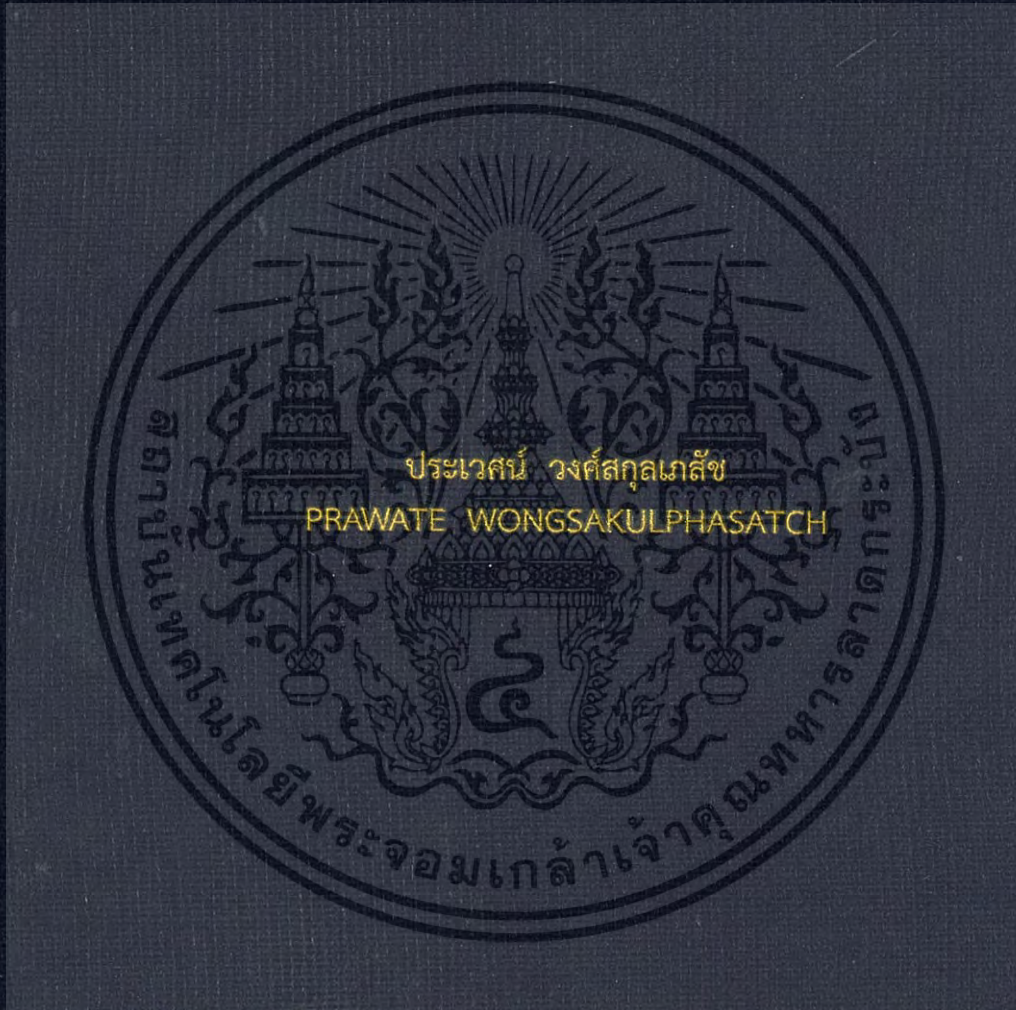


สายอากาศสองย่านความถี่โพลาไรซ์วงกลมแบบระนาบด้วยร่องโค้งเว้า
และบุนสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

DUAL-BAND CIRCULARLY POLARIZED FLAT ANTENNA WITH PLANO
CONVEX AND CONCAVE SLOTS FOR RFID READERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-D-018-078

สายอากาศสองย่านความถี่โพลาไรซ์วงกลมแบบระนาบด้วยร่องโค้งเว้า
และนูนสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

DUAL-BAND CIRCULARLY POLARIZED FLAT ANTENNA WITH PLANO
CONVEX AND CONCAVE SLOTS FOR RFID READERS



T148697



ประเวศน์ วงศ์สกุลเกษัช
PRAWATE WONGSAKULPHASATCH

เลขหมู่
เลขทะเบียน 148697
รับเดือนปี 14 พ.ย. 2560

b. 00266578
l.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-D-018-078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUAL-BAND CIRCULARLY POLARIZED FLAT ANTENNA WITH PLANO
CONVEX AND CONCAVE SLOTS FOR RFID READERS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL-2017-EN-D-018-078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศสองย่านความถี่โพลาไรซ์วงกลมแบบระนาบด้วยร่องโค้งเว้าและนูน
สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

Thesis Title Dual-Band Circularly Polarized Flat Antenna with Plano Convex and Concave Slots for RFID Readers

นักศึกษ นายประเวศน์ วงศ์สกุลเกสัช

รหัสประจำตัว 54610122

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-D-018-078

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกตมาลิน	
ศ.ดร.โมนาย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
รศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตก่อนนำเอกสารนี้ไปใช้
วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศสองย่านความถี่โพลาริซวงกลมแบบระนาบด้วยร่องโค้งเว้าและนูนสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี
นักศึกษา	นายประเวศน์ วงศ์สกุลเกสัช
รหัส	54610122
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอสายอากาศแบบโพลาริซวงกลมความถี่คู่ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวย่านความถี่ 920-925 MHz และ 2.40-2.48 GHz สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี โดยโครงสร้างของสายอากาศความถี่คู่เป็นแบบแผ่นแบนราบที่มีจุดบ่อนสัญญาณแบบเดี่ยวและมีร่องโค้งเว้าและนูนอย่างละหนึ่งคู่ จากผลการวิเคราะห์เทคนิคของร่องเว้าแบนราบและร่องนูนแบนราบทำให้เกิดคุณสมบัติของโพลาริซวงกลม ผลของการจำลองสายอากาศแสดงคุณสมบัติของสายอากาศความถี่คู่และมีโพลาริซวงกลมรวมทั้งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวโดยมีอัตราส่วนแบนน้อยกว่าหรือเท่ากับ -3 dB มีอัตราขยาย 1.31 dBic ที่ความถี่ 980 MHz และ 1.36 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz จากนั้นทำการสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและทำการทดสอบสายอากาศต้นแบบ ผลการทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่ามีผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการจำลองและพบว่าเทคนิคของร่องเว้าแบนราบกับร่องนูนแบนราบเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการกำเนิดโพลาริซวงกลมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ

Thesis Title	Dual-Band Circularly Polarized Flat Antenna with Plano Convex and Concave Slots for RFID Readers
Student	Mr. Prawate Wongsakulphasatch
Student ID.	54610122
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chuwong Phongcharoenpanich

ABSTRACT

This thesis has proposed a circularly polarized dual-band antenna with unidirectional pattern operating at the frequency bands of 920-925 MHz and 2.40-2.48 GHz for radio frequency identification (RFID) readers. The dual-band reader antenna structure is of a radiating patch with a single feeder and two pairs of plano convex and concave slots. This experimental research has innovated and utilized the convex and concave slotting technique to induce the circular polarization. The simulation results showed that the dual-band antenna is of circular polarization (CP) and unidirectional radiation pattern with the 3-dB axial ratio and the respective gains of 1.31 at 922.5 MHz and 1.36 dBic at 2.45 GHz for the experimental lower and upper bands. The antenna prototype was subsequently fabricated and tests performed. The simulated and measured results are in good agreement, rendering the proposed dual-band antenna with plano convex and concave slots suitably applicable to the UHF and microwave (MW) RFID readers

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญ พานิชย์ ที่ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาลดจนให้ความรู้ในด้านต่างๆ รวมทั้งประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า และที่สำคัญที่สุดคือมุมมองแปลกใหม่ซึ่งข้าพเจ้าไม่เคยได้รับมาก่อน

ขอขอบคุณสมาชิกในท้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สายทุกท่าน ที่ให้การแนะนำ ช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยของข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา และ ดร.สิทธิชัย เต็นตรี ที่คอยแนะนำและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ประเวศน์ วงศ์สกุลเสถียร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ III เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 สายอากาศไมโครสตริปและเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี.....	6
2.1 เกริ่นนำ.....	6
2.2 สายอากาศไมโครสตริป.....	6
2.3 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี.....	8
2.3.1 ส่วนควบคุม.....	8
2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี.....	8
2.3.3 แท็ก (Tag) หรือเครื่องลูกข่าย.....	9
2.4 หลักการพื้นฐานของความรู้สึสำหรับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี.....	10
2.4.1 คลื่นวิทยุกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี.....	14
2.4.2 หลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบอาร์เอฟไอดี.....	15
2.5 บทความที่มีมาก่อนและตารางเปรียบเทียบสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี.....	17
2.5 สรุป.....	23
บทที่ 3 สายอากาศแบบระนาบย่านความถี่คูโพลาร์ในช่วงกลม.....	25
3.1 เกริ่นนำ.....	25
3.2 การออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คูแบบหนึ่งจุดบ่อนสัญญาณ.....	25
3.2.1 การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ.....	31
3.2.2 ค่าความยาวคลื่นบนสตริป ค่าคงที่การแพร่กระจาย และค่าความเร็วเฟส	32
3.2.3 การสังเคราะห์หาค่าความกว้างต่อความหนา.....	33
3.2.4 ผลกระทบจากขนาดของสตริป.....	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.5 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่น.....	34
3.2.6 การลดทอนหรือการสูญเสียบนโครงสร้างไมโครสตริป.....	35
3.2.7 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า.....	36
3.2.8 อัตราขยาย.....	37
3.2.9 ประสิทธิภาพของสายอากาศ.....	37
3.2.10 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง.....	38
3.2.11 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return loss).....	38
3.3 โพลาริซวงกลม.....	41
3.3.1 พื้นฐานและเทคนิคโพลาริซวงกลมของคลื่นระนาบ.....	42
3.3.2 สายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลมย่านความถี่คูโพลาริซวงกลม สัมพันธ์การสะท้อน อัตราขยายและอัตราส่วนแกน.....	46
3.4 สรุป.....	49
บทที่ 4 สายอากาศสองย่านความถี่โพลาริซวงกลมแบบระนาบด้วยร่องโค้งเว้าและนูน สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและการวิเคราะห์ผลการจำลอง.....	50
4.1 เกริ่นนำ.....	50
4.2 การเปรียบเทียบขนาดโครงสร้าง คุณลักษณะทางไฟฟ้าและระยะการอ่านสูงสุด โพลาริซวงกลมย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟที่มีมาก่อน.....	50
4.3 สายอากาศสองย่านความถี่โพลาริซวงกลมแบบระนาบด้วยร่องโค้งเว้าและ นูนสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและการวิเคราะห์ผล.....	64
4.3.1 สายอากาศโครงสร้างเริ่มต้น.....	65
4.3.2 การออกแบบสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมสองย่านความถี่ด้วย ร่องโค้งเว้าและร่องนูน.....	68
4.3.2.1 รัศมีของแผ่นระนาบ (R_1, R_2, D_1, D_2) ความสูงแพตช์ (h_1).....	68
4.3.2.2 ร่องโค้งเว้าและนูนของสายอากาศ.....	70
4.4 สรุป.....	77
บทที่ 5 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศความถี่คู่สำหรับเครื่องอ่านข้อมูล อาร์เอฟไอดีต้นแบบ.....	78
5.1 เกริ่นนำ.....	78
5.2 สายอากาศต้นแบบ.....	78
5.3 การทดสอบสายอากาศต้นแบบ.....	80
5.3.1 การทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ.....	81
5.3.2 การทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ.....	82
5.3.3 การทดสอบแบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ.....	84
5.3.4 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ.....	85
5.3.5 ระยะทางการติดต่อสื่อสารกับแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี.....	87

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 สรุป.....	89
บทที่ 6 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
6.1 เกริ่นนำ.....	91
6.2 สายอากาศต้นแบบ.....	91
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	97



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป.....	6
2.2	ย่านความถี่วิทยุที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดี.....	11
2.3	ย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟและการกำหนดกำลังงานในการส่งสัญญาณใน ย่านความถี่ที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี มาตรฐานขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศเลือกใช้....	13
2.4	การเปรียบเทียบคลื่นความถี่กับวัสดุที่นำมาใช้งาน.....	15
2.5	งานวิจัยออกแบบสายอากาศที่มีมาก่อนและคุณสมบัติของสายอากาศในแต่ละย่าน ความถี่.....	19
3.1	การแพร่กระจายคลื่นในระยะต่างๆ	28
4.1	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	64
4.2	ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแพตช์เริ่มต้น.....	67
5.1	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	79
5.2	ค่าคุณลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจากการจำลองและทดสอบบน ระนาบ x-z และ x-y	87
5.3	ระยะการอ่านสูงสุดของสายอากาศต้นแบบ (กำลังงาน 0.5W 1.0W 1.5W 2 W EIRP).....	87
5.4	การเปรียบเทียบขนาดโครงสร้าง คุณลักษณะทางไฟฟ้าและระยะการอ่านสูงสุด ของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและไมโครเวฟ.....	89
6.1	การเปรียบเทียบผลการจำลองและการวัดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ..	91
6.2	การเปรียบเทียบผลการจำลองและการวัดทดสอบอัตราขยาย.....	92

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบอาร์เอฟไอดีที่นำไปประยุกต์ใช้กับระบบการจัดการอุปกรณ์ต่างๆ ของบริษัทผลิตเครื่องบินแอร์บัส.....	2
2.1	สายอากาศไมโครสตริป.....	7
2.2	รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น.....	8
2.3	เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี.....	8
2.4	ป้ายอาร์เอฟไอดี (RFID Tag).....	9
2.5	รูปแบบป้ายอาร์เอฟไอดี (RFID Tag).....	9
2.6	แท็กแบบต่าง ๆ โดยภายในบรรจุแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้.....	10
3.1	สายอากาศไมโครสตริปที่มีการทำงานแบบแถบกว้างเมื่อความถี่รีโซแนนซ์สองความถี่เชื่อมต่อกัน และการทำงานในลักษณะสองความถี่โดยตรง.....	26
3.2	ชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	27
3.3	ลักษณะของคลื่นที่แผ่กระจายในไมโครสตริป.....	28
3.4	ลักษณะโครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป.....	29
3.5	เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป.....	30
3.6	สายอากาศในโหมดการส่ง.....	37
3.7	การสูญเสียของสายอากาศ.....	38
3.8	การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน.....	39
3.9	การโพลาริเซชันของคลื่น.....	42
3.10	ลักษณะการหมุนของยอดเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า.....	43
3.11	โพลาริซัแบบเชิงเส้น วงรี และ แบบวงกลม.....	43
3.12	โพลาริซัวงกลม.....	46
3.13	โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป.....	47
3.14	การป้อนแบบโพรบ (Probe feed).....	48
3.15	เทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดโพลาริซัวงกลม.....	49
4.1	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [9].....	53
4.2	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [17].....	55
4.3	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [20]	57
4.4	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [21]	58
4.5	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [22]	59
4.6	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [23]	60
4.7	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [24]	61
4.8	สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [25]	63
4.9	โครงสร้างสายอากาศ.....	64
4.10	สายอากาศโครงสร้างพื้นฐาน.....	66

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของแพทช์ (R_p) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์..	67
4.12	การไหลและการกระจายของกระแสที่ความถี่ 922.5 MHz และที่ความถี่ 2.45 GHz ของสายอากาศเริ่มต้น.....	68
4.13	สายอากาศเริ่มต้นเพื่อศึกษาที่ความถี่ 2.45 GHz	69
4.14	การไหลและการกระจายของกระแสที่ความถี่ 922.5 MHz และที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อเจาะร่องของสายอากาศ.....	70
4.15	สายอากาศเบื้องต้นทำการเจาะร่องไว้และนูนของสายอากาศ.....	71
4.16	กราฟแสดงผลของการศึกษาโพลาริซวงกลมเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า Y_a , L_{t1} , L_{t2} , L_{c1} , และ L_{c2} โดยได้กราฟความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและอัตราส่วนแกน.....	75
4.17	การไหลของกระแสที่คราบเวลาต่าง ๆ ที่ความถี่ 922.5 MHz และ ที่ความถี่ 2.45 GHz.....	76
5.1	สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลต้นแบบอาร์เอฟไอเดียเอชเอฟและไมโครเวฟ.....	79
5.2	การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบในห้องไร้การสะท้อน.....	80
5.3	ผลการจำลองและผลทดสอบ $ S_{11} $ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอ.....	82
5.4	ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราส่วนแกนของสายอากาศต้นแบบ.....	83
5.5	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ที่ความถี่ 922.5 MHz.....	84
5.6	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ที่ความถี่ 2.45 GHz.....	84
5.7	ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ที่ความถี่ 922.5 MHz และที่ความถี่ 2.45 GHz.....	85
5.8	ผลจำลองและผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศ.....	86

บทที่ 1

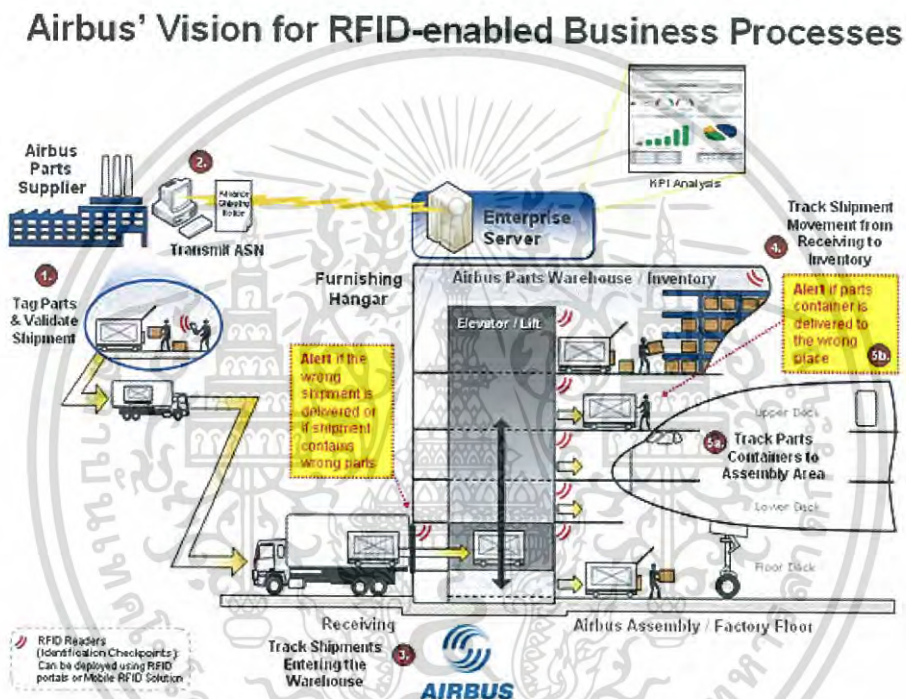
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทกับการใช้ชีวิตประจำวันมากขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในสำนักงาน อุปกรณ์เครื่องใช้ตามบ้านเรือน ทางด้านการศึกษาการสืบหาข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารไร้สาย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารในภาคธุรกิจหรือส่วนบุคคล ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมีทั้งระยะใกล้และระยะไกล ซึ่งมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การประชุมผ่านทางไกล ระบบการเรียนการสอนผ่านทางไกล อุปกรณ์นำร่องการเดินทาง ทั้งทางบกทางอากาศและทางทะเล รวมไปถึงการติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล ในการติดต่อสื่อสารไร้สายสิ่งหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญ นั่นคือสายอากาศ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อใช้งานร่วมกับระบบอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบหนึ่ง ที่ใช้เพื่อการยืนยัน ระบุตัวตนหรือวัตถุ โดยใช้คลื่นวิทยุเป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งระบบอาร์เอฟไอดีนั้น ได้ถูกริเริ่มคิดค้นขึ้นครั้งแรกในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 โดยเป็นผลงานของ Leon Theremin สามารถประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์และมีการใช้งานได้เป็นครั้งแรก ซึ่งเป็นการสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ.1945 โดยเป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการดักจับสัญญาณของทางการทหารเท่านั้น ซึ่งก็ยังไม่สามารถระบุเอกลักษณ์ของวัตถุหรือเป้าหมาย อย่งที่ใช้ทำงานกันอยู่ในปัจจุบัน จากนั้นจึงได้เริ่มพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 ระบบอาร์เอฟไอดีนี้ มีการรับส่งข้อมูลด้วยสัญญาณคลื่นความถี่ในย่านต่างๆ โดยขึ้นอยู่กับมาตรฐานของแต่ละประเทศ อาร์เอฟไอดีในปัจจุบันมีลักษณะเป็นแผ่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเรียกว่า “แท็กอาร์เอฟไอดี” โดยเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) จะสามารถอ่านค่าได้ โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับแท็กอาร์เอฟไอดี ซึ่งนำไปฝังไว้ในวัตถุหรือติดอยู่กับวัตถุต่าง ๆ เช่น เสื้อผ้า กระเป๋า สัตว์เลี้ยง ผลิตภัณฑ์ กล้องหรือสิ่งของใดๆ ระบบนี้มีคุณสมบัติในการทำให้เราสามารถระบุคุณสมบัติของวัตถุและเพิ่มข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ เข้าไปในแท็กอาร์เอฟไอดีแล้วนำไปติดไว้กับวัตถุเพื่อสามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้น ว่ามีรายละเอียดอะไรบ้าง อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์ ฐานการผลิต ผู้ผลิต วิธีการผลิต และเวลาการผลิต ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้นและแต่ละชิ้นมาจากที่ไหนรวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส การทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับแท็กอาร์เอฟไอดีด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล ระบบอาร์เอฟไอดีนั้นมีข้อดีมากมาย เช่น มีความละเอียดและสามารถบรรจุข้อมูลได้มาก ซึ่งทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสินค้าแต่ละชิ้นแม้จะเป็นสินค้าชนิดเดียวกันก็ตามความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดี สามารถอ่านได้อย่างรวดเร็ว สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลายแท็ก นอกจากนี้แท็กอาร์เอฟไอดียังสามารถเขียนทับข้อมูลและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้า สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกบรรจุภัณฑ์ เพื่อความปลอดภัยที่สูงกว่ายากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ ทนทานต่อความเปียกชื้น แสงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอดีมีส่วนสำคัญที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่นอุปกรณ์ตรวจสอบการผ่านเข้าออกของสถานที่ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ เมื่อสินค้าที่ถูกนำผ่านเข้าออก อุปกรณ์ในการเช็คความถูกต้องของวัสดุ รวมทั้งนำมาใช้ประโยชน์ในด้านของบุคคลทั่วไปในการระบุตัวตนการติดต่อสื่อสารระยะสั้นๆ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเหล่านี้มีความต้องการความเร็วสูงในการส่งผ่านข้อมูล เพื่อให้ได้ตามความต้องการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย การสื่อสารไร้สายสิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญในการติดต่อสื่อสารคือ สายอากาศ ที่จะช่วยให้ระบบการสื่อสารมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งไปในอากาศ และในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้า สายอากาศมีอยู่ด้วยกันหลายแบบหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งานตามความต้องการ ดังนั้นจึงได้เลือกสายอากาศที่สามารถครอบคลุมการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี ที่มีมาตรฐานในประเทศไทย



รูปที่ 1.1 ระบบอาร์เอฟไอดีที่นำไปประยุกต์ใช้กับระบบการจัดการอุปกรณ์ต่างๆ ของบริษัทผลิตเครื่องบินแอร์บัส[1]

นอกจากประโยชน์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วในระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้สำหรับตรวจสอบขั้นตอนการผลิตในโรงงานยังสามารถนำข้อมูลที่ได้อาจจากแท็กอาร์เอฟไอดี มาวิเคราะห์ต่อไปได้ว่า แต่ละขั้นตอนการผลิตใช้เวลาอย่างน้อยเพียงใด และในขั้นตอนใดที่ใช้เวลามากเกินไป หรือเป็นการยืนยันว่า วัสดุดังกล่าวผ่านมาทุกกระบวนการผลิต ในการบันทึกอาร์เอฟไอดีแท็กสามารถบันทึกข้อมูลได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอคทีฟแท็ก (Active tag) มีความสามารถในการอ่านข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีหลายแท็กได้พร้อมกัน เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กมากกว่าหนึ่งแท็กในเวลาเดียวกันซึ่งความสามารถนี้เรียกว่า Anti-collision ในเรื่องของระยะการอ่าน โดยปกติแล้วเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถที่จะอ่านข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีได้ในระยะที่ไกล ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีคลื่นความถี่สูงยิ่ง (UHF) จะสามารถอ่านแท็กอาร์เอฟไอดี ได้ไกลถึง 4-5 m ในสภาพแวดล้อมปกติหากพูดถึงอาร์เอฟไอดีแบบแอคทีฟ ระยะการอ่านก็จะไกลยิ่งขึ้นไปอีกซึ่งในบางกรณีสามารถอ่านได้ไกลถึง 30 m โดยทั่วไปแล้วแท็กอาร์เอฟไอดี ไม่จำเป็นต้องมองเห็นก็สามารถที่จะส่งข้อมูล หรือหากแท็กอาร์เอฟไอดีติดอยู่กับสินค้าที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีได้ดูดซับหรือสะท้อนคลื่นวิทยุเครื่องอ่านก็สามารถที่จะอ่านข้อมูลจากแท็กนั้นได้ โดยมีจำเป็นต้องมองเห็นแท็กอาร์เอฟไอดี แต่อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์คุณลักษณะนี้ก็ไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ หากมีการนำแท็กอาร์เอฟไอดี ไปติดอยู่บนวัสดุที่ดูดซับหรือสะท้อนคลื่นวิทยุ เช่น โลหะ เป็นความคงทนมากกว่า ปัจจุบันมีการนำระบบอาร์เอฟไอดีมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในผลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำระบบอาร์เอฟไอดีมาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ เช่นในกรณีที่เป็นผลากสินค้า ระบบอาร์เอฟไอดีก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้ โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตร (Contact less smart card) เหรียญ ป้ายชื่อหรือผลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลย การพัฒนาระบบอาร์เอฟไอดี มิได้มีจุดประสงค์เพื่อมาแทนที่ระบบอื่นที่มีการพัฒนามาก่อนหน้า เช่น ระบบบาร์โค้ด แต่เป็นการแก้ไขและพัฒนาจุดอ่อน ของระบบที่เคยมีการใช้งานกันมาก่อน สำหรับประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีหลากหลายด้านทั้งใช้ในด้านขนส่ง (บัตรทางด่วน บัตรโดยสารรถไฟฟ้า) ด้านการปศุสัตว์ (การให้อาหาร การติดตามโรค) ใช้กับเอกสารราชการ (บัตรพนักงาน บัตรจอดรถ) และการใช้ระบบอาร์เอฟไอดีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในด้านการขนส่งโดยใช้ฉันท่อเล็กทรอนิกส์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีเพื่อปิดล็อคตู้คอนเทนเนอร์ และความสะดวกในการติดตามบริหารจัดการขนส่งด้านการแพทย์ใช้เพื่อบันทึกระยะเวลาการให้ยา ประวัติการรักษาของผู้ป่วย หรือแม้แต่ในงานของห้องสมุด คลื่นความถี่วิทยุ อย่างเช่น แสงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต และคลื่นอินฟราเรด เพียงแต่ต่างกันในด้านความถี่เท่านั้น คลื่นวิทยุที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศนั้นประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ความถี่ของคลื่นวิทยุที่เราพูดถึงกัน จะหมายถึงความถี่ของคลื่นพาหะหรือความถี่ในระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ มีความถี่ใช้งาน 125 KHz เป็นความถี่มาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปในการรับส่งข้อมูลระยะใกล้ ต้นทุนไม่สูงมาก ความเร็วในการอ่านต่ำ มักนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานของปศุสัตว์ หน่วยงานรักษาความปลอดภัย ระบบควบคุมการเปิดปิดประตู

- ย่านความถี่สูง มีความถี่ใช้งาน 13.56 MHz เป็นความถี่มาตรฐานที่สามารถใช้ได้ทั่วโลก ยังเป็นการใช้งานในระยะใกล้เหมือนกันกับย่านความถี่ต่ำ เพียงแต่มีการปรับปรุงความเร็วในการติดต่อสื่อสารมากขึ้น ซึ่งได้รับความนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับห้องสมุด และการป้องกันการปลอมแปลงสินค้า

- ย่านความถี่ยูเอชเอฟ มีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 860 MHz ถึง 960 MHz โดยช่วงความถี่ใช้งานในแต่ละประเทศจะแตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่แต่ละประเทศเลือกใช้ โดยการประยุกต์ใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้รับความนิยมสูงเนื่องด้วยเป็นการสื่อสารที่มีระยะไกล ทำให้การ

ประยุกต์ใช้งานทำได้หลากหลาย ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ธุรกิจขนาดเล็กองค์กรขนาดใหญ่ จนไปถึงธุรกิจระหว่างประเทศ

- ย่านความถี่เอสเอชเอฟ (Super-high frequency: SHF) มีช่วงความถี่ใช้งาน 2.45 GHz และ 5.8 GHz เป็นความถี่ที่มีความสามารถส่งผ่านข้อมูลที่เร็วที่สุด โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามตู้รถไฟขนส่ง ระบบเก็บเงินบนทางหลวง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตวิทยานิพนธ์

ในแต่ละย่านความถี่ต่างมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นและทำให้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีนี้มีราคาถูกลง เนื่องจากอุปกรณ์ภาครับและภาคการรับส่งสัญญาณจะต้องการประสิทธิภาพในการทำงาน นอกจากนี้ยังคงต้องการที่จะมีอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้ใช้กำลังงานต่ำจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้งานในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ในการรับและส่งข้อมูล โดยวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอการออกแบบตัวอุปกรณ์ในการรับและส่งสัญญาณนั้นก็คือ สายอากาศโดย

- ศึกษาหลักการของระบบเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี และคุณสมบัติของสายอากาศระบบอาร์เอฟไอดีที่มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว

- ศึกษาสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านระบบอาร์เอฟไอดีที่มีการทำงานแบบโพลาริซวงกลม

- ศึกษาและออกแบบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลที่รองรับการทำงานสองย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ยูเอชเอฟ (Ultra-high frequency: UHF) และย่านความถี่ไมโครเวฟ ตามมาตรฐาน FCC (Federal Communications Commission)

สายอากาศในปัจจุบันนี้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้ถูกนำมาใช้ในงานด้านการสื่อสารอย่างกว้างขวางและมีการประยุกต์สายอากาศมาใช้งานด้านต่าง ๆ ดังนั้นสายอากาศที่ได้เลือกมาพัฒนาได้มีการออกแบบเพื่อรองรับการใช้งานในสองย่านความถี่คือย่านความถี่ โดยย่านความถี่แรกมีการใช้งานตั้งแต่ 920 MHz ถึง 925 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่มาตรฐานที่มีการใช้งานในประเทศไทยโดยมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว และย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz เพื่อค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมจากสายอากาศความถี่อาร์เอฟไอดีสำหรับระบบเครื่องอ่าน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสายอากาศชนิดนี้ในการทำระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยมีขอบเขตคือ

- ออกแบบและสร้างสายอากาศความถี่คู่สำหรับระบบเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

- สายอากาศต้นแบบความถี่คู่ ย่านความถี่ยูเอชเอฟและย่านความถี่ไมโครเวฟใช้งานที่ 920 MHz และ 2.45 GHz มีแบนด์วิดท์ตามมาตรฐาน FCC สำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี มีอัตราการขยายตามมาตรฐาน และมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว

- เปรียบเทียบผลการจำลองแบบที่ได้จากโปรแกรม CST กับผลที่ได้จากการวัดจริง

1.3 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำซึ่งกล่าวถึงความเป็นมาของระบบอาร์เอฟไอดีและอธิบายความเป็นมาของงานวิจัยรวมถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีของสายอากาศอาร์เอฟไอดี มาตรฐานด้านต่าง ๆ เช่น ความถี่ คุณสมบัติ รวมทั้งงานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีแบบความถี่คู่ย่านยูเอชเอฟและย่านไมโครเวฟ

บทที่ 3 ทฤษฎีสายอากาศแบบระนาบย่านความถี่คูโพลาริซแบบวงกลมการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศความถี่คู่

บทที่ 4 สายอากาศแบบระนาบสองความถี่โพลาริซแบบวงกลมด้วยร่องโค้งเว้าและนูนแกนราบสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและการวิเคราะห์ผล รวมงานวิจัยที่มีมาก่อนสำหรับสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมความถี่คู่เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

บทที่ 5 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลทดสอบสายอากาศ

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

สายอากาศไมโครสตริปและเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

2.1 เกริ่นนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริปรวมถึงข้อดีข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป หลักการทำงานของสายอากาศไมโครสตริป โครงสร้างพื้นฐานทั่วไป และเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ใช้ อยู่ในปัจจุบัน ความถี่มาตรฐานต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดี หลักการพื้นฐานของความถี่อาร์เอฟไอดี รวมถึงทิศทางการพัฒนาของสายอากาศอาร์เอฟไอดีในอนาคต นอกจากนี้ยังจะกล่าวถึงและเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีมาก่อนเป็นเป็นแนวทางเพื่อศึกษาและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีต่อไป

2.2 สายอากาศไมโครสตริป

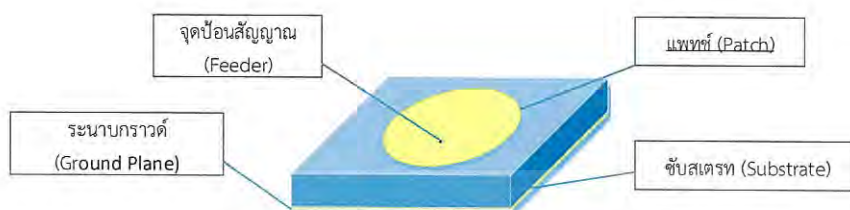
การออกแบบสายอากาศโดยใช้สายอากาศไมโครสตริป สายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ ซึ่งประกอบด้วยฉนวนตัวนำโดยมีแผ่นกราวด์อยู่ด้านหนึ่งของแผ่นฉนวน ส่วนอีกด้านเป็นแผ่นนำสัญญาณ ดังรูปที่ 2.1 สำหรับคุณสมบัติของไมโครสตริปนั้นคือมีการเข้าถึงพื้นผิวง่ายทำให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานและไม่ใช้พลังงานบนทุกๆ จุดในโครงสร้างได้ สำหรับการประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถใช้ในการสื่อสารแบบไร้สายเช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ รถบังคับวิทยุ และโทรทัศน์ ระบบระบุตัวตน รวมถึงการสื่อสารในระยะไกลอย่างเช่นดาวเทียมอีกด้วย สายอากาศไมโครสตริปจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่าแพตช์ ซึ่งเป็นตัวนำ ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบาง และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าซบสเตรทของสารไดอิเล็กตริก ซึ่งออกแบบเป็นสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านของระบบอาร์เอฟไอดี

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none">- น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก- สามารถนำมาดัดแปลงรูปร่างให้สมมูลได้- ราคาถูก การผลิตง่าย- สามารถทำให้บางได้- สามารถดัดแปลงใช้ในการนำวิถีจรวัดหรือดาวเทียมได้- การกัดแผ่นวงจรพิมพ์สามารถทำได้ครั้งเดียว ทำให้สายอากาศมีราคาที่ถูกลง- แผงกระจายคลื่นได้ทั้งแบบเส้นตรงและวงกลม- สามารถรวมกับความถี่อื่นๆได้	<ul style="list-style-type: none">- แบนด์วิดท์แคบ- มีการสูญเสียมากซึ่งส่งผลให้ได้อัตราขยายต่ำ- สายอากาศไมโครสตริปส่วนใหญ่ จะมีการแผ่กระจายคลื่นเพียงครึ่งระนาบ- มีอัตราขยายสูงสุดไม่เกิน 20 dB

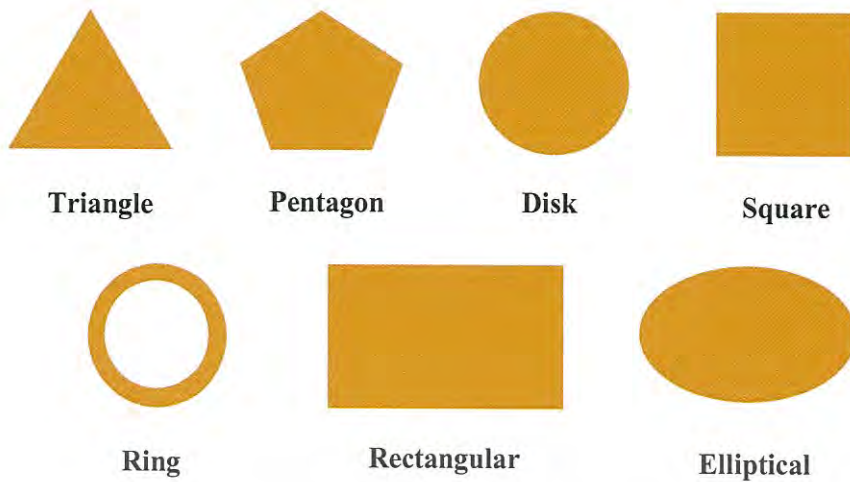
โครงสร้างของสายอากาศที่มีโพลาริไซส์แบบวงกลม มีรูปแบบการวางที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น สายอากาศแพตช์ไมโครสตริปแบบชั้นเดียว สายอากาศประเภทนี้ มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถสร้างได้ง่าย แต่มีค่าแถบความถี่ ตอบสนองต่อค่าอัตราส่วนแกน (AR) ค่อนข้างแคบและค่า

AR ที่ได้ ยังไม่ค่อยสัมพันธ์กับความถี่ตอบสนองของสายอากาศ อีกทั้งยังมีอัตราขยายต่ำ ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ สายอากาศแพตช์ไมโครสตริปแบบซ้อนหลายชั้น ถึงแม้ว่าสายอากาศประเภทนี้จะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก แต่มีข้อดีตรงที่มีค่าแถบความถี่ตอบสนองต่อค่าอัตราส่วน แแกน (AR) ค่อนข้างกว้าง อีกทั้งยังมีอัตราขยายที่สูงอีกด้วย



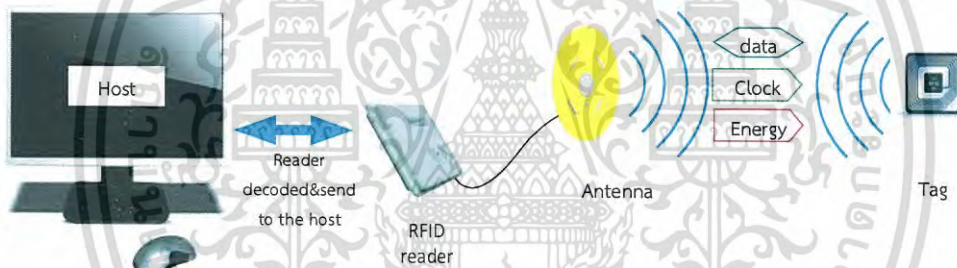
รูปที่ 2.1 สายอากาศไมโครสตริป

เทคนิคการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปนั้น โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะมีสามชั้นโดยชั้นของสารตัวนำ แพตช์และกราวด์ ประกอบเข้ากับชั้นสารที่มีคุณสมบัติไม่เป็นแม่เหล็กคือซับสเตรท ซึ่งค่าทางไฟฟ้าของซับสเตรทเรียกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าที่เหมาะสมในการออกแบบคือมีค่าตั้งแต่ 1.17 – 25 และค่าการสูญเสีย ตั้งแต่ 0.0001 – 0.004 แพตช์มีการออกแบบเป็นรูปร่างหลายประเภท เช่น วงกลม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม เป็นต้น ในด้านของเทคนิคเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศมีมากมาย เทคนิคที่นำมาใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริปในการเพิ่มแบนด์วิดท์คือการปรับขนาดของแพตช์ ความหนาของซับสเตรท ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ชนิดของจุดป้อนสัญญาณ และตำแหน่งของชั้นแพตช์ เป็นต้น หากค่าคงที่ไดอิเล็กตริก มีค่าน้อยจะทำให้แบนด์วิดท์มีขนาดกว้างขึ้น ประสิทธิภาพและทิศทางการแพร่ดีขึ้น แต่สายอากาศต้องมีขนาดใหญ่ ส่วนการออกแบบสายอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า ต้องใช้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สูงๆ ซึ่งมีผลตามมาคือประสิทธิภาพลดลงเกิดการสูญเสียมากกว่า และมีแบนด์วิดท์แคบกว่าเนื่องจากสายอากาศไมโครสตริป มีรูปร่างเชิงเรขาคณิตรูปแบบต่างๆดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงรูปร่างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งลักษณะของแผ่นสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น ประกอบด้วยแผ่นมีลักษณะผนังที่เป็นตัวนำระนาบรูปทรงเรขาคณิตแบบต่างๆ วางอยู่บนด้านหนึ่งของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก ส่วนอีกด้านหนึ่งซึ่งมีระนาบกราวด์อยู่



