริเวณที่ไม่มีคลื่นวิทยุรบกวน และในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุรบกวน โดยเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ดีไม่ว่าเครื่องรับสัญญาณจะอยู่กับที่หรือกำลังเคลื่อนที่อยู่ก็ตาม หากรับสัญญาณในเขตบริการที่ไม่มีคลื่นรบกวนจะสามารถรับสัญญาณได้ดีแม้ขณะเคลื่อนที่ ระบบถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณเข้าช้อนจากคลื่นวิทยุที่สะท้อนจากภูเขา อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง และสามารถรับสัญญาณเดียวกันที่ส่งออกมาจากสถานีส่งหลายๆ สถานีพร้อมกันได้ ซึ่งโครงข่ายแบบนี้เรียกว่า โครงข่ายความถี่เดียว (SFN หรือ Single Frequency Network) นอกจากนี้โทรทัศน์ระบบดิจิทัลยังสามารถใช้แถบคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่



รูปที่ 2.2 โครงข่ายความถี่เดียว [4]

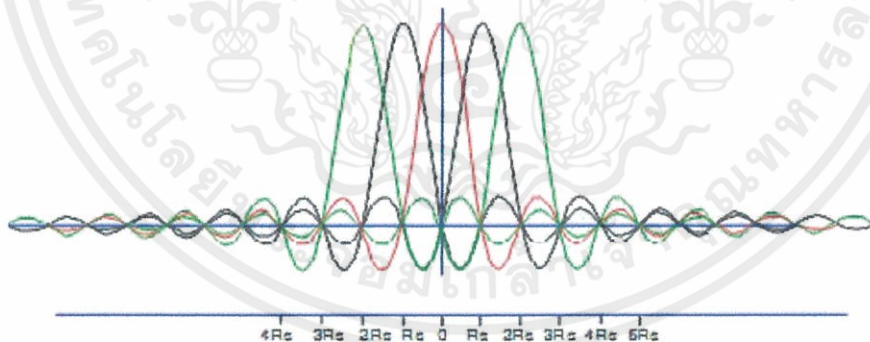
สัญญาณภาพและเสียงของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลถูกบีบอัดแบบ MPEG-2 และการมอดูเลตสัญญาณนั้นจะใช้แบบ COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งใช้คลื่นพาหุคูณจำนวน 2,000 และ 8,000 คลื่น แต่ละคลื่นจะมีปริมาณข้อมูลไม่มากนัก จึงมีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณเข้าช้อนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)

หลักการทางานของ 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 โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าเสนอคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อกันและกันได้ ซึ่งการทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อิสระต่อกันสามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกัน เมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกัน โดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ซึ่งเป็นลักษณะของ การสื่อสารหลายคลื่นพาห์ (Multi-carrier communication) สามารถช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดี โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลายๆ ส่วนและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง

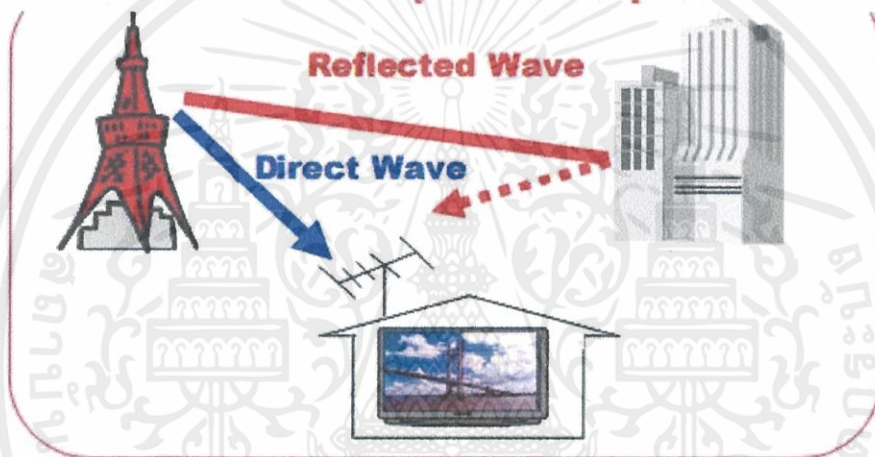


รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณ OFDM [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวิธีการส่งสัญญาณของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลนั้นสามารถเลือกตัวแปรได้หลายมิติ จึงสามารถเลือกส่งอัตราบิต (Bit rate) ของการส่งได้ตั้งแต่ 4-32 Mbit/s ในย่านความถี่ VHF และ UHF ของแต่ละประเทศ การเลือกอัตราบิตสูงจะทำให้จำนวนช่องรายการมากจริง แต่จะจำกัดขอบเขตของพิธีการให้บริการ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้าน C/N ความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) และการรับด้วยเครื่องรับแบบพกพาหรือการรับในยานพาหนะขณะเคลื่อนที่

① Robustness to Radio Interference by Multi Path. Because of OFDM system is adopted .



รูปที่ 2.4 การใช้ OFDM มีความทนทานต่อช่องสัญญาณพหุวิถี [5]

ด้วยคุณสมบัติทางเทคนิคของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่สามารถเลือกตัวแปรต่างๆ ได้ ระบบจึงมีความยืดหยุ่นมากกว่า คือ

- 1) สามารถเลือกการมอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ได้
- 2) สามารถเลือกอัตราการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (Forward Error Correction) ได้ 5 อัตราคือ 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 และ 7/8

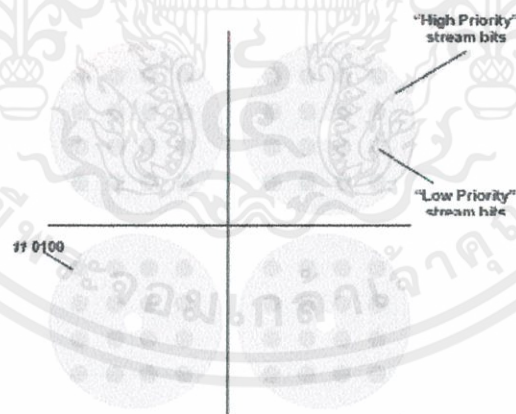
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) สามารถเลือกช่วงป้องกัน (Guard interval) ได้ 4 แบบคือ 1/4, 1/8, 1/16 และ 1/32
- 4) สามารถเลือกจำนวนคลื่นพาห้ได้ 2 แบบ คือ 2K หรือ 8K

2.2.1.2 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น (Hierarchical modulation)

สำหรับการมอดูเลตแบบลำดับชั้นนั้น สตรีมของข้อมูลที่แตกต่างกัน 2 ประเภทจะถูกมอดูเลตเหลือเพียงสตรีมเดียว โดยสตรีมประเภทแรกที่น่ามอดูเลตเรียกว่า สตรีมที่มีลำดับความสำคัญสูง (High Priority หรือ HP) ซึ่งสตรีมประเภทนี้จะถูกฝังลงในสตรีมที่มีลำดับความสำคัญต่ำ (Low Priority หรือ LP) สำหรับเครื่องรับที่รับสัญญาณได้ดีจะรับสตรีมข้อมูลได้ทั้งสองประเภท ในขณะที่เครื่องรับที่รับสัญญาณได้ไม่ดีจะรับได้เพียงสตรีมข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญสูง โดยทั่วไปผู้บริการแพร่ภาพโทรทัศน์จะกำหนดให้สตรีมที่มีลำดับความสำคัญต่ำส่งข้อมูลที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง และเหมาะสำหรับเครื่องรับที่อยู่กับที่ อย่างเช่น สัญญาณ HDTV

โทรทัศน์ระบบดิจิตอลเป็นระบบที่ใช้คลื่นพาห้หลายคลื่น โดยใช้คลื่นพาห้จำนวน 2,000 หรือ 8,000 คลื่น และแต่ละคลื่นใช้วิธีการผสมสัญญาณแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ยกตัวอย่างการทำงานได้ดังนี้ กำหนดให้ระบบทำการผสมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห้แบบ 64QAM และมีการฝังสัญญาณข้อมูลที่ถูกมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น โดยใช้การมอดูเลตสตรีมข้อมูลแบบ 64QAM และฝังสตรีมข้อมูลที่ถูกมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง

การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจากมาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลยุคแรก (DVB-T) โดยนำเทคนิคการมอดูเลตและการเข้ารหัสแบบใหม่มาใช้เพื่อให้การใช้สเปกตรัมในการส่งสัญญาณประเภทเสียง วิดีโอและข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับหลักการทางานนั้น DVB-T2 ใช้การมอดูเลชันแบบ OFDM (orthogonal frequency division multiplex) เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-T สำหรับการแก้ไขข้อมูลผิดพลาดนั้น DVB-T2 ใช้วิธีการเข้ารหัสแบบที่ใช้กับมาตรฐาน DVB-S2 ได้แก่การเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ซึ่งใช้ร่วมกับการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) ทำให้สัญญาณที่ถูกเข้ารหัสทนทานต่อสัญญาณแทรกสอด (Interference) และสัญญาณรบกวนที่มีระดับสูงได้ดี และสัญลักษณ์ของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลเป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง [2]

โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีใหม่ DVB-T2 คือ

(1) Multiple Physical Layer Pipe ให้มีการแยกปรับโหมดเกี่ยวกับการกำหนดค่าความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ ในการที่จะรองรับการให้บริการส่งโทรทัศน์ในรูปแบบต่างสภาพการใช้งาน ตัวอย่าง เช่น การรับสัญญาณโทรทัศน์ภายในอาคาร หรือการรับสัญญาณโทรทัศน์จากสายอากาศที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารที่พักอาศัย อีกทั้งช่วยให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยเฉพาะเครื่องรับโทรทัศน์ช่วยประหยัดพลังงานในการถอดรหัสสัญญาณเฉพาะการส่งสัญญาณโทรทัศน์รายการเดียวเมื่อเทียบกับการถอดรหัสการให้บริการส่งสัญญาณหลายรายการรวมกัน (Multiplex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) Alamouti coding วิธีการหลากหลายในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ จะช่วยปรับปรุงเขตบริการรับสัญญาณโทรทัศน์ ในเครือข่ายการส่งโทรทัศน์ความถี่เดียวกัน ในขนาดพื้นที่บริการขนาดเล็ก

(3) Rotated constellations ให้การเพิ่มความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ในการส่งการระดับต่ำ

(4) Extended interval ขยายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลสัญญาณในการเพิ่มข้อมูล (bit) เพิ่มขนาดกลุ่มข้อมูล (cell) เพิ่มช่องคาบเวลา และเพิ่มช่วงการใช้คลื่นความถี่

(5) Future Extension Frame (FEF) ให้มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่สอดคล้องการปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคต

2.2.2.1 การเข้ารหัสข้อมูล

ในระบบ DVB Conditional Access (DVB-CA) จะมีการกำหนดขั้นตอนวิธีเพื่อการเข้ารหัสข้อมูลพื้นฐาน DVB Common Scrambling Algorithm (DVB-CSA) และ Common Interface (DVB-CI) เพื่อสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้ถูกเข้ารหัส (scrambled content) โดยผู้ให้บริการ DVB นั้นจะต้องพัฒนาระบบ Conditional access นี้ภายใต้ข้อจำกัดตามที่ทาง DVB กำหนดมา ในข้อมูลที่ส่งมาจากทางผู้ให้บริการนั้น จะประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐาน (Metadata) ที่เรียกว่า DVB Service Information (DVB-SI) ที่จะเป็นตัวบอกรายละเอียดเบื้องต้นให้กับโปรแกรมที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ส่งมา ข้อมูลใน SI เองที่บอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ ที่อยู่ใน MPEG Stream เพื่อนำข้อมูลไปใช้สร้างเนื้อหาที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้อีกด้วย เช่น Electronic Program Guide (EPG) ออกอากาศ มีกำหนดขนาดช่วงคาบเวลา (Guard interval size) ในการกำหนดสัญญาณนำร่อง (Pilot signal)

ซึ่งในขณะนี้ DVB กำลังอยู่ในช่วงพัฒนาเรื่องการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ โดยการหาทางป้องกันไม่ให้ ข้อมูลหรือสื่อที่ผู้ใช้ได้ทำการอัดลงใน Set Top Box ไม่ให้สามารถนำไปเผยแพร่บน internet ได้ แต่สามารถที่จะให้ใช้ในบ้านหรือในเครือข่ายที่เป็นส่วนตัวได้เท่านั้น ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า DVB-CPCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีสายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับสัญญาณวิทยุ โดยใช้ต่อกับปลายสายส่งของ เอาท์พุทเครื่องส่ง เปลี่ยนสัญญาณเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วแพร่กระจายคลื่นไปในอากาศ และทางด้านเครื่องรับ สายอากาศจะรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เปลี่ยนเป็นความถี่วิทยุป้อนเข้าเครื่องรับ สายอากาศจึงเป็น เสมือนตัวเชื่อมระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับสายอากาศมีมากมายหลายชนิด อาจจะเป็นแบบเล็กๆ ประกอบด้วยสายพันรอบแกนเฟอร์ไรท์ 2-3 รอบ หรือแบบจานพาราโบลิก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เมตร หรือแบบแถววางบนพื้นที่เป็นตารางกิโลเมตร ฯลฯ การติดตั้งสายอากาศสามารถติดตั้งตามที่ต้องการ เช่น บนปีก หรือตัวเครื่องบิน บนดาวเทียม บนเรือ บนรถ บนยอดภูเขา บนบ้าน บนตึก ฯลฯ

2.3.1 อัตราขยาย (Gain)

เกนสายอากาศ คืออัตราส่วนปริมาณกำลังงานการแพร่กระจาย ในทิศทางที่กำหนดของสายอากาศ เทียบกับปริมาณกำลังงานการแพร่กระจายในทิศทางเดียวกันที่ระยะทางเท่ากัน และป้อนกำลังงานเท่ากันของจุดกำเนิด (Point source) หรือ สายอากาศ ไอโซโทรปิก (Isotropic) สายอากาศไอโซโทรปิก เป็นสายอากาศในอุดมคติที่ไม่มีจริงในทางปฏิบัติ มีแบบรูปการแพร่กระจาย เป็นรูปทรงกลม ถือว่ามีกำลังงานการแพร่กระจายเท่ากันในทุกทิศทาง อัตราส่วนของปริมาณกำลังงานเรียกว่า Directive

2.3.2 อัตราการขยายกำลัง (Power gain)

