

A STUDY TRANSMISSION LOSS IN 2.45 GHz WITH RFID
FOR SHORT RANGE SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาค่าสูญเสียของการส่งผ่านช่องสัญญาณแบบระบุลักษณะด้วยความถี่วิทยุ ในย่าน 2.45 GHz สำหรับระบบระยะสั้น

ชื่อนักศึกษา	นาย ชีระพงษ์ ใจยวน	รหัสนักศึกษา	48015581
	นาย รวม เทพเทพินทร์	รหัสนักศึกษา	48015589
	นาย กิตติพล คู่มุด่านกลาง	รหัสนักศึกษา	48015751

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาค่าสูญเสียของการส่งผ่านช่องสัญญาณแบบระบุลักษณะด้วยความถี่วิทยุ ในย่าน 2.4 GHz สำหรับระบบระยะสั้น		
ชื่อนักศึกษา	นาย ชีระพงษ์ ใจวาน	รหัสนักศึกษา	48015581
	นาย รวม เทพเทพินทร์	รหัสนักศึกษา	48015589
	นาย กิตติพล คุ่มด่านกลาง	รหัสนักศึกษา	48015751
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
	2550		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงค่าการสูญเสียของช่องสัญญาณระบบระบุลักษณะตัวตนโดยใช้คลื่นวิทยุ โดยได้พิจารณาในย่านความถี่ 2.45 GHz สำหรับสายอากาศส่งสัญญาณและสายอากาศรับสัญญาณเป็นสายอากาศแบบ ไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 GHz โดยทำการทดลองตามแบบจำลองที่ได้ทำการออกแบบจากนั้น ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบ โดย ดูจากผลที่ได้การวิเคราะห์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงและใช้ในการออกแบบสายอากาศที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไปในอนาคต

Thesis Title A Study of Transmission Loss in 2.4 GHz with RFID for Short Range System

Student Mr. Teerapong Jaiyuan ID: 48015581
Mr. Ruam Theptaepin ID: 48015589
Mr. Kittipol Kumdanklang ID: 48015751

Advisor Mr. Sataporn Promwong

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2007

Abstract

This thesis presents a study of transmission loss with RFID for short range system in frequency 2.45 GHz with transmitter antenna and receiver antenna of micro strip antenna 2.45 GHz with design model from user and measurement of parameter can analysis performance from analyzer from result of system and design antenna and apply in future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้ ได้รับความช่วยเหลือให้คำแนะนำข้อมูลอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญา
นิพนธ์คือ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำสนับสนุนการวิจัยมาด้วยดี และขอขอบคุณ
ผศ.มนต์ชัย เข้มซ้อย ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสายอากาศไมโครสตริป สำหรับใช้ในการทดลอง จึง
ต้องกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ บิคา มารดา ที่ช่วยให้กำลังใจและให้การสนับสนุน ตลอดจนทุนทรัพย์ระหว่าง
ทำโครงการ และขอขอบคุณรุ่นพี่ ปริญญาโท ให้คำแนะนำมาโดยตลอด และเพื่อนๆทุกคน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 รายละเอียดขั้นตอนการทำปฏิญานิพนธ์	3
บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID	4
2.1 เทคโนโลยี RFID	4
2.1.1. บทนำ	4
2.1.2 ความเป็นมาของ RFID	4
2.2 ส่วนประกอบของ RFID	5
2.2.1 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)	5
2.2.2 ป้ายชื่อ / แท็กข้อมูล (Transponder)	6
2.2.2.1 แท็กชนิดแอกทีฟ (Active Tag)	6
2.2.2.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)	6
2.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID	7
2.4 การรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน	7
2.4.1 การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying: PSK)	7
2.4.2 การมอดูเลชันแบบฟริควเอนชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying: FSK)	8
2.4.3 การมอดูเลชันทางความถี่ (Frequency Modulation: FM)	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 อัตราการรับส่งข้อมูล	10
2.6 ระยะเวลารับส่งข้อมูล	10
2.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ระบบ RFID แบบต่างๆ	11
2.8 ย่านความถี่การใช้งานกัน RFID	12
2.9 ย่านความถี่สำหรับ RFID ในประเทศไทย	12
2.9.1 ย่านความถี่ 920-925 MHz	12
2.9.2 การได้รับการยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต	13
2.9.3 การตรวจสอบลักษณะทางวิชาการ	13
2.9.4 สิทธิการคุ้มครอง	13
2.10 ข้อดีของระบบ RFID	13
2.12 ข้อเสียของระบบ RFID	14
2.13 การประยุกต์การใช้งานระบบ RFID	14
2.14 มาตรฐานของระบบ RFID	15
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์	18
3.1 ที่มา	18
3.2 ความจุของช่องสัญญาณ (Channel Capacity)	18
3.3 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ	19
3.3.1 หลักทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสท์ในระบบ RFID	19
3.3.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	21
3.3.3 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)	21
3.3.4 โปรไฟล์การหน่วงเวลา (Power Delay Profile)	21
3.3.5 อัตราความผิดพลาดต่อบิตหรือ BER (Bite Error Rate)	22
บทที่ 4 การวัดและแบบจำลอง	24
4.1 สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบและการวัดค่าในการทดลอง	24
4.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้	24
4.3 ขั้นตอนการออกแบบโมเดล	26
4.4 การออกแบบโมเดลแบบวัดระยะทางตรงระบบ RFID 2.45 GHz	27
4.4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบระยะทางตรง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5 การออกแบบโมเดลแบบวัดแบบรอบทิศทางระบบ RFID ความถี่ 2.45 GHz	28
4.6 ลักษณะของโมเดลแบบวัดแบบรอบทิศทาง	29
4.6.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบรอบทิศทาง	30
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์	31
5.1 การวิเคราะห์สัญญาณ	31
5.2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณ	31
5.2.1 ผลการวิเคราะห์สัญญาณในแบบวัดระยะทางตรง	31
5.2.2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองวัดแบบรอบทิศทาง	34
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	43
6.1 ปัญหาที่พบในการดำเนินการดำเนินงาน	43
6.2 แนวทางในการพัฒนา	43
6.3 สรุปวิจารณ์	43
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	46
ภาคผนวก ก. ลักษณะของช่องความถี่ย่านต่างๆ	47
ภาคผนวก ข. สายอากาศไมโครสตริป	55
ภาคผนวก ค. อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานแบบระบบ RFID	5
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะสัญญาณ พาหะ (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) ผลของสัญญาณ (ค) ที่ทำการมอดูเลชันแบบ PSK	8
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสัญญาณ พาหะ (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) ผลของสัญญาณ (ค) ที่ทำการมอดูเลชันแบบ FSK	9
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะสัญญาณ พาหะ (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) ผลของสัญญาณ (ค) ที่ทำการมอดูเลชันแบบ FM	9
รูปที่ 2.5 แท้กของระบบ RFID	11
รูปที่ 2.6 เครื่องอ่านของระบบ RFID	11
รูปที่ 2.7 ฉลากเดือนสินค้าที่ใช้ระบบ RFID	11
รูปที่ 2.8 ย่านความถี่การใช้งานระบบ RFID	12
รูปที่ 2.9 การใช้งานในห้องสมุด	15
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร	20
รูปที่ 3.2 การกระจายคลื่นแบบ Isotropic	20
รูปที่ 4.1 สายอากาศแบบ ไมโครสตริป	25
รูปที่ 4.2 Network analyzer 8510	25
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนจำลองการทดลองและการวัดผลการทดลอง	26
รูปที่ 4.4 แบบจำลองการทดลองวัดแบบระยะทางตรง	27
รูปที่ 4.5 แบบจำลองการทดลองวัดแบบรอบทิศทาง (แบบช่องว่างในอากาศ)	29
รูปที่ 4.6 แบบจำลองการทดลองวัดแบบรอบทิศทาง (แบบประกอบด้วยตัวบุคคล)	29
รูปที่ 5.1 ฟังก์ชันการส่งผ่านวัดระยะทางตรง	31
รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านวัดระยะทางตรง	32
รูปที่ 5.3 กราฟการสูญเสียเชิงวิถีวัดแบบระยะทางตรง	32
รูปที่ 5.4 กราฟอัตราขยายเชิงวิถีวัดแบบระยะทางตรง	33
รูปที่ 5.5 กราฟอัตราบิดผิดผลาดวัดแบบระยะทางตรง	33
รูปที่ 5.6 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงวัดแบบระยะทางตรง	34
รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 5.8 ฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล	35
รูปที่ 5.9 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองวัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ	36
รูปที่ 5.10 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล	36
รูปที่ 5.11 กราฟการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ	37
รูปที่ 5.12 กราฟการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทาง ประกอบด้วยร่างกายบุคคล	37
รูปที่ 5.13 กราฟอัตราขยายเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทาง ในช่องว่างอากาศ	38
รูปที่ 5.14 กราฟอัตราขยายเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล	38
รูปที่ 5.15 กราฟอัตราบิดผิดผลาดจากแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ	39
รูปที่ 5.16 กราฟอัตราบิดผิดผลาดจากแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล	39
รูปที่ 5.17 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ	40
รูปที่ 5.18 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล	40
รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ และวัดเป็นวงกลมประกอบด้วยร่างกายบุคคล	41
รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ และวัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบจำลองแบบระยะทางตรง	28
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบจำลองแบบรอบทิศทาง	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

การสื่อสารในปัจจุบันมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและพัฒนาไปอย่างไม่รู้ที่สิ้นสุด ระบบระบุตัวตนโดยใช้คลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID) ถือว่าระบบที่ใหม่และมีประสิทธิภาพทำให้เป็นการขยายตัวทางธุรกิจอย่างรวดเร็วสามารถทำงานหลายชนิด เช่น ตัวอย่างที่ชัดเจนและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดมักใช้ในงานห่วงโซ่อุปทานและระบบลอจิสติกส์ (Logistic) ด้วยเทคโนโลยี RFID ที่คิดไว้ในผลิตภัณฑ์ จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ สื่อสารระหว่างกันได้และยังสามารถสื่อสารไปยังหน่วยธุรกิจและผู้บริโภคได้เช่นกัน ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในกระบวนการผลิต การขาย และการจับจ่ายซื้อสินค้า การใช้งานสามารถใช้งานในย่านความถี่กว้างยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ความถี่ในย่านนี้จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ระบบขนส่งสินค้า และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz และความถี่ 5.8 GHz สำหรับการพิจารณาหรือกำหนดคุณสมบัติในการทำงาน ของระบบก็มีตัวแปรที่สำคัญในระบบสื่อสาร (Communication System) ที่จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือลดลง ระบบสื่อสารปัจจุบันใช้เป็นแบบดิจิทัล (Digital) การศึกษาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว เราจะศึกษา ระบบ RFID โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป ทั้งด้านส่งและด้านรับ ในความถี่ 2.45 GHz ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ ไมโครเวฟ (Microwave) การศึกษาค่าการสูญเสียต่างๆ ได้ทราบถึงประสิทธิภาพและลักษณะการใช้งานจนสามารถนำไปพัฒนาอย่างต่อเนื่องในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีของ RFID ในย่านความถี่ UHF 2.45 GHz และกำลังงานในขณะทำการส่ง คลื่นวิทยุในย่านความถี่ UHF ที่ใช้งานกับ RFID
- 1.2.2 เพื่อทำการออกแบบจำลองและรูปคลื่นของสัญญาณส่งของสัญญาณวิทยุในย่านความถี่ UHF ที่ใช้งานกับ RFID
- 1.2.3 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งนำมาจากการทดลองวัดจากแบบจำลอง และทำการวิเคราะห์ และนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีและนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในอนาคต
- 1.2.4 เพื่อนำผลการทดลองวัดและการวิจัย เผยแพร่สู่สาธารณะชน

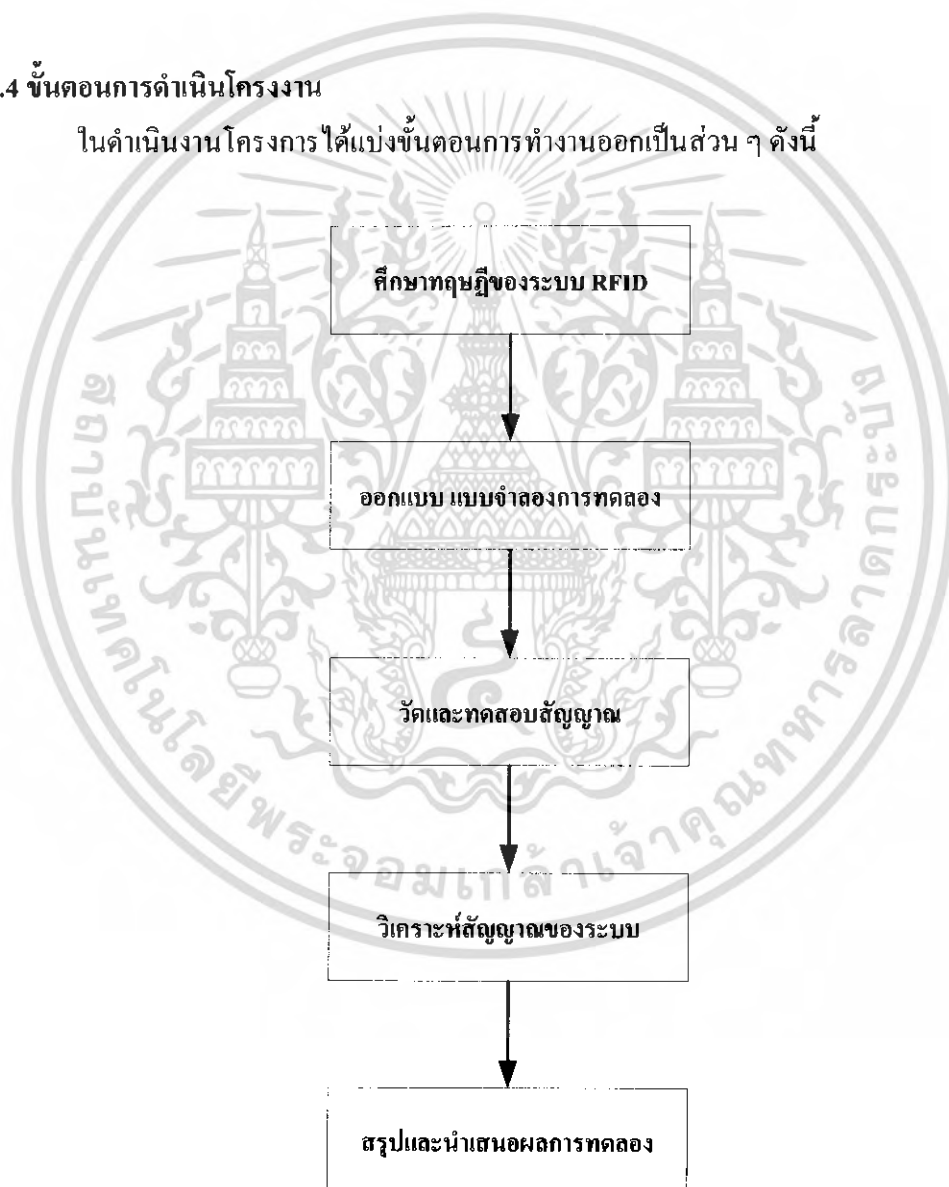
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษา และวิเคราะห์ ระบบการทำงานของ RFID ในย่านความถี่ UHF ที่ 2.45 GHz
- 1.3.2 ทำการศึกษาการทดลองและการวัดสัญญาณวิทยุ จำลองและออกแบบการส่งสัญญาณวิทยุ เพื่อให้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.3.3 ทำการทดลองวัดสัญญาณส่ง ตามแบบจำลองเพื่อนำไปใช้งานในระบบ RFID
- 1.3.4 ทำการวิเคราะห์สัญญาณผลการทดลองที่ได้จากการทดลองวัดตามแบบจำลองระบบ RFID

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ในดำเนินงานโครงการได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้รับความรู้ความเข้าใจในการศึกษา และออกแบบการใช้งานของระบบ RFID
- 1.5.2 ได้รู้จักการทำงานของคลื่นวิทยุจากการใช้งานของความถี่ต่างๆ
- 1.5.3 ได้รู้ถึงหลักการทำงานของสาขาอากาศ รวมทั้งค่าการส่งผ่านและหลักการทำงานของระบบ RFID
- 1.5.4 เพื่อที่ใช้ไปพัฒนาระบบ RFID ในการใช้งานต่อไปในอนาคต

1.6 รายละเอียดขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษาและการวางแผนการทำงานตามขั้นตอนการทำงานดังนี้ต่อไป

บทที่1	บทนำ
บทที่2	เทคโนโลยี RFID
บทที่3	ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์
บทที่4	การวัดและแบบจำลอง
บทที่5	ผลการทดลองและการวิเคราะห์
บทที่6	สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เทคโนโลยี RFID

2.1 เทคโนโลยี RFID

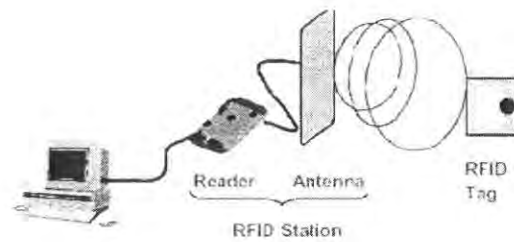
2.1.1 บทนำ

RFID ย่อมาจากคำว่า (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ระบุตัวตน หรือสิ่งของ ด้วยลักษณะเฉพาะซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เริ่มใช้กันอย่างแพร่หลาย RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูลมีการนำ RFID มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆ ได้

2.1.2 ความเป็นมาของ RFID

ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 รัฐบาลรัสเซีย ใช้ระบบนี้เป็นตัวดักจับสัญญาณโดยใช้สัญญาณวิทยุที่เข้ารหัสเพื่อระบุเครื่องบินที่บินผ่านน่านฟ้าว่าเป็นของฝ่ายเดียวกัน (หรือฝ่ายศัตรู) ต่อมา เมื่อมีการประดิษฐ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กทำให้เกิดแนวคิด การประยุกต์ใช้ทางพลเรือนโดยเริ่มจากการสร้าง RFID ใช้ฝังในสัตว์เลี้ยง ใช้ในด้านการควบคุมการเข้าออกสถานที่ และใช้ในการขนส่งในปัจจุบัน RFID กลายเป็นสิ่งที่เล็กลงมาก และราคาถูกพอที่จะใช้กับวัตถุต่างๆ ได้ง่าย RFID กำลังกลายเป็นกระแสโลกเมื่อมีการประยุกต์ใช้ในการค้าระหว่างประเทศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานแบบระบบ RFID

2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ RFID

2.2.1 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูลคือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดย ไมโครคอนโทรเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกันหรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้ เครื่องอ่านทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาครับสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ป้ายชื่อ/ แท็กเก็บข้อมูล (Transponder)

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็ก

2.2.2.1 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงานโดยปกติ โดยแท็กชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และสิ่งที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี แท็กชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่า แท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีชื่ออยู่หลายชื่อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

2.2.2.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

แท็กชนิดนี้จะไม่มียแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์รับ-ส่ง จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่วๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟเป็นที่นิยมมากกว่าชนิดแอ็กทีฟ

2.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

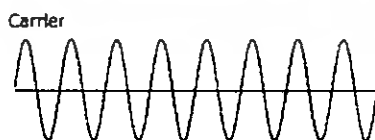
1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟสขึ้นกับวิธีการมอดูเลต
4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลนั้นทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.4 การรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน

1. ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่อง และรอคอยสัญญาณตอบจากตัวแท็ก
2. เมื่อแท็กได้รับพลังงานจากสัญญาณวิทยุที่ส่งมาโดยเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอแล้ว ก็จะทำให้ทำการส่งสัญญาณนาฬิกาเพื่อเป็นการกระตุ้นให้แท็กทำงาน
3. ข้อมูลจากแท็กก็จะถูกส่งออกมาจากหน่วยความจำ ให้กับวงจรของสายอากาศ (Antenna)
4. วงจรของสายอากาศจะทำการมอดูเลตข้อมูล
5. ตัวเครื่องอ่านจะสามารถรับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดจากแท็กได้และใช้พีคดีเทคเตอร์ (Peak detector) ในการแปลงสัญญาณข้อมูลที่มอดูเลตแล้วจากแท็ก

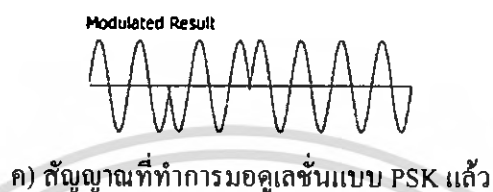
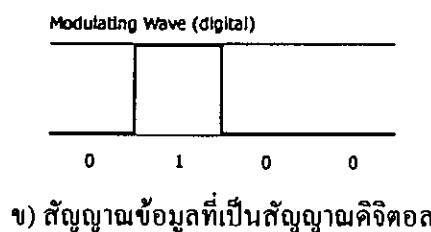
2.4.1 การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK)

การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง เป็นการผสมข้อมูลโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของยอดคลื่นพาหะ (Amplitude) เป็นตัวแสดงลักษณะข้อมูลโดยความถี่ของคลื่นพาหะไม่เปลี่ยนแปลง



ก) สัญญาณพาหะ

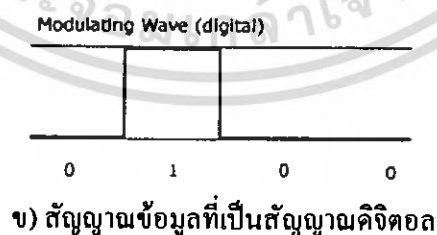
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



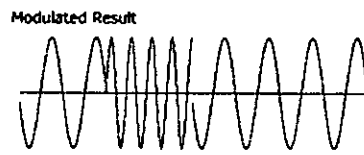
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะสัญญาณ พาหะ (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) ผลของสัญญาณ (ค) ที่ทำการมอดูเลชันแบบ PSK

2.4.2 การมอดูเลชันแบบฟรีเควนซีชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK)

การมอดูเลชันแบบฟรีเควนซีชิฟต์คีย์อิง วิธีนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะระหว่าง 2 ความถี่ขึ้นอยู่กับ สถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยความสูงของยอดคลื่นไม่เปลี่ยนแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

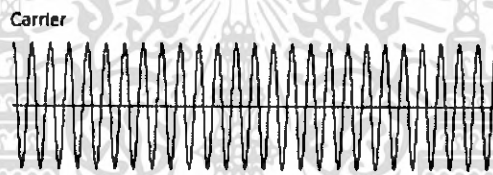


ก) สัญญาณที่ทำการมอดูเลชันแบบ FSK แล้ว

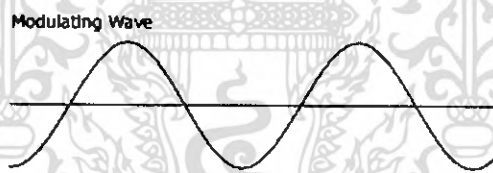
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสัญญาณ พาหะ (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) ผลของสัญญาณ (ค) ที่ทำการมอดูเลชันแบบ FSK

