

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การศึกษาออกแบบและสร้างของสายอากาศระบุลักษณะด้วยความถี่วิทยุในแถบ  
ไมโครเวฟ

**STUDY ON DESIGN AND FABRICATION OF RFID ANTENNA IN  
MICROWAVE BAND**



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **83095**  
วัน,เดือน,ปี... - 5 ส.ค. 2551

b. 11463980  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON DESIGN AND FABRICATION OF RFID ANTENNA IN  
MICROWAVE BAND**



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

**2007**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาออกแบบและสร้างของสายอากาศระบุลักษณะด้วยความถี่วิทยุ  
ในแถบไมโครเวฟ

ชื่อนักศึกษา นายศรัณู ดวงสุวรรณ รหัส 48015594  
นายณัฐวุฒิ ทรงทับทิม รหัส 48015619  
นายธีรภัทร พรหมศิริ รหัส 48015623

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์  
ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา  
ปีการศึกษา

ปริญญ  
ศาสตรบัณฑิต



ลักสูตร วิศวกรรม  
รลาดกระบัง

พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อปริญญานิพนธ์</b>	การศึกษาออกแบบและสร้างของสายอากาศระบุดักขณะด้วยความถี่วิทยุ ในแถบไมโครเวฟ		
<b>ชื่อนักศึกษา</b>	นายศรัณ	ดวงสุวรรณ	รหัส 48015594
	นายณัฐวุฒิ	ทรงทับทิม	รหัส 48015619
	นายธีรภัทร	พรหมคีรี	รหัส 48015623
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผศ. พิษณุ สุวรรณกุล		
<b>ระดับการศึกษา</b>	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		

ภาควิชา

ปีการศึกษา

โคร  
สื่อสารแบบ  
ค่าพารามิเตอร์  
ความถี่ 2.45  
สายอากาศ  
ทำการวิเคราะห์  
นำผลจากการ  
สื่อสารแบบ



ที่ใช้ในระบบการ  
ในการคำนวณหา  
ความถี่ไมโครเวฟที่  
นำค่าที่ได้มาสร้าง  
องสายอากาศและ  
างขึ้นจริง เพื่อที่จะ  
ใ้เนนาในระบบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Study on Design and Fabrication of RFID Antenna in Microwave Band

**Student** Mr. Sarun Doungsuwan ID. 48015594  
 Mr. Nutthawut Songthapthim ID. 48015619  
 Mr. Theerapat Promkeeree ID. 48015623

**Advisor** Mr. Sathaporn Prowong  
 Asst. Prof. Pichaya Supannakun

**Graduate Level** Bachelor Degree of Information Engineering

**Department** Information Engineering

**Academic Y**

This  
 in a microwe  
 design the m  
 bring its resu  
 antenna from  
 simulated an  
 RFID in futu:



with RFID system  
 meter's result. We  
 rogram in order to  
 result of both the  
 nation between the  
 d development of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกคน และได้รับคำแนะนำที่ดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งทางด้านข้อมูล แนะนำการแก้ปัญหา ตลอดจนแนวคิดต่าง ๆ เป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำโครงการ รายละเอียด ตลอดจนเอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์และห้องปฏิบัติงานในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. พิศาล สุพรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาอีกท่านหนึ่งที่คอยช่วยเหลือและ

แนะนำรายละเอียด

ขอข

คำต่าง ๆ ของ

ขอข

คำแนะนำเกี่ยว

ขอข

ให้ทุนสนับสนุน

ขอข

วิศวกรรมศา

โครงการในค



คของการคำนวณ

ด้านซอฟต์แวร์และ

นมา อีกทั้งยังช่วย

ระบั้ง และคณะ  
สได้ศึกษา และทำ

ดวงสุวรรณ

ผ เอบม สุทท ทรงทับติม

นายธีรภัทร พรหมศิริ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ค	1
1.2 วิ	2
1.3 ป	2
1.4 ร	2
บทที่ 2 เทคโนโลยี	3
2.1 อ	4
2.2 ถ	5
2.3 วิ	9
2.4 การบองกนการชนกนของสญญานขอมูต (Anti-Collision)	12
2.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID	12
2.6 การสื่อสารแบบไร้สาย	12
2.7 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID	14
2.7.1 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิด กับระบบปิด	15
2.8 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	16
2.9 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	16
2.10 การนำระบบ RFID ไปใช้งาน	17
2.11 มาตรฐาน RFID	17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.11.1 ISO 11784	17
2.11.2 ISO 11785	18
2.11.3 ISO 14443A	18
2.11.4 ISO 14443B	19
2.11.5 ISO 15693	19
2.12 ทฤษฎี	19
2.13	20
	20
	22
<b>บทที่ 3 ทฤษฎี</b>	24
3.1 บ	24
	25
	26
3.2 ก	26
3.3 ก	28
3.4 ก	30
3.5 ตี	31
3.6 แ	34
3.6.1 แบบจำลองสายส่ง	34
3.6.2 แบบจำลองควาวิตี (Cavity Model)	35
3.7 ปราคฏการณ์ฟริงกิง (Fringing Effect)	37
3.8 อินพุตอิมพีแดนซ์	38
3.9 แบนด์วิดท์	41
3.10 ขั้นตอนและการออกแบบสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป	42
3.10.1 การออกแบบส่วนที่ใช้ส่งคลื่นหรือแผ่นตัวนำ(Patch)	43
3.10.1.1 ความกว้างของแผ่นตัวนำ	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.10.1.2 ความยาวของแผ่นตัวนำ	45
3.10.2 การคำนวณหาขนาดของตัวป้อนสัญญาณ	45
3.10.3 สายส่งไมโครสตริปแบบสองตอน	46
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองของสายอากาศ</b>	<b>52</b>
4.1 โปรแกรมซิมเลชัน	51
4.2 ผศ	52
4.3 ซ้ำ	56
4.4 ผศ	56
4.5 ผศ	57
4.6 ผศ	60
4.7 ผศ	61
4.8 ผศ	62
<b>บทที่ 5 สรุปแล</b>	<b>63</b>
<b>อ้างอิง</b>	<b>65</b>
<b>ภาคผนวก โปรแกรมคำนวณ Input Impedance ของแผ่นแพทช์สายอากาศจาก</b>	<b>66</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน	15
2.2 การวิเคราะห์กรณีศึกษา Seagate	21
2.3 การวิเคราะห์กรณีศึกษา Automatic Vehicle Location	22
2.4 แสดงเงื่อนไขที่มีส่วนตัดสินใจว่า RFID จะมาแทนหรือมาเสริมบาร์โค้ด	23
3.1 การเปรียบเทียบสายอากาศที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเรียบชนิดต่างๆ	24
5.1 สรุปผลการทดลองของสายอากาศ $\sim 45$ GHz	63
5.2 สรุปผลก	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของระบบ RFID	4
2.2 ตำแหน่งของแท็กที่เหมาะสมสำหรับย่านของสายอากาศที่ทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	6
2.3 ระบบการอ่าน/เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID	6
2.4 แท็กในรูปแบบต่าง ๆ	8
2.5 ตัวอย่างการใช้งานแท็กส์และตัวอ่านข้อมูล (Reader )	8
2.6 คุณสมบัติของ Active RFID และ Passive RFID Tag	9
2.7 แผนผังกา	10
2.8 การสื่อสาร	13
2.9 ย่านคลื่นค	14
3.1 สายอากาศ	27
3.2 รูปร่างของ	27
3.3 การป้อนสิ	28
3.4 การป้อนสิ	29
3.5 วงจรสมมุ	29
3.6 ประสิทธิภาพ สายอากาศไม	33
3.7 สายอากาศ	34
3.8 การกระจาย	36
3.9 สายส่งไม	38
3.10 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์	39
3.11 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์	40
3.12 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์ (ต่อ)	41
3.13 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป	42
3.14 บล็อกขั้นตอนการคำนวณความกว้างและความยาวของแผ่นตัวนำ	44
3.15 การป้อนสัญญาณ โดยใช้สายส่งไมโครสตริปสองตอน	46
3.16 ขนาดของไมโครสตริปโดยใช้สายส่งสองตอนที่ความถี่ 2.45 GHz	49
3.17 ขนาดของไมโครสตริปโดยใช้สายส่งสองตอนที่ความถี่ 5.8 GHz	50



เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.18 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2.45 GHz	51
3.19 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 5.8 GHz	51
4.1 บล็อกผลการวัดของสายอากาศ	52
4.2 $S_{11}$ ค่า Return Loss ของสายอากาศ 2.45 GHz	53
4.3 อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 2.45 GHz	54
4.4 ค่า VSWR ของสายอากาศ 2.45 GHz	54
4.5 $S_{11}$ ค่า R	54
4.6 อินพุทอิม	55
4.7 แสดงค่า	55
4.8 เครื่อง VT	56
4.9 $S_{11}$ ค่า R	57
4.10 อินพุทอิม	57
4.11 ค่า SWR	58
4.12 $S_{11}$ ค่า R	58
4.13 อินพุทอิม	59
4.14 ค่า SWR	59
4.15 แสดงการ	60
4.16 รูปแบบก	61
4.17 รูปแบบก	61
4.18 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ E-Plane 5.8 GHz	62
4.19 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ H-Plane 5.8 GHz	62



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารต่างๆ ได้รับการพัฒนาให้เจริญก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีราคาถูกลงและหนึ่งในเทคโนโลยีแบบใหม่ชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการทำงานทางการสื่อสารซึ่งก็คือเทคโนโลยี RFID ซึ่ง

RFID ย่อมาจาก

วิทยุที่ได้อุทซ์

(Barcode) โค

ดัมผัสสามารถ

กระทบกระแ

สื่อก RFID

ขนาดเล็กที่ส

ค

ทำงานทางด้า

- ทด

- ระ

ผ่านสายพาน

ไหนต่อรวมรี



ด้วยคลื่นความถี่

านระบบบาร์โค้ด

หลายๆ แท้ก็แบบไร้

เส้นสะท้อนการ

ไมโครชิปที่อยู่ใน

หรือเป็นแคปซูล

ละลดเวลาในการ

ับชิ้นงานเมื่องาน

งและต้องส่งไปที่

ไว้ที่ไหน จะต้อง

ส่งไปที่ไหนอย่างไร ใครจะมารับส่วนภาพที่ผู้บริโภคจะเห็นคือ การซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เวลาซื้อก็หยิบใส่ตะกร้าคิดเงินผ่านเครื่องอ่าน RFID ครั้งเดียว คิดเงินได้ทันทีโดยไม่ต้องหยิบมาชั่งบาร์โค้ดทีละชิ้น เพื่อไม่ให้เสียเวลาและเดือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ

- ระบบห้องสมุดดิจิทัล (e-Library) ในการยืมคืนหนังสืออัตโนมัติทำให้ผู้ใช้บริการได้รวดเร็วและสะดวกสบายยิ่งขึ้น

- ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ (e-ticket) เช่น บัตรทางด่วนบัตรรถไฟไฟฟ้าใต้ดินจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยี RFID สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายประเภทแต่การนำไปใช้งานจะต้องพิจารณาในเรื่องต่างๆของระบบที่ต้องการนำไปใช้ เช่น ยานความถี่ที่จะใช้งานระยะที่ต้องการอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลและเรื่องของความปลอดภัยต่างๆ เพื่อจะได้นำเอาเทคโนโลยี RFID ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบการสร้างสายอากาศของอุปกรณ์ RFID ในย่านการใช้งานที่ความถี่ 2.45 GHz, 5.8 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยสายอากาศที่ทำการสร้างเป็นสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่จะนำมาใช้ในอุปกรณ์ RFID

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาออกแบบและหลักการสร้างสายอากาศ การวัดผลประสิทธิภาพ

ความถี่ไมโคร

1. เฌ

2. เฌ

3. เฌ

ภายในประเทศ

## 1.3 ประโยชน์

1. ส

2. ช

## 1.4 รายละเอียด

บทที่ 1 การทบทวนวรรณกรรมและบทสรุปของงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยี RFID และการประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการออกแบบสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปและวัดผล

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการวิเคราะห์และการวัดคุณสมบัติของสายอากาศและประสิทธิภาพ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและเสนอแนะผลการศึกษาและการทำปริญญานิพนธ์นี้ทั้งหมด พร้อมทั้งได้เสนอแนะแนวทางในการศึกษาและการพัฒนา

โลยี RFID ในย่าน

โครสตริป

อุตสาหกรรม

สูงขึ้น



## บทที่ 2

### เทคโนโลยี RFID

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ซึ่งแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลาย ๆ จุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องล่าช้าตรวจสอบจับยิบยิบลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับหรือใช้

กล้องซีดีขนาดเล็ก  
เป็นหรือไม่ชัดเจน  
เครื่องอ่านมาวาง  
โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  
เหตุผลที่ทำให้เกิด

ระบบ RFID  
โดยไม่รู้ตัวก็ได้ เรา

ในอนาคต

- 1) เลือก
- 2) เซ็นเซอร์
- 3) รายการ
- 4) จ่ายเงิน
- 5) ที่กั้นประตูเปิดเพื่อให้ผ่านออก

ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นไปได้ก็ด้วยเทคโนโลยีของระบบ RFID



งกล่าวมีรอย  
าเป็นค็องนำ  
บางประเภท  
งในหลาย ๆ

วิคประจำวัน

วมชุมนุมประตุ

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้งานได้ โดยจุดเด่นของ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แร่งสั้นสะท้อน การกระแทกกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการนำ RFID มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้น ๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทกเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card), เหรียญ, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