ในการวัดอัตราการขยายกำลัง ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศที่วัดเพื่อให้ได้ค่าความเข้มสนามในทิศทางพหุหลัก ที่ระยะทางเท่ากันเท่ากับค่าความเข้มสนามของสายอากาศมาตรฐาน แล้วเทียบอัตราส่วนกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสองแสดงในสมการที่ 2.1

$$Power\ gain = 10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (2.1)$$

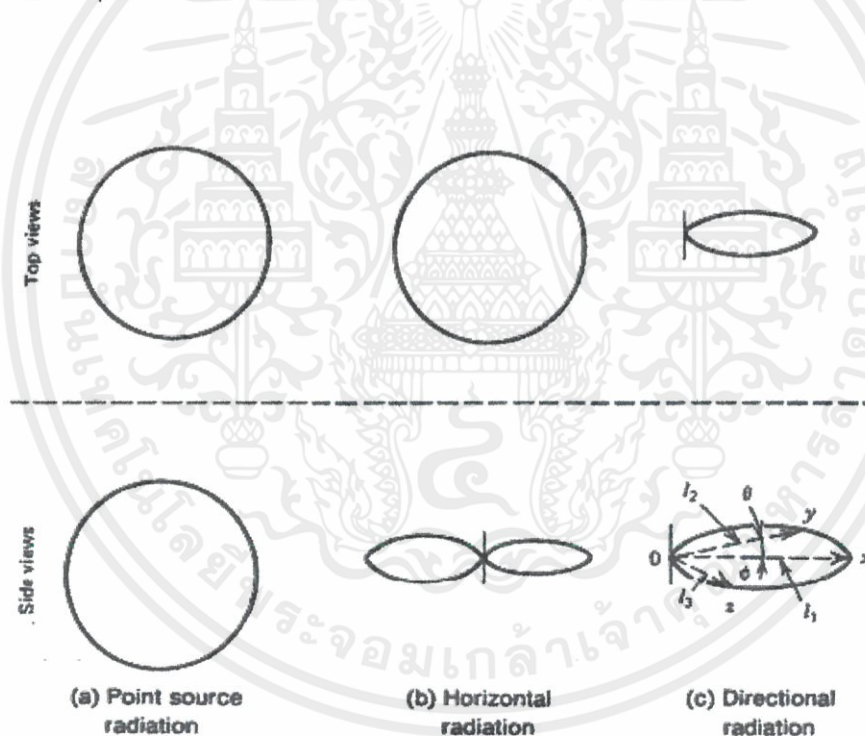
เมื่อ P_r คือ กำลังของสายอากาศอ้างอิง (มาตรฐาน)
 P_t คือ กำลังของสายอากาศที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแสดงลักษณะความแรงของสัญญาณที่แพร่กระจายรอบๆ สายอากาศทุกทิศทาง ตัวแพร่กระจายในอุดมคติที่เราเรียกว่าจุดกำเนิด (Point source) มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปทรงกลม ซึ่งหมายถึงว่าความเข้มสนามที่ระยะทางเท่าๆ กันจะเท่ากันหมดในทุกทิศทางดังรูปที่ 2.7a สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทางแนวนอน จะมีรูปร่างเหมือนขนมโดนัทโดยมีสายอากาศเป็นแกนทางแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.7b สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายแคบมากๆ จะเป็นสายอากาศชนิดมีทิศทาง [Directional] ดังรูปที่ 2.7c

แบบรูปการแพร่กระจายจะบ่งถึงความเข้มสนามที่วัดได้ในทิศทางต่างๆ ตัวอย่างในรูปที่ 2.3c ความเข้มสนามที่จุด X,Y,Z จะ เท่ากันหมด เพียงแต่ x อยู่ห่างจากสายอากาศมากที่สุด และ z ใกล้ที่สุด นั่นคือสัญญาณจะแรงที่สุดในแนว ox สรุปได้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคือเส้นขอบ [locus] ของจุดทั้งหมดที่มีความเข้มสนามเท่ากัน

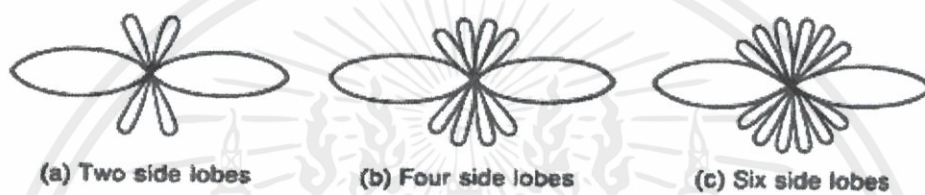


รูปที่ 2.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 พูข้าง (Side lobe)

พูข้าง (Side lobe) คือส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายที่มีความเข้มสนามน้อย เกิดขึ้นนอกเหนือจากแบบรูปการแพร่กระจายพูหลัก (Major lobe) ที่มีความเข้มของสนามมาก ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะทำให้มีรูปแบบการแพร่กระจายหลักอย่างเดียว มักจะมีพูข้างเกิดขึ้น ด้วยเสมอ พูข้างของสายอากาศจะแพร่กระจายพลังงานในทิศทางที่ไม่ต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศ เครื่องรับ ก็จะได้รับสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการเข้ามา



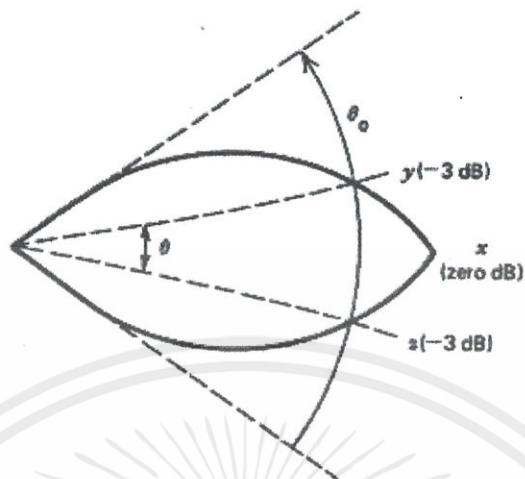
รูปที่ 2.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีพูข้าง [1]

2.3.5 ความกว้างลำคลื่น (Beam width)

การกำหนดความกว้างลำคลื่น (Beam width) ของสายอากาศมีอยู่ 2 แบบคือ แบบแรกกำหนดจากมุมที่เกิดจากการลากเส้นที่จุดตัดของเส้นโค้งกับเส้นขอบทั้งสองด้านของแบบรูปการแพร่กระจายมายังสายอากาศ ในรูปที่ 2.9 คือมุมจุดตัดคือ y และ z สำหรับรัศมีของเส้นโค้งคือระยะกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง [-3dB] ในแนวที่มีกำลังงานสูงสุด ซึ่งในรูปคือ แนว x และแบบนี้เราเรียกว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half power point beam width)

อีกแบบกำหนดจากมุมที่ได้จากการลากเส้นในแนวที่ไม่มีความเข้มสนามเลย มาบรรจบกันที่สายอากาศ เรียกว่า First-nulls beam width ในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ความกว้างลำคลื่น [1]

2.3.6 โพลาริเซชัน (Polarization)

การเรียกโพลาริเซชันของสายอากาศว่าเป็นแบบตั้ง [Vertical] หรือแบบนอน [Horizontal] โดยปกติจะกำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้น Polarization จึงสามารถสังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศ สายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาริเซชันแบบตั้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพื้นดิน ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง ส่วนโพลาริเซชันแบบนอน สัญญาณจะถูกรบกวนน้อย ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้กับสายอากาศความถี่สูง

2.3.7 อัตราส่วนหน้า-หลัง (Front to back Ratio)

สายอากาศชนิดทิศทางเดียว จะต้องมีการแพร่กระจายมากที่สุดทางเดียว ฉะนั้น ค่าอัตราส่วนหน้า-หลัง จึงมีความสำคัญ อัตราส่วนนี้หาได้จากค่าการแพร่กระจายในทิศทางที่สูงสุดต่อค่าการแพร่กระจายในทิศทางตรงกันข้าม ในกรณีของสายอากาศเครื่องรับ การรับสัญญาณจากทิศทางตรงกันข้ามได้ด้วยจะทำให้ผลการรับไม่ดี เช่น ความแรงของสัญญาณจะลดลงหากสัญญาณจากอีกด้านมีเฟสตรงกันข้ามกัน หรือเกิดเงาในกรณีเครื่องรับโทรทัศน์รับสัญญาณที่สะท้อนมาจากด้านหลังด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

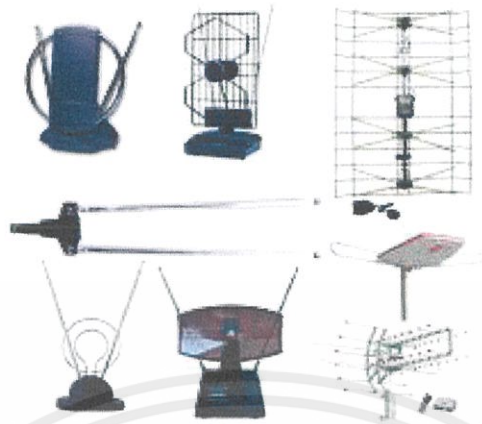
เนื่องจากการออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลนั้น เป็นการออกอากาศโทรทัศน์ในชนิดภาคพื้นดิน (Terrestrial TV) เดิมในโทรทัศน์ระบบแอนะล็อกต้องใช้สายอากาศ และโทรทัศน์ระบบดิจิตอลก็ใช้การออกอากาศทางภาคพื้นดินเช่นกัน ดังนั้นสายอากาศที่ใช้อยู่เดิมอาจใช้ได้หรือใช้ไม่ได้ก็ได้ แม้ว่าสายอากาศแบบเดิมทั้งสายอากาศภายในอาคาร (หนวดกุ้ง) หรือภายนอกอาคาร (ก้างปลา) จะรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้ แต่คุณภาพการรับก็ไม่น่าจะดี อาจติดๆ ดับๆ เพราะใช้คลื่นความถี่แตกต่างกัน ดังนั้นอาจต้องปรับเรื่องความถี่ที่ต่างกันแล้วปรับให้รับสัญญาณได้เหมาะสมที่สุดหรือเปลี่ยนสายอากาศในการรับชม



รูปที่ 2.10 การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดิน [5]

ความที่ระบบการออกอากาศแบบใหม่เป็นระบบดิจิตอล ธรรมชาติการรับสัญญาณมีลักษณะเป็นทวิสภาพ คือรับได้หรือรับไม่ได้ จะไม่มีลักษณะเช่นสายอากาศแบบแอนะล็อกเดิมที่เป็นแบบชัดหรือไม่ชัดต่อเนื่องกัน คือจากจอขาวไปเป็นจุดลูกน้ำจางๆ จนเข้มขึ้นแล้วถึงชัด สายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลรุ่นใหม่ ๆ จึงมีรูปแบบแตกต่างกันหลายดีไซน์ได้ เพราะถ้าสายอากาศรับสัญญาณได้จะออกแบบให้มีหน้าตาอย่างไรก็ได้ จำเป็นเพียงการปรับเรื่องความถี่ที่ต่างกันแล้วจูนให้รับสัญญาณได้เหมาะสมที่สุด (Optimum) โดยช่วงความถี่จะอยู่ในช่วงของ UHF Band IV และ V หรือ ช่วงความถี่ตั้งแต่ 470 – 860 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 สายอากาศในระบบดิจิทัลแบบต่างๆ [1]

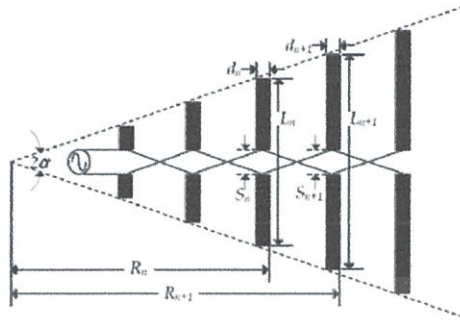
สายอากาศโทรทัศนระบบดิจิทัลยังมีข้อดีอีกประการคือจะไม่มีภาพซ้อน สายอากาศแบบแอนาล็อกไม่สามารถแยกแยะสัญญาณที่ส่งมาได้ ว่าสัญญาณใดเป็นสัญญาณหลักสัญญาณใดเป็นสัญญาณสะท้อนที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่และอุปสรรคธรรมชาติ ภาพที่ออกมาจึงมีภาพซ้อน (Ghost Image) เป็นเงาๆ หลายภาพ ทำให้คุณภาพการชมลดลง

2.4.1 สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก

สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก (Log-Periodic Antenna) เป็นสายอากาศแบบไดโพลที่นิยมใช้กันอีกโครงสร้างหนึ่ง เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้มีช่วงการตอบสนองความถี่กว้าง อีกทั้งมีอัตราขยายที่สูงพอควร จึงเป็นสายอากาศที่นำศึกษาเพื่อนำมาใช้งานในยุคของการสื่อสารไร้สาย สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก เป็นสายอากาศประเภทหนึ่งที่ตั้งอยู่ในสายอากาศประเภท Broadband antenna หรือ Frequency independent antenna เป็นความถี่ที่ไม่ขึ้นกับการใช้งานและมีช่วงความถี่ที่กว้างจึงเป็นที่นิยมใช้ในงานสื่อสารต้องไขความถี่กว้างโดยเฉพาะ

สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก เป็นสายอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเป็นรายคาบล็อก คุณสมบัติทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเป็นรายคาบกับค่าล็อกของความถี่ที่ใช้งาน ถ้าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติมีค่าน้อยภายในหนึ่งคาบความถี่ นั่นคือมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเล็กน้อยในแต่ละคาบความถี่ สายอากาศจะทำงานได้ในช่วงความถี่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสายอากาศแฉกลำดับรายคาบล็อก [3]

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่ามีพารามิเตอร์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่หลายตัว แต่เนื่องด้วยแต่ละตัวมีการคำนวณที่ต้องใช้ค่าพารามิเตอร์อื่นที่ไม่ปรากฏในโครงสร้างมาช่วยในการคำนวณ จึงต้องทำความรู้จักกับพารามิเตอร์ต่างๆ ก่อนนำไปออกแบบ โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศแฉกลำดับรายคาบล็อก มีดังต่อไปนี้

σ	=	ตัวคูณช่องว่าง (Relative spacing)
τ	=	ตัวคูณตำแหน่ง (Scaling factor)
B_{ar}	=	แบนด์วิดท์ของการแพร่กระจายคลื่น (active region bandwidth)
B	=	แบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งาน (designed bandwidth)
B_s	=	แบนด์วิดท์ที่ทำการออกแบบ (designed impedance)
Z_{in}	=	อิมพีแดนซ์ขาเข้า (input impedance)
N	=	จำนวนองค์ประกอบ (number of element)
Z_0	=	ค่าคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ (characteristic impedance)
Z_o	=	ค่าคุณลักษณะอิมพีแดนซ์เฉลี่ย (average characteristic impedance)
R	=	ระยะตำแหน่งของแต่ละองค์ประกอบ
L	=	ความยาวหนึ่งส่วนสี่ขององค์ประกอบ
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางครึ่งหนึ่งขององค์ประกอบ
s	=	ความกว้างของสายนำสัญญาณ
α	=	มุมของสายอากาศ
l	=	ความยาวของแต่ละองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยองค์ประกอบย่อยของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อกมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$\frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} \frac{1}{\tau} \frac{R_{n+1}}{R_n} \quad (2.2)$$

สมการที่ 2.2 เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวคุณตำแหน่งกับความยาวของเส้นองค์ประกอบ ค่าระยะตำแหน่งของแต่ละองค์ประกอบ เส้นผ่านศูนย์กลางขององค์ประกอบ และความกว้างของสายนำสัญญาณ

$$\frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}} = \sigma \quad (2.3)$$

สมการที่ 2.3 เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวคุณ ช่องว่างกับผลต่างของระยะตำแหน่งของแต่ละองค์ประกอบที่ n กับตำแหน่งที่ $n+1$ ทหารด้วยสองเท่าของความยาวของเส้นองค์ประกอบลำดับที่ $n+1$

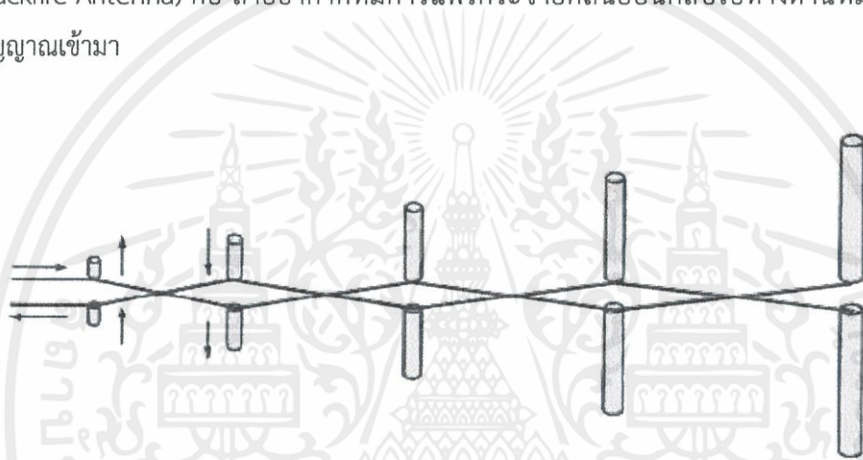
$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{1-\tau}{4\sigma} \right] \quad (2.4)$$

