

การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศยากิ-อูตะสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์
ดิจิทัลที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน

โดย

นางสาวกীরติกานต์ ใจเอื้อ รหัสประจำตัว B5313396



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2546

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2556

การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศยาคิ-อูตะที่ใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลที่มีขาย
ในท้องตลาดปัจจุบัน

คณะกรรมการสอบโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปี
การศึกษา 2556

โครงการน การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศยาภิ-อูคะสำหรับรับสัญญาณ
โทรทัศน์ดิจิตอลที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน

โดย นางสาวกิริติกานต์ ใจเอื้อ รหัส B5313396

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่ 3/2556

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศยาภิ-อูคะที่ใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยจะทำการสุ่มซื้อสายอากาศยาภิ-อูคะมาทั้งหมด 5 ตัว จาก 3 บริษัท โดยสายอากาศแต่ละตัวมีอัตราขยายที่แตกต่างกันเพื่อนำมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการทดสอบจะประกอบไปด้วยการดูค่าความกว้างแถบ (Bandwidth) และการหาอัตราขยายที่แท้จริง การหาอัตราขยายที่แท้จริงนั้นเราจะออกแบบและสร้างสายอากาศขึ้นมา 2 ตัว เพื่อเป็นสายอากาศภาคส่งที่มีคุณสมบัติให้อัตราขยายที่คิดตลอดทั้งย่านความถี่ที่ใช้ในระบบทีวีดิจิตอล (ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 862 MHz) จากนั้นทำการสรุปผลและเปรียบเทียบว่าผลการทดลองที่ได้มานั้นสอดคล้องกับค่าโฆษณาของผู้ผลิตสายอากาศยาภิ-อูคะที่มีขายในปัจจุบันหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ท่านได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิดการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และดูแลเอาใจใส่ติดตามผลงานอย่างใกล้ชิด ชี้แนะข้อบกพร่อง ตลอดจนช่วยฝึกฝนและการสนับสนุนผู้จัดทำโครงการ ให้มีความสามารถในการทำโครงการจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำโครงการมาโดยตลอด นายพีรศักดิ์ คำสาดี นักศึกษารุ่นพี่วิศวกรรมโทรคมนาคมที่คอยแนะนำและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ รวมถึงการสอนใช้เครื่อง Network Analyzer คณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาให้แก่ผู้จัดทำโครงการทำให้การทำโครงการชิ้นนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

นางสาวกิริติกันต์ ใจเอื้อ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 แฉวลำดับของสายอากาศ (Antenna Arrays)	4
2.3 สายอากาศยาคี – อูดา (Yagi – Uda Antenna)	6
2.4 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)	8
2.4.1 คุณลักษณะของแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Characteristics of a Rectangular Patch)	9
2.4.2 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna Impedance)	11
2.5 สูตรคำนวณอัตราขยาย	12
2.5.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศ ที่ทำขึ้นมาเพื่อเป็นสายอากาศภาคส่ง	12
2.5.2 สูตรการคำนวณค่า Effective Radiated Power (ERP)	15
2.5.3 สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศยาคี ที่ใช้เป็นสายอากาศภาครับ	16

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ	
3.1 บทนำ	18
3.2 ข้อมูลสายอากาศวิทยิ-อูคะ ที่สุ่มซื้อมาทดสอบทั้ง 5 ตัว	18
3.3 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศวิทยิ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว	22
3.4 วิธีการออกแบบสายอากาศภาคส่งสำหรับการวัดอัตราขยาย	28
3.5 ขั้นตอนการวัดอัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง	33
3.6 ผลการวัดอัตราขยายและค่า ERP ของสายอากาศภาคส่ง	34
3.7 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศวิทยิ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว	37
บทที่ 4 ข้อสรุปและปัญหา อุปสรรค พร้อมข้อเสนอแนะของโครงการ	
4.1 กล่าวนำ	45
4.2 ผลสรุปของการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศวิทยิ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว	45
4.3 ผลสรุปของการวัดอัตราขยายของสายอากาศวิทยิ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว	46
4.4 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการดำเนินการทดสอบ	47
4.5 ข้อเสนอแนะ	47
4.6 กล่าวสรุป	48
ภาคผนวก ก ค่าการสูญเสียของอุปกรณ์และสายนำสัญญาณ	49
บรรณานุกรม	52
ประวัติผู้เขียน	53

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 สายอากาศแถวลำดับที่สร้างจากสายอากาศพื้นฐานชนิดต่างๆ	5
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศยาคิ	6
รูปที่ 2.3 แสดงสายอากาศยาคิที่มีองค์ประกอบ 2 ตัว โดยที่ขนาดกระแสบนสายอากาศทั้งสองตัวเท่ากัน และมีเฟสตรงข้ามกัน	7
รูปที่ 2.4 แพทช์ของไมโครสตริปที่ป้อนผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป	8
รูปที่ 2.5 สายอากาศไมโครสตริปรูปวงกลมที่มีการป้อนกระแสผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป	9
รูปที่ 2.6 สายอากาศไมโครสตริปพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก	9
รูปที่ 2.7 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแพทช์	10
รูปที่ 3.1 สายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทสากลแอนเทนน่า รุ่น VU35	18
รูปที่ 3.2 สายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น 222VU 14E	19
รูปที่ 3.3 สายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E	20
รูปที่ 3.4 สายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD3E	20
รูปที่ 3.5 สายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD14E	21
รูปที่ 3.6 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทสากลแอนเทนน่า รุ่น UV35	22
รูปที่ 3.7 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น 222 VU	23
รูปที่ 3.8 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E	24
รูปที่ 3.9 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อูคะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD3E	25

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.10 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาก็-อูคะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD14E	26
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์จาก 75 โอห์ม เป็น 50 โอห์ม	27
รูปที่ 3.12 แสดงขนาดของสายอากาศภาคส่ง	28
รูปที่ 3.13 แสดงกราฟการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) จากโปรแกรม CST Microwave Studio	29
รูปที่ 3.14 แสดงผลการจำลองการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศจากโปรแกรม CST Microwave Studio	30
รูปที่ 3.15 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า	30
รูปที่ 3.16 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก	31
รูปที่ 3.17 สายอากาศที่ทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว	31
รูปที่ 3.18 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศภาคส่งตัวที่ 1	32
รูปที่ 3.19 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศภาคส่งตัวที่ 2	32
รูปที่ 3.20 การจัดวางสายอากาศในห้อง Chamber Room	33
รูปที่ 3.21 ผลการวัดอัตราขยายของกลุ่มที่ 1 และ 2	34
รูปที่ 3.22 ผลการวัดอัตราขยายของกลุ่มที่ 3	35
รูปที่ 3.23 ผลการวัดอัตราขยายของกลุ่มที่ 4 และ 5	35
รูปที่ 3.24 Step Attenuator	36
รูปที่ 3.25 ตารางผลการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศยาก็ทั้ง 5 ตัว	38
รูปที่ 3.26 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัทสามารต รุ่น D3E	40
รูปที่ 3.27 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัท BETA รุ่น HD3E	41
รูปที่ 3.28 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัทสากล รุ่น 35VU	42

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.29 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัท BETA รุ่น HD14E	43
รูปที่ 3.30 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัท สามารต รุ่น 222VU	44



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปี พ.ศ.2557 ทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้กำหนดให้มีการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ ดิจิตอล (Digital TV) ในย่านความถี่ UHF ตั้งแต่ความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz จำนวน 48 ช่อง ซึ่งประชาชนที่อยู่ห่างไกลจากสถานีส่งแต่ละแห่งมีความจำเป็นต้องใช้สายอากาศแบบมี ทิศทางที่มีอัตราขยายสูงและมีความกว้างแถบที่กว้าง (High Gain & Wide Band Antenna) มา ทดแทนสายอากาศแบบเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสายอากาศยาก็-อูตะที่มี อัตราขยายสูงแต่มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่แคบ จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีผู้ผลิต สายอากาศแบบยาก็-อูตะออกมาจำหน่ายโดยอ้างคุณสมบัติว่าเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูง และมีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่กว้างเพียงพอและครอบคลุมย่านความถี่ของการส่ง สัญญาณทีวีดิจิตอลที่กำลังจะเกิดขึ้น โครงการนี้จะทำการศึกษาและทดสอบคุณลักษณะของ สายอากาศยาก็-อูตะดังกล่าวว่ามีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวถึงจริงหรือไม่ และเพื่ออาจใช้ประโยชน์ใน การคุ้มครองผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการศึกษาและทดสอบว่าสายอากาศยาก็-อูตะที่ผลิตขายเพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ ดิจิตอลนั้นมีอัตราขยายสูงและมีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่กว้างจริงหรือไม่
2. เพื่ออาจใช้ประโยชน์ในการคุ้มครองผู้บริโภค

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. สุ่มซื้อสายอากาศยาก็-อูตะจำนวน 3 บริษัท จำนวน 5 รุ่น ที่มีอัตราขยายต่างกัน
2. ทำการวิเคราะห์รูปแบบของการออกแบบของสายอากาศ
3. ทำการวัดทดสอบหาอัตราขยายและความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศที่เกิดขึ้นจริงในห้องปฏิบัติการ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นหาว่าข้อมูล
2. เขียนโครงการและนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา
3. หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ ได้แก่

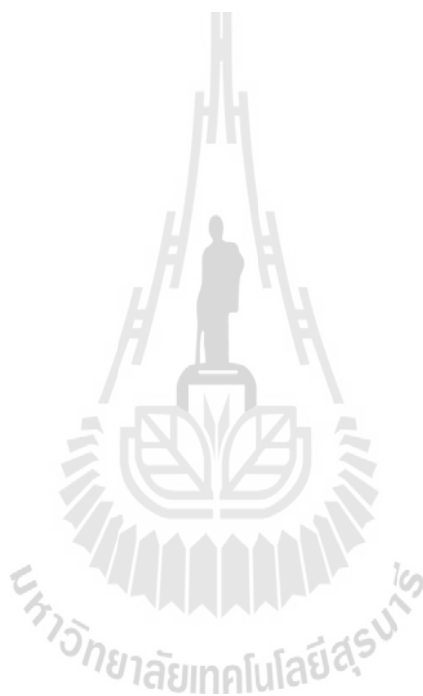
- สายอากาศยาคี-อูตะ บริษัท สากลแอนเทนน่า รุ่น VU35	1	ตัว
- สายอากาศยาคี-อูตะ บริษัท สามารถ รุ่น 222VU	1	ตัว
- สายอากาศยาคี-อูตะ บริษัท สามารถ รุ่น D3E	1	ตัว
- สายอากาศยาคี-อูตะ บริษัท ยิงเจริญ รุ่น HD3E	1	ตัว
- สายอากาศยาคี-อูตะ บริษัท ยิงเจริญ รุ่น HD14E	1	ตัว
- หัว Connector และ Adapter		
4. ทดสอบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ดังนี้
 - วัดค่า การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศยาคี-อูตะทั้ง
 - 5 ตัวโดยใช้เครื่อง Network Analyzer (เพื่อดูความกว้างแถบ)
5. ออกแบบและสร้างสายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมือนกันขึ้นมา 2 ตัว โดยสามารถใช้งานได้ดีในช่วงความถี่ 470 – 862 MHz. (ออกแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio)
6. เมื่อได้สายอากาศจากข้อ 5. แล้ว นำมาวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) โดยใช้เครื่อง Network Analyzer และหาอัตราขยายที่แท้จริงเพื่อใช้เป็นสายอากาศภาคส่งต่อไป(การหาอัตราขยายนั้นทำได้โดยให้สายอากาศตัวที่หนึ่งเป็นภาคส่งสายอากาศตัวที่สองเป็นภาครับ แล้วนำค่า P_r ที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง Network Analyzer มาคำนวณหาอัตราขยายที่แท้จริง โดยใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis Transmission Equation) ทำทุกความถี่กลางของแต่ละช่องของระบบโทรทัศนิจิตอลที่ กสทช. ได้กำหนดไว้

7. นำสายอากาศที่ได้ทำขึ้นมาตัวใดตัวหนึ่งเป็นสายอากาศภาคส่งและใช้

สายอากาศยาก็-ฮูคที่ต้องการทดสอบหาอัตราขยายเป็นสายอากาศภาครับ นำค่า P_r มาคำนวณ โดยใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis Transmission Equation) เช่นเดิม

8. คำนวณหาค่า Effective Radiated Power (ERP)

9. สรุปผลการทดสอบและเขียนรายงาน



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ซึ่งมีทั้งหมดสามทฤษฎีดังนี้

2.2 แแถวลำดับของสายอากาศ (Antenna Arrays)

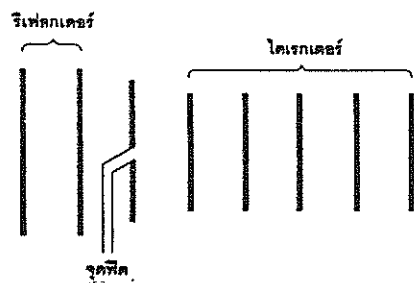
2.3 สายอากาศยาคิ – อูดะ (Yagi – Uda Antenna)

2.4 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

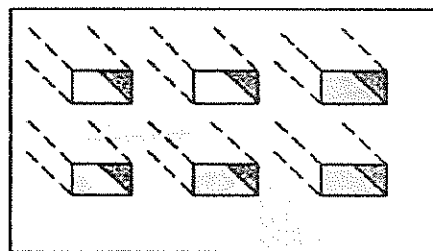
2.5 สูตรการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศและสูตรการคำนวณค่า Effective Radiated Power

2.2 แแถวลำดับของสายอากาศ (Antenna Arrays)

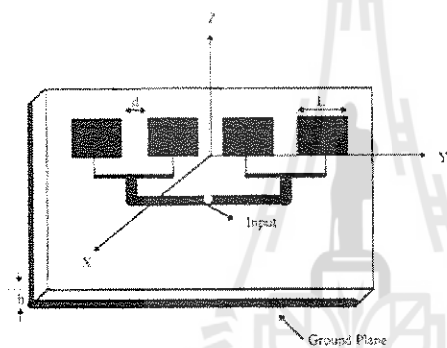
การนำสายอากาศมาจัดเป็นแถวลำดับ คือ การสายอากาศหรือตัวแผ่พลังงานที่มีลักษณะเหมือนกันตั้งแต่สองตัวขึ้นไป มาจัดวางเรียงลำดับกันตามรูปทรงเชิงเรขาคณิต เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการแผ่พลังงานตามลักษณะเฉพาะที่ผู้ออกแบบต้องการ ซึ่งแตกต่างจากการใช้คุณสมบัติของสายอากาศเพียงตัวเดียว นอกจากการจัดวางให้สายอากาศมีลักษณะเป็นแถวลำดับเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการแล้ว ยังสามารถควบคุมการเปลี่ยนทิศทางของรูปแบบการแผ่พลังงานของแถวลำดับหรือควบคุมการกวาดด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Scanning) โดยการควบคุมการเลื่อนเฟสและแอมพลิจูดของสัญญาณที่ป้อนให้กับแถวลำดับ การจัดแถวลำดับแบบนี้จะเรียกว่า แถวลำดับแบบจัดเฟส ทั้งนี้การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศแบบแถวลำดับนี้จะไม่มีลักษณะที่ตายตัว แต่จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ในปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีด้านการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) มาช่วยในการออกแบบทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ เช่น สายอากาศเก่ง (Smart Antennas) และสายอากาศการติดตาม (Tracking Antennas) เป็นต้น สายอากาศแถวลำดับที่เห็นกันโดยทั่วไป ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