รูปที่ 2.2 รูปร่างของสายอากาศไมโครสตรูปแบบแผ่น

2.3 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 2.3 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี

2.3.1 ส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมของระบบอาร์เอฟไอดีเป็นส่วนหลักที่สำคัญโดยจะเป็นส่วนประมวลผลกลางของระบบ ในส่วนประมวลผลกลางนี้จะมีโปรแกรมในการจัดการ จะเชื่อมต่อกับตัวอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีส่วนต่าง ๆ จำนวนมาก เพื่อจัดการให้ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบทำงานรวมกันเป็นโครงข่ายได้ ส่วนควบคุมก็คือคอมพิวเตอร์นั่นเอง โดยจะมีโปรแกรมในการจัดการ มีตัวเก็บฐานข้อมูลและระบบจัดการฐานข้อมูล โดยเมื่อเครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีแล้วจะส่งข้อมูลที่ได้ผ่านการแปลงรูปแบบของข้อมูลที่เหมาะสมมายังส่วนควบคุม เมื่อส่วนควบคุมได้ข้อมูลก็จะทำการประมวลผลและจัดการฐานข้อมูลต่อไปหรือจะสร้างข้อมูลเพื่อส่งไปยังป้ายหรือว่าจะเป็นที่เก็บระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบที่เรานำเอาไปใช้

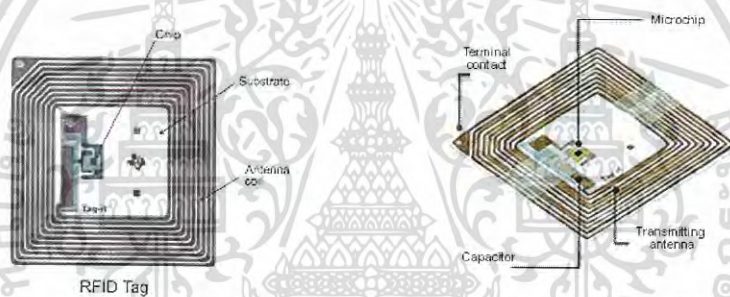
2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีนั้น โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านป้ายคือ จะทำการเชื่อมต่อกับป้ายเพื่อทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงในป้ายโดยใช้สัญญาณวิทยุ ซึ่งภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย

สายอากาศเป็นตัวใช้รับ-ส่งสัญญาณภาครับ-ภาคส่งสัญญาณวิทยุ วงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล และส่วนที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ เช่นเดียวกันกับในส่วนของป้าย เครื่องอ่านนั้นจะมีชนิด และลักษณะรูปร่างหลากหลายแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น แบบมือถือ แบบติดผนัง จนไปถึงแบบขนาดใหญ่เท่าประตู

2.3.3 แท็กหรือเครื่องลูกข่าย

โครงสร้างภายในของแท็ก ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ สายอากาศ และตัวไมโครชิป ในส่วนของตัวสายอากาศนั้น จะทำหน้าที่รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุระหว่าง ป้ายกับเครื่องอ่าน นอกจากนั้นแล้วยังสามารถทำหน้าที่สร้างพลังงานเพื่อป้อนให้กับไมโครชิปได้อีกด้วย สายอากาศจะมีลักษณะต่างๆ เช่นเป็นขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ ไมโครชิป ส่วนของไมโครชิป ก็จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า เป็นต้น โดยทั่วไปตัวแท็กจะแทรกอยู่ในตัวกระดาษหรือในรูปแผ่นฟิล์ม พลาสติก มีหลายขนาด หลายรูปแบบและรูปร่างต่างๆ กันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะที่นำไปใช้ และขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุที่จะนำสายอากาศไปติด เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต หรือมีรูปร่างเป็นแผ่นป้ายที่ติดสินค้ากันขโมย และตัวรหัสไฟฟ้าที่เป็นเหรียญกลมๆ สีดำ เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น โดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของป้ายอาร์เอฟไอดี ได้เป็น 2 ประเภทดังนี้คือ



รูปที่ 2.4 ป้ายอาร์เอฟไอดี (RFID Tag) [2]

แท็กชนิดพาสซีฟ ป้ายชนิดนี้ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอก เพราะภายในป้ายมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นแหล่งพลังงานในตัวอยู่แล้ว ระยะการอ่านข้อมูลได้ในระยะสั้นๆ เท่านั้น ไม่เกิน 1 เมตร (ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเครื่องอ่านและความถี่ของวิทยุที่ใช้) RFID Tag ประเภทนี้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา โดยทั่วไปจะมีหน่วยความจำประมาณ 16 ถึง 1024 ไบต์



พวงกุญแจ

แคปซูล

บัตร

รูปที่ 2.5 รูปแบบป้ายอาร์เอฟไอดี (RFID Tag) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กชนิดแอกทีฟ ป้ายชนิดนี้ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก เพื่อจ่ายไฟให้วงจรทำงาน แท็กแบบนี้ สามารถมีหน่วยความจุภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ ระยะเวลาอ่านข้อมูลได้ประมาณ 100 เมตร แต่มีข้อเสียคือ ขนาดของป้ายหรือเครื่องอ่านมีขนาดใหญ่ อายุแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานประมาณ 3-7 ปี ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมา จะมีขนาดและรูปร่างเป็นแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดของงานที่นำไปใช้แตกต่างกัน ส่วนโครงสร้างภายในของแท็กนั้นประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนควบคุมการทำงานของกรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ ส่วนควบคุมภาคลอจิก ส่วนของหน่วยความจำ ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM



รูปที่ 2.6 แท็กแบบต่าง ๆ โดยภายในบรรจุแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ [4]

นอกจากนั้นยังสามารถจัดรูปแบบป้ายอาร์เอฟไอดีจากรูปแบบการอ่านเขียน มีอยู่ 3 รูปแบบดังนี้

1. ป้ายที่ใช้อ่านและเขียนข้อมูลลงไปได้หลายครั้ง
2. ป้ายที่ใช้เขียนได้เพียงครั้งเดียวแต่อ่านได้หลายครั้ง
3. ป้ายที่ใช้อ่านได้เพียงอย่างเดียว

2.4 หลักการพื้นฐานของความถี่สำหรับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

การออกแบบระบบอาร์เอฟไอดีให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละงานประยุกต์ เป็นสิ่งที่ท้าทายเพราะว่าผู้ใช้งานต้องเข้าใจระบบอาร์เอฟไอดีทั้งหมดก่อน ระบบอาร์เอฟไอดีเป็นการติดต่อสื่อสารไร้สายระหว่างแท็กอาร์เอฟไอดี และเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีโดยจะต้องเป็นไปตามหลักการสื่อสารของระบบไร้สาย ว่าด้วยความถี่เดียวกัน อย่างไรก็ตามความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดีที่เลือกใช้งานนั้นก็ยังมีองค์ประกอบที่ต้องคำนึงถึงอีกด้วย ระบบอาร์เอฟไอดี มีความถี่หลายความถี่ให้เลือกใช้งานขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องทำความเข้าใจกับประสิทธิภาพของตัวแปรและองค์ประกอบต่างๆ เช่น ระยะเวลาที่แท็กอาร์เอฟไอดีตอบสนอง พื้นที่การส่งข้อมูล ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ใช้งาน เพราะเรื่องต่าง ๆ เหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลังทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการ นอกจากนี้คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นแล้วยังต้องคำนึงถึงการประยุกต์ใช้งานอีกด้วยเช่นใช้ในระบบงานด้านปศุสัตว์ต้องติดไว้ที่ตัวสัตว์หรือว่าใช้งานกับสินค้าต้องติดแท็กอาร์เอฟไอดีไว้กับสินค้าเพื่อทำการระบุตัวตนหรือติดตาม ดังนั้นเครื่องอ่านจะต้องติดตั้งให้ถูกตำแหน่งและใช้คุณสมบัติ

ต่าง ๆ ให้เหมาะสม ดังนั้นในบทนี้จะทำการอธิบายหลักการพื้นฐานของระบบอาร์เอฟไอดี องค์ประกอบและตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี โดยจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ การเลือกความถี่สำหรับใช้งาน การเลือกใช้งานแท็กอาร์เอฟไอดี และเรื่องสุดท้ายคือการเลือกใช้งานเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี โดยจะเน้นการออกแบบสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้จะขอยกตัวอย่างการออกแบบเครื่องอ่านที่ใช้งานด้านความถี่ยูเอชเอฟ และย่านความถี่ไมโครเวฟ เพื่อเป็นแนวทางให้เข้าใจถึงขั้นตอนในการออกแบบเครื่องอ่านด้านความถี่ทั้งสอง ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องอ่านย่านความถี่อื่น ๆ การออกแบบเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ในการออกแบบระบบอาร์เอฟไอดีให้เหมาะสมตามความต้องการนั้นเป็นเรื่องที่ท้าทายมาก เพราะจะต้องเข้าใจโครงสร้างโดยรวมของความต้องการของแต่ละงานประยุกต์ ทั้งหมดก่อน ทั้งนี้ระบบอาร์เอฟไอดีเป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างแท็กอาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกัน อย่างไรก็ตามระบบอาร์เอฟไอดีมีความถี่ให้เลือกใช้งานหลายความถี่ขึ้นอยู่กับมาตรฐานต่างๆ ที่มีอยู่และการเลือกใช้มาตรฐานของแต่ละประเทศ ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจประสิทธิภาพของตัวแปรต่าง ๆ เช่น ระยะการอ่าน ระยะเวลาที่แท็กอาร์เอฟไอดี จะทำการตอบสนอง และพื้นที่การส่งข้อมูลซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของการใช้งาน ความเข้าใจเรื่องเหล่านี้จะทำให้สามารถใช้งานอุปกรณ์อาร์เอฟไอดีทั้งเครื่องอ่านและแท็กได้อย่างเหมาะสมและสายอากาศใดเหมาะสมตามความต้องการ นอกจากนี้ แท็กอาร์เอฟไอดีจะติดอยู่กับวัตถุที่จะทำการระบุตัวตนหรือติดตาม นอกจากนี้ก็จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านความถี่ยูเอชเอฟและเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีย่านไมโครเวฟ เพื่อเป็นแนวทางให้เข้าใจถึงขั้นตอนในการออกแบบเครื่องอ่านแบบสองย่านความถี่คือ ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่วิทยุที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี

ความถี่	ช่วงความถี่	ความยาวคลื่น	ความถี่ ISM	ความถี่ FCC	ระยะการอ่าน Passive แท็ก
LF	30-300 KHz	10 Km-1Km	125-135 KHz	125 – 134.2 kHz	<50cm
HF	3-30 MHz	100m-10m	6.78,8.11,13.56, 27.12 MHz	13.56 MHz	<3m
UHF	300-3000 MHz	1m-10cm	433,869,915MHz	860-960 MHz	<9m
MW	1-300 GHz	30cm-1mm	2.44,5.89 GHz	2.45 GHz	>10m

ย่านความถี่สำหรับใช้งานในระบบเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี แท็กอาร์เอฟไอดี และเครื่องอ่านความถี่วิทยุในการติดต่อสื่อสารซึ่งเรียกความถี่นี้ว่าความถี่ใช้งาน ความถี่วิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า สเปกตรัมความถี่วิทยุ เนื่องจากระบบ อาร์เอฟไอดี สร้างและส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ในสเปกตรัมความถี่วิทยุ ดังนั้นจึงต้องมีระบบจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ และโทรศัพท์มือถือ เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดความถี่ที่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีเพื่อให้ไม่รบกวนการทำงานของระบบ

อื่น ๆ ดัง ตารางด้านบน นอกจากนี้แล้วในส่วนของการจัดสรรและกำหนดย่านความถี่ยังขึ้นอยู่กับมาตรฐานของแต่ละประเทศอีกด้วยเช่น ย่านความถี่ไมโครเวฟที่ใช้งานตามมาตรฐานด้านยานยนต์ของมาตรฐาน FCC นั้นอยู่ที่ 2.40-2.454 GHz ซึ่งอยู่ในย่านของความถี่มาตรฐาน ISM หรือ SRD ด้วยภายใต้ ITU#9 มาตรฐานความถี่ย่านไมโครเวฟ ย่านความถี่ยูเอชเอฟที่ใช้ในประเทศอินเดียและยุโรป ใช้ที่ 865-868 MHz ประเทศอเมริกาและออสเตรเลีย ใช้ที่ย่านความถี่ 902-928 MHz ด้านล่างคือตารางย่านความถี่ยูเอชเอฟที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดีของประเทศต่าง ๆ ที่จัดสรรและกำลังงานสูงสุดที่แพร่กระจาย

ดังนั้นพอจะสรุปมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ดังนี้

มาตรฐาน ISO/IEC ISO หรือ International Organization for Standardization เป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ว่าด้วยการ มาตรฐานก่อตั้งเมื่อปี 1946 ตั้งอยู่ ณ กรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ เกิดจากการรวมตัวระหว่างองค์กรอุตสาหกรรมนานาชาติเพื่อพัฒนามาตรฐานอุตสาหกรรมให้เป็นระบบมาตรฐานสากล สำหรับมาตรฐาน ISO/IEC ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี RFID

มาตรฐาน FCC (Federal Communications Commission) [5] เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุของรัฐบาลสหรัฐฯ ออกโดยคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร เพื่อวางระเบียบให้แก่ อุปกรณ์ประเภทวิทยุ โทรทัศน์ ผู้ให้บริการการสื่อสารระหว่างรัฐ และงานให้บริการระหว่างประเทศที่อยู่ในสหรัฐฯ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ผลิตสัญญาณความถี่วิทยุ ซึ่งอาจจะไปรบกวนการกระจายสัญญาณทางธุรกิจ อุปกรณ์เหล่านี้ต้องได้รับการรับรองจาก FCC ก่อนที่จะนำเข้ามาขายในประเทศสหรัฐฯ โดยข้อกำหนด FCC จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับชั้น คือ Class A สำหรับในงานอุตสาหกรรมหรือด้านธุรกิจ และ Class B สำหรับใช้งานตามบ้าน รวมทั้งคลื่นวิทยุที่ใช้สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีด้วย

มาตรฐาน ISM (Industrial Sciences Medicine) หรือคลื่นความถี่สาธารณสุขสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ การตั้ง ISM band นี้ขึ้นมาสำหรับการวิจัยโดยเฉพาะ โดยแบ่งเป็นสามย่านความถี่ คือ 900 MHz 2.4 GHz และ 5.7 GHz รวมถึงมาตรฐานในการกำหนดย่านความถี่สำหรับระบบ อาร์เอฟไอดี

มาตรฐาน EPC global เป็นการดำเนินงานร่วมกันของ EAN International ในทวีปยุโรป Uniform Code Council (UCC) และ Auto ID Center ในสหรัฐอเมริกา เป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดมาเพื่อใช้ในการกำหนดรหัสสินค้าต่างๆ โดยใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ เรื่องเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทอาร์เอฟไอดี เป็นมาตรฐานที่ระบุลักษณะขั้นต่างๆทางเทคนิคของคลื่นวิทยุย่านความถี่ 13.533-13.567 MHz 433.05- 434.79 MHz และ 920-925 MHz หรือย่านความถี่วิทยุอื่นในประเทศไทย ตามที่คณะกรรมการกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติประกาศกำหนดไว้เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2549 (ราชกิจจานุเบกษา), 2550

Standard Interchange Protocol (SIP) เป็นมาตรฐานทางด้านการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างระบบ พัฒนาและกำหนดเป็นมาตรฐานขึ้นโดย 3M (Implement The Standard Interchange Protocol 2.0 As An Authentication Schema, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ย่านความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟและการกำหนดกำลังงานในการส่งสัญญาณในย่านความถี่ที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี มาตรฐานขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศเลือกใช้

พื้นที่	ย่านความถี่ ยูเอชเอฟสำหรับ ระบบอาร์เอฟไอดี	กำลังงานสูงสุด ที่แพร่กระจาย ได้	ย่านความถี่ ไมโครเวฟสำหรับ ระบบอาร์เอฟไอดี	กำลังงานสูงสุด ที่แพร่กระจาย ได้
สหรัฐอเมริกา	902-928 MHz	4 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
ไทย(FCC)	920-925 MHz	2 วัตต์ (EIRP)	2400-2483 MHz	1 วัตต์ (EIRP)
ออสเตรเลีย	918-926 MHz	1 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	1 วัตต์ (EIRP)
ยุโรป	865-868 MHz	2 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	2 วัตต์ (EIRP)
ฮ่องกง	865-868 MHz	2 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	2 วัตต์ (EIRP)
อินเดีย	865-867 MHz	4 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
ญี่ปุ่น	950-956 MHz	4 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
สิงคโปร์	923-925 MHz	2 วัตต์ (EIRP)	2400-2500 MHz	2 วัตต์ (EIRP)

ระบบอาร์เอฟไอดีจะทำงานอยู่ในย่านความถี่ 4 แบบ คือ ความถี่ต่ำ ความถี่สูง ความถี่สูงยิ่ง และไมโครเวฟ โดยที่ย่านความถี่ที่ใช้งานจะมีผลกระทบต่อความเร็ว ระยะการอ่าน และความแม่นยำในการ ประสิทธิภาพของย่านความถี่ที่ใช้งานในการที่จะออกแบบระบบอาร์เอฟไอดีเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงในการเลือกใช้งาน ซึ่งย่านความถี่ที่แตกต่างกันก็จะได้ระยะอ่านที่แตกต่างกัน

ในทางปฏิบัติระบบอาร์เอฟไอดีมีความถี่ใช้งานหลายความถี่โดยแต่ละความถี่มีความแตกต่างกันในด้านต่าง ๆ

พลังงานที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เนื่องจากแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ ต้องการพลังงานจากเครื่องอ่านในการทำงาน ดังนั้นถ้าพลังงานจากเครื่องอ่านส่งออกมานั้นยังทำให้ระยะการอ่านลดลงไปอีก

ความถี่ใช้งาน พลังงานที่แท็กอาร์เอฟไอดีได้รับจากสายอากาศ เมื่อความถี่ที่ทำงานเปลี่ยนไปจะทำให้ขนาดของสายอากาศเปลี่ยนไปทำให้พลังงานที่ได้รับนั้นเปลี่ยนไปด้วย

ความไวของแท็กอาร์เอฟไอดี ระยะการอ่านสูงสุดจะขึ้นกับความต้องการของพลังงานของแท็กอาร์เอฟไอดี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของแท็กอาร์เอฟไอดี และขนาดของสายอากาศภายในแท็กอาร์เอฟไอดี

เทคนิคการติดต่อสื่อสาร ระยะการอ่านจะขึ้นกับเทคนิคการติดต่อสื่อสารว่าเป็นแบบคู่แบบเหนี่ยวนำหรือแบบการกระจุดกลับ

ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการตัดสินใจเลือกความถี่ใช้งานพอจะสรุปได้ดังนี้

- ประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

โดยทั่วไปนั้นงานประยุกต์ แต่ละแบบเช่น ธุรกิจค้าปลีก การเก็บเงินค่าทางด่วน อัตโนมัตและเครื่องติดตามในสัตว์ เป็นต้น จะมีความต้องการพื้นฐานทางด้านเทคนิคที่แตกต่างกันซึ่งมักจะมีการระบุไว้ในแต่ละและมาตรฐานว่าตั้งใช้งานในย่านความถี่ใด

- ระยะการอ่าน

ระยะเวลาอ่าน จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานและตัวแปรอื่นๆ ดังนั้นระยะเวลาอ่านของแต่ละงานประยุกต์จะทำให้ผู้ใช้งานทราบว่าความถี่อะไรในการใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดี

- เงื่อนไขการทำงาน

เงื่อนไขการทำงานมีผลกับการเลือกใช้งานเช่น การทำงานของ ระบบในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำหรือโลหะควรเลือกใช้งานที่ความถี่ต่ำหรือความถี่สูง ซึ่งสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมเหล่านี้ได้

- การเลือกใช้งานแท็กอาร์เอฟไอดี

การเลือกใช้งานแท็กอาร์เอฟไอดี ให้เหมาะสมกับงานประยุกต์ที่ใช้งานนั้นจะต้องทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ของแท็กเช่น ประเภทของแท็ก ลำดับชั้นของแท็ก ความถี่ที่ทำงาน ระยะเวลาอ่าน จำนวนความจำ รูปร่างของแท็ก สภาพแวดล้อมที่จะนำแท็กไปใช้งานและมาตรฐานของแท็ก ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

- ชนิดของแท็กอาร์เอฟไอดี

การเลือกชนิดของแท็กอาร์เอฟไอดีจะขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละงานประยุกต์ ตัวอย่างเช่นประเภทของแท็กอาร์เอฟไอดี ถ้างานประยุกต์เป็นแบบง่าย ๆ เช่น ถ้าต้องการป้ายอาร์เอฟไอดี เพื่อเก็บรหัสประจำตัวและถ้าใช้งานเมื่อมีการร้องขอก็สามารถใช้แท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟได้ แต่ถ้าต้องการระบุตัวตนแบบเรียลไทม์หรือต้องการวัดอุณหภูมิอาจจะต้องเลือกใช้แท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอคทีฟ เพราะรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์

- ระดับของแท็กอาร์เอฟไอดี

ลำดับชั้นของแท็กนั้นจะบอกว่าแท็กนั้นสามารถอ่านได้อย่างเดียวเขียนได้ครั้งเดียวหรือสามารถอ่านและเขียนได้หลายครั้ง ซึ่งถ้างานประยุกต์นั้นต้องการเก็บรหัสประจำตัว เพื่อระบุตัวตนก็อาจใช้แท็กที่สามารถอ่านได้อย่างเดียวหรือเขียนได้ครั้งเดียวมาใช้งาน

- ความถี่ใช้งาน การตัดสินใจเลือกใช้ความถี่ใดมาใช้งานขึ้นอยู่กับปัจจัย

ความแตกต่างของความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในแต่ละส่วนของโลกจากการที่สามารถเลือกใช้ความถี่ใดๆ ก็ได้ตามข้อกำหนด จึงทำให้สามารถเลือกใช้ความถี่ที่เหมาะสมกับงานประยุกต์ต่าง ๆ ได้เช่น ต้องการการอ่านที่ไกลก็เลือกความถี่สูงขึ้นมาใช้งานประยุกต์

- ประสิทธิภาพการอ่าน

ประสิทธิภาพการอ่านของแท็กจะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ การสื่อสารแบบแถบความถี่แคบซึ่งนิยมใช้ในการสื่อสารไร้สาย อาร์เอฟไอดีเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้ความถี่แคบในหลากหลายย่านความถี่ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของแต่ละประเทศ

2.4.1 คลื่นวิทยุกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

จากที่กล่าวในขั้นต้นว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีอาศัยคลื่นวิทยุในการทำงาน ดังนั้นเมื่อพูดถึงเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี สิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้ที่จะต้องกล่าวถึงคือ คลื่นวิทยุ คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.1 cm ถึง 1,000 km หรืออยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 30 Hz และ 300 GHz เมื่อเป็นคลื่นวิทยุจะเห็นได้ว่า วัสดุที่นำมาใช้กับคลื่นวิทยุย่อมมีผลต่อการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในวัสดุประเภทที่คลื่นวิทยุสามารถผ่านได้สะดวกโดยไม่มีกระแสสูญเสียพลังงานใด วัสดุเหล่านี้เรียกว่า RF-lucent หรือ RF-friendly หากนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี มาใช้กับวัสดุเหล่านี้จะไม่มีผลเสียต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุบางประเภทที่เป็นอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้งาน วัสดุประเภทแรกเรียกว่า RF-opaque วัสดุประเภทนี้จะหักเห

คลื่นวิทยุ หรือทำให้คลื่นวิทยุกระจายออกไป ส่วนวัสดุอีกประเภทเรียกว่า RF-absorbent คลื่นวิทยุสามารถที่จะผ่านวัสดุประเภทนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามคลื่นที่ผ่านมานั้นจะถูกดูดซับไว้หมด หรือต้องสูญเสียพลังงานมากในการที่จะทะลุผ่านได้ ถึงแม้ว่า วัสดุแต่ละประเภทจะมีผลต่อคลื่นวิทยุ อย่างไรก็ตามวัสดุประเภทหนึ่งจะมีผลคลื่นวิทยุแต่ละช่วงความถี่ที่แตกต่างกันกล่าวคือ วัสดุนั้นอาจจะมีลักษณะเป็น RF-lucent ในคลื่นความถี่หนึ่ง ในขณะที่วัสดุเดียวกันนี้อาจจะเป็น RF-opaque หรือ RF-absorbent ในคลื่นความถี่ในช่วงอื่นก็ได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้ซึ่งความถี่ที่เราสนใจคือ ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคลื่นความถี่กับวัสดุที่นำมาใช้งาน

วัสดุ	ยูเอชเอฟ	ไมโครเวฟ
RF-lucent	ผ้า ไม้ น้ำมันเครื่อง วัสดุที่ประกอบด้วย กระจกพลาสติก (แล้วแต่ประเภท)	ผ้า น้ำมันเครื่อง วัสดุที่ประกอบด้วย กระจกพลาสติก (แล้วแต่ประเภท)
RF-absorbent	ของเหลว (แล้วแต่ประเภท) แคมพู น้ำ ไม้ชื้น	ไม้ ของเหลว (แล้วแต่ประเภท), แคมพู น้ำ ไม้ชื้น
RF-opaque	Graphite, โลหะ	Graphite, โลหะ

จากที่กล่าวในขั้นต้นว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ใช้คลื่นวิทยุในการทำงานและคลื่นวิทยุที่ใช้ในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 125 KHz และ 2.45 GHz จากช่วงความถี่ดังกล่าวทำให้สามารถแบ่งคลื่นวิทยุได้เป็น 4 ประเภท โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทถัดไป

2.4.2 หลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับระบบอาร์เอฟไอดี

สายอากาศกับการแพร่กระจายคลื่นในระบบอาร์เอฟไอดีนั้น เราต้องการให้สัญญาณที่ได้รับปลายทางมีความแรงอย่างน้อยที่สุดที่แรงพอที่จะชนะสัญญาณรบกวนได้และอยู่ในเกณฑ์ที่ความไวของเครื่องรับจะทำงานได้ ความแรงที่ตัวอ่านจะมีค่าสูงหรือต่ำเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญคือถ้าเป็นการส่งสัญญาณไปตามสายส่ง สัญญาณส่วนมากจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนในสายส่ง เนื่องจาก ความต้านทานของสายส่งและเนื่องจากฉนวนที่นำมาทำสายส่งไม่เป็นฉนวนที่มีคุณสมบัติที่ดีจริง

การสูญเสียของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่นออกอากาศ คลื่นวิทยุบางส่วนถูกลดทอนกำลังลงในตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่านไป การสื่อสารของระบบอาร์เอฟไอดีในเรื่องของการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ต่างพอสรุบได้ดังนี้คือ

ความถี่ต่ำ ย่านความถี่ต่ำจะอยู่ในช่วงความถี่ 30 – 300 KHz ระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ย่านความถี่ต่ำซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ ระยะการอ่านที่สั้น ระยะการอ่าน ของระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้งานในย่านความถี่ต่ำ นั้นมีระยะการอ่านที่สั้น (น้อยกว่าครึ่งเมตร) ความเร็วในการอ่านที่ช้า เป็นที่ทราบกันว่า ถ้าใช้ความถี่ที่สูงระยะการอ่านก็จะมากขึ้นและการส่งข้อมูลก็จะรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นถ้างานย่านความถี่ต่ำ ความเร็วในการอ่านข้อมูลก็จะช้า และมีการดูดกลืนน้อย ความยาวคลื่นเป็นส่วนกลับของความถี่ ดังนั้นถ้าใช้ความถี่ต่ำในระบบอาร์เอฟไอดีก็จะทำให้ความยาวคลื่นนั้นสูงขึ้น เมื่อความยาว

คลื่นสั้นสูงขึ้นสัญญาณที่ใช้ความถี่ต่ำ ก็จะถูกดูดกลืนได้ยากในชั้นบรรยากาศแอสโมสเฟียและสามารถเดินทางทะลุผ่านโลหะได้จึงทำให้ ระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ความถี่ต่ำเหมาะกับการใช้งานในน้ำและโลหะ เนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ความถี่ต่ำมีระยะการอ่านที่สั้นและถูกดูดกลืนได้น้อยจึงนิยมนำไปใช้ในงานที่ต้องการการใช้งานอย่างหนัก เช่นการควบคุมการเข้าถึงการติดตามสัตว์และคน และยานพาหนะ เป็นต้น

ย่านความถี่สูง ย่านความถี่สูงมีระยะความถี่ที่ 3 – 30 MHz ซึ่งในระบบอาร์เอฟไอดี จะใช้ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้บ่อยโดยทั่วไป ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ย่านความถี่สูงมีคุณสมบัติดังนี้ ระยะการอ่านจะอยู่ประมาณ 3 เมตร เนื่องจากความถี่สูงมีความยาวคลื่นที่สั้นจึงทำให้ไม่สามารถแพร่กระจายผ่านโลหะ มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบอาร์เอฟไอดีความถี่ต่ำ จากคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ย่านความถี่สูงจึงเหมาะกับการใช้งานทางด้านการควบคุมการเข้าออกอาคารการติดตามสินค้าและห้องสมุด เป็นต้น ในปัจจุบันนี้ย่านความถี่ 13.56 MHz ถือเป็นความถี่มาตรฐานที่ใช้กันในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงที่ใช้กันทั่วไปอย่างกว้างขวาง

ย่านความถี่สูงยิ่ง ความถี่สูงยิ่งมีช่วงความถี่อยู่ที่ 300 MHz ถึง 3 GHz โดยระบบอาร์เอฟไอดี จะใช้ความถี่ 344 MHz และ 860-960 MHz ซึ่งถือว่าเป็นความถี่ที่มีความเร็วในการอ่านข้อมูลที่สูง สำหรับคุณสมบัติโดยทั่วไปนั้นของระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ย่านความถี่สูงยิ่งมีดังนี้ เนื่องจากมีความยาวคลื่นที่สั้นทำให้ถูกดูดกลืนได้ง่ายด้วยของเหลวและโลหะทำให้ระยะการอ่านนั้นลดลงสามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้รวดเร็วทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมากขึ้น จะเห็นได้ว่าย่านความถี่ยูเอชเอฟ ในแต่ละประเทศนั้นมีความแตกต่างกันมากทำให้ไม่สามารถที่จะนำระบบอาร์เอฟไอดีไปใช้งานได้ทุกประเทศ มีอุปกรณ์หลายอย่างที่ทำงานในความถี่นี้ทำให้ อาจเกิดการแทรกแซงด้วยความถี่จากอุปกรณ์อื่นๆได้ง่าย อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดี ที่ทำงานย่านความถี่สูงยิ่ง มีความเร็วในการอ่านที่สูงและมีระยะการอ่านที่มาก ทำให้เหมาะสำหรับนำไปใช้งานด้านการเก็บเงินอัตโนมัติ การจัดการคลังสินค้าและการติดตามรายการสินค้า เป็นต้น

ย่านความถี่ไมโครเวฟ ย่านความถี่ไมโครเวฟมีช่วงความถี่อยู่ที่ 1 GHz ถึง 300 GHz โดยระบบอาร์เอฟไอดี จะใช้ความถี่ 2.44 GHz และ 5.80 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่มีความเร็วในการอ่านข้อมูลที่สูงมากระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟมีคุณสมบัติดังนี้ มีความเร็วในการอ่านที่สูงและสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว สามารถอ่านข้อมูลได้ในระยะไกล มีประสิทธิภาพต่ำเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะเนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นมากจากคุณสมบัติที่กล่าวมานั้นทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานย่านความถี่ไมโครเวฟเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานด้านการควบคุมการเข้าถึงระยะไกลของพาหนะ การระบุยานพาหนะ การเก็บเงินค่าทางด่วนอัตโนมัติ และห่วงโซ่อุปทาน เป็นต้น

อาร์เอฟไอดีสามารถสรุปข้อดีเป็นประเด็นต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้คือลักษณะการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี หลักใหญ่ของเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี ได้แก่ ที่บรรจุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับโลหะที่ยึดหยุ่นได้สำหรับการติดตามโดยจะเรียกว่า "Inlay" หรือทำหน้าที่เป็นสายอากาศนั่นเอง Inlay มีความหนาสูงสุดอยู่ที่ 0.375 มิลลิเมตร สามารถทำเป็นแผ่นบางอัดเป็นชั้นๆ ระหว่างกระดาษ แผ่นฟิล์มหรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งเป็นการผลิตเครื่องหมายหรือฉลาก จึงทำให้ง่ายต่อการติดเป็นป้ายชื่อหรือฉลากของชิ้นงานหรือวัตถุนั้นๆได้สะดวกองค์ประกอบในระบบอาร์เอฟไอดี จะมีหลักๆอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสพอนเดอร์หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า แท็กส่วนที่สองคืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กมีชื่อเรียกว่าทรานสซีฟเวอร์หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า เครื่องอ่านข้อมูลทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุสัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรงเมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุแสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้ายโดยป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์และเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่ายหรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

2.5 บทความที่มีมาก่อนและตารางเปรียบเทียบสำหรับสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและไมโครเวฟ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าความสามารถในการรับส่งข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีมีความสำคัญยิ่งดังนั้นองค์ประกอบหนึ่งที่เป็นตัวนำพาที่สำคัญสำหรับการรับส่งข้อมูลก็คือสายอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ซึ่งจะเป็นตัวแปลบอกถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพการอ่าน ระยะการอ่าน ทิศทาง รวมไปถึงคุณสมบัติของการอ่านข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดี จากการศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนพบว่าบทความวารสารวิชาการที่ผ่านมามีการวิจัยสายอากาศของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี งานวิจัยที่เกี่ยวกับสายอากาศแบนคู่ที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ

เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินงานที่ผ่านมา ปัญหา และข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อนำไปให้ถึงยังวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ตามมาตรฐานต่างๆ ซึ่งการสืบค้นงานวิจัยเหล่านี้ ได้ทำการศึกษาและสืบค้นจากฐานข้อมูลที่มีมาตรฐาน การยอมรับอย่างกว้างขวาง เช่นฐานข้อมูลของ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ฐานข้อมูล IEICE (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) ฐานข้อมูล JEMWA (Journal of Electromagnetic Waves and Applications) นอกจากนี้ยังมีการสืบค้นและศึกษาจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เช่นหนังสือในห้องสมุดของมหาวิทยาลัย เครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดมนำความรู้เนื้อหาด้านวิชาการต่าง ๆ มาประกอบเพื่อเพิ่มพูนเนื้อหาเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้สายอากาศที่ออกแบบซึ่งเป็นการวิจัยพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับเทคโนโลยีไร้สาย ซึ่งสายอากาศเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายเนื่องจากเป็นต้นแพร่กระจายคลื่นของระบบสื่อสารไร้สายและรับส่งสัญญาณของระบบจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเช่นกัน ซึ่งหลักการหนึ่งที่จะกล่าวถึงคือโพลาไรซ์วงกลมนั่นเอง

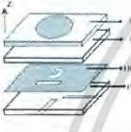

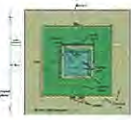
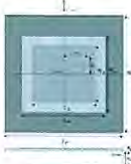
สำหรับหลักการในการเกิดโพลาไรซ์วงกลมนั้นจะมีองค์ประกอบของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าตั้งฉากกันทั้งสององค์ประกอบ มีขนาดเท่ากันและมีเฟสต่างกัน 90 องศา โดยสามารถปรับค่าของขนาดมุม ตัดขอบ เจาะร่อง หรือมีการบ่อนสัญญาณแบบหนึ่งจุดบ่อนหรือมากกว่า เพื่อให้เกิดโพลาไรซ์วงกลม [6] Balanis C. A. Antenna Theory-Analysis and Design สำหรับงานวิจัยสายอากาศโพลาไรซ์แบบวงกลมที่เป็นระบบย่านความถี่คู่นั้น ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศไมโครสตริป

โพลาริซแบบวงกลมความถี่คู่ โดยใช้เทคนิคในการเจาะช่องเป็นรูปตัว ยู วี และซี โดยใช้ร่วมกับเทคนิคการเจาะร่องสี่เหลี่ยม ที่ใช้สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีนอกจากนี้ยังมีงานวิจัย (S.K. Padhi, N.C.Karmakar et.al. 2003) ได้ออกแบบสายอากาศแบบสองความถี่ที่ 2.45/5.8 GHz โดยใช้เทคนิคทำเจาะร่องเป็นรูปตัวซีสำหรับการทำให้เกิดโพลาริซวงกลม[7] Cai C.-H., Row J.-S., Wong K.-L. ออกแบบสายอากาศความถี่คู่ 2075 และ 2735 MHz โดยมีโพลาริซแบบหมุนซ้ายและหมุนขวา โดยใช้เทคนิคการป้อนสัญญาณรูปแบบเป็นตัว L และใช้ไมโครสตริปโดยมีแพตช์แบบวงกลม สายอากาศมี 4 ชั้น[8] Dongmin Shin, Piljun Park 2007 ได้ทำสายอากาศโพลาริซแบบความถี่คู่โดยใช้เทคนิคการป้อนสัญญาณแบบสองจุด [9] Boo Y.S., Nasimuddin, Chen Z.N., Alphones A. ทำสายอากาศแบบโพลาริซวงกลมความถี่กว้าง 840-940 MHz ที่มีหนึ่งจุดป้อนสัญญาณสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี [10] (Ahmed Toaha Mobashsher, Norbahiah Misran 2009) ได้ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโพลาริซแบบวงกลมสองความถี่ โดยป้อนสัญญาณแบบเดี่ยวและใช้เทคนิคในการเจาะร่องเป็นรูปตัวยูและรูปตัวแอล ที่ความถี่ 2.45/5.8 GHz [11] Nasimuddin., Chen Z.N., Qing X. ออกแบบสายอากาศความถี่คู่ที่มีโพลาริซแบบวงกลมโดยเจาะร่องรูปตัวเอส โดยป้อนแบบสายป้อนไมโครสตริป [12] (J. J. Tiang และ M. T. Islam 2011) ศึกษาสายอากาศโพลาริซแบบวงกลมความถี่คู่และมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลมสำหรับใช้ในระบบอาร์เอฟไอดี ที่ความถี่ 870 MHz and 2450 MHz [13] (Can-Hui Chen, E. K. N. Yung 2011). มีผลงานสายอากาศโดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวและโพลาริซแบบวงกลมความถี่คู่ที่ความถี่ 1.5 และ 2.3 GHz โดยใช้เทคนิคในการเพิ่มแขนรูปตัวแอลสำหรับความถี่คู่ และ เพิ่มกราวด์แบบรูปตัวแอลเพื่อเพิ่มขนาดแบนด์วิดท์ [14] (Junfeng Xu, Zhi Ning Chen and Xianming Qing 2012) ออกแบบสายอากาศโพลาริซแบบวงกลมแต่เป็นความถี่เดียวในย่าน 800-960 โดยใช้เทคนิคการเจาะร่อง และป้อนสัญญาณแบบรูปตัวแอล[15] (Norhanani ZAKARIA, Sharul Kamal Abdul RAHIM et.al.2012) ศึกษาสายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่คู่มีโพลาริซวงกลมที่ความถี่มาตรฐาน ไอเอสเอ็ม 2.45 และ 5.8 GHz โดยทั้งสองความถี่เป็นย่านยูเอชเอฟ[16] Huang T.-J., Hsu H.-T. ออกแบบสายอากาศแบบกะทัดรัดความถี่คู่สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีโดยเป็นสายอากาศไมโครสตริปสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีความถี่คู่ที่ความถี่ 900-930 MHz และ 2.35-2.5 GHz มีโพลาริซวงกลมโดยการแยกจุดป้อนสัญญาณสำหรับตัวรับและตัวส่ง ความถี่กลางทำงานที่ 910 MHz และ 2.45 GHz การป้อนสัญญาณแบบ 2 เพื่อทำให้เกิดคุณสมบัติโพลาริซวงกลมโดยใช้การป้อนสัญญาณแบบเน็ทเวิร์ค มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์เท่ากับ 44 MHz อัตราขยาย 8.2 dBic สำหรับความถี่ 910 and และอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ เท่ากับ 400 MHz อัตราขยายเท่ากับ 8.5 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz [17] Deng C., Li y., Feng Z., Li W., Zhang D. ทำสายอากาศความถี่คู่โพลาริซวงกลมที่ความถี่ต่ำ [18] Y.-Q. Zhang, X. Li, L. Yang, และ S.-X. Gong 2013 ศึกษาสายอากาศแบบไมโครสตริปความถี่คู่มีโพลาริซแบบวงกลมสำหรับระบบนำร่องเครื่องบิน (GNSS) ที่ความถี่ 1.2 และ 1.5 GHz [19] (Qiang Liu, Junyu Shen et.al.2014) ศึกษาและนำเสนอสายอากาศโพลาริซแบบสองความถี่คู่โดยใช้เทคนิคการป้อนสัญญาณแบบเดี่ยวและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี แต่สายอากาศที่ออกแบบมี 3 ชั้นโดยมีแพตช์สำหรับกระจายคลื่น 2 ชั้นที่ความถี่ 0.92/2.45 GHz RFID [20] Caso R., Michel A., Rodriguez-P. M., Nepa P. ออกแบบสายอากาศแบบไม่ซับซ้อนโดยมีโพลาริซแบบวงกลมความถี่คู่สองจุดป้อนสัญญาณโดยมีย่านความถี่ที่ 915 MHz และ 2440 MHz. [21] Chang T.-N., Ni G.-Y. สายอากาศความถี่คู่โพลาริซแบบวงกลม

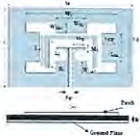


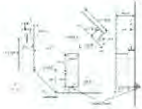

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้โครงสร้างแบบ QUAD-EMC [22] Chang T.-N., Lin J. M. สายอากาศแบบช่องเรียงโพลาริซ์ ความถี่คู่ ความถี่ 915 MHz และ 2.45 GHz โดยการเจาะช่องเป็นรูปร่างคล้ายเพชร [23] Hsu H.-T., T.-J. Huang.สายอากาศโพลาริซ์แบบวงกลมความถี่คู่สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีความถี่ยูเอชเอฟและ ไมโครเวฟโดยมีหนึ่งจุดสัญญาณร่วมกับการเจาะรูสี่เหลี่ยม.[24] Liu Q., J. Shen., J. Yin., H. Liu., Y. Liu ออกแบบสายอากาศความถี่คู่ 0.92/2.45-GHz ความถี่คู่โดยมีโพลาริซ์แบบวงกลมใช้ แผ่นไมโครสตริบสองชั้นโดยทำงานที่ความถี่ ทั้งสองร่วมกับเทคนิคการป้อนสัญญาณแบบสองจุดป้อน สัญญาณ [25]

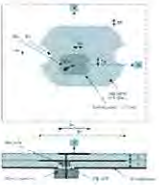
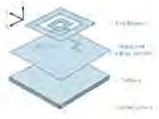

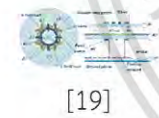


ตารางที่ 2.5 งานวิจัยออกแบบสายอากาศที่มีมาก่อนและคุณสมบัติของสายอากาศในแต่ละย่าน ความถี่[7]-[25]+

สายอากาศ [เอกสารอ้างอิง]	ย่าน ความ ถี่	เทคนิคสำหรับ โพลาริซ์	ข้อบทความและคุณสมบัติของสายอากาศ
 [7]	2.45 GHz, 5.8 GHz	C shape slot	A dual Polarized Aperture Coupled Circular Patch Antenna Using a C-Shaped Coupling Slot 1Circle radiation patch, 1 c-shaped slot ,1 linear slot and 2 slots
 [8]	2075 MHz และ 2735 MHz	The coupling slot for the ring-slot-coupled CP microstrip antenna	Dual-frequency microstrip antenna with dual circular polarization การป้อนสัญญาณเป็นรูปตัวแอล (L-Shaped microstrip line feed)
 [9]	920 Mhz และ 2.45 GHz	Microstrip feeding network, Wilkinson power divider technique.	A Novel Dual-Band Circularly Polarized Antenna Using a Feeding Configuration for RFID Reader Two square patches, Impedance bandwidth 110 MHz, gain 6.3 dBc at 920 and 100 MHz, and gain 7.2 dBc at 2.45.
 [10]	840- 940 MHz.	Feeding structure, Offset feed position 45degree for	Broadband Circularly Polarized Microstrip Antenna for RFID Reader Applications 2 layer with FR4 substrate, single band.

