

ปกเ้าหออสมกถาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศแบบระนาบสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

Planar Antenna for RFID Reader



โดย

นายฉัณฐะ

สารวณหันธ์

นายประพัทธ์

อานมณี

นายปิยะพงษ์

มิกะนุช

๒พ.
๒ 159๑
2550

เลขหำ.....

เลขทะเลียง..... 82917

วัน,เดือน,ปี..... 29.0.0. 2551

b..... 119 5707A
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบระนาบสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

Planar Antenna for RFID Reader

โดย

นายรัชฎูณะ	สำรวจหันทต์	48015057
นายประพัทธ์	อานมณี	48015062
นายปิยะพงษ์	มิคะนุช	48015065

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

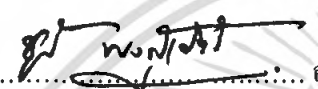
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศแบบระนาบสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

Planar Antenna for RFID Reader

ผู้จัดทำ

1. นายธัญญา สารวญหันธ์ 48015057
2. นายประพัทธ์ อานมณี 48015062
3. นายปิยะพงษ์ มิกะนุช 48015065


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแบบระนาบสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

Planar Antenna for RFID Reader

โดย นายรัชฎะ สารวณรัตน์ 48015057
นายประพัทธ์ อานมณี 48015062
นายปิยะพงษ์ มิกะนุช 48015065

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอ สายอากาศแบบระนาบสำหรับเครื่องอ่านในระบบอาร์เอฟไอดี หรือระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ โดยจะทำการศึกษา วิเคราะห์ จำลองผล สร้างและทดสอบสายอากาศเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับเครื่องอ่านเพื่อให้ได้ระยะไกลเพียงพอกับความต้องการของระบบ อีกทั้งยังจัดให้มีการติดต่อสื่อสารกับลูกข่ายได้ในหลากหลายลักษณะการจัดวาง

Abstract

This project presents the planar antenna for reader of RFID (Radio Frequency Identification) system at ultra high frequency (UHF) band. The antenna study, analysis, simulation, fabrication and measurement will be done to determine the suitable parameters. The proposed antenna will be used at the reader to achieve the far distance communications with arbitrary tag orientations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องมาจากคณะผู้จัดทำได้รับการอนุเคราะห์อย่างสูง
ยิ่งจาก ผศ.ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และ รศ.ดร. สมผล โกศลวิตร ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ
แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนความรู้ความเข้าใจในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้
ในทางด้านโทรคมนาคม ให้ทางคณะผู้จัดทำมีแนวทางในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีให้ทางคณะ
ผู้จัดทำได้นำมาทดสอบร่วมกับสายอากาศจนได้ผลการทดลองและสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนาย กิตติศักดิ์ แพบัว และนาย สุกกิต แก้วดวงตา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้
เครื่องมือทดสอบโครงการและยังให้คำปรึกษาตลอดจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่ได้ช่วยเหลือให้การทำโครงการนี้สำเร็จ
ไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพระคุณพ่อคุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย กำลังใจ กำลังทรัพย์ และทุกสิ่ง
ทุกอย่างกับทางคณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ	3
2.2 ธรรมชาติการทำงานของสายอากาศ	4
2.3 ค่าคุณลักษณะและค่าปัจจัยต่างๆ ของสายอากาศ	5
2.3.1 ระยะของสนามจากสายอากาศหรือระยะสายอากาศ	5
2.3.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน	6
2.3.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้า	7
2.3.4 ประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน	7
2.3.5 ความกว้างลำคลื่น	8
2.3.6 ประสิทธิภาพลำคลื่น	8
2.3.7 ความหนาแน่นกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่น	9
2.3.8 ความเข้มข้นการแพร่กระจายคลื่น	9
2.3.9 สภาพเจาะจงทิศทาง	10
2.3.10 อัตราขยาย	10
2.3.11 ความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผล	10
2.3.12 ประสิทธิภาพช่องเปิด	11
2.3.13 โพลาริเซชันและประสิทธิภาพโพลาริเซชัน	11
2.4 สายอากาศไมโครสตริป	11
2.5 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	11
2.6 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป	12
2.6.1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป	12
2.6.2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป	12
2.7 รูปร่างลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศไมโครสตริป	13
2.7.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	13
2.7.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Traveling-wave (MTA)	13
2.7.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot	14
2.8 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป	14
2.9 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 การโพลาไรซ์ (Polarization)	15
2.10.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarization: LP)	16
2.10.2 การโพลาไรซ์เชิงวงกลม (Circular polarization: CP)	17
2.10.3 การโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptical Polarization, EP)	18
2.11 อัตราส่วนแกน (Axial Ratio)	18
2.12 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)	19
2.12.1 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed)	19
2.12.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed)	20
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	
3.1 บทนำ	21
3.2 การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	21
3.2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ	21
3.2.2 ขนาดของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	21
3.3 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม	25
3.3.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มีจุดป้อนสัญญาณที่ด้านท้ายของแผ่นทองแดง (Microstrip feed)	26
3.3.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม ที่มีจุดป้อนสัญญาณที่ด้านล่างของแผ่นทองแดง (probe feed)	31
3.4 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป	34
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป	34
3.4.2 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริป	35
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลอง	36
4.1.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า	37
4.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า	38
4.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	40
4.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน	42
4.1.5 อัตราส่วนแกน	51
4.1.6 อัตราขยายของสายอากาศ	55
4.1.7 สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ	56
4.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	58
4.2 การทดสอบสายอากาศ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การทดสอบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้น	60
4.2.2 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลม ชนิดแผ่นวงกลม	62
4.2.3 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลม ชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	64
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.1.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า	67
5.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า	67
5.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	67
5.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน	68
5.1.6 อัตราส่วนแกน	68
5.1.7 อัตราขยายของสายอากาศ	68
5.1.8 สภาพเจาะงทศทางของสายอากาศ	68
5.1.9 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	69
5.2 การทดสอบสายอากาศ	69
5.3 ปัญหาที่พบ	69
5.4 แนวทางแก้ไข	70
5.5 ข้อเสนอแนะ	70
5.5.1 วัสดุและเทคนิคการสร้าง	70
5.5.2 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป	70
5.5.3 การประกอบและบัดกรีหัวต่อ	70
5.5.4 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน	71
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 นิยามการทำงานของสายอากาศ	3
รูปที่ 2.2 การแผ่พลังงานจากสายอากาศเส้นลวด	4
รูปที่ 2.3 แสดงระยะสายอากาศที่ระยะต่างๆ	5
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	6
รูปที่ 2.5 แนวคิดในการพิจารณาการทำงาน of สายอากาศโดยอาศัยมุมมองแบบทฤษฎีวงจร	8
รูปที่ 2.6 รูปแบบโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	12
รูปที่ 2.7 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	13
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling-wave	13
รูปที่ 2.9 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Slot	14
รูปที่ 2.10 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	15
รูปที่ 2.11 ลักษณะการกวาดของลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง	15
รูปที่ 2.12 การโพลาไรซ์แบบต่าง ๆ	16
รูปที่ 2.13 การโพลาไรซ์แนวตั้ง	16
รูปที่ 2.14 การโพลาไรซ์แนวนอน	17
รูปที่ 2.15 การโพลาไรซ์แนวเฉียง	17
รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา	17
รูปที่ 2.17 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย	18
รูปที่ 2.18 การโพลาไรซ์ในรูปแบบต่างๆ	19
รูปที่ 2.19 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป	19
รูปที่ 2.20 รูปแบบการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเชียล	20
รูปที่ 3.1 รูปร่างของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	21
รูปที่ 3.2 รูปแบบสายอากาศที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST	23
รูปที่ 3.3 ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ที่ได้จากโปรแกรม CST	23
รูปที่ 3.4 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST	24
รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	24
รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	25
รูปที่ 3.7 สายอากาศไมโครสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมสำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลม	25
รูปที่ 3.8 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการป้อนสัญญาณ 1 จุดสำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลม	26
รูปที่ 3.9 สายอากาศไมโครสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการตัดช่องตรงกลางออกสำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลม	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.10 รูปแบบสายอากาศด้านหน้าที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST	27
รูปที่ 3.11 รูปแบบสายอากาศด้านหลังที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST	28
รูปที่ 3.12 ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ที่ได้จากโปรแกรม CST	28
รูปที่ 3.13 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST	29
รูปที่ 3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	30
รูปที่ 3.15 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	30
รูปที่ 3.16 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมโดยมีจุดป้อนสัญญาณอยู่ด้านล่างของแผ่นทองแดง	31
รูปที่ 3.17 รูปแบบสายอากาศด้านหน้าที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST	31
รูปที่ 3.18 รูปแบบสายอากาศด้านหลังที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST	32
รูปที่ 3.19 ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ที่ได้จากโปรแกรม CST	32
รูปที่ 3.20 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST	33
รูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	33
รูปที่ 3.22 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	34
รูปที่ 4.1 สายอากาศที่ทำการสร้างขึ้น	36
รูปที่ 4.2 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	37
รูปที่ 4.3 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	37
รูปที่ 4.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	38
รูปที่ 4.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	38
รูปที่ 4.6 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	39
รูปที่ 4.7 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	39
รูปที่ 4.8 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	41
รูปที่ 4.10 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	41
รูปที่ 4.11 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	42
รูปที่ 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	43
รูปที่ 4.13 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	44
รูปที่ 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	45
รูปที่ 4.15 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	45
รูปที่ 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	46
รูปที่ 4.17 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	47
รูปที่ 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	48
รูปที่ 4.19 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	48
รูปที่ 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	49
รูปที่ 4.21 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	50
รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	51
รูปที่ 4.23 การวัดอัตราส่วนแกน	51
รูปที่ 4.24 อัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	52
รูปที่ 4.25 อัตราส่วนแกนของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 อัตราส่วนแกนของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	54
รูปที่ 4.27 โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณหาสภาพเจาะจงทิศทาง	57
รูปที่ 4.28 (ก) เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่หือ skyetek รุ่น 94v-0 (จ) แผ่นป้ายระบุข้อมูล	59
รูปที่ 4.29 โปรแกรม skyedemo m9 version 3.0.3.680	60
รูปที่ 4.30 การทดสอบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น	60
รูปที่ 4.31 ระยะเวลาที่สายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้	61
รูปที่ 4.32 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	62
รูปที่ 4.33 ระยะเวลาที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้	63
รูปที่ 4.34 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	64
รูปที่ 4.35 ระยะเวลาที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้	65

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	43
ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	44
ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	46
ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	47
ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	49
ตารางที่ 4.6 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	50
ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราส่วนแกนที่วัดได้ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น	52
ตารางที่ 4.8 ค่าอัตราส่วนแกนที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม	53
ตารางที่ 4.9 ค่าอัตราส่วนแกนที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม	54
ตารางที่ 4.10 แสดงระยะที่สายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้	61
ตารางที่ 4.11 แสดงระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้	63
ตารางที่ 4.12 แสดงระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้	65

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายใน ที่มีการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำบนแผ่นพลาสติก ซึ่งในกรณีของ RFID แผ่นบันทึกข้อมูลอาจมีรูปแบบแตกต่างกันไป ไม่จำเป็นต้องเป็นแบบบัตรเครดิตรูปแบบไปและเพื่อความสะดวกในการเรียก จึงขอเรียกแผ่นบันทึกข้อมูลในกรณีของ RFID ว่า “เครื่องลูกข่าย” หรือภาษาอังกฤษว่า Transponder เนื่องจากปรัชญาในการออกแบบมาตรฐาน RFID ที่ต้องการให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านเป็นแบบไม่สัมผัสกัน (Contactless) ทำให้ต้องมีการหาทางส่งพลังงานไฟฟ้าไปป้อนให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบอื่น จึงเกิดแนวคิดในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อส่งทั้งข้อมูลสัญญาณฐานเวลา และพลังงานไฟฟ้าที่จะไปปรากฏเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ไปในรูปของคลื่นวิทยุผ่านตัวนำที่เป็นอากาศ

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคนหรือวัตถุโดยอัตโนมัติ เป็นวิธีการจำแนกได้ครั้งละจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่โดยทั่วไปเป็นการจัดเก็บตามหมายเลขประจำตัวของวัสดุ บุคคล หรือวัตถุ และในบางครั้งหมายรวมถึงสารสนเทศอื่นๆ ลงไมโครชิปที่ประกอบด้วยสายอากาศ (Antenna หรือ สายสัญญาณสำหรับรับส่งคลื่นจากระยะไกล โดยที่ชิปและสายอากาศ รวมเข้าด้วยกันเรียกว่า RFID Transponder หรือ RFID Tag) สายอากาศทำให้ชิปสามารถส่งข้อมูลเฉพาะไปยังเครื่องอ่านได้ เครื่องอ่านจะแปลงคลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องลูกข่าย กลายเป็นข้อมูลดิจิทัลผ่านเข้าไปทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ ข้อมูลทางเทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะประกอบด้วย เครื่องลูกข่ายที่เป็นไมโครชิป (Microchip Tag) ซึ่งมีสายอากาศ และเครื่องอ่านที่มีสายอากาศเช่นกัน เครื่องอ่านจะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาและสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะรับและแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นพลังงาน ส่งผ่านไปทีระบบของเครื่องลูกข่ายเพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับแผงวงจรไมโครชิป จากนั้นเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่วิทยุกลับไปยังเครื่องอ่าน และเครื่องอ่านจะแปลงคลื่นที่ได้ใหม่ให้กลายเป็นข้อมูลดิจิทัล

ปัจจุบันระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะขยายมากขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต เพราะสามารถบรรจุสารสนเทศต่างๆ ลงในระบบของเครื่องลูกข่ายได้ตามที่เราต้องการ เนื่องจากระบบของเครื่องลูกข่าย คือไมโครชิปที่มีหน่วยความจำเช่นเดียวกับหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำการประมวลผลการทำงานได้ตามโปรแกรมคำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการได้ การทำงานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุนั้นคือ ระบบของเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านต้องมีการปรับคลื่นความถี่ให้เหมือนกันเพื่อการสื่อสารเช่นเดียวกับการฟังวิทยุ นั้นจำเป็นต้องปรับจูนคลื่นความถี่ให้ตรงกับสถานีที่ต้องการฟัง ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุใช้ได้หลายย่านความถี่ ซึ่งในแต่ละย่านความถี่นั้นก็มีความแตกต่างในเรื่องของความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานแต่ละประเภท

สำหรับปริญญาโทฉบับนี้กล่าวถึงวิธีการออกแบบสร้างสายอากาศรูปแบบไมโครสตริปที่จะนำไปใช้กับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (920 MHz - 925 MHz) เพื่อทำการศึกษาลักษณะสมบัติของรูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern), อัตราขยาย (Gain), ลักษณะการโพลาไรซ์ (Polarizations), อัตราส่วนของแกน (Axial Ratio) ในสายอากาศไมโครสตริป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาสายอากาศรูปแบบไมโครสตริป
2. ออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลม
3. สร้างสายอากาศไมโครสตริปมาใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดี

1.3 ขอบเขตของโครงการ

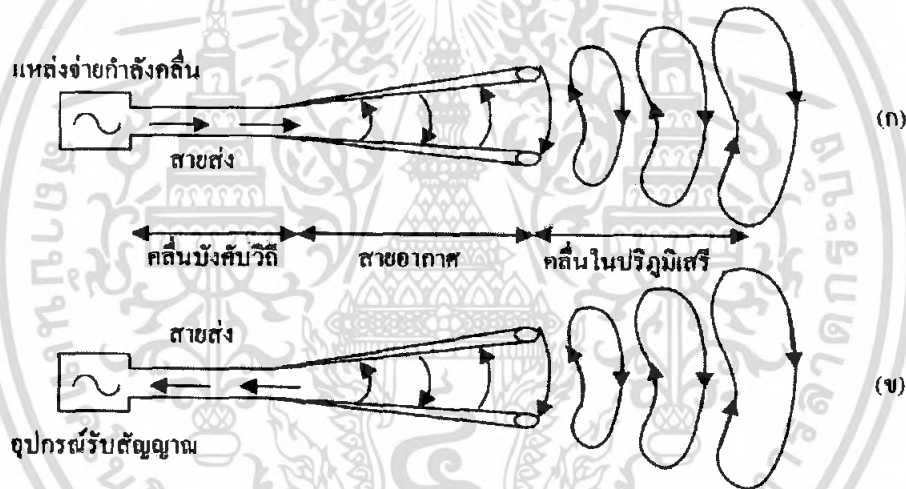
ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศในรูปแบบไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่ความถี่ยูเอชเอฟ (920 MHz - 925 MHz) จำลองแบบสายอากาศเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ และนำไปทำการทดลองในสภาพการใช้งานจริงและสุดท้ายทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ

หน้าที่หลักที่สำคัญของสายอากาศ คือ การแปลงรูปพลังงานกลับไปกลับมาระหว่างพลังงานลักษณะคลื่นบังคับวิธีในสายส่งและพลังงานในรูปคลื่นในปริภูมิเสรี (free space) สายอากาศจะเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะคลื่นบังคับวิธีไปเป็นคลื่นในปริภูมิที่แพร่กระจายไปในทิศทางที่ต้องการเมื่อปฏิบัติงานเป็นสายอากาศส่ง เมื่อเป็นสายอากาศรับ สายอากาศจะเปลี่ยนคลื่นในปริภูมิเสรีที่มาจากทิศทางของสถานีอื่นฟังประสงค์หรือรวมทั้งบรรดาคลื่นรบกวนทั้งหลายเป็นคลื่นบังคับวิธีในสายส่งและเข้าสู่เครื่องรับในที่สุด นอกจากนี้ยังอาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า สายอากาศคือส่วนที่เป็นภาคเชื่อมต่อระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ (คลื่นบังคับ) กับ โฟตอน (คลื่นในปริภูมิ) รูปที่ 2.1 แสดงนิยามของสายอากาศตามที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 2.1 นิยามการทำงานของสายอากาศ (ก) ในภาคส่ง (ข) ในภาครับ

จุดเด่นของสายอากาศเป็นสายอากาศมิได้ขึ้นอยู่กับเพียงการมีความสามารถในการรับหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศต้องสามารถเลือกรับหรือส่งพลังงานจากต้นกำเนิดหรือสู่ปลายทางที่กำหนดได้ด้วยเหตุนี้การออกแบบสายอากาศเพื่อให้สามารถปฏิบัติการที่กำหนดได้จึงมีความหมายยิ่งนัก เมื่อนำผลลัพธ์จากการออกแบบไปวิเคราะห์ ก็จะทราบสมรรถนะของสายอากาศได้ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ผลการวิเคราะห์ทำให้สามารถหาทางปรับเปลี่ยนการออกแบบ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะสามารถเริ่มต้นการวิเคราะห์สายอากาศใดๆ ก็ตาม จำเป็นที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานบางประการเกี่ยวกับธรรมชาติของการทำงานของสายอากาศ สายอากาศชนิดต่างๆ ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ทฤษฎีทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

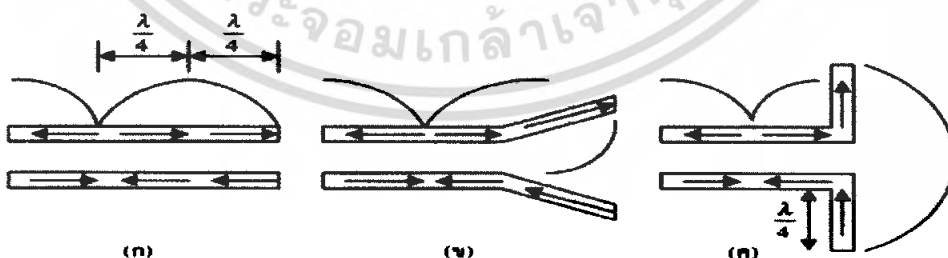
ในทางวิศวกรรมสายอากาศ การจัดสายอากาศให้ทำงานเป็นกลุ่ม ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์สายอากาศ ทั้งนี้เพื่อให้การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์สายอากาศมีสัมฤทธิ์ผลที่ดี อีกทั้งผู้ศึกษาสามารถประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ต่างๆ ได้เหมาะสมกับสถานการณ์ ในตอนต่อไปจะได้กล่าวถึงธรรมชาติการทำงานของสายอากาศก่อนเป็นอันดับแรก

2.2 ธรรมชาติการทำงานของสายอากาศ

เมื่อสายอากาศทำงานในภาครับนั้น กลไกการทำงานเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรีให้เป็นคลื่นบังคับวิถีสามารถเข้าใจได้โดยง่าย ด้วยการพิจารณาว่าคลื่นในปริภูมิเสรีที่ตกกระทบบนสายอากาศเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศอันเป็นผลสืบเนื่องให้มีการไหลของกระแสสัญญาณเมื่อมีการต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์รับสัญญาณ

ในกรณีที่สายอากาศทำงานในภาคส่ง สิ่งที่เกิดขึ้นคือ พลังงานในลักษณะของคลื่นบังคับวิถีได้รับการแปลงรูปไปเป็นพลังงานในลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรี การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในลักษณะที่มีการเคลื่อนย้ายของพลังงานจากสายอากาศเข้าสู่บริเวณปริภูมิเสรีโดยปราศจากการนำหรือการพา และมีใช้การแพร่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปพลังงาน ดังนั้นจึงเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นว่าการแผ่พลังงาน

สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแผ่พลังงาน ก็คือกลไกการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ เมื่อพิจารณาการทำงานของสายอากาศเส้นลวด จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นด้วยการป้อนกำลังงานคลื่นให้ที่ขั้วของสายอากาศ ในจังหวะนี้เท่ากับมีการกระตุ้นให้อนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เมื่ออนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่ไปถึงปลายของเส้นลวดก็จะถูกหน่วงให้หยุดและกระดอนกลับ ในช่วงที่อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วงนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน ซึ่งผลลัพธ์ก็คือการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การถูกเร่งนั้นเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแหล่งพลังงานที่ต่ออยู่ที่ขั้วของสายอากาศ ส่วนการหน่วงเป็นผลจากแรงต้านภายในเนื่องจากการสะสมตัวของประจุที่ปลายสายอากาศ ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วง ไม่ว่าจะการทำให้มีอิมพีแดนซ์ที่ไม่ต่อเนื่องหรือการตัดหรือหักลวดให้โค้งงอ ก็จะส่งผลให้เกิดการแผ่พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รูปที่ 2.2 แสดงกรณีต่างๆ ของการเกิดขึ้นของการแผ่พลังงานจากสายอากาศเส้นลวด



