

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง

ANTENNA FOR UHF RFID SYSTEM



T104065

โดย

นายปรมิินทร์ วงษ์เจริญ

นายยิ่งยศ สุนิน

นายอรรถพร พลุ่มสอาด

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...104065...

วัน,เดือน,ปี...28 ต.ค. 2552...

b.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง

ANTENNA FOR UHF RFID SYSTEM

โดย

นายปรมินทร์	วงษ์เจริญ	49015016
นายยิ่งยศ	สุบิน	49015025
นายอรรถพร	พุ่มสอาด	49015041

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์
รศ.ดร.สมผล	โกศลวิตร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

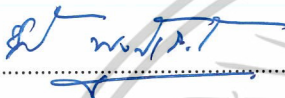
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง

ANTENNA FOR UHF RFID SYSTEM

- ผู้จัดทำ 1.นายปรมินทร์ วงษ์เจริญ 49015016
2.นายยิ่งยศ สุบิน 49015025
3.นายอรรถพรธม พุ่มสอาด 49015041


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สมผล โกศลวิตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง

ANTENNA FOR UHF RFID SYSTEM

ผู้จัดทำ นายปรมินทร์ วงษ์เจริญ 49015016

นายยิ่งยศ สุบิน 49015025

นายอรรถพรณ พุ่มสอาด 49015041

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

รศ.ดร.สมพล โกศลวิตร

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการศึกษา การจำลอง การออกแบบ และสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดี โดยเครื่องอ่านข้อมูลจะถูกนำไปใช้ตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า การออกแบบจะอาศัยหลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้มีระยะในการอ่านที่ไกลที่สุดและติดต่อกับเครื่องถูกข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในโครงการนี้ได้ทำการหาค่าอัตราขยาย ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ประสิทธิภาพ การโพลาไรซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริปดังกล่าวเพื่อให้ใช้งานในย่านความถี่เอชเอฟได้ต่อไป

Abstract

This project presents the simulation, study, design and fabrication of microstrip antenna for a reader of RFID (Radio Frequency Identification) system. The measurement will be done in UHF (Ultra High Frequency) band. The design of this antenna is to apply for checking the goods in stock. The antenna is designed based of principle of electromagnetic field radiation to achieve the maximum distance of connection to the transponder (tag) of RFID system. In this project, the gain, directivity, efficiency and polarization of the proposed microstrip antenna will be carried out to confirm the usefulness in the UHF-RFID system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	3
2.1.1 เครื่องดูข่าย	3
2.1.2 เครื่องอ่าน	4
2.1.3 ย่านความถี่ที่ใช้งาน	5
2.1.4 ระยะเวลาทำการ	6
2.1.5 จุดเด่นระบบอาร์เอฟไอดี	6
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ	8
2.3 ธรรมชาติการทำงานของสายอากาศ	9
2.4 ค่าคุณลักษณะและค่าปัจจัยต่างๆของสายอากาศ	10
2.4.1 ระยะของสนามจากสายอากาศหรือระยะสายอากาศ	11
2.4.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน	11
2.4.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้า	12
2.4.4 ประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน	13
2.4.5 ความกว้างลำคลื่น	13
2.4.6 ความหนาแน่นกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่น	14
2.4.7 ความเข้มการแพร่กระจายคลื่น	14
2.4.8 สภาพเจาะจงทิศทาง	14
2.4.9 อัตราขยาย	15
2.4.10 ความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผล	15
2.4.11 ประสิทธิภาพช่องเปิด	15
2.4.12 โพลาริเซชันและประสิทธิภาพโพลาริเซชัน	16
2.5 สายอากาศไมโครสตริป	16
2.6 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	16
2.7 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป	17
2.7.1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป	17
2.7.2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 รูปร่างลักษณะต่างๆของสายอากาศไมโครสตริป	17
2.8.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	18
2.8.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot	18
2.8.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Traveling-wave (MTA)	18
2.9 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป	19
2.10 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ	19
2.11 การโพลาไรซ์ (Polarization)	20
2.11.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear polarization: LP)	21
2.11.2 การโพลาไรซ์เชิงวงกลม (Circular polarization: CP)	22
2.11.3 การโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptical polarization: EP)	23
2.12 อัตราส่วนแกน (Axial Ratio)	23
2.13 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)	24
2.13.1 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed)	24
2.13.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed)	25
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	
3.1 บทนำ	26
3.2 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง	26
3.3 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป	32
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป	32
3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริป	32
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดลอง	33
4.1.1 อิมพีแดนซ์ขาเข้า	34
4.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า	34
4.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	35
4.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน	35
4.1.5 การโพลาไรซ์	38
4.1.6 อัตราขยายของสายอากาศ	44
4.1.7 สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ	45
4.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดสอบสายอากาศ	46
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.1.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า	51
5.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า	51
5.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	51
5.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน	51
5.1.5 การโพลาริซ์	52
5.1.6 อัตราขยาย	52
5.1.7 สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ	52
5.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	52
5.2 การทดสอบสายอากาศ	52
5.3 ปัญหาที่พบ	52
5.4 แนวทางแก้ไข	53
5.5 ข้อเสนอแนะ	53
5.5.1 วัสดุและเทคนิคการสร้าง	53
5.5.2 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป	53
5.5.3 การประกอบและบัดกรีหัวต่อ	53
5.5.4 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน	54
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 Passive RFID Tag	4
รูปที่ 2.2 Active RFID Tag	4
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน	5
รูปที่ 2.4 นิยามการทำงานของสายอากาศ	8
รูปที่ 2.5 การแผ่พลังงานจากสายอากาศ	10
รูปที่ 2.6 ระยะสายอากาศที่ระยะต่างๆ	11
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	12
รูปที่ 2.8 แนวคิดในการพิจารณาการทำงาน of สายอากาศโดยอาศัยมุมมองแบบทฤษฎีวงจร	13
รูปที่ 2.9 รูปแบบโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	17
รูปที่ 2.10 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	18
รูปที่ 2.11 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling-wave	18
รูปที่ 2.12 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Slot	19
รูปที่ 2.13 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	20
รูปที่ 2.14 ลักษณะการกวาดของลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง	20
รูปที่ 2.15 การโพลาไรซ์แบบต่างๆ	21
รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์แนวตั้ง	21
รูปที่ 2.17 การโพลาไรซ์แนวนอน	22
รูปที่ 2.18 การโพลาไรซ์แนวเฉียง	22
รูปที่ 2.19 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา	22
รูปที่ 2.20 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมหมุนซ้าย	23
รูปที่ 2.21 อัตราส่วนแกนของการโพลาไรซ์ในรูปแบบต่างๆ	24
รูปที่ 2.22 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป	25
รูปที่ 2.23 รูปแบบการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล	25
รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST	27
รูปที่ 3.2 ค่าสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้จากโปรแกรม CST	28
รูปที่ 3.3 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST	29
รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า	29
รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก	29
รูปที่ 3.6 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนขวา	30
รูปที่ 3.7 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย	30
รูปที่ 3.8 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามแม่เหล็กที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนขวา	31
รูปที่ 3.9 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามแม่เหล็กที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 สายอากาศที่ทำการสร้างจริง	33
รูปที่ 4.2 อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศ	34
รูปที่ 4.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันไฟฟ้า	34
รูปที่ 4.4 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	35
รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพล	36
รูปที่ 4.6 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป	36
รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า	37
รูปที่ 4.8 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป	37
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก	38
รูปที่ 4.10 สายอากาศสำหรับทดสอบการ โพลาริซ์ชนิดขดลวดที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมหมุนขวา	39
รูปที่ 4.11 สายอากาศสำหรับทดสอบการ โพลาริซ์ชนิดขดลวดที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย	39
รูปที่ 4.12 การวัดการ โพลาริซ์แบบหมุนขวาในระนาบสนามแม่เหล็ก	40
รูปที่ 4.13 แบบรูปการ โพลาริซ์แบบวงกลมหมุนขวาในระนาบสนามแม่เหล็ก	40
รูปที่ 4.14 การวัดการ โพลาริซ์แบบหมุนขวาในระนาบสนามไฟฟ้า	41
รูปที่ 4.15 แบบรูปการ โพลาริซ์แบบวงกลมหมุนขวาในระนาบสนามไฟฟ้า	41
รูปที่ 4.16 การวัดการ โพลาริซ์แบบหมุนซ้ายในระนาบสนามแม่เหล็ก	42
รูปที่ 4.17 แบบรูปการ โพลาริซ์แบบวงกลมหมุนซ้ายในระนาบสนามแม่เหล็ก	42
รูปที่ 4.18 การวัดการ โพลาริซ์แบบหมุนซ้ายในระนาบสนามไฟฟ้า	43
รูปที่ 4.19 แบบรูปการ โพลาริซ์แบบวงกลมหมุนซ้ายในระนาบสนามไฟฟ้า	43
รูปที่ 4.20 เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ยี่ห้อ skyetek รุ่น RU-110u	46
รูปที่ 4.21 โปรแกรม skyedemo m9 Version 3.0.3.680	47
รูปที่ 4.22 แผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลม	47
รูปที่ 4.23 แผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้น	47
รูปที่ 4.24 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมกับแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลม	48
รูปที่ 4.25 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมกับแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้น	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ของโหมคการทำงานของสายอากาศ	27
ตารางที่ 4.1 ระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม รับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลม	48
ตารางที่ 4.2 ระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม รับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้น	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

RFID (Radio Frequency Identification) ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคนหรือวัตถุโดยอัตโนมัติ เป็นวิธีการจำแนกได้ครั้งละจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่โดยทั่วไปเป็นการจัดเก็บตามหมายเลขประจำตัวของวัสดุ บุคคล หรือวัตถุ รวมถึงสารสนเทศอื่นๆลงไมโครชิปที่ประกอบด้วยสายอากาศ (Antenna หรือ สายสัญญาณสำหรับรับส่งคลื่นจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยที่ชิปและสายอากาศ รวมเข้าด้วยกันเรียกว่า RFID Transponder หรือ Tag) สายอากาศทำให้ชิปสามารถส่งข้อมูลเฉพาะไปยังเครื่องอ่านได้ เครื่องอ่านจะแปลงคลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องลูกข่ายกลายเป็นข้อมูลดิจิทัลผ่านเข้าไปทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้

ข้อมูลทางเทคโนโลยีของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะประกอบด้วยเครื่องลูกข่ายที่เป็นไมโครชิป (Microchip Tag) ซึ่งมีสายอากาศและเครื่องอ่านที่มีสายอากาศเช่นกัน เครื่องอ่านจะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาและสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะรับและแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเป็นพลังงานส่งผ่านไปที่ระบบของเครื่องลูกข่ายเพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับแผงวงจรไมโครชิป จากนั้นเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่วิทยุกลับไปยังเครื่องอ่าน และเครื่องอ่านจะแปลงคลื่นที่ได้ใหม่ให้กลายเป็นข้อมูลดิจิทัล

สายอากาศแผ่นไมโครสตริปได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเพราะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางไฟฟ้าที่ดีหลายอย่าง เช่น เป็นแผ่นแบนเรียบ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก ง่ายต่อการแมตและนอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงโพลาริซั้ได้ง่าย ซึ่งสายอากาศแผ่นไมโครสตริปที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากขั้นตอนในการคำนวณคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศสามารถทำได้ง่ายกว่าแผ่นสายอากาศรูปแบบอื่นและโดยปกติคุณสมบัติการกระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีลักษณะ โพลาริซั้แบบเชิงเส้นแต่ในบางครั้งเราอาจต้องการโพลาริซั้แบบวงกลม ซึ่งสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณให้ต่างเฟสกัน 90 องศา ป้อนสัญญาณตรงขอบมุมของแผ่นสายอากาศหรือทำร่องตรงกลางแผ่นสายอากาศ

โครงสร้างที่สำคัญของสายอากาศไมโครสตริปนั้นคือ วัสดุฐานรอง(Substrate) และสายส่งสัญญาณ(Transmission Line)สำหรับโครงสร้างของสายอากาศนั้นสามารถออกแบบรูปร่างได้หลายรูปแบบ โดยในแต่ละรูปร่างของสายอากาศนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติของสายอากาศตามที่ต้องการ จากคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้จะเห็นได้ว่า สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่มีแนวคิดมาจากเทคโนโลยีแบบแผงวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Technology) สายอากาศไมโครสตริปอันแรกถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1970 โดยนายโฮเวล (Howell) และนายมูนสัน (Munson) สายอากาศแบบไมโครสตริปนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายในย่านความถี่ 100 MHz ถึง 10 GHz และมีข้อได้เปรียบหลายอย่างเมื่อเทียบกับสายอากาศโดยทั่วไป ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับสายอากาศโดยทั่วไป

1. มีน้ำหนักเบา รวมทั้งมีขนาดเล็ก ง่ายในการสร้าง
2. เนื่องจากมีขนาดที่บางจึงนิยมนำไปใช้งานกับอากาศยานชนิดต่างๆ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อหลักอากาศพลศาสตร์
3. ไม่ต้องการพื้นที่มากในการรองรับการติดตั้ง
4. สายป้อนสัญญาณและตัวปรับแมตซ์รวมด้วยกันภายในโครงสร้างสายอากาศเดียว
5. ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ เนื่องจากเป็นแผ่นเล็กๆบางๆ
6. ง่ายในการออกแบบเพื่อนำไปใช้งานแบบสองความถี่

ข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับสายอากาศโดยทั่วไป

1. มีช่วงความถี่ที่ใช้รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป
2. มีอัตราการสูญเสีย
3. มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
4. ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดอยู่ประมาณ 20 dB
5. มีอัตราการขยายต่ำ

สำหรับปริญญาโทนี้กล่าวถึงวิธีการออกแบบสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่จะนำไปใช้กับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่อ่านความถี่ยูเอชเอฟ เพื่อทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของรูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) อัตราขยาย (Gain) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ประสิทธิภาพ (efficiency) การโพลาไรซ์ (Polarizations) ในสายอากาศไมโครสตริป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริป
2. ออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปให้มีลักษณะการโพลาไรซ์แบบวงกลม
3. สร้างสายอากาศไมโครสตริปมาใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดี

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่มีกรโพลาไรซ์แบบวงกลม สำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่ความถี่ยูเอชเอฟ จำลองแบบสายอากาศเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ และนำไปทดลองในสภาพการใช้งานจริงและทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ก็อยู่ตรงการอ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย (Tag) ได้หลาย ๆ เครื่องลูกข่ายแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แร่งสั่นสะเทือนการกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่ติดอยู่ในเครื่องลูกข่าย

ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 อย่างด้วยกัน ส่วนแรกคือเครื่องลูกข่าย ที่ใช้ติดกับวัสดุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยเครื่องลูกข่ายที่ว่าจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้น นั้นเอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียน (Reader) ข้อมูลภายในเครื่องลูกข่ายด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน เครื่องลูกข่ายในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ ก็คือตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบบาร์โค้ดจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่านโดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านบาร์โค้ดซึ่งจะต้องอ่านบาร์โค้ดที่ไม่มีอะไรปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ทีละชิ้นในระยยะใกล้ ๆ แต่ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านเครื่องลูกข่ายได้โดยไม่ต้องเห็นเครื่องลูกข่าย หรือเครื่องลูกข่ายซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่นเพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านเครื่องลูกข่ายในเวลาเดียวกัน

2.1.1 เครื่องลูกข่าย

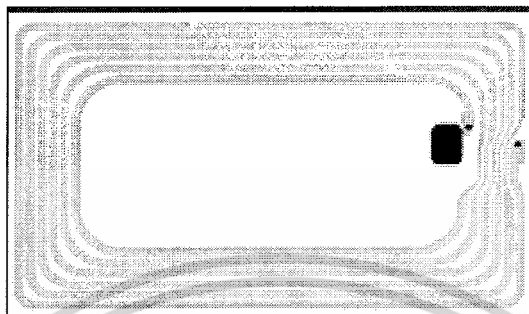
โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่น รหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวเครื่องลูกข่ายอาจอยู่ในชนิดเป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาใช้ และยังมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งเครื่องลูกข่ายที่มีการใช้งานอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานซึ่งจะขอกกล่าวถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

2.1.1.1 Passive RFID Tags

เครื่องลูกข่ายชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายใน แสดงตามรูปที่ 2.1 เพราะภายในเครื่องลูกข่ายจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก เป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้ในการอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ขึ้นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

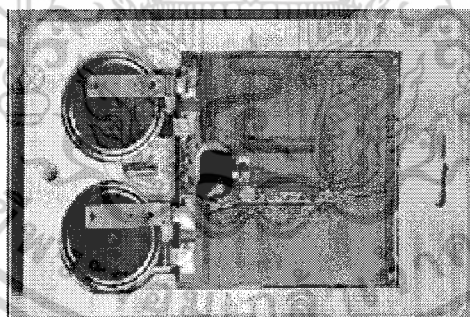
กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 Passive RFID Tags

2.1.1.2 Active RFID Tags

เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรเครื่องส่งภายในเครื่องลูกข่ายซึ่งเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งสัญญาณได้ไกล มีอายุการใช้งานสั้นและมีราคาแพง มักนิยมใช้กับเครื่องอ่านย่านความถี่ UHF หรือ ไมโครเวฟ