## 2.1 องค์ประกอบ



Reader / Int



5

lace

องค์ประกอบในระบบ RFID จะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “แท็กส์” (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กส์ มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซีฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

### 2.1.1 Tag หรือ Transponder

แท็กส์ (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ตัวแท็กส์ก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กส์ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างตัวแท็กส์และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในตัวแท็กส์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (S

รับส่งข้อมูลโดยทั้ง

ไอซีของค  
ขนาดเล็กจนแทบ  
เหมาะสมกับชนิด  
จะประกอบด้วย 2

1. ส่วนขอ  
ภาคคิมอูเลตและ  
กำเนิดไฟฟ้าขนาด  
2. ส่วนข  
ทั้งหมด โครงสร้าง  
หน่วยความจำแรม  
Unit) ส่วนตอบรี

คณิศาสตร์ (Control & Arthritic Unit)

อย่างไรก็ตามโครงสร้างภายในของตัวแท็กส์ที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางครั้งก็อาจมีไม่ครบถ้วนทุกส่วนอย่างที่ไคยกมา ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของตัวแท็กส์เบอร์ใด ๆ ก็สามารถดูได้จากคำชี้แจงของบริษัทผู้ผลิตตัวแท็กส์เบอร์นั้น ๆ

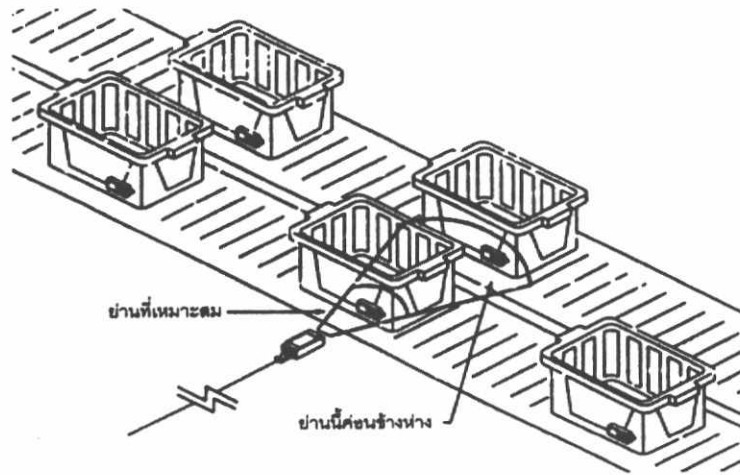


ภาคสำหรับ

ท่งหรือแผ่น  
างก็มีความ  
วแท็กส์นั้นก็

ประกอบด้วย  
น) และวงจร

ทางดิจิทัล  
ประกอบด้วย  
รหัส (Crypts  
ประมวลผลทาง



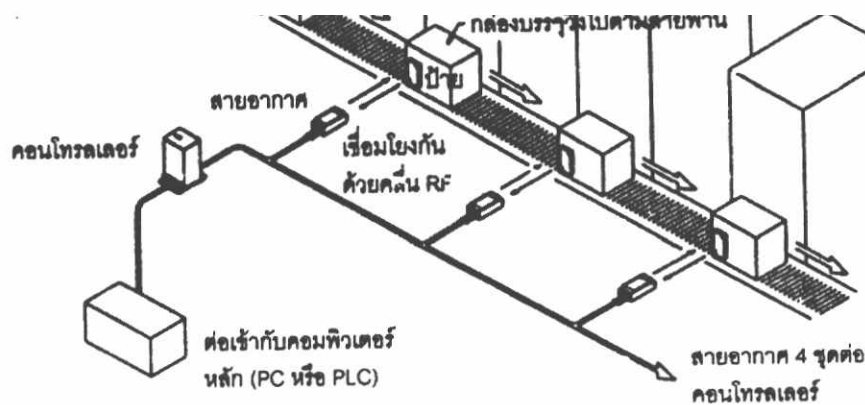
รูปที่ 2.2 ตำแหน่ง

ประสิทธิภาพ

Transponders  
ชั้นของกระดาษห่อ  
กับการนำไปใช้งาน  
ยาวเพียง 10 มิลลิเมตร  
ใหญ่มากสำหรับค  
สินค้าในร้านค้าปลีก  
ใหญ่ไว้ตรงประตู  
เพื่อติดต่อสื่อสาร  
แบตเตอรี่ Lithium



ค้ระหว่าง  
ยแบบขึ้นอยู่กับ  
เกดได้ดินสอ  
อาจมีขนาด  
ไปติดไว้กับ  
ข้อมูลขนาด  
สัญญาณ RF  
ป้าย ซึ่งเป็น



รูปที่ 2.3 ระบบการอ่าน/เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแท็กจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้แท็กตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กส่งข้อมูลลงไปที่สายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลาย ๆ ระบบสายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver เหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน

ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่น ข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้ระหว่างที่แท็กและให้แก่แท็ก

แท็กที่มีในแง่ของการใช้งาน

## 1. แท็กซี

แท็กซีนิไฟฟ้าให้แท็กทำงานในแท็กได้ และอายุของแบตเตอรี่จะมีการซีล (seal) วงจรของแท็กให้แท็กซีนิ

และระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

## 2. แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เก็บข้อมูลในไฟฟ้าป้อน

แตกต่างกันหัวข้อดังนี้

โอนพลังงานเขียนข้อมูลงานจำกัดตามได้ เนื่องจากเรดออกแบบ

มีกำลังส่งสูง

ขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็ก RFID มักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็ก RFID และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็ก RFID นี้เป็นที่นิยมมากกว่า

ไอซีของแท็ก RFID ที่มีการผลิตออกมามีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการใช้งานแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader)

นอกจากการแท็กแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังคงถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many หรือ WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

Active Tags	Passive Tags
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีแหล่งพลังงานในตัว</li> <li>- ระยะในการอ่านไกล (100 เมตร) ทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี</li> <li>- สภาพแวดล้อมมีผลน้อยต่อการอ่านข้อมูล</li> <li>- ขนาดใหญ่</li> <li>- ต้นทุนสูง</li> <li>- สามารถทั้งอ่าน</li> <li>- อายุการใช้งาน</li> <li>- ประมาณ 2-7 ปี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่มีแหล่งพลังงานในตัว (ใช้พลังงานจากเครื่องอ่านแถบ RFID)</li> <li>- ระยะในการอ่านสั้น (1.2 เมตร)</li> <li>- มีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มี</li> </ul>



### 2.1.2 Real

#### หน้าที่สำคัญ

แท็กแล้วทำการ  
โดย ไมโครคอนโทรลเลอร์จะ  
ทำหน้าที่ในการส่ง

ข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการตอบ เบ นอกจากนั้นตัวอ่านข้อมูลทดสอบความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่แท็กสูญหายทั้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

ที่ส่งมาจาก  
ซึ่งกระทำ  
ทรเลอร์จะ  
จอร์เพื่อนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID

หัวใจของเทคโนโลยี RFID ได้แก่ "Inlay" ที่บรรจุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับโลหะที่ขีดย่นได้สำหรับการติดตามหรือทำหน้าที่เป็นเสาอากาศนั่นเอง Inlay มีความหนาสูงสุดอยู่ที่ 0.375 มิลลิเมตร สามารถทำเป็นแผ่นบางอัดเป็นชั้น ๆ ระหว่างกระดาษ, แผ่นฟิล์ม หรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งเป็นการผลิตเครื่องหมายหรือฉลาก จากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมากนัก ซึ่งจะเห็นว่า Inlay มีลักษณะรูปร่างที่บางมาก จึงทำให้ง่ายต่อการติดเป็นป้ายชื่อหรือฉลากของชิ้นงานหรือวัตถุนั้น ๆ ได้สะดวก

RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็กส์ (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่ง

ในรูปแบบที่ 2.6



การประยุกต์ (code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่แท็กส์ของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลงหรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในแท็กส์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ในขณะสินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วน โดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วน ไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีแท็กส์ติดอยู่กับรถและแท็กส์จะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในแท็กส์โดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในประตูสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม

ข้อดีของระบบ RFID อีกอย่างก็คือ แท็กส์และตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

## 2.3 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์และเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กส์ที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลตแบบเฟสชิฟต์คิง (Phase Shift Keying : PSK) ฟูรีแควนซีชิฟต์คิง (Frequency Shift Modulation : FM)

ในการรับส่งสัญญาณเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ในทางปฏิบัติสายอากาศที่ดูจะเหมาะสมที่สุดจะเป็นแบบนี้เป็นวงรูปที่ทำขึ้นความเหมาะสมใน

นอกจาก

โดยอาศัยหลักการจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็กส์ เมื่อแท็กส์และเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็กส์



Modulation :

ะได้อย่างมี  
มื่อความถี่ใช้  
2.12 แมกนอน  
ขนาดเล็กได้  
เล็กหรือที่มี  
รูปแบบของ  
อร์ไรด์ แบบ  
เหลี่ยม ทั้งนี้  
เช่นกัน  
ับแท็กส์ด้วย  
ลวดที่เกิดขึ้น

## 2.4 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)

ในการที่จะรับข้อมูลจากแท็กส์หลาย ๆ อัน ทั้งแท็กส์และตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสถานะที่มีแท็กส์มากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collusion) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างแท็กส์กับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากแท็กส์อันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

## 2.5 หลักการทำงาน

1. ตัวแท็กส์เข้ามาอยู่ในมอดูเลตสัญญาณ
2. เมื่อมีแจากการเหนี่ยวนำที่ผ่านการมอดูเลต
3. คลื่นพขึ้นอยู่กับวิธีการมย
4. ตัวอ่านทำการถอดรหัสเพื่อ

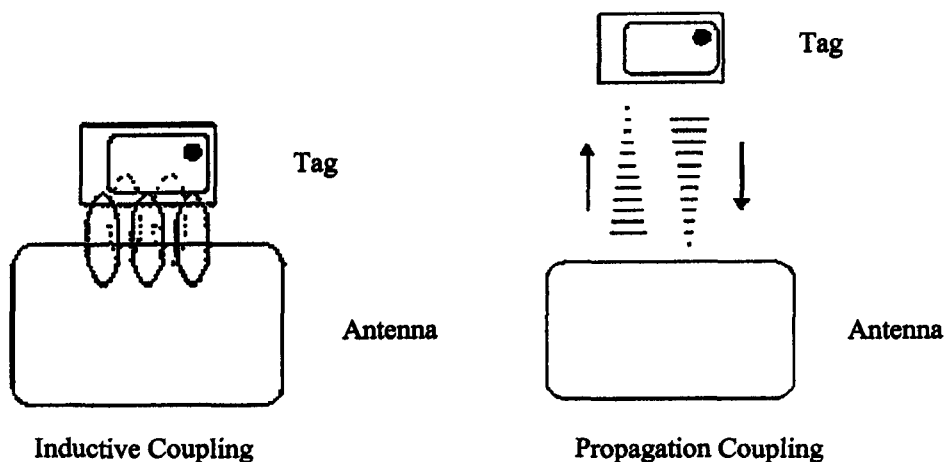


ตรวจจับว่ามี  
เจ็บบว่ามีกร  
นไฟฟ้าที่เกิด  
เนวความจำ  
เมถี่ หรือเฟส  
ในข้อมูลแล้ว

## 2.6 การสื่อสารแบบเวตเย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กส์และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อแบบ Inductive Coupling และ Propagation Coupling

เทคนิคการ  
Keying), FSK (Fr  
จะเลือกให้มีความ  
การมอดูเล  
หน้าที่นำสัญญาณ  
บิตของสัญญาณซึ่  
0 ขนาดของคลื่นพ  
รบกวนจากสัญญาณ  
การมอดูเล  
เปลี่ยนแปลงที่เปลี่  
สูงกว่าปกติและเมื่อ



plitude Shift  
บผู้ออกแบบ  
Wave) ซึ่งทำ  
แต่เมื่อค่าของ  
บิตมีค่าเป็น  
เพราะจะถูก  
โน้พาทจะไม่  
คลื่นพาทจะ

การมอดูเลชันแบบ PSK (Phase Keying) หรือ ค่าของขนาด  
และความถี่ของคลื่นพาทจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ที่จะเปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมี  
การเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน  
(Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 180 และ 270 องศา)  
และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลชันเพื่อเปลี่ยนสัญญาณ  
ข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อย  
ที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า

## ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -ประตูอัตโนมัติ -ระบบคางคัง -รถยนต์
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -สมาร์ทการ์ด
ย่านความถี่สูง 85 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐาน ทั่วไปคือ 2.45 GHz		กึ่งค่าผ่าน

ในแง่ของ  
ย่านความถี่สูงเป็น  
RFID ที่ใช้คลื่นพา  
2.7.1 แนวน  
ระบบเปิด  
ระเบียบที่สามารถ  
ที่สร้างข้อมูล ผู้ใช้  
อย่างรวมกัน



ใช้คลื่นพาหะ  
เช่นกัน ส่วน  
งไปด้วย  
คณะกรรมการ  
จากเครื่องมือ  
จัดการหลาย ๆ

**ระบบปิด (Closed System)** คือ ระบบที่กฎของการเข้ารหัส (encode) และการถอดรหัส (decode) ถูกกำหนดไว้โดยเฉพาะเจาะจง หรือรู้เฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเจ้าของ