รูปที่ 2.2 การแผ่พลังงานจากสายอากาศ

- (ก) สายส่งแบบขนาน
- (ข) สายส่งแบบขนานที่ปลายถูกทำให้โค้งงอ
- (ค) สายส่งแบบขั้วคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ค่าคุณลักษณะและค่าปัจจัยต่าง ๆ ของสายอากาศ

สายอากาศชนิดต่างๆ ที่มีใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีค่าคุณลักษณะและค่าปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบการประเมินสมรรถนะของสายอากาศเพื่อช่วยตัดสินใจประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานอยู่มากมาย ในส่วนนี้จะกล่าวเฉพาะส่วนที่สำคัญและน่าสนใจดังนี้

2.3.1 ระยะของสนามจากสายอากาศหรือระยะสายอากาศ (Field region)

2.3.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern)

2.3.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input impedance)

2.3.4 ประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน (Radiation efficiency)

2.3.5 ความกว้างลำคลื่น (Beam width)

2.3.6 ประสิทธิภาพลำคลื่น (Beam efficiency)

2.3.7 ความหนาแน่นกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่น (Radiation power density)

2.3.8 ความเข้มการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

2.3.9 สภาวะเจาะจงทิศทาง (Directivity)

2.3.10 อัตราขยาย (Gain)

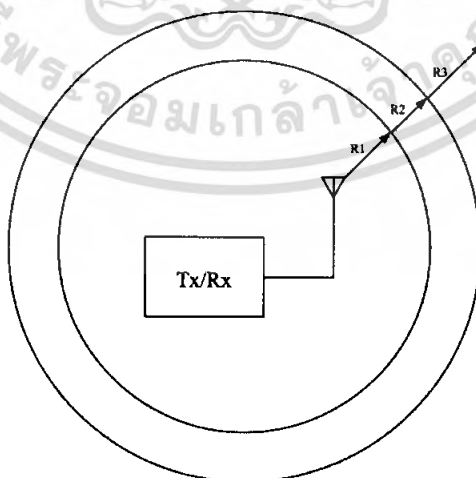
2.3.11 ความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผล (Effective length and area)

2.3.12 ประสิทธิภาพช่องเปิด (Aperture efficiency)

2.3.13 โพลาริเซชันและประสิทธิภาพโพลาริเซชัน (Polarization and polarization efficiency)

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ระยะของสนามจากสายอากาศหรือระยะสายอากาศ คือระยะที่บ่งบอกว่าสายอากาศจะมีการแผ่กระจายคลื่นออกมาหมดหรือยังมีการสะสมพลังงานอยู่ โดยระยะสายอากาศจะแบ่งได้เป็น 3 ระยะดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงระยะสายอากาศที่ระยะต่างๆ

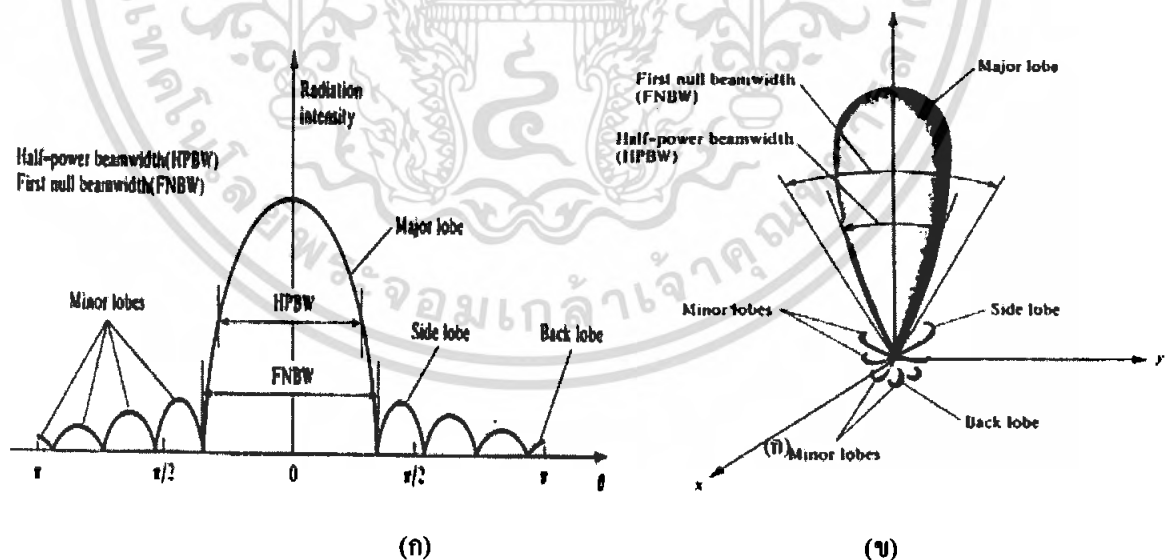
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ระยะสนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive near field) คือระยะที่วัดจากสายอากาศไปจนถึง $0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ หรือระยะที่อยู่ระหว่าง $0 \leq R1 < 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ โดยที่ D คือมิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศ ที่ระยะนี้จะพบว่าสายอากาศจะไม่แพร่กระจายคลื่นออกมาแต่จะสะสมพลังงานในรูปแบบ Reactive กำลังงานที่คำนวณได้จะอยู่ในรูปของส่วนจินตภาพ

2.3.1.2 ระยะสนามระยะใกล้ที่แพร่กระจายคลื่น (Radiation near field) คือระยะตั้งแต่ $0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ ไปจนถึง $\frac{2D^2}{\lambda}$ หรือ $0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R2 < \frac{2D^2}{\lambda}$ ที่ระยะนี้สายอากาศจะแพร่กระจายคลื่นออกมาบางส่วนและสะสมไว้บางส่วน กำลังงานที่คำนวณได้จะอยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน

2.3.1.3 ระยะสนามระยะไกล (Far field) คือระยะตั้งแต่ $\frac{2D^2}{\lambda}$ เป็นต้นไป หรือ $\frac{2D^2}{\lambda} \leq R3 < \infty$ ที่ระยะนี้สายอากาศจะแพร่กระจายคลื่นออกมาหมด กำลังที่คำนวณได้จะเป็นส่วนจริง

2.3.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นวิธีการแสดงความสามารถในการแผ่พลังงานของสายอากาศออกไปในทิศต่างๆ หรือรับพลังงานที่ส่งมาจากทิศต่างๆ โดยการวาดภาพหลายเส้นที่นำเสนอค่าระดับกำลังงานสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งเชิงมุมต่างๆ แบบรูปการแผ่พลังงานอาจนำเสนอโดยใช้ระบบพิกัดฉากหรือเชิงขั้วก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

(ก) นำเสนอในระบบพิกัดฉาก

(ข) นำเสนอในระบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

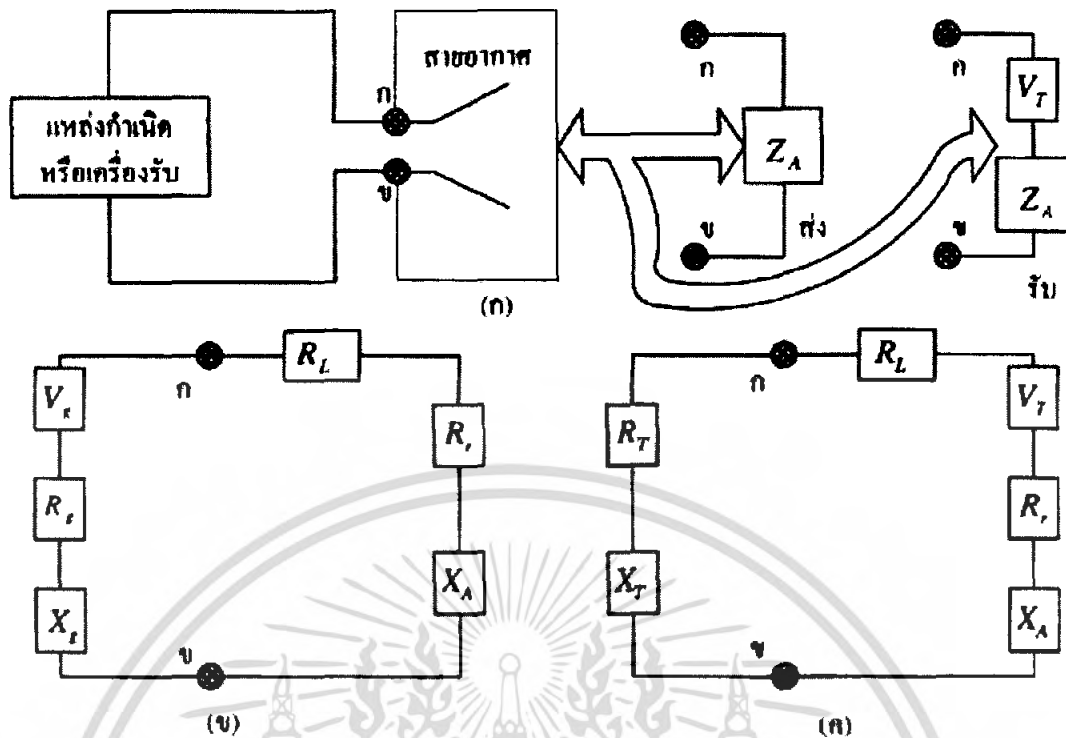
โดยทั่วไปแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขณะที่เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีความเหมือนกันทุกประการ ในการวัดจึงสามารถวัดโดยให้สายอากาศทดสอบทำงานในภาคส่งหรือภาครับก็ได้ แบบรูปการแผ่พลังงานมีหลายลักษณะ เช่น แบบรูปขนาดขอดของสนาม แบบรูปวิถีภาค แบบรูปโพลาริเซชัน และแบบรูปสภาพเงาเชิงทิศทาง แบบรูปเหล่านี้เป็นประโยชน์ในการใช้ประกอบพิจารณาเพื่อประยุกต์ใช้งานสายอากาศในลักษณะงานเฉพาะต่างๆ

ในแบบรูปการแผ่พลังงานจะประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ชี้ไปในทิศทางต่างๆ ปกติระดับสัญญาณที่มียอดสูงสุดเป็นตัวกำหนดแนวตั้งหลักของสายอากาศ ระดับสัญญาณนี้เรียกว่าลำคลื่นหลักหรือลำคลื่นหลัก ระดับสัญญาณอื่นๆ เรียกว่าลำคลื่นย่อยหรือลำคลื่นย่อย ระดับลำคลื่นย่อยมีความสำคัญในการควบคุมระดับสัญญาณรบกวนและจากทิศทางไม่พึงประสงค์ในการใช้งานบางลักษณะ

2.3.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้า กรณีที่พิจารณาสายอากาศเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อต่อแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศที่ละน้อยเนื่องจากปรากฏการณ์มีการต้านการไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทางเชิงซ้อน อิมพีแดนซ์ดังกล่าวซึ่งปรากฏที่ขั้วของสายอากาศเรียกว่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า ค่านี้มีความสำคัญในการพิจารณาจัดระบบป้อนกำลังคลื่นให้กับสายอากาศ รูปที่ 2.5 (ก) แสดงแนวคิดของการมองสายอากาศเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรทั้งกรณีทำงานในภาครับและภาคส่ง ในกรณีภาคส่งสายอากาศเสมือนอิมพีแดนซ์ตัวหนึ่ง (Z_A) ซึ่งประกอบด้วยความต้านทานการแผ่พลังงาน (R_r) และรีแอคแทนซ์ (X_A) โดย R_r แทนการสูญเสียในวงจรซึ่งหมายถึงพลังงานคลื่นที่แผ่ออกไปโดยสายอากาศ ส่วน X_A คือพลังงานเชิงจลภาพที่สะสมในบริเวณสนามสนามใกล้ของสายอากาศโดยไม่แผ่กระจายออกไป รูปที่ 2.5 (ข) แสดงวงจรสมมูลเมื่อสายอากาศทำงานในภาคส่งเมื่อสายอากาศทำงานในภาครับแสดงแทนด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 2.5 (ค) ส่วนที่เป็นสายอากาศจะเสมือนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสมมูล V_T และอิมพีแดนซ์ Z_A โดย V_T เป็นสัญญาณออกที่สายอากาศป้อนสู่เครื่องรับที่มีอิมพีแดนซ์ $Z_T = R_T + X_T$ สำหรับ R_L แทนการสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะสายอากาศทำงาน

2.3.4 ประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน ค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานแสดงความสามารถของสายอากาศที่จะแผ่พลังงานที่ได้รับมาออกไปในปริภูมิเสรี ค่านี้คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกมากับกำลังงานที่ป้อนให้กับตัวสายอากาศ ถ้าพิจารณาให้สายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนในวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.5 ก็จะสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$\eta_r = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2-1)$$



รูปที่ 2.5 แนวคิดในการพิจารณาการทำงานของสายอากาศโดยอาศัยมุมมองแบบทฤษฎีวงจร

(ก) ระบบสายอากาศ (ข) วงจรสมมูลเมื่อสายอากาศทำงานในภาคส่ง

(ค) วงจรสมมูลเมื่อสายอากาศทำงานในภาครับ

2.3.5 ความกว้างลำคลื่น ความกว้างลำคลื่นเป็นค่าที่มีผลต่อการพิจารณาความสามารถในการกำหนดรายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลในการสำรวจข้อมูลระยะไกล หรือพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณในการให้บริการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น โดยทั่วไปมีนิยามของความกว้างลำคลื่นสองแบบที่นิยมใช้กัน ได้แก่

- ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half power beam width)

คือ ขนาดเชิงมุมของลำคลื่นหลักที่วัดตรงช่วงระหว่างตำแหน่งที่กำลังคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.4

- ความกว้างลำคลื่น ณ จุดศูนย์คู่แรก (First null beam width)

คือ ขนาดเชิงมุมของลำคลื่นหลักที่วัดตรงช่วงระหว่างตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์คู่แรกดังสมการในรูปที่ 2.4

2.3.6 ประสิทธิภาพลำคลื่น ค่านี้เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดของพื้นที่ลำคลื่นหลัก (Main beam area) กับพื้นที่ลำคลื่น (beam area) ของสายอากาศซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\eta_b = \frac{\Omega_M}{\Omega_A} \quad (2-2)$$

โดย Ω_M คือ พื้นที่ลำคลื่นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ω_A คือ พื้นที่ลาค์นของสายอากาศ

$$\Omega_M = \int_{-\theta_{FN}}^{\theta_{FN}} \int_{-\phi_{FN}}^{\phi_{FN}} P_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (2-3)$$

$$\Omega_A = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (2-4)$$

โดย θ_{FN}, ϕ_{FN} และ $-\theta_{FN}, -\phi_{FN}$ คือ ตำแหน่งมุมแนวราบ (Azimuth) และมุมก้มเงย (Elevation) ของจุดศูนย์กลางแรก

$P_n(\theta, \phi)$ คือ ฟังก์ชันแบบรูปการแผ่พลังงานที่ปรับบรรทัดฐานแล้ว

ค่าดังกล่าวนี้แสดงความสามารถในการรวบรวมกำลังงานคลื่นไว้ในลาค์นหลักซึ่งชี้ไปยังทิศทางอันพึงประสงค์ขณะที่สายอากาศกำลังปฏิบัติงานอยู่

2.3.7 ความหนาแน่นกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่น คือกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่นต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น W/m^2 เป็นปริมาณ Vector

$$\vec{W}_{rad} = \vec{W}_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \quad (2-5)$$

ที่ระยะสนามระยะไกลจะมี Intrinsic impedance เท่ากับ

$$\eta = \frac{E}{H} \quad (2-6)$$

จาก

$$\begin{aligned} \vec{W}_{av} &= \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \\ \vec{W}_{av} &= \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \frac{\vec{E}^*}{\eta}] = \frac{1}{2} \text{Re}[\eta \vec{H} \times \vec{H}^*] \\ \vec{W}_{av} &= \frac{1}{2\eta} |\vec{E}|^2 = \frac{\eta}{2} |\vec{H}|^2 \end{aligned} \quad (2-7)$$

2.3.8 ความเข้มการแพร่กระจายคลื่น คือกำลังงานต่อหน่วยมุมตันมีหน่วยเป็น W/Sr มุมตัน (Solid angle) มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (sr) โดยที่มุม 1 sr คือมุมที่รองรับพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับกำลังสองของรัศมี ทรงกลม 1 ลูกมี 4π sr

$$U(\theta, \phi) = r^2 W_{av} \quad (2-8)$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} |E|^2 = \frac{r^2 \eta}{2} |H|^2 \quad (2-9)$$

กำลังงานในการแพร่กระจายคลื่นทั้งหมด

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad (2-10)$$

2.3.9 สภาพเจาะงทศทาง สภาพเจาะงทศทางถือว่าเป็นค่าคุณลักษณะตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมาก คำนี้งบออกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อสมมติว่ามีการแผ่พลังงานออกไปรอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกันโดยละเลยกำลังงานส่วนที่สูญเสียไป สูตรแสดงการคำนวณเป็นดังต่อไปนี้

$$D = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (2-11)$$

โดย U_0 คือ ความเข้มการแผ่พลังงานของสายอากาศไอโซโทรปิก (W/Sr)

2.3.10 อัตราขยาย อัตราขยายของสายอากาศมิได้บ่งบอกถึงความสามารถในการขยายสัญญาณ เช่นเดียวกับกรณีของวงจรถวาย ในกรณีของสายอากาศนั้นอัตราขยายจะคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มข้นของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย พิจารณาว่ากำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับสายอากาศได้รับการแผ่ออกอย่างเท่าเทียมกันรอบทิศทางไม่มีการสูญเสีย สูตรสำหรับการคำนวณอัตราขยายเป็นดังต่อไปนี้

$$G = \frac{U(\theta, \phi)}{U_f} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_f} \quad (2-12)$$

โดย U_f คือ ความเข้มการแผ่พลังงานเฉลี่ยที่ป้อนให้สายอากาศ (W/Sr)

P_f คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศ (W)

เนื่องจากการคำนวณอัตราขยายจะคำนึงถึงผลของการสูญเสียด้วย ดังนั้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยายจึงมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$G = \eta_r D \quad (2-13)$$

2.3.11 ความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผล แนวคิดเกี่ยวกับความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผลเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกันในการพิจารณาทั้งการรับและการส่งกำลังงานคลื่นโดยสายอากาศ ในส่วนของสายอากาศเส้นลวดการใช้ความยาวประสิทธิผลทำให้มองเห็นความสามารถในการใช้ขนาดทางกายภาพตามแนวความยาวของเส้นลวดที่เป็นสายอากาศให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้เนื่องจากตลอดแนวความยาวดังกล่าวนั้นสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบจะไม่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาโดยกำหนดว่าขนาดความยาวที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวความยาวดังกล่าว โดยมีค่าการแจกแจงกระแสที่คงที่เท่ากับค่าสูงสุดของการแจกแจงกรณีไม่สม่ำเสมอ ขนาดความยาวดังกล่าวนี้เรียกว่า “ความยาวประสิทธิผล”

ในกรณีของสายอากาศช่องเปิดก็สามารถพิจารณาได้ในลักษณะเดียวกัน โดยการคิดขนาดพื้นที่ซึ่งมีการตกกระทบของหรือแผ่พลังงานคลื่นได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งผิวหน้า โดยมีค่าการแจกแจงความเข้มสนามคงที่เท่ากับค่าสูงสุดของกรณีแจกแจงไม่สม่ำเสมอ ขนาดพื้นที่ดังกล่าวเรียกว่า “พื้นที่ประสิทธิผล”

2.3.12 ประสิทธิภาพช่องเปิด คำนีเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ประสิทธิผลกับขนาดพื้นที่จริงทางกายภาพ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{ap} = \frac{A_{eff}}{A_{phy}} \quad (2-14)$$

โดย η_{ap} คือ ประสิทธิภาพช่องเปิด

A_{eff} คือ พื้นที่ประสิทธิผล

A_{phy} คือ พื้นที่จริงทางกายภาพ

อัตราส่วนนี้เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการใช้ประโยชน์พื้นที่ของช่องเปิดที่ปรากฏทางกายภาพของสายอากาศในการรับหรือส่งพลังงานคลื่น

2.3.13 โพลาริเซชันและประสิทธิภาพโพลาริเซชัน โพลาริเซชันของสนามแรงแสงเส้นทางการที่ปลายเวกเตอร์สนามกวาดปกคิจะยึดเอาเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเป็นสำคัญสำหรับประสิทธิภาพโพลาริเซชันเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานคลื่นระนาบที่มีโพลาริเซชันแน่นอนสถานะหนึ่งกับกำลังงานที่สายอากาศควรจะได้รับเมื่อคลื่นระนาบดังกล่าวมีโพลาริเซชันตรงกับโพลาริเซชันของสายอากาศ คำนีอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ความเข้ากันได้เชิงโพลาริเซชัน”

2.4 สายอากาศไมโครสตริป

แนวความคิดในการใช้ไมโครสตริปซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ในการแพร่กระจายคลื่นถูกนำเสนอครั้งแรก โดย Deschamps ค.ศ.1953 และหลังจากนั้น 20 ปี จึงมีการสร้างเป็นสายอากาศใช้งานจริง โดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎี และเทคนิค photo-etch ของฐานรองที่เป็น copper หรือ gold-clad และมีคุณสมบัติทางอุณหภูมิจึงและทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้นมีค่า loss tangent ที่ต่ำ สายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย Howell, Munsun จากนั้นก็มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวางขึ้นไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน

2.5 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วย แผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่ โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งจะมีรูปร่างต่าง ๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square), วงกลม (Circle), วงรี (Elliptical) ฯลฯ เรียกว่า ตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiating Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างมาก เรียกว่า แผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบตัวแพร่กระจายคลื่นให้มีขนาดตามความต้องการ แผ่นกราวด์ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มีขนาดจนถึงอนันต์ (Infinite) ได้ ดังนั้นในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัดของแผ่นกรวดที่ว่าควรมีขนาดเท่าไร เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่น ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

