



สายอากาศแถวลำดับแบบโบว์ไทสำหรับประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารยุค 3G

โดย

นายภาวศร	หัตถ์	รหัสนักศึกษา B5512188
นางสาวกมลลักษณ์	ศรีสด	รหัสนักศึกษา B5530489
นายสพล	นราโชติกา	รหัสนักศึกษา B5533091

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527494/527499 โครงการนวัตกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2558

สายอากาศแถวลำดับแบบโพลีโทสำหรับประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารยุค 3G

คณะกรรมการสอบโครงการงาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 527494/527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2558

แบบเสนอโครงการวิชา 527494/527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำภาคการศึกษาที่ 1/2558

เรื่อง สายอากาศแถวลำดับแบบโบว์ไทท์สำหรับประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารยุค 3G

(Bowtie Array Antenna for 3G System Application)

ผู้เสนอโครงการ	1. นายภาวศร หัสดี	รหัส B5512188
	2. นางสาวกมลลักษณ์ ศรีสด	รหัส B5530489
	3. นายสพล นราโชติกา	รหัส B5533091
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์	

บทคัดย่อ

สายอากาศ (Antenna) คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปหรือในทางกลับกันใช้สำหรับรับกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามาสายอากาศจะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์นำทาง (Guiding Device) ให้แก่คลื่นเช่นสายส่งสัญญาณ (Transmission Line) หรือท่อนำคลื่น (Waveguide) กับช่องอากาศว่าง (Free-Space) โดยในโครงการนี้ได้ศึกษาสายอากาศที่มีความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่กว้างเพียงพอต่อการใช้งานในพื้นที่ขนาดเล็กโดยใช้หลักการออกแบบจากสายอากาศไดโพลชนิดหนึ่งที่มีความกว้างแถบที่กว้างกว่าไดโพลเส้นลวดทั่วไปนั่นคือ สายอากาศแบบโบว์ไทท์ (Bowtie Antenna) โดยนำมาต่อเป็นแถวลำดับแบบเชิงเส้น (Linear Array) จำนวน 1×4 อีลิเมนต์เพื่อเพิ่มอัตราขยาย (Gain) สำหรับใช้งานในย่านความถี่ของสัญญาณในระบบ 3G ซึ่งผลจากการดำเนินงานพบว่า สามารถให้การตอบสนองได้ตามวัตถุประสงค์เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการออกแบบ สายอากาศโบริวไทเทเนียมจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ 3G สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้เนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลหลายท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ซึ่งบุคคลเหล่านี้ประกอบด้วย

1. รศ. ดร. รัชสรรค์ วงศ์สรรค์ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)
2. นาย ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง (นักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิศวกรรม โทคมนาคม)
3. ว่าที่ร้อยตรี วรากรณ์ สาริษา (นักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิศวกรรม โทคมนาคม)
4. นาย พีรสิทธิ์ คำสารี (นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิศวกรรม โทคมนาคม)

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลรวมทั้งคำปรึกษาและคำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ยิ่งแก่โครงการนี้ และในการให้ความรู้แก่คณะผู้วิจัย และได้นำความรู้มาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโครงการ หากโครงการเรื่องนี้มีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำโครงการขออภัยมา ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

นาย ภาวศร หัสดี

นางสาว กมลลักษณ์ ศรีสด

นาย สพล นราโชติกา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 นิยามของสายอากาศ	4
2.2 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)	4
2.3 การจำลองสายอากาศโดยใช้ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า	5
2.4 แบบรูปการแผ่กำลัง (Radiation Pattern)	7
2.5 พุทธิคุณของการแผ่กำลัง	9
2.6 บริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศ	10
2.7 อัตราขยาย	10
2.8 ความกว้างแถบความถี่	12
2.9 โพลาริเซชัน (Polarization)	13

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
2.10 การทำบازلันแบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียขนาด $\lambda/4$	14
2.11 นิยามของ S-parameter	15
2.12 สายอากาศแบบแถวลำดับ (Array Antenna)	16
2.12.1 ความหมายของสายอากาศแบบแถวลำดับ	16
2.12.2 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ (Gain of Array Antennas)	17
2.13 สรุป	19
บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศโบว์ไท	20
3.1 บทนำ	20
3.2 ผลการคำนวณขนาดของสายอากาศโบว์ไทที่ความถี่ 2.00 GHz	20
3.3 การจำลองแบบสายอากาศ	23
3.4 การปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศโบว์ไท	26
3.4.1 การปรับความสูงของสายอากาศโบว์ไท	26
3.4.2 ปรับมุมของสายอากาศโบว์ไท	30
3.5 การปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ของสายอากาศโบว์ไทซึ่งนำมาต่อเป็นแถวลำดับเชิงเส้น (Linear Array) ขนาด 1x2 อีลิเมนต์	38
3.6 การปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ของสายอากาศโบว์ไทซึ่งนำมาต่อเป็นแถวลำดับเชิงเส้น (Linear Array) ขนาด 1x4 อีลิเมนต์	51
บทที่ 4 การสร้างชิ้นงานและผลการวัดทดลอง	78
4.1 บทนำ	78

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
4.2 อุปกรณ์	75
4.3 การสร้างสายอากาศโบว์ไท	77
4.4 ผลการวัดทดสอบสายอากาศโบว์ไทองค์ประกอบเดี่ยว	82
4.5 ผลการวัดทดสอบสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับจำนวน 1x4 อีลิเมนต์	91
4.6 สรุป	99
บทที่ 5 บทสรุปและปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการ	100
5.1 กล่าวนำ	100
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการและวิธีแก้ปัญหา	100
5.2 บทสรุป	102
บรรณานุกรม	103



สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับความสูงของสายอากาศโบว์ไท	29
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับมุมของสายอากาศโบว์ไท	33
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท	46
ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท	70
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศโบว์ไท	90
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4	
อีลิเมนต์	98
ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของปัญหาที่พบ และวิธีแก้ปัญหาโครงการ	100



สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.1 สายอากาศไดโพล	4
รูปที่ 2.2 การกระจายของกระแสของสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น	5
รูปที่ 2.3 การทำงานของสายอากาศขณะทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งโดยใช้วงจร สมมูลเทเวนินของสายส่งเป็นแบบจำลอง	6
รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่กำลัง	8
รูปที่ 2.5 แบบรูปหลักของสายอากาศแบบชี้ทิศทาง	9
รูปที่ 2.6 บริเวณรอบสายอากาศ	10
รูปที่ 2.8 ความกว้างแถบความถี่	12
รูปที่ 2.9 แสดงโพลาริเซชันของคลื่นสามรูปแบบ	13
รูปที่ 2.10 การทำบอดี้แบบเชื่อมโดยสายโคแอกเชียล $\lambda/4$	14
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของสายโคแอกเชียล	15
รูปที่ 2.12 สายอากาศองค์ประกอบเดียวที่มีการส่งกำลัง P_I	17
รูปที่ 2.12 สายอากาศซึ่งมีสององค์ประกอบที่มีการส่งกำลัง P_1	18
รูปที่ 3.1 แสดงการแจกแจงรูปของกระแสครึ่งบนของสายอากาศโบว์ไท	21
รูปที่ 3.2 แสดงการแจกแจงรูปของกระแสครึ่งล่างของสายอากาศโบว์ไท	21
รูปที่ 3.3 แสดงการแจกแจงรูปของกระแสของสายอากาศโบว์ไท	22
รูปที่ 3.4 ขนาดของสายอากาศโบว์ไท	22

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.5 ชิ้นงานสายอากาศโบว์ไทในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	23
รูปที่ 3.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท	24
รูปที่ 3.7 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท 3 มิติ	24
รูปที่ 3.8 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท	25
รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท	25
รูปที่ 3.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับความสูง	26
รูปที่ 3.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทที่ความถี่ 2.045 GHz	27
รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับความสูง	27
รูปที่ 3.13 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับความสูง	28
รูปที่ 3.14 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับความสูง	28
รูปที่ 3.15 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับมุม	30
รูปที่ 3.16 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทที่ความถี่ 2.045 GHz	31
รูปที่ 3.17 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับมุม	31
รูปที่ 3.18 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับมุม	32
รูปที่ 3.19 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไทที่ถูกรับมุม	32
รูปที่ 3.20 ขนาดสายอากาศโบว์ไทต้นแบบในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	34
รูปที่ 3.21 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท	35

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.22 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไท	35
รูปที่ 3.23 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไท	36
รูปที่ 3.24 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท 3 มิติ	36
รูปที่ 3.25 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท	37
รูปที่ 3.26 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กโบว์ไท	37
รูปที่ 3.27 ชิ้นงานสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	38
รูปที่ 3.28 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์	39
รูปที่ 3.29 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	39
รูปที่ 3.30 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	40
รูปที่ 3.31 ภาพขยายอัตราขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	40
รูปที่ 3.32 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	41
รูปที่ 3.33 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	42

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.34 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	42
รูปที่ 3.35 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	43
รูปที่ 3.36 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	44
รูปที่ 3.37 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	44
รูปที่ 3.38 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	45
รูปที่ 3.39 ภาพขยายอัตราขยาย สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์	45
รูปที่ 3.40 แสดงระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	47
รูปที่ 3.41 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์	47
รูปที่ 3.42 ความกว้างแถบ สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์	48
รูปที่ 3.43 ค่าอิมพีแดนซ์ สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์	48
รูปที่ 3.44 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ 3 มิติ	49

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.45 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์	49
รูปที่ 3.46 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์	50
รูปที่ 3.47 แสดงระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ของสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	51
รูปที่ 3.48 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	52
รูปที่ 3.49 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	52
รูปที่ 3.50 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ 3 มิติ	53
รูปที่ 3.51 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	53
รูปที่ 3.52 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	54
รูปที่ 3.53 ชิ้นงานสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	55
รูปที่ 3.54 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 1	56
รูปที่ 3.55 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 1	57
รูปที่ 3.56 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลต์ลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 1	57

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.57 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 2	58
รูปที่ 3.58 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 2	59
รูปที่ 3.59 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 2	59
รูปที่ 3.60 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 3	60
รูปที่ 3.61 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 3	61
รูปที่ 3.62 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 3	61
รูปที่ 3.63 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ สายอากาศโบว์ไท แวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 4	62
รูปที่ 3.64 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 4	63
รูปที่ 3.65 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 4	63

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.66 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 5	64
รูปที่ 3.67 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 5	65
รูปที่ 3.68 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 5	65
รูปที่ 3.69 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร	66
รูปที่ 3.70 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ที่ความถี่ 2.045 GHz ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร	67
รูปที่ 3.71 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร	68
รูปที่ 3.72 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร	69
รูปที่ 3.73 ภาพขยายอัตราขยายในระนาบสนามไฟฟ้า สายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร	70
รูปที่ 3.74 ชิ้นงานสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST	72
รูปที่ 3.75 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	73
รูปที่ 3.76 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	73

สารบัญรูป

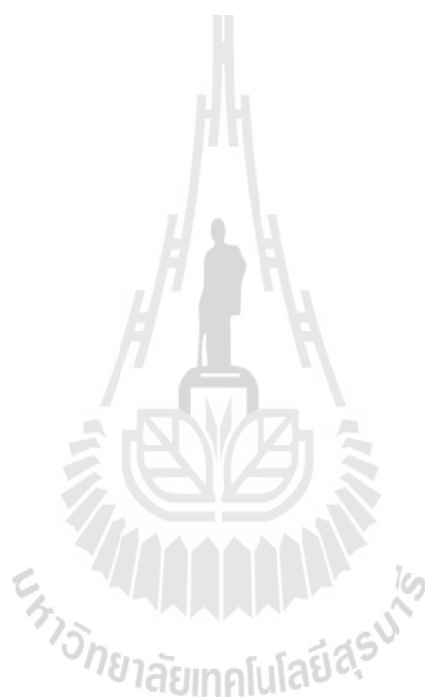
รายการ	หน้า
รูปที่ 3.77 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ 3 มิติ	74
รูปที่ 3.78 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	74
รูปที่ 3.79 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์	75
รูปที่ 3.80 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ สายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ความถี่ 2.045 GHz	75
รูปที่ 3.81 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G	76
รูปที่ 3.82 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G	76
รูปที่ 3.82 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G	76
รูปที่ 4.1 ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์ไทเทจากการทดสอบ	82
รูปที่ 4.2 ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับจากแบบจำลอง	83
รูปที่ 4.3 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไทเท	83
รูปที่ 4.4 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไทเทจากการวัดทดลอง	84
รูปที่ 4.5 ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไทเทจากการทดลอง	84
รูปที่ 4.6 ผลจากแบบจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไทเท	85
รูปที่ 4.7 การทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทเทในระนาบสนามไฟฟ้าใน Anechoic Chamber	86

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 4.8 การทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทในระนาบสนามแม่เหล็กใน Anechoic Chamber	86
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโบว์ไท องค์ประกอบเดี่ยว ระหว่างผลการวัดทดสอบกับการจำลองแบบ	87
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโบว์ไท องค์ประกอบเดี่ยว ระหว่างผลการวัดทดสอบกับการจำลองแบบ	87
รูปที่ 4.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์ไทเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G ที่ได้จากการวัดทดสอบ	91
รูปที่ 4.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์ไทเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G ที่ได้จากการจำลองแบบ	92
รูปที่ 4.13 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G	92
รูปที่ 4.14 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G จากการวัดทดสอบ	93
รูปที่ 4.15 ค่าอิมพีแดนซ์ สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G จากการจำลองแบบ	94
รูปที่ 4.16 การวัดทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ในระนาบสนามไฟฟ้าใน Anechoic Chamber	95
รูปที่ 4.17 การวัดทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ในระนาบสนามแม่เหล็กใน Anechoic Chamber	95

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโบว์ไทแฉว ลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ระหว่างผลการการวัดทดสอบกับแบบจำลอง	96
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโบว์ไทแฉว ลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ระหว่างผลการการวัดทดสอบกับแบบจำลอง	96



บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายนั้นเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งในการส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นจะต้องใช้สายอากาศเป็นตัวส่งสัญญาณออกไปให้ผู้ให้บริการทางด้านต่างๆ ในกรณีนี้เป็นการส่งสัญญาณในย่านความถี่ของสัญญาณ 3G โดยต้องการให้มีการส่งสัญญาณที่ดีขึ้นซึ่งสายอากาศที่จะเป็นตัวส่งสัญญาณนั้นจะต้องมีความกว้างแถบที่กว้างที่เพียงพอต่อการใช้งานในพื้นที่เล็กๆ และมีอัตราขยายที่สูง ซึ่งในโครงการนี้เราพบว่าสายอากาศไดโพล ประเภท สายอากาศแบบโบว์ไท่นั้นให้ความกว้างแถบที่กว้างและให้อัตราขยายที่สูงกว่าสายอากาศประเภทอื่นๆ และสามารถนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก

โครงการนี้จึงได้ศึกษา ออกแบบสายอากาศไดโพล ประเภทสายอากาศโบว์ไท่ให้มีความกว้างแถบที่กว้างและมีอัตราขยายที่สูงในการส่งสัญญาณในย่านความถี่ของสัญญาณ 3G โดยการนำมาต่อเป็นแถวลำดับแบบเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์เพื่อเพิ่มอัตราขยายให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) นำสายอากาศที่ออกแบบได้ไปใช้งานได้จริงในการส่งสัญญาณ 3G
- 2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการแถวลำดับกันของสายอากาศในระยะห่างต่างๆ
- 3) เพื่อศึกษาการแมตซ์ชิงโดยใช้บาลัน 1:1
- 4) เพื่อศึกษาการเขียน โปรแกรมในการจำลองสายอากาศ ให้สายอากาศส่งความถี่ในย่านความถี่ที่ต้องการและมีคุณสมบัติที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

1.3 ขอบเขตงาน

- 1) ศึกษาลักษณะการแผ่กำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศโบว์ไท
- 2) ศึกษาการใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
- 3) ออกแบบสายอากาศโบว์ไท ที่ความยาว $\lambda/3$ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
- 4) ออกแบบสายอากาศโบว์ไท แถวลำดับที่มีระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ $\lambda/3$ โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
- 5) สร้างสายอากาศให้ได้ตามวัตถุประสงค์
- 6) ทดสอบการทำงานจริงและวัดผลการทดลองเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเกี่ยวกับขอบเขตของโครงการที่จะทำ
- 2) ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ
- 3) ศึกษาการใช้งานโปรแกรม CST Microwave Studio
- 4) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสายอากาศ
- 5) ออกแบบสายอากาศต้นแบบ
- 6) ทดลองอุปกรณ์และปรับปรุงแก้ไข
- 7) สรุปผลการทดลอง เขียนรายงานโครงการและการนำเสนอโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงการมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน
- 2) สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบวิชาชีพ

- 3) สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีต่างๆ มาใช้งานในทางปฏิบัติงานจริง
- 4) รู้จักวางแผนและทำงานอย่างมีระบบ
- 5) สามารถทำงานร่วมกันเป็นทีมได้



บทที่ 2

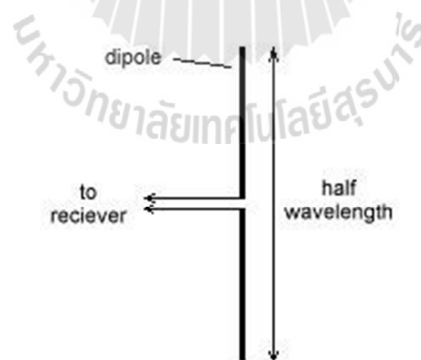
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของสายอากาศ

สายอากาศ คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปหรือในทางกลับกันใช้สำหรับรับกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามาสายอากาศจะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์การนำทาง (Guiding Device) ให้แก่คลื่น เช่น สายส่งสัญญาณหรือท่อนำคลื่นกับอวกาศว่าง

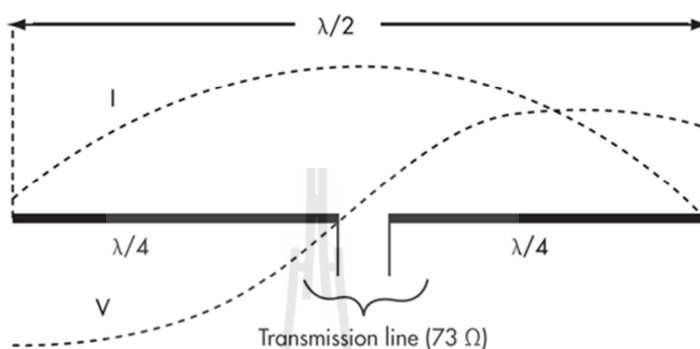
2.2 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)

สายอากาศไดโพล เป็นสายอากาศอย่างง่าย ที่มีองค์ประกอบเป็นแท่งโลหะ 2 แท่งวางเป็นแนวเส้นตรง ดังรูปที่ 2.1 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพล



รูปที่ 2.1 สายอากาศไดโพล

การกระจายของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณ กระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยจะเป็นศูนย์ที่ปลาย ทั้ง 2 แต่จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆบนตัวไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง

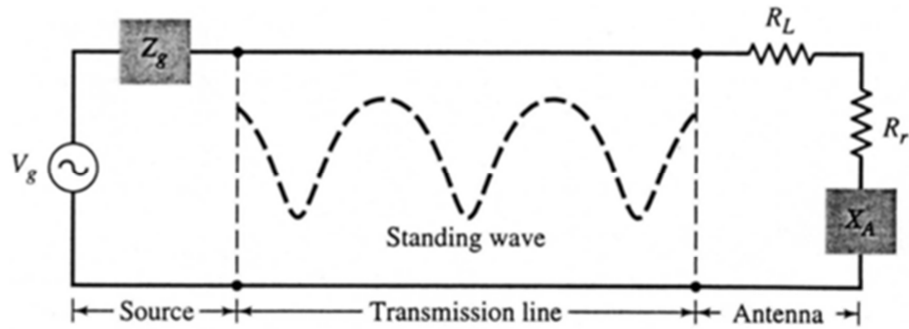


รูปที่ 2.2 การกระจายของกระแสของสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น (half wave dipole)

ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆ สามารถพิจารณาให้เป็นองค์ประกอบเล็กๆ ของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงกระแสที่มีลักษณะที่เท่ากันตลอดคุณลักษณะทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กๆ

2.3 การจำลองสายอากาศโดยใช้ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

การจำลองการทำงานของสายอากาศ ทั้งในขณะที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศการส่งและสายอากาศการรับ สามารถกระทำได้โดยใช้ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าที่เรียกว่า วงจรสมมูลเทเวนินของสายส่ง (Transmission-Line Thevenin Equivalent Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทำงานของสายอากาศขณะทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งโดยใช้วงจรสมมูลเทวินินของสายส่งเป็นแบบจำลอง

V_g คือ แรงดันของสัญญาณที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

Z_g คือ อิมพีแดนซ์ (Impedance) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

Z_c คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง

R_r คือ ความต้านทานการแผ่กำลัง (Radiation Resistance) ของสายอากาศ

R_L คือ ความต้านทานการสูญเสีย (Loss Resistance) ซึ่งเกิดจากการสูญเสียของตัวนำ (Conduction Loss) และของไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss) ที่เกิดขึ้นบนตัวโครงสร้างของตัวสายอากาศเอง

jX_A คือ รีแอกแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศ

ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Antenna Impedance) จะมีค่าเท่ากับ

$$Z_A = (R_r + R_L) + jX_A \quad (2.1)$$

ซึ่งการออกแบบระบบของสายอากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น สิ่งที่มีความสำคัญที่สุดก็คือ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Z_A) จะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง (Z_c) และอิมพีแดนซ์ที่เอาต์พุตของเครื่องส่งหรือเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Z_g) โดยเฉพาะในระบบสายอากาศที่มีการส่งสัญญาณกำลังสูงจะต้องควบคุมอิมพีแดนซ์ทั้งสามค่านี้ให้มีค่าใกล้เคียงกันตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น โดย

เราเรียกเงื่อนไขนี้ว่า การแมตซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching) ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะใช้ค่าที่เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR) มาเป็นตัวกำหนดสภาพของการแมตซ์ของระบบสายอากาศและถ้าค่า VSWR นี้มีค่าสูง (ตามมาตรฐานทั่วไปมักจะไม่ให้มีค่าเกินกว่า 1:1.5) จะทำให้เกิดการคายประจุ (Discharge) สุดท้ายจะเกิดความเสียหายต่อระบบทั้งหมด

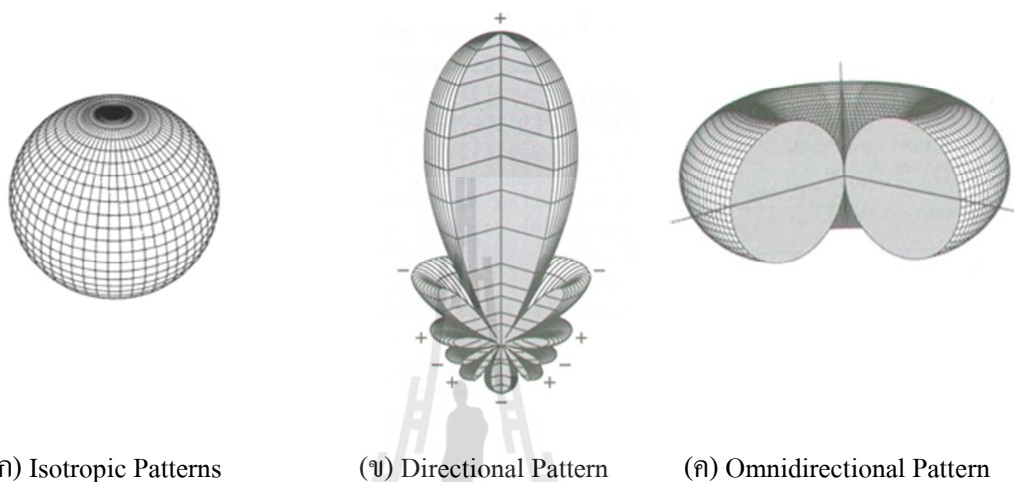
2.4 แบบรูปการแผ่กำลัง (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่กำลัง คือ แบบรูปใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่กำลังของสายอากาศซึ่งเป็นฟังก์ชันในพิกัดตำแหน่ง แบบรูปการแผ่กำลังนั้นจะต้องกระทำในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกลและแสดงในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง แบบรูปการแผ่กำลังนี้จะวัดและพอร์ต์ในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกัน คือ ระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้า เรียกว่า ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก เรียกว่า ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยหมุนสายอากาศภาคส่งในระนาบนั้นๆ ขณะที่กำลังที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของแบบรูปสายอากาศ ไม่ว่าจะเป็นการแสดงผลแบบรูปการแผ่กำลังในลักษณะใดมักจะทำการนอร์แมลไลซ์ค่าที่วัดได้ทั้งหมดในทุกทิศทางด้วยค่าสูงสุดที่วัดได้เสมอ

แบบรูปไอโซทรอปิก (Isotropic Antenna) คือจะเป็นแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศที่มีการแผ่กำลังออกไปในทุกทิศทางเท่ากันทั้งหมดเสมือนมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ซึ่งในความเป็นจริงนั้นไม่มีสายอากาศใดเลยที่มีแบบรูปในลักษณะเช่นนี้ทั้งในทฤษฎีและในปฏิบัติ จึงถือว่าเป็นแบบรูปที่มีลักษณะที่เป็นอุดมคติมากกว่า

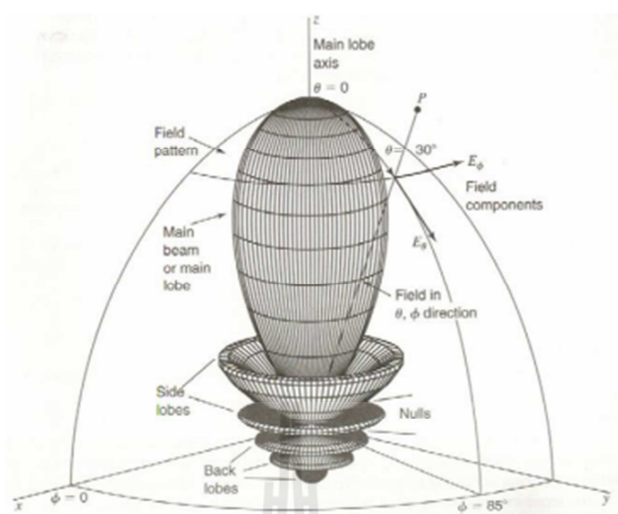
สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศที่มีทิศทางการแผ่กำลังที่มีทิศทางชัดเจน มีประสิทธิภาพมากกว่าทิศทางอื่น เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสายอากาศแบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแผ่คลื่น จะไม่สามารถรับสัญญาณได้

สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) สายอากาศประเภทนี้มีทิศทางการแผ่กำลังออกไปรอบตัวทิศทาง 360 องศา ในระนาบใดระนาบหนึ่ง ระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีการแผ่กำลังแบบมีทิศทาง เหมาะสำหรับติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่กำลัง

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมแบบรูปสัญญาณหลัก (Principle Pattern) ของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก สำหรับสายอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าแบบเชิงเส้น แบบรูปในระนาบ สนามไฟฟ้าจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางของการกระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบสนามแม่เหล็ก จะเป็นระนาบที่บรรจุสนามแม่เหล็กและทิศทางของการกระจายคลื่นที่แรงที่สุด ตัวอย่างแบบรูปหลักดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน, $\theta = 0$) เป็นระนาบสนามไฟฟ้าหลักและมีระนาบ XY (ระนาบอาซิมุท, $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.5 แบบรูปหลักของสายอากาศแบบชี้ทิศทาง

2.5 พุTTYุณยานของการแผ่กำลัง

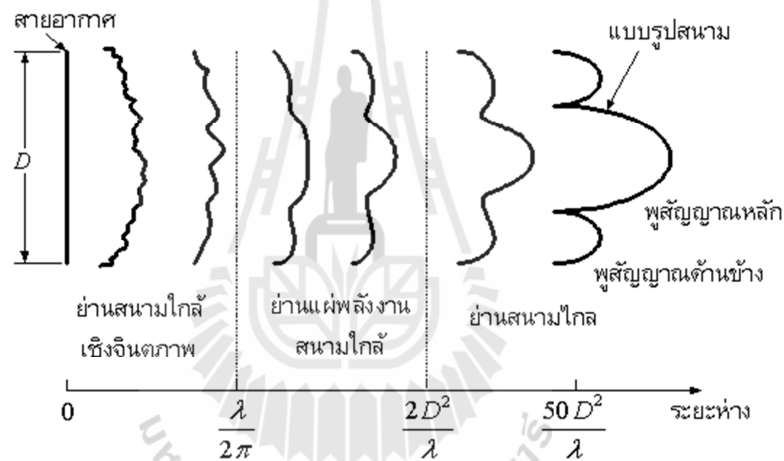
พุTTYุณยานของการแผ่กำลัง (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการกระจายคลื่นที่เป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของที่มีความเข้มของการแผ่กำลังต่ำ ดังรูปที่ 2.5 แสดง แบบรูปเชิงขั้ว (Polar Pattern) แบบสามมิติซึ่งเป็นพุTTYุณยานรูปต่างๆ ดังนี้

- 1) พุTTYุณยานหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นพุTTYุณยานของการแผ่กำลังซึ่งอยู่ในทิศทางที่การแผ่กำลังแรงที่สุด ตามรูปที่ 2.5 มีพุTTYุณยานหลักอยู่ในทิศทางที่ $\theta=0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจจะมีพุTTYุณยานมากกว่าหนึ่งพุTTYุณยาน
- 2) พุTTYุณยานย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ พุTTYุณยานอื่นๆ นอกเหนือไปจากพุTTYุณยานหลัก
- 3) พุTTYุณยานข้างหรือไซด์พุTTYุณยาน (Side Lobe) เป็นพุTTYุณยานย่อยที่อยู่ติดกับพุTTYุณยานหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมเดียวกับพุTTYุณยานหลัก
- 4) พุTTYุณยานหลัง (Back Lobe) เป็นพุTTYุณยานย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับพุTTYุณยานหลักปกติแล้วพุTTYุณยานย่อยจะเกิดการแผ่กำลังในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่จะต้องกำจัดพหุสัญญาณเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของพหุสัญญาณย่อยแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในพหุสัญญาณที่กำลังคิด ต่อความหนาแน่นของพลังงาน ในพหุสัญญาณหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนไซด์พหุสัญญาณ (Side Lobe Ratio) หรือระดับพลังงานของไซด์พหุสัญญาณ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักต้องการให้ระดับของไซด์พหุสัญญาณน้อยกว่า -20 dB เมื่อเทียบกับพหุสัญญาณหลัก

2.6 บริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามระยะใกล้ (Near Field) สนามระยะใกล้เชิงรีแอกทีฟ (Reactive-Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field)



รูปที่ 2.6 บริเวณรอบสายอากาศ

2.7 อัตราขยาย

ก. อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ หมายถึงอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กำลังที่ได้รับเข้ามา

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{U(\theta \cdot \phi)}{P_{in}} \quad \text{ไม่มีหน่วย} \quad (2.2)$$

ข. อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบก็คือสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสีย (lossless isotropic source) และสายอากาศแบบไดโพล

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}}$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังที่ป้อนให้กับไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุด ก็คือวิธีที่เรียกว่า วิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna Method) หรือ วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison Method) หรือ วิธีการแทนที่ (Substitution Method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกำลังที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) กับกำลังที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบ จะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} G_{ref} \quad (2.3)$$

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะได้จากสมการ

$$G_{test} (dB) = P_{test} (dB) - P_{ref} (dB) + G_{ref} (dB) \quad (2.4)$$

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มาใช้ นั้น เราจะต้องปรับเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใส่สายอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศรับและส่ง จากนั้นวัดค่ากำลังที่ส่งออกไปและค่าของกำลังที่รับได้ นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยาย ซึ่งจะเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง ดังสมการ

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{rec}}{P_0}} \quad (2.5)$$

เมื่อ G คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง

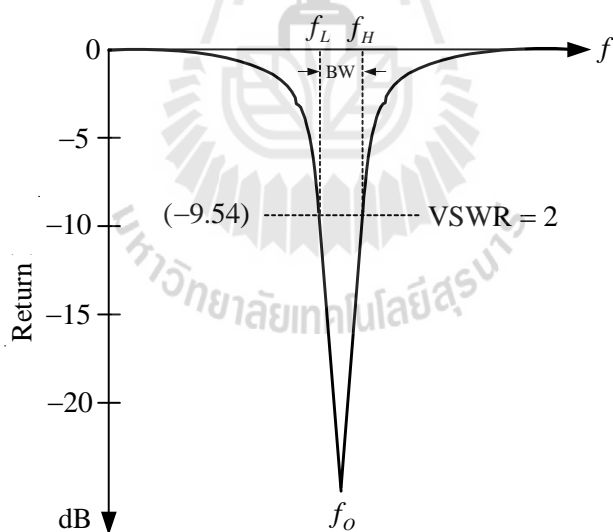
r คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง

P_{rec} และ P_o คือ กำลังที่รับได้และกำลังที่ส่งออกไป ตามลำดับ

λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)

2.8 ความกว้างแถบความถี่

ความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศจะถูกกำหนดอย่างกว้างขวางโดยย่านของความถี่ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายอากาศนั้นๆ โดยทั่วไปความกว้างแถบความถี่ก็จะเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่ด้านสูงกับความถี่ด้านต่ำหรือเปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง (center frequency) เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละตัวที่ไม่เหมือนกัน จึงเป็นการยากที่จะพิจารณาค่าของความกว้างแถบความถี่สองวิธีที่นิยมที่สุดในการพิจารณาค่าของความกว้างแถบความถี่ คือ pattern bandwidth และ impedance bandwidth



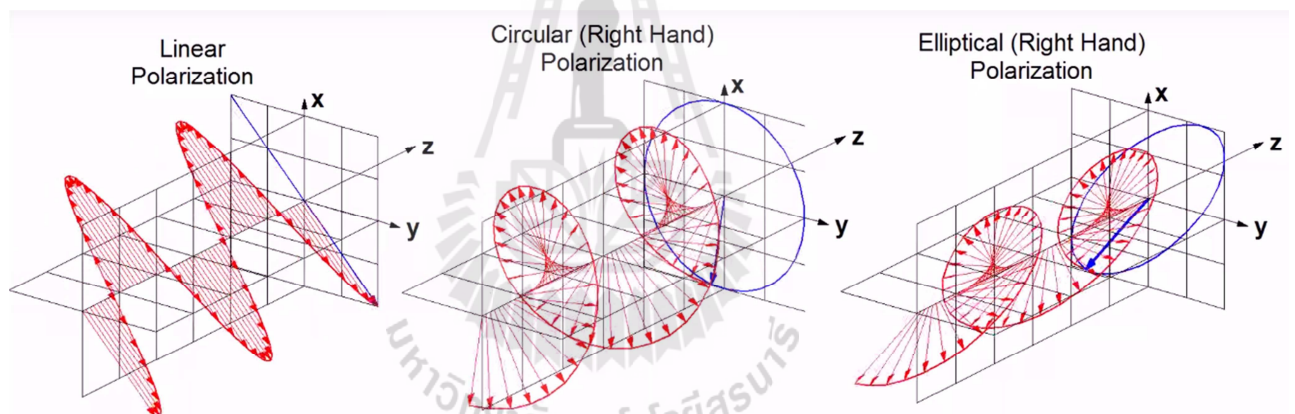
รูปที่ 2.8 ความกว้างแถบความถี่

2.9 โพลาริเซชัน (Polarization)