รูปที่ 2.2 Active RFID Tags

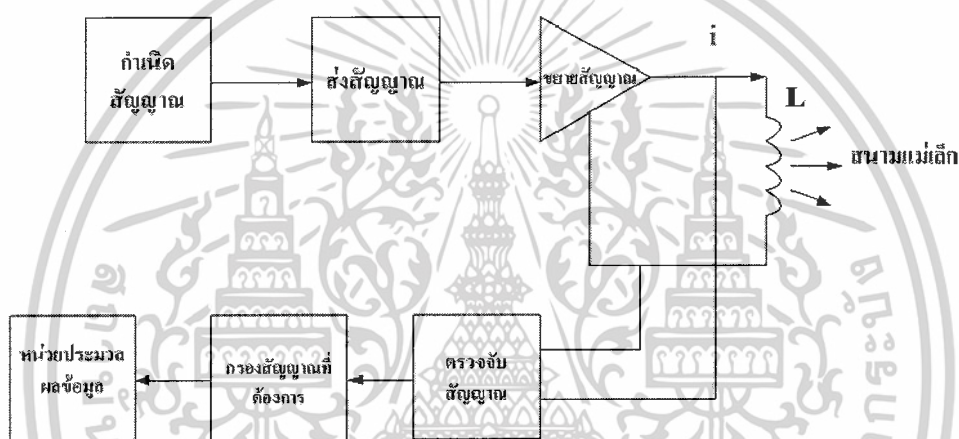
2.1.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านแสดงดังรูปที่ 2.3 จะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดงเพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูลจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคส่งสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน

2.1.3 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของย่านความถี่ใช้งานในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่ายอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่ายจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้กันกันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial- Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งานสำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบ่งออกเป็น 4 ย่านหลักได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 MHz
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสมสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 1 เซนติเมตร จนถึง 1 เมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่นการตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ และในย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกลประมาณ 1-10 เมตร เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และที่ความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร เป็นต้น

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ใช้พาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

2.1.4 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย RFID สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- ตำแหน่งของเครื่องถูกข่ายหรือระยะห่างขั้นต้นระหว่างเครื่องถูกข่ายแต่ละเครื่องกับเครื่องอ่าน ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปแล้วแต่ประเภทของการใช้งาน
- ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องถูกข่าย
- ความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของเครื่องถูกข่าย

2.1.5 จุดเด่นระบบอาร์เอฟไอดี

2.1.5.1 อ่าน / เขียนโดยไม่ต้องสัมผัส (Contactless)

จุดเด่นข้อแรกของระบบอาร์เอฟไอดีคือเครื่องอ่านกับแท็ก สามารถสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องสัมผัสทำให้ไม่เกิดส่วนของการสึกหรอเหมือนบัตรเครดิตแม่เหล็ก ทำให้ต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ อายุการใช้งานยาวนานและสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน

2.1.5.2 ทนต่อสภาพแวดล้อมและสิ่งสกปรก

ปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการอ่าน / เขียนข้อมูลในระบบไอดีอัตโนมัติ (Auto ID) ที่แก้ไขลำบากก็คือสภาพแวดล้อมในการใช้งานเช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมมีทั้งฝุ่นละออง น้ำมัน ระบบไอดีอัตโนมัติ ที่มีปัญหามากที่สุดคือระบบบาร์โค้ด เพราะถ้าแถบบาร์โค้ดสกปรกหรือฉีกขาดก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูล หรือถ้าหน้าจอสกปรกก็มีปัญหาในการอ่านอีกเช่นกัน แต่ด้วยลักษณะของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะนำข้อมูลไปจะพบว่าปัญหาดังกล่าวจะไม่มีผลกระทบต่อระบบอาร์เอฟไอดี ดังนั้นอาร์เอฟไอดีจึงเป็นอุปกรณ์ไอดีอัตโนมัติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.3 สามารถอ่าน / เขียนข้อมูลได้สะดวก

มีระบบไอดีอัตโนมัติชนิดที่สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลได้สะดวก หรือบางระบบต้องใช้เครื่องอ่านหรือเขียน แยกกันอีกต่างหาก เช่น บาร์โค้ด ต้องมีเครื่องพิมพ์และเครื่องอ่านแยกกัน สมาร์ทการ์ดต้องนำแท็กมาสัมผัสกับวงจรอ่าน / เขียน โดยตรง แต่ระบบอาร์เอฟไอดีตัวอ่านกับตัวเขียนข้อมูลจะอยู่ในตัวเดียวกันเพียงแต่ต้องเปลี่ยนโหมดโดยใช้ซอฟต์แวร์เท่านั้น จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องอ่านและเปลี่ยนแปลงข้อมูลอยู่ตลอดเวลา เช่น สายการผลิตอัตโนมัติ

2.1.5.4 สื่อสารได้ทุกทิศ

เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการอ่านหรือเขียน ในระบบอาร์เอฟไอดีจึงไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางว่าแท็กจะต้องอยู่ตรงหน้ากับเครื่องอ่านเสมอ แท็กสามารถอยู่ด้านหลังด้านข้างหรือแม้กระทั่งถูกทับอยู่ แต่ถ้าเข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณแล้วก็จะสามารถอ่านหรือเขียนได้ตามปกติ

2.1.5.5 แท็กสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ด้วยลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการเขียนข้อมูลซ้ำได้ทำให้แท็กสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้มากกว่า 100,000 ครั้งต่อ 1 แท็ก คุณสมบัติข้อนี้เป็นจุดแข็งอีกจุดหนึ่งที่ระบบ ไอดีอัตโนมัติชนิดอื่นไม่สามารถทำได้

2.1.5.6 อาร์เอฟไอดีแท็กมีหลากหลายแบบให้ประยุกต์ใช้งาน

แท็กของระบบอาร์เอฟไอดีนั้นถูกออกแบบให้มีรูปร่าง ขนาดโครงสร้างความจุของหน่วยความจำและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่นมีลักษณะเป็น สมาร์ทการ์ด กระดุม เหรียญ ทรงสี่เหลี่ยม หรือแม้กระทั่งเป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ได้ตามความต้องการ

2.1.5.7 ความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่ใช่โลหะหรือมีดโลหะเป็นส่วนผสมอยู่ได้ เช่น พลาสติก ผิวหนัง ไม้ ปูนซีเมนต์ ฯลฯ ดังนั้น แท็กจึงสามารถถูกติดตั้งแบบฝังหรือซ่อนไปในเนื้อวัตถุที่เราต้องการได้ เช่น เราจะพบเห็นการฉีดอาร์เอฟไอดีที่มีลักษณะเป็นแท่งแก้วเล็กๆเข้าไปในตัวสัตว์ การฝังแท็กบนพื้นในระบบเอจวี (Automatic Guide Vehicle)

2.1.5.8 สื่อสารได้ระยะไกล

ระยะในการอ่านหรือเขียนข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีนั้นทำได้ตั้งแต่ 0- 10 เมตร ซึ่งถือว่าไกลที่สุดในบรรดาประเภทไอดีอัตโนมัติ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้ระยะในการอ่านหรือเขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเสาอากาศและช่วงความถี่ที่ใช้งาน สำหรับกำลังส่งของเสาอากาศนั้นจะถูกกำหนดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ ทำให้อาร์เอฟไอดีที่ผลิตในบางประเทศมีระยะในการอ่านหรือเขียนต่างกันทั้งที่ความถี่ในการใช้งานเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.9 หน่วยความจำขนาดใหญ่

หน่วยความจำที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดีมีตั้งแต่ขนาด 1 บิต จนถึงมากกว่า 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำที่เป็นแรมจะสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าหน่วยความจำแบบอื่น ข้อมูลในกระบวนการปฏิบัติงานสามารถบันทึกลงในแท็กได้ทั้งกระบวนการ หรือแม้กระทั่งข้อมูลส่วนบุคคลก็สามารถบันทึกลงในแท็กได้

2.1.5.10 อ่านหรือเขียนข้อมูลได้ครั้งละมากกว่า 1 แท็กพร้อมกัน

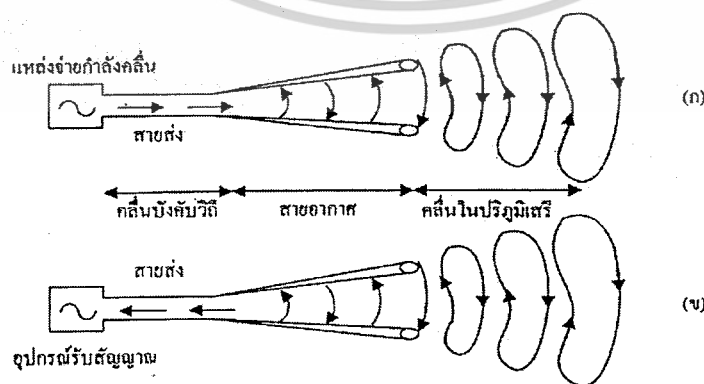
เมื่อแท็กเข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณมากกว่า 1 แท็ก พร้อมกันเครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลซึ่งมาพร้อมกันได้ทั้งหมดหรือสามารถเลือกอ่านเฉพาะแท็กที่ระบุก็ได้

2.1.5.11 สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่

เครื่องอ่านกับแท็กสามารถสื่อสารกันได้แม้ขณะฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง กำลังเคลื่อนที่ โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของการสื่อสาร หน่วยความจำและปริมาณข้อมูลที่ใช้อ่านหรือเขียน ระบบอาร์เอฟไอดีที่เราสนใจนี้จะทำงานในช่วงความถี่ 860-960 เมกะเฮิร์ตซ์ และเป็นระบบแบบ ไอทีเอฟ (Interrogator talks first) โดยเครื่องอ่าน จะส่งข้อมูลไปยังแท็ก โดยการมอดูเลตสัญญาณความถี่ต่ำ ในช่วงความถี่ที่กล่าวมาแล้ว โดยแท็กก็จะได้รับทั้งข้อมูล และพลังงานจากสัญญาณที่เครื่องอ่าน ส่งมา โดยแท็กเป็นชนิดพาสซีฟ นั่นหมายความว่าแท็กจะต้องรับพลังงานที่จะใช้ทั้งหมดจากสัญญาณที่เครื่องอ่านส่งออกมา

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ

หน้าที่หลักที่สำคัญของสายอากาศ คือ การแปลงรูปพลังงานกลับไปกลับมา ระหว่างพลังงานลักษณะคลื่นบังคับวิธีในสายส่งและพลังงานรูปคลื่นในปริภูมิเสรี (free space) สายอากาศจะเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะคลื่นบังคับวิธีไปเป็นคลื่นในปริภูมิที่แพร่กระจายไปในทิศทางที่ต้องการเมื่อปฏิบัติงานเป็นสายอากาศส่ง เมื่อเป็นสายอากาศรับ สายอากาศจะเปลี่ยนคลื่นในปริภูมิเสรีที่มาจากทิศทางของสถานีอันพึงประสงค์หรือรวมทั้งบรรดาคลื่นรบกวนทั้งหลายเป็นคลื่นบังคับวิธีในสายส่งและเข้าสู่เครื่องรับในที่สุด นอกจากนี้ยังกล่าวในอีกนัยหนึ่งได้ว่า สายอากาศคือส่วนที่เป็นภาคเชื่อมต่อระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ (คลื่นบังคับวิธี) กับโฟตอน (คลื่นในปริภูมิ) รูปที่ 2.4 แสดงนิยามของสายอากาศตามที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 2.4 นิยามการทำงานของสายอากาศ (ก) ในภาคส่ง (ข) ในภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าไม่เหมาะสมในการใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นของสายอากาศเป็นสายอากาศ มิได้หยุดอยู่เพียงการมีความสามารถในการรับหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศต้องสามารถเลือกรับหรือส่งพลังงานจากต้นกำเนิดหรือสู่ปลายทางที่กำหนดได้ด้วยเหตุนี้การออกแบบสายอากาศเพื่อให้สามารถปฏิบัติการที่กำหนดได้จึงมีความหมายยิ่งนัก เมื่อนำผลลัพธ์จากการออกแบบไปวิเคราะห์ ก็จะทราบสมรรถนะของสายอากาศได้ว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ผลการวิเคราะห์ทำให้สามารถหาทางปรับเปลี่ยนการออกแบบ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า

อย่างไรก็ตามก่อนที่จะสามารถเริ่มต้นการวิเคราะห์สายอากาศใดๆ ก็ตามจำเป็นที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานบางประการเกี่ยวกับธรรมชาติของการทำงานของสายอากาศ สายอากาศชนิดต่างๆ ความรู้พื้นฐานทางทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ทฤษฎีทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรมสายอากาศ การจัดสายอากาศให้ทำงานเป็นกลุ่ม ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์สายอากาศ ทั้งนี้เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับกรวิเคราะห์สายอากาศมีสัมฤทธิ์ผลที่ดี อีกทั้งผู้ศึกษาสามารถประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์ต่างๆ ได้เหมาะสมกับสถานการณ์

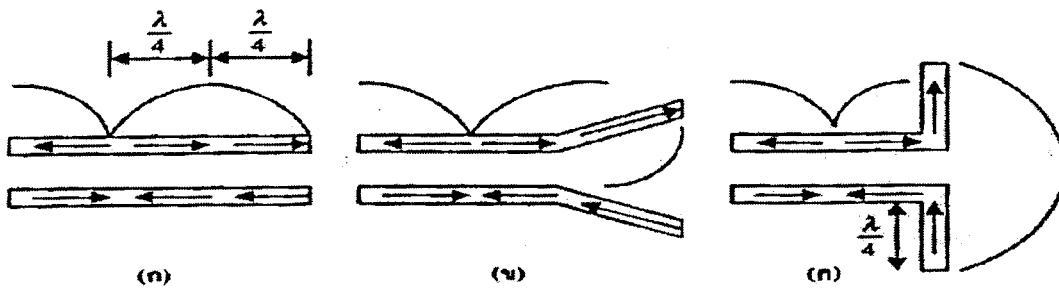
2.3 ธรรมชาติการทำงานของสายอากาศ

เมื่อสายอากาศทำงานในภาครับนั้น กลไกการทำงานเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรีให้เป็นคลื่นบังคับวิธีสามารถเข้าใจได้โดยง่าย ด้วยการพิจารณาว่าคลื่นในปริภูมิเสรีที่ตกกระทบบนสายอากาศเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศอันเป็นผลสืบเนื่องให้มีการไหลของกระแสสัญญาณเมื่อมีการต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์รับสัญญาณ

ในกรณีที่สายอากาศทำงานในภาคส่ง สิ่งที่เกิดขึ้นคือ พลังงานในลักษณะของคลื่นบังคับวิธีได้รับการแปลงรูปไปเป็นพลังงานในลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรี การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในลักษณะที่มีการเคลื่อนย้ายของพลังงานจากสายอากาศเข้าสู่บริเวณปริภูมิเสรี โดยปราศจากการนำหรือการพา และมีใช้การแพร่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปพลังงาน ดังนั้นจึงเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นว่าการแผ่พลังงาน

สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแผ่พลังงาน ก็คือกลไกการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ เมื่อพิจารณาการทำงานของสายอากาศเส้นลวด จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นด้วยการป้อนกำลังงานคลื่นให้ที่ขั้วของสายอากาศ ในจังหวะนี้เท่ากับมีการกระตุ้นให้อนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เมื่ออนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่ไปถึงปลายของเส้นลวดก็จะถูกหน่วงให้หยุดและกระดอนกลับ ในช่วงที่อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วงนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน ซึ่งผลลัพธ์ก็คือการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การถูกเร่งนั้นเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแหล่งพลังงานที่ต่ออยู่ที่ขั้วของสายอากาศ ส่วนการหน่วงเป็นผลจากแรงต้านภายในเนื่องจากการเสียดตัวของประจุที่ปลายสายอากาศ ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วง ไม่ว่าจะการทำให้มีมิพีดแดนซ์ที่ไม่ต่อเนื่องหรือการตัดหรือหักลวดให้โค้งงอ ก็จะส่งผลให้เกิดการแผ่พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รูปที่ 2.5 แสดงกรณีต่างๆ ของการเกิดขึ้นของการแผ่พลังงานจากสายอากาศเส้นลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สายส่งแบบขนาน

(ข) สายส่งแบบขนานที่ปลายถูกทำให้โค้งออก

(ค) สายส่งแบบขั้วคู่

รูปที่ 2.5 การแผ่พลังงานจากสายอากาศ

2.4 ค่าคุณลักษณะและค่าปัจจัยต่างๆ ของสายอากาศ

สายอากาศชนิดต่างๆ ที่มีใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีค่าคุณลักษณะและค่าปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบการประเมินสมรรถนะของสายอากาศเพื่อช่วยตัดสินใจประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานอยู่มากมาย ในส่วนนี้จะกล่าวเฉพาะส่วนที่สำคัญและน่าสนใจดังนี้

2.4.1 ระยะเวลาของสนามจากสายอากาศหรือระยะเวลาสายอากาศ (Field region)

2.4.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern)

2.4.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input impedance)

2.4.4 ประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน (Radiation efficiency)