2.6 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป จะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านไมโครเวฟแบบอื่น ๆ โดยสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 50 GHz

2.6.1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- น้ำหนักเบา (lightweight), ขนาดเล็ก (low volume)
- ทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้เพราะไม่มีผลทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics)
- พื้นที่หน้าตัดน้อย (low profile)
- สามารถผลิตได้ง่ายและราคาถูก (low fabrication cost)
- มีความสะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ เช่น จรวด, ดาวเทียม เป็นต้น
- มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม

2.6.2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- มีช่วงความถี่ที่รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (narrow bandwidth)
- มีอัตราสูญเสีย (loss)
- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดประมาณ 20 dB
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รูปร่างลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศไมโครสตริป

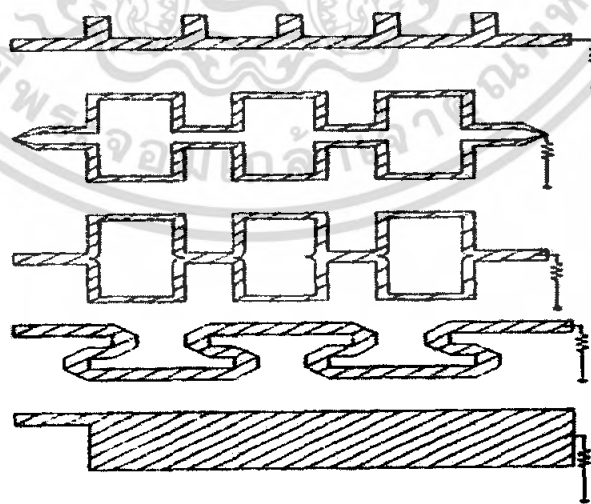
สายอากาศไมโครสตริปจะมีพารามิเตอร์ต่างๆทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศย่านไมโครเวฟทั่วไปที่เห็นได้ชัดคือ รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปแบบต่าง ๆ ใดๆก็ตามสายอากาศไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ 1. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Patch 2. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot 3. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Traveling-wave ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA) ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปทรงทางเรขาคณิตอยู่บนแผ่นไดอิเล็กทริก อีกด้านหนึ่งของไดอิเล็กทริกจะเป็นพื้นกราวด์ แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งหาได้จากการคำนวณรูปร่างลักษณะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)

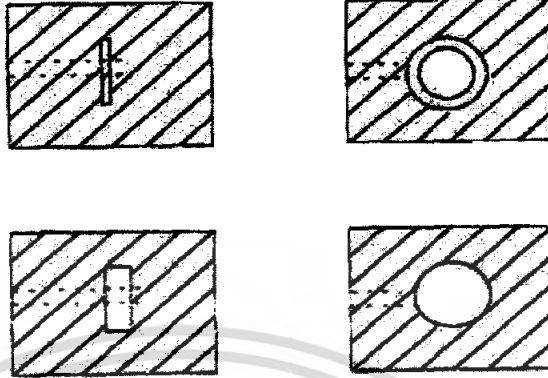
2.7.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Traveling-wave (MTA) ประกอบด้วยตัวนำลักษณะเป็นคาบหรือมีความยาวตามเส้น TEM จะต่อกับความต้านทานที่เป็นภาระ โดยมีรูปร่างดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling-wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot ประกอบด้วยช่องซึ่งต่อกับเส้นไมโครสตริปช่องนี้จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กว้างหรือแคบก็ได้) วงกลม หรือวงแหวนดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Slot

2.8 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป

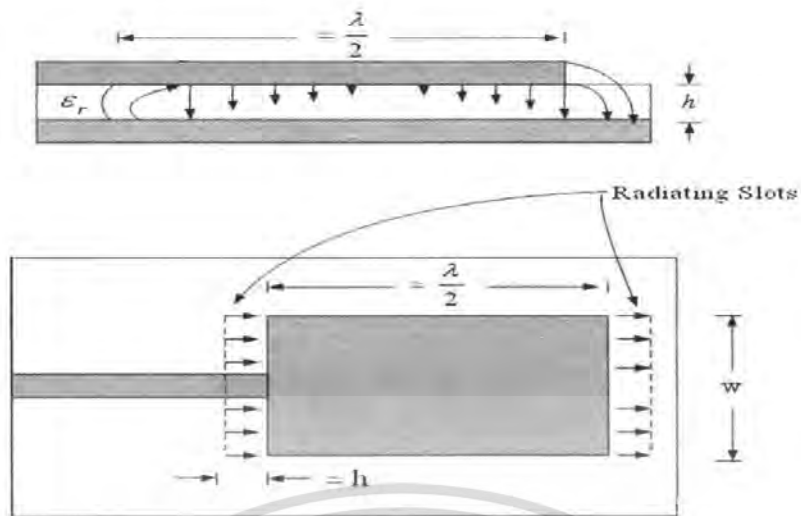
การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปเกิดจากสนาม โป่งที่เกิดขึ้นระหว่างขอบของตัวนำของสายอากาศไมโครสตริปกับพื้นกราวด์ โดยการแพร่กระจายคลื่นอย่างไม่ต่อเนื่องของสายอากาศไมโครสตริปถูกทดสอบโดย Levin การวิเคราะห์ของเขาจะพิจารณากระแสที่ไหลในตัวนำ วิธีนี้จะใช้คำนวณหาค่า Q ของความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองถ้าพิจารณาสนาม

ในรูปแบบของช่องเปิด (Aperture form) โดยเปิดให้สายอากาศไมโครสตริปแยกจากพื้นกราวด์ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า Q ทั้งหมด ค่า Q นี้จะเป็นฟังก์ชันที่เกิดจากความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองค่าความเป็นฉนวนและความหนาของฐานรอง ผลลัพธ์ทั้งทางทฤษฎี และปฏิบัติจะแสดงว่าที่ความถี่สูง การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น จะมีค่ามากกว่าการสูญเสียเนื่องจากตัวนำ และค่าความเป็นฉนวน

2.9 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ

การแพร่กระจายสนามของสายอากาศจะเกิดขึ้นที่สนามรอบนอกระหว่างขอบของแผ่นตัวนำของสายอากาศและแผ่นกราวด์เพลน (Ground Plane) ซึ่ง สายอากาศไมโครสตริปจะมีลักษณะ โครงสร้างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศจะมีขนาดขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะใช้งานที่จะออกแบบให้เหมาะสมกับงานนั้น ๆ แผ่นกราวด์เพลนที่ใช้เป็นลักษณะเป็นทองแดงกว้างทั้งแผ่น ในส่วนของตัวนำจะมองขอบของตัวนำโดยจะมองเหมือนสายอากาศปากเปิด (Aperture Antenna) ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมหนึ่งเอเลเมนต์จะมีสายอากาศปากเปิดสองช่องเปิด ซึ่งทั้งสองช่องเปิดนี้จะถูกแยกออกจากกันโดยความยาวของตัวสายอากาศซึ่งจะมีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($\lambda_g/2$) ของแผ่น ไดอิเล็กทริกซึ่งทั้งสองช่องเปิดจะวางตัวเป็นแบบอาร์เรย์กัน

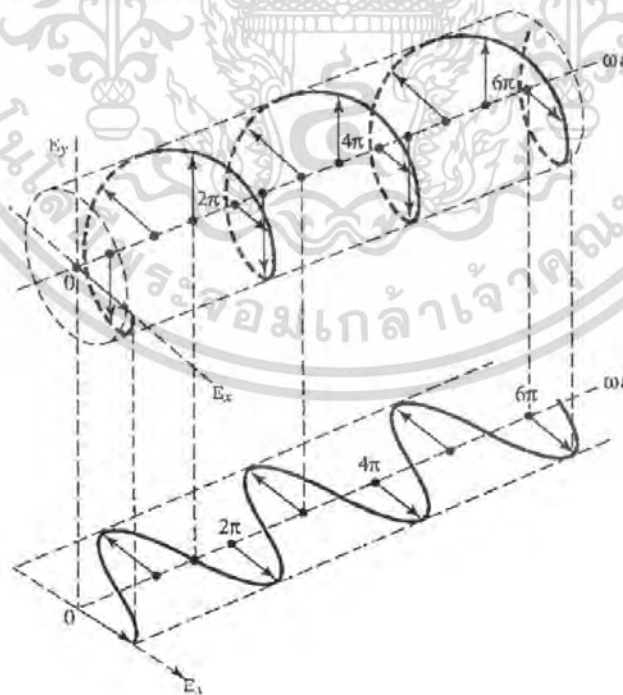
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.10 การโพลาไรซ์

การโพลาไรซ์ได้ถูกกำหนดให้เป็นคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อธิบายทิศทางและขนาดสัมพัทธ์ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเป็นรูปที่แสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ในการสังเกตลักษณะการกวาดของสนามไฟฟ้านี้ จะมองตามหลังคลื่นที่เดินทางออกไป เราอาจสรุปได้อีกนัยหนึ่งว่าการโพลาไรซ์จะเป็นรูปกราฟที่วาดขึ้นจากการกวาดของปลายลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการกวาดของลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง

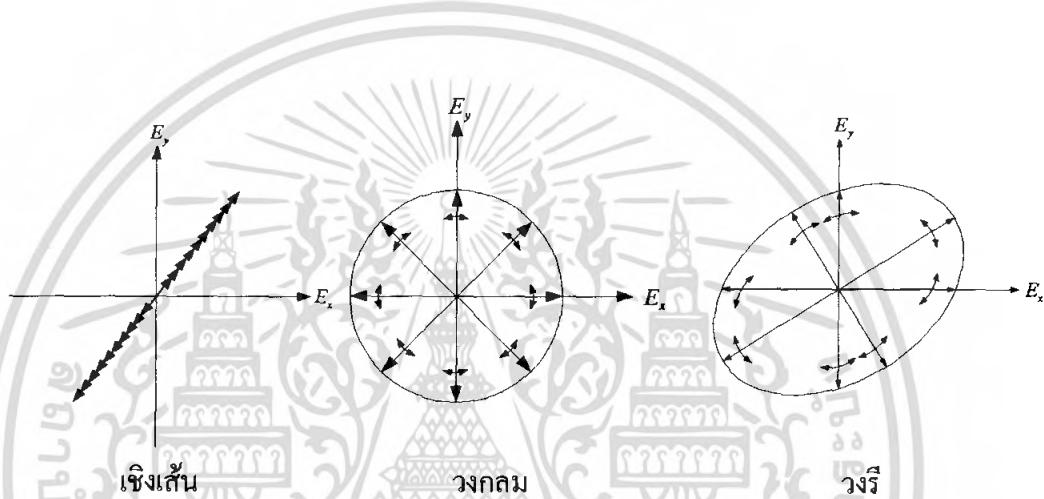
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 แสดงลูกศรที่แสดงสนามขนาดและทิศทางสัมพัทธ์ของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งคงที่ ตำแหน่งหนึ่ง โดยลูกศรนี้จะมีขนาดยาวและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาต่างๆ สำหรับการกวาดแบบวงรี เมื่อเรามองตามหลังคลื่นที่เดินทางไปในทิศทาง $-z$ (ที่ z คงที่ค่าหนึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ลูกศรจะกวาดเป็นลักษณะวงรีในทิศทางตามเข็มนาฬิกา สำหรับการกวาดแบบเชิงเส้นจะเห็นว่ามีการกวาดของลูกศรเป็นลักษณะเป็นเส้นตรง

เราจะแบ่งการโพลาไรซ์เป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

1. การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization)
2. การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization)
3. การโพลาไรซ์วงรี (Elliptical Polarization)

ซึ่งสามารถอธิบายด้วยรูปดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การโพลาไรซ์แบบต่างๆ

2.10.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarization: LP) คือคลื่นเดินทางไปโดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงทิศทางของ E ตลอดการเดินทาง

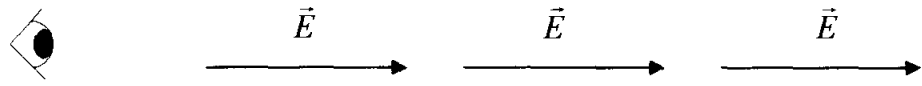
2.10.1.1 การโพลาไรซ์แนวตั้ง (vertical polarization: VP) ทิศของ E จะมีทิศทางแนวตั้งตลอดการเดินทาง



รูปที่ 2.13 การโพลาไรซ์แนวตั้ง

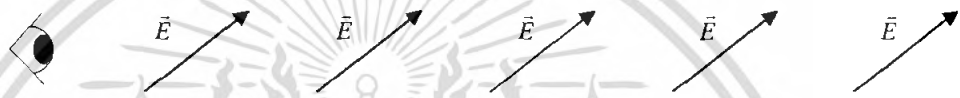
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.2 การโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal polarization: HP) ทิศของ E จะมีทิศในแนวนอนตลอดการเดินทาง



รูปที่ 2.14 การโพลาไรซ์แนวนอน

2.10.1.3 การโพลาไรซ์แนวเฉียง (Slant Polarization: SP) คือทิศของสนามไฟฟ้าจะเอียงทำมุมใดๆตลอดการเดินทาง



รูปที่ 2.15 การโพลาไรซ์แนวเฉียง

2.10.2 การโพลาไรซ์เชิงวงกลม (Circular polarization: CP) คือคลื่นเดินทางไปโดยมีการเปลี่ยนแปลงทิศของ E ตลอดเวลาโดยรักษามagnitude ของ E ไว้คงที่

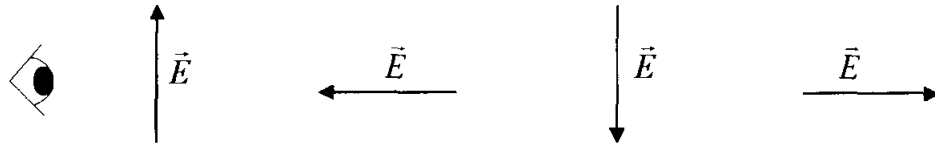
2.10.2.1 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมหมุนขวา (Righth-Hand Circular Polarization: RHCP) หรือเรียกว่าการโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา (Clock wise polarization: CWP)



รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา

2.10.2.2 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย (Left-hand Circular Polarization: LHCP) หรือการโพลาไรซ์ทวนเข็มนาฬิกา (Anti - Clockwise Polarization: AWCP)

82917



รูปที่ 2.17 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย

2.10.3 การโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptical Polarization, EP) คือคลื่นเดินทางไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทิศและขนาดของสนามไฟฟ้าตลอดการเดินทางแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

2.10.3.1 การโพลาไรซ์แบบหมุนขวา (Right – hand Elliptical Polarization, RHEP) หรือการโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise Polarization, CWEP)

2.10.3.2 การโพลาไรซ์แบบหมุนซ้าย (Left– hand Elliptical Polarization, LHEP) หรือการโพลาไรซ์ทวนเข็มนาฬิกา (Anti - Clockwise Polarization, AWEP)

2.11 อัตราส่วนแกน (Axial Ratio)

การที่เราจะรู้ได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการโพลาไรซ์แบบใด เราจะพิจารณาจากอัตราส่วนแกน (Axial Ratio หรือ AR) จากสูตร

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = \frac{|\vec{E}_r|_{\max}}{|\vec{E}_r|_{\min}} \quad (2-15)$$

โดยที่ $1 \leq AR \leq \infty$

2.11.1 (Linear Polarization: LP) สนามไฟฟ้าจะชี้ในทิศทางเดียวจะมีเฉพาะแกนหลักเท่านั้น

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = \infty$$

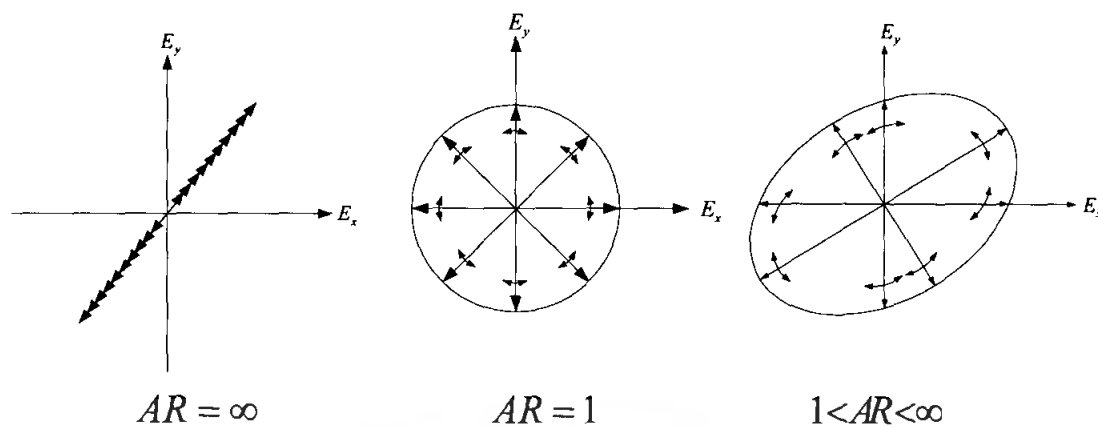
2.11.2 (Circular polarization: CP) สนามไฟฟ้าทำกันตลอดคือแกนหลัก = แกนรอง

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = 1$$

2.11.3 (Elliptical Polarization: EP) สนามไฟฟ้ามีขนาดเท่าๆกัน

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}}, \quad 1 \leq AR \leq \infty$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

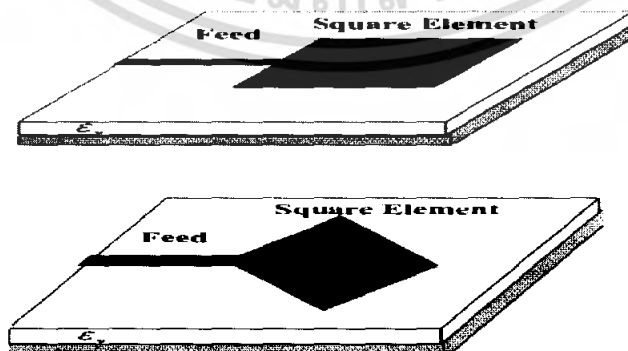


รูปที่ 2.18 การโพลาไรซ์ในรูปแบบต่างๆ

2.12 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)

สายอากาศไมโครสตริปจะมีการแพร่กระจายคลื่นของเอเลเมนต์ในแต่ละด้านของสายอากาศจะมีสารไดอิเล็กตริกและมีวิธีการป้อนสัญญาณสองวิธีคือการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล Coaxial Feed ในการป้อนสัญญาณจะต้องป้อนให้เกิดความสมดุล (Matching) เสมอระหว่างสายป้อนสัญญาณกับตัวสายอากาศเพราะอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณจะต้องมีค่าเท่ากันประมาณ 50 โอห์มซึ่งจะเกิดการสมดุล (matching) ได้นั้นจะต้องเลือกตำแหน่งของสายป้อนสัญญาณ (Feed Line) ด้วยตำแหน่งการป้อนสัญญาณ ทั้งการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล เราสามารถกล่าวสรุปวิธีการป้อนทั้งสองแบบได้ดังนี้

2.12.1 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริปเราสามารถแบ่งวิธีการป้อนสัญญาณ ได้สองวิธี คือ วิธีการป้อนสัญญาณที่ศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Center Feed Microstrip Antennas) และ วิธีการป้อนสัญญาณแบบด้านข้างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Off – Center Feed Microstrip Antennas) ดังแสดงในรูปที่ 2.19

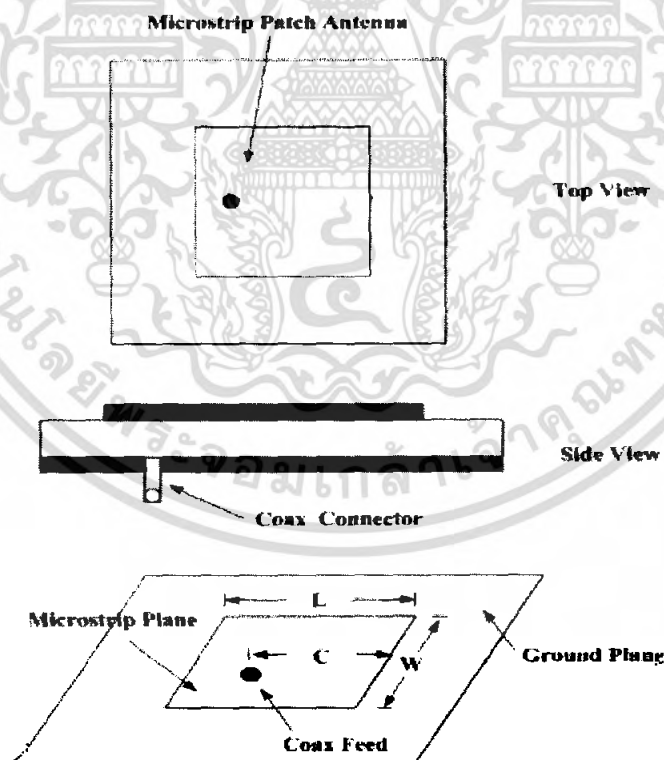


รูปที่ 2.19 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดวิธีการกระตุ้นให้กับสายอากาศ เช่น การป้อนแบบจุดศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศจะต้องทำการทดลองเพื่อที่จะหาตำแหน่งที่มีอิมพีแดนซ์ของสายป้อน 50 โอห์ม ซึ่งอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายป้อนเราสามารถวัดค่าออกมาได้ เมื่อนำสายป้อนมาป้อนให้กับสายอากาศแล้วจะต้องเกิดการสมดุลขึ้นระหว่างสายป้อนสัญญาณกับแผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศในรูปแบบเฉพาะของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศสามารถป้อนได้หลายวิธีสนามของสายอากาศเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของสายส่งแบบไมโครสตริปอินพุทอิมพีแดนซ์ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายป้อน (Feed Line) จะมีผลกระทบบ้างเล็กน้อยโดยจะทำให้ความถี่ที่เกิดการรีโซแนนซ์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างสายป้อนสัญญาณ และสายอากาศ แต่ในส่วนของกาแพร์กระจายคลื่นหรือแพทเทิร์นของสายอากาศจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ถ้าความถี่เรโซแนนซ์มีการเลื่อนออกไปสามารถชดเชยได้โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นสายอากาศให้มีขนาดเล็กลง