โพลาริเซชันของคลื่นที่แผ่ออกไปนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกไป ที่อธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาริเซชันจะแสดง การกวาดของยอดเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่และการสังเกตนี้ จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทาง

การแบ่งชนิดของโพลาริเซชัน

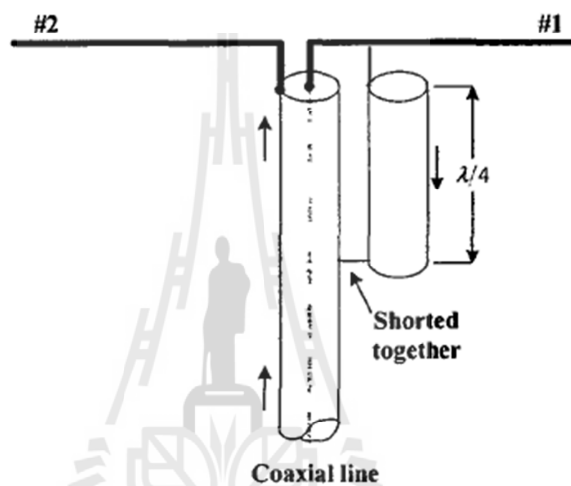
- 1) แบบลิเนียร์โพลาริเซชัน (Linearly Polarization)
- 2) โพลาริเซชันแบบวงกลม (Circularly Polarization)
- 3) โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptically Polarization)



รูปที่ 2.9 แสดงโพลาริเซชันของคลื่นสามรูปแบบ

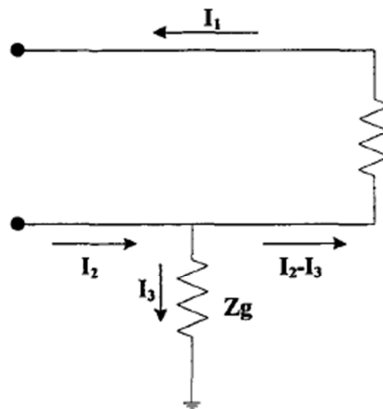
2.10 การทำบอดี้แบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$

การทำบอดี้ที่แสดงในรูป 2.21 แสดงรูปแบบของการทำบอดี้แบบเชื่อมต่อโดยสายโคแอกเซียลขนาด $\lambda/4$ ที่เป็นการเชื่อมต่อโดยตรงของสายโคแอกเซียลกับสายอากาศไดโพล ลำดับแรกคือการนำเอาปลายสุดของสายนำสัญญาณขนาด $\lambda/4$ เชื่อมต่อกับสาย ชิลด์ของสายโคแอกเซียลหลัก โดยส่วนอื่นๆถูกเชื่อมต่อเข้ากับด้านข้างของสายอากาศไดโพล ซึ่งจะ เชื่อมต่อเข้ากับตัวนำสัญญาณตรงกลาง



รูปที่ 2.10 การทำบอดี้แบบเชื่อมโดยสายโคแอกเซียล $\lambda/4$

ซึ่งการทำบอดี้แบบนี้จะจำกัดการไหลของกระแส I_3 โดยการทำงานของมันสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 2.10 ซึ่งในรูปที่ 2.10 นั้นแรงดันระหว่างด้านข้างของสายอากาศไดโพลแต่ละอันและกราวด์นั้นจะมีค่าขนาดที่เท่ากันแต่มีเฟสต่างกัน 180 องศา ขณะที่กระแสที่ไหลบนด้านนอกของสายโคแอกเซียล ถ้ากระแสทั้งสอง I_1 และ I_2 มีค่าขนาดที่เท่ากัน โดยกระแส I_3 ต้องเป็นศูนย์ ตั้งแต่แขนที่ 2 ของสายอากาศ ไดโพลที่เชื่อมต่อโดยตรงกับสายชิลด์ของสายโคแอกเซียล ในขณะที่แขนที่ 1 ลดการเชื่อมต่อจะทำให้กระแส I_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะลดกระแสของกระแสทั้งสองลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของสายโคแอกเซียล

กระแสทั้งสอง คือ I_1 และ I_2 สามารถทำให้มีขนาดที่เท่ากัน ถ้าตัวนำตรงกลางของ สายโคแอกเซียล มีการเชื่อมต่อโดยตรงกับสายซิลด์ด้านนอก แต่ถ้าเอาตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลเชื่อมต่อโดยตรง กับสายอากาศจะทำให้สายนำสัญญาณและสายอากาศ ประพฤติตัวเป็นวงจรแบบปิดและกำจัดการ แพร่กระจายคลื่นทั้งหมด อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อแบบขนานที่ไม่ได้เชื่อมต่อโดยตรงตามรูปที่ 2.11 สามารถอธิบายได้ว่าต้องการกำจัดการกระแสโดยไม่ต้องกำจัดการแพร่กระจายคลื่น โดยกระแสที่ไหลบนซิลด์ ด้านนอกของสายหลักจะถูกกำจัดการกระแสที่ด้านล่างตอนปลายของส่วน $\lambda/4$ โดยจะทำให้มีขนาดที่เท่ากันแต่ มีเฟสที่ต่างกัน ซึ่งกระแสที่อยู่ใน $\lambda/4$ จะเป็นส่วนของสายสนับสนุน จึงมีแนวคิดใหม่ที่ว่าเมื่อไม่มีกระแสไหล ในพื้นผิว ด้านนอกของซิลด์ด้านนอกของกระแสที่ไหลผ่านแล้วค้างอยู่ของสายโคแอกเซียลหลักมันควรจะ มีสถานะเป็นสายสนับสนุนแบบขนาน โดยไม่ต้องทำให้มีความยาว $\lambda/4$ เพื่อให้เป็นอุปกรณ์แบบสมดุล ซึ่งการทำให้มีความยาวเป็น $\lambda/4$ เพื่อป้องกันการเสียหายของการทำงานแบบปกติของ สายอากาศ

2.11 นิยามของ S-parameter

เนื่องจากการกำหนดแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในสาย (Line) ในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ไม่ใช่โหมด TEM เพื่อนำมาคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ในทางปฏิบัตินั้นจะกระทำได้ไม่ถนัดนัก จึงจำเป็นต้องทำการวัดขนาดและเฟสของคลื่นที่เดินทางไปในทิศทางที่กำหนดให้โดยตรง (หรือขนาดและเฟส ของ Standing Wave ก็ได้) ดังนั้นในย่านความถี่ไมโครเวฟจึงมีการกำหนดให้พิจารณาในรูปของคลื่นพุ่ง กระแทกคลื่นสะท้อนกลับและคลื่นส่งผ่านที่เดินทางผ่านเข้าออกอุปกรณ์หรือโครงข่ายที่มีจำนวน N พอร์ต ในรูปแบบของเมตริกซ์การกระจาย (Scattering Matrix) จึงมีจำนวนของ S-parameter ตั้งแต่ S_{11}

จนถึง S_{NN} เช่น ถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มี 2 พอร์ต ก็จะมี S-parameter จำนวน 4 ตัว ได้แก่ S_{11} , S_{12} , S_{21} และ S_{22}

S_{11} ที่ปรากฏในรูปก็คือ Reflection Coefficient ซึ่งคิดจากอัตราส่วนระหว่างแรงดันของคลื่นที่สะท้อนออกมาจากพอร์ต 1 เทียบกับแรงดันของคลื่นที่ป้อนเข้าไปที่พอร์ตเดิมคือพอร์ต 1 ดังนั้นหากโหลดมีสถานะแมตช์กับสายส่ง แรงดันที่สะท้อนออกมาจากพอร์ต 1 จะต้องน้อยกว่าแรงดันที่เราป้อนเข้าไปหรือแทบไม่มีการสะท้อนของแรงดันใดๆ ออกมาจะเห็นว่าถ้าแรงดันของคลื่นที่สะท้อนกลับมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ป้อนเข้า ค่าของอัตราส่วนที่ได้ออกมาจึงต้องต่ำกว่า 1 อย่างแน่นอน เมื่อนำมาคิดเป็นหน่วย dB ก็ต้องติดลบเสมอ ถ้าแรงดันที่สะท้อนออกมาจากพอร์ตมีค่าลดลงไปอีก (แสดงว่ายิ่งแมตช์ดีขึ้น) ก็จะพบว่า S_{11} จะมีค่าติดลบมากขึ้น

2.12 สายอากาศแบบแถวลำดับ (Array Antenna)

2.12.1 ความหมายของสายอากาศแบบแถวลำดับ

แถวลำดับของสายอากาศหมายถึงการนำเอาสายอากาศหลายๆตัวมาจัดวางเรียงกัน ซึ่งจะมีระยะห่างที่แน่นอน โดยสายอากาศแต่ละตัวที่นำมาจัดเรียงให้เป็นแถวลำดับนั้นจะเรียกว่า ประกอบ (Element) ซึ่งการนำเอาประกอบมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับจะให้สมรรถนะคล้ายคลึงกับสายอากาศประกอบเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่มาก แต่การจัดเรียงเป็นแถวลำดับนั้นจะสามารถจัดปัญหาในเรื่องของกลไกต่างๆ อันเนื่องมาจากขนาดที่ใหญ่เกินไปของสายอากาศ ข้อดีของการนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับจะทำให้สามารถเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าอัตราขยายของสายอากาศได้นอกจากนี้สายอากาศแบบแถวลำดับยังสามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้แต่ละประกอบได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถปรับแบบรูปการแผ่กำลังให้เป็นไปตามที่เราต้องการในการใช้งานแต่ละประเภทได้เราสามารถแบ่งการจัดเรียงประกอบของแถวลำดับตามรูปร่างได้หลายประเภท เช่นแถวลำดับแบบเชิงเส้น จะประกอบไปด้วยประกอบจำนวนมากที่จัดเรียงกันอย่างสมมาตรเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางของแถวลำดับในแนวเส้นตรง ซึ่งอาจจะมีระยะระหว่างประกอบห่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ประเภทต่อไปก็คือแถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array) จะเป็นการจัดเรียงประกอบในลักษณะสองมิติบนแผ่นระนาบ ซึ่งการจัดเรียงแถวลำดับในลักษณะนี้อาจจัดเรียงในลักษณะของสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือรูปวงกลมก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่มีอยู่

2.12.2 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ (Gain of Array Antennas)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทางรวมทั้งค่าอัตราขยายเชิงกำลังของสายอากาศแถวลำดับ มักจะมีค่ามากกว่ากรณีของสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว ซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์อย่างมากทั้งในการส่งและรับสัญญาณ ในการส่งสัญญาณนั้นสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางที่ดีจะสามารถรวบรวมกำลังให้อยู่ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ได้ซึ่งให้ผลเสมือนว่าเกิดการเพิ่มกำลังให้กับจุดนั้นๆ ของเครื่องส่ง ส่วนทางด้านรับ สายอากาศจะทำหน้าที่เสมือนว่าเลือกรับคลื่นที่เข้ามาในทิศทางที่เจาะจง โดยจะไม่เลือกรับสัญญาณที่เราไม่ต้องการรวมทั้งการแทรกสอดจากทิศทางอื่นๆ

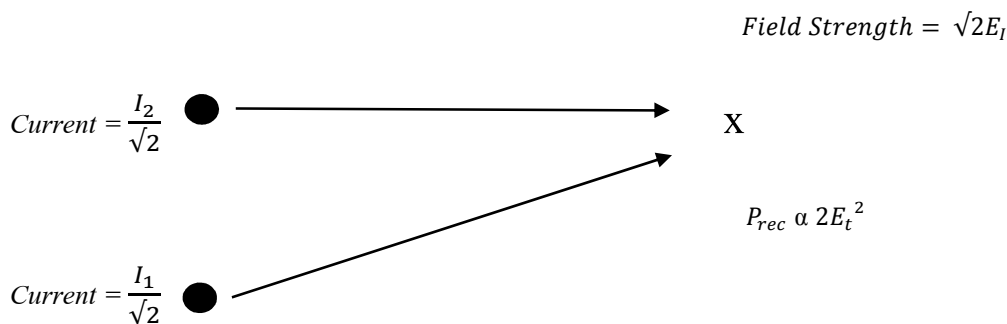
เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับการเพิ่มค่าอัตราขยายของสายอากาศแถวลำดับ ในเบื้องต้นจะพิจารณาประกอบเดี่ยวของสายอากาศไอโซทรอปิกซึ่งมีการแผ่กำลังด้วยกำลัง P_1 ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยกระแสในองค์ประกอบของสายอากาศนี้มีค่า I_1 ณ จุดที่ไกลออกไปกำหนดให้เป็นจุด X ค่ากระแสนี้จะสร้างความเข้มของสนามเป็น E_1 ซึ่งค่านี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสในองค์ประกอบของสายอากาศ



ค่ากำลังที่รับได้โดยสายอากาศที่จุด X จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของความเข้มสนามทั้งหมด E_T ที่จุดนั้น กล่าวคือ

$$P_{rec} \propto E_t^2 = E_I^2 \quad (2.6)$$

ต่อไปจะแทนองค์ประกอบเดี่ยวด้วยสายอากาศชนิดแถวลำดับ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบไอโซทรอปิกที่มีลักษณะเหมือนกัน 2 องค์ประกอบและมีการแผ่กำลังด้วยกำลังที่เท่ากันทั้งหมดคือ P_1 ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สายอากาศซึ่งมีสององค์ประกอบที่มีการส่งกำลัง P_t

ค่ากำลังที่แผ่ออกมาจากแต่ละองค์ประกอบจะเท่ากับ $P_t/2$ แต่เนื่องจากค่าของกระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของกำลัง ดังนั้นกระแสที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์ประกอบจึงเท่ากับ $I_t/\sqrt{2}$

ความเข้มของสนามที่จุด X ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากแต่ละองค์ประกอบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสในองค์ประกอบนั้น ดังนั้นความเข้มของสนามที่จุด X จากแต่ละองค์ประกอบจะเท่ากับ $E_t/\sqrt{2}$ และถ้าคลื่นจากทั้งสององค์ประกอบมาถึงที่จุด X โดยมีเฟสตรงกันอย่างสมบูรณ์ความเข้มของสนามทั้งหมด E_T ที่จุด X จะเป็นผลรวมของความเข้มของสนามดังนี้

$$E_T = 2E_t/\sqrt{2} = \sqrt{2}E_t \tag{2.7}$$

กำลังทั้งหมดที่รับได้จะเท่ากับ

$$P_{rec} \propto E_t^2 = (\sqrt{2} E_t)^2 = 2E_t^2 \tag{2.8}$$

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสมการ (2.6) และสมการ (2.8) จะเห็นว่ากำลังสองของค่าความเข้มของสนามทั้งหมด ที่จุด X จะมีค่าเป็นสองเท่าด้วยเหตุผลนี้สามารถแสดงได้ว่าค่ากำลังที่รับได้ที่จุด X ก็จะมีค่าเป็นสองเท่า ดังนั้นเมื่อใช้แฉวลำดับที่มีองค์ประกอบสององค์ประกอบแทนองค์ประกอบเดียวจะทำให้ได้ค่าอัตราขยายเชิงกำลังมีค่าเป็นสองเท่าความสัมพันธ์ที่กล่าวมาทั้งหมดในตัวอย่างจะถูกพิจารณาภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบของสายอากาศทุกตัวจะต้องมีลักษณะเหมือนกันและมีกระแสเท่ากัน

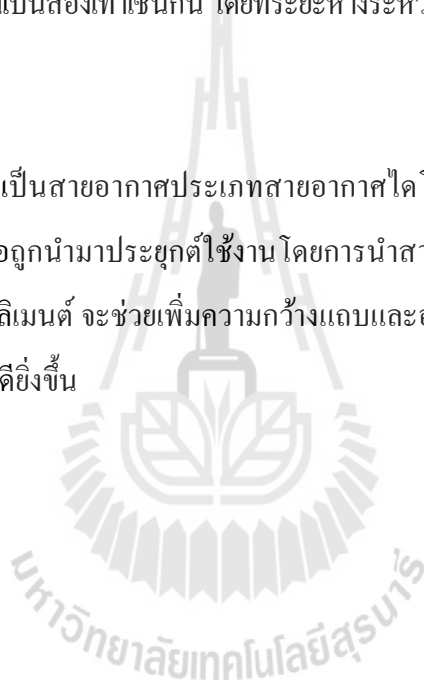
2. สนามที่แผ่ออกจากองค์ประกอบของสายอากาศทั้งหมดจะต้องมีเฟสตรงกันที่จุดรับ

3. กระแสที่เหนี่ยวนำในแต่ละองค์ประกอบจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

สำหรับสายอากาศแถวลำดับในทางปฏิบัติเงื่อนไขเหล่านี้จะเป็นเพียงการประมาณเท่านั้นแม้ว่าการสูญเสียซึ่งเกิดจากการป้อนสัญญาณและจากตัวประกอบอื่นๆ จะมีส่วนในการจำกัดการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราขยาย แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเหล่านี้จะดีขึ้นเมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพบว่าค่าอัตราขยายของแถวลำดับจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (เพิ่มขึ้นประมาณ 3 dB) ทุกๆ ครั้งที่จำนวนองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเช่นกัน โดยที่ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบถูกกำหนดไว้ให้คงที่

2.13 สรุป

สายอากาศโบว์ไทเป็นสายอากาศประเภทสายอากาศไดโพลชนิดหนึ่ง ซึ่งให้ความกว้างแถบและอัตราขยายที่สูงและเมื่อถูกนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยการนำสายอากาศโบว์ไทมาต่อเป็นแถวลำดับแบบเชิงเส้น จำนวน 1×4 อีลิเมนต์ จะช่วยเพิ่มความกว้างแถบและอัตราขยาย ทำให้สายอากาศโบว์ไทมีประสิทธิภาพในการทำงานดียิ่งขึ้น



บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศโบว์ไท

3.1 บทนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศโบว์ไท โดยนำมาต่อเป็นแถว ลำดับแบบเชิงเส้นจำนวน 1x4 อิลิเมนต์ เพื่อให้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในส่วนของอัตราขยาย ซึ่งได้นำสายอากาศโบว์ไทมาประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ของสัญญาณในระบบ 3G (2.045 GHz) และจำลองผลระบบสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST microwave studio เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและศึกษาความเป็นไปได้ถึงคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศ โดยจะนำเสนอถึงแนวทางในการวิจัย ระเบียบและวิธีการวิจัย ตลอดจนผลการจำลองผล

3.2 ผลการคำนวณขนาดของสายอากาศโบว์ไทที่ความถี่ 2.00 GHz

การออกแบบสายอากาศต้องคำนึงถึงความถี่ ที่ต้องการใช้งาน เพื่อคำนวณหาความยาวคลื่นที่ใช้ในการกำหนดขนาดของสายอากาศโบว์ไท โดยคำนวณได้จากสมการ (3.1)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

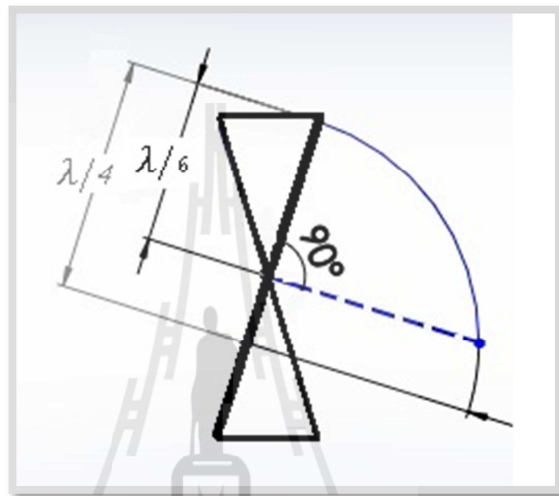
โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น หน่วยเป็น เมตร (m)

c คือ ความเร็วแสง หน่วยเป็น เมตร/วินาที (3×10^8 m/s)

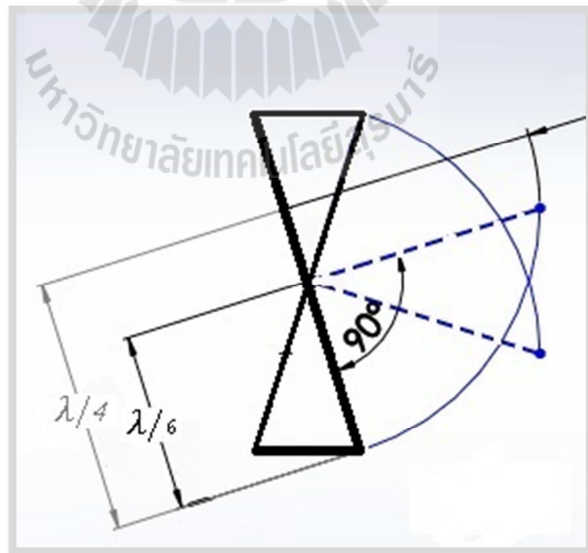
f คือ ความถี่ที่ใช้งาน หน่วยเป็น เฮิรต (Hz)

ความถี่ที่ใช้ในการออกแบบ คือ 2.00 GHz เมื่อทำการคำนวณตามสมการที่ (3.1) จะได้ความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 0.15 เมตร

ขนาดของสายอากาศโบว์ไทหาได้จาก การแจกแจงของกระแสโดยพิจารณาว่า สายอากาศโบว์ไท เป็นสายอากาศไดโพล 2 ตัว ไขว้กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 โดยที่จุดกึ่งกลางของตัวโบว์ไท จะต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ กระแสของสัญญาณจะไหลไปยังขั้วหนึ่งของโบว์ไทและไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่ง โดยระยะ $\lambda/4$ จะไม่ใช่ระยะใช้งาน ระยะจากขั้วหนึ่งไปยังจุดกึ่งกลางของสายอากาศโบว์ไทจะมีความยาวเป็น $\lambda/6$ ซึ่งเป็นระยะใช้งานจริง

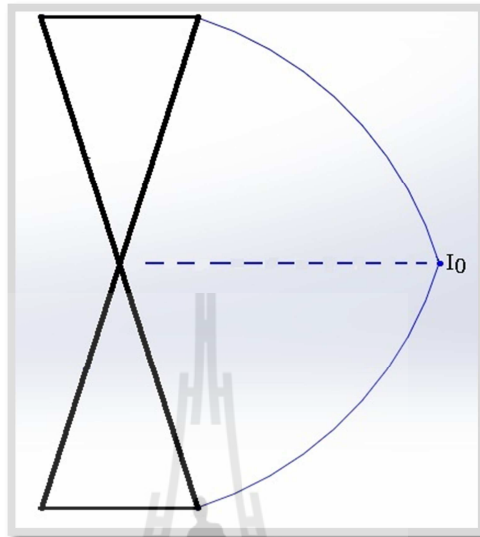


รูปที่ 3.1 แสดงการแจกแจงของกระแสครึ่งบนของสายอากาศโบว์ไท



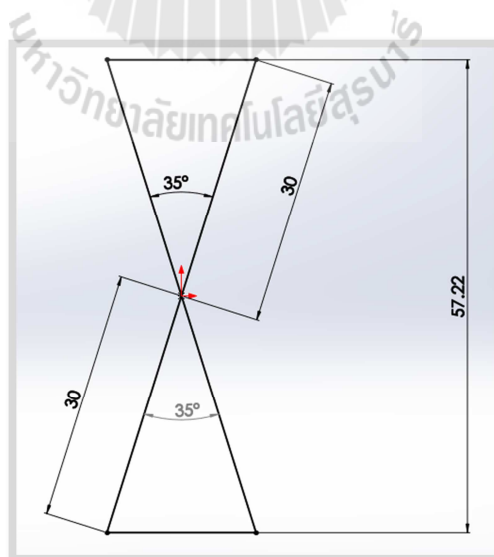
รูปที่ 3.2 แสดงการแจกแจงของกระแสครึ่งล่างของสายอากาศโบว์ไท

จากรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 เมื่อนำทั้งสองรูปมารวมกันจะได้การแจกแจงรูปของกระแส ซึ่งมีกระแส $I = I_0$ ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการแจกแจงรูปของกระแสของสายอากาศโบว์ไท

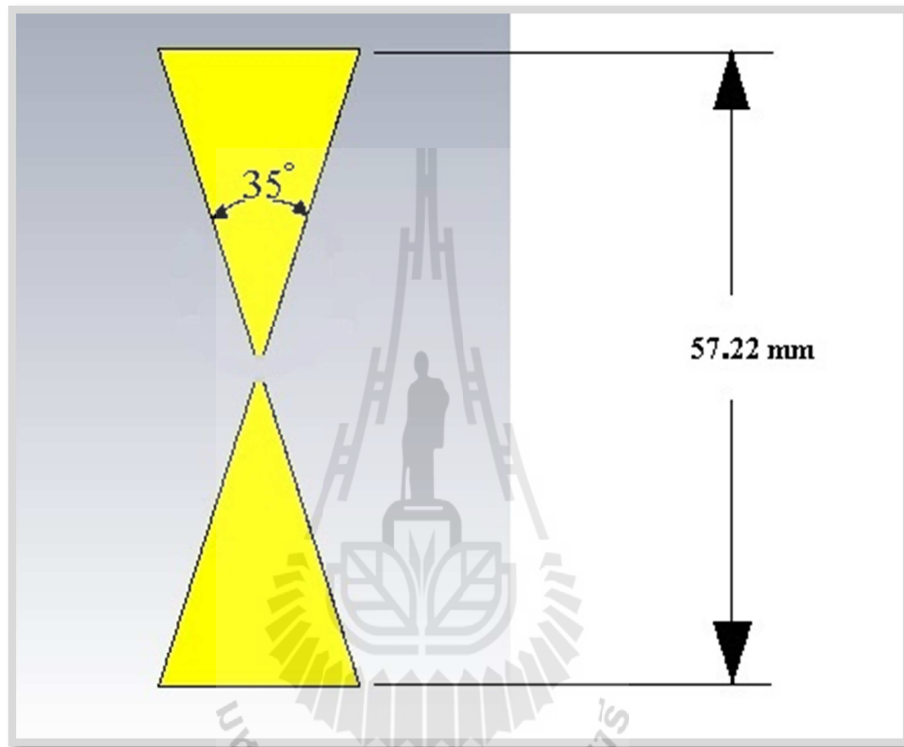
เมื่อแทนค่า λ ที่ได้จากสมการ (3.1) จะได้ระยะ b เท่ากับ 30 มิลลิเมตร ซึ่งในการทดลองการจำลอง ออกแบบสายอากาศจะยังไม่ทราบค่ามุมและความสูงของโบว์ไท จึงต้องกำหนดมุมมามุมหนึ่งซึ่ง มุมที่เลือกใช้คือ 35 องศา จะทำให้ความสูงของสายอากาศโบว์ไทเท่ากับ 57.22 มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขนาดของสายอากาศโบว์ไท

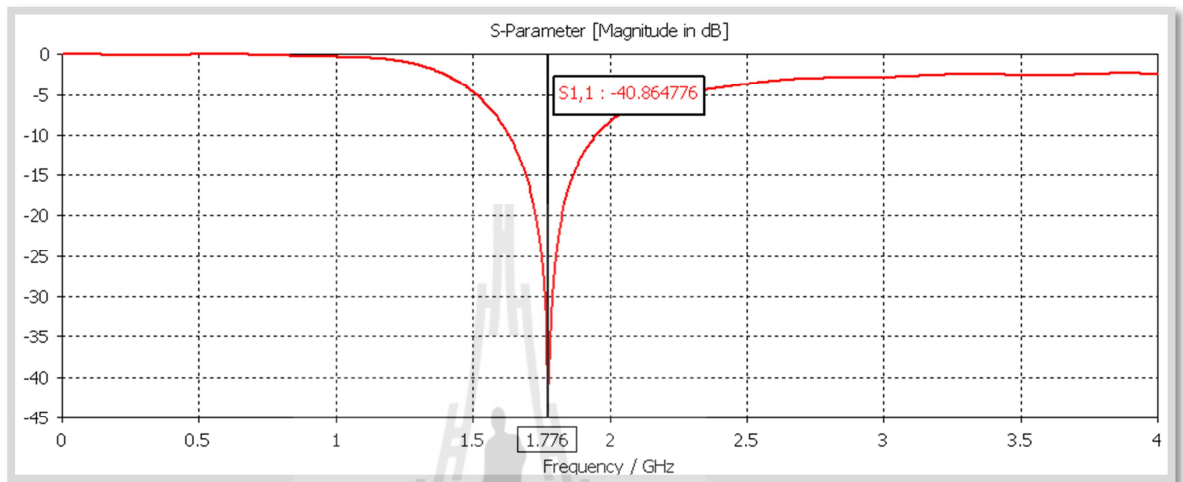
3.3 การจำลองแบบสายอากาศ

จากนั้นทำการจำลองออกแบบสายอากาศตามขนาดที่ได้จากรูปที่ 3.4 โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อพิจารณาผลการจำลองผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับและแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่ ที่จะนำมาเป็นสายอากาศต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

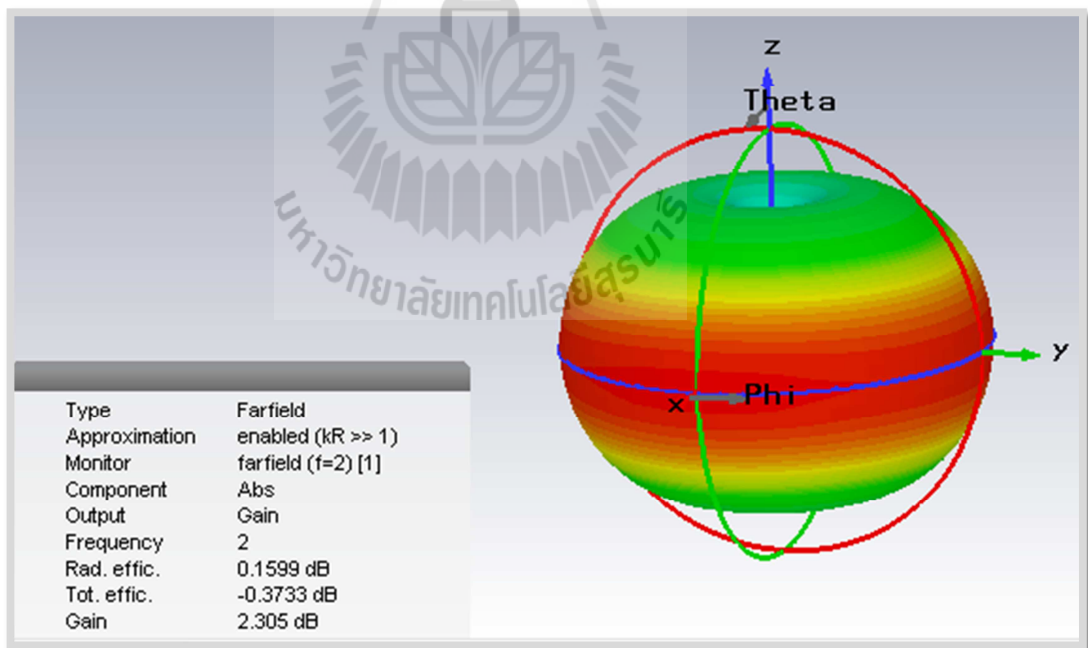


รูปที่ 3.5 ชิ้นงานสายอากาศโบว์ไท่ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

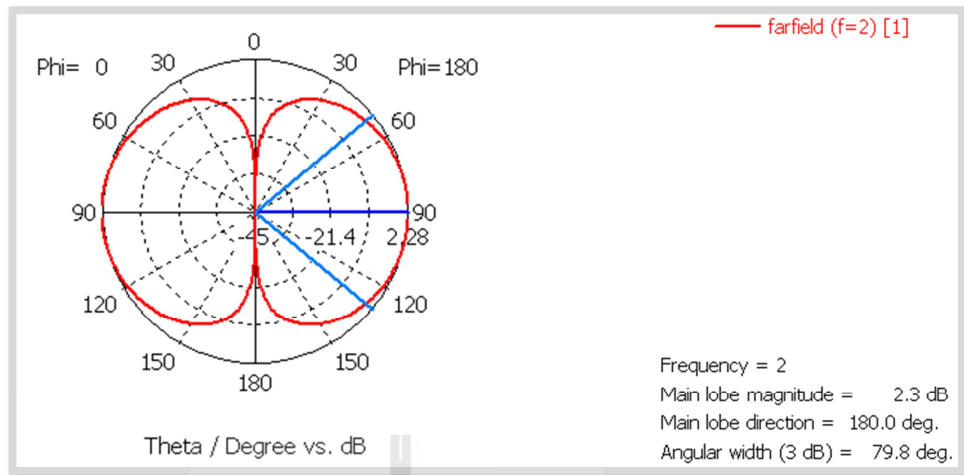
เมื่อทำการจำลองผลสายอากาศโบว์ไท่ตามขนาดที่แสดงในรูปที่ 3.5 พบว่า ความถี่เรโซแนนซ์ คือ 1.776 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -40.86 dB ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งเราต้องการให้สายอากาศ โบว์ไท่ มีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.045 GHz โดยมีแบบรูปการแผ่กำลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ



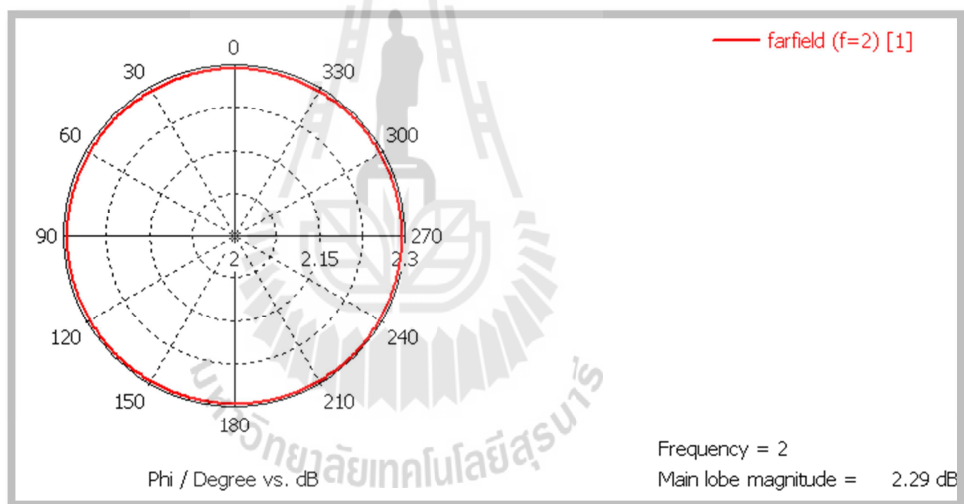
รูปที่ 3.6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท่