2.4.5 ความกว้างลำคลื่น (Beam width)

2.4.6 ความหนาแน่นกำลังงานที่แผ่กระจายคลื่น (Radiation power density)

2.4.7 ความเข้มการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

2.4.8 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

2.4.9 อัตราขยาย (Gain)

2.4.10 ความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผล (Effective length and area)

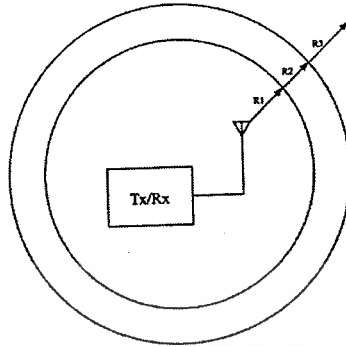
2.4.11 ประสิทธิภาพของช่องเปิด (Aperture efficiency)

2.4.12 โพลาริเซชันและประสิทธิภาพโพลาริเซชัน (Polarization and polarization efficiency)

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ระยะของสนามจากสายอากาศหรือระยะสายอากาศ (Field region) คือระยะที่บ่งบอกว่าสายอากาศจะมีการแผ่กระจายคลื่นออกมาหมดหรือยังมีการสะสมพลังงานอยู่ โดยระยะสายอากาศจะแบ่งได้เป็น 3 ระยะดังรูปที่ 2.6



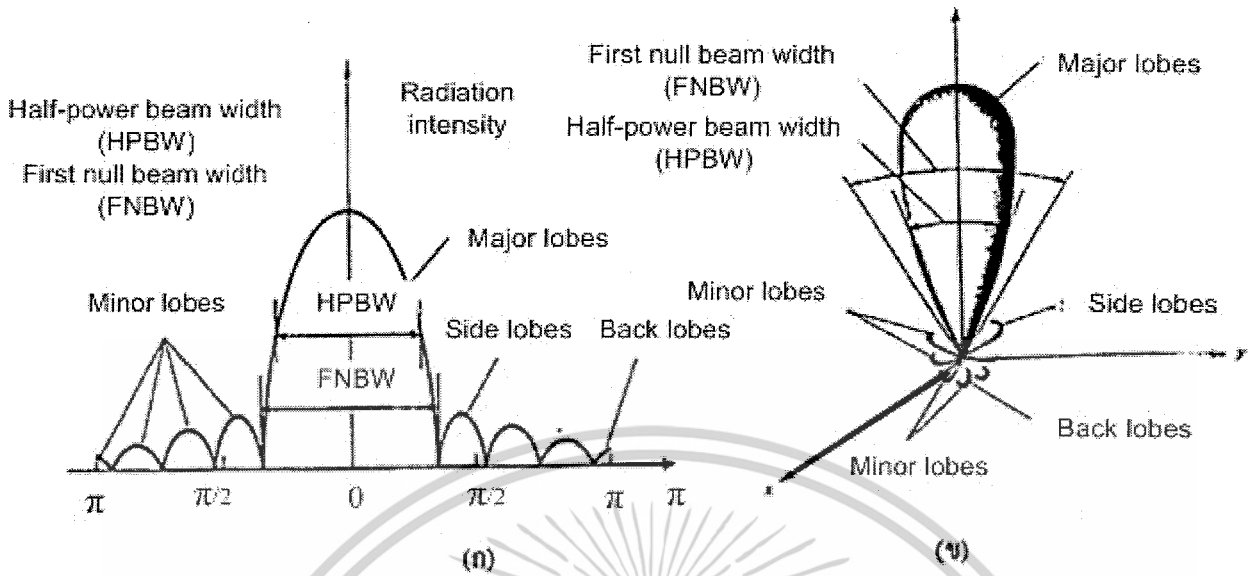
รูปที่ 2.6 ระยะสายอากาศที่ระยะต่างๆ

2.4.1.1 ระยะสนามระยะใกล้รีแอคทีฟ (Reactive near field) คือระยะที่วัดจากสายอากาศไปจนถึง $0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ หรือระยะที่อยู่ระหว่าง $0 \leq R_1 < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ โดยที่ D คือมิติที่กว้างที่สุดของสายอากาศ ที่ระยะนี้จะพบว่าสายอากาศจะไม่แผ่กระจายคลื่นออกมาแต่จะสะสมพลังงานในรูป Reactive กำลังงานที่คำนวณได้จะอยู่ในรูปของส่วนจินตภาพ

2.4.1.2 ระยะสนามระยะใกล้ที่แผ่กระจายคลื่น (Radiation near field) คือระยะตั้งแต่ $0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ ไปจนถึง $2D^2/\lambda$ หรือ $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R_2 < 2D^2/\lambda$ ที่ระยะนี้สายอากาศจะแผ่กระจายคลื่นออกมาบางส่วนและสะสมไว้บางส่วน กำลังงานที่คำนวณได้จะอยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน

2.4.1.3 ระยะสนามระยะไกล (Far field) คือระยะตั้งแต่ $2D^2/\lambda$ เป็นต้นไปหา $2D^2/\lambda \leq R_3 \leq \infty$ ที่ระยะนี้สายอากาศจะแผ่กระจายคลื่นออกมาหมด กำลังที่คำนวณได้จะเป็นสัดส่วนจริง

2.4.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern) แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นวิธีการแสดงความสามารถในการแผ่พลังงานของสายอากาศออกไปในทิศทางต่างๆ หรือรับพลังงานที่ส่งมาจากทิศทางต่างๆ โดยการวาดภาพลายเส้นที่นำเสนอค่าระดับกำลังงานสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งเชิงมุมต่างๆ แบบรูปการแผ่พลังงานอาจนำเสนอโดยใช้ระบบพิกัดฉากหรือเชิงขั้วก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7



(ก) นำเสนอในระบบพิกัดฉาก
 (ข) นำเสนอในระบบสามมิติ

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

โดยทั่วไปแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขณะที่เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีความเหมือนกันทุกประการ ในการวัดจึงสามารถวัดโดยให้สายอากาศทดสอบทำงานในภาคส่งหรือภาครับก็ได้ แบบรูปการแผ่พลังงานมีหลายลักษณะ เช่น รูปแบบขนาดยอดของสนาม แบบรูปวิถีภาค แบบรูปโพลาริเซชัน และแบบรูปสภาพเจาะจงทิศทาง แบบรูปเหล่านี้เป็นประโยชน์ในการใช้ประกอบพิจารณาเพื่อประยุกต์ใช้งานสายอากาศในลักษณะงานเฉพาะต่างๆ

ในแบบรูปการแผ่พลังงานจะประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ชี้ไปในทิศทางต่างๆ ปกติระดับสัญญาณที่มียอดสูงสุดเป็นตัวกำหนดแนวแรงหลักของสายอากาศระดับสัญญาณนี้เรียกว่าลำคลื่นหลัก หรือลำคลื่นหลัก ระดับสัญญาณอื่นๆ เรียกว่าลำคลื่นย่อยหรือลำคลื่นย่อย ระดับลำคลื่นย่อยมีความสำคัญในการควบคุมระดับสัญญาณรบกวนและจากทิศทางไม่พึงประสงค์ในการใช้งานบางลักษณะ

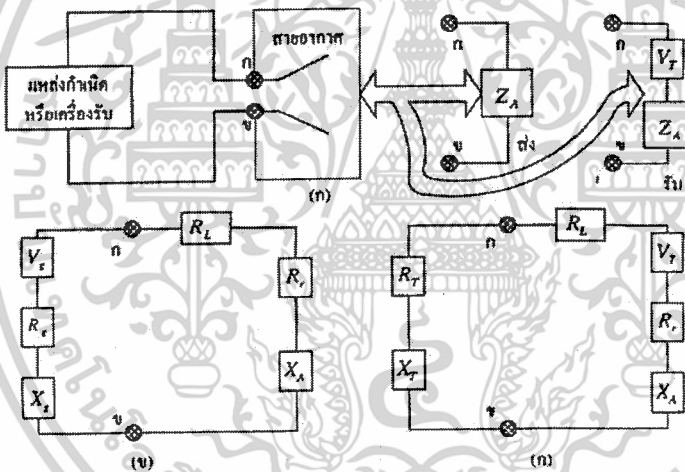
2.4.3 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input impedance) กรณีที่พิจารณาสายอากาศเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้าเมื่อต่อแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศที่ละน้อยเนื่องจากปรากฏการณ์มีการต้านการไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อน อิมพีแดนซ์ดังกล่าวซึ่งปรากฏที่ขั้วของสายอากาศที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า ค่านี้มีความสำคัญในการพิจารณาจัดระบบป้อนกำลังคลื่นให้กับสายอากาศ รูปที่ 2.8 (ก) แสดงแนวคิดของการมองสายอากาศเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรทั้งกรณีที่ทำงาในภาครับและภาคส่ง ในกรณีภาคส่งสายอากาศเสมือนอิมพีแดนซ์ตัวหนึ่ง (Z_A) ซึ่งประกอบด้วยความต้านทานการแผ่พลังงาน (R_r) และรีแอคแตนซ์ (X_A) โดย (R_r) แทนการสูญเสียในวงจรซึ่งหมายถึงพลังงานคลื่นที่แผ่ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสายอากาศ ส่วน X_A คือพลังงานเชิงจินตภาพที่สะสมในบริเวณสนามใกล้ของสายอากาศโดยไม่แผ่กระจายออกไปรูปที่ 2.8 (ข) แสดงวงจรสมมูลเมื่อสายอากาศทำงานในภาคส่ง เมื่อสายอากาศทำงานในภาครับแสดงแทนด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 2.8 (ค) ส่วนที่เป็นสายอากาศจะเสมือนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสมมูล V_T และอิมพีแดนซ์ Z_A โดย V_T เป็นสัญญาณออกที่สายอากาศป้อนสู่เครื่องรับที่มีอิมพีแดนซ์ $Z_r = R_r + jX_r$ สำหรับ R_L แทนการสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะสายอากาศทำงาน

2.4.4 ประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน (Radiation efficiency) ประสิทธิภาพการแผ่พลังงานแสดงความสามารถของสายอากาศที่จะแผ่พลังงานที่ได้รับออกมาในปริภูมิเสรี คำนี้นคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกมากับกำลังงานที่ป้อนให้กับตัวสายอากาศ ถ้าพิจารณาให้สายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนในวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.8 ก็จะสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$\eta_r = \frac{R_r}{R_r + R_L} \tag{2.1}$$



- (ก) ระบบสายอากาศ
- (ข) วงจรสมมูลเมื่อสายอากาศทำงานในภาคส่ง
- (ค) วงจรสมมูลเมื่อสายอากาศทำงานในภาครับ

รูปที่ 2.8 แนวคิดในการพิจารณาการทำงานของสายอากาศโดยอาศัยมุมมองแบบทฤษฎีวงจร

2.4.5 ความกว้างลำคลื่น (Beam width)

ความกว้างลำคลื่นเป็นค่าที่มีผลต่อการพิจารณาความสามารถในการกำหนดรายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลในการสำรวจข้อมูลระยะไกล หรือพื้นที่ที่ครอบคลุมของสัญญาณในการให้บริการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น โดยทั่วไปนิยามของความกว้างลำคลื่นสองแบบที่นิยมใช้กัน ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half power beam width) คือขนาดเชิงมุมของลำคลื่นหลักที่วัดตรงช่วงระหว่างตำแหน่งที่กำลังคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

- ความกว้างลำคลื่น ณ จุดศูนย์กลางคู่แรก (First null beam width) คือ ขนาดเชิงมุมของลำคลื่นหลักที่วัดตรงช่วงระหว่างตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางคู่แรกดังสมการในรูปที่ 2.7

2.4.6 ความหนาแน่นกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่น คือกำลังงานที่แพร่กระจายคลื่นต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น W/m^2 เป็นปริมาณ Vector

$$\vec{W}_{rad} = \vec{W}_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \quad (2.2)$$

ที่ระยะสนามระยะไกลจะมี Intrinsic impedance เท่ากับ

$$\eta = \frac{E}{H} \quad (2.3)$$

จาก

$$\begin{aligned} \vec{W}_{av} &= \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \\ \vec{W}_{av} &= \frac{1}{2} \text{Re}\left[\vec{E} \times \frac{\vec{E}^*}{\eta}\right] = \frac{1}{2} \text{Re}[\eta \vec{H} \times \vec{H}^*] \\ \vec{W}_{av} &= \frac{1}{2\eta} |\vec{E}|^2 = \frac{\eta}{2} |\vec{H}|^2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.4.7 ความเข้มการแพร่กระจายคลื่น คือกำลังงานต่อหน่วยมุมตันมีหน่วยเป็น W/Sr มุมตัน (Solid angle) มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (sr) โดยที่มุม 1 sr คือมุมที่รองรับพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับกำลังสองของรัศมีทรงกลม 1 ลูกมี 4π sr

$$U(\theta, \phi) = r^2 W_{av} \quad (2.5)$$

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} |E|^2 = \frac{r^2 \eta}{2} |H|^2 \quad (2.6)$$

กำลังงานในการแพร่กระจายคลื่นทั้งหมด

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.7)$$

2.4.8 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) สภาพเจาะจงทิศทางถือว่าเป็นค่าคุณลักษณะตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมาก คำนี้นับบอกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อสมมติว่ามีการแผ่พลังงานออกไปรอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกัน โดยละเลยกำลังงานส่วนที่สูญเสียไป สูตรแสดงการคำนวณเป็นดังต่อไปนี้

$$D = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (2.8)$$

โดย U_0 คือ ความเข้มการแผ่พลังงานของสายอากาศไอโซโทรปิก (W/Sr)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.9 อัตราขยาย (Gain) อัตราขยายของสายอากาศมิได้บ่งบอกถึงความสามารถในการขยายสัญญาณ เช่นเดียวกับกรณีของวงจรถ่าย ในกรณีของสายอากาศนั้นอัตราขยายจะคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มข้นของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย พิจารณาว่ากำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับสายอากาศได้รับการแผ่ออกอย่างเท่าเทียมกันรอบทิศทางไม่มีการสูญเสีย

สูตรสำหรับการคำนวณอัตราขยายเป็นดังต่อไปนี้

$$G = \frac{U(\theta, \phi)}{U_f} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_f} \quad (2.9)$$

โดย U_f คือ ความเข้มข้นการแผ่พลังงานเฉลี่ยที่ป้อนให้สายอากาศ (W/Sr)

P_f คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศ (W)

เนื่องจากการคำนวณอัตราขยายจะคำนึงถึงผลของการสูญเสียด้วย ดังนั้นค่าสภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยายจึงมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$G = \eta_r D \quad (2.10)$$

2.4.10 ความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผล (Effective length and area) แนวคิดเกี่ยวกับความยาวประสิทธิผลและพื้นที่ประสิทธิผลเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกันในการพิจารณาทั้งการรับและการส่งกำลังงานคลื่นโดยสายอากาศ ในส่วนของสายอากาศเส้นลวดการใช้ความยาวประสิทธิผลทำให้มองเห็นความสามารถในการใช้ขนาดทางกายภาพตามแนวความยาวของเส้นลวดที่เป็นสายอากาศให้เกิดประโยชน์ทั้งนี้เนื่องจากตลอดแนวความยาวดังกล่าวนั้นสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบจะไม่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาโดยกำหนดว่าขนาดความยาวที่ได้รับการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวความยาวดังกล่าว โดยมีค่าการแจกแจงกระแสที่คงที่เท่ากับค่าสูงสุดของการแจกแจงกรณีไม่สม่ำเสมอ ขนาดความยาวดังกล่าวนี้เรียกว่า “ความยาวประสิทธิผล”

ในกรณีของสายอากาศช่องเปิดก็สามารถพิจารณาได้ในลักษณะเดียวกัน โดยการคิดขนาดพื้นที่ซึ่งมีการตกกระทบหรือแผ่พลังงานคลื่นได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งผิวหน้า โดยมีค่าการแจกแจงความเข้มสนามคงที่เท่ากับค่าสูงสุดของกรณีแจกแจงไม่สม่ำเสมอ ขนาดพื้นที่ดังกล่าวเรียกว่า “พื้นที่ประสิทธิผล”

2.4.11 ประสิทธิภาพของช่องเปิด (Aperture efficiency) ค่านี้เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ประสิทธิผลกับขนาดพื้นที่จริงทางกายภาพ ดังสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{ap} = \frac{A_{eff}}{A_{phy}} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	η_{ap}	คือ ประสิทธิภาพช่องเปิด
	A_{eff}	คือพื้นที่ประสิทธิผล
	A_{phy}	คือพื้นที่จริงทางกายภาพ

อัตราส่วนนี้เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการใช้ประโยชน์พื้นที่ของช่องเปิดที่ปรากฏทางกายภาพของสายอากาศในการรับหรือส่งพลังงานคลื่น

2.4.12 โพลาริเซชันและประสิทธิภาพโพลาริเซชัน (Polarization and polarization efficiency) โพลาริเซชันของสนามแสดงเส้นทางที่ปลายเวกเตอร์สนามกวาดปัดจะยึดเอาเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเป็นสำคัญสำหรับประสิทธิภาพโพลาริเซชันเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานคลื่นระนาบที่มีโพลาริเซชันแน่นอนสถานะหนึ่งกับกำลังงานที่สายอากาศควรจะได้รับเมื่อคลื่นระนาบดังกล่าวมีโพลาริเซชันของสายอากาศ คำนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ความเข้ากันได้เชิงโพลาริเซชัน”