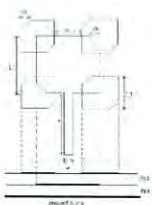
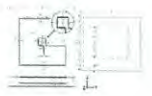

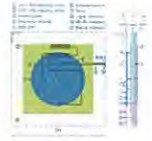
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10]		CP.	
 [11]	2.45 GHz and 5.8 GHz		Design Analysis of Compact Dual-Band Microstrip RFID Reader Antenna microstrip feed Single layer slotted antenna, 2 bands by L shaped for upper resonance frequency and U slot parameters for return loss, Not circular polarization
 [12]	1.227 GHz and 1.575 GHz		Dual-Band Circularly Polarized S-Shaped Slotted Patch Antenna With a Small Frequency-Ratio GPS applications, S-shaped slot for dual-band operation. Single microstrip feed-line, $-10 S_{11} $ BW 16% lower-band and 12.5% upper band, AR BW 6.9% lower-band and 1.6% upper-band, gain 5.0
 [13]	870 MHz and 2.45 MHz	Omidirectional Pattern	Circular Microstrip Slot Antenna for Dual Frequency RFID Application Compact wideband dual-frequency microstrip antenna -The impedance bandwidth of 26.2% and 22.2% -Microstrip-fed line and a strip close to the radiating edges in the circular slot patch technique Wideband of UHF(870 MHz)- and Microwave Freq(2.45 MHz) No circular polarization.
 [14]	1.51 GHz and 2.37 GHz	Truncated corner for lower band CP and L-shaped stubs for upper band Cp	A Novel Unidirectional Dual-Band Circularly-Polarized Patch Antenna. CP band width 3%, F/B ratio 20.1 dB, gain 9 dBic at 1.5 GHz and CP band width 4%, F/B ratio 21.8 dB, gain 8.2 dBic at 2.37 GHz.
	840-960 MHz.	L-shaped feeding probe	A Broadband Circularly Polarized Antenna L probe feed, 3 Layer= Ground, L-probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15]			feed and Patch
	2.45 GHz and 5.8 GHz	Stacked technique and truncated edge method.	Design of Stacked Microstrip Dual-Band Circular Polarized Antenna. 2.45, Return loss BW% 5.27% gain 2.84 dB and 5.27 Return loss BW% 9.36% gain 4.32 dB.
	910 MHz and 2.45 GHz	2 coupling apertures for CP (Feeding Network)	Compact Dual-Band Circularly Polarized Microstrip Antenna with Separated Transmitting and Receiving Ports for RFID Reader Applications Line feed port, Impedance BW 44 MHz, Gain 8.2 dBic for lower band and 400 MHz, gain 8.5 dBic for upper band.
	2.18 GHz and 2.5 GHz	Aperture-coupled elements by rotated squared patch and circular patch	A Dual-band Circularly-polarized Stacked Patch Antenna with a Small Frequency-Ratio 2 layer with air gap. Impedance band width 15.4%, AR bandwidth 2.75% at 2.18 GHz and Impedance band width 14.2%, AR bandwidth 2.6% at 2.5 GHz.
	1.2 GHz and 1.59 GHz	4 apertures	Dual-Band Circularly Polarized Annular-Ring Microstrip Antenna for GNSS Applications AR 2.1 dB, gain 5.2 at 1.2GHz and AR 2.1 dB, gain 8.2 at 1.59 GHz.
	920 MHz and 2.45 GHz	Dual feed network	Dual-Band Circularly-Polarized Unidirectional Patch Antenna for RFID Reader Applications Impedance Bandwidths 15.4%, AR bandwidths 4.3%, gain 7.2 dBic at 920 MHz and Impedance Bandwidths 41.9%, AR bandwidths 21.5%, gain 8.2 dBic at 2.45 GHz
	920 MHz and	Microstrip feeding network	Dual-Band UHF-RFID/WLAN Circularly Polarized Antenna for Portable RFID Readers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2.45 GHz		2 FR4 Substrates, 2 layer with air gap. AR BW 3.1% at 920 MHz and 0.9% at 2.45 GHz
 [22]	900 MHz and 2.45 GHz	CP used edge-chamfering at the two resonator patch corners	Dual-band Circularly Polarized Antenna with a QUAD-EMC. AR Bandwidth 110 MHz at 900 MHz.
 [23]	915 MHz and 2440 MHz	Dual fed CP	Serial Aperture-coupled Dual Band Circularly Polarized Antenna. Return loss Bandwidth % = 4.5%, Impedance bandwidth 500 MHz.
 [24]	920 MHz and 2.45 GHz	Two port feeding with cross slot on patch for useful the current flows in perpendicular directions.	Aperture-coupled Dual-band Circularly Polarized Antenna for RFID Reader Applications gain 6.6 dBic at 920 MHz and gain 7.9 dBic at 2.45 GHz
 [25]	920 MHz and 2.45 GHz	Coupling apertures	Compact 0.92/2.45-GHz Dual-Band Directional Circularly Polarized Microstrip Antenna for Handheld RFID Reader Applications Impedance Bandwidths 44 MHz, gain 6 dBi at 920 MHz and Impedance Bandwidths 400 MHz, gain 7 dBic at 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้สังเกตได้ว่าเทคนิคที่ใช้สำหรับทำให้เกิดโพลาริซ์แบบวงกลมโดยมากจะใช้เทคนิคหลักคือการเจาะร่อง หรือการบ่อนสัญญาณแบบคู่ นอกจากนี้สายอากาศความถี่คูที่ได้ศึกษาผ่านมานั้นโดยมากจะอยู่ในย่านความถี่เดียวกันเช่น ย่าน ยูเอชเอฟ ทั้งสองความถี่ โดยมีการแยกแพตช์สำหรับสายอากาศเพื่อนทำให้เกิดสองความถี่ นอกจากนี้เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีมาก่อนตามตารางด้านบนจะเห็นได้ว่า สายอากาศที่ได้ศึกษามานั้นค่อนข้างจะมีความยุ่งยากและใช้เทคนิคมากมายเพื่อให้ได้สายอากาศความถี่คูโพลาริซ์แบบวงกลม ดังนั้นสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การออกแบบและพัฒนาสายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี โดยมีย่านความถี่คูในย่าน ยูเอชเอฟ 922.5 MHz และไมโครเวฟ 2.45 GHz จึงเป็นเรื่องท้าทายเนื่องจากสำหรับทั้งสองย่านเป็นความถี่ที่ค่อนข้างจะห่างกันมาก นอกจากนี้แล้วในการออกแบบ ยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของระบบตัวอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีที่ดี นั้นควรจะเป็นโพลาริซ์แบบวงกลมและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวเพื่อคำนึงถึงความสามารถ อัตราขยายในการรับส่งคลื่นที่ดี นอกจากนี้ระบบอาร์เอฟไอดีเป็นระบบที่ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางดังนั้นเมื่อคำนึงถึงต้นทุนการออกแบบสายอากาศที่เรียบง่าย ประหยัด จึงเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ไม่สามารถละเลยได้

2.6 สรุป

จากงานวิจัยที่มีมาก่อนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้ การติดต่อสื่อสาร โทรคมนาคมนับว่ามีบทบาท และมีความสำคัญต่อ ชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์เป็นอย่างมาก การสื่อสาร โทรคมนาคม แบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ การสื่อสารแบบใช้สาย และการสื่อสารแบบไร้สาย ในปัจจุบันนิยมใช้การสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้มีความ สะดวกในการติดต่อสื่อสารกันมากยิ่งขึ้น โลกของเรา ในปัจจุบัน และอนาคตกำลังเข้าสู่ยุคของการสื่อสาร แบบไร้สายอย่างเต็มรูปแบบ เพราะการวางระบบแบบ ใช้สายมีความไม่สะดวก ยุ่งยากซับซ้อน และมีค่าใช้จ่าย ในการวางระบบค่อนข้างสูง ในขณะที่ระบบการสื่อสาร แบบไร้สายสามารถอำนวยความสะดวก และตอบสนอง ความต้องการของมนุษย์ได้ ตัวอย่างอุปกรณ์ที่นิยมใช้ใน การติดต่อสื่อสารแบบไร้สายคือ สายอากาศ จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ ออกแบบ และสร้างสายอากาศชนิดต่าง ๆ หลายชนิด เช่น สายอากาศขั้วคู่ สายอากาศขั้วเดี่ยวและสายอากาศไมโครสตริปออกมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับ การใช้งานกับระบบสื่อสารแบบไร้สายในหลายรูปแบบ และหลายความถี่ ในปัจจุบันระบบสายอากาศสมัย ใหม่ที่มีขนาดกะทัดรัด เหมาะแก่การนำไปใช้งานในยุคนี้ มีความเจริญก้าวหน้าและพัฒนามา ไปสู่การใช้งานในอุปกรณ์ไร้สาย เช่น โทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์สมาร์ต คอมพิวเตอร์พกพา คอมพิวเตอร์พกพาขนาดเล็กและอุปกรณ์ รับและส่งสัญญาณในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายซึ่งสามารถรองรับได้สองแถบความถี่ตามมาตรฐาน IEEE ได้แก่ ความถี่ 2.4 GHz (2.4- 2.484 GHz) และ ความถี่ 5.2 GHz (5.15- 5.35 GHz) (9) KKU Res. J. 2012; 17(1) 155 มากขึ้น และต้องทำการปรับแต่งความยาว และความกว้างให้เหมาะสม ทำให้เกิดความลำบากในการออกแบบ จากบทความวิจัยเหล่านี้ ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ในการออกแบบ และสร้างสายอากาศขนาดกะทัดรัด ที่ สามารถทำงานได้ถึงสองแถบความถี่ โดยอาศัยหลักการ พื้นฐานของการออกแบบสายอากาศแบบขั้วเดี่ยวร่วมกับ โครงสร้างเดี่ยว โดยทั่วไปโครงสร้างเดี่ยว จะมีคุณสมบัติในการให้กำเนิดการกำธรในวงจรรอง ความถี่แถบหยุดผ่านเมื่ออยู่ร่วมกับสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปเมื่อนำมาใช้งานบนสายอากาศก็ทำให้เกิดการกำธรที่ความถี่ที่ออกแบบไว้ได้ บทความวิจัยนี้ นำ เสนอการศึกษาและพัฒนา สายอากาศจุดบ่อนสัญญาณเดี่ยวที่สามารถใช้งานได้สองแถบความถี่และมีโพลาไรเซชันแบบวงกลมสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี ตาม

มาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สายของ IEEE ได้แก่ ความถี่ 922.5 MHz (920-925 MHz) และความถี่ 2.4 GHz (2.4-2.484 GHz) โดยโครงสร้างสายอากาศแบบจุดบิอนสัญญาณเดี่ยว ออกแบบให้ทำงานที่แถบความถี่ 922.5 MHz และการเขาะร่องเป็นรูปการเจาะสลีตเป็นรูปร่างโค้งงอและนูนตามลำดับ ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์มีผลทำให้ สายอากาศนี้ทำงานที่แถบความถี่ 2.45 GHz อีกด้วย ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนของสัญญาณระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวนถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์นอกจากนั้นผล การวัดค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแถบความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ถูกนำมาแสดงในบทความวิจัยนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

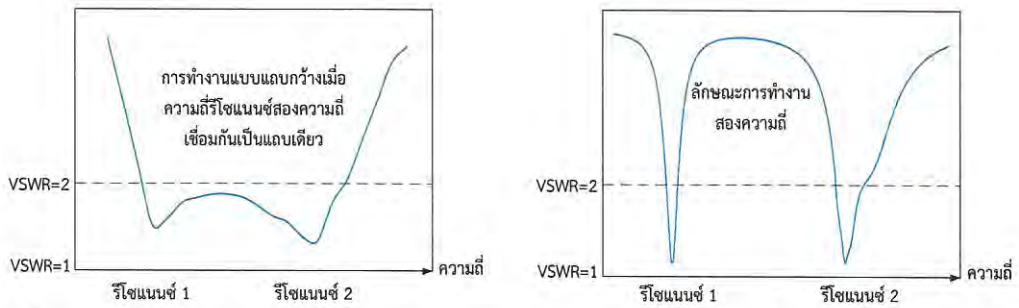
ทฤษฎีสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คูโพลาร์ไรซ์แบบวงกลม

3.1 เกริ่นนำ

ในบทก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงสายอากาศไมโครสตริปและระบบอาร์เอฟไอดี และงานวิจัยที่มีมาก่อนเกี่ยวกับระบบอาร์เอฟไอดี ในบทนี้จะกล่าวองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นฐานของสายอากาศ ความถี่ และเทคนิคต่างๆ โดยจะกล่าวเฉพาะเจาะจงถึงสายอากาศแบบไมโครสตริป ความถี่ย่านยูเอชเอฟ และไมโครเวฟที่มีโพลาร์ไรซ์แบบวงกลมสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี รวมถึงหลักการของสายอากาศไมโครสตริปเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบอาร์เอฟไอดีด้วย ปัจจุบันนี้สายอากาศอาร์เอฟไอดีมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดหลากหลายความถี่ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของแต่ละประเทศและแต่ละทวีปว่าเลือกใช้ตามมาตรฐานของอะไร ชนิดของสายอากาศและรูปแบบที่นิยมนำมาสำหรับสายอากาศของระบบอาร์เอฟไอดีคือสายอากาศไมโครสตริปซึ่งสายอากาศไมโครสตริปเป็นชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นบางประการ คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการทำวิจัยและพัฒนาารูปแบบของสายอากาศไมโครสตริปมาอย่างต่อเนื่อง

3.2 การออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่คูแบบหนึ่งจุดป้อน สัญญาณ

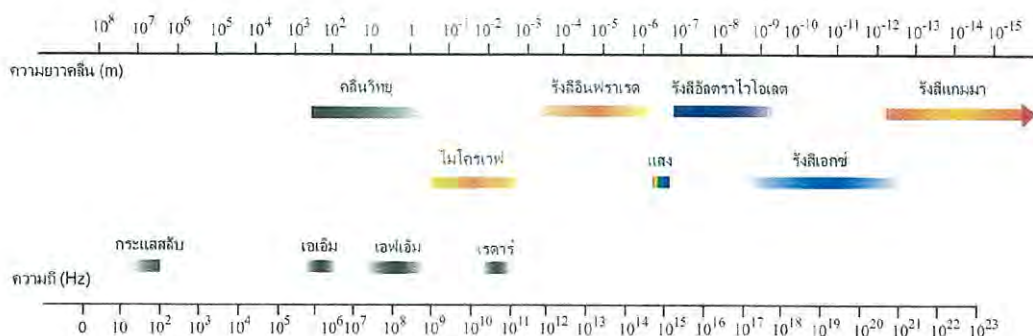
สายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่ที่ตัวสายอากาศเพียงตัวเดียวสายอากาศทำงานลักษณะนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ระบบอาร์เอฟไอดี ระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ เป็นต้น ที่ต้องการการรับส่งแบบสองความถี่หรือมากกว่าสองความถี่และเมื่อนำสายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่ที่ตัวสายอากาศตัวเดียวเปรียบเทียบกับสายอากาศที่ทำงานความถี่เดียวแต่มีความกว้างแถบครอคลุมตลอดทั้งสองแถบความถี่สายอากาศที่ทำงานได้สองความถี่ที่ตัวสายอากาศตัวเดียวมีข้อดีเพราะสามารถกำหนดเฉพาะความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการนำไปใช้ในงาน ทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้สายอากาศที่ทำงานในลักษณะความถี่เดียว การออกแบบให้สายอากาศสองความถี่มีประโยชน์เช่นเดียวกันกับการออกแบบเริ่มต้นสำหรับการทำงานที่ความถี่เดียว แต่มีแถบความถี่ที่กว้างเพราะจะเป็นการเตรียมสองความถี่ไว้ให้มีการเชื่อมต่อกัน ทำให้ได้สายอากาศแถบกว้างแสดงดังรูปที่ 3.1 เมื่อพิจารณาเลือกสายอากาศไมโครสตริปมาออกแบบ ให้มีการทำงานในลักษณะสองความถี่โดยตรง ลักษณะการทำงานสองความถี่คุณลักษณะทางอัตราส่วนคลื่นนิ่งของการเกิดความถี่กว้างแถบสองความถี่ และการทำงานแบบแถบกว้าง เมื่อการทำงานแบบแถบกว้างความถี่เรโซแนนซ์สองความถี่เชื่อมต่อกันเป็นแถบเดียว



รูปที่ 3.1 สายอากาศไมโครสตริปที่มีการทำงานแบบแถบกว้างเมื่อความถี่รีโซแนนซ์สองความถี่เชื่อมต่อกัน และการทำงานในลักษณะสองความถี่โดยตรง

เทคนิคเบื้องต้นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป เพื่อทำให้เกิดการทำงานในลักษณะสองความถี่มีหลายเทคนิคแต่ที่นำใช้กันมากคือ การกำหนดให้มีทำงานในโหมดตั้งฉากบนโครงสร้างของสายอากาศระนาบรูปร่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนโครงสร้างสายอากาศระนาบรูปวงกลม เทคนิคที่สองคือใช้เทคนิคการวางสายอากาศหลายชั้นสามารถใช้สายอากาศรูปร่างวงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสามเหลี่ยม วงแหวน รูปแบบการวางเป็นชั้น ๆ ได้มีการนำไปใช้กับสายอากาศเพื่อต้องการเพิ่มความกว้างแถบให้กว้างขึ้น ที่การทำงานความถี่เดียวโดยมีการป้อนที่แพตช์หลักตำแหน่งเดียวเท่านั้นและให้มีการเชื่อมต่อไปยังแพตช์ที่อยู่ด้านบน จากนั้นมีการทดลองนำวัสดุฐานรองชนิดเดียวกันมาวางซ้อนกันหลายชั้น และเทคนิคสุดท้ายที่นิยมนำมาใช้คือการใช้โพลิต ซึ่งมีหลายรูปแบบเช่น การเพิ่มตัวปรับสายท่อนสั้น การบาก การลัดวงจร ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และการใช้โพลิตแบบร่อง

สายอากาศ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่ทั้งในย่านความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟในการสื่อสารแบบที่ใช้การกระจายคลื่นนั้น โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆคือ เครื่องส่งสายนำสัญญาณ สายอากาศ และเครื่องรับ โดยสายนำสัญญาณ จะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่ง ไปยังสายอากาศ หรือจากสายอากาศมายังเครื่องรับ สายอากาศนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่เดียวกันก็จะทำหน้าที่รับกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วส่งเข้าสายนำสัญญาณในรูปของกำลังไฟฟ้า เพื่อส่งผ่านไปยังเครื่องรับต่อไป คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าตลอดเวลาเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก พอเกิดสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเกิดต่อเนื่องกันตลอดเวลาและสนามแม่เหล็กกับสนาม ไฟฟ้าตั้งฉากกันตลอดเวลาหาทิศของความเร็วโดยใช้กฎมือขวา และเกิดคลื่นแม่เหล็กในทุกที่ไม่ว่าจะเป็นที่ว่าง ตัวนำหรือฉนวน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดจะมีความเร็วเท่ากัน คือเท่ากับ 3×10^8 m/s แต่ความถี่ไม่เท่ากัน การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ แถบแสดงความถี่หรือความยาวคลื่นต่าง ๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียงตามลำดับความถี่ เรียงจากความถี่น้อยที่สุดถึงความถี่มากที่สุด



รูป 3.2 ชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [29]

สายอากาศเมื่อคำนึงถึงทิศทางการแพร่กระจายคลื่นสามารถแบ่งได้เป็น สายอากาศแบบทิศทางเป็นสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสายอากาศแบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ ชนิดสายอากาศแบบนี้ที่นิยมใช้กันได้แก่ สายอากาศแบบเซ็กเตอร์ สายอากาศแบบยาคี สายอากาศแบบกริด สายอากาศแบบจาน อัตราขยายของเสาอากาศแบบนี้อยู่ในเกณฑ์สูง สายอากาศแบบชนิดไอโซทรอปิก คือสายอากาศไดโพล ที่มีอิมพีแดนซ์เพียงด้านเดียว แต่การใช้งานจริงโลหะหรือสายไฟรอบๆตัว จะถูกเหนี่ยวนำให้เป็นสายอากาศ ที่ขาดหายไปของไดโพล (ที่ความถี่ ต่ำกว่า 100 MHz ลงไป พื้นดินจะทำหน้าที่แทนสายอากาศอีกส่วนหนึ่ง) เป็นสายอากาศที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบอื่น และสายอากาศแบบรอบตัว สายอากาศประเภทนี้มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน

สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีความถี่สูงสายอากาศถือว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจาก เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งการรับส่งสัญญาณของระบบสื่อสารไร้สาย จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสายอากาศด้วยส่วนหนึ่ง โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้ การอธิบายและเข้าใจพฤติกรรมของ สายอากาศจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศเสียก่อน พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่าของการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ แบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งทุกๆ ปัจจัยที่กล่าวมาคือสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศ ที่ออกแบบหรือการเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมกับงาน

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ตามพิกัดตำแหน่ง การพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมี 3 ระยะ คือบริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟ สนามการแผ่กระจายคลื่นระยะใกล้ และบริเวณการแผ่กระจายคลื่นสนามระยะไกล โดยแต่ละบริเวณจะพิจารณาจากระยะห่างจากสายอากาศออกไปรอบๆ เป็นรัศมีเท่าใด ซึ่งพิจารณาได้ดังตารางที่ 3.1

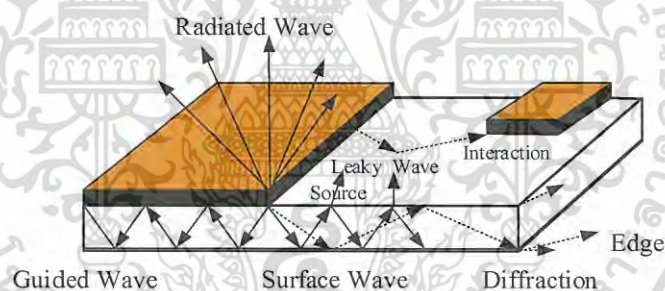
ตารางที่ 3.1 การแผ่กระจายคลื่นในระยะต่างๆ [30]

Antenna size (D)	$D \ll \lambda$	$D \approx \lambda$	$D \gg \lambda$
Reactive near field	$r < \lambda/2\pi$	$r < \lambda/2\pi$	$r < \lambda/2\pi$
Radiating near field	$\lambda/2\pi < r < 3\lambda$	$\lambda/2\pi < r < 3\lambda$ and $2D^2/\lambda$	$\lambda/2\pi < r < 2D^2/\lambda$
Far field	$r > 3\lambda$	$r > 3\lambda$ and $2D^2/\lambda$	$r > 2D^2/\lambda$

D เป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ λ เป็นความยาวคลื่นที่พิจารณา และ R เป็น รัศมีหรือระยะห่างจากสายอากาศ

คลื่นที่แผ่กระจายในไมโครสตริปมีรูปแบบทิศทางในการกระจายคลื่นดังนี้

คลื่นถูกนำทาง สำหรับทิศทางแผ่กระจายคลื่นของคลื่นถูกนำทางนั้นจะมีลักษณะมุมของการแผ่กระจายทำมุมอยู่ระหว่างช่วง 6 ถึง 9 นาฬิกา (ทิศตามเข็มนาฬิกา) โดยลักษณะการแผ่กระจายคลื่นนั้นจะแผ่กระจายอยู่เฉพาะในวัสดุฐานรอง และคลื่นจะสะท้อนไปมาระหว่างตัวนำสองตัว คลื่นถูกนำทางนี้จะนำไปใช้อย่างมากกับสายส่งสัญญาณสำหรับคลื่นแบบนี้มีส่วนในการสะสมพลังงานของค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่ต้องการในสายอากาศแบบแผ่น เมื่อเลือกใช้วัสดุฐานรองที่บางและมีสภาพการยอมทางไฟฟ้าสูงจะทำให้คลื่นแบบนี้มีอิทธิพลสูง



รูปที่ 3.3 ลักษณะของคลื่นที่แผ่กระจายในไมโครสตริป [28]

คลื่นแผ่พลังงาน คลื่นแบบนี้จะมีทิศทางแผ่กระจายคลื่นเป็นมุมที่อยู่ระหว่างช่วง 9 ถึง 3 นาฬิกา โดยจะมีทิศทางที่แผ่ขึ้นไปบนอากาศที่ไม่มีการปิดกั้นของขอบเขตใดๆ ลักษณะของคลื่นแบบนี้จะใช้มากในงานเกี่ยวกับสายอากาศ คลื่นแบบนี้จะมีอิทธิพลสูงเมื่อใช้วัสดุฐานรองที่หนา (เปรียบเทียบกับความยาวคลื่น) และค่าสภาพการยอมทางไฟฟ้าต่ำ

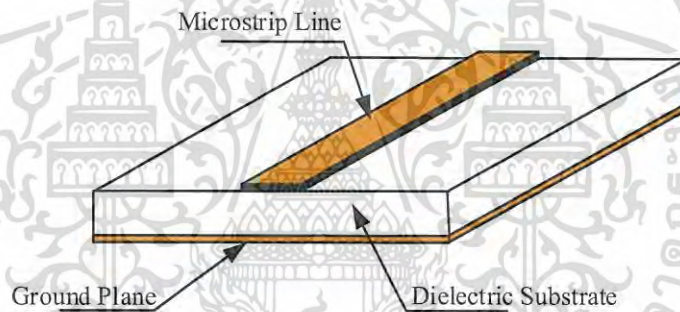
คลื่นรั่ว ลักษณะของการแผ่กระจายคลื่นจะอยู่ในช่วง 3 ถึง 6 นาฬิกา โดยคลื่นรั่วนั้นจะแผ่กระจายมาจากคลื่นที่สะท้อนมาจากกรนาบกราวด์ และไปยังจุดเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับไดอิเล็กตริก เมื่อคลื่นที่สะท้อนมาถึงตำแหน่งนี้จะทำให้เกิดคลื่นที่ถูกส่งไปในอากาศนั้น คือ คลื่นรั่วออกจากคลื่นที่สะท้อนกลับลงไปวัสดุฐานรอง ลักษณะของคลื่นรั่วที่เกิดขึ้นนี้จะนำไปช่วยในการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งจะอยู่ในเงื่อนไขของความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในแต่ละ

สายอากาศ เช่น ทำให้มีสภาพเจาะจงทิศทางที่สูง

คลื่นผิว มุมในการแพร่กระจายที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าของคลื่นร้าว จึงทำให้เกิดคลื่นที่สะท้อนกลับมายังวัสดุฐานรองจึงเรียกคลื่นแบบนี้ว่าคลื่นผิว เมื่อคลื่นผิวถูกส่งมาที่ขอบของโครงสร้างดังรูป จะทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมาจากโครงสร้างคลื่นที่แพร่กระจายออกมานี้ทำให้เกิดผลเสียต่อแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ คือ ทำให้พลังงานในการส่งหรือรับน้อยลง ลักษณะของคลื่นแบบนี้จะมีความสำคัญ เมื่อใช้วัสดุฐานรองที่หนาและสภาพการยอมทางไฟฟ้ามีค่าสูง

ความต้องการคลื่นในสายส่งสัญญาณและสายอากาศ ในการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายส่งสัญญาณนั้น คลื่นถูกนำทางจะถูกกระตุ้นมากที่สุด ขณะที่จะต้องหลีกเลี่ยงคลื่นแผ่พลังงาน คลื่นร้าว และคลื่นผิว ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นสายอากาศนั้นต้องการให้เกิดคลื่นแผ่พลังงานมากที่สุด และจะต้องป้องกันการเกิดคลื่นนำทางในแผ่นตัวนำ และคลื่นผิว

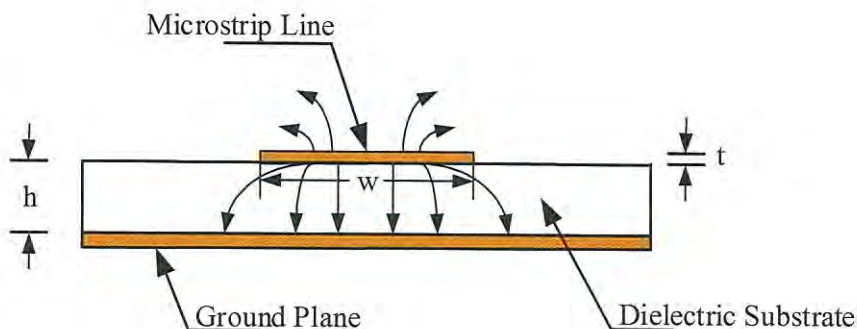
สายนำสัญญาณบนโครงสร้างไมโครสตริป สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 ประกอบด้วยไมโครสตริปไลน์ ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณที่มีความกว้างเป็น (w) และมีความหนาเป็น (t) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูปร่างแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกรอกแบบโดยสตริปจะอยู่บนชั้นของฉนวนที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) และมีความหนาเป็น (h) สำหรับแผ่นโลหะที่อยู่ด้านล่างจะทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์ของวงจร



รูปที่ 3.4 ลักษณะโครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป [28]

ซึ่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผ่านฉนวนบริเวณที่อยู่ระหว่างสตริปกับระนาบกราวด์โดยลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบนสายนำสัญญาณไมโครสตริป

สนามของสายนำสัญญาณไมโครสตริปมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ($\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$) ที่สัมพันธ์กันระหว่างค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของฉนวน (ϵ_r) กับค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของอากาศ (ϵ_0)



รูปที่ 3.5 เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป [28]

เนื่องจากเส้นทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในไมโครสตริปไม่ได้อยู่เฉพาะภายในชั้นสเตรตติ้งแสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นรูปแบบการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในไมโครสตริปจึงไม่ใช่รูปแบบแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขวางแท้ (TEM Mode) แต่เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคล้ายแบบ Quasi-TEM Mode ในสายไมโครสตริปเป็นแบบแผนคลื่น จะมีค่าความเร็วเฟสเป็น

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.1)$$

เมื่อ c เป็นความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s และ ϵ_{eff} เป็นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลของไมโครสตริปและค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ผลของไมโครสตริปมีความสัมพันธ์กับค่าคงตัวไดอิเล็กตริกชั้นสเตรตติ้งและก่อให้เกิดผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอก

เมื่อ $Z_0 = \sqrt{L/C}$ และ $v_p = 1/\sqrt{LC}$ ดังนั้นอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปสามารถเขียนในรูปแบบ

$$Z_o = \frac{1}{v_p C} \quad (3.2)$$

เมื่อ C เป็นค่าความจุต่อหน่วยความยาวของไมโครสตริป และความยาวคลื่นในสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปกำหนดได้โดย

$$\lambda = \frac{v_p}{f} = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.3)$$

เมื่อ λ_0 เป็นความยาวคลื่นในอากาศว่าง

จากสมการ (3.1) (3.2) และ (3.3) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า v_p Z_o และ λ ของสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป ถ้าต้องการคำนวณหาค่า ϵ_{eff} และ c จะมีวิธีการที่ต่างกัน สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า ϵ_{eff} และ c มีส่วนสำคัญในการออกแบบขนาดของสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป ในการคำนวณหาค่า ϵ_{eff} และ c เป็นแบบ (Quasi TEM) จะถูกต้องสำหรับการออกแบบความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่ย่านไมโครเวฟอย่างไรก็ตามที่ความถี่สูงกว่าความถี่ย่านไมโครเวฟ ส่วนของคลื่นตามยาวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญและคลื่น TEM จะสั้น

3.2.1 การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

กรณีสมมติให้ความหนาของแถบตัวนำเป็นศูนย์ ($t/h < 0.005$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(8 \frac{h}{w} + 0.25 \frac{w}{h} \right) \quad (3.4)$$

สำหรับอัตราส่วน $\frac{w}{h} \leq 1$ จะได้ว่า

$$Z_o = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left[\frac{w}{h} + 1.444 \right] \right]^{-1} \quad (3.5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 - 12 \frac{h}{w} \right]^{-0.5} \quad (3.6)$$

อย่างไรก็ตามวิธีการที่มีความเที่ยงตรงในการหาค่าที่สูงกว่า ดังสมการที่ (3.7)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{u} \right]^{ab} \quad (3.7)$$

โดย u คือ ค่าอัตราส่วน $\frac{w}{h}$ และค่า a กับ b มีค่าเป็น

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{u^4 + (u/52)^2}{u^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln [1 + (u/18.13)] \quad (3.8)$$

$$b = 0.564 \left[\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right]^{0.053} \quad (3.9)$$

ในส่วนของค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะสามารถหาได้จาก

$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{F}{u} + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{u} \right)^2} \right] \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า F มีค่าเป็น

$$F = 6 + (2\pi - 6) \exp \left[- \left(\frac{30.666}{u} \right)^{0.7528} \right] \quad (3.11)$$

จากสมการที่ (3.12) นี้ถ้าหากค่า $\epsilon_r \leq 128$ และค่า u มีค่าระหว่าง 0.01 ถึง 100 โดยที่ $\epsilon_r \leq 128$ และ $0.01 \leq u \leq 100$ จะทำให้ผลของการคำนวณของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์มีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.2 %

สำหรับค่า $Z_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}$ จะมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.01 % ถ้าค่า $u \leq 1$ และ จะมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.03 % หากว่าค่า $u \leq 1000$

3.2.2 ค่าความยาวคลื่นบนสตริป ค่าคงที่การแพร่กระจาย และค่าความเร็วเฟส

เมื่อทราบค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์จะทำให้สามารถคำนวณหาค่าความยาวคลื่นบนสตริป (λ_g) และค่าคงที่การแพร่กระจาย ได้แก่ ค่าคงที่ของการแพร่ (γ) และค่าความเร็วเฟส (V_p) ดังนี้

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.12)$$

เมื่อ λ_0 เป็นค่าความยาวคลื่นในอากาศ และหากต้องการทราบค่าความยาวคลื่นบนสตริปในหน่วยของมิลลิเมตร สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\lambda_g = \frac{300}{f(\text{GHz}) \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.13)$$

สำหรับค่าคงที่ของการแพร่ และค่าความเร็วเฟส สามารถหาได้จาก

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g} \quad (3.14)$$

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การสังเคราะห์หาความกว้างต่อความหนา

ในการคำนวณหาความกว้างต่อความหนา $\frac{w}{h}$ ของสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริปเมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z_0 และค่าไดอิเล็กทริกประสิทธิภาพ ϵ_r สามารถแสดงได้ดังนี้สำหรับที่ $\frac{w}{h} \leq 1$ พิจารณาได้คือ

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (3.16)$$

และสำหรับที่ $\frac{w}{h} \geq 1$ พิจารณาได้คือ

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B-1) - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (3.17)$$

โดย

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{0.5} = \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (3.18)$$

และ

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.19)$$

3.2.4 ผลกระทบจากขนาดของสตริป

ความหนาของสตริป (t) โดยปกติจะมีค่าน้อยมากๆ จนอาจพิจารณาได้ว่าเป็นศูนย์แต่ในทางปฏิบัติค่าความหนาดังกล่าวไม่ใช่ศูนย์ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ซึ่งค่าความหนาดังกล่าวจะมีผลต่อทั้งค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ โดยจะเริ่มพิจารณาจากสมการที่ (2.15) และ (2.16) ได้ว่า