รูปที่ 3.7 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่ 3 มิติ



รูปที่ 3.8 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็ก

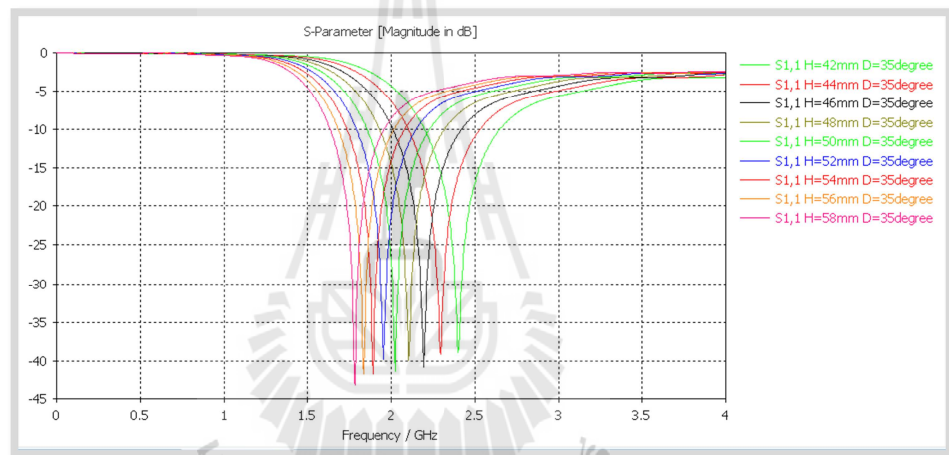
อย่างไรก็ตามจะต้องทำการปรับแต่งขนาดของสายอากาศใหม่อีกครั้งหนึ่งคือเพื่อให้สายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ที่ดีที่สุดอยู่ที่ ความถี่ 2.045 GHz ตามที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์

3.4 การปรับพารามิเตอร์ของสายอากาศโบว์ไท

เพื่อให้สายอากาศโบว์ไทสามารถเรโซแนนซ์ ณ ที่ความถี่ 2.045 GHz ตามที่กำหนด จึงต้องมีการปรับแต่งพารามิเตอร์ของสายอากาศดังขั้นตอนต่อไปนี้

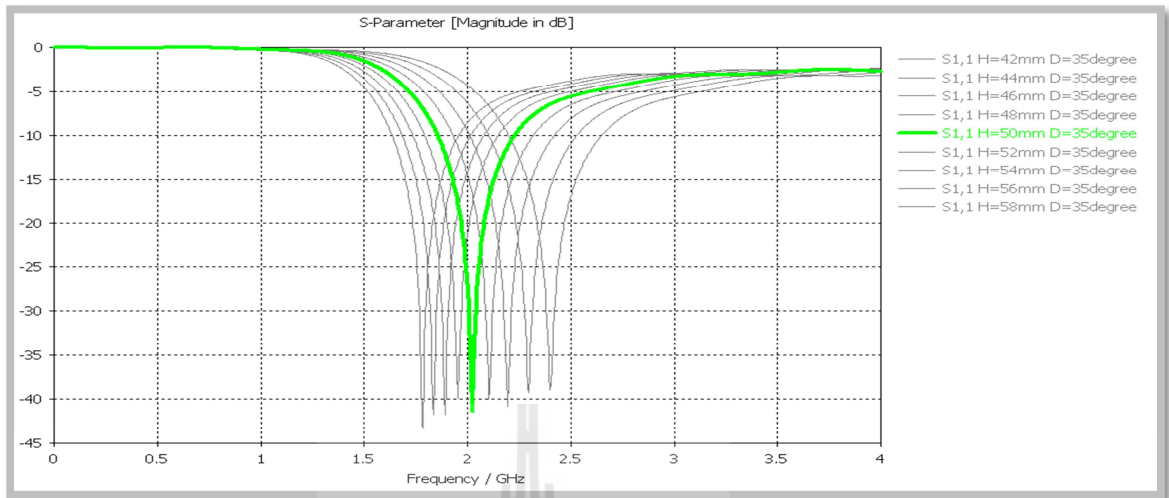
3.4.1 การปรับความสูงของสายอากาศโบว์ไท

ทำการจำลองแบบสายอากาศโบว์ไท โดยกำหนดมุมคงที่ แล้วปรับเพียงความสูงของสายอากาศ แล้วพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้ เพื่อหาความสูงที่มีความถี่เรโซแนนซ์ตรงกับความถี่ที่เราต้องการ คือ 2.045 GHz



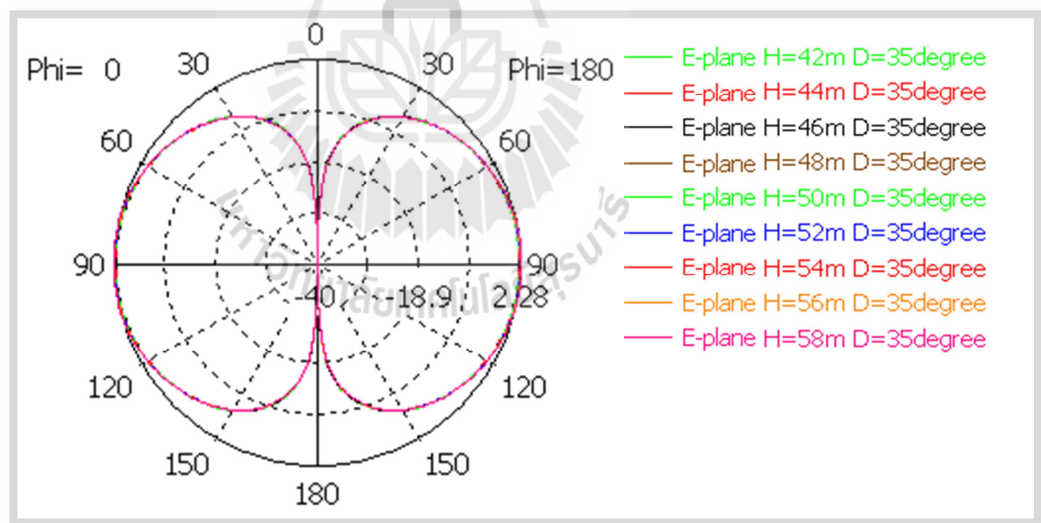
รูปที่ 3.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทที่ถูกปรับความสูง

จากรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นการศึกษาความสูงของสายอากาศโบว์ไท ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับความสูง ตั้งแต่ 42 มิลลิเมตร ถึง 58 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าความสูงของสายอากาศโบว์ไทนั้น มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์อย่างมาก เนื่องจากกราฟเลื่อนออกไปอย่างเห็นได้ชัดโดยระยะที่ทำการปรับความสูงนั้น แต่ช่วงห่างกัน 2 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ อยู่ที่ความสูงเท่ากับ 50 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.11

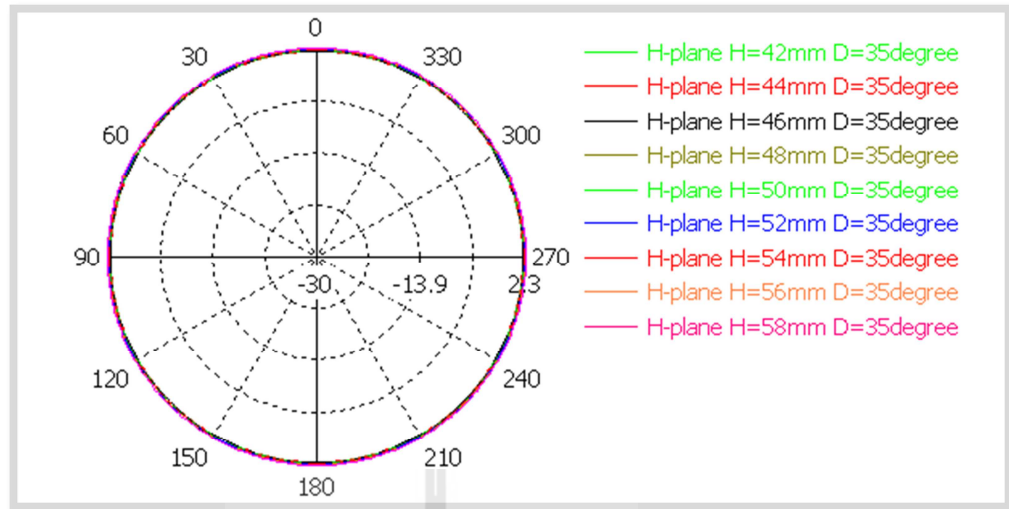


รูปที่ 3.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทท์ที่ความถี่ 2.045 GHz

จากนั้นทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลัง ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

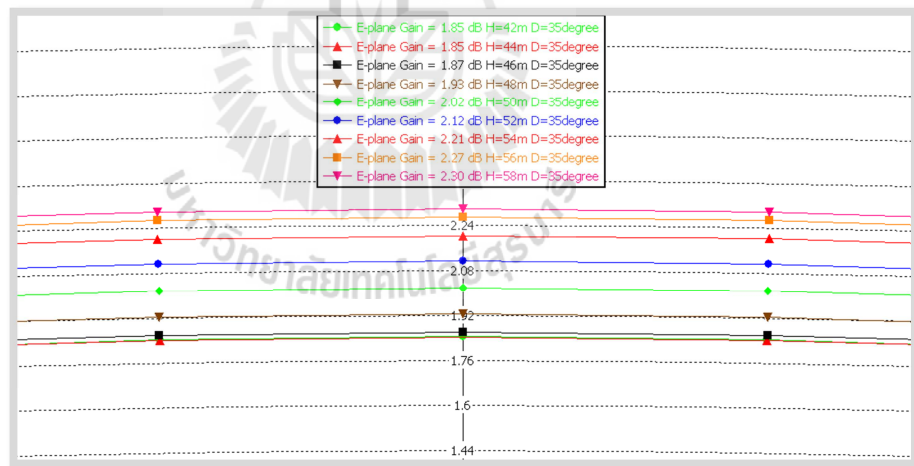


รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทท์ที่ถูกปรับความสูง



รูปที่ 3.13 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโหว่ไฟที่ถูกปรับความสูง

จากรูปที่ 3.12 และ 3.13 จะเห็นว่า แบบรูปการแผ่กำลังที่ได้นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการปรับความสูงของสายอากาศโหว่ไฟ



รูปที่ 3.14 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโหว่ไฟที่ถูกปรับความสูง

จากรูปที่ 3.14 จะทำให้สามารถสังเกตความแตกต่างของอัตราขยายของสายอากาศโหว่ไฟที่ถูกปรับความสูงได้ โดยสามารถสรุปค่าต่างๆเมื่อสายอากาศถูกปรับความสูงได้ ดังตารางที่ 3.1

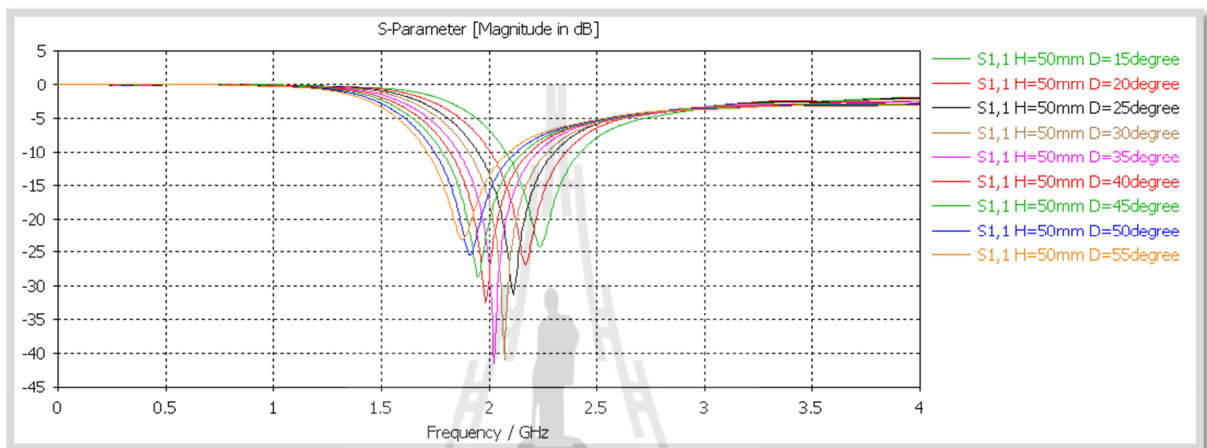
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับความสูงของสายอากาศโบว์ไท

ความสูง (mm)	ความถี่ เรโซแนนซ์ (GHz)	S_{11} ที่ความถี่ เรโซแนนซ์ (dB)	S_{11} ที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	ช่วงความถี่ที่ S_{11} ต่ำกว่า -10 dB (GHz)	ความกว้าง แถบ (MHz)	อัตราขยาย (dB)
42	2.400	-38.90	-5.20	2.201 – 2.648	447	1.85
44	2.296	-39.20	-7.67	2.105 – 2.529	424	1.85
46	2.196	-40.84	-11.75	2.012 – 2.419	407	1.87
48	2.104	-39.96	-19.34	1.932 – 2.318	386	1.93
50	2.024	-41.39	-28.20	1.857 – 2.227	370	2.02
52	1.952	-39.86	-15.72	1.794 – 2.148	354	2.12
54	1.892	-41.76	-11.43	1.737 – 2.079	343	2.21
56	1.836	-41.76	-8.98	1.685 – 2.016	331	2.27
58	1.784	-43.26	-7.43	1.637 – 1.957	321	2.30

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าความถี่เรโซแนนซ์จะค่อยๆลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของอัตราขยายนั้นก็มีความสูงขึ้นตามความสูงสายอากาศ แต่จะเห็นว่าเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นจะทำให้ความกว้างแถบความถี่ลดลง เมื่อพิจารณาที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่เราสนใจ สามารถบอกได้ว่า สายอากาศโบว์ไทที่ความสูงเท่ากับ 50 มิลลิเมตร มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุดคือ -28.20 dB ทั้งนี้เรายังไม่สามารถตัดสินใจเลือกขนาดสายอากาศที่เหมาะสมได้ เพราะยังมีพารามิเตอร์อีก 1 ตัว นั่นคือการปรับมุม ที่ต้องใช้ในการพิจารณาขนาดของสายอากาศโบว์ไท

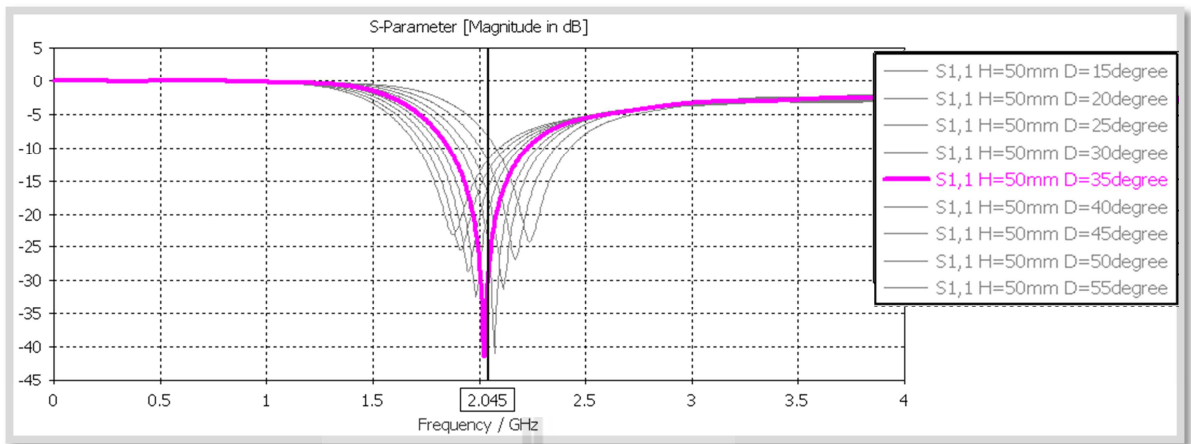
3.4.2 การปรับมุมของสายอากาศโบว์ไท

จากที่ทำการจำลองแบบสายอากาศโบว์ไท โดยกำหนดมุมคงที่ แล้วปรับเพียงความสูงของสายอากาศไปแล้ว เพื่อที่จะทราบแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งอาจส่งผลดีต่อสายอากาศโบว์ไทต้นแบบ เราจึงทำการจำลองแบบสายอากาศโบว์ไท โดยทำการปรับมุมแต่กำหนดความสูงคงที่ จากนั้นทำการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.15



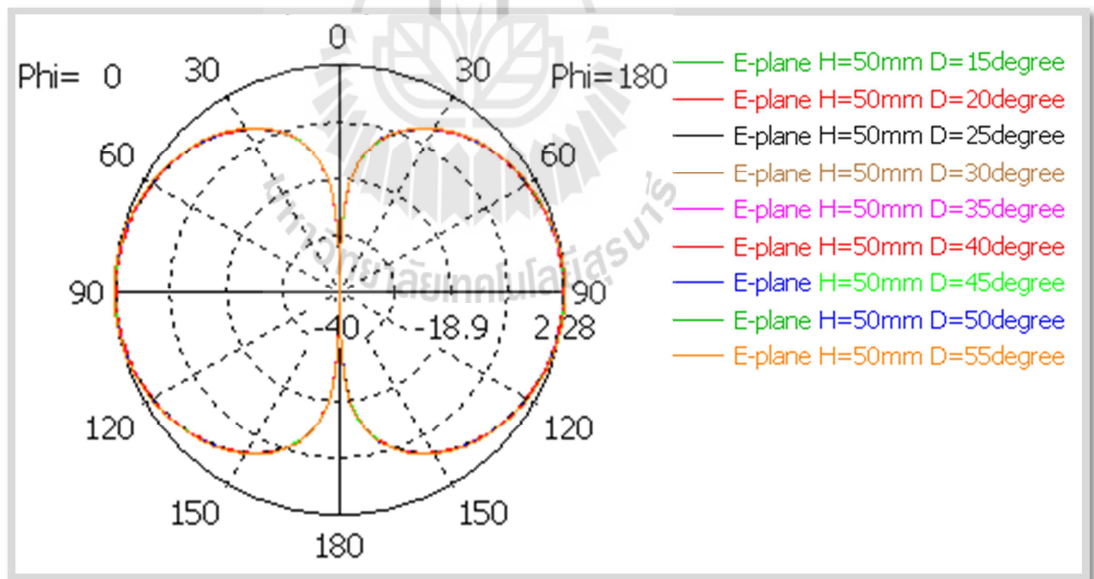
รูปที่ 3.15 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทที่ถูกปรับมุม

จากรูปที่ 3.15 ซึ่งเป็นการศึกษามุมของสายอากาศโบว์ไท ที่มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ โดยการปรับมุม ตั้งแต่ 15 องศา ถึง 55 องศา และส่งผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับมากกว่าการปรับความสูง แต่จะเห็นได้ว่ามุมของสายอากาศโบว์ไทนั้นมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ไม่มาก เนื่องจากกราฟไม่ได้เลื่อนออกไปอย่างเห็นได้ชัดด้วยมุมที่ทำการปรับแต่ละช่วงห่างกันถึง 5 องศา โดยความถี่เรโซแนนซ์ที่ใกล้เคียงกับความถี่ที่เราต้องการอยู่ที่มุมเท่ากับ 35 องศา ดังแสดงในรูป 3.16

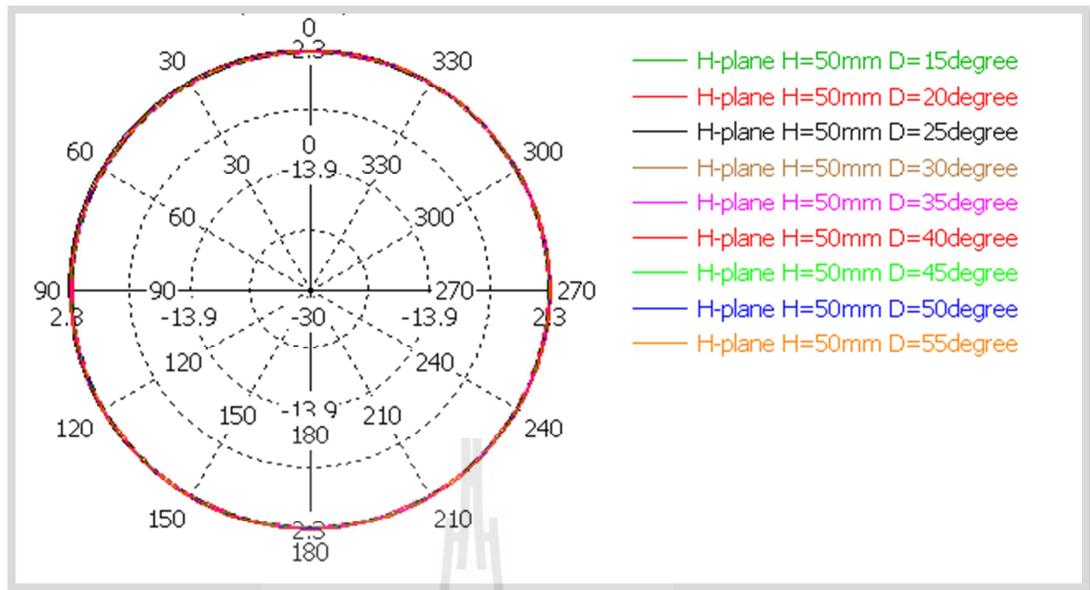


รูปที่ 3.16 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทท์ที่ความถี่ 2.045 GHz

จากรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการและมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุด อยู่ที่มุมของสายอากาศโบว์ไทท์เท่ากับ 35 องศา จากนั้นเราจึงทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลัง ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18 ตามลำดับ

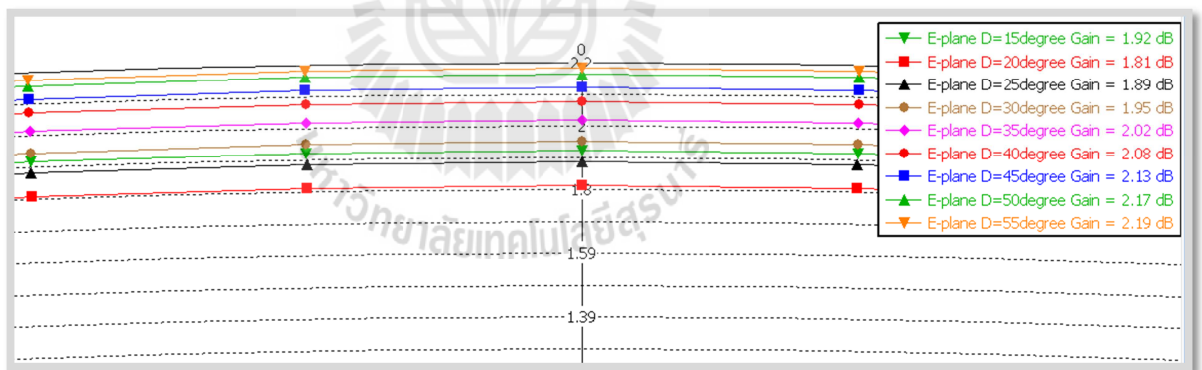


รูปที่ 3.17 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทท์ที่ถูกปรับมุม



รูปที่ 3.18 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่ที่ถูกปรับมุม

จากรูปที่ 3.17 และ รูปที่ 3.18 จะเห็นว่า แบบรูปการแผ่กำลังที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการปรับมุมของสายอากาศโบว์ไท่



รูปที่ 3.19 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไท่ที่ถูกปรับมุม

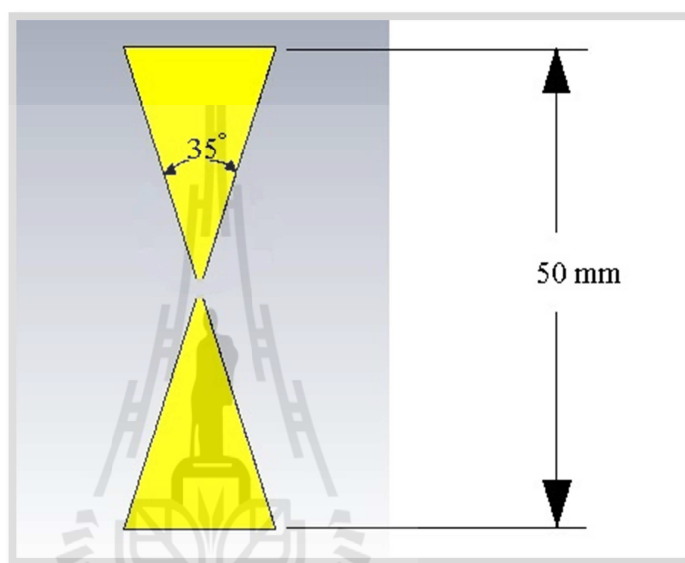
จากรูปที่ 3.19 จะทำให้สามารถสังเกตความแตกต่างของอัตราขยายของสายอากาศโบว์ไท่ที่ถูกปรับมุมได้ โดยสามารถสรุปค่าต่างๆเมื่อสายอากาศถูกปรับความสูงได้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับมุมของสายอากาศโบว์ไท

มุม (degree)	ความถี่ เรโซแนนซ์ (GHz)	S_{11} ที่ความถี่ เรโซแนนซ์ (dB)	S_{11} ที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	ช่วงความถี่ที่ S_{11} ต่ำกว่า -10 dB (GHz)	ความกว้างแถบ (MHz)	อัตรายาย (dB)
15	2.236	-24.21	-8.44	2.078 – 2.426	348	1.92
20	2.168	-26.88	-23.31	2.006 – 2.358	352	1.81
25	2.112	-31.19	-17.68	1.948 – 2.305	357	1.95
30	2.072	-40.94	-26.05	1.905 – 2.271	366	1.93
35	2.024	-41.39	-28.20	1.857 – 2.227	370	2.02
40	1.984	-32.30	-19.29	1.818 – 2.191	372	2.08
45	1.948	-28.60	-15.72	1.783 – 2.161	378	2.13
50	1.912	-25.49	-13.25	1.747 – 2.126	380	2.17
55	1.876	-23.17	-11.59	1.713 – 2.093	380	2.19

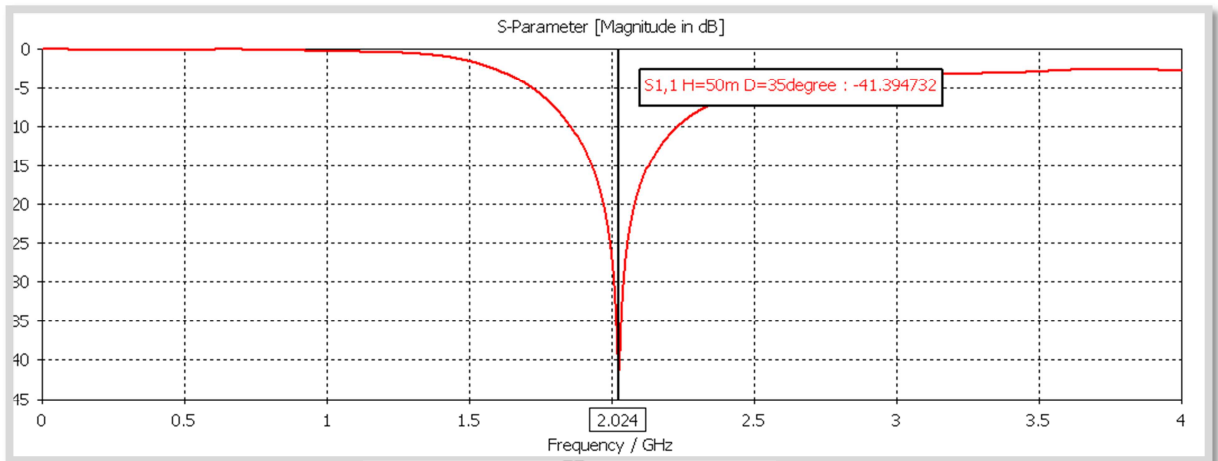
จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงเมื่อมุมมากขึ้น ในส่วนของความกว้างแถบความถี่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มมุม แต่เนื่องจากอัตรายายขึ้นไม่สม่ำเสมอเมื่อมีการปรับมุม จึงไม่สามารถบอกได้ว่าถ้าปรับมุมขึ้นหรือปรับมุมลง อัตรายายจะมากขึ้นหรือลดลง พิจารณาในส่วนของความถี่เรโซแนนซ์ที่เราต้องการ จะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับอยู่ที่มุม 35 องศา

เราสามารถสรุปได้ว่าขนาดของสายอากาศโบว์ไทด์แบบ ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ใกล้เคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เราต้องการมากที่สุด คือ สายอากาศที่มีความสูงเท่ากับ 50 องศา และมีมุมเท่ากับ 35 องศา จากนั้นทำการจำลองออกแบบสายอากาศตามขนาดที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อพิจารณาผลการจำลองผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับและแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทด์ ที่จะนำมาเป็นสายอากาศต้นแบบ

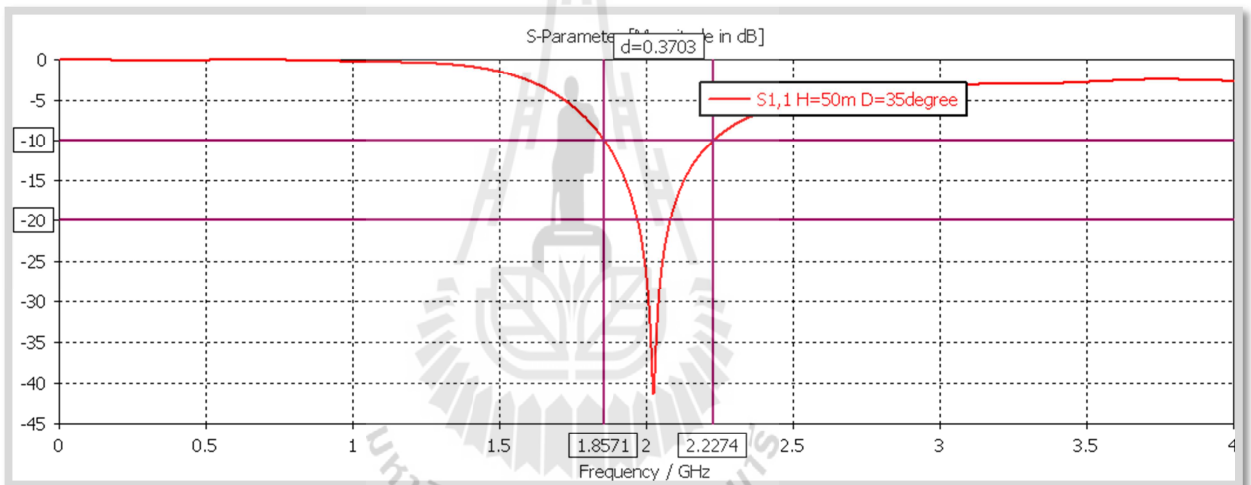


รูปที่ 3.20 ขนาดสายอากาศโบว์ไทด์ต้นแบบในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

เมื่อทำการจำลองผลสายอากาศโบว์ไทด์ตามขนาดที่ได้แสดงในรูปที่ 3.20 นั้น พบว่า ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศโบว์ไทด์ อยู่ที่ 2.024 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -41.39 dB ซึ่งมีผลที่ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไทด์สามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.857 GHz ถึง 2.227 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 370 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.22

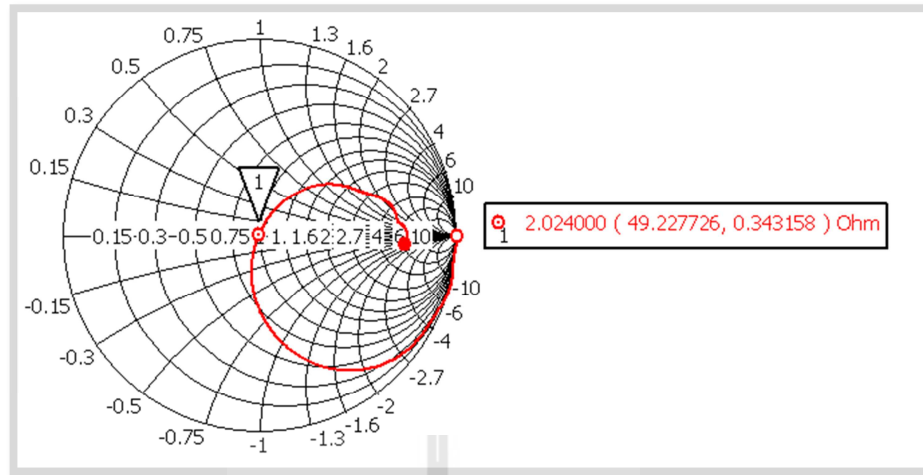


รูปที่ 3.21 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท



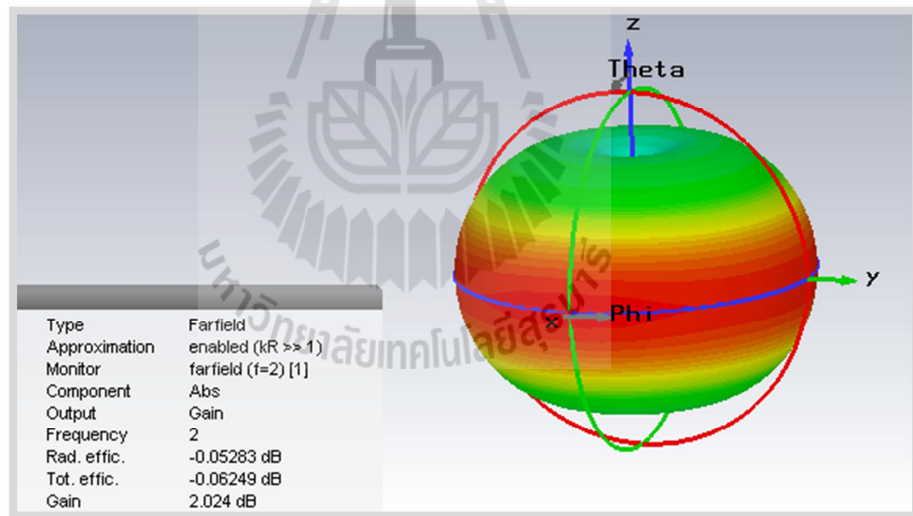
รูปที่ 3.22 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไท

จากนั้นวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไทพบว่า สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $49.23 + j0.343$ โอห์มซึ่งใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม มาก ดังแสดงในรูป 3.23