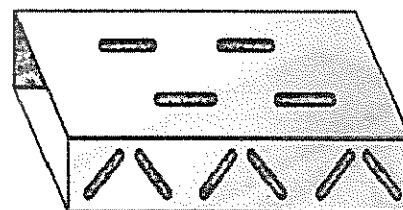
ข) แฉวลำดับแบบยาคิ อูดะ
(Yagi-Uda Array)



ก) แฉวลำดับแบบอะเพอร์เจอร์
(Aperture Array)



ง) แฉวลำดับแบบแผ่นไมโครสตริป
(Microstrip Patch Array)

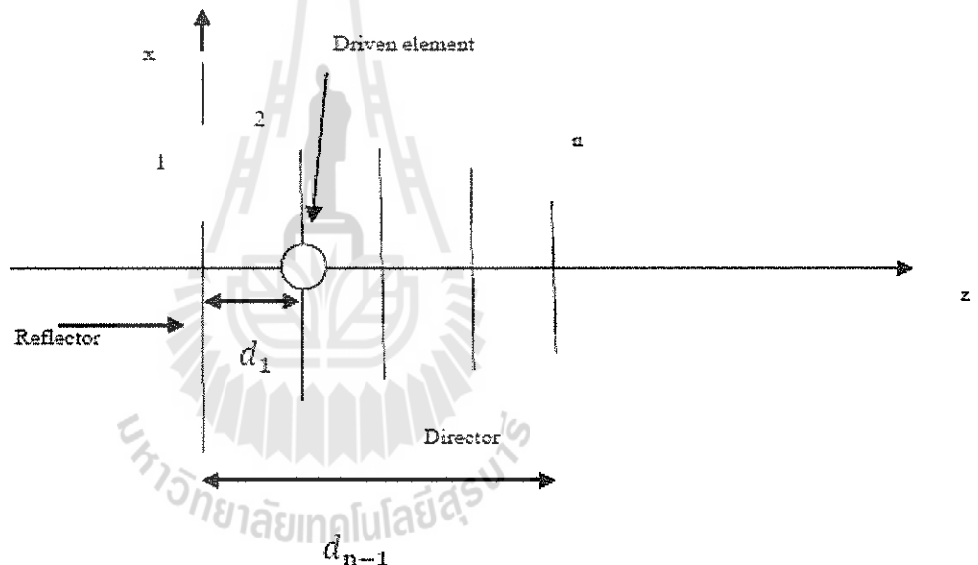


ค) แฉวลำดับแบบร่องบนท่อนำคลื่น
(Slotted-Waveguide Array)

รูปที่ 2.1 สายอากาศแฉวลำดับที่สร้างจากสายอากาศพื้นฐานชนิดต่างๆ

2.3 สายอากาศยาคี – อูดา (Yagi – Uda Antenna)

สายอากาศยาคี (บางครั้งอาจจะเรียกว่า Yagi-Uda เป็นชื่อของผู้ค้นพบสายอากาศชนิดนี้) เป็นสายอากาศทิศทางเดียว (Unidirectional) สามารถมีรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น (Polarize) ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ส่วนประกอบของสายอากาศสร้างจากสายอากาศไดโพลมี 3 ส่วนที่สำคัญคือ ตัวขับ (Driven element) เป็นส่วนที่จ่ายพลังงานให้ ตัวสะท้อน (Reflector element) คือส่วนที่มีความยาวมากกว่าตัวขับและวางไว้ด้านหลังตัวขับ และตัวชี้นำ (Directors elements) คือส่วนที่มีความยาวสั้นกว่าตัวขับและวางไว้ด้านหน้าตัวขับ สองส่วนหลังเรียกว่าองค์ประกอบพาสซีฟ (Parasitic element) ซึ่งจะไม่มีการจ่ายพลังงานให้ แต่จะถูกกระตุ้น (Excitation) ผ่านการเชื่อมโยงสนามระยะใกล้ (Near-field) ของตัวขับ

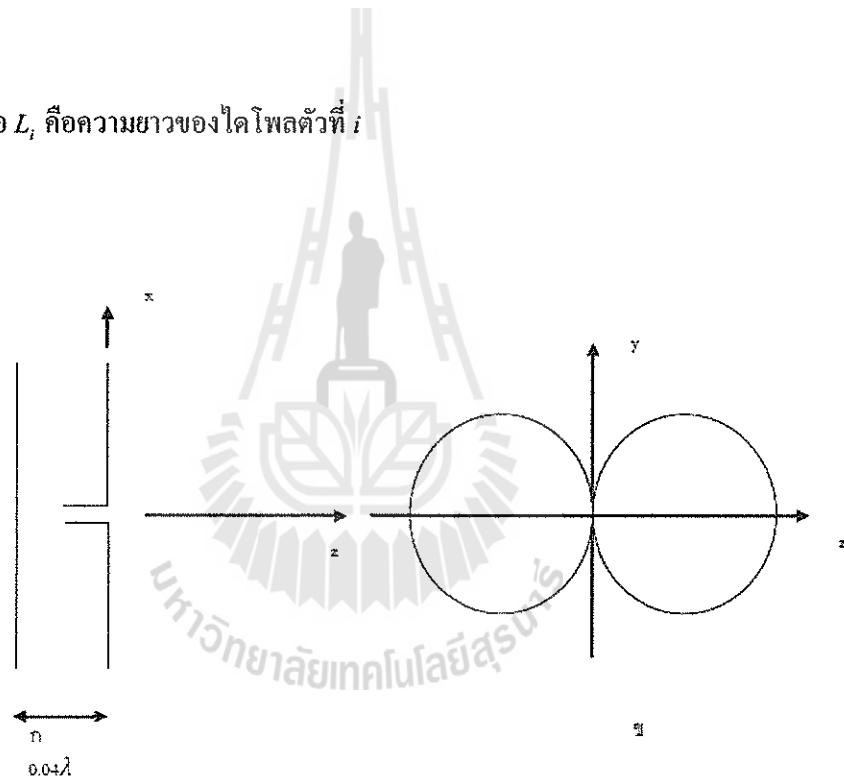


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศยาคี

เนื่องจากว่าสายอากาศชนิดนี้สร้างจากสายอากาศไดโพลซึ่งมีความยาวไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงสามารถหารูปแบบการแผ่กระจายคลื่น (Radiation pattern) ของไดโพลตัวที่ i โดยใช้สมการต่อไปนี้เป็น

$$f_i(\theta) = \frac{\left(\cos\left(\frac{\beta L_i}{2\sin\theta}\right) - \cos\left(\frac{\beta L_i}{2}\right)\right)}{\cos\theta} \quad (\text{สมการ 1.1})$$

เมื่อ L_i คือความยาวของไดโพลตัวที่ i



รูปที่ 2.3 แสดงสายอากาศยาคีที่มีองค์ประกอบ 2 ตัว โดยที่ขนาดกระแสน

สายอากาศทั้งสองตัวเท่ากัน และมีเฟสตรงข้ามกัน

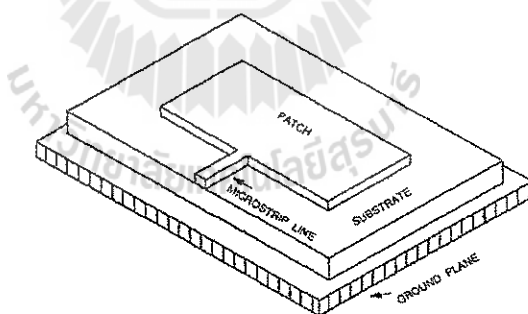
ก. โครงสร้างของสายอากาศ

ข. H-plane pattern

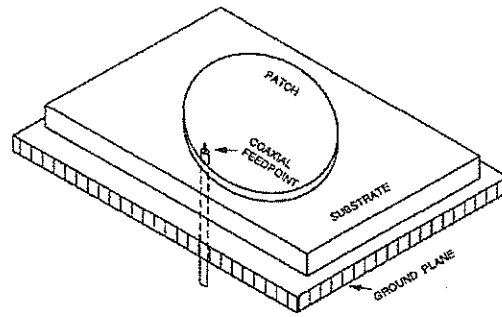
2.4 สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่าแพทช์ (Patch) ซึ่งเป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบาง (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าเป็นซับสเตรท (Substrate) ของสารไดอิเล็กตริก ไมโครสตริปได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้งาน เนื่องจากมีลักษณะแบนราบ ไม้ดัดงอ และสามารถติดกับผิวของยานพาหนะได้ นอกจากนี้ยังมีข้อดีในแง่ที่ราคาถูก น้ำหนักเบา และมีความสะดวกในการสร้างและการติดตั้ง แต่ขณะเดียวกันการออกแบบก็มีความยุ่งยากเช่นกัน

รูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 แสดงสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรูปวงกลม ซึ่งสายอากาศดังกล่าวมีความสะดวกในการสร้างลงในแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed-Circuit Board) โดยที่แพทช์จะถูกวางไว้ที่ด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยสัญญาณความถี่วิทยุจะถูกป้อนเข้าที่สายป้อนสัญญาณที่เป็นสตริปโลหะแคบๆ (Microstrip line) ในรูปที่ 2.5 แสดงแพทช์รูปวงกลมที่ป้อนด้วยตัวนำผ่านช่องในระนาบกราวด์ ซึ่งการป้อนสัญญาณในลักษณะนี้จะเรียกว่าการเชื่อมต่อแบบช่องเปิด (Aperture Coupling) ผ่านช่องเปิดเล็กๆ ในระนาบกราวด์

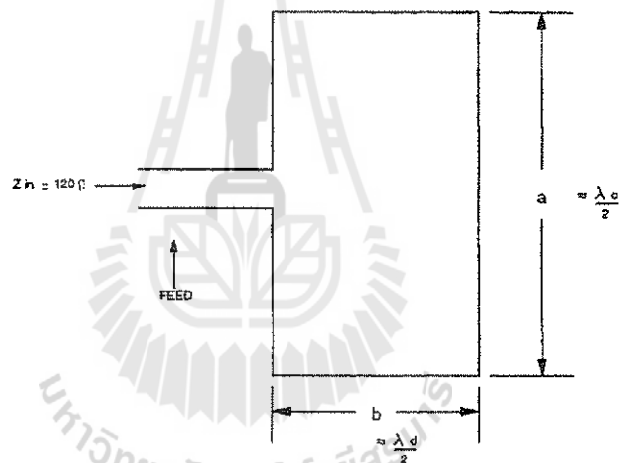


รูปที่ 2.4 แพทช์ของไมโครสตริปที่ป้อนผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป



รูปที่ 2.5 สายอากาศไมโครสตริปรูปวงกลมที่มีการป้อนกระแสผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ความแม่นยำของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฉนวนที่ถือว่ามีความสำคัญมากเพราะเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่าคงที่ของการเดินทางของคลื่นความถี่เรโซแนนซ์ และคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ



รูปที่ 2.6 สายอากาศไมโครสตริปพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

2.4.1 คุณลักษณะของแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Characteristics of a Rectangular Patch)

รูปที่ 2.6 แสดงมิติพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริปซึ่งเป็นแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยค่าความนำของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความกว้าง a โดยที่ความถี่เรโซแนนซ์จะเป็นฟังก์ชันของความยาว b ซึ่งจะถูกกำหนดโดย

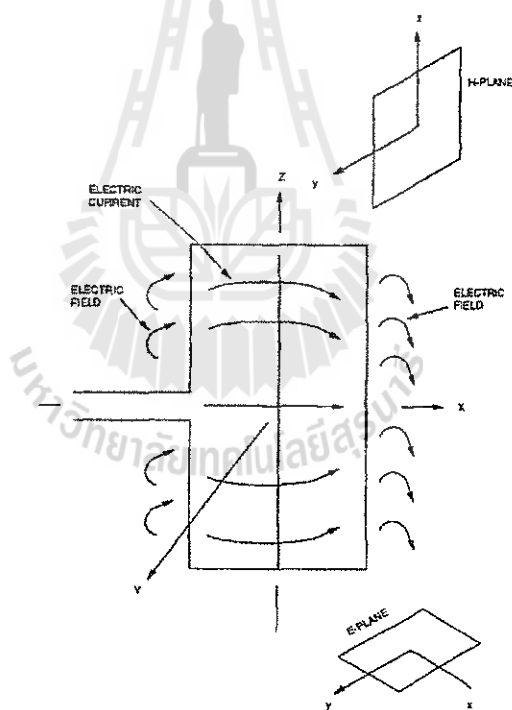
$$a \approx \lambda_d \approx \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{สมการ 1.2})$$

$$b = 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{สมการ 1.3})$$

โดยที่ λ_d, λ_0 คือ ความยาวคลื่นในสารไดอิเล็กตริกและในอากาศอิสระ ตามลำดับ

ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ของฉนวน (Dielectric constant)

เนื่องจากการแปรผันของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าความนำของตัวป้อนสัญญาณ การทดสอบเพื่อหาความยาวที่แท้จริงของแพทช์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.7 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแพทช์

ในรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงของสนามไฟฟ้าภายในและบริเวณรอบๆ แพทช์โดยปกคตินามไฟฟ้าที่บริเวณขอบของแพทช์ที่ถูกต่อด้วยสายนำสัญญาณและด้านตรงข้ามขอบซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

คลื่นที่แผ่กระจายจากสายอากาศในรูปที่ 2.7 จะมีการโพลาไรซ์ในแนวนอน ซึ่งระนาบของสนามไฟฟ้า (ระนาบ x-y : E-plane) จะมีทิศทางในแนวนอน และระนาบของสนามแม่เหล็ก (ระนาบ y-z :H-plane) จะมีทิศทางในแนวตั้ง

ระยะห่าง b ซึ่งเป็นระยะของขอบทั้งสองด้านของแพทช์จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่เดินทางภายในสารไดอิเล็กตริก ($0.49\lambda_d$) ซึ่งที่ระยะห่างขนาดนี้จะมีผลทำให้ร่องที่อยู่ตรงข้ามมีการป้อนด้วยเฟสที่ตรงกันข้าม อย่างไรก็ตามสนามไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากองค์ประกอบทั้งสองจะมีการเสริมกันเนื่องจากเฟสตรงกัน ทำให้ทิศทางการแผ่กระจายคลื่นออกมาในทิศตั้งฉากกับองค์ประกอบ (มีทิศทางบรอดไซด์ ในทิศทาง y)

2.4.2 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna Impedance)

อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากยาว $\lambda/2$ จะถูกแสดงในรูปของค่าความต้านทานที่มีคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นที่ดี โดยที่ค่าความต้านทานที่อินพุตสามารถประมาณค่าได้ด้วยสมการ

$$R_m = \frac{60/\lambda_0}{a} = \frac{60/\lambda_0}{\lambda_0/2} = 120\Omega \quad (\text{สมการ 1.4})$$

โดยที่ a เป็นความยาวของร่อง

λ_0 เป็นความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระ

ในทางอุดมคติค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแพทช์จะมีค่าประมาณ 120Ω ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์ของตัวป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริปหรือของสายโคแอกเซียลที่นำมาต่อก็ควรจะมีค่า 120Ω ด้วย อย่างไรก็ตามในการที่จะต่อสายโคแอกเซียล 50Ω เข้ากับเครื่องมือวัดและทดสอบสายอากาศ จำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50Ω ด้วย จึงต้องมีการทำ matching เพื่อให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม

2.5 การคำนวณอัตราขยาย

เมื่อออกแบบและสร้างสายอากาศภาคส่งที่มีคุณสมบัติให้อัตราขยายได้คือตลอดทั้งย่านความถี่ 470 MHz. – 860 MHz. ขึ้นมาทั้ง 2 ตัวแล้ว นำสายอากาศทั้ง 2 ตัวนี้ไปทำการวัดค่า S_{21} โดยใช้เครื่อง Network Analyzer ซึ่งจะกำหนดให้สายอากาศตัวใดตัวหนึ่งเป็นสายอากาศภาคส่ง (ต่อเข้าที่พอร์ต 1 ของเครื่อง Network Analyzer) และสายอากาศอีกตัวเป็นสายอากาศภาครับ (ต่อเข้าที่พอร์ต 2 ของเครื่อง Network Analyzer) โดยจะจัดวางสายอากาศในห้อง Chamber Room ด้วยระยะห่าง 0.5 เมตร (ระยะ Far Field ที่ 0.3 เมตร) จากนั้นจดบันทึกค่า P_r จากหน้าจอของเครื่อง Network Analyzer เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราขยาย โดยใช้สมการที่ 1.5 ในหัวข้อ 2.5.1 ดังต่อไปนี้

2.5.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศที่ทำขึ้นมาเพื่อเป็นสายอากาศภาคส่ง (Friis Transmission Equation)

$$P_r \text{ (dB)} - P_t \text{ (dB)} = G_t \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} \quad (\text{สมการ 1.5})$$

โดย P_r คือ กำลังของสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศภาครับนั้นรับได้ โดยค่านี้วัดได้จากเครื่อง Network Analyzer (หน่วย dB)

P_t คือ ค่ากำลังส่งที่เครื่อง Network Analyzer ส่งออกไปผ่านสายอากาศ (หน่วย dB)

G_t คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (หน่วย dB)

G_r คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศภาครับ (หน่วย dB)

$20 \log \frac{4\pi R}{\lambda}$ คือ ค่าอัตราสูญเสียในอากาศ (หน่วย dB) โดย

R คือ ระยะ Far Field ของสายอากาศตัวส่ง (หน่วย m) หาได้จาก สูตร

$$R = \frac{D^2}{\lambda} ; \text{ โดย } D \text{ คือ ขนาดที่กว้างหรือยาวที่สุดของสายอากาศ}$$

ภาคส่ง (หน่วย m)

; λ คือ ความยาวคลื่น หาได้จากสูตร $\lambda = \frac{c}{f}$ (หน่วย m)

โดย c คือ ความเร็วแสง มีค่าประมาณ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

f คือ ความถี่ใช้งานของสายอากาศที่ทำงานมา ใช้ที่ 665 MHz



ตัวอย่างการคำนวณ

คำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งที่ความถี่ 514 MHz ช่องที่ 26 โดยใช้สมการ 1.5 นั่นคือ

$$P_r \text{ (dB)} - P_t \text{ (dB)} = G_t \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} \text{ (dB)}$$

คิด G_t กับ G_r เป็น $2G$ เนื่องจากสายอากาศที่ทำขึ้นมามี 2 ตัว ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกัน เมื่อแทนค่าที่วัดได้ลงไป จะได้

$$(-25.8) - (-10) = 2G - 20 \log \frac{4\pi(0.5 \text{ m})}{0.4511 \text{ m}}$$

$$G = \frac{(-15.8) + 22.8}{2}$$

$$G = 3.54 \text{ dB}$$

โดยที่ ระยะ Far Field คำนวณได้ $R = 0.3 \text{ m}$ ใช้ที่ 0.5 m ($D = 0.26 \text{ m}$), λ

คำนวณได้ จากสูตร $\lambda = \frac{c}{f} = 0.4511 \text{ m}$, โดยค่าทุกค่าที่นำมาแทนในสมการต้องอยู่ในหน่วย dB และค่า P_r ได้บันทึกไว้ในที่ตารางผลการวัดในแต่ละลำดับการวัด

จากหัวข้อที่ 2.5.1 เป็นการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่าค่าอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งในแต่ละความถี่มีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้จำเป็นต้องทำการลดทอนอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งลง เพื่อให้ค่ากำลังงานที่แผ่ออกจากหน้าสายอากาศ (Effective Radiated Power : ERP) มีค่าเท่ากันตลอดทั้งย่านความถี่ โดยการลดทอนนี้จะมีหลักการคือ จัดกลุ่มอัตราขยายที่มีค่าใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของอัตราขยายแต่ละกลุ่ม จากนั้นใช้กลุ่มที่มีอัตราขยายต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ (กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยอัตราขยายต่ำที่สุดไม่ต้องการลดทอน) ส่วนกลุ่มอื่นๆนั้น จะลดทอนตามค่าเฉลี่ยของผลต่างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ไม่มีการลดทอนกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มนั้นๆ โดยมีอุปกรณ์ในการลดทอน คือ Step Attenuator ซึ่งค่า ERP คำนวณได้โดยสมการ 1.6 จากหัวข้อ 2.5.2 ดังต่อไปนี้

2.5.2 สูตรการคำนวณค่า Effective Radiated Power (ERP)

$$\text{ERP (dB)} = P_r \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)}$$

(สมการ 1.6)

เมื่อทำการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งในหัวข้อ 2.5.1 และคำนวณค่า ERP ในหัวข้อ 2.5.2 มาแล้ว ในหัวข้อ 2.5.3 นี้เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศภาครับ นั่นคือสายอากาศยาคี-อูคะทั้ง 5 ตัว โดยจะใช้สมการ 1.5 เช่นเดิม แต่จะมีการลบออกด้วยค่า 3.7 dB นั่นคือค่า Loss ของตัวอุปกรณ์ลดทอน Step Attenuator, อุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์ และสายเชื่อมต่ออุปกรณ์ โดยจะแบ่งค่า Loss ออกเป็นดังนี้คือ

- Step Attenuator รุ่น VBA-641A 1 ตัว มี Insertin Loss ประมาณ 0.7 dB
- อุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์ รุ่น 932A 2 ตัว มี Loss ตัวละประมาณ 1 dB
รวมเป็น 2 dB
- Loss จากสายเชื่อมต่ออุปกรณ์ประมาณ 1 dB

2.5.3 สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศยาคีที่ใช้เป็นสายอากาศภาครับ

(ใช้คำนวณเฉพาะช่วงความถี่ที่ใส่ Step Attenuator คือความถี่กลางของช่องที่ 33-60)

โดยใช้สมการ 1.5 นั่นคือ

$$P_r \text{ (dB)} - P_t \text{ (dB)} = G_t \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} - 3.7 \text{ dB}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

คำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศยาคิ (สายอากาศภากรับ) ยี่ห้อ สามารถ รุ่น D3E ที่ความถี่ 570 MHz ช่องที่ 33 โดยใช้สมการ 1.5 นั่นคือ

$$P_r \text{ (dB)} - P_t \text{ (dB)} = G_t \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} - 3.7 \text{ dB}$$

เมื่อแทนค่าที่วัดได้ลงไป จะได้

$$(-62) - (-10) = 5.14 + G_r - 20 \log \frac{4\pi(0.483 \text{ m})}{0.4511 \text{ m}} - 3.7$$

$$G_r = (-52) - 5.14 + 22.58 - 3.7$$

$$G_r = -38.26 \text{ dB}$$

จากผลการคำนวณพบว่าอัตราขยายมีค่าลบ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอัตราขยายจะไม่มีค่าติดลบ หากออกแบบให้ใช้งานได้ตามความถี่ที่กำหนด แต่จากการทดสอบและการคำนวณ พบว่าสายอากาศยาคิของยี่ห้อ สามารถ รุ่น D3E ที่นำมาทดสอบนี้ ไม่สามารถทำงานที่ความถี่ 514 MHz ได้ จึงไม่เกิดอัตราขยายที่ฟังจะเป็น ณ ที่ความถี่นี้ และเป็นผลมาจากกำลังงานที่ส่งออกจากเครื่อง Network Analyzer มีค่าต่ำเกินไปที่สายอากาศภากรับจะสามารถรับได้ จึงทำให้จากผลการทดลองนี้ไม่สามารถที่จะทราบอัตราขยายที่ฟังจะเป็นของสายอากาศตัวนี้ได้ รวมทั้งเป็นผลจากการจำเป็นที่จะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศภากรับ (สายอากาศยาคิ)

บทที่ 3

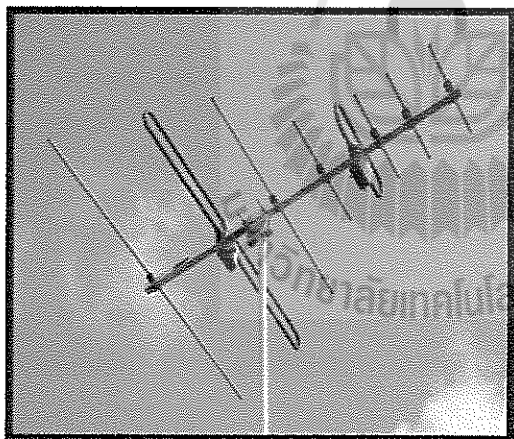
ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

3.1 บทนำ

ในบทที่ 3 นี้จะเป็นการกล่าวถึงข้อมูลของสายอากาศยagi-อูเดะ ที่นำมาทดสอบทั้ง 5 ตัว, ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth), ข้อมูลการออกแบบสายอากาศภาคส่ง, วิธีและผลจากการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง และผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศยagi-อูเดะทั้ง 5 ตัว ซึ่งมีหัวข้อดังต่อไปนี้

3.2 ข้อมูลสายอากาศยagi-อูเดะ ที่นำมาทดสอบทั้ง 5 ตัว

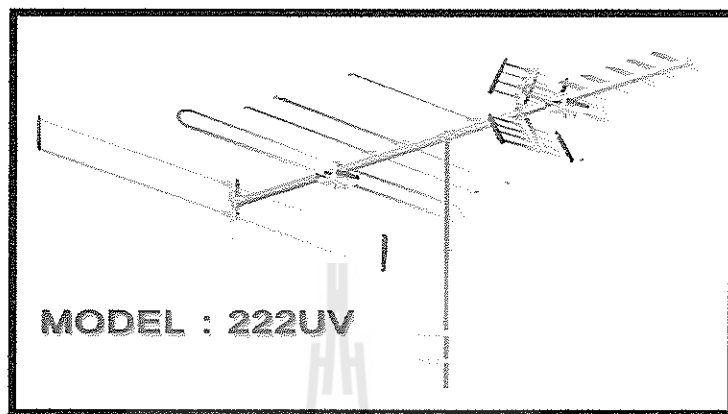
1. บริษัทสากล รุ่น VU35



Channels: Ch. 2-69
 Receiving Range: 174-890
 MHz
 full-band
 Output Impedance: 75 Ohms.
 No. of Elements: 8
 Gain: 12.5 dB
 ราคา 580 บาท

รูปที่ 3.1 สายอากาศยagi-อูเดะ บริษัทสากลแอนเทนน่า รุ่น VU35

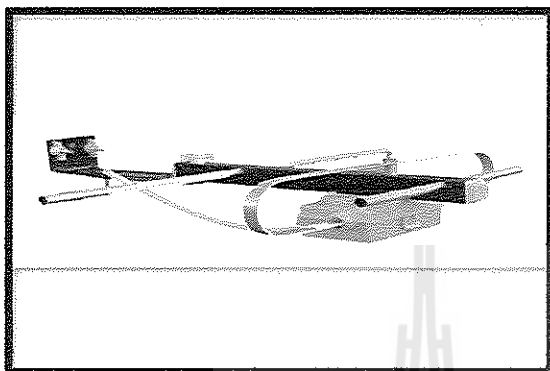
2. บริษัทสามารถ รุ่น 222VU



Model (ชื่อรุ่น)	222 UV	
Element	6 E	14 E
Reception Range (แอมพลิจูด)	174-230 MHz	470-862 MHz
Channel (ช่องโทรทัศน์)	CH. 5-12	CH. 21-69
Gain (อัตราขยาย)	5-7 dB	8-12 dB
Cable Connection (สายนำสัญญาณ)	75 Ohm	