2.4.3 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM)

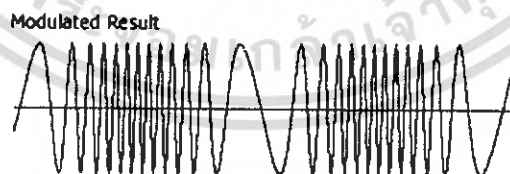
การมอดูเลตทางความถี่ วิธีนี้จะใช้หลักการเปลี่ยนเฟสของลูกคลื่นเป็นตรงกันข้าม (0 องศา กับ 180 องศา) เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของข้อมูล



ก) สัญญาณพาหะ



ข) สัญญาณข้อมูลที่เป็นสัญญาณคิจิตอล



ค) สัญญาณที่ทำการมอดูเลชันแบบ FM แล้ว

รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะสัญญาณ พาหะ (ก) สัญญาณข้อมูล (ข) ผลของสัญญาณ (ค) ที่ทำการมอดูเลชันแบบ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อัตราการรับส่งข้อมูล

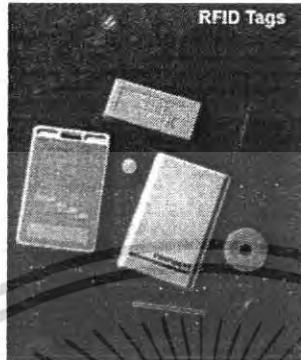
อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะสูงยิ่ง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกันโดยมีหลักว่า แบนด์วิดท์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ในช่วง 2.4-2.45 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 Mbps (เมกกะบิตต่อวินาที) เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้อัตราส่วน (Signal to Noise Ratio: SNR) ต่ำลง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.6 ระยะการรับส่งข้อมูล

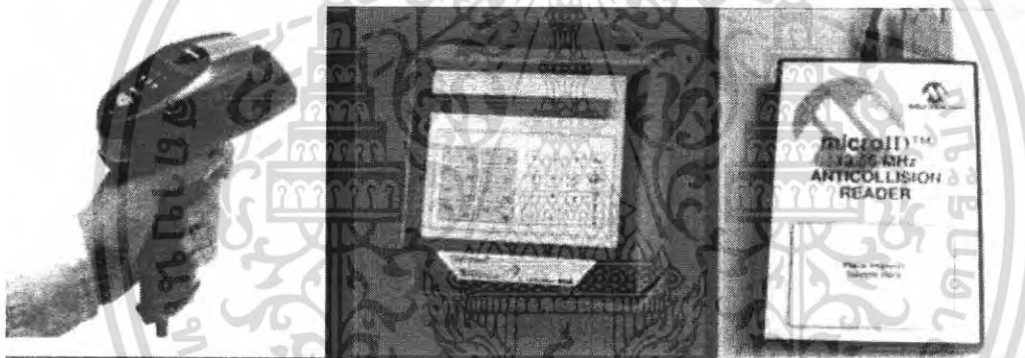
ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า การลดทอนหลายวิถี "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่มีความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา แม้ว่าจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนแต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดย ทั่วๆ ไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100mW-500mW

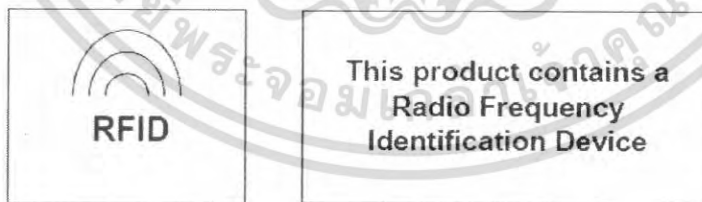
2.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ระบบ RFID แบบต่างๆ



รูปที่ 2.5 แท็กของระบบ RFID



รูปที่ 2.6 เครื่องอ่านของระบบ RFID



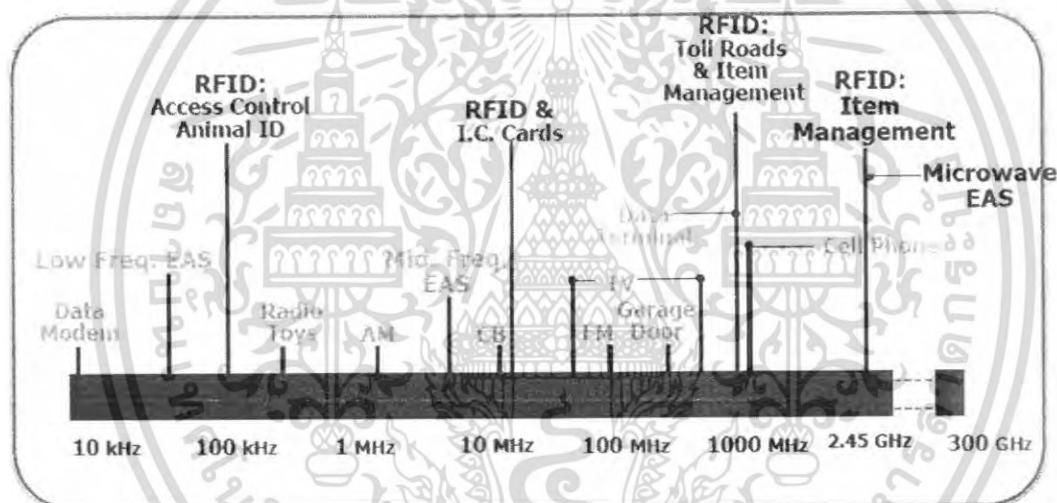
รูปที่ 2.7 ฉลากเตือนสินค้าที่ใช้ระบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ย่านความถี่การใช้งานกัน RFID

การใช้งานกัน RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM Band (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่หลายประเทศกำหนดไว้สอดคล้องกันในการอนุญาตให้ ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ มี 4 ย่านความถี่และสำหรับย่านความถี่ใน ISM Band ที่กำหนดให้ ใช้งานสำหรับ RFID ทั้ง 4 ย่านความถี่คือ

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 KHz
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56/27.125 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Very High Frequency : VHF) 433/868/915 MHz
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) 2.45/5.8 GHz



รูปที่ 2.8 ย่านความถี่การใช้งานระบบ RFID

2.9 ย่านความถี่สำหรับ RFID ในประเทศไทย

2.9.1 ย่านความถี่ 920-925 MHz

2.9.1.1 กำลังส่ง

2.9.1.1.1 ให้ใช้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power : EIRP) ไม่เกิน 4 วัตต์

2.9.1.1.2 ไม่อนุญาตให้ใช้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิกเกินกว่า 4 วัตต์ เว้นแต่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เห็นว่ามีความจำเป็นหรือมีเหตุผลอื่นที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การได้รับการยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต

อุปกรณ์ RFID ซึ่งมีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิก ไม่เกิน 0.5 วัตต์ (EIRP) ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต มีใช้และ นำออก ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

2.9.3 การตรวจสอบลักษณะทางวิชาการ

อุปกรณ์ RFID จะต้องผ่านการทดสอบลักษณะทางวิชาการจาก คณะกรรมการกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติ หรือจากห้องปฏิบัติการทดสอบรับรองมาตรฐานเครื่องวิทยุคมนาคม ที่ยอมรับได้

2.9.4 สิทธิการคุ้มครอง

การใช้อุปกรณ์ RFID ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน หากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรง ต่อการใช้ความถี่วิทยุของข่ายสื่อสารวิทยุคมนาคมอื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่งผู้ใช้ต้องระงับการใช้อุปกรณ์ RFID ที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นทันที เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมอื่นๆ ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครื่องข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุตำรวจ เครื่องข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน ย่านความถี่คลื่นที่วิทยุที่ได้รับการจัดสรร โดยองค์กรสากลทางด้านสื่อสารนานาชาติ เพื่อใช้กิจการต่างๆโดยมีการกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช้งานกับระบบ RFID ดังแสดงโดยกราฟแท่ง ทั้งนี้มีข้อสรุปให้ใช้ย่านความถี่ ISM ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 KHz (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 KHz (ทวีปอเมริกาและญี่ปุ่น) ใช้กับเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive Couple เป็นพิเศษอีกด้วย

2.10 ข้อดีของระบบ RFID

2.10.1 แท้ก็มขนาดเล็ก, น้ำหนักเบา

2.10.2 แท้ก็มีลักษณะที่บาง สามารถติดตั้งกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ง่าย

2.10.3 สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง

2.10.4 สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่าคืออะไร ผลิตอะไร ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวัน ไหน เมื่อไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.10.5 ไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆก่อน
- 2.10.6 ทำงานโดยใช้เครื่องอ่าน ที่สื่อสารกับป้ายโดยคลื่นวิทยุในการอ่านเขียนข้อมูล
- 2.10.7 สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลายแถบ RFID
- 2.10.8 สามารถเขียนข้อมูลทับได้ ซึ่งจะลดต้นทุนในการผลิตป้ายสินค้าได้
- 2.10.9 ทนต่อความเปียกชื้น แร่งสั่นสะเทือน การกระทบกระเทือน
- 2.10.10 ระบบมีความปลอดภัยสูง ยากต่อการปลอมแปลง

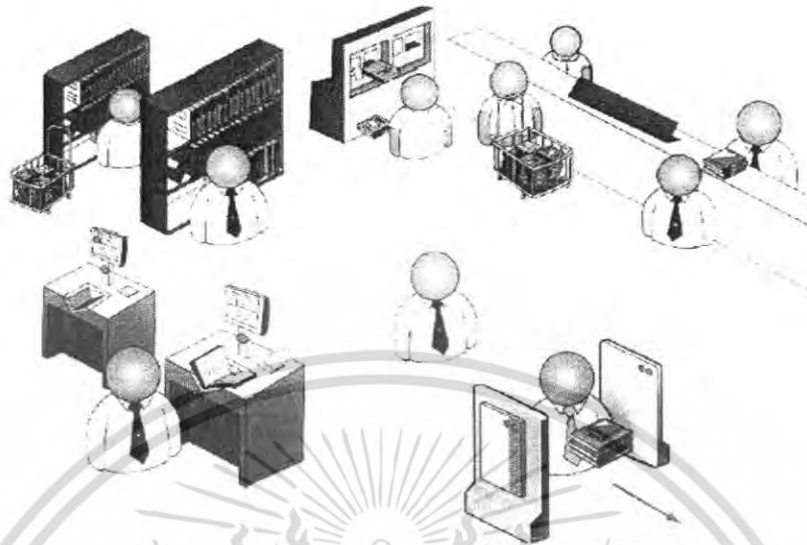
2.11 ข้อเสียของ RFID

- 2.11.1 ราคาแพงเมื่อเทียบกับระบบบาร์โค้ด
- 2.11.2 เป็นการละเมิดสิทธิของผู้บริโภค

2.12 การประยุกต์การใช้งานระบบ RFID

- ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ (E-Ticket)
- ระบบบัญชีรายการอัตโนมัติ (Automated Inventory)
- ระบบบอกรหัสพนักงาน (Automatic Teller)
- ระบบอนุญาตเข้าออกสำนักงาน (Security Access)
- ระบบการใช้งานในห้องสมุด (Library)
- ระบบการบอกรหัสสัตว์เลี้ยง (Animal Identification)
- ระบบทะเบียนประวัติ บัตรประชาชน (E-Citizen)
- ระบบข้อมูลประวัติการรักษาพยาบาล (Health Care)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ระบบการใช้งานในห้องสมุด

2.13 มาตรฐานของระบบ RFID

โดยระบบมาตรฐานของการใช้งานระบบ RFID มี 2 หน่วยงานหลัก ได้แก่ International Organization of standard หรือ ISO (www.ISO.org) และ (www.epcglobalinc.org) โดยที่มาตรฐานของ RFID มีกำหนด 3 ด้านดังนี้

- มาตรฐานด้านเทคโนโลยี (Technology)
- มาตรฐานด้านรูปแบบข้อมูล (Data Format)
- มาตรฐานการทดสอบ (Conformance)

ISO 11784

เป็นมาตรฐานที่กำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดของ ID ขนาด 64 บิต (8 ไบต์) Bit no:

Information Description

- 1 Animal (1)/non-animal (0) กำหนดความเป็นสัตว์หรือไม่ใช่สัตว์
- 2 - 15 Reserved สงวนไว้ในอนาคต
- 16 Data block (1) follow
- No data block (0)
- 17 - 26 country code
- (ISO 3166) THA = 764 กำหนดรหัสประเทศ ถ้าเป็น 999 เป็นการทดสอบตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 27-64 National identification Code รหัสของสัตว์ที่มีรหัสเดียวในประเทศเท่านั้น ขึ้นอยู่กับข้อตกลงในแต่ละประเทศสามารถใช้โปรแกรมได้ 274,877,906,944 ตัว
- Country code 10 bit = 1,024 ประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีรหัสเป็น 764 ตาม ISO 3166 ถ้าเป็นระบบ Manufacture code ซึ่งต้องผ่านการรับรองจาก ICAR (International Committee for Animal Recording) ในการทดสอบการทำงานและ ความเป็นมาตรฐานที่ ISO 11784-85 ระบุในมาตรฐานที่ ICAR ออกให้กับผู้ผลิต ที่ผ่านการรับรองแล้วจะขึ้นต้นด้วย 9XX แทนการใช้ Country code ตาม ISO 3166

ISO 11785

เป็นมาตรฐานที่กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานการส่งข้อมูลระหว่างชิพ กับตัวอ่าน และกำหนดความถี่ของคลื่นพาหะและกำหนดมาตรฐานของเครื่องอ่าน ความถี่คลื่นพาหะเครื่องอ่านที่ 134.2 KHz กาคเคลื่อนได้ ± 1.8 KHz ข้อมูลเข้ารหัสแบบ DBP (Differential Bi-phase code) โดยใช้การทำโพลคมอดูเลชัน แบบไม่มีคลื่นพาหะย่อย (Subcarrier) ขนาดความเร็วของข้อมูลที่ส่งเท่ากับ 4194 bit/s (KHz ฮาร์ดด้วย 32)

ISO 14443A

มาตรฐาน ISO 14443A เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาโดย Phillip ซึ่งเป็นผู้พัฒนารายแรกของโลก สำหรับ Contactless Smart Card มีผู้ใช้งานบัตรสมาร์ทการ์ดมาตรฐานนี้มากที่สุดในโลกมีส่วนสำคัญของมาตรฐานดังนี้

- การรับส่งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องอ่านเครื่องเขียน กับบัตรสมาร์ทการ์ดถึง 10 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับสายอากาศ)
- ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องเขียน กับบัตรสมาร์ทการ์ดด้วยความเร็วสูงถึง 106 kbps
- ความถี่วิทยุ (Radio Frequency) 13.56 MHz
- ความถูกต้องของระบบรับส่งข้อมูลสูงด้วยเทคนิคการทำ 16 bit CRC, Parity, Bit coding และ Bit Counting
- มีระบบป้องกันการ ก๊อปปี้ข้อมูล
- เวลาในการอ่าน/เขียนข้อมูล กับบัตรสมาร์ทการ์ด น้อยกว่า 100 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO 14443B

มาตรฐาน ISO 14443B เป็นมาตรฐานเปิดมีหลายบริษัทเป็นผู้ร่วมพัฒนา โดยมาตรฐานมีความใกล้เคียงกับ ISO 14443A ต่างกับเฉพาะที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มเติมจาก ISO 14443A เช่น ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณซึ่งเป็นแบบ 10% ASK, BPSK (Bit Encoding) แต่ยังมีข้อด้อยในหลายๆ เรื่องเนื่องจากมาตรฐานในส่วนสำคัญๆถูก ISO 14443A บังคับอยู่ แต่ข้อดีคือเป็นมาตรฐานเปิดทำให้มีผู้ผลิตมากมาย มีการแข่งขันด้านราคาและคุณภาพมากขึ้น

ISO 15693

เป็นมาตรฐานที่ร่วมกันพัฒนาระหว่าง Phillips และ Texas Instrument สำหรับ ISO 15963 นั้นมีจุดประสงค์ในการใช้งานเพื่อเป็นแผ่นป้ายบอกข้อมูล RFID มากกว่าจะเป็นสมาร์ทการ์ดแบบใช้งานทั่วไป ซึ่งจะมีลักษณะรูปร่างเป็น Label สามารถนำไปแปะบนกล่องสินค้า หรือตัวสินค้าต่างๆเพื่อใช้งานแทน บาร์โค้ด โดยสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปในตัวชิพใหม่ มีระยะการทำงานไกลถึง 1 เมตรจากเครื่องอ่าน (ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศ) นอกจากนี้ตัวเครื่องอ่านยังสามารถอ่านข้อมูลจากชิพได้พร้อมๆกันหลายชิพโดยใช้กรรมวิธีการแยกแยะข้อมูลจากชิพแต่ละตัวได้อย่างดี มาตรฐานนี้สามารถแบ่งเป็นมาตรฐานย่อยในการใช้งานได้อีกหลายรูปแบบ เช่นเมื่อนำไปใช้งานในขบวนการค้าปลีก หรือแถบบาร์โค้ด ก็จะมีหน่วยงานมาตรฐาน EPC (Electronic Product Code) เป็นผู้กำหนดรายละเอียดปลีกย่อยลงไปเพื่อให้สามารถใช้ระบบบาร์โค้ด ซึ่งถูกพัฒนาเป็นมาตรฐานมาก่อนโดยไม่มีปัญหาใด ๆ สำหรับ ISO 15693 สามารถติดตามข้อมูลเพิ่มเติมได้ใน RFID Technology เพราะมีความเป็น RFID อยู่มาก จึงไม่ขอก้าวในส่วนของสมาร์ทการ์ดทั่วไป

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์

3.1 ทิวทัศน์

ปัจจุบันระบบการสื่อสารมีความพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงแม่นยำและมีทฤษฎีของระบบและหลักการวิเคราะห์เพื่อเป็นมาตรฐานและข้อบังคับสำหรับเทคโนโลยี RFID ที่เรานำมาใช้งานและศึกษาก็เป็นระบบการสื่อสารไร้สายสามารถอำนวยความสะดวกได้มาก ดังนั้นเราต้องศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของระบบสื่อสารให้มีความเข้าใจมากขึ้น เพื่อหาค่าประสิทธิภาพสำหรับการทดลองระบบ RFID ที่เรานำมาศึกษานั้น จะศึกษาในเรื่องของ ค่าการสูญเสียต่างๆของระบบ อัตราการขยายเชิงวิธี และอัตราบิดผิดพลาด ทั้งนี้จึงต้องพิจารณาและวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีจึงจะได้ทราบค่าที่ได้จริง

3.2 ความจุของช่องสัญญาณ (Channel Capacity)

พารามิเตอร์สามารถใช้ความเข้าใจเกี่ยวกับ การแพร่กระจายคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของระบบสื่อสารแบบไร้สายคือความจุของช่องสัญญาณเมื่อมีความจุในช่องสัญญาณมากก็จะทำให้ซึ่งรูปแบบของพื้นฐานคือได้

C คือ ความจุของช่องสัญญาณ (Channel Capacity) มีหน่วยเป็น bps

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (3.1)$$

โดยที่

B = แบนด์วิธของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น Hz

SNR = อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

SNR (Signal to Noise Ratio)

SNR จะบอกถึงอัตราส่วนระหว่างสัญญาณจริงที่ได้รับต่อสัญญาณที่เป็นสัญญาณรบกวนมีค่าเป็นเดซิเบล (dB) โดยหากค่า SNR มีค่าต่ำมากๆ นั้นหมายความว่าความแรงของสัญญาณรบกวนแรงพอกับสัญญาณจริง ทำให้มีการรับส่งข้อมูลได้ไม่มีประสิทธิภาพ โดยที่ค่า SNR มีสมการดังนี้

$$10 \log_{10} \left(\frac{\text{signal, power}}{\text{noise, power}} \right) \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

signal, power = กำลังของสัญญาณ

noise, power = กำลังของสัญญาณรบกวน

3.3 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

สมการฟรีส (Friis) เป็นสมการที่สามารถนำมาใช้คำนวณง่ายและเป็นสมการที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์

3.3.1 หลักทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสใช้ในระบบ RFID

เป็นสมการเพื่อใช้หาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง (Free space) ในการหา รูปแบบของสัญญาณการส่งผ่านได้พิจารณาจากฟังก์ชันการส่งผ่าน H_{Friis}

$$H_{Friis}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_f(f, d)H_r(f)H_i(f) \quad (3.3)$$

โดยที่ H_f คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง
 H_r คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านรับ
 H_i คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านส่ง
 V_r คือ พลังงานของสัญญาณทางด้านรับ
 V_t คือ พลังงานของสัญญาณทางด้านส่ง
 f คือ ความถี่
 d คือ ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

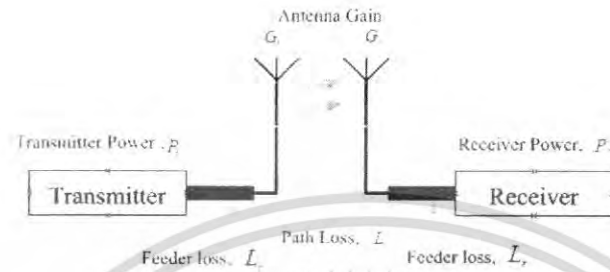
จากการที่สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณทำให้ค่าของการถ่ายโอนของอากาศว่างต้องมีการระบุรูปแบบเสียใหม่มีดังนี้

$$H_f(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp^{-jkd} \quad (3.4)$$

$$\text{เมื่อ } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ และ } \lambda = \frac{c}{f}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

λ = ความยาวคลื่น
 c = ความเร็วแสงเท่ากับ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร

สำหรับการสูญเสียในช่องว่างอิสระ สมการการส่งผ่านเต็มรูปของ Friis จะเป็นโดยที่กำลังงาน ภาดส่งและภาครับ เป็นความสัมพัทธ์ดังนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r G_f = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.5)$$

ซึ่ง G_t และ G_r เป็นกำลังขยายที่สายอากาศทั้งสอง, d คือระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง และ λ คือความยาวคลื่น ซึ่งสามารถสังเกตเห็นการเกิดจากการกระจายแบบทรงกลมของกำลังงานบนพื้นผิวของทรงกลมของรัศมี d ที่มีศูนย์กลางอยู่ที่สายอากาศ ตั้งแต่กำลังงานที่กระจายบนบริเวณพื้นผิวของทรงกลมซึ่งมีขนาดที่ d^2 ค่ากำลังงานที่ปรากฏที่สายอากาศภาครับลดลง ตามส่วนกับ d^2