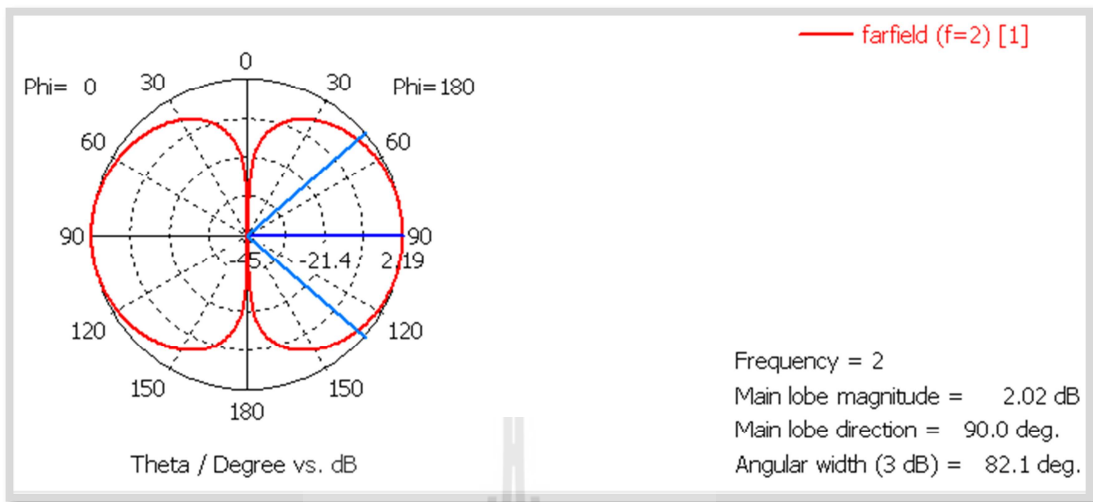


รูปที่ 3.23 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไท

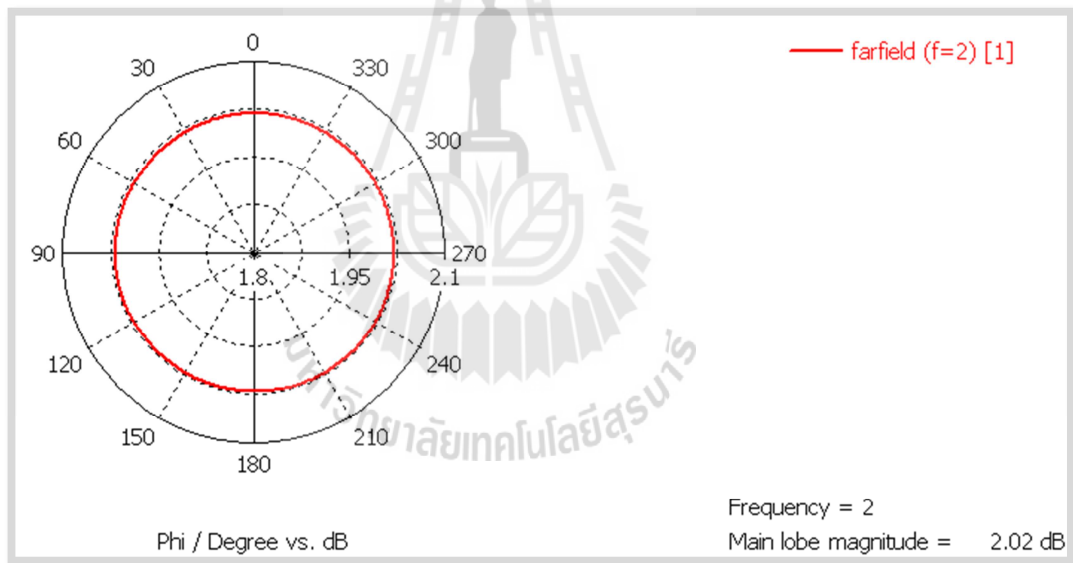
จากนั้นทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลัง 3 มิติ และแบบรูปกำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศโบว์ไทดังแสดงในรูปที่ 3.24 – 3.26



รูปที่ 3.24 แบบรูปการแผ่กำลังสายอากาศโบว์ไท 3 มิติ



รูปที่ 3.25 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท

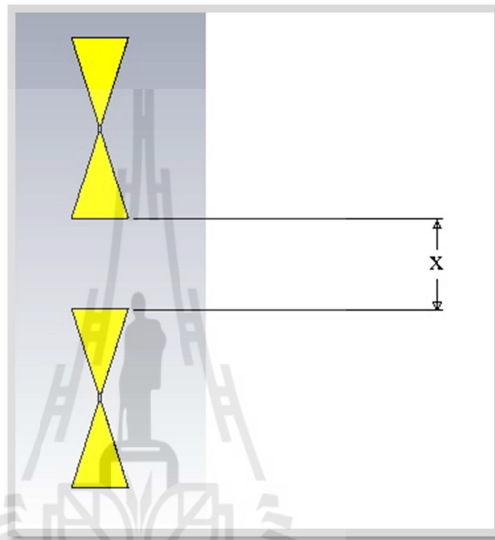


รูปที่ 3.26 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท

จากรูปที่ 3.24 - 3.26 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศที่ได้มีการปรับแต่งขนาดจนมีความเหมาะสมยังคงให้ลักษณะของแบบรูปเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

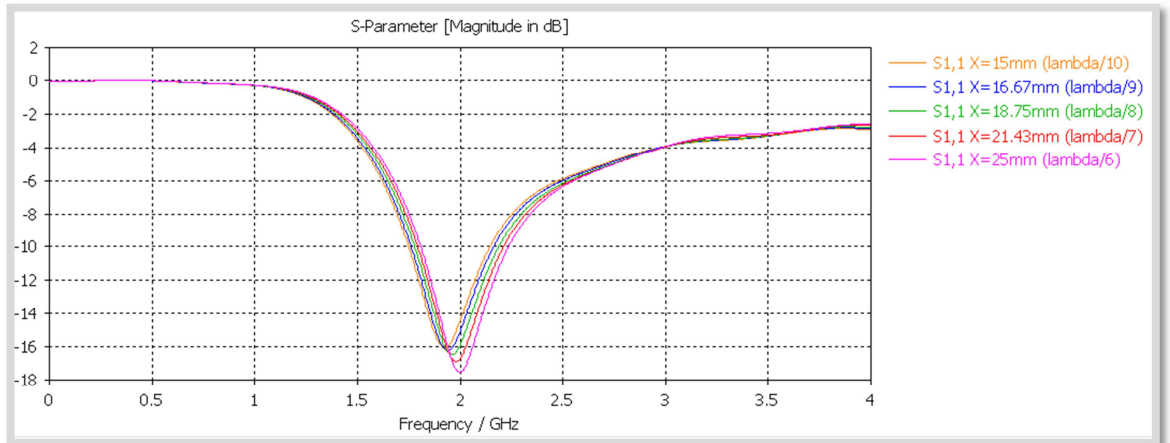
3.5 การปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ของสายอากาศโบว์ไทซึ่งนำมาต่อเป็นแถวลำดับเชิงเส้น ขนาด 1x2 อิลิเมนต์

เนื่องจากสายอากาศโบว์ไทที่มีองค์ประกอบเดียว มีอัตราขยายอยู่ที่ 2.02 dB ซึ่งมีค่าต่ำเกินไป จึงนำมาต่อเป็นแถวลำดับแบบเชิงเส้น ขนาด 1x2 อิลิเมนต์ เพื่อให้สายอากาศมีประสิทธิภาพดีขึ้น ในส่วนของอัตราขยาย โดยการปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ให้เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3.27



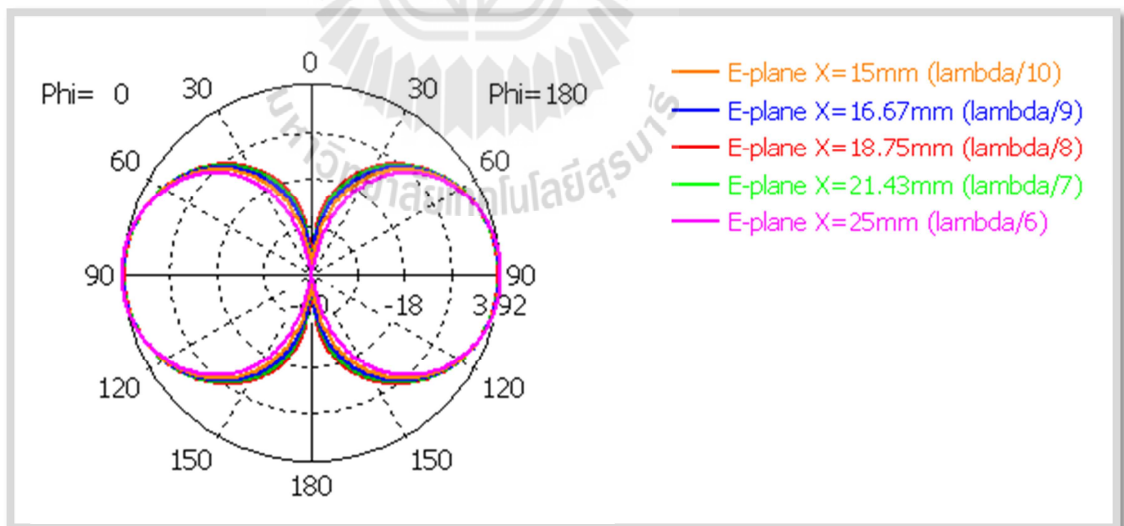
รูปที่ 3.27 ชิ้นงานสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อิลิเมนต์
ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากรูปที่ 3.27 เป็นการแสดงผลของระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ทั้ง 2 อิลิเมนต์ (X) จะเท่ากับ λ/n เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม โดยปกติระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์จะไม่เกิน $\lambda/2$ จากนั้นทำการจำลองผลสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x2 อิลิเมนต์ โดยการปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อิลิเมนต์ จะเริ่มจาก $\lambda/10$ ถึง $\lambda/6$ ก่อนเพื่อวัดและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.28

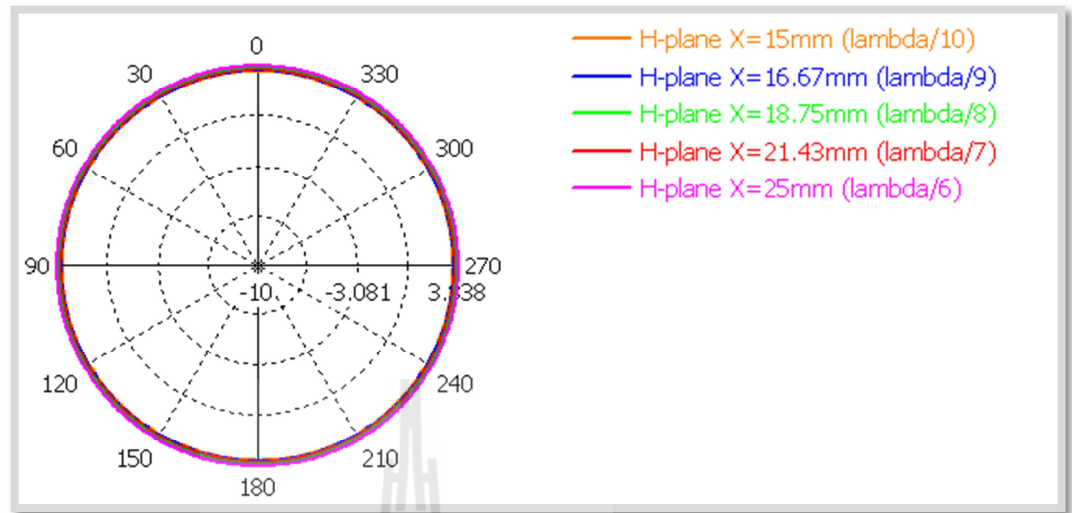


รูปที่ 3.28 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์ไทแวลวลำดับเชิงเส้น 1x2
อีลิเมนต์ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.28 จะเห็นว่าความห่างระหว่างอีลิเมนต์มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยมาก โดยการปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์ตั้งแต่ $\lambda/10$ ถึง $\lambda/6$ โดยระยะที่ปรับค่าแต่ละช่วงห่างกัน λ/n เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม จากนั้นวัดแบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.29 และ 3.30 ตามลำดับ

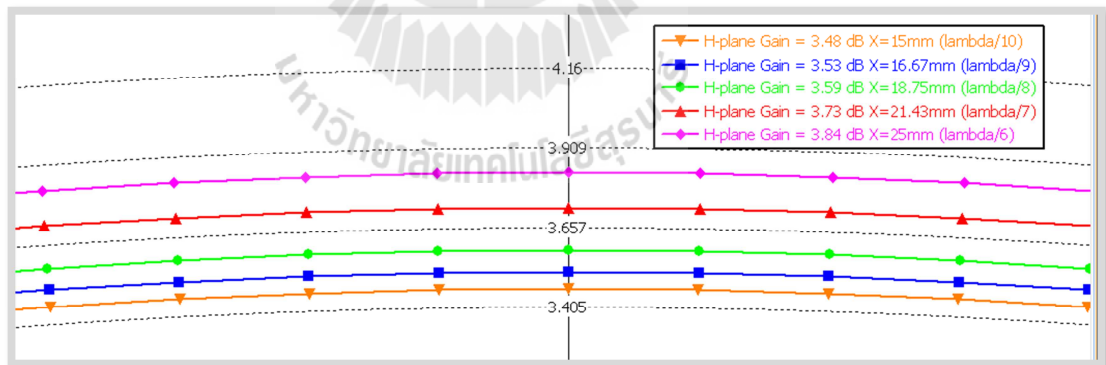


รูปที่ 3.29 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลวลำดับ
เชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์



รูปที่ 3.30 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ
เชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

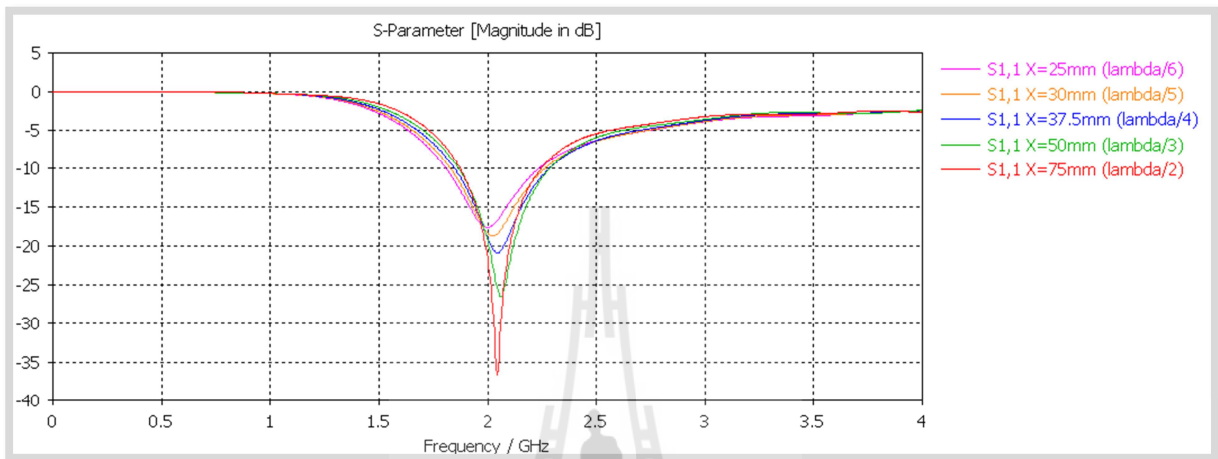
จากรูปที่ 3.29 และ 3.30 จะเห็นได้ว่า ระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท่ทั้ง 2 อีลิเมนต์ ยิ่งระยะห่างมากขึ้นมีผลทำให้แบบรูปมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ภาพขยายอัตราขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x2
อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

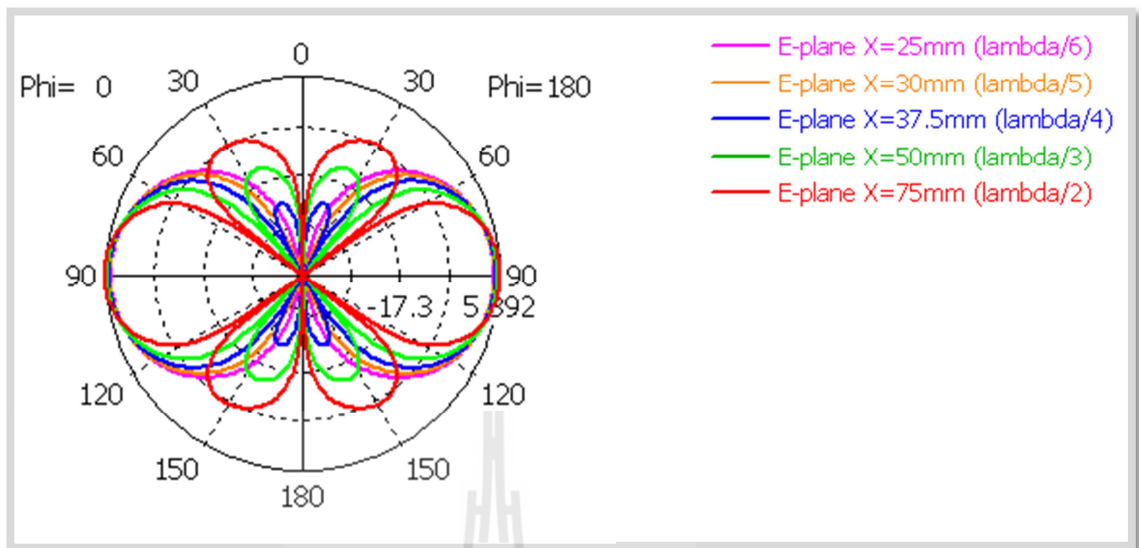
จากรูปที่ 3.31 จะทำให้สามารถสังเกตความแตกต่างของอัตราขยายเมื่อสายอากาศถูกปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ได้

เนื่องจากค่าอัตราขยายที่มากที่สุดจากการปรับระยะห่างระหว่าง 2 อีลิเมนต์ มีค่าอัตราขยาย 3.84 dB ดังแสดงในรูปที่ 3.31 ซึ่งไม่สูงพอ จึงต้องลองเพิ่มระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์ ทำการจำลองผลสายอากาศ โบว์ไทเทกลำดับเชิงเส้นขนาดที่ได้แสดงในรูปที่ 3.27 โดยการปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์ จะเริ่มจาก $\lambda/6$ ถึง $\lambda/2$ เพื่อค่าการสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.32



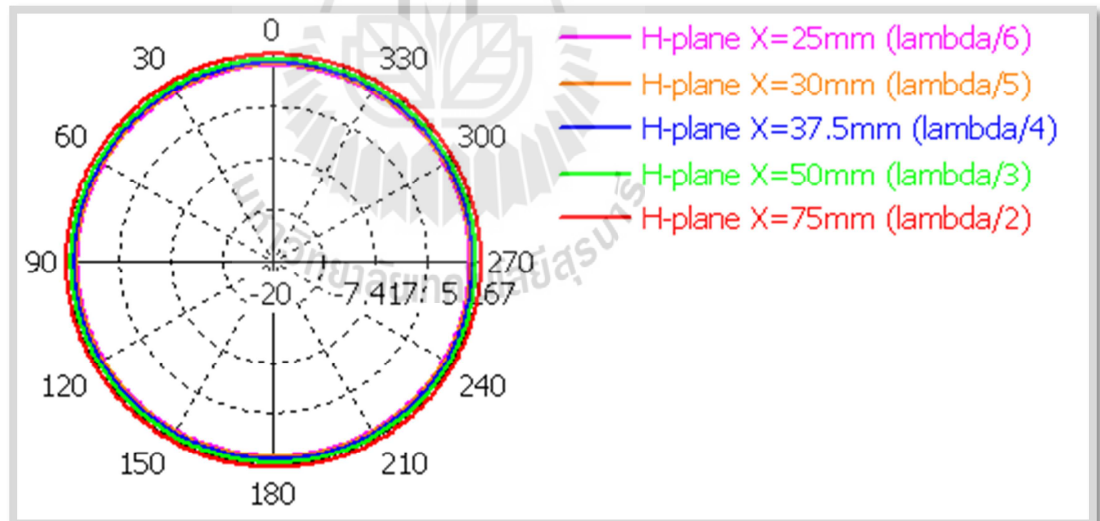
รูปที่ 3.32 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทเทกลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.32 จะเห็นว่าความห่างระหว่างอีลิเมนต์มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์น้อยมาก แต่จะมีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบมากกว่าช่วงแรกที่ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ยังไม่มาก โดยการปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์ตั้งแต่ $\lambda/6$ ถึง $\lambda/2$ โดยระยะที่ปรับค่าแต่ละช่วงห่างกัน λ/n เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม จากนั้นทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลัง ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังในรูปที่ 3.33 และ 3.34 ตามลำดับ



รูปที่ 3.33 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่ลำดับ

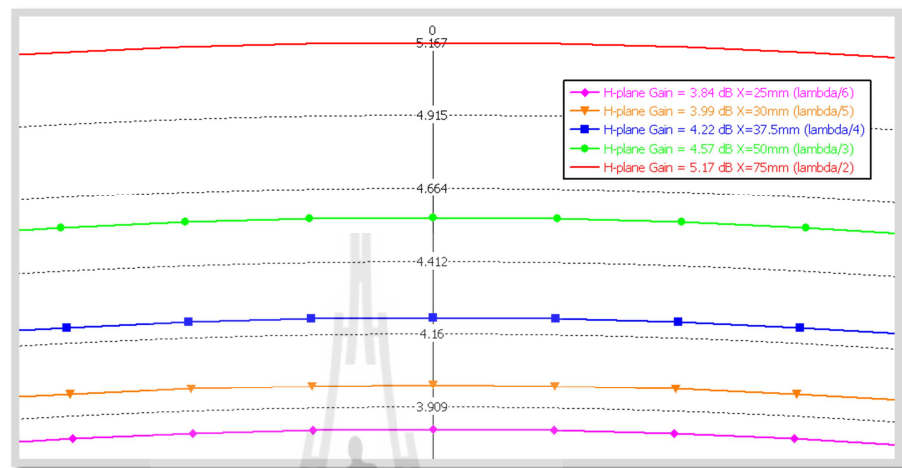
เชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์



รูปที่ 3.34 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ

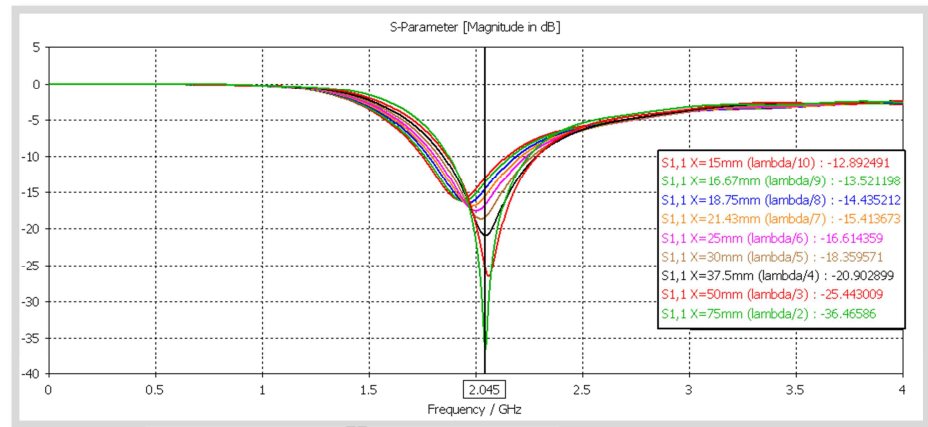
เชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.33 และ 3.34 จะเห็นว่าระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท่ทั้ง 2 อีลิเมนต์ยิ่งระยะห่างมากขึ้นมีผลทำให้แบบรูปการแผ่กำลังมีการเปลี่ยนแปลง และสิ่งที่เพิ่มมาเมื่อระยะห่างของทั้ง 2 อีลิเมนต์ห่างกันเกิน $\lambda/5$ คือพหุสัญญาณข้าง



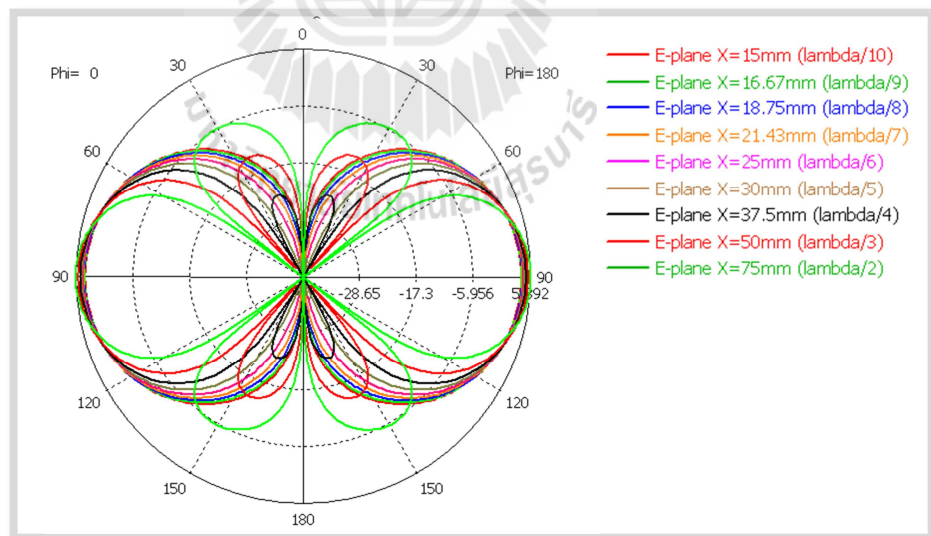
รูปที่ 3.35 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.35 จะเห็นว่าอัตราขยายเพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน จากนั้นพิจารณาระยะห่างระหว่าง 2 อีลิเมนต์ ตั้งแต่ $\lambda/10$ จนถึง $\lambda/2$ เพื่อวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ ณ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.36

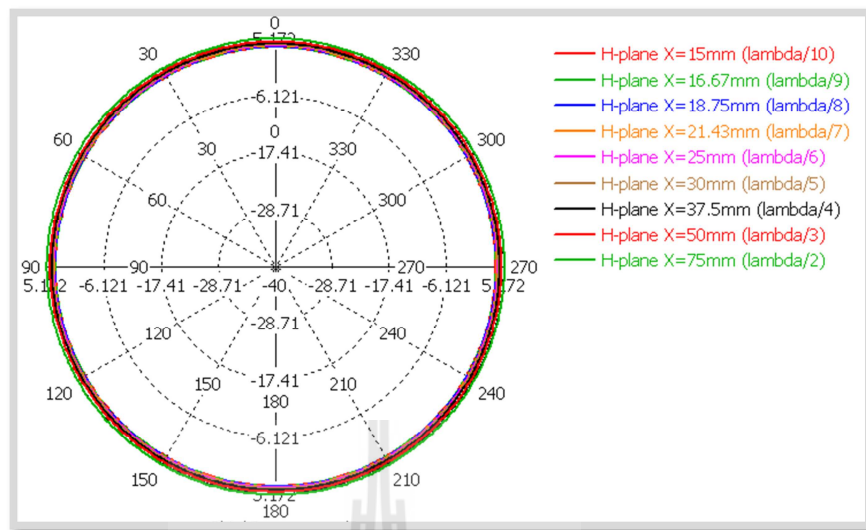


รูปที่ 3.36 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์
ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.36 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ณ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ดีที่สุดคือ -36.47 dB ที่ระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์ เท่ากับ $\lambda/2$ จากนั้นทำการวัด แบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ซึ่งถูกปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ $\lambda/10$ จนถึง $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.37 และ 3.38 ตามลำดับ

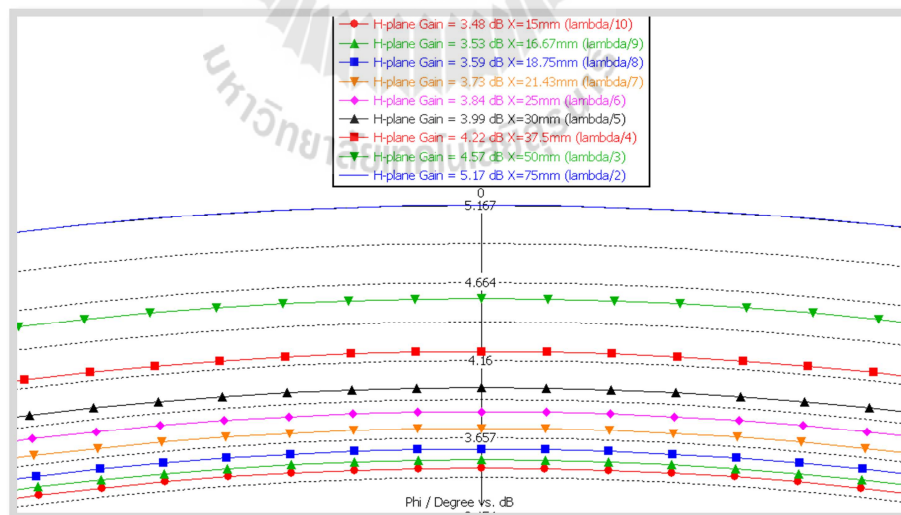


รูปที่ 3.37 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์



รูปที่ 3.38 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ
เชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.37 และ 3.38 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้แบบรูปมีลักษณะ
เปลี่ยนไป ในส่วนของอัตราขยายจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3
โดยสามารถสรุปค่าทั้งหมดได้ดังตารางที่ 3.3



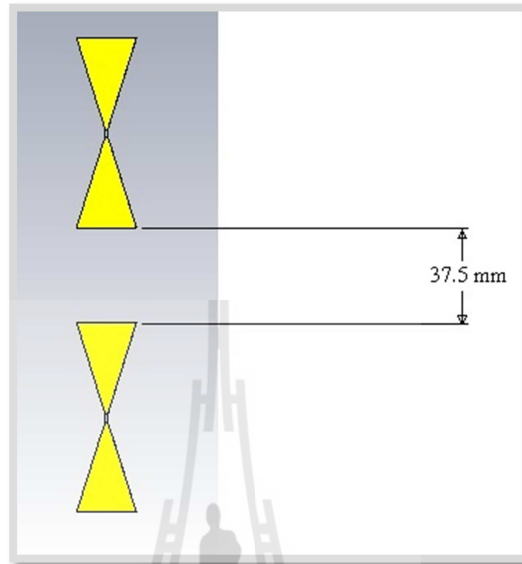
รูปที่ 3.39 ภาพขยายอัตราขยายสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์
ที่ปรับระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท

ระยะห่าง (mm)	ความถี่ เรโซแนนซ์ (GHz)	S_{11} ที่ความถี่ เรโซแนนซ์ (dB)	S_{11} ที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	ช่วงความถี่ที่ S_{11} ต่ำกว่า -10 dB (GHz)	ความ กว้างแถบ (MHz)	อัตรา ขยาย (dB)	SLL (dB)
15 ($\lambda/10$)	1.924	-16.06	-12.89	1.750 – 2.145	395	3.47	-
16.67 ($\lambda/9$)	1.940	-16.24	-13.52	1.762 – 2.163	401	3.53	-
18.75 ($\lambda/8$)	1.960	-16.48	-14.44	1.779 – 2.188	409	3.59	-
21.43 ($\lambda/7$)	1.980	-16.89	-15.41	1.794 – 2.211	417	3.73	-
25 ($\lambda/6$)	2.000	-17.54	-16.61	1.809 – 2.236	426	3.84	-
30 ($\lambda/5$)	2.024	-18.65	-18.36	1.829 – 2.264	435	3.99	-38.4
37.5 ($\lambda/4$)	2.044	-20.90	-20.90	1.848 – 2.284	435	4.22	-26.6
50 ($\lambda/3$)	2.060	-26.51	-25.44	1.867 – 2.286	419	4.57	-18.2
75 ($\lambda/2$)	2.060	-36.64	-36.47	1.874 – 1.246	372	5.17	-10.8

จากตารางที่ 3.3 จะเลือกใช้ระยะห่างระหว่าง 2 อีลิเมนต์ ที่ $\lambda/4$ เพราะ จะเห็นได้ว่า ถึงจะเป็นระยะที่มีอัตราขยายไม่สูงที่สุด แต่เป็นระยะที่มีอัตราขยายสูงที่สุดของระยะที่มีความแรงพหุสัญญาณข้างที่ไม่เกิน -20 dB เมื่อเทียบกับพหุสัญญาณหลัก พิจารณา ความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.044 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -20.90 dB และถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไททำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.848 GHz ถึง 2.284 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 435 MHz ซึ่งกว้างมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะอื่นๆ

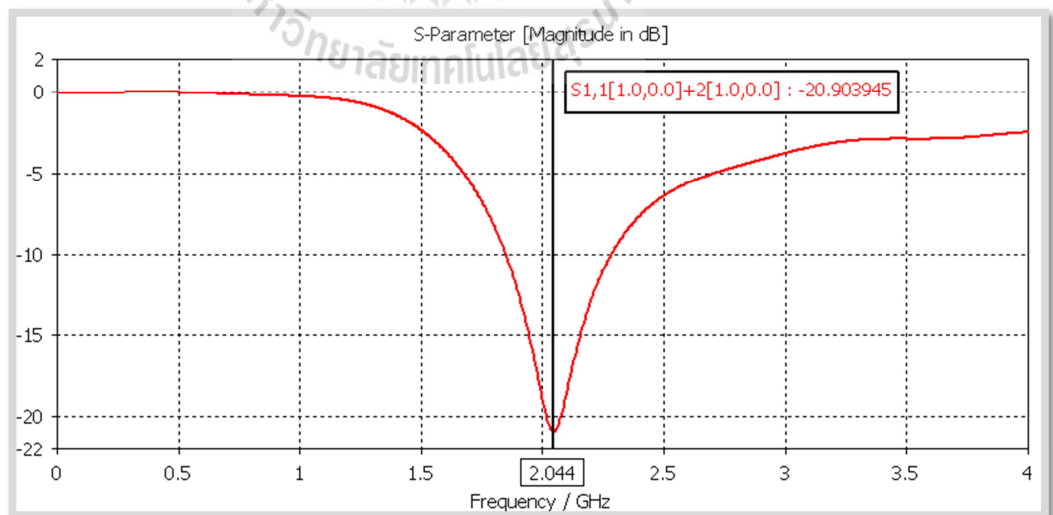
จากนั้นเมื่อได้ระยะห่างระหว่างทั้ง 2 อีลิเมนต์แล้วจึงทำการจำลองแบบ สายอากาศโบว์ไทแวลว ลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x2 อีลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.40



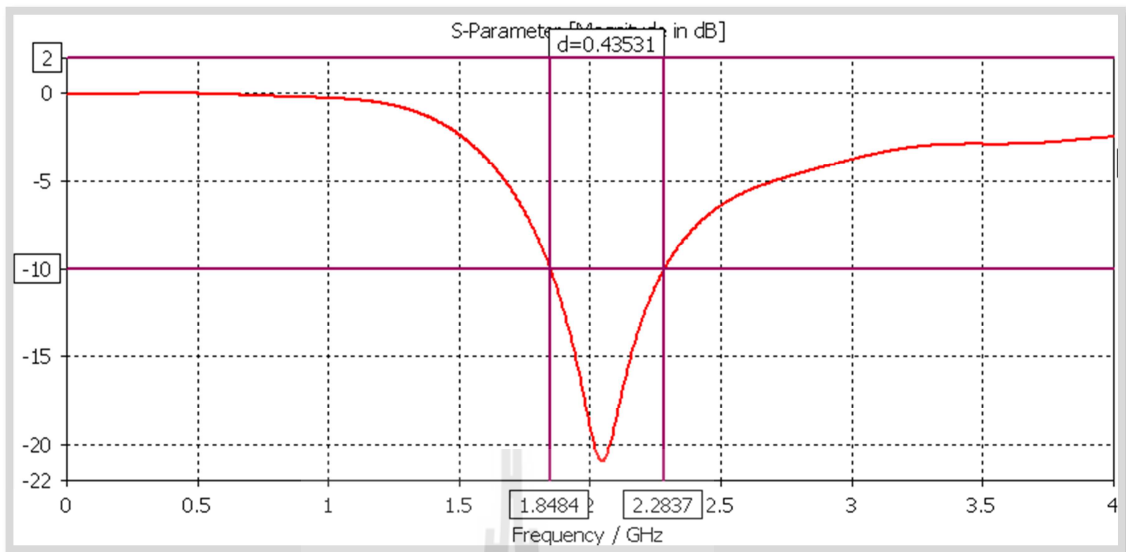
รูปที่ 3.40 แสดงระยะห่างสายอากาศโบว์ไทแวลวลำดับเชิงเส้น

1x2 อีลิเมนต์ ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากนั้นทำการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศโบว์ไทแวลว ลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x2 อีลิเมนต์ ดังในรูปที่ 3.41 และ 3.42 ตามลำดับ