2.12.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed) ในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบสายส่งโคแอกเซียล มักจะกระทำที่ด้านหลังของแผ่นสายอากาศ ซึ่งตำแหน่งของการ Feed คอนเนคเตอร์ที่ต่ออยู่กับสายอากาศไมโครสตริป สามารถที่จะหาได้จากการสังเกตค่าอินพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 2.20 รูปแบบการป้อนสัญญาณแบบสายส่ง โคแอกเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและสายอากาศไมโคร-สตริปการโพลาไรซ์แบบวงกลม เพื่อทดสอบหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio) ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss) แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก (Radiation Pattern) อัตราขยาย (Gain) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) และประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit) ชนิดหน้าเดียวสำหรับการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและแบบ 2 หน้าสำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลม ซึ่งทั้ง 2 แบบจะใช้วัสดุไดอิเล็กตริกชนิดอีพอกซี (Epoxy) มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) $\epsilon_r = 4.45$ ความหนา $h = 1.6$ มิลลิเมตร โดยจะมีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์สายอากาศให้ตอบสนองความถี่ระหว่าง 920 MHz – 925 MHz

3.2 การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

3.2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอีพอกซี (Epoxy) มีดังนี้

ความถี่เรโซแนนซ์เลือกที่ $f_r = 922$ MHz

ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ $\epsilon_r = 4.45$

ค่าความหนาของวัสดุฐานรอง $h = 1.6$ มิลลิเมตร

3.2.2 ขนาดของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 รูปร่างของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในชมรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้ได้กำหนดความกว้างของแผ่นสตริปที่ 45 มิลลิเมตรเพื่อให้สอดคล้องกับทฤษฎีในหนังสือ Antenna Theory Analysis and Design ของ Constantine A. Balanis ความยาวของแผ่นสตริปสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (3-1)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3-2)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3-3)$$

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถหาความยาวของสายอากาศได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \epsilon_{reff} &= \frac{4.45+1}{2} + \frac{4.45-1}{2} \left(1 + 12 \frac{1.6}{45} \right)^{-\frac{1}{2}} = 4.17 \\ \Delta L &= 0.412 \times 1.6 \times \frac{(4.17+0.3) \left(\frac{45}{1.6} + 0.264 \right)}{(4.17-0.258) \left(\frac{45}{1.6} + 0.8 \right)} = 0.74 \text{ mm.} \\ L &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 922 \times 10^6 \times \sqrt{4.17}} - 2 \times 0.74 \times 10^{-3} = 75 \text{ mm.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความยาวของแผ่นสตริป $L = 75$ มิลลิเมตร

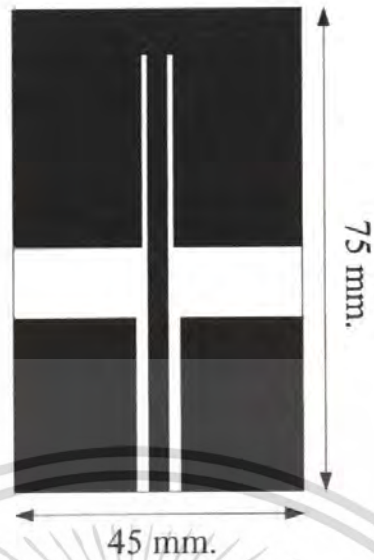
ค่าเปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิดธ์

$$BW (\%) = \frac{\Delta f}{f_0} \times 100\% \quad (3-4)$$

โดยที่ Δf คือระยะห่างระหว่างความถี่ที่ต่ำกว่า -10 dB

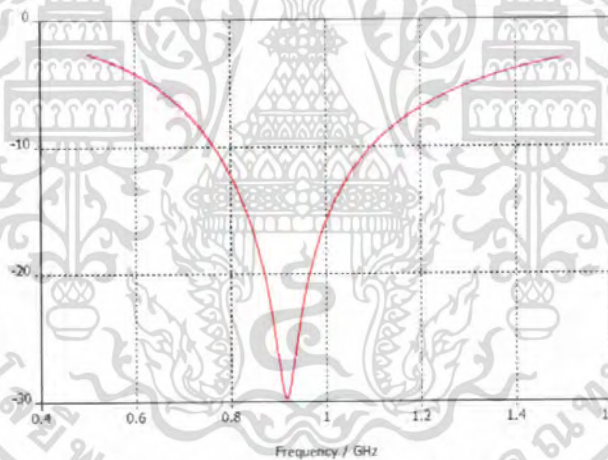
f_0 คือความถี่เรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รูปแบบสายอากาศที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST

เมื่อทำการประมวลผลในโปรแกรมจะได้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ที่ได้จากโปรแกรม CST

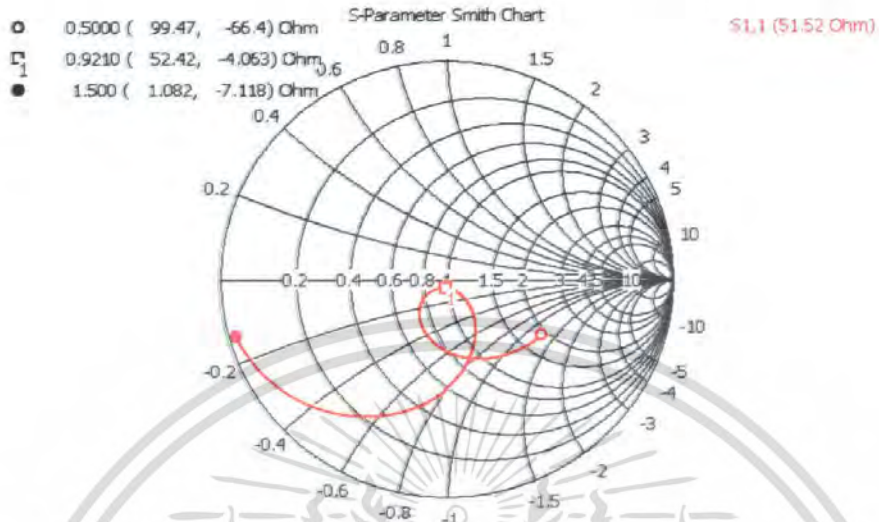
จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริไซซ์แบบเชิงเส้นที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922 MHz จะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -30 dB

จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิดท์

$$BW = \frac{0.334}{0.922} \times 100 = 36.3\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

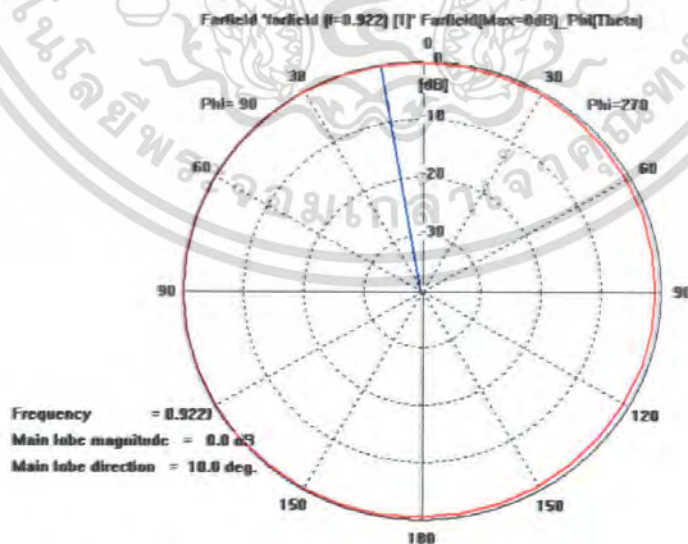
นำสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซแบบเชิงเส้นที่ทำการออกแบบไปทำการ ประมวลผลในโปรแกรม CST เพื่อหาค่าแอมพลิจูดอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 922 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST

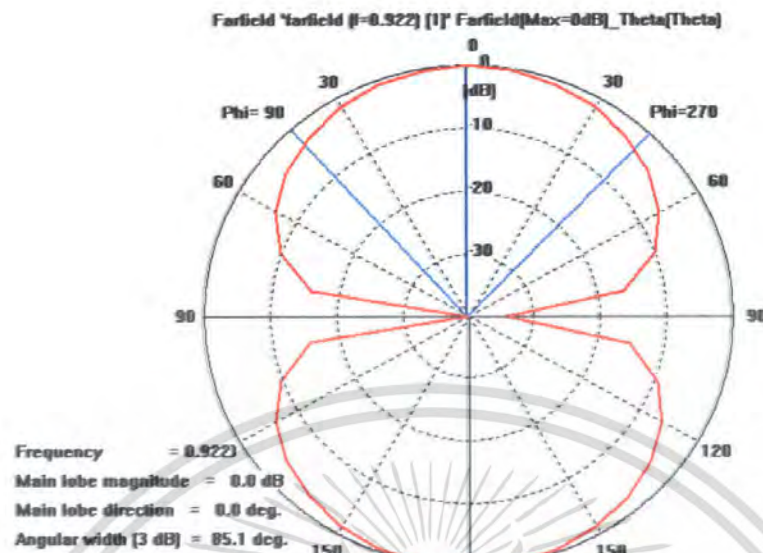
จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าค่าแอมพลิจูดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซแบบเชิงเส้นที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $52.42 - j4.063 \Omega$

แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการ Simulate ในโปรแกรม CST ของสายอากาศแบบแผ่นสตริป ที่มีการ โพลาริซแบบเชิงเส้นแสดงดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริป ที่มีการ โพลาริซแบบเชิงเส้น

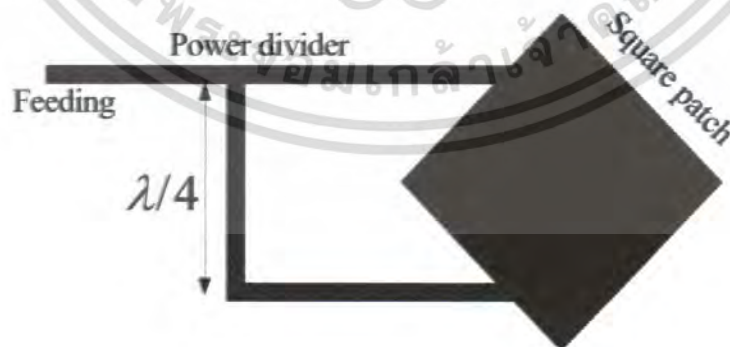
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น

3.3 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม

การโพลาริซ์แบบวงกลมสามารถทำได้โดยกำหนดตำแหน่งการป้อนสัญญาณ (Feeding) ให้ตั้งฉากกัน โดยให้สัญญาณต่างเฟสทางเวลา 90 องศา ในทางกายภาพเราสามารถป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปได้มากกว่า 1 จุด เพื่อให้ง่ายต่อการได้การโพลาริซ์แบบวงกลมในทางอุดมคติจะนิยมป้อนสัญญาณ 2 จุดให้ต่างกัน 90 องศาหรือ $\lambda/4$ ดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7 สายอากาศไมโครสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมสำหรับการโพลาริซ์แบบวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้างบางครั้งจะใช้การป้อนสัญญาณ 1 จุดให้กับสายอากาศไมโครสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีขนาดใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังรูป 3.8 จะมีการคำนวณขนาดด้านข้างของแผ่นจากสมการ

$$L; W \left(1 + \frac{1}{Q_i}\right) \quad (3-5)$$

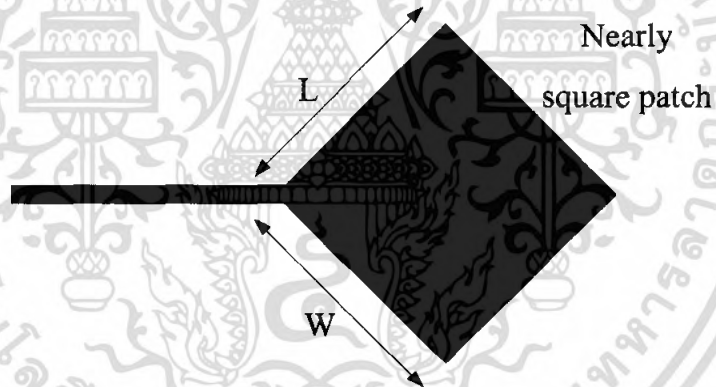
$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_i} \quad (3-6)$$

แต่ในทางปฏิบัติสูตรที่ (3-6) จะไม่นิยมใช้เพราะการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่น (VSWR) จึงทำการปรับเปลี่ยนสมการที่ (3-6) เป็น

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{VSWR - 1}{Q_i \sqrt{VSWR}} \quad (3-7)$$

VSWR คืออัตราส่วนของคลื่นนิ่งที่สะท้อนกลับ (Voltage Standing Wave Ratio)

3.3.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมที่มีจุดป้อนสัญญาณที่ด้านท้ายของแผ่นทองแดง (Microstrip feed)



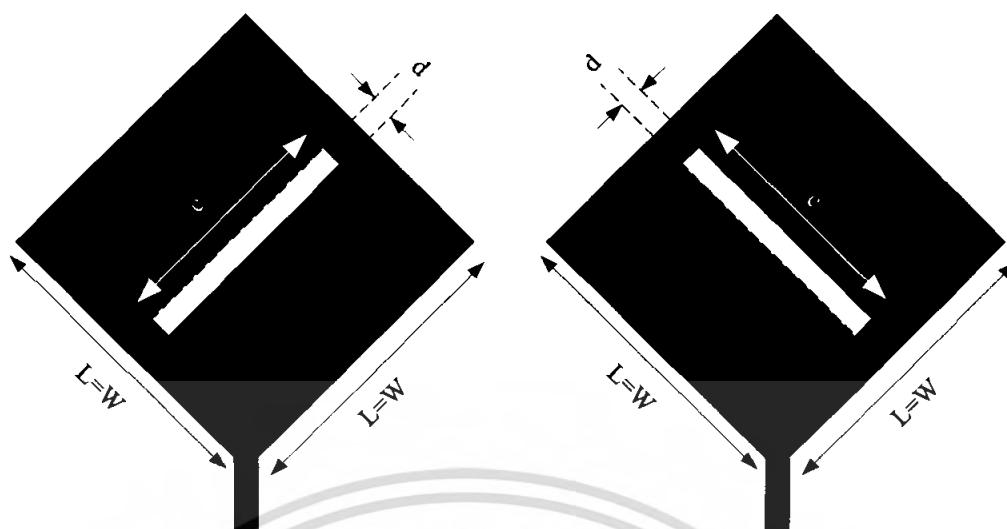
รูปที่ 3.8 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการป้อนสัญญาณ 1 จุดสำหรับการโพลาไรซ์แบบวงกลม

ในโครงการนี้จะออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่มีการป้อนสัญญาณ 1 จุดจากด้านท้าย (Microstrip feed) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 (ก, ข) และด้านล่างของแผ่นทองแดง (Probe feed) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 (ก, ข) โดยทำการตัดช่อง (Slot) ตัดตรงกลางออกเพื่อให้ได้การโพลาไรซ์แบบวงกลมโดยมีการคำนวณขนาดของช่องที่ตัดออกจากสมการ

$$c = \frac{L}{2.72} = \frac{W}{2.72} \quad (3-8)$$

$$d = \frac{c}{10} = \frac{L}{27.2} = \frac{W}{27.2} \quad (3-9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

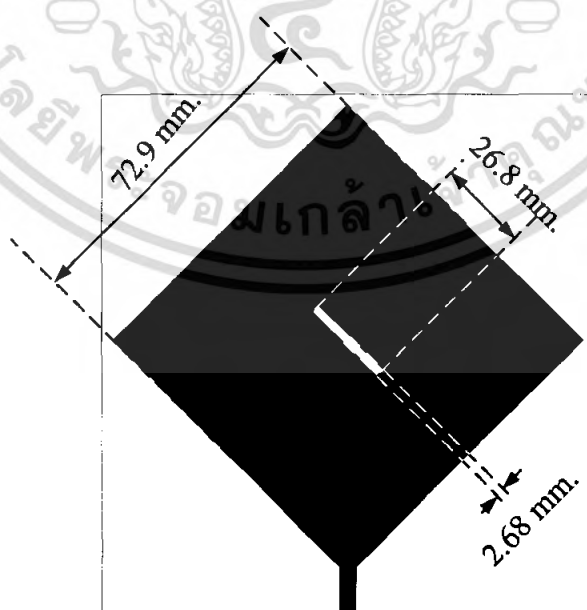


(ก) โฟลาไรซ์แบบหมุนขวา (ข) โฟลาไรซ์แบบหมุนซ้าย
รูปที่ 3.9 สายอากาศไมโครสตริปที่มีรูปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการตัดช่องตรงกลางออก
สำหรับการโฟลาไรซ์แบบวงกลม

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถหาช่องตรงกลางของสายอากาศได้ดังนี้โดยกำหนดขนาดของ
สายอากาศ $L = W = 72.9$ มิลลิเมตร

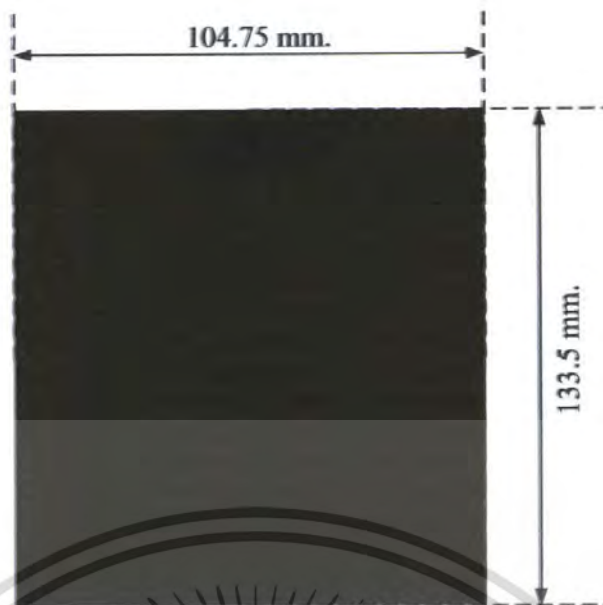
$$c = \frac{72.9}{2.72} = 26.8 \text{ mm.}$$

$$d = \frac{72.9}{27.2} = 2.68 \text{ mm.}$$



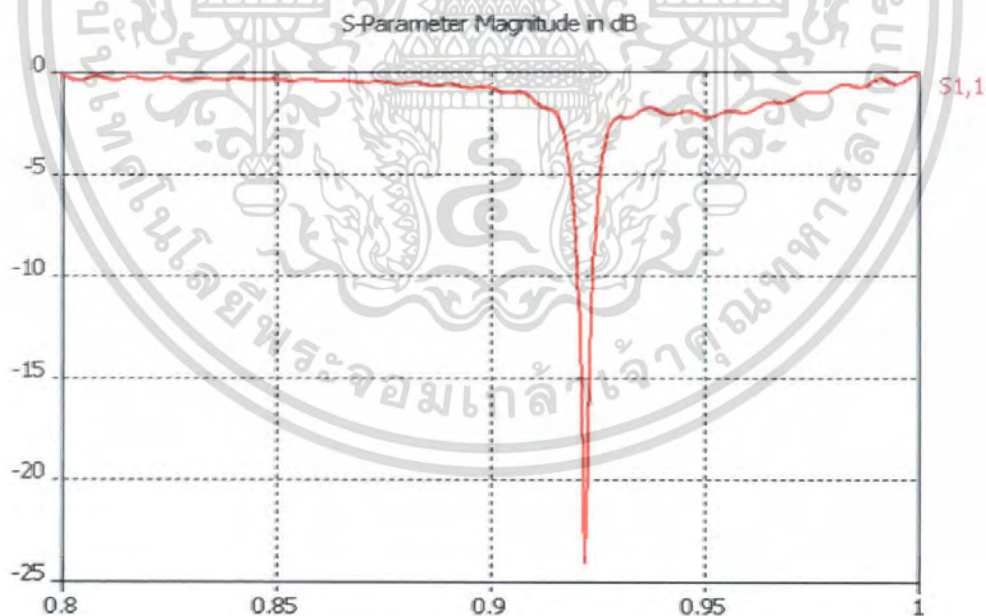
รูปที่ 3.10 รูปแบบสายอากาศด้านหน้าที้ออกแบบด้วยโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปแบบสายอากาศด้านหลังที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST

จากรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าสายอากาศไมโครสตริบที่มีการโพลาริไรซ์แบบวงกลม ชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมถูกออกแบบให้มีกราวด์เพลนอยู่ด้านล่างและเมื่อทำการประมวลผลในโปรแกรมจะได้ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ที่ได้จากโปรแกรม CST

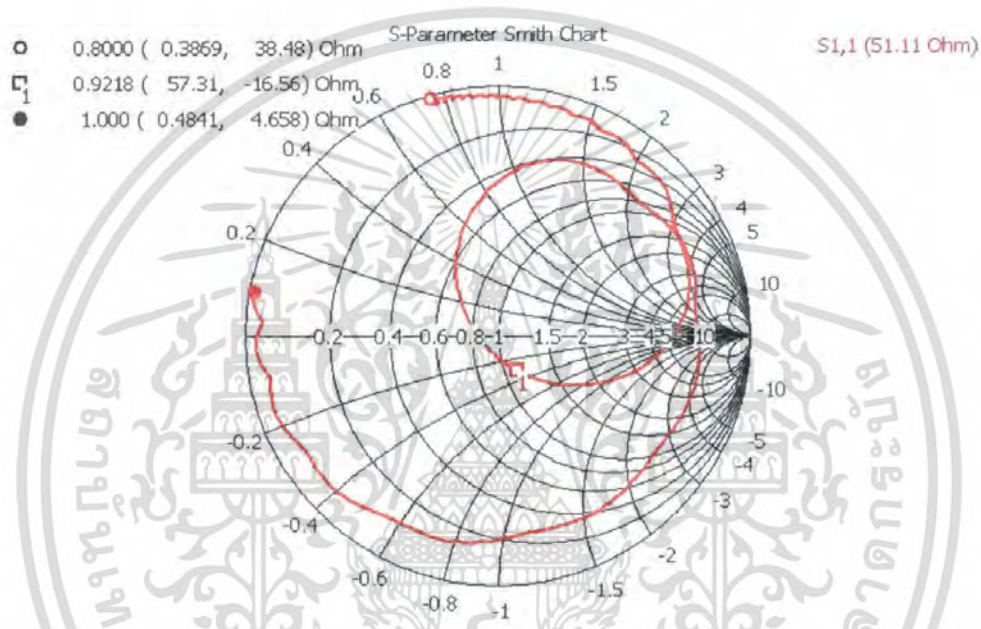
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922 MHz จะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -24 dB

จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิธ

$$BW = \frac{0.0032}{0.922} \times 100 = 0.35\%$$

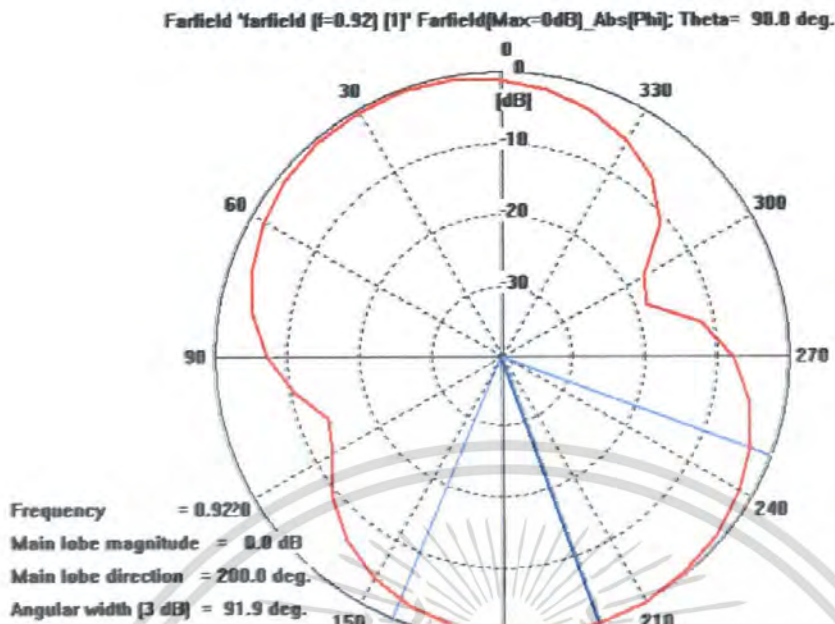
นำสายอากาศที่ทำการออกแบบไปทำการประมวลผลในโปรแกรม CST เพื่อหาค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 922 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.13



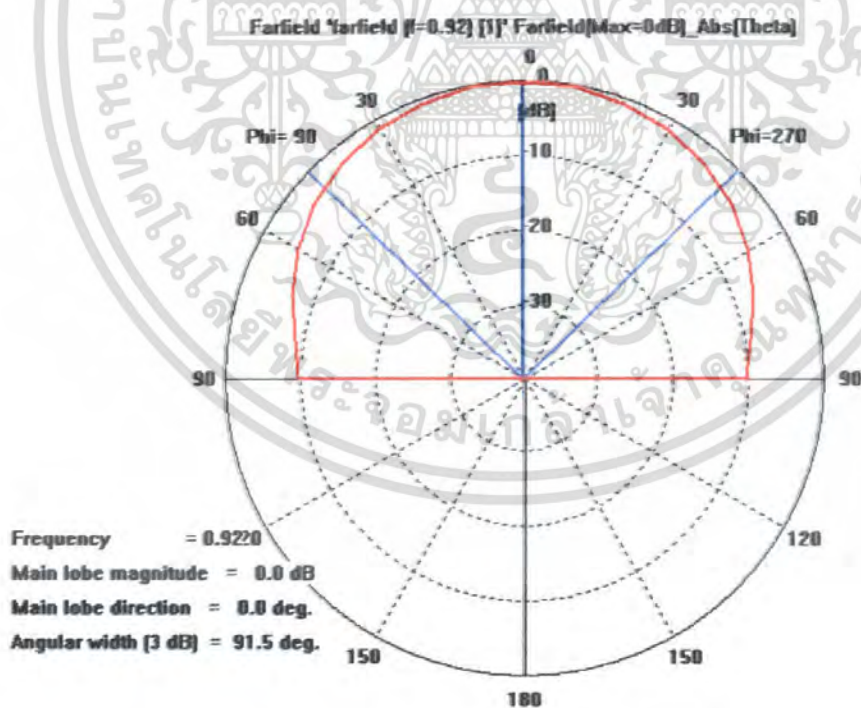
รูปที่ 3.13 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $57.31 - j16.56 \Omega$

แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการ Simulate ในโปรแกรม CST ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15 ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



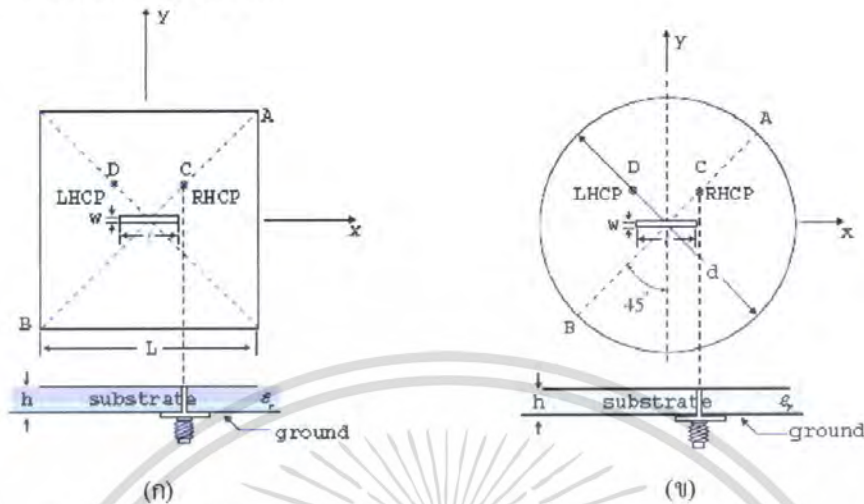
รูปที่ 3.14 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป
 ที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.15 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป
 ที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

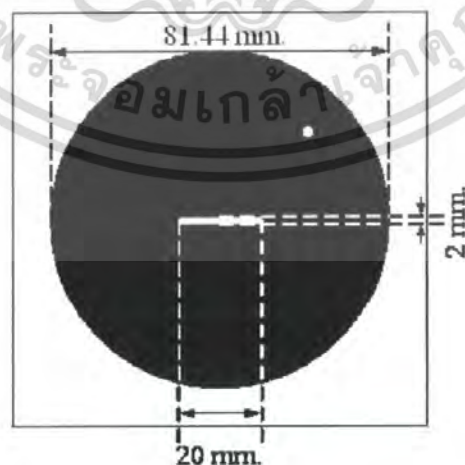
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมที่มีจุดป้อนสัญญาณที่ด้านล่างของแผ่นทองแดง (Probe feed)



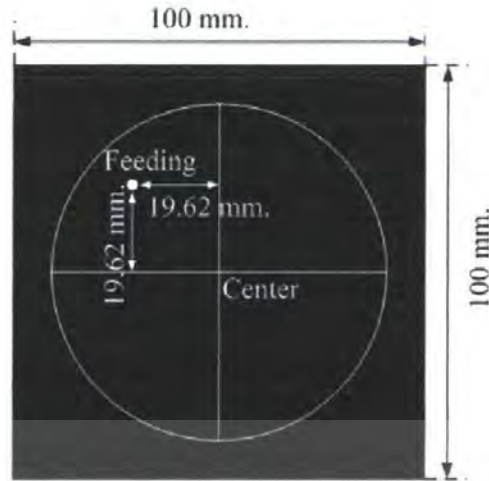
รูปที่ 3.16 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม โดยมีจุดป้อนสัญญาณอยู่ด้านล่างของแผ่นทองแดง ; จุด C คือโพลาไรซ์แบบหมุนขวา จุด D คือโพลาไรซ์แบบหมุนซ้าย (ก) ชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม (ข) ชนิดแผ่นวงกลม

สำหรับการออกแบบสายอากาศชนิดนี้จะใช้แผ่นทองแดงหนา 1.6 มิลลิเมตร (h) และมีค่า ϵ_r เท่ากับ 4.45 ตรงกลางของแผ่นไมโครสตริปจะมีการตัดช่อง (slot) ออกโดยช่องที่ตัดออกจะมีขนาดเล็ก ($l \gg w$) และจะทำมุม 45 องศากับจุดป้อนสัญญาณ หมายความว่าชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมจุดป้อนสัญญาณจะอยู่บนเส้นทแยงมุมและชนิดแผ่นวงกลมจุดป้อนสัญญาณจะอยู่บนเส้นผ่าศูนย์กลางทำมุมกับ slot 45 องศา ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมที่มีจุดป้อนสัญญาณที่ด้านล่างของแผ่นทองแดงชนิดแผ่นวงกลมและได้กำหนดขนาดต่างๆของสายอากาศไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18



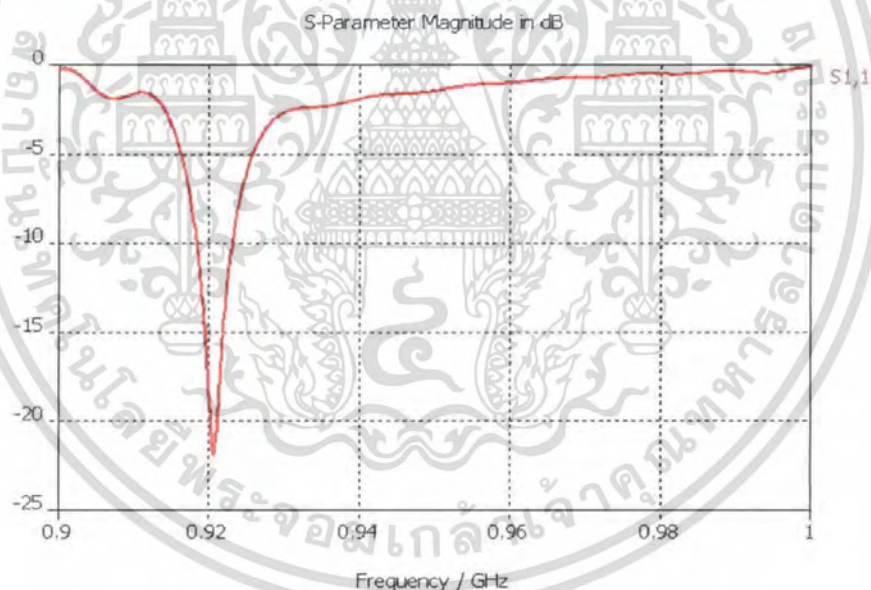
รูปที่ 3.17 รูปแบบสายอากาศด้านหน้าที้ออกแบบด้วยโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 รูปแบบสายอากาศด้านหลังที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST

จากรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 จะเห็นว่าสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม ชนิดแผ่นวงกลมถูกออกแบบให้มีกรวด์เฟลนอยู่ด้านล่างและมีจุดป้อนสัญญาณอยู่ด้านล่างของแผ่นทองแดง เมื่อทำการประมวลผลในโปรแกรมจะได้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 922 MHz ที่ได้จากโปรแกรม CST

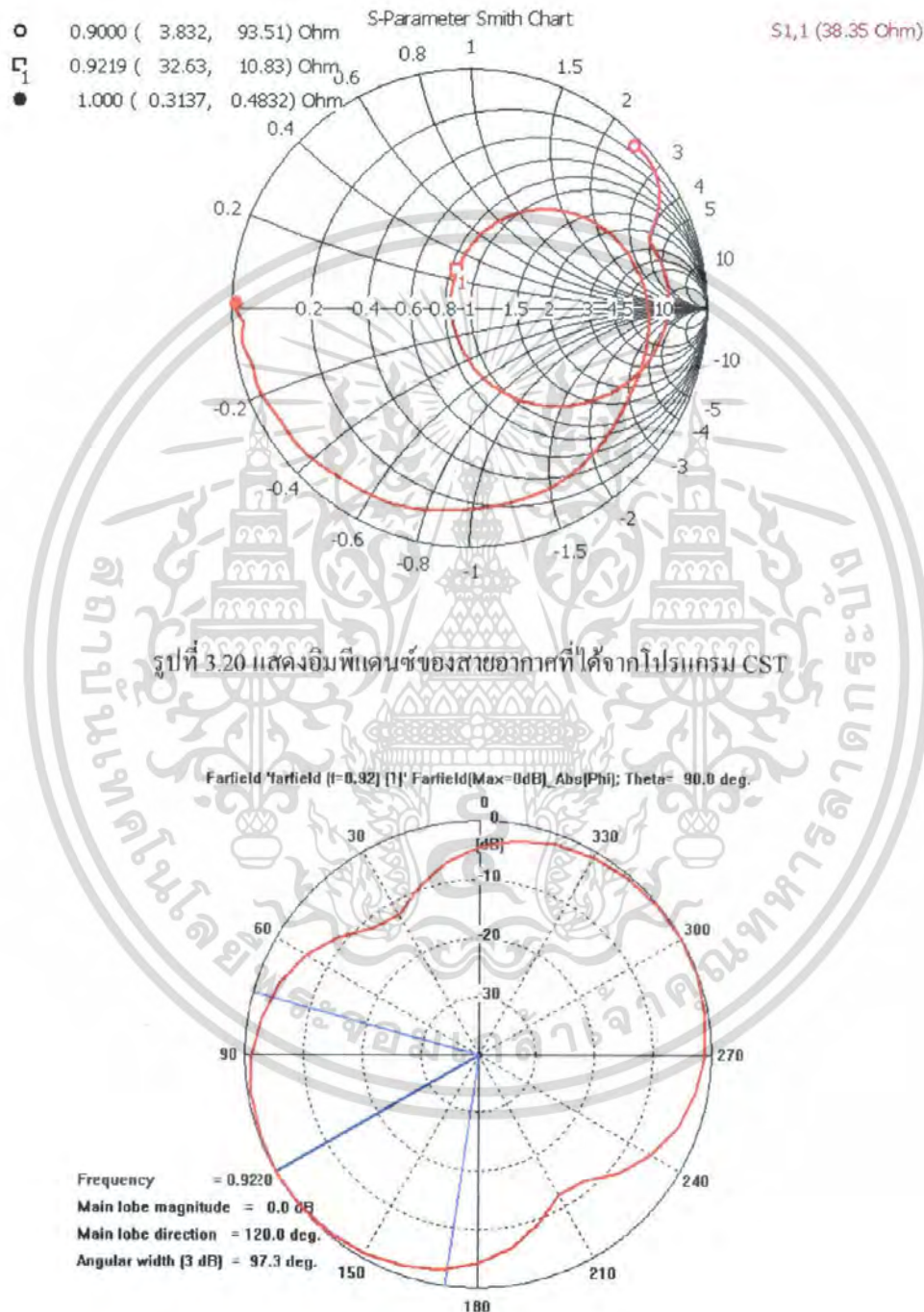
จากรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922 MHz จะมีการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -22 dB

จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิดท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

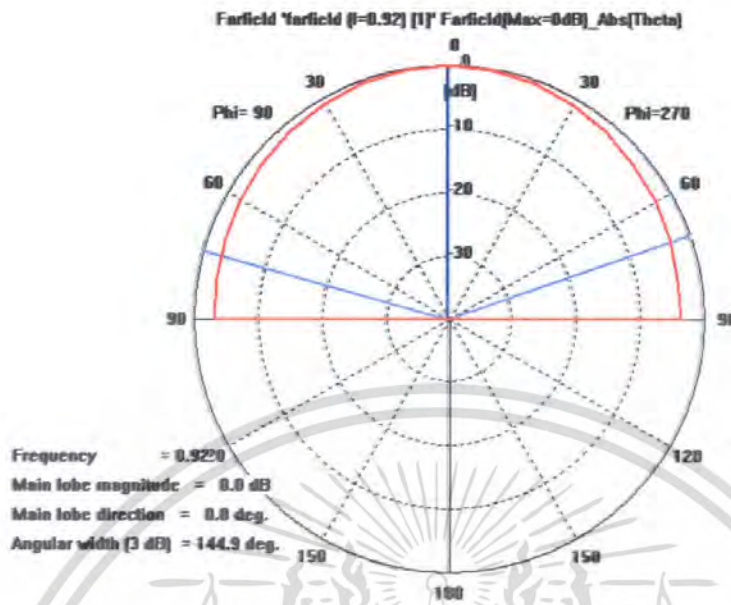
$$BW = \frac{0.0045}{0.922} \times 100 = 0.48\%$$

นำสายอากาศที่ทำการออกแบบไปทำการประมวลผลในโปรแกรม CST เพื่อหาค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 922 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มี
การโพลาริซแบบวงกลมชนิดแผ่วงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แบบรูปการแผ่พลังงาน ในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซแบบวงกลมชนิดแผ่วงกลม

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซแบบวงกลมชนิดแผ่วงกลมที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $32.63 + j10.83 \Omega$

จากรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 คือแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการ Simulate ในโปรแกรม CST ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซแบบวงกลมชนิดแผ่สี่เหลี่ยมทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

3.4 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป

การสร้างสายอากาศไมโครสตริปนั้นจะใช้โปรแกรม CST เพื่อออกแบบรูปร่างและขนาดแล้วทำการ Simulation เพื่อให้ได้ความถี่ที่เราต้องการคือในช่วงระหว่าง 920 MHz – 925 MHz ซึ่งจะต้องทำการปรับแต่งรูปร่างและขนาดให้มีรูปร่างที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด จากนั้นจึงนำขนาดที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ไปวาดลงในโปรแกรม Microsoft Visio เพื่อนำแบบไปสร้างจริงต่อไป

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีสารตัวกลางเป็นชนิดอีพ็อกซี่
2. ขั้วต่อ SMA
3. เลื่อยฉลุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สตีกเกอร์ หรือ แผ่นฟิล์ม
6. กรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
7. หัวแร้ง
8. ตะกั่ว

3.4.2 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม CST และ Microsoft Visio
2. ทำการวาดรูปร่างสายอากาศในโปรแกรม CST
3. จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม CST
4. นำขนาดที่ได้จากโปรแกรม CST มาวาดลงในโปรแกรม Microsoft Visio
5. ทำการแกะลายวงจร
6. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปกัดลายวงจรกับกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
7. นำมาต่อกับขั้ว SMA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองสายอากาศทั้งแบบที่มีการ โพลาริซแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม มีผลการทดลอง ได้แก่ อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Standing - Wave Ratio) ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss) รูปแบบการแผ่พลังงาน (Radiation - Pattern) อัตราส่วนแกน (Axial Ratio) อัตราขยาย (Gain) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) และ ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของสายอากาศดังนี้



รูปที่ 4.1 สายอากาศที่ทำการสร้างขึ้น

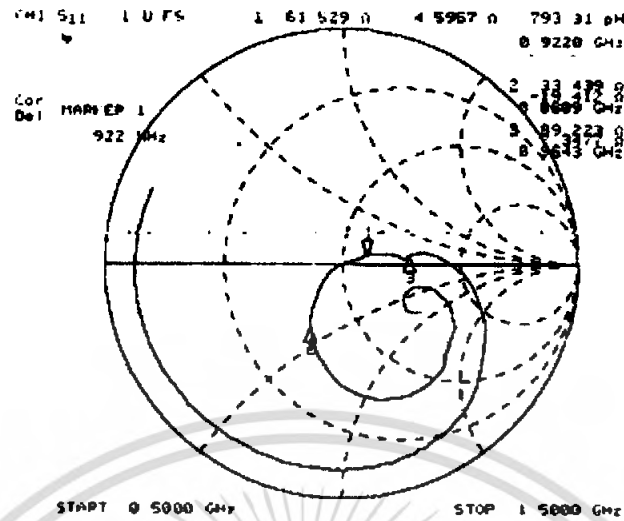
(ก) โพลาริซแบบเชิงเส้น

(ข) โพลาริซแบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

(ค) โพลาริซแบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

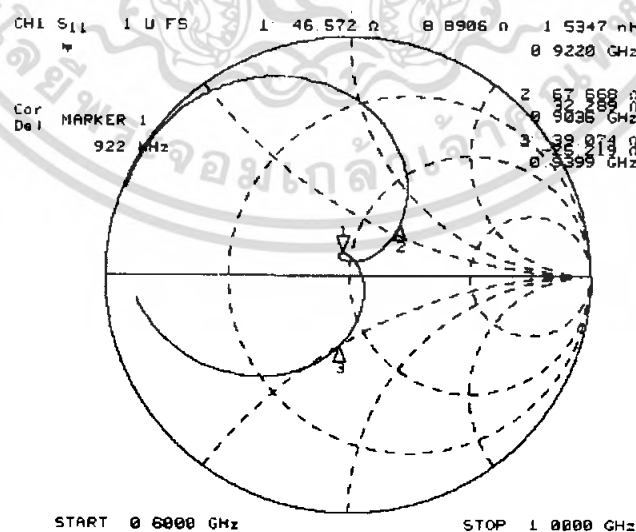
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า



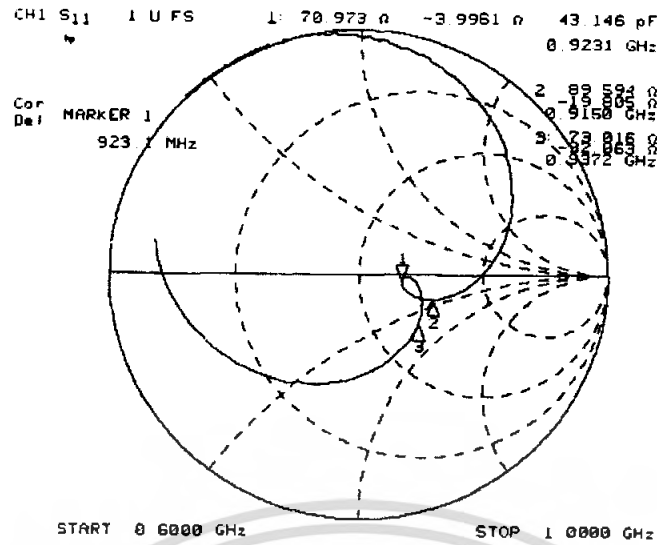
รูปที่ 4.2 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบเชิงเส้น