สำหรับที่ $\frac{w}{h} \leq 1$ พิจารณาได้เป็น

$$Z_0(t) = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left\{ \frac{8}{w(t)/h} + 0.25 \frac{w(t)}{h} \right\} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $Z_0(t)$ คือค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาของสตริปและสำหรับ
ที่ $\frac{w}{h} \leq 1$ พิจารณาได้เป็น

$$Z_0(t) = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left\{ \frac{w(t)}{h} + 1.393 + 0.6671 \ln \left(\frac{w(t)}{h} + 1.444 \right) \right\}^{-1} \quad (3.21)$$

โดยที่จะพิจารณาค่าอัตราส่วน $\frac{w}{h}$ ที่มีผลกระทบจากความหนาของสตริป จะได้ว่า

$$\frac{w(t)}{h} = \begin{cases} \frac{w}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left[1 + \ln \frac{4\pi w}{t} \right]; & \left(\frac{w}{h} \leq 0.5\pi \right) \\ \frac{w}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left[1 + \ln \frac{2ht}{t} \right]; & \left(\frac{w}{h} \geq 0.5\pi \right) \end{cases} \quad (3.22)$$

เมื่อ $w(t)$ คือความกว้างของสตริปที่เปลี่ยนแปลงไปตามความหนาของสตริปและสำหรับค่า
ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ที่ได้รับผลกระทบจากความหนาของสตริป จะพิจารณาได้ว่า

$$\epsilon_{eff}(t) = \epsilon_{eff} - \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} \frac{t/h}{\sqrt{w/h}} \quad (3.23)$$

โดยที่ค่า ϵ_{eff} เป็นค่าไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ที่พิจารณาให้ความหนาของสตริปเป็นศูนย์ และจาก
การพิจารณาสมการที่ (2.23) พบว่าผลกระทบของความหนาของสตริปต่อค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ
และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์จะมีผลน้อยมาก หากว่าอัตราส่วนความหนาของสตริปต่อความหนา
ของชั้นไดอิเล็กทริกน้อย (โดยปกติ $t \ll h$) อย่างไรก็ตามความหนาของสตริปจะมีผลอย่างยิ่งต่อการ
สูญเสียของคลื่นความถี่บนแผ่นตัวนำของสตริปบนไมโครสตริป

3.2.5 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่น

การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายออกของคลื่นจะมีค่าที่ไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของ
คลื่นที่เดินทางบนสตริป ซึ่งจะกำหนดให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ที่แปรผันตามความถี่เป็น $\epsilon_{eff}(f)$
ดังนั้นจึงได้ผลของการพิจารณาเป็น

$$\epsilon_{eff}(f) = \epsilon_r - \frac{\epsilon_r - \epsilon_{eff}}{1 + (f/f_{50})^m} \quad (3.24)$$

โดยที่ค่า f_{50} สามารถหาได้จาก

$$f_{50} = \frac{f_{TMO}}{1 + (0.75 - 0.322\varepsilon_r^{-1.73})(w/h)} \quad (3.25)$$

และค่า f_{TMO} หาได้โดย

$$f_{TMO} = \frac{c}{2\pi h \sqrt{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}}} \tan^{-1} \left[\varepsilon_{eff} \sqrt{\frac{\varepsilon_{eff} - 1}{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}}} \right] \quad (3.26)$$

ในขณะที่ c คือความเร็วของคลื่นที่เดินทางในอากาศ จะเห็นได้ว่าหากค่าความถี่ยิ่งสูงมากขึ้นเท่าใด ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ที่มีผลต่อความถี่ หรือ $\varepsilon_{re}(f)$ จะเข้าใกล้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของชั้นไดอิเล็กตริกบนโครงสร้างไมโครสตริปนั่นเอง อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากสมการที่กล่าวมา จะมีความผิดพลาดเพียง 0.6 % หากว่าค่าอัตราส่วน $\frac{w}{h}$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 10 และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ε_r มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 128 สำหรับผลกระทบที่มีต่อค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ สามารถประมาณได้จาก

$$Z_0(l) = Z_0 \frac{\varepsilon_{eff}(f) - 1}{\varepsilon_{eff} - 1} \sqrt{\frac{\varepsilon_{eff}}{\varepsilon_{eff}(f)}} \quad (3.27)$$

3.2.6 การลดทอนหรือการสูญเสียบนโครงสร้างไมโครสตริป

สามารถพิจารณาตามส่วนประกอบของโครงสร้างได้ 3 ส่วน คือ การสูญเสียของแผ่นตัวนำ การสูญเสียของชั้นไดอิเล็กตริก การสูญเสียจากการแพร่ จากที่ได้ทราบค่าคงที่ของการแพร่ (γ) มาแล้วในตอนต้น ค่าดังกล่าวเป็นเพียงส่วนหนึ่งที่เป็นค่าจินตภาพ หากจะพิจารณาค่าจริงที่เป็นค่าการลดทอนด้วย จะได้ว่า

$$\lambda = \alpha + j\beta \quad (3.28)$$

โดยสามารถหาค่าการลดทอนของคลื่นบนแผ่นตัวนำได้จาก

$$\alpha_c = \frac{8.686 R_s}{Z_c w} \text{ (dB / Unit length)} \quad (3.29)$$

เมื่อ Z_c คือ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริปที่มีความกว้างของสตริปเป็น w และมีค่าความต้านทานของผิวตัวนำ (R_s) ซึ่งมีหน่วยเป็น Ω / mm^2

$$R_s = \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\sigma}} \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ σ คือ ค่าความนำของแผ่นตัวนำ μ_0 คือค่าเพอร์มิลิตีในอากาศ และ ω เป็นค่าความถี่ที่ตอบสนอง และสำหรับค่าการลดทอนของคลื่นในชั้นไดอิเล็กตริก สามารถหาได้จาก

$$\alpha_c = 8.686\pi \left[\frac{\epsilon_{eff} - 1}{\epsilon_r - 1} \right] \frac{\epsilon_r \tan \delta}{\epsilon_{eff} \lambda_g} \quad (3.31)$$

สำหรับค่า $\tan \delta$ คือค่า Loss tangent ของชั้นไดอิเล็กตริกซบเสตรท และในส่วนของค่าการลดทอนอันเนื่องมาจากการแผ่ร่นั้น เกิดจากโครงสร้างของไมโครสตริปที่มีลักษณะเป็นแบบกึ่งเปิด ทำให้คลื่นสามารถแผ่กระจายออกไปในอากาศได้ ซึ่งเป็นข้อเสียของโครงสร้างเช่นนี้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มระนาบปิดล้อมรอบสตริปในลักษณะที่เรียกว่า “Enclosure” และในบางครั้งจะเรียกว่า “Housing loss”

3.2.7 อิมพีแดนซ์ด้านเข้า (Input impedance)

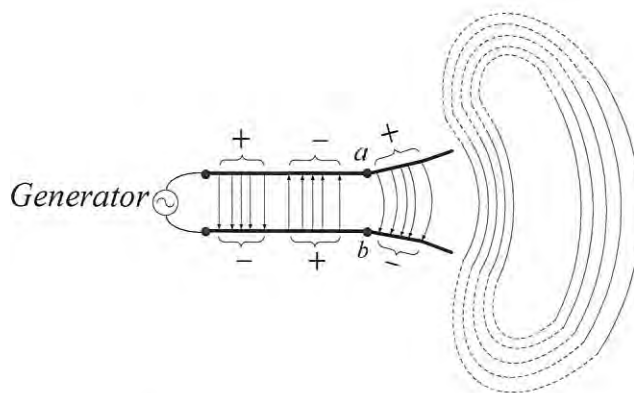
อิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ขั้วด้านเข้าของสายอากาศ โดยอาจพิจารณาเป็นอัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วของสายอากาศ หรือเป็นอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จุดหนึ่งๆ จากรูปที่ 3.6 ที่จุด a และ b อัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วนี้ขณะไม่มีโหลดใดๆ ต่ออยู่จะทำให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ

$$Z_A = \frac{V}{I} = R_A + jX_A \quad (3.32)$$

โดยที่ $Z_A =$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a และ b (โอห์ม)
 $R_A =$ ค่าความต้านทานของสายอากาศที่ขั้ว a และ b (โอห์ม)
 $jX_A =$ ค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a และ b (โอห์ม)

โดยปกติอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะมีทั้งความต้านทานและส่วนที่เป็นรีแอกแตนซ์ นั่นคือเมื่อนำสายนำสัญญาณซึ่งมีอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานอย่างเดียวมาต่อโดยตรงกับสายอากาศ ส่วนใหญ่จะเกิดการไม่แมตซ์ขึ้น คือพลังงานของคลื่นบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับมาทางเครื่องส่ง ในทางปฏิบัติส่วนมากจึงต้องใช่วงจรแมตซ์มาต่อกับสายอากาศเพื่อเป็นการลดพลังงานส่วนนี้ให้น้อยลง

ทั่วไปสายอากาศเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะแมตซ์กับสายส่งสัญญาณในช่วงความถี่ใด ความถี่หนึ่งเท่านั้น การออกแบบสายอากาศ จะกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ให้เป็น 50 โอห์ม เนื่องจากสายส่งและตัว SMA connector ที่ใช้มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศที่ใช้การเชื่อมต่อด้วย SMA และมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม



รูปที่ 3.6 สายอากาศในโหมดการส่ง [28]

3.2.8 อัตราขยาย (Gain)

ค่าอัตราขยายของสายอากาศ สามารถพิจารณาได้ 2 กรณีคือ

อัตราขยายจริงของสายอากาศเป็นอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มการแผ่กระจายคลื่นที่ได้รับเข้ามา

อัตราขยายสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนด ต่ออัตราขยายการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ใช้ต่ออัตราขยายการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบกันทั้งสองแบบจะต้องเหมือนกัน หรือมีค่าเท่ากัน

สิ่งที่แสดงคุณสมบัติของสายอากาศก็คืออัตราการขยายเป็นความสัมพันธ์ได้มาจากสภาพเจาะจงทิศทางโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ได้เรดดิวิตี อธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

กำลังอัตราการขยายของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณกับอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากหัวต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะโดยทั่วไปแล้วจะคิดกำลังอัตราส่วนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้นอัตราขยายเท่ากับ 4π ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นกำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ

$$Gain = 4\pi \left(\frac{\text{ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น}}{\text{กำลังทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ}} \right) \quad (3.33)$$

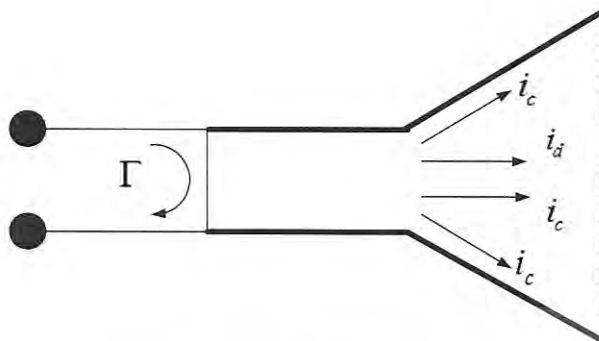
$$Gain = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (3.33)$$

3.2.9 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศ E_t จะใช้เมื่อเรากำลังพิจารณาถึงการสูญเสียต่างๆ ที่หัวและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆ เมื่ออ้างอิงตามรูปที่ 3.10 อาจเนื่องมาจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สัมพันธ์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission line) กับสายอากาศมีการสูญเสียทั้งในตัวนำกับฉนวน และการสูญเสียจากการสะท้อนตัวนำ



รูปที่ 3.7 การสูญเสียของสายอากาศ [28]

โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (3.34)$$

เมื่อ e_0 เป็นประสิทธิภาพทั้งหมด
 e_r เป็นประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ
 e_c เป็นประสิทธิภาพของตัวนำ
 e_d เป็นประสิทธิภาพเหมือนฉนวน

3.2.10 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR)

ถ้าคลื่นที่มีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากันสองคลื่น เคลื่อนที่ในสายส่งในทิศทางตรงกันข้าม คลื่นทั้งสองจะรวมตัวและหักล้างซึ่งกันและกันสลับกันไป ผลที่ได้จะเป็นคลื่นนิ่ง (Standing wave)

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ในสายส่งที่มีการสูญเสียพลังงานน้อยมีค่าจำกัดความเป็นอัตราส่วนของแรงดันที่มากที่สุดต่อแรงดันที่น้อยที่สุดเมื่อเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} \quad (3.37)$$

เราสามารถให้ค่าจำกัดความอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ให้เป็นค่าที่จุดๆ หนึ่งในสายโดยใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังนี้

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|\Gamma| = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (3.39)$$

โดยกำหนดให้	$ \Gamma $	คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น
	Z_{in}	คือ อิมพีแดนซ์ของอินพุต
	Z_o	คือ อิมพีแดนซ์ของเอาต์พุต

จากสมการ (2.39) จะพบว่า ถ้า $Z_{in} = Z_o$ จะทำให้ $\Gamma = 0$ นั่นคือจะไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งจะส่งผลให้ค่า $VSWR = 1$ ซึ่งก็คือการแมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศนั่นเอง แต่ ถ้า $Z_L \neq Z_o$ จะทำให้ $\Gamma \neq 0$ ก็จะทำให้ค่า $VSWR \neq 1$ นั่นคือจะเกิดการไม่แมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ ซึ่งถ้าค่า $VSWR$ มีค่ามากๆ ก็อาจส่งผลกระทบต่อเครื่องส่งทำให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้ สำหรับค่า $VSWR$ ที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.5

3.2.11 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียจะเกิดขึ้นเมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศมีค่าไม่เท่ากัน หรือที่เรียกกันว่าไม่แมตชิ่งกัน ก็จะทำให้การส่งกำลังไปยังสายอากาศไม่สามารถส่งได้อย่างสมบูรณ์จึงมีกำลังบางส่วนสะท้อนกลับเข้าไปในสายส่ง ซึ่งเรียกว่า เกิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ แต่หากสายอากาศและสายส่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากันหรือแมตชิ่งกัน ก็จะไม่มีการสะท้อนกลับ เนื่องจากสายอากาศเป็นการแผ่กระจายคลื่น ดังนั้นการพิจารณาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ จึงใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า Scattering parameter และค่าสูญเสียจากการย้อนกลับมีชื่อเรียกว่า $|S_{11}|$ ค่าการสูญเสีย หรือ $|S_{11}|$ นี้นิยมบอกเป็นหน่วย dB โดยค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบสายอากาศก็คือจะต้องมีค่า $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 dB เนื่องจากเป็นการพิจารณาการสะท้อนของสัญญาณในสายส่งที่ส่งไปยังโหลด จึงสามารถพิจารณาใช้ค่า $VSWR$ แทนได้ โดยพิจารณาค่า $VSWR$ ที่ต่ำกว่า 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้เห็นได้ว่าไม่ว่าจะใช้ค่า $|S_{11}|$ หรือ $VSWR$ ก็สามารถบ่งบอกถึงความแมตชิ่งของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศได้เช่นกัน พื้นฐานการคำนวณค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่เป็น S_{11} พิจารณาได้จาก รูปที่ 2.18 เมื่อส่งกำลังเข้าไปในระบบจะเกิดการสะท้อนกลับของพลังงานเนื่องจากความไม่แมตชิ่งกันของอิมพีแดนซ์ ดังรูป 2.18



รูปที่ 3.8 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน

จากรูปที่ 3.11 P_i คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

P_r คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

P_o คือ กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งค่า Return loss สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Return loss (dB)} = -10 \log (P_r / P_i) \quad (3.40)$$

จากสมการจะพบว่าค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเป็นอัตราส่วนของ P_r กับ P_i ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่าน หากว่าค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำมาก ๆ จะหมายถึงมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านกำลังไปยังโหลดได้สูง หรือมีประสิทธิภาพการส่งกำลังที่ดี $\text{Return loss (dB)} = -10 \log (P_r / P_i)$

การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับกการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับนั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าของแบนด์วิดท์สำหรับสายอากาศที่มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์กับสายส่ง เป็นการแสดงให้เห็นถึงสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ รวมทั้งเป็นการบ่งบอกถึงค่าคุณลักษณะของอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR) ที่สัมพันธ์กับค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับตลอดย่านความถี่ที่ประยุกต์ใช้งาน โดยค่า VSWR และค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) เป็นการกำหนดอัตราส่วนระหว่างคลื่นที่สะท้อนกลับ (V_0^-) กับคลื่นที่ตกกระทบ (V_0^+) ที่โหลดของสายส่ง สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_{line} - Z_{load}}{Z_{line} + Z_{load}} \quad (3.41)$$

โดยที่ Z_{line} และ Z_{load} เป็นอิมพีแดนซ์ของสายส่งและอิมพีแดนซ์ของโหลดในที่นี่คือสายอากาศ ซึ่งแรงดันและกระแสที่ผ่านสายส่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{(z)} = V_0^+ e^{-j\beta z} - V_0^- e^{-j\beta z} = V_0^+ (e^{-j\beta z} - \Gamma e^{-j\beta z}) \quad (3.42)$$

$$I_{(z)} = \frac{1}{Z_0} (V_0^+ e^{-j\beta z} - V_0^- e^{-j\beta z}) = \frac{V_0^+}{Z_0} (e^{-j\beta z} - \Gamma e^{-j\beta z}) \quad (3.43)$$

$$\text{เมื่อให้ } \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ จะมีค่าเท่ากับพารามิเตอร์ S_{11} ของเมตริกซ์การกระจายกระเจิง (Scattering matrix) และกรณีที่มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์แบบจะทำให้ $\Gamma = 0$ และให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่แย่ที่สุดมีค่า $\Gamma = -1$ หรือ 1 ซึ่งเหมือนกับความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ที่โหลด เมื่อมีการลัดวงจรหรือเปิดวงจรและพลังงานที่มีการสะท้อนกลับที่จุดเชื่อมต่อของสายอากาศนี้เป็น ปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับการแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยพลังงานของช่วงเวลาเฉลี่ยเป็นการวัดไปยังสายส่ง ตามปกติที่มีอิทธิพลกับค่าพลังงานเฉลี่ยสุทธิที่ส่งไปยังโหลดและพลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ

$$P_{ave} = \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} \quad (3.44)$$

โดยพลังงานที่สะท้อนกลับเป็นสัดส่วนกับพลังงานที่เกิดขึ้นโดยคูณกับตัวประกอบของ $|\Gamma|^2$ แสดงได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{ave}^r = -|\Gamma|^2 \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} \quad (3.45)$$

และค่าพลังงานเฉลี่ยสุทธิที่ส่งไปยังโหลดจะเป็นผลรวมของพลังงานที่เกิดขึ้นและพลังงานเฉลี่ย ที่สะท้อนกลับดังสมการ

$$P_{ave} = \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} [1 - |\Gamma|^2] \quad (3.46)$$

เนื่องจากพลังงานที่ส่งไปยังโหลดเป็นส่วนกับ $[1 - |\Gamma|^2]$ โดยค่าที่สามารถยอมรับได้ของ Γ เพียงแค่ 10% เท่านั้นจึงจะสามารถคำนวณค่าพลังงานที่สะท้อนกลับได้และส่งผลให้ Γ มีค่าเท่ากับ 0.3162 เมื่อโหลดไม่แมตช์กับสายส่งแล้วจะเกิดการสะท้อนกลับจากโหลดไปยังแหล่งจ่ายซึ่งเกิดเป็นคลื่นนิ่งในสายส่งโดยการวัดค่า VSWR นั้นเป็นอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งกับแอมพลิจูดสุดของคลื่นนิ่งโดยค่าที่ยอมรับได้ของอัตราส่วนคลื่นนิ่งคือมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.0 โดยค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.47)$$

ต่อไปเป็นการพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศซึ่งเป็นการวัดคุณลักษณะของการแมตช์อิมพีแดนซ์อีกแบบหนึ่งโดยมีความสัมพันธ์เหมือนกับค่าของ Γ หรือค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งโดยค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศคำนวณได้จากสมการ

$$Return\ loss = -10 \log |S_{11}|^2 = -20 \log (|\Gamma|) \quad (3.48)$$

เนื่องจากการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ดีนั้นเป็นการบ่งบอกถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับ ต้องน้อยกว่า -10 dB ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศที่ดีนั้นจำเป็นต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนน้อยกว่า 0.3162 มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยกว่า 2 และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB

3.3 โพลาริซิงกลม

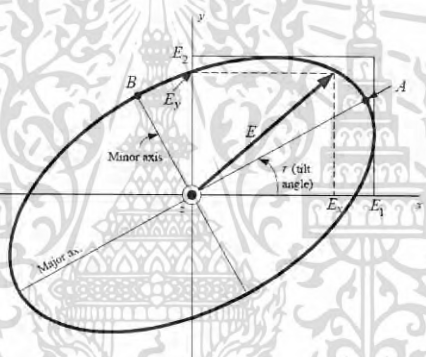
ในปัจจุบันระบบอาร์เอฟไอทีได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้สามารถรองรับอุปกรณ์ที่มีความต้องการรับส่งข้อมูลได้ที่ละมากๆ ได้อย่างรวดเร็ว การใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สายมาตรฐาน ทำงานที่แถบความถี่ 980 และ 2450 MHz อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานสื่อสาร ซึ่งจะติดต่อสื่อสารไร้สายเข้าได้แต่เนื่องจากสายอากาศที่ ติดตั้งที่ตัวเครื่องกระจายสัญญาณนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะเป็น สายอากาศไดโพลซึ่งมีโพลาริซิงเส้นตั้งนั้นแล้ว เพื่อให้ได้การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไร้สายกับเครื่องรับสัญญาณได้สมบูรณ์อุปกรณ์รับสัญญาณดังกล่าว จะต้องมีแนวรับ-ส่งคลื่นในแนวเดียวกัน จึงจะปราศจากค่าการสูญเสียจากแนวโพลาริซิง (PLF) ดังนั้น ถ้าหากนำสายอากาศที่มีโพลาริซิงแบบวงกลมไปติดตั้งทดแทนสายอากาศไดโพลที่ตัวเครื่องกระจายสัญญาณก็จะเป็นการช่วยลดค่าการสูญเสียจากแนวโพลาริซิงระหว่างเครื่องกระจายสัญญาณกับอุปกรณ์รับสัญญาณได้ โครงสร้างของสายอากาศที่มีแนวโพลาริซิงแบบวงกลม มีรูปแบบการสร้างที่แตกต่างกันไป ได้แก่ ประเภทสายอากาศ แพตช์ไมโครสตริปแบบชั้นเดียวสายอากาศประเภทนี้มี โครงสร้างไม่ซับซ้อนสามารถสร้างได้ง่าย แต่มีค่าแถบความถี่ ตอบสนองต่อค่าอัตราส่วนแกน (AR) ค่อนข้างแคบและค่า AR ที่ได้ยังไม่ค่อยสัมพันธ์กับความถี่ตอบสนองของสายอากาศ อีกทั้งยังมีอัตราขยายต่ำ ส่วนอีก

ประเภทหนึ่งคือ สายอากาศ แพดซีไม่โครสตริบแบบซ้อนหลายชั้นถึงแม้ว่าสายอากาศประเภทนี้จะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าแบบ แรก แต่มีข้อดีตรงที่มีค่าแถบความถี่ตอบสนองต่อค่าอัตราส่วนแกน (AR) ค่อนข้างกว้าง อีกทั้งยังมีอัตราขยายที่สูงอีกด้วย

3.3.1 พื้นฐานและเทคนิคโพลาริเซชันของคลื่นระนาบ

คลื่นระนาบโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องมีสนามไฟฟ้าในทิศทาง E_x หรือ E_y เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นเฟสของ E_x และ E_y ก็ไม่จำเป็นต้องเท่ากันด้วย ดังนั้นในกรณีต่างๆ ไปนั้นทิศทางและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้ารวมจะเปลี่ยนไปตามเวลา ในการให้นิยามของโพลาริเซชันนี้เราจะถือเอาโลกซ์ของปลายของ E บนระนาบที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่เป็นหลักในกรณีที่สนามไฟฟ้ามีเฉพาะทิศ x หรือ ทิศ y เท่านั้นก็จะเห็นได้ชัดว่าโลกซ์ของ E จะเป็นเส้นตรง ซึ่งจะเรียกว่า โพลาริเซชันเชิงเส้นกรณีที่สนามไฟฟ้ามีทั้งทิศ x และทิศ y นั้น ถ้าเฟสของสนามไฟฟ้านั้นไม่เท่ากัน โพลาริเซชันที่ได้จะเป็นแบบวงรีเป็นส่วนใหญ่ และอาจจะเป็นแบบวงกลมได้ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะอันหนึ่ง

โพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาริเซชันจะแสดงการกวาดของยอดเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่ และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไปด้วยดังภาพที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการโพลาริเซชันของคลื่น [28]

สำหรับโพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางหนึ่งทิศทางใด จะเป็นโพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายอากาศส่ง) หรือเป็นโพลาริเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้น จากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังงานที่ขั้วของสายอากาศมากที่สุด

ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาให้จะหมายถึงทิศทางที่สายอากาศมีอัตราขยายมากที่สุด ดังนั้นโพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกันจะแตกต่างกัน

การแบ่งชนิดของโพลาริเซชัน อาจแบ่งเป็น

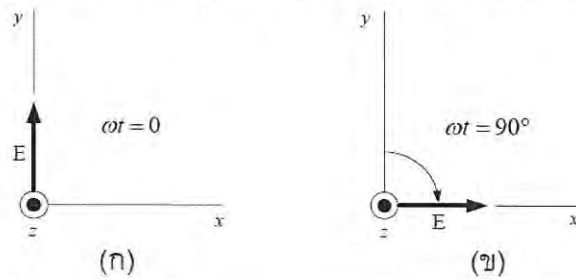
โพลาริเซชันเส้น

โพลาริเซชันวงกลม

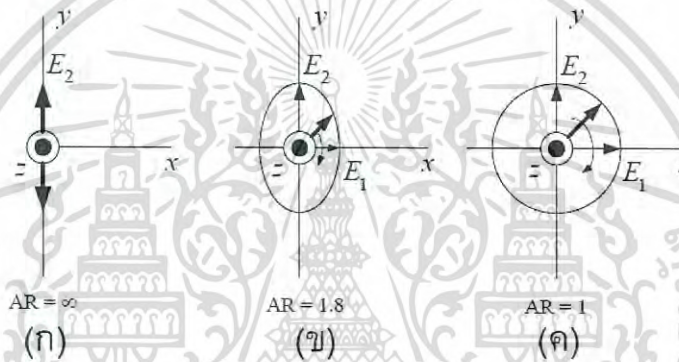
โพลาริเซชันวงรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับลักษณะการหมุนของยอดเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า ถ้าเวกเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา ณ จุดในอวกาศว่างเป็นเส้นตรงเสมอจะเรียกว่า เป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นหรือลิเนียร์ โพลาไรซ์ แต่ถ้าสนามไฟฟ้ามีการหมุนเป็นรูปวงรีจะเรียกสนามแบบนี้ว่าเป็นโพลาไรซ์วงรี



รูปที่ 3.10 ลักษณะการหมุนของยอดเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า โพลาไรซ์เชิงเส้น, โพลาไรซ์วงกลม และโพลาไรซ์วงรี



รูปที่ 3.11 โพลาไรซ์เชิงเส้น วงรี และ วงกลม

จากรูปที่ 3.11 ก จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางอยู่ในแกน y เพียงอย่างเดียว เราเรียกคลื่นแบบนี้ว่า ลิเนียร์โพลาไรเซชัน (ในทิศทางของ y) ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะแสดงได้จากฟังก์ชัน

$$E_x = E_2 \sin(\omega t - \beta z) \tag{3.49}$$

โดยทั่วไป สนามไฟฟ้าจะเดินทางในทิศทางแกน z และอาจมีส่วนประกอบอยู่ในทั้งแกน y และ x ในภาพ ที่ 3.11(ข) ก็เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่เกิดจากการที่ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าในแกน y และ x มีเฟสต่างกันเท่ากับ δ ซึ่งเราเรียกคลื่นอย่างนี้ว่า elliptically polarized

เมื่อให้ค่า z คงที่แล้วทำการหมุนเวกเตอร์สนามไฟฟ้า E ในฟังก์ชันของเวลา ก็จะได้รูปซึ่งมีลักษณะวงรีซึ่งเกิดจากเวกเตอร์นี้เราจึงเรียกว่า โพลาไรเซชันวงรี อัตราส่วนระหว่างแกน major และแกน minor ของ โพลาไรเซชัน วงรี นั้นเราจะเรียกว่า Axial Ratio (AR)

ดังนั้นในภาพที่ 3.11(ข) ค่า $AR = E_2/E_1$ และในรูป 3.11(ค) จะแสดงให้เห็น circular โพลาไรเซชัน ซึ่งสำหรับ โพลาไรเซชันแบบนี้มันเกิดจากค่าของ $E_1 = E_2$ และมีค่า $AR = 1$ ซึ่งในลิเนียร์โพลาไรเซชัน ก็จะได้ค่า $E_1 = 0$ และ $AR = \infty$ ในกรณีส่วนใหญ่ของโพลาไรเซชันวงรี ก็จะได้แสดงดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3.11(ข) คลื่นโพลาไรเซชันวงรี อาจแสดงได้ในเทอมของส่วนประกอบที่เป็นลิเนียร์โพลาไรเซชันสองตัว ซึ่งอยู่ในแกน x เทอมหนึ่งและ y อีกเทอม หนึ่ง ถ้าคลื่นเดินทางในทิศทางแกน z (พุ่งออกจากหน้ากระดาษ) ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทาง x และ y

$$\begin{aligned} E_x &= E_1 \sin(\omega t - \beta z) \\ E_y &= E_2 \sin(\omega t - \beta z + \delta) \end{aligned} \quad (3.50)$$

เมื่อ E_1 = ขนาดของคลื่น linear polarized ในทิศทาง x
 E_2 = ขนาดของคลื่น linear polarized ในทิศทาง y
 δ = มุมของเฟสที่ E_y นำหน้า E_x

รวมสมการที่ (3.50) เข้าด้วยกันเป็นสมการชั่วขณะของเวกเตอร์สนาม E โดยทั่วไป สนามไฟฟ้าจะเดินทางใน

$$E = \hat{x} E_1 \sin(\omega t - \beta z) + \hat{y} E_2 \sin(\omega t - \beta z + \delta) \quad (3.51)$$

ที่ $z = 0$, $E_x = E_1 \sin \omega t$ และ $E_y = E_2 \sin(\omega t - \delta)$ ซึ่งแยกเวกเตอร์ ออกมาได้เป็น

$$E_y = E_2 \sin \omega t \cos \delta + \cos \omega t \sin \delta \quad (3.52)$$

จากสมการของ E_x เราจะได้ค่า $\sin \omega t$ และ E_x/E_1 และ $\cos \omega t = \sqrt{1 - (E_x/E_1)^2}$ ในสมการที่ (3.52) เมื่อทำการตัดค่าของ ωt ออกจะได้ว่า

$$\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y \cos \delta}{E_1 E_2} + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2 \delta \quad (3.53)$$

หรือ

$$aE_x^2 - bE_x E_y + cE_y^2 = 1 \quad (3.54)$$

เมื่อ

$$a = \frac{E_1}{E_1^2 \sin^2 \delta}, b = \frac{\cos \delta}{E_1 E_2 \sin^2 \delta}, c = \frac{1}{E_2^2 \sin^2 \delta}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (3.54) อธิบายรูปวงรีในภาพที่ 3.11 เส้นตรง OA เป็นครึ่งหนึ่งของแกน Major และเส้น OB เป็นครึ่งหนึ่งของแกน Minor มุมเอียง (tilt angle) ของวงรีคือ τ ซึ่งค่าของ axial ratio คือ

$$AR = \frac{OA}{OB} (1 \leq AR \leq \infty) \text{ Axial Ratio}$$

ถ้าค่าของ $E_1 = 1$ คลื่นก็จะเป็นลิเนียร์โพลาริเซชันในทิศทางของ y และถ้า $E_2 = 0$ คลื่นก็จะเป็นลิเนียร์โพลาริเซชันในทิศทางของ x ถ้า $\delta = 0$ และ $E_1 = E_2$ คลื่นนี้ก็เป็นลิเนียร์โพลาริเซชัน เหมือนกันแต่จะทำมุม 45°

ถ้า $E_1 = E_2$ และ $\delta = \pm 90$ คลื่นนี้ก็จะเป็น circularly polarization

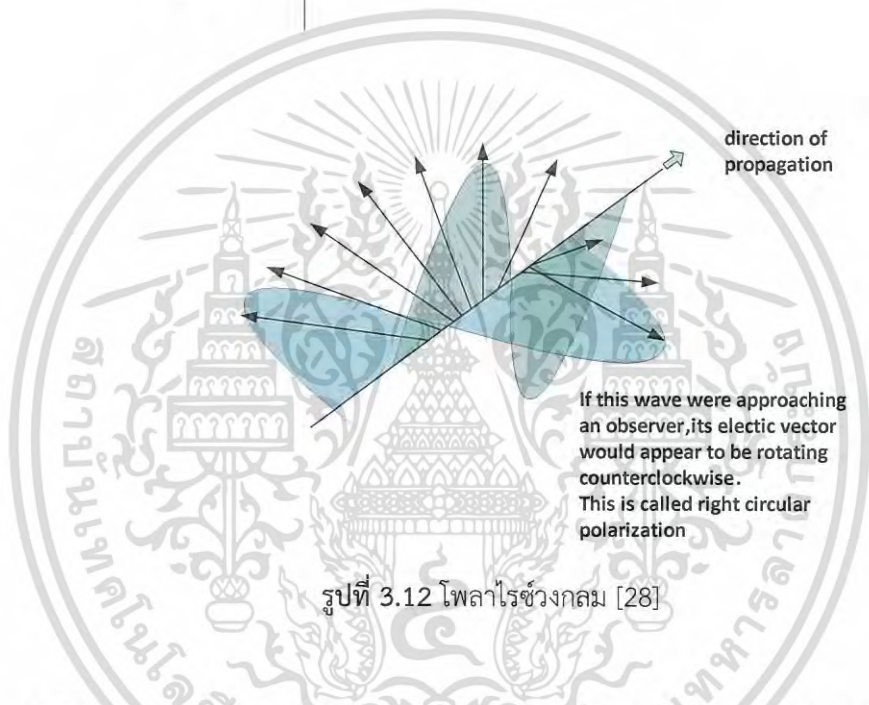
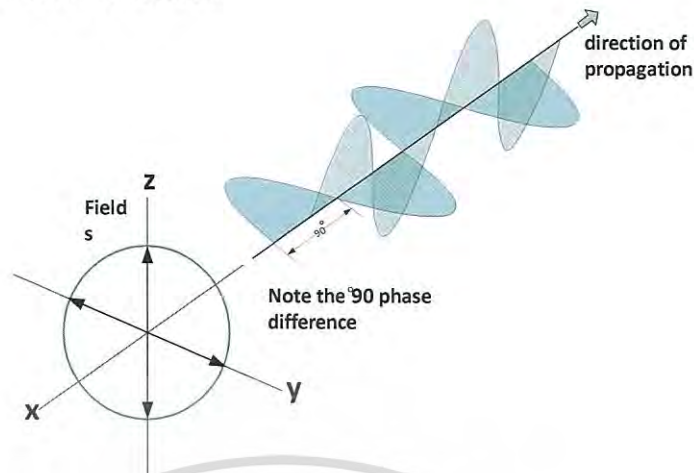
คือเมื่อ $\delta = +90$ คลื่นนี้ก็จะเป็น left circularly polarization

และเมื่อ $\delta = -90$ คลื่นนี้ก็จะเป็น right circularly polarization

สำหรับกรณี $\delta = +90$ และค่า $z=0$ และ $t=0$ จากสมการที่ (3.53) และ (3.54) จะได้ $E = yE_2$

แสดงในภาพที่ 3.11 (ก) ส่วนที่ $\omega t = 90$ และ $E = xE_1$ แสดงในภาพที่ 3.11 (ข) เมื่อเรากำหนดจุด $z=0$ แล้วทำการหมุนเวกเตอร์สนามไฟฟ้าตามเข็มนาฬิกา ตามข้อตกลงของ IEEE นี้ก็เป็นลักษณะเดียวกันกับ left hand circularly polarized ในทางกลับกันการหมุน ในทิศทางตรงกันข้าม $\delta = -90$ จะเป็นลักษณะเดียวกับ right hand circularly polarized ถ้าคลื่นกลับด้านจากที่เห็นในรูป (กลับด้านแกน z) เวกเตอร์ไฟฟ้าก็จะหมุนในทิศทางที่ตรงข้าม ด้วยเหตุนี้การหมุนตามเข็มนาฬิกาของ E กับคลื่นก็จะคล้ายกับการหมุนทวนเข็มนาฬิกาด้วยคลื่นที่หมุนกลับหลังถ้ากำหนดให้นิ้วหัวแม่มือขวาเป็นทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในขณะนี้นิ้วที่เหลือเป็นทิศทางที่หมุนตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือกล่าวได้ว่า การโพลาริเซชันวงกลมแบบหมุนขวามีการหมุนตามเข็มนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดคลื่น ส่วนการโพลาริเซชันวงกลมแบบหมุนซ้ายถ้ากำหนดให้นิ้วหัวแม่มือซ้ายเป็นทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในขณะนี้นิ้วที่เหลือจะเป็นทิศทางที่หมุนตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือกล่าวได้ว่า การโพลาริเซชันวงกลมแบบหมุนซ้ายมีการหมุนทวนเข็มนาฬิกา ยกเว้นทิศทางของคลื่นที่มีสองนัยระหว่างหมุนซ้ายหรือหมุนขวา สามารถหลีกเลี่ยงกรณี โดยกำหนดโพลาริเซชันด้วยสายอากาศเฮลิคอลลิน axial-mode เมื่อนำเฮลิคอลลินแบบหมุนเกลียวขวาก็จะได้ right circularly polarized

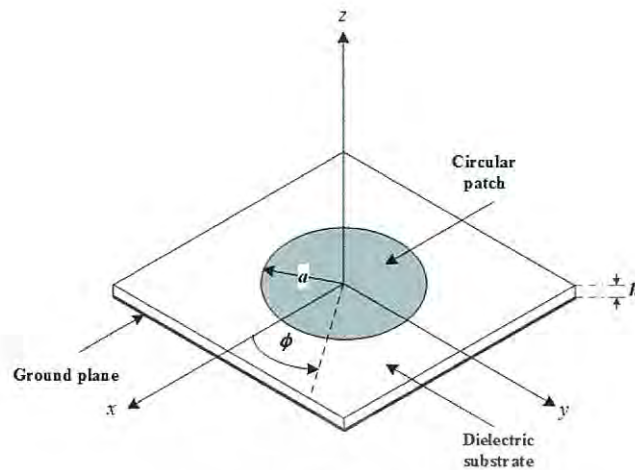
Circular Polarized



รูปที่ 3.12 โพลาริซวงกลม [28]

3.3.2 สายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลมย่านความถี่คูโพลาริซวงกลม สัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราขยายและอัตราส่วนแกน

สายอากาศไมโครสตริปวงกลมแผ่นตัวหนาแบบวงกลมเป็นรูปลักษณะแผ่นตัวหนาของสายอากาศไมโครสตริปแบบหนึ่งที่ยินนามมาใช้จากโครงสร้างสายอากาศในรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่า สายอากาศไมโครสตริปประกอบด้วยแผ่นตัวหนาโลหะที่มีรัศมี a และมีระยะห่างระหว่างแผ่นตัวหนากับระนาบกราวด์เท่ากับ h โดยมีวัสดุฐานที่มีค่าไดอิเล็กตริก ϵ_r เป็นชั้นคั่นระหว่างแผ่นตัวหนากับระนาบกราวด์ จากโครงสร้างดังกล่าวสามารถนำมาจัดองค์ประกอบได้ทั้งแบบเดี่ยวและแถวลำดับ



รูปที่ 3.13 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป [28]