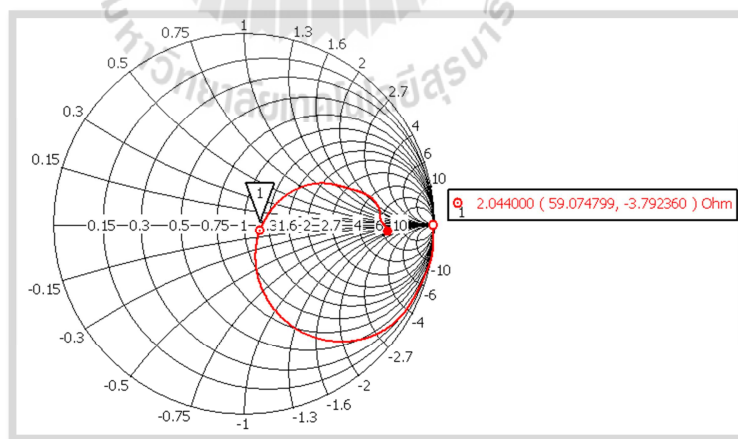


รูปที่ 3.41 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์



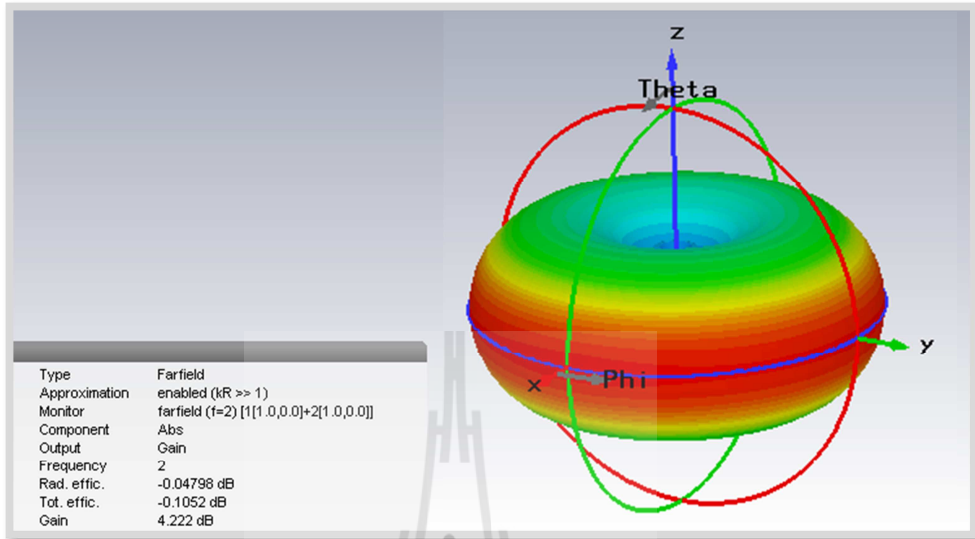
รูปที่ 3.42 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.41 และ 3.42 จะเห็นว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.044 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -20.90 dB ถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไทสามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.848 GHz ถึง 2.284 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 435 MHz ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ในส่วนของค่าอิมพีแดนซ์ ณ ที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $59.07 - j3.79$ โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.43

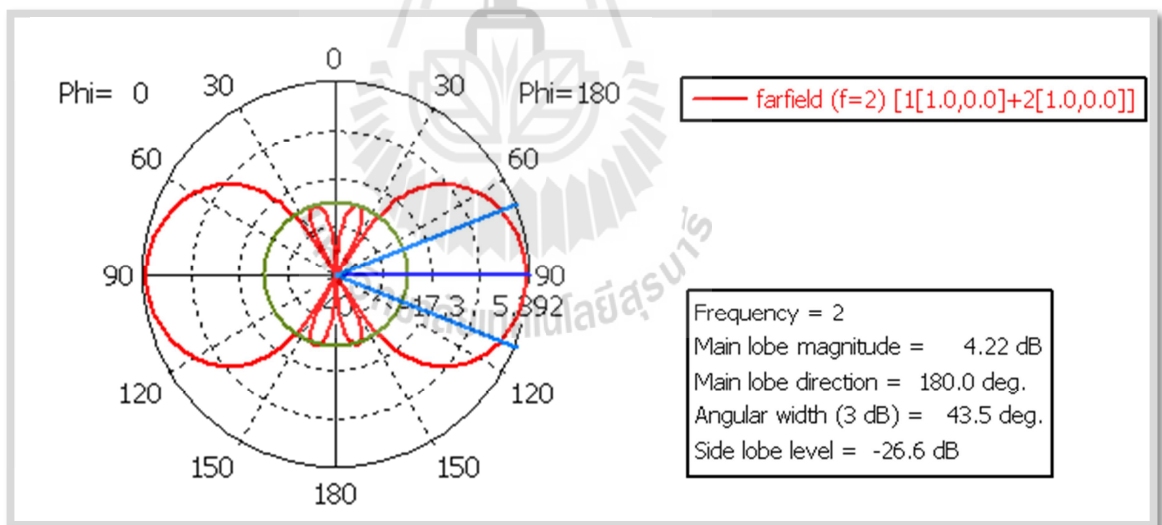


รูปที่ 3.43 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์

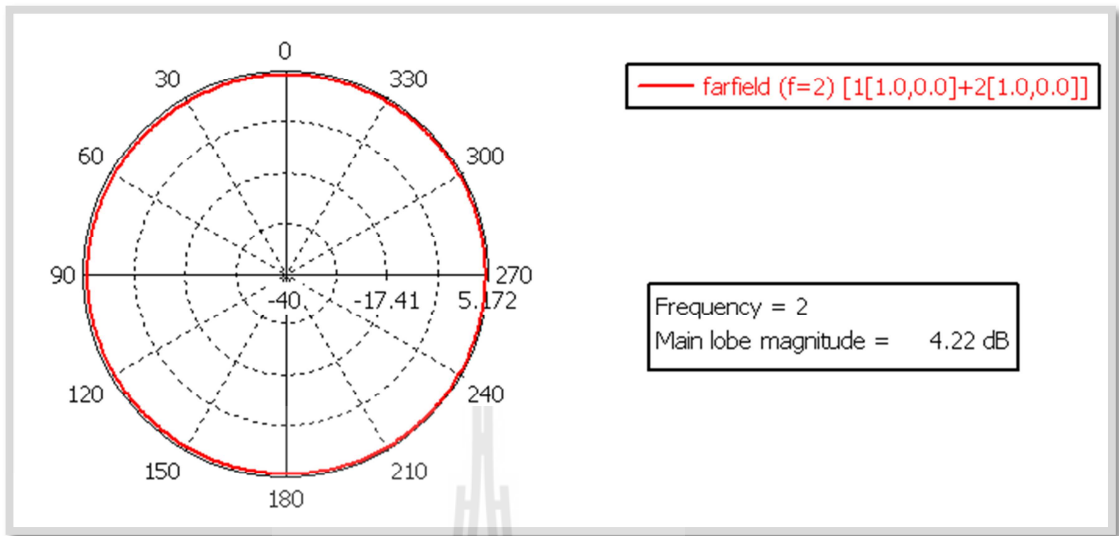
จากนั้นทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลัง 3 มิติ และแบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.44, 3.45 และ 3.46 ตามลำดับ



รูปที่ 3.44 แบบรูปการแผ่กำลังสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ 3 มิติ



รูปที่ 3.45 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์



รูปที่ 3.46 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท

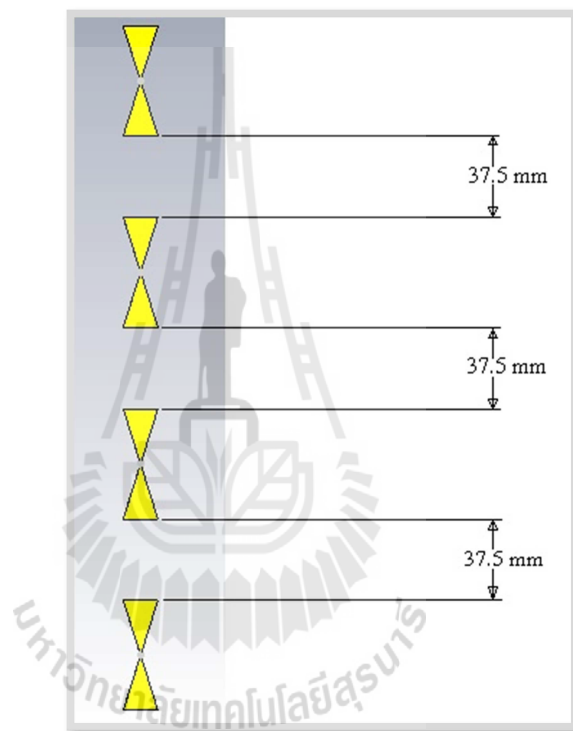
แถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.44 – 3.46 จะเห็นว่าแบบรูปกำลังของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น 1x2 อีลิเมนต์ ที่ถูกปรับระยะห่างจนมีความเหมาะสมยังคงให้ลักษณะของแบบรูปเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

3.6 การปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ของสายอากาศโบว์ไทซึ่งนำมาต่อเป็นแถวลำดับเชิงเส้น

ขนาด 1x4 อีลิเมนต์

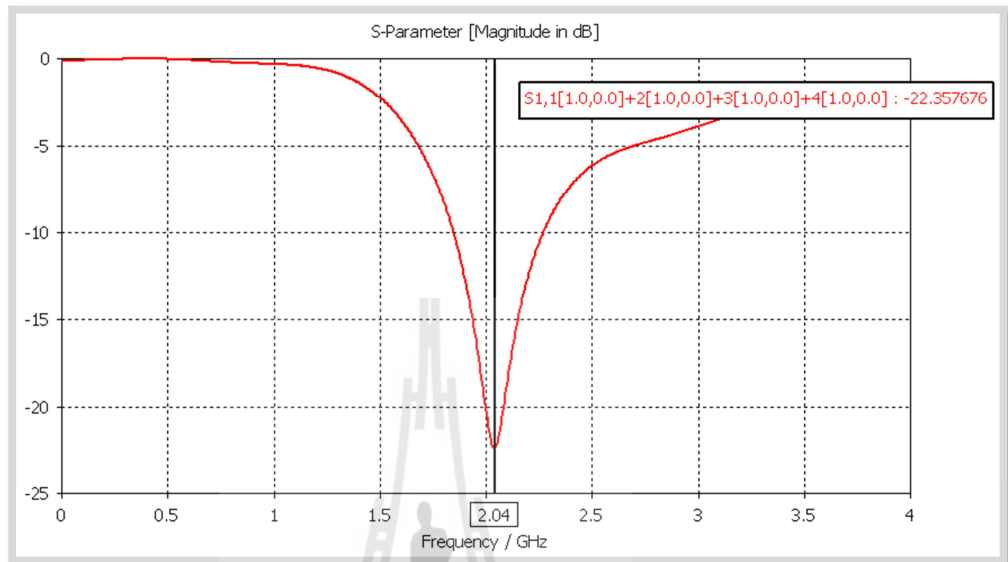
เนื่องจากสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นขนาด 1x2 อีลิเมนต์ มีอัตราขยายอยู่ที่ 4.22 dB ซึ่งมีค่าต่ำเกินไป จึงนำมาต่อเป็นแถวลำดับแบบเชิงเส้น ขนาด 1x4 อีลิเมนต์ เพื่อให้สายอากาศมีประสิทธิภาพดีขึ้นในส่วนของอัตราขยาย โดยการปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ให้เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3.47



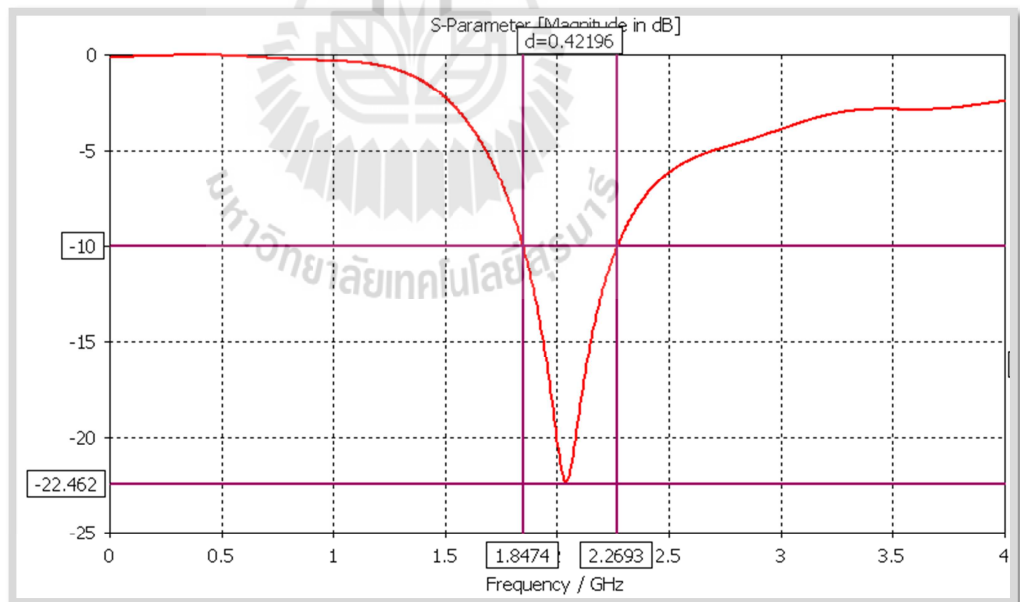
รูปที่ 3.47 แสดงระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับ

เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

ทำการจำลองออกแบบสายอากาศตามรูปที่ 3.47 แล้วทำการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าความกว้างแถบ ดังในรูปที่ 3.48 และ 3.49 ตามลำดับ

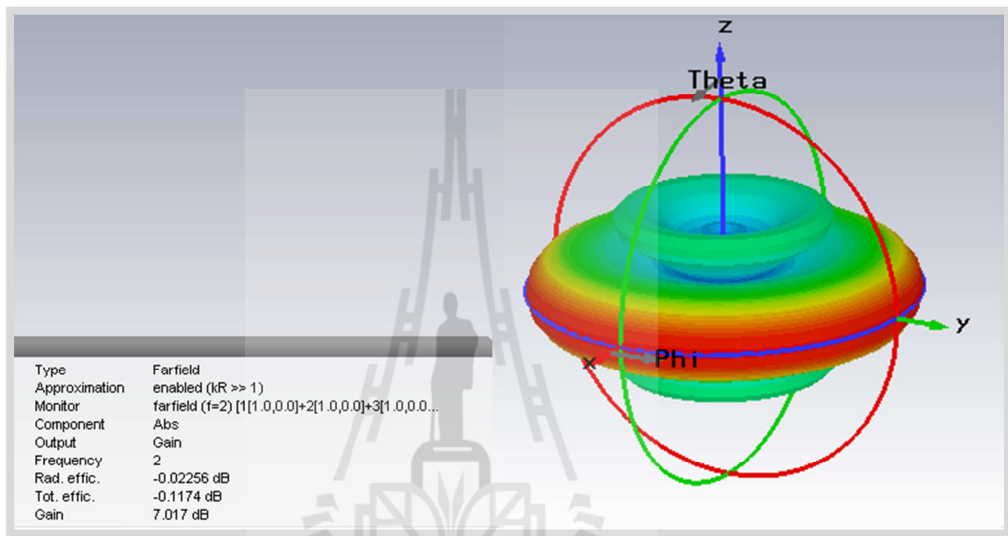


รูปที่ 3.48 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์

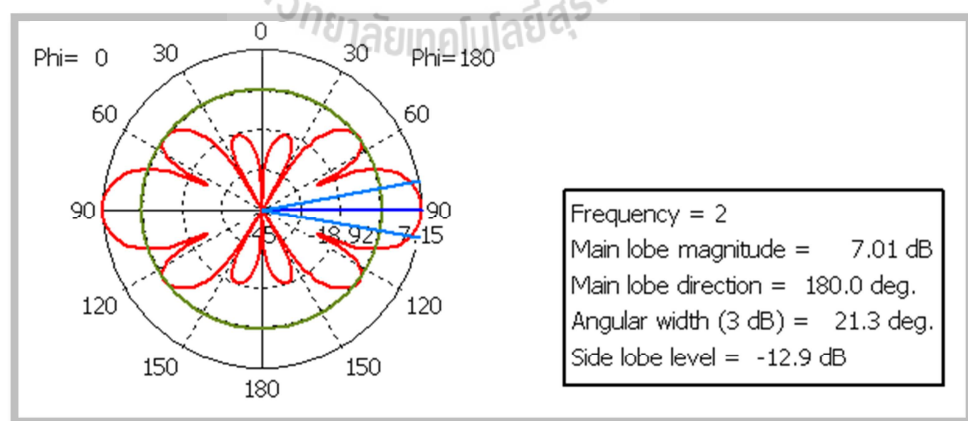


รูปที่ 3.49 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์

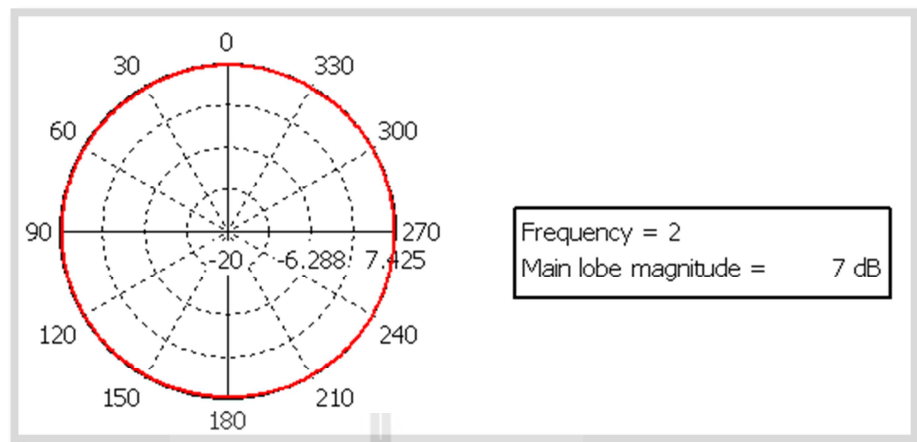
จากรูปที่ 3.48 และ 3.49 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับจะเห็นได้ว่า ความถี่เรโซแนนซ์ อยู่ที่ 2.040 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -22.36 dB ถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไท่ทำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.847 GHz ถึง 2.269 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 422 MHz ซึ่งกว้างครอบคลุมย่านความถี่ 3G (1.92 GHz ถึง 2.17 GHz) โดยมีแบบรูปกำลังของสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ตั้งในรูปที่ 3.50, 3.51 และ 3.52 ตามลำดับ



รูปที่ 3.50 แบบรูปการแผ่กำลังสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ 3 มิติ

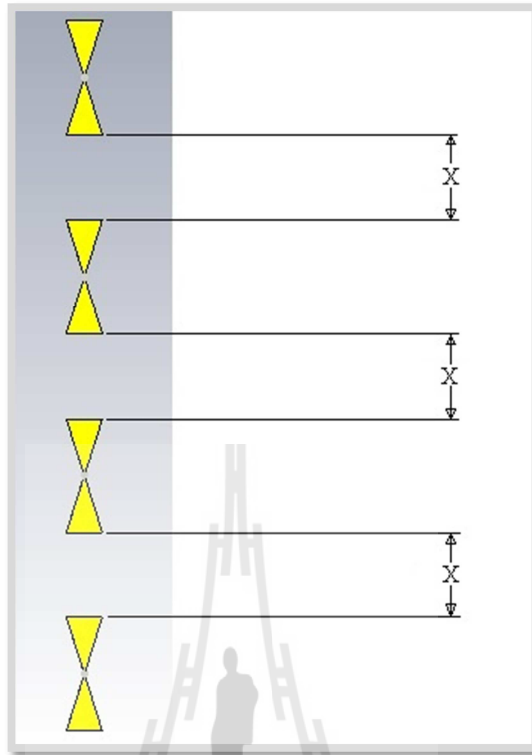


รูปที่ 3.51 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์



รูปที่ 3.52 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท
แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์

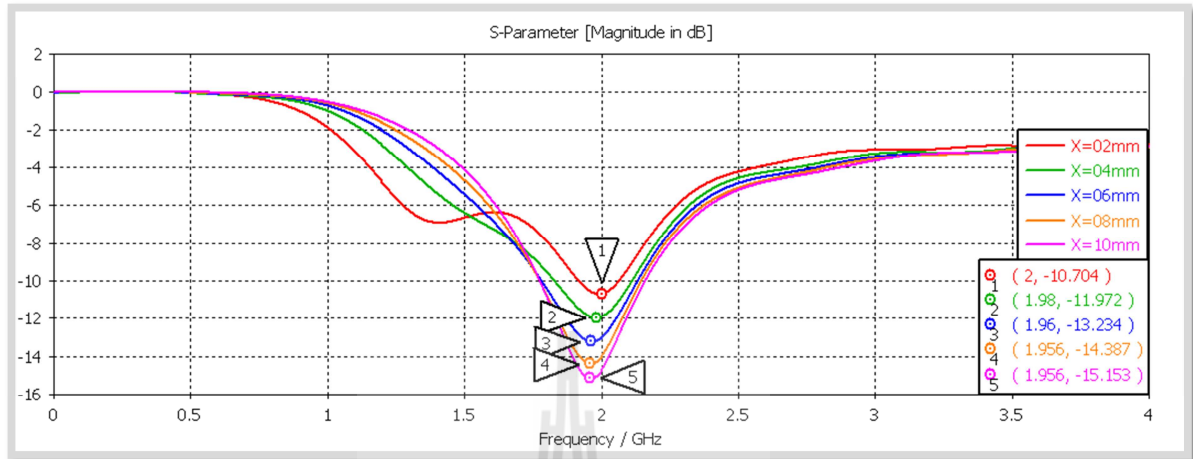
จากรูปที่ 3.50 - 3.52 จะเห็นได้ว่าสายอากาศมีอัตราขยายอยู่ที่ 7.017 dB แต่มีความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงของพหุสัญญาณหลัก -12.9 dB ซึ่งความแรงพหุสัญญาณข้างนั้นสูงมาก จึงจำเป็นต้องหาระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ใหม่โดยละเอียดเพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ เมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง ทั้ง 4 อีลิเมนต์ ให้เหมาะสม



รูปที่ 3.53 ชี้นงานสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น 1x4
อีลิเมนต์ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากรูปที่ 3.53 เป็นการแสดงผลของระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อีลิเมนต์ โดยจะปรับระยะห่างตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร จนถึง 50 มิลลิเมตร โดยที่การปรับแต่ละครั้งจะมีระยะห่างกัน 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา เราจึงแบ่งการปรับทั้งหมดเป็น 5 ช่วงด้วยกัน

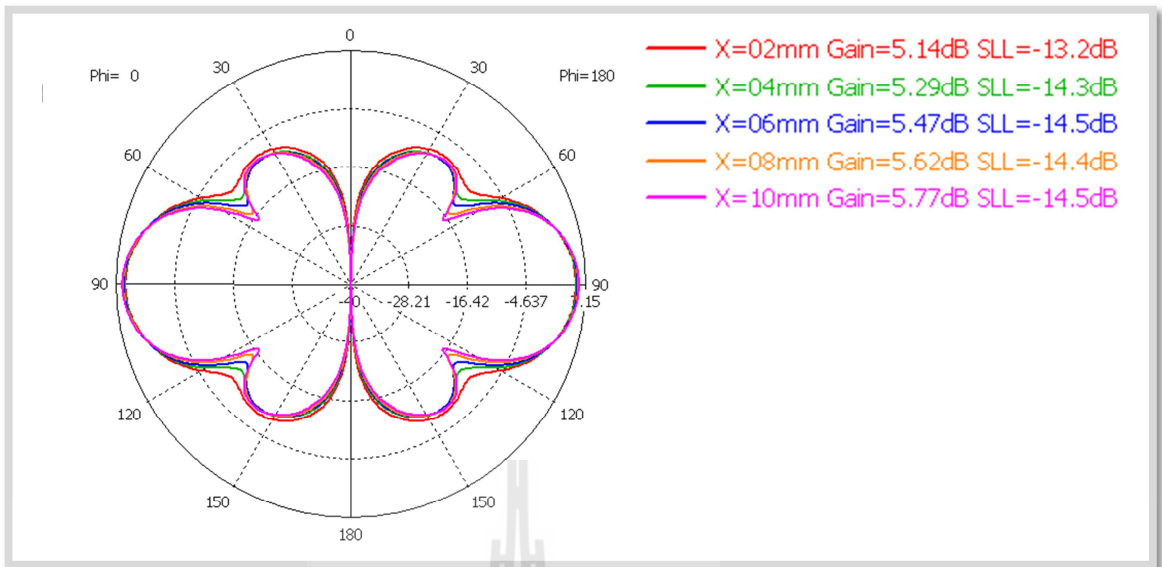
ช่วงที่ 1 พิจารณาระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร เพื่อวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.54



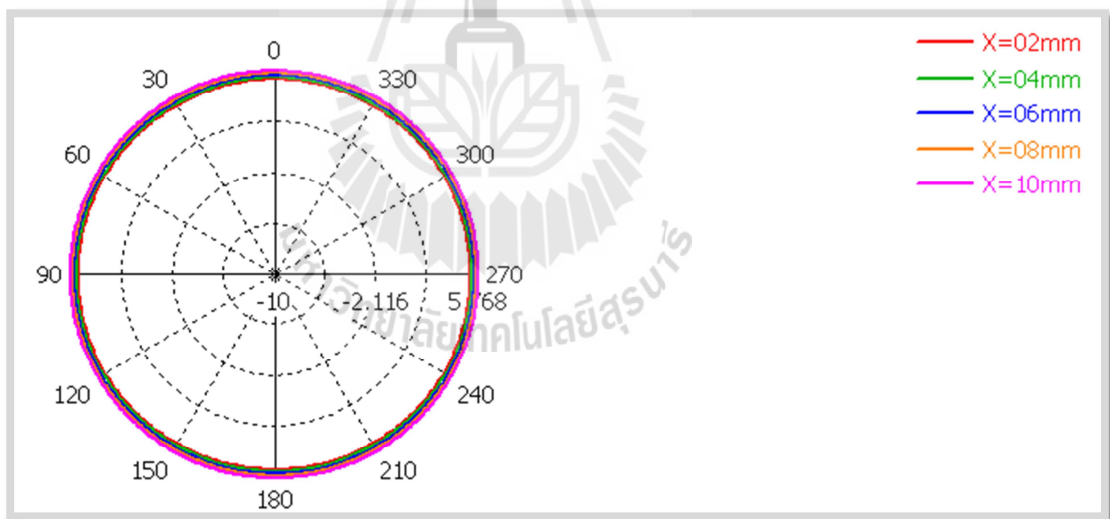
รูปที่ 3.54 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลล์ลำดับเชิงเส้น

1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 1

จากรูปที่ 3.54 จะเห็นว่าในช่วงที่ 1 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เพิ่มขึ้นความถี่ เรโซแนนซ์ เคลื่อนออกไปไม่มาก แต่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียย้อนกลับค่อนข้างมาก จากนั้นทำการวัดแบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.55 และ 3.56 ตามลำดับ



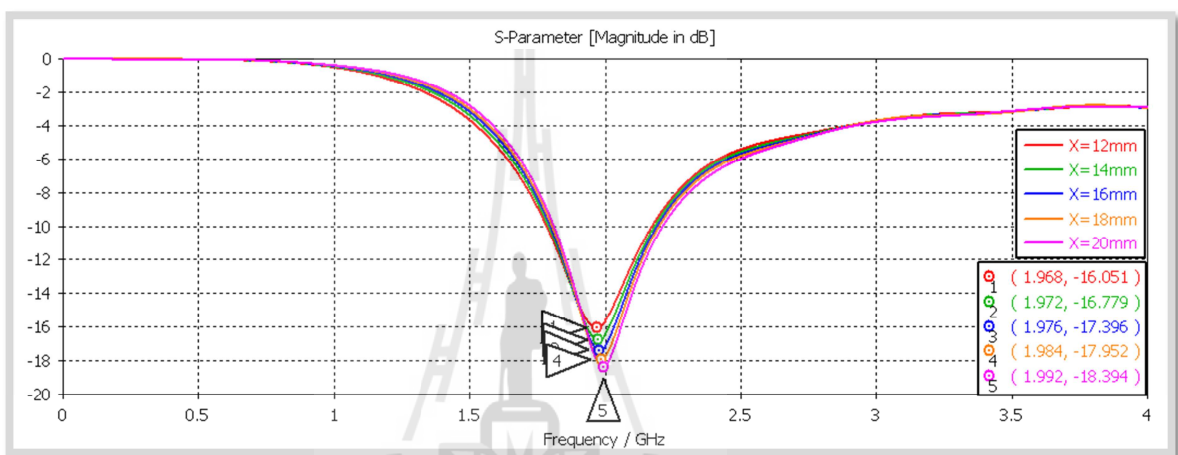
รูปที่ 3.55 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 1



รูปที่ 3.56 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 1

จากรูปที่ 3.55 และ 3.56 จะเห็นว่าในช่วงที่ 1 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางกลับกัน ความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงพหุสัญญาณหลักจะลดลง เมื่อระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ในช่วงที่ 2 ต่อ

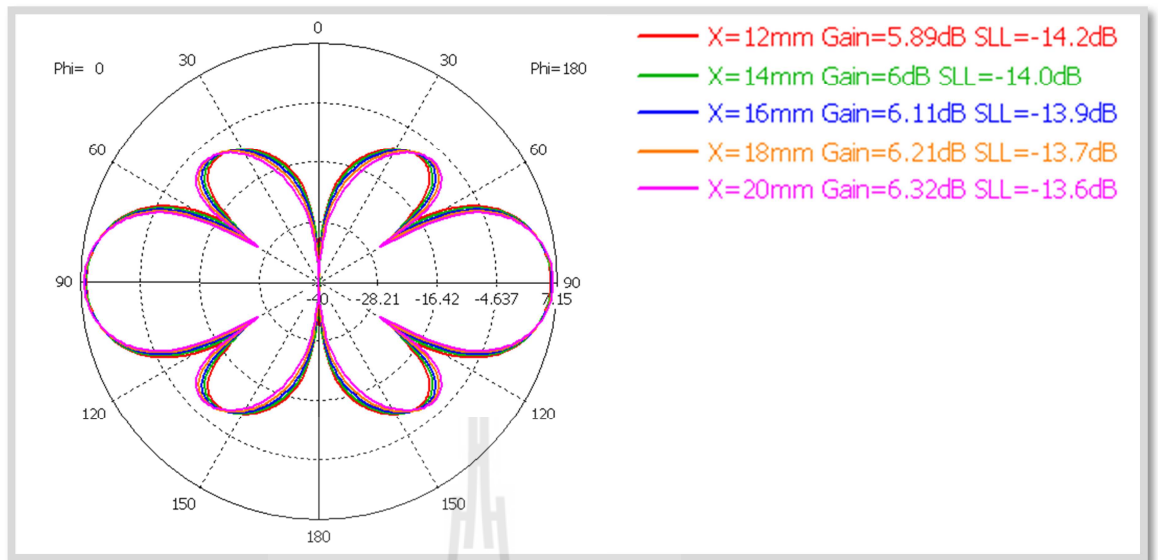
ช่วงที่ 2 พิจารณาระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อิลิเมนต์ ตั้งแต่ 12 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร เพื่อวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.57 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น

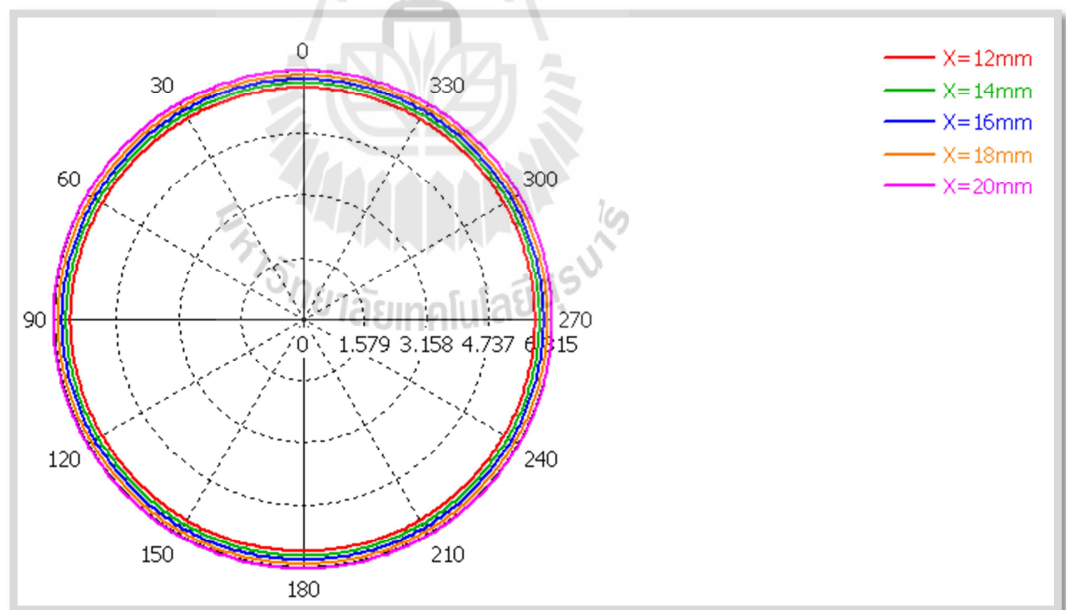
1x4 อิลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ ช่วงที่ 2

จากรูปที่ 3.57 จะเห็นว่าในช่วงที่ 2 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นความถี่ เรโซแนนซ์เคลื่อนออกไปมากกว่า ช่วงที่ 1 และจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียย้อนกลับค่อนข้างมาก แต่น้อยกว่าช่วงที่ 1 จากนั้นทำการวัดแบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.58 และ 3.59 ตามลำดับ



รูปที่ 3.58 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ

เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 2

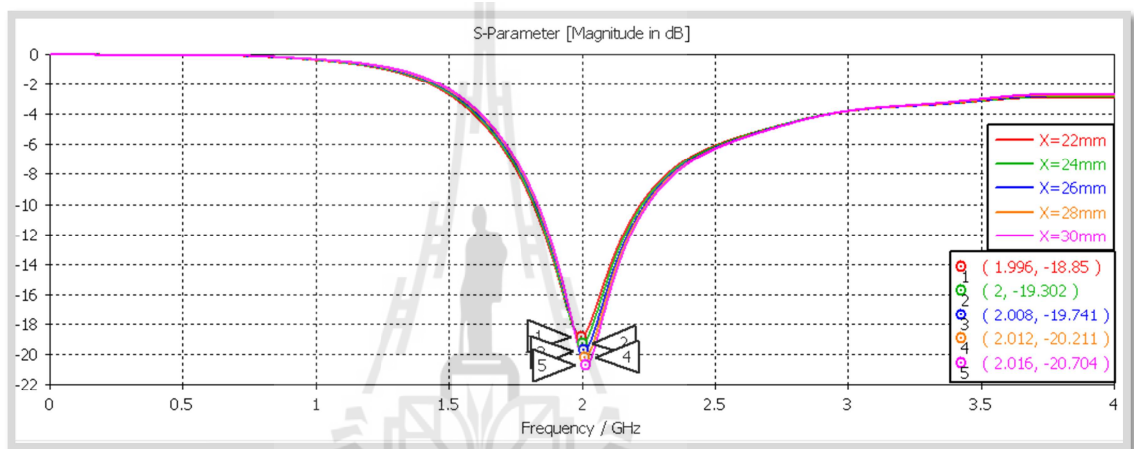


รูปที่ 3.59 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ

เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 2

จากรูปที่ 3.58 และ 3.59 จะเห็นว่าในช่วงที่ 2 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในส่วนของความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงพหุสัญญาณหลักก็เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ในช่วงที่ 3 ต่อ