สมการที่ 2.4 เป็นสมการแสดงการหามุมสายอากาศ เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่จะกำหนดว่าชิ้นงานจะมีขนาดใหญ่เท่าใด จากความสัมพันธ์ของสมการ พิจารณาที่องค์ประกอบย่อยที่สั้นที่สุด จะได้ความยาวของแต่ละองค์ประกอบย่อย และระยะห่างระหว่างองค์ประกอบย่อย เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนคงที่

การป้อนสัญญาณเข้าของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อกนี้จะเป็นการป้อนสัญญาณแบบไขว้ (Crisscross connection) ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นการทำให้เกิดกระแสไหลในองค์ประกอบย่อยที่ติดกันเป็นผลให้มีเฟสตรงข้ามกัน เป็นผลให้การรบกวนกันของสัญญาณที่องค์ประกอบย่อยติดกันน้อย นอกจากนี้การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบแถวลำดับรายคาบล็อก จะป้อนเข้าจากด้านที่มีองค์ประกอบย่อยสั้นที่สุด สัญญาณที่ป้อนเข้าจะเคลื่อนที่ไปตามสายนำสัญญาณ (Feeder) การเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นที่แต่ละองค์ประกอบย่อยของสายอากาศแถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับรายคาบลือก จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นขึ้น (Radiation) ที่ความถี่ต่ำ การแพร่กระจายคลื่นจะเกิดกับด้านที่มีองค์ประกอบย่อยยาว เมื่อความถี่ใช้งานสูงขึ้นการแพร่กระจายคลื่นจะเลื่อนมาทางด้านที่มีองค์ประกอบย่อยที่สั้นกว่า จนถึงด้านที่มีองค์ประกอบย่อยสั้นที่สุด แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดนี้ ลำคลื่นหลัก (Main beam) ซึ่งทิศออกจากด้านของสายอากาศที่มีองค์ประกอบย่อยยาว ไปทางด้านที่มีองค์ประกอบย่อยที่มีความยาวสั้น นั่นคือลำคลื่นหลักจะมีทิศทางซึ่งไปทางด้านที่มีองค์ประกอบย่อยสั้นเสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่าลำคลื่นหลักจะมีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นไปทางด้านที่มีองค์ประกอบย่อย ซึ่งมีความยาวน้อยกว่า $\lambda / 2$ ที่ความถี่ใช้งานหนึ่งๆ จึงจัดได้ว่าสายอากาศแบบแถวลำดับรายคาบลือก เป็นสายอากาศแบบแบ็คไฟร์ (Backfire Antenna) คือ สายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นย้อนกลับไปทางด้านที่มีการบ่อนสัญญาณเข้ามา



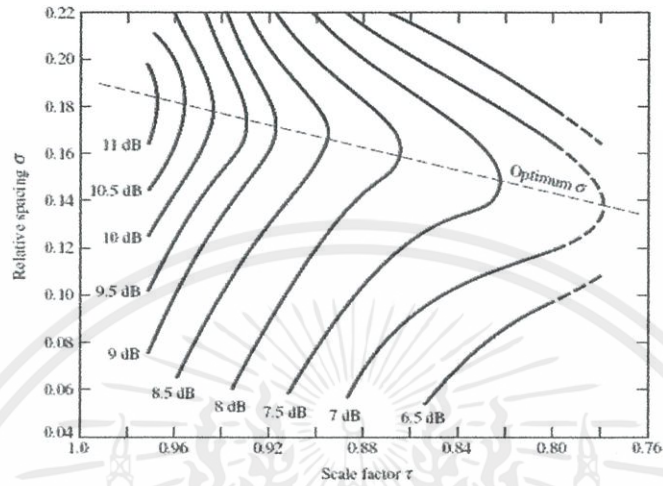
รูปที่ 2.13 การบ่อนสัญญาณเข้าสายอากาศ [3]

2.4.1.1 การออกแบบสายอากาศแถวลำดับรายคาบลือก

การออกแบบสายอากาศแถวลำดับรายคาบลือกนั้นต้องพิจารณาข้อกำหนดของสายอากาศเพื่อใช้งานได้ดีขึ้น โดยพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีส่วนในการประกอบสายอากาศอันได้แก่ค่า τ และ σ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของสายอากาศ และยังมีผลต่อมุมที่ทำกับแนวระนาบของสายอากาศ อาจทำให้สายอากาศมีขนาดใหญ่ซึ่งจะทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งาน ปัญหาในการเลือกค่า τ คือถ้าเลือกค่าที่ใกล้เคียงกับ 1.0 จะทำให้ได้อัตราการขยายสูงแต่จำนวนขององค์ประกอบย่อยบนสายอากาศก็จะมีมากขึ้น แต่ถ้าหากเลือกค่าที่ต่ำเกินไปคุณสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสายอากาศก็มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้มาก จากการทดลองพบว่าค่า τ ที่เหมาะสมควรจะอยู่ระหว่างช่วง $0.8 < \tau < 0.95$



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณตำแหน่งและตัวคูณช่องว่าง [3]

ค่าคงที่ σ ก็ต้องพิจารณาเช่นเดียวกับ τ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างเหมาะสมพบว่าหากมีค่ามากเกินไปจะทำให้อัตราการขยายต่ำลง ดังนั้นควรเลือกให้ค่าที่อยู่ระหว่าง $0.1 < \sigma < 0.18$ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ และ τ ถูกแสดงดังรูปที่ 2.14

นอกจากจะพิจารณาพารามิเตอร์ทั้งสองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงแบนด์วิดท์เพื่อให้สายอากาศมีคุณสมบัติสม่ำเสมอในควมถี่ที่ต้องการใช้งาน ดังนั้นแบนด์วิดท์ที่ออกแบบต้องมากกว่าแบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งานเสมอ แบนด์วิดท์ที่ทำการออกแบบหรือแบนด์วิดท์ที่ได้จากโครงสร้างนั้น คือช่วงความถี่ที่สายอากาศไดโพลตัวที่ยาวที่สุด และตัวที่สั้นที่สุดมีความยาวเป็น $1/2$ ของความยาวคลื่น Carrel ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์ที่ทำการออกแบบกับแบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งานโดยนำแบนด์วิดท์ของบริเวณแพร่กระจายคลื่น (Active region) คุณเข้าไปตั้งสมการที่ 2.5

$$B_s = B B_{ur} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง B_{ar} และ B หาได้จากสมการ 2.6 ดังนี้

$$B_{ar} = 1.417 \cdot 7.7 (1 - \tau)^2 \cot(\alpha) \quad (2.6)$$

โดยที่

$$B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \quad (2.7)$$

การหาจำนวนตัวประกอบ เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่จะกำหนดว่าชิ้นงานจะมีขนาดความใหญ่เท่าใด เนื่องจากจำนวนตัวประกอบมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการสเกลค่า ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$N = 1 + \frac{\log B_s}{\log\left(\frac{1}{\tau}\right)} \quad (2.8)$$

ความยาวของสายอากาศ สามารถหาได้จากความยาวหนึ่งส่วนของคลื่นคู่กับหนึ่งลบบหนึ่งส่วนแบนด์วิดท์ที่ทำการออกแบบคู่กับค่าโคไซน์ของมุมสายอากาศ เป็นดังสมการที่ 2.9

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha \quad (2.9)$$

ความยาวคลื่นของความถี่ที่สนใจ สามารถคำนวณได้จากสองเท่าของความยาวของเส้นองค์ประกอบนั้นหรือความเร็วแสงในอากาศหารด้วยความถี่ที่สนใจอยู่ดังสมการที่ 2.10

$$\lambda_{\max} = 2l_{\max} \frac{V}{f_{\min}} = \lambda_{\min} \frac{2l_{\min}}{f_{\max}} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

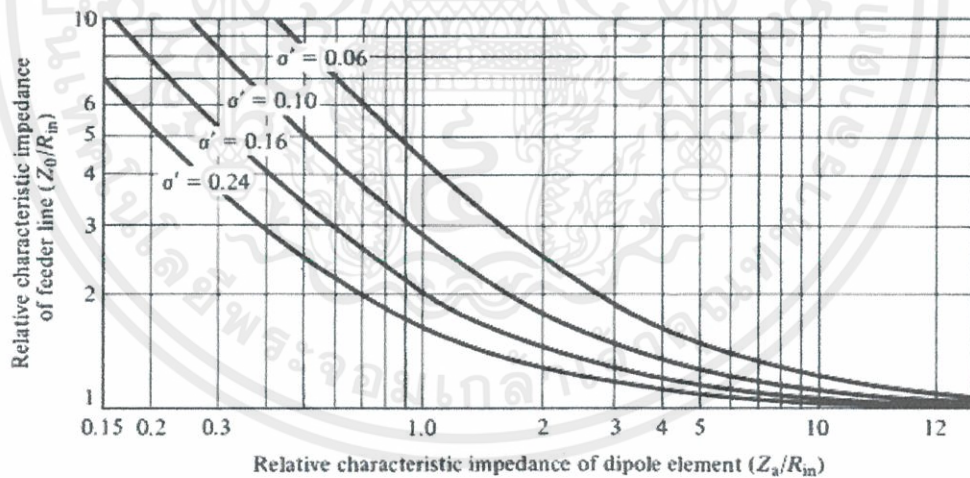
ค่าคุณลักษณะอิมพีแดนซ์เฉลี่ยหาได้จากสมการที่ 2.11 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์สองตัวเท่านั้นคือ ความยาวของเส้นองค์ประกอบ (l_n) กับเส้นผ่านศูนย์กลางขององค์ประกอบ (d_n)

$$Z_a \approx 120 \left[\ln \left(\frac{l_n}{d_n} \right) + 2.25 \right] \quad (2.11)$$

ค่าความกว้างของสายนำสัญญาณสามารถหาได้จากสมการที่ 2.12

$$S = d \cosh \left(\frac{Z_0}{120} \right) \quad (2.12)$$

โดย Z_0 สามารถหาได้จากรูปที่ 2.15 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยของสายอากาศไดโพลกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยของสายอากาศไดโพลกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ [3]

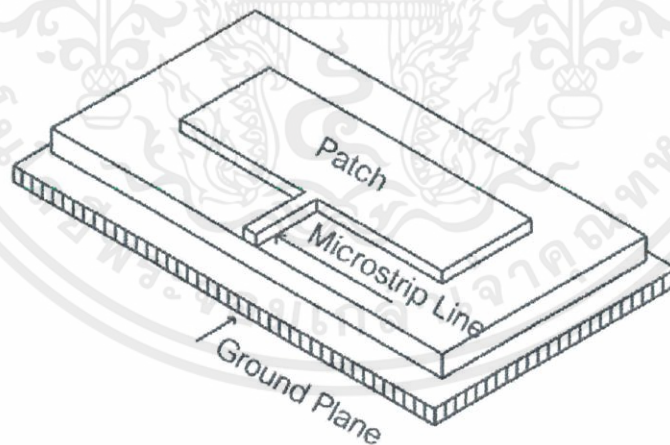
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip antenna) ได้เริ่มถูกใช้งานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2513 แม้ว่าแนวความคิดครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดย G.A. Deschamps ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ.2496 และ ถูกจดสิทธิบัตรไปตั้งแต่ในปี พ.ศ.2498 สาเหตุที่ในช่วงแรกไม่มีการพัฒนาไปใช้งาน เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำมาก แต่มีข้อดีตรงที่ขนาดเล็ก อาจกล่าวได้ว่าสายอากาศชนิดนี้ เป็นการพัฒนารูปแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็กเช่นโทรศัพท์มือถือ ลักษณะอุปกรณ์จึงแบนคล้ายกับแผ่นทองแดงทั่วไป

1) โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ปัจจุบันสายอากาศไมโครสตริป เป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะ ในย่านความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ น้ำหนักเบา ใช้พื้นที่น้อยและมีลักษณะแบนราบ ซึ่งเหมาะกับการติดตั้งที่แบนราบไปกับพื้นผิว สามารถใช้ร่วมกับกับ Microwave Integrated Circuit (MICs) ทำงานได้ 2 ถึง 3 ความถี่พร้อมๆ กัน มีความแข็งแรงเมื่อนำมายึดกับพื้นผิว ทำให้ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง สายอากาศไมโครสตริปประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่าแพทช์ (Patch) ซึ่งเป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระบายแสงเงาที่มีความบาง (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าเป็นซับสเตรท (Substrate) ของสารไดอิเล็กตริก



รูปที่ 2.16 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป [1]

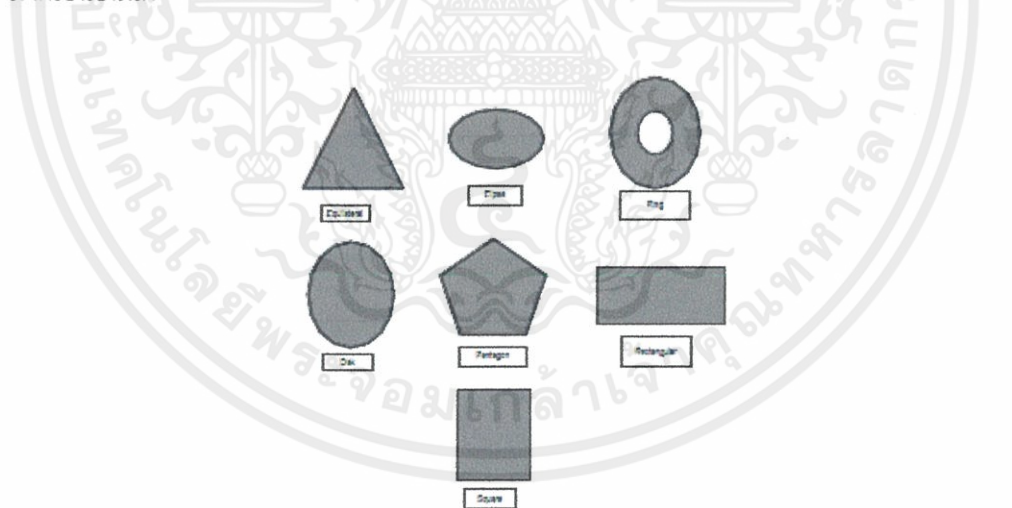
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่า สายอากาศไมโครสตริปสามารถสร้างได้จากการใช้แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้า โดยด้านบนใช้กรดกัดแผ่นแพรร์กระจายคลื่นรูปต่างๆ และวงจรป้อนสัญญาณได้ตามต้องการและตัวนำด้านล่างใช้เป็นระนาบแสงเงา (Ground plane) กล่าวคือสายอากาศไมโครสตริปทั่วไปจะมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ แผ่นไมโครสตริป วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก ระนาบแสงเงา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แผ่นไมโครสตริป เป็นแผ่นโลหะบางๆ ทำหน้าที่เป็นตัวแพรร์กระจายคลื่นและสามารถออกแบบให้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปได้หลายรูปแบบ จะขึ้นอยู่กับการใช้งานหรือจุดประสงค์ของการสร้าง เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม รูปวงกลม เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.17

วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก เป็นสารที่คั่นระหว่างไมโครสตริปกับระนาบแสงเงา ตัวอย่างวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก เช่น เทฟลอน (Teflon) และอีพอกซี (Epoxy) เป็นต้น โดยขนาดและชนิดของวัสดุฐานรองจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่การใช้งาน แต่โดยส่วนมากจะมีลักษณะบางนั่นเอง