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ $61.5 + j4.6 \Omega$ ที่ความถี่ 922 MHz ซึ่งไม่ตรงกับการออกแบบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบเชิงเส้นใน โปรแกรม CST เนื่องจากในขั้นตอนการสร้างสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีข้อผิดพลาดในขั้นตอนการสร้างขึ้นทำให้ขนาดของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบเชิงเส้นไม่ตรงกับขนาดที่ออกแบบ จึงทำให้สายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีอิมพีแดนซ์ด้านเข้าไม่เท่ากับผลที่ได้จากการ Simulate จากโปรแกรม CST ซึ่งก็เป็นปัญหาเดียวกันที่เกิดขึ้นกับการสร้างสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบวงกลม



รูปที่ 4.3 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โฟลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

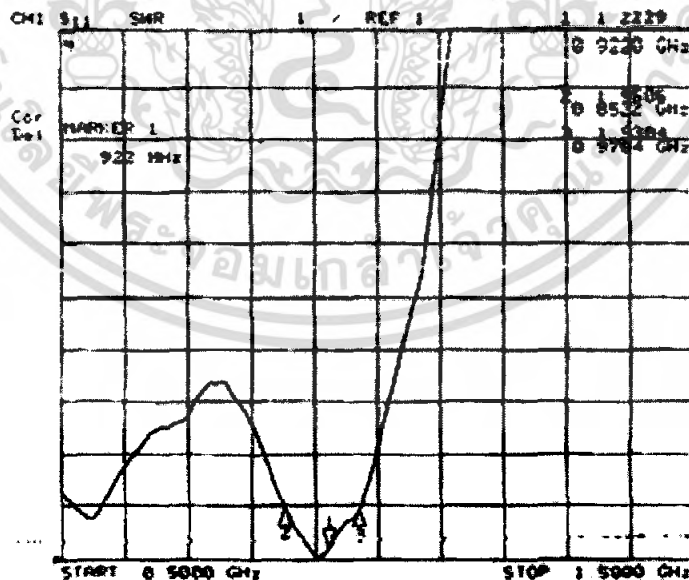


รูปที่ 4.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงผลของอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าเท่ากับ $46.572 + j8.89 \Omega$ และชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ $70.973 - j3.99 \Omega$ ที่ความถี่ 922 MHz

4.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นแสดงในรูปที่ 4.5

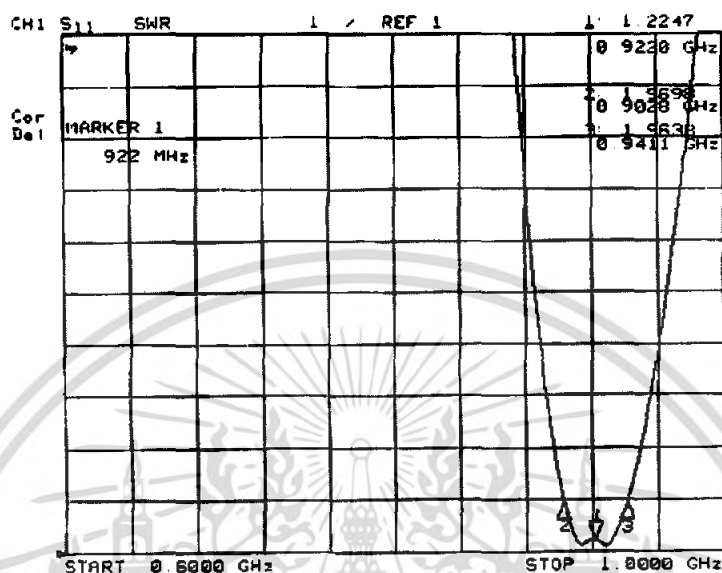


รูปที่ 4.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น

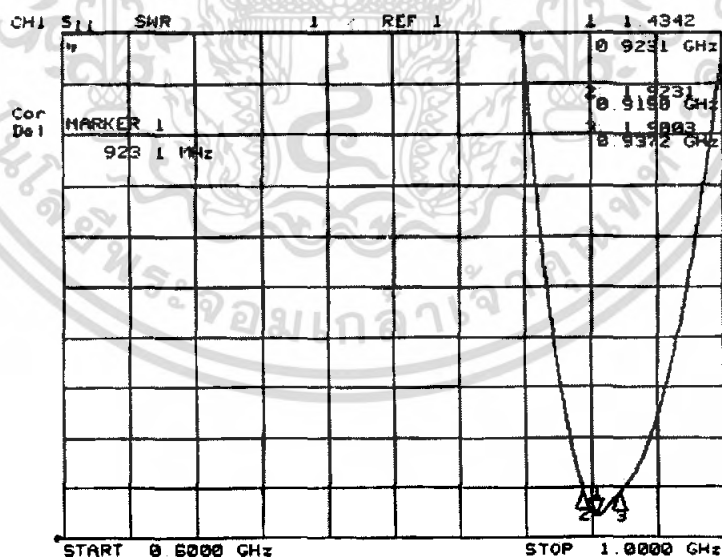
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นมีค่าอัตราส่วนเท่ากับ 1.2229 : 1 ที่ความถี่ 922 MHz

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม



รูปที่ 4.7 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

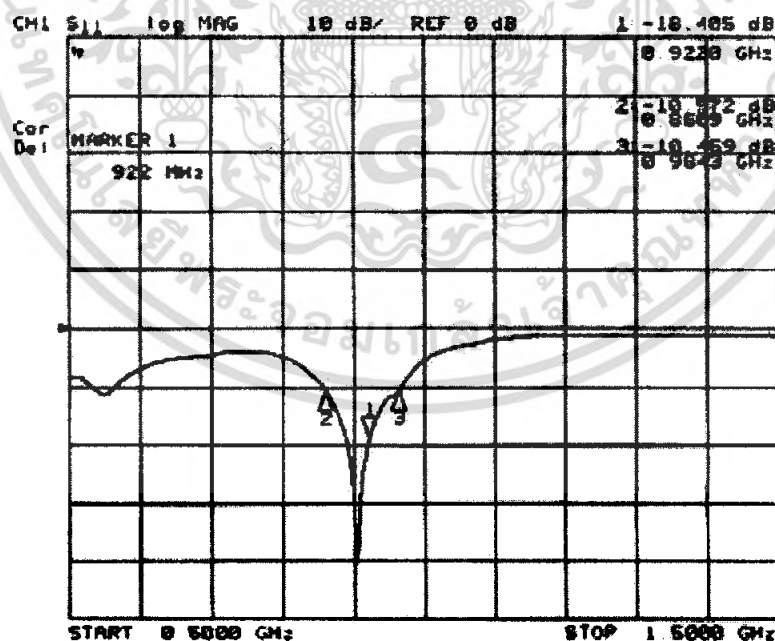
จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าอัตราส่วนเท่ากับ 1.2247: 1 และชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าอัตราส่วนเท่ากับ 1.432: 1 ที่ความถี่ 922 MHz

จากรูปที่ 4.5 – 4.6 และรูปที่ 4.7 เป็นอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศที่ออกแบบ ซึ่งสายอากาศในอุดมคตินั้นเมื่ออิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศและสายนำสัญญาณเท่ากันจะทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 จากผลการทดลองอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 1.2229 : 1 และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 1.2247: 1 และ 1.432: 1 ตามลำดับจะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบเชิงเส้น มีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับ 1 มากกว่าสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลม

4.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อการออกแบบสายอากาศทั้งแบบที่มีการโพลารไรซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลม ถ้าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าน้อยแสดงว่าสายอากาศสามารถรับกำลังงานไว้ได้หมดและไม่มีคลื่นสะท้อนกลับ

ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบเชิงเส้นแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบเชิงเส้น

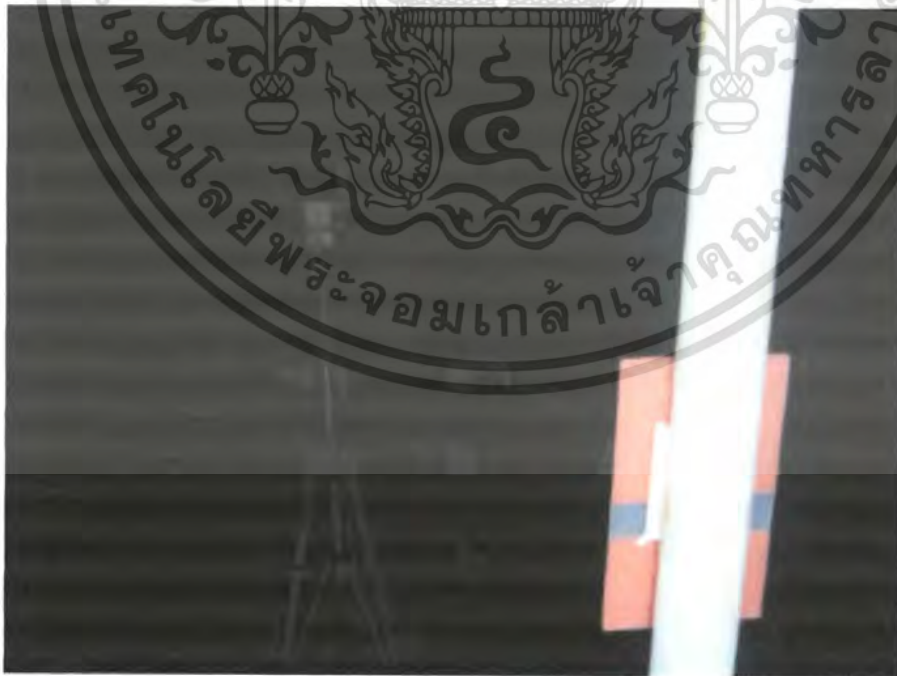
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 แสดงความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโคร-สตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าเท่ากับ -20.25 dB และชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ -15.153 dB ที่ความถี่ 922 MHz

จากรูปที่ 4.8 – 4.9 และรูปที่ 4.10 เป็นความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากผลการทดลองความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ -18.405 dB และความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ -20.25 dB และ -15.153 dB ตามลำดับ

4.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นรูปภาพที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายหรือรับคลื่นในทิศทางต่างๆของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ซึ่งจากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยการปรับมุมมองของสายอากาศทางด้านรับครั้งละ 10 องศาในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กและบันทึกกำลังงานที่วัดได้ จากนั้นนำกำลังงานที่ได้มาเขียนลงในกราฟเชิงขั้ว จากการทดลองได้ตั้งสายอากาศส่งและรับให้ห่างกัน 40 เซนติเมตรสำหรับสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น และ 100 เซนติเมตรสำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมเท่ากันทั้งการวัดในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.11 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริป

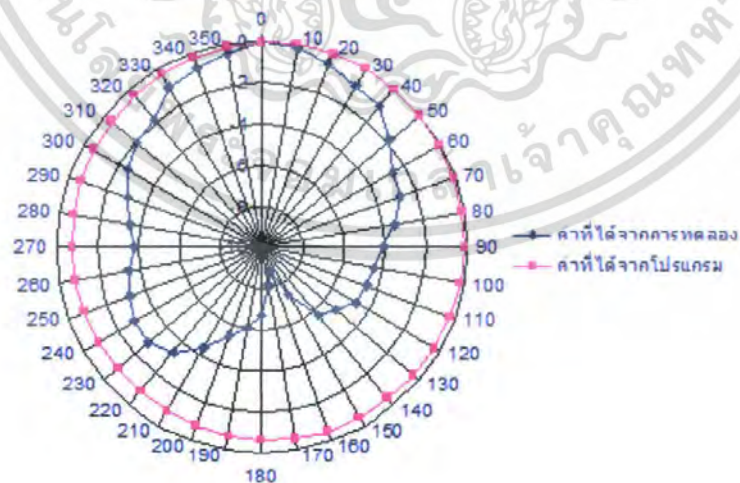
ที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)
ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized
0	-32.38	0	120	-37.07	-4.69	240	-35.24	-2.86
10	-32.57	-0.19	130	-37.68	-5.3	250	-35.58	-3.2
20	-32.93	-0.55	140	-38.02	-5.64	260	-35.82	-3.44
30	-33.28	-0.9	150	-39.77	-7.39	270	-36.15	-3.77
40	-33.49	-1.11	160	-41.22	-8.84	280	-35.92	-3.54
50	-34.27	-1.89	170	-40.5	-8.12	290	-35.39	-3.01
60	-35.08	-2.7	180	-39.04	-6.66	300	-34.78	-2.4
70	-35.23	-2.85	190	-38.37	-5.99	310	-34.47	-2.09
80	-35.82	-3.44	200	-37.84	-5.46	320	-34.22	-1.84
90	-36.46	-4.08	210	-36.74	-4.36	330	-33.36	-0.98
100	-36.84	-4.46	220	-35.71	-3.33	340	-33.16	-0.78
110	-36.92	-4.54	230	-35.17	-2.79	350	-32.88	-0.5

จากตารางที่ 4.1 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น ที่ได้แสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริป
ที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



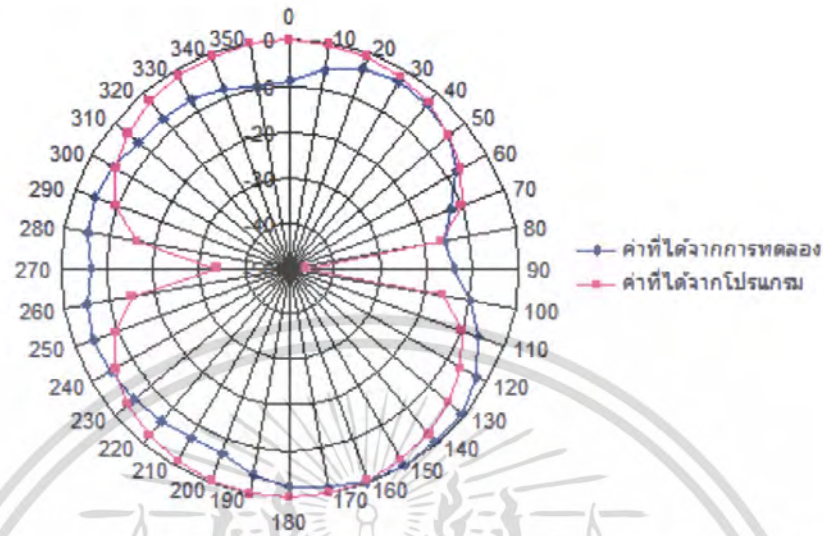
รูปที่ 4.13 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสตริป
ที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

ตารางที่ 4.2 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane)
ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized
0	-37.51	-8.64	120	-31.59	-2.72	240	-33.76	-4.89
10	-34.66	-5.79	130	-29.67	-0.8	250	-33.09	-4.22
20	-32.27	-3.4	140	-29.15	-0.28	260	-33.78	-4.91
30	-31.36	-2.49	150	-28.87	0	270	-34.3	-5.43
40	-31.9	-3.03	160	-29.22	-0.35	280	-34.02	-5.15
50	-33.29	-4.42	170	-30.1	-1.23	290	-33.8	-4.93
60	-36.28	-7.41	180	-31.22	-2.35	300	-34.54	-5.67
70	-41.21	-12.34	190	-32.97	-4.1	310	-35.65	-6.78
80	-44.51	-15.64	200	-35.74	-6.87	320	-36.05	-7.18
90	-42.98	-14.11	210	-35.91	-7.04	330	-36.16	-7.29
100	-38.5	-9.63	220	-35.23	-6.36	340	-37.13	-8.26
110	-35.01	-6.14	230	-34.28	-5.41	350	-38.54	-9.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีกรโพลาริซแบบเชิงเส้นที่ได้แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีกรโพลาริซแบบเชิงเส้น

จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.14 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในสนามไฟฟ้าและในสนามแม่เหล็กตามลำดับ ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีกรโพลาริซแบบเชิงเส้น จากผลการทดลองในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีกรโพลาริซแบบเชิงเส้นมีความกว้างลำ (Beamwidth) เท่ากับ 130 องศา และ ในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีกรโพลาริซแบบเชิงเส้นมีความกว้างลำเท่ากับ 60 องศา

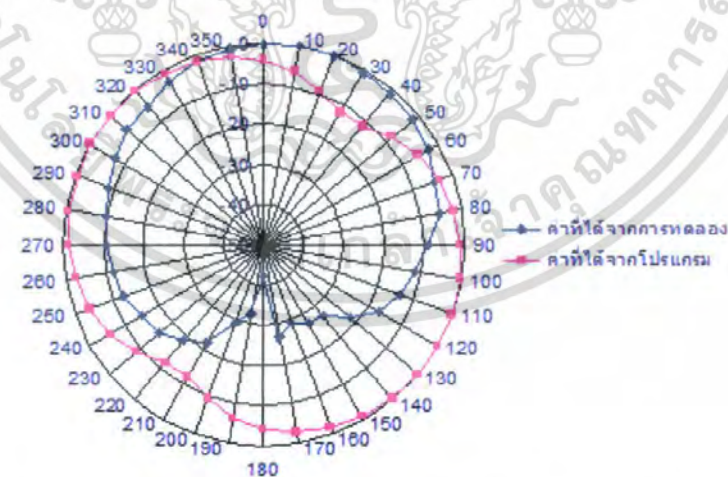


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.15 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีกรโพลาริซแบบเชิงเส้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

ตารางที่ 4.3 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)
สายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

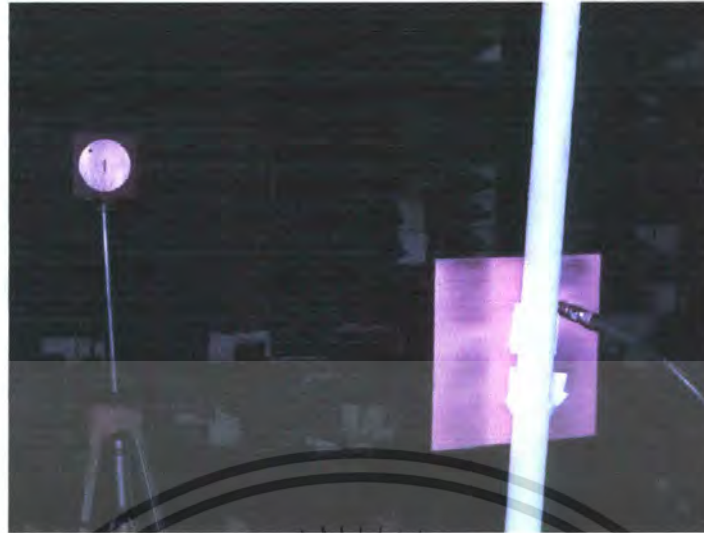
มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized
1	-33.65	-0.28	120	-50.42	-17.05	240	-48.52	-15.15
10	-33.37	0	130	-55.37	-22	250	-46.47	-13.1
20	-33.54	-0.17	140	-60.41	-27.04	260	-45.32	-11.95
30	-34.15	-0.78	150	-61.25	-27.88	270	-44.35	-10.98
40	-34.52	-1.15	160	-62.53	-29.16	280	-43.51	-10.14
50	-35.13	-1.76	170	-60.04	-26.67	290	-42.24	-8.87
60	-36.31	-2.94	180	-75.47	-42.1	300	-40.77	-7.4
70	-38.23	-4.86	190	-65.78	-32.41	310	-39.15	-5.78
80	-39.15	-5.78	200	-63.03	-29.66	320	-38.75	-5.38
90	-42.57	-9.2	210	-55.09	-21.72	330	-36.42	-3.05
100	-45.03	-11.66	220	-52.51	-19.14	340	-34.92	-1.55
110	-47.36	-13.99	230	-49.72	-16.35	350	-34.12	-0.75

จากตารางที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมที่ได้แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป
ที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



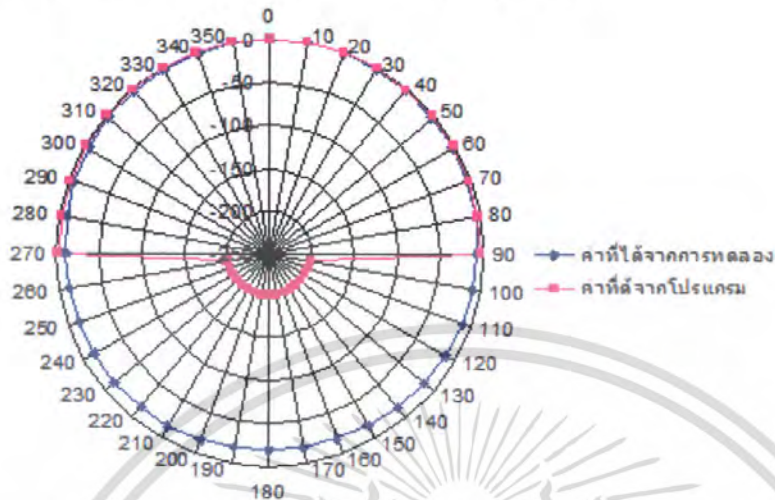
รูปที่ 4.17 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized
0	-33.34	0	120	-45.47	-12.13	240	-47.06	-13.72
10	-33.54	-0.2	130	-47.32	-13.98	250	-46.67	-13.33
20	-33.91	-0.57	140	-48.95	-15.61	260	-45.93	-12.59
30	-34.52	-1.18	150	-51.12	-17.78	270	-45.12	-11.78
40	-35.36	-2.02	160	-52.54	-19.2	280	-43.23	-9.89
50	-36.37	-3.03	170	-52.23	-18.89	290	-40.75	-7.41
60	-37.23	-3.89	180	-52.78	-19.44	300	-38.83	-5.49
70	-38.52	-5.18	190	-52.1	-18.76	310	-37.23	-3.89
80	-39.42	-6.08	200	-50.13	-16.79	320	-36.15	-2.81
90	-40.71	-7.37	210	-49.39	-16.05	330	-35.15	-1.81
100	-42.13	-8.79	220	-48.97	-15.63	340	-34.58	-1.24
110	-43.66	-10.32	230	-48.17	-14.83	350	-33.97	-0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมที่ได้แสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

จากรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.18 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในสนามไฟฟ้าและในสนามแม่เหล็กตามลำดับ ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม จากผลการทดลองในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีความกว้างลำ (Beamwidth) เท่ากับ 80 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีความกว้างลำเท่ากับ 80 องศา