รูปที่ 3.2 การกระจายแบบ Isotropic เป็นต้นเหตุของการสูญเสียในอากาศว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถี ระหว่าง ตัวรับและส่งสัญญาณ คือ อัตราส่วนของกำลังตัวส่งสัญญาณ และกำลังของตัวรับสัญญาณ ปกติจะแสดงออกมาใน หน่วย เดซิเบล (dB) ซึ่งรวมไปถึง การสูญเสียเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาระหว่าง การแพร่กระจายคลื่น ซึ่งทั้งหมดอยู่ใน การ ส่งสัญญาณและรับสัญญาณ ในกรณีที่ ช่องสัญญาณขนาดใหญ่ก็จะเกิดการจางหายของสัญญาณ หรือการเคลื่อนที่ของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีจะมีมากขณะที่ทำการวัด โดยตรงจนถึงการสูญเสียแบบต่างๆอัตราขยายของระบบคลื่นวิทยุ ดังนั้น จึงมีการพิจารณาอย่างละเอียด โดยที่จะทำการตรวจสอบอย่างละเอียดสำหรับ โครงสร้างของลิงค์ บัคเจท ซึ่งขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สาย สำหรับในส่วน การสูญเสียเชิงวิถี จะดูคุณลักษณะ และอัตราขยายในระบบเป็นสิ่งที่สำคัญโดยที่ค่า การสูญเสียเชิงวิถีสามารถเขียนเป็นสมการ ได้คือ

$$PL = 20 \log[v_r(t)/v_t(t)] \quad (3.6)$$

$v_t(t)$ = สัญญาณทางด้านส่ง

$v_r(t, d)$ = สัญญาณทางด้านรับ โดยที่จะมีระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้อง

3.3.3 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)

อัตราขยายเชิงวิถีมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ โดยอัตราขยายเชิงวิถีเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี โดยที่ ค่าของสัญญาณทางด้านรับต่อ สัญญาณทางด้านส่งการสูญเสียเชิงวิถีสามารถเขียนเป็นสมการ ได้คือ

$$PG = 20 \log[v_r(t, d)/v_t(t)] \quad (3.7)$$

$v_t(t)$ = สัญญาณทางด้านส่ง

$v_r(t, d)$ = สัญญาณทางด้านรับ โดยที่จะมีระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้อง

3.3.4 โปรไฟล์การหน่วงเวลา (Power Delay Profile)

เพื่อเป็นบ่งบอกถึงผลของการรับสัญญาณได้ดีหรือไม่ และค่าความผิดเพี้ยนสังเกต ว่าผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของช่องสัญญาณที่มีหลายเส้นทาง หรือหลายทิศทาง และทางเป็นการพัฒนาการสื่อสารแบบไร้สาย แบบระบบ RFID โดยพิจารณาใช้

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลา
ประวิง ประกอบด้วย

- การหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay)
- การแผ่การหน่วง rms (Rms delay spread)

โดยที่ค่าการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย ($\bar{\tau}$) หาได้จาก

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.8)$$

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.9)$$

โดยที่ค่าการแผ่การหน่วง rms หาได้จาก

$$\sigma_\tau = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.10)$$

3.3.5 อัตราความผิดพลาดต่อบิต BER (Bite Error Rate)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลงโดย
สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นเกิดกระทำของมนุษย์ หรือโดย
ธรรมชาติในระบบ เราจะใช้อัตราความผิดพลาดต่อบิต เป็นมาตรฐานในการวัด
ประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบบ RFID โดยที่ค่าของอัตราความผิดพลาดต่อบิต ยิ่ง
มีค่ามากขึ้นเท่าใดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาด
เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$BER = Q \left[\sqrt{\frac{(E_b/N_o) f_b C_c}{b_r}} \right] \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E_b/N_o – กำลังงานต่อบิตต่อพลังงานความหนาแน่นของสเปกตรัม

C_c = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

f_b = ความกว้างของแถบความถี่

b_r = bit rate

Q = Error function

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0 \quad (3.12)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวัดและแบบจำลอง

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารมีการก้าวหน้าและพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและการสื่อสารเป็นสิ่งที่มีจำเป็นมากในการดำรงชีวิตตลอดจนตอบสนองการดำเนินชีวิตอีกด้วย และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานเทคโนโลยีที่จะสนใจและนำศึกษาคือเทคโนโลยี RFID สำหรับบทนี้เราจะพิจารณา การออกแบบการวัดหรือการจำลองการใช้งาน โดยที่การออกแบบเราจะคำนึงถึงตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ โดยใช้สายอากาศเป็นสื่อในการรับส่งสัญญาณ สำหรับการศึกษและการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงและศึกษาผลกระทบในรูปแบบต่างๆ เพื่อนำไปแก้ไขตลอดจนพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.1 สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบและการวัดค่าในการทดลอง

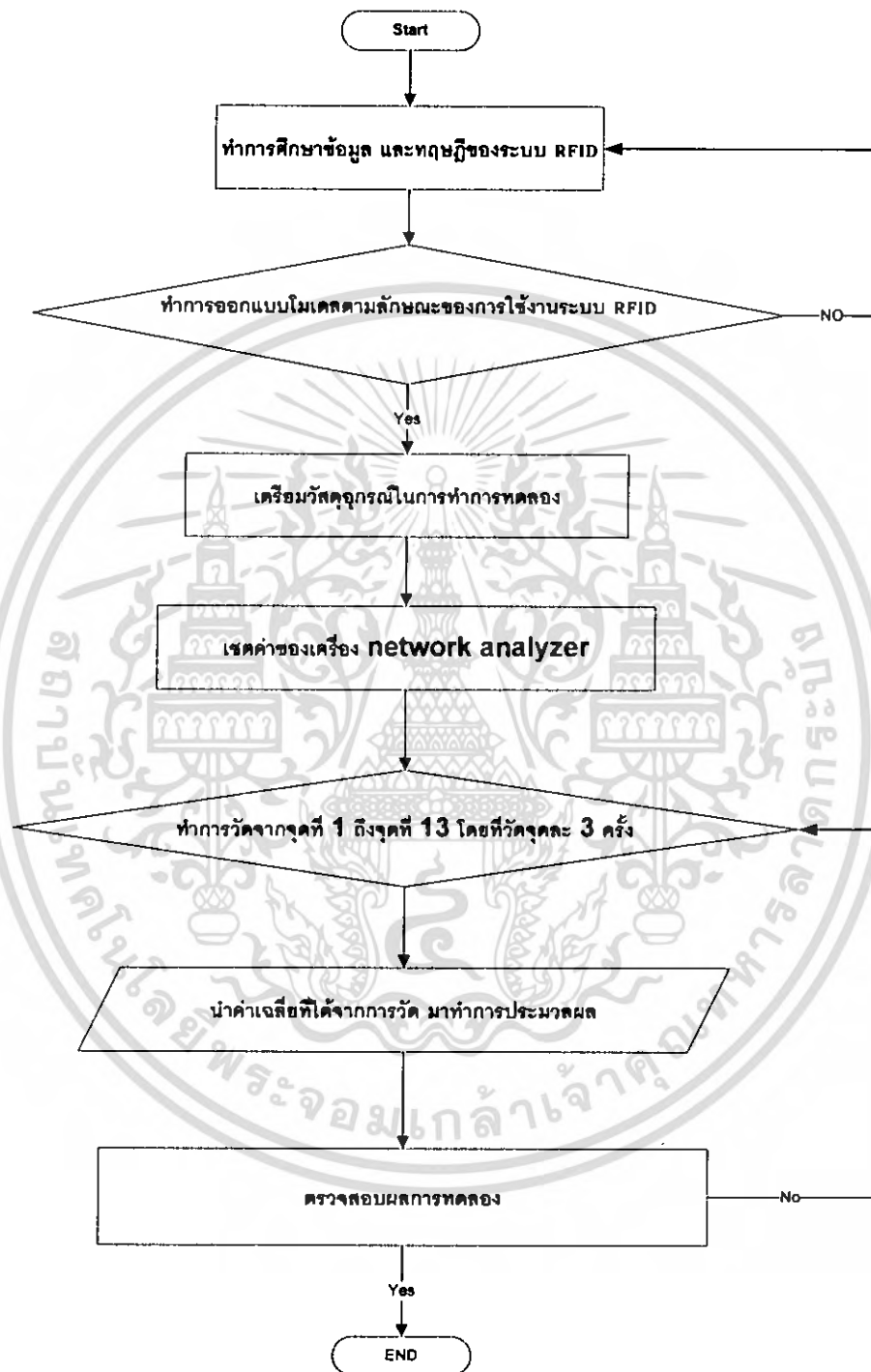
- 4.1.1 สถานที่ ที่ทำการออกแบบหรือจำลองโมเดล
- 4.1.2 ลักษณะการติดตั้ง ตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณ
- 4.1.3 สภาพแวดล้อมในการวัดเช่น คน, สิ่งก่อสร้าง
- 4.1.4 ลักษณะภูมิอากาศ
- 4.1.5 ความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้เครื่องมือวัดผลการทดลอง

4.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

- 4.2.1 สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 GHz ที่มีขนาดกว้าง 9 cm และยาว 10 cm เป็นตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณระบบ RFID
- 4.2.2 เครื่อง Network analyzer 8510 C
- 4.2.3 สายโคแอกเซียล
- 4.2.4 ขาตั้งสายอากาศ ระดับความสูง 2.10 m
- 4.2.5 ขาตั้งกล้อง ระดับความสูง 1.20 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการออกแบบโมเดล



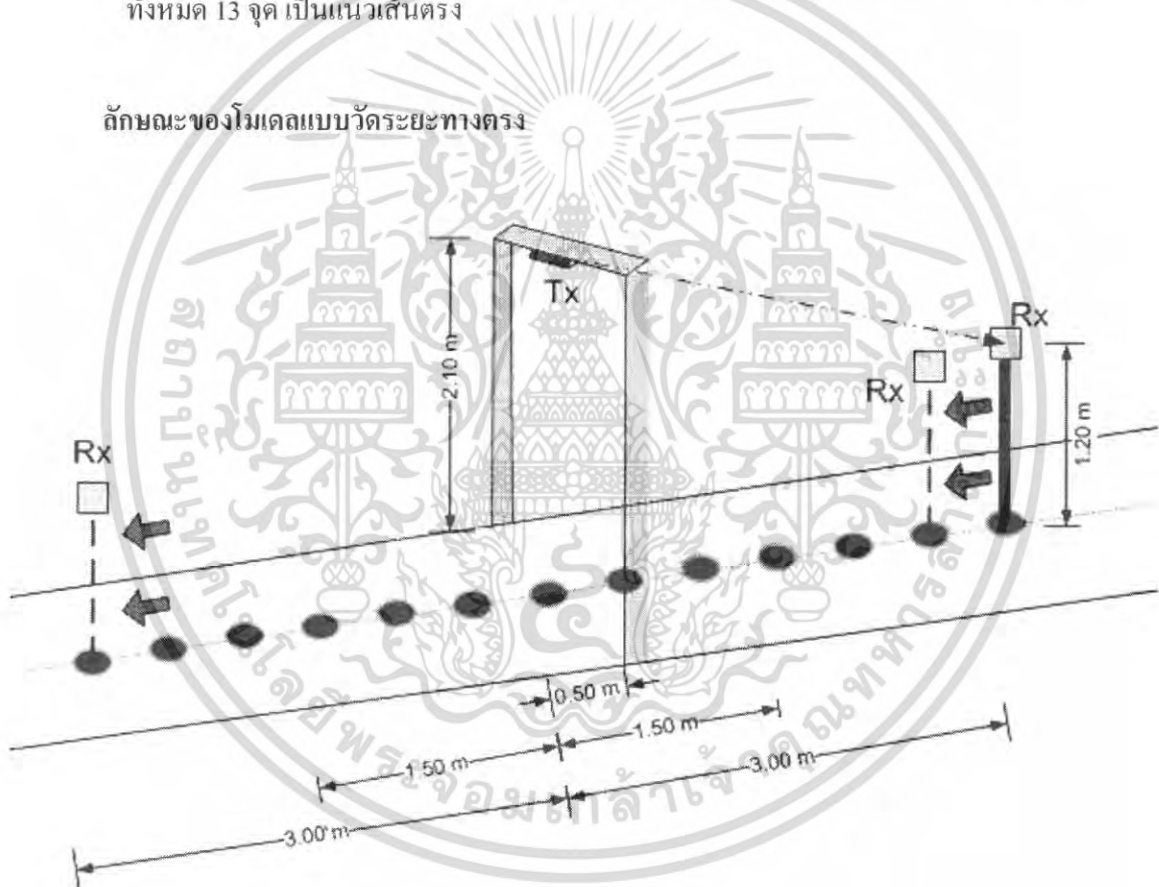
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนจำลองการทดลองและการวัดผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การออกแบบโมเดลแบบวัดระยะทางตรงระบบ RFID 2.45 GHz

1. ออกแบบภาคส่ง โดยใช้สายอากาศ 2.45 GHz สูงจากพื้นเป็นระยะ 2.10 m ซึ่งจำลองจะติดตั้งไว้ในระดับขอบประตู
2. ออกแบบภาครับ โดยใช้สายอากาศ 2.45 GHz สูงจากพื้นเป็นระยะ 1.20 m
3. กำหนดจุดที่วัดจากศูนย์กลางซึ่งจุดศูนย์กลางอยู่ตรงกลางสายอากาศภาคส่งและกำหนดระยะที่จะวัดไปทางซ้าย 6 จุด ระยะห่างกัน 50cm ระยะห่างเท่าๆกัน และ กำหนดจุดที่ต้องการวัดไปทางขวา 6 จุด ระยะห่าง 50cm ระยะห่างเท่าๆกันซึ่งระยะที่ต้องการวัดทั้งหมด 13 จุด เป็นแนวเส้นตรง

ลักษณะของโมเดลแบบวัดระยะทางตรง



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการทดลองวัดระยะทางตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบวัดระยะทางตรง

พารามิเตอร์แบบวัดระยะทางตรง	
ย่านความถี่	2GHz-3GHz
จำนวนของช่องความถี่ต่อจุด	801
ช่วงกำลังการส่งสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	2.10m
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.20m
ระยะทางระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	$\pm 3m$
ชนิดของสายอากาศ	Micro strip 2.45 GHz

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบวัดระยะทางตรง

4.5 การออกแบบโมเดลแบบวัดแบบรอบทิศทางระบบ RFID ความถี่ 2.45 GHz

1. ออกแบบ โดยใช้สายอากาศ 2.45 GHz เป็นภาคส่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.10m ซึ่งจำลองจะติดตั้งในระดับขอบประตู
2. ออกแบบภาครับโดยใช้สายอากาศไมโครสตริป 2.45 GHz สูงจากพื้นเป็นระยะ 1.20m
3. กำหนดจุดที่จะต้องการ โดยที่เพิ่มมุมครั้งละ 30 องศา

มุมที่ 1 = 0 องศา

มุมที่ 2 = 30 องศา

มุมที่ 3 = 60 องศา

มุมที่ 4 = 90 องศา

มุมที่ 5 = 120 องศา

มุมที่ 6 = 150 องศา

มุมที่ 7 = 180 องศา

มุมที่ 8 = 210 องศา

มุมที่ 9 = 240 องศา

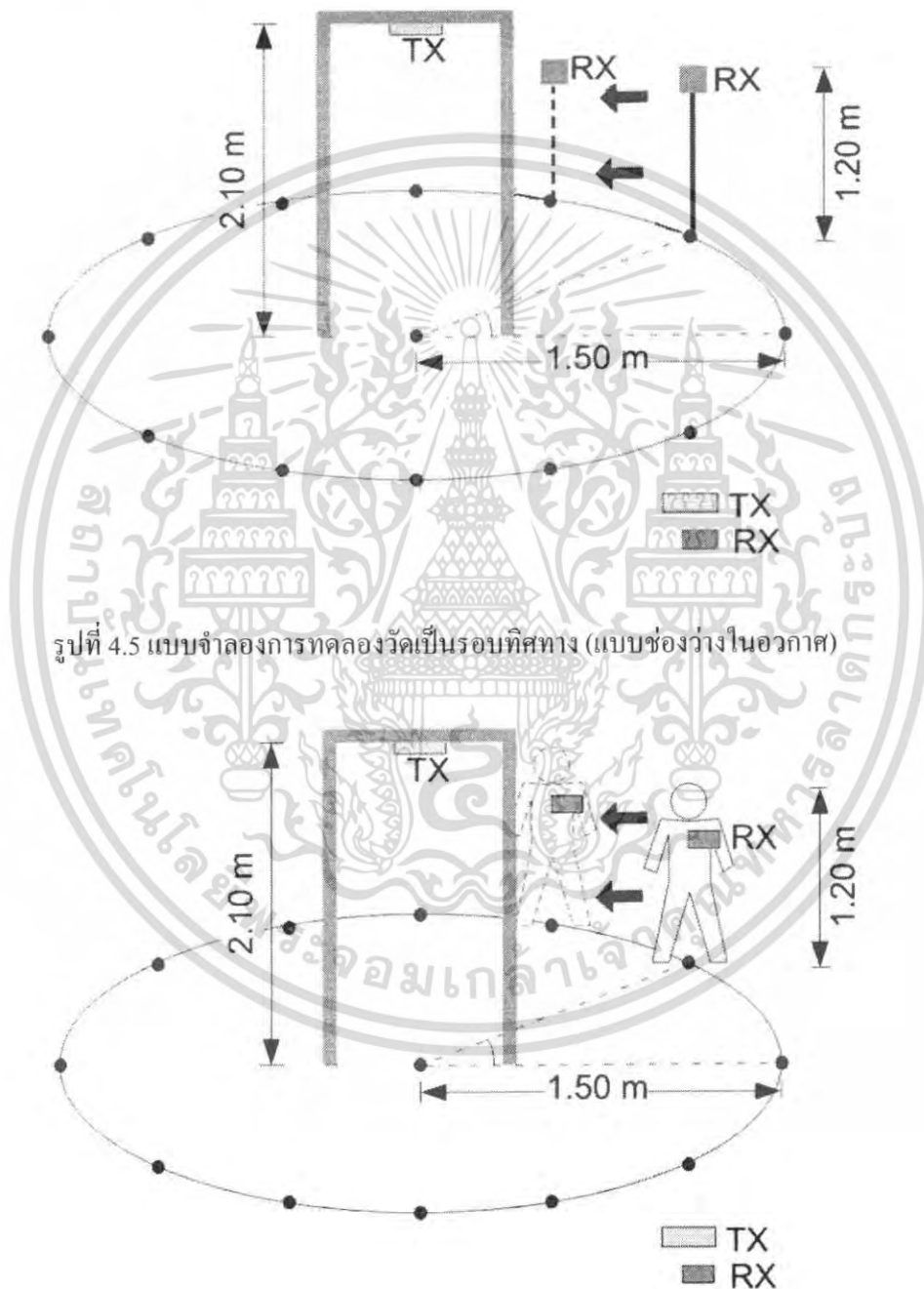
มุมที่ 10 = 270 องศา

มุมที่ 11 = 300 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมที่ 12 = 330 องศา

4.6 ลักษณะของโมเดลแบบวัดแบบรอบทิศทาง



รูปที่ 4.6 แบบจำลองการทดลองวัดเป็นรอบทิศทาง (แบบประกอบด้วยร่างกายบุคคล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบรอบทิศทาง

พารามิเตอร์แบบจำลองวัดเป็นวงกลม	
ย่านความถี่	2GHz-3GHz
จำนวนของช่องความถี่ต่อจุด	801
ช่วงกำลังการส่งสัญญาณ	80 dB
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	2.10m
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.20m
มุมระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	0°,30°,60°,90°,120°,150°,180° 210°,240°,270°,300°,330°,360°
ชนิดของสายอากาศ	Micro strip 2.45 GHz

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการวัดแบบรอบทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

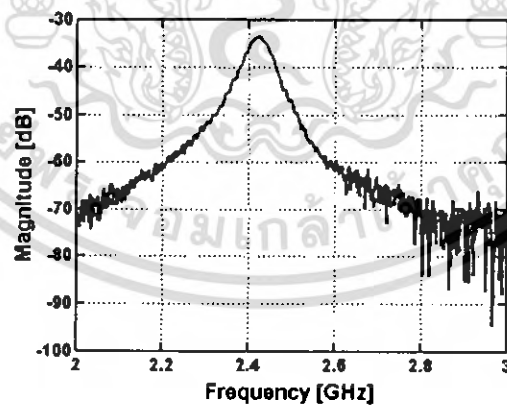
5.1 การวิเคราะห์สัญญาณ

แบบที่ 1 การทดลองวัดสัญญาณแบบใช้สายอากาศแบบ ไมโครสติปที่ 2.45 GHz แบบจำลองในการที่ใช้ในการวัดได้ทำการออกแบบไว้ 2 แบบคือ แบบแรก เป็นแบบวัดระยะทางตรงและแบบที่ 2 เป็นแบบการวัดแบบรอบทิศทางโดยมีสายอากาศภาคส่งเป็นจุดศูนย์กลาง หรือวัดแบบวงกลมเพื่อหาผลการวิเคราะห์ของค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ รูปสัญญาณทางด้านรับของสายอากาศ (Received Signal) ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ค่าอัตราบิตผิดพลาด (Bit error rate) เมื่อเทียบกับระยะทางเพื่อดูค่าผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อเทียบกับด้านส่งการทดลอง โดยการจำลองมาจากการเดินเข้าออกของประตู

5.2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณ

5.2.1 ผลการวิเคราะห์สัญญาณในแบบวัดระยะทางตรง

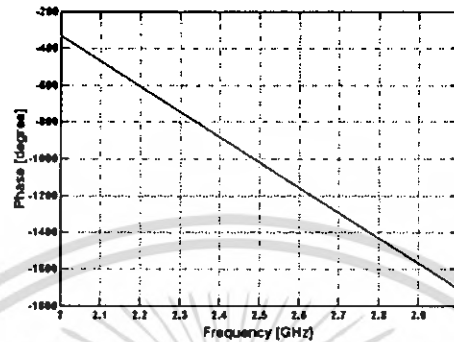
ในแบบจำลองที่ 1 ในการวัดแบบช่วงว่างในอากาศแบบเส้นตรงผ่านจุดกึ่งกลาง ผลจากการวัดและวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



รูปที่ 5.1 ฟังก์ชันการส่งผ่านแบบวัดระยะทางตรง

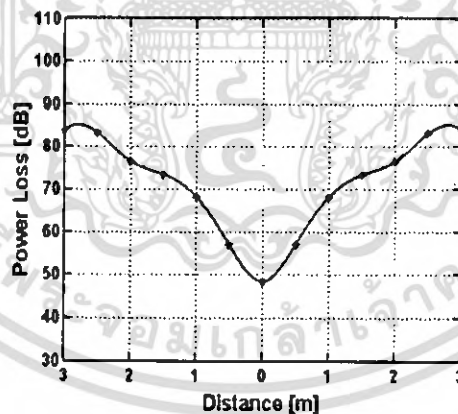
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดทั้งหมด 13 จุด จุดละ 50 เซนติเมตร โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป ที่ความถี่ 2.45 GHz



รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านแบบวัดระยะทางตรง

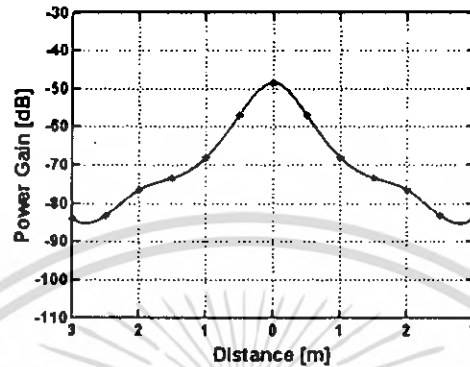
จากรูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทั้ง 13 จุดค่าของเฟสจะมีความเป็นเชิงเส้นเล็กน้อยแต่ระยะที่ปลายของเฟสเกิดการแทรกสอดของสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ความถี่เดียวกันหรือความถี่ข้างเคียง ทำให้กราฟรูปเฟสมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นมากนัก



รูปที่ 5.3 กราฟการสูญเสียเชิงวิถีแบบวัดระยะทางตรง

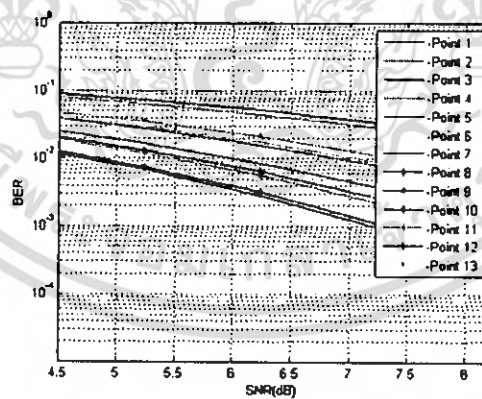
จากรูปที่ 5.3 เป็นกราฟที่ได้จากการวัดการสูญเสียเชิงวิถีทั้งหมด 13 จุด จุดละ 50 เซนติเมตร โดยจุดที่มีค่าการสูญเสียน้อยที่สุดคือจุดที่ 7 (ห่างจากสายอากาศ 0 เมตรซึ่งสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับจะตรงกัน) จะเห็นได้ว่า ระยะทางทั้ง 13 จุดนั้นค่าที่มีค่าดีที่สุดคือค่าระยะทางที่ 0 เพราะ

สายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งสัญญาณใกล้เคียงกันมากที่สุดทำให้เกิดการส่งสัญญาณได้ดีระยะอื่นๆ และระยะทางที่ไกลจะมีผลทำให้เกิด การสูญเสียมาก



รูปที่ 5.4 กราฟอัตราขยายเชิงวิถีแบบวัตรระยะทางตรง

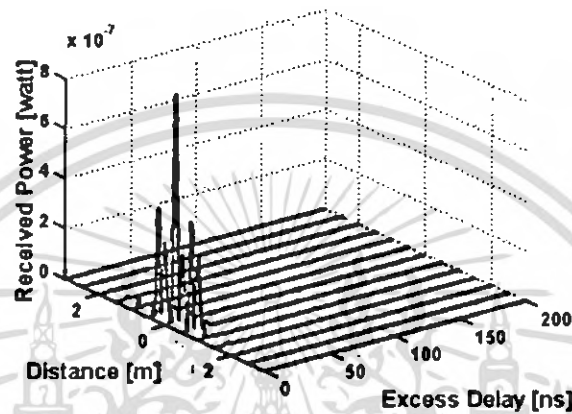
จากรูปที่ 5.4 เป็นกราฟที่ได้จากการวัดอัตราขยายเชิงวิถีทั้งหมด 13 จุด จุดละ 50 เซนติเมตร โดยจุดที่มีค่าอัตราขยายมากที่สุดคือจุดที่ 7 (ห่างจากสายอากาศ 0 เมตร ซึ่งสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับจะตรงกัน) รูปแบบของกราฟเมื่อสายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งอยู่ใกล้เคียงกันมากก็จะเกิดอัตราขยายสัญญาณให้กันได้มากกว่าระยะทางที่ไกล ซึ่งรูปแบบกราฟจะตรงข้ามกับการสูญเสียเชิงวิถี



รูปที่ 5.5 กราฟอัตราผิดพลาดผิดพลาดแบบวัตรระยะทางตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.5 ซึ่งเป็นกราฟอัตราบิดผิดพลาด จะเห็นว่าจุดที่ 7 มีอัตราบิดผิดพลาดในการส่งผ่านน้อยที่สุด และดีที่สุดในเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆ เนื่องจากนอกจากอัตราบิดผิดพลาดจะต่ำแล้ว ยังใช้กำลังงานต่ำอีกด้วยด้วยผลกราฟจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของระบบ

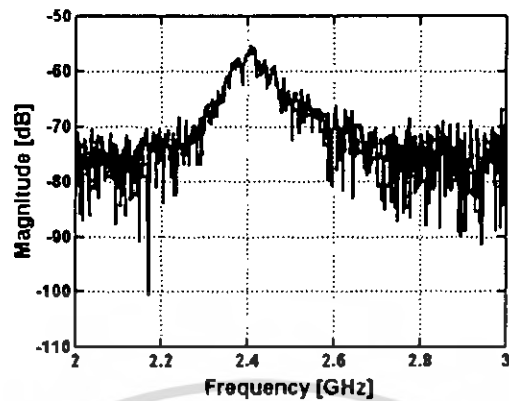


รูปที่ 5.6 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงแบบวัดระยะทางตรง

จากรูปที่ 5.6 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิง ซึ่งเป็นกำลังงานที่สายอากาศภาครับได้ โดยจุดที่สายอากาศภาครับและภาครอบอยู่ใกล้กันที่สุดจึงทำให้มีกำลังงานมากที่สุด และจุดที่อยู่ห่างออกไปก็จะมีกำลังงานลดลง

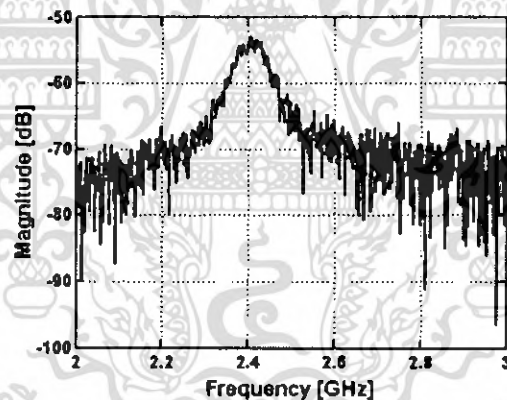
5.2.2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองวัดแบบรอบทิศทาง

ในแบบที่ 2 ได้ทำการทดลองจำลองการวัดแบบรอบทิศทางจะวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ หรือ โดยจะนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับ รูปแบบที่ทำการจำลองวัดโดยมีคนเข้ามาโดยติดแทรกกับไว้ที่กระเปาะเสื้อ เพื่อที่จะดูค่าแตกต่างจะมีผลกระทบต่อสัญญาณอย่างไรและมีค่าสูญเสียแตกต่างกันมากน้อยอย่างไร



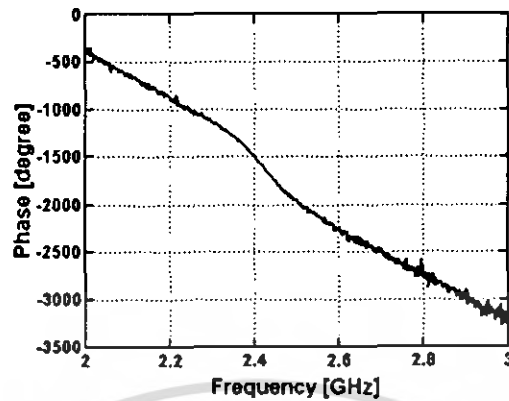
รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ

จากรูปที่ 5.7 เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นวงกลมในช่องว่างอากาศ ที่ได้จากการวัด 12 จุดตั้งแต่ 0 ถึง 360° จุดละ 30° โดยวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ



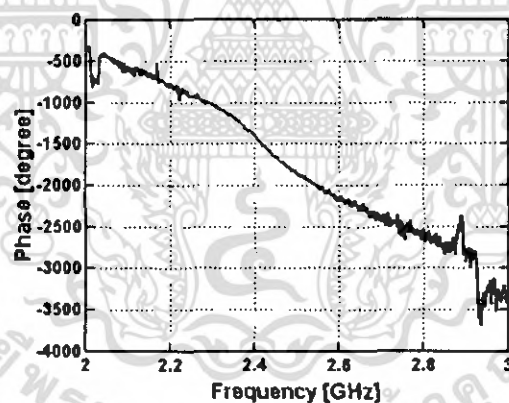
รูปที่ 5.8 ฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล

จากรูปที่ 5.8 เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองวัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศประกอบด้วยร่างกายบุคคล ที่ได้จากการวัด 12 จุด 360° จุดละ 30° โดยวัดแบบมีแทรกติดอยู่กับตัวคน



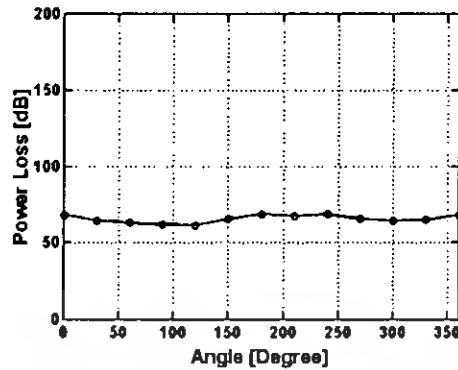
รูปที่ 5.9 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองวัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ

จากรูปที่ 5.9 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ ซึ่งเป็นการวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ สังเกตได้ว่าค่า เฟสของแบบจำลองชนิดนี้มีลักษณะเรียบและค่อนข้างดี



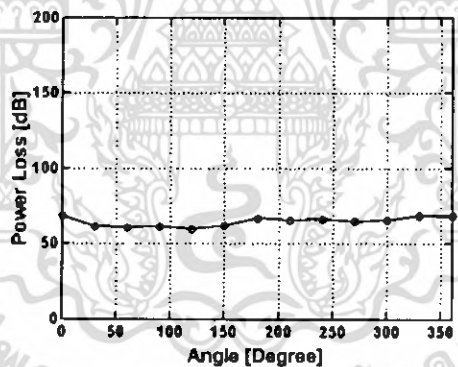
รูปที่ 5.10 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล

จากรูปที่ 5.10 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคลซึ่งเป็นการวัดแบบมีแทรกคิยอยู่กับตัวคนจึงทำให้ลักษณะของเฟสไม่เรียบเท่าที่ควร เนื่องจากการบดบังของร่างกายมนุษย์จึงทำให้เกิดการสูญเสีย



รูปที่ 5.11 กราฟการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทาง ในช่องว่างอากาศ

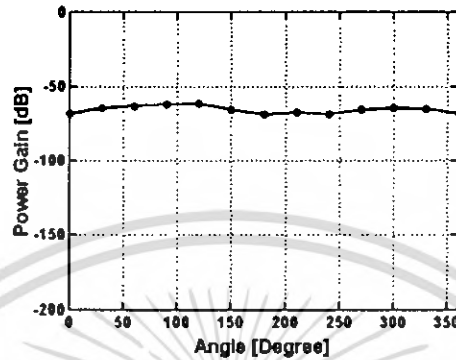
จากรูปที่ 5.11 เป็นการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางซึ่งเป็นการวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ กราฟที่ได้จะมีลักษณะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากทำการวัดเป็นรูปวงกลม จึงมีระยะห่างเท่ากัน



รูปที่ 5.12 กราฟการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทาง ประกอบด้วยร่างกายบุคคล

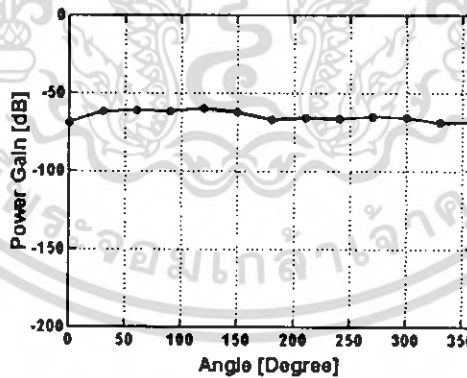
จากรูปที่ 5.12 เป็นการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทาง ประกอบด้วยร่างกายบุคคล ซึ่งเป็นการวัดแบบมีแทรกติดอยู่กับตัวคน กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับ กราฟการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบ

ทิศทางแบบช่องว่างอากาศ แต่จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากมีร่างกายมนุษย์มาอยู่ในการทดลองด้วย



รูปที่ 5.13 กราฟอัตราขยายเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ

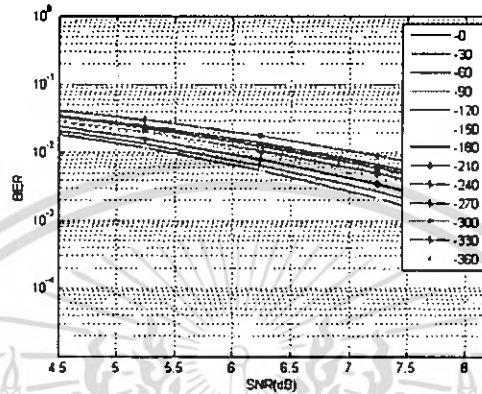
จากรูปที่ 5.13 เป็นการสูญเสียเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ ซึ่งเป็นการวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ ซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับกราฟการสูญเสียเชิงวิถีในแบบจำลองเดียวกัน



รูปที่ 5.14 กราฟอัตราขยายเชิงวิถีของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบร่างกายบุคคล

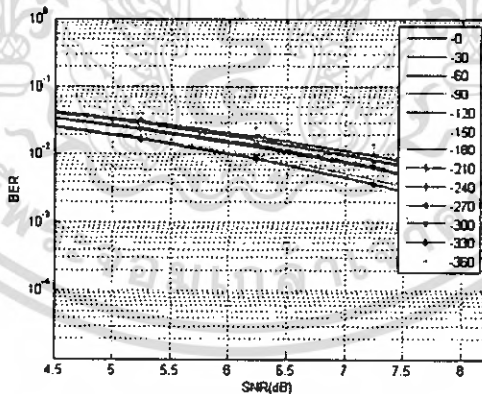
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.14 เป็นการสูญเสียเชิงวิถิของฟังก์ชันการส่งผ่านของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบร่างกายบุคคล ซึ่งเป็นการวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ ซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับกราฟการสูญเสียเชิงวิถิในแบบจำลองเดียวกัน



รูปที่ 5.15 กราฟอัตราบิตผิดพลาดจากแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ

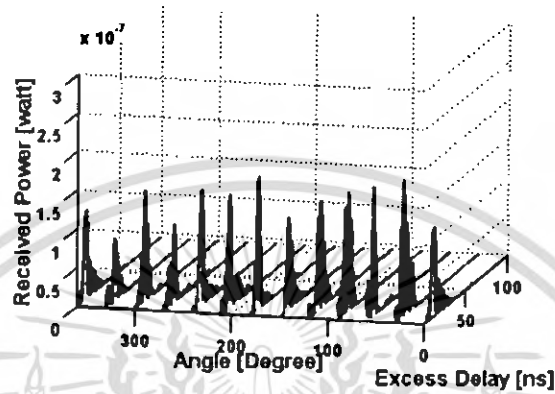
จากรูปที่ 5.15 เป็นกราฟแสดงอัตราบิตผิดพลาดของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ สังเกตว่าเส้นกราฟของแต่ละจุด จะมีลักษณะใกล้เคียงกันเนื่องจากมีระยะทางเท่ากัน



รูปที่ 5.16 กราฟอัตราบิตผิดพลาดจากแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล

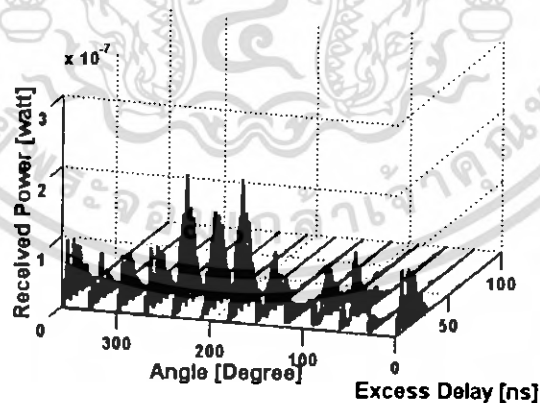
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.16 เป็นกราฟแสดงอัตราบิดผิดพลาดของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ สังเกตว่าเส้นกราฟของแต่ละจุด จะเกาะกลุ่มกันเนื่องจากมีระยะทางเท่ากัน แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากนำร่างกายมนุษย์มาประกอบกรวัด



รูปที่ 5.17 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ

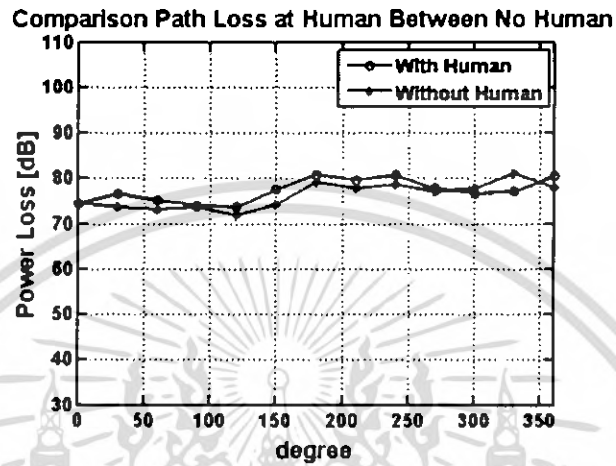
จากรูปที่ 5.17 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ โดยวัดแบบมีช่องว่างในอากาศ ซึ่งอาจจะมีการบดบังจากเสาไม้ ที่มีสายอากาศภาคส่งติดอยู่ จึงทำให้กราฟกำลังงานที่รับไม่สม่ำเสมอ



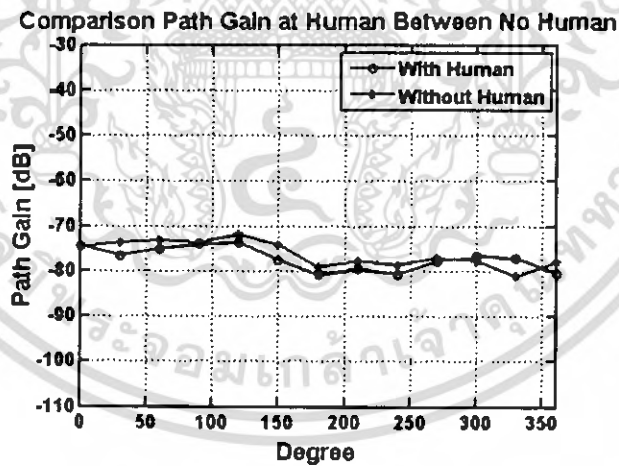
รูปที่ 5.18 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบร่างกายบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.18 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของแบบจำลองที่วัดเป็นวัดเป็นแบบรอบทิศทาง ประกอบด้วยร่างกายบุคคล โดยวัดแบบมีแทรกติดอยู่กับตัวคน จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟของแบบจำลองที่วัดเป็นวงกลมในช่องว่างอากาศ จะมีบางส่วนแตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศและวัดเป็นวงกลมประกอบด้วยร่างกายบุคคล



รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างแบบจำลองที่วัดแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ และวัดแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.19 และ 5.20 เป็นการเปรียบเทียบค่า การสูญเสียเชิงวิถึ และอัตราขยายเชิงวิถึ ระหว่างแบบจำลองที่วัดเป็นแบบรอบทิศทางในช่องว่างอากาศ และวัดเป็นแบบรอบทิศทาง ประกอบด้วยร่างกายบุคคล ซึ่งค่าการเปรียบเทียบของแบบจำลองทั้งสองจะมีความใกล้เคียงกันมาก แต่ในแบบจำลองวัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคลมีค่าการสูญเสียเชิงวิถึสูงกว่า แบบจำลองที่วัดเป็นวงกลมในช่องว่างอากาศ และในค่าอัตราขยายเชิงวิถึ แบบจำลองวัดเป็นแบบรอบทิศทางประกอบด้วยร่างกายบุคคล ก็จะมีค่าต่ำกว่าจำลองที่วัดเป็นวงกลมในช่องว่างอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้เสนอแนวความคิดที่จะจำลองระบบ RFID โดยใช้ตัวรับและตัวส่งสัญญาณแบบสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งจำลองคุณลักษณะ และคุณสมบัติในการใช้งานจริงในระบบ RFID การศึกษาค่าการสูญเสียในระบบนี้สามารถเห็นว่าค่าพารามิเตอร์มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเป็นการสื่อสารไร้สาย และจะให้เห็นหลักการทำงานและนำมาออกแบบสายอากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพกับการใช้งานแต่ละแบบและสามารถพัฒนาในอนาคตต่อไป

6.1 ปัญหาที่พบในการในการดำเนินงาน

6.1.1 คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศทางด้านส่งไปยังด้านรับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้เกิดความผิดเพี้ยน

6.1.2 การเคลื่อนไหวของร่างกายมีผลกระทบต่อค่าของสัญญาณจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้

6.1.3 การวัดแบบจำลองต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดมีราคาสูง

6.2 แนวทางในการพัฒนา

แนวทางการพัฒนาโครงการนี้ คือเราใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป เพื่อหาประสิทธิภาพและค่าการสูญเสียต่างๆเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการจำลองการทดลองแบบใช้งานจริง เพื่อสังเกตค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของสายอากาศและประสิทธิภาพของแบบจำลอง ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าทดลองมากน้อยแค่ไหนและประยุกต์การใช้งานได้อย่างปลอดภัยและสะดวกมากขึ้น

6.3 สรุปวิจารณ์

การนำเอาระบบ RFID มาใช้กับ การสื่อสารในยุคปัจจุบันและเป็นระบบที่ทันสมัยนั้น การวิเคราะห์รูปแบบการจำลองที่ได้ออกแบบและศึกษานั้นสิ่งที่จะต้องคำนึง ได้แก่ ช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีอัตราการลดทอนการรับส่งข้อมูล และความชัดเจนของระดับสัญญาณ ระยะของทางระหว่าง ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ กำลังงานที่ส่งสัญญาณ เหล่านี้เป็นผลกระทบที่สำคัญต่อการส่งสัญญาณเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบทนี้เราได้ทราบถึงแนวทางการพัฒนาเพื่อให้ผลที่ดีและปัญหาที่พบในการทำงาน ตลอดจนการนำไปใช้งานอย่างถูกต้องในอนาคตด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

http://www.tidi.nectec.or.th/rfid-workshop/pdf/RFID_booklet.pdf

http://www.sut.ac.th/e-texts/Eng/Antennas/Lesson3Edit/L3_2.html

<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9316/29617/01344707.pdf?amumber=1344707>

<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9316/29617/01344707.pdf?amumber=1344707>

Antenna and propagation for Wireless communication system, Simon R. Saunders

Radio wave propagation and antennas: John Griffiths



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
สัญลักษณ์ของ ช่วงความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ของ ช่วงความถี่ย่านต่างๆ