ระนาบแสงเงา เป็นแผ่นนำไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก ซึ่งทำหน้าที่เป็นระนาบสร้างเงาหรือกราวด์เพลนให้กับแผ่นไมโครสตริป ซึ่งในทางอุดมคติจะมีขนาดใหญ่มากเป็นอนันต์



รูปที่ 2.17 สายอากาศไมโครสตริปรูปแบบต่างๆ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ลักษณะการป้อนสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปจะมีองค์ประกอบการแผ่พลังงานอยู่ที่ด้านหนึ่งของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก และอีกด้านหนึ่งนั้นจะเป็นระนาบแสงเงา ดังแสดงในรูปที่ 2.16 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถป้อนได้หลายวิธี แต่มี 4 วิธีที่ใช้ทั่วไป คือ

วิธีที่ 1 เป็นการป้อนสัญญาณเข้าไปยังสายอากาศโดยใช้สายส่งไมโครสตริป (Microstrip transmission line feed) เป็นการป้อนสัญญาณที่สามารถสร้างและวิเคราะห์ได้ง่าย โดยการป้อนสัญญาณเข้าไปที่ขอบของแผ่นไมโครสตริป สายส่งที่ใช้ป้อนสัญญาณทำจากแผ่นตัวนำเดียวกับแผ่นไมโครสตริป สายส่งไมโครสตริปจะมีความกว้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นไมโครสตริป การป้อนสัญญาณแบบนี้จะทำให้การสร้างและการแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ง่ายโดยการควบคุมการวางตำแหน่งของการป้อนสัญญาณ การป้อนสัญญาณแบบนี้สามารถสร้างพร้อมกับแผ่นไมโครสตริปจึงทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

วิธีที่ 2 คือการป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งแกนร่วมส่ง (Coaxial feed) เป็นการป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial) หรือหัวต่อ (Connector) สอดทะลุจากด้านหลังมายังแผ่นไมโครสตริป หรือบางครั้งเรียกว่าการป้อนสัญญาณแบบนี้ว่าการป้อนสัญญาณผ่านโพรบ (Probe feed)

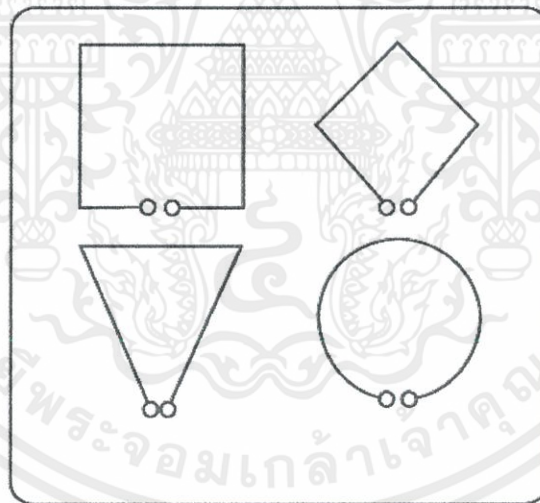
วิธีที่ 3 คือการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อผ่านช่องเปิด (Aperture coupling feed) เป็นการป้อนสัญญาณที่ไม่ต้องสัมผัสกับแผ่นไมโครสตริป โดยใช้ช่องเปิดเป็นตัวเชื่อมต่อ ซึ่งมีแผ่นไมโครสตริปอยู่ด้านบนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกและมีระนาบสร้างเงาอยู่ที่ด้านล่าง และที่ระนาบสร้างเงานี้จะมีช่องเปิด (Slot) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ด้วย ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นไมโครสตริปกับสายส่งไมโครสตริป ช่องเปิดดังกล่าวนี้จะวางตัวอยู่กึ่งกลางของแผ่นไมโครสตริป ส่วนสายส่งไมโครสตริปจะอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองอีกอันหนึ่งซึ่งจะไม่มีระนาบแสงเงา ส่วนขนาดของช่องเปิดนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าแผ่นไมโครสตริปเพื่อไม่ให้ช่องเปิดเลื่อนไปเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ 4 คือการป้อนสัญญาณโดยใช้วิธีการการเชื่อมต่อใกล้แผ่นไมโครสตริป (Proximity coupling feed) เป็นการป้อนสัญญาณเข้าสายอากาศโดยการใช้สายส่งไมโครสตริประหว่างวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกทั้งสองตัว โดยวัสดุฐานรองส่วนด้านบนจะมีแผ่นไมโครสตริปติดอยู่และมีระนาบแสงเงาอยู่ที่ด้านล่าง การป้อนสัญญาณแบบนี้มีข้อดีที่ทำให้ความกว้างมากขึ้น ซึ่งการป้อนสัญญาณแบบนี้โดยทั่วไปจะมีความกว้างแถบสูงถึงประมาณร้อยละ 13

2.4.3 สายอากาศรูปห่วง

สายอากาศรูปห่วง (Loop antenna) เป็นสายอากาศแบบวงปิด ปลายสายทั้งสองจะถูกต้องเข้าด้วยกัน ครบรอบวงจรพอดี สายอากาศรูปห่วงจะมีรอบเดียว หรือหลายรอบก็ได้ รูปร่างของสายอากาศรูปห่วงอาจจะเป็นวงกลม สามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ โดยการจัดวางแบบวงกลมจะได้อัตราการขยายดีที่สุด (สูงกว่าแบบอื่นๆ ประมาณ 10 %) แต่ก็มีข้อเสียคือ จะจับยึดยาก โดยเฉพาะสายอากาศในย่านความถี่ต่ำซึ่งมีขนาดใหญ่โต ทำให้แบบสามเหลี่ยมและแบบสี่เหลี่ยมได้รับความนิยมมากกว่า ข้อดีของสายอากาศรูปห่วงอีกอย่างคือ มีการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดี ไม่ต้องมีระนาบแสงเงาให้ยุ่งยาก



รูปที่ 2.18 สายอากาศรูปห่วงในแบบต่างๆ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณและออกแบบสายอากาศรูปท่วงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

$$L = \frac{306.4}{F_{MHz}} \quad (2.13)$$

เมื่อ L คือ เส้นรอบวงของสายอากาศ (m)
F คือ ช่วงความถี่ที่ใช้งาน (MHz)

และการกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14

$$Z_0 = \sqrt{Z_L Z_s} \quad (2.14)$$

เมื่อ Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ
 Z_L คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ
 Z_s คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับหรือเครื่องส่ง

2.4.4 สายอากาศแบบบรอด

สายอากาศแบบบรอด เป็นสายอากาศที่ออกแบบได้ง่าย มีลักษณะสำคัญคือ มีช่วงแถบความถี่ในการใช้งานค่อนข้างแคบ แต่มีอัตราขยายของสายอากาศค่อนข้างสูง เนื่องจากสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นบริเวณปากของร่อง ทำให้ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบเจาะจงทิศทางเหมาะสำหรับการใช้งานที่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของสถานีส่ง หรือสถานีรับ

การคำนวณและออกแบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15 , 2.16 และ 2.17

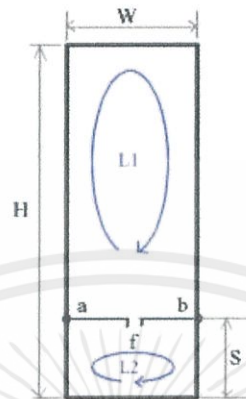
$$W = \frac{\lambda}{6} \quad (2.15)$$

$$H = \frac{\lambda}{2} \quad (2.16)$$

$$S = \frac{\lambda}{.4} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ λ คือความยาวคลื่นในช่วงที่ต้องการใช้งาน จะได้ขนาดของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การออกแบบสายอากาศแบบร็อง [1]

2.4.5 สายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพล (Dipole antenna) เป็นสายอากาศที่นักวิทยุสมัครเล่นรู้จักกันโดยทั่วไป และได้ยินบ่อยมากในความถี่ บางครั้งจะเรียกว่า สายอากาศแบบ Hertz หรือ hertzian เพราะว่าสายอากาศแบบนี้ถูกค้นพบโดย Heinrich Rudolph Hertz เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1886 สายอากาศแบบ Half-wavelength dipole เป็นสายอากาศแบบสมดุล (Balanced) ประกอบด้วยส่วนที่แพร่กระจายคลื่นสองส่วน แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 สายอากาศไดโพล [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแต่ละส่วนจะมีความยาว $1/4$ ของความยาวคลื่น (Quarter-wavelength) เมื่อรวมทั้งสองข้างก็จะเท่ากับ $1/2$ ความยาวคลื่น (Half-wavelength)

โดยความยาวทางกายภาพกับความยาวทางไฟฟ้าของสายอากาศ จะแตกต่างกัน (ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์) โดยความยาวทางกายภาพจะสั้นกว่า เนื่องจากเวลาคลื่นเดินทางผ่านบนโลหะจะเดินทางได้ช้ากว่าในสุญญากาศ เราจะเรียกว่าค่า Velocity factor ความยาวครึ่งคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ใกล้เคียงกับความจริง (ใช้ตัวกลางเป็นโลหะ) ความยาวครึ่งคลื่นของสายอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 2.18

$$L = \frac{468}{F} \quad (2.18)$$

เมื่อ L คือ ความยาวองค์ประกอบของสายอากาศ (ft)
F คือ ช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งาน (Hz)

2.5 การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่ไทยใช้ส่งระบบดิจิทัลซึ่งเป็นระบบ MPEG-4 ที่โทรทัศน์ทุกระบบรับได้ โดยใช้กล่องรับสัญญาณระบบดิจิทัลเชื่อมต่อผ่าน HDMI ภาพที่ออกมาจะก็จะชัดกว่าการเสียบสาย AV เป็นอย่างมาก (ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลกับมาตรฐานทางเลือกในการบีบอัดสัญญาณภาพหรือเสียงในแบบ MPEG2 หรือ MPEG4 เป็นคนละอย่างกัน แต่โดยทั่วไปการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลทั่วโลกในปัจจุบัน มักจะเลือกใช้มาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ MPEG-4/H.264 AVC และมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณเสียงแบบ MPEG-4/HE AACv2 ซึ่งแพร่หลายและให้ประสิทธิภาพสูงกว่า MPEG-2 มาก)

กสทช. มีกฎว่า ทุกช่องที่ออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลต้องส่งผ่านดาวเทียมได้ด้วย ตามกฎ Must carry ของ กสทช. เพื่อเป็นการรับประกันว่าไม่ว่าประชาชนจะใช้เทคโนโลยีใดๆ ในการรับชมโทรทัศน์จะสามารถรับชมบริการโทรทัศน์ดิจิทัลที่ใช้คลื่นความถี่ซึ่งเป็นบริการที่ใช้ทรัพยากรของชาติได้อย่างเท่าเทียมและทั่วถึง ดังนั้น ใครมีกล่องรับสัญญาณดาวเทียมอยู่แล้วไม่ว่ายี่ห้อใดๆ สามารถรับสัญญาณได้เพียงแต่ช่องไหนที่เป็นช่อง HD (ความคมชัดสูง) ในกรณีนี้เครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่รองรับภาพระบบ HD ก็ยังสามารถรับชมช่อง HD ได้ แต่จะได้รับความคมชัดของภาพในแบบปกติ (SD = Standard Definition) เท่านั้น

กสทช กำหนด ให้โทรทัศน์ดิจิตอลมีทั้งหมด 48 ช่อง โดยที่มีรายการท้องถิ่นของชุมชน 12 ช่อง รายการสาธารณะ 12 ช่อง รายการสำหรับภาคธุรกิจ 24 ช่อง โดยใน 24 ช่องนี้ 17 ช่องจะเป็นมาตรฐานปกติ (SD) และอีก 7 ช่องเป็นมาตรฐานความคมชัดสูง (HD)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาพันธ

การออกแบบสายอากาศภายในอาคาร มีช่วงความถี่ในการออกแบบสายอากาศคือ ระหว่าง 470 MHz ถึง 790 MHz

3.1 การออกแบบสายอากาศ

สายอากาศภายในอาคาร ลักษณะของสายอากาศจะต้องมีขนาดพอดี ไม่ใหญ่จนเกินไป ช่วงความถี่ในการออกแบบสายอากาศ คือ ระหว่าง 470 MHz ถึง 790 MHz

3.1.1 สายอากาศแบบร็อง

3.1.1.1 การออกแบบสายอากาศแบบร็อง คำนวณความยาวโดยใช้ความถี่กลางที่ 600 MHz ในการออกแบบ จะได้

$$f = 600 \text{ MHz}$$

$$v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{600 \times 10^6} = 0.5 \text{ m}$$

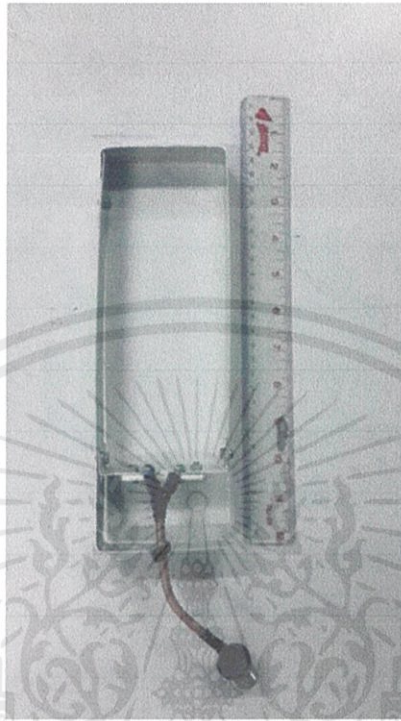
$$\frac{\lambda}{2} = 0.25 \text{ m}$$

$$\frac{\lambda}{6} = 0.083 \text{ m}$$

$$\frac{\lambda}{10} = 0.05 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 สร้างสายอากาศออกมาได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สายอากาศแบบร่อง

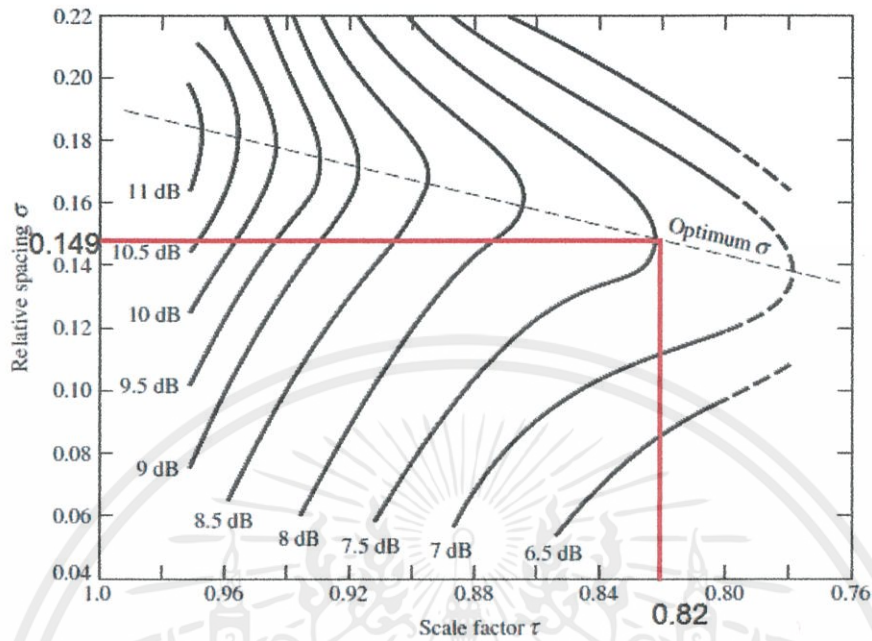
จากการทดสอบวัดคุณสมบัติของสายอากาศแบบร่อง ซึ่งจะแสดงไว้ในบทที่ 4 ทำให้ทราบว่า สายอากาศแบบร่องมีแบนด์วิดท์ในการทำงานค่อนข้างแคบ จึงไม่เหมาะกับวัสดุประสงคิในการทำงานในช่วงความถี่ของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย จึงได้ทำการออกแบบสายอากาศขึ้นมาใหม่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์