รูปที่ 3.2 สายอากาศยาคิ-อูตะ บริษัทสามารถ รุ่น 222VU 14E

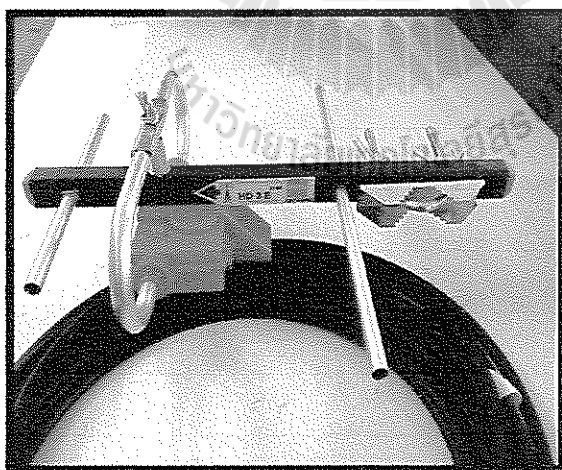
3. บริษัทสามารถ รุ่น D3E



- 3 Elements
- อัตราขยาย 3-5 dB
- รองรับเฉพาะ TV Digital
- ราคา 295 บาท

รูปที่ 3.3 สายอากาศยาภิ-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E

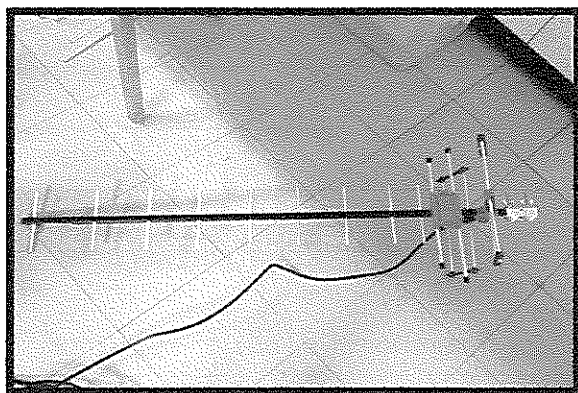
4. บริษัทยิ่งเจริญ รุ่น HD3E



- รองรับดิจิตอลทีวี
- อัตราขยาย 3-5 dB
- ราคา 265 บาท

รูปที่ 3.4 สายอากาศยาภิ-อูคะ บริษัทยิ่งเจริญ รุ่น HD3E

5. บริษัทอิงเจริญ HD14E



- รองรับดิจิตอลทีวี
- อัตราขยาย 8-12dB
- ราคา 850 บาท

รูปที่ 3.5 สายอากาศยาคี-อูตะ บริษัทอิงเจริญ รุ่น HD14E

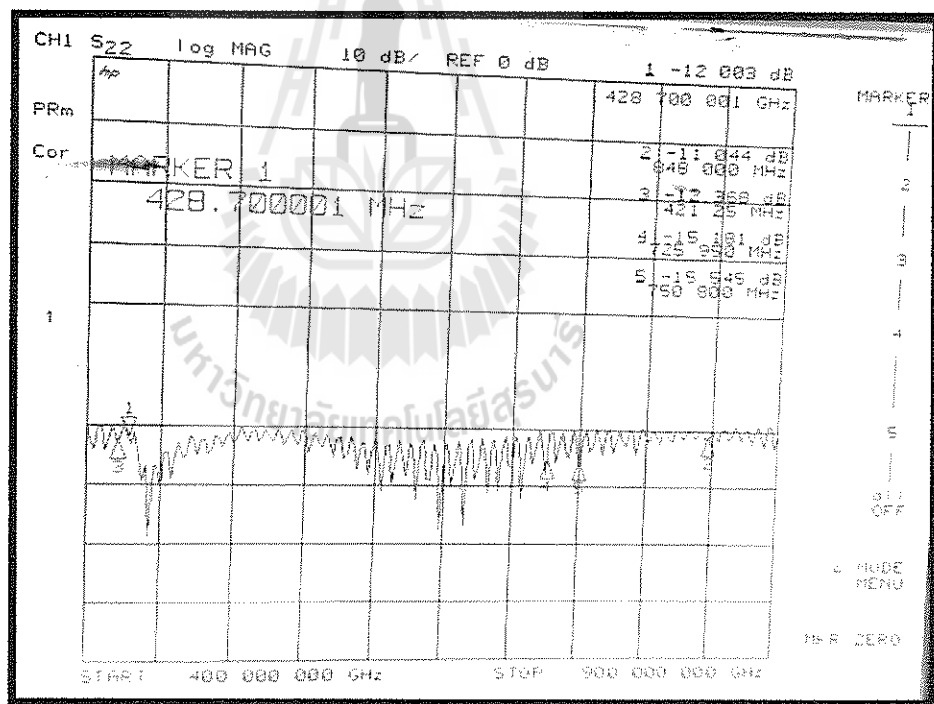


3.3 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อุตะ ทั้ง 5 ตัว

การวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) คือ การวัดค่า S_{11} (ค่าการสูญเสียย้อนกลับ) โดยใช้เครื่อง Network Analyzer เพื่อดูว่าสายอากาศยาคิ-อุตะที่ทดสอบนั้นสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ใดบ้าง และไม่สามารถใช้งานในช่วงความถี่ใดบ้าง ในย่านความถี่ที่วัดจิจิตอล (470 MHz. – 860 MHz.) ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

➤ ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อุตะ บริษัทสากล รุ่น UV35

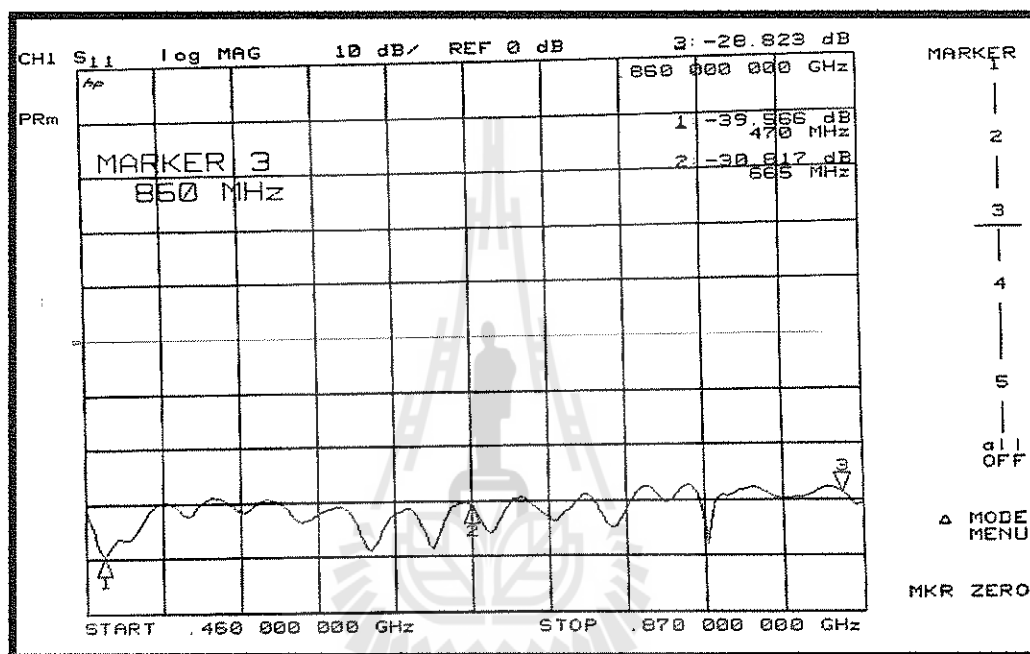
จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าสายอากาศยาคิ-อุตะ บริษัทสากลแอนเทนน่า รุ่น UV35 มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมย่านความถี่ของระบบทีวีดิจิตอลตลอดทั้งย่าน (470 MHz. – 860 MHz.) เพราะแถบความถี่ตลอดทั้งย่านมีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB (เส้น -10 dB คือเส้นที่ตัดจากเส้น 0 dB ลงมาด้านล่างและใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับพิจารณาความกว้างแถบ (Bandwidth) ในห้องปฏิบัติการ)



รูปที่ 3.6 ผลการวัดค่าความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อุตะ บริษัทสากล รุ่น UV35

➤ ผลการวัดค่าความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทสามารถ รุ่น 222 VU

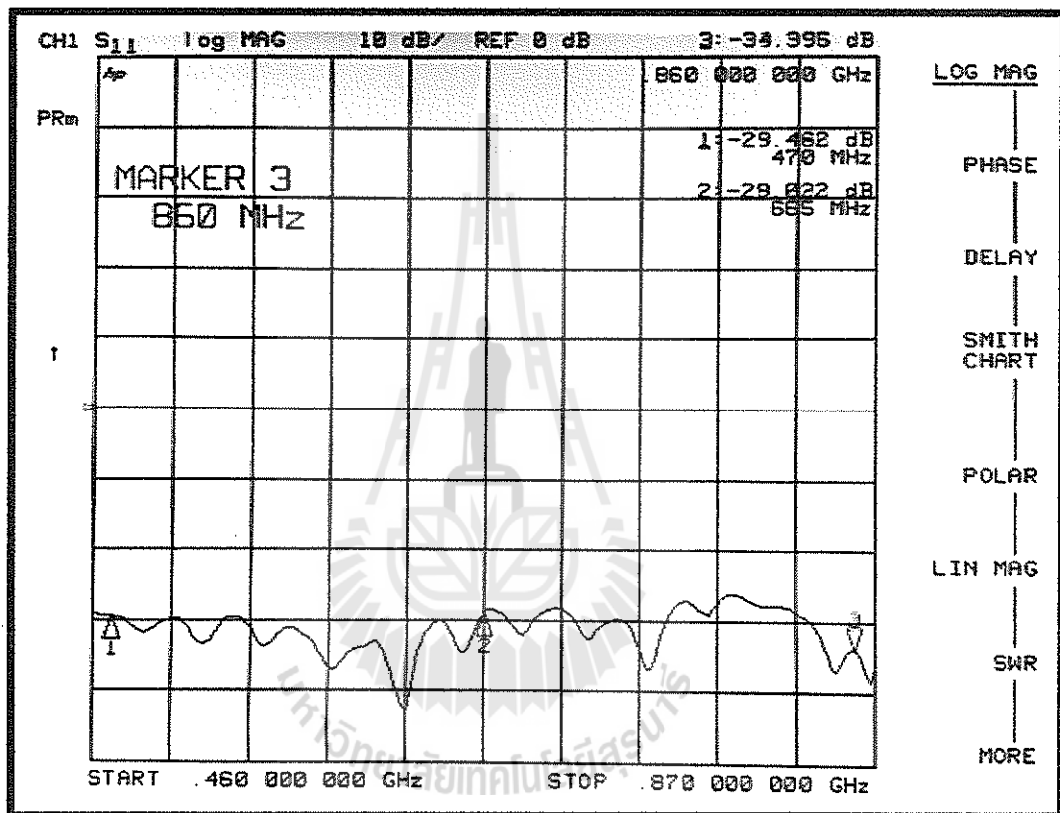
จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าสายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทสามารถ รุ่น 222 VU มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมย่านความถี่ของระบบทีวีดิจิตอลตลอดทั้งย่าน (470 MHz. – 860 MHz.) เพราะความกว้างแถบ (Bandwidth) ตลอดทั้งย่านมีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB



รูปที่ 3.7 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทสามารถ รุ่น 222 VU

➤ ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อุตะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E

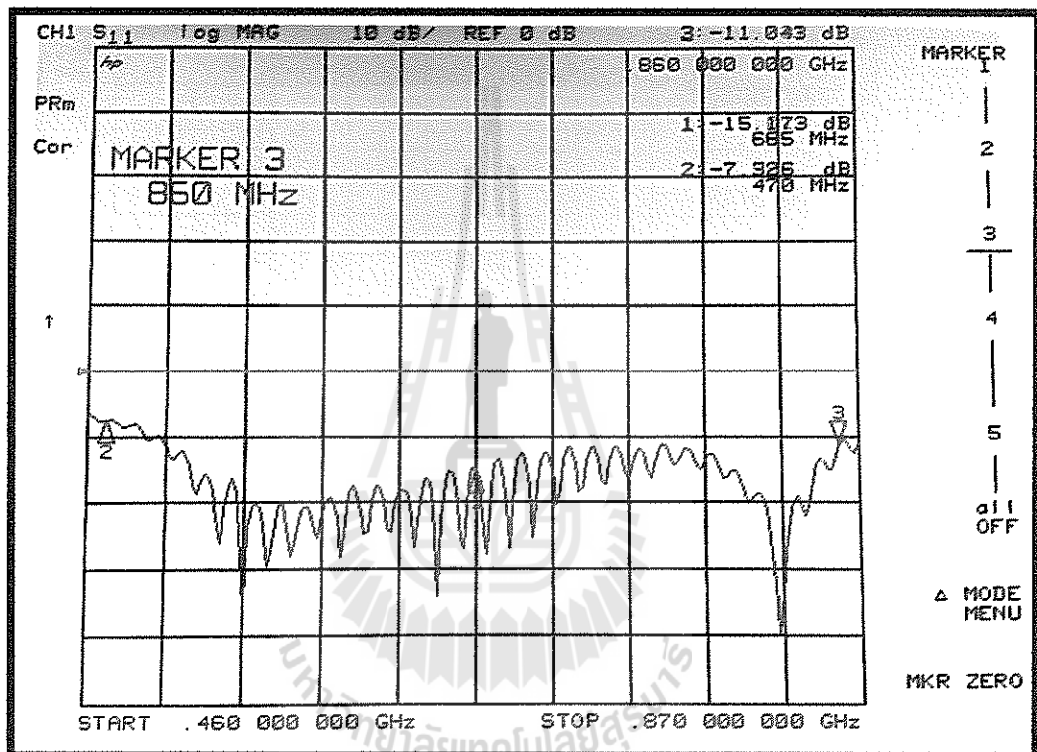
จากรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าสายอากาศยาคิ-อุตะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมย่านความถี่ของระบบที่วัดจិតลอดตลอดทั้งย่าน (470 MHz. – 860 MHz.) เพราะความกว้างแถบ (Bandwidth) ตลอดทั้งย่านมีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB



รูปที่ 3.8 ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อุตะ
บริษัทสามารถ รุ่น D3E

➤ ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคิ-อูตะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD3E

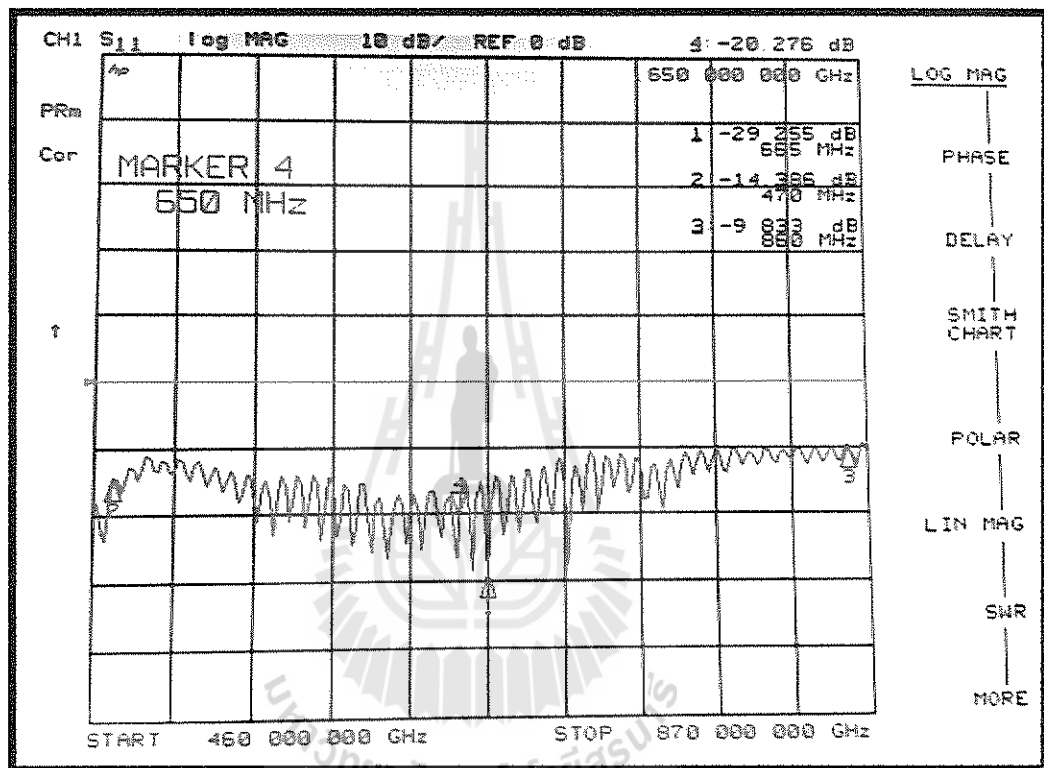
จากรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่าสายอากาศยาคิ-อูตะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD3E มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมย่านความถี่ของระบบที่วัดจិតอลตลอดทั้งย่าน (470 MHz. – 860 MHz.) เพราะความกว้างแถบ (Bandwidth) ตลอดทั้งย่านมีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB



รูปที่ 3.9 ผลการวัดค่าแถบความถี่ของสายอากาศยาคิ-อูตะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD3E

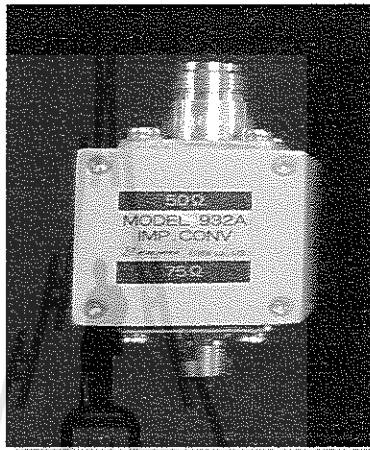
➤ ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคี-ฮูตะ บริษัทyingเจริญ รุ่น HD14E

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าสายอากาศยาคี-ฮูตะ บริษัทyingเจริญ รุ่น HD14E มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมย่านความถี่ของระบบทีวีดิจิตอลตลอดทั้งย่าน (470 MHz. – 860 MHz.) เพราะความกว้างแถบ (Bandwidth) ตลอดทั้งย่านมีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB



รูปที่ 3.10 ผลการวัดค่าแถบความถี่ของสายอากาศยาคี-ฮูตะ บริษัทyingเจริญ รุ่น HD14E

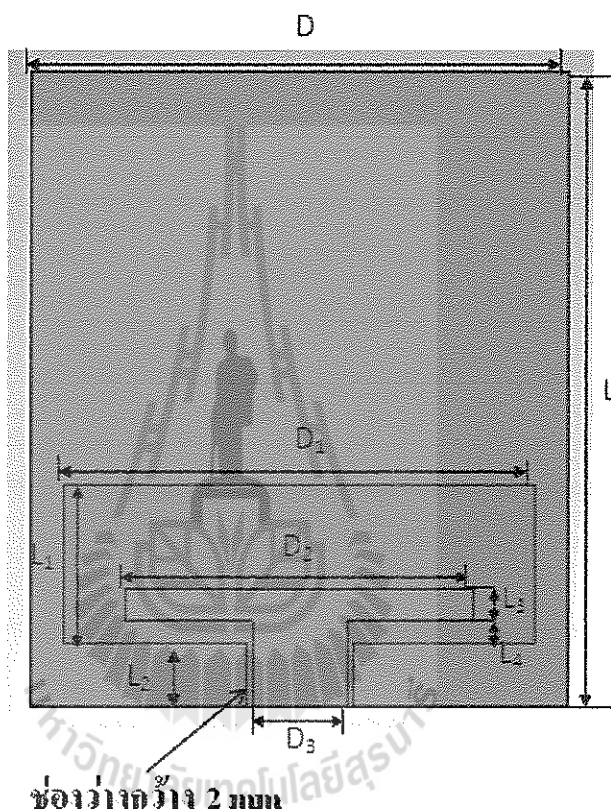
จากรูปที่ 3.6 – 3.10 เป็นวัดค่า S_{11} เพื่อดูค่าความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาก็ ทั้ง 5 ตัว โดยการทดสอบนี้จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์จาก 75 โอห์ม เป็น 50 โอห์ม เนื่องจากสายอากาศยาก็-อูตะ มี Input Impedance ที่ถูกออกแบบมาที่ 75 โอห์ม แต่เครื่อง Network Analyzer นั้น เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสายอากาศที่มี Input Impedance ที่ 50 โอห์ม จึงจำเป็นที่จะต้อง ใช้อุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์ดังแสดงในรูป ที่ 3.11 ต่อไปนี้



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์จาก 75 โอห์ม เป็น 50 โอห์ม

3.4 วิธีการออกแบบสายอากาศภาคส่งสำหรับการวัดอัตราขยาย

สายอากาศภาคส่งที่ทำขึ้นมาเป็นสายอากาศแบบร่อง (Slot Antennas) ที่มีลักษณะเป็น patch ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสายอากาศชนิด Microstrip Antennas และมีคุณสมบัติการแผ่กระจายกำลังงานแบบสายอากาศ Monopole ซึ่งออกแบบให้มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมตั้งแต่ 470 MHz. – 860 MHz. (ความถี่ย่านทีวีดิจิตอล) โดยออกแบบและจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ซึ่งมีขนาดดังรูปที่ 3.12

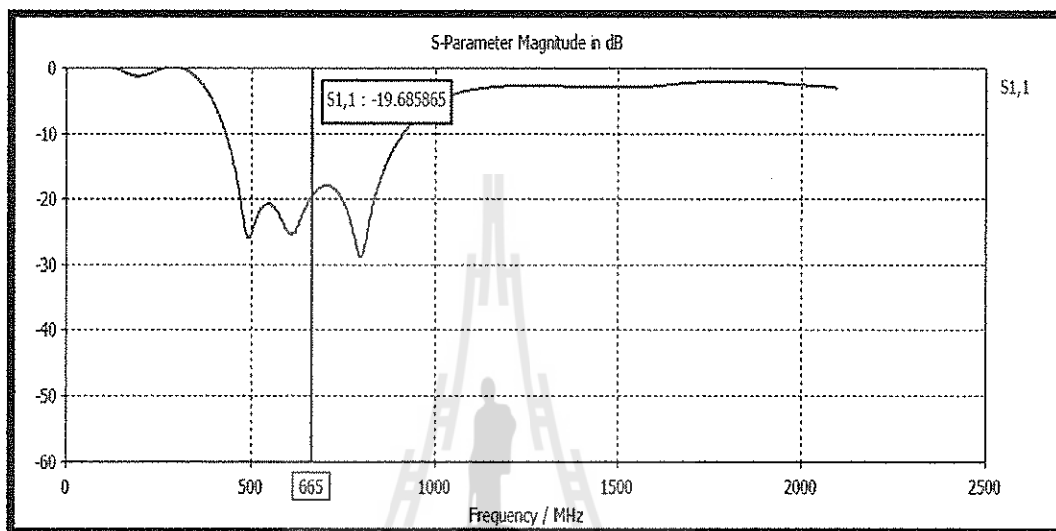


Parameters	Size	Parameters	Size
L	200 mm	D	170 mm
L ₁	50 mm	D ₁	149 mm
L ₂	20 mm	D ₂	110 mm
L ₃	10 mm	D ₃	30 mm
L ₄	7 mm	h	1.6 mm

*h คือ ความหนาของแผ่น

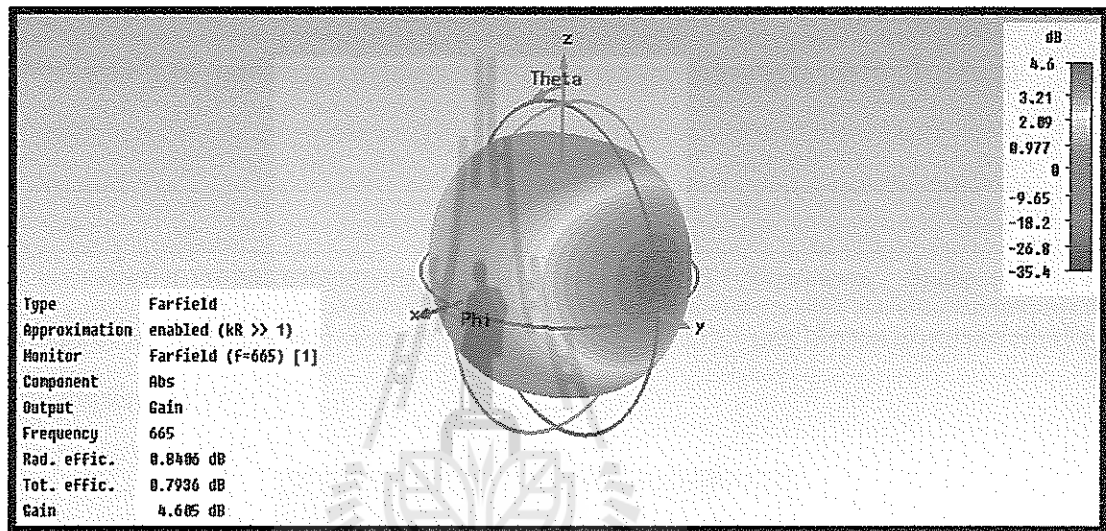
รูปที่ 3.12 แสดงขนาดของสายอากาศภาคส่ง

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับตลอดทั้งย่านความถี่ 470 MHz. – 860 MHz. นั้นมีค่าน้อยกว่า -10 dB ซึ่งจากผลการจำลองนี้หมายความว่าสายอากาศที่ออกแบบนั้นมีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมตลอดทั้งย่านความถี่



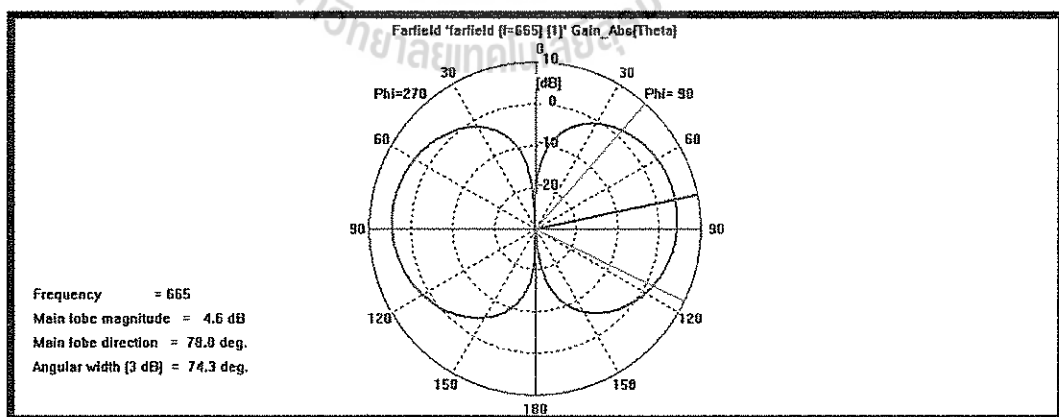
รูปที่ 3.13 แสดงกราฟการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) จากโปรแกรม CST Microwave Studio

จากรูปที่ 3.14 เป็นการจำลองการแผ่กำลังงานของสายอากาศที่ออกแบบ ในลักษณะภาพสามมิติ ที่ได้ทำการออกแบบที่ย่านความถี่ 470 MHz. – 860 MHz. ซึ่งจะเห็นได้ว่าในระนาบสนามไฟฟ้า (e-plane) จะคล้ายเลขแปด โดยจะมีการแผ่กระจายกำลังงานที่สูงที่สุดที่ 90 และ 270 องศา ดังแสดงในรูป 3.15 ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็ก (h-plane) การแผ่กระจายกำลังงานค่อนข้างจะเป็นวงกลมหรือสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional antenna) ได้วัดตรงขยายเท่ากับ 4.05 dB ซึ่งคู่อัตราขยายของสายอากาศ 665 MHz. ดังแสดงในรูปที่ 3.16

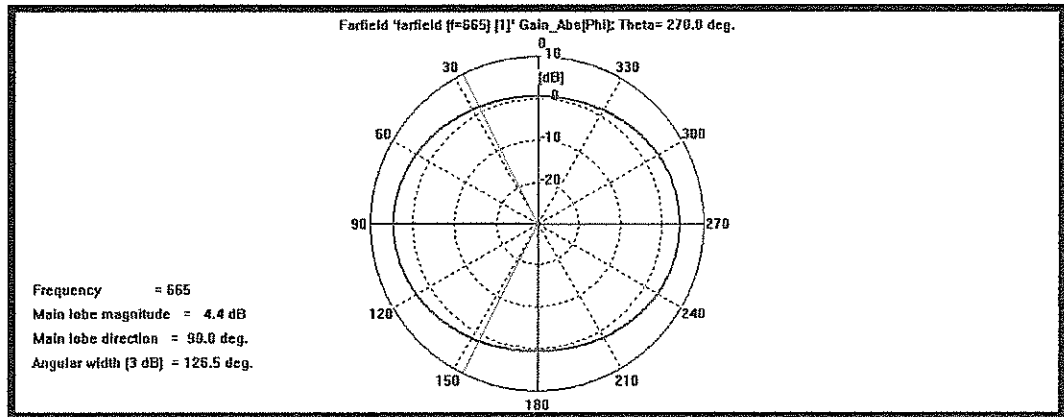


รูปที่ 3.14 แสดงผลการจำลองการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

จากโปรแกรม CST Microwave Studio



รูปที่ 3.15 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า



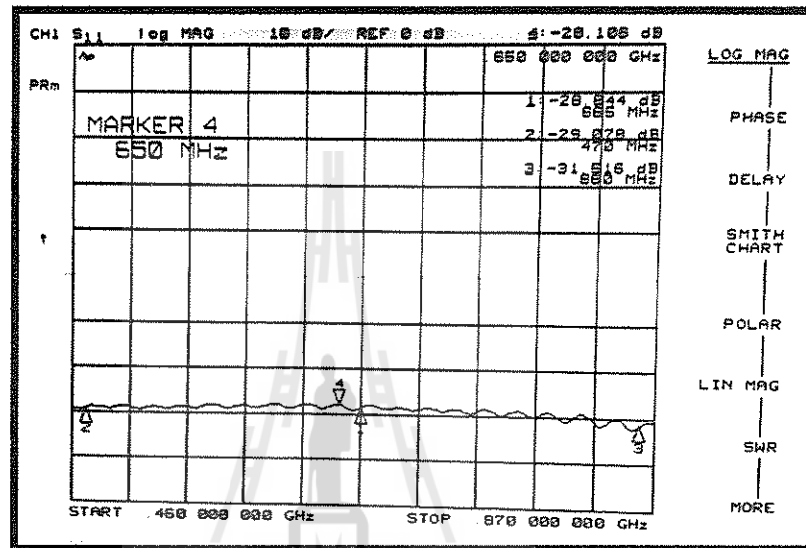
รูปที่ 3.16 แสดงผลการจำลองแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบ
 สนามแม่เหล็ก

เมื่อทำการออกแบบสายอากาศส่งจากโปรแกรม CST Microwave Studio เสร็จแล้ว
 จากนั้นสร้างสายอากาศของจริงขึ้นมา 2 ตัว ตามขนาดดังรูปที่ 3.12 และได้สายอากาศภาคส่งที่เสร็จ
 เรียบร้อยดังรูป 3.17