ย่านความถี่	ช่วงความถี่วิทยุ
HF	3 เฮิรตซ์ - 30 เมกะเฮิรตซ์
VHF	30 เมกะเฮิรตซ์ - 300 เมกะเฮิรตซ์
UHF	300 เมกะเฮิรตซ์ - 1 กิกะเฮิรตซ์
L	1 กิกะเฮิรตซ์ - 2 กิกะเฮิรตซ์
S	2 กิกะเฮิรตซ์ - 4 กิกะเฮิรตซ์
C	4 กิกะเฮิรตซ์ - 8 กิกะเฮิรตซ์
X	8 กิกะเฮิรตซ์ - 12 กิกะเฮิรตซ์
KU	12 กิกะเฮิรตซ์ - 18 กิกะเฮิรตซ์
K	18 กิกะเฮิรตซ์ - 27 กิกะเฮิรตซ์
Ka	27 กิกะเฮิรตซ์ - 40 กิกะเฮิรตซ์
V	40 กิกะเฮิรตซ์ - 75 กิกะเฮิรตซ์
W	75 กิกะเฮิรตซ์ - 110 กิกะเฮิรตซ์
Mm	110 กิกะเฮิรตซ์ - 300 กิกะเฮิรตซ์

ย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID ประกอบด้วยย่านต่างๆ ต่อไปนี้คือ 0-135 KHz และย่านความถี่ ISM ซึ่งประกอบด้วย 6.78 GHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.68 MHz, 433.92 MHz, 869.0 MHz, 915.0 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz และ 24.125 GHz ทั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณ RFID ที่มีการผลิตขึ้นใช้งานกับย่านความถี่ต่างๆกัน โดยเป็นข้อมูลขอยกจำหน่ายตั้งแต่ พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2548 สำหรับทั่วโลกดังนั้น จำเป็นที่ผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจและพิจารณาถึงผลกระทบที่อุปกรณ์ RFID จะส่งผลกระทบต่อเครื่องข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่มีการใช้งานในย่านความถี่เดียวกัน รวมถึงการที่อุปกรณ์ RFID จะได้รับผลกระทบจากเครื่องข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ด้วย ดังนั้นจึงสามารถแจกแจงอธิบายได้ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ย่าน 9-135 KHz

สำหรับความถี่ในย่านที่ต่ำกว่า 135 KHz นั้นได้รับความสนใจใช้งานจากกิจการต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบวิทยุการบิน ระบบนำร่องต่างๆ การส่งสัญญาณฐานเวลา รวมไปถึง กิจการทางทหาร ทั้งนี้เพราะเป็นคลื่นความถี่ต่ำ มีความยาวคลื่นสูงสามารถส่งกระจายสัญญาณไปได้เป็นระยะทางไกลๆ ถึง 1000 Km โดยใช้เงินลงทุนต่ำ เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณความถี่ต่ำ ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีเครื่องส่งที่สลับซับซ้อน เหมือนการส่งสัญญาณวิทยุความถี่สูงการใช้งานอยู่ ก่อนหน้าเกิดปัญหาได้ ตัวอย่างเช่นในประเทศเยอรมันมีมาตรฐานการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ 77.5 KHz เพื่อใช้กระจายฐานเวลาให้กับเครือข่ายสื่อสาร โทรคมนาคมต่างๆ พบว่าหากมีการนำอุปกรณ์ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ดังกล่าวไปใช้งานในบริเวณที่มีเครื่องรับฐานเวลาอยู่ในระยะหลายร้อยเมตร จะเกิดการก่อกวนทำงานในย่านความถี่ดังกล่าวไปใช้งานในบริเวณที่เครื่องรับฐานเวลา อยู่ในระยะหลายร้อยเมตร จะเกิดการก่อกวนทำให้ระบบไม่สามารถตรวจจับเวลาได้กลายเป็น ปัญหาต่อระบบที่มีใช้งานอยู่ก่อนหน้า

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวในทวีปยุโรปจึงได้มีการออกข้อกำหนดใบอนุญาต มาตรฐาน 220 ZV 122 ขึ้นเพื่อใช้กำหนดย่านความถี่หวงห้ามในช่วง 70 ถึง 119 KHz มิให้ที่มีการใช้กับกิจการด้าน RFID ใดๆ นอกจากนั้นในประเทศเยอรมันซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับกิจการต่างๆก็ได้มีการประกาศห้ามใช้ความถี่ สำหรับเทคโนโลยี RFID โดยที่การกำหนด พื้นที่ห้ามใช้งานในเมืองต่างๆซึ่งวิธีการและข้อปฏิบัติดังกล่าวถือเป็นแบบอย่างที่ดีในการวาง ข้อกำหนด (Regulation) สำหรับใช้ควบคุมมาตรฐาน RFID ในประเทศอื่นๆ

ความถี่ย่าน 6.78 MHz

เป็นย่านความถี่สำหรับวิทยุคลื่นสั้น (Shortwave) มีคุณสมบัติในการแพร่กระจายได้ไกล ในช่วงเวลากลางวัน และในยามค่ำคืนสามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากขึ้นบางครั้งอาจถึงขั้นส่งได้ ข้ามทวีปจึงได้รับการนำไปใช้งานในกิจการกระจายเสียงระบบตรวจสอบอากาศ และระบบวิทยุการบิน ในแง่ของเทคโนโลยี RFID นั้น ในหลายๆประเทศได้มีการแบ่งย่านความถี่ดังกล่าวบางส่วน ออกเป็นย่าน ISM ในปัจจุบันความถี่ 6.78 MHz ได้รับรองจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่าง ประเทศ (International Telecommunication Union หรือ ITU) สำหรับให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID สำหรับการออกใบอนุญาต ย่านความถี่ใช้งานดังกล่าวในยุโรปก็ได้มีการวางข้อกำหนด CEPT/ERC REC 7003 เพื่อใช้ควบคุมอย่างชัดเจน

ความถี่ย่าน 13.56 MHz

เป็นความถี่ที่อยู่ในช่วงกึ่งกลางของย่านวิทยุคลื่นสั้น มีคุณสมบัติพิเศษในการแพร่กระจายสัญญาณได้ไกลในระดับข้ามทวีปแม้ในช่วงเวลากลางวันดังนั้นจึงยังคงมีความนิยมใช้งานความถี่ย่านนี้สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม เช่น เครือข่ายวิทยุของวงการข่าว และเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมแบบ Point-to-Point จากการใช้งานความถี่ดังกล่าวสำหรับกิจการ ISM บางประเภท นอกเหนือจากการใช้งานเทคโนโลยี RFID อีกเช่น ระบบควบคุมจากระยะไกล ของเล่นที่ใช้การบังคับทางวิทยุ รวมถึงระบบวิทยุติดตามตัว (Pager) บางระบบ

ความถี่ย่าน 27.125 MHz

เป็นความถี่ที่ตกอยู่ในย่านฮอดนิคม ซึ่งใช้สำหรับกิจการวิทยุสื่อสารแบบสาธารณะ (Citizen Band หรือ CB) ที่มาตรฐานสากลโดยทั่วไปกำหนดให้ใช้งานในช่วง 26.565-27.405 MHz ทั้งในทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกาและแคนาดาหรือรวมถึงมีการนำไปใช้งานเป็นมาตรฐานในอีกหลายประเทศ นับรวมถึงประเทศไทยด้วย ทั้งนี้ในทางปฏิบัติเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารแบบ CB จะมีกำลังส่งสัญญาณได้สูงถึง 4 วัตต์ ซึ่งด้วยกำลังส่งขนาดนี้สามารถทำการติดต่อสื่อสารได้ไกลถึง 30 กิโลเมตร นอกเหนือจากงานด้านวิทยุสื่อสารสาธารณะแล้วความถี่ในช่วง 26.956 – 27.283 MHz ยังได้รับการจัดสรรใช้งานสำหรับกิจการด้าน ISM อีกหลายประเภท เช่น เครื่องมือแพทย์บางชนิด ความถี่สูงสำหรับใช้งานเชื่อมอุตสาหกรรม ของเล่นที่ใช้การควบคุมผ่านคลื่นวิทยุ รวมถึงกิจการวิทยุติดตามตัวบางระบบ

ข้อพิจารณาสำคัญเมื่อจำเป็นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ 27.125 MHz ก็คือระมัดระวังมิให้มีการใช้งานในบริเวณที่มีเครื่องเชื่อมอุตสาหกรรมที่ทำงานด้วยความถี่สูง เพราะสัญญาณรบกวนจากเครื่องเชื่อมจะทำให้อุปกรณ์ RFID ทำงานล้มเหลวทั้งระบบ นอกจากนั้น การเลือกใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่เดียวกันนี้ภายในโรงพยาบาลก็จะต้องให้ความสำคัญมิให้สัญญาณจากอุปกรณ์ RFID ไปรบกวนทำงานของเครื่องมือแพทย์ที่ทำงานในย่านความถี่ช่วงเดียวกันนี้ด้วย

ความถี่ย่าน 40.680 MHz

ความถี่วิทยุในช่วง 40.660 – 40.700 MHz ซึ่งเป็นช่วงต้นของย่านความถี่ VHF (Very High Frequency) นั้นมีข้อจำกัดในการแพร่กระจายพอสมควร คือมีเฉพาะพฤติกรรมการแพร่กระจายไปตามแนวผิวโลกเท่านั้น ไม่สามารถกระจายสะท้อนชั้นบรรยากาศได้เหมือนความถี่ต่ำกว่า อีกทั้งยังถูกลดทอนโดยง่าย เมื่อมีการแพร่กระจายผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆเช่นตึกหรือภูเขา อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ในย่านนี้ก็ยังได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับกิจการบางประเภท เช่น ระบบควบคุมและจัดการจราจรผ่านทางคลื่นวิทยุ รวมถึงการใช้งานในงานในกิจการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ นอกเหนือจากนั้นในแง่ของกิจการด้าน ISM เองก็ยังมีกรนำความถี่ย่านนี้ไปใช้ในการส่งข้อมูลวัดคุมจากระยะไกล รวมถึงระบบควบคุมจากระยะไกล (Remote Control) บางประเภท แม้ในปัจจุบันจะยังไม่มีการผลิตอุปกรณ์ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ดังกล่าวแต่ก็มีความเป็นไปได้ว่าในอนาคตอาจมีการใช้งานความถี่ย่านนี้ผลิตอุปกรณ์ RFID บางประเภทซึ่งผู้อ่านก็สมควรจะต้องทราบข้อมูลนี้เพื่อป้องกันการใช้งานในทางปฏิบัติ ให้เกิดปัญหาการรบกวนกับระบบสื่อสารอื่นๆ

ความถี่ย่าน 433.920 MHz

กิจการวิทยุสื่อสารสมัครเล่น (Amateur Radio) โดยถือเป็นข้อกำหนดที่มีการใช้งานในทุกภูมิภาคทั่วโลก ทั้งเพื่อการรับส่งเสียงและข้อมูล การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุในย่านความถี่นี้ถือว่ามีพฤติกรรมแบบเดียวกับย่าน UHF (Ultra High Frequency) ซึ่งจะเกิดปัญหาการลดทอนและสะท้อนของสัญญาณมากในกรณีที่ใช้งานในเมืองที่มีตึกสูง หรือในพื้นที่ป่าเขาที่มีสิ่งบดบังการแพร่กระจายคลื่น โดยทั่วไปเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารสมัครเล่นสามารถทำการติดต่อสื่อสารได้ไกลๆ ตั้งแต่ 30 ถึง 300 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้การส่งและกำลังส่งของเครื่องรับส่ง

ในแง่ของกิจการแบบ ISM นั้นมีการจัดสรรย่านความถี่ 433.050 – 434.790 MHz ซึ่งอยู่ในช่วงกึ่งกลางของกิจการวิทยุสื่อสารสมัครเล่น ทั้งกับเทคโนโลยี RFID แบบที่ทำงานแบบ Backscatter ระบบวิทยุสื่อสารที่ใช้ในการดูแลเด็กทารก เครื่องส่งสัญญาณวัดคุมระยะไกล โทรศัพท์บ้านแบบไร้สาย (Cordless Telephone) วิทยุวอล์คกี้ทอล์คกี้ (Walkie-Talkies) บางระบบที่ใช้งานในระยะทางสั้นๆ รีโมทคอนโทรลสำหรับเปิดปิดประตูรถยนต์ และอื่นๆ อีกมากมายหลายประเภท การนำเทคโนโลยีแบบ RFID โดยเฉพาะที่เป็นแบบ Backscatter มาใช้งานจึงต้องพิจารณาให้ดีว่ามีการใช้งานอยู่ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นหรือไม่ เพื่อป้องกันปัญหาการรบกวนซึ่งกันและกัน

ความถี่ย่าน 869.0 MHz

สำหรับย่านความถี่ช่วง 868 – 870 MHz ได้รับการกำหนดให้ใช้งานกับอุปกรณ์สื่อสารในระยะสั้น (Short Range Device หรือ SRD) หลายๆ ประเภท ตัวอย่างเช่นระบบตรวจหาผู้ประสบภัยจากหิมะถล่ม, ระบบติดตามตำแหน่งขบวนรถไฟ, ระบบตรวจสอบและแจ้งสถานะการจราจร, อุปกรณ์ตรวจจับการบุกรุกในบ้าน, เครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์, ไมโครโฟนไร้สาย รวมถึงเทคโนโลยี RFID ด้วย ทั้งนี้ในกลุ่มประเทศยุโรปตะวันตกได้มีการวางข้อกำหนด CEPT ให้ใช้งานตามที่

กล่าวถึง ในขณะที่หลายๆประเทศทั่วโลกยังไม่มีข้อกำหนดการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวอย่างแน่ชัด รวมถึงในประเทศไทย

ความถี่ย่าน 915.0 MHz

สำหรับกลุ่มประเทศยุโรปเอง ยังไม่มีการจัดสรรย่านความถี่ดังกล่าวสำหรับกิจการใดๆ แม้กระทั่ง ISM ในขณะที่สหรัฐอเมริกาและประเทศออสเตรเลียกำหนดใช้งาน ความถี่ในช่วง 888 – 889 MHz และ 902-928 MHz สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ Back scatter อย่างไรก็ตามในการนำเทคโนโลยี RFID ไปใช้งานกับความถี่ดังกล่าวก็ต้องระมัดระวังผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากมีการใช้งานโทรศัพท์บ้านแบบไร้สายตามมาตรฐาน CT1+ และ CT2 ซึ่งมีการใช้งานในบางภูมิภาคของโลก ในประเทศไทยเองแม้ไม่มีการออกใบอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่านดังกล่าวกับโทรศัพท์ไร้สาย CT แบบใดๆแต่ก็มีลัทธิลอบนำโทรศัพท์แบบดังกล่าวมาจำหน่ายและมีการใช้งานกันบ้างในแห่งการเลือกใช้งานอุปกรณ์ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ดังกล่าวจึงต้องเป็นไปอย่างระมัดระวัง

ความถี่ย่าน 2.45 GHz

มีการกำหนดใช้ความถี่ย่าน 2.400 – 2.4835 GHz ซึ่งทับซ้อนอยู่กับความถี่ย่านดังกล่าวให้กับกิจการบางประเภท เช่นวิทยุสื่อสารสมัครเล่นบางระบบ และระบบติดตามตำแหน่งวัตถุโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งพฤติกรรมการแพร่กระจายของคลื่นช่วงดังกล่าวจะมีโอกาสสะท้อนกับตึกหรือสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้สูงมากเมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในเมืองหรือพื้นที่ที่มีการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวเพื่อกิจการ ISM เหล่านี้จึงอาจได้รับผลกระทบจากการสะท้อนของสัญญาณผ่านอาคารหรือภูมิประเทศรอบข้างได้โดยง่ายนอกจากนั้นยังมีการใช้งานความถี่ย่านดังกล่าวสำหรับเทคโนโลยีอื่นๆอีกเช่น เครื่องรับส่งสำหรับกิจการ วิทยุระยะไกล รวมถึงการติดต่อสื่อสารของเครือข่าย Wireless LAN หรือ WiFi ก็มีการใช้งานในย่านความถี่นี้เช่นกัน สำหรับเทคโนโลยี RFID ที่ได้รับการออกแบบให้ใช้งานกับความถี่นี้ก็ยังคงเป็นแบบ Backscatter เช่นเดียวกัน

ความถี่ย่าน 5.8 GHz

สำหรับความถี่ในช่วง 5.725 – 5.875 GHz นั้นได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับกิจการวิทยุสื่อสารสมัครเล่นและระบบติดตามตำแหน่งวัตถุโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งพฤติกรรมการแพร่กระจายของคลื่นช่วงดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดการสะท้อนกับตึกหรือสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้สูงมากเมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในเมืองหรือพื้นที่ที่มีการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าวเพื่อกิจการ ISM เหล่านี้จึงอาจได้รับผลกระทบจากการสะท้อนของสัญญาณผ่านอาคารหรือภูมิประเทศรอบข้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยง่ายนอกจากนั้นยังมีการใช้งานความถี่ย่านดังกล่าวสำหรับเทคโนโลยีอื่นๆอีกเช่น เครื่องรับส่ง สำหรับกิจการวัดมุมระยะไกล รวมถึงการติดต่อสื่อสารของเครือข่าย Wireless LAN หรือ Wi-Fi ก็มีการใช้งานในย่านความถี่นี้ด้วยเช่นกัน สำหรับเทคโนโลยี RFID ที่ได้รับการออกแบบให้ใช้งานกับความถี่ย่านนี้ยังคงเป็นแบบ Backscatter เช่นเดียวกัน

ความถี่ย่าน 24.125 GHz

แม้จะเป็นย่านความถี่สูงมากๆแต่ก็ยังมีการใช้ความถี่ช่วง 24.00 – 24.25 GHz สำหรับกิจการวิทยุสมัครเล่น ระบบติดตามตำแหน่งวัตถุ ระบบตรวจสอบภูมิศาสตร์ผ่านดาวเทียม ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว รวมถึงใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบไปกลับโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Bi-Directional radio system) ปัจจุบันยังไม่มีการประกาศผลิตและใช้งานอุปกรณ์ RFID ในย่านความถี่ดังกล่าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริป

แนวคิดเกี่ยวกับสายอากาศแผ่นไมโครสตริป เริ่มขึ้นครั้งแรกเมื่อต้นปี 1953 และเมื่อ 20 ปีที่ผ่านมา ได้มีการสร้างสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปขึ้นมา โดยได้ใช้หลักการและเทคนิคของโฟโต้เทค (Photo-Tech) โดยวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกประกอบด้วยทองแดงหรือทอง และได้มีการพัฒนาทำให้มีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดความสูญเสียการสูญเสีย (Loss Tangent) ที่จะเกิดขึ้นด้วย สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปได้สร้างขึ้นครั้งแรกในปี 1970 ต่อจากนั้นมาก็ได้มีการวิจัยและพัฒนาสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปอย่างต่อเนื่อง โดยมีข้อดีคือน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ราคาถูก โครงสร้างเป็นระนาบ และสามารถสร้างเป็นวงจรรวม (IC) ได้

มีการพัฒนาสายอากาศชนิดอื่นที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเรียกคล้ายกับสายอากาศแผ่นไมโครสตริป เช่น สายอากาศแบบร่องด้วยสายส่งสตริป (Stripline Slot Antenna) สายอากาศแผ่นแบบโพรงด้านหลัง (Cavity Backed Printed Antenna) และสายอากาศแบบไดโพลแผ่น (Printed Dipole Antenna) โดยที่ได้เปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป จะมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่าสายอากาศชนิดอื่น

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสายอากาศที่มี โครงสร้างเป็นระนาบเรียกชนิดต่างๆ

คุณสมบัติ	สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป	สายอากาศแบบร่องสายส่งสตริป	สายอากาศแผ่นแบบโพรงด้านหลัง	สายอากาศแบบไดโพล
ความหนา	บาง	ไม่บางมาก	หนา	บาง
การสร้าง	ง่ายมาก	ง่าย	ยาก	ง่าย
การโพลาไรซ์	เชิงเส้นและวงกลม	เชิงเส้น	เชิงเส้นและวงกลม	เชิงเส้น
การทำงานสอง	เป็นไปได้	เป็นไปได้	เป็นไปได้	เป็นไปได้
ความถี่	มีหลายแบบ	ถี่เดียว	มีหลายแบบ	มีหลายแบบ
รูปร่าง	เกิดขึ้น	เกิดขึ้น	ไม่เกิดขึ้น	เกิดขึ้น
Rediton ที่ไม่ต้องการ	1-5 %	1-2 %	~10 %	~10 %
BW				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

ข้อดีของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยมีความถี่ใช้งานอยู่ที่ช่วง 100 MHz – 50 GHz

- น้ำหนักเบา , ขนาดเล็ก , โครงสร้างเป็นแบบราบ ซึ่งสามารถทำเป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย
- ราคาถูก , กระบวนการสร้างไม่ยุ่งยาก
- มีลักษณะบาง , ทำให้ติดตั้งเข้ากับยานพาหนะได้ง่าย
- ง่ายต่อการติดตั้งบนจรวดและดาวเทียม
- สายอากาศมีการแผ่กระจายตามแนวภาคตัดขวางน้อย
- สามารถทำให้มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นหรือวงกลมได้ง่ายเพียงแค่เปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อน
- สามารถทำเป็นสายอากาศสองความถี่ได้ง่าย
- ไม่ต้องใช้โพรงด้านหลัง
- ไมโครสตริปสามารถเชื่อมต่อเข้ากับการออกแบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์โซลิดสเตต(Solid state) เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยาย สวิตช์ ตัวเลื่อนเฟสได้ง่าย
- สามารถสร้างให้มีการป้อนและการแมทช์อิมพีแดนซ์ได้พร้อมๆ กัน ในโครงสร้างสายอากาศ

อย่างไรก็ตาม สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปยังมีข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นคือ

- แบนด์วิดท์แคบ
- ประสิทธิภาพต่ำ
- การแผ่กระจายคลื่นมีได้เพียงครึ่งระนาบ
- ในทางปฏิบัติจำกัดอัตราขยายสูงสุดที่ประมาณ 20 dB
- ประสิทธิภาพของโอบหลักในการแผ่กระจายไม่ดี
- การแยกกันระหว่างจุดป้อนและองค์ประกอบการแผ่กระจายไม่ดี
- สามารถกระตุ้นทำให้เกิดคลื่นผิวได้
- ให้กำลังงานต่ำ

หมายเหตุ ปัจจุบันสายอากาศถูกพัฒนาเรื่อยๆ จนจะแก้ข้อเสียได้หมดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

ในทางปฏิบัติ ได้มีการนำสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปไปออกแบบใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปมีมากกว่าข้อเสีย ในการนำสายอากาศไมโครสตริปไปประยุกต์ใช้งาน เช่น

- การสื่อสารทางดาวเทียม
- คอปเปอร์ และเรดาร์อื่นๆ
- การติดต่อทางวิทยุสื่อสาร
- การส่งงานและการควบคุม
- การวัดสภาพแวดล้อมและการส่งสัญญาณระยะไกล
- องค์ประกอบส่วนป้อนของสายอากาศที่มีโครงสร้างซับซ้อน
- ตัวรับที่ใช้ในการเดินเรือ
- ตัวกระจายคลื่นทางการแพทย์