2.5 สายอากาศไมโครสตริป

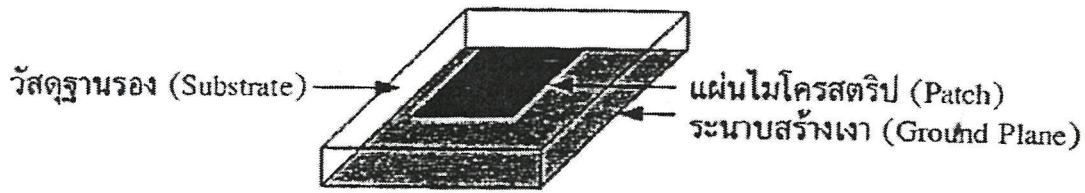
แนวความคิดในการใช้ไมโครสตริปซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ในการแพร่กระจายคลื่นถูกนำเสนอครั้งแรก โดย Deschamps ค.ศ. 1953 และหลังจากนั้น 20 ปี จึงมีการสร้างเป็นสายอากาศใช้งานจริง โดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎี และเทคนิค photo-etch ของฐานรองที่เป็นทองแดง (copper) หรือวัสดุเคลือบทอง (gold-clad) และมีคุณสมบัติทางอุณหภูมิ และทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้นมีค่า loss tangent ที่ต่ำ สายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย Howell Munson จากนั้นก็มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง ขึ้นไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน

2.6 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วย แผ่นนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่ โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งจะมีรูปร่างต่างๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) วงกลม (Circle) วงรี (Elliptical) ฯลฯ เรียกว่า ตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiating Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือวัสดุเคลือบทอง แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างมาก เรียกว่า แผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบตัวแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความต้องการ แผ่นกราวด์ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มีขนาดจนถึงอนันต์ (Infimite) ได้ ดังนั้นในการออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัดของแผ่นกราวด์ว่าควรมีขนาดเท่าไร เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่น ลักษณะ โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 รูปแบบโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

2.7 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป จะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านไมโครเวฟแบบอื่นๆ โดยสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 50 GHz

2.7.1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- น้ำหนักเบา (Lightweight) ขนาดเล็ก (Low volume)
- ทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้ เพราะไม่มีผลทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)
- พื้นที่หน้าตัดเล็กน้อย (Low profile)
- สามารถผลิตได้ง่ายและราคาถูก (Low fabrication cost)
- มีความสะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ เช่น จรวด, ดาวเทียม เป็นต้น
- มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม

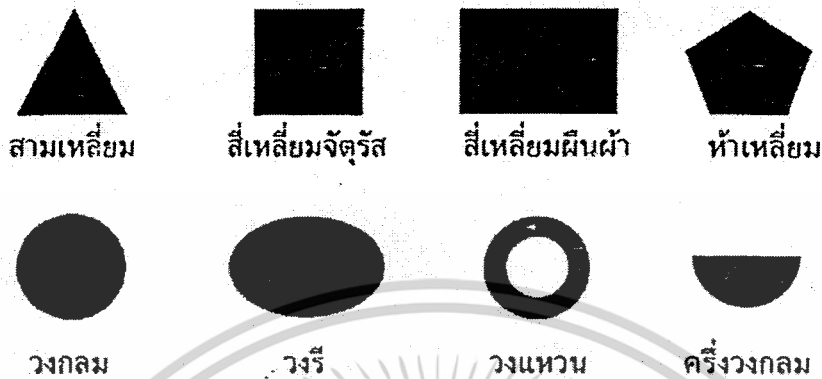
2.7.2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดเจนของสายอากาศไมโครสตริป

- มีช่วงความถี่ที่รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (Narrow bandwidth)
- มีอัตราการสูญเสีย (Loss)
- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดประมาณ 20 dB
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ

2.8 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป

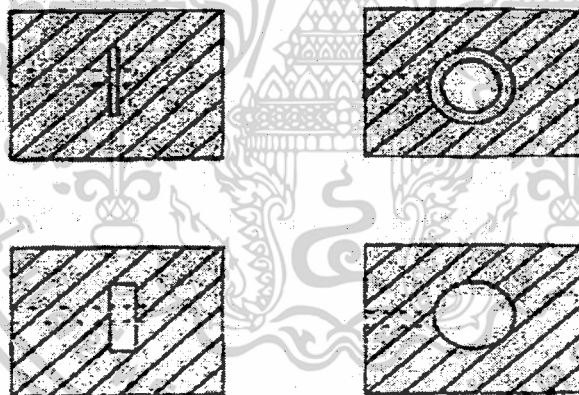
สายอากาศไมโครสตริปจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศย่านไมโครเวฟทั่วไปที่เห็นได้ชัดคือ รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ 1. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Patch 2. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot 3. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.8.1 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Patch (MPA) ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปร่างทางเรขาคณิตอยู่บนแผ่น ไดอิเล็กตริก อีกด้านหนึ่งของไดอิเล็กตริกจะเป็นพื้นกราวด์ แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งหาได้จากการคำนวณรูปร่างลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)

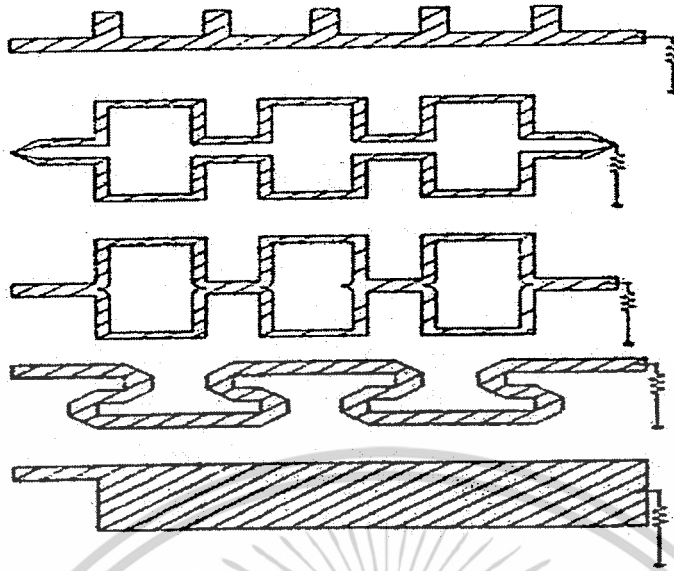
2.8.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot ประกอบด้วยช่องซึ่งต่อกับเส้นไมโครสตริปช่องนี้จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กว้างหรือแคบก็ได้) วงกลม หรือวงแหวนดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Slot

2.8.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave (MTA) ประกอบด้วยตัวนำลักษณะเป็นคาบหรือมีความยาวเส้น TEM จะต่อกับความต้านทานที่เป็น load โดยมีรูปร่างดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Travelling-wave

2.9 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป

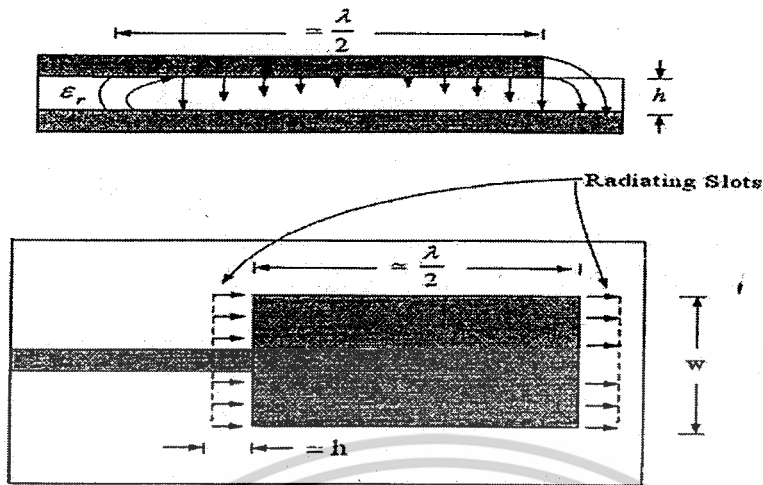
การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปเกิดจากสนามโป่งที่เกิดขึ้นระหว่างขอบของตัวนำของสายอากาศไมโครสตริปกับพื้นกราวด์ โดยการแพร่กระจายคลื่นอย่างไม่ต่อเนื่องของสายอากาศไมโครสตริปถูกทดสอบโดย Levin การวิเคราะห์ของเขาจะพิจารณากระแสที่ไหลในตัวนำ วิธีนี้จะใช้คำนวณหาค่า Q ของความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองถ้าพิจารณาสนาม

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

2.10 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ

การแพร่กระจายสนามของสายอากาศจะเกิดขึ้นที่สนามรอบนอกระหว่างขอบของแผ่นตัวนำของสายอากาศและแผ่นกราวด์เพลน (Ground Plane) ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปจะมีลักษณะโครงสร้างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศจะมีขนาดขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะใช้งานที่จะออกแบบให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ แผ่นกราวด์เพลนที่ใช้เป็นลักษณะเป็นทองแดงกว้างทั้งแผ่น ในส่วนของตัวนำจะมองขอบของตัวนำโดยจะมองเหมือนสายอากาศปากเปิด (Aperture Antenna) ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมหนึ่งเอเลเมนต์ จะมีสายอากาศปากเปิดสองช่องเปิด ซึ่งทั้งสองช่องเปิดนี้จะถูกแยกออกจากกันโดยความยาวของตัวสายอากาศซึ่งจะมีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ของแผ่นไดอิเล็กตริกซึ่งทั้งสองช่องเปิดจะวางตัวเป็นแบบอาร์เรย์กัน

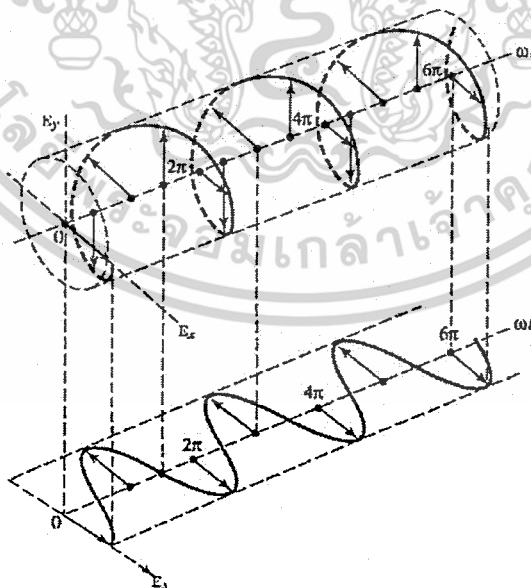
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.11 การโพลาริซซ์

การโพลาริซซ์ได้ถูกกำหนดให้เป็นคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อธิบายทิศทางและขนาดสัมพัทธ์ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเป็นรูปที่แสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งหนึ่งๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ในการสังเกตลักษณะการกวาดของสนามไฟฟ้าตั้งนี้จะมองตามหลังคลื่นที่เดินทางออกไป เราอาจสรุปได้อีกนัยหนึ่งว่าการโพลาริซซ์จะเป็นรูปกราฟที่วาดขึ้น จากการกวาดของปลายลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการกวาดของลูกศรที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าขณะหนึ่ง

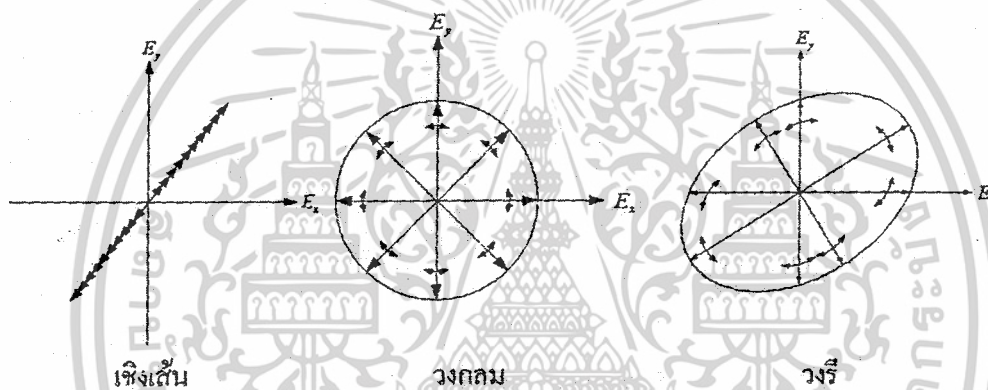
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 แสดงลูกศรที่แสดงสนามขนาดและทิศทางสัมพัทธ์ของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งคงที่ตำแหน่งหนึ่ง โดยลูกศรนี้จะมีขนาดยาวและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาต่างๆ สำหรับการกวาดแบบวงรีเมื่อเรามองตามหลังคลื่นที่เดินทางไปในทิศทาง $-z$ ที่ z คงที่ค่าหนึ่งจะเห็นว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ลูกศรจะกวาดเป็นลักษณะวงรีในทิศทางตามเข็มนาฬิกา สำหรับการกวาดแบบเชิงเส้นจะเห็นว่ามีการกวาดของลูกศรเป็นลักษณะเส้นตรง

เราจะแบ่งการโพลาไรซ์เป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

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

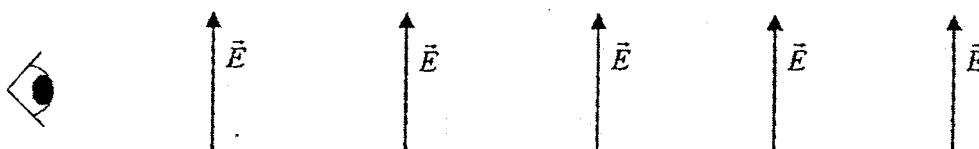
ซึ่งสามารถอธิบายด้วยรูปดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.15 การโพลาไรซ์แบบต่างๆ

2.11.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization: LP) คือ คลื่นเดินทางไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศของ E ตลอดการเดินทาง

2.11.1.1 การโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization: VP) ทิศของ E จะมีทิศทางแนวตั้งตลอดการเดินทาง



รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์แนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1.2 การโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization: HP) ทิศของ E จะมีทิศในแนวนอน

ตลอดการเดินทาง



รูปที่ 2.17 การโพลาไรซ์แนวนอน

2.11.1.2 การโพลาไรซ์แนวเฉียง Slant Polarization: SP) ทิศของ E จะเอียงทำมุมใดๆ ตลอดการ

เดินทาง



รูปที่ 2.18 การโพลาไรซ์แนวเฉียง

2.11.2 การโพลาไรซ์วงกลม (Circular Polarization: CP) คือคลื่นเดินทางไปโดยมีการเปลี่ยนแปลงทิศของ E ตลอดเวลาโดยรักษามagnitude ของ E ไว้คงที่

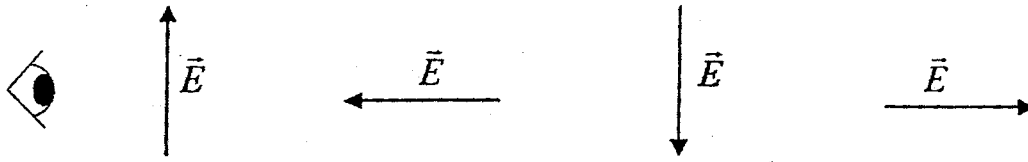
2.11.2.1 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา (Right-Hand Circular Polarization: RHCP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise Polarization: CWEP)



รูปที่ 2.19 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2.2 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย (Left-Hand Circular Polarization: LHCP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ทวนเข็มนาฬิกา (Anti-Clockwise Polarization: AWCP)



รูปที่ 2.20 การโพลาไรซ์เชิงวงกลมแบบหมุนซ้าย

2.11.3 การโพลาไรซ์เชิงวงรี (Elliptical Polarization: EP) คือคลื่นเดินทางไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงใน ทั้งทิศและขนาดของสนามไฟฟ้าตลอดการเดินทางแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

2.11.3.1 การโพลาไรซ์แบบหมุนขวา (Right-Hand Elliptical Polarization: RHEP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise Polarization: CWEP)

2.11.3.2 การโพลาไรซ์แบบหมุนซ้าย (Left-Hand Elliptical Polarization: LHEP) หรือเรียกว่า การโพลาไรซ์ทวนเข็มนาฬิกา (Anti-Clockwise Polarization: AWEP)

2.12 อัตราส่วนแกน (Axial Ratio)

การที่เราจะรู้ได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการโพลาไรซ์แบบใด เราจะพิจารณาจากอัตราส่วนแกน (Axial Ratio หรือ AR) จากสูตร

$$AR = \frac{\text{Major Axis}}{\text{Minor Axis}} = \frac{|\vec{E}_r|_{\max}}{|\vec{E}_r|_{\min}} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$1 \leq AR \leq \infty$$

2.12.1 (Linear Polarization: LP) สนามไฟฟ้าจะขึ้นในทิศทางเดียวจะมีเฉพาะแกนหลักเท่านั้น