สำหรับป้าย RFID ปัจจุบันนี้ถือว่ายังเป็นมาตรฐานระบบเปิด ดังนั้นผู้ขาย (vendor) ต้องผลิตและสนับสนุนระบบของตนเอง ส่วนเทคโนโลยีบาร์โค้ด เป็นระบบที่มีความเป็นมาตรฐานทั้งระบบเปิดและระบบปิด

อย่างไรก็ดี ปัจจุบันนี้มีอุตสาหกรรมและองค์กรมาตรฐานจำนวนมากที่พยายามพัฒนา ระบบ RFID ให้มีความเป็นมาตรฐานยิ่งขึ้นมาก The International Standards Organization (ISO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sub-Committee (SC 31) ซึ่งเป็นข้อตกลงที่อยู่ภายใต้การสำรวจเทคโนโลยีบาร์โค้ด และ RFID ของ ISO

ในปัจจุบัน SC 31 จะเน้นที่ระบบมาตรฐานแบบเปิด โดยประเด็นที่องค์กรมาตรฐานได้คำนึงถึง ได้แก่

- วิธีการเปลี่ยนป้ายของระบบปิด ไปเป็นระบบเปิด เครื่องอ่านต้องสามารถแยกได้ทั้งสองระบบ

- เพราะว่า RFID สามารถอ่านป้ายหลายป้ายได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นความเป็นมาตรฐานต้องไม่มีความซ้ำซ้อนกันระหว่างข้อมูลหลากหลายที่มีเข้ามา

- RFID บางชนิดยอมให้อ่าน / เขียนข้อมูลได้ แต่บาร์โค้ด ไม่สามารถทำได้ และข้อบังคับจะทำให้เกิดผลเล็กน้อยกับการติดตั้งภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาความสำคัญของการใช้ RFID จะเกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมต่าง ๆ ร่วมกัน มีการแสดงองค์กรในอุตสาหกรรมเชื่อว่านี่คือ การขาด



องค์กรจากการทำงานให้เห็นว่า มีคนทั่วไปใช้ RFID

## 2.8 อัตราการรับ

อัตราการรับความถี่ของคลื่นพหุหรือย่านความถี่นี้มากกว่าอัตราการรับ 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถใช้แบนด์วิด

โดยปกติถ้าแบนด์วิดธ์จะมีความถี่ในช่วงนาฬิกา เป็นต้น หรือทำให้

S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดธ์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

## 2.9 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กส์ที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ใน  
โดยทั่วไปก็จะถูก  
โดยทั่วไปจะมีกำลัง



หนักก็ได้ แต่  
ระบบ RFID

**2.10 การนำระบบ**  
เราสามารถนำระบบ  
หรือการบริการค่า  
เก็บเงินค่าใช้บริการ  
ยังคงต้องคำนึงถึง  
สภาพแวดล้อม หรือ  
ประเทศ

ผลิต การค้า  
เองพนักงาน  
ID มาใช้งาน  
ล็กไฟฟ้าใน  
ส่งของแต่ละ

**2.11 มาตรฐานของ RFID**

**2.11.1 ISO 11784**

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

**Information Description**

- 1 Animal (1)/non-animal (0) กำหนดความเป็นสัตว์หรือ ไม่ใช่สัตว์
- 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
- 27-64 National identification code รหัสของสัตว์ที่มีรหัสเดียวเท่านั้นในประเทศ
- National identification Code จะต้องมียระบบจัดการใช้การออกรหัสของสัตว์แต่ละประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับข้อตกลงในแต่ละประเทศซึ่งสามารถโปรแกรมได้ 274,877,906,944 ตัว
- Country code 10 bits = 1,024 ประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีรหัสเป็น 764 ตาม ISO 3166 ถ้าเป็นระบบ Manufacture code ซึ่งต้องผ่านการรับรองจาก ICAR (International Committee for Animal Recording) ในการทดสอบการทำงานและความเป็นมาตรฐานตามที่ ISO 11784-85 ระบุในมาตรฐาน โดยตัวเลขที่ทาง ICAR ออกให้กับผู้ผลิตที่ผ่านการรับรองแล้วจะขึ้นต้นด้วย 9xx แทนการใช้ Country code ตาม ISO 3166

### 2.11.2 ISO 11

เป็นมาตรฐาน  
กับเครื่องอ่าน (Reader)

- ความถี่
- ข้อมูล (Load modulation)
- ขนาดความถี่

### 2.11.3 ISO 14

มาตรฐาน  
แรกๆ ในโลกสำหรับ  
โลกซึ่งมีสำหรับวัว

- การรับ
- แบบไร้สัมผัส (Contactless)



(Transponder)

รื่องอ่าน

คือ 1.8 kHz

ความถี่

ผู้พัฒนาราย  
มากที่สุดคือใน

รศการคเป็น

- ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสามารถได้ถึง 10 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับสายอากาศ)
- ส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสามารถด้วยความเร็วสูงถึง 106 Kbit/วินาที
- ความถี่วิทยุ (Radio Frequency) 13.56 เมกกะเฮิร์ตซ์
- ความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลสูงด้วยเทคนิคการทำ 16 bit CRC, Parity, Bit Coding และ Bit Counting

- มีระบบป้องกันการก๊อปปี้ข้อมูล (True Anticollision)

- เวลาในการอ่าน/เขียนข้อมูล กับบัตรสามารถน้อยกว่า 100 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.4 ISO 14443B

มาตรฐาน ISO 14443B เป็นมาตรฐานเปิดมีหลายบริษัทเป็นผู้ร่วมพัฒนา โดยมาตรฐานมีความใกล้เคียงกับ ISO 14443A ต่างกันเฉพาะที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มเติมจาก ISO 14443A เช่น ลักษณะการ Modulate สัญญาณซึ่งเป็นแบบ 10% ASK, BPSK(Bit Encoding) แต่ยังมีข้อด้อยในหลายๆเรื่องเนื่องจากมาตรฐานในส่วนสำคัญๆถูก ISO 14443A บังคับอยู่ แต่ข้อดีคือเป็นมาตรฐานเปิดทำให้มีผู้ผลิตมากมาย มีการแข่งขันด้านราคาและคุณภาพมากขึ้น

### 2.11.5 ISO 15693

มาตรฐาน ISO 15693 เป็นมาตรฐานที่ร่วมกันพัฒนาระหว่าง Phillips และ Texas Instrument สำหรับ ISO 15693 นั้นมีจุดประสงค์ในการใช้งานเพื่อเป็นแผ่นป้ายบอกข้อมูล (RFID) มากกว่าจะเป็นสมาร์ทการ์ดแบบใช้งานทั่วไป ซึ่งจะมีลักษณะรูปร่างเป็น Label สามารถนำไปแปะบนกล่องสินค้า หรือ ด้วยการ โปรแกรม (ขึ้นอยู่กับการออกกันหลายชิพ โดยใ นอกจากนี้ IS งานในขบวนการ (Product Code) เป็น พัฒนาเป็นมาตรฐานเพิ่มเติมได้ใน RF สมาร์ทการ์ดทั่วไป



ใช้งานใหม่ได้  
เครื่องอ่าน  
พร้อมๆ

เมื่อนำไปใช้  
(Electronic  
อาร์โค้ดซึ่งถูก  
เิดตามข้อมูล  
ในส่วนของ

## 2.12 บทสรุป

การพัฒนา การพัฒนา มาก่อนหน้า เช่นระบบบาร์โค้ด แต่เป็นการเสริมจุดอ่อนต่างๆ ของระบบอื่น ซึ่งแม้ว่า RFID จะเป็นระบบที่มี จุดเด่นตรงความยืดหยุ่นและข้อดีอีกสารพัดในตัวเอง แต่อุตสาหกรรมของ RFID กลับเป็น ไปอย่าง ไม่เต็มเม็ดเต็มหน่วยนักทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุที่สำคัญคือ ความกระจัดกระจายของมาตรฐาน จาก การที่ผู้ผลิตอุปกรณ์ RFID ต่างฝ่ายต่างก็ผลิตอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐานของตนเองเป็นหลักและไม่ มีการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ให้กันและกัน ไม่ว่าจะ เป็นความถี่ที่ใช้งาน หรือ โปรโตคอล (Protocol) เรายัง ไม่สามารถนำเท็คส์จากผู้ผลิตรายหนึ่งมาใช้กับตัวอ่านข้อมูลของผู้ผลิตอีกรายหนึ่งหรือ ในทางกลับกันได้ นี่เป็นอุปสรรคสำคัญของการเติบโตของระบบ RFID ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มี

องค์กรส่วนกลางเข้ามาทำการจัดระเบียบของเหล่ามาตรฐานที่ว่านั้น ให้มีความเป็นหมวดหมู่มากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม หลายองค์กรได้ตระหนักถึงปัญหานี้ และได้เริ่มมีการพัฒนาระบบมาตรฐานขึ้นมาทั้งในยุโรป และอเมริกา โดยหน่วยงาน ANSI's X3T6 ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตและใช้งานระบบ RFID ในอเมริกา ได้กำลังทำการพัฒนามาตรฐานของระบบ RFID ที่ความถี่ 2.45 GHz ขึ้นมา หรือองค์กร ISO ก็ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับการใช้ระบบ RFID กับงานปศุสัตว์ออกมาแล้ว คือ ISO 11784 และ 11785

ในขณะที่ระบบบาร์โค้ดมีการเติบโต และใช้งานกันอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีระบบมาตรฐานรองรับ ดังนั้นความร่วมมือระหว่างผู้เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิตหรือผู้ใช้งาน จะเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันให้ระบบ RFID มีการพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็วในอนาคต

## 2.13 กรณีศึกษา

กรณีศึกษา  
องค์กร ซึ่งเป็นการ  
รูปแบบของการเป  
รงทน, ความง่าย  
กลับมาใช้หรือเขียน

- ต้นทุน
- ความ
- ความ
- ข้อจำกัด
- ความ
- ผลาก

ใช้หลายงานระบบรวมกัน

- ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ หมายถึง การเสนอข้อมูลที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ในทุก ๆ เงื่อนไขในการทำงานในทุกสภาวะแวดล้อม
- การนำกลับมาใช้และเขียนใหม่ได้อีก หมายถึง ลักษณะที่เสนอจากเทคโนโลยีโดยจะจัดอันดับคุณสมบัติจากการเน้นตัวหนา เพื่อแสดงข้อได้เปรียบของแต่ละคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องจากกรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่จะยกมาเป็นตัวอย่างในที่นี้ คือ

### 2.13.1 กรณีศึกษาที่ 1 Seagate



ไปใช้งานใน  
จะเป็นไปใน  
แรก, ความ  
และการนำ

เปลี่ยนแปลง

รวมถึงการไม่  
างเคมี

ป้ายหรือป้าย

ะง่ายต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Seagate คือ ผู้ผลิตดิสก์ไครฟ์, แมกเนติกดิสก์ และหัวอ่าน/เขียน รายใหญ่ที่สุดในโลก และยังเป็นผู้บุกเบิกริเริ่มในระบบของเทปไครฟ์อีกด้วย โดยมีการผลิตดิสก์ชนิดต่าง ๆ นับพันหน่วยต่อวัน ดังนั้น Seagate จึงต้องการระบบที่สามารถติดตามผลิตภัณฑ์ได้ตลอดทั้งกระบวนการผลิต รวมถึงห้องสะอาด (clean room) ซึ่งการใช้ระบบ RFID ทำให้ Seagate สามารถติดตามผลิตภัณฑ์ที่กำลังผลิตอยู่ภายในห้องสะอาดได้ แต่ระบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้ได้ เพราะต้องมีการคำนึงถึงสารปนเปื้อนในห้องสะอาด และยิ่งกว่านั้นการได้ติดตามตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ทำงานจริง จะช่วยทำให้ Seagate สามารถเพิ่มคุณภาพสินค้าและประสิทธิภาพการผลิต โดยการหาจุดที่ผิดพลาดว่ามาจากตรงไหนของแต่ละปัญหา

ระบบบาร์โค้ดที่มีอยู่ไม่สามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องได้เกิน 98% สำหรับงานที่กำลังอยู่ในช่วงการผลิต ปัญหาด้านการผลิตจะยากและใช้เวลานานในการแยกแยะปัญหา ทาง Seagate คาดไว้ว่า “ประมาณ 25

เมื่อใช้ระ  
ขนาด 736 bytes |  
ผลิตจำนวนเลข  
38,000 หน่วย แล  
อ่านจะติดต่อสื่อส  
สะสมไว้ในเครื่อง  
โดยโปรแกรมของ  
การรักษาความ  
ตรวจสอบพบของ  
การผลิตจะสามารถ  
สำหรับข้อ  
แสดงดังตารางที่ 2.