แผ่นตัวนำสายอากาศ เป็นแผ่นโลหะแบบบางทาบหน้าที่เป็นตัวแปรพลังงานและมีค่าความต้านทานทนต่อสภาวะแวดล้อมสามารถยึดติดกับผิวของชั้นวัสดุฐานรองได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปจากทองแดง ทองคำ หรือ อลูมิเนียม แผ่นตัวนำอาจมีรูปร่างต่างๆ เช่น สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส วงกลม วงรี ฯลฯ วัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นตัวนำสายอากาศนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศและความซับซ้อนในการผลิตนอกจากนี้แล้วขนาดและรูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศยังเป็นปัจจัยต่อการกำหนดความถี่ใช้งาน รูปแบบการแปรพลังงานและอิมพีแดนซ์ขาเข้า ปัจจุบันแผ่นตัวนำสายอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแผ่นตัวนำรูปสี่เหลี่ยมและวงกลมเนื่องจากการออกแบบและการผลิตสามารถทำได้ง่าย

ชั้นวัสดุฐานรอง ชนิดและขนาดของชั้นวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบสายอากาศและเป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป การแปรพลังงานของสายอากาศจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความหนาของชั้นวัสดุฐานรองมีค่าคงที่ การแปรพลังงานของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น และการแปรพลังงานนี้จะมีปริมาณลดลง เมื่อความหนาต่อความยาวคลื่นมีค่าประมาณ 0.05 มิลลิเมตร การเลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุฐานรองนอกจากต้องคำนึงถึงสมบัติทางกล สมบัติทางเคมี ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม และความสามารถในการยึดติดกับผิวโลหะได้ดี ความเรียบของผิวซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดกับโลหะ และสามารถผลิตเป็นชั้นวัสดุฐานรองสำหรับสายอากาศได้ นอกจากนี้สมบัติทางไฟฟ้ายังเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกวัสดุ เช่น ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุเนื้อเดียว เพื่อให้ค่าสภาพยอมของสารไดอิเล็กตริกมีค่าคงที่ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกบ่งบอกคุณสมบัติของการเป็นสารไดอิเล็กตริกโดยเทียบกับอากาศว่าง ซึ่งค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ควรมีค่าต่ำ เนื่องจากค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ต่ำทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพที่ดี และทำให้การผลิตมีความผิดพลาดน้อย

ระนาบกราวด์ เป็นแผ่นโลหะขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับแผ่นตัวนำสายอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากโลหะชนิดเดียวกันกับสายอากาศ โดยขนาดของระนาบกราวด์นี้จะส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแปรกระจายคลื่นเนื่องจากคลื่นเลี้ยวเบนที่บริเวณขอบของระนาบกราวด์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อ

วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศอีกด้วย เนื่องจากการวิเคราะห์สายอากาศส่วนใหญ่มีข้อสมมุติว่า แผ่นระนาบกราวด์มีขนาดใหญ่กว่าแผ่นตัวนำสายอากาศมากจนสามารถประมาณได้ว่าเป็นอนันต์ ขนาดที่จำกัดของระนาบกราวด์จะมีผลต่อลาคลื่นหลัก น้อยมาก แต่จะทำให้เกิดลาคลื่นด้านหลังของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

ในการวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปวงกลมนั้น สนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปสามารถอธิบายได้โดย

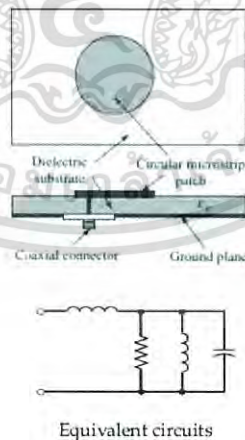
$$E_z = E_0 J_n(kr) \cos(n\phi) \quad (3.55)$$

และองค์ประกอบสนามแม่เหล็กสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$H_r = -\frac{j\omega\epsilon n}{k^2 r} E_0 J_n'(kr) \sin(n\phi) \quad (3.56)$$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่นในไดอิเล็กทริก ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ส่วน J_n เป็นฟังก์ชันเบสเซลที่หนึ่ง ลำดับที่ n และ J_n' เป็นอนุพันธ์ของฟังก์ชันเบสเซลส่วน ω คือความถี่เชิงมุม ($\omega = 2\pi f$) สำหรับแต่ละโหมดของสายอากาศไมโครสตริปนั้นสอดคล้องกับรัศมีของแผ่นตัวนำและขึ้นอยู่กับค่าที่ทำให้อนุพันธ์ของฟังก์ชันเบสเซลเท่ากับศูนย์ ส่วน E_0 เป็นค่าของสนามไฟฟ้าที่ขอบของแผ่นตัวนำระหว่างช่องว่างเล็กๆ

การป้อนแบบสายโพรบ รูปที่ 3.14 เป็นการป้อนด้วยสายโพรบ ลักษณะการป้อนแบบนี้จะทำให้ตัวนำด้านในของการเชื่อมต่อกับแพตช์ และตัวนำด้านนอกต่อกับระนาบกราวด์ การป้อนแบบนี้ เป็นวิธีที่ง่ายทั้งการสร้างและการทำแมชซิ่ง และมีการแพร่กระจายคลื่นแปลกปลอมน้อย แต่อย่างไรก็ตาม จะให้แบนด์วิดท์ที่แคบเมื่อมีฐานรองที่หนาขึ้น

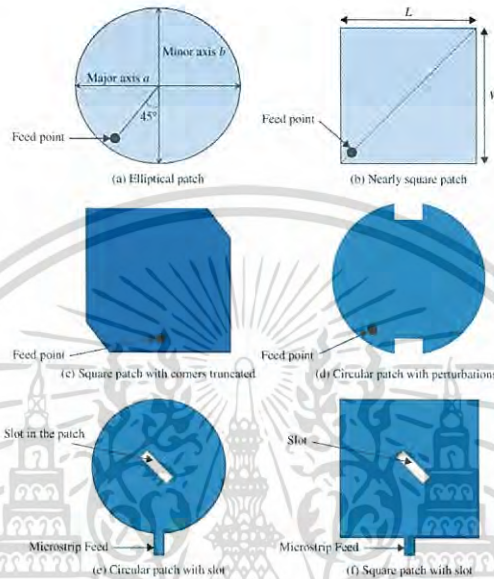


รูปที่ 3.14 การป้อนแบบโพรบ (Probe feed) [28]

เพื่อให้เกิดความถี่คู่ได้เลือกเทคนิคในการเกิดเรโซแนนซ์สองความถี่โดยการเจาะร่องวงกลมของสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลมและสำหรับเทคนิคในการเกิดโพลาริซเซชันนั้นก็มีมากมาย เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ทำให้เกิด โพลาริซวงกลม เช่นการตัดขอบของแพตช์วงกลมหรือแพตช์สี่เหลี่ยม การเจาะ ร่อง รูป ตัวเอฟ ตัวซี สำหรับกลไกการเกิดโพลาริซวงกลมสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการกระตุ้น ด้วยจุดป้อนที่มากกว่าหนึ่งจุดขึ้นไป บนแผ่นตัวนำวงกลม โดยในโครงงานนี้จะกระตุ้นด้วยจุดป้อน ทั้งหมด 4 จุดโดย 2 จุดแรกจะเป็นจุดป้อนที่มีตำแหน่งของระยะห่างระหว่างจุดป้อนและมุมระหว่าง จุดป้อนที่เหมาะสม และอีก 2 จุดจะเพิ่มเข้าไปที่ตำแหน่งตรงข้ามกับ 2 จุดป้อนเดิมเพื่อกำจัดโหมด ข้างเคียงโหมดเรโซแนนซ์และเพื่อให้ลาคลื่นมีความสมมาตรและมีโพลาริซไอซ์ต่ำ



รูปที่ 3.15 เทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดโพลาริซวงกลม

3.4 สรุป

จากข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปดังกล่าวข้างต้นและคุณสมบัติการโพลาริซทำให้การออกแบบ สายอากาศสำหรับระบบอาร์เอฟไอดีอธิบายได้ด้วยการเลือกใช้การโพลาริซวงกลม (CP) โดยการโพลาริซ วงกลมในสายอากาศควรคำนึงถึงปัญหาต่าง ๆ ของความเข้ากันได้ของการแพร่กระจายคลื่นด้วยตัวอย่างเช่น สิ่งรบกวนจากคลื่นหลากหลายวิธี มุมและทิศทางในการอ่านระหว่างเครื่องอ่านระบบอาร์เอฟไอดีและแทกซ์ และการโพลาริซแบบวงกลมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ การโพลาริซวงกลมแบบหมุนขวา และการโพลาริซวงกลมแบบหมุนซ้าย สำหรับการโพลาริซแบบหมุนขวา รวมไปถึงปัญหาพื้นฐานในการ ออกแบบอื่น ๆ เช่น ขนาดของสายอากาศ การนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งของ เมื่อก้าวถึงเทคนิคจากเนื้อหาใน บทนี้จะเห็นว่าการเกิดโพลาริซวงกลมก็มีหลายเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ด้วยจุดประสงค์ในการออกแบบเพื่อเป็นสายอากาศไมโครสตริปซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและยังคงมี คุณสมบัติคือทำงานที่ย่านความถี่คู่และเป็นโพลาริซวงกลมจึงได้ออกแบบสายอากาศความถี่คู่ที่มีจุดป้อน สัญญาณแบบหนึ่งจุดร่วมกับการเจาะร่องโค้งเว้าและนูนดังจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 4

สายอากาศสองย่านความถี่โพลาริซวงกลมแบบระนาบร่วมกับ ร่องโค้งเว้าและนูนสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี และการวิเคราะห์

4.1 เกริ่นนำ

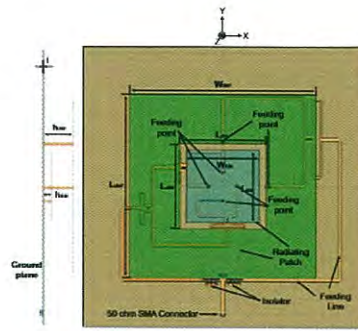
การออกแบบของสายอากาศโดยมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวและเป็นสายอากาศแบบแผ่นระนาบรูปร่างกลมร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูนโดยมีสายนำสัญญาณแบบหนึ่งจุดป้อนสัญญาณสำหรับย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟโดยมีความถี่ตามมาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทยที่ความถี่ 920-925 MHz และ 2450-2483.5 MHz ตามมาตรฐานของ Federal Communications Commission (FCC) ที่ใช้สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี และ ย่านความถี่ไมโครเวฟที่ใช้งานตามมาตรฐานด้านยานยนต์ของมาตรฐาน FCC นั้นอยู่ที่ 2.40-2.454 GHz และอยู่ในย่านความถี่มาตรฐาน ISM หรือ SRD ด้วยภายใต้ ITU#9 มาตรฐานความถี่ย่านไมโครเวฟ จากการออกแบบและสร้างสายอากาศต้นแบบ จะทำการทดสอบค่าประสิทธิภาพต่างๆของสายอากาศ คือ การทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ การทดสอบอัตราการขยายและการวัดทดสอบรูปแบบการแพร่พลังงานของสายอากาศ โดยพบว่าสายอากาศต้นแบบสามารถทำงานที่ความถี่กลางคือ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับอยู่ที่น้อยกว่า -20 dB โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวที่มีอัตราการขยายอยู่ที่ 1.31 dBic และ 1.36 dBic ตามลำดับ และอัตราส่วนแกนอยู่ที่ 3-dB ทั้งสองย่านความถี่โดยจากการออกแบบสายอากาศต้นแบบพบว่าแผ่นสะท้อนสัญญาณมีผลเพียงเล็กน้อยในการเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราขยายเมื่อเปรียบเทียบกับจุดประสงค์ในการออกแบบให้เป็นสายอากาศที่กระจัดไม่ซับซ้อนทำให้สายอากาศต้นแบบเป็นแบบไม่มีแผ่นสะท้อนสัญญาณ ซึ่งจากการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่าผลการวัดสอดคล้องกับผลจำลองและสายอากาศมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้กับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

4.2 การเปรียบเทียบขนาดโครงสร้าง คุณลักษณะทางไฟฟ้าและระยะการอ่านสูงสุด โพลาริซวงกลมย่านความถี่เอชเอฟและไมโครเวฟที่มีมาก่อน

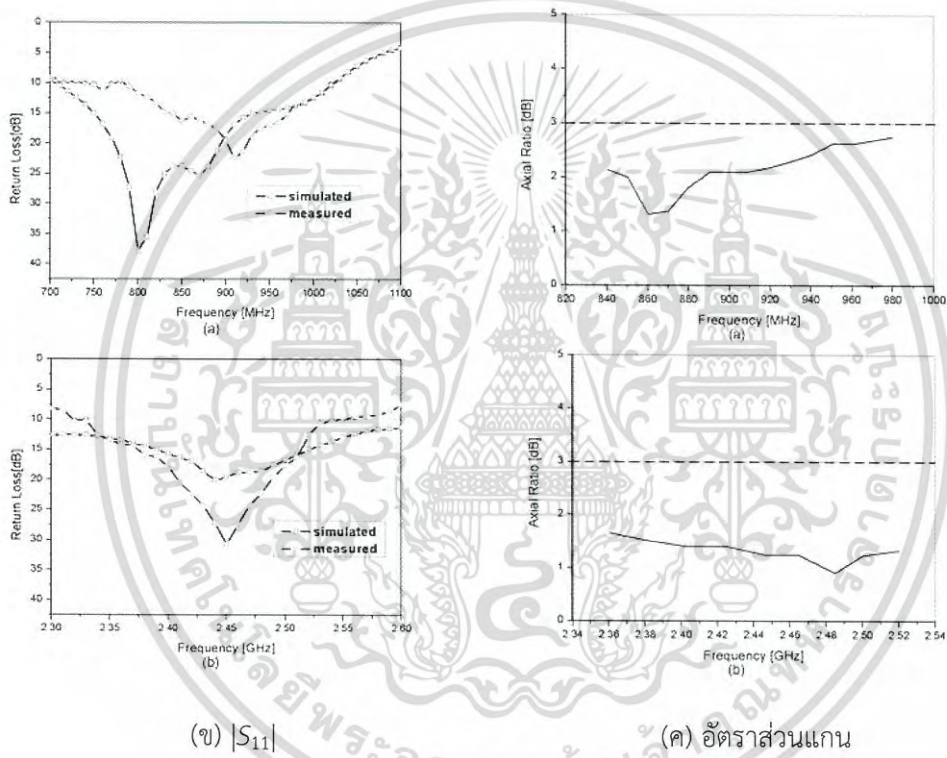
สำหรับสายอากาศสองย่านความถี่ที่มีโพลาริซวงกลมนั้นดังหลักการที่กล่าวมาในบทก่อนหน้า พบว่าโพลาริซของคลื่นที่แพร่กระจายนั้นเป็นการแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไปโดยอธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา รูปแสดงโพลาริซจะแสดงการกวาดของยอดเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแพร่ไปในลักษณะของโพลาริซวงกลม โดยจะมีเฟสที่ต่างกัน 90 องศาและการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลังคลื่นที่เดินทางไป สำหรับโพลาริซชันของสายอากาศในทิศทางหนึ่งทิศทางใดจะเป็นโพลาริซชันของคลื่น ที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้นเมื่อเป็น สายอากาศส่ง หรือเป็นโพลาริซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้นจากทิศทางที่กำหนดและ มีกำลังงานที่ขั้วของสายอากาศมากที่สุด ถ้าหากไม่ได้กำหนดทิศทางมาให้จะหมายถึง

ทิศทางที่ สายอากาศมีอัตราขยายมากที่สุด ดังนั้นโพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกันจะแตกต่างกัน สำหรับหลักการในการเกิดโพลาริเซชันวงกลมนั้นจะมีองค์ประกอบของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าตั้งฉากกันทั้งสององค์ประกอบ มีแอมพลิจูดเท่ากันและมีเฟสต่างกัน 90 องศา โดยสามารถปรับค่าของขนาด มุม ตัดขอบ เจาะร่อง หรือมีการป้อนสัญญาณแบบหนึ่งจุดป้อนหรือมากกว่า เพื่อให้เกิดโพลาริเซชันวงกลม ถ้าพิจารณาสนามไฟฟ้าสุทธิที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ทิศของสนามไฟฟ้าหรือทิศของการโพลาริเซชันของคลื่นที่ผ่านตำแหน่ง นั้นจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาแบบใดแบบหนึ่งตามทิศทางการแพร่กระจายบนระนาบ x-y ในงานวิจัยต่างๆ ที่มีมาก่อนหน้านี้เกี่ยวกับสายอากาศโพลาริเซชันวงกลมนั้นได้มีการออกแบบและใช้วิธีการหลากหลายอย่าง เช่น การออกแบบสายอากาศอาร์เอฟไอดีแบบไมโครสตริปสองความถี่โดยใช้เทคนิคการเจาะร่องรูปตัวซี ร่วมกับเทคนิคสายอากาศแบบช่องโดยมีโพลาริเซชันแบบวงกลมที่มีความถี่ 2.45/5.8 GHz [7] สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่ที่มีโพลาริเซชันแบบวงกลมโดยมีจุดป้อนแบบเดี่ยวและใช้เทคนิคในการเจาะช่องแบบวงกลม

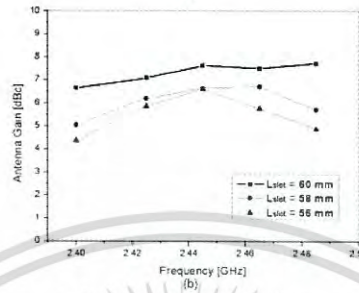
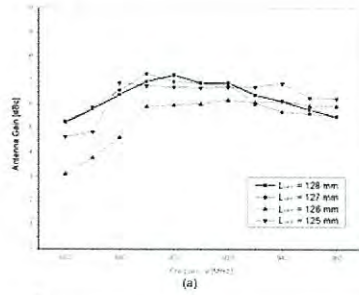
สำหรับสายอากาศสองย่านความถี่ที่มีโพลาริเซชันวงกลมนั้นดังหลักการที่กล่าวมาในบทก่อนหน้านี พบว่าโพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายนั้นเป็นการแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไปโดยอธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ นักวิจัยบางท่านที่มีความสนใจในการออกแบบสายอากาศขนาดกะทัดรัด ได้ออกแบบสายอากาศลงบน แผ่นวงจรพิมพ์ หลายชนิดเช่น Arlon AD260A และ Rogers RO4003C ร่วมกับทฤษฎี ของสายอากาศ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานสายอากาศในกลุ่ม นี้ เรียกว่า สายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดและโครงสร้างรวมถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของงานวิจัยที่มีมาก่อนโดยในปี 2007 Shin D., Park P., Kim J., Seong W., Choi J. [9] ได้รายงานผลของการพัฒนาสาย อากาศสองแถบความถี่ วิธีการของกลุ่มวิจัยนี้เป็นการ ปรับปรุงสายอากาศที่มีลักษณะคล้ายสายอากาศขั้วคู่ โดย การเจาะร่องรูปร่างคล้ายตัวอักษรแอลบนโครงสร้างของ สายอากาศขั้วคู่ทั้งสองด้าน การออกแบบเพื่อทำ ให้เกิด ความถี่เรโซแนนซ์ ที่สองนี้ ความถี่จะสูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ที่หนึ่ง ซึ่งความยาวคลื่นของความถี่ เรโซแนนซ์ที่สองก็จะสั้นกว่าความยาวคลื่นของความถี่เรโซแนนซ์ที่ หนึ่ง การปรับปรุงเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ทั้งสองค่าทำได้ยากและโครงสร้างของสายอากาศยังคงมีขนาดใหญ่ นักวิจัยบางท่านมีความสนใจในการพัฒนาสายอากาศชนิดขั้วเดี่ยวบนแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีแบบสองความถี่โดยทำงานที่ความถี่ 920 Mhz & 2.45 GHz โดยใช้ป้อนสัญญาณเครือข่ายและเทคนิคการแบบกำลังงาน (Wilkinson power divider technique). ได้ใช้แพตช์สี่เหลี่ยมสองตัวเป็นตัวกระจายสัญญาณ ผลที่ได้มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์อยู่ที่ 110 MHz, อัตราขยาย 6.3 dBic ที่ความถี่ 920 MHz และมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์อยู่ที่ 100 MHz และอัตราขยายที่ 7.2 dBic at 2.45 GHz



(ก) โครงสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีของ Shin D., Park P., Kim J., Seong W., และ Choi J.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) อัตรากายและประสิทธิภาพสายอากาศ



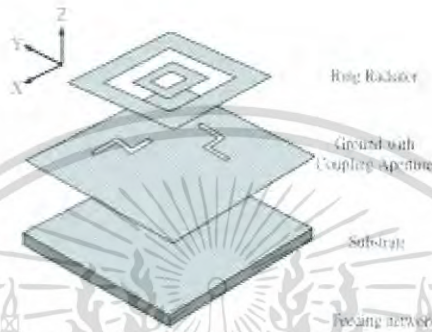
Fig. 4. Measured radiation patterns in the X-Z plane (a) 860 MHz (b) 910 MHz (c) 960 MHz.

Fig. 5. Measured radiation patterns in the X-Z plane (a) 2.4 GHz (b) 2.445 GHz (c) 2.485 GHz.

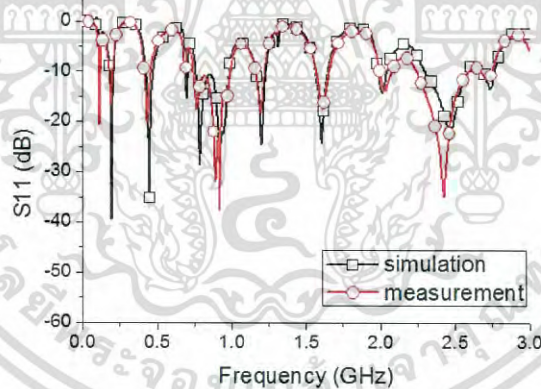
(จ) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น
รูปที่ 4.1 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปีค.ศ. 2012 Huang T-J., Hsu H-T. ได้ออกแบบสายอากาศขนาดกะทัดรัดความถี่คู่สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีโดยเป็นสายอากาศไมโครสตริปสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีความถี่คู่ที่ความถี่ 900-930 MHz และ 2.35-2.5 GHz มีโพลาไรซ์วงกลมโดยการแยกจุดป้อนสัญญาณสำหรับตัวรับและตัวส่ง [17] ความถี่กลางทำงานที่ 910 MHz และ 2.45 GHz การป้อนสัญญาณแบบ 2 เพื่อทำให้เกิดคุณสมบัติโพลาไรซ์วงกลมโดยใช้การป้อนสัญญาณแบบโค้งขยับ มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์เท่ากับ 44 MHz อัตราขยาย 8.2 dBic สำหรับความถี่ 910 and และอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ เท่ากับ 400 MHz อัตราขยายเท่ากับ 8.5 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz

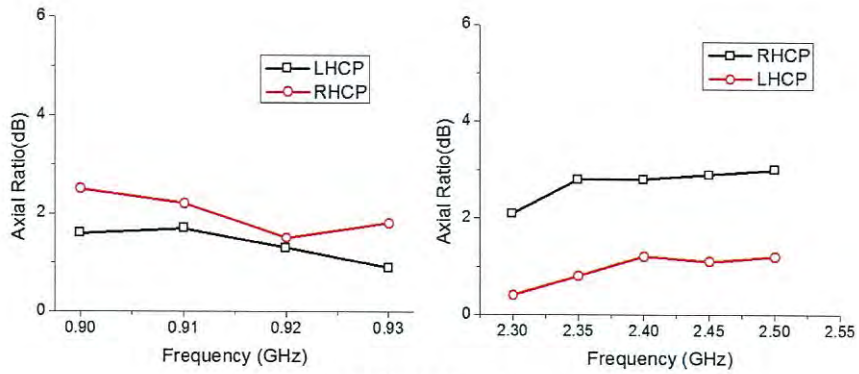


(ก) โครงสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีของ Huang T-J., Hsu H-T.

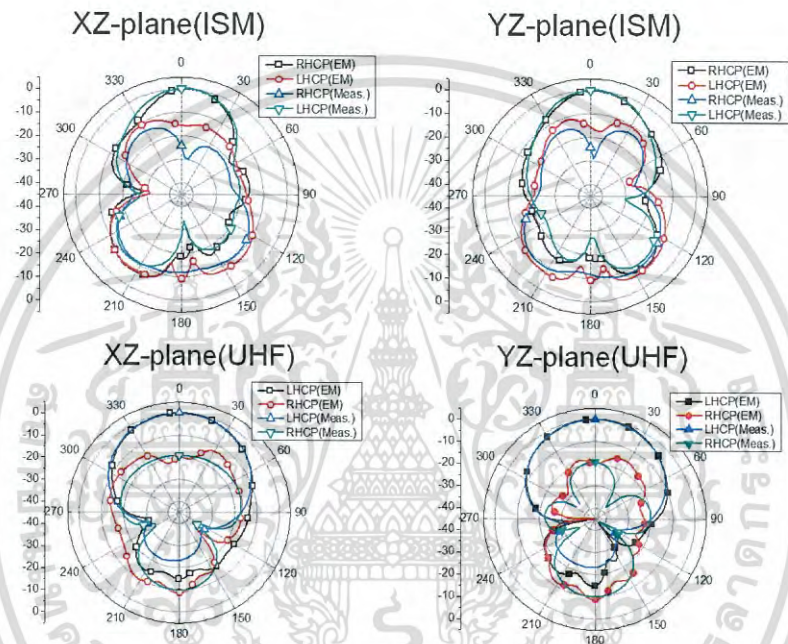


(ข) $|S_{11}|$

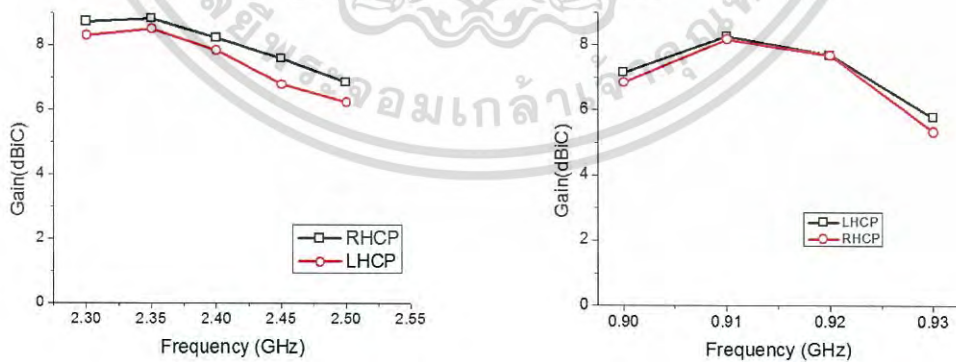
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) อัตราส่วนแกน



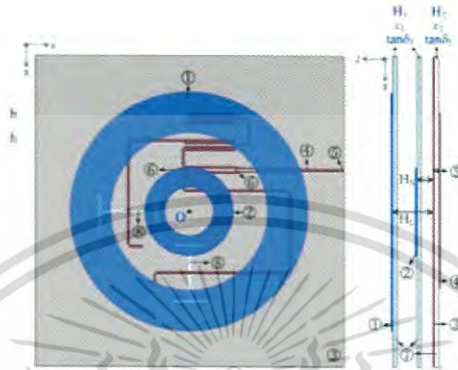
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



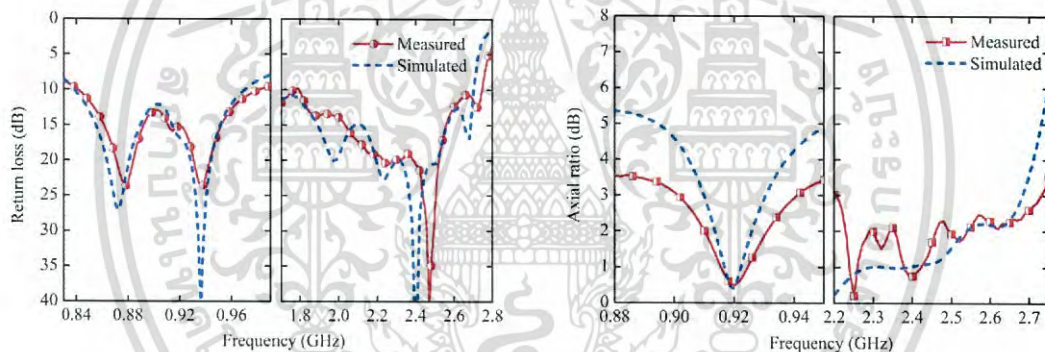
(จ) อัตราขยายและประสิทธิภาพสายอากาศ รูปที่ 4.2 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 2014 Qiang Liu, Junyu Shen et.al. ศึกษาและนำเสนอสายอากาศโพลารไรซ์แบบสองความถี่คู่โดยใช้เทคนิคการป้อนสัญญาณแบบเดี่ยวและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี [20] โดยสายอากาศที่ออกแบบมี 3 ชั้นโดยมีแพตช์สำหรับกระจายคลื่น 2 ชั้นที่ความถี่ 0.92/2.45 GHz RFID มีจุดป้อนสัญญาณเป็นแบบโครงข่ายมี Impedance Bandwidths 15.4% AR bandwidths 4.3% อัตราขยาย 7.2 dBic ที่ความถี่ 920 MHz and Impedance Bandwidths 41.9% AR bandwidths 21.5% อัตราขยายเท่ากับ 8.2 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz

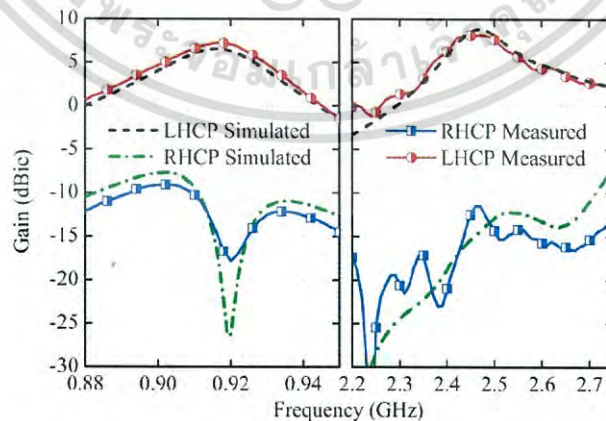


(ก) โครงสร้างสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีของ Qiang Liu, Junyu Shen et.al.



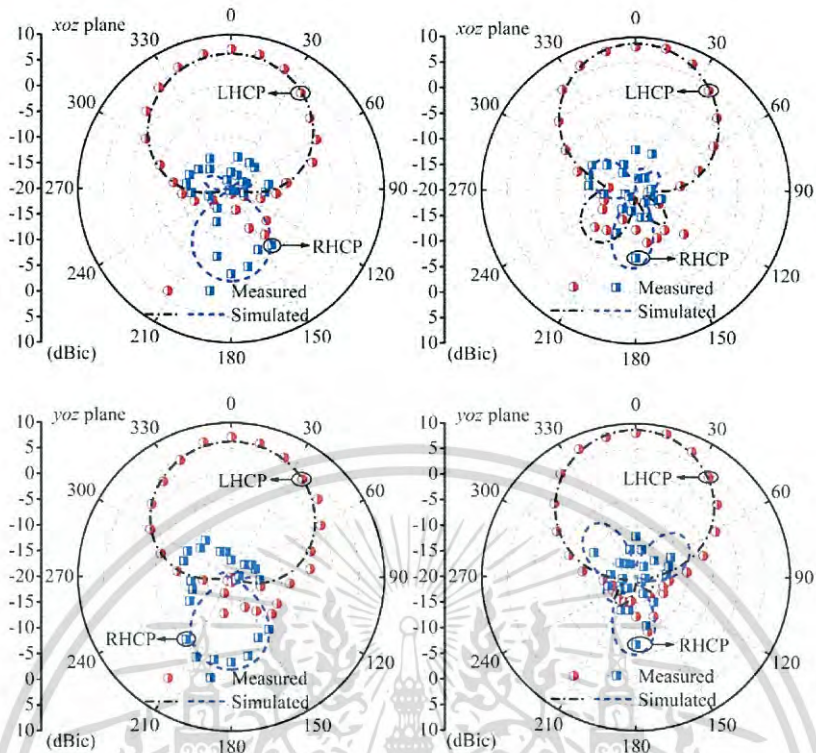
(ข) $|S_{11}|$

(ค) อัตราส่วนแกน



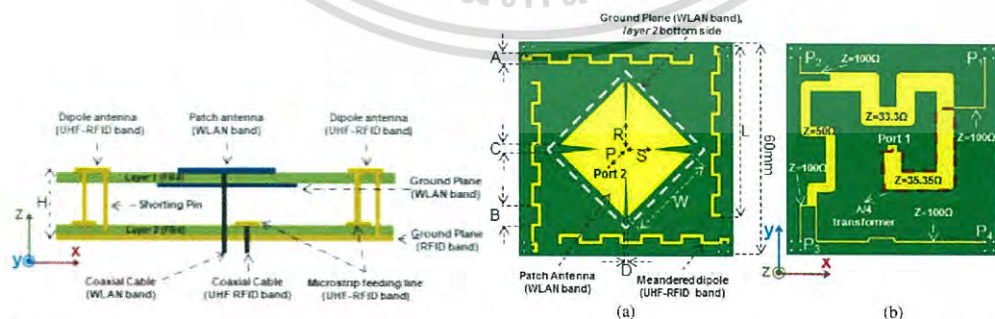
(ง) อัตราขยายและประสิทธิภาพสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



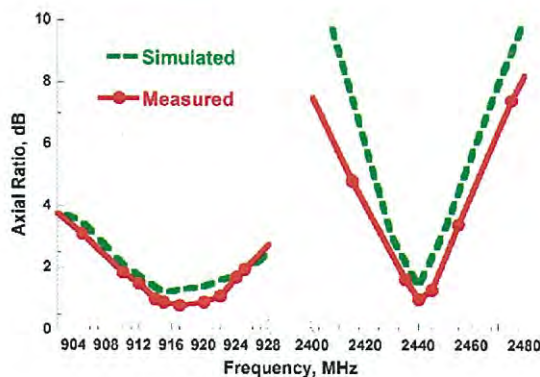
(จ) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น รูปที่ 4.3 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [20]

ในปี ค.ศ. 2014 Caso R., Michel A., Rodriguez-P. M., Nepa P. ออกแบบสายอากาศแบบไม่ซับซ้อนโดยมีโพลาริเซชันแบบวงกลมความถี่คู่และมีสองจุดบ่อนสัญญาณ [21] โดยสายอากาศทำงานย่านความถี่ที่ 915 MHz และ 2440 MHz โดยสายอากาศใช้สำหรับย่านความถี่เอชเอฟของเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและ WLAN สายอากาศประกอบด้วยชั้นสเตรท 2 ชั้นชนิด FR4 และมี 2 ชั้นคู่กับช่องว่าง ที่เป็นอากาศ ซึ่งได้ค่าอัตราส่วนแกนแบนด์วิดท์เท่ากับ (AR BW) 3.1% ที่ความถี่ 920 MHz และ 0.9% ที่ 2.45 GHz



(ก) โครงสร้างสายอากาศสองความถี่โพลาริเซชันวงกลมของ Caso R., Michel A., Rodriguez-P. M., Nepa P.

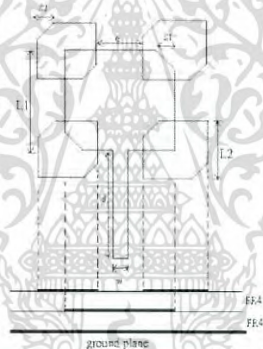
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



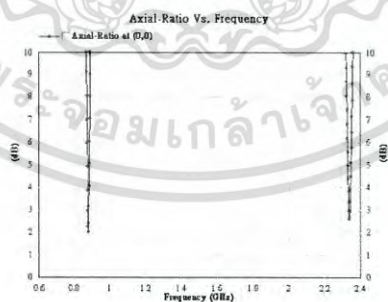
(ค) อัตราส่วนแกน

รูปที่ 4.4 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [21]

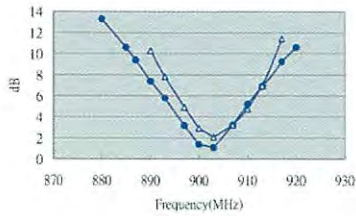
ปี 2007 Chang T.-N., Ni G.-Y. ออกแบบสายอากาศความถี่คู่โพลาไรซ์แบบวงกลมโดยใช้โครงสร้างแบบ QUAD-EMC [22] ทำงานที่ความถี่ 900 MHz and 2.45 GHz เทคนิคในการทำให้เป็นโพลาไรซ์วงกลมโดยใช้การตัดขอบ ร่วมกับการทำงานแบบ a QUAD-EMC ได้ AR Bandwidth 110 MHz ที่ความถี่ 900 MHz



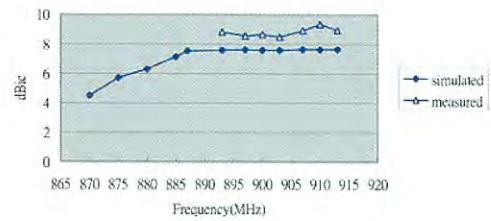
(ก) โครงสร้างสายอากาศความถี่คู่โดยมีโครงสร้างแบบ Quad-EMC ของ Chang T.-N., Ni G.-Y.

(ข) $|S_{11}|$

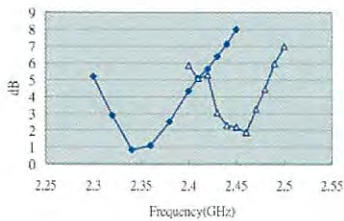
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



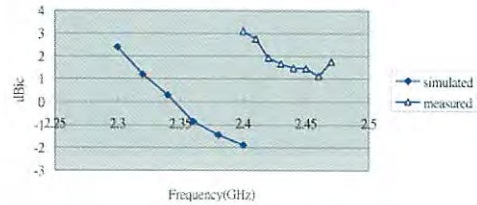
(a)



(a)



(b)



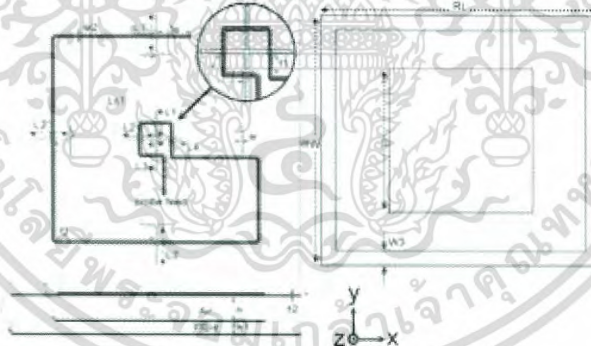
(b)

(ค) อัตราส่วนแกน

(ง) อัตราขยายและประสิทธิภาพ

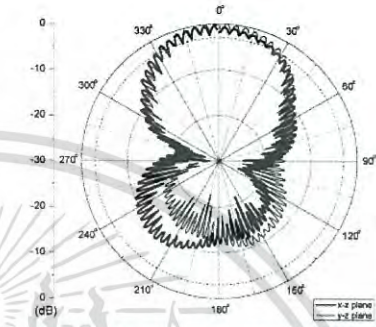
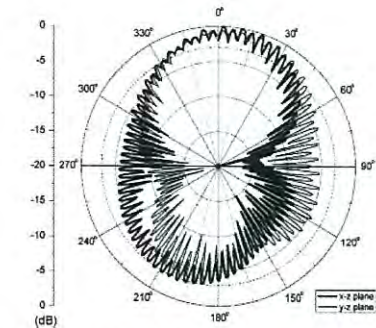
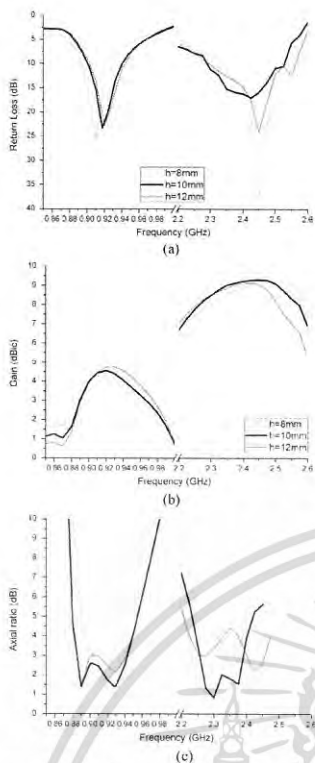
รูปที่ 4.5 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [22]

ปี 2011 Chang T.-N., Lin J. M. สายอากาศแบบช่องเรียงโพลาริซความถี่คู่ ความถี่ 915 MHz และ 2.45 GHz โดยการเจาะช่องเป็นรูปร่างคล้ายเพชร 915 MHz and 2440 MHz (Dual fed CP Serial Aperture-coupled Dual Band Circularly Polarized Antenna) มีค่า Return loss Bandwidth % = 4.5%, และค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์เท่ากับ 500 MHz



(ก) โครงสร้างสายอากาศสองความถี่โพลาริซวงกลมของ Chang T.-N., Lin J. M.