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

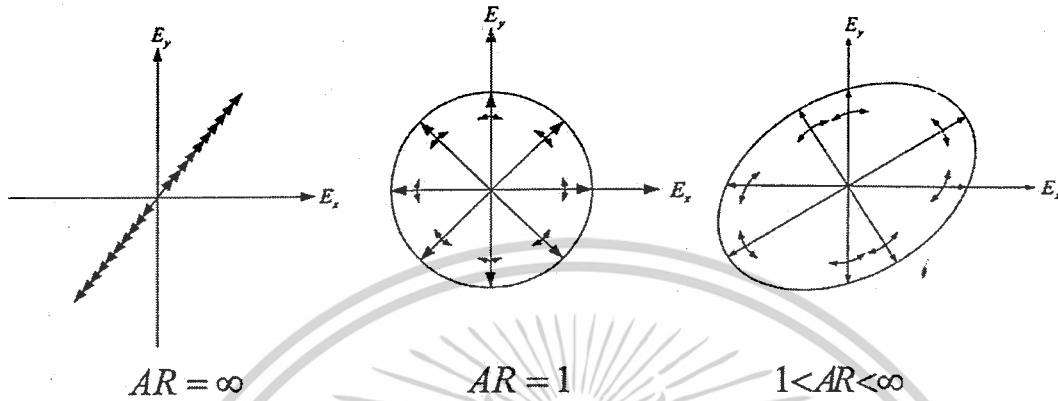
2.12.2 (Circular Polarization: CP) สนามไฟฟ้าเท่ากันตลอดคือแกนหลัก = แกนรอง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 (Elliptical Polarization: EP) สนามไฟฟ้ามีขนาดเท่าๆ กัน

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

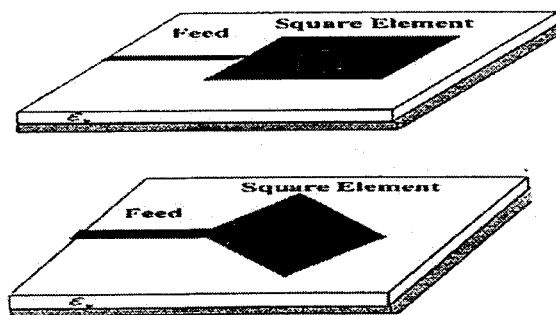


รูปที่ 2.21 อัตราส่วนแกนของการโพลาไรซ์ในรูปแบบต่างๆ

2.13 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)

สายอากาศไมโครสตริปจะมีการแพร่กระจายคลื่นของเอเลเมนต์ในแต่ละด้านของสายอากาศจะมีสารไดอิเล็กทริกและมีวิธีการป้อนสัญญาณสองวิธีคือ การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed) ในการป้อนสัญญาณจะต้องป้อนให้เกิดความสมดุล (Matching) เสมอระหว่างสายป้อนสัญญาณกับตัวสายอากาศเพราะอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณจะต้องมีค่าเท่ากันประมาณ 50 โอห์ม ซึ่งจะเกิดการสมดุล (Matching) ได้นั้นจะต้องเลือกตำแหน่งของสายป้อนสัญญาณ (Feed Line) ด้วยตำแหน่งการป้อนสัญญาณทั้งการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล เราสามารถกล่าวสรุปวิธีการป้อนทั้งสองแบบได้ดังนี้

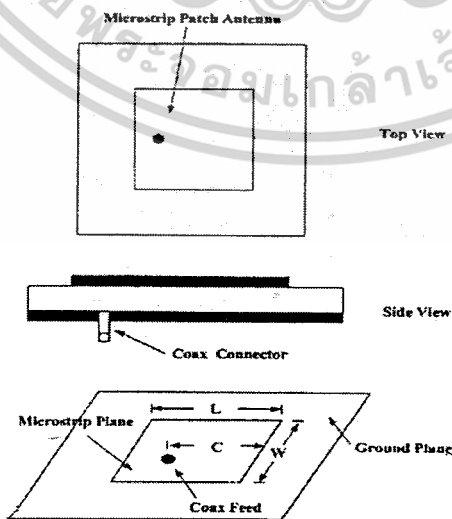
2.13.1 การป้อนสัญญาณทั้งการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริปเราสามารถแบ่งวิธีการป้อนสัญญาณได้สองวิธีคือ วิธีการป้อนสัญญาณที่ศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Center Feed Microstrip Antennas) และ วิธีการป้อนสัญญาณแบบด้านข้างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Off-Center Feed Microstrip Antennas) ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป

ตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดวิธีการกระตุ้นให้กับสายอากาศ เช่น การป้อน แบบจุดศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศจะต้องทำการทดลองเพื่อที่จะหาตำแหน่งที่มีอิมพีแดนซ์ของสายป้อน 50 โอห์ม ซึ่งอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายป้อนเราสามารถวัดค่าออกมาได้ เมื่อนำสายป้อนมาป้อนให้กับสายอากาศแล้วจะต้องเกิดการสมมูลขึ้นระหว่างสายป้อนสัญญาณกับแผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศในรูปแบบเฉพาะของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศสามารถป้อนได้หลายวิธีสนามของสายอากาศเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของสายส่งแบบไมโครสตริปอินพุทอิมพีแดนซ์ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายป้อน (Feed Line) จะมีผลกระทบบ้างเล็กน้อย โดยจะทำให้ความถี่เกิดการรีโซแนนซ์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างสายป้อนสัญญาณและสายอากาศ แต่ในส่วนของ การแพร่กระจายคลื่นหรือแพทเทิร์นของสายอากาศจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ถ้าความถี่เรโซแนนซ์มีการเลื่อนออกไปสามารถชดเชยได้โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นสายอากาศให้เล็กลง

2.13.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed) ในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบสายส่งโคแอกเซียล มักจะกระทำที่ด้านหลังของแผ่นสายอากาศ ซึ่งตำแหน่งของการ Feed คอนเนคเตอร์ (connector) ที่ต่ออยู่กับสายอากาศไมโครสตริป สามารถที่จะหาได้จากการสังเกตค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 2.23 รูปแบบการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

3.1 บทนำ

การออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลระบบอาร์เอฟไอดี เพื่อทดสอบหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio) ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss) รูปแบบการแผ่พลังงานในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Radiation Pattern) อัตราขยาย (Gain) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) และประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit) ชนิด 2 หน้าที่วัสดุไดอิเล็กตริกซ์เป็นชนิดอีพอกซี (Epoxy) มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) $\epsilon_r = 4.2$ ความหนา $h = 1.6$ มิลลิเมตร โดยจะมีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ทำการแมตช์อิมพีแดนซ์สายอากาศให้ตอบสนองความถี่ระหว่าง 920 MHz - 925 MHz

3.2 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง

3.2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ

ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่นำมาพิจารณาในการออกแบบสายอากาศมี ดังนี้

ความถี่เรโซแนนซ์เลือกที่ (f_r) = 922.5 MHz

ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r) = 4.2

ค่าความหนาของวัสดุฐานรอง (h) = 1.6 มิลลิเมตร

3.2.2 ขนาดของแผ่นไมโครสตริป (Patch)

ในโครงการทำการหาขนาดของแผ่นไมโครสตริปโดยการเลือกค่าเงื่อนไขเริ่มต้นจากคำนวณขอบเขตของแผ่นไมโครสตริปจากสมการในหนังสือ Microstrip and Printed Antenna Design ของ Randy Baneroft จากสมการดังนี้

$$a_{eff} = \frac{A_{nm} \cdot c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.1)$$

เมื่อ A_{nm} เป็นค่าคงที่ในโหมดการทำงานของสายอากาศ ซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 3.1 โดยสายอากาศในโครงการนี้มีการแพร่ทิศทางในลักษณะยูนิโพลาร์ ที่มีโหมดการทำงานเป็น TM_{02} และ c คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ ฉะนั้นในการคำนวณขนาดของแผ่นไมโครสตริป (a_{eff}) ที่เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นจะหาได้เมื่อแทนค่าตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

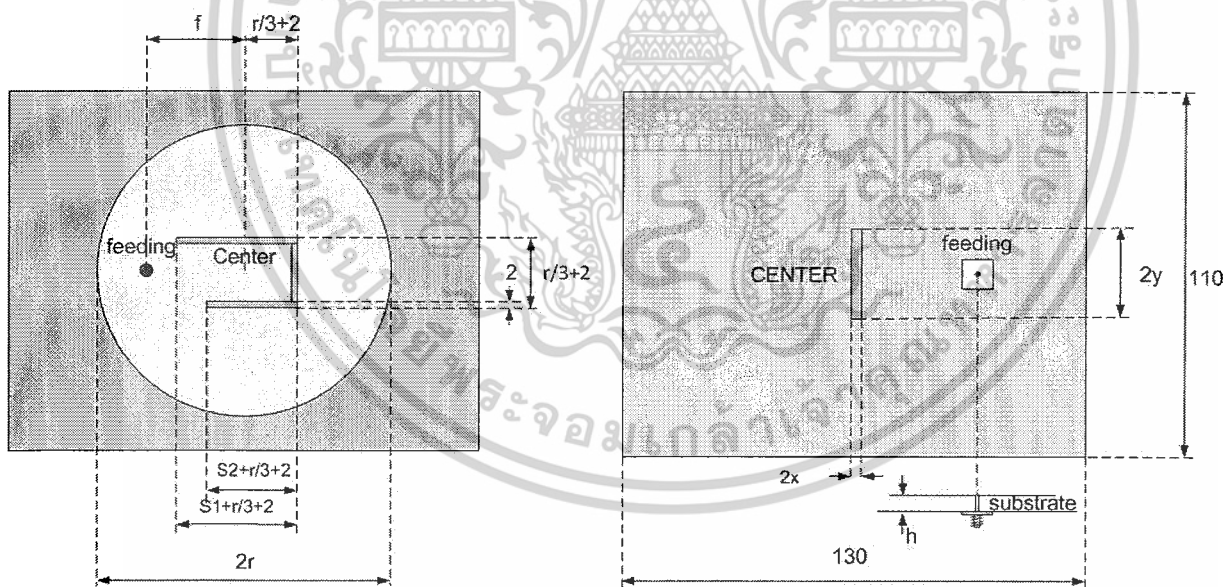
ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ของโหมดการทำงานของสายอากาศ

A_{nm}	TM_{nm}
1.84118	1,1
3.05424	2,1
3.83171	0,2

$$a_{eff} = \frac{3.83171 \times 3 \times 10^8}{2\pi \times 922.5 \text{ MHz} \times \sqrt{4.2}}$$

$$a_{eff} = 96.8 \text{ มิลลิเมตร}$$

แต่ในหลังจากการเจาะร่อง (slot) เพื่อให้การ โพลาริซชันของสายอากาศเป็นรูปแบบวงกลม จึงต้องลดขนาดของแผ่นไมโครสตริปลงเพื่อให้ค่าสูญเสียย้อนกลับของความถี่โซแนนซ์ต่ำกว่า -10 dB โดยการใช้โปรแกรม CST หาขนาดของแผ่นไมโครสตริป โดยในการเจาะร่องลักษณะคล้ายตัวยูนั้นเป็นเทคนิคในการกำหนดรูปแบบการหมุนของโพลาริซชัน โดยกระแสจะวิ่งเข้าหาร่องที่มีค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่ำไปตามร่องทำให้เกิดการโพลาริซชันเป็นวงกลม ซึ่งแสดงเป็น โครงสร้างดังรูปที่ 3.1(ก)



(ก)

(ข)

(ก) แสดงส่วนด้านหน้า

(ข) แสดงส่วนด้านหลัง

รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโครงสร้างในรูปที่ 3.1 (ก) และ (ข) ได้กำหนดตัวแปรในการจำลองค่าด้วยโปรแกรม CST ดังนี้

f คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดป้อนสัญญาณ

r คือ รัศมีของแผ่นตัวนำ

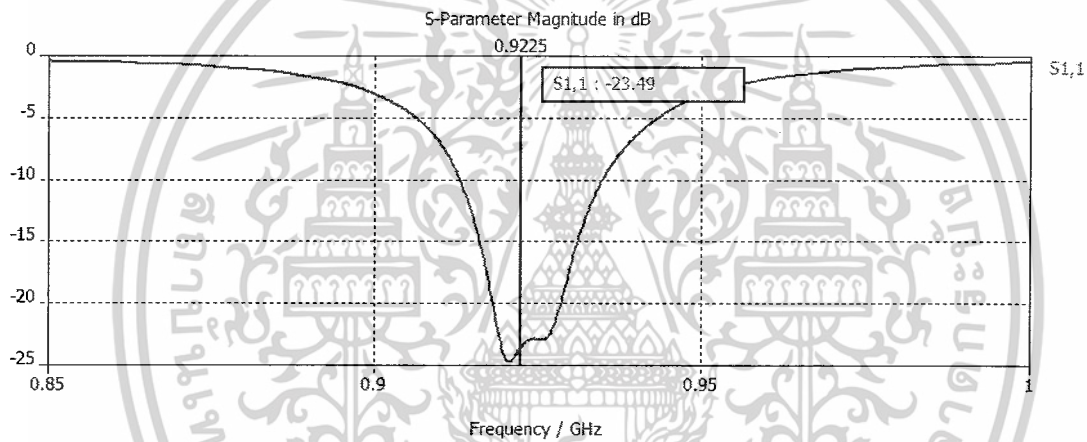
x คือ ความกว้างช่องเปิดบนแผ่นระนาบกราวด์

y คือ ความยาวช่องเปิดบนแผ่นระนาบกราวด์

s_1 คือ ระยะช่องเปิดด้านยาวโดยอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางไปทางจุดป้อนสัญญาณ

s_2 คือ ระยะช่องเปิดด้านสั้นโดยอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางไปทางจุดป้อนสัญญาณ

จากรูปที่ 3.1 (ข) แสดงในส่วนของโครงสร้างด้านหลัง ซึ่งมีการเจาะร่องเพื่อเพิ่มในเรื่องของอัตราส่วนแกนให้มีความมากกว่า -3 dB ซึ่งอาศัยการปรับระยะจากโปรแกรม CST และจากการทำการประมวลผลในโปรแกรมเพื่อดูค่าสูญเสียย้อนกลับที่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ 922.5 MHz มีค่าเท่ากับ -23.49 dB ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ค่าสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้จากโปรแกรม CST

จากรูปที่ 3.2 แสดงค่าสูญเสียย้อนกลับที่ได้จะนำไปทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์จากสมการที่ (3.2)

$$BW(\%) = \frac{\Delta f}{f_r} \times 100\% \quad (3.2)$$

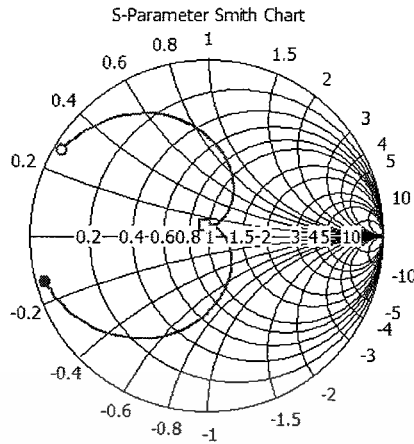
$$BW = \frac{0.021}{0.9225} \times 100 = 2.26\%$$

นำสายอากาศที่ทำการออกแบบไปทำการประมวลผลในโปรแกรม CST เพื่อหาค่าเมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 922.5 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

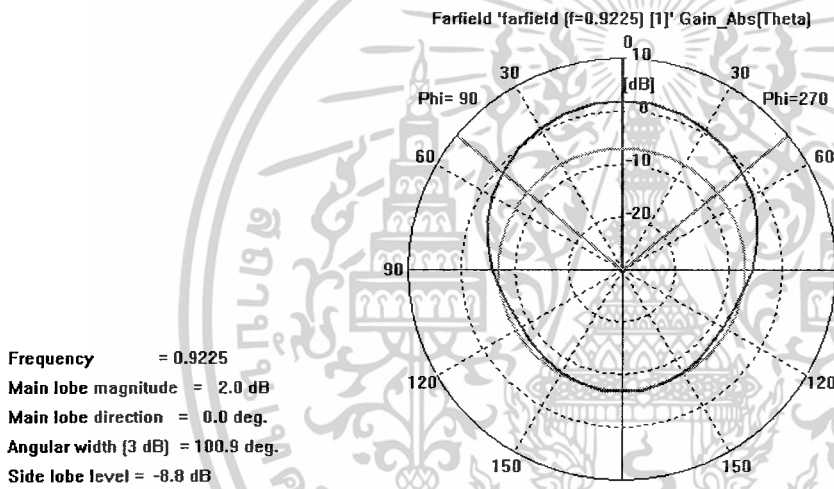
- 0.8500 (1.1, 13.8) Ohm
- 0.9225 (48.24, 6.321) Ohm
- 1.000 (1.322, -6.837) Ohm

S1,1 (50 Ohm)