3.1.2 สายอากาศแถวลำดับรายคาบลือก

ในการออกแบบสายอากาศแถวลำดับรายคาบลือก ออกแบบให้ความถี่ต่ำสุดที่ 470 MHz และความถี่สูงสุดที่ 790 MHz

3.1.2.1 จากทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 สามารถเลือกค่า Scale factor และค่า Relative spacing ได้จากรูปที่ 3.2 โดยค่าที่เลือกอยู่ที่ $\tau = 0.82$ และ $\sigma = 0.149$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กราฟค่าสภาพเงาจตทิศทาง [3]

3.1.2.2 หาค่ามุมของโครงสร้างสายอากาศได้

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1-\tau}{4\sigma} \right) = 16.805$$

3.1.2.3 หาค่า B_{ar} และ B_s จะได้

$$\begin{aligned} B_{ar} &= 1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha \\ &= 1.926 \\ B_s &= B_{ar} \\ &= \left(\frac{800}{500} \right) 1.926 \\ &= 3.0816 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 หาจำนวนองค์ประกอบ

$$\begin{aligned}
 N &= 1 + \frac{\log B_s}{\log\left(\frac{1}{\tau}\right)} \\
 &= 1 + \frac{\log(3.0816)}{\log\left(\frac{1}{0.82}\right)} \\
 &= 6.671 \\
 &\approx 7
 \end{aligned}$$

3.1.2.5 หาความยาวองค์ประกอบสูงสุด

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\max} &= \frac{v}{f_{\min}} \\
 &= \frac{3 \times 10^8}{500 \times 10^6} \\
 &= 0.6m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_{\max} &= \frac{\lambda_{\max}}{2} \\
 &= 0.3m
 \end{aligned}$$

3.1.2.6 ทหาระยะห่างระหว่างองค์ประกอบกลาง

$$\text{ให้ } d_{\max} = 1.2cm$$

$$\begin{aligned}
 \frac{l_n}{d_n} &= \frac{l_{\max}}{d_{\max}} \\
 &= \frac{30}{1.2} \\
 &= 25
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_a = 120 \left[\ln \left(\frac{l_n}{d_n} \right) - 2.25 \right]$$

$$= 116.265$$

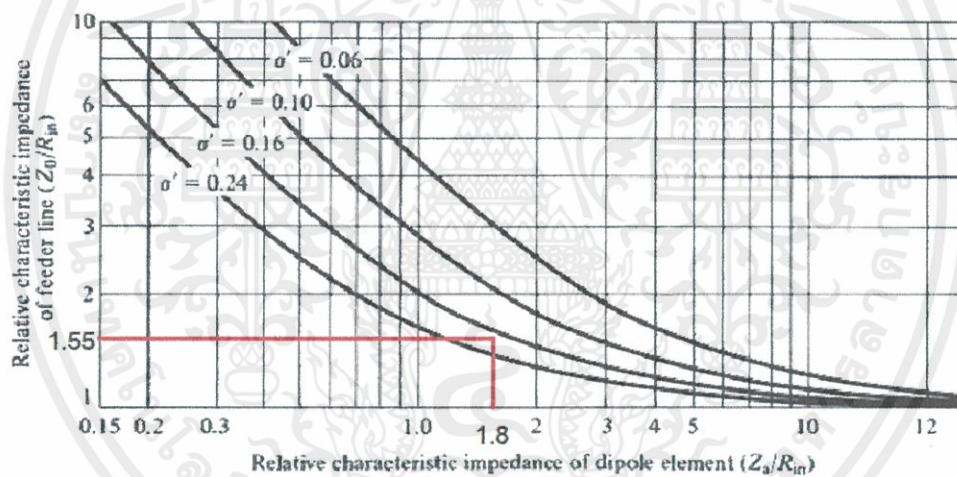
$$\frac{Z_a}{R_{in}} = \frac{116.265}{75}$$

$$= 1.55$$

$$\sigma^- = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}}$$

$$= 0.164$$

สามารถคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้จากกราฟความสัมพันธ์ค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยของสายอากาศได้โพลกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยของสายอากาศได้โพลกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศเท่ากับ 75 โอห์ม

$$R_{in} = 75$$

$$\begin{aligned} Z_0 &\approx 1.8R_{in} \\ &= 1.8(75) \\ &= 135 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= d \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \\ &= 1.2 \cosh\left(\frac{135}{120}\right) \\ &= 2.04 \text{ cm} \end{aligned}$$

จะได้ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบย่อยกลาง เท่ากับ 2.04 cm

แต่เนื่องจาก สายนำสัญญาณที่เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ มีอิมพีแดนซ์ เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้น ต้องปรับอิมพีแดนซ์ ให้เท่ากับ 50 โอห์ม ก่อนจึงสามารถวัดที่ เครื่องได้

$$\begin{aligned} R_{in} &= 50 \\ Z_0 &= 1.8(50) \\ &= 90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1.2 \cosh\left(\frac{90}{120}\right) \\ &= 1.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

จะได้ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบย่อยกลาง เท่ากับ 1.55 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.7 คำนวณค่าองค์ประกอบย่อย

$$\frac{1}{\tau} = \frac{l_{n+1}}{l_n} \frac{R_{n+1}}{R_n} \frac{d_{n+1}}{d_n}$$

ตารางที่ 3.1 ความหนาขององค์ประกอบย่อย

d_n	ความหนา (cm)
d_7	1.2
d_6	0.984
d_5	0.806
d_4	0.661
d_3	0.542
d_2	0.444
d_1	0.182

ตารางที่ 3.2 ความยาวขององค์ประกอบย่อย

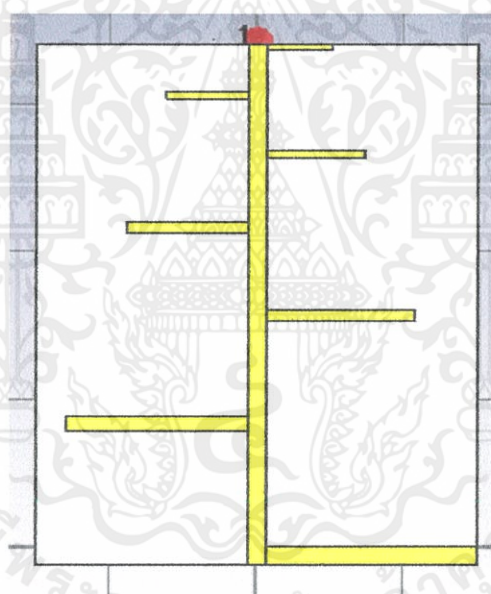
l_n	ความยาว (cm)
l_7	15
l_6	12.3
l_5	10.08
l_4	8.27
l_3	6.78
l_2	5.56
l_1	4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบย่อย

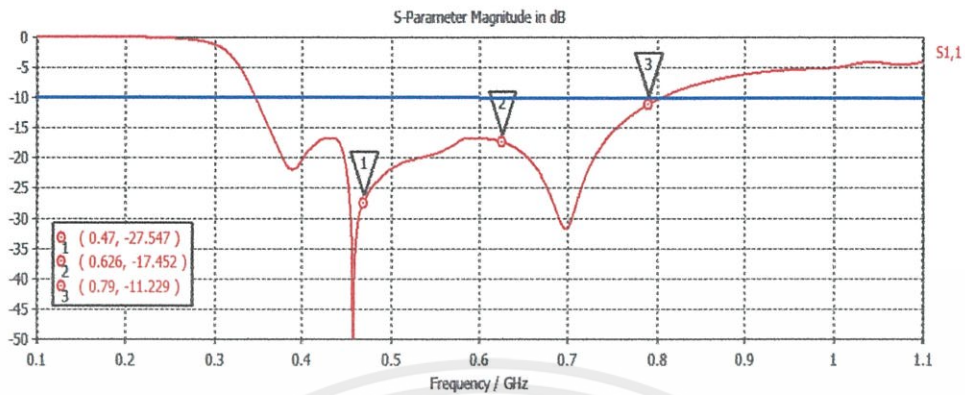
$R_{n\ n+1}$	ระยะห่าง (cm)
R_{67}	8.94
R_{56}	7.33
R_{45}	6.01
R_{34}	4.93
R_{23}	4.04
R_{12}	3.31

3.1.2.8 ออกแบบสายอากาศผ่านโปรแกรม CST



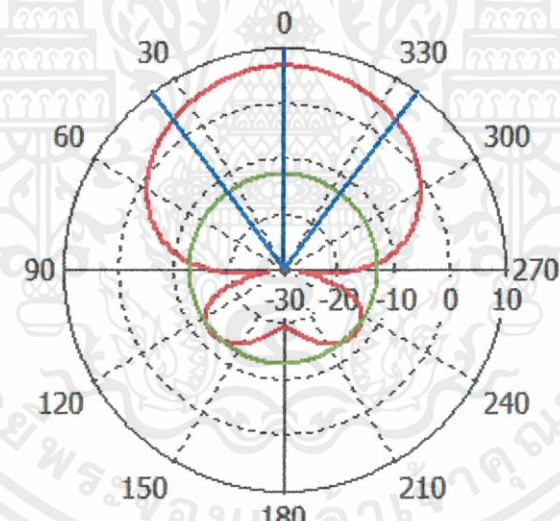
รูปที่ 3.4 สายอากาศแถวลำดับรายคาบสื่อผ่านโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



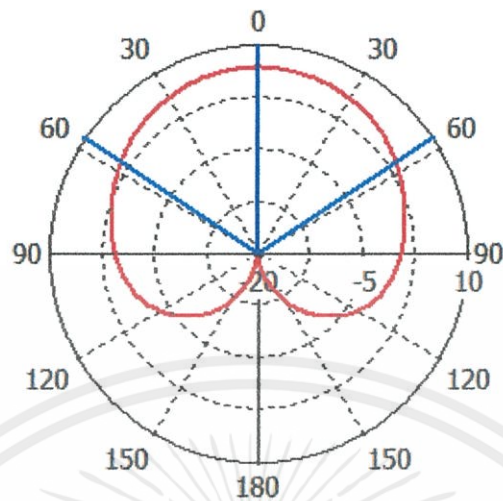
รูปที่ 3.5 ผลการจำลองค่าการสูญเสียย้อนกลับผ่านโปรแกรม CST

จากการจำลองวัดค่า S_{11} ของสายอากาศแฉกลำดับรายคาบสื่อผ่านโปรแกรม CST จากรูปได้ว่า สายอากาศสามารถใช้ได้ที่ความถี่ 470 MHz และ สิ้นสุดที่ความถี่ 790 MHz



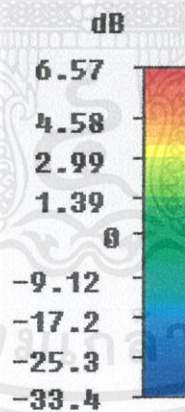
รูปที่ 3.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้าแฉกผ่านโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กแนวตั้งผ่านโปรแกรม CST

จากรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ
รายคาบลือกผ่านโปรแกรม CST เป็นแบบทิศทางเดียว (Directional)



รูปที่ 3.8 อัตราขยายของสายอากาศ ผ่านโปรแกรม CST

จากรูปการจำลองสายอากาศผ่านโปรแกรม CST ได้ อัตราขยายของสายอากาศ เท่ากับ 6.57 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.9 สร้างสายอากาศแนวลำดับราคาบล็อกรอกออกมาได้ดังรูปที่ 3.9

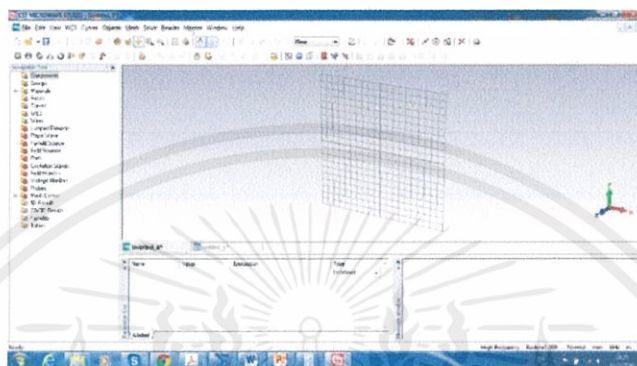


รูปที่ 3.9 สายอากาศแนวลำดับราคาบล็อกรอกออกมาได้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

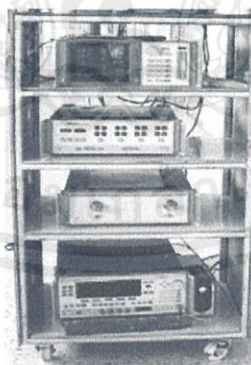
3.2.1 โปรแกรม CST



รูปที่ 3.10 โปรแกรม CST

โปรแกรม CST Studio เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองรูปร่างสายอากาศ และสามารถจำลองแบบรูปการแพร่สัญญาณของสายอากาศที่ได้ออกแบบขึ้นได้ รวมถึงบอกค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ และ S-parameter ต่างๆ ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างสายอากาศขึ้นมาใช้งานจริงๆ

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์



รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ อาทิเช่น S-parameter (s_{11} , s_{12} , s_{21} , s_{22}) รวมถึงบอกค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยใช้ connector เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับเครื่อง ซึ่งสายนำสัญญาณของเครื่องเน็ตเวิร์ค อนุไลเซอร์ ต้องผ่านการ calibrate ก่อน โดยหัว calibrate มี 3 ประเภท คือ open , short และ load เป็นการทำให้ระดับของสัญญาณคงที่ก่อนวัดค่าจริงของสายอากาศ

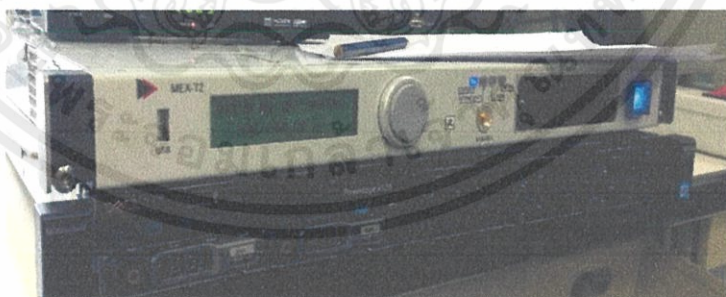
3.2.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เป็นเครื่องมือวิเคราะห์คลื่นสัญญาณ แสดงในรูปคลื่นเชิงความถี่

3.2.2 เครื่องเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 3.13 เครื่องเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Digital modulator เป็นเครื่องสำหรับส่งสัญญาณดิจิทัล ไว้สำหรับส่งสัญญาณดิจิทัล ไปยังฝั่งรับที่ต้องการวัดสัญญาณ

3.2.2 กล่องรับสัญญาณดิจิทัล

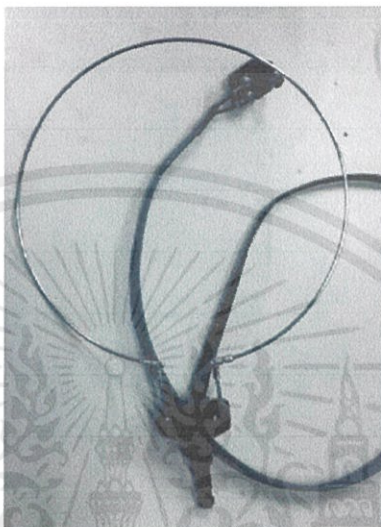


รูปที่ 3.14 กล่องรับสัญญาณดิจิทัล

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้โทรทัศน์ สามารถตั้งค่าให้อินเตอร์เฟซกับอินเทอร์เน็ต และทำให้โทรทัศน์ สามารถตั้งค่าการรับและถอดรหัสการแพร่ภาพโทรทัศน์แบบดิจิทัล DTV Set Top Box บางครั้ง เรียกว่า ตัวรับ (Receiver) Set Top Box จำเป็นมากสำหรับผู้ชมโทรทัศน์ที่ต้องการ ใช้โทรทัศน์แอนาล็อกให้รับภาพดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 สายอากาศอื่นๆ