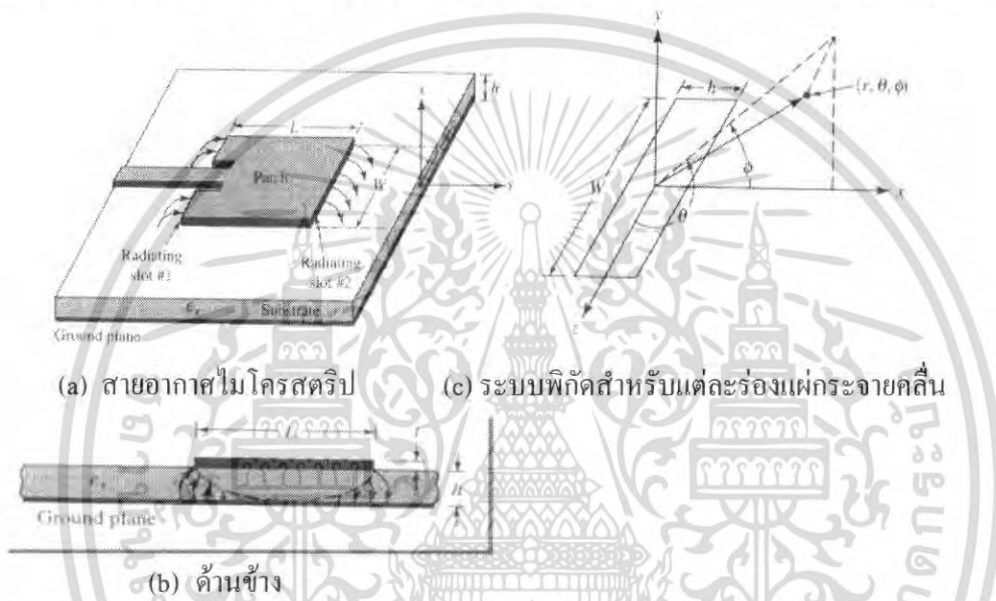
1.2 คุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแสดงในรูปที่ 1(a) ซึ่งประกอบแผ่นตัวนำที่บางมากวางอยู่บนวัสดุฐานรอง ส่วนอีกด้านหนึ่งของวัสดุฐานรองจะเป็นระนาบเงา

วัสดุฐานรองสำหรับนำมาสร้างสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีด้วยกันหลายชนิด โดยปกติแล้วสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกนั้นอยู่ในช่วง $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ และสิ่งที่สำคัญในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปคือความหนาของวัสดุฐานรอง (h) การออกแบบโดยใช้สภาพยอมสัมพัทธ์ในช่วงต่ำๆจะทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูง และมีแบนด์วิธกว้างขึ้นแต่ข้อเสียสายอากาศจะมีขนาดใหญ่ตามขึ้นไปด้วย สำหรับวัสดุฐานรองที่บางและมีสภาพยอมสัมพัทธ์สูงนั้น ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ร่วมกับวงจรทางไมโครเวฟ เนื่องจากต้องการให้ฟริงกิง (Fringing) ของสนามแอมเพอเพื่อทำการคัปปลิง (Coupling) และการแผ่กระจายคลื่นน้อยที่สุดและยังทพให้วงจรมีขนาดเล็กลงด้วยแต่จะทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น ซึ่งให้ประสิทธิภาพและแบนด์วิธลดลง ดังนั้นสายอากาศไมโครสตริปและวงจรไมโครเวฟจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

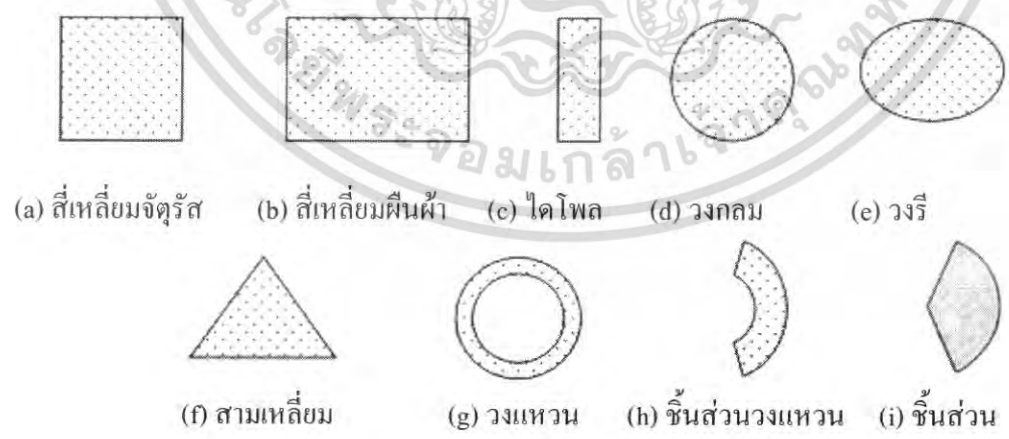
บ่อยครั้งที่เรามักเรียกสายอากาศไมโครสตริปว่า “สายอากาศแผ่น” (Patch Antenna) โดยส่วนที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นและส่วนที่ใช้ในการป้อนสัญญาณให้กันสายอากาศจะอยู่บนวัสดุฐานรองเดียวกันส่วนที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่นหรือแพทช์นี้อาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นแผ่นบางๆหรือโด โพล วงกลม วงรี สามเหลี่ยม หรือรูปร่างอื่นๆ อีกก็ได้ซึ่งในรูปที่ 2 ได้แสดงลักษณะของแผ่นไมโครสตริปรูปร่างต่างๆไว้แล้ว

ลักษณะของแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า ไคโพลและวงกลมเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์และการสร้าง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการแผ่กระจายคลื่นที่ดี แผ่นสายอากาศแบบไคโพลเป็นแบบที่มีโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarization) น้อยที่สุด เนื่องจากธรรมชาติแล้วจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างและไซพื้นที่ในการสร้างน้อย และเหมาะสมกับการสร้างเป็นแถวลำดับ (Array) โดยทั้งสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว (Single Element) และแบบลำดับแถวนั้นสามารถทำให้มีลักษณะการโพลาไรซ์ได้ทั้งแบบเชิงเส้น (Linear) และแบบวงกลม (Circular)



(a) สายอากาศไมโครสตริป (c) ระบบพิกัดสำหรับแต่ละร่องแผ่กระจายคลื่น

รูปที่ 1 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด



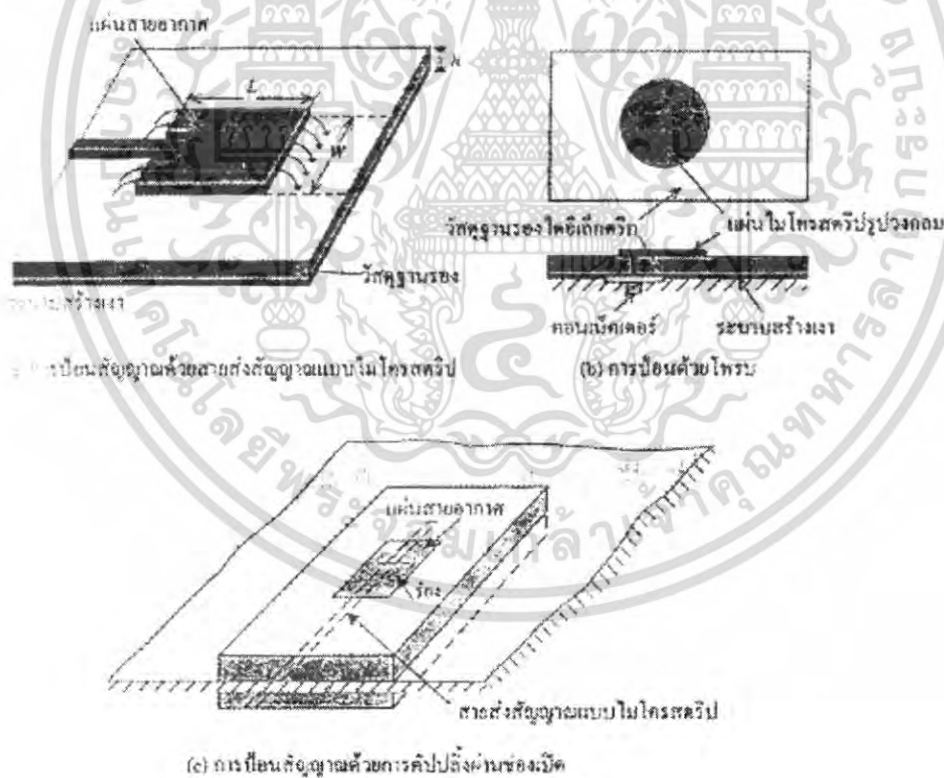
(a) สี่เหลี่ยมจัตุรัส (b) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (c) ไคโพล (d) วงกลม (e) วงรี
(f) สามเหลี่ยม (g) วงแหวน (h) ชิ้นส่วนวงแหวน (i) ชิ้นส่วน

รูปที่ 2 รูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

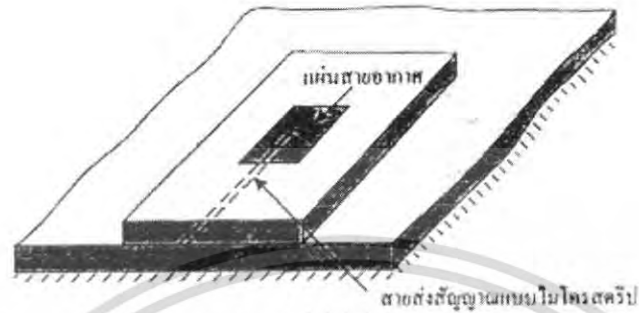
1.3 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถทำได้ด้วยหลายวิธี แต่ที่นิยมมากที่สุดนั้นจะเป็นมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีด้วยกัน คือ การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป สายโคแอกเซียลการคัปปลิงผ่านช่องเปิด (Aperture) และการคัปปลิงด้วยการวางไว้ใกล้กัน (Proximity) ดังแสดงในรูป 3 และวงจรสมมูลของการป้อนสัญญาณในแต่ละแบบที่แสดงในรูป 4 ลักษณะของสายป้อนไมโครสตริปจะเป็นแผ่นตัวนำ ซึ่งปกติแล้วจะมีความกว้างน้อยกว่าความกว้างของแพทช์มาก การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งแบบไมโครสตริปจะงานต่อการการก่อสร้างและการแมตซ์อิมพีแดนซ์โคเนกชันการควบคุมตำแหน่งจุดป้อน อีกทั้งยังค่อนข้างง่ายต่อการวิเคราะห์ แต่ถ้าความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดคลื่นผิวมากขึ้น และยังทำให้เกิดการแผ่กระจายปลอมปนจากตัวป้อนสัญญาณอีกด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการป้อนด้วยวิธีนี้จะมีแบนด์วิธประมาณ 2-5 %



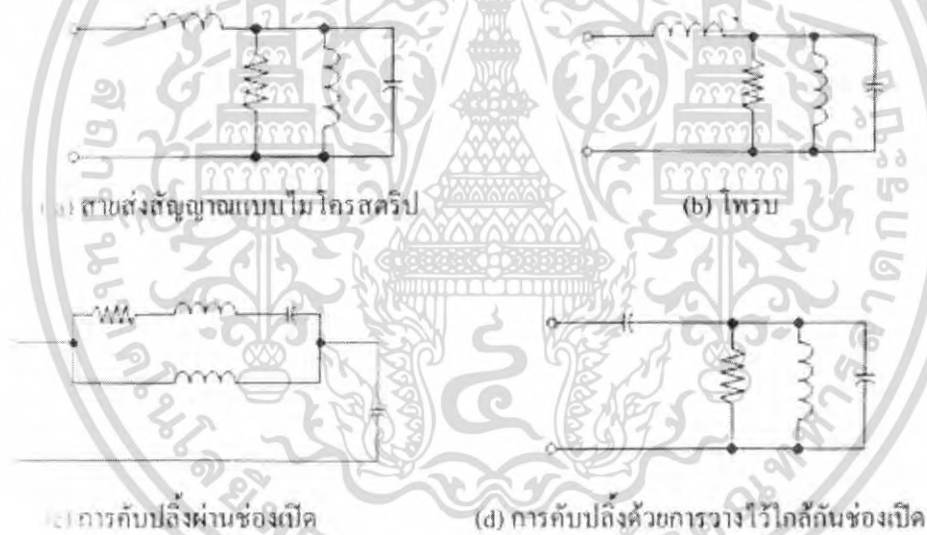
รูปที่ 3 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) การป้อนสัญญาณด้วยการวางไวโรลัดกัน

รูปที่ 3 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป (ต่อ)



รูปที่ 4 วงจรสมมูลของการป้อนสัญญาณตามรูปที่ 3

การป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียลตัวนำด้านในของสายโคแอกเซียลจะต่ออยู่กับแพทช์ที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่น ในขณะที่ตัวนำด้านนอกของสายต่ออยู่กับระนาบสร้างเงาการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปแบบนี้นิยมใช้กันมาก เนื่องจากง่ายต่อการสร้างและการแมตซ์อิมพีแดนซ์ และมีการแผ่กระจายปลอมปนน้อย แต่วิธีนี้ยังทำให้แบนด์วิดท์แคบและยากต่อการสร้างแบบจำลอง

การป้อนสัญญาณทั้งแบบไมโครสตริปและแบบสายโคแอกเซียล โดนครมชาติแล้วจะไม่สมมาตรกัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโหมดในอันดับที่สูงกว่าขึ้น (Higher Order Mode) ทำให้การแผ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายมีการ โพรราไรเซชัน ไขว้เกิดขึ้น เพื่อจะแก้ปัญหาเหล่านี้จึงต้องอาศัยการ ป้อนสัญญาณด้วยการคัปปลิงผ่านช่องเปิด ดังแสดงในรูปที่ 3(c) และ 3(d) การคัปปลิงผ่านช่องเปิดแสดงในรูปที่ 3(c) เป็นการสร้างที่ยากที่สุดในทั้ง 4 แบบ และยังคงมีแบนด์วิดท์ที่แคบ การคัปปลิงในลักษณะนี้จะช่วยลดการแผ่กระจายปลอมปนได้ ลักษณะ โครงสร้างของการ คัปปลิงผ่านช่องเปิดนั้นจะประกอบไปด้วยวัสดุฐานรอง 2 ชั้น ถูกแยกออกจากกันด้วยระนาบสร้างเงาด้านล่างของวัสดุฐานรองแผ่นล่างสุดจะเป็นสายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป ซึ่งพลังงานจะถูกคัปปลิงผ่านร่อง (Slot) ที่อยู่บนระนาบสร้างเงา ไปยังตัวแผ่กระจายคลื่น โดยปกติแล้ววัสดุฐานรองด้านล่างจะเป็นวัสดุที่มีสภาพยอมสัมพัทธ์สูง ส่วนวัสดุฐานรองอันบนเป็นวัสดุที่มีสภาพยอมสัมพัทธ์ต่ำกว่าระนาบสร้างเงาที่แบ่งวัสดุฐานรองทั้งสองออกจากกันนั้นจะช่วยป้องกันส่วนที่แผ่กระจายคลื่นออกจากส่วนป้อนสัญญาณ ซึ่งจะช่วยลดการแผ่กระจายปลอมปนและจะทำให้ได้โพรราไรเซชันที่บริสุทธิ์ขึ้น โดยทั่วไปแล้วการแมตซ์อิมพีแดนซ์ทำได้โดยการควบคุมความกว้างของสายส่งสายสัญญาณแบบไมโครสตริปและควบคุมความยาวของร่อง การคัปปลิงผ่านร่องนี้สามารถสร้างแบบจำลองได้โดยอาศัยทฤษฎี Bethe ซึ่งจะพิจารณาเกี่ยวกับการคัปปลิงโดยการวางไว้ใกล้กันจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด อีกทั้งยังง่ายต่อการสร้างแบบจำลองและมีการปลอมปนของการแผ่กระจายคลื่นต่ำ แต่การสร้างก็ทำได้ยากอยู่

1.4 การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

สนามการแผ่กระจายของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปจะเกิดจากสนามขอบระหว่างขอบของตัวนำสายอากาศแผ่นไมโครสตริปกับระนาบสร้างเงา กระบวนการของการแผ่กระจายคลื่นจะเกิดจากสายส่งไมโครสตริปวงจรเปิด คีร์นการทดสอบการแผ่กระจายคลื่นจากความไม่ต่อเนื่องของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป โดยมีการวิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานการไหลของกระแสในตัวนำ วิธีนี้ใช้คำนวณหาผลกระทบของการแผ่กระจายคลื่นที่มีต่อค่าตัวร่วม Q ของรีโซเนเตอร์ไมโครสตริป การวิเคราะห์เบื้องต้นสนามในแบบช่องว่าง โดยเปิดขอบของไมโครสตริปและระนาบสร้างเงา ดังนั้นการวิเคราะห์แบบนี้ผลของการแผ่กระจายทั้งหมดตัวประกอบคุณภาพจะกล่าวถึงในส่วนของการเรโซเนเตอร์ (Resonator) ความถี่ในการใช้สัมพัทธ์กับสภาพยอมสัมพัทธ์และความหนาของวัสดุฐานรอง ผลทฤษฎีและการทดลอง แสดงให้เห็นว่าความถี่สูงการแผ่กระจายคลื่นจะสูญเสียมากที่ตัวนำและไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าการแผ่กระจายของวงจรเปิดสายส่งแบบไมโครสตริปจะใช้กำลังมาก เมื่อทำการสร้างสายอากาศโดยที่วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกมีความหนาน้อย

1.5 ตัวแปรแสดงคุณภาพ (Quality Factor) แบนด์วิธ และประสิทธิภาพ

ตัวแปรแสดงคุณภาพ แบนด์วิธ และประสิทธิภาพเป็นตัวเลขคุณค่า (Figure of Merit) ของสายอากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และไม่สามารถแยกออกมาพิจารณาเฉพาะแต่อย่าง เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ได้ นี่จึงเป็นเครื่องหมายที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพด้านใดด้านหนึ่งให้กับสายอากาศจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพด้านอื่นๆของสายอากาศด้อยลงตามไปด้วยตัวแปรแสดงคุณภาพเป็นตัวเลขคุณค่าที่แสดงการสูญเสียของสายอากาศปกติแล้วการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจาย ตัวนำ Ohmic ของไดอิเล็กตริกและการสูญเสียเนื่องคลื่นผิวดังนั้นตัวแปรแสดงคุณภาพรวม Q_0 จึงเป็นค่าความสูญเสียรวมทั้งหมดและปกติจะอยู่ในรูป

$$\frac{1}{Q_0} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad (1)$$

โดยที่ Q_0 คือ ตัวแปรแสดงคุณภาพรวม
 Q_r คือ ตัวแปรแสดงการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายคลื่น (คลื่นในอากาศ)
 Q_c คือ ตัวแปรแสดงการสูญเสียเนื่องจากความนำไฟฟ้า
 Q_d คือ ตัวแปรแสดงการสูญเสียเนื่องจากไดอิเล็กตริก
 Q_{sw} คือ ตัวแปรแสดงการสูญเสียเนื่องจากคลื่นผิว

สำหรับวัสดุฐานรองที่บางมาก ๆ ความสูญเสียเนื่องจากคลื่นผิวก็จะมีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้งได้ แต่สำหรับวัสดุฐานรองที่หนาขึ้นจะต้องนำมาพิจารณาด้วย ความสูญเสียเหล่านี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยอาศัยควาวิดี

สำหรับวัสดุที่ฐานรองมาก ๆ ($h \ll \lambda_0$) สำหรับแพทช์ที่มีรูปร่างใดๆ (ประกอบด้วยสี่เหลี่ยมและวงกลม) สูตร โดยประมาณสำหรับหาค่าของตัวแปรคุณภาพของความสูญเสียหลายๆอย่างสามารถเขียนได้ว่า

$$Q_c = h\sqrt{\epsilon_f\mu_0\sigma} \quad (2)$$

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} \quad (3)$$

$$Q_r = \frac{2\omega\epsilon_r}{hG_{\frac{1}{4}}} K \quad (4)$$

โดยที่ $\tan \delta$ คือค่าแทนเจนต์ของความสูญเสียของวัสดุฐานรอง, คือสภาพความนำไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าระหว่างเพ็ทซ์และระนาบสร้างเงา, $G_{\frac{1}{4}}$ คือความนำรวมต่อหน่วยความยาวของช่องเปิดที่แผ่กระจายและ

$$K = \frac{\iint_{area} |E|^2 dA}{\int_{perimeter} |E|^2 dl} \quad (4a)$$

สำหรับช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในโหมด TM_{010}^x

$$K = \frac{L}{4} \quad (5a)$$

$$G_{\frac{1}{4}} = \frac{G_{rad}}{W} \quad (5b)$$

ค่า Q_r ตามสมการ 4 เป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความสูงของวัสดุฐานรองและสำหรับวัสดุฐานรองที่บางมากค่านี้จะเป็นตัวแปรที่สำคัญ

แบนด์วิธของสายอากาศจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่า Q_o ของสายอากาศด้วย ซึ่งถูกนิยามโดย

$$\frac{\Delta f}{f_o} = \frac{1}{Q_o} \quad (6)$$

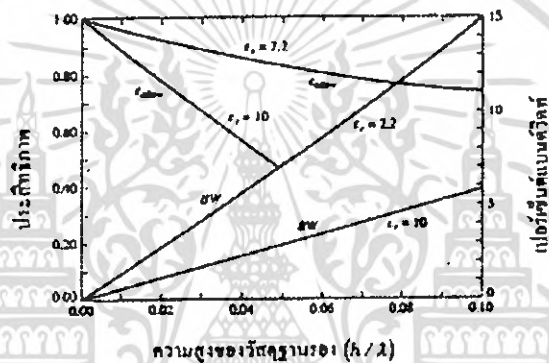
อย่างไรก็ตามสมการ 3.6 นี้อาจไม่ได้สามารถใช้ประโยชน์ได้เลยถ้าไม่พิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่จุดอินพุทของสายอากาศ ค่ากำลังความของแบนด์วิธที่ให้ความหมายดีขึ้นควรจะครอบคลุมตลอดย่านความถี่ โดยที่ค่า VSWR ที่จุดต่ออินพุทจะมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่ามากที่สุดที่ต้องการ เมื่อสมมติให้ VSWR มีค่าเป็น 1 ที่ความถี่ที่ต้องการ สมการที่แก้ไขมาจากสมการ 3.6 ซึ่งนำการแมตซ์อิมพีแดนซ์เข้ามาพิจารณาด้วยนั้นจะได้เป็น

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{VSWR - 1}{Q_0 \sqrt{VSWR}} \quad (6a)$$

โดยทั่วไปแล้วแบนด์วิดท์จะเป็นสัดส่วนกับปริมาตร ซึ่งสำหรับสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความถี่เรโซแนนท์คงที่ สามารถเขียนได้เป็น

$$BW \sim \text{volume} = \text{พื้นที่} \times \text{ความสูง} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$\sim = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพและแบนด์วิดท์ต่อความสูงของวัสดุฐานรองที่ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้วัสดุฐานรองที่แตกต่างกัน 2 ชนิด