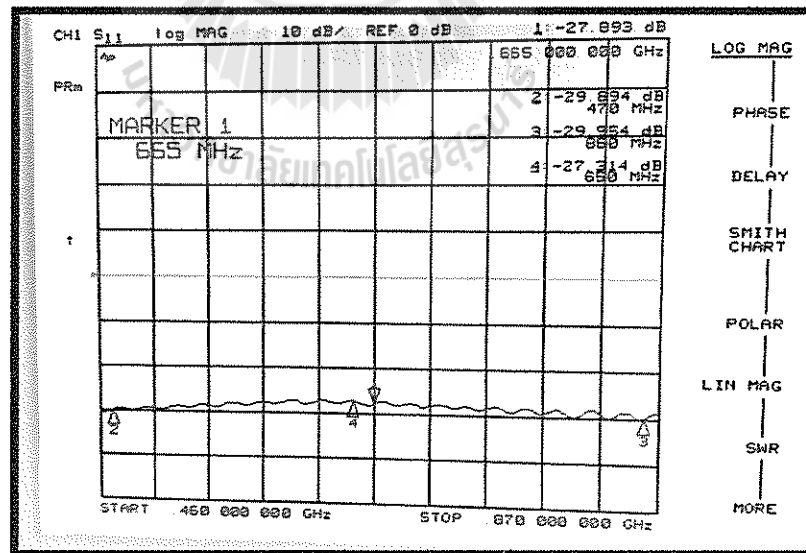


รูปที่ 3.17 สายอากาศที่ทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เมื่อทำสายอากาศภาคส่งเสร็จทั้ง 2 ตัวแล้ว นำสายอากาศทั้ง 2 ตัวนี้ไปวัดค่า S_{11} เพื่อดูความกว้างแถบ (Bandwidth) ว่าสายอากาศที่ทำขึ้นมานั้นมีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมย่านความถี่ที่วัดจิจิตอลหรือไม่ ซึ่งจากผลการวัดนั้นพบว่าสายอากาศทั้ง 2 ตัว มีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB จึงทำให้ความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมตลอดทั้งย่านความถี่ที่วัดจิจิตอล (470 MHz. – 860 MHz.) ดังแสดงในรูป 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.18 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศภาคส่งตัวที่ 1

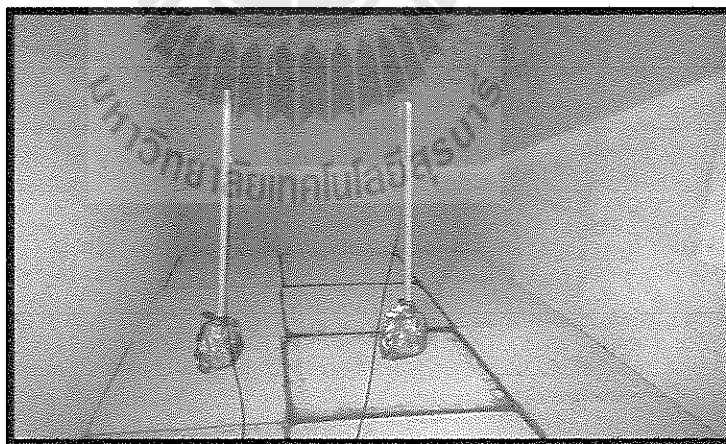


รูปที่ 3.19 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศภาคส่งตัวที่ 2

3.5 ขั้นตอนการวัดอัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง

เมื่อได้สายอากาศภาคส่งที่ทำขึ้นมาทั้ง 2 ตัวเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำสายอากาศทั้ง 2 ตัวนี้มาวัดค่า S_{21} โดยใช้เครื่อง Network Analyzer ในการวัดค่า และจัดวางสายอากาศทั้งสองในห้อง Chamber Room ซึ่งสาเหตุที่ต้องนำสายอากาศทั้ง 2 ตัวนี้มาวัดค่า S_{21} นั้น ก็เพื่อต้องการทราบอัตราขยายที่แท้จริงของสายอากาศ เพื่อนำสายอากาศตัวใดตัวหนึ่งไปใช้เป็นสายอากาศภาคส่งในการหาอัตราขยายของสายอากาศยาก็-อูจะต่อไป ซึ่งในหัวข้อนี้จะบอกถึงขั้นตอนในการวัดค่า S_{21} ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดเครื่อง Network Analyzer
2. ต่อสายนำสัญญาณเข้าทั้งสองพอร์ต แล้วนำปลายของสายทั้งสองมาเชื่อมกันโดยใช้ตัวหนอน
3. กดปุ่ม Menu เลือก CW Fre กดเลือก ความถี่
4. กดปุ่ม Cal เลือก Cal Menu เลือก Response เลือก TRUE
5. ถอดตัวหนอนออก แล้วนำสายอากาศมาต่อที่ปลายสายทั้งสอง
(ทดสอบในห้อง Chamber Room โดยวางสายอากาศห่างกันที่ 50 cm.)
6. กดปุ่ม Marker และบันทึกค่า P เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราขยายตามสมการ 1.5



รูปที่ 3.20 การจัดวางสายอากาศในห้อง Chamber Room

3.6 ผลการวัดอัตราขยายและค่า ERP ของสายอากาศภาคส่ง

เมื่อได้สายอากาศภาคส่งที่ทำขึ้นมาทั้ง 2 ตัวเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำสายอากาศทั้ง 2 ตัวนี้มาวัดค่า S_{21} เพื่อนำค่า P , มาคำนวณหาอัตราขยายที่แท้จริง ตามสมการที่ 1.5 รวมถึงการคำนวณหาค่า ERP จากสมการ 1.6 ด้วย และเมื่อได้อัตราขยายจากการคำนวณแล้วก็จะสามารถนำไปเป็นสายอากาศภาคส่งในการวัดหาอัตราขยายของสายอากาศยาก็-อูตะ ต่อไป ซึ่งผลการวัดค่าและการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งมีดังรูปที่ 3.21, 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ (ในรูปตารางแสดงผลที่ 3.21, 3.22 และ 3.23 เป็นการจัดกลุ่มอัตราขยายที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันเรียบร้อยแล้ว และทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าที่ต้องลบออก โดยจะแบ่งตามแถบสีอย่างชัดเจน)

ช่อง	ความถี่กลาง	Pr(dBm)	Gain	ค่าเฉลี่ย	ลบออก	Gainลดจนแล้ว(dB)	ERP ของหัวส่ง(dB)
26	514	-25.8	3.54	4.07	0	3.54	3.5401
27	522	-25	3.94			3.94	3.9401
28	530	-25.4	3.74			3.74	3.7401
29	538	-24.9	3.99			3.99	3.9901
30	546	-24.7	4.09			4.09	4.0901
31	554	-24.3	4.29			4.29	4.2901
32	562	-23	4.94			4.94	4.9401
33	570	-22.6	5.14	5.36	1.29	4.14	4.1401
34	578	-22.7	5.09			4.09	4.0901
35	586	-21.2	5.84			4.84	4.8401

รูปที่ 3.21 ผลการวัดอัตราขยายของกลุ่มที่ 1 และ 2

ช่อง	ความถี่กลาง	Pr(dBm)	Gain	ค่าเฉลี่ย	ลดทอน	ERP ของตัวส่ง	เกณฑ์ลดทอนแล้ว
36	594	-20.3	6.29	6.45	2.38	4.2901	4.29
37	602	-20.7	6.09			4.0901	4.09
38	610	-20.6	6.14			4.1401	4.14
39	618	-20.1	6.39			4.3901	4.39
40	626	-19.2	6.84			4.8401	4.84
55	746	-19	6.94			4.9401	4.94
56	754	-19.5	6.69			4.6901	4.69
57	762	-20.1	6.39			4.3901	4.39
58	770	-20	6.44			4.4401	4.44
59	778	-20	6.44			4.4401	4.44
60	786	-20.2	6.34			4.3401	4.34

รูปที่ 3.22 ผลการวัดอัตราขยายของกลุ่มที่ 3

ช่อง	ความถี่กลาง	Pr(dBm)	Gain	ค่าเฉลี่ย	ลดทอน	ERP ของตัวส่ง	เกณฑ์ลดทอนแล้ว
41	634	-17.6	7.64	7.45	3.38	4.6401	4.64
42	642	-17.6	7.64			4.6401	4.64
49	698	-17.8	7.54			4.5401	4.54
50	706	-17.4	7.74			4.7401	4.74
51	714	-17.7	7.59			4.5901	4.59
52	722	-18.6	7.14			4.1401	4.14
53	730	-18.5	7.19			4.1901	4.19
54	738	-18.6	7.14			4.1401	4.14
43	650	-16.6	8.14	8.23	4.16	4.1401	4.14
44	658	-16.2	8.34			4.3401	4.34
45	666	-16	8.44			4.4401	4.44
46	674	-16.3	8.29			4.2901	4.29
47	682	-16.6	8.14			4.1401	4.14
48	690	-16.8	8.04			4.0401	4.04

รูปที่ 3.23 ผลการวัดอัตราขยายของกลุ่มที่ 4 และ 5

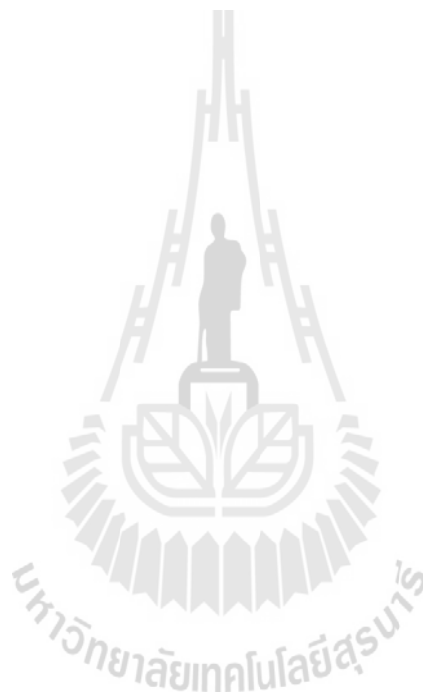
จากรูปที่ 3.21 ถึง รูปที่ 3.23 เป็นการนำค่า P_r ที่ได้จากหน้าจอของเครื่อง Network Analyzer มาทำการคำนวณหาอัตราขยายที่แท้จริงของสายอากาศภาคส่ง โดยใช้สมการที่ 1.5 และเมื่อคำนวณหาอัตราขยายได้แล้วนำอัตราขยายทั้งหมดมาจัดกลุ่มใหม่ โดยจะจัดกลุ่มอัตราขยายที่มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม จะสังเกตได้ว่าอัตราขยายในแต่ละความถี่นั้นมีค่าไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้ค่า ERP ที่แผ่ออกจากหน้าสายอากาศภาคนั้นมีค่าไม่เท่ากันตามไปด้วย จึงต้องมีการลดทอนกำลังงานจากภาคส่งลงเพื่อให้ค่า ERP เท่ากันตลอดทั้งย่านความถี่ โดยการลดทอนกำลังงานนั้นจะลดทอนตามผลต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่มีอัตราขยายน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ (โดยใช้ Step Attenuator เป็นอุปกรณ์ในการลดทอน ดังแสดงในรูปที่ 3.24) ซึ่งการลดทอนอัตราขยายนั้นจะทำขณะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะกล่าวถึงผลการทดลองในหัวข้อ 3.7 ต่อไป



รูปที่ 3.24 Step Attenuator


3.7 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศยาก็-อูคะ ทั้ง 5 ตัว

เมื่อได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งจากหัวข้อที่ 3.6 แล้ว จากนั้นนำสายอากาศภาคส่ง 1 ตัว มาใช้ในการวัด S_{21} โดยมีสายอากาศยาก็-อูคะเป็นสายอากาศภาครับ โดยการวัดอัตราขยายนั้น จะวัดในห้อง Chamber Room และวางสายอากาศห่างกันตามระยะ Far Field โดยช่วงความถี่ที่ต้องมีการลดทอนอัตราขยายนั้นจะมีการใช้อุปกรณ์การลดทอน (แสดงดังรูปที่ 3.24) ซึ่งการคำนวณจะต้องมีการลบออกด้วยค่า Loss 3.7 dB โดยคำนวณตามสมการที่ 1.5 ซึ่งผลการคำนวณมีดังรูปที่ 3.25 ต่อไปนี้



ข้อ	ดาวฤกษ์	ดาวฤกษ์DSE(Gain)		BETA HD3E(Gain)		ดาวฤกษ์(Gain)		BETA HD14E(Gain)		ดาวฤกษ์222UV(Gain)	
26	514	-0.56		3.76		1.67		2.09		-3.78	
27	522	-3.06		0.56		1.35		2.09		-12	
28	530	-5.56		-3.11		-0.93		5.68		11.75	
29	538	-12.81		-2.41		-12.37		-2.77		-17.61	
30	546	-5.91		-2.18		-4.65		-0.1		-3.36	
31	554	-7.41		12.41		-7.07		-0.46		1.36	
32	562	-1.56		-15.54		-1.25		-1.4		-6.29	
33	570	-38.26	-10.76	-27.9	0.11	-25.24	-5.14	-24.41	3.72	-34.19	-2.31
34	578	-31.81	-13.11	-43.16	0.29	-21.63	-5.76	-34.62	-13.02	-31.27	-6.66
35	586	-26.66	-8.76	-24.41	-4.44	-30.68	-9.79	-36.66	-10.27	-30.64	-0.47
36	594	-39.11	-10.61	-29	-17.18	-35.34	-16.19	-36.63	-12.14	-23.43	-2.08
37	602	-37.41	-10.91	-44.89	-20.61	-22.98	-16.43	-39.99	-9.77	-36.08	-4.67
38	610	-36.25	-25.73	-11.94	10.35	-30.59	-25.29	-32.32	-9.72	-29.55	-4.38
39	618	-37.71	-22.41	-35.47	-11.45	-23.33	-29.1	-38.48	-5.02	-44.17	-10.4
40	626	-39.49	-18.46	-36.8	-17.01	29.66	-12.07	-42.57	-9.9	-39.75	-7.15
55	746	-38.06	-8.46	-30.8	-7.72	-30.33	-3.51	-34.78	-17.27	-45.24	-17.6
56	754	-38.31	-11.81	-25.98	-9.89	-16.72	-9.26	-38.87	-15.44	-32.77	-12.16
57	762	-38.61	-27.81	-45.44	-9.27	-30.4	-10.35	-31.77	-15.21	-30.77	-16.66
58	770	-33.51	-6.13	-38.92	-8.73	-36.29	-26.06	-35.89	-25.79	-30.82	23.14
59	778	-42.67	-7.3	-40.86	-7.02	-28.27	-7.96	-41.7	-14.34	-30.2	-4.3
60	786	-37.86	-8.79	-44.32	-3.59	-23.08	-15.16	-21.9	-16.17	-38.37	-10.95
41	634	-43.36	-15.36	-42.01	-10.71	-27.08	-20.53	-45.56	-15.81	-33.84	-3.37
42	642	-45.67	-21.52	-34.15	-10.51	-31.94	-10.01	-30.95	-17.09	-35.07	-10.13
49	698	-46.63	-19.66	-37.2	-15.12	-41.94	-13.13	-37.72	-26.78	-42.09	-21.64
50	706	-43.25	-22.18	-36.21	-11.85	-30.73	-19.09	-42.23	-15.93	-32.14	-14.35
51	714	-39.71	-18.9	-32.32	-12.34	-35.36	-10.51	-35.06	-9.2	-42.26	-17.15
52	722	-39.16	-13.56	-35.9	-28.61	-40.19	-12.26	-36.92	-13.53	-33.86	-11.28
53	730	-41.31	-14.61	-35.01	-12.11	-23.8	-12.19	-36.92	-16.98	-32.83	-19.38
54	738	-32.46	-5.96	-37.9	-7.11	-26.54	-9.55	-35.26	-13.62	-35.5	-16.67
43	650	-39.16	-22.06	-49.68	-21.8	-45.15	-13	-44.76	-10.34	-33.36	-9.22
44	658	-41.36	-38.96	-40.73	-12.61	-34.05	-13.81	-40.73	-18.41	-40.72	-8.12
45	666	-40.16	-31.14	-37	-18.61	-44.11	-21.94	-44.92	-15.52	-35.02	-15.01
46	674	-41.91	-26.01	-44.45	-17.21	-34.34	-25.09	-28.64	-12.48	-30.2	-10.32
47	682	-41.07	-22.27	-38.73	-6.91	-27.82	-9.82	-36.74	-13.87	-39.41	-24.24
48	690	-38.46	-20.79	-35.34	-8.73	-37.6	-14.18	-47.3	-25.92	-34.33	-12.65