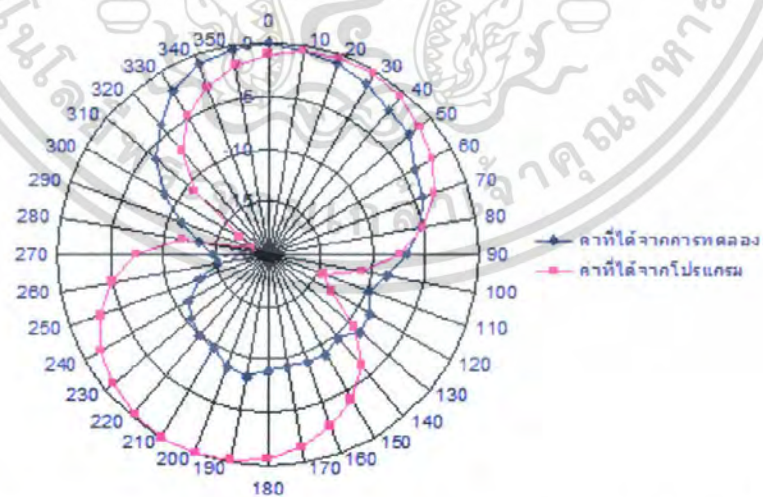
รูปที่ 4.19 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)
สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized
0	-38.6	0	120	-47.51	-8.91	240	-49.93	-11.33
10	-39.12	-0.52	130	-47.18	-8.58	250	-51.74	-13.14
20	-39.42	-0.82	140	-48.24	-9.64	260	-53.59	-14.99
30	-40.04	-1.44	150	-47.56	-8.96	270	-53.41	-14.81
40	-40.81	-2.21	160	-47.72	-9.12	280	-51.94	-13.34
50	-41.21	-2.61	170	-47.87	-9.27	290	-49.86	-11.26
60	-42.52	-3.92	180	-47.65	-9.05	300	-47.33	-8.73
70	-43.01	-4.41	190	-46.87	-8.27	310	-44.68	-6.08
80	-43.86	-5.26	200	-47.26	-8.66	320	-42.57	-3.97
90	-45.51	-6.91	210	-48.36	-9.76	330	-40.77	-2.17
100	-47.23	-8.63	220	-48.55	-9.95	340	-39.46	-0.86
110	-48.35	-9.75	230	-49.14	-10.54	350	-39.03	-0.43

จากตารางที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ได้แสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป
ที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



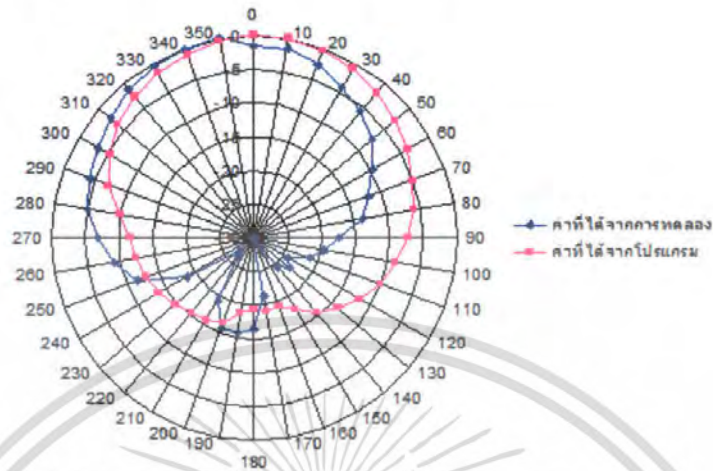
รูปที่ 4.21 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป
ที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 4.6 ค่าที่วัดได้ของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane)
ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่ วัดได้ (dB)	Normalized
0	-36.74	-1.63	120	-59.38	-24.27	240	-53.96	-18.85
10	-36.82	-1.71	130	-58.12	-23.01	250	-46.97	-11.86
20	-37.95	-2.84	140	-59.55	-24.44	260	-44.23	-9.12
30	-39.35	-4.24	150	-63.14	-28.03	270	-42.07	-6.96
40	-40.71	-5.6	160	-65.03	-29.92	280	-40.34	-5.23
50	-42.44	-7.33	170	-56.53	-21.42	290	-39.51	-4.4
60	-44.92	-9.81	180	-51.73	-16.62	300	-38.54	-3.43
70	-47.13	-12.02	190	-51.02	-15.91	310	-37.73	-2.62
80	-49.15	-14.04	200	-50.89	-15.78	320	-36.65	-1.54
90	-52.53	-17.42	210	-54.44	-19.33	330	-35.92	-0.81
100	-54.56	-19.45	220	-61.57	-26.46	340	-35.41	-0.3
110	-56.32	-21.21	230	-62.31	-27.2	350	-35.11	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ได้แสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.22 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในสนามไฟฟ้าและในสนามแม่เหล็กตามลำดับของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม จากผลการทดลองในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีความกว้างลำ (Beamwidth) เท่ากับ 80 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีความกว้างลำเท่ากับ 70 องศา

4.1.5 อัตราส่วนแกน

อัตราส่วนแกน (Axial ratio) จะบ่งบอกว่าสายอากาศจะมีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบใด ในการทดลองนี้ได้อัตราส่วนแกนโดยมีสายอากาศมาตรฐานคือสายอากาศไดโพลดังแสดงในรูปที่ 4.23



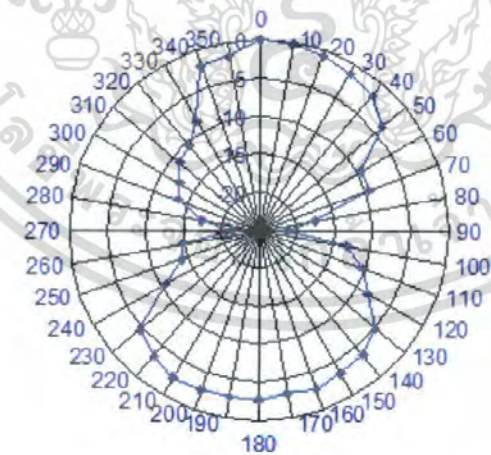
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 การวัดอัตราส่วนแกน

ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราส่วนเกณฑ์วัดได้ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized
0	-31.02	0	120	-39.54	8.52	240	-41.88	10.86
10	-31.17	0.15	130	-35.91	4.89	250	-45.07	14.05
20	-31.71	0.69	140	-34.57	3.55	260	-45.78	14.76
30	-32.26	1.24	150	-34.22	3.2	270	-52.39	21.37
40	-33.04	2.02	160	-33.86	2.84	280	-48.23	17.21
50	-34.94	3.92	170	-34.26	3.24	290	-44.53	13.51
60	-40.35	9.33	180	-33.79	2.77	300	-43.94	12.92
70	-40.57	9.55	190	-33.8	2.78	310	-42.18	11.16
80	-48.47	17.45	200	-33.67	2.65	320	-41.69	10.67
90	-52.16	21.14	210	-33.63	2.61	330	-39.61	8.59
100	-44.25	13.23	220	-34.49	3.47	340	-33.17	2.15
110	-41.51	10.49	230	-35.77	4.75	350	-32.79	1.77

จากตารางที่ 4.7 อัตราส่วนเกณฑ์ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นที่ได้ จะแสดงดังรูปที่ 4.24



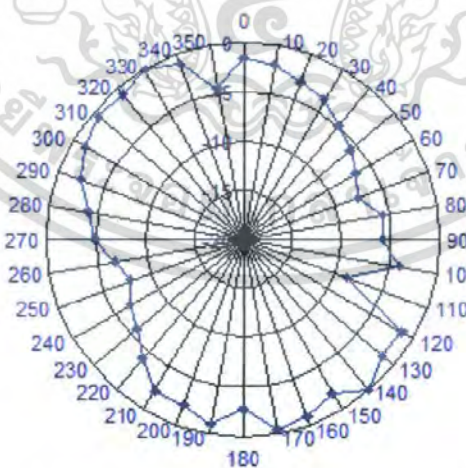
รูปที่ 4.24 อัตราส่วนเกณฑ์ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าอัตราส่วนแอมที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม ชนิดแผ่นวงกลม

มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized
0	-35.21	1.56	120	-35.03	1.38	240	-40.39	6.74
10	-35.71	2.06	130	-35.18	1.53	250	-41.38	7.73
20	-36.66	3.01	140	-33.65	0	260	-40.47	6.82
30	-37.4	3.75	150	-35.57	1.92	270	-38.51	4.86
40	-38.74	5.09	160	-34.45	0.8	280	-37.51	3.86
50	-39.51	5.86	170	-34.07	0.42	290	-36.11	2.46
60	-40.62	6.97	180	-36.44	2.79	300	-35.15	1.5
70	-41.21	7.56	190	-34.7	1.05	310	-34.32	0.67
80	-39.33	5.68	200	-35.74	2.09	320	-34.51	0.86
90	-39.54	5.89	210	-35.89	2.24	330	-33.85	0.2
100	-37.51	3.86	220	-37.78	4.13	340	-34.65	1
110	-42.44	8.79	230	-39.58	5.93	350	-38.11	4.46

จากตารางที่ 4.8 อัตราส่วนแอมของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.25



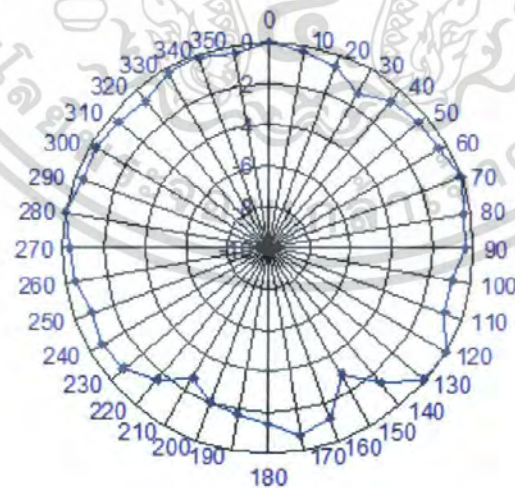
รูปที่ 4.25 อัตราส่วนแอมของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าอัตราส่วนแคนที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม ชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized	มุม (องศา)	ค่าที่วัดได้ (dB)	Normalized
0	-34.54	0.03	120	-34.52	0.01	240	-35.17	0.66
10	-34.76	0.25	130	-34.55	0.04	250	-35.41	0.9
20	-35.13	0.62	140	-35.95	1.44	260	-35.02	0.51
30	-35.83	1.32	150	-37.44	2.93	270	-34.87	0.36
40	-35.27	0.76	160	-35.68	1.17	280	-34.51	0
50	-34.89	0.38	170	-35.27	0.76	290	-34.95	0.44
60	-34.95	0.44	180	-35.97	1.46	300	-34.76	0.25
70	-34.53	0.02	190	-36.31	1.8	310	-34.9	0.39
80	-34.86	0.35	200	-36.51	2	320	-35.19	0.68
90	-34.91	0.4	210	-37.22	2.71	330	-34.73	0.22
100	-35.43	0.92	220	-36.14	1.63	340	-34.63	0.12
110	-35.36	0.85	230	-35.37	0.86	350	-34.91	0.4

จากตารางที่ 4.9 อัตราส่วนแคนที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 อัตราส่วนแคนที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 – 4.25 และรูปที่ 4.26 สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนแแกน (AR) ได้จากสมการที่ (2-15) โดยสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมี $AR = 21.37$ dB สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมี $AR = 8.79$ dB และ $AR = 2.93$ dB ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนแแกนของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 dB ถึง 3 dB ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมรับได้ว่าเป็นการโพลาไรซ์แบบวงกลมส่วนสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีอัตราส่วนแแกนที่เกิน 3 dB จึงถือได้ว่าเป็นการโพลาไรซ์แบบวงรี

4.1.6 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศเป็นความสามารถในการส่งหรือรับคลื่นของสายอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศมาตรฐาน แต่ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถหาสายอากาศมาตรฐานในการทดลองได้ จึงใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในการทดลองผลของอัตราขยายที่สามารถคำนวณได้จะเป็นอัตราขยายของสายอากาศทั้งส่งและรับ ดังนั้นอัตราขยายจริงของสายอากาศจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราขยายของสายอากาศที่คำนวณได้ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.1) ดังนี้

$$G_R (dBi) = \frac{P_R (dBm) - P_T (dBm) + L_{\pi} (dB) + L_S (dB) + L_{\pi R} (dB)}{2} \quad (4-1)$$

โดย $G_R (dBi)$ คือ อัตราขยายของสายอากาศ

$P_R (dBm)$ คือ กำลังงานที่เครื่องได้รับ

$P_T (dBm)$ คือ กำลังงานที่เครื่องส่ง

$L_{\pi} (dB)$ คือ กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งด้านฝั่งส่ง

$L_{\pi R} (dB)$ คือ กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งด้านฝั่งรับ

$L_S (dB)$ คือ กำลังงานที่สูญเสียในอากาศ (Free Space Loss)

โดยที่ $L_S (dB)$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L_S (dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (4-2)$$

จากการทดลองวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นที่ความถี่ 922 MHz จะมีค่า $\lambda = 0.325m$ และระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ $d = 40$ cm. ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

$$P_R (dBm) = -32.38 \text{ dBm}$$

$$P_T (dBm) = 0 \text{ dBm}$$

$$L_S (dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 40 \times 10^{-2}}{0.325} \right) = 23.788 \text{ dB}$$

$$L_{\pi} (dB) = 0 \text{ dB}$$

$$L_{\pi R} (dB) = 0 \text{ dB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองได้ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่ปลายสายนำสัญญาณทางด้านส่งและรับ เสร็จแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างไปแทนในสมการที่ (4-1)

$$G_R (dBi) = \frac{-32.38 + 23.788}{2} = -4.3dBi$$

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเท่ากับ -4.3 dBi

จากการทดลองสามารถหาค่าอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและแบบสี่เหลี่ยมได้ซึ่งขณะที่วัดได้ตั้งระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ 100 เซนติเมตรและนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาคำนวณได้ดังนี้

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

$$P_R (dBm) = -33.34 \text{ dBm}$$

$$P_T (dBm) = 0 \text{ dBm}$$

$$L_S (dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 100 \times 10^{-2}}{0.325} \right) = 31.747 \text{ dB}$$

$$L_{JT} (dB) = 0 \text{ dB}$$

$$L_{JR} (dB) = 0 \text{ dB}$$

เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองได้ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่ปลายสายนำสัญญาณทางด้านส่งและรับ เสร็จแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างไปแทนในสมการที่ (4-1)

$$G_R (dBi) = \frac{-33.34 + 31.747}{2} = -0.8dBi$$

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมเท่ากับ -0.8 dBi

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดสี่เหลี่ยม

$$P_R (dBm) = -38.6 \text{ dBm}$$

$$P_T (dBm) = 0 \text{ dBm}$$

$$L_S (dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi \times 100 \times 10^{-2}}{0.325} \right) = 31.747 \text{ dB}$$

$$L_{JT} (dB) = 0 \text{ dB}$$

$$L_{JR} (dB) = 0 \text{ dB}$$

เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองได้ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่ปลายสายนำสัญญาณทางด้านส่งและรับ เสร็จแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างไปแทนในสมการที่ (4-1)

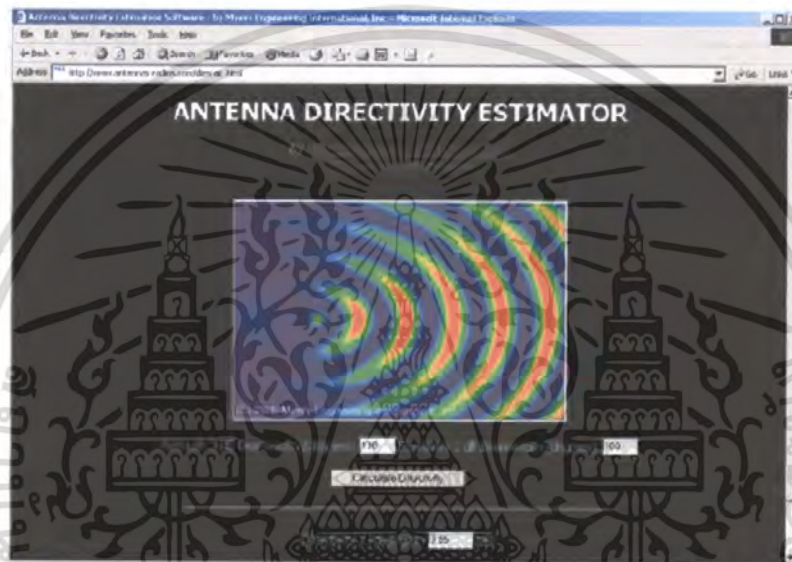
$$G_R (dBi) = \frac{-38.6 + 31.747}{2} = -3.43dBi$$

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมเท่ากับ -3.43 dBi

4.1.7 สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ของสายอากาศสามารถหาได้จากความกว้างลำของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศที่สร้างขึ้นทั้งแบบที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลม โดยนำความกว้างลำของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมาคำนวณหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางด้วย โปรแกรมสำเร็จรูปจากเว็บไซต์

<http://www.antennas-radios.com/direcalc.html>



รูปที่ 4.27 โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณหาสภาพเจาะจงทิศทาง

ความกว้างลำของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบแผ่นสกริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น สามารถคำนวณหาสภาพเจาะจงทิศทางได้ดังนี้

$$D_1 = \text{ค่าความกว้างลำของระนาบสนามไฟฟ้า} = 130 \text{ องศา}$$

$$D_2 = \text{ค่าความกว้างลำของระนาบสนามแม่เหล็ก} = 60 \text{ องศา}$$

$$D(\text{dBi}) = 6.07 \text{ dBi}$$

ดังนั้นสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศของสายอากาศแบบแผ่นสกริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 6.07 dBi

ในทำนองเดียวกันเราสามารถคำนวณหาสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไมโครสกริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมจากโปรแกรมสำเร็จรูปได้ดังนี้

สายอากาศไมโครสกริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

$$D_1 = \text{ค่าความกว้างลำของระนาบสนามไฟฟ้า} = 80 \text{ องศา}$$

$$D_2 = \text{ค่าความกว้างลำของระนาบสนามแม่เหล็ก} = 80 \text{ องศา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสภาพเจาะงทศทางของสายอากาศของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิด
แผ่นวงกลมมีค่าเท่ากับ 6.92 dBi

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

D_1 = ค่าความกว้างลำของระนาบสนามไฟฟ้า = 80 องศา

D_2 = ค่าความกว้างลำของระนาบสนามแม่เหล็ก = 70 องศา

$D(dB) = 7.5$ dBi

ดังนั้นสภาพเจาะงทศทางของสายอากาศของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิด
แผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 7.5 dBi

4.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

จากผลการทดลองอัตราขยายของสายอากาศและสภาพเจาะงทศทางของสายอากาศสามารถหา
ประสิทธิภาพของสายอากาศได้จากสมการที่ (4-3) ดังนี้

$$e_r = \frac{G_r}{D_0} \times 100\% \quad (4-3)$$

โดยที่ G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศ

D คือ สภาพเจาะงทศทาง

จากผลการทดลองสามารถหาประสิทธิภาพของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบ
เชิงเส้นได้ดังนี้

$G_r = -4.3$ dBi = 0.37

$D = 6.07$ dBi = 4.05

$$e_r = \frac{0.37}{4.05} \times 100\% = 9.13\%$$

จากผลการทดลองสามารถหาประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบ
วงกลมชนิดแผ่นวงกลมได้ดังนี้

$G_r = -0.8$ dBi = 0.83

$D = 6.92$ dBi = 4.92

$$e_r = \frac{0.83}{4.92} \times 100\% = 16.87\%$$

จากผลการทดลองสามารถหาประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบ
วงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมได้ดังนี้

$G_r = -3.43$ dBi = 0.45

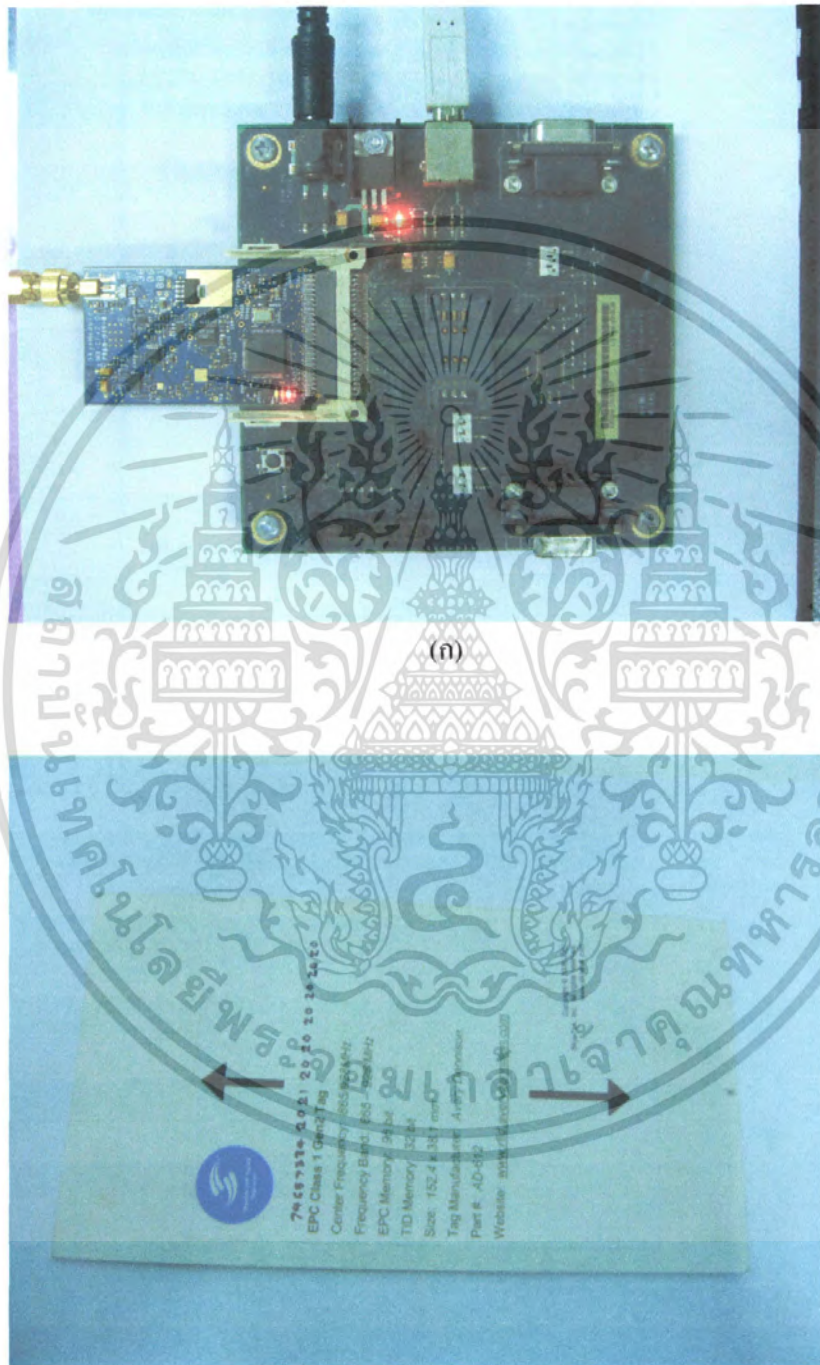
$D = 7.5$ dBi = 5.62

$$e_r = \frac{0.45}{5.62} \times 100\% = 8\%$$

จากผลการทดลอง ประสิทธิภาพของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นมี
ค่าร้อยละ 9.13 และประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่น
วงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าร้อยละ 16.87 และร้อยละ 8 ตามลำดับ