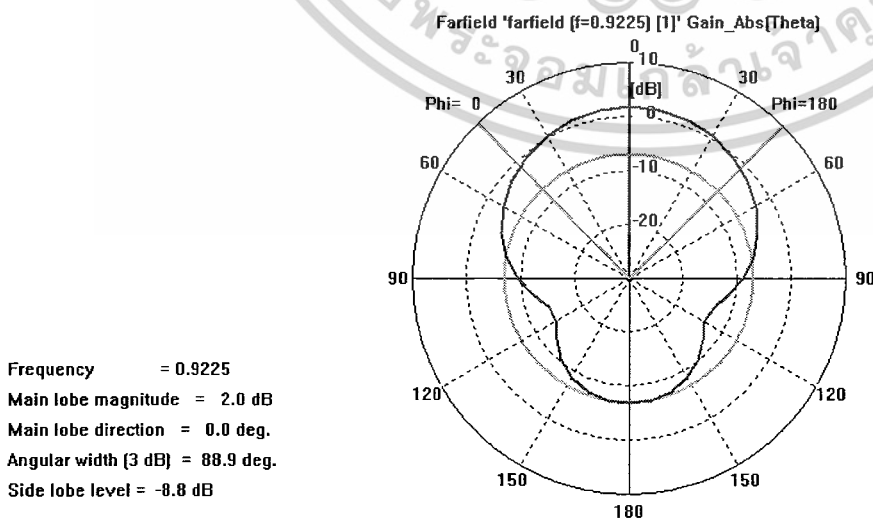


Parameter = Frequency / GHz

รูปที่ 3.3 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากโปรแกรม CST



รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า

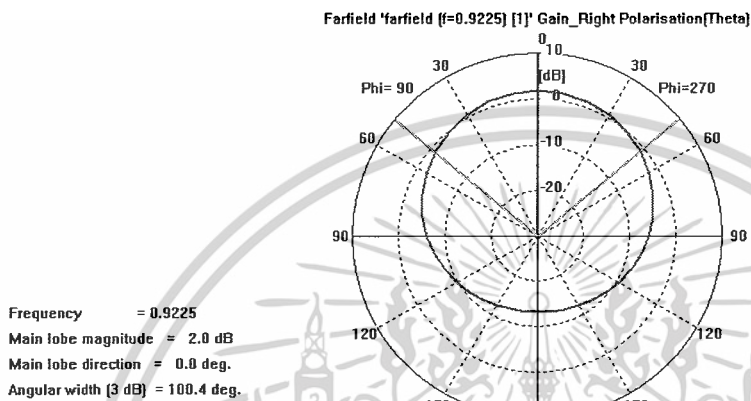


รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

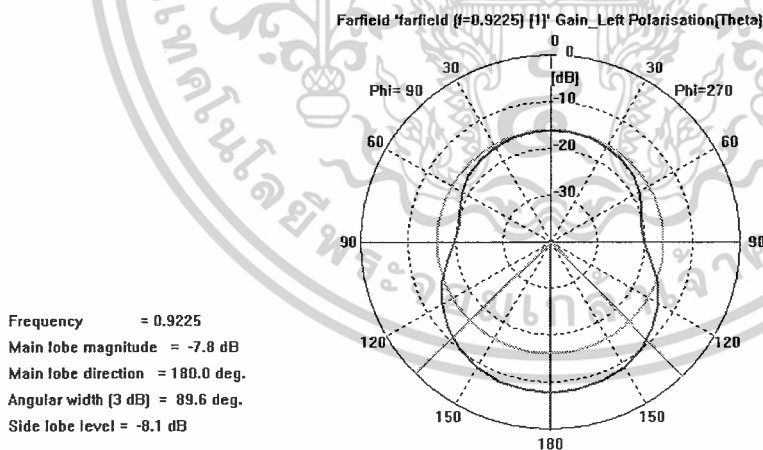
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 จะพบว่าค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม CST ที่ความถี่ 922.5 MHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $50.678 + j1.5938 \Omega$

ส่วนในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 คือแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการจำลองค่าในโปรแกรม CST ของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

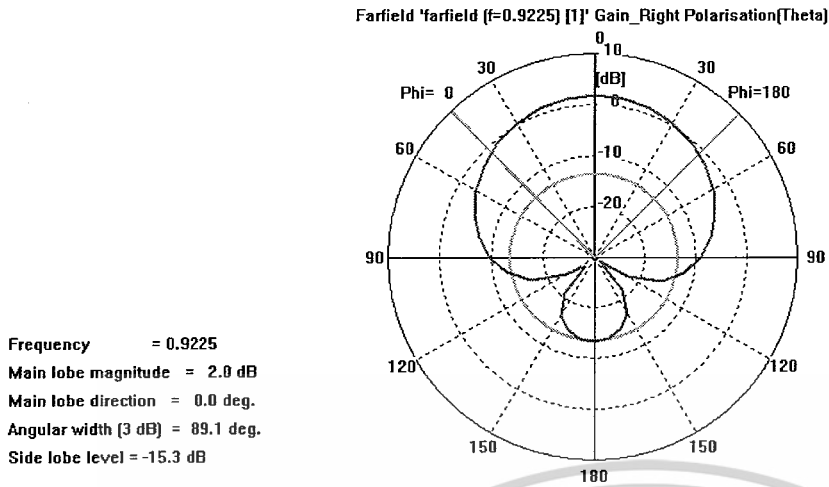


รูปที่ 3.6 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนขวา

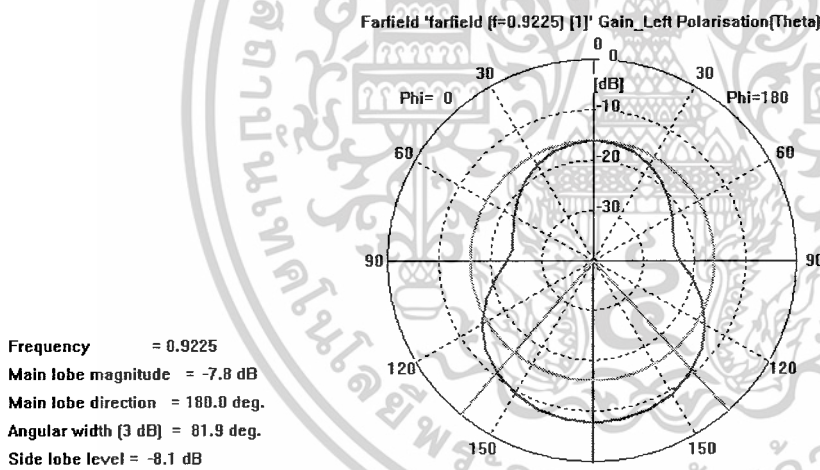


รูปที่ 3.7 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามแม่เหล็กที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนขวา



รูปที่ 3.9 แบบรูปการโพลาไรซ์ในระนาบสนามแม่เหล็กที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป

ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริปในโครงการนี้จะใช้โปรแกรม CST ในการออกแบบโครงสร้างและทำการจำลองค่าการทดลอง (Simulation) เพื่อให้สายอากาศทำงานได้ในความถี่ 920 – 925 MHz ซึ่งจะอาศัยโปรแกรมในการหาค่าที่ดีที่สุดทั้งขนาดของสายอากาศและตำแหน่งป้อนสัญญาณ จากนั้นจึงนำขนาดที่ได้จากโปรแกรม CST ไปเขียนแบบลงในโปรแกรม Microsoft Visio เพื่อใช้เป็นแบบในการนำไปสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้าที่มีวัสดุฐานรองเป็นชนิดอีพ็อกซี่
2. ขั้วต่อสัญญาณแบบ SMA
3. เลื่อย
4. กระดาษทราย
5. ตะไบ
6. แผ่นฟิล์ม
7. กรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
8. หัวแร้งบัดกรี
9. ตะกั่วบัดกรี

3.3.2 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม CST และ Microsoft Visio
2. ทำการวาดโครงสร้างของสายอากาศในโปรแกรม CST
3. จำลองการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST
4. นำขนาดที่ได้จากโปรแกรม CST มาวาดลงในโปรแกรม Microsoft Visio
5. ทำการแกะลายวงจร
6. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปกัดลายวงจรด้วยกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
7. ติดตั้งขั้วต่อสัญญาณ

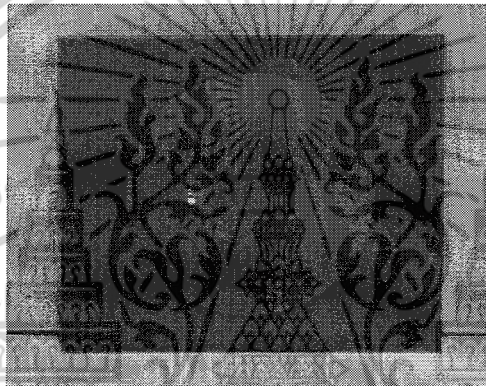
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

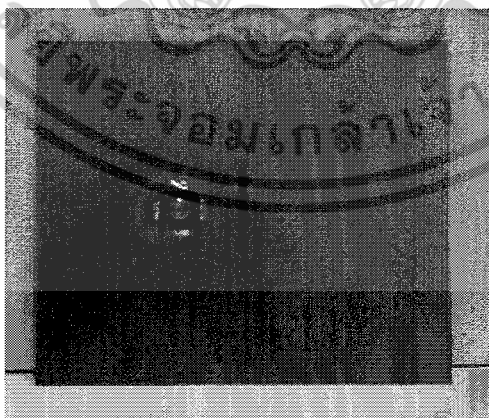
ผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

จากการทดลองสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่ง มีค่าที่สนใจพิจารณา ได้แก่ อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance) อัตราส่วนคลื่นของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio) ค่าสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) การโพลาไรซ์ (Polarization) อัตราขยาย (Gain) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) และประสิทธิภาพ (Efficiency) ของสายอากาศดังนี้



ด้านหน้า

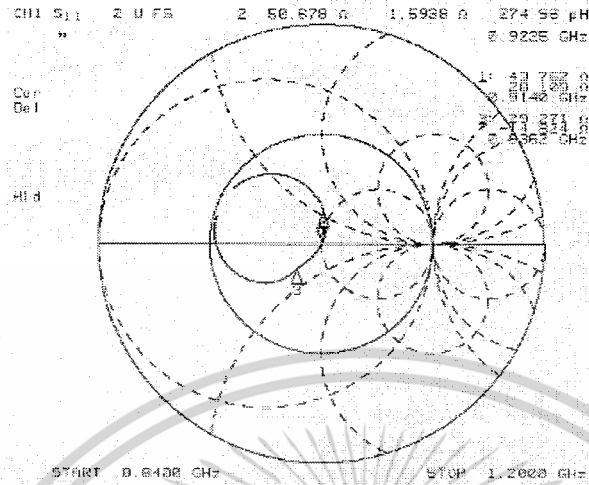


ด้านหลัง

รูปที่ 4.1 สายอากาศที่ทำการสร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

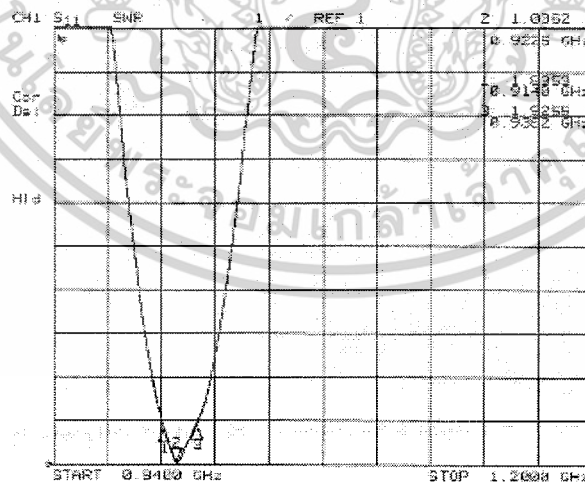
4.1.1 อิมพีแดนซ์ขาเข้า



รูปที่ 4.2 อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.2 แสดงอิมพีแดนซ์ด้านขาเข้าที่ความถี่ 922.5 MHz มีค่าเท่ากับ $50.678 + j1.5938 \Omega$ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ตรง กับที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CST อาจเป็นเพราะในขั้นตอนการสร้างที่มีขนาดไม่ตรงตามที่ใดทำการจำลองค่าด้วยโปรแกรม

4.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า



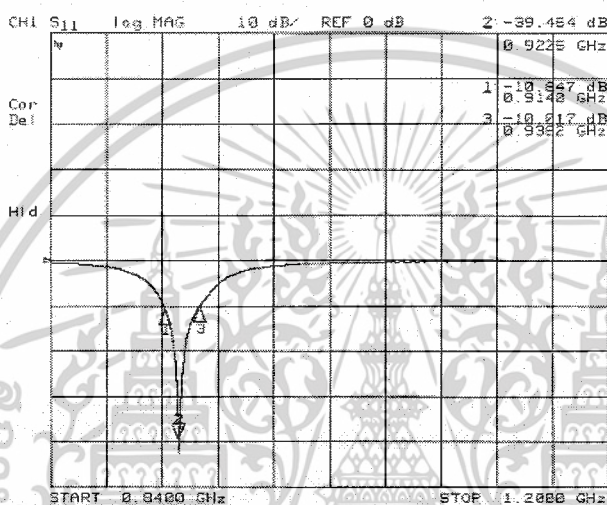
รูปที่ 4.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าจากการทดลองของสายอากาศมีอัตราส่วน 1.0362:1 ที่ความถี่ 922.5 MHz ซึ่งสายอากาศในอุดมคตินั้นเมื่ออิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศและสายนำสัญญาณเท่ากันจะทำให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1

4.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อการออกแบบสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม ถ้าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าน้อยแสดงว่าสายอากาศสามารถรับกำลังงานไว้ได้หมดและไม่มีคลื่นสะท้อนกลับ

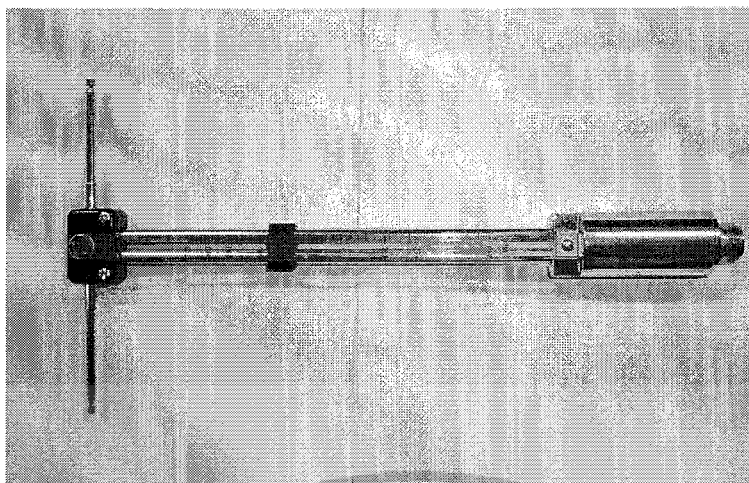


รูปที่ 4.4 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าเท่ากับ -39.464 dB ที่ความถี่ 922.5 MHz

4.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแผนภาพที่ใช้แสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายหรือรับคลื่นในทิศทางต่างๆ ของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ซึ่งจากการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยการปรับมุมของสายอากาศทางด้านรับครั้งละ 10 องศา จนครบ 360 องศา โดยสายตัวรับและตัวส่ง (สายอากาศไดโพล) ตั้งห่างกัน 100 เซนติเมตรในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก บันทึกค่ากำลังงานที่วัดได้ นำค่ากำลังงานที่วัดได้มาเขียนในกราฟเชิงขั้ว

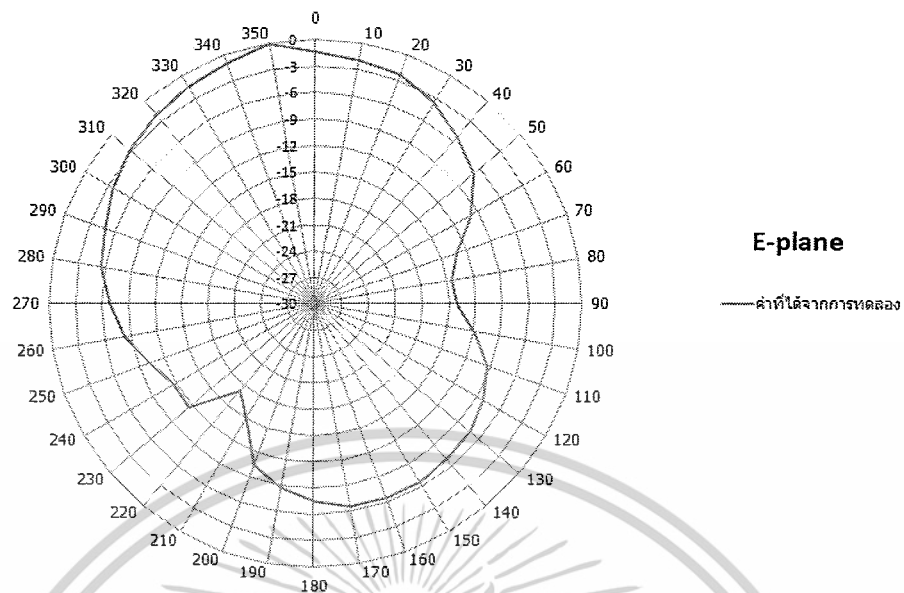


รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพล



รูปที่ 4.6 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

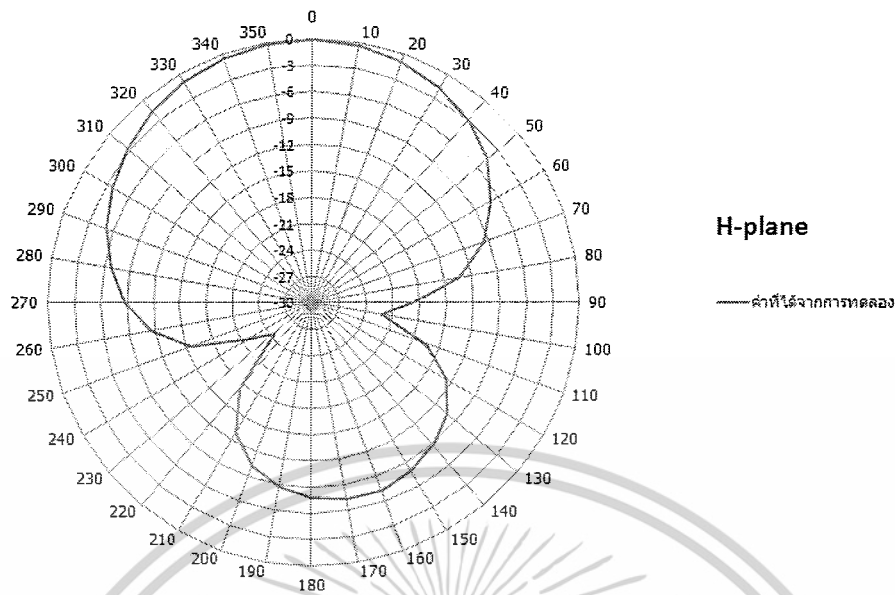


รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 การวัดการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4.6 และ 4.8 เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก ตามลำดับของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม ในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) มีความกว้างลำ (Beamwidth) เท่ากับ 75 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) มีความกว้างลำเท่ากับ 92 องศา