ด้วยความจำ  
ตรวจสอบการ  
RFID จำนวน  
านไว้เครื่อง  
นี้จะถูกเก็บ  
ming (ERP)  
การผลิต และ  
เกินจากการ  
หรือ พนักงาน  
อน  
ศึกษาที่ 1 นี้

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์กรณีศึกษา Seagate

คุณสมบัติ	บาร์โค้ด	RFID
ต้นทุนเริ่มแรก	ต่ำ	กลาง – สูง
ความคงทน	กลาง – ต่ำ	สูง
ความยืดหยุ่นและความง่ายต่อการใช้	กลาง – ต่ำ	กลาง – สูง
ความน่าเชื่อถือและความถูกต้อง	กลาง – สูง	สูง
การนำกลับมาใช้หรือเขียนใหม่	ต่ำ	สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.13.2 กรณีศึกษาที่ 2 Automatic Vehicle Location**

เพื่อการปรับปรุงการจัดการของสถานีรถบัส และการเพิ่มความพอใจของลูกค้าที่เมือง Vejle ประเทศเดนมาร์ก ได้มีการนำระบบการติดตามตำแหน่งพาหนะ (รถบัส) แบบอัตโนมัติ (automatic vehicle location system) มาใช้ ซึ่งเป็นเทคโนโลยี RFID เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการรถบัสที่เข้ามาและออกไป และการขึ้นลงที่ชานชาลาในสถานี โดยที่ระบบนี้จะจัดการกับรถบัสจำนวน 149 คัน เส้นทางวิ่ง 13 เมือง และ 22 เขต โดยประมาณได้ว่าการเดินทางเข้าและออกจากสถานีประมาณ 800 คัน ทุกวัน

รถบัสแต่ละคันจะมีการติดป้าย RFID ที่กันชนรถ และภายในป้ายจะมีการบรรจุข้อมูลเฉพาะ และข้อมูลเส้นทางการวิ่ง เครื่องอ่าน RFID จะถูกฝังอยู่ที่พื้นผิวถนนในระหว่างทางเฉพาะในช่วงของการเข้าออกข้อมูลรถส่งกลับไปยังรถบัสแต่ละคันได้ ทำให้ไม่ได้คาดหมายได้ข้อได้เปรียบได้ดังตารางที่ 2.3



ที่วิ่งผ่านและ  
 เหน่งของรถ  
 บการล่าช้าที่  
 ามารถแสดง

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์

			<b>ID</b>
ต้นทุนเริ่มแรก			าง
ความคงทน			ง
ความยืดหยุ่นและ			- สูง
ความน่าเชื่อถือแล			ง
การนำกลับมาใช้หรือเขียนใหม่	ต่ำ		สูง

RFID เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และการพัฒนาส่งผลให้ความสามารถในการจำมีมากขึ้น เป็นการเพิ่มระยะขอบเขตการอ่านข้อมูลให้กว้างขึ้น มีการประมวลผลได้เร็วขึ้น และสามารถลดต้นทุนให้ต่ำลงได้ ยิ่งกว่านั้นความเป็นมาตรฐานจะทำให้การทำงานที่เชื่อมโยงกันในการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น และก่อให้เกิดการปรับเปลี่ยนระบบ RFID ให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่ามีเงื่อนไขที่เป็นการสนับสนุนให้ RFID เข้ามาแทนที่บาร์โค้ด โดยตรง แต่ก็ยังมีเงื่อนไขที่แตกต่างออกไป ซึ่งมีส่วนสนับสนุนให้ RFID เข้ามาเป็นเทคโนโลยีที่เสริมให้กับระบบบาร์โค้ด โดยข้อเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงเงื่อนไขที่มีส่วนตัดสินใจว่า RFID จะมาแทนหรือมาเสริมบาร์โค้ด

เงื่อนไข / ข้อกำหนด	บาร์โค้ด	RFID
ต้นทุนในการลงทุนเริ่มแรกต่ำ	3	
อุณหภูมิ สูง / ต่ำ		3
สารเคมี / ของเหลว		3
ข้อกำหนดการไม่มีเส้นที่มองเห็นได้		3
ความคงทน (ขึ้นกับ)		3
การเชื่อมโยงการ		
ความยืดหยุ่น (ขึ้นกับ)		3
ความน่าเชื่อถือ /		3
ความสามารถใน		3
การนำกลับมาใช้		3



ทั้งระบบ |  
ใช้งาน ผลสรุปจาก  
ตลาดใหม่ ซึ่งเป็น  
ต้องการการปฏิบัติ  
มองเห็นสามารถ  
ต้องการของลักษณะ

ลักษณะการ  
ตัวก่อให้เกิด  
การใช้งานที่  
ให้มีเส้นที่  
อีกจากความ

แต่ถ้าหากลักษณะการใช้งานต้องการการปฏิบัติงานที่มีต้นทุนของการลงทุนต่ำ ใช้งาน เชื่อมโยงกันได้กับผู้ค้าหลาย ๆ ราย มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และมีความคงทนพอสมควรในการใช้งานกับสภาวะแวดล้อมทั่ว ๆ ไป หากลักษณะการใช้งานต้องการเงื่อนไขดังกล่าว ระบบบาร์โค้ดจะมีความเหมาะสมมากกว่า แต่เมื่อเงื่อนไขความต้องการเปลี่ยน และระบบได้รับการปรับปรุงศักยภาพ เทคโนโลยีทั้งสองก็จะมีส่วนเสริมการทำงานกัน ซึ่งเป็นการขยายขอบเขตหน้าที่การใช้งานในปัจจุบันที่ไม่เคยได้รับการพัฒนามาก่อนให้พัฒนาได้ก้าวไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีและหลักการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

### 3.1 บทนำ

แนวคิดเกี่ยวกับสายอากาศแผ่นไมโครสตริป เริ่มขึ้นครั้งแรกเมื่อต้นปี 1953 และเมื่อ 20 ปีที่ผ่านมา ได้มีการสร้างสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปขึ้นมา โดยได้ใช้หลักการและเทคนิคของโฟโต้เทค (Photo-Tech) โดยวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกประกอบด้วยทองแดงหรือทอง และได้มีการพัฒนาที่

Tangent) ต่อจากนั้นมานักเบาะพัฒนาสายอากาศแบบ (Cavity Back) ได้เปรียบเทียบกับสายอากาศแบบ



การสูญเสีย (Loss) ครั้งแรกในปี 1970 นี้เอง โดยมีข้อดีคือรวม (IC) ได้มีการไมโครสตริป เช่นแบบโพรงด้านหลัง (Cavity Back) โดยที่ .1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า

#### ตารางที่ 3.1

คุณสมบัติ	สายอากาศแบบไดโพล			
ความหนา	บาง	ไม่บางมาก	หนา	บาง
การสร้าง	ง่ายมาก	ง่าย	ยาก	ง่าย
การโพลาไรซ์	เชิงเส้นและวงกลม	เชิงเส้น	เชิงเส้นและวงกลม	เชิงเส้น
การทำงานสองความถี่	เป็นไปได้	เป็นไปได้	เป็นไปได้	เป็นไปได้
รูปร่าง	มีหลายแบบ	สี่เหลี่ยม	มีหลายแบบ	มีหลายแบบ
Reditition ที่ไม่ต้องการ	เกิดขึ้น	เกิดขึ้น	ไม่เกิดขึ้น	เกิดขึ้น
BW	1-5 %	1-2 %	~10 %	~10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

ข้อดีของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยมีความถี่ใช้งานอยู่ที่ช่วง 100 MHz – 50 GHz

- น้ำหนักเบา , ขนาดเล็ก , โครงสร้างเป็นแบบราบ ซึ่งสามารถทำเป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย
- ราคาถูก , กระบวนการสร้างไม่ยุ่งยาก
- มีลักษณะบาง , ทำให้ติดตั้งเข้ากับยานพาหนะได้ง่าย
- ง่ายต่อการติดตั้งบนจรวดและดาวเทียม
- สายอากาศมีการแผ่กระจายตามแนวภาคตัดขวางน้อย

เขเพียงแค่เปลี่ยน



วยอุปกรณ์โซลิตส  
เวเลื่อนเฟสได้ง่าย  
กัน ในโครงสร้าง

อเปรียบเทียบกับ

สายอากาศชนิด

- ในทางปฏิบัติจำกัดอัตราขยายสูงสุดที่ประมาณ 20 dB
- ประสิทธิภาพของโอบหลักในการแผ่กระจายไม่ดี
- การแยกกันระหว่างจุดป้อนและองค์ประกอบการแผ่กระจายไม่ดี
- สามารถกระตุ้นทำให้เกิดคลื่นผิวได้
- ให้กำลังงานต่ำ

หมายเหตุ ปัจจุบันสายอากาศถูกพัฒนาเรื่อยๆจนจะแก้ไขข้อเสียได้หมดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

ในทางปฏิบัติ ได้มีการนำสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปไปออกแบบใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปมีมากกว่าข้อเสีย ในการนำสายอากาศไมโครสตริปไปประยุกต์ใช้งาน เช่น

- การสื่อสารทางดาวเทียม
- คอปเปอร์ และเรดาร์อื่นๆ
- การติดต่อทางวิทยุสื่อสาร
- การส่งงานและการควบคุม
- 
- 
- 
- 

### 3.2 คุณสมบัติ

ลักษณะ

วางอยู่บนวัสดุ  
นำมาสร้างส  
วัสดุฐานรอง'  
โครสตริปคือ  
ทำให้สายอา  
ตามขึ้นไปได้

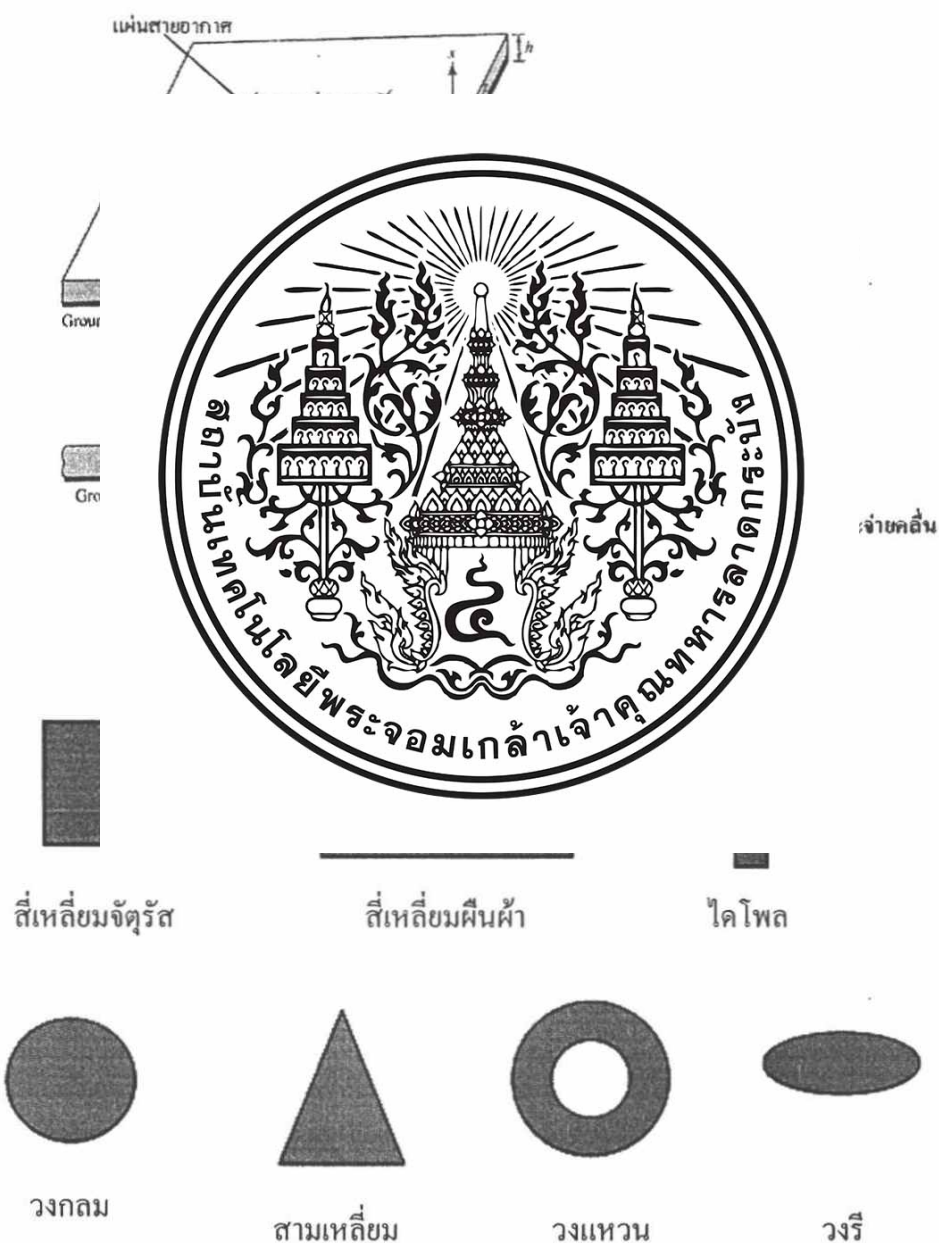


มันตัวนำที่บางมาก  
ฐานรองสำหรับ  
ยอมสัมพัทธ์ของ  
แบบสายอากาศไม  
พัทธ์ในช่วงต่างๆ  
าศจะมีขนาดใหญ่  
นใหญ่จะนำมาใช้