รูปที่ 3.15 สายอากาศรูปห่วง



รูปที่ 3.16 สายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

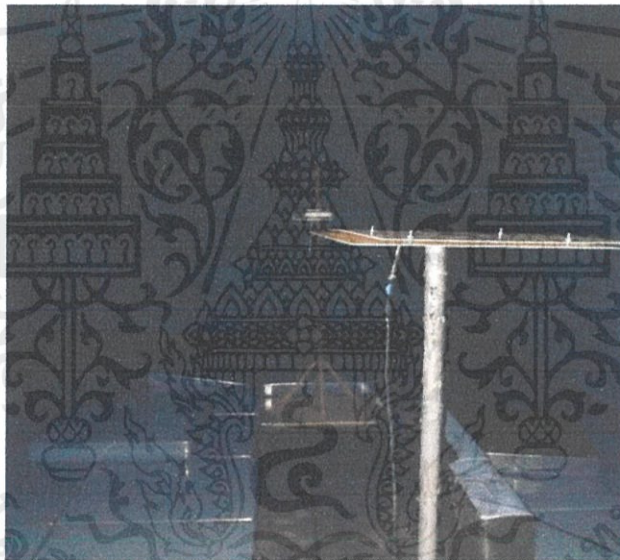
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การวัดผล S_{11}

Parameter - S_{11} คือ Reflection Coefficient ซึ่งคิดจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันของคลื่นที่สะท้อน (Reflected Wave) ออกมาจากพอร์ต 1 เทียบกับแรงดันของคลื่นที่เราป้อน (Incident Wave) เข้าไปที่พอร์ตเดิมคือพอร์ต 1

3.3.2 การวัดผลแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสามารถบอกคุณสมบัติของสายอากาศได้ว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นหันหน้าไปทางไหน เราควรหันหน้าสายอากาศให้ถูกทิศทางในการติดตั้งให้ถูกต้อง



รูปที่ 3.17 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

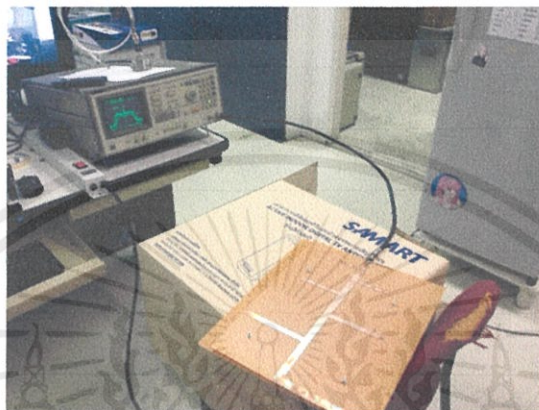
3.3.3 การวัดผลอัตรายาย

การวัดอัตรายายของสายอากาศ วัดโดยใช้สายอากาศต้นแบบที่เป็นมาตรฐาน รู้ อัตรายายที่แน่นอน เป็นสายอากาศส่งสัญญาณ และนำสายอากาศที่ต้องการวัดอัตรายายเป็นสายอากาศรับสัญญาณ โดยค่ากำลังการส่งผ่านสามารถคำนวณได้จากสูตรของฟรีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การวัดกำลังการรับสัญญาณ

การวัดกำลังการรับสัญญาณ โดยมีสายอากาศมาตรฐานต่อกับเครื่อง DVB-T2 modulator และนำสายอากาศที่ต้องการวัดกำลังการรับสัญญาณที่ความถี่ที่ต้องการต่อกับเครื่อง spectrum analyzer และวัดกำลังที่รับได้



รูปที่ 3.18 การวัดกำลังการรับสัญญาณ

3.3.5 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล

การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล โดยนำสายอากาศที่ต้องการวัดสัญญาณต่อกับกล่องรับสัญญาณดิจิทัล นำไปต่อเข้ากับโทรทัศน์ และดูความแรงและคุณภาพของสัญญาณ



รูปที่ 3.19 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล

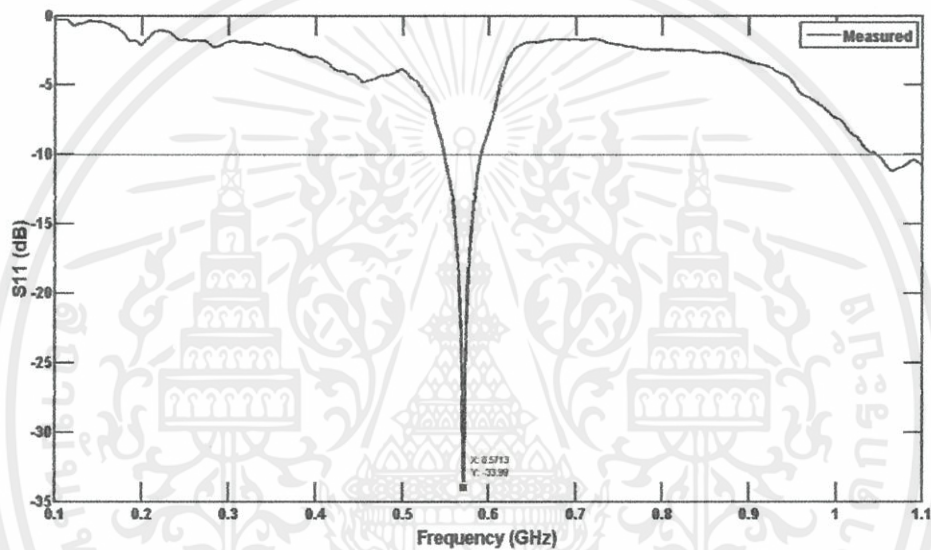
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสายอากาศแบบร่อง

4.1.1 ผลการวัด S_{11}



รูปที่ 4.1 ผลการวัด S_{11} ของสายอากาศแบบร่อง

จากการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศสายอากาศแบบร่อง จากรูปที่ 4.1 จะได้ว่าจุดที่ค่าต่ำสุด คือที่ความถี่ 571 MHz ซึ่งตกบริเวณตรงกลางของช่วงความถี่ที่ต้องการ

ซึ่งจะเห็นว่าเป็นช่วงความถี่ที่ค่อนข้างแคบ ไม่เหมาะในการใช้งานในการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่เคยกล่าวไว้ในบทที่ 3 จึงสร้างสายอากาศแถวลำดับรายคาบสี่เหลี่ยมเพื่อใช้งานรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

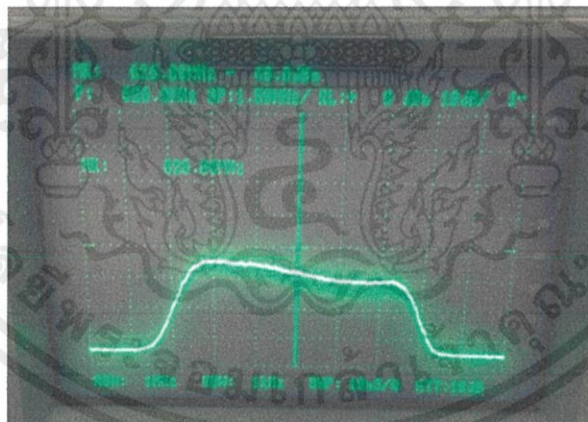
4.1.2 กราฟ smith chart



รูปที่ 4.2 ผลการวัด smith chart ของสายอากาศแบบร่อง

จากการวัดค่ากราฟ smith chart ของสายอากาศแบบร่อง จากรูปที่ 4.2 จะได้ว่า อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 571 MHz เท่ากับ 51.23 โอห์ม

4.1.3 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณ

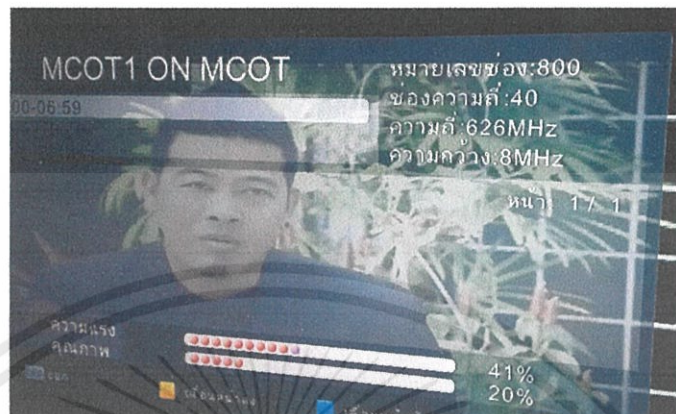


รูปที่ 4.3 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศแบบร่อง

จากการวัดกำลังของการรับสัญญาณของสายอากาศแบบร่อง จากรูปที่ 4.3 จะได้ว่า กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความถี่ 626 MHz ได้เท่ากับ -48 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล



รูปที่ 4.4 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศแบบร่อง

ตารางที่ 4.1 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศแบบร่อง

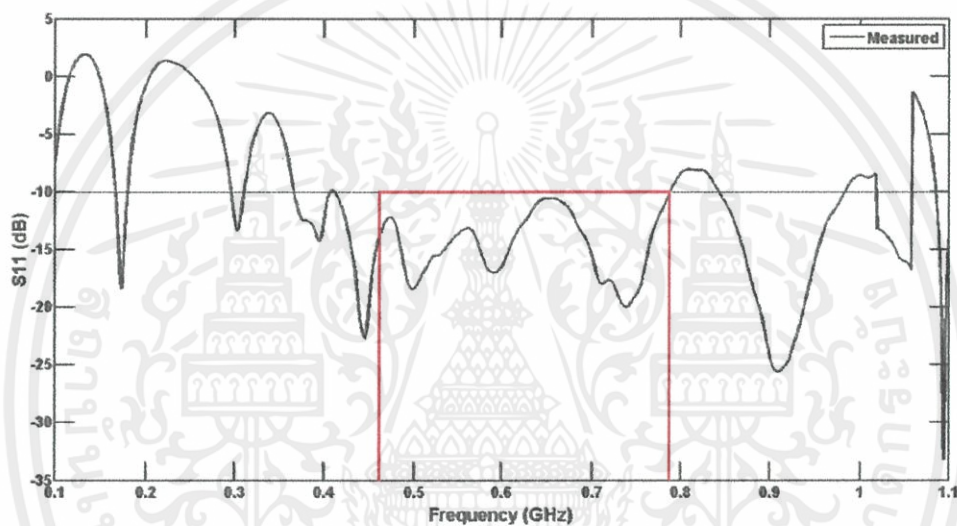
ครั้งที่	การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล			
	ความแรงสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)		คุณภาพสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
1	39	40	19	20
2	41	37	21	17
3	40	42	20	21
4	38	41	17	21
5	40	40	21	19
6	41	38	21	18
7	42	40	22	20
8	39	42	19	22
9	38	41	18	21
10	40	35	21	17
ค่าเฉลี่ย	39.8	39.6	19.9	19.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดผลการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลโดยวัดที่ความถี่ 626 MHz ได้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ 39.8 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวัน และ 39.6 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน ส่วนคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 19.9 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวันและ 19.6 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน

4.2 ผลการวิเคราะห์สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก (log periodic)

4.2.1 ผลการวัด S_{11}



รูปที่ 4.5 ผลการวัด S_{11} ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก

จากการวัดค่า S_{11} ของ สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก จากรูปที่ 4.5 จะได้ว่าสายอากาศสามารถใช้ได้ที่ความถี่ 470 MHz และสิ้นสุดที่ความถี่ 790 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

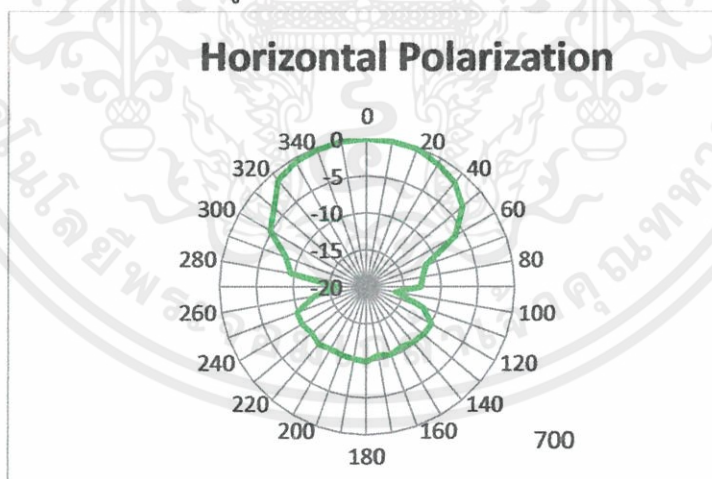
4.2.2 ผลการวัด smith chart



รูปที่ 4.6 ผลการวัด smith chart ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก

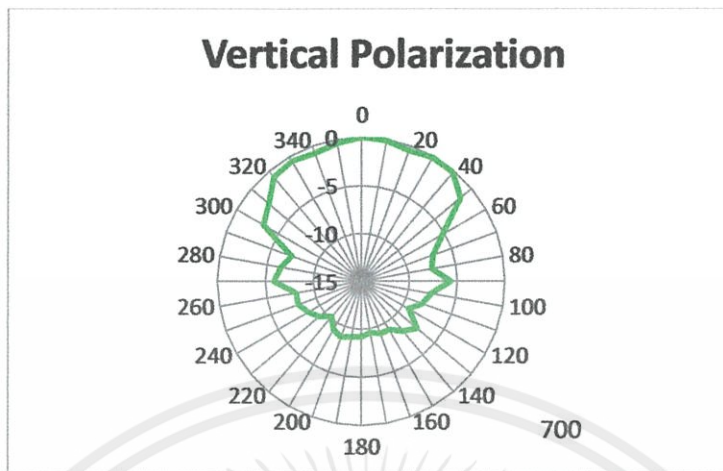
จากการวัดค่า smith chart ของ สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อก จากรูปที่ 4.6 จะได้ว่า ผลการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 470 MHz, 626MHz และ 790MHz เท่ากับ 50.22 โอห์ม, 51.22 โอห์ม และ 51.90 โอห์ม ตามลำดับ

4.2.3 ผลการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้าแนวอนที่ความถี่ 700 MHz

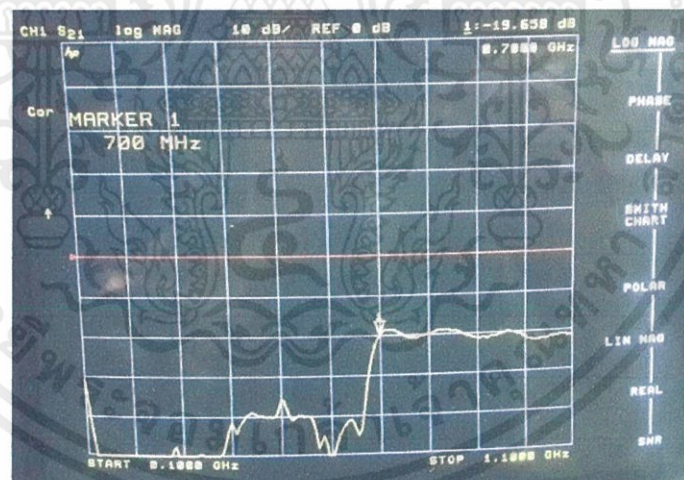
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กแนวตั้งที่ความถี่ 700 MHz

จากรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแฉกลำดับรายคาบล็อก เป็นแบบทิศทางเดียว (directional)

4.2.4 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศ



รูปที่ 4.9 ผลการวัด S_{21} ของสายอากาศแฉกลำดับรายคาบล็อก

จากรูปที่ 4.9 เป็นการวัด S_{21} ที่ความถี่ 700 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

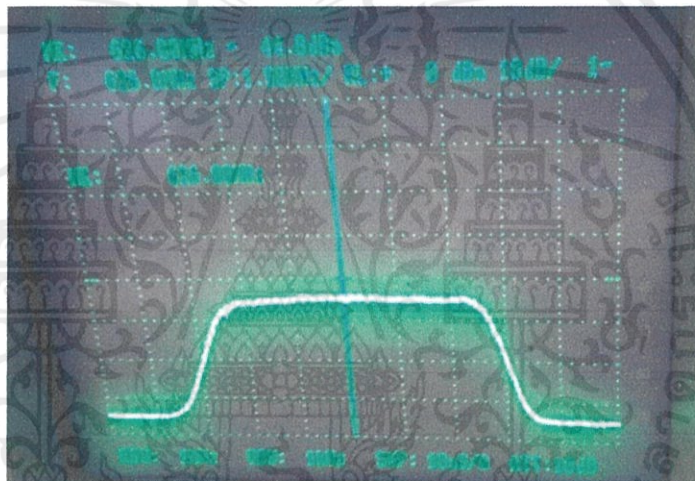
$$G_r + G_t = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

$$10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) = -19.658$$

$$G_r + 7 = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 1.5 \times 700 \times 10^6}{3 \times 10^8} \right) - 19.658$$

$$G_r = 6.202 \text{ dBi}$$

4.2.5 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณ



รูปที่ 4.10 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศแฉวลำดับรายคาบล็อก

จากการวัดกำลังของการรับสัญญาณของสายอากาศแฉวลำดับรายคาบล็อก จากรูปที่ 4.10 จะได้ว่า กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความถี่ 626 MHz ได้เท่ากับ -44.8 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 4.11 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบสื่อ

ตารางที่ 4.2 การวัดการรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ของสายอากาศแถวลำดับรายคาบสื่อ

ครั้งที่	การรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่			
	ความแรงสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)		คุณภาพสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
1	63	64	36	37
2	58	62	30	35
3	67	63	39	35
4	56	57	27	27
5	54	63	28	37
6	65	68	37	40
7	64	62	37	35
8	63	63	36	36
9	52	64	26	37
10	63	62	37	34
ค่าเฉลี่ย	60.5	62.8	33.3	35.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

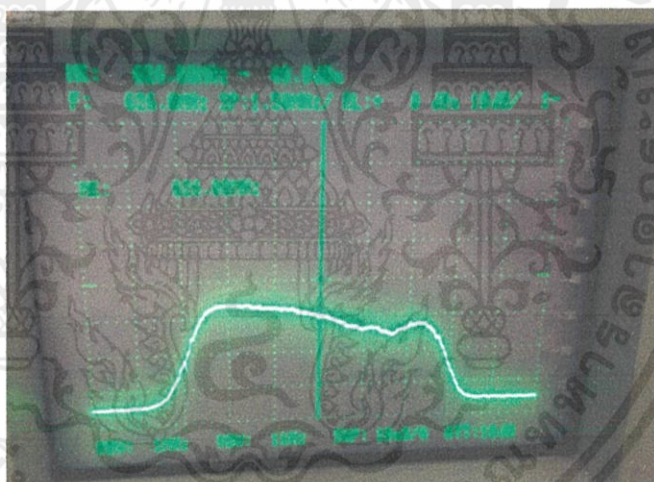
จากการวัดผลการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลโดยวัดที่ความถี่ 626 MHz ได้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ 60.5 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวัน และ 62.8 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน ส่วนคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 33.3 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวันและ 35.3 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน

4.3 ผลการวิเคราะห์สายอากาศอื่นๆ

สายอากาศตามท้องตลาดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบในโครงการนี้มีสองแบบ คือ สายอากาศรูปห้วง และสายอากาศไดโพล

4.3.1 ผลการวัดการรับสัญญาณของสายอากาศรูปห้วง

4.3.1.1 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณ

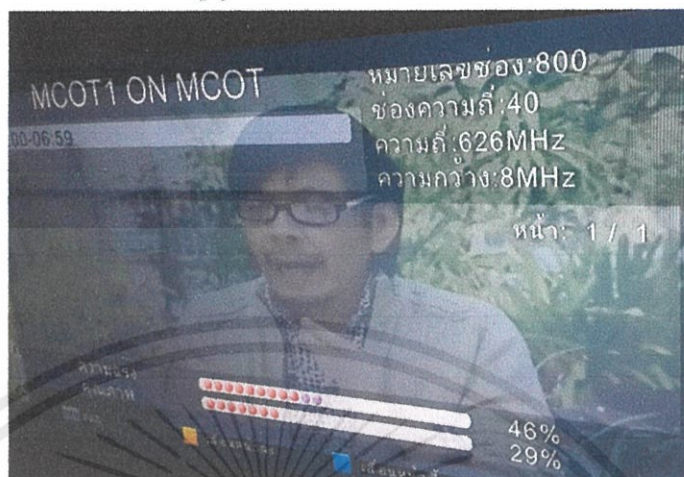


รูปที่ 4.12 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศรูปห้วง

จากการวัดกำลังของการรับสัญญาณของสายอากาศรูปห้วง จากรูปที่ 4.12 จะได้ว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ที่ความถี่ 626 MHz ได้เท่ากับ -49.9 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล



รูปที่ 4.13 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศรูปทรงแท่ง

ตารางที่ 4.3 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศรูปทรงแท่ง

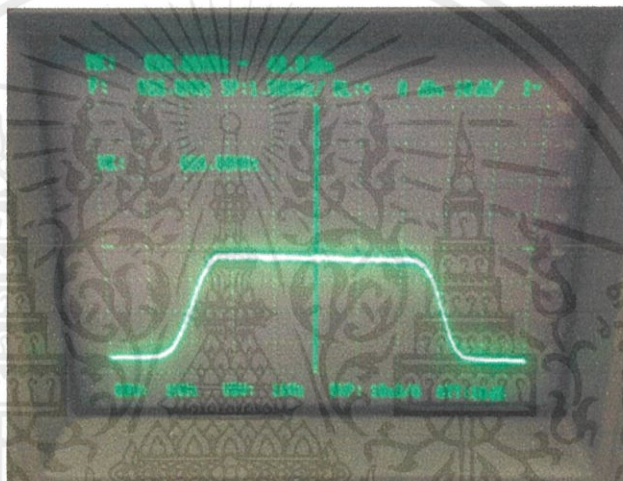
ครั้งที่	การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล			
	ความแรงสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)		คุณภาพสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
1	46	48	29	32
2	43	47	24	31
3	42	41	22	21
4	47	47	30	30
5	45	43	25	25
6	46	51	30	33
7	44	42	24	23
8	45	44	26	24
9	47	43	27	24
10	46	41	27	23
ค่าเฉลี่ย	45.1	44.7	26.4	26.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดผลการรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือโดยวัดที่ความถี่ 626 MHz ได้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ 45.1 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวัน และ 44.7 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน ส่วนคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 26.4 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวันและ 26.6 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน

4.3.2 ผลการวัดการรับสัญญาณของสายอากาศไดโพล

4.3.2.1 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณ

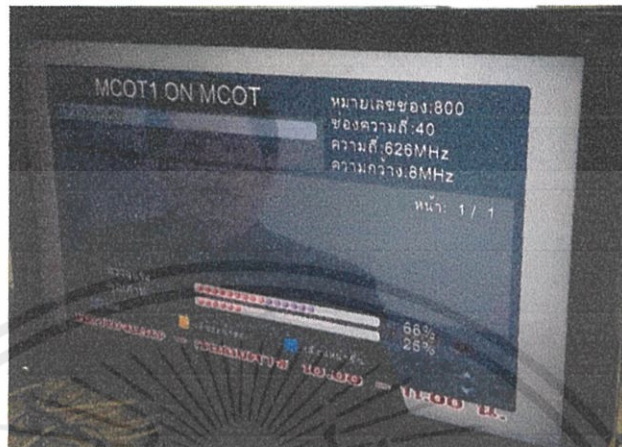


รูปที่ 4.14 ผลการวัดกำลังการรับสัญญาณของสายอากาศไดโพล

จากการวัดกำลังของการรับสัญญาณของสายอากาศไดโพล จากรูปที่ 4.14 จะได้ว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ ที่ความถี่ 626 MHz ได้เท่ากับ -43.2 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล



รูปที่ 4.15 ผลการวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศไดโพล

ตารางที่ 4.4 การวัดการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลของสายอากาศไดโพล

ครั้งที่	การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล			
	ความแรงสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)		คุณภาพสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
1	66	67	25	26
2	65	62	25	24
3	68	71	27	29
4	64	66	24	26
5	72	68	31	28
6	70	67	29	27
7	62	62	23	24
8	64	61	24	21
9	66	70	26	29
10	68	68	27	26
ค่าเฉลี่ย	66.5	66.2	26.1	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดผลการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลโดยวัดที่ความถี่ 626 MHz ได้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ 66.5 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวัน และ 66.2 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน ส่วนคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 26.1 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางวันและ 26.0 เเปอร์เซ็นต์ในเวลากลางคืน

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบสายอากาศชนิดต่างๆ ในเวลากลางวัน

ชนิดของสายอากาศ	กำลังการรับสัญญาณ(dBm)	การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล	
		ความแรงสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)	คุณภาพสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)
สายอากาศแบบร่อง	-48	39.8	19.9
สายอากาศแถวลำดับ รายคาบลือก	-44.8	60.5	33.3
สายอากาศรูปห้วง	-49.9	45.1	26.1
สายอากาศไดโพล	-43.2	66.5	26.1

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบสายอากาศชนิดต่างๆ ในเวลากลางคืน

ชนิดของสายอากาศ	กำลังการรับสัญญาณ(dBm)	การรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล	
		ความแรงสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)	คุณภาพสัญญาณ (เปอร์เซ็นต์)
สายอากาศแบบร่อง	-48	39.6	19.6
สายอากาศแถวลำดับ รายคาบลือก	-44.8	62.8	35.3
สายอากาศรูปห้วง	-49.9	44.7	26.6
สายอากาศไดโพล	-43.2	66.2	26.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

สายอากาศแบบร่องเป็นสายอากาศที่มีแถบความถี่ค่อนข้างแคบ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่วัดได้ดีที่สุดที่ความถี่ 571 MHz ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งานในช่วงความถี่ที่ออกอากาศทั้งหมด และมีค่าความแรงสัญญาณและคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่ได้นำมาเปรียบเทียบ จึงเห็นว่าสายอากาศแบบร่องไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นสายอากาศรับภายในอาคาร

สายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อกเป็นสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้าง มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่สามารถใช้ได้ในช่วงความถี่โทรทัศน์ดิจิทัลที่ต้องการ คือ ความถี่ 470 MHz ถึง 790 MHz อัตราขยายของสายอากาศที่วัดได้เท่ากับ 6.2 dBi การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับรายคาบล็อกเป็นแบบทิศทางเดียว ผลการวัดการรับกำลังของสัญญาณได้ -44.8 dBm และผลการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ความแรงของสัญญาณที่รับได้ 62.8 เปรอร์เซ็นต์ และคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 35.3 เปรอร์เซ็นต์ ถือได้ว่าสายอากาศที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถใช้งานในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลได้อย่างเหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสายอากาศที่สร้าง มีอัตราขยายของสายอากาศ 6.2 dB เมื่อเปรียบเทียบการทำงานกับสายอากาศอื่นๆ ถือว่ามีสายอากาศที่สร้างนั้นมีอัตราขยายที่ดี สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน แต่ขนาดเกินกว่า 1 ฟุต x 1 ฟุต เพียงเล็กน้อย เนื่องจากอาจมีข้อจำกัดในเรื่องของต้นทุนและการจัดหาวัสดุ ซึ่งอาจมีการปรับแต่งเพื่อให้เกิดการแมตซ์อิมพีแดนซ์และความถี่รวมทั้งแบนวิดท์ตามที่ต้องการ โดยนำสายอากาศนี้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาให้มีขนาดเหมาะสมแก่การใช้งานมากยิ่งขึ้นเพื่อความสะดวกในการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Constantine A. Balanis, *antenna theory - analysis and design* 3rd ed. John Wiley & Sons : New Jersey,2005.
- [2] Walter Fischer , *Digital Video and Audio Broadcasting Technology* 3rd ed. A Practical Engineering Guide , 2010
- [3] Log Periodic Dipole Array , *Antenna Theory* , <http://www.antenna-theory.com/> , 2009
- [4] รายงานผลการศึกษาและจัดทำมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล , สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.
- [5] มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล , สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ขอบข่าย

มาตรฐานทางเทคนิคนี้ ระบุ ข้อกำหนด ทางเทคนิคสำหรับ อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television - Receiver) ที่ติดตั้งใช้งานในส่วนของผู้ใช้บริการ ทั้งที่เป็นแบบ integrated และ แบบ non-integrated (Set-top-box)

2 มาตรฐานทางเทคนิคขั้นต่ำสำหรับ อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television - Receiver)

มาตรฐานทางเทคนิคขั้นต่ำสำหรับ อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน นี้ ระบุ ข้อกำหนด ทางเทคนิค ขั้นต่ำซึ่งอุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน จำเป็นต้องมีขีดความสามารถดังกล่าว เพื่อการรับบริการโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ

2.1 ด้านการรับสัญญาณ

2.1.1 คุณสมบัติด้านคลื่นความถี่ (Radio Frequency)

- i. ย่านความถี่ภาครับสัญญาณ: 470 – 860 MHz ในย่าน UHF Band IV และ V
- ii. ความกว้างช่องสัญญาณ: 8 MHz (Signal Bandwidth 7.61 MHz)
- iii. ค่า Noise Figure ของอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน : ต่ำกว่า 7 dB ในย่าน UHF Band IV และ V
- iv. การออฟเซตความถี่ช่องสัญญาณ (Channel Offset): อุปกรณ์ภาครับ ต้องสามารถรับสัญญาณคลื่นพาห์ที่ออฟเซตไปจากความถี่ศูนย์กลางช่องสัญญาณ ไม่เกิน ± 125 kHz

2.1.2 อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับ โครงสร้างเฟรม (Framing Structure) การถอดรหัสช่องสัญญาณ (Channel Decoding) และการมอดูเลตสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินตามที่กำหนดไว้ใน มาตรฐาน ETSI EN 300 744: Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television

- i. เวลาในการค้นหาและ จับสัญญาณของ อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินจะต้อง น้อยกว่า 2 วินาที เมื่อเปลี่ยนช่องความถี่ หรือน้อยกว่า 5 วินาที เมื่อผู้ให้บริการโทรทัศน์เปลี่ยน โหมดการส่ง COFDM ซึ่งจะกำหนดโดยสัญญาณ Transmission Parameter Signaling (TPS) หรือใน Network Information Table (NIT) ที่รับได้

2.1.3 การทำงานในโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN)

- i. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับการทำงานในโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN) ตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้เอกสารฉบับนี้จะต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

ETSI TR 101 191: Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization

- ii. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถทำงานได้ดี เมื่อสัญญาณพหุวิถี (Multipath Signal) ที่รับได้ยังอยู่ในช่วง Guard Interval (GI)
- iii. หากรับได้ มากกว่าหนึ่ง สัญญาณในเวลาเดียวกัน ในโครงข่ายความถี่เดียว และสัญญาณที่รับได้มี กำลังไล่เลี่ย กัน อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินจะต้องเลือกแสดงผลสัญญาณที่รับได้ก่อน หากสัญญาณที่รับภายหลังมีกำลังต่างกันไม่เกิน ± 3 dB