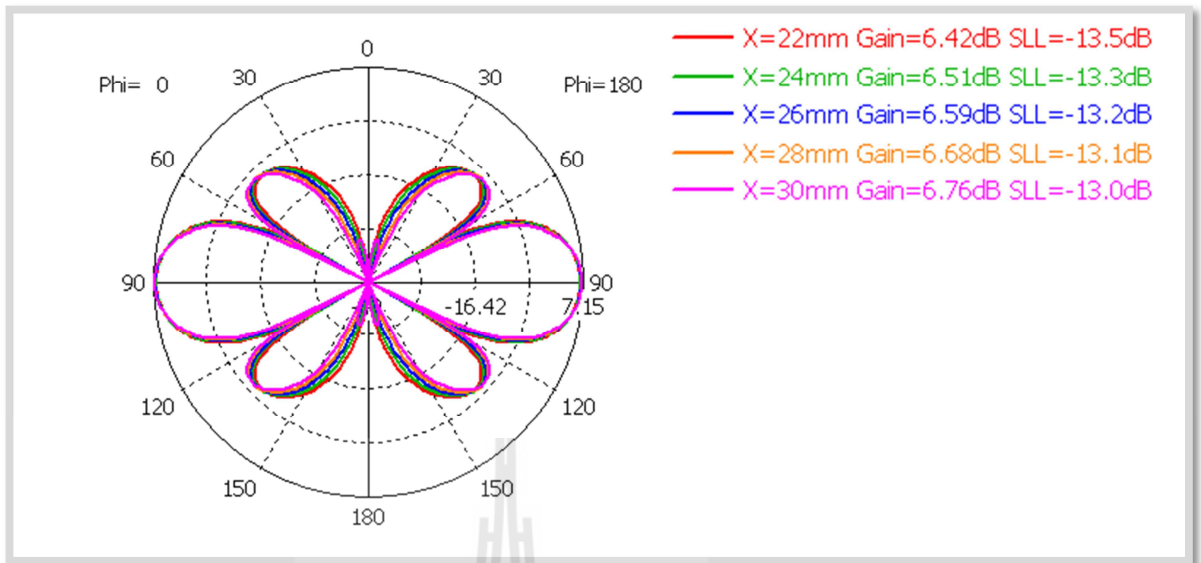
ช่วงที่ 3 พิจารณาระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อิลิเมนต์ ตั้งแต่ 22 มิลลิเมตร ถึง 30 มิลลิเมตร เพื่อวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.60



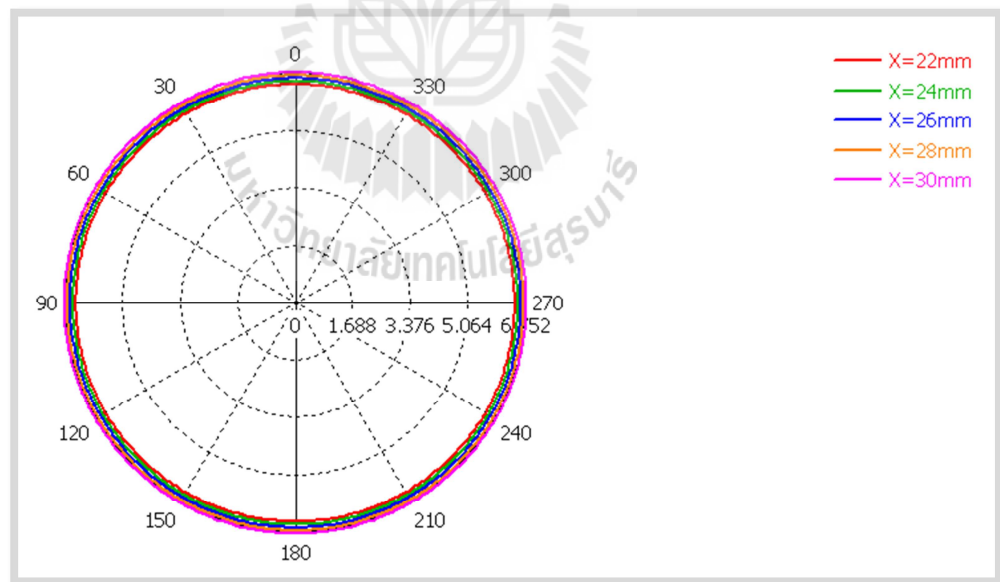
รูปที่ 3.60 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ำดับเชิงเส้น

1x4 อิลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ ช่วงที่ 3

จากรูปที่ 3.60 จะเห็นว่าในช่วงที่ 3 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นความถี่เรโซแนนซ์เคลื่อนออกไปมากกว่า ช่วงที่ 1 และจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียย้อนกลับค่อนข้างมาก พอๆกับช่วงที่ 2 จากนั้นทำการวัดแบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.61 และ 3.62 ตามลำดับ



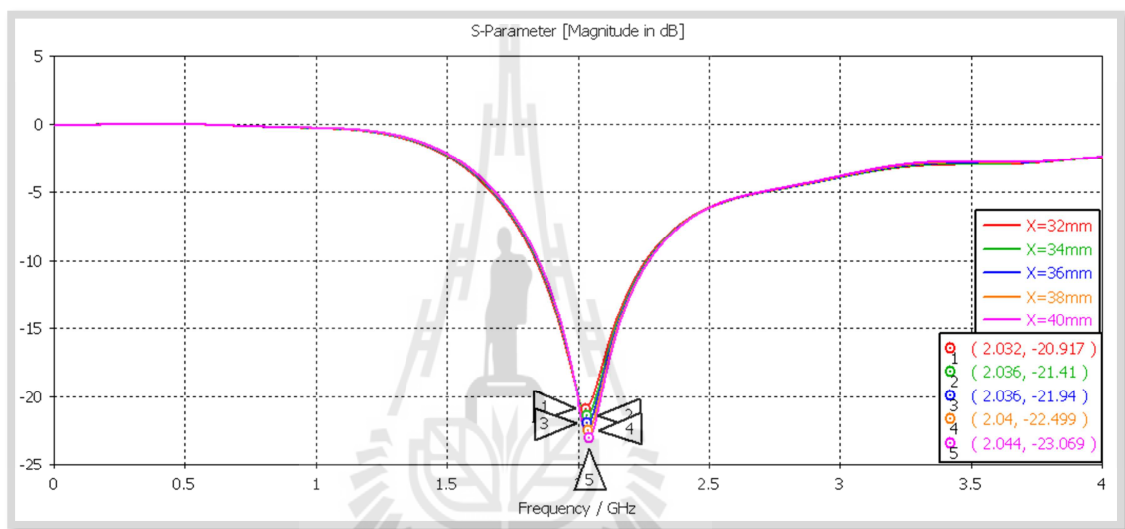
รูปที่ 3.61 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแฉกลำดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 3



รูปที่ 3.62 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแฉกลำดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 3

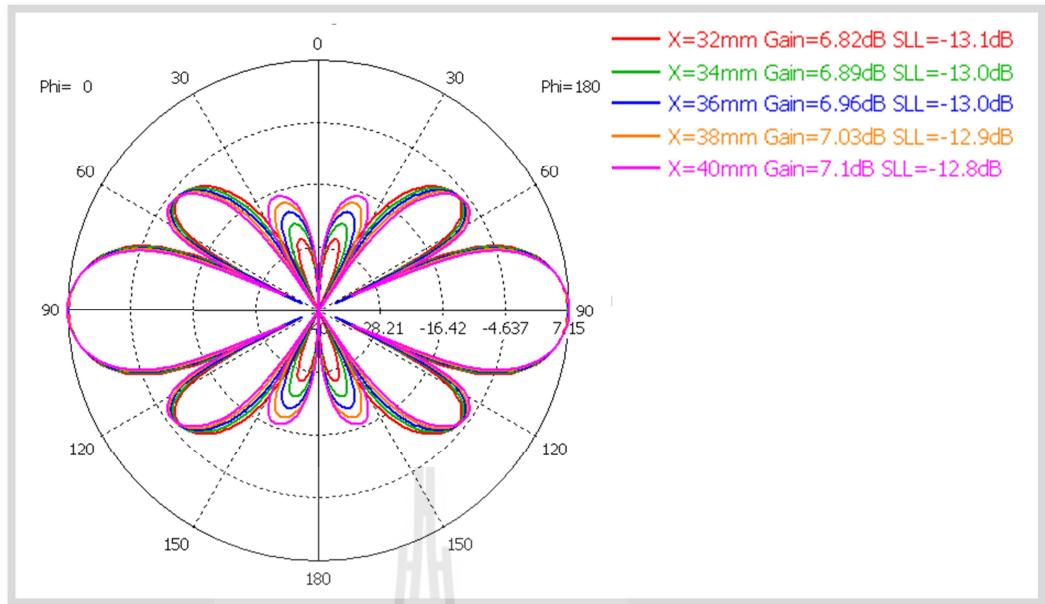
จากรูปที่ 3.61 และ 3.62 จะเห็นว่าในช่วงที่ 3 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่จะเพิ่มไม่มาก ในส่วนของความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงพหุสัญญาณหลักก็จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่าช่วงที่ 2 เมื่อระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณา ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ในช่วงที่ 4 ต่อ

ช่วงที่ 4 พิจารณาระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อิลิเมนต์ ตั้งแต่ 32 มิลลิเมตร ถึง 40 มิลลิเมตร เพื่อวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.63

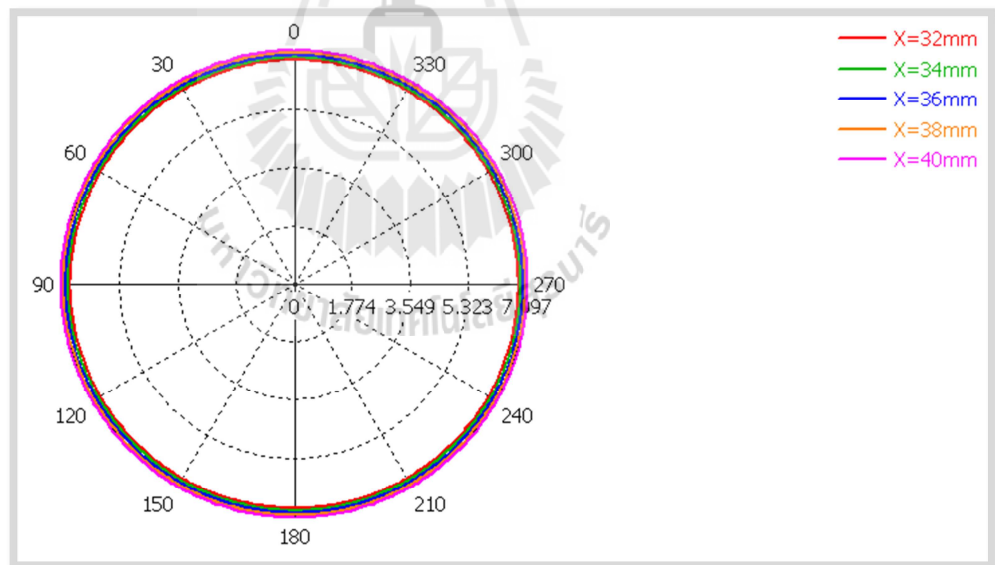


รูปที่ 3.63 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลต์ฉบับเชิงเส้น
1x4 อิลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ ช่วงที่ 4

จากรูปที่ 3.63 จะเห็นว่าในช่วงที่ 4 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นความถี่เรโซแนนซ์เคลื่อนออกไม่มากและจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียย้อนกลับค่อนข้างมากพอกับช่วงที่ 2 และ 3 จากนั้นทำการวัดแบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.64 และ 3.65 ตามลำดับ



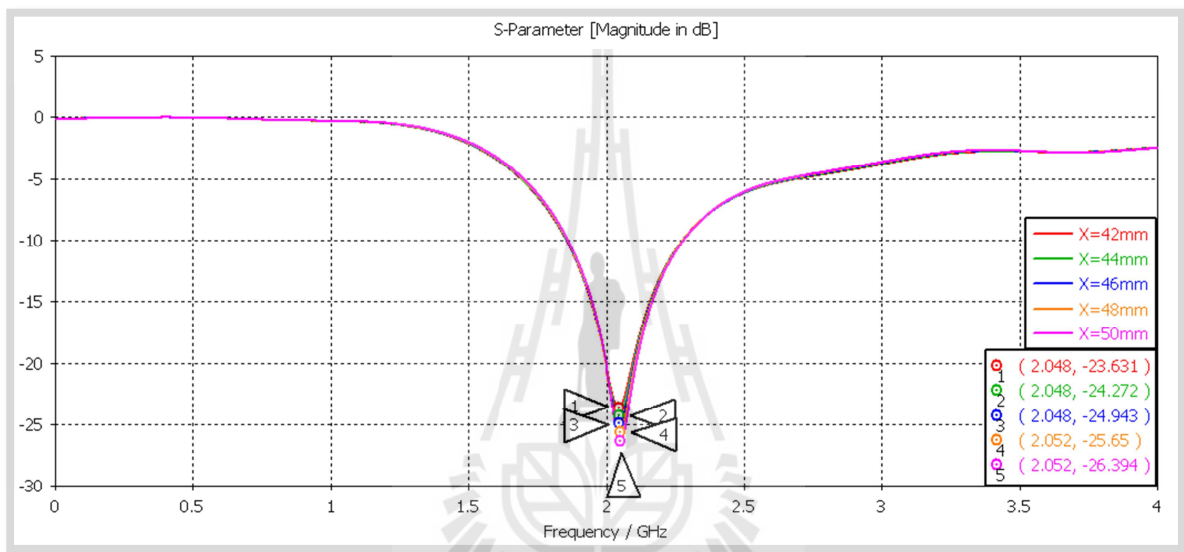
รูปที่ 3.64 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไทแวลล่าดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 4



รูปที่ 3.65 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลล่าดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 4

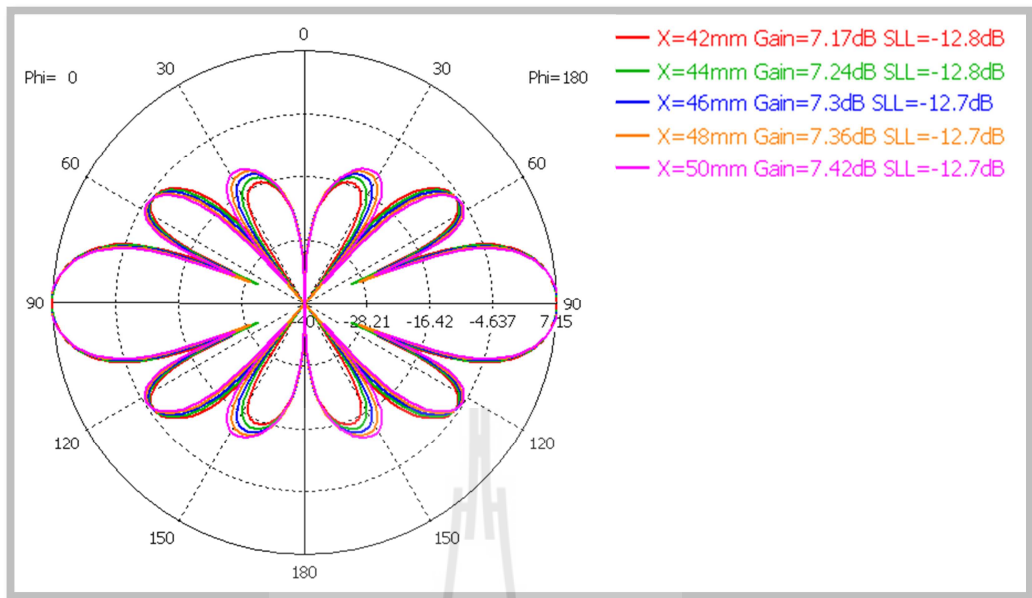
จากรูปที่ 3.64 และ 3.65 จะเห็นว่าในช่วงที่ 4 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่จะเพิ่มน้อยกว่าช่วงที่ 2 และ 3 ในส่วนของความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงพหุสัญญาณหลักก็จะเพิ่มขึ้นแต่น้อยมาก เมื่อระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ในช่วงที่ 4 ต่อ

ช่วงที่ 5 พิจารณาระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อิลิเมนต์ ตั้งแต่ 42 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร เพื่อวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 3.66

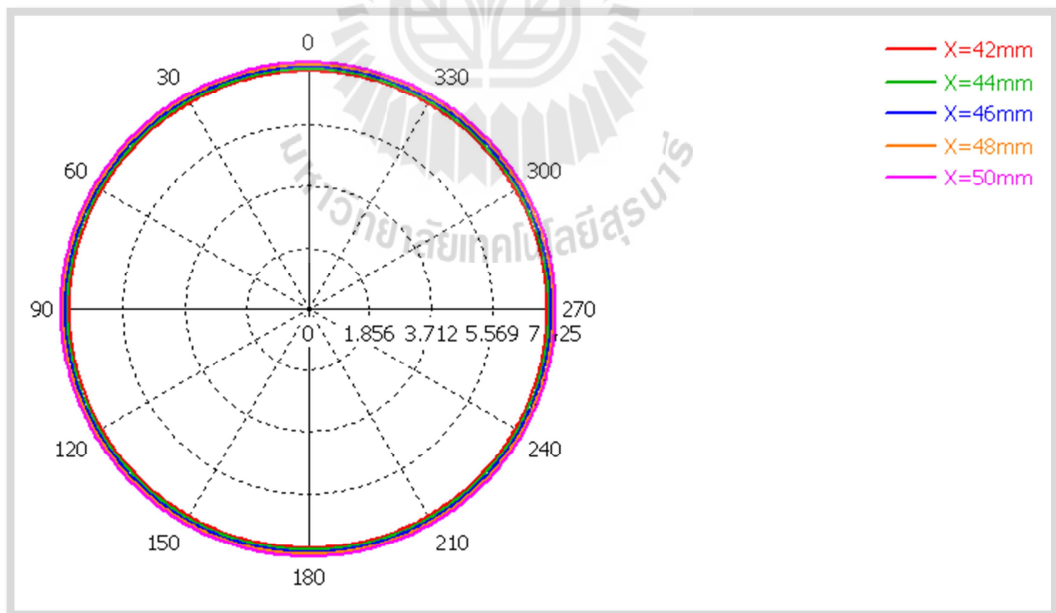


รูปที่ 3.66 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลด์ระดับเชิงเส้น 1x4 อิลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ ช่วงที่ 5

จากรูปที่ 3.66 จะเห็นว่าในช่วงที่ 5 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์เพิ่มขึ้นความถี่เรโซแนนซ์เคลื่อนออกน้อยมากและจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียย้อนกลับค่อนข้างมากและเป็นช่วงที่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุด จากนั้นทำการวัดแบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.67 และ 3.68 ตามลำดับ



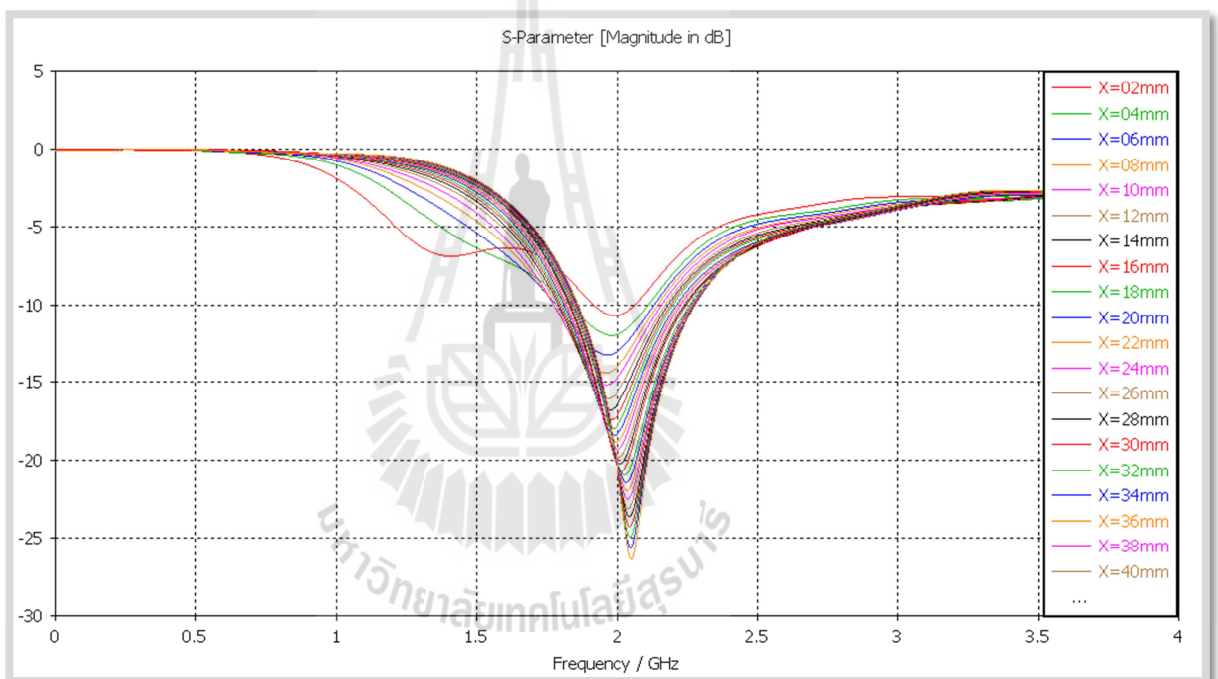
รูปที่ 3.67 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 5



รูปที่ 3.68 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับ
เชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ช่วงที่ 5

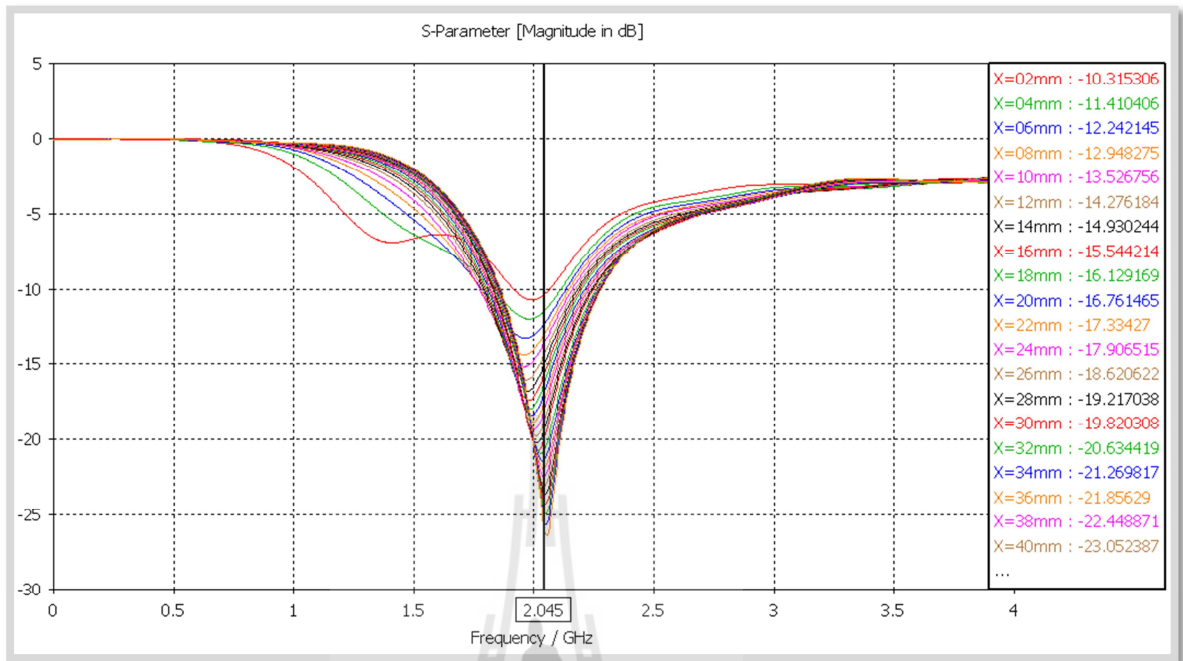
จากรูปที่ 3.67 และ 3.68 จะเห็นว่าในช่วงที่ 5 นั้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ในส่วนของความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงของพหุสัญญาณหลักก็จะเพิ่มขึ้นน้อยมากหรือไม่เพิ่มขึ้นเลย เมื่อระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณาระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ในทั้งหมดตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

สุดท้ายนำผลพิจารณาระยะห่างระหว่างทั้ง 4 อีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการคือ 2.045 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.69



รูปที่ 3.69 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์
ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

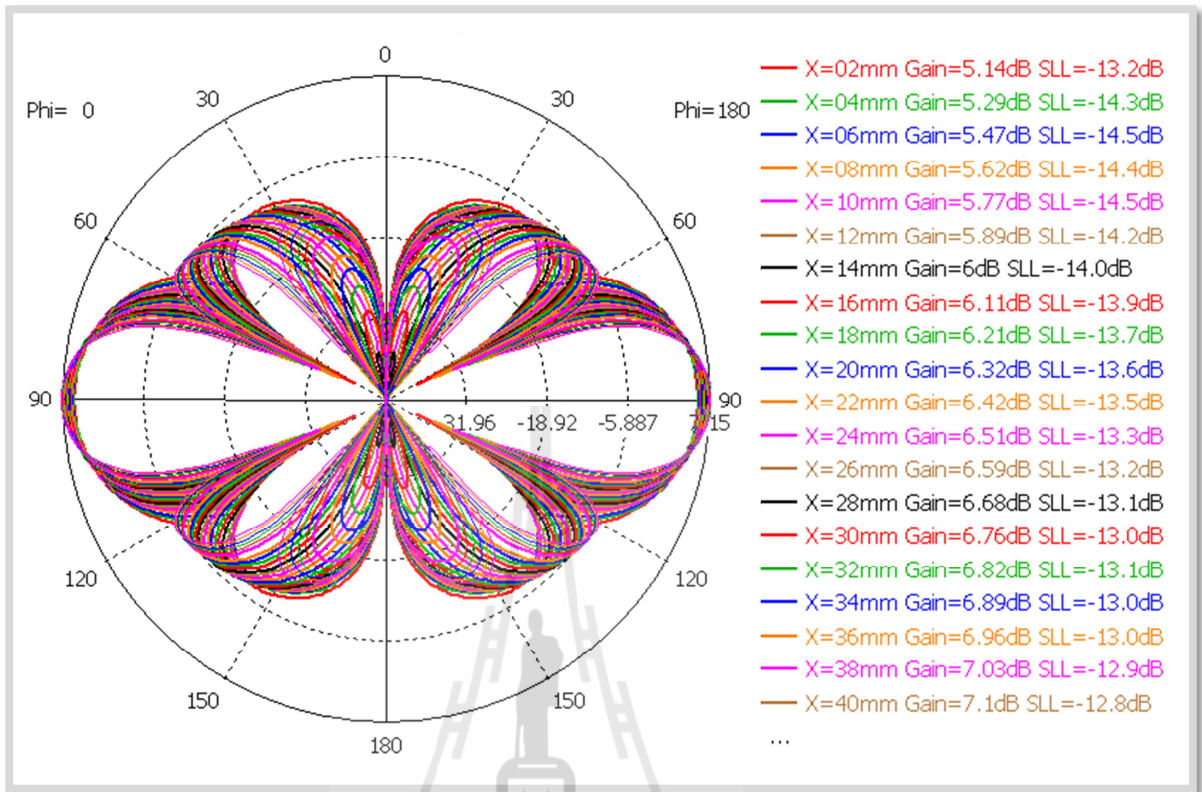
จากรูปที่ 3.69 จะเห็นว่าเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เพิ่มขึ้นและมีค่าการสูญเสียย้อนกลับดีขึ้น ณ ที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการคือ 2.045 GHz จะเห็นว่าเมื่อปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับดีขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.70



รูปที่ 3.70 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแวลต์ดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับ

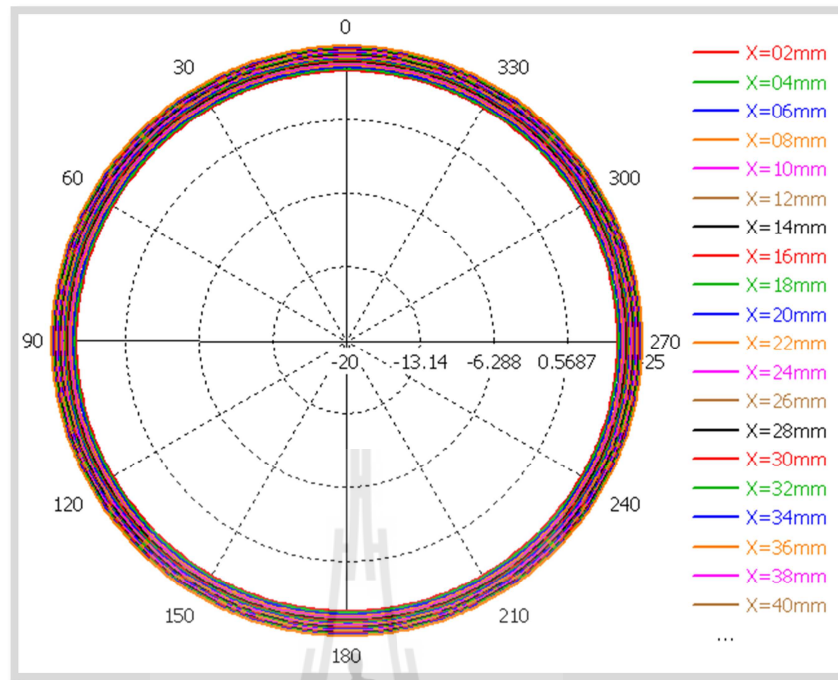
ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ที่ความถี่ 2.045 GHz ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร





รูปที่ 3.71 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบริวโทแวลด์ระดับเชิงเส้น

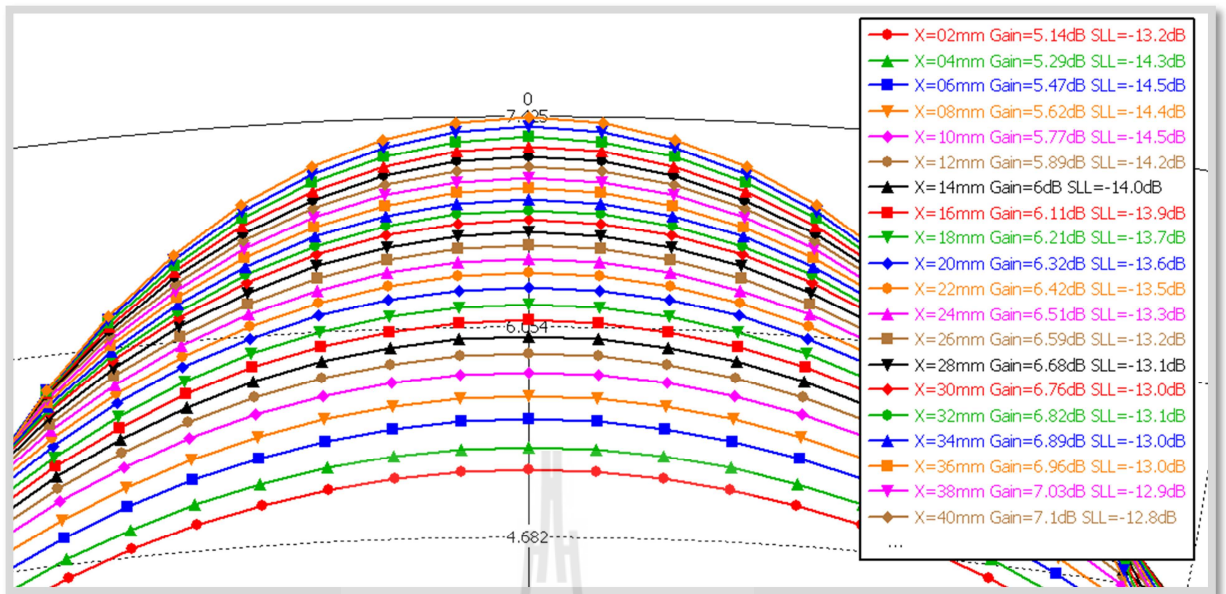
1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.72 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น

1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.71 และ 3.72 สามารถบอกได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์มากขึ้นทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นด้วย โดยความแตกต่างของอัตราขยายในแต่ละระยะห่างสามารถพิจารณาว่าอัตราขยายจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ที่ยังไม่มากนักและจะเริ่มเพิ่มช้าลงเรื่อยๆ เมื่อระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.73



รูปที่ 3.73 ภาพขยายอัตรายในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น

1x4 อีลิเมนต์ ที่ปรับระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ ตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

โดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่าง อีลิเมนต์ของสายอากาศโบว์ไท่ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.4

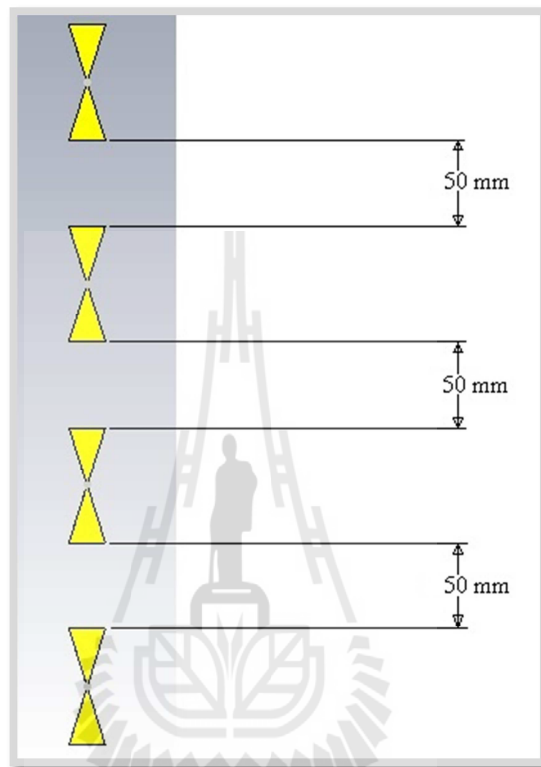
ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับระยะห่างของสายอากาศโบว์ไท่

ระยะห่าง (mm)	ความถี่เรโซแนนซ์ (GHz)	S_{11} ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (dB)	S_{11} ที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	ช่วงความถี่ที่ S_{11} ต่ำกว่า -10 dB (GHz)	ความกว้างแถบ (MHz)	อัตราขยาย (dB)	SLL (dB)
2	1.992	-10.716	-10.32	1.915-2.065	149	5.14	-13.2
4	1.980	-11.972	-11.41	1.828-2.113	285	5.29	-14.3
6	1.964	-13.237	-12.24	1.781-2.113	352	5.47	-14.5
8	1.964	-14.390	-12.95	1.774-2.146	372	5.62	-14.4
10	1.960	-15.157	-13.53	1.774-2.160	385	5.77	-14.5
12	1.968	-16.051	-14.28	1.783-2.174	390	5.89	-14.2
14	1.972	-16.779	-14.93	1.791-2.183	392	6.00	-14.0
16	1.980	-17.400	-15.54	1.797-2.192	394	6.11	-13.9
18	1.984	-17.952	-16.13	1.803-2.200	396	6.21	-13.7
20	1.992	-18.394	-16.76	1.810-2.213	402	6.32	-13.6