ร่วมกับวงจรทางไมโครเวฟ เนื่องจากต้องการให้ฟริงกิง (Fringing) ของสนามแคบเพื่อทำการคัปปลิง (Coupling) และการแผ่กระจายคลื่นน้อยที่สุดและยังทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงด้วยแต่จะทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น ซึ่งให้ประสิทธิภาพและแบนด์วิดท์ลดลง ดังนั้นสายอากาศไมโครสตริปและวงจรไมโครเวฟจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพบ่อยครั้งที่เรามักเรียกสายอากาศไมโครสตริปว่า “สายอากาศแผ่น (Patch Antenna) โดยส่วนที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นและส่วนที่ใช้ในการป้อนสัญญาณให้กันสายอากาศจะอยู่บนวัสดุฐานรองเดียวกันส่วนที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่นหรือแพทช์นี้อาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นแผ่นบางๆหรือโดโพล วงกลม วงรี สามเหลี่ยม หรือรูปร่างอื่นๆ อีกก็ได้ซึ่งในรูปที่ 3.2 ได้แสดงลักษณะของแผ่นไมโครสตริปรูปร่างต่างๆไว้แล้วลักษณะของแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าโดโพลและวงกลมเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์และการสร้าง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการแผ่กระจายคลื่นที่ดี แผ่นสายอากาศแบบโคโพลเป็นแบบที่มีโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarization) น้อยที่สุด เนื่องจากธรรมชาติแล้วจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างและใช้พื้นที่ในการสร้างน้อย และเหมาะสมกับการสร้างเป็นแถวลำดับ (Array) โดยทั้งสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว (Single Element) และแบบลำดับแถวนั้นสามารถทำให้มีลักษณะการโพลาไรซ์ได้ทั้งแบบเชิงเส้น (Linear) และแบบวงกลม (Circular)



รูปที่ 3.2 รูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ

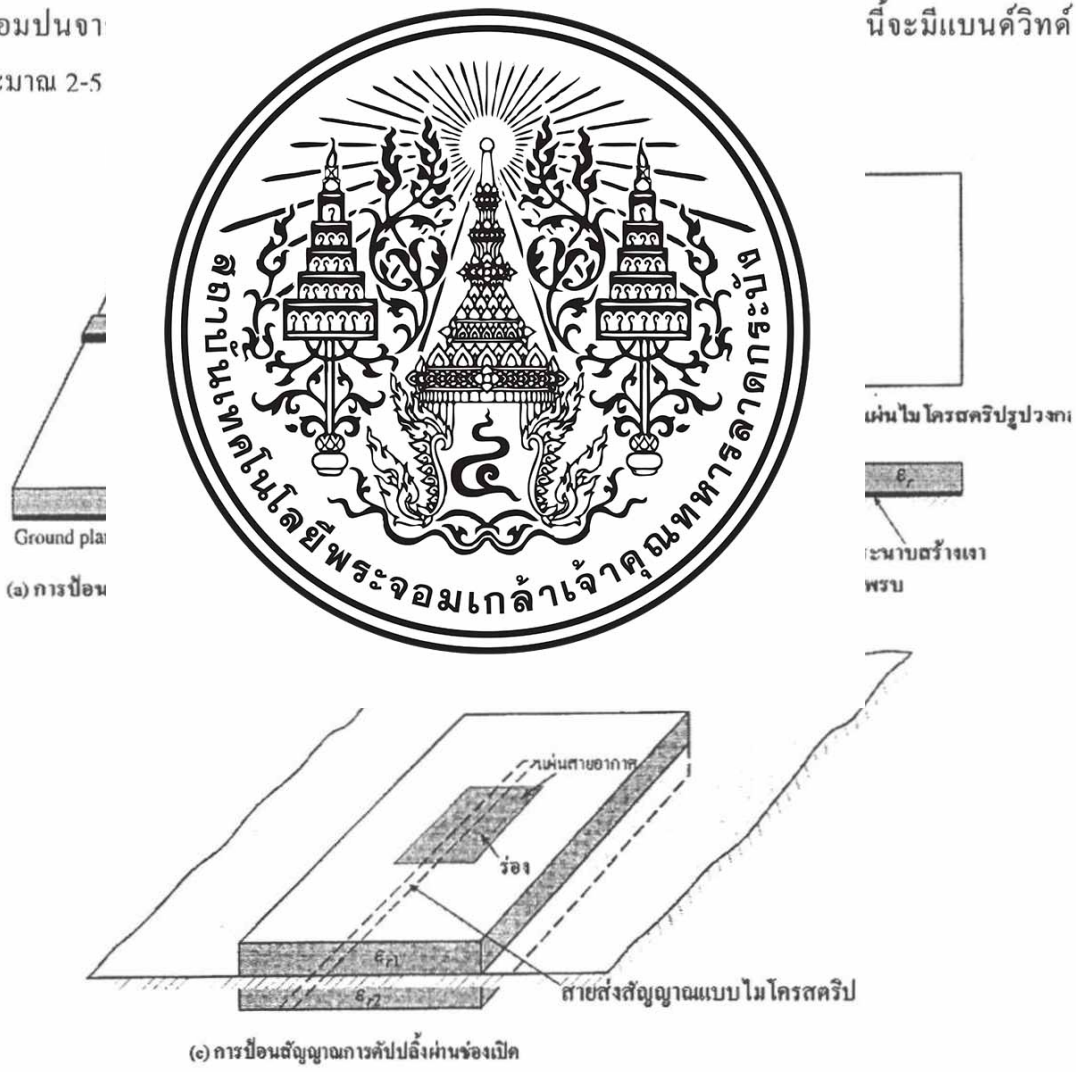
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมมากที่สุดนั้นจะเป็นมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีด้วยกัน คือ การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป สายโคแอกเซียลการคัปปลิ่งผ่านช่องเปิด (Aperture) และการคัปปลิ่งด้วยการวางไว้ใกล้กัน (Proximity) ดังแสดงในรูป 3.3 และวงจรสมมูลของการป้อนสัญญาณในแต่ละแบบที่แสดงในรูป 3.4 ลักษณะของสายป้อนไมโครสตริปจะเป็นแผ่นตัวนำ ซึ่งปกติแล้วจะมีความกว้างน้อยกว่าความกว้างของแพทช์มาก การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งแบบไมโครสตริปจะงานต่อการก่อสร้างและการแมตซ์อิมพีแดนซ์โคเนกชันการควบคุมตำแหน่งจุดป้อน อีกทั้งยังค่อนข้างง่ายต่อการวิเคราะห์ แต่ถ้าความหนาของ

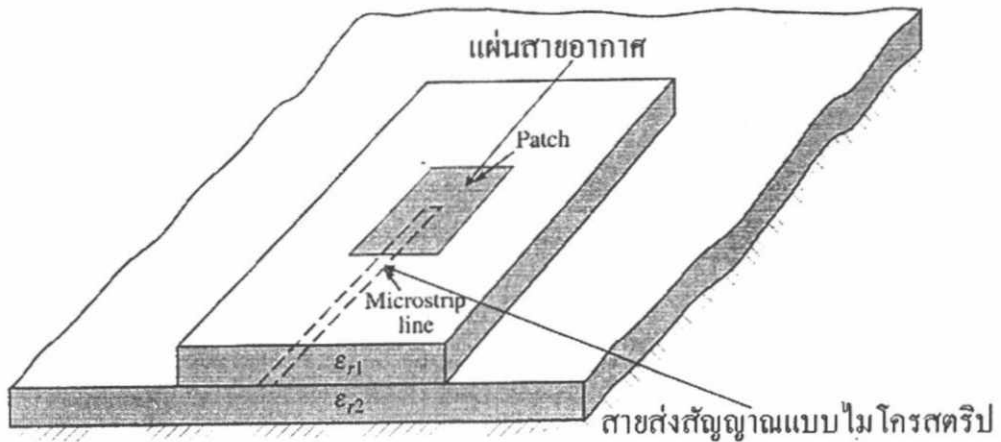
ปดอมปนจา  
ประมาณ 2-5

กิดการแผ่กระจาย  
นี้จะมีแบนด์วิธ



รูปที่ 3.3 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d)กา



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลของการป้อนสัญญาณตามรูปที่ 3.3

การป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียลตัวนำด้านในของสายโคแอกเซียลจะต่ออยู่กับแพทช์ที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่น ในขณะที่ตัวนำด้านนอกของสายต่ออยู่กับระนาบสร้างเงาการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปแบบนี้นิยมใช้กันมาก เนื่องจากง่ายต่อการสร้างและการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมตซ์ซิมพิแคนซ์ และมีการแผ่กระจายปลอมปนน้อย แต่วิธีนี้ยังทำให้แบนด์วิธที่แคบและยากต่อการสร้างแบบจำลอง

การป้อนสัญญาณทั้งแบบไมโครสตริปและแบบสายโคแอกเซียล โคนธรรมชาติแล้วจะไม่สมมาตรกัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโหมดในอันดับที่สูงกว่าขึ้น (Higher Order Mode) ทำให้การแผ่กระจายมีการโพราไรเซชันไขว้เกิดขึ้น เพื่อนจะแก้ปัญหาเหล่านี้จึงต้องอาศัยการป้อนสัญญาณด้วยการคัปปลิงผ่านช่องเปิด ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (c) และ 3.3 (d) การคัปปลิงผ่านช่องเปิดแสดงในรูปที่ 3.3 (c) เป็นการสร้างที่ยากที่สุดในทั้ง 4 แบบ และยังคงมีแบนด์วิธที่แคบ การคัปปลิงในลักษณะนี้จะช่วยลดการแผ่กระจายปลอมปนได้ ลักษณะโครงสร้างของการคัปปลิงผ่านช่องเปิดนั้นจะ

ประกอบด้ว  
แผ่นล่างสุดจะ  
บนระนาบสร้  
พยอมสัมพัท  
แบ่งวัสดุฐาน  
สัญญาณ ซึ่ง  
แล้วแล้วการ  
รสตริปและค  
ทฤษฎี Bethe  
อีกทั้งยังง่ายค  
ได้ยากอยู่



ของวัสดุฐานรอง  
านร่อง (Slot) ที่อยู่  
เป็นวัสดุที่มีสภา  
ระนาบสร้างเงาที่  
ออกจากส่วนป้อน  
ทริขึ้น โดยทั่วไป  
ัญญาณแบบไมโค  
าลองได้โดยอาศัย  
คัวิตที่กว้างที่สุด  
า แต่การสร้างก็ทำ

### 3.4 การแผ่

สนามการแผ่กระจายของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปจะเกิดจากสนามขอบระหว่างขอบของตัวนำสายอากาศแผ่นไมโครสตริปกับระนาบสร้างเงา กระบวนการของการแผ่การแผ่กระจายคลื่นจะเกิดจากสายส่งไมโครสตริปวงจรเปิด คีมีการทดสอบการแผ่กระจายคลื่นจากความไม่ต่อเนื่องของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป โดยมีการวิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานการไหลของกระแสในตัวนำ วิธีนี้ใช้คำนวณหาผลกระทบของการแผ่กระจายคลื่นที่มีต่อค่าตัวร่วม  $Q$  ของรีโซเนเตอร์ไมโครสตริป การวิเคราะห์เบื้องต้นสนามในแบบช่องว่าง โดยเปิดขอบของไมโครสตริปและระนาบสร้างเงา ดังนั้นการวิเคราะห์แบบนี้ผลของการแผ่กระจายทั้งหมดตัวประกอบคุณภาพจะกล่าวถึงในส่วนของขนาดรีโซเนเตอร์ (Resonator) ความถี่ในการใช้สัมพัทธ์กับสภาพยอมสัมพัทธ์และความหนาของวัสดุฐานรอง ผลทฤษฎีและการทดลอง แสดงให้เห็นว่าความถี่สูงการแผ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายคลื่นจะสูญเสียมากที่ตัวนำและไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าการแผ่กระจายของวงจรเปิดสายส่งแบบไมโครสตริปจะใช้กำลังมาก เมื่อทำการสร้างสายอากาศโดยที่วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกมีความหนาน้อย

### 3.5 ตัวแปรแสดงคุณภาพ ( quality factor) แบนด์วิธ และประสิทธิภาพ

ตัวแปรแสดงคุณภาพ แบนด์วิธ และประสิทธิภาพเป็นตัวเลขคุณค่า ( Figure of Merit) ของสายอากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และไม่สามารถแยกออกมาพิจารณาเฉพาะแต่อย่างใด เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ได้ นี่จึงเป็นเครื่องหมายที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพ

ด้อยลงตามไป  
แล้วการสูญเสีย  
ผิวดังนั้นตัวแ

นๆของสายอากาศ  
วงสายอากาศปกติ  
รสูญเสียเนื่องคลื่น  
าติจะอยู่ในรูป

(3.1)

โดยที่  $Q_0$   
 $Q_r$   
 $Q_c$   
 $Q_d$   
 $Q_{sw}$



นอากาศ)

สำหรับวัสดุฐานรองที่บางมาก ๆ ความสูญเสียเนื่องจากคลื่นผิวก็น่าจะมีค่าน้อยมาก ๆ จนสามารถละทิ้งๆได้ แต่สำหรับวัสดุฐานรองที่หนาขึ้นจะต้องนำมาพิจารณาด้วย ความสูญเสียเหล่านี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยอาศัยควาดี

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

$$Q_c = h\sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} \quad (3.3)$$

$$Q_r = \frac{2\omega\epsilon_r K}{hG_{\frac{1}{l}}} \quad (3.4)$$

โดยที่  $\tan \delta$  คือค่าแทนเจนต์ของความสูญเสียของวัสดุฐานรอง, คือสภาพความนำไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าระหว่างแพ็ทช์และระนาบสร้างเงา,  $G_{\frac{1}{l}}$  คือความนำรวมต่อหน่วยความยาวของช่องเปิดที่แผ่กระจายและ



สำหรับช่องแฉิ

(3.4a)

(3.5a)