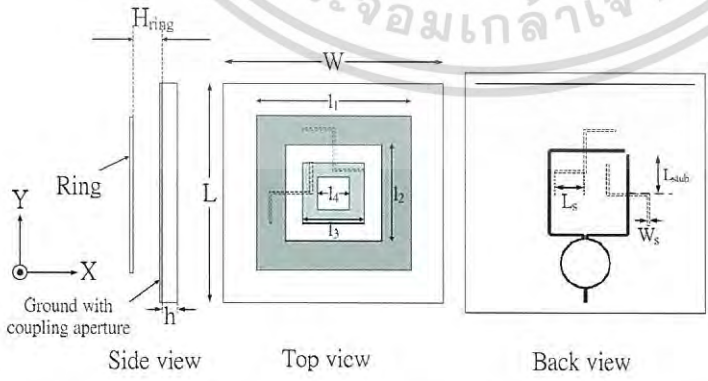
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) $|S_{11}|$ อัตราขยายและอัตราส่วนแกน (ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น
รูปที่ 4.6 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [23]

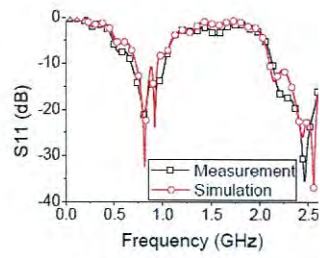
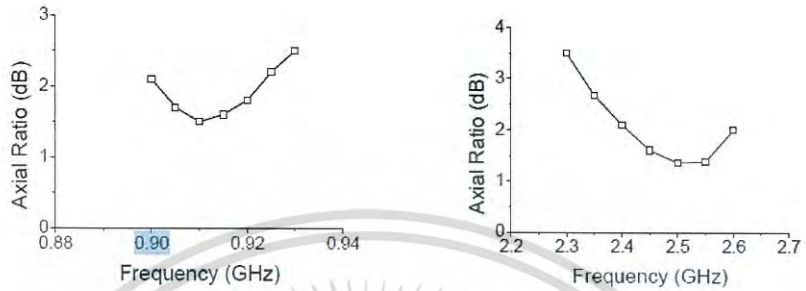
ปี 2012 Hsu H.-T., T.-J. Huang ออกแบบสายอากาศที่มี 2 จุดป้อนสัญญาณ ทำงานที่ความถี่ 920 MHz และ 2.45 GHz โดยใช้เทคนิคในการเจาะร่องสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (Two port feeding with cross slot on patch for useful the current flows in perpendicular directions Aperture-coupled Dual-band Circularly Polarized Antenna for RFID Reader Applications)

ซึ่งได้อัตราขยายอยู่ที่ 6.6 dBi ที่ความถี่ 920 MHz และอัตราขยาย 7.9 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz

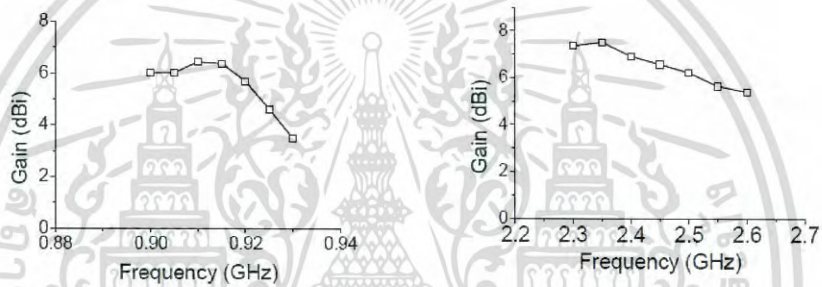


(ก) โครงสร้างสายอากาศสองความถี่โพลาไรซ์วงกลมของ Hsu H.-T., T.-J. Huang

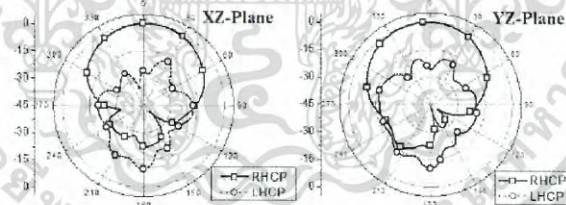
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) $|S_{11}|$ 

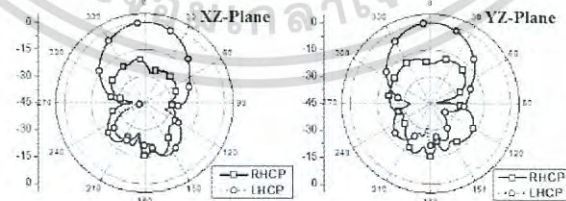
(ข) อัตราส่วนแกน



(ค) อัตราขยาย



(a)



(b)

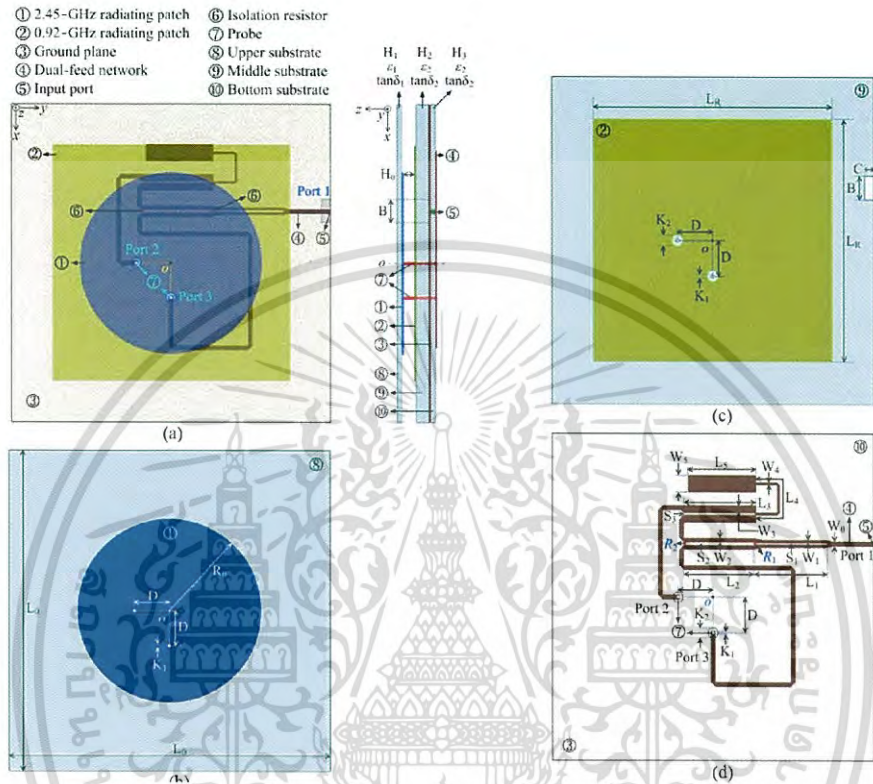
Figure 6. The measured radiation patterns of the antenna at (a) UHF band and (b) microwave band.

(ง) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

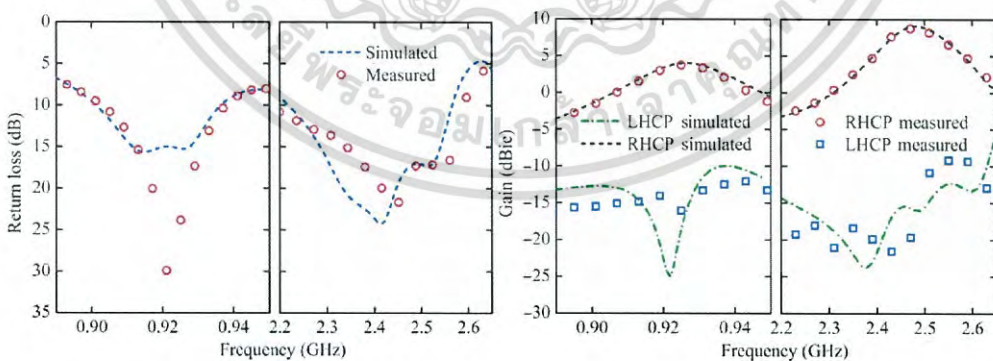
รูปที่ 4.7 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 2015 Liu Q., J. Shen., J. Yin., H. Liu., Y. Liu ได้ทำการศึกษาสายอากาศไมโครสตริป ความถี่คู่แบบทิศทางเดียวที่ความถี่ 0.92/2.45-GHz โดย มี Impedance Bandwidths 44 MHz อัตราขยาย 6 dBi ที่ 920 MHz และ Impedance Bandwidths 400 MHz อัตราขยาย 7 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟเอไอดีแต่จะเห็นว่าการออกแบบมีโครงสร้างที่ซับซ้อน



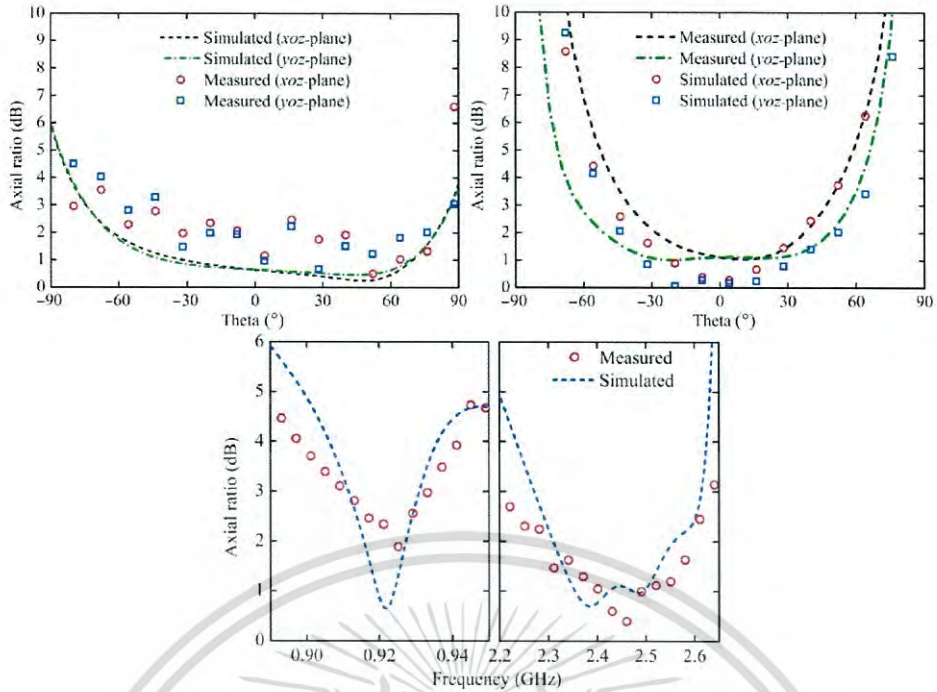
ก) โครงสร้างสายอากาศสองความถี่โพลาไรซ์วงกลมของ Liu Q., J. Shen., J. Yin., H. Liu., Y. Liu



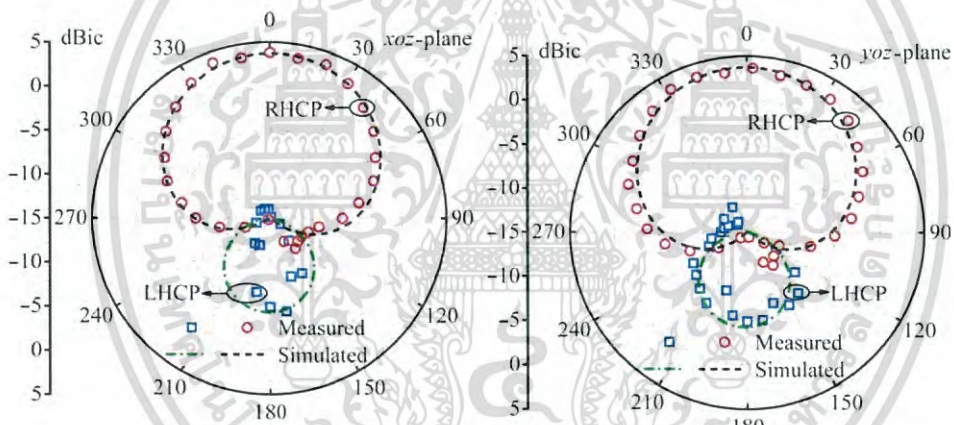
(ข) $|S_{11}|$

(ค) $|S_{11}|$ อัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) อัตราส่วนแกน



(จ) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

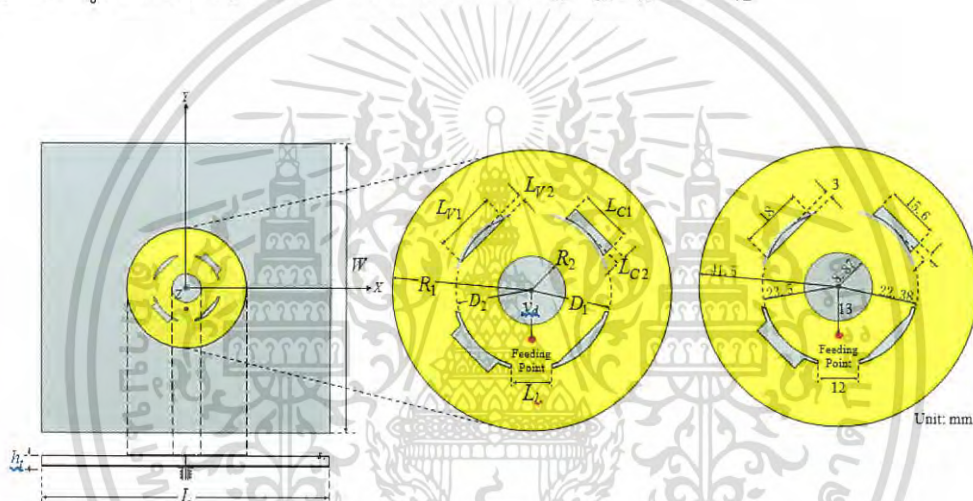
รูปที่ 4.8 สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [25]

หลังจากศึกษาและทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียและคุณสมบัติทางไฟฟ้าทำให้พบว่าการศึกษายานอากาศแบบจุดบ่อนสัญญาณเดียวและความซับซ้อนน้อยเป็นเรื่องที่น่าสนใจและเมื่อคำนึงถึงคุณสมบัติของโพลาริซวงกลมซึ่งมีข้อดีดังกล่าวก่อนหน้านี้นำมาทำงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่สายอากาศความถี่คู่มือที่มีโพลาริซวงกลมที่มีความซับซ้อนน้อยสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สายอากาศสองย่านความถี่โพลาริซวงกลมแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูน สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีและการวิเคราะห์ผล

สำหรับสายอากาศโครงสร้างเบื้องต้นนั้น การออกแบบสายอากาศแพตช์ได้ถูกเลือกมาใช้ เพราะคุณสมบัติดังกล่าวมาให้บทก่อนหน้าก็คือมีโครงสร้างแบนราบ น้ำหนักเบา วัสดุที่ใช้ผลิตมีราคาถูก นอกจากนี้สายอากาศไมโครสตริปยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายแก่นักวิจัยและนักพัฒนาเป็นอย่างมาก สำหรับสายอากาศแพตช์โครงสร้างพื้นฐานหรือสายอากาศแพตช์ชั้นเดียว ประกอบด้วยแผ่นตัวนำจำนวนสองแผ่นวางขนานกันโดยมีวัสดุฐานรองคั่นกลางระหว่างแผ่นตัวนำด้านบนกับแผ่นตัวนำด้านล่าง ในส่วนแผ่นตัวนำด้านบนจะมีขนาดที่เล็กกว่าแผ่นตัวนำอีกด้านซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นสำหรับแผ่นตัวนำที่มีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่าระนาบกราวด์ดังรูปที่ 4.1 โดยแพตช์สายอากาศเป็นรูปวงกลมมีรัศมีภายนอกเท่ากับ R_2 และมีระนาบกราวด์เป็นรูปสี่เหลี่ยมกว้าง 200 mm โดยเจาะร่องตรงกลางรัศมีเท่ากับ R_2 ซึ่งพบว่าแพตช์บริเวณนี้ไม่มีผลกับสายอากาศ การเจาะร่องมีขนาดเท่ากับ D_1, D_2 ตามลำดับ การเกิดโพลาริซเกิดจากการตัดขอบ เป็นแกนเว้าจากรัศมี D_1 และ นูนจากรัศมี D_2 โดยการศึกษาพารามิเตอร์ L_{C1}, L_{C2}, L_{V1} and L_{V2}



รูปที่ 4.9 โครงสร้างของสายอากาศ

($h_t = 1.524\text{ mm}$, $W = 200$, $L = 200$, $\epsilon_r = 4.3$)

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (mm)
L_g	ความกว้างและความยาวของระนาบกราวด์	200
R_1	รัศมีความยาววงนอกของแพตช์หลัก	41.5
R_2	รัศมีความยาววงในของแพตช์หลัก	8.87
D_1	รัศมีร่องเจาะภายนอกของแพตช์	23.5
D_2	รัศมีร่องเจาะภายในของแพตช์	22.38
L_1	ความกว้างที่เชื่อมระหว่างวงนอกและวงใน	12
L_{V1}	ความยาวของร่องโค้งเว้า	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L_{V2}	ความกว้างของร่องโค้งเว้า	3
L_{C1}	ความยาวของร่องโค้งนูน	15.6
L_{C2}	ความกว้างของร่องโค้งนูน	4
Y_d	ความยาวจากจุดศูนย์กลางของแพตช์ ของจุดป้อนสัญญาณ	13
W	ความกว้างของระนาบกราวด์	200
L	ความยาวของระนาบกราวด์	200

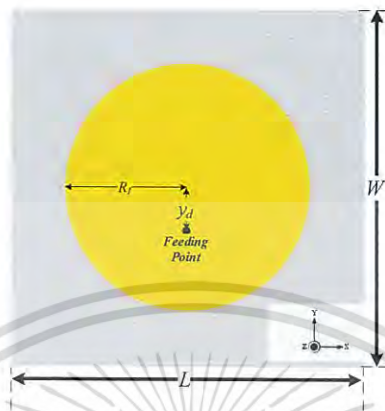
ในการออกแบบสายอากาศสองย่านความถี่คือความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟนั้น เนื่องจากความถี่สองความถี่นี้เป็นย่านความถี่ที่ค่อนข้างห่างกันมากเมื่อดังนั้นเมื่อคำนึงถึงจุดประสงค์ของสายอากาศที่ต้องการออกแบบให้ไม่ซับซ้อน และเป็นโพลาริซวงกลมจึงเป็นงานท้าทายในการออกแบบในขั้นแรกได้คำนวณตัวกระจายสัญญาณแบบวงกลมที่มีระนาบกราวด์เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีรัศมีภายนอกเท่ากับ (R_1) ให้ทำงานที่ความถี่กลาง 922.5 Mhz และเพื่อให้ได้ความถี่ที่สองซึ่งมีความถี่เรโซแนนซ์ โดยการเจาะร่องวงกลมรัศมี D_1 and D_2 ตามลำดับหลังจากนั้นทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ L_1 เพื่อให้ได้ความถี่ที่ 2.45 GHz สำหรับลำดับที่สองเพื่อให้ได้โพลาริซวงกลมได้ ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคในการตัดขอบของวงกลมที่รัศมี D_1 ของแพตช์สายอากาศทำให้เกิดร่องโค้งเว้า โดยทำการศึกษาค่าของ L_{C1} และ L_{C2} และตัดขอบของรัศมีวงกลม D_2 เป็นรูปร่องโค้งนูนโดยทำการปรับค่า L_{t1} และ L_{t2} เพื่อศึกษาผลกระทบต่าง ๆ จากการศึกษาข้างต้นทำให้ได้ค่าความถี่ที่ต้องการและคุณสมบัติของโพลาริซวงกลม หลังจากนั้นเพื่อให้ได้แกนของสายอากาศที่ดีและเป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียวได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของกราวด์และแผ่นสะท้อนรวมถึงช่องว่างระหว่างสายอากาศและแผ่นสะท้อนเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีของสายอากาศดังจะกล่าวเป็นลำดับต่อไปนี้

4.3.1 สายอากาศโครงสร้างเริ่มต้น

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของแผ่นตัวนำของสายอากาศไมโครสตริบเบื้องต้น ถ้ามีเพียงโหมดหลักจะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบตรงไปในทิศทางเดียว และมีการโพลาริซแบบเชิงเส้น แต่ถ้าหากสายอากาศนั้นถูกกระตุ้นด้วยโหมดอันดับสูง เช่น โหมด 21 31 41 เป็นต้น จะส่งผลให้สายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบลำคลื่นรูปกรวยได้ และจากการศึกษาข้อมูลในงานวิจัย (J. Huang. (1984) ที่ผ่านมามาให้ทราบว่า แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสำหรับโหมดที่สูงขึ้นนั้นจะมีลักษณะของรูปกรวยที่แตกต่างกัน โดยมุมของลำคลื่นขนาดสูงสุดจะแตกต่างกันตามโหมดที่ถูกกระตุ้น กล่าวคือ เมื่อกระตุ้นด้วยโหมดอันดับที่สูงขึ้นจะทำให้มุมของลำคลื่นที่มีขนาดสูงสุดหรือลำคลื่นหลักมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ลำคลื่นที่มีขนาดสูงสุดนั้นขึ้นไปในทางแนวระนาบแนวอนมากขึ้น อีกทั้งถ้ายังถูกกระตุ้นด้วยโหมดอันดับสูงความกว้างของลำคลื่นของสายอากาศที่เป็นการโพลาริซวงกลมก็มีขนาดแคบลง สำหรับกลไกการเกิดโพลาริซวงกลมสามารถทำได้หลายเทคนิค เช่น โดยใช้เทคนิคการกระตุ้นด้วยจุดป้อนที่มากกว่าหนึ่งจุดขึ้นไปบนแผ่นตัวนำวงกลม แต่สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ได้เลือกแบบหนึ่งจุดป้อนและใช้เทคนิคในการเจาะร่องเพื่อทำให้เกิดโพลาริซวงกลม โดยจุดป้อนสัญญาณจะเป็นจุดป้อนที่มีตำแหน่งของระยะห่างระหว่างจุดป้อนและมุมระหว่างจุดป้อนที่เหมาะสม เพื่อกำจัดโหมดข้างเคียงโหมดเรโซแนนซ์และเพื่อให้ลำคลื่นมีความสมมาตรและมีโพลาริซไคว์ดำวิธีการกระตุ้นสายอากาศไมโครสตริบวงกลมมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน สำหรับวิธีที่ได้รับความนิยมนั้นได้แก่ เส้นไมโครสตริบโพรบโคแอกเซียล (Microstrip line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

coaxial probe) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 สำหรับการกระตุ้นด้วยโพรบโคแอกเซียลนั้น ตัวนำด้านในสายโคแอกเซียลจะเชื่อมต่อกับแผ่นตัวนำที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่น และตัวนำด้านนอกจะเชื่อมต่อระนาบกราวด์ ตัวป้อนแบบโพรบโคแอกเซียลสามารถสร้างและแมตช์ได้ง่ายเช่นกัน แต่จะมีการแพร่กระจายคลื่นรบกวนที่ต่ำและมีช่วงกว้างความถี่แคบ ซึ่งทำให้วิธีนี้จะมีลักษณะโครงสร้างที่ไม่สมมาตรและทำให้เกิดโหมดลำดับสูงและมีการโพลาริไซซ์ไขว้เกิดขึ้น



รูปที่ 4.10 สายอากาศโครงสร้างพื้นฐาน

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \left(\frac{3 \times 10^8}{925 \times 10^6} \right) = 0.324 \text{ m} \quad (4.1)$$

ในการออกแบบสายอากาศเริ่มต้นนั้นสำหรับการคำนวณค่าเริ่มต้นของตัวกระจายคลื่นแบบวงกลมตามสมการที่ 4.2 และ 4.3 ได้ค่าเริ่มต้นที่ 44 mm ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นในการนำไปศึกษาและทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม CST microwave program [26] ส่วนระนาบกราวด์คำนวณค่าเริ่มต้นโดยได้ค่าความกว้างความยาวที่ $W \times L$ ที่ 20×20 cm สำหรับค่าคงที่ของซึบสเทท (FR4) มีค่าไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 ความสูง $h = 1.524$ mm โดยใช้ค่าความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 922.5 MHz

กำหนดค่าความถี่ที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอเดียเอชเอฟสากลมีความถี่เริ่มต้นที่ 925 MHz โดยมีค่าความถี่กลางเท่ากับ 922.5 MHz ตามมาตรฐานของประเทศไทย

λ_0 คือ ค่าความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระ

c คือ ความเร็วแสงในช่องว่างอิสระ

ดังนั้น

$$R = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (4.2)$$

โดยที่

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R รัศมีของแพตช์

ϵ_r = คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

f_r = ความถี่กลาง (Hz)

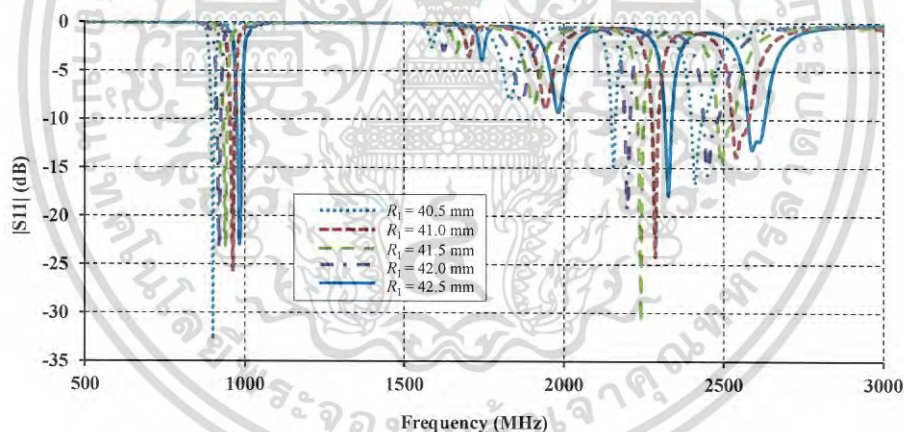
h = ความสูง (cm)

จากการคำนวณจึงได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสายอากาศแพตช์ แสดงดังรูปที่ 4.10 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศแบบแผ่นระนาบแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแพตช์เริ่มต้น

พารามิเตอร์	ขนาดทางกายภาพที่ความถี่ 925 MHz (mm)
$W \times L$	160 × 160
R	44
h	1.524
f	925
f_r	922.5

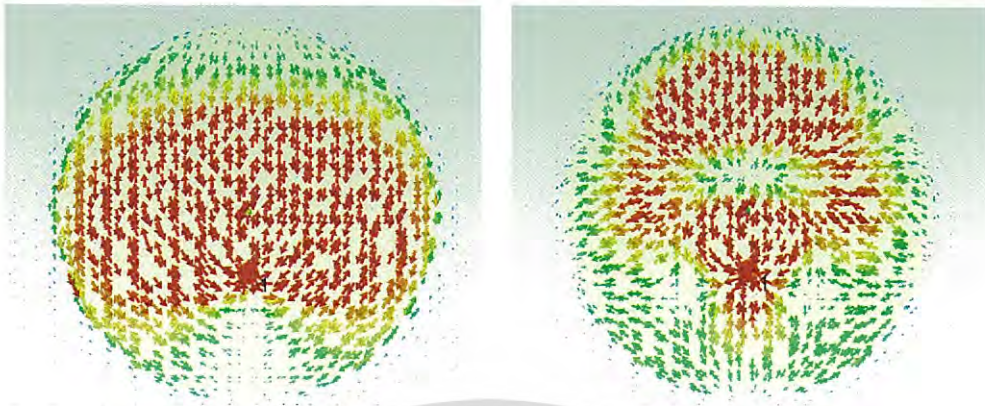
เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแพตช์ดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 ไปจำลองเป็นสายอากาศเริ่มต้น ซึ่งทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง (R_1) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของแพตช์ (R_1) ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ (R_1) ระหว่างความกว้าง ของสายอากาศกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยในการจำลองสายอากาศแบบแผ่นระนาบกำหนดให้ระนาบกราวด์มีขนาด ความยาว (L) เท่ากับ 200 mm และค่าความกว้าง (W) เท่ากับ 200 mm และมีจุดบ่อนสัญญาณที่ x , เท่ากับ 0 mm และ y , เท่ากับ 13 mm พบว่าความกว้าง (L_1) ของสายอากาศ ส่งผลต่อค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศเป็นอย่างมาก และจะสังเกตได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มเดียวกัน

กับค่าที่ได้จากการจำลองผล ดังนั้นในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศจึงใช้การจำลองผล เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศ



(ก) ความถี่ 922.5 MHz

(ข) ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.12 การไหลของกระแสที่คาบเวลาต่าง ๆ ที่ความถี่ 922.5 MHz (ก) ความถี่ 2.45 GHz (ข) ของสายอากาศเริ่มต้น

จากรูป 4.12 (ก) แสดงทิศทางการไหลการกระจายของกระแสที่ความถี่ 922.5 MHz และรูปที่ 4.12 (ข) ที่ความถี่ 2.45 GHz โดยจะพบว่ามีความหนาแน่นของกระแสที่ความถี่ 922.5 MHz อยู่บริเวณกึ่งกลางของแพตช์ และที่ความถี่ 2.45 GHz ความหนาแน่นการกระจายของกระแสจะอยู่ที่บริเวณด้านบนของแพตช์

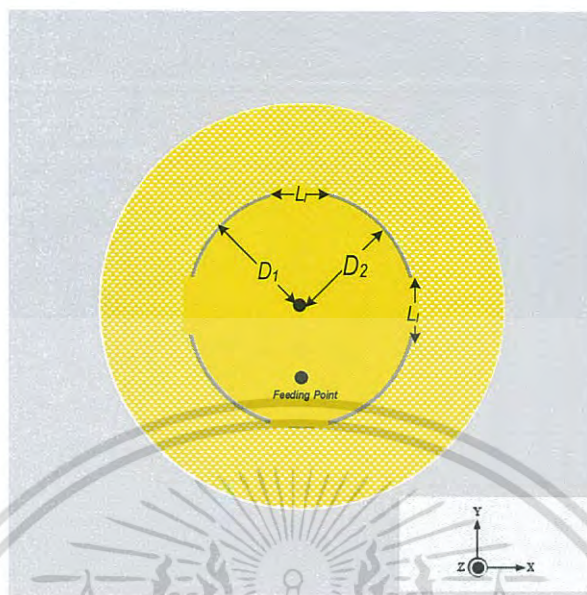
เมื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างเริ่มต้นของสายอากาศแพตช์แสดงดังรูปที่ 4.12 จะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตาราง 4.2 และเมื่อนำไปจำลองสายอากาศเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของสายอากาศจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแพตช์ พบว่าผลที่ได้จากการจำลองคือ $|S_{11}|$ แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศแพตช์ในช่วงที่ความถี่ใช้งานมีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2450 MHz

4.3.2 การออกแบบสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมความถี่คู่ร่วมกับร่องโค้งเว้า และร่องนูน

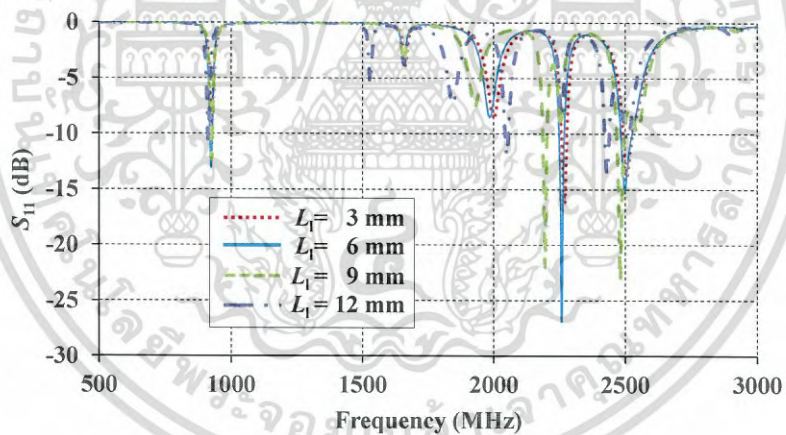
ในการออกแบบค่าองค์ประกอบต่างๆ ของสายอากาศเพื่อหาจุดบ่อนสัญญาณที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและได้ความถี่ตามความต้องการในการออกแบบแล้วต่อมาได้ศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศเพื่อให้เป็นโพลาริซวงกลมความถี่คู่ได้ทำการจำลองโดยใช้การศึกษาจากโปรแกรมจำลอง CST Microwave Studio software เพื่อให้ได้มาซึ่งสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับโดยคำนึงถึงให้ได้ค่าต่ำกว่า -20 dBi ดังนั้นจึงทำการเจาะร่องซึ่งมีรัศมีเท่ากับ D_1 และ D_2 โดยให้มีความกว้างของตัวเชื่อมระหว่างวงแหวนด้านนอกและวงแหวนด้านในเพื่อให้สามารถนำกระแสระหว่างวงแหวนด้านนอกและวงแหวนด้านในได้ โดยมีรัศมีเท่ากับ L_1 ซึ่งผลจากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข) (ค) และ (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1 รัศมีของแผ่นระนาบ (R_1 R_2 D_1 D_2) ความสูงแพตช์ (h_1) ในการจำลองสายอากาศที่ความถี่ 922.5 MHz & 2450 MHz

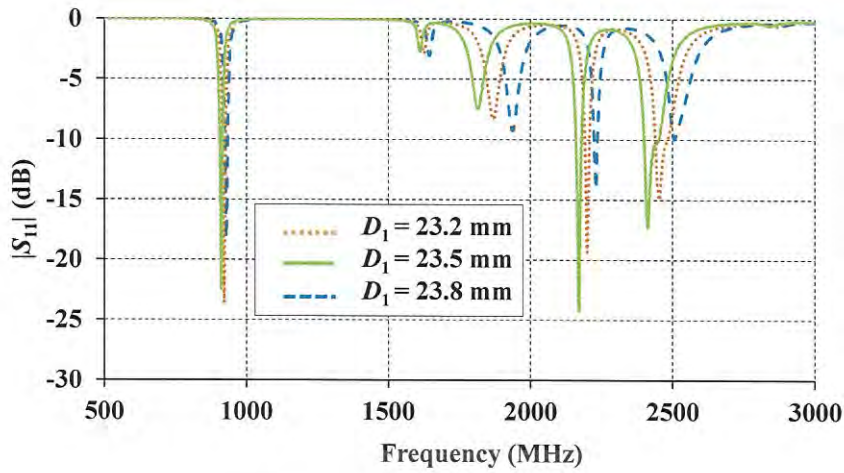


(ก)

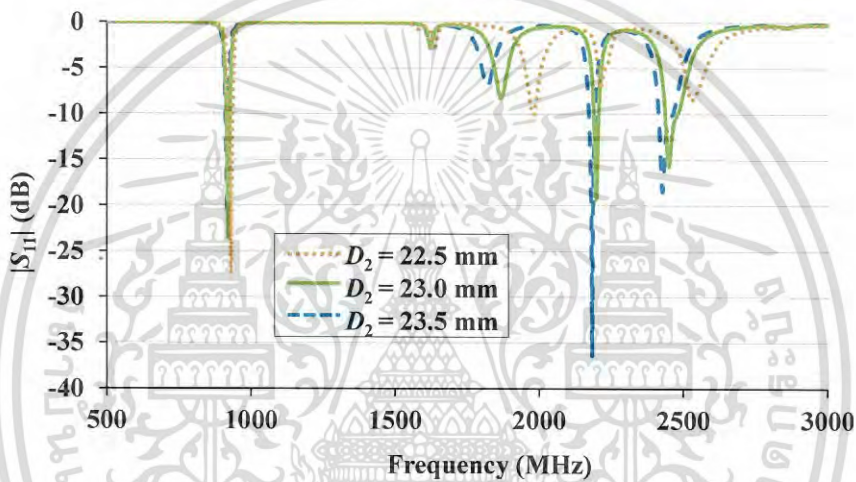


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



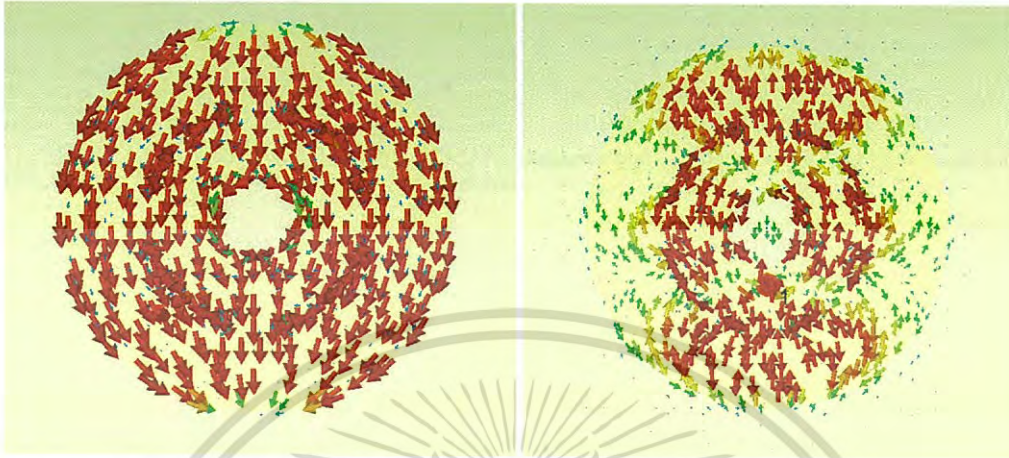
(ง)

รูปที่ 4.13 (ก) สายอากาศเริ่มต้นเพื่อศึกษาที่ความถี่ 2450 MHz (ข) ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อทำการปรับค่าความยาว L_1 (ค) ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อทำการปรับค่า D_1 (ง) ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อทำการปรับค่า D_2

จากการศึกษาพบว่าในการปรับเพื่อให้ได้ความถี่ 2450 MHz ค่าความยาวของตัวแปร D_1 D_2 และ L_1 มีผลการต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดังกราฟรูปที่ 4.13 (ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ โดยผลการจำลองในรูปที่ 4.13 (ข) แสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อปรับค่าของ L_1 และลดระยะลงหรือเพิ่มระยะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการแมตซ์อิมพีแดนซ์มากและทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงไปบ้างจะมีผลกระทบกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของความถี่สูง 2.45 GHz มากกว่าที่ความถี่ต่ำที่ 925 MHz แต่ที่แถบความถี่ด้านสูง โดยที่ความกว้างของแบนด์วิดธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ถ้า L_1 ลดต่ำลงจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ด้านแถบความถี่ต่ำเลื่อนต่ำลงเพียงเล็กน้อย ขณะที่ด้านแถบความถี่สูงก็จะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำผลการจำลองทั้งสองภาพ คือ รูปที่ 4.13 (ข) (ค) และ (ง) มาวิเคราะห์พบว่าควรปรับขนาดของระยะ D_1 และ D_2 ทางการเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.12 มิลลิเมตร และขนาดของ L_1 เท่ากับ 12 มิลลิเมตร โดยคุณลักษณะเฉพาะดังกล่าวของสายอากาศแสดงให้เห็นได้ว่า แบนด์วิดท์ที่แถบความถี่ต่ำครอบคลุม ที่ 920-925 MHz และที่แถบความถี่สูงมีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.40-2.48 GHz ซึ่งยังไม่สามารถครอบคลุมทุกย่านความถี่ของเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีมาตรฐานที่ต้องการ