ดังนั้นแบนด์วิดท์จะเป็นสัดส่วนผกผันกับรากที่สองของสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง การเปลี่ยนแปลงแบนด์วิดท์ของสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความสูงของวัสดุฐานรองที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วสำหรับวัสดุฐานรอง 2 แบบ แสดงที่รูป 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ประสิทธิภาพการแผ่กระจายของสายอากาศถูกนิยามให้เป็นสัดส่วนของกำลังงานที่แผ่กระจายออกไปต่อกำลังงานอินพุต ซึ่งสามารถแสดงในเทอมของตัวแปรแสดงคุณภาพสำหรับสายอากาศไมโครสตริปได้ด้วย

$$e_{cdsw} = \frac{1/Q_r}{1/Q_0} = \frac{Q_0}{Q_r} \quad (8)$$

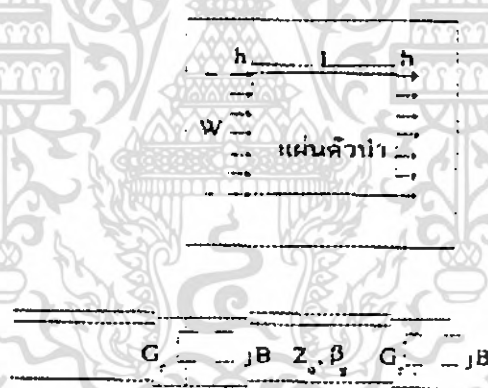
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Q_0 กำหนดให้ตามสมการ 1 การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพซึ่งเป็นฟังก์ชันของความสูงของวัสดุฐานรองสายอากาศไมโครสตริปที่มีวัสดุฐานรองที่ต่างกันสองชนิดแสดงในรูปที่ 5

1.6 แบบจำลองสายอากาศไมโครสตริป

การคำนวณเพื่อหาคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศไมโครสตริปสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมได้แก่ วิธีแบบจำลองสายส่ง (Transmission Line Model) และ วิธีแบบจำลองควิตี (Cavity Model) สำหรับแบบจำลองสายส่งนั้นจะมีข้อดีคือ ในขั้นตอนการคำนวณสามารถทำได้ง่ายเพราะไม่ต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากนัก และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่เป็นแบบจำลองที่ไม่ยึดหยุ่นนัก คือไม่สามารถใช้คำนวณแต่เฉพาะสายอากาศที่มีแผ่นตัวนำด้านบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น (อาจจะป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือ ไม่ก็ได้) ส่วนวิธีแบบจำลองสายส่ง และสามารถใช้ได้ยืดหยุ่นกว่า แต่จะต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากกว่ามาก

1.6.1 แบบจำลองสายส่ง



รูปที่ 6 สายอากาศแบบสี่เหลี่ยม และวงจรสมมูลย์

จากรูปที่ 3.6 แสดงวงจรสมมูลย์ของแบบจำลองสายส่ง กับสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมที่มีความยาว L กว้าง W และหนา h โดยจะแผ่กระจายคลื่นออกมาจากขอบข้างทั้งสองข้างของแผ่นตัวนำ ซึ่งเปรียบเสมือนว่าเป็นช่องว่างที่มีความยาวเท่ากับ W และกว้าง h ดังนั้นให้ช่องว่างทั้งสองมีค่าความต้านทานเท่ากับ $G_1 + jB$ เท่ากันทั้งสองช่อง ส่วนความต้านทานของแผ่นตัวนำจะมีค่า ความต้านทาน

คาแรมเตอร์ริสติก (characteristic Impedance) เป็น Z_0 และค่าคงที่การกระจายคลื่น (propagation) เท่ากับ β_g ดังนั้นเพื่อจะหา อินพุทแอดมิทแทนซ์ได้ว่า

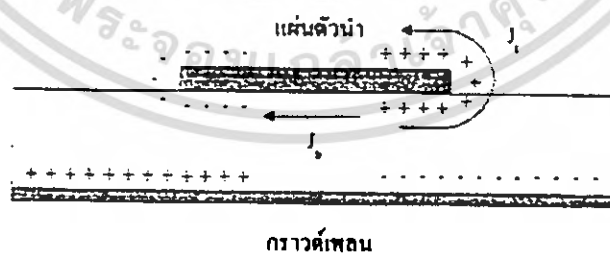
$$Y_{in} = G_r + jB + Y_o \frac{(G_r + jB) + jY_o \tan(\beta_g L)}{Y_o + j(G_r + jB) \tan(\beta_g L)} \quad (9)$$

1.6.2 แบบจำลองควิตี้ (Cavity Model)

ในแบบจำลองชนิดนี้จะมองสายอากาศแบบไมโครสตริปให้มีลักษณะเหมือน โพรงที่มีสารไดอิเล็กตริกอยู่ภายใน ซึ่งในการมองลักษณะนี้จะทำให้เกิดความถี่พ้องอันดับสูงขึ้นได้ (high Order Resonance) แต่เพื่อให้เข้าใจสนามพลังงาน (สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า) ภายในสารไดอิเล็กตริก จึงคิดว่า โพรงไดอิเล็กตริกนี้ถูกปิดล้อมด้วยแผ่นนำไฟฟ้า (ด้านบนและด้านล่าง) และกำแพงสนามแม่เหล็ก (คิดเสมือนว่าเปิดวงจรอยู่) ที่อยู่ตามขอบของตัวนำ แต่แบบจำลองนี้จะทำให้ไม่มี อินพุทอิมพีแดนซ์ในรูปของส่วนจินตภาพ ซึ่งส่งผลให้ไม่มีการส่งคลื่นออกไป อย่างไรก็ตามการสมมุติให้มีแบบจำลองอย่างมีแบบจำลองอย่างนี้ทำให้สามารถคำนวณ รูปแบบการแผ่กระจายคลื่น, อินพุทอิมพีแดนซ์ และ ความถี่ตอบสนองได้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการวัด ซึ่งแบบจำลองชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับวิธีเพอร์เทอร์เบชัน (Perturbation Method) ที่เป็นนิยมนักในการคำนวณท่อเวฟไกด์ (Waveguide)

สำหรับการสร้างสนามพลังงานภายใน โพรงไดอิเล็กตริกและการแผ่กระจายคลื่นผ่านกำแพงสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นได้ดังนี้

เมื่อป้อนพลังงานเข้าไปยังแผ่นตัวนำไมโครสตริป จะเกิดการกระจายของประจุบนผิวทั้งด้านบน และด้านล่างของแผ่นตัวนำรวมไปจนถึงเกิดการกระจายของประจุนกราวด์เพลนด้วยดังรูปนี้ 7



รูปที่ 7 การกระจายของประจุที่แผ่นตัวนำด้านบน

ซึ่งการกระจายของประจุเหล่านี้เกิดจากกระบวนการสองชนิดคือ

1. จากแรงดึงดูดระหว่างประจุต่างชนิดกัน ของประจุบนพื้นผิวด้านล่างแผ่นตัวนำกับประจุบนกราวด์

2. เกิดจากแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกัน ของประจุบนพื้นผิวด้านล่างแผ่นตัวนำ ซึ่งจากแรงผลักนี้จะทำให้ที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำมีประจุบางส่วนขึ้นไปอยู่ที่พื้นผิวด้านบนของตัวนำ

กระบวนการทั้งสองชนิดนี้ทำให้เกิดความหนาแน่นกระแส J_0 และ J_t (b ย่อมาจาก bottom และ t ย่อมาจาก top) ดังรูปที่ 7

สำหรับสายอากาศที่ทำจากวัสดุบางๆ แรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันจะมีมากกว่าแรงผลักระหว่างประจุต่างชนิดกัน ทำให้ประจุส่วนใหญ่ไปอยู่ที่พื้นผิวด้านล่างของแผ่นตัวนำ เป็นผลให้กระแสส่วนใหญ่ไหลอยู่ที่ใต้แผ่นตัวนำ จะมีกระแสปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นที่ไหลรอบๆ ขอบด้านบนของแผ่นตัวนำ และปริมาณของกระแสที่ว่่านี้จะมีการลดลงถ้าวัสดุมีขนาดบางลงด้วย สำหรับในทางอุดมคติแล้ว กระแสที่ไหลอยู่ด้านบนของแผ่นตัวนำจะมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลให้สนามแม่เหล็ก (ที่เกิดจากกระแสอันนี้) ที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ด้วย จึงสามารถสมมุติได้ว่ามีพื้นผิวที่เป็นตัวนำแม่เหล็กในอุดมคติปิดอยู่ที่บริเวณขอบทั้งสองของแผ่นตัวนำ (ทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์) แต่ทางปฏิบัติแล้วที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำจะมีสนามแม่เหล็กเหลืออยู่เล็กน้อยเสมอ ดังนั้น ข้อสมมุตินี้อาจไม่ถูกต้องมากนัก แต่การสมมุติอย่างนี้จะทำให้ง่ายต่อการหาโหมดของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (โหมด) ที่อยู่ใต้แผ่นตัวนำ

ผลจากการให้สายอากาศไมโครสตริปมีขนาดบางมาก (น้อยกว่าความยาวคลื่นมากๆ)

1. พลังงานที่อยู่ใต้แผ่นตัวนำและอยู่ใต้สารไดอิเล็กตริกจะเกิดการสะท้อนกลับขึ้นที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำ และมีแค่ส่วนน้อยเท่านั้นที่หลุดออกไปเป็นพลังงานแผ่กระจายคลื่น ดังนั้นสายอากาศแบบไมโครสตริปจึงมีประสิทธิภาพที่ไม่สูงนัก

2. พลังงานที่อยู่ใต้แผ่นตัวนำจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง ซึ่งในรูปของฟังก์ชันไซน์

3. การเปลี่ยนแปลงของสนามความสูงของสารไดอิเล็กตริกจะเป็นค่าคงที่

4. ปรากฏการณ์ฟริงกิงที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำจะมีค่าน้อยมาก

1.7 ปรากฏการณ์ฟริงกิง (Fringing Effect)

เนื่องจากมิติของแผ่นตัวนำถูกจำกัดด้วยความยาวและความกว้าง ดังนั้นสนามที่ขอบแผ่นตัวนำจะเกิดฟริงกิง ผลรวมของฟริงกิงเป็นฟังก์ชันของความกว้าง ยาวของแผ่นตัวนำและความหนา

ของสารตัวกลางสำหรับระนาบไฟฟ้า (E-plane หรือ ระนาบ x-y) ส่วนใหญ่ฟริงกิง เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนระหว่างความยาวของแผ่นตัวนำ (L) ต่อความหนาของสารตัวกลาง (h) และค่าเพอร์มิททิวิตีของสารตั้งกลาง

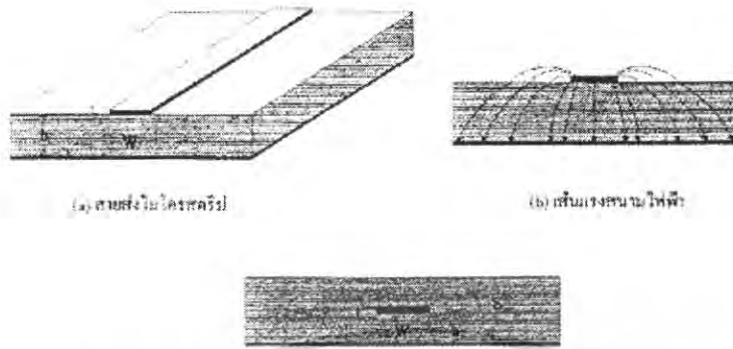
สำหรับสายส่งไมโครสตริปในรูปที่ 8(a) เส้นแรงสนามไฟฟ้าแบบทั่วไปแสดงดังรูป 8(b) เส้นแรงแบบนี้เกิดจากเนื้อสารของไดอิเล็กตริกสองชนิดไม่เหมือนกัน (Non-homogeneous) ซึ่งสารไดอิเล็กตริกสองชนิดนี้มักจะเป็นสารตั้งกลางกับอากาศ สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในสารตัวกลางและบางส่วนจะปรากฏในอากาศ เมื่อ L/h มีค่ามากกว่า 1 มากๆ และ เพอร์มิททิวิตีมากกว่า 1 มากๆ สนามไฟฟ้าจะอยู่อย่างหนาแน่นในสารตัวกลาง ในกรณี ฟริงกิงจะทำให้ สายส่งไมโครสตริปมีขนาดในทางไฟฟ้าคู่มากกว่าขนาดจริง เนื่องจากคลื่นบางส่วนเคลื่อนที่ในอากาศจึงมีการนำ Effective Dielectric Constant (ϵ_{eff}) มาคิด สำหรับฟริงกิงและการแผ่กระจายของคลื่น

ในการนำ ϵ_{eff} มาคิด จะสมมติให้ตัวนำของสายส่งไมโครสตริปที่มีขนาดและความหนาเท่าเดิม ฝังลงในสารตั้งกลาง ดังรูป 8(c) ค่า ϵ_{eff} จะถูกนิยามว่าเป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ของวัสดุไดอิเล็กตริกที่สมำเสมอ ดังนั้น สายส่งไมโครสตริปในรูป 8(c) จะมีลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าแบบเดียว และค่าคงที่การกระจายคลื่นโดยเฉพาะ เหมือนกับสายส่งไมโครสตริปของจริงในรูป 8(a) สำหรับสายส่งไมโครสตริปที่มีอากาศอยู่เหนือสารตั้งกลางค่า ϵ_{eff} จะมีค่าระหว่าง 1 ถึง เพอร์มิททิวิตี สำหรับการใช้งานทั่วไปที่คงที่ไดอิเล็กตริกของสารตั้งกลางมีค่ามากกว่า 1 มากๆ ค่า ϵ_{eff} จะใกล้กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r จริงๆสารตั้งกลางนั้นๆ

ϵ_{eff} เป็นฟังก์ชันของความถี่ ถ้าความถี่เพิ่มขึ้น สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่อย่างหนาแน่นในสารตัวกลางเพราะฉะนั้น สายส่งไมโครสตริปจะทำตัวเหมือนสารเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มีไดอิเล็กตริกตัวเดียว (ไดอิเล็กตริก ในที่นี้ หมายถึงสารตั้งกลาง) และ ϵ_{eff} จะมีค่าเข้าใกล้เพอร์มิททิวิตีของสารตั้งกลาง

สำหรับความถี่ต่ำ ϵ_{eff} จำเป็นที่จะต้องมีค่าคงที่ ที่ความถี่กลางค่าของมัน ϵ_{eff} จะเพิ่มขึ้นอย่างสมำเสมอและจะเพิ่มจนถึงค่า เพอร์มิททิวิตีของสารตั้งกลางในท้ายที่สุด ค่าเริ่มต้น (ที่ความถี่ต่ำ) ของ ϵ_{eff} จะถูกเรียกว่า Static Value แสดงได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } \frac{W}{h} > 1$$



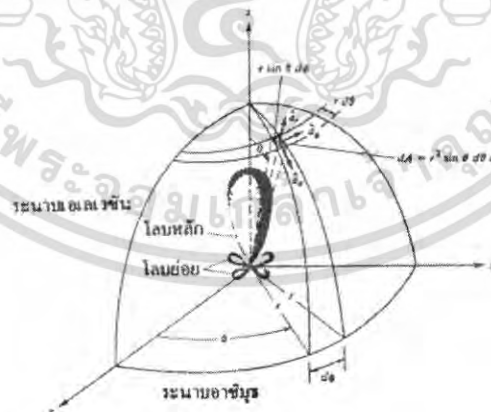
รูปที่ 8 สายส่งไมโครสตริปและลักษณะเส้นแรงแสนามไฟฟ้า

1.8 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

เป็นรูปภาพที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนท (Space Coordinate) ส่วนมากแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นมักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)
- ความเข้มของสนาม (Field Strength)
- เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization)



รูปที่ 9 ระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

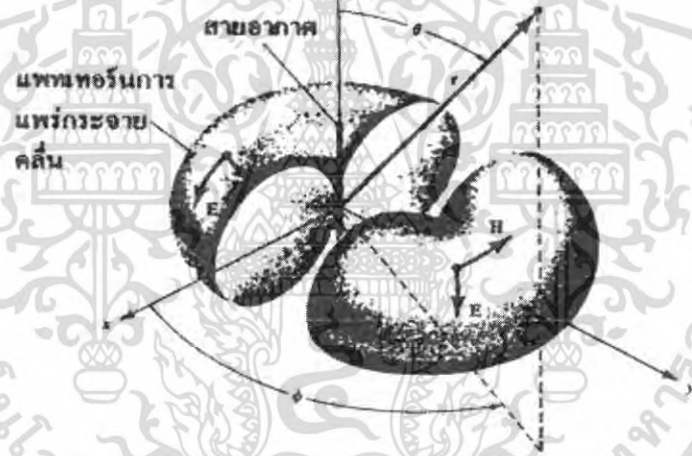
คุณสมบัติเหล่านี้ ซึ่งแสดงรูปการแจกแจงรูปของพลังงาน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง 3 มิติ ที่สามารถสังเกตได้ โดยมีวิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 ในการแสดงระบบโคออดิเนตที่เหมาะสมที่แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับใช้แสดงพลังงานที่สายอากาศได้รับตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ เรียกว่าแพทเทิร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีคงที่ เรียกว่าแพทเทิร์นสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

ในทางปฏิบัติรูปแบบแพทเทิร์น 3 มิติ จะถูกวัดและถูกบันทึกในรูปแบบของแพทเทิร์น 2 มิติ อย่างไรก็ตาม สำหรับความมีประโยชน์ในทางปฏิบัติส่วนมาก จุด 2-3 จุดของแพทเทิร์นเป็นฟังก์ชันของ θ สำหรับค่าเฉพาะของ ϕ บวกด้วยจุดน้อยๆ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ ϕ สำหรับค่าเฉพาะของ θ ที่ให้มาส่วนมากจะมีประโยชน์และความต้องการในการรับรู้

- แพทเทิร์นแบบไอโซโทรปิก ไคเรกชันแนลและออมนิไดเรกชันแนล



รูปที่ 10 แพทเทิร์นของสายอากาศแบบชี้ทิศทาง

- ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) เป็นสายอากาศที่สมมุติฐานขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันทุกทิศทาง เช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงในการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

- สายอากาศชี้ทิศทาง (Direction Antenna) เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในทิศทางที่กำหนดเท่านั้นตัวอย่างแบบหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัตินี้ดังกล่าว คือ สายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล (Omni-directional Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

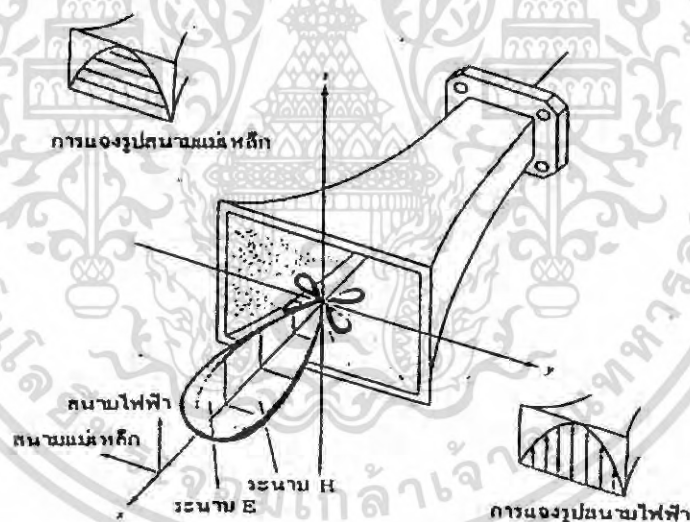
จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าแพทเทิร์นแบบนี้ไม่มีทิศทางในระนาบอะซิมูท (Azimuth Plane) [$f(\phi)$, $\theta =$ ค่าคงที่] แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบอีเลเวชัน (Elevation Plane) [$g(\theta)$, $\phi =$ ค่าคงที่] แพทเทิร์นแบบอสมนิโครีกซ์แนลนี้จะเป็นแบบพิเศษของแพทเทิร์นแบบชี้ทิศทาง

1.8.1 แพทเทิร์นหลัก (Principle Patterns)

การกระทำสายอากาศนี้ เราจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของแพทเทิร์นหลัก (Principle Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศแบบลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) แพทเทิร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด

ส่วนแพทเทิร์นในระนาบ H จะเป็นแอมพลิจูดที่บรรจุสนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด

ตัวอย่างการแสดงผลแพทเทิร์นหลัก มีดังแสดงในรูป 3.11 โดยมีระนาบ xz (ระนาบอีเลเวชัน ; $\phi = 0$) เป็นระนาบ E หลัก และมีระนาบ xy (ระนาบอะซิมูท ; $\theta = \frac{\pi}{2}$) เป็นระนาบ H หลัก



รูปที่ 11 แพทเทิร์นหลัก ระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

1.8.2 โลบของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern lobe)

เป็นส่วนหนึ่งของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการบิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำในรูปที่ 12 จะแสดงโพลาร์แพทเทิร์นแบบสามมิติ ซึ่งจะแนบเป็นโลบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โลบล้าง (Major lobe บางทีเรียกว่า Main lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด จากรูป จะมีโอบหลักอยู่ที่ทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแบบแยกแกน (Split – Beam Antenna)

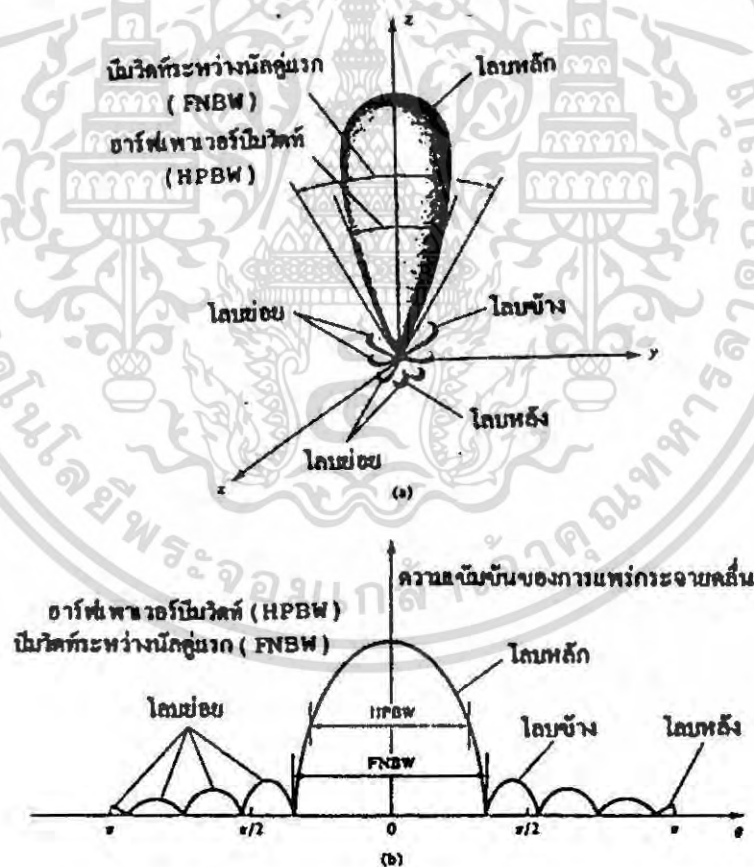
- โอบย่อย (Minor lobe) คือ โอบอื่นๆ นอกเหนือจากโอบหลัก