(3.5b)

ค่า  $Q_r$  ตามร  
ที่บางมากๆ

ของสายอากาศด้วย ซึ่งถูกนิยามโดย

หรับวัสดุฐานรอง  
วนผกผันกับค่า  $Q_o$

$$\frac{\Delta f}{f_o} = \frac{1}{Q_o} \quad (3.6)$$

อย่างไรก็ตามสมการ 3.6 นี้อาจไม่ได้สามารถใช้ประโยชน์ได้เลยถ้าไม่พิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่จุดอินพุทของสายอากาศ คำจำกัดความของแบนด์วิธที่ให้ความหมายดีขึ้นควรจะครอบคลุมตลอดย่านความถี่ โดยที่ค่า VSWR ที่จุดต่ออินพุทจะมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่ามากที่สุด

ที่ต้องการ เมื่อสมมุติให้ VSWR มีค่าเป็น 1 ที่ความถี่ที่ต้องการ สมการที่แก้ไขมาจากสมการ 3.6 ซึ่งนำการเมทซ์อิมพีแดนซ์เข้ามาพิจารณาด้วยนั้นจะได้เป็น

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{VSWR - 1}{Q_0 \sqrt{VSWR}} \quad (3.6a)$$

โดยทั่วไปแล้วแบนด์วิธจะเป็นสัดส่วนกับปริมาตร ซึ่งสำหรับสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความถี่ โชนั้นที่คงที่ สามารถเขียนได้เป็น

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



(3.7)

รูปที่ 3.6 ประสิทธิภาพและแบนด์วิธต่อความสูงของวัสดุฐานรองที่ความถี่ โชนั้นของสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้วัสดุฐานรองที่แตกต่างกัน 2 ชนิด

ดังนั้นแบนด์วิธจะเป็นสัดส่วนผกผันกับรากที่สองของสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง การเปลี่ยนแปลงแบนด์วิธของสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความสูงของวัสดุฐานรองที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วสำหรับวัสดุฐานรอง 2 แบบ แสดงที่รูป 3.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบนด์วิธเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการแผ่กระจายของสายอากาศถูกนิยามให้เป็นสัดส่วนของกำลังงานที่แผ่กระจายออกไปต่อกำลังงานอินพุต ซึ่งสามารถแสดงในเทอมของตัวแปรแสดงคุณภาพสำหรับสายอากาศไมโครสตริปได้ด้วย

$$e_{cdsw} = \frac{1/Q_r}{1/Q_o} = \frac{Q_o}{Q_r} \quad (3.8)$$

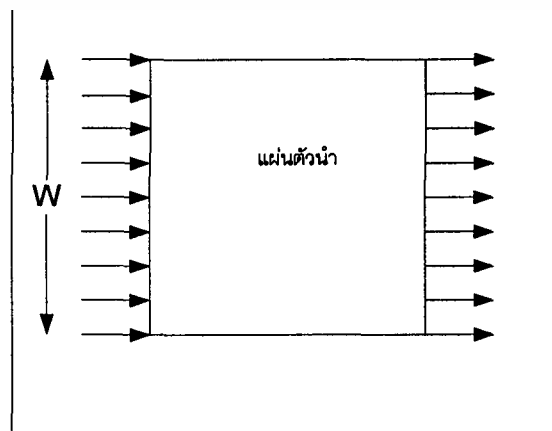
โดยที่  $Q_o$  กำหนดให้ตามสมการ 3.1 การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพซึ่งเป็นฟังก์ชันของความสูงของวัสดุสารเบรคสามอากาศในไมโครสตริปที่วัสดุสารเบรคที่ต่างกันสองชนิดแสดงในรูปที่ 3.5

### 3.6 แบบจำลอง

การพิจารณาวิธีที่นิยมได้แก่ Model) สำหรับไม่ต้องใช้สมการชืดหยุ่นนัก คือนั้น (อาจจะเร็วกว่า แต่จะต่อ 3.6.1



ทำได้หลายวิธี แต่ลองกาวิตี (Cavity) รตทำได้ง่ายเพราะแบบจำลองที่ไม่ป็นรูปสี่เหลี่ยมเท่าารถใช้ได้ชืดหยุ่น



รูปที่ 3.7 สายอากาศแบบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองสายส่ง กับสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมที่มีความยาว  $L$  กว้าง  $W$  และหนา  $h$  โดยจะแผ่กระจายคลื่นออกมาจากขอบข้างทั้งสองข้างของแผ่นตัวนำ ซึ่งเปรียบเสมือนว่าเป็นช่องว่างที่มีความยาวเท่ากับ  $W$  และกว้าง  $h$  ดังนั้นให้ช่องว่างทั้งสองมีค่าความต้านทานเท่ากับ  $G_r + jB$  เท่ากันทั้งสองช่อง ส่วนความต้านทานของแผ่นตัวนำจะมีค่า ความต้านทานคาแรกเตอร์ริสติก (characteristic Impedance) เป็น  $Z_0$  และค่าคงที่การกระจายคลื่น (propagation) เท่ากับ  $\beta_z$  ดังนั้นเพื่อจะหา อินพุทแอดมิตแทนซ์ได้ว่า

(3.9)

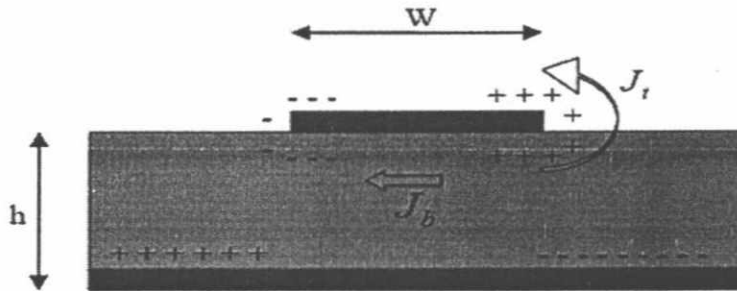
3.6.2 แ  
ในแ  
ไดอิเล็กตริก  
Resonance) แ  
จึงคิดว่าโพ  
สนามแม่เหล็ก  
อินพุทอิมพีแ  
สมมุติให้มีแ  
อินพุทอิมพีแ  
ลักษณะคล้าย



มีอนโพรงที่มีสาร  
โนได้ (high Order  
ในสารไดอิเล็กตริก  
ล่าง) และกำแพง  
องนี้จะทำให้ไม่มี  
อย่างไรก็ตามการ  
แผ่กระจายคลื่น,  
แบบจำลองชนิดนี้มี  
การคำนวณทอเวฟ

ไกด์ (Waveguide) และการแผ่กระจายคลื่นผ่านกำแพงสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นได้ดังนี้

เมื่อป้อนพลังงานเข้าไปยังแผ่นตัวนำไมโครสตริป จะเกิดการกระจายของประจุบนผิวทั้งด้านบน และด้านล่างของแผ่นตัวนำรวมไปจนถึงเกิดการกระจายของประจุบนกราวด์เพลนด้วยดังรูปนี้ 3.7



ซึ่งการ  
 1. จ  
 ประจุนกร  
 2. ใ  
 จากแรงผลั  
 ของตัวนำกร  
 bottom และ t  
 สำหรับ  
 ประจุส่วนใ  
 จะมีกระแส  
 กระแสที่ว่านี้



ล่างแผ่นตัวนำกับ  
 ว่างแผ่นตัวนำซึ่ง  
 พื้นผิวด้านด้านบน  
 $J_t$  (b ย่อมาจาก  
 ักชนิดหลัง ทำให้  
 อยู่ที่ได้แผ่นตัวนำ  
 และปริมาณของ  
 กระแสที่ไหลอยู่

ด้านบนของแผ่นตัวนำจะมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลให้สนามแม่เหล็ก (ที่เกิดจากกระแสอันนี้) ที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ด้วย จึงสามารถสมมุติได้ว่ามีพื้นผิวที่เป็นตัวนำแม่เหล็กในอุดมคติปิดอยู่ที่บริเวณขอบทั้งสองของแผ่นตัวนำ (ทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์) แต่ทางปฏิบัติแล้วที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำจะมีสนามแม่เหล็กเหลืออยู่เล็กน้อยเสมอ ดังนั้น ข้อสมมุตินี้อาจไม่ถูกต้องมากนัก แต่การสมมุติอย่างนี้จะทำให้ง่ายต่อการหาโหมคของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (โหมค) ที่อยู่ใต้แผ่นตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการให้สายอากาศไมโครสตริปมีขนาดบางมาก (น้อยกว่าความยาวคลื่นมากๆ)

1. พลังงานที่อยู่ใต้แผ่นตัวนำและอยู่ใต้สารไดอิเล็กตริกจะเกิดการสะท้อนกลับขึ้นที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำ และมีแค่ส่วนน้อยเท่านั้นที่หลุดออกไปเป็นพลังงานแผ่กระจายคลื่น ดังนั้น สายอากาศแบบไมโครสตริปจึงมีประสิทธิภาพที่ไม่สูงนัก
2. พลังงานที่อยู่ใต้แผ่นตัวนำจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง ซึ่งในรูปของฟังก์ชันไซน์
3. การเปลี่ยนแปลงของสนามความสูงของสารไดอิเล็กตริกจะเป็นค่าคงที่
4. ปรากฏการณ์ฟรินกิงที่บริเวณขอบของแผ่นตัวนำจะมีค่าน้อยมาก

### 3.7 ปรากฏการณ์ฟรินกิง (Fringing Effect)

เนื่องจากมิติของแ  
เกิดฟรินกิง ผลรวม  
ตัวกลางสำหรับระ  
อัตราส่วนระหว่าง  
วิตซ์ของสารตั้งกลา  
แสดงดังรูป 3.8 (

(Nonhomogeneous ส่วนใหญ่อยู่ในสา  
เพอร์มิททิวิตีมาก  
ทำให้ สายส่งไมโคร  
ในอากาศจึงมีการ  
ของคลื่นในการ  
เท่าเดิมฝังลงในสารตัวกลาง ดังรูป 3.8 (c) ค่า  $\epsilon_{re}$  จะถูกนิยามว่าเป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ  
ไดอิเล็กตริกที่สมมาตรอดังนั้น สายส่งไมโครสตริปในรูป 3.8 (c) จะมีลักษณะทางไฟฟ้าแบบเดียว  
และค่าคงที่การแผ่กระจายคลื่น โดยเฉพาะเหมือนกับสายส่งไมโครสตริปของจริงในรูป 3.8 (a)  
สำหรับสายส่งไมโครสตริปที่มีอากาศอยู่เหนือสารตั้งกลาง  $\epsilon_{re}$  จะมีค่าระหว่าง 1 ถึงเพอร์มิททิวิตี  
สำหรับการใช้งานทั่วไปค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารตัวกลางมีค่ามากกว่า 1 มากๆ ค่า  $\epsilon_{re}$  จะใกล้  
กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก  $\epsilon_{re}$  จริง ๆ ของสารตัวกลางนั้น ๆ  $\epsilon_{re}$  เป็นฟังก์ชันของความถี่ ถ้าความถี่  
เพิ่มขึ้น สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่อย่างหนาแน่นในสารตัวกลาง เพราะฉะนั้น สายส่งไมโครส  
ตริปจะทำตัวเหมือนสารเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มีไดอิเล็กตริกตัวเดียว (ไดอิเล็กตริกในที่นี้  
หมายถึงสารตัวกลาง) และ  $\epsilon_{re}$  จะมีค่าเข้าใกล้เพอร์มิททิวิตีของสารตัวกลางสำหรับความถี่ต่ำนั้น

แผ่นตัวนำจะ  
หนาของสาร  
ฟังก์ชันของ  
ค่าเพอร์มิททิ  
|าแบบทั่วไป  
ม่เหมือนกัน  
สนามไฟฟ้า  
1 มากๆ และ  
ถี่ ฟรินกิงจะ  
่วนเคลื่อนที่  
ระแผ่กระจาย  
ละความหนา



$\epsilon_{re}$  จำเป็นที่จะต้องมียกค่าคงที่ ที่ความถี่กลางค่าของมัน  $\epsilon_{re}$  จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอและจะเพิ่มขึ้นถึงค่า เพอร์มิทิวิตีของสารตั้งกลางในท้ายที่สุด ค่าเริ่มต้น (ที่ความถี่ต่ำ) ของ  $\epsilon_{re}$  จะถูกเรียกว่า Static Value แสดงได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } \frac{W}{h} > 1$$



### 3.8 อินพุทอิมพีแดนซ์

อินพุทอิมพีแดนซ์ อาจเป็นอัตราส่วน สนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขั้วนี้



เอาภาคนั้นๆ  
ตราส่วนของ  
เราส่วนของ

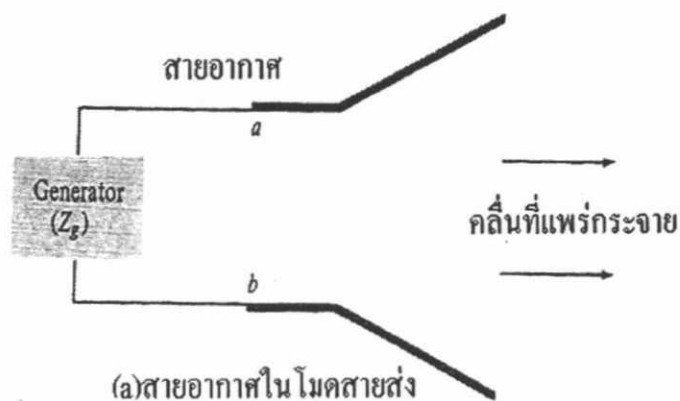
$$Z_A = R_A + jX_A \quad (3.28)$$

เมื่อ  $Z_A$  = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ ( $\Omega$ )