(ก) ความถี่ 922.5 MHz

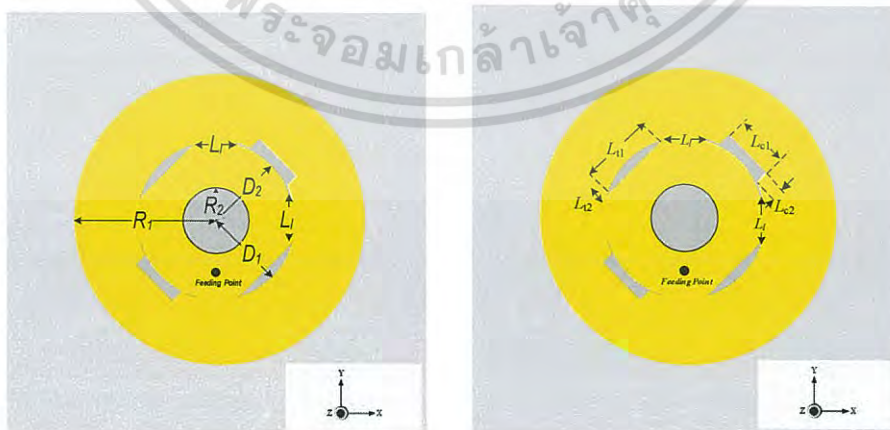
(ข) ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 4.14 การไหลของกระแสที่คาบเวลาต่าง ๆ ที่ความถี่ 922.5 MHz (ก) ความถี่ 2.45 GHz (ข) เมื่อเจาะร่องของสายอากาศ

จากรูป 4.14 (ก) แสดงทิศทางการไหลการกระจายของกระแสที่ความถี่ 922.5 MHz และรูปที่ 4.14 (ข) ที่ความถี่ 2.45 GHz โดยจะพบว่ามีความหนาแน่นของกระแสพื้นผิวที่ความถี่ 922.5 MHz อยู่บริเวณทั่วทั้งแพตช์ และที่ความถี่ 2.45 GHz ความหนาแน่นการกระจายของกระแสจะอยู่ที่บริเวณด้านตรงกลางของแพตช์

4.3.2.2 ร่องโค้งเว้าและนูนของสายอากาศ (Convex slots and Concave slots

circular)



(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 สายอากาศเบื้องต้นทำการเจาะร่องไว้และนูนของสายอากาศ

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของโพลาริซวงกลม มีเทคนิคมากมายดังกล่าวมาแล้วในบทข้างต้น แต่สำหรับสายอากาศต้นแบบนี้ได้ใช้เทคนิคในการเจาะร่องไว้และนูนของสายอากาศโดยมีความยาวเท่ากับ L_{t1} L_{t2} L_{c1} และ L_{c2} และทำการศึกษา คุณสมบัติของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเพื่อให้ได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการและศึกษาค่าอัตราส่วนแกนเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติของโพลาริซวงกลมดังแสดงในกราฟ รูปที่ 4.15 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) ซึ่งพบว่าค่า L_{c2} มีผลต่อค่าอัตราส่วนแกนมากที่สุด

อัตราส่วนแกน (Axial ratio: AR) คือการบ่งบอกถึงลักษณะการโพลาริซของสายอากาศในลักษณะแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น โพลาริซเชิงเส้น หรือโพลาริซวงกลม นอกจากนี้อัตราส่วนแกนยังสามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดและเฟสของสนามไฟฟ้า สำหรับอัตราส่วนตามแกนของโพลาริซสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 4.4 และสมการที่ 4.5

$$(AR)_{dB} = 10 \log \left[\frac{|E_{co}| + |E_{xp}|}{|E_{co}| - |E_{xp}|} \right]^2 \quad (4.4)$$

หรือ

$$(AR)_{dB} = 20 \log \left[\frac{1 + CPL}{1 - CPL} \right] \quad (4.5)$$

เมื่อ E_{co} คือ โพลาริซร่วมของสนามไฟฟ้า E_{xp} คือ โพลาริซไขว้ของสนามไฟฟ้า CPL คือ ระดับกำลังงานโพลาริซไขว้ (Cross-polarization level)

$$CPL = \frac{|E_{xp}|}{|E_{co}|} = \frac{|1 - Ae^{j\Delta\phi}|}{|1 + Ae^{j\Delta\phi}|} \quad (4.6)$$

เมื่อ

$$E_{co} = (1 + Ae^{j\Delta\phi}) / \sqrt{2} \quad (4.7)$$

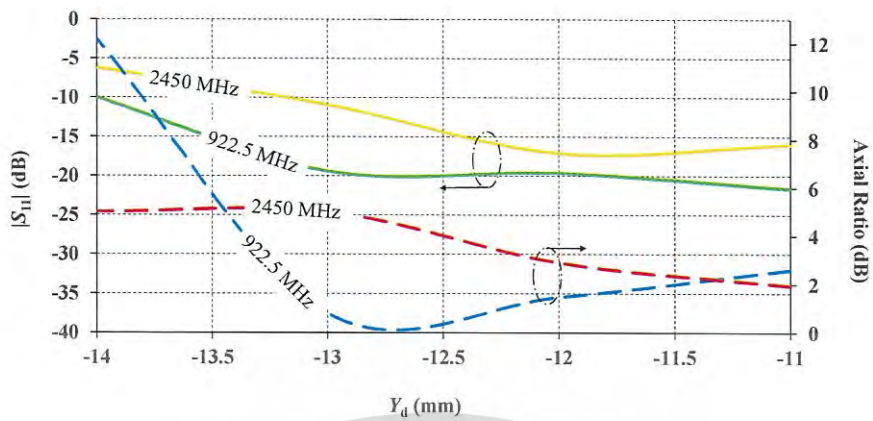
และ

$$E_{xp} = (1 - Ae^{j\Delta\phi}) / \sqrt{2} \quad (4.8)$$

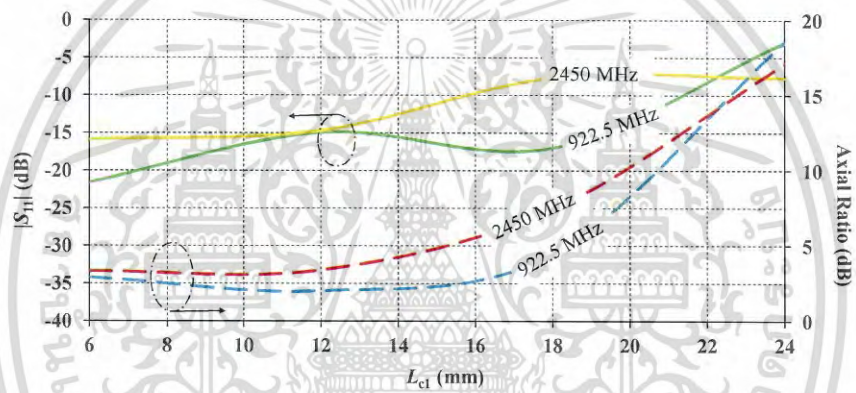
โดยที่ A หรือ E_{xp0}^+ คือ ขนาดของสนามไฟฟ้า $e^{j\Delta\phi}$ หรือ $e^{j(\omega t - \beta z)}$ คือ เฟสของสนามไฟฟ้า

เพื่อศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ จึงได้ทำการทดลองเปลี่ยนชนิดของวัสดุฐานรองโดยการเลือกวัสดุฐานรองที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่างๆ พบว่าที่ค่าไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.3 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและค่าอัตราส่วนแกนดีที่สุดนอกจากนี้ยังได้มีการปรับค่าความสูง ดังรูปที่ 4.16 (ฉ) พบว่าที่ความสูงของวัสดุฐานรองที่ $h=1.5$ mm มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและค่าอัตราส่วนแกนดีที่สุด รูปที่ 4.16 (ช) เป็นการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและค่าอัตราส่วนแกนเมื่อทำการปรับค่าความยาวและความกว้างในการจำลองสายอากาศแบบแผ่นระนาบ โดยกำหนดให้ระนาบกราวด์มีขนาดเริ่มต้นที่ ความยาว (L) เท่ากับ 200 mm และค่าความกว้าง (W) เท่ากับ 200 mm และทำการปรับค่าเพื่อทดสอบพบว่าเมื่อปรับวาระนาบกราวด์จะมีผลต่อ

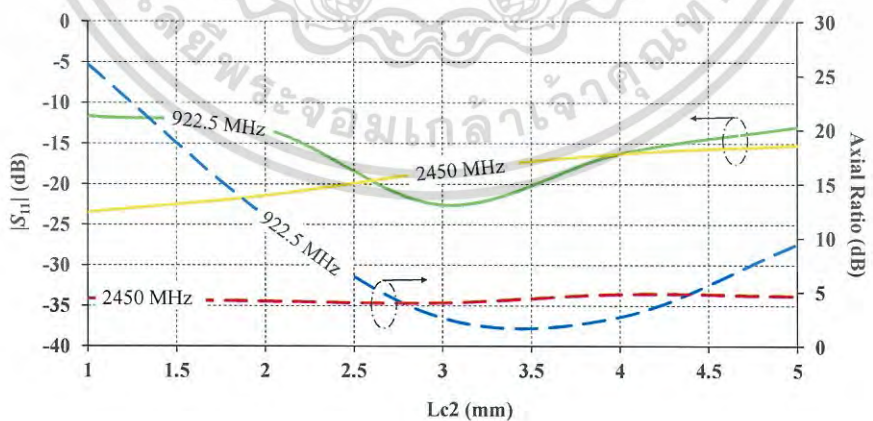
สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับน้อยมากและมีอัตราส่วนแกนที่ดีที่สุดเมื่อความกว้างและความยาวของ
ระนาบกรวดอยู่ที่ 200x200 mm



(ก)

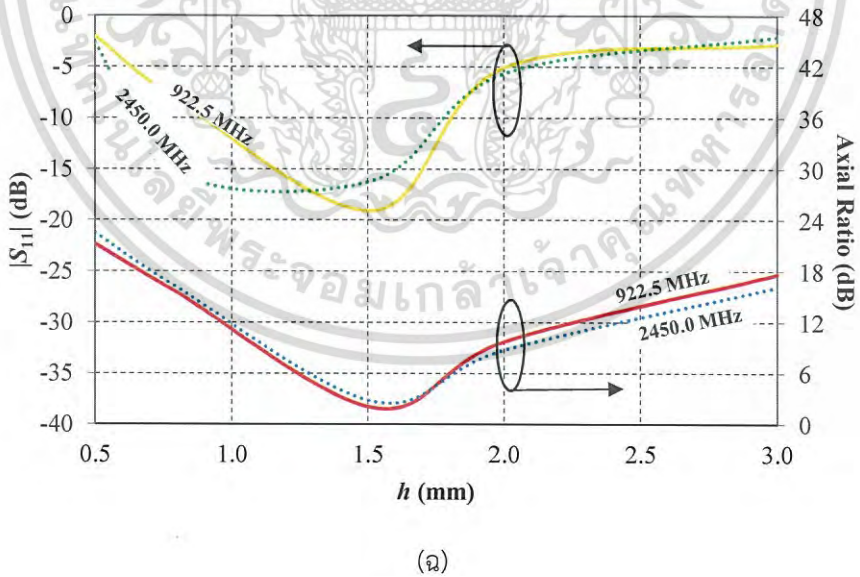
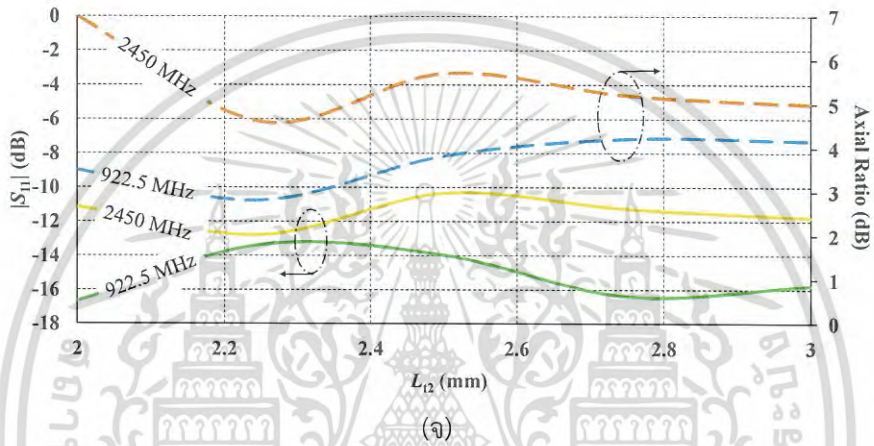
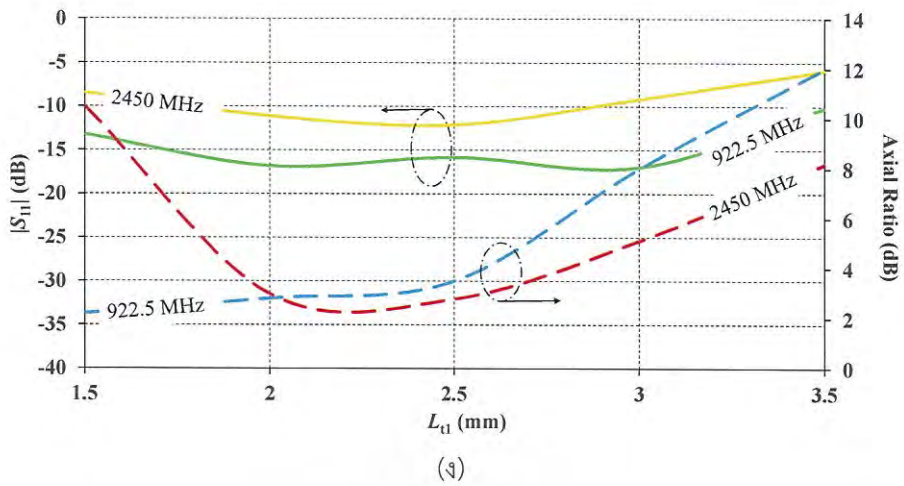


(ข)

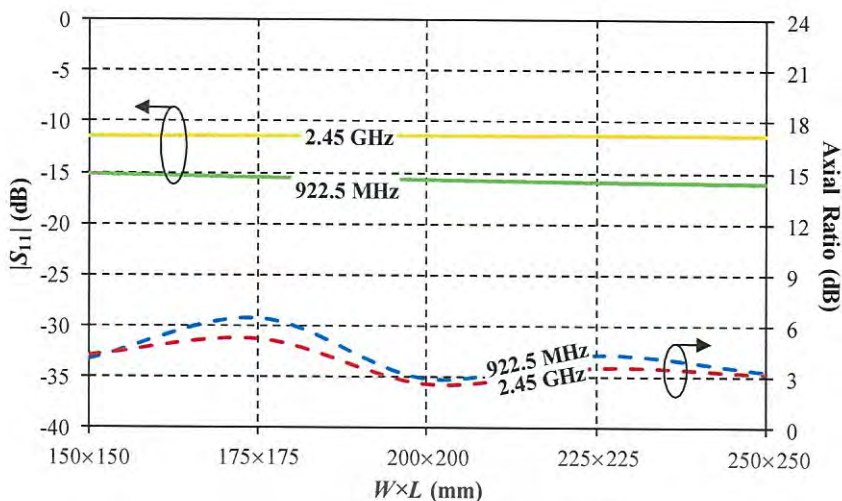


(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



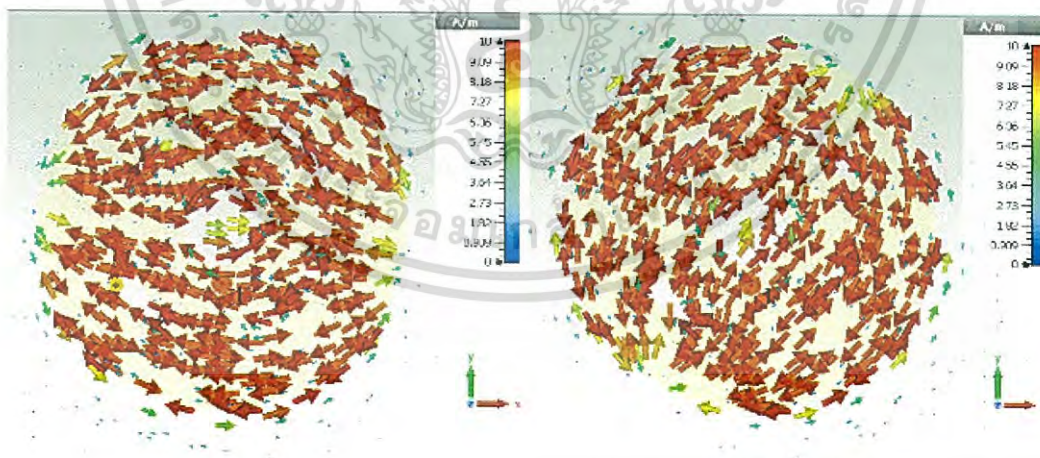
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลของการศึกษาโพลาไรซ์วงกลมเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า $Y_d, L_{t1}, L_{t2}, L_{c1}, L_{c2}, \epsilon_r, h$ และ $W \times L$ โดยได้กราฟความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและอัตราส่วนแกนตั้งรูป (ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ) และ (ช) ตามลำดับ

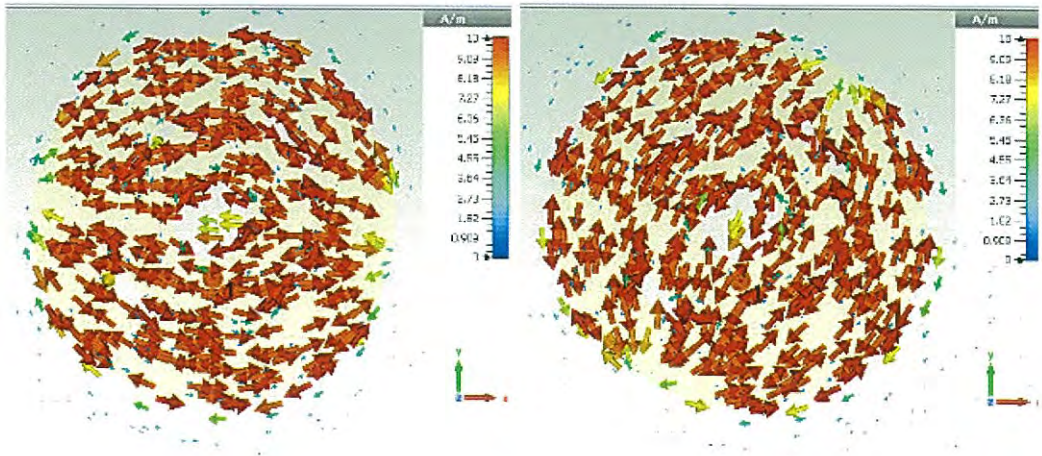
จากรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกนของสายอากาศแบบแผ่นระนาบที่ความถี่กลางของความถี่ใช้งานที่ 920 MHz และ 2450 MHz ที่มุมต่าง ๆ พบว่าค่าอัตราส่วนแกนมีค่าต่ำกว่า 3 dB ส่งผลให้สายอากาศเกิดการโพลาไรซ์วงกลม โดยที่มุม 0° ซึ่งเป็นมุมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร หลังจากนั้นได้พิจารณาโดยจะดูทิศทางการไหลของกระแสที่คาบเวลา ต่าง ๆ บนผิวแผ่นตัวแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบแผ่นระนาบ เพื่อที่จะทำการปรับโครงสร้างต่อไป แสดงดังรูปที่ 4.17 เป็นรูปการกระจายเวกเตอร์กระแสของแพตช์



(ก) 0 degree

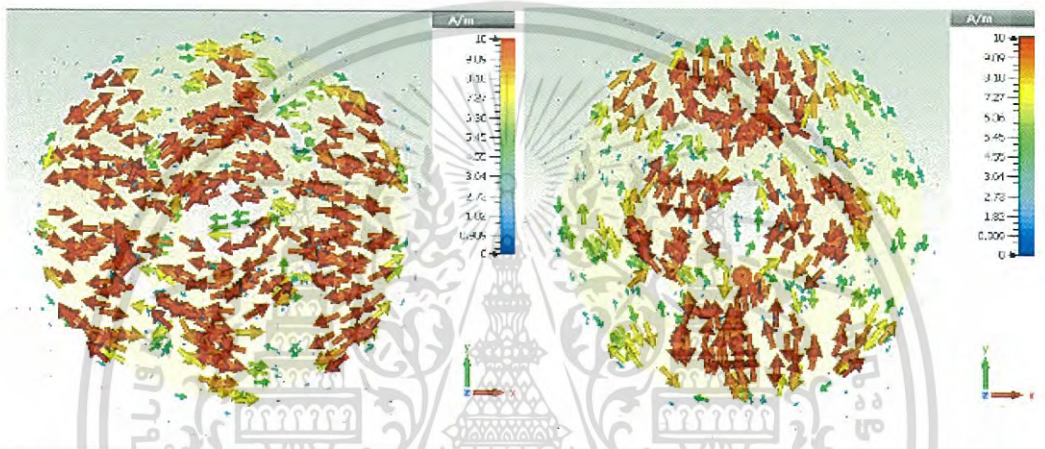
(ข) 90 degree

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



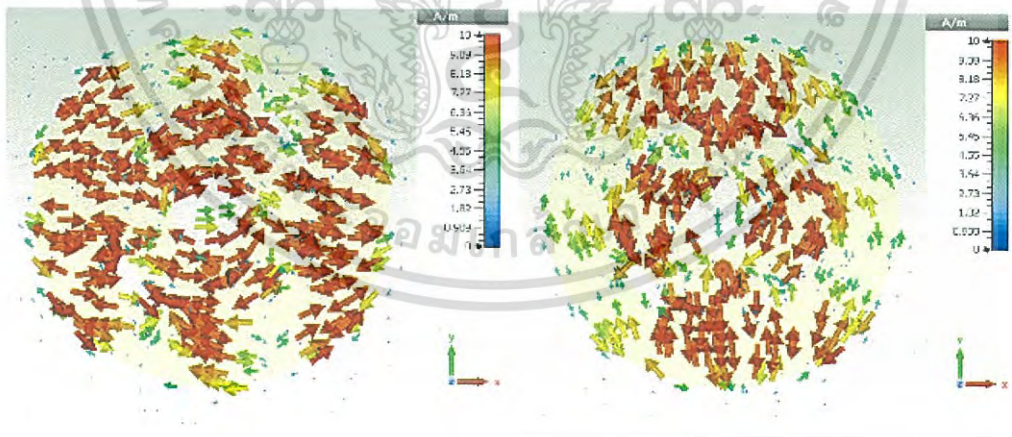
(ค) 180 degree

(ง) 270 degree



(จ) 0 degree

(ฉ) 90 degree



(ช) 180 degree

(ซ) 270 degree

รูปที่ 4.17 การไหลของกระแสที่คาบเวลาต่าง ๆ ที่ความถี่ 922.5 MHz (ก) (ข) (ค) (ง) และความถี่ 2.45 GHz (จ) (ฉ) (ช) (ซ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.17 จะเห็นได้ว่าทิศทางการไหลของกระแสเป็นโพลาริซ์แบบหมุนขวาที่ความถี่ 922.5 MHz และเป็นโพลาริซ์แบบหมุนซ้ายที่ความถี่ 2.45 GHz โดยจะเป็นได้ว่าจะมีความหนาแน่นของกระแสที่ความถี่ 922.5 MHz มากกว่าที่ความถี่ 2.45 GHz

รูป 4.17 (ก) ถึงรูปที่ 4.17(ง) ผลจำลองการกระจายกระแสที่ไหลบนตัวแพตช์ ณ เวลาที่แตกต่างกันของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอเดียเอชเอฟสากลที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ความหนาแน่นกระแสเข้มข้นจากแพตช์มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งมีขนาดกระแสเท่ากัน และมีเฟสต่างกัน 90 องศา พบว่า ณ เวลา $t = 0$ ที่ความถี่ 922.5 MHz เมื่อเวลาเปลี่ยนจาก $t = 0$ ถึง $T/4$ $T/2$ และ $3T/4$ ทิศทางของการกระจายกระแสที่ไหลในทิศทาง \rightarrow ถึง \uparrow \leftarrow และ \downarrow ตามลำดับ การกระจายกระแสที่ไหลของความถี่ 2.45 GHz มีการไหลตรงกันข้ามกับความถี่ 922.5 MHz ดังรูปที่ 4.17 (จ)-(ซ) พบว่าลักษณะการไหลของกระแสบนแผ่นแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยโพลาริซ์ โดยการไหลของกระแสไฟฟ้ามีช่วงเวลาที่ต่างกัน $t=T/4$ หรือมีเฟสต่างกัน 90 องศาและเวลา $t = 0$ ถึง $T/4$ $T/2$ และ $3T/4$ ทิศทางของการกระจายกระแสที่ไหลในทิศทาง \rightarrow ถึง \downarrow \leftarrow และ \uparrow จะมีทิศทางการไหลตามเข็มนาฬิกานั้นแสดงถึงสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีที่ 2.45 GHz ที่ได้นำเสนอนี้มีการแพร่กระจายคลื่นโพลาริซ์วงกลมหมุนซ้าย

4.4. สรุป

จากการออกแบบจะเห็นได้ว่าเมื่อได้ความถี่เริ่มต้นแล้วได้ทำการเจาะร่องเพื่อปรับค่าความถี่ที่สองเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และทำการเจาะร่องเว้าและนูนเพื่อทำให้เกิดโพลาริซ์วงกลม และท้ายสุดได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ผลเมื่อปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ รวมถึงการศึกษาผลกระทบของแผ่นสะท้อนสัญญาณที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ

บทที่ 5

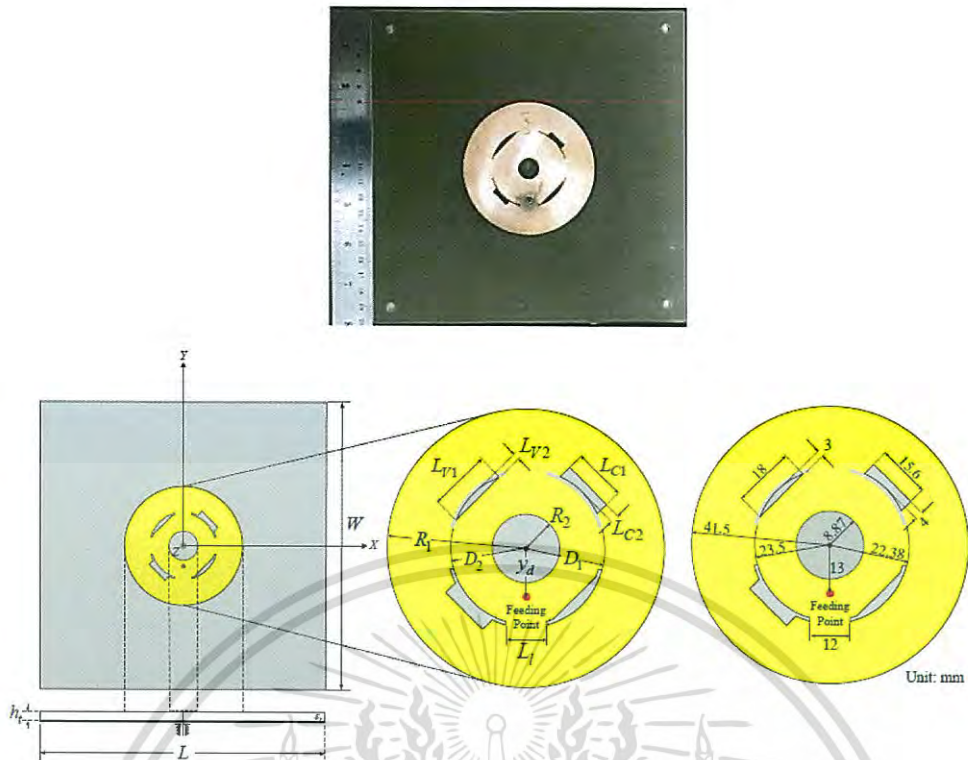
การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศความถี่คู่แบบ ระนาบสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีต้นแบบ

5.1 เกริ่นนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีต้นแบบที่ทำงานสองย่านความถี่และมีโพลาริเซชันวงกลมโดยสายอากาศแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูน ซึ่งจะพิจารณาถึง $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกน แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศ โดยจะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลที่ได้จากการจำลองโดยทดสอบในห้องไร้การสะท้อน ส่วนการทดสอบหาระยะการอ่านแท็กร่วมกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟ และได้คำนวณหาระยะการอ่านแท็ก ในส่วนรายละเอียดต่างๆ จะได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

5.2 สายอากาศต้นแบบ

สายอากาศต้นแบบสองย่านความถี่โพลาริเซชันวงกลมแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูน สำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและไมโครเวฟมีลักษณะแพร่กระจายคลื่นโพลาริเซชันวงกลมหมุนขวาและซ้ายและแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทาง สำหรับใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยสายอากาศที่นำเสนอมีความถี่ใช้งานที่ 920 MHz และ 2.45 GHz ซึ่งเป็นความถี่สากลของอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและไมโครเวฟทั่วโลก วัสดุที่นำมาใช้สร้างสายอากาศต้นแบบเป็นวัสดุที่เป็นแผ่นทองแดงสองด้านที่มีวัสดุฐานรองเป็น FR4 มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา และมีราคาถูก ลักษณะของสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 5.1 และสรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศดังตารางที่ 5.1 สายอากาศต้นแบบเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและไมโครเวฟสากลต้นแบบ



รูปที่ 5.1 สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลต้นแบบ

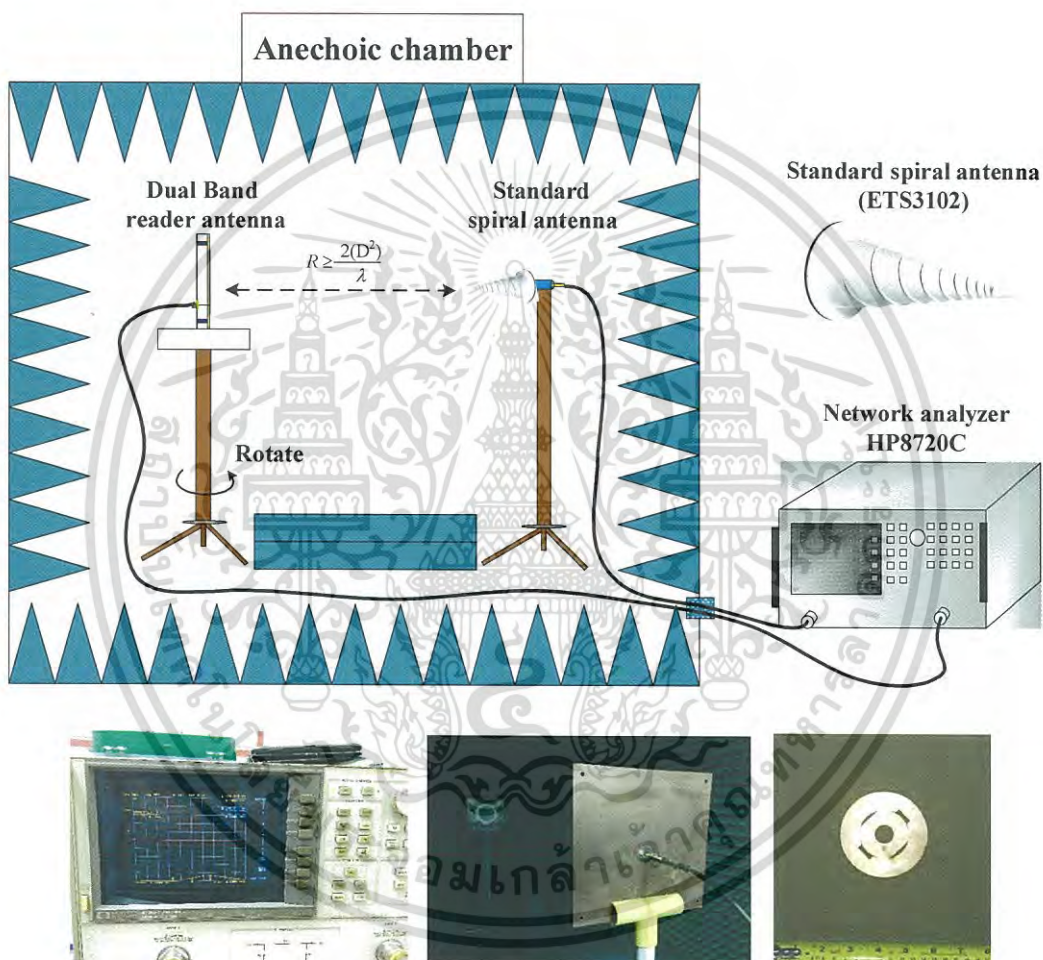
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาดทางกายภาพ (mm)
L_g	ความกว้างและความยาวของระนาบกราวด์	200
R_1	รัศมีความยาววงนอกของแพตช์หลัก	41.5
R_2	รัศมีความยาววงในของแพตช์หลัก	8.87
D_1	รัศมีร่องเจาะภายนอกของแพตช์	23.5
D_2	รัศมีร่องเจาะภายในของแพตช์	22.38
L_1	ความกว้างที่เชื่อมระหว่างวงนอกและวงใน	12
L_{V1}	ความยาวร่องโค้งนูน	18
L_{V2}	ความกว้างร่องโค้งนูน	3
L_{C1}	ความยาวร่องโค้งเว้า	15.6
L_{C2}	ความกว้างร่องโค้งเว้า	4
y_d	ความยาวจากจุดศูนย์กลางของแพตช์ ของจุดป้อนสัญญาณ	13
h	ความสูงสารกึ่งตัวนำ	1.524
W	ความกว้างของระนาบกราวด์	200
L	ความยาวของระนาบกราวด์	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบสายอากาศต้นแบบ

ในการทดสอบสายอากาศต้นแบบได้ทำการทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศต้นแบบ โดยทดสอบในห้องไร้การสะท้อนโดยได้ทำการวัด $|S_{11}|$ ค่าอัตราขยาย ค่าอัตราส่วนแอมป์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ และอัตราขยาย ได้ทำการทดสอบในห้องไร้การสะท้อนนั้นมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบร่วมด้วยมีดังต่อไปนี้ เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายยี่ห้อ HP รุ่น 8720C สายอากาศไดโพลมาตรฐาน ยี่ห้อ Anritsu รุ่น MP651B และสายอากาศกรวยขดลวดยี่ห้อ EST รุ่น 3102 โดยสายอากาศกรวยขดลวดนี้จะมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทางพร้อมโพลาริซวงกลมเป็สายอากาศส่งกำลังงานเช่นเดียวกัน ถูกใช้เพื่อทดสอบและการโพลาริซของสายอากาศต้นแบบดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบในห้องไร้การสะท้อน

การทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสองย่านความถี่โพลาริซวงกลมแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูนได้อาศัยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายยี่ห้อ Agilent รุ่น 8720C

การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสองย่านความถี่โพลาไรซ์วงกลมแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูนซึ่งในการทดสอบเพื่อหาอัตราขยายนั้นจะใช้สายอากาศต้นแบบสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสองย่านความถี่โพลาไรซ์วงกลมแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูนต้นแบบ ทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านรับและใช้สายอากาศแบบไดโพลมาตรฐานทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง โดยที่การทดสอบสายอากาศจะต้องทำภายในสนามระยะไกล เพราะฉะนั้นระยะห่าง (R) ระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $R \geq \frac{2D^2}{\lambda_0}$ โดยที่ D คือ ขนาดของสายอากาศที่มีความยาวที่สุดและ λ_0 คือ ความยาวคลื่นในอากาศโดยพิจารณาที่ความถี่ใช้งาน ดังนั้นจึงกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับมีค่าเท่ากับ 2.90 เมตร

การทดสอบอัตราส่วนแแกนและการทดสอบค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากต้นแบบ ซึ่งในการทดสอบนั้นจะใช้สายอากาศแบบเกลียวที่มีจำนวนรอบเท่ากับ 7 รอบ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 9 cm มาใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง และใช้สายอากาศต้นแบบสำหรับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดีสองย่านความถี่โพลาไรซ์วงกลมแบบระนาบร่วมกับร่องโค้งเว้าและนูนต้นแบบทำหน้าที่เป็นสายอากาศด้านรับ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศของตัวส่งและสายอากาศของตัวรับมีค่าเท่ากับ 2.9 เมตร ซึ่งผลจากการทดสอบที่ได้สามารถคำนวณหาอัตราส่วนแแกนได้จากสมการที่ 5.1

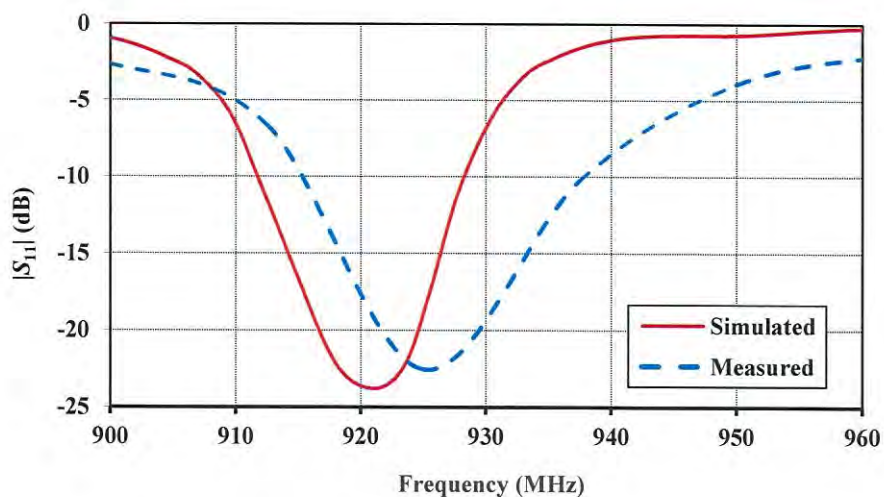
$$\text{Axial Ratio} = 20 \log \left[\frac{|E_{co}| + |E_{xp}|}{|E_{co}| - |E_{xp}|} \right] \quad (5.1)$$

โดยที่

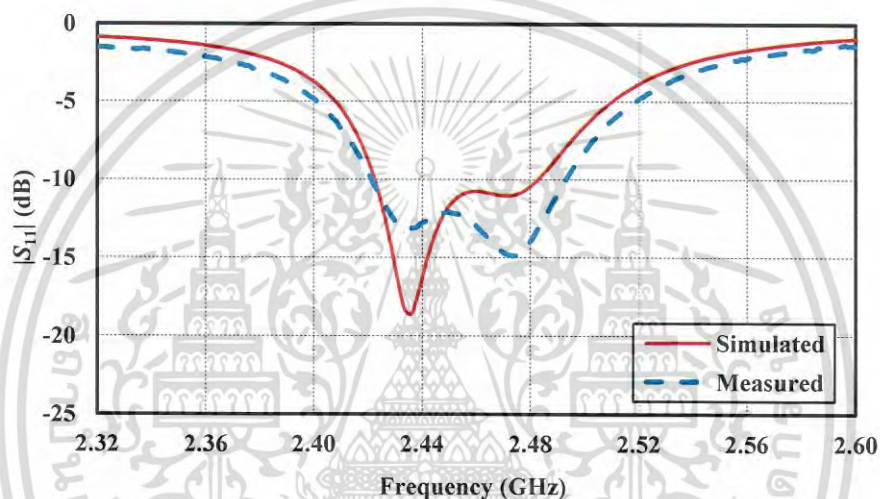
$|E_{co}|$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์แบบเดียวกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ
 $|E_{xp}|$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าที่มีการโพลาไรซ์ตรงกันข้ามกับโพลาไรซ์ของสายอากาศตัวรับ

5.3.1 การทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

จากกราฟรูปที่ 5.3 พบว่าผลจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอมีความถี่กลางที่ 922.5 MHz และมีความถี่ใช้งาน $|S_{11}| < -10$ dB ผลจำลองที่ความถี่ 922.5 MHz มีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 14 MHz (912-926 MHz) % BW = 1.52 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB และผลทดสอบที่ความถี่ 922.5 MHz มีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 14 MHz (918-935 MHz) % BW = 1.52 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB สำหรับในส่วนของผลจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอมีความถี่กลางที่ 2.45 GHz มีแบนด์วิดธ์เท่ากับ 70 MHz (2420-2490 MHz) % BW = 2.85 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB และผลทดสอบที่ความถี่กลาง 2.45 GHz มีแบนด์วิดธ์ 80 MHz (2420-2500 MHz) % BW = 3.26 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.3 ผลการจำลองและผลทดสอบ $|S_{11}|$ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอ(ก) ความถี่ 922.5 MHz (ข) ความถี่ 2.45 GHz