22	1.996	-18.850	-17.33	1.815-2.221	405	6.42	-13.5
24	2.000	-19.302	-17.91	1.820-2.228	408	6.51	-13.3
26	2.008	-19.741	-18.62	1.826-2.243	411	6.59	-13.2
28	2.012	-20.211	-19.22	1.830-2.243	412	6.68	-13.1
30	2.016	-20.704	-19.82	1.834-2.248	414	6.76	-13.0
32	2.028	-20.922	-20.63	1.838-2.259	420	6.82	-13.1
34	2.036	-21.410	-21.27	1.843-2.265	421	6.89	-13.0
36	2.036	-21.940	-21.86	1.846-2.268	421	6.96	-13.0
38	2.400	-22.499	-22.45	1.848-2.270	421	7.03	-12.9
40	2.044	-23.069	-23.05	1.850-2.272	421	7.10	-12.8
42	2.044	-23.632	-23.63	1.854-2.276	421	7.17	-12.8
44	2.048	-24.272	-24.25	1.855-2.277	421	7.24	-12.8
46	2.048	-24.943	-24.89	1.857-2.277	420	7.30	-12.7
48	2.048	-25.651	-25.56	1.858-2.278	419	7.36	-12.7
50	2.052	-26.364	-26.11	1.861-2.280	418	7.42	-12.7

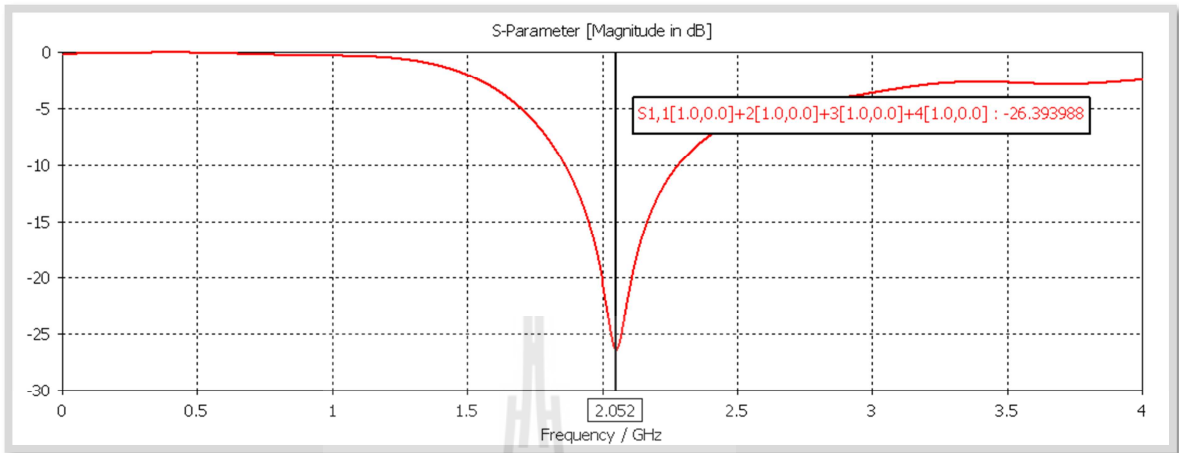
พิจารณาข้อมูลจากตาราง 3.4 สามารถสรุปได้ว่า ทุกระยะห่างระหว่าง ทั้ง 4 อีลิเมนต์ มีความแรงของพหุสัญญาณข้างที่สูงทุกระยะทำให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เพราะฉะนั้นสิ่งที่น่าสนใจมาพิจารณาในการเลือกระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ที่เหมาะสมจึงต้องใช้ข้อมูลส่วนที่เหลือ สามารถวิเคราะห์ออกมาได้ว่า เราจะพิจารณาอัตราขยายที่สูงที่สุด นั่นคือที่ระยะห่างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ถ้าพิจารณาในส่วนของความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการคือ 2.045 GHz พบว่าที่ระยะนี้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับดีที่สุด เพราะฉะนั้นระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ที่เราเลือกใช้คือ 50 มิลลิเมตร

จากนั้นเมื่อได้ระยะห่างระหว่างอิฐลิเมนต์ที่เหมาะสมแล้วเราจะทำการจำลองแบบ เพื่อพิจารณาผล
การจำลองผลของค่าการสูญเสียย้อนกลับและแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแกลว
ลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อิฐลิเมนต์ ที่จะนำมาสร้างเป็นสายอากาศใช้งานจริง

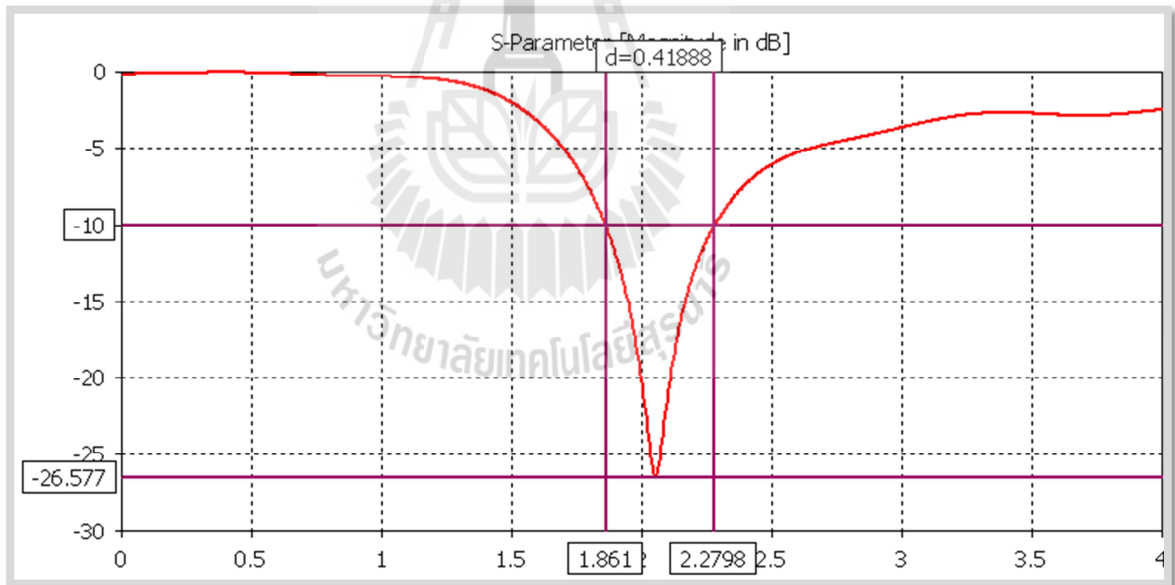


รูปที่ 3.74 ชั้นงานสายอากาศโบว์ไทแกลวลำดับเชิงเส้น 1x4 อิฐลิเมนต์
ในโปรแกรมสำเร็จรูป CST

จากนั้นทำการวัดของค่าการสูญเสียย้อนกลับและค่าความกว้างแถบความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.75 และ 3.76 ตามลำดับ



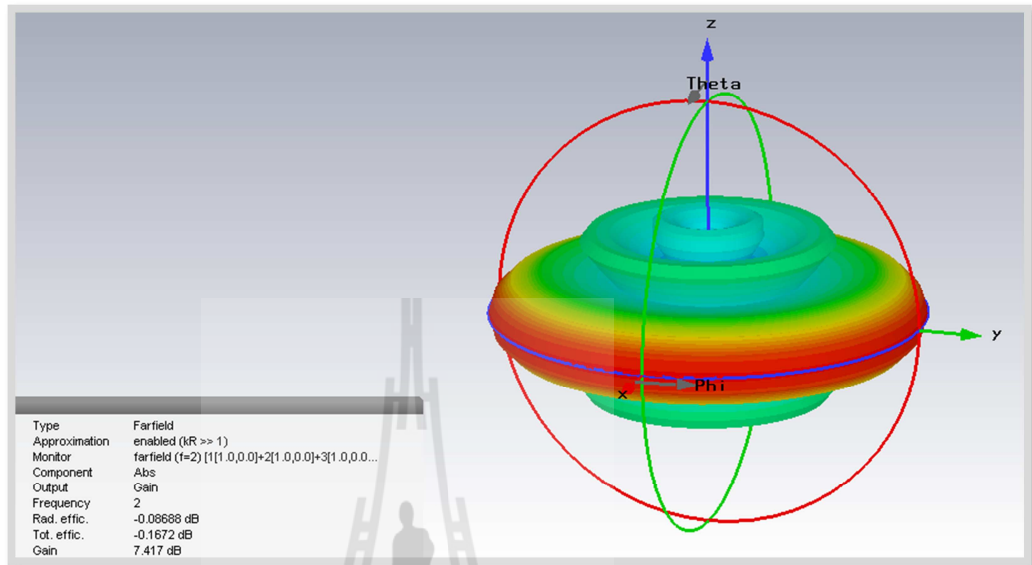
รูปที่ 3.75 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์



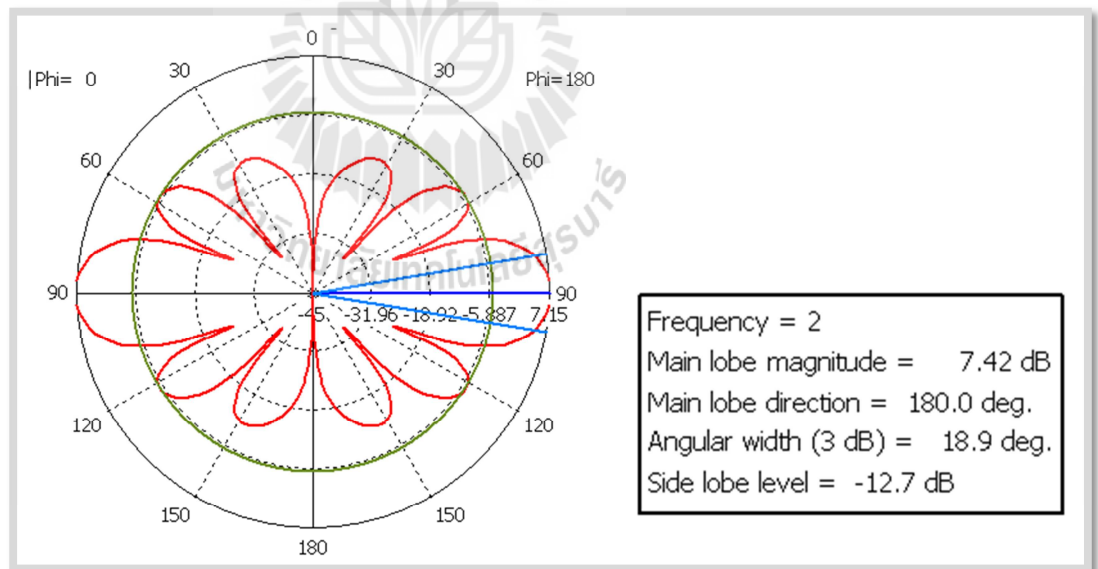
รูปที่ 3.76 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.75 และ 3.76 จะเห็นได้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศอยู่ที่ 2.052 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -26.39 dB พิจารณาที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไท่ทำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.861 GHz ถึง 2.280 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 419 MHz

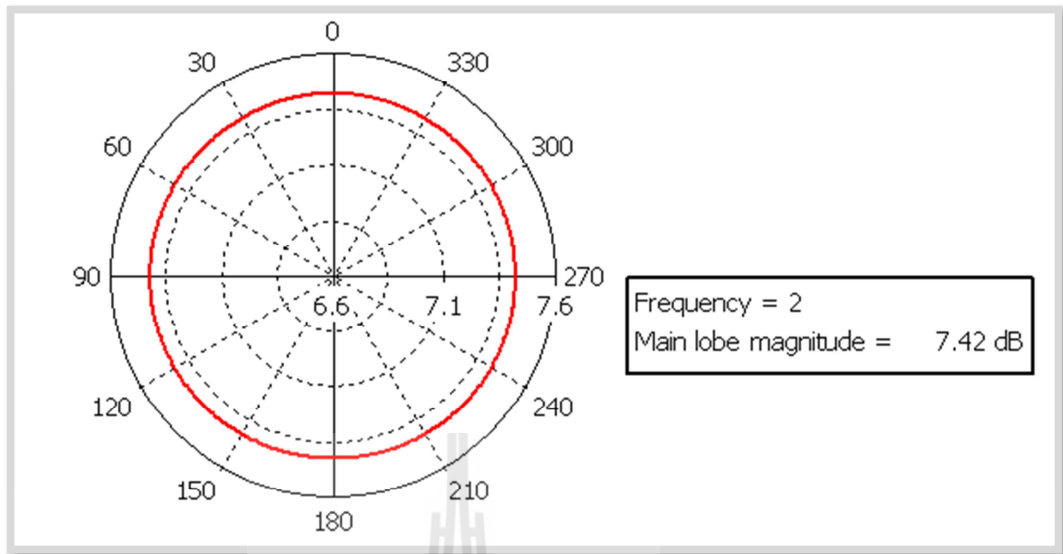
จากนั้นทำการวัดค่าแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ดังในรูปที่ 3.77, 3.78 และ 3.79 ตามลำดับ



รูปที่ 3.77 แบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ 3 มิติ

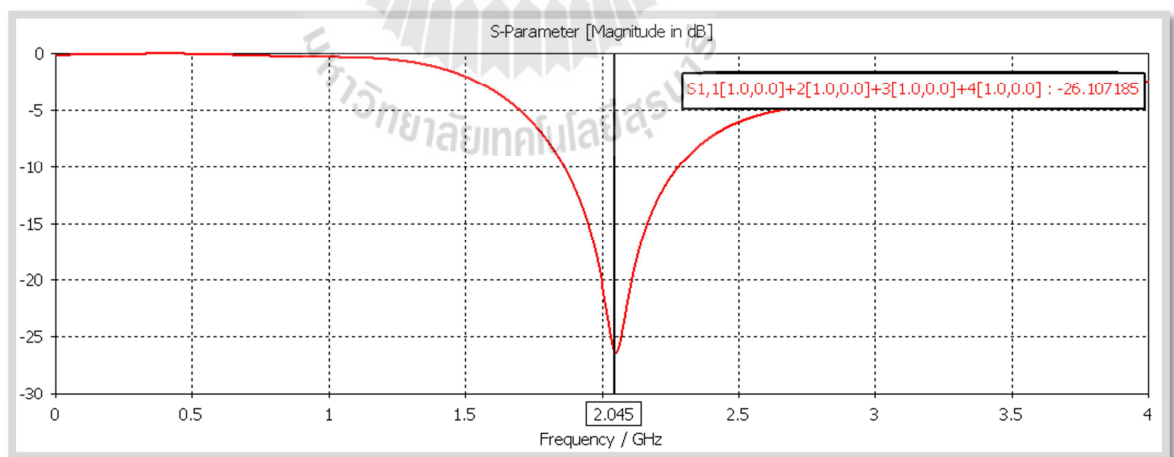


รูปที่ 3.78 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์



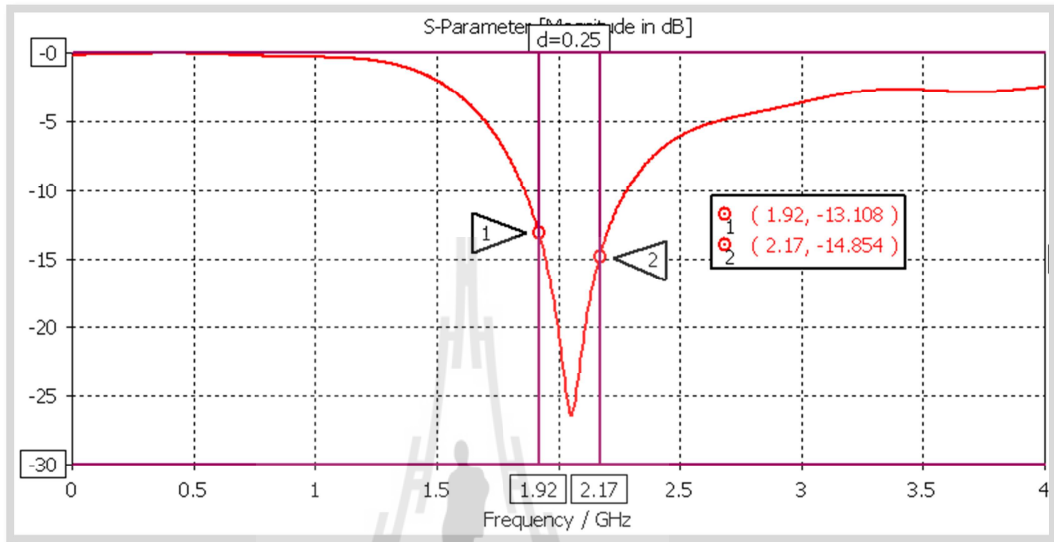
รูปที่ 3.79 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กสายอากาศโบว์ไท
แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์

จากรูปที่ 3.77 ถึง 3.79 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับจะเห็นได้ว่า มีแบบรูปการแผ่กำลังและอัตราขยายที่สูงเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งดีขึ้นกว่าเดิม จากนั้นจะนำค่าการสูญเสียย้อนกลับมาพิจารณาใช้งานที่ย่านความถี่ 3G ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.80



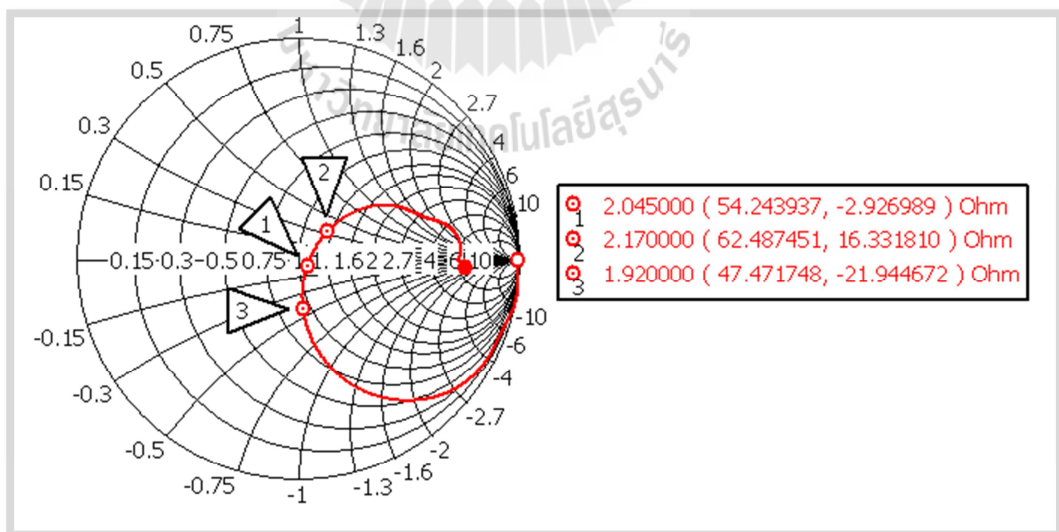
รูปที่ 3.80 ค่าการสูญเสียย้อนกลับสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น
1x4 อีลิเมนต์ ที่ความถี่ 2.045 GHz

จากนั้นพิจารณาที่ความถี่ต้น เท่ากับ 1.92 GHz และ ความถี่ปลาย 2.17 GHz ของย่านความถี่ 3G ดังแสดงในรูปที่ 3.81 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ต้น มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -13.108 dB และความถี่ปลาย มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -14.854 dB



รูปที่ 3.81 ความกว้างแถบสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G

จากนั้นวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในย่านความถี่ 3G ดังแสดงในรูปที่ 3.79



รูปที่ 3.82 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G

จากรูปที่ 3.82 สามารถพิจารณาได้ว่าความถี่เริ่มต้น 1.92 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -13.108 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์ $47.47 - j21.94$ โอห์ม ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -26.107 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์ $54.24 - j2.93$ โอห์ม และที่ความถี่ปลาย 2.17 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -14.854 dB และมีค่าอิมพีแดนซ์ $62.49 + j16.33$ โอห์ม

สรุปว่าสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับแบบเชิง จำนวน 1×4 อีลิเมนต์ สามารถใช้งานในย่านความถี่ 3G ได้ เพราะตั้งแต่ความถี่เริ่มต้น จนถึงความถี่ปลายของความถี่ในย่าน 3G มีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมดและมีค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม



บทที่ 4

การสร้างชิ้นงานและผลการวัดทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาเพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศในโครงงานสายอากาศที่นำเสนอนี้ โดยจะอธิบายถึงวิธีการสร้างสายอากาศโบว์ไท จากนั้นนำสายอากาศโบว์ไทมาวัดทดสอบคุณลักษณะ ได้แก่ แบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าอัตราขยายของสายอากาศ ความกว้างแถบความถี่ เป็นต้น

4.2 อุปกรณ์

- 1) แผ่นทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร



- 2) ท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร



4) สาย RG-223U ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม



5) SMA Female ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม



6) SMA Male ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

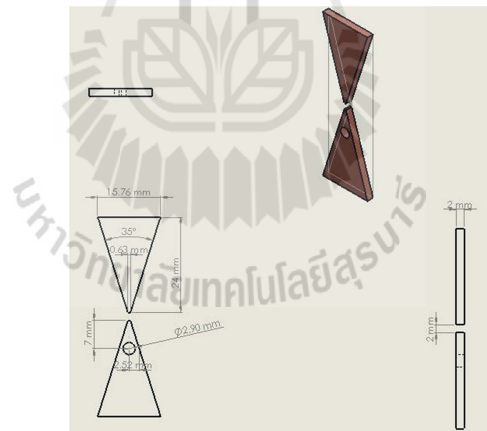


7) Power Divider 4 way ความถี่ 380-2500 MHz ค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม



4.3 การสร้างสายอากาศโบว์ไท

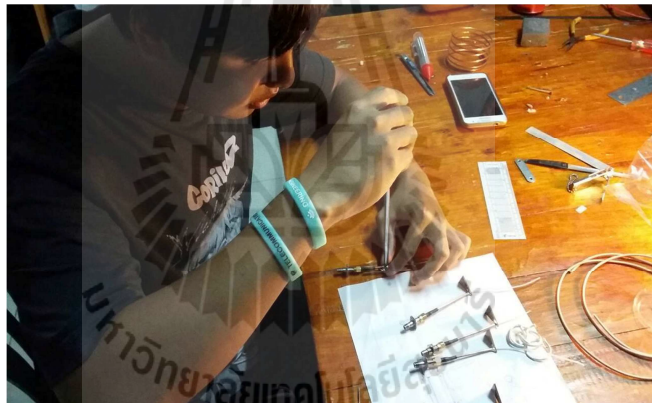
1) ตัดแผ่นทองแดงให้ได้ขนาดตามแบบจำลอง



2) สอดสายนำสัญญาณไว้บนบาลันแล้วเชื่อมต่อบาลันฝั่งหนึ่งเข้ากับสายอากาศส่วนอีกฝั่งเข้ากับหัวคอนเนคเตอร์



3) ยึดบาลันทั้งสองข้างเข้าด้วยกันด้วยตัวยึด

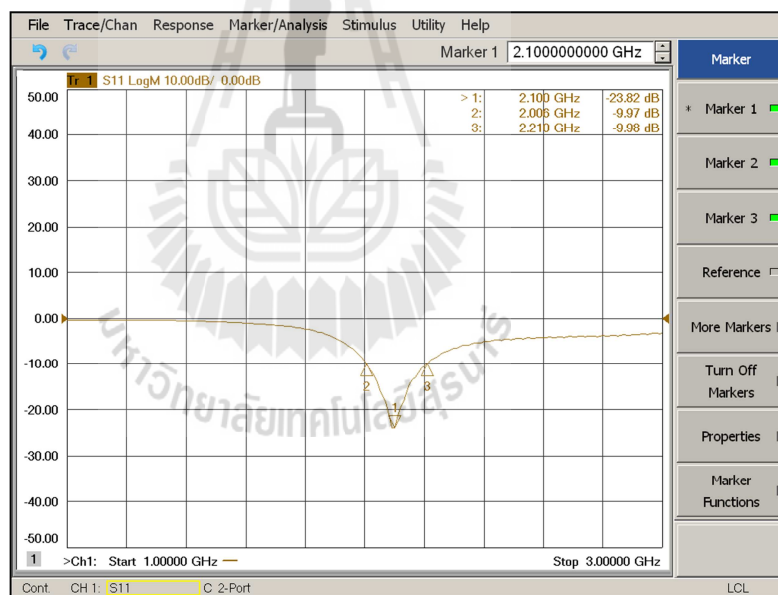


4) เชื่อมสายนำสัญญาณเข้ากับสายอากาศ

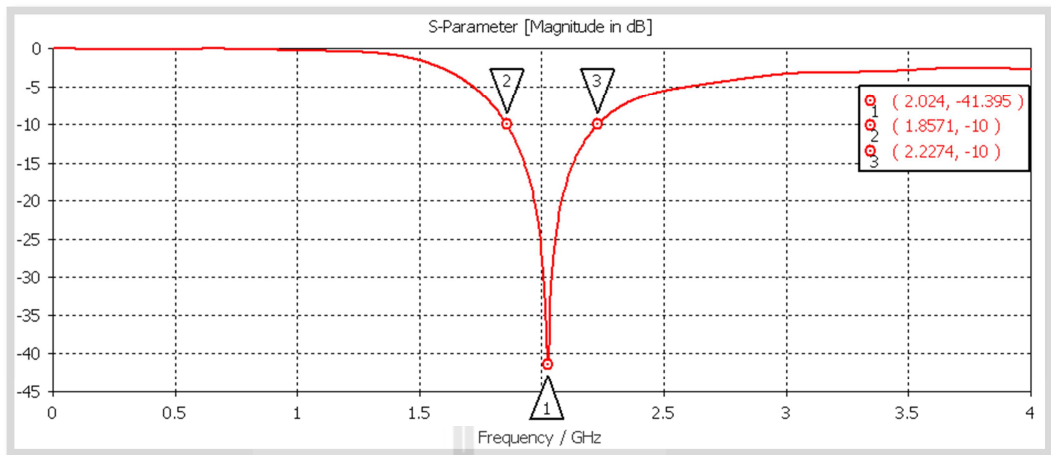


4.4 ผลการวัดทดสอบสายอากาศโบว์ไททองคำประกอบเดี่ยว

เมื่อนำสายอากาศโบว์ไททองคำประกอบเดี่ยวมาวัดทดสอบเราต้องทำการปรับระยะห่างบาดันให้สายอากาศมีการแมตซ์ที่ดีซะก่อน จากนั้นค่าแรกที่เราวัดคือวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ ซึ่งเราจะนำค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการวัดทดสอบและการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับจากแบบจำลอง มาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ความถี่ เรโซแนนซ์ที่ได้จากการวัด เท่ากับ 2.100 GHz เมื่อพิจารณาที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไทต้นแบบทำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 2.006 GHz ถึง 2.210 GHz มีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 204 MHz พิจารณาการวัดจากแบบจำลองจะได้ว่า ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศโบว์ไทที่ความถี่ 2.024 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -41.395 dB ถ้าพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สายอากาศโบว์ไททำงานได้ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.8571 GHz ถึง 2.2274 GHz มีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 370 MHz

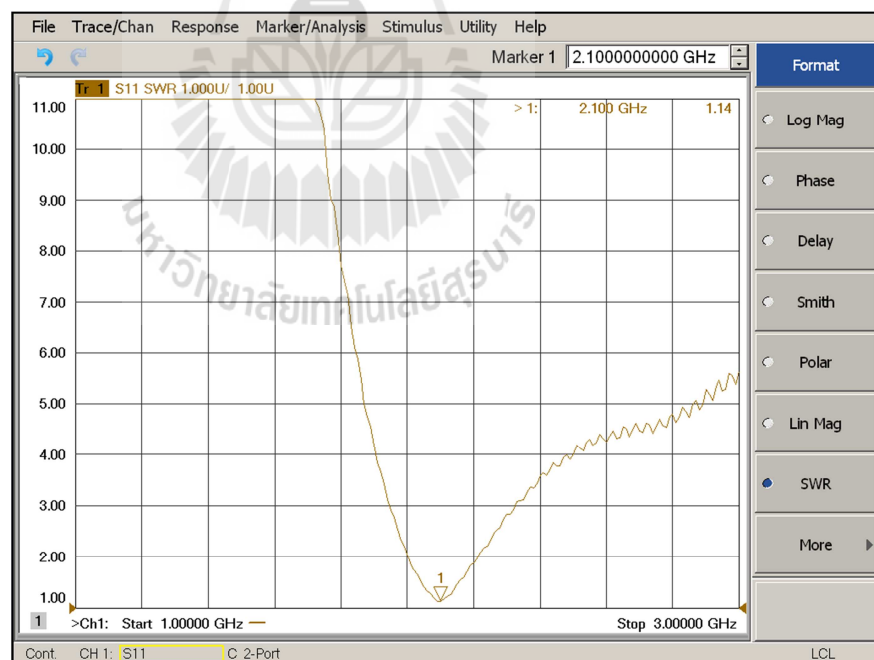


รูปที่ 4.1 ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์ไทจากการทดสอบ

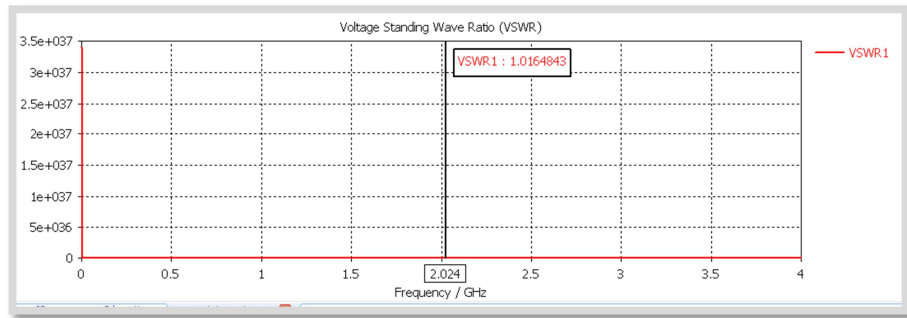


รูปที่ 4.2 ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับจากแบบจำลอง

จากนั้นวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไท จากการวัดทดสอบจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 1.14 และจากแบบจำลองอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 1.02 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไทจากการวัดทดลอง

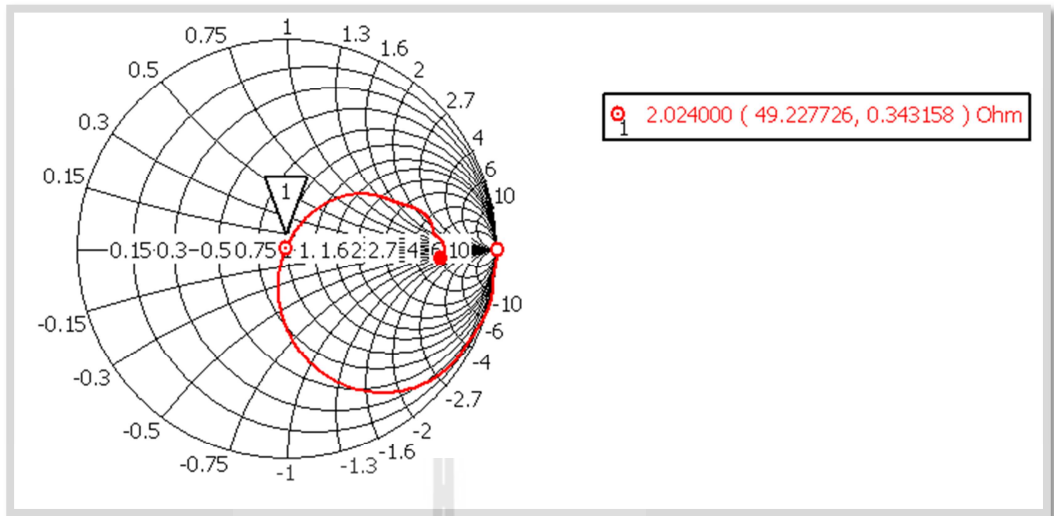


รูปที่ 4.4 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไทจากการวัดทดลอง

จากนั้นวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจากการวัดทดสอบและจากการจำลองแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบ ที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $46.60 + j8.87$ โอห์ม เมื่อพิจารณาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจากการจำลองแบบพบว่า ที่ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $49.228 + j0.343$ โอห์ม ซึ่งทั้งสองวิธี ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้นั้นใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม



รูปที่ 4.5 ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไทจากการทดลอง



รูปที่ 4.6 ผลจากแบบจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไท

จากนั้นวัดแบบรูปการแผ่กำลัง โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล ซึ่งในการหาสนามระยะไกลที่ใช้ในการทดสอบ สามารถหาได้จากสมการ

$$Far\ field = R = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

โดยที่

D คือ ความกว้างของสายอากาศ (เมตร)

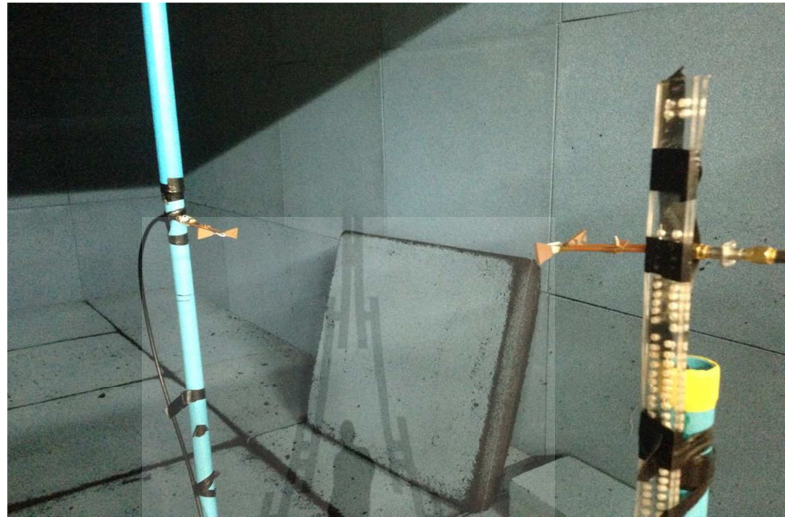
R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งซึ่งมีค่าเท่ากับ ระยะ far field (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

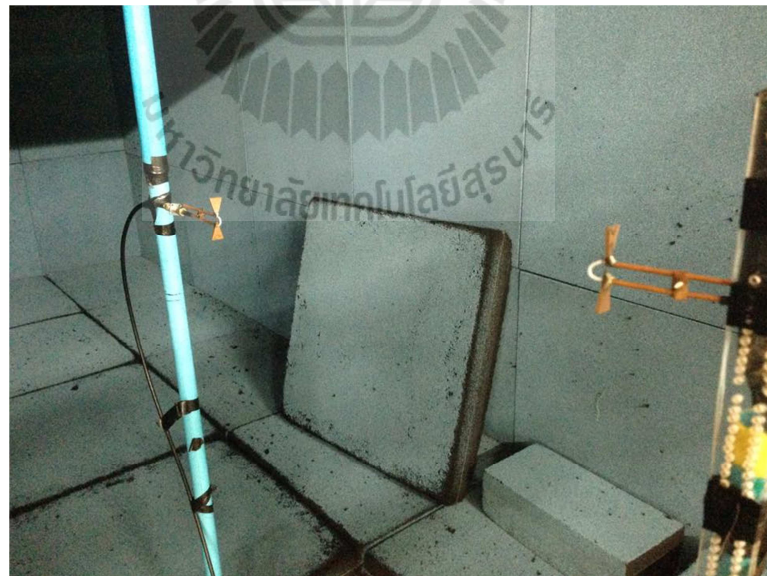
เมื่อ λ เท่ากับ 0.146 เมตร และ D เท่ากับ 0.045 เมตร จากนั้นแทนค่าลงในสมการ (4.1) เพื่อหาระยะสนามระยะไกลจะได้ว่า

$$Far\ field = R = \frac{2 \times (0.045)^2}{0.146} = 0.0278 \text{ เมตร}$$

โดยการทดสอบนี้เราจะวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่ต้นแบบของค้ประกอบ
เดี่ยวทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กใน Anechoic Chamber ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8
ตามลำดับ ซึ่งระยะห่างระหว่างภากรับและภาคส่งที่ใช้คือ 0.053 เมตร