$R_A$  = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ ( $\Omega$ )

$X_A$  = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ ( $\Omega$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(3.29)

เมื่อ  $R_L$  คือ ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นในสายอากาศ  
 $R_g$  คือ ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ  
 ถ้าสมมุติว่าสายอากาศถูกต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

$$Z_g = R_g + jX_g \tag{3.30}$$

เมื่อ  $R_g$  คือ ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ( $\Omega$ )  
 $X_g$  คือ รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ( $\Omega$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจำนวนกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายทั้งหมด ครึ่งหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนภายในความต้านทานภายใน  $R_i$  ของเครื่องกำเนิดสัญญาณและอีกครึ่งหนึ่งจะถูกนำมาข้างสายอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นเพื่อมีคอนจูเกตแมทช์เท่านั้น ในส่งของกำลังงานมายังสายอากาศส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไป โดยผ่านกลไกที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศทั้งหมด ถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ( $e_{\text{loss}} = 1$ ) ครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจะแพร่กระจายออกเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์ ในตอนนี้สมมุติว่าเป็นการแมทช์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศกับสายส่ง ( $e_r = 1$ ) ถ้ามีการสูญเสียเนื่องจากไม่แมทช์แล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง



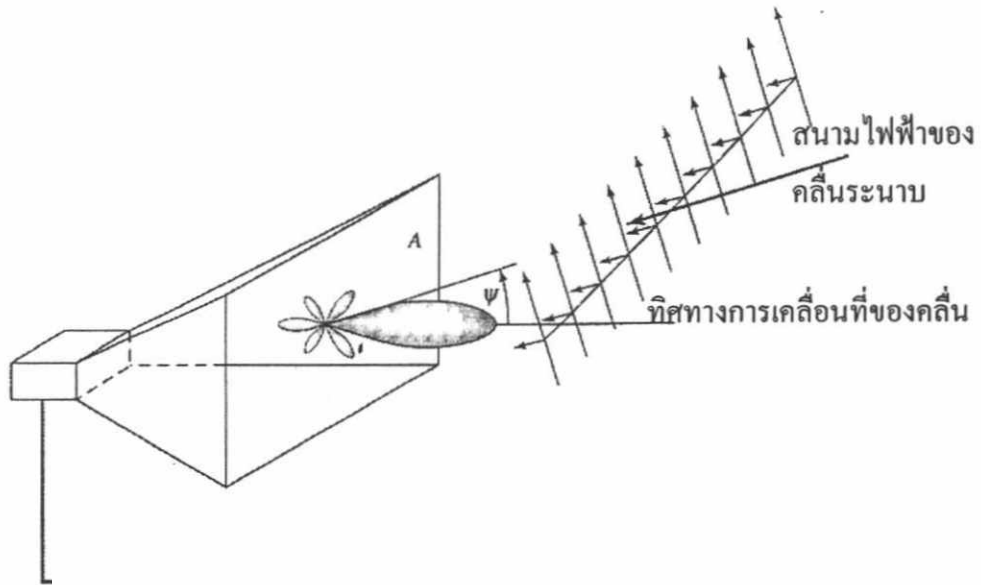
ภาพ

การเคลื่อนที่ของคลื่น

(a) เติเพตเน เมตการรบ

รูปที่ 3.11 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปกติ ในช่วงความถี่ อีก ได้แก่ รูป ส่วนใหญ่จะ

มทซ์จะสายส่ง รับแพคเตอร์ต่างๆ ได้ยากก็จะพบว่า

3.9 แบนด์วิธ แบน ในมาตรฐาน

าศมีคุณสมบัติอยู่ ่างๆ ได้แก่ อินพุท

อิมพีแดนซ์, แพทเทอร์น, บีบีวิทซ์, โพลาริเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, เกน, ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำยกตัวอย่างเช่น 10 : 1 แสดงว่าความถี่ใช้งานด้านสูงมีค่ามากกว่าความถี่ใช้งานด้านต่ำอยู่ 10 เท่า สำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนด์วิทซ์จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่(ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิทซ์นั้น เช่น แบนด์วิทซ์ 5 % แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศเป็น 5 % ของความถี่กลางของแบนด์วิทซ์นั้น

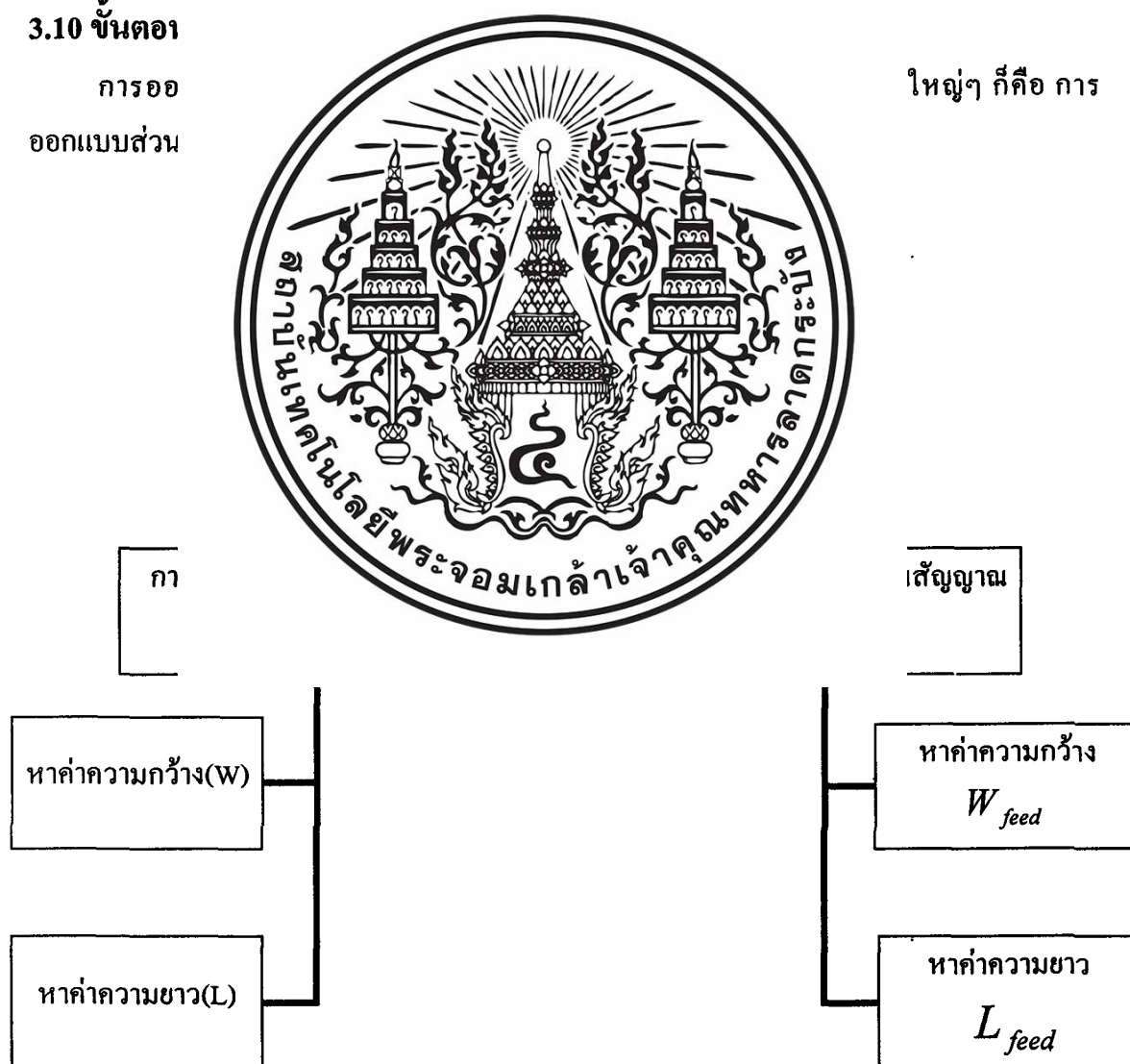
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ ( ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์ , แพทเทอรัน, เกน, โพลาริเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้น จึงไม่กำหนดแบนด์วิทซ์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไปตามปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทอรันกับอิมพีแดนซ์ แบนด์วิทซ์จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิทซ์ของสายอากาศ นอกจากนี้ แบนด์วิทซ์ของเกน , ระดับไซด์โลบ , บีมวิทซ์ , โพลาริเซชันจะมีแบนด์วิทซ์ค่าเดียวกับแพทเทอรันแบนด์วิทซ์ ในขณะที่แบนด์วิทซ์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น จะเป็นค่าเดียวกันกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิทซ์

### 3.10 ขั้นตอน

การออก  
ออกแบบส่วน

ใหญ่ๆ ก็คือ การ



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10.1 การออกแบบส่วนที่ใช้ส่งคลื่นหรือแผ่นตัวนำ (Patch)

สำหรับขั้นตอนการคำนวณหาความกว้าง ( $w$ ) และความยาว ( $L$ ) ของแผ่นตัวนำด้านบน สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมได้ดังนี้รูปที่ 3. 17

#### 3.10.1.1 ความกว้างของแผ่นตัวนำ

ขั้นตอนแรกของการออกแบบคือ การเลือกสารตัวกลางที่มีไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและมี ความหนาพอเหมาะหลังจากนั้นจึงนำค่าคงที่ต่างๆนำมาคำนวณหาความกว้าง โดยใช้สมการ

$$w = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left( \frac{2}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.31)$$

เมื่อ

$$W = c \cdot$$

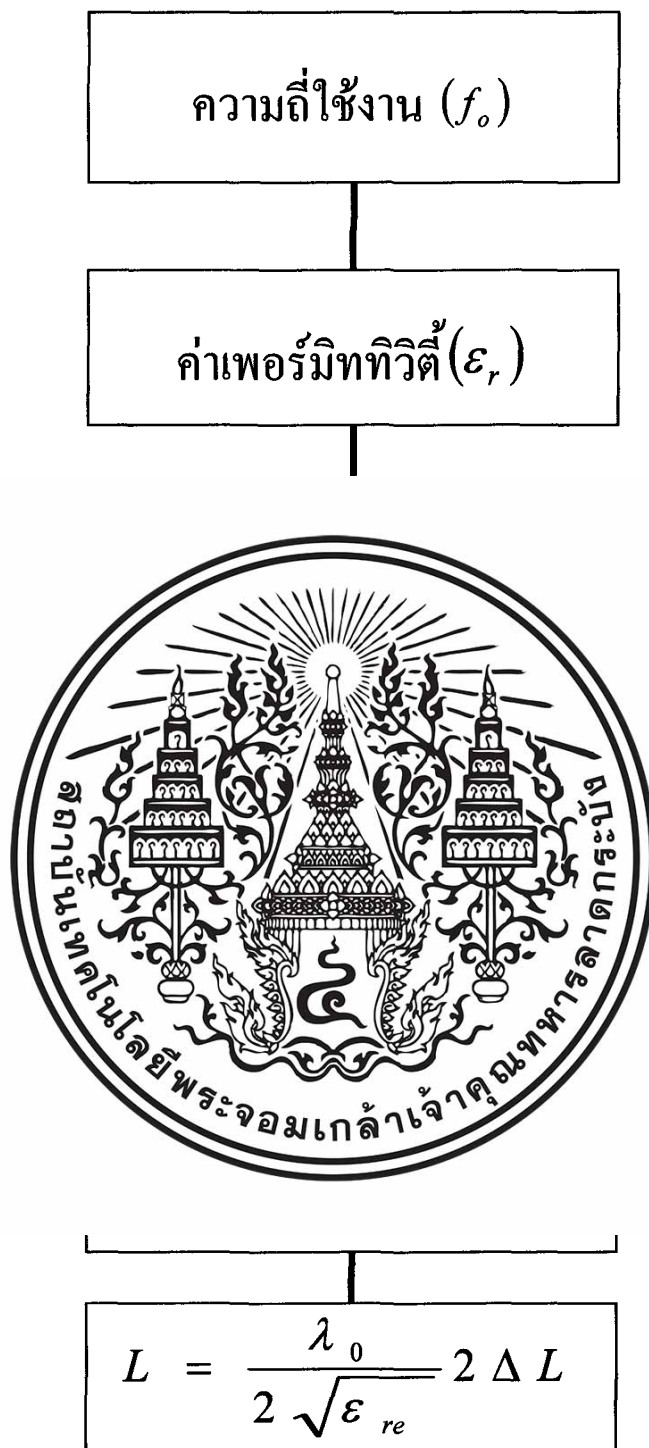
$$\lambda_0 = c$$

$$\epsilon_r = \epsilon$$

เราอาจ  
คลื่นมีประสิ  
ความถี่สูงค่า



ให้การแพร่กระจาย  
:ทำให้สัญญาณที่



รูปที่ 3.14 บล็อกขั้นตอนการคำนวณความกว้างและความยาวของแผ่นตัวนำ

สำหรับในที่นี้ใช้สาร อีพ็อกซี (Epoxy) ชนิด FR-4 เป็นสารตัวกลางที่มีค่า  $\epsilon_r = 4.7$  (ดูได้จากตารางภาคผนวก) และออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_o = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ เมตร สำหรับความถี่ } 2.45 \text{ GHz}$$

$$\lambda_o = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} = 0.052 \text{ เมตร สำหรับความถี่ } 5.8 \text{ GHz}$$