4.1.5 การโพลาไรซ์

โพลาไรซ์ได้ถูกกำหนดให้เป็นคุณสมบัติของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อธิบายทิศทางและขนาดสัมพัทธ์ของ เวกเตอร์ สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเป็นรูปที่แสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง หนึ่งๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ในการสังเกตลักษณะการกวาดของสนามไฟฟ้างี้จะมองตามหลังคลื่นที่เดินทาง ออกไป

การโพลาไรซ์แบบวงกลม ในกรณีที่มีสนามไฟฟ้าสองส่วนที่มีขนาดและเฟสที่เหมาะสม จะมีผลทำให้ ลักษณะการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมมีขนาดเท่ากันตลอดทุกเวลาซึ่งจะเป็นวงกลม ซึ่งเรียกสนามแบบนี้ ว่าการโพลาไรซ์วงกลม การโพลาไรซ์วงกลมนี้ยังแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ การโพลาไรซ์วงกลมวนขวา (Right Hand Circular Polarization : RHCP) ซึ่งมีการกวาดสนามไฟฟ้าตามเข็มนาฬิกา และการโพลาไรซ์วงกลมวนซ้าย (Left Hand Circular Polarization : LHCP) ซึ่งมีการกวาดสนามไฟฟ้าทวนเข็มนาฬิกา

การโพลาไรซ์วงกลมวนขวา การโพลาไรซ์ของคลื่นจะเป็นแบบวงกลมวนขวาได้เมื่อเวกเตอร์สนามไฟฟ้า กวาดเป็นวงกลมในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อมองตามหลังคลื่นที่เดินทางออกจากผู้สังเกตไป

การโพลาไรซ์วงกลมวนซ้าย ถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมของคลื่นการโพลาไรซ์เส้นตรงสองส่วนที่ตั้งฉาก กันที่มีขนาดเท่ากันกวาดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นวงกลมจะเรียกว่า การโพลาไรซ์วงกลมวนซ้ายเมื่อมอง ตามหลังคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

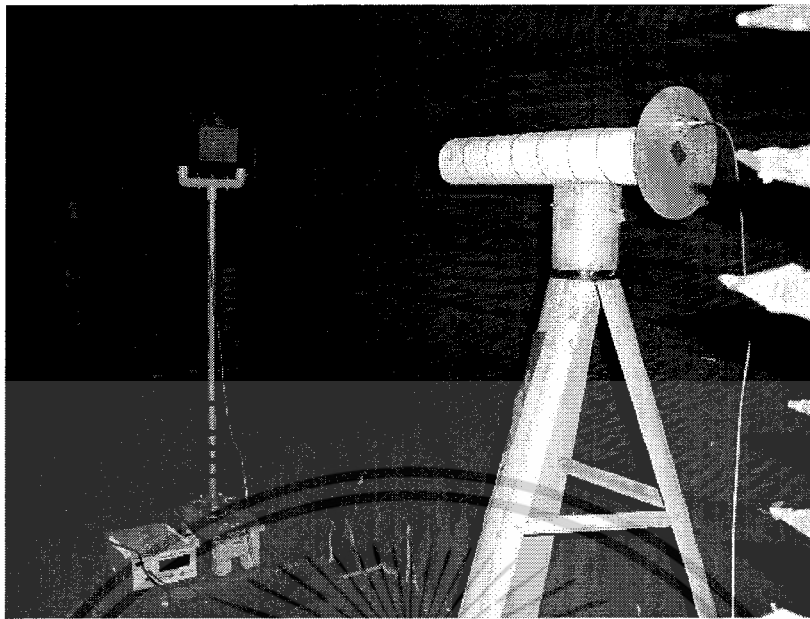


รูปที่4.10 สายอากาศสำหรับทดสอบการ โฟลตไรซ์ชนิดขดลวดที่มีการ โฟลตไรซ์แบบวงกลมหมุนขวา

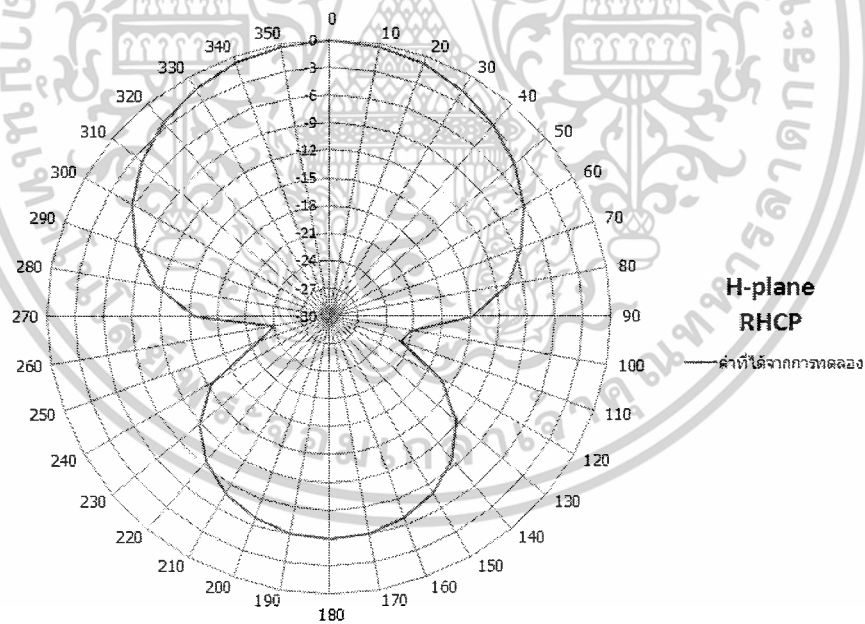


รูปที่4.11 สายอากาศสำหรับทดสอบการ โฟลตไรซ์ชนิดขดลวดที่มีการ โฟลตไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

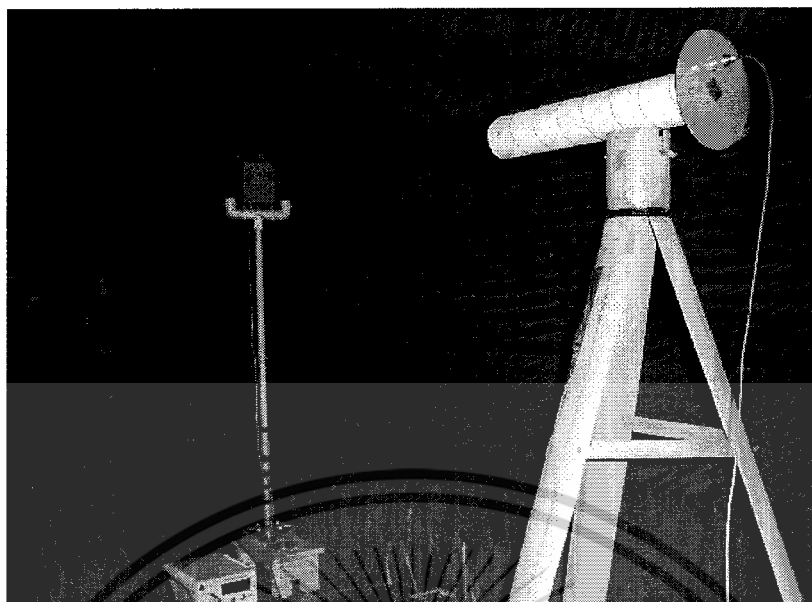


รูปที่ 4.12 การวัดการโพลาไรซ์แบบหมุนขวาในระนาบสนามแม่เหล็ก

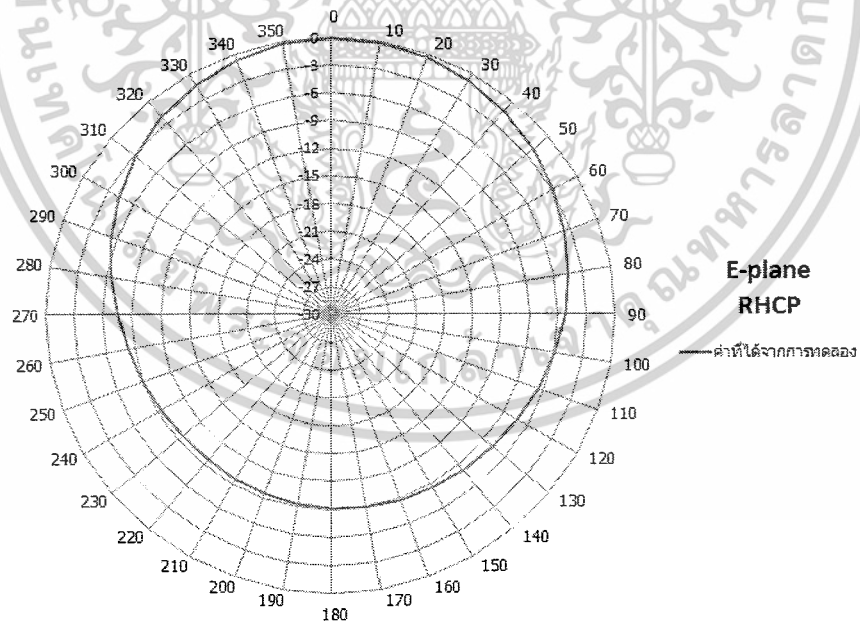


รูปที่ 4.13 แบบรูปการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนขวาในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

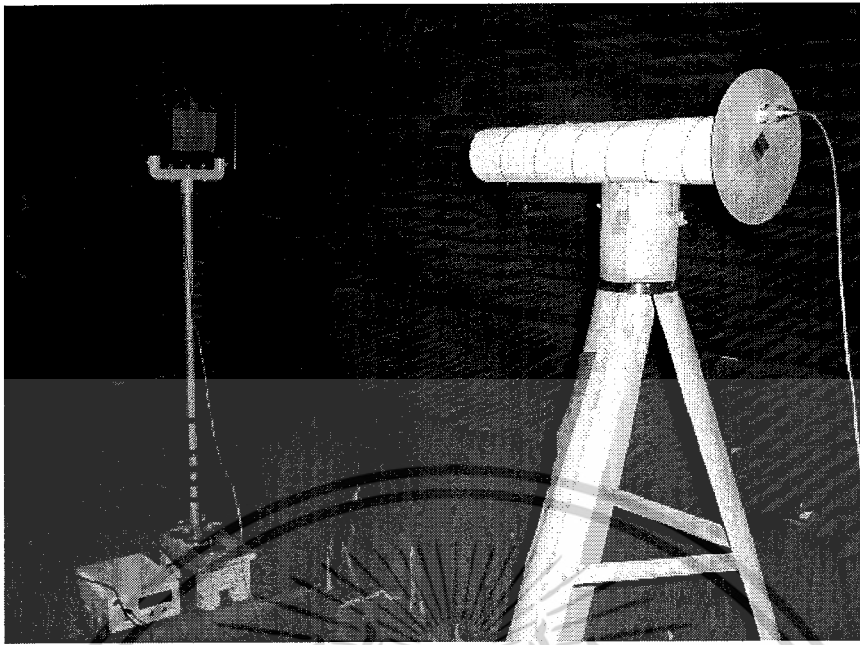


รูปที่ 4.14 การวัดการโพลาไรซ์แบบหมุนขวาในระนาบสนามไฟฟ้า

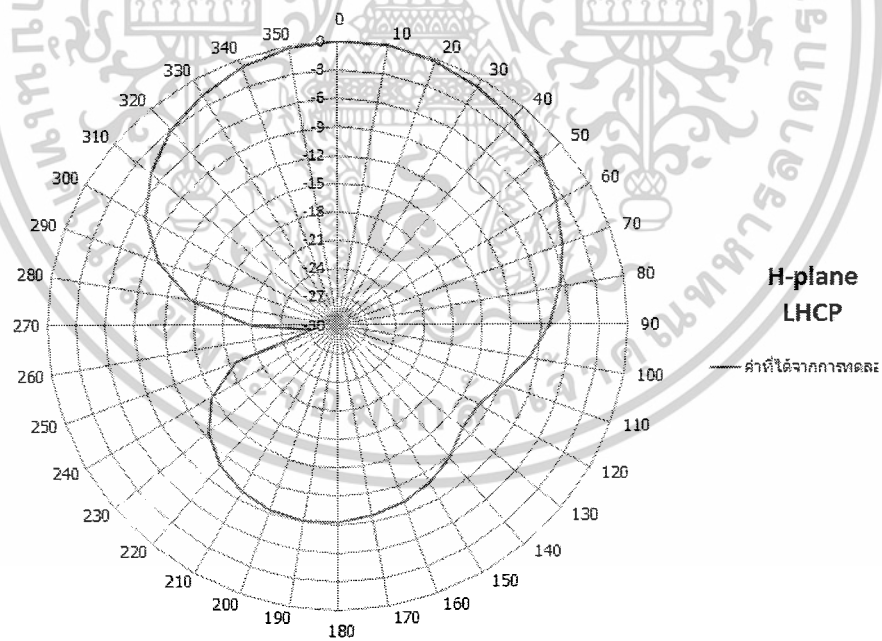


รูปที่ 4.15 แบบรูปการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนขวาในระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การวัดการโพลาไรซ์แบบหมุนซ้ายในระนาบสนามแม่เหล็ก

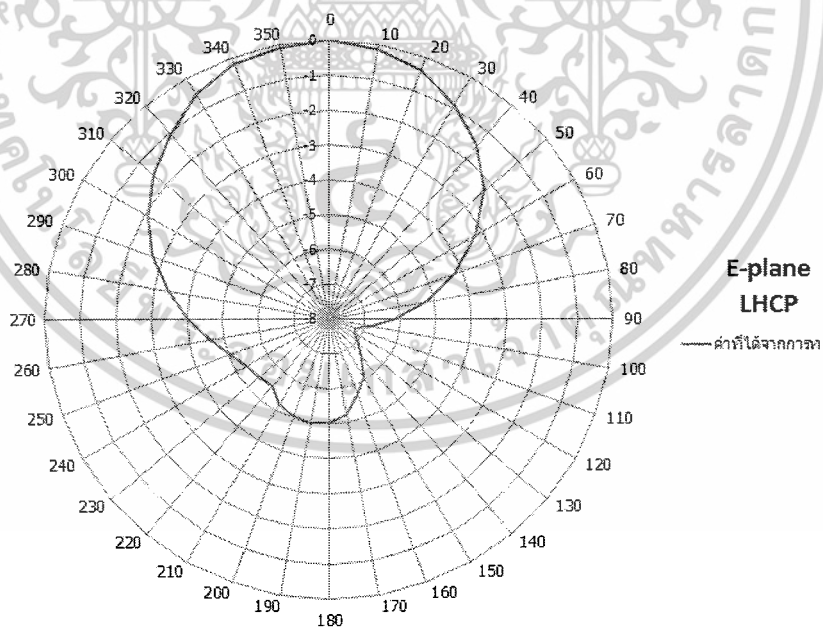


รูปที่ 4.17 แบบรูปการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้ายในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การวัดการโพลาไรซ์แบบหมุนซ้ายในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.19 แบบรูปการโพลาไรซ์แบบวงกลมหมุนซ้ายในระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 อัตราขยายของสายอากาศ

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

$$G_R (dBi) = \frac{P_R (dBm) - P_T (dBm) + L_{f_t} (dB) + L_S (dB) + L_{f_r} (dB)}{2} \quad (4.1)$$

โดย $G_R (dBi)$ คือ อัตราขยายของสายอากาศ

$P_R (dBm)$ คือ กำลังงานที่เครื่องได้รับ

$P_T (dBm)$ คือ กำลังงานที่เครื่องส่ง

$L_{f_t} (dB)$ คือ กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งด้านฝั่งส่ง

$L_{f_r} (dB)$ คือ กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งด้านฝั่งรับ