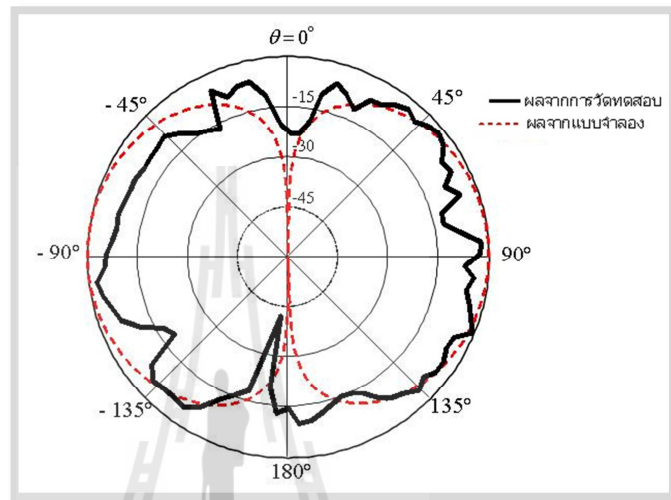


รูปที่ 4.7 การทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่
ในระนาบสนามไฟฟ้าใน Anechoic Chamber

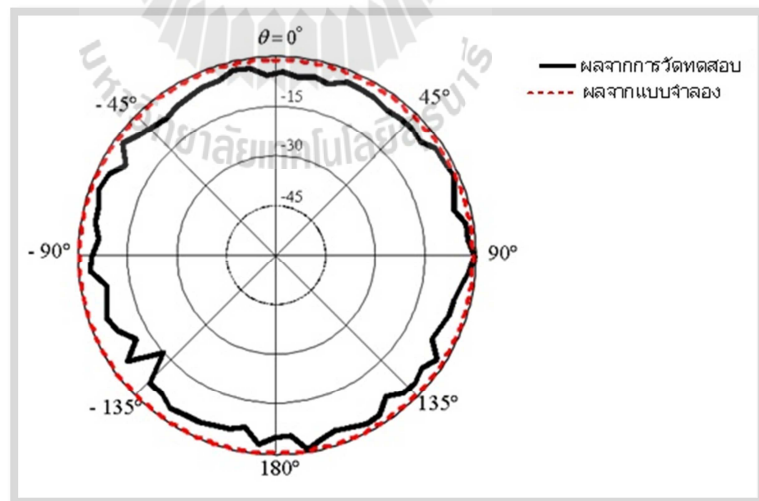


รูปที่ 4.8 การทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไท่
ในระนาบสนามแม่เหล็กใน Anechoic Chamber

จากนั้นเมื่อทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กก็เรียบร้อยแล้ว จึงนำแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดสอบ มาเปรียบเทียบกับรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโหว่ไท
องค์ประกอบเดี่ยว ระหว่างผลการวัดทดสอบ กับการจำลองแบบ



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโหว่ไท
องค์ประกอบเดี่ยว ระหว่างผลการวัดทดสอบกับการจำลองแบบ

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าทั้งแบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลอง นั้นใกล้เคียงกัน โดยเราจะหาอัตราขยายของสายอากาศโบว์ไทองค์ประกอบเดียวในขั้นต่อไป

การหาอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบสามารถหาได้จากสมการ

Frist Transmission Equation

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L} \quad (4.2)$$

โดยที่

G_r คือ อัตราขยายสายอากาศรับ

G_t คือ อัตราขยายสายอากาศส่ง

P_r คือ กำลังที่ภาครับรับได้ (วัตต์)

P_t คือ กำลังภาคส่ง (วัตต์)

L คือ การสูญเสียในอากาศว่าง

จากสมการ (4.2) สามารถแปลงเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$10 \log(P_r) = 10 \log\left(\frac{P_t G_t G_r}{L}\right)$$

$$P_r \text{ (dB)} = P_t \text{ (dB)} + G_t \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - L \text{ (dB)} \quad (4.3)$$

โดยที่พารามิเตอร์ทุกตัวอยู่ในหน่วย dB

การหาการสูญเสียในอากาศว่างของสายอากาศโบว์ไทที่ใช้ในการทดสอบสามารถหาได้จากสมการ

$$L = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \quad (4.4)$$

$$L(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4.5)$$

โดยที่

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

แทนค่าในสมการ (4.5)

$$L(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{4\pi(0.53)}{0.146} \right) = 33.18 \text{ dB}$$

เพราะฉะนั้น

$$G_r (\text{dB}) = P_r (\text{dB}) - P_t (\text{dB}) - G_t (\text{dB}) + L (\text{dB})$$

$$P_t (\text{dB}) = 0 \text{ dB}, P_r (\text{dB}) = -29.53 \text{ dB}$$

ในกรณีสายอากาศโบว์ไท่ตัวเดียวจะมีค่าของ $L(\text{dB}) = 33.18 \text{ dB}$ จะได้อัตราขยายของสายอากาศโบว์ไท่

$$G_r (\text{dB}) = -29.53 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - G_t (\text{dB}) + 33.18 \text{ dB}$$

ซึ่งในที่นี้เราใช้สายอากาศภาคส่งและภาครับเป็นตัวเดียวกันดังนั้นค่าของอัตราขยายจึงมีค่าเท่ากัน

$$2G_r (\text{dB}) = 3.65$$

$$G_r (\text{dB}) = 1.825 \text{ dB}$$

จากนั้นเราสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศโบว์ไท

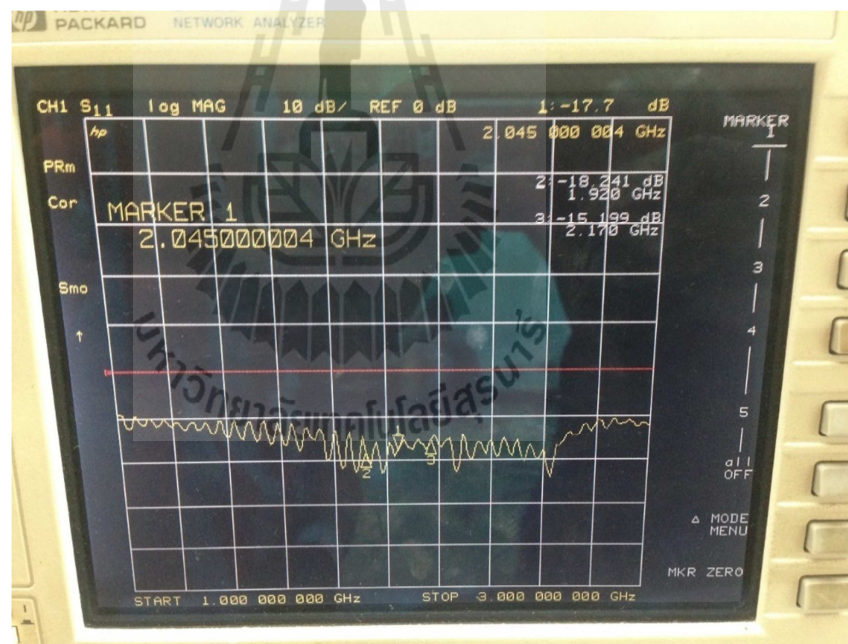
คุณลักษณะของสายอากาศ	ผลการวัดทดสอบ	ผลการจำลองแบบ
ความถี่เรโซแนนซ์ (GHz)	2.100	2.024
S_{11} ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (dB)	-23.82	-41.395
SWR ที่ความถี่เรโซแนนซ์	1.14	1.02
Z_L ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (โอห์ม)	$46.60 + j8.87$	$49.228 + j0.343$
อัตราขยาย (dB)	1.825	2.02

จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับจากแบบจำลองจะมีค่าที่ดีกว่าผลจากการวัดทดสอบ และอัตราขยายของสายอากาศจากแบบจำลองมีอัตราขยายเท่ากับ 2.02 dB แต่อัตราขยายของสายอากาศที่ได้จากการวัดเท่ากับ 1.825 dB ซึ่งมีค่าน้อยกว่า แต่ผลจากการวัดทดสอบก็ยังเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่เราต้องการทุกประการ

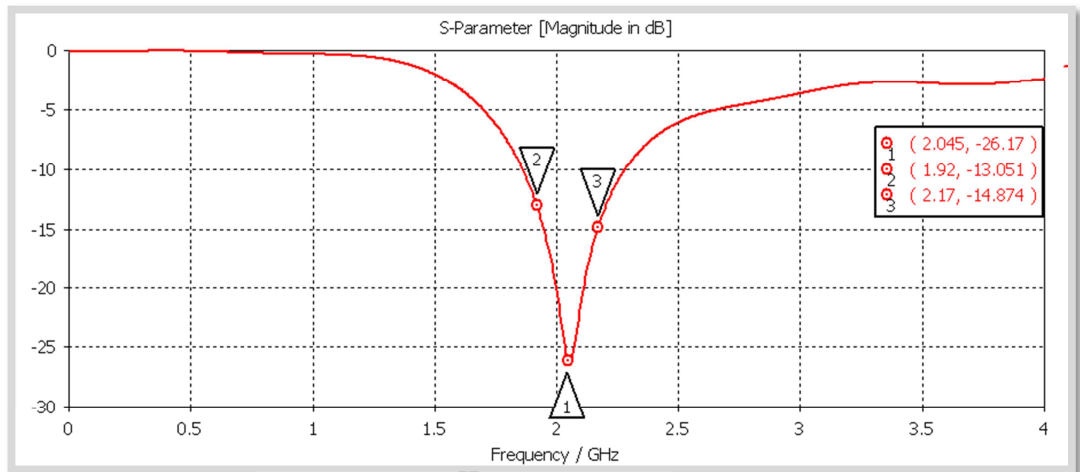


4.5 ผลการวัดทดสอบสายอากาศโบว์แควลำดับจำนวน 1x4 อีลิเมนต์

เมื่อนำสายอากาศโบว์แคว มาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ แล้วนำมาวัดค่าค่าแรกทีวัดคือค่าการสูญเสียย้อนกลับ ซึ่งจะนำค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการวัดทดสอบและการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าการสูญเสียย้อนกลับในย่านความถี่ใน 3G ที่ได้จากการวัดทดสอบนั้นมีสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากสายนำสัญญาณแต่ยังสามารถอ่านค่าได้ โดยที่ความถี่เริ่มต้น 1.920 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -18.241 dB ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -17.700 dB และที่ความถี่ปลาย 2.170 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -14.874 dB พิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับในย่านความถี่ 3G ที่ได้จากการจำลองแบบที่ความถี่เริ่มต้น 1.92 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -13.108 dB ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -26.107 dB และ ที่ความถี่ปลาย 2.17 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -14.854 dB

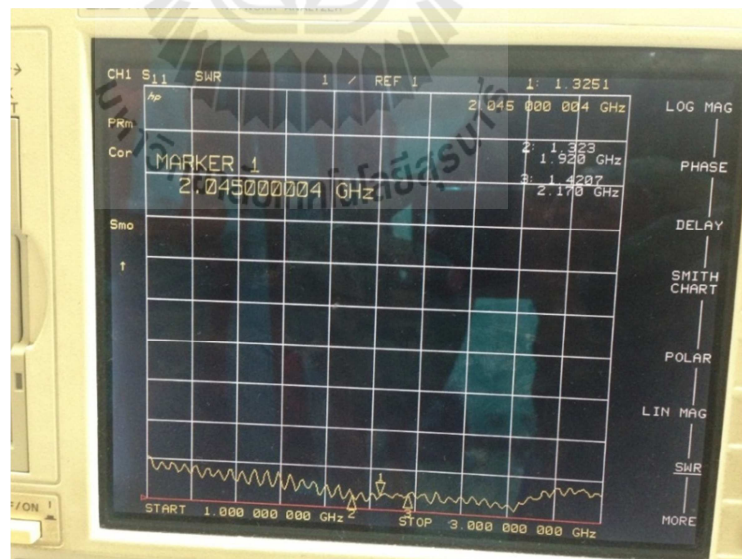


รูปที่ 4.11 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์แควเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G ที่ได้จากการวัดทดสอบ



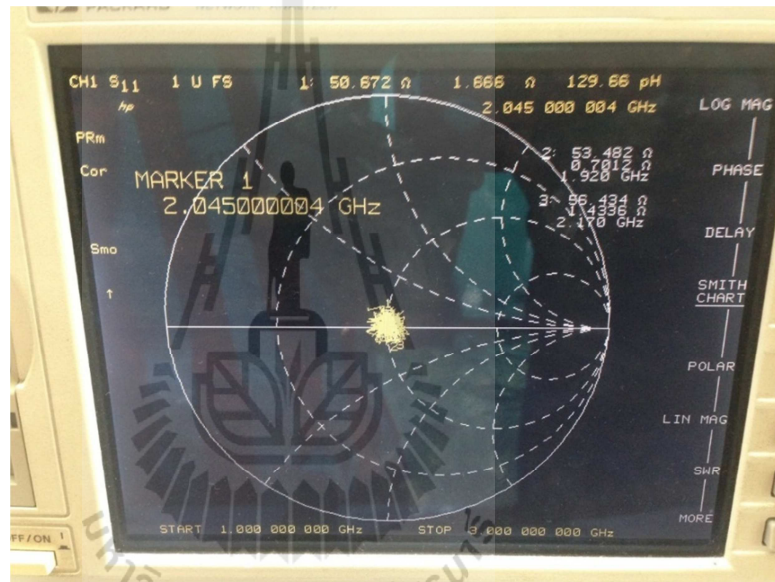
รูปที่ 4.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโบว์ไทเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G ที่ได้จากการจำลองแบบ

จากนั้นวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศในย่านความถี่ 3G จากการวัดทดสอบ จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่เริ่มต้น 1.920 GHz มีค่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง เท่ากับ 1.323 ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เท่ากับ 1.325 และ ที่ความถี่ปลาย 2.170 GHz มีค่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง เท่ากับ 1.421 ดังแสดงในรูป ที่ 4.13

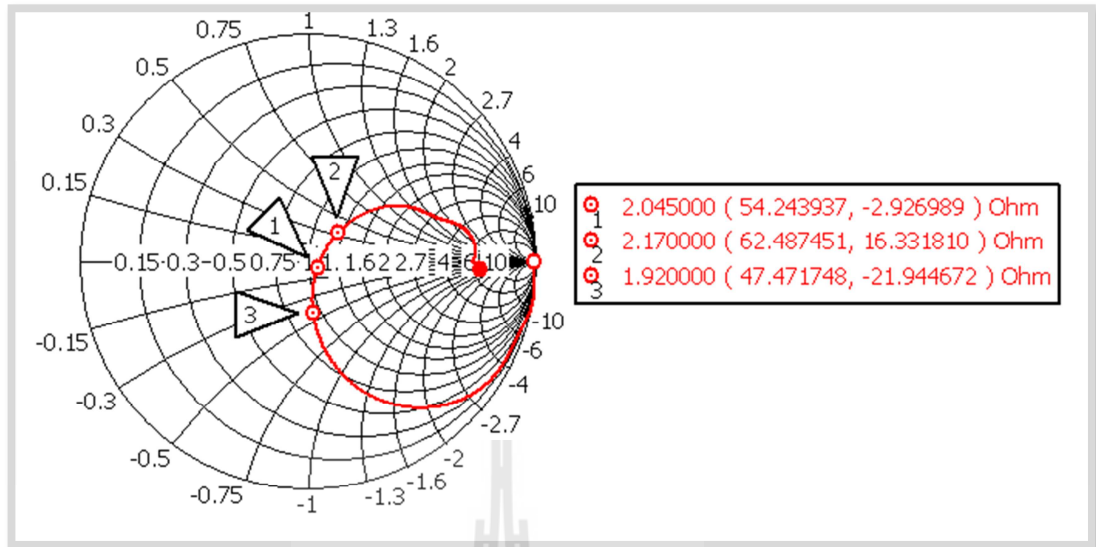


รูปที่ 4.13 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G

จากนั้นวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจากการวัดทดสอบและจากการจำลองแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบ ที่ความถี่ย่าน 3G ที่ความถี่เริ่มต้น 1.920 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ $53.482 + j0.701$ โอห์ม ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ $50.672 + j1.660$ โอห์ม ที่ความถี่ปลาย 2.170 GHz ค่าอิมพีแดนซ์ $56.434 + j1.434$ โอห์ม จากนั้นพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่จากการจำลองแบบ ที่ความถี่ย่าน 3G ที่ความถี่เริ่มต้น 1.920 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ $47.47 - j21.94$ โอห์ม ที่ความถี่กลาง 2.045 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ $54.24 - j2.93$ โอห์ม และ ที่ความถี่ปลาย 2.170 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ $62.49 + j16.33$ โอห์ม



รูปที่ 4.14 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโบว์ไทเทแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G จากการวัดทดสอบ



รูปที่ 4.15 ค่าอิมพีแดนซ์สายอากาศโบว์ไทแวลำดับเชิงเส้น จำนวน

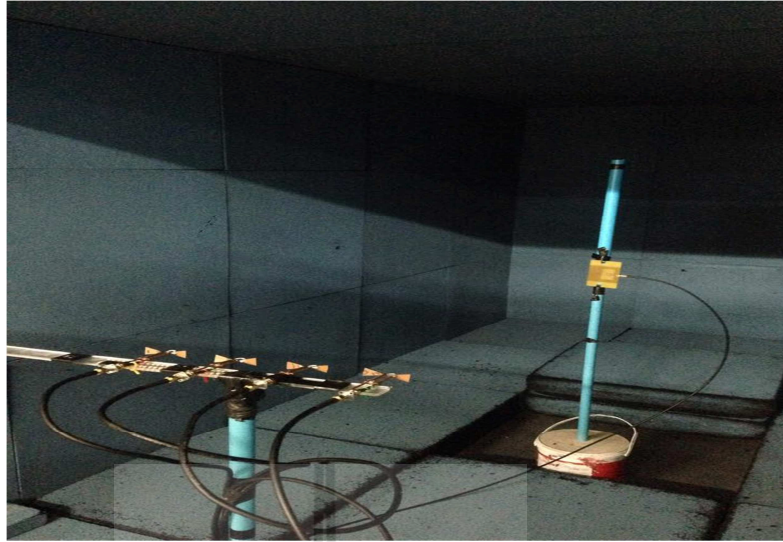
1x4 อีลิเมนต์ ย่านความถี่ 3G จากการจำลองแบบ

จากนั้นวัดแบบรูปการแผ่กำลัง โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล ซึ่งในการหาสนามระยะไกลที่ใช้ในการทดสอบ สามารถหาได้จากสมการ (4.1)

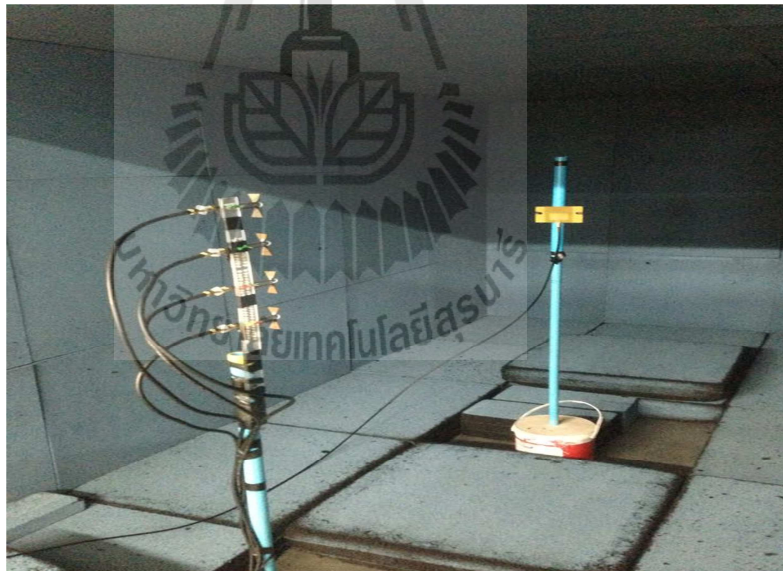
เมื่อ λ เท่ากับ 0.146 เมตร และ D เท่ากับ 0.33 เมตร จากนั้นแทนค่าลงในสมการ (4.1) เพื่อหาระยะสนามระยะไกลจะได้ว่า

$$Far\ field = R = \frac{2x(0.33)^2}{0.146} = 1.5 \text{ เมตร}$$

โดยการทดสอบนี้เราจะวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแวลำดับจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กใน Anechoic Chamber ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ ซึ่งระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่งที่ใช้คือ 1.155 เมตร

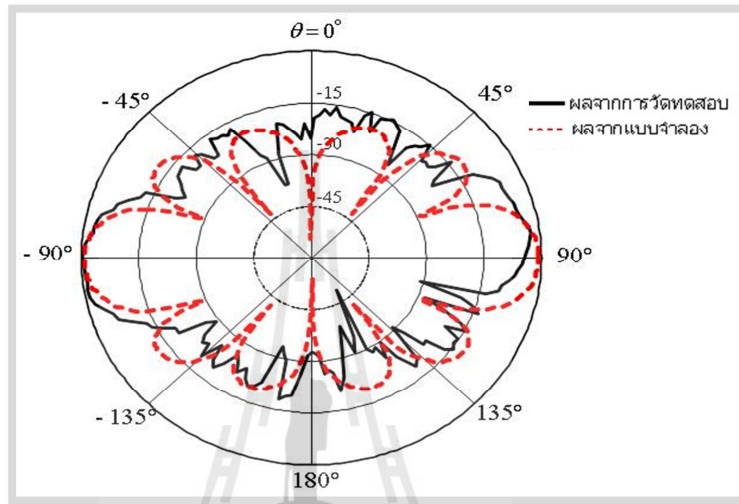


รูปที่ 4.16 การวัดทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแวลวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ในระนาบสนามไฟฟ้าใน Anechoic Chamber

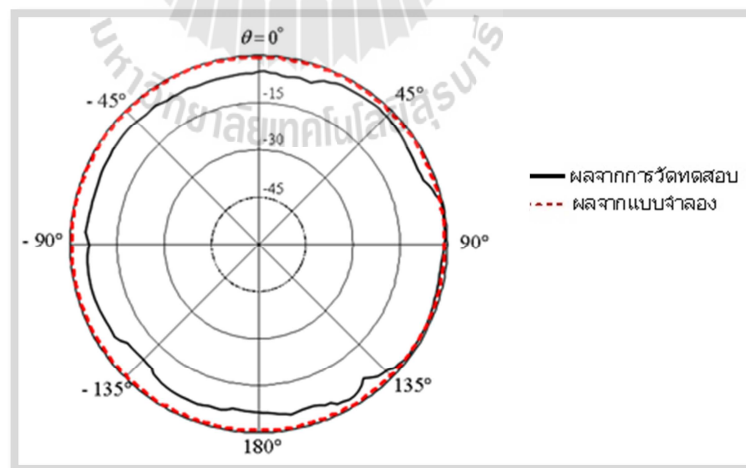


รูปที่ 4.17 การวัดทดสอบการแผ่กำลังของสายอากาศโบว์ไทแวลวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ในระนาบสนามแม่เหล็กใน Anechoic Chamber

จากนั้นเมื่อทำการวัดแบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเรียบร้อยแล้ว จึงนำแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดสอบ มาเปรียบเทียบกับรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโบว์ไทแกลวลำดับ
เชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ระหว่างผลการการวัดทดสอบ กับแบบจำลอง



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโบว์ไทแกลวลำดับ
เชิงเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ระหว่างผลการการวัดทดสอบ กับแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 ความแรงสัญญาณเมื่อเทียบกับความแรงสัญญาณหลักของผลจากการวัดทดสอบเท่ากับน้อยกว่าผลจากแบบจำลอง แต่ถ้พิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ได้จากการวัดทดสอบและการจำลองนั้นถือว่าใกล้เคียงกัน โดยเราสามารถหาอัตราขยายของสายของสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเส้นจำนวน 1x4 อีลิเมนต์ ได้ด้วยสมการ (4.3)

$$P_r (dB) = P_t (dB) + G_t (dB) + G_r (dB) - L (dB)$$

โดยที่พารามิเตอร์ทุกตัวอยู่ในหน่วย dB

การหาการสูญเสียในอากาศว่างของสายอากาศโบว์ไท่ที่ใช้ในการทดสอบสามารถหาได้จากสมการ (4.5)

แทนค่าในสมการ (4.5)

$$L(dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi(1.55)}{0.146} \right) = 42.5 \text{ dB}$$

เพราะฉะนั้น

$$G_r (dB) = P_r (dB) - P_t (dB) - G_t (dB) + L (dB)$$

$$P_t (dB) = 0 \text{ dB}, P_r (dB) = -23.11 \text{ dB}, L (dB) = 42.5 \text{ dB}, G_t (dB) = 4.89 \text{ dB},$$

$$L_t (dB) = 1.28 \text{ dB}, L_i (dB) = 3.4 \text{ dB}$$

ในกรณีสายอากาศโบว์ไท่แถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์จะมีค่าของ $L(dB) = 42.5 \text{ dB}$ จะได้อัตราขยายของสายอากาศโบว์ไท่

$$G_r (dB) = -25.7 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - 4.89 \text{ dB} + 42.5 \text{ dB} - 1.28 \text{ dB} - 3.4 \text{ dB}$$

$$G_r (dB) = 7.23 \text{ dB}$$

โดยเราสามารถสรุปค่าต่างๆได้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศโบว์ไฟแวลวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์

คุณลักษณะของสายอากาศ	ผลการวัดทดสอบ	ผลการจำลองแบบ)
S_{11} ที่ความถี่ 1.920 GHz (dB)	-18.24	-13.05
S_{11} ที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	-17.7	-26.17
S_{11} ที่ความถี่ 2.170 GHz (dB)	-15.19	-14.87
SWR ที่ความถี่ 1.920 GHz	1.323	-
SWR ที่ความถี่ 2.045 GHz	1.325	-
SWR ที่ความถี่ 2.170 GHz	1.420	-
ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 1.920 GHz (โอห์ม)	53.48	47.47
ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.045 GHz (โอห์ม)	50.67	54.24
ค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.170 GHz (โอห์ม)	56.43	62.48
อัตราขยายที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	7.23	7.42
SLL ที่ความถี่ 2.045 GHz (dB)	-14.73	-12.70

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่กลางย่าน 3G คือ 2.045 GHz ผลจากแบบจำลองมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีกว่าผลจากการวัดทดสอบ แต่ในทางกลับกัน ที่ความถี่เริ่มต้นและความถี่ปลายจากการวัดทดสอบกลับได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีกว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง พิจารณาในส่วนของอัตราขยาย พบว่าอัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองเท่ากับ 7.42 dB ซึ่งมากกว่าอัตราขยายที่ได้จากผลการวัดทดสอบเท่ากับ 7.23 dB แต่ความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงพหุสัญญาณหลักของผลจากแบบจำลองนั้นเท่ากับ -12.7 dB ซึ่งมากกว่า ความแรงของพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบกับความแรงพหุสัญญาณหลักของผลจากการวัดทดสอบ เท่ากับ -14.73 dB

4. สรุป

ค่าที่ได้จากการวัดในทางปฏิบัติและค่าที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศที่ครอบคลุมความถี่ในย่าน 3G ทำให้สายอากาศสามารถใช้งานในย่านความถี่ 3G ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อาจเกิดคลาดเคลื่อนไปบ้างเนื่องจากหลายปัจจัย อาทิเช่น ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถทำให้ชิ้นงานลอยได้แบบในแบบจำลองจึงทำให้ต้องมีการเพิ่มเติมวัสดุต่างๆที่นอกเหนือจากในแบบจำลองทั้งรอยเชื่อมในการบัดกรี รวมทั้งในส่วนของบازلันทำให้ค่าต่างๆที่ได้จากการปฏิบัติเบี่ยงเบนจากค่าที่ได้จากแบบจำลองไปบ้าง



บทที่ 5

บทสรุปและปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการ

5.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงสายอากาศโบว์แถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์โทสำหรับใช้งานย่านความถี่ 3G โดยได้อธิบายถึงปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการ วิธีแก้ปัญหา และบทสรุป

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการและวิธีแก้ปัญหา

ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของปัญหาที่พบและวิธีแก้ปัญหาโครงการ

ปัญหาที่พบ	สาเหตุและแนวทางการแก้ไข
การตัดแผ่นทองแดง	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากสายอากาศในแบบจำลองมีขนาดเล็กและแผ่นทองแดงหนา จึงทำให้ไม่สามารถตัดได้ด้วยจิ๊กซอว์เพราะจะทำให้ไม่ได้อุปทรงตามที่ต้องการและการตัดด้วยเลเซอร์จะทำให้แผ่นทองแดงละลาย <u>แนวทางการแก้ไข</u> สามารถตัดได้ด้วย Wire cut โดยการวาดแบบจำลองสายอากาศลงในโปรแกรม Auto CAD แล้วนำมาสั่งเครื่อง Wire cut ให้ตัดได้ตามแบบจำลองที่ออกแบบไว้
การบัดกรี	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากสายอากาศมีขนาดเล็ก การบัดกรีจำเป็นต้องมีความชำนาญ เพื่อไม่ให้รูปร่างของสายอากาศ ผิดเพี้ยนไปจากแบบจำลอง <u>แนวทางการแก้ไข</u> -
ในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างสายอากาศให้เหมือนกับในแบบจำลองได้ทั้งหมด	<u>สาเหตุ</u> เพราะสายอากาศไม่สามารถลอยอยู่กลางอากาศได้เหมือนในแบบจำลอง จึงจำเป็นต้องทำตัวยึดสายอากาศทั้งสองฝั่ง คือบาลันซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสายอากาศในทางปฏิบัติกับในแบบจำลอง ส่งผลให้คุณลักษณะต่างๆของสายอากาศเปลี่ยนไป <u>แนวทางการแก้ไข</u> ประดิษฐ์ตัวยึดสายอากาศทั้งสองฝั่งให้มีขนาดเล็กที่สุด แต่แข็งแรงพอจะรับน้ำหนักของสายอากาศทั้งสองฝั่งได้

การแมตซ์ค่าอิมพีแดนซ์	<p>สาเหตุ เนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างสายอากาศ ให้เหมือนกับในแบบจำลองได้ทั้งหมด อาทิเช่น การบัดกรี การประคิษฐ์ตัวยึด หรือสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการวัด ทำให้คุณลักษณะต่างๆของสายอากาศเปลี่ยนไป</p> <p>แนวทางการแก้ไข การปรับบาลันทำให้สามารถเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ได้ แต่ไม่สามารถทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับดีขึ้นได้ วิธีต่อมาคือการลดขนาดตัวสายอากาศลง</p>
การวัดแบบรูปการแผ่กำลัง	<p>สาเหตุ ในการวัดแบบรูปการแผ่กำลังไม่สามารถวัดที่อาคารเครื่องมือ F3 ได้เนื่องจาก สัญญาณรบกวนรอบๆซึ่งใช้ความถี่เดียวกับความถี่ใช้งานของสายอากาศ</p> <p>แนวทางการแก้ไข ต้องนำสายอากาศไปวัดใน Anechoic Chamber</p>
การจัดหาสาย Semi Rigid	<p>สาเหตุ เนื่องจากต้องการนำสาย Semi Rigid มาใช้ในการทำบาลัน เพราะเป็นสายที่มีซิลแข็งและมีขนาดเล็ก แต่ไม่สามารถหาได้เนื่องจาก ต้องสั่งจากอเมริกาซึ่งมีราคาสูงและการส่งที่ใช้เวลา</p> <p>แนวทางการแก้ไข สร้างบาลันเองโดยใช้ท่อทองแดงแล้วนำสายนำสัญญาณสอดเข้าไป</p>
การทำตัวยึดบาลัน	<p>สาเหตุ เนื่องจากบาลันมีขนาดเล็ก การจะยึดบาลันทั้งสองฝั่งให้อยู่ด้วยกันได้ต้องใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กพอ</p> <p>แนวทางการแก้ไข ประคิษฐ์บาลันโดยใช้การผ่าท่อทองแดงเพื่อให้ได้บาลันที่มีขนาดเล็กและแข็งแรงพอที่ยึดสายอากาศทั้งสองฝั่งไม่ให้สามารถขยับได้</p>
การประยุกต์แผ่นอคริลิกใสเพื่อใช้ในการปรับหาระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์	<p>สาเหตุ เนื่องจากแผ่นอคริลิกใสต้องหนาเพื่อรองรับน้ำหนักของสายอากาศได้และต้องสามารถปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ได้</p> <p>แนวทางการแก้ไข เจาะรูแผ่นอคริลิกใสด้วยสว่านเพื่อสายรัดเคเบิลในการยึดสายอากาศให้อยู่กับที่และสามารถปรับระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ได้</p>

5.3 บทสรุป

สายอากาศโบว์ไทเป็นสายอากาศที่มีความกว้างแถบความถี่ที่กว้างอยู่แล้ว จึงใช้ข้อดีในส่วนนี้มาใช้ในการประยุกต์เพื่อให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ 3G ได้ โดยการนำมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับเชิงเส้นขนาด 1x4 อีลิเมนต์ เพื่อเพิ่มอัตราขยายให้กับสายอากาศ ผลที่ได้จากแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการปฏิบัติแล้ว มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ผลจากการปฏิบัติมีความแรงพหุสัญญาณข้างเมื่อเทียบความแรงพหุสัญญาณหลัก เท่ากับ -14.73 dB ซึ่งน้อยกว่า ผลที่ได้จากแบบจำลอง คือ -12.7 dB ซึ่งตรงข้ามกับอัตราขยายที่ผลจากการปฏิบัติมีอัตราขยายเท่ากับ 7.23 dB ต่ำกว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 7.42 dB เมื่อพิจารณาการใช้งานในย่านความถี่ 3G พบว่า ความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศครอบคลุมย่านความถี่ 3G ทั้งหมด ทำให้สายอากาศโบว์ไทแถวลำดับเชิงเส้น จำนวน 1x4 อีลิเมนต์ สามารถทำงานในย่านความถี่ 3G ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการทั้งหมด



บรรณานุกรม

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค, วิศวกรรมสายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 4), ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษาและทีมงานฟาสต์บุ๊กส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.

J.V.Evans, "Satellite systems for personal communication", IEEE Antennas and Propagation Magazine., Vol. 39, pp.7-20, June 1997.

M.W.Maxwell, "Reflections II: Transmission line &antennas", Worldradio Book, March 2001.

R. C. Compton, R. C. McPhedran, Z. Popovic, G. M. Rebeiz, P. P. Tong, and D. B. Rutledge, "Bow-Tie Antennas on a Dielectric Half-space: Theory and Experiment", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, June 1987.

Eldek, Atef Z. Elsherbeni, and Charles E. Smith, "WIDEBAND MICROSTRIP-FED PRINTED BOW-TIE ANTENNA FOR PHASEDARRAY SYSTEMS", The University of Mississippi, October 2004.

J.I.Chakravarthy , P.Saleem Akram , Dr.T.Venkata Ramana, "Design of Bowtie Antenna for Wideband Applications", Nalanda Institute of Engineering & Technology, Sattenapalli, November 2013.

S. W. Qu and C. L. Ruan, "EFFECT OF ROUND CORNERS ON BOWTIE ANTENNAS", University of Electronic Science and Technology of China (UESTC), 2006.