5.3.2 การทดสอบอัตราส่วนแอมพลิจูดของสายอากาศต้นแบบ

ผลการจำลองอัตราส่วนแอมพลิจูดพบว่า มีอัตราส่วนแอมพลิจูดต่ำที่สุดเท่ากับ 0.3 dB ที่ความถี่ 932 MHz และมีแบนด์วิดธ์อัตราส่วนแอมพลิจูด 3 dB ตั้งแต่ 900 ถึง 948 MHz หรือเท่ากับ 5.195% แบนด์วิดธ์ ผลการทดสอบอัตราส่วนแอมพลิจูดได้ทำการทดสอบที่ลำคลื่นหลักหรือทิศด้านหน้า 0 องศาของสายอากาศต้นแบบที่ได้นำเสนอและคำนวณหาค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดในแต่ละความถี่และพบว่าที่ความถี่สำหรับการพิจารณาว่าสายการมีโพลาไรเซชันแบบวงกลมนั้นจะต้องพิจารณาจากค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดสำหรับสายอากาศที่มีโพลาไรเซชันวงกลมค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดจะต้องน้อยกว่า 3 dB เพราะฉะนั้นจากรูปจะพบว่าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB ครอบคลุม 2 แถบความถี่ คือที่แถบความถี่ที่ 922.5 MHz และ 2.4 GHz โดยที่ย่านความถี่ 922.5 MHz จากผลการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 900 MHz -948 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ของอัตราส่วนแอมพลิจูดเท่ากับ 48 MHz และเมื่อคิดเป็น % AR bandwidth เท่ากับ $((948-900)/924) \times 100 = 5.195\%$ ในขณะที่ย่านความถี่ 2.4 GHz

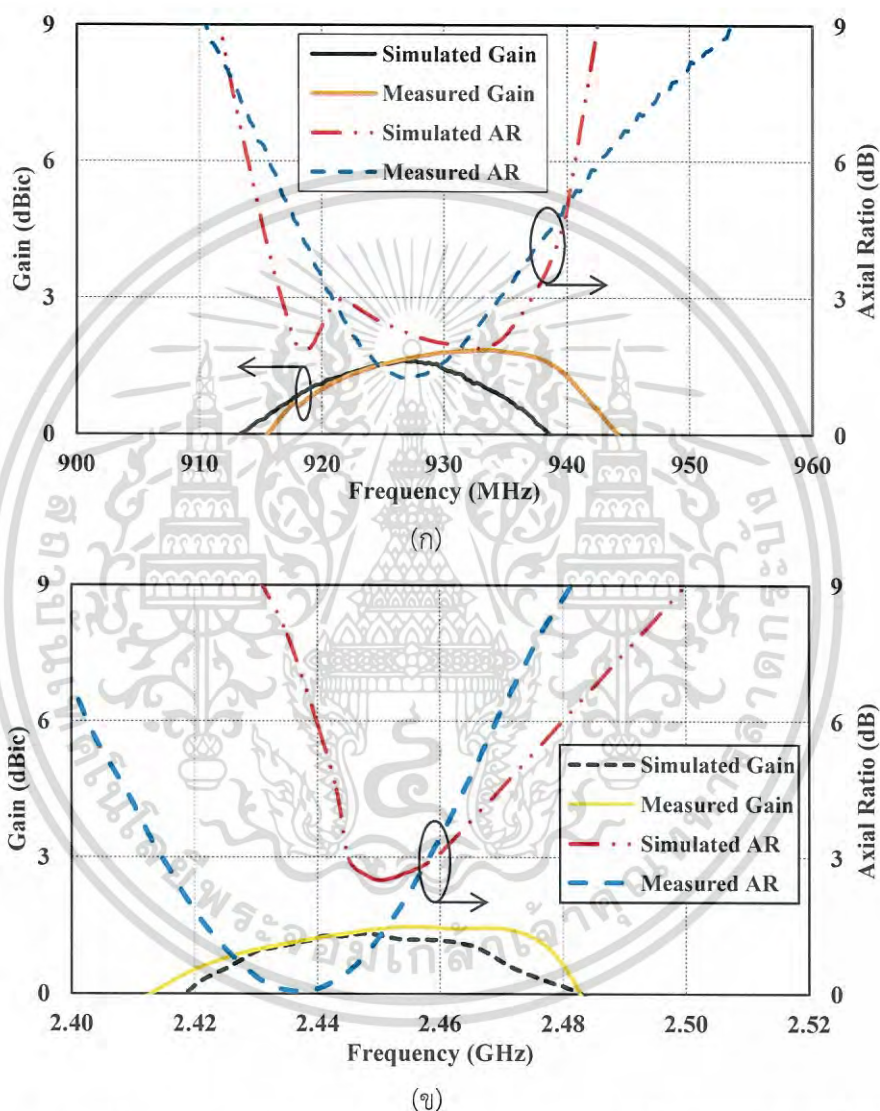
สายอากาศมีค่าอัตราส่วนแฉกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 dB ครอบคลุม 2 แถบความถี่ที่ 2241 MHz และ 2249 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 8 MHz เมื่อคิดเป็น % AR bandwidth เท่ากับ 0.35 % Axial ratio Bandwidth

ผลจำลอง 922.5 MHz BW. 21 MHz (916-937 MHz) % BW = 2.27 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB

ผลทดสอบ 922.5 MHz BW. 15 MHz (920-935 MHz) % BW = 1.62 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB

ผลจำลอง 2.45 MHz BW. 18 MHz (2442-2460 MHz) % BW = 0.73 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB

ผลทดสอบ 2.45 MHz BW. 16 MHz (2442-2458 MHz) % BW = 0.65 ที่ $|S_{11}| = -10$ dB

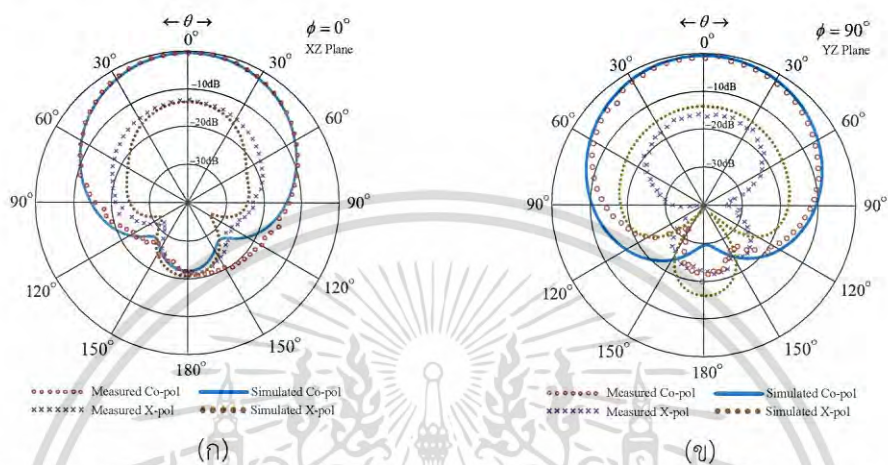


รูปที่ 5.4 ผลการจำลองและผลทดสอบอัตราส่วนแฉกของสายอากาศต้นแบบ (ก) ความถี่ 922.5 MHz (ข) ความถี่ 2.45 GHz

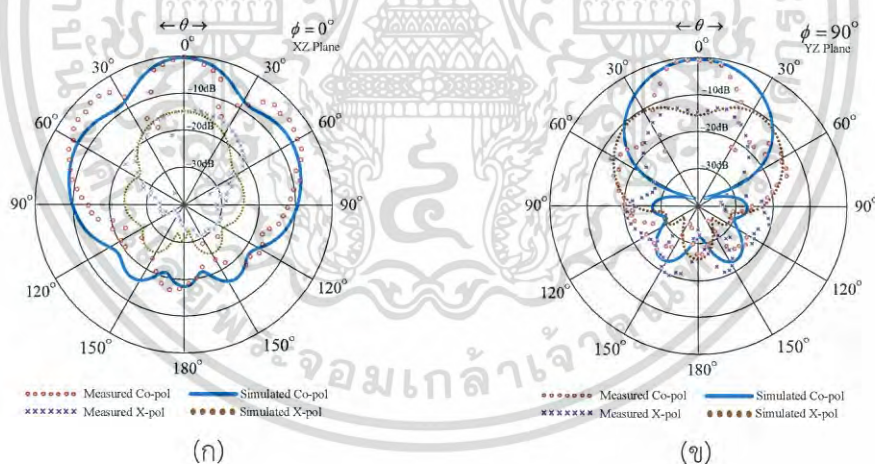
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นบนระนาบ xz และ xy ประกอบไปด้วยโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) มีบีมวิดธ์ครึ่งกำลัง (Half-power beamwidth: HPBW) และระดับโพลาไรซ์ไขว้ (Cross-polarization level) โดยแสดงดังตารางที่ 5.2 และรูป 5.5 ถึง 5.6 บนระนาบ xz และ yz ที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทางตลอดย่านความถี่ใช้งาน ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz

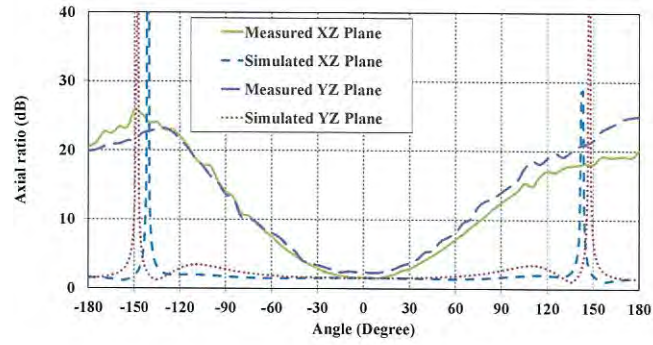


รูปที่ 5.5 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ที่ความถี่ 922.5 MHz

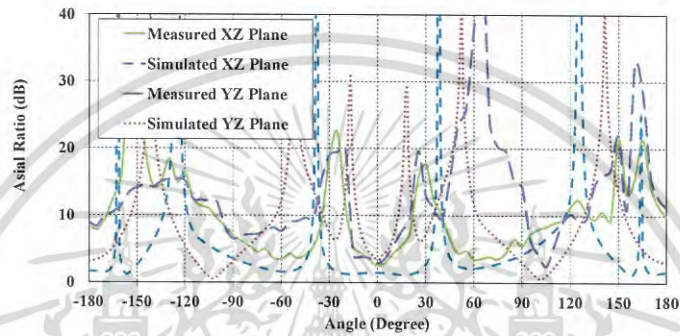


รูปที่ 5.6 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.7 ผลจำลองและผลทดสอบทิศทาง การแพร่กระจายคลื่น (ก) ความถี่ 922.5 MHz และ (ข) 2.45 GHz บนระนาบ xz และ yz

5.3.4 การทดสอบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

ในส่วนของการทดสอบอัตราขยายสายอากาศ ได้อาศัยสายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศส่ง (G_t) และใช้สายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอทีเป็นสายอากาศรับ (G_r) อัตราขยายสายอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 และ 5.3

$$G_r(\text{dB}) = G_t(\text{dB}) = \frac{1}{2} [P_r - P_t + L_s + L_r + L_t] \quad (5.2)$$

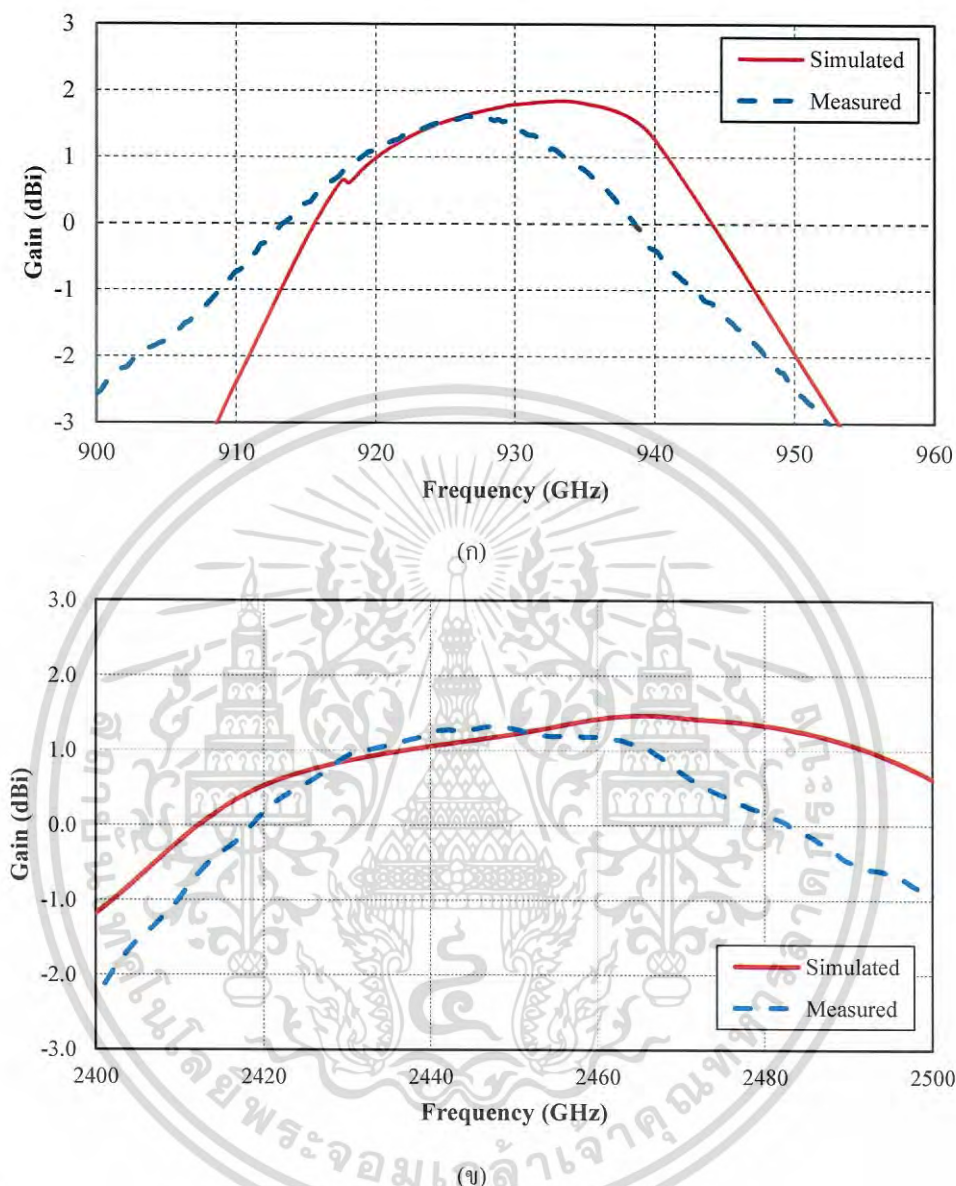
เมื่อ

$$L_s = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (5.3)$$

โดย P_r คือกำลังงานด้านรับ (dBm) P_t คือกำลังงานด้านส่ง (dBm) L_t คือการสูญเสียจากสายนำสัญญาณด้านส่ง (dB) L_r คือการสูญเสียจากสายนำสัญญาณด้านรับ (dB) และ L_s คือการสูญเสียจากระยะทาง (dB) และ R คือระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศที่ได้นำเสนอที่ความถี่ 922.5 MHz และ 2.45 GHz มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 1.36 และ 1.31 dBic ดังแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ผลจำลองและผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศ (ก) ความถี่ 922.5 MHz และ (ข) 2.45 GHz

ตารางที่ 5.2 แสดงบีมวิดิธครึ่งกำลัง แบบด์วิธอัตราส่วนแกน อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลัง และอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ใช้งาน 922.5 MHz และ 2.45 GHz ซึ่งผลการทดสอบ $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกน อัตราขยาย และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น สอดคล้องกับผลการจำลองดังที่แสดงไปก่อนหน้านี้

ตารางที่ 5.2 ค่าคุณลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบ

Frequency (MHz)	Bandwidth (%)		HPBW (°)	
	S ₁₁	AR	XZ plane	YZ plane
922.5	1.52	1.62	90	85
2450	3.26	0.65	50	45

Frequency (MHz)	AR Beamwidth (°)		Gain (dBic)	F/B Ratio (dB)
	XZ plane	YZ plane		
922.5	50	46	1.31	19
2450	20	18	1.36	10

5.3.5 ระยะทางการติดต่อสื่อสารกับแท็กในระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟ

เพื่อยืนยันผลการทดสอบ จึงนำสายอากาศต้นแบบต่อเข้ากับเครื่องอ่านยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีเชิงพาณิชย์ (902-928 MHz) เพื่อทดสอบเพื่อทดสอบระยะการอ่านสูงสุดระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านข้อมูล ระยะที่อ่านได้ถูกกำหนดให้เป็นระยะการอ่านไกลสุดในแนวเส้นสายตา ในการทดสอบใช้แท็กมาตรฐาน EPC Gen2 (Alien ALL-9540-02) มีความถี่ใช้งานในช่วง 860 – 960 MHz ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ที่เครื่องอ่านข้อมูลรองรับและเครื่องอ่านข้อมูลโมโตโลลา XR450 Gen2 เซ็ตที่กำลังงานส่ง 1 W ซึ่งใช้งานในช่วงความถี่ 902 – 928 MHz เป็นความถี่ที่ถูกครอบครองของบางประเทศในเอเชียและอเมริกาใต้ ในการทดสอบได้ตั้งค่าเครื่องอ่านข้อมูลให้มีความถี่ใช้งานคือความถี่ 922.5 MHz ได้ผลวัดจากระยะทางจริงเท่ากับ 5.2 เมตร และ 2450 MHz ใช้เครื่องอ่าน the Alien Nano Scanner 2450 MHz BPT Reader ทดสอบใช้แท็ก ABL-2480 พบว่าได้ผลวัดที่ระยะทางเท่ากับ 2 เมตร เมื่อเทียบกับการคำนวณโดยมีกำลังงานส่ง 0.5 W 1.0 W 1.5 W และ 2.0 W EIRP ตารางที่ 5.3 แสดงระยะการอ่านสูงสุดในหน่วยเมตรของช่วงความถี่ พบว่ามีระยะการอ่านสำหรับความถี่ 922.5 MHz ระยะการอ่านสูงสุดอยู่ที่ 6.652 เมตร และความถี่ 2450 MHz ระยะการอ่านสูงสุดอยู่ที่ 2.353 m

ตารางที่ 5.3 ระยะการอ่านสูงสุดของสายอากาศต้นแบบ

Frequency (MHz)	Maximum RFID reading ranges (metres)			
	Power of Transmission			
	0.5 W	1.0 W	1.5 W	2.0 W
922.5	5.416	5.857	6.267	6.652
2450	1.850	2.031	2.198	2.353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ระยะการอ่านสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสูตร Friss ในสมการที่ 5.4 ซึ่งระยะอ่านสูงสุดของระบบยูเอชเอฟอาร์เอฟไอดีขึ้นกับกำลังการแพร่กระจายไอโซทรอปิกประสิทธิภาพ ($EIRP_R$) ซึ่งเป็นกำลังงานรวมของอัตราขยายสายอากาศส่งและกำลังส่ง สำหรับแท็กที่มีความไวของชิปไอซีอัตราขยายสายอากาศแท็กและสัมประสิทธิ์การสะท้อน มีผลต่อระยะการอ่านได้และองค์ประกอบการสูญเสียโพลารไรซ์ที่มีสมมาตรระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและแท็กก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อระยะการอ่านได้ ตารางที่ 5.5 แสดงการคำนวณระยะอ่านสูงสุดสำหรับสายอากาศที่กำลังสูงสุด 4 W $EIRP_R$ ซึ่งเป็นอัตราขยายสายอากาศรวมกับกำลังส่งเท่ากับ 4 W มีความไวชิปไอซีแท็กเท่ากับ -14 dBm ที่อัตราขยายแท็ก 1.36 dBi การคำนวณจะใช้การประยุกต์เชิงพหุนามที่ $|S_{11}| < -15$ dB ใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท็ก อย่างไรก็ตามแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแท็กจะเปลี่ยนแปลงที่ $|S_{11}| < -3$ dB -6 dB -10 dB และ -15 dB ใช้ในการคำนวณระยะอ่านสูงสุด ตารางที่ 5.5 แสดงระยะอ่านสูงสุดสำหรับเปลี่ยนแปลงของความถี่ และ $|S_{11}|$ (dB) ได้ระยะอ่านมากกว่า 5.0-8.1 m

$$d_{\max}(\theta, \phi) = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{EIRP_R}{P_{chip}} (1 - |\Gamma|^2) G_{tag}(\theta, \phi) \chi} \quad (5.4)$$

เมื่อ Γ คือสัมประสิทธิ์การสะท้อน
 χ คือ องค์ประกอบการสูญเสียโพลารไรซ์

โดยการคำนวณระยะอ่านสูงสุดคำนวณจากการแพร่กระจายคลื่นโพลารไรซ์วงกลมสมบูรณ์แบบ (AR = 0 dB) และสายอากาศแท็กมีโพลารไรซ์เชิงเส้นสมบูรณ์แบบ จะทำให้มีองค์ประกอบการสูญเสียโพลารไรซ์เท่ากับ 0.5 อย่างไรก็ตามความกว้างอัตราส่วนแกนจะมีผลต่อระยะอ่านสูงสุดเล็กน้อย

จากตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพสายอากาศถูกเปรียบเทียบกับวิจัยที่มีมาก่อนของสายอากาศของเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและสายอากาศที่นำเสนอ สายอากาศที่นำเสนอมีแบนด์วิดธ์กว้างครอบคลุมระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล ถูกเปรียบเทียบกับสายอากาศของงานวิจัยที่มีมาก่อนใน [15 16 18 21] ที่มีอัตราขยายและขนาดใกล้เคียงกับสายอากาศที่นำเสนอ ในอ้างอิงที่ [9 20 22] จะมีขนาดสายอากาศที่เล็กกว่าแต่ก็มีอัตราขยายน้อยกว่าสายอากาศที่นำเสนอ โดยการเปรียบเทียบทั้งหมดใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว ก็จะทำให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอมีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อลำคลื่นด้านหลังที่ดีกว่า ในส่วนของระยะอ่านสูงสุดที่ 4 W $EIRP_R$ มาตรฐาน พบว่าสายอากาศมีขนาดที่บางเมื่อเปรียบเทียบกับ [15] [17] [18] และ [20] และมีระยะอ่านที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบขนาดโครงสร้าง คุณลักษณะทางไฟฟ้าและระยะการอ่านสูงสุดของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟและไมโครเวฟ

#	Ref.	Electrical specifications				Mechanical specifications	Ports and CP Rotation Sense
		Band (GHz)	Axial-ratio Bandwidth (%)	Gain (dBic)	3-dB Beamwidth (Degree)		
1	[15]	0.92	4.3	7.2	128/103	9.75	150×150×13.4 3 Layers Dual port Dual-sense
		2.45	21.5	8.2	116/101	14	
2	[17]	0.91	0.9	8	N/A	N/A	170×170×8.2 2 Layers One port Dual-sense
		2.45	1.6	2.5	N/A	N/A	
3	[18]	0.91	3.1	3.8	±30	3.75	120×120×11 3 Layers One port Same sense
		2.45	6.3	9.08	±30	12	
4	[19]	0.92	4.8	6	N/A	3.75	150×150×13 1 Layer One port Dual-sense
		2.45	16.7	6.5	N/A	15	
5	[20]	0.92	2.4	3.8	141/130	5	110×110×6.6 3 Layers One port Dual-sense
		2.45	6.8	8.8	94/112	13	
6	Proposed antenna	0.92	1.62	1.36	50/46	19	200×200×1.5 1 Layer One port Dual-sense
		2.45	0.4	1.31	20/18	10	

5.4 สรุป

สายอากาศนี้ได้ออกแบบและจำลองผลบนวัสดุฐานรองชนิด FR4 โดยมีขนาดรายละเอียดตั้งรูป และถูกนำไปสร้างจริงเป็นต้นแบบ โดยมีระนาบกรวดขนาด 200×200 ตารางมิลลิเมตร และผลการสูญเสียย้อนกลับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย พบว่าผลการสูญเสียย้อนกลับ $|S_{11}|$ เปรียบเทียบกับผลการจำลอง แสดงในรูปด้านบน จะเห็นได้ชัดว่า ผลการจำลองกับผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ในด้านผลการวัดสายอากาศจริงได้ผลของแบนด์วิดท์ที่ดีกว่า เนื่องจากองค์ประกอบหลายด้านเช่นอาจจะมีสาเหตุมาจากขนาดที่แท้จริง นอกจากนี้ก็เกิดความแตกต่างในการวัดบางส่วน โดยเฉพาะในทางทฤษฎีกับการวัด นอกจากนี้ อาจจะมีสาเหตุอาจเกิดจากขนาด

กราวด์และการสะท้อนของคลื่นในขณะที่ทำการวัดอีกด้วย ที่แถบความถี่ต่ำจะมีแบนด์วิดธ์การสูญเสียย้อนกลับของการวัดใกล้เคียงกับการผลการจำลอง แต่ที่ความถี่สูงผลการจำลองและผลการวัดจะไม่ค่อยใกล้เคียงกัน โดยผลของการวัดจะได้แบนด์วิดธ์ที่กว้างกว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะปัญหาที่เกิดจากการสร้างที่ใช้วิธีกีดแผ่นโลหะด้วยน้ำยาเคมีซึ่งอาจจะมีส่วนขอบหรือ มุมเล็ก ๆ เกิดขึ้นซึ่งไม่สามารถจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงทำให้ผลการวัดที่แถบความถี่สูงไม่เหมือนกับผลการจำลองแต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าผลการวัดและการจำลองสอดคล้องกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 เกริ่นนำ

จากผลการทดลองพบว่าสายอากาศต้นแบบซึ่งเป็นสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลม ความถี่คูโดยร่องเว้าแกนราบและร่องนูนแกนราบสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวย่านความถี่ 920 MHz - 925 MHz และ 2.40-2.48 GHz โดยโครงสร้างของสายอากาศความถี่คูเป็นแบบแผ่นแบนราบที่มีจุดป้อนสัญญาณแบบเดี่ยวและมีร่องเว้าแกนราบและร่องนูนแกนราบอย่างละหนึ่งคู่ จากผลการวิจัยได้นำมาซึ่งเทคนิคของร่องเว้าแกนราบและร่องนูนแกนราบทำให้เกิดคุณสมบัติของโพลาริซวงกลม และผลของการจำลองสายอากาศแสดงให้เห็นเป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวโดยมีอัตราส่วนแกนน้อยกว่า -3 dB มีอัตราการขยาย 1.31 dBic ที่ความถี่ 922.5 MHz และ 1.36 dBic ที่ความถี่ 2.45 GHz จากนั้นทำการสร้างสายอากาศสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีและทำการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบ ผลการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบพบว่าสายอากาศต้นแบบมีผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการจำลองและพบว่าเทคนิคของร่องเว้าแกนราบกับร่องนูนแกนราบเหมาะสมสำหรับคุณสมบัติของโพลาริซวงกลมสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีความถี่ยูเอชเอฟและไมโครเวฟ

การเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้จากการจำลองและการวัดทดสอบ สามารถสรุปผลการจำลองแบบและการวัดทดสอบรวมไปถึงข้อเสนอแนะได้ดังนี้

6.2 สายอากาศต้นแบบ

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศเป็นสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมความถี่คู โดยร่องเว้าแกนราบและร่องนูนแกนราบ จากการทดสอบและการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST ผลการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศต้นแบบที่สร้างจริงนั้นมีความใกล้เคียงกับสายอากาศที่จำลองแบบ ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และอัตราการขยายได้ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการวัดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

ความถี่ (MHz)	ผลจากการจำลองแบบ (dB)	ผลจากการวัดทดสอบ (dB)
920	-13.2	-15.6
922.5	-22.5	-22.5
925	-15.0	-23.5
2442	-10.48	-10.23
2450	-15.01	-11.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2480	-11.05	-14.50
------	--------	--------

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองและการวัดทดสอบอัตราขยาย

ความถี่ (MHz)	ผลจากการจำลองแบบ (dBi)	ผลจากการวัดทดสอบ (dBi)
920	1.22	1.21
922.5	1.31	1.31
925	1.32	1.34
2442	1.23	1.15
2450	1.37	1.36
2480	1.25	1.3

จากผลของการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศเป็นสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมความถี่คู่โดยร่องเว้าแกนราบและร่องนูนแกนราบ โดยมีกระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว ได้ทำการวัดทดสอบที่ความถี่ 922.5 MHz, และ 2.45 GHz จากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับสรุปผลได้ว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์ใช้งานตามมาตรฐาน และจากค่าอัตราขยายอยู่ในช่วง 1.3-1.4 dBiC ซึ่งต่ำกว่าที่ออกแบบเล็กน้อย อยู่ในระดับยอมรับได้ตามมาตรฐาน ดังนั้นผลที่ได้จากการวัดทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไม่ตรงตามที่ได้จำลองจากโปรแกรม ซึ่งสามารถสรุปความผิดพลาด มีตั้งแต่กระบวนการทดลองในโปรแกรม CST Microwave Studio ในการเลือกชนิดของวัสดุ เนื่องจากต้องศึกษาคุณสมบัติของวัสดุแต่ละประเภท และปัญหาที่เกิดจากการสร้างและวัดค่าที่ไม่ตรงกับผลในโปรแกรม CST เนื่องจากวัสดุที่ใช้มีค่าการสูญเสีย กระบวนการสร้างที่ยังมีข้อผิดพลาด รวมถึงการสูญเสียที่เกิดจากหัวต่อ สรุปได้ดังนี้

6.2.1 แบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายของสายอากาศ

สายอากาศเป็นสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมความถี่คู่โดยร่องเว้าแกนราบและร่องนูนแกนราบ จากผลการวัดทดสอบที่ช่วงความถี่ 920-925 MHz และ 2.40-2.48 GHz มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว และในส่วนของอัตราขยายทุกช่วงความถี่ มีค่าอัตราขยายแตกต่างจากการจำลองในโปรแกรม CST สาเหตุเกิดจากการสูญเสียจากหัวต่อและสายนำสัญญาณในสายด้านส่งและด้านรับ

6.2.2 การสร้างสายอากาศ

ในขั้นตอนเป็นสายอากาศเป็นสายอากาศแบบระนาบโพลาริซวงกลมความถี่คูโดยร่องเว้า แกนราบและร่องนูนแกนราบ นั้นตัวสายอากาศต้องการความละเอียดในการสร้าง ถ้าขนาดของสายอากาศเกิดการผิดเพี้ยนเพียงเล็กน้อยจะทำให้มีผลกับความถี่จึงต้องใช้ความระมัดระวังสูง

6.2.3 การเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับคอนเนคเตอร์ SMA

การเชื่อมต่อสายอากาศเข้ากับคอนเนคเตอร์ SMA การบัดกรีเป็นการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศเข้ากับคอนเนคเตอร์ SMA ควรใช้ตะกั่วที่มีคุณภาพและบัดกรีปริมาณที่พอเหมาะและผิวตะกั่วให้เรียบ เพราะอาจเกิดความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง เนื่องจากการใช้ตะกั่วเป็นตัวเชื่อมต่อกับสายส่งแบบไมโครสตริปของสายอากาศ

6.3 ข้อเสนอแนะ

เป็นแนวทางในการค้นคว้าสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่พลังงานแบบทิศทางเดียวโดยมีโพลาริซวงกลมสำหรับประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีนั้น

การวัดอัตราการขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ จะต้องใช้สายนำสัญญาณต่อสายอากาศทดสอบให้สูงขึ้นจากตำแหน่งที่ใช้ในการวัดแบบรูปการแพร่พลังงาน เนื่องจากตำแหน่งทำจากวัสดุที่เป็นโลหะ อาจทำให้เกิดคลื่นสะท้อนเข้าไปยังสายอากาศ ทำให้มีผลกระทบต่อผลการวัดทดสอบ ส่งผลให้ค่าอัตราการขยายที่วัดได้มีค่าสูงกว่าการจำลองแบบ และทำให้แบบรูปการแพร่พลังงานผิดเพี้ยนไปด้วย

ควรศึกษาเกี่ยวกับแผ่นวงจรพิมพ์และหัวคอนเนคเตอร์ SMA ที่ใช้งานด้านความถี่สูงที่มีคุณสมบัติตรงกับความถี่ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ เพื่อให้สายอากาศต้นแบบมีประสิทธิภาพการใช้งานเป็นไปตามการออกแบบและลดงบประมาณในการสร้างสายอากาศต้นแบบ

การออกแบบควรคำนึงถึงขนาดของลายทองแดงของสายนำสัญญาณเมื่อนำไปสร้างชิ้นงาน หากทำการออกแบบลายทองแดงขนาดเล็กเกินไป อาจจะทำให้มีข้อผิดพลาดจากการสร้างชิ้นงานจริงจากการกัดลายทองแดง ส่งผลให้ผลการวัดทดสอบไม่เป็นไปตามการจำลองแบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] RFID system [Online]. Available:<http://www.scdigest.com>
- [2] RFID Systems [Online]. Available:<https://learn.sparkfun.com/tutorials/connectivity-of-the-internet-of-things/rfid/>
- [3] RFID Tag [Online]. Available: <http://www.dgcbovenveluwe.nl/nieuws/1458/juni-chipmaand/>
- [4] Tag [Online]. Available: <http://www.extronics.com/product/t2-wifi-rfid-tag/>
- [5] FCC Standard [Online]. Available: <http://www.transition.fcc.gov/oet/spectrum/>
- [6] Balanis C. A. "Antenna Theory-Analysis and Design," New Jersey: A John Wiley & Sons; 2005. Chapter 14, Circular Polarization; p.846-847,859-864.
- [7] Padhi S.K., Krmakar N.C., Law C.L., Aitya S. "A Dual Polarized Aperture Coupled Circular Patch Antenna Using a C-Shaped Coupling Slot," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2003 December 12; 51:3295-3298.
- [8] Cai C.-H., Row J.-S., Wong K.-L. "Dual-Frequency Microstrip Antenna with Dual Circular Polarisation," *Electronics Letters*. 2006 October 26; 42(22).
- [9] Shin D., Park P., Kim J., Seong W., Choi J. "A Novel Dual-Band Circularly Polarized Antenna Using a Feeding Configuration for RFID Reader," *IEEE International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*. 2007 September; 511-514.
- [10] Boo Y.S., Nasimuddin, Chen Z.N., Alphones A. "Broadband Circularly Polarized Microstrip Antenna for RFID Reader Applications," *IEEE Asia Pacific Microwave Conference*. 2009 December; 625-628.
- [11] Mobashsher A.T., Misran N., Islam M.T. "Design Analysis of Compact Dual-Band Microstrip RFID Reader Antenna," *IEEE International Conference on Space Science and Communication*. 2009 October; 83-88.
- [12] Nasimuddin., Chen Z.N., Qing X. "Dual-Band Circularly Polarized S-Shaped Slotted Patch Antenna With a Small Frequency-Ratio," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2010 June; 58(6):2112-2115.
- [13] Tiang J.J., Islam M.T., Misran N., Mandeep J.S. "Circular Microstrip Slot Antenna for Dual Frequency RFID Application," *Progress in Electromagnetics Research*. 2011; 120:499-512.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [14] Chen C-H., Yung E.K.N. "A Novel Unidirectional Dual-Band Circularly-Polarized Patch Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2011 August; 59(8):3052-3057.
- [15] Xu J., Chen Z.N., Qing X. "A Broadband Circularly Polarized Antenna," *IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*. 2012 August; 43-44.
- [16] Zakaria N., Rahim S.K.A., Ooi T.S., Tan K.G., Reza A.W., Rani M.S.A. "Design of Stacked Microstrip Dual-Band Circular Polarized Antenna," *Radio engineering*. 2012 September; 21(3):875-880.
- [17] Huang T-J., Hsu H-T. "Compact Dual-Band Circularly Polarized Microstrip Antenna with Separated Transmitting and Receiving Ports for RFID Reader Applications," *IEEE Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*. 2012 December; 1370-1372.
- [18] Deng C., Li y., Feng Z., Li W., Zhang D. "A Dual-Band Circularly-Polarized Stacked Patch Antenna with Small Frequency-Ratio," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. 2013 July; 942-943.
- [19] Zhang Y.-Q., Li X., Yang L., Gong S.-X. "Dual-Band Circularly Polarized Annular-Ring Microstrip Antenna for GNSS Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2013 April 29; 12:615-618.
- [20] Liu Q., Shen J., Liu H., Liu Y. "Dual-Band Circularly-Polarized Unidirectional Patch Antenna for RFID Reader Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2014 December; 64(12):6428-6434.
- [21] Caso R., Michel A., Rodriguez-P. M., Nepa P. "Dual-Band UHF-RFID/WLAN Circularly Polarized Antenna for Portable RFID Readers," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2014 May; 62(5):2822-2826.
- [22] Chang T.-N., Ni G.-Y. "Dual-band Circularly Polarized Antenna with a QUAD-EMC Structure," *Microwave and Optical Technology Letters*. 2007 Mar; 54(9):645-647.
- [23] Chang T.-N., Lin J. M. Serial "Aperture-coupled Dual Band Circularly Polarized Antenna," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*. 2011 June; 59(6):2419-2423.
- [24] Hsu H.-T., T.-J. Huang. "Aperture-coupled Dual-band Circularly Polarized Antenna for RFID Reader Applications," *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*; 2012 July:23-27.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [25] Liu Q., J. Shen., J. Yin., H. Liu., Y. Liu. Compact 0.92/2.45-GHz “Dual-band Directional Circularly Polarized Microstrip Antenna for Handheld RFID Reader Applications,” *IEEE Transactions on Antennas Propagation*. 2015 Sep; 63(9):3849-3856.
- [26] CST-Microwave Studio, User’s Manual, 2006.
- [27] Higgs™³ EPC Class1 Gen2 RFID Tag IC [Online]. Alien Technology; [cited 2015 November 10] Available from: <http://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Alien-Technology-Higgs-3-ALN-9640-Squiggle.pdf>
- [28] Constantine A. Balanis. *Antenna Theory-Analysis and Design*. New jersey: A John wiley & sons; 2005. Chapter 14,Circular Polarization; p.859-864.
- [29] มาตรฐานความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/khlunphysics/khlunmaehelkfifa>
- [30] Antenna Radiation Distance [Online]. Available: <http://www.centrenational-rfid.com/introduction-to-the-rfid-article-15-gb-ruid-202.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ประเวศน์ วงศ์สกุลเกสัช
วัน เดือน ปีเกิด	13 ตุลาคม 2514
ที่อยู่	เลขที่ 39/48 ซอยนวมินทร์ 145 แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10230 โทร.0924560909
ประวัติการศึกษา	2001 Master Degree of science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Information Technology, Major : Information Science. 1999 Hunter College and Working Part-Time at the David's Bagel 1997 Bachelor Degree of industrial Technology in Telecommunication, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering , Major: Telecommunications. 1994 Diploma, Civil Aviation Training Centre of Thailand, Faculty of Communication, Communication Maintenance.
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	1997- Present: Safety & Engineering Manager, Asian Aviation Training Center Co.,Ltd. Bangkok Airways Building, Bangkok Thailand 10900

วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] P. Wongsakulphasatch, and C. Phongcharoenpanich, "DUAL-BAND CIRCULARLY POLARIZED FLAT ANTENNA WITH PLANO CONVEX AND CONCAVE SLOTS FOR RFID READERS," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 2017.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] P. Wongsakulphasatch, and C. Phongcharoenpanich, "Design of Inclined Monopole Antenna on Stepped Basement Radiating Omnidirectional Pattern," *Proceedings of the 2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2012)*, Bangkok, pp. 250-253, Nov. 2012.
- [2] P. Wongsakulphasatch, C. Phongcharoenpanich and Supakit Kawdungta, "Compact Flat Monopole Antenna for Small Aircraft of VHF Communication System," *Proceedings of the 2012 Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2012)*, Singapore, Aug. 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้