รูปที่ 3.25 ตารางผลการคำนวณอัตราขยายสายอากาศยึก 5 ตัว

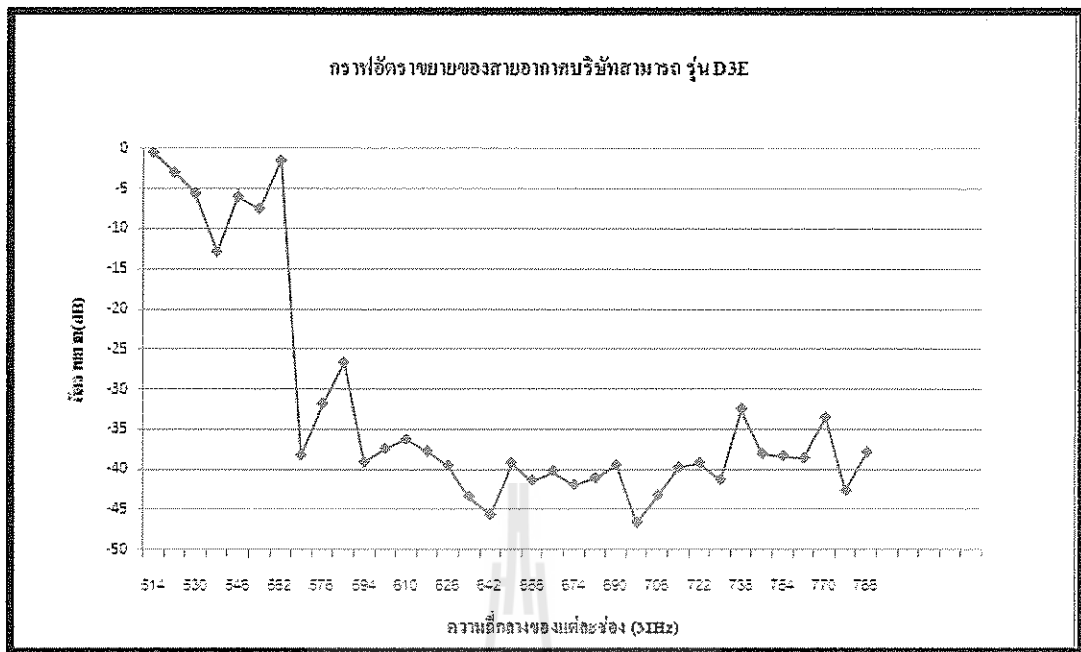
***แถวสี่  คือ มีการใส่ Step Attenuator และแถวที่ติดกันทางด้านขวาคือไม่ใส่ Step Attenuator และระยะห่างของสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับมีดังนี้

- สามารถ รุ่น D3E 48.3 cm.
- BETA รุ่น HD3E 47.3 cm.
- สากล รุ่น 35VU 50 cm.
- BETA รุ่น HD14E 48 cm.
- สามารถ รุ่น 222VU 50 cm.

โดยคำนวณระยะ Far Field จากสายอากาศส่งได้ที่ 30 cm.

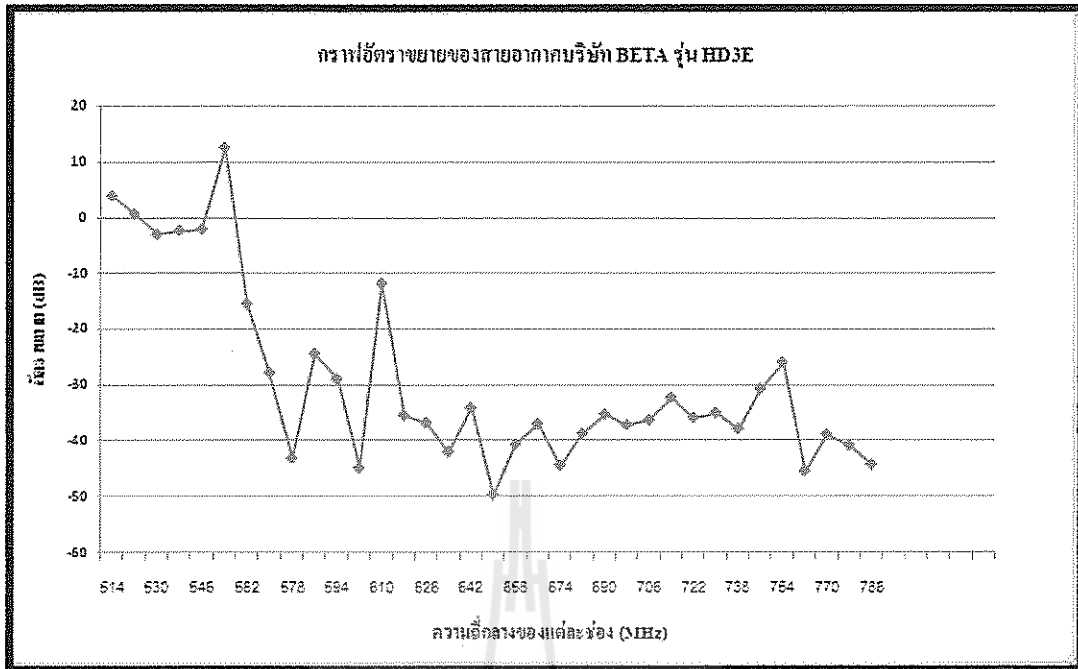
จากรูปที่ 3.25 เมื่อนำค่าอัตราขยายของสายอากาศยึกแต่ละตัวมาพล็อตกราฟเทียบกับความถี่ จะสามารถวิเคราะห์ได้ดังรูป 3.26 ถึง 3.30 ต่อไปนี้





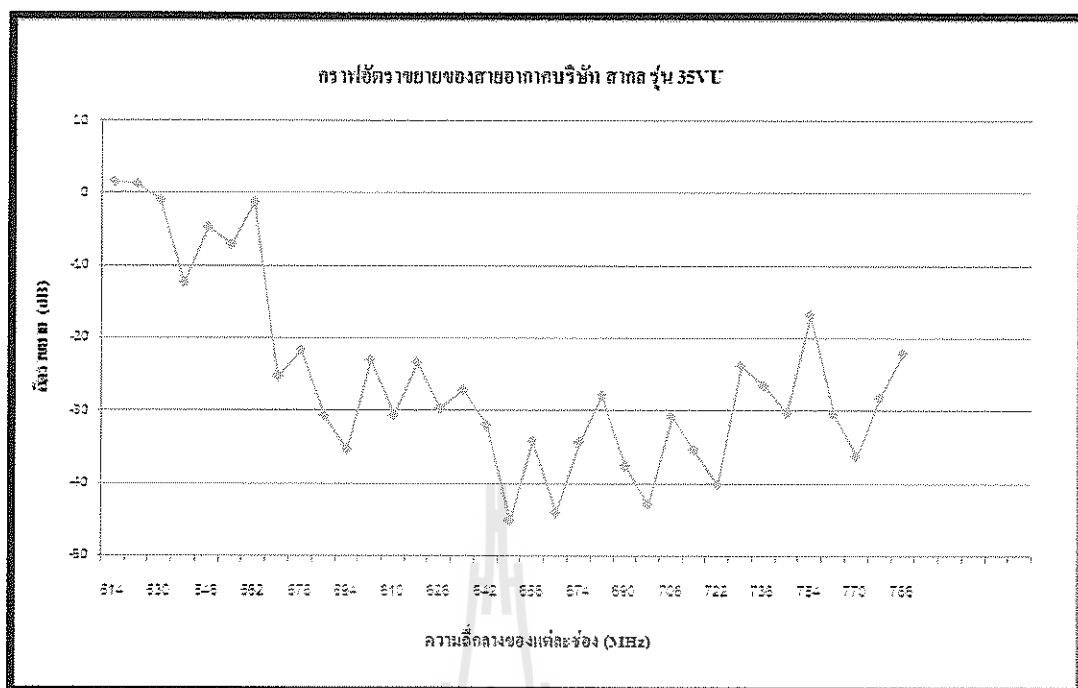
รูปที่ 3.26 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัทสามารถ รุ่น D3E

จากรูปที่ 3.26 เป็นกราฟแสดงอัตราขยายของสายอากาศสายอากาศ-อูตะ บริษัท สามารถ รุ่น D3E เทียบกับความถี่ จากการทดลองนี้พบว่าตลอดช่วงความถี่ 514 MHz. – 786 MHz. อัตราขยายของสายอากาศตัวนี้มีค่าต่ำมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะกำลังงานที่ส่งออกจากเครื่อง Network Analyzer มีค่าต่ำเกินไปที่สายอากาศภาครับจะสามารถรับได้ จึงทำให้จากผลการทดลองนี้ไม่สามารถที่จะทราบอัตราขยายที่พึงจะเป็นของสายอากาศตัวนี้ได้ แต่จากกราฟสามารถวิเคราะห์แนวโน้มของอัตราขยายได้ คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวนี้มีค่าที่ดีในช่วงความถี่ 514 MHz. – 562 MHz. ส่วนอัตราขยายที่ตกในช่วงความถี่ 578 MHz. – 786 MHz. นั้นเป็นผลมาจากกำลังงานที่ส่งออกจากเครื่อง Network Analyzer มีค่าน้อยเกินไป ตามที่ได้กล่าวมา และเป็นผลจากการจำเป็นที่จะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศภาครับ (สายอากาศสาย)



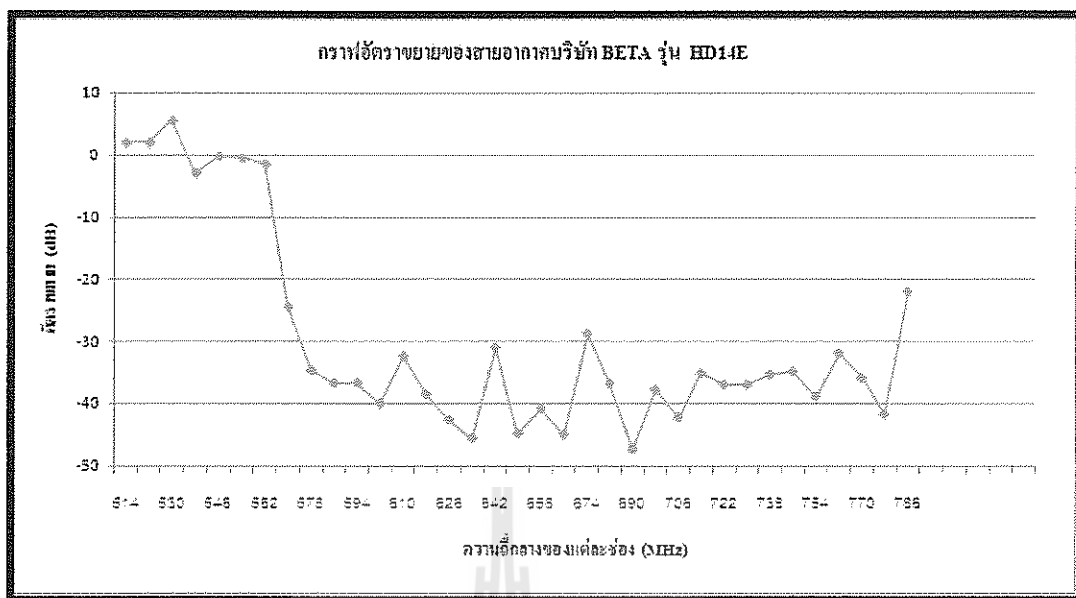
รูปที่ 3.27 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัท BETA รุ่น HD3E

จากรูปที่ 3.27 เป็นกราฟแสดงอัตราขยายของสายอากาศยี่ห้อ-อูคะ บริษัท BETA รุ่น HD3E เทียบกับความถี่ จากการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของอัตราขยายได้คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวนี้มีค่าที่ดีในช่วงความถี่ 514 MHz. – 562 MHz. และอัตราขยายที่ตกในช่วงความถี่ 578 MHz. – 594 MHz. โดยที่ความถี่ 610 MHz. และ 754 MHz. จะมีอัตราขยายปรากฏขึ้นมาเท่านั้น



รูปที่ 3.28 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัทสากล รุ่น 35VU

จากรูปที่ 3.28 เป็นกราฟแสดงอัตราขยายของสายอากาศยี่ห้อ-อุตสาหกรรม บริษัทสากล รุ่น 35VU เทียบกับความถี่ จากการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของอัตราขยายได้คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวนี้มีค่าที่ดีในช่วงความถี่ 514 MHz. – 562 MHz. และอัตราขยายที่ตกในช่วงความถี่ 578 MHz. – 738 MHz. และที่ความถี่ 770 MHz. โดยที่ความถี่ 754 MHz. และ 786 MHz. จะมีอัตราขยายปรากฏขึ้นมาเท่านั้น



รูปที่ 3.29 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัท BETA รุ่น HD14E

จากรูปที่ 3.29 เป็นกราฟแสดงอัตราขยายของสายอากาศวิทยุ-อูตะ บริษัท BETA รุ่น HD14E เทียบกับความถี่ จากการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของอัตราขยายได้คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวนี้มีค่าที่ดีในช่วงความถี่ 514 MHz. – 562 MHz. และอัตราขยายที่ตกในช่วงความถี่ 578 MHz. – 594 MHz. และช่วงความถี่ 706 MHz. – 770 MHz. โดยที่ความถี่ 610 MHz, 642 MHz, 674 MHz และ 786 MHz. จะมีอัตราขยายปรากฏขึ้นมาเท่านั้น



รูปที่ 3.30 กราฟอัตราขยายของสายอากาศบริษัท สามารถ รุ่น 222VU

จากรูปที่ 3.30 เป็นกราฟแสดงอัตราขยายของสายอากาศยี่ห้อ-อูเคะ บริษัท สามารถ รุ่น 222VU เทียบกับความถี่ จากการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของอัตราขยายได้ คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวนี้มีค่าที่ดีในช่วงความถี่ 514 MHz. – 562 MHz. และอัตราขยายที่ตกในช่วงความถี่ 578 MHz. – 786 MHz.