- โอบข้าง (Side lobe) เป็นโอบย่อยที่ติดอยู่ติดกับโอบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

- โอบหลัง (back lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลัก ตามปกติโอบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ เพราะฉะนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโอบย่อยเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดระดับของโอบย่อยหรืออัตราส่วนของไซด์โอบ

= ความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่คิด / ความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก

= ระดับของไซด์โอบ



รูปที่ 12 (a) โอบต่างๆและปมวิวัตต์ของแพทเทอรันสายอากาศ

(b) แพทเทอรันในแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติ จะต้องให้ระดับของไซด์โลบ ≤ -20 dB ซึ่งทำให้ไม่เป็นอันตรายในอุปกรณ์ส่วนใหญ่

ความบรรลุนของระดับไซด์โลบจะต้องมากกว่า -30 dB เสมอตามต้องการ จะต้องระมัดระวังในการออกแบบ

ในระบบเรดาร์ส่วนมาก อัตราส่วนของไซด์โลบด้านต่ำเป็นสิ่งสำคัญมากในการลดเหตุเสีย (False) ในการชี้ไปที่ไซด์โลบ

1.9 เกน (Gain)

สิ่งที่แสดงคุณสมบัติของสายอากาศอีกอย่างหนึ่งก็คือเกน (Gain) เป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไดเรกทิวิตีโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ไดเรกทิวิตีอธิบายคุณสมบัติ ในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางโดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้ว เราจะคิดเพาเวอร์เกนที่มีการแผ่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{เกน} &= 4\pi \text{ (ความเข้มการแผ่กระจายคลื่น / กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ)} \\ &= 4\pi \frac{u(\theta, \phi)}{P_{in}} \text{ (ไม่มีหน่วย)} \end{aligned} \quad (10)$$

โดยทั่วไปแล้วเรายังจะพูดถึงเกนสัมพัทธ์ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสองเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจเป็นสายอากาศแบบไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่นๆ ซึ่งคำนวณเกนได้ง่าย หรือรู้ค่าอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส ที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = 4\pi U(\theta, \phi) / P_{in} \text{ (ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย)} \quad (11)$$

กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (Prad) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สัญญาณ (Pin) ด้วย

$$P_{rad} = e, P_{in} \quad (12)$$

เมื่อ e , เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) จะทำให้ (3.12) มีความสัมพันธ์ง่ายเข้าเป็น

$$G_g(\theta, \phi) = e, [4\pi U(\theta, \phi) / P_{in}] \quad (13)$$

ก็จะสัมพันธ์กับไดเรกทิฟเทนใน(3.10)คือ

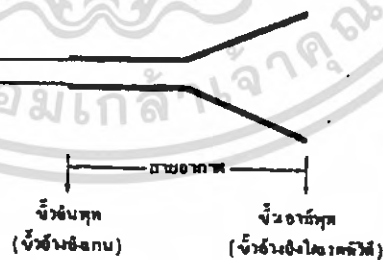
$$G_g(\theta, \phi) = e, D_g(\theta, \phi) \quad (14)$$

ดังนั้น ค่าประมาณของเกนมีค่าเป็น

$$G_o \approx \frac{30000}{\theta_{1d} \theta_{2d}} \quad (15)$$

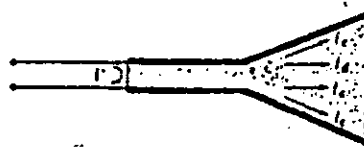
ในทางปฏิบัติ เมื่อกล่าวถึงเกนมักจะหมายถึง เพาเวอร์เกนที่มีค่าสูงสุด

$$G_o(dB) \approx 10 \log_{10}[e, D_o] \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (16)$$



(a) ขั้วอ้างอิงสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) การสูญเสียจากการสะท้อนตัวนำและไดอิเล็กทริก
รูปที่ 13 แสดงข้ออ้างอิง และการสูญเสียของสายอากาศ

1.10 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้เมื่อเรากำหนดถึงความสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายใน โครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆเนื่องมาจาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพจน์(Mismatch) กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
2. การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน

โดยทั้งไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมดคำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (17)$$

เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพรวมทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)

e_r = ประสิทธิภาพของการสะท้อนกลับ (ไม่มีหน่วย)

e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)

e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)

Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ

$$= \frac{(Z_{in} - Z_o)}{(Z_{in} + Z_o)} \quad \text{เมื่อ } Z_{in} \text{ คืออินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ, } Z_o \text{ คืออิมพีแดนซ์}$$

คุณสมบัติ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง

ปกติ e_c และ e_d คำนวณหาได้ยาก ส่วนมากมักจะหาได้จากการทดลอง แต่ถึงกระนั้นก็แยก e_c จาก e_d ไม่ออก ดังนั้นเพื่อความสะดวกมักเขียน (3.17) ใหม่ได้เป็น

$$e_t = e_r e_c = e_c (1 - |\Gamma|^2) \quad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $e_{cd} = e_c e_d =$ ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

1.11 ประสิทธิภาพของบีม

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินใจว่าสายอากาศมีคุณภาพของการส่งหรือรับคลื่นดีเพียงใดนั้น ได้แก่ ประสิทธิภาพของบีม (Beam Efficiency : BE) สำหรับสายอากาศ ซึ่งโอบหลักอยู่ในทิศทางแกน Z ($\theta=0$) ประสิทธิภาพของบีมจะกำหนดได้ดังนี้ คือ

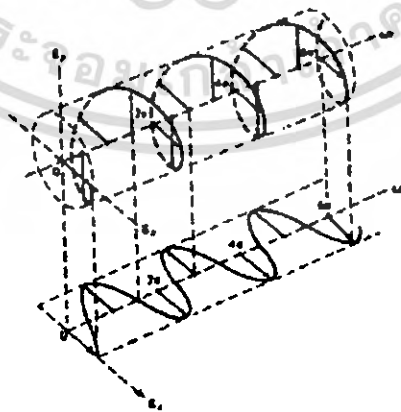
$$BE = \frac{\text{กำลังที่ส่ง}}{\text{กำลังงานที่ส่ง}}$$

เมื่อ กำลังที่ส่งภายในกรวยซึ่งทำมุม (θ_1) ที่เราต้องการจะหาเปอร์เซ็นต์ของกำลังงานทั้งหมดในนั้น ดังนั้น จะเขียนได้เป็น

$$B = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) s \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \phi) i s \theta d\theta d\phi} \quad (19)$$

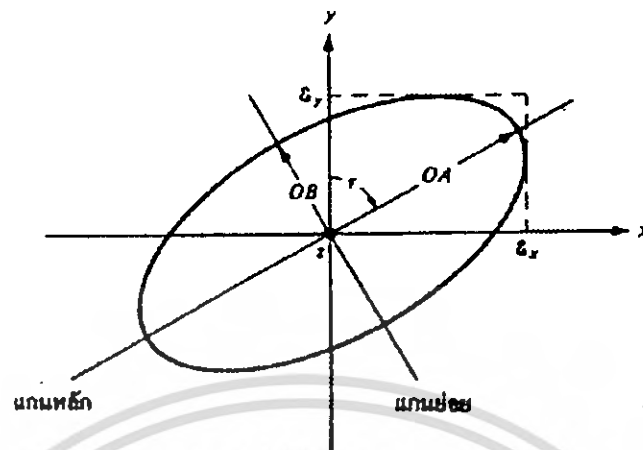
เมื่อ θ_1 เป็นมุมที่เกิดมินัล (Null) คือจุดตำแหน่งที่กำลังมรค่าเป็นศูนย์เป็นคู่แรก ดังนั้น ประสิทธิภาพของบีมจะเป็นอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานใน โอบต่อกำลังงานที่มีทั้งหมด

1.12 โพรไฟเรซันซ์



(a) แสดงการหมุนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) แสดงโพลาไรเซชันวงรี

รูปที่ 14 การหมุนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระนาบ

การแบ่งชนิดของโพลาไรเซชันอาจแบ่งเป็นแบบลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linear Polarization) โพลาไรเซชันแบบวงกลม (Circularly Polarization) และโพลาไรเซชันแบบวงรี (Elliptically Polarization) ขึ้นอยู่กับลักษณะการหมุนของขดเคี้ยวของสนามไฟฟ้า ถ้าเวกเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา ณ จุดใดๆ ในสเปซของสนามไฟฟ้าถ้าเวกเตอร์ชี้ตรงเสมอ เรียกว่า โพลาไรเซชันแบบเส้นตรง หรือลิเนียร์โพลาไรเซชัน แต่ถ้าสนามไฟฟ้ามีการหมุนเป็นวงรี จะเรียกสนามแบบนี้ว่า โพลาไรเซชันแบบวงรีทั้งลิเนียร์โพลาไรเซชันและโพลาไรเซชันแบบวงกลมต่างก็เป็นกรณีพิเศษของโพลาไรเซชันของวงรี

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา (คือเมื่อมองตามหลังคลื่นแล้ว จะเห็นมีการหมุนตามเข็มนาฬิกา) จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันแบบมือขวา ในขณะที่สนามไฟฟ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะเรียกว่าโพลาไรเซชันของมือซ้าย

1.12.1 ลิเนียร์โพลาไรเซชัน

จะเขียนสนามชั่วขณะเวลานั้นของคลื่นระนาบที่เดินทางในทิศทาง $-Z$ ได้ว่า

$$\mathcal{E}(z, t) = \hat{d}_x \mathcal{E}_x(z, t) + \hat{d}_y \mathcal{E}_y(z, t) \quad (20)$$

ส่วนประกอบของสนามชั่วขณะเวลานั้น สัมพันธ์กับค่าเชิงซ้อนของสนามนั้นดังนี้

$$\begin{aligned} \varepsilon_x(z, t) &= R_o[E_x e^{j\omega t + k}] = R_c[E_x e^{j\omega t + k + \phi_x}] \\ &= E_x c(\omega t + k + \phi_x) \end{aligned} \quad (21)$$

เมื่อ E_x และ E_y เป็นขนาดของสนามค่าสูงสุด ในทิศทาง x และทิศทาง y ตามลำดับ

1.12.2 โพลาริเซชันแบบวงกลม

จะเกิดโพลาริเซชันแบบวงกลมได้ ก็ต่อเมื่อขนาดของส่วนประกอบของสนามทั้งสองมีค่าเท่ากันและความต่างเฟสของสนามทั้งสองเป็นจำนวนคี่เท่าของ $\frac{\pi}{2}$ นั่นคือ

$$E_x = E_y \quad (22)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = [(1/2 + 2n)\pi], n = 0, 1, 2, \dots \text{CW} \quad (23)$$

$$= [-(1/2 + 2n)\pi], n = 0, 1, 2, \dots \text{CCW} \quad (24)$$

ถ้าเคลื่อนเดินทางในทิศทางตรงกันข้าม(คือทิศทาง $+Z$) เฟสที่ทำให้เกิด CW (Clockwise) และ CCW (Counter Clockwise) จะต้องสลับกัน

1.12.3 โพลาริเซชันแบบวงรี

โพลาริเซชันแบบวงรีจะเกิดขึ้นเมื่อความต่างเฟสเป็นจำนวนคี่ของ $\frac{\pi}{2}$ แต่ขนาดของสนามไฟฟ้าไม่เท่ากัน หรือความต่างเฟสไม่เป็นจำนวนคี่ของ $\frac{\pi}{2}$ นั่นคือ

$$E_x \neq E_y \quad (25)$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = [(1/2 + 2n)\pi], n = 0, 1, 2, \dots \text{CW} \quad (26)$$

$$= [-(1/2 + 2n)\pi], n = 0, 1, 2, \dots \text{CCW} \quad (27)$$

ในกรณีของโพลาริเซชันแบบวงรี รูปที่แสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดๆ จะเป็นวงรีเอียง ดังรูปที่ (14b) อัตราส่วนของแกนหลักต่อแกนย่อยจะเรียกว่าเป็น อัตราส่วนของแกน (Axial Ratio : AR) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

การเขียนวงรีเทียบกับแกน y สามารถแสดงด้วยมุมเอียง ดังนี้คือ

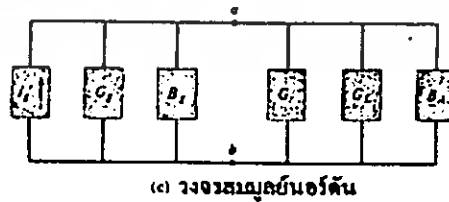
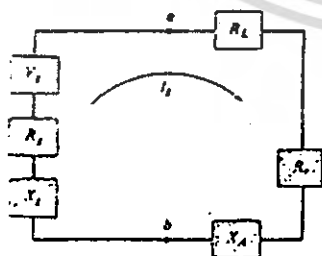
เมื่อวงรีวางตามแนวแกนหลัก $[r = n\frac{\pi}{2}, n = 0,1,2, \dots]$ แกนหลัก(ย่อย)เท่ากับ $E_x(E_y)$ หรือ $E_y(E_x)$ และอัตราส่วนของแกนมีค่าเท่ากับ E_x / E_y หรือ E_y / E_x

1.13 อินพุทอิมพีแดนซ์

อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศใดๆจะเป็นอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศนั้นๆ อาจเป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศนั้น หรือเป็นอัตราส่วนของสตตามไฟฟ้าต่อสตตามแม่เหล็กที่จุดใดๆ ในรูปที่ (3.15a-b) เป็นขั้วของสายอากาศอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลด(Load) จะมีอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ นั่นว่า

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{28}$$

- เมื่อ Z_A = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (Ω)
- R_A = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (Ω)
- X_A = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (Ω)



รูปที่ 3.15 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปความต้านทานจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังนี้คือ

$$R_A = R_r + R_L \quad (29)$$

เมื่อ R_r คือ ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นในสายอากาศ

R_L คือ ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าสมมุติว่าสายอากาศถูกต้องอยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

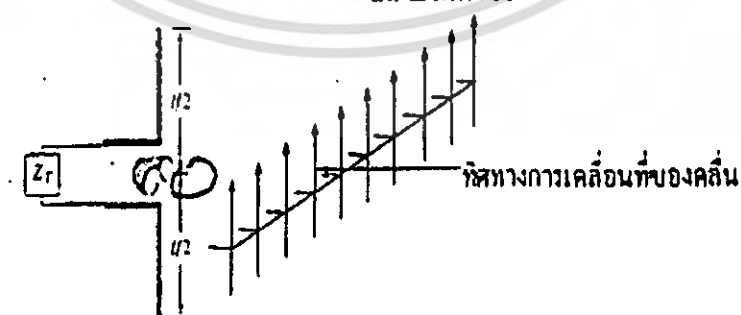
$$Z_g = R_g + jX_g \quad (30)$$

เมื่อ R_g คือ ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Ω)

X_g คือ รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Ω)

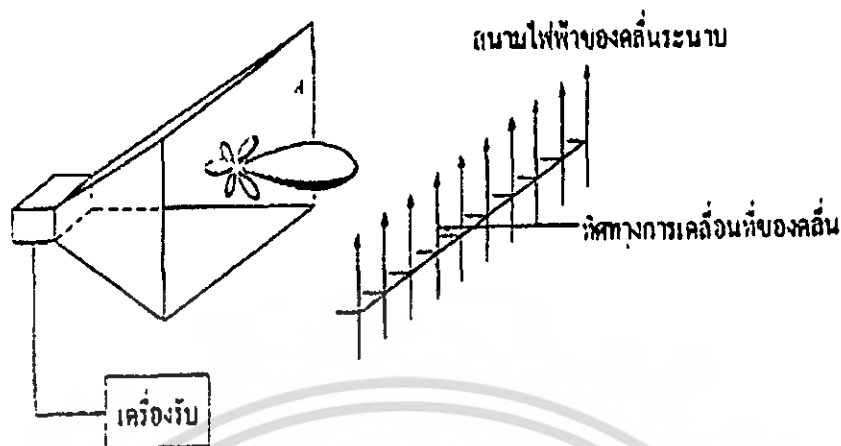
ในจำนวนกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายทั้งหมด ครึ่งหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนภายในความต้านทานภายใน R_g ของเครื่องกำเนิดสัญญาณและอีกครึ่งหนึ่งจะถูกนำมาขังสายอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นเพื่อมีคอนจูเกตแมทซ์เท่านั้น ในส่วนของกำลังงานมายังสายอากาศส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไป โดยผ่านกลไกที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศทั้งหมด ถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ($e_{sd} = 1$) ครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจะแพร่กระจายออกเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ ในตอนนี้สมมุติว่าเป็นการแมทซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศกับสายส่ง ($e_r = 1$) ถ้ามีการสูญเสียเนื่องจากไม่แมทซ์แล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง

สมมติให้ฟ้าของคลื่นระนาบ



(a) ใต้โพลในโมดการรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) สายอากาศอะเพอร์เจอร์ในโหมดการรับ

รูปที่ 16 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์

ปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่และจะแปรผันจะสายส่ง ในช่วงความถี่หนึ่งๆเท่านั้น นอกจากนี้อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ อีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากก็พบว่า ส่วนใหญ่จะหาอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง

1.14 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดเป็นช่วงหนึ่งของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์, แพทเทิร์น, บีมวิทด์, โพลาริเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, เกน, ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำยกตัวอย่างเช่น 10 : 1 แสดงว่าความถี่ใช้งานด้านสูงมีค่ามากกว่าความถี่ใช้งานด้านต่ำอยู่ 10 เท่า สำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนด์วิดท์จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น เช่น แบนด์วิดท์ 5 % แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศเป็น 5 % ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ (ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์, แพทเทิร์น, เกน, โพลาริเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ลักษณะเดีวทั้งหมด ดังนั้น จึงไม่กำหนดแบนด์วิดท์

ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไปตามปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทอร์นกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิทช์จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิทช์ของสายอากาศ นอกจากนี้ แบนด์วิทช์ของแกน , ระดับไซค์โลบ , บีมวิทช์ , โพลาริเซชันจะมีแบนด์วิทช์ค่าเดียวกับแพทเทอร์นแบนด์วิทช์ ในขณะที่แบนด์วิทช์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น จะเป็นค่าเดียวกันกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิทช์



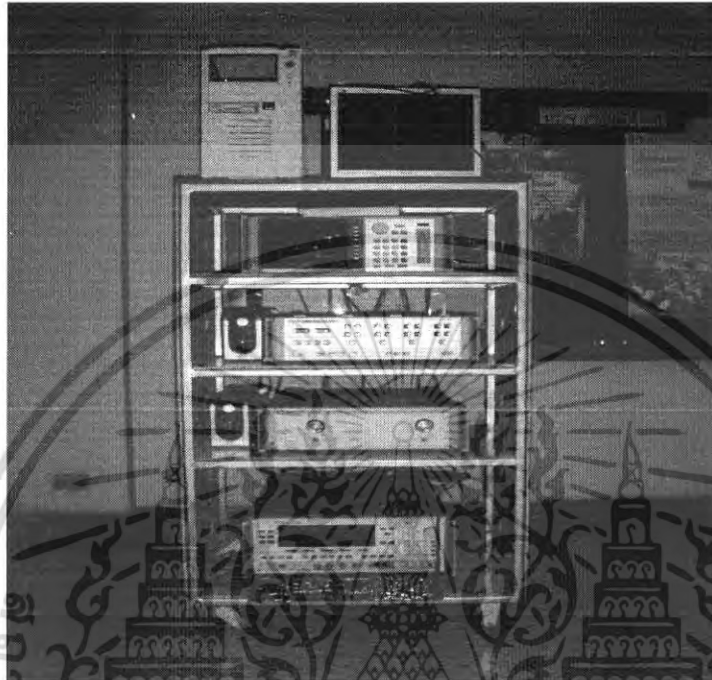
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

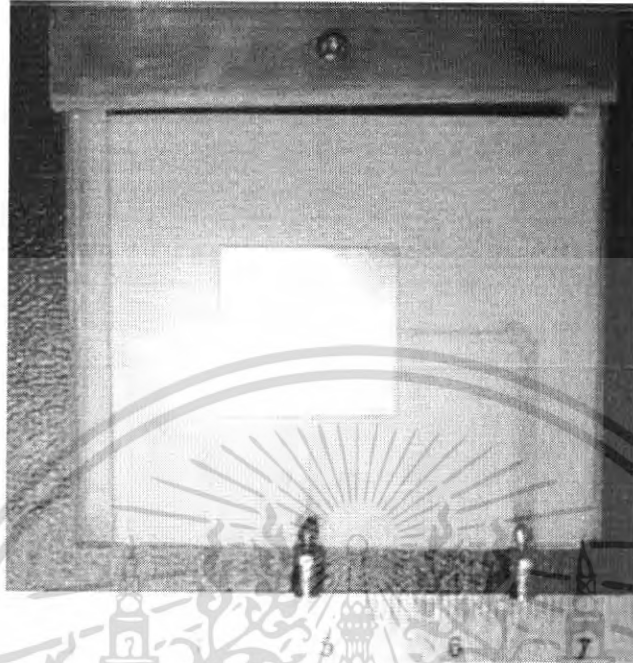


รูปเครื่อง Network analyzer



รูปหัวต่อแบบต่างๆที่ใช้กับเครื่อง Network analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

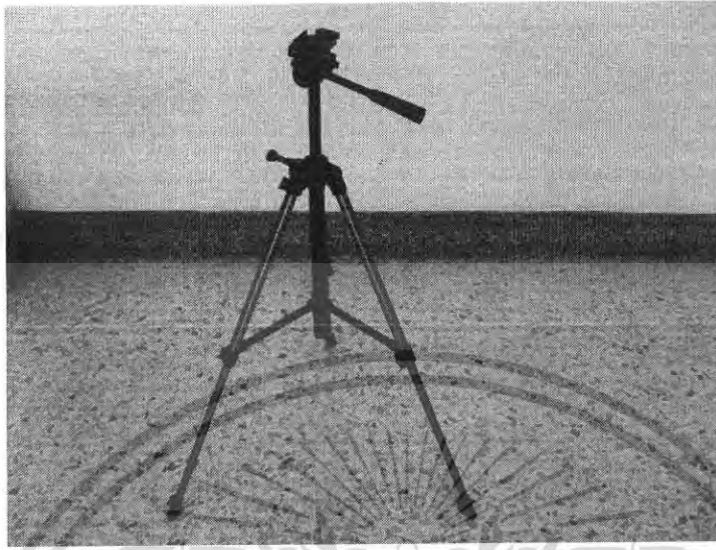


รูปสายอากาศแบบไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.45 GHz



รูปสายโคแอกเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปขาตั้งใช้ติดตั้งสายอากาศตัวรับสัญญาณ



รูปไม้แบบติดตั้งสายอากาศตัวส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้