2.2 ด้านสัญญาณ Baseband

- 2.2.1 อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับการ แยกสัญญาณ (Demultiplex) กระแสขนส่ง (Transport Stream) ขึ้นต่ำตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI TS 101 154 V1.8.1: Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream
- 2.2.2 อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถ ถอดรหัสภาพเคลื่อนไหว พร้อมเสียงตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/IEC 13818-1: Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems
- 2.2.3 อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถ ถอดรหัสภาพเคลื่อนไหว ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/IEC 14496-10: Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 10: Advanced Video Coding (MPEG4 H.264/AVC)
- 2.2.4 อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถ ถอดรหัสเสียงตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานต่อไปนี้
 - i. ISO/IEC 14496-3: Information technology – Coding of audio-visual objects – Part 3: Audio (MPEG4 HE AAC)
 - ii. ISO/IEC 13818-3: Generic coding of moving pictures and associated audio information – Part 3: Audio (MPEG1 Layer 2)

2.3 ด้านข้อมูลให้บริการ (Service Information) และการประมวลผลตัวบอกรหัส (Processing Descriptor)

- 2.3.1 การประมวลผล PSI/SI และการตีความตัวบอกรหัส: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถ ประมวลผลและใช้งาน Program Specific Information (PSI) ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO/IEC 13818-1 และส่วนขยายของมาตรฐาน ETSI TS 101 154 V1.8.1 และ ข้อมูล Service Information (SI) ตามที่กำหนดไว้ใน ETSI EN 300 468

- 2.3.2 Service Information (SI) ที่ไม่สามารถระบุได้: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องเพิกเฉยต่อ SI หรือตารางที่ไม่สามารถระบุได้ และต้องทิ้งสัญญาณ PSI/SI ถ้าไม่เป็นที่ยอมรับหรือไม่สนับสนุน
- 2.3.3 การกวาดตรวจหา PSI/SI ในเครือข่ายและ Service Identification:
- i. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินจะต้องสนับสนุนการกวาดตรวจเครือข่ายผ่านทางตาราง Network Information Table (NIT)
 - ii. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถตรวจจับและปรับข้อมูล PSI/SI ให้เป็นปัจจุบัน ทุกๆ ช่วงเวลาที่สั้นกว่า 100 msec
 - iii. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถปรับปรุงข้อมูล PSI/SI ได้ทันทีในหน่วยความจำโดยไม่จำเป็นต้อง Reset, Retune, หรือ Restart
- 2.3.4 การเลือกเวลา Time and Date Table (TDT), Time Offset Table (TOT), และ Program Clock Reference (PCR): เครื่องรับต้องใช้ตารางเวลา TDT, TOT สำหรับระบบเวลาของอุปกรณ์ และสามารถแบ่งเขตเวลา ตาม UTC หรือ GMT ได้ และต้องถอดรหัสและนำเสนอบริการอย่างถูกต้องพร้อมกัน โดยอ้างอิงกับ PCR ทุกๆ ช่วงเวลาที่สั้นกว่า 100 msec
- 2.3.5 ข้อมูลผังรายการอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Programme Guide: EPG):
- i. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถถอดรหัสและแสดงข้อมูลจากตาราง Event Information Table (EIT) และข้อมูล Electronic Programme Guide (EPG) ตามมาตรฐาน ETSI EN 300 468 และมาตรฐาน TR 101 211
 - ii. การแสดงผลข้อมูล EPG จะต้องประกอบด้วย ชื่อบริการ ชื่อรายการ ความยาวของรายการ เวลารายการที่ผ่านไป คำอธิบายโดยย่อ คำอธิบายขยายความ รายการกำลังเสนอและรายการถัดไป วันและเวลาปัจจุบัน
 - iii. อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องจัดเตรียมข้อมูลรายการ 7 วันล่วงหน้า เพื่อการแนะนำรายการและถ่ายทอดการสืบค้น และ เครื่องรับจะต้องสามารถทำงานต่อไปถึงแม้ ไม่มีการส่ง EIT
- 2.3.6 การตอบสนองและการปรับตารางให้เป็นปัจจุบัน: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถระบุการเปลี่ยนแปลงรายการหรือบริการใหม่ ในช่องสัญญาณหรือใน Multiplex ซึ่งตรวจสอบได้จากตาราง Network Information Table (NIT) และ Service Description Table (SDT) อย่างสม่ำเสมอทุก 10 วินาที

2.4 ด้านการถอดรหัสและการแสดงผลสัญญาณภาพ (Video Codec and Presentation)

- 2.4.1 อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้อง สามารถถอดรหัสและแสดงผลสัญญาณภาพได้ดังนี้
- i. HD H.264/AVC 1920x1080i frame rate 25 aspect ratio 16:9

iii. SD H.264/AVC 720x576i frame rate 25 aspect ratio 4:3

2.4.2 อัตราส่วนภาพ: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องเตรียมการรับการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนภาพของผู้ใช้ ไปมาระหว่างภาพ 4:3 และ 16:9 ให้เหมาะสมกับขนาดของภาพและอัตราส่วนภาพ

2.5 ด้านการถอดรหัสและการแสดงผลสัญญาณเสียง (Audio Codec and Presentation)

2.5.1 กระแสสัญญาณหลายช่องเสียง (Multi Audio Stream): อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถจัดการกับกระแสสัญญาณหลายช่องเสียง ในบริการเดียวกันและมีข้อมูล PSI/SI เหมือนกัน เช่นตัว บ่งชี้ภาษา และเครื่องรับจะต้องเตรียมการรับการเปลี่ยนเสียงไปมาโดยผู้ใช้

2.5.2 การ Lipsync ภาพและเสียง: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับกรณี ภาพและเสียงไม่ตรงกัน เมื่ออ้างอิงกับ Program Clock Reference (PCR) ไม่น้อยกว่า +/- 10 msec

2.6 ด้านการทำงานของระบบ

2.6.1 ระบบปฏิบัติการและหน่วยความจำ : อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องมีระบบปฏิบัติการเวลาจริงฝังอยู่ในตัว (Realtime Embedded Operating System) และหน่วยความจำแบบไม่ลบเลือนได้ง่าย (Non-volatile memory)

2.6.2 การเปิดใช้งานครั้งแรก: เมื่อเปิดใช้งานครั้งแรก อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องร้องขอข้อมูลการตั้งค่าการทำงานเบื้องต้นดังนี้

- i. ภาษาที่จะแสดงบนจอ เช่น ไทย / อังกฤษ (ค่าเริ่มต้น ภาษาไทย)
- ii. เริ่มการกวาดตรวจ ด้วยมือ/อัตโนมัติ (Manual/Automatic) เพื่อค้นหาการบริการโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินทั้งหมดที่มีอยู่

2.6.3 การเริ่มต้นกวาดตรวจช่องสัญญาณ (Initial Channel Scan): อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถกวาดตรวจการบริการ เริ่มตั้งแต่ UHF Band IV จนถึง UHF Band V และตรวจหา COFDM ทุกพารามิเตอร์จนกระทั่งพบพารามิเตอร์ในการส่ง ทั้งนี้เครื่องรับจะต้องรองรับทั้งแบบการกวาดตรวจด้วยมือและโดยอัตโนมัติ (Manual/Automatic)

2.6.4 ข้อมูลความแรงและคุณภาพสัญญาณ: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถแสดงความแรง (Signal Strength) และคุณภาพ (BER) ของสัญญาณที่รับได้ เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้ ติดตั้ง และปรับทิศทางสายอากาศเพื่อรับสัญญาณได้ดีที่สุด รวมทั้งใช้ประโยชน์ในการพิสูจน์ และแก้ปัญหาในการรับสัญญาณ

2.6.5 รายชื่อบริการที่มีอยู่: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถแสดงรายชื่อบริการที่มีอยู่ ตามลำดับ Logical Channel Number (LCN) น้อยไปหามาก และจะต้องยินยอมให้ผู้ใช้สามารถกำหนดลำดับช่องได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารฉบับนี้ และขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

- 2.6.6 การไม่มีการให้บริการ หรืออุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ไม่รองรับ การให้บริการ: เมื่อการบริการไม่สามารถเข้าถึง ด้วยสาเหตุขัดข้องใด อุปกรณ์ภาครับ ของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินจะต้องสามารถแสดงข้อขัดข้องเหล่านั้นบนจอภาพ เช่น
- ไม่มีบริการ (Service Unavailable)
 - เครื่องรับไม่สามารถรับบริการได้ (Service not supported by receiver)
 - สัญญาณอ่อนหรือไม่มีสัญญาณ (Poor RF Signal)
- 2.6.7 การเปิดเครื่องใช้งานหลังจากเปิดครั้งแรก : อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัล ภาคพื้นดินจะกลับไปช่องที่รับชมครั้งสุดท้าย หรือเริ่มที่ช่องที่ตั้งไว้
- 2.6.8 ภาษาและตัวอักษร: เพื่อนำเสนอ Electronics Programme Guide (EPG) และการ แสดงผลต่างๆ อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องรองรับรหัส Unicode เพื่อแสดงผลอักษรภาษาไทยและภาษาอังกฤษได้
- 2.6.9 การเริ่มต้นใหม่ของส่วนอุปกรณ์/การปลุกเครื่องอีกครั้ง /ค่าเริ่มต้นที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ (hardware reset/reboot/factory default setting): อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัล ภาคพื้นดินจะต้องรองรับการเริ่มต้นใหม่ทั้งแบบทันทีทันใด (hot reset) แบบค่อยๆ เริ่มต้นใหม่ (cold reset) และการเริ่มต้นใหม่เต็มกระบวนการตามค่าเริ่มต้นที่ผู้ผลิต กำหนดไว้ (full reset to default)
- 2.6.10 การทำงานในโหมดเตรียมพร้อม (Standby Power): อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับ โหมดเตรียมพร้อมเพื่อการประหยัด พลังงาน ไฟฟ้า
- 2.7 **ด้านระบบคำบรรยายได้ภาพ (Subtitling)**
- 2.7.1 อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับ ระบบคำบรรยายได้ ภาพ (Subtitling) ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 300 743: Subtitling systems
- 2.7.2 ความแม่นยำในการแสดงผลคำบรรยายได้ภาพ จะต้องผิดพลาดไม่เกิน +/- 40 msec
- 2.7.3 อุปกรณ์ภาครับของ โทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถจัดการกับคำบรรยายได้ ภาพแบบหลายภาษาในเวลา เดียวกันตามที่ระบุไว้ในข้อมูล Program Specific Information (PSI) หรือ Service Information (SI)
- 2.7.4 อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องเตรียมการรับการปิด เปิด และเลือก แสดงคำบรรยายได้ภาพภาษาต่างๆ
- 2.8 **ด้านการ Update Software**
- อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินต้องสามารถ รองรับการ update software ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI TS 102 006: Specification for System Software Update in DVB Systems

2.9 ด้านหัวต่อและส่วนต่อเชื่อม

- 2.9.1 หัวต่อ Radio Frequency (RF): อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องมีหัวต่อภาครับ Radio Frequency (RF input) ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC 60169-2 (UHF) female ความต้านทาน 75 Ω และหัวต่อภาคส่ง Radio Frequency loop-through (RF loop-through male)
- 2.9.2 หัวต่อสัญญาณภาพ แบบ Composite Video: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องมีหัวต่อภาคส่ง สัญญาณภาพ แบบ Composite Video แบบ RCA ระบบ PAL/NTSC ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC48B Section 316
- 2.9.3 หัวต่อสัญญาณเสียง: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องมีหัวต่อภาคส่งสัญญาณเสียงแบบ RCA Stereo โดยหัวต่อสีขาวสำหรับเสียงด้านซ้าย และหัวต่อสีแดงสำหรับเสียงด้านขวา

2.10 ด้านกำลังไฟฟ้าขาเข้า

อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ต้องสามารถรองรับกำลังไฟฟ้าขาเข้า กระแสสลับ (AC) ที่ 90 – 240 V 50 Hz หรือกำลังไฟฟ้าขาเข้ากระแสตรง (DC)

3 มาตรฐานทางเทคนิคทางเลือกสำหรับอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television - Receiver)

มาตรฐานทางเทคนิค ทางเลือก สำหรับอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินระบุข้อกำหนดทางเทคนิคที่เป็นทางเลือกสำหรับอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน เพื่อการเพิ่มเติมรูปแบบ (features) การรับบริการต่างๆ แก่ผู้ใช้บริการ หรือเพื่อการสนับสนุนและปรับปรุงคุณภาพการรับบริการ ซึ่งหากอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน มีขีดความสามารถได้ตามมาตรฐานทางเลือกนี้ จำเป็นต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้ด้วย

3.1 ด้านการถอดรหัสและการแสดงผลสัญญาณเสียง (Audio Codec and Presentation)

การถอดรหัสสัญญาณเสียง ดอลบี ดิจิทัล AC-3: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินสามารถถอดรหัสสัญญาณเสียงมาตรฐาน Dolby Digital AC-3 แบบ 5.1 ช่องเสียงได้ ซึ่งต้องสามารถส่งผ่าน Dolby AC-3 แบบ 5.1 ช่องเสียง และต้องสามารถผสม 5.1 ช่องเสียง ลงมาเป็น 2 ช่องเสียงสเตอริโอ สำหรับอัตราบิต 32kbps-384kbps ที่อัตราสุ่ม 32KHz, 44.1KHz และ 48KHz

3.2 ด้าน Teletext

- 3.2.1 การถอดรหัสข้อมูล Teletext System B ตามมาตรฐาน ITU-R ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 300 472: Specification for conveying ITU-R System B Teletext in DVB bitstreams

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้เป็นของประเทศไทยและจะสงวนไว้เป็นลิขสิทธิ์ของประเทศไทยทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ด้านหัวต่อและส่วนต่อเชื่อม

- 3.3.1 หัวต่อส่งสัญญาณภาพ Analog Component: Analog Component Output YPbPr สำหรับอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน จัดเตรียมโดยใช้หัวต่อแบบ RCA (RCA-phonos socket)
- 3.3.2 หัวต่อ HDMI: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน สามารถรองรับ หัวต่อ HDMI สำหรับ output แบบดิจิทัลที่สามารถป้องกันการทำสำเนา (HDCP)
- 3.3.3 หัวต่อ ดิจิทัล ออดิโอ: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน สามารถเตรียม หัวต่อ แบบ S/PDIF (Coaxial) หรือ หัวต่อแบบ Optical (TOSLINK) สำหรับ Digital Audio Output เพื่อรองรับระบบเสียงแบบ MPEG-4 HE-ACC และ pass-through Dolby Digital AC-3
- 3.3.4 กำลังไฟฟ้าสำหรับสายอากาศ ภาครับ: อุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน สามารถเตรียมกำลังไฟฟ้า ขนาด 5V DC สำหรับสายอากาศแบบขยายสัญญาณได้ และสามารถเลือกเปิด/ปิดได้จากเมนู (menu)

4 มาตรฐานทางเทคนิค ด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Compatibility)

มาตรฐานทางเทคนิคด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEC/CISPR 13: Sound and television broadcast receivers and associated equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement

5 มาตรฐานทางเทคนิค ด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า (Electrical Safety Requirements)

มาตรฐานทางเทคนิคด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ภาครับของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งดังต่อไปนี้

- i. IEC 60950-1 : Information Technology equipment – Safety _ Part 1: General requirements
- ii. มอก. 1561 – 2548 : ปรกัณฑ์เทคโนโลยีสารสนเทศ เฉพาะด้านความปลอดภัย : ข้อกำหนดทั่วไป