4.2 การทดสอบสายอากาศ

จากผลการทดลองที่ได้ของสายอากาศที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลมจึงได้นำสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นไปทดสอบกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ยี่ห้อ skyetek รุ่น 94v-0 ซึ่งมีกำลังส่ง 26 dBm กับแผ่นป้ายระบุข้อมูล (RFID Tags)



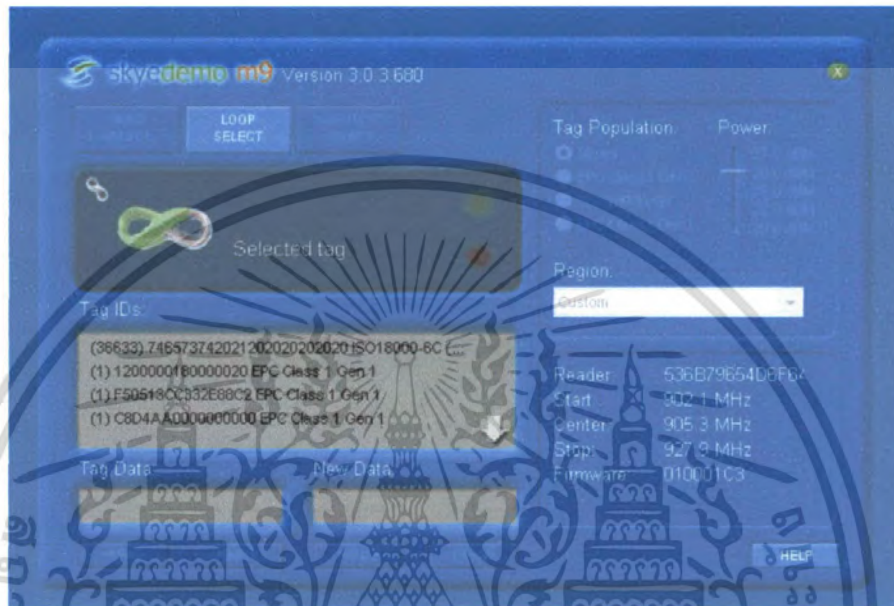
(ก)

รูปที่ 4.28 (ก) เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดียี่ห้อ skyetek รุ่น 94v-0

(ข) แผ่นป้ายระบุข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยได้ทำการหมุนแผ่นป้ายระบุข้อมูลทีละ 10 องศาครบ 360 องศาแล้ววัดระยะการติดต่อระหว่างสายอากาศที่สร้างขึ้นกับแผ่นป้ายระบุข้อมูลที่ระยะที่ห่างที่สุดจนกว่าสายอากาศจะรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลไม่ได้ซึ่งในการทดสอบได้ใช้ร่วมกับโปรแกรม skyedemo m9 version 3.0.3.680 ดังรูปที่ 4.29 ซึ่งได้ตั้งช่วงความถี่ระหว่าง 902 MHz ถึง 928 MHz ถ้าไฟสีเขียวที่โปรแกรมติดแสดงว่าสายอากาศสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้



รูปที่ 4.29 โปรแกรม skyedemo m9 version 3.0.3.680

4.2.1 การทดสอบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

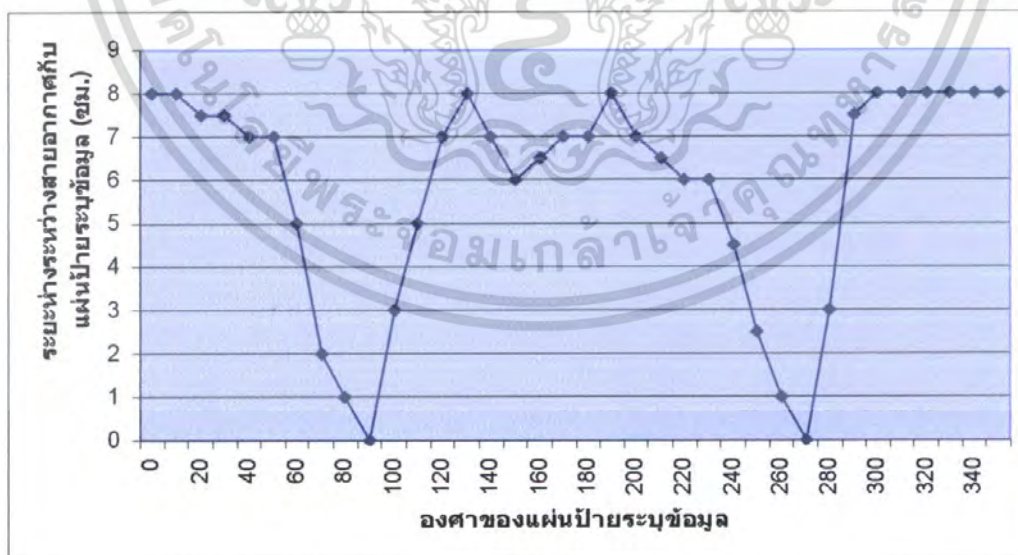


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.30 การทดสอบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงระยะที่สายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

มุม (องศา)	ระยะที่ วัดได้ (cm.)	มุม (องศา)	ระยะที่ วัดได้ (cm.)	มุม (องศา)	ระยะที่ วัดได้ (cm.)
0	8	120	7	240	4.5
10	8	130	8	250	2.5
20	7.5	140	7	260	1
30	7.5	150	6	270	0
40	7	160	6.5	280	3
50	7	170	7	290	7.5
60	5	180	7	300	8
70	2	190	8	310	8
80	1	200	7	320	8
90	0	210	6.5	330	8
100	3	220	6	340	8
110	5	230	6	350	8

จากตารางที่ 4.10 นำระยะที่วัดได้ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นมาทำการพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.31

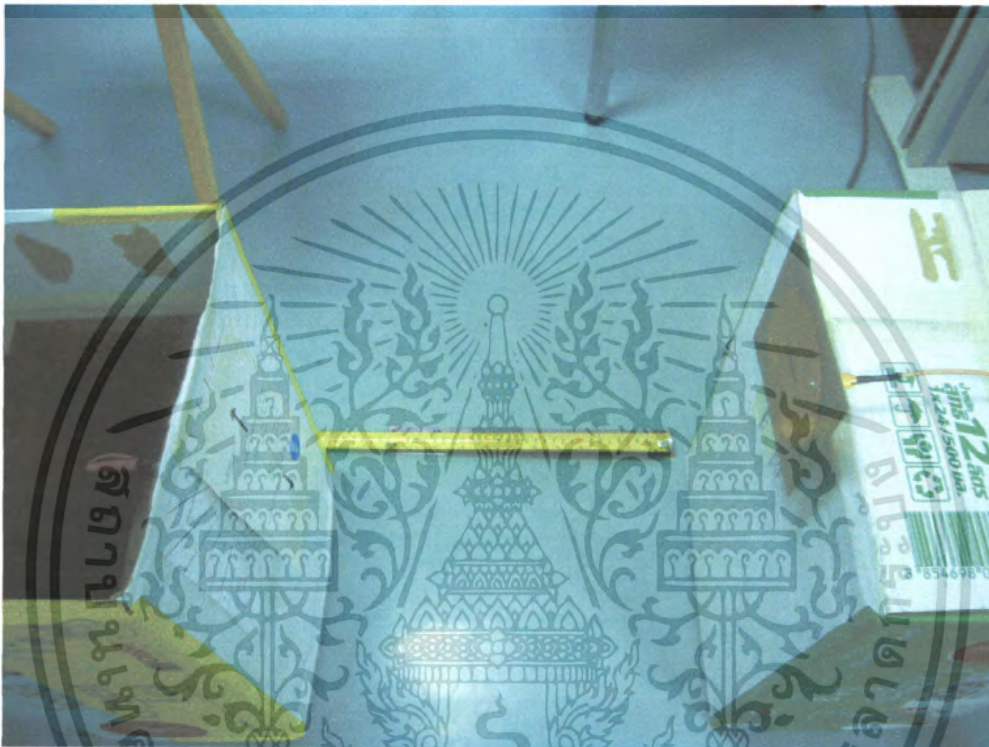


รูปที่ 4.31 ระยะที่สายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นว่าช่วงที่มุม 90 และ 270 องศาสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบเชิงเส้นไม่สามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้เลยเพราะที่ช่วงความถี่นี้ไม่ใช่ช่วงการโพลารไรซ์ของสายอากาศชนิดนี้

4.2.2 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม



รูปที่ 4.32 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม
รับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

มุม (องศา)	ระยะที่ วัด ได้ (cm.)	มุม (องศา)	ระยะที่ วัด ได้ (cm.)	มุม (องศา)	ระยะที่ วัด ได้ (cm.)
0	85	120	51	240	71
10	84	130	58	250	54
20	74	140	91	260	53
30	71	150	90	270	54
40	73	160	98	280	53
50	73	170	107	290	52
60	64	180	104	300	53
70	66	190	110	310	69
80	55	200	101	320	70
90	56	210	87	330	65
100	55	220	74	340	78
110	53	230	73	350	83

จากตารางที่ 4.11 นำระยะที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิด
แผ่นวงกลมมาทำการพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.33

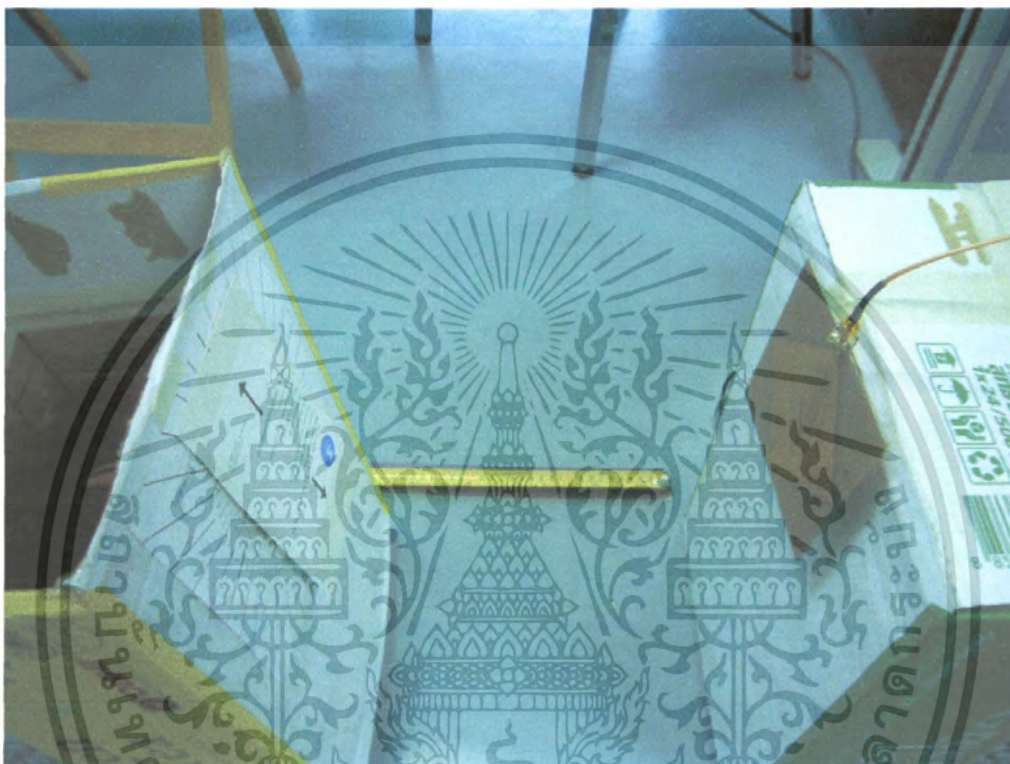


รูปที่ 4.33 ระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมรับข้อมูล
จากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าที่มุมตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้ทุกมุม และที่มุม 190 องศาสายอากาศสามารถรับข้อมูลได้ไกลที่สุด

4.2.3 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.34 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลารไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีกรโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยม
รับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

มุม (องศา)	ระยะที่ วัดได้ (cm.)	มุม (องศา)	ระยะที่ วัดได้ (cm.)	มุม (องศา)	ระยะที่ วัดได้ (cm.)
0	63	120	64	240	53
10	55	130	65	250	52
20	55	140	58	260	54
30	53	150	57	270	55
40	54	160	57	280	56
50	51	170	54	290	56
60	50	180	54	300	57
70	46	190	55	310	54
80	46	200	55	320	53
90	48	210	45	330	60
100	48	220	50	340	66
110	50	230	51	350	65

จากตารางที่ 4.12 นำระยะที่วัดได้ของสายอากาศไมโครสตริปที่มีกรโพลาริซ์แบบวงกลมชนิด
แผ่นวงกลมมาทำการพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 ระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีกรโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมรับข้อมูล
จากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าที่มุมตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้ทุกมุม ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสายอากาศที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและทดสอบสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้นและแบบวงกลม เพื่อศึกษาคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของสายอากาศได้แก่อิมพีแดนซ์ด้านเข้าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราส่วนแกน อัตราขยายสภาพเจาะจงทิศทาง และประสิทธิภาพของสายอากาศ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า

อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) ของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองจะมีค่าเท่ากับ $61.5 + j4.6 \ \Omega$

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ $46.572 + j8.89 \ \Omega$ และ $70.973 - j3.99 \ \Omega$ ที่ความถี่ 922 MHz ตามลำดับ

ซึ่งไม่ตรงกับค่าที่ทำการจำลองไว้ในโปรแกรม CST เนื่องจากขนาดของสายอากาศที่สร้างขึ้นมีขนาดไม่ตรงกับขนาดที่ออกแบบไว้หรือจุดป้อนสัญญาณที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่ออกแบบ

5.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio) ของสายอากาศในอุดมคติ นั้นเมื่ออิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศและสายนำสัญญาณเท่ากันจะทำให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 จากผลการทดลองอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 1.2229: 1

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 1.2247:1 และ 1.432: 1 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้นมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับหนึ่งมากกว่าสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลม

5.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss) ของสายอากาศซึ่งเป็นอัตราส่วนของกำลังงานที่สะท้อนกลับต่อกำลังงานที่ตกกระทบ ถ้าค่าความสูญเสียของการสะท้อนมีค่าน้อยแสดงว่าสายอากาศสามารถรับกำลังงานไว้ได้หมดและไม่มีคลื่นสะท้อนกลับ จากผลการทดลองความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ -18.405 dB

ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมและชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ -20.25 dB และ -15.153 dB ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) จากผลการทดลองในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีความกว้างลำคลื่น (Beamwidth) เท่ากับ 130 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 60 องศา

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 80 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 80 องศา

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 80 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมีความกว้างลำคลื่นเท่ากับ 70 องศา

5.1.5 อัตราส่วนแกน

อัตราส่วนแกน (Axial ratio) จากการทดลองสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 21.37 dB

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 8.79 dB ซึ่งยังไม่อยู่ในช่วง 0 dB ถึง 3 dB จึงสรุปได้ว่าสายอากาศชิ้นนี้ยังไม่สามารถให้การโพลาไรซ์แบบวงกลม

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 2.93 dB ซึ่งอยู่ในช่วง 0 dB ถึง 3 dB จึงสรุปได้ว่าสายอากาศชิ้นนี้ให้การโพลาไรซ์แบบวงกลม

5.1.6 อัตราขยาย

อัตราขยาย (Gain) จากผลการทดลองอัตราขยายของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นมีค่าอัตราขยายเท่ากับ -4.3 dBi

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าอัตราขยายเท่ากับ -0.8 dBi

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าอัตราขยายเท่ากับ -3.43 dBi

จะเห็นได้ว่าสายอากาศไมโครสตริปทุกชิ้นที่สร้างขึ้นมีอัตราขยายที่น้อยกว่าสายอากาศไอโซโทรปิก (Isotropic)

5.1.7 สภาพเจาะจงทิศทาง

สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) จากผลการทดลองสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 6.07 dBi

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 6.92 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 7.5 dBi

5.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Efficiency) จากผลการทดลองประสิทธิภาพของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นมีค่าร้อยละ 9.13

ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีค่าร้อยละ 16.87

ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมมีค่าร้อยละ 8

จะเห็นได้ว่าสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

5.2 การทดสอบสายอากาศ

จากการทดสอบของสายอากาศทั้งสามชิ้นกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดียี่ห้อ skyetek รุ่น 94v-0 กับแผ่นป้ายระบุข้อมูลจะพบว่า

สายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบเชิงเส้นสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้ไกลที่สุดเนื่องจากสายอากาศชิ้นนี้มีอัตราขยายต่ำที่สุดและที่มุม 90 องศา สายอากาศไม่สามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้เลยเพราะที่มุมนี้ไม่ใช่ช่วงการโพลาริซ์ของสายอากาศชิ้นนี้

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้ไกลที่สุดเนื่องจากสายอากาศชิ้นนี้มีอัตราขยายสูงที่สุด โดยรับได้ไกลสุดที่ระยะ 110 cm. ที่มุม 190 องศา และไกลสุดที่ระยะ 51 cm. ที่มุม 120 องศา

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้ไกลสุดที่ระยะ 66 cm. ที่มุม 340 องศา และไกลสุดที่ระยะ 45 cm. ที่มุม 210 องศา

5.3 ปัญหาที่พบ

สำหรับปัญหาที่พบในทางปฏิบัตินั้นเกิดขึ้นหลายประการได้แก่

5.3.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริปมีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอนจึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่ตรงตามที่คำนวณไว้ในขั้นตอนการออกแบบ

5.3.2 การสร้างสายอากาศไมโครสตริปไม่สามารถทำให้มีขนาดให้ตรงตามทฤษฎีที่ต้องการได้แก่ ระบายสร้างเงาไม่สามารถทำให้เป็นแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์และให้มีขนาดที่ไม่จำกัดได้

5.3.3 การบัดกรีหัวต่อมีผลต่อผลการทดลองที่ได้อย่างมากคือแกนของหัวต่อถ้ายังสั้นจะส่งผลที่ดีกว่าแกนหัวต่อที่ยาว

5.3.4 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไม่สามารถวัดได้ตามเงื่อนไขทางทฤษฎีที่ต้องการ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านสถานที่และเครื่องมือในการทดลองซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนกลับของพลังงานมายังสายอากาศได้

5.4 แนวทางแก้ไข

จากปัญหาที่พบดังกล่าวผู้ศึกษาได้ศึกษาทฤษฎีและทดลองออกแบบสายอากาศไมโครสตริปและมีแนวทางแก้ไขปัญหาที่พบดังนี้

5.4.1 จากปัญหาข้อ 5.3.1 มีแนวทางแก้ไขคือออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบมาเพื่อสร้างสายอากาศโดยตรงและมีคุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ที่แสดงไว้อย่างชัดเจน

5.4.2 จากปัญหาข้อ 5.3.2 มีแนวทางแก้ไขคือกำหนดขนาดของระนาบสร้างเงาให้เป็นสัดส่วนกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

5.4.3 จากปัญหาข้อ 5.3.3 มีแนวทางแก้ไขคือทำการตัดแกนของหัวต่อให้มีความยาวของแกนเท่ากับความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์และบัดกรีด้วยความร้อนที่สูง

5.4.4 จากปัญหาข้อ 5.3.4 มีแนวทางแก้ไขคือทำการทดลองในห้องทดลองสายอากาศโดยเฉพาะเพื่อลดการสะท้อนกลับของพลังงาน

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปพบปัญหาและข้อผิดพลาดหลายประการทำให้ทราบถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ของออกแบบสายอากาศไมโครสตริปจึงมีข้อเสนอแนะเป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศที่เกี่ยวข้องต่อไปดังนี้

5.5.1 วัสดุและเทคนิคการสร้าง

วัสดุและเทคนิคการสร้างเป็นส่วนที่สำคัญประการหนึ่งการสร้างสายอากาศไมโครสตริปสำหรับวัสดุต้องทราบความหนาและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่แน่นอนของวัสดุที่เหมาะสมกับการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

5.5.2 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป

การสร้างสายอากาศไมโครสตริปต้องมีความแน่นอนของขนาดและจุดป้อนสัญญาณมากที่สุดเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวมีผลอย่างมากกับผลการทดลอง

5.5.3 การประกอบและบัดกรีหัวต่อ

การประกอบและบัดกรีหัวต่อเข้ากับตัวสายอากาศต้องมีความละเอียดและแน่นอนเพราะหัวต่อก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปต้องคำนึงถึงเครื่องมือและสถานที่ในการทดลองเพราะการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่บางความถี่ไม่สามารถหาเครื่องมือและสถานที่ในการทดลองหาคุณสมบัติของสายอากาศได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Zhi Ning, Chen, Antennas for Portable Devices, John Wiley & son, 2007.
- [2] Constantine A, Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & son, 2005.
- [3] JR James & PS Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd, 1989.
- [4] ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์, การวิเคราะห์สายอากาศ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [5] โมไนย ไกรฤกษ์, วิศวกรรมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, บริษัท พิมพ์สวย จำกัด, 2544.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้