บทที่ 4

ข้อสรุปและปัญหา อุปสรรค พร้อมข้อเสนอแนะของโครงการ

4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นกรกล่าวถึงบทสรุปของโครงการการศึกษาการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศยาคี-อูคะสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน ซึ่งประกอบไปด้วย ผลสรุปของการทดสอบ ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ มีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

4.2 ผลสรุปของการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศยาคี-อูคะ ทั้ง 5 ตัว มีดังนี้

ชื่อสายอากาศ	ผลสรุป
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาคี-อูคะ บริษัทสากลแอน เทนน่า รุ่น UV35 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมและใช้งานได้ดีตลอดย่านความถี่วีดิทัศน์ (470 MHz. – 860 MHz.)
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาคี-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น 222 VU 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมและใช้งานได้ดีตลอดย่านความถี่วีดิทัศน์ (470 MHz. – 860 MHz.)
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาคี-อูคะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมและใช้งานได้ดีตลอดย่านความถี่วีดิทัศน์ (470 MHz. – 860 MHz.)
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาคี-อูคะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD3E 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมและใช้งานได้ดีตลอดย่านความถี่วีดิทัศน์ (470 MHz. – 860 MHz.)
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาคี-อูคะ บริษัทยั้งเจริญ รุ่น HD14E 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ครอบคลุมและใช้งานได้ดีตลอดย่านความถี่วีดิทัศน์ (470 MHz. – 860 MHz.)

4.3 ผลสรุปของการวัดอัตราขยายของสายอากาศยาก็-อูตะ ทั้ง 5 ตัว มีดังนี้

ชื่อสายอากาศ	ผลสรุป
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทสากลแอน เทนน่า รุ่น UV35 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีแบนด์ไว้มของอัตราขยายที่ดีในช่วง 514 MHz. – 562 MHz., 754 MHz. และ 786 MHz. และอัตราขยายตกในช่วง 578 MHz. – 738 MHz. และที่ความถี่ 770 MHz.
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทสามารถ รุ่น 222 VU 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีแบนด์ไว้มของอัตราขยายที่ดีในช่วง 514 MHz. – 562 MHz. และอัตราขยายตกในช่วง 578 MHz. – 786 MHz.
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทสามารถ รุ่น D3E 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีแบนด์ไว้มของอัตราขยายที่ดีในช่วง 514 MHz. – 562 MHz. และอัตราขยายตกในช่วง 578 MHz. – 786 MHz.
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทยังเจริญ รุ่น HD3E 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีแบนด์ไว้มของอัตราขยายที่ดีในช่วง 514 MHz. – 562 MHz., 610 MHz. และ 754 MHz. และอัตราขยายตกในช่วง 578 MHz. – 594 MHz
<ul style="list-style-type: none"> ● สายอากาศยาก็-อูตะ บริษัทยังเจริญ รุ่น HD14E 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีแบนด์ไว้มของอัตราขยายที่ดีในช่วง 514 MHz. – 562 MHz., 610 MHz, 642 MHz, 674 MHz และ 786 MHz. และอัตราขยายตกในช่วง 578 MHz. – 594 MHz. และช่วงความถี่ 706 MHz. – 770 MHz.

4.4 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการดำเนินการทดสอบมีดังนี้

➤ ปัญหากำลังส่งของเครื่อง Network Analyzer นั้นมีค่าน้อยเกินไปที่สายอากาศภาครับนั้นจะสามารถรับได้ และปัญหาที่ไม่ทราบค่ากำลังส่งที่แท้จริงของเครื่อง Network Analyzer นั้น จึงทำให้จากการทดสอบ การวัดหาอัตราขยายของสายอากาศวิทยิ-อูคะ ทั้ง 5 ตัวนี้ ไม่สามารถทราบค่าอัตราขยายที่พึงจะเป็นได้ แต่จากกราฟผลการทดลองในบทที่ 3 ตามรูปที่ 3.24 – 3.28 นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์แนวโน้มของอัตราขยายได้ ซึ่งดูได้จากหัวข้อที่ 4.3

➤ ปัญหาของการจำเป็นที่จะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ที่สายอากาศภาครับ สายอากาศภาครับนั้นมีอิมพีแดนซ์ที่ 75 โอห์ม เพราะเป็นสายอากาศวิทยิ-อูคะ ที่จำหน่ายเพื่อใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ตามบ้านเรือน จึงจำเป็นที่จะต้องแปลงอิมพีแดนซ์จาก 75 โอห์ม เป็น 50 โอห์ม เพื่อที่จะสามารถทำการทดสอบด้วยเครื่อง Network Analyzer ได้ ด้วยเหตุนี้จึงอาจจะส่งผลกระทบต่อผลการทดลองของการวัดอัตราขยายที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง

4.5 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาและอุปสรรคในหัวข้อ 4.4 ที่ได้กล่าวมานั้น มีข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหา ดังนี้

➤ จากปัญหาของกำลังส่งที่น้อยเกินไปของเครื่อง Network Analyzer นั้น ทำให้ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศวิทยิ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว ไม่สามารถทราบค่าอัตราขยายที่พึงจะเป็นได้นั้น ทำได้เพียงการวิเคราะห์แนวโน้มจากกราฟผลการทดลอง ซึ่งมีข้อเสนอแนะคือ ใช้อุปกรณ์เครื่องวัดที่มีกำลังส่งที่สูงเพียงพอ และสามารถทราบค่ากำลังส่งที่แท้จริงได้

➤ จากปัญหาที่จำเป็นจะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศภาครับนั้น เป็นปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากสายอากาศวิทยิ-อูคะที่นำมาทดสอบเป็นสายอากาศวิทยิ-อูคะที่ออกแบบและทำเพื่อจำหน่ายเพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ตามบ้านเรือน ซึ่งออกแบบค่าอิมพีแดนซ์ไว้ที่ 75 โอห์ม ในการทดสอบนี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์เป็น 50 โอห์ม เพื่อต่อกับเครื่อง Network Analyzer ได้

4.6 กล่าวสรุป

โครงการการศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศขั้วเกอ-อูคะสำหรับรับสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิตอลที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันนี้ ได้ผลการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. ผลการวัดความกว้างแถบ (Bandwidth) ของสายอากาศขั้วเกอ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว ซึ่งพบว่าสายอากาศขั้วเกอ-อูคะ ทั้ง 5 ตัวนี้มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่ครอบคลุมและสามารถใช้งานได้ดีในช่วงความถี่ที่วีดิจิตอล คือ ตั้งแต่ 470 MHz. – 860 MHz.

2. ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศขั้วเกอ-อูคะ ทั้ง 5 ตัว ซึ่งพบว่าไม่สามารถที่จะทราบอัตราขยายที่แท้จริงของสายอากาศดังกล่าวได้ ทำได้เพียงวิเคราะห์ค่าแนวโน้มว่าสายอากาศแต่ละตัวนั้นมีแนวโน้มอัตราขยายที่ดีในค่าความถี่ใดบ้าง ซึ่งดูได้จากหัวข้อที่ 3.7 ตามรูปที่ 3.24 – 3.28 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ กำลังส่งของเครื่อง Network Analyzer นั้นมีค่าไม่เพียงพอที่สายอากาศภาครับจะสามารถรับได้ จึงทำให้ได้ผลการทดสอบที่ไม่เป็นความจริง ซึ่งการทดสอบทั้งหมดนี้ได้ทำการทดสอบตามหลักการทางวิศวกรรมอย่างถูกต้องแล้ว คือ การทำให้สายอากาศภาคส่งมีค่า ERP (Effective Radiated Power) เท่ากันตลอดย่านความถี่ที่ทดสอบ ส่วนการที่จะได้ผลการทดลองที่ดีกว่านั้นนั้นอาจจะต้องใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อการทดสอบต่อไป

ภาคผนวก ก

ค่าการสูญเสียของอุปกรณ์และสายนำสัญญาณ

➤ ค่าการสูญเสียของอุปกรณ์แปลงอิมพีแดนซ์ รุ่น 932A



RF TRANSMISSION EQUIPMENT

By using high performance RF transmission equipment which is developed and manufactured by Eiden, high precise measurement is enabled. Eiden's RF transmission equipment is most suitable for transmitting of RF signal at your laboratory or factory.

■ 2-Distributor

Model	Frequency(MHz)	Impedance	Power	Connector	VSWR	Distribution Loss	Isolation
925A(B)	40~900	50(75)Ω	2W	N-R(NC-R)	less than 1.5	less than 4dB	over 20dB
925H-4E	900~3000	50Ω	1W	N-R	less than 1.25	less than 3.5dB	over 20dB

■ 4-Distributor

Model	Frequency(MHz)	Impedance	Power	Connector	VSWR	Distribution Loss	Isolation
926A(B)	40~900	50(75)Ω	2W	N-R(NC-R)	less than 1.5	less than 8dB	over 20dB
926H-4E	900~3000	50Ω	1W	N-R	less than 1.3	less than 8dB	over 20dB

■ 2-Coupler

Model	Frequency(MHz)	Impedance	Power	Connector	VSWR	Insertion Loss	Coupling Loss	Isolation (for branch)
928C	40~900	50(75)Ω	2W	N-R(NC-R)	less than 1.5	less than 2.5dB	13dB±2dB	over 20dB
928H-4E II	900~2700	50Ω	3W	N-R	less than 1.3	less than 1.5dB	12dB±2dB	over 22dB

■ 4-Coupler

Model	Frequency(MHz)	Impedance	Power	Connector	VSWR	Insertion Loss	Coupling Loss	Isolation (for branch)
928D	40~900	50(75)Ω	2W	N-R(NC-R)	less than 1.5	less than 3dB	16dB±2dB	over 20dB

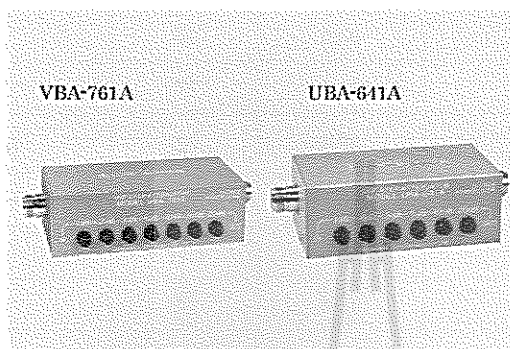
■ 50/75Ω Impedance Converter

Model	Frequency(MHz)	Power	Connector	VSWR	Insertion Loss
932A	10~1000	2W	Specify connector type (N/BNC/F and male/female)	less than 1.2	less than 1dB
932H-4E	900~2400	1W	Specify connector type (N/BNC/F and male/female)	less than 1.2	less than 0.5dB

➤ ค่าการสูญเสียของ Step Attenuator รุ่น VBA-641A

PUSH BUTTON ATTENUATORS

VBA-A·UBA-A Series



■ Product features and applications

The VBA-A/UBA-A series are push-button type variable attenuators, covering up to DC-300 MHz (VBA-A) or DC-900 MHz (UBA-A) frequency. To meet the wide-ranging needs from research to experiment and signal adjustment, we offer several models with 4 to 8 push-buttons. Their lightweight and compact design makes them highly portable.

	Common Specifications	
	VBA-A	UBA-A
Frequency Range	DC ~ 300MHz	DC ~ 900MHz
Impedance	50 Ω, 75 Ω	
VSWR	50 Ω ... 1.2(Max.) 75 Ω ... 1.3(Max.)	50 Ω ... 1.3(Max.) 75 Ω ... 1.5(Max.)
Power(Max)	0.5W	
Connectors	50Ω ... BNCJ, N.J / 75Ω ... BNCJ, FJ, NCJ	
Circuit Type	Unbalanced Type	
Switching Mode	Closed	
Operating Temperature Range	-10°C ~ +65°C	

■ VBA/UBA series Standard Specifications

Models	Attenuation dB (Max.)	Sections	Step		Deviation dB (Max.)	Insertion Loss dB (Max.)		Length L(mm)	Weight
			Attenuation (dB)			50 Ω	75 Ω		
VBA-439A	39	4	3	6 10 20	+ (2%+0.2)	0.5	0.5	81	(380g)
VBA-536A	36	5	1 2 3 15 15		± (2%+0.2)	0.5	0.5	95	(420g)
VBA-641A	41	6	1 2 3 5 10 20		± (2%+0.2)	0.5	0.7	109	(460g)
VBA-871A	71	8	1 2 3 5 10 10 20 20		± (2%+0.2)	0.9	0.9	137	(540g)
VBA-891A	81	8	1 2 3 5 10 20 20 20		± (2%+0.2)	0.9	0.9	137	(540g)
UBA-439A	39	4	3 6 10 20		+ (2%+0.2)	0.8	1.3	81	(380g)
UBA-559A	59	5	3 6 10 20 20		± (2%+0.2)	1.0	1.5	95	(420g)
UBA-761A	61	7	1 2 3 5 10 20		± (2%+0.2)	1.8	2.2	123	(500g)

➤ ตาราง แสดงคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ ที่นักวิทยุสมัครเล่นนิยมใช้

เบอร์ของสาย	อิมพีแดนซ์	ตัวคูณ ความเร็ว	อัตราการสูญเสีย (dB) ที่ความยาว 100 เมตร ความถี่ 145 MHz
RG-8/U	52	0.66	8.8
RG-8/U โฟม	50	0.78	7.4
RG-8A/U	52	0.66	8.8
RG-11/U	75	0.66	9.0
RG-11/U โฟม	75	0.78	5.6
RG-11A/U	75	0.66	9.0
RG-58/U	53.5	0.66	18.6
RG-58A/U	50	0.66	19.9
RG-58A/U โฟม	50	0.78	17.8
RG-59/U	73	0.66	13.6
RG-59/U โฟม	75	0.78	10.4
RG-59B/U	75	0.66	13.6
RG-174/U	50	0.66	34.3
RG-213/U	50	0.66	8.8
RG-214/U	50	0.66	8.8
RG-218/U	50	0.66	3.9
3D-LFV	50	0.78	15.4
5D-FB	50	0.79	7.8
8D-FB	50	0.79	5.0
10D-FB	50	0.79	3.8
12D-FB	50	0.79	3.2
Haliac แบบโฟม 3/8 นิ้ว	50	0.88	4.1
Haliac แบบโฟม 1/2 นิ้ว	50	0.88	3.1

บรรณานุกรม

- [1] รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2555). *วิศวกรรมสายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. นครราชสีมา: บริษัท ยืนหยัด
ชัดเจน จำกัด.
- [2] http://ham.9bkk.com/articles/transmission_line.html
- [3] http://www.eiden-gp.co.jp/product/rf_trans/documents/E_RF_Trans_Equip.pdf
- [4] http://www.tmele.jp/seihin/PDF/eng_Attenuators03.pdf
- [5] <http://eestaff.kku.ac.th/~nantakan/Microwave/1.%20CST%20%20-%20Concepts%20&%20Microstrip%20Design%20-%20MetaSolver%20KKU%20-%20AS.pdf>
- [6] นางสาววันวิสาข์ ไทยวิโรจน์. *สายอากาศไมโครสตริป*.
- [7] เพชรน้อย และ สงวน, 2531, การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ ,
วิทยานิพนธ์ ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประวัติผู้เขียน



นางสาวกิริติกานต์ ใจเอื้อ เกิดวันที่ 23 พฤศจิกายน
พ.ศ. 2534 ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 111 ตำบล ธารปราสาท
อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษามัธยมศึกษา
ตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนพิมายวิทยา ปีการศึกษา 2552
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