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

โดยที่ $L_S (dB)$ สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$L_S (dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (4.2)$$

สายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริไซส์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลม

$$P_R (dBm) = -30.07 \text{ dBm}$$

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

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

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

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

เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองได้ทำการเทียบมาตรฐาน (Calibrate) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่ปลายสายนำสัญญาณทางด้านส่งและรับ เสร็จแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างไปแทนในสมการที่ (4-1)

$$G_R = \frac{-30.07 + 31.747}{2} = 0.839 \text{ dBi}$$

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่มีการ โพลาริไซส์แบบวงกลมชนิดแผ่นวงกลมเท่ากับ 0.839 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ของสายอากาศสามารถหาได้จากความกว้างลำของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศที่สร้างขึ้นทั้งแบบที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมโดยนำความกว้างลำของแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็กมาคำนวณหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางได้จากสมการที่ (4.3)

$$D_0 \approx \frac{4\pi\left(\frac{180}{\pi}\right)^2}{\theta_{1d}\theta_{2d}} = \frac{41235}{\theta_{1d}\theta_{2d}} \quad (4.3)$$

θ_{1d} = ค่าความกว้างลำของระนาบสนามไฟฟ้า = 75 องศา

θ_{2d} = ค่าความกว้างลำของระนาบสนามแม่เหล็ก = 92 องศา

$$D_0 \approx \frac{41235}{(75)(92)} = 5.97$$

ดังนั้นสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศของสายอากาศแบบแผ่นสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ 5.97

4.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

จากผลการทดลองอัตราขยายของสายอากาศและสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศสามารถหาประสิทธิภาพของสายอากาศได้จากสมการที่ (4.4) ดังนี้

$$e_t = \frac{G_R}{D_0} \times 100\% \quad (4.4)$$

โดยที่ G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศ

D_0 คือ สภาพเจาะจงทิศทาง

$$G_R = 0.839 \text{ dBi} = 1.213$$

$$D_0 = 5.97$$

$$e_t = \frac{1.213}{5.97} \times 100\% = 20.31\%$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ 20.31%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสายอากาศ

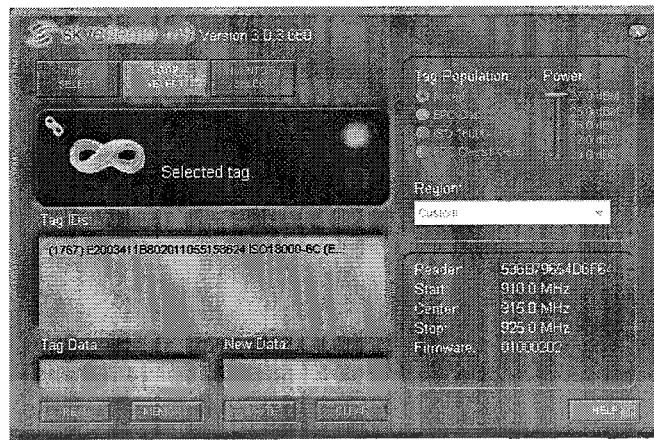
จากผลการทดลองที่ได้ของสายอากาศที่มีการโพลาริซแบบเชิงเส้นและแบบวงกลมจึงได้นำสายอากาศที่ทำ การสร้างขึ้นไปทดสอบกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ยี่ห้อ skyetek รุ่น RU-110u ซึ่งมีกำลังส่ง 11.5 dBm กับแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลมและแบบเชิงเส้น

โดยได้ทำการหมุนแผ่นป้ายระบุข้อมูลที่ละ 10 องศาจนครบ 360 องศาแล้ววัดระยะการติดต่อยกเว้น สายอากาศที่สร้างขึ้นกับแผ่นป้ายระบุข้อมูลที่ระยะที่ห่างที่สุดจนกว่าสายอากาศ จะรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุ ข้อมูลไม่ได้ซึ่งในการทดสอบได้ใช้ร่วมกับ โปรแกรม skyedemo m9 version 3.0.3.680 ซึ่งได้ตั้งช่วงความถี่ระหว่าง 902 MHz ถึง 928 MHz ถ้าไฟสีเขียวที่โปรแกรมติดแสดงว่าสายอากาศสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลได้

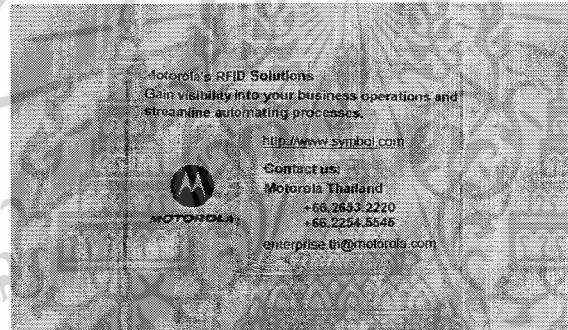


รูปที่ 4.20 เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ยี่ห้อ skyetek รุ่น RU-110u

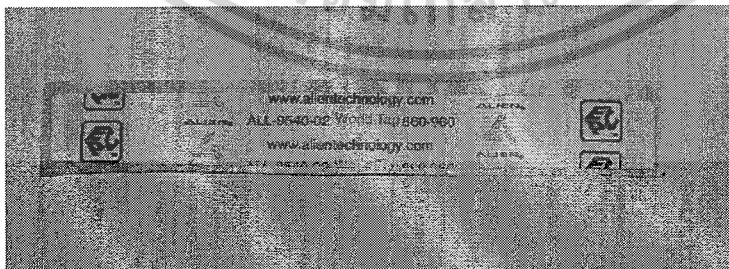
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 โปรแกรม skyedemo m9 Version 3.0.3.680

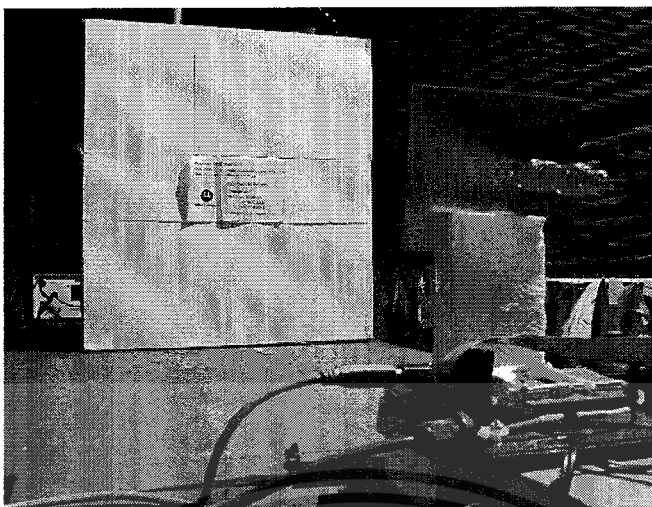


รูปที่ 4.22 แผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลม



รูปที่ 4.23 แผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



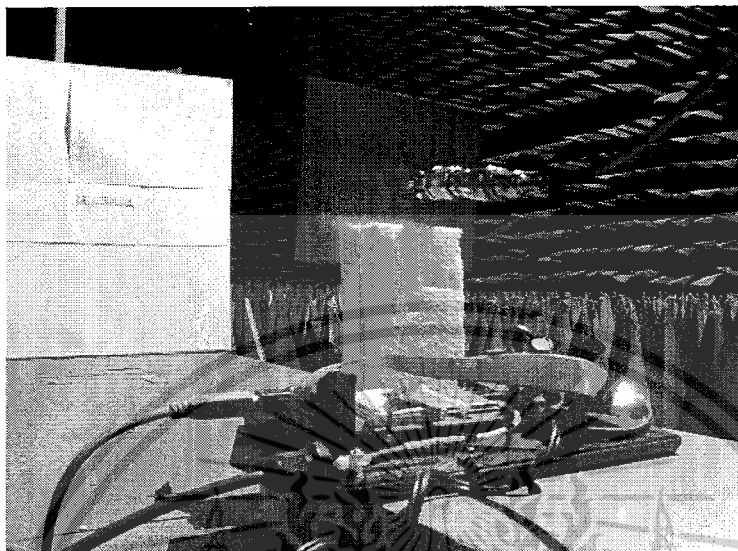
รูปที่4.24 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมกับแผ่นปายระบุข้อมูลแบบวงกลม

ตารางที่4.1 ระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมรับข้อมูลจากแผ่นปายระบุข้อมูลแบบวงกลมได้

มุม (องศา)	ระยะที่วัดได้ (cm)	มุม (องศา)	ระยะที่วัดได้ (cm)	มุม (องศา)	ระยะที่วัดได้ (cm)
0	81.4	120	75.7	240	68.8
10	73.2	130	75.8	250	72.5
20	74.4	140	75.3	260	72.8
30	73	150	76.2	270	73.7
40	76	160	77.9	280	74.1
50	72.8	170	78.4	290	74.7
60	69.8	180	78	300	74.6
70	72.5	190	76.9	310	76.4
80	74.1	200	76	320	71.8
90	74.5	210	70.2	330	74.3
100	73.8	220	65.2	340	89.5
110	74.9	230	62.3	350	75.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าที่มุมตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบกลมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลมได้ทุกมุม โดยเฉพาะที่มุม 340 องศาสายอากาศสามารถรับข้อมูลได้ไกลที่สุด



รูปที่ 4.25 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมกับแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 4.2 ระยะที่สายอากาศไมโครสตริปที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้นได้

มุม (องศา)	ระยะที่วัดได้ (cm)	มุม (องศา)	ระยะที่วัดได้ (cm)	มุม (องศา)	ระยะที่วัดได้ (cm)
0	106.7	120	66.4	240	73.8
10	110	130	70	250	65.1
20	104.6	140	73.5	260	57.7
30	106.5	150	94.5	270	44.6
40	108.1	160	104.6	280	45
50	112.5	170	104.8	290	50.9
60	82.4	180	106.2	300	65
70	67.1	190	107.6	310	69.1
80	59.1	200	107.2	320	70.1
90	47	210	102.2	330	97.8
100	50.2	220	102.8	340	98.2
110	46.4	230	91.1	350	99.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าที่มุมตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาอากาศไมโครสตรีปที่มีการโพลาไรซ์แบบกลมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้นได้ทุกมุม โดยเฉพาะที่มุม 50 องศาอากาศสามารถรับข้อมูลได้ไกลที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสายอากาศที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและทดลองสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มี การโพลาริซ์แบบวงกลม เพื่อศึกษาคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของสายอากาศได้แก่อิมพีแดนซ์ด้านเข้าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า

อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input Impedance) ของสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ $50.678 + j1.5938 \Omega$ ที่ความถี่ 922.5 MHz

5.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio) ของสายอากาศในอุดมคติ นั้นเมื่ออิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศและสายนำสัญญาณเท่ากัน จะทำให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1

จากผลการทดลองอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป ชนิดแผ่นวงกลมที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ 1.0362 : 1

5.1.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss) ของสายอากาศซึ่งเป็นอัตราส่วนของกำลังงานที่สะท้อนกลับต่อกำลังงานที่ตกกระทบ ถ้าค่าความสูญเสียของการสะท้อนมีค่าน้อยแสดงว่าสายอากาศสามารถรับกำลังงานไว้ได้หมดและไม่มีคลื่นสะท้อนกลับ

จากผลการทดลองความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป ชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ -39.464dB

5.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) จากผลการทดลองในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบไมโคร สตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการ โพลาริซ์แบบวงกลม มีความกว้างนำคลื่น (Beamwidth) เท่ากับ 75 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) มีความกว้างนำคลื่นเท่ากับ 92 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 การโพลาไรซ์

การโพลาไรซ์ (Polarization) จากการทดลองสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมเพื่อนำมาหาค่าอัตราส่วนแกน (Axial ratio) มีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 9.23dB ซึ่งไม่อยู่ในช่วง 0 dB ถึง 3dB จึงสรุปได้ว่าสายอากาศชิ้นนี้ยังไม่สามารถให้การโพลาไรซ์แบบวงกลมได้

5.1.6 อัตราขยาย

อัตราขยาย (Gain) จากผลการทดลองอัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 0.839 dBi

5.1.7 สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) จากผลการทดลองสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ 5.97

5.1.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Efficiency) จากผลการทดลองประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีค่าเท่ากับ 20.31 %

5.2 การทดสอบสายอากาศ

จากการทดสอบสายอากาศกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีชื่อ skyetek รุ่น RU-110u กับแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลมและแบบเชิงเส้นจะพบว่า

สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบวงกลม โดยรับข้อมูลได้ไกลสุดที่ระยะ 85 cm. ที่มุม 340 องศา

สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมสามารถรับข้อมูลจากแผ่นป้ายระบุข้อมูลแบบเชิงเส้น โดยรับข้อมูลได้ไกลสุดที่ระยะ 112.5 cm. ที่มุม 50 องศา

5.3 ปัญหาที่พบ

สำหรับปัญหาที่พบในทางปฏิบัตินั้นเกิดขึ้นหลายประการได้แก่

5.3.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาไรซ์แบบวงกลมมีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอนจึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ ไม่ตรงตามที่คำนวณไว้ในขั้นตอนการออกแบบ

5.3.2 การบัดกรีหัวต่อมีผลต่อผลการทดลองที่ได้อย่างมากคือแกนของหัวต่อถ้ายิ่งสั้นจะได้ผลที่ดีกว่าแกนหัวต่อที่ยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไม่สามารถวัดได้ตามเงื่อนไขทางทฤษฎีที่ต้องการ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านสถานที่และเครื่องมือในการทดลองซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนกลับของพลังงานมายังสายอากาศได้

5.4 แนวทางแก้ไข

จากปัญหาที่พบดังกล่าวผู้ศึกษาได้ศึกษาทฤษฎีและทดลองออกแบบสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม และมีทางแก้ไขดังนี้

5.4.1 จากปัญหาข้อที่ 5.3.1 มีแนวทางแก้ไขคือออกแบบสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมโดยใช้แผ่นวงจรมิพพ์ที่ออกแบบมา เพื่อสร้างสายอากาศโดยตรงและมีคุณสมบัติของแผ่นวงจรมิพพ์ที่แสดงไว้อย่างชัดเจน

5.4.2 จากปัญหาข้อที่ 5.3.2 มีแนวทางแก้ไขคือทำการตัดแกนของหัวต่อให้มีความยาวของแกนเท่ากับความหนาของแผ่นวงจรมิพพ์และบัดกรีด้วยความร้อนที่สูง

5.4.3 จากปัญหาข้อที่ 5.3.3 มีแนวทางในการแก้ไขคือทำการทดลองในห้องทดลองสายอากาศโดยเฉพาะเพื่อลดการสะท้อนกลับของพลังงาน

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลมพบปัญหาและข้อผิดพลาดหลายประการทำให้ทราบถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆของการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นวงกลมที่มีการโพลาริซ์แบบวงกลม จึงมีข้อเสนอแนะเป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศที่เกี่ยวข้องต่อไปดังนี้

5.5.1 วัสดุและเทคนิคการสร้าง

วัสดุและเทคนิคการสร้างเป็นส่วนที่สำคัญประการหนึ่ง การสร้างสายอากาศไมโครสตริปสำหรับวัสดุต้องทราบความหนาและคงที่ใดเลิศริกที่แน่นอนของวัสดุที่เหมาะสมกับการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

5.5.2 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป

การสร้างสายอากาศไมโครสตริปต้องมีความแน่นอนของขนาดและจุดบ่อนสัญญาณมากที่สุด เนื่องจากสาเหตุดังกล่าวมีผลอย่างมากกับผลการทดลอง

5.5.3 การประกอบและบัดกรีหัวต่อ

การประกอบและบัดกรีหัวต่อเข้ากับตัวสายอากาศต้องมีความละเอียดและแน่นอนเพราะหัวต่อก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปต้องคำนึงถึงเครื่องมือและสถานที่ในการทดลอง เพราะการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่บางความถี่ไม่สามารถหาเครื่องมือและสถานที่ในการทดลองหาคุณสมบัติของสายอากาศได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับการอนุเคราะห์อย่างสูงยิ่งจาก ผศ.ดร.ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ และ รศ.ดร.สมผล โกศลวิตร ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำชี้แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนความรู้ความเข้าใจในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในทางด้านโทรคมนาคม ให้ทางคณะผู้จัดทำมีแนวทางในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ นางสาวพิชชานันท์ วงศ์ศิริธร นายกิตติศักดิ์ แพบัว นายรัฐพงษ์ สุวลักษณ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือทดสอบโครงการและยังให้คำปรึกษาตลอดเวลจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่ได้ช่วยเหลือให้การทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย คำสั่งใจ กำลังทรัพย์ และทุกสิ่งทุกอย่างกับทางคณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Advance in Microstrip and Printed Antennas, John Wiley & son, 1997.
- [2] R. Baneroft, Microstrip and Printed Antenna Design, John NOBLE 2004.
- [3] Z.N. Chen, Antennas for Portable Devices, John Wiley & son, 2007.
- [4] C.A. A Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & son, 2005.
- [5] JR James & PS Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd, 1989.
- [6] ฉัตรชัย ไวยาพัฒนากร, การวิเคราะห์สายอากาศ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [7] โมไนย ไกรฤกษ์, วิศวกรรมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, บริษัท พิมพ์สวย จำกัด, 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้