และคำนวณความกว้าง W ได้เท่ากับ 0.0364 เมตร ที่ความถี่ 2.45 GHz

ความกว้าง W ได้เท่ากับ 0.0153 เมตร ที่ความถี่ 5.8 GHz

### 3.10.1.2 ความยาวของแผ่นตัวนำ

เมื่อเรารู้ความกว้างของแผ่นตัวนำแล้วสามารถหาค่า  $\epsilon_{re}$  และค่าความยาวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ฟริงกิงได้ จากนั้นความยาวของแผ่นตัวนำที่ความถี่ใช้งานจะหาได้จาก

(3.32)

โดยที่  $\epsilon_{re}$  แล



(3.33)

(3.34)

นำค่าต่างๆมา

$$\epsilon_{re} =$$

$$\epsilon_{re} = 4.10 \quad \text{ที่ความถี่ } 5.8 \text{ GHz}$$

$$\Delta L = 728.3 \text{ เมตร} \quad \text{ที่ความถี่ } 2.45 \text{ GHz}$$

$$\Delta L = 672 \text{ เมตร} \quad \text{ที่ความถี่ } 5.8 \text{ GHz}$$

และนำมาหาค่า L ทั้งสองความถี่ได้

$$L = 0.028 \text{ เมตร} \quad \text{ที่ความถี่ } 2.45 \text{ GHz}$$

$$L = 11.35 \text{ เมตร} \quad \text{ที่ความถี่ } 5.8 \text{ GHz}$$

### 3.10.2 การคำนวณหาขนาดของตัวป้อนสัญญาณ

เนื่องจากการออกแบบสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปในที่นี้เพื่อให้อินพุทอิมพีแดนซ์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศกับอินพุทอิมพีแดนซ์ของเครื่องส่งมีความสมมาตรกัน (Match) จึงออกแบบส่วนที่ป้อนเป็นแบบสองตอน

### สายส่งไมโครสตริปแบบสองตอน

โดยตอนแรกมีความยาวประมาณ  $\frac{\lambda_g}{4}$  และตอนที่สองมีความยาวประมาณ  $\frac{\lambda_g}{2}$  (เมื่อ  $\lambda_g$  คือความยาวของคลื่นที่อยู่ในสารตัวกลาง ดังรูปที่ 3.19 เนื่องจากการทำให้เป็นการปรับค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ให้ค่าเท่ากับ  $50 \Omega$ )



อินพุทอิมพีแดนซ์ ( $Z_{in}$ )

รูปที่ 3.15 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งไมโครสตริปสองตอน

จากรูปที่ จะกำหนดให้  $L_1$  ยาวเท่ากับ  $\frac{\lambda_g}{4}$  และ  $L_0$  ยาวเท่ากับ  $\frac{\lambda_g}{2}$  และจากสมการของสายส่งสัญญาณจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_m = Z_o \frac{Z_r + jZ_o \tan(\beta_g L)}{Z_o + jZ_r \tan(\beta_g L)} \quad (3.35)$$

เนื่องจาก  $L_1$  ยาวเท่ากับ  $\frac{\lambda_g}{4}$  และ  $\beta_g$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{2\pi}{\lambda_g}$  ดังนั้น

$$Z_{m0} = Z_{o1} \frac{Z_{m1} + jZ_{o1} \tan(\pi/2)}{Z_{o1} + jZ_{m1} \tan(\pi/2)} \quad (3.36)$$

และ  $\tan(\pi/2) = \infty$

(3.37)

ส่วนที่  $L_0$  มีค



(3.38)

และ  $\tan(\pi) :$

(3.39)

ดังนั้น

๒ ด้วยและเป็นผล

ให้ค่า  $Z_{o1}$  มีค

$$Z_{o1} = \sqrt{Z_{m0} \times Z_{m1}} \quad (3.40)$$

เมื่อค่า  $Z_{o1}$  คือค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของแผ่นตัวนำและ  $Z_{m0}$  เท่ากับ 50  $\Omega$  จะได้ว่าที่ความถี่ 2.45 GHz มีอินพุทอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $\Omega$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} Z_{o1} &= \sqrt{50 \times 266} \\ &= 129.40953049 \Omega \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่า  $Z_{o1}$  คือค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของแผ่นตัวนำและ  $Z_{m0}$  เท่ากับ  $50 \Omega$  จะได้ว่าที่ความถี่ 5.8 GHz มีอินพุทอิมพีแดนซ์ของแผ่นตัวนำที่ได้จากโปรแกรมคำนวณเท่ากับ  $265.5 \Omega$  (ดูได้จากภาคผนวก) ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} Z_{o1} &= \sqrt{50 \times 265.5} \\ &= 115.21 \Omega \end{aligned}$$

และเพื่อให้ค่า VSWR ที่ติจะต้องทำให้  $Z_{o0}$  มีค่าเท่ากับ  $50 \Omega$  ด้วย ดังนั้นจึงเหลือสิ่งที่ต้องการคือค่า  $W_1$  และ  $W_0$  โดยหากจากค่า  $Z_{o0}$  และ  $Z_{o1}$  สามารถหาได้ดังนี้

$$A = \quad (3.41)$$

$$B = \quad (3.42)$$

เมื่อ A มีค่ามา



$$(3.43)$$

เมื่อ A มีค่านี

$$W = \frac{\ln n}{\pi} (B - 1 - \ln(2B - 1)) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.01}{\epsilon_r}) \quad (3.44)$$

ที่ความถี่ 2.45 GHz นำค่า  $\epsilon_r, h, Z_{o1}, Z_{o0}$  มาแทนจะได้ค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$W_0 = 0.0010 \quad \text{เมตร}$$

$$W_1 = 0.0028 \quad \text{เมตร}$$

ที่ความถี่ 5.8 GHz นำค่า  $\epsilon_r, h, Z_{o1}, Z_{o0}$  มาแทนจะได้ค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$W_0 = 0.00273 \quad \text{เมตร}$$

$$W_1 = 0.00040 \quad \text{เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากคลื่นที่เดินทางเข้ามายังไมโครสตริปจะมีความยาวคลื่นเท่ากับ

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (3.45)$$

เมื่อ  $\lambda_0$  = ความยาวคลื่นในอากาศ

$$\epsilon_{re} = 4.7$$

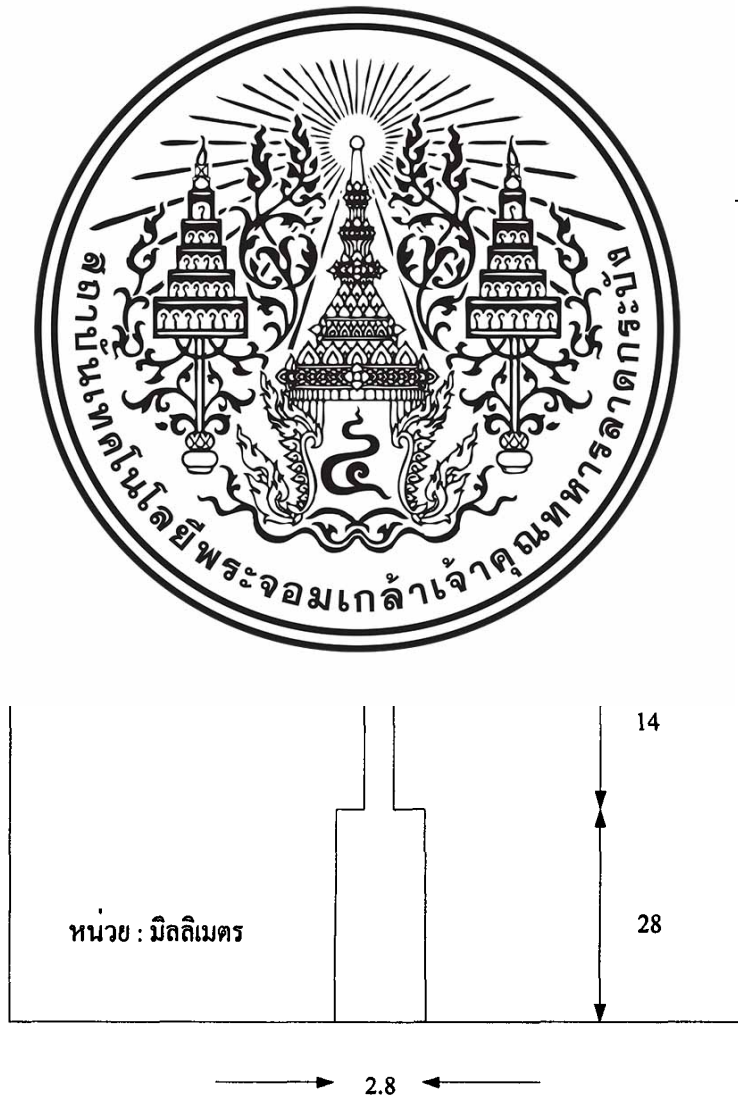
ที่ความถี่ 2.45 GHz

ดังนั้นที่ความถี่ 2.45 GHz จะได้ว่า

$$\lambda_g$$

$$L_0$$

$$L_1$$



รูปที่ 3.16 ขนาดของไมโครสตริปโดยใช้สายส่งสองตอนที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\lambda_0$  = ความยาวคลื่นในอากาศ

$$\epsilon_{re} = 4.10 \quad \text{ที่ความถี่ 5.8 GHz}$$

ดังนั้นที่ความถี่ 5.8 GHz จะได้ว่า

$$\lambda_g = 0.02552 \quad \text{เมตร}$$

$$L_0 = \frac{\lambda_g}{2} = 0.01276 \quad \text{เมตร}$$

$$L_1 = \frac{\lambda_g}{4} = 0.0063 \quad \text{เมตร}$$



รูปที่ 3.17 ขนาดของไมโครสตริปโคไซน์สายส่งสองตอนที่ความถี่ 5.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานจริงที่นำไปกักบนแผ่นอีพ็อกซีชนิด(FR-4) ที่เสร็จสมบูรณ์เรียบร้อย ดังรูปที่ 317. และรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.19 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 5.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองของสายอากาศ

เนื่องจากสายอากาศที่สร้างขึ้นมีการออกแบบด้วยการซิมูเลชันและการคำนวณตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 ดังนั้น ผลการทดลองสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 4.1



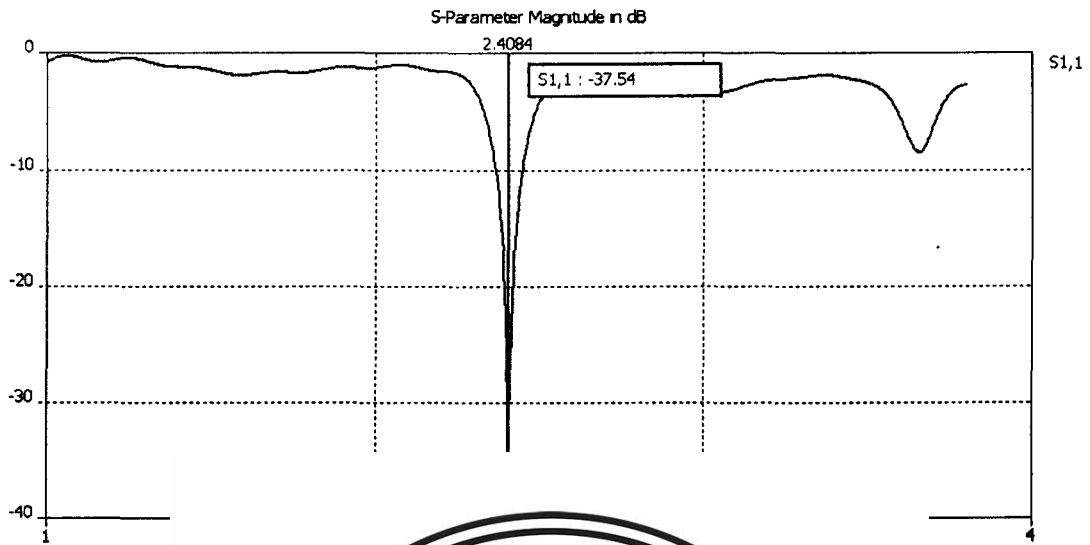
รูปที่ 4.1 การทดลองสายอากาศ

#### 4.1 โปรแกรมซิมูเลชัน

โปรแกรมที่ใช้คือ CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio ซึ่งเป็นโปรแกรมความถี่สูงสำหรับออกแบบสายอากาศได้อย่างง่ายดาย โดยขั้นตอนการซิมูเลชันจะกล่าวอยู่ในภาคผนวก และผลจากการใช้โปรแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

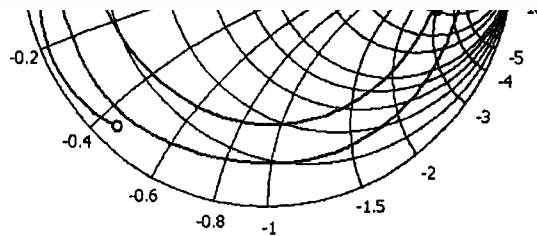
4.1.1 แสดงผลของพารามิเตอร์ของสายอากาศจากการซิมูเลชัน



- 1.000 ( 2.065, -18.2
- 3.797 ( 125.7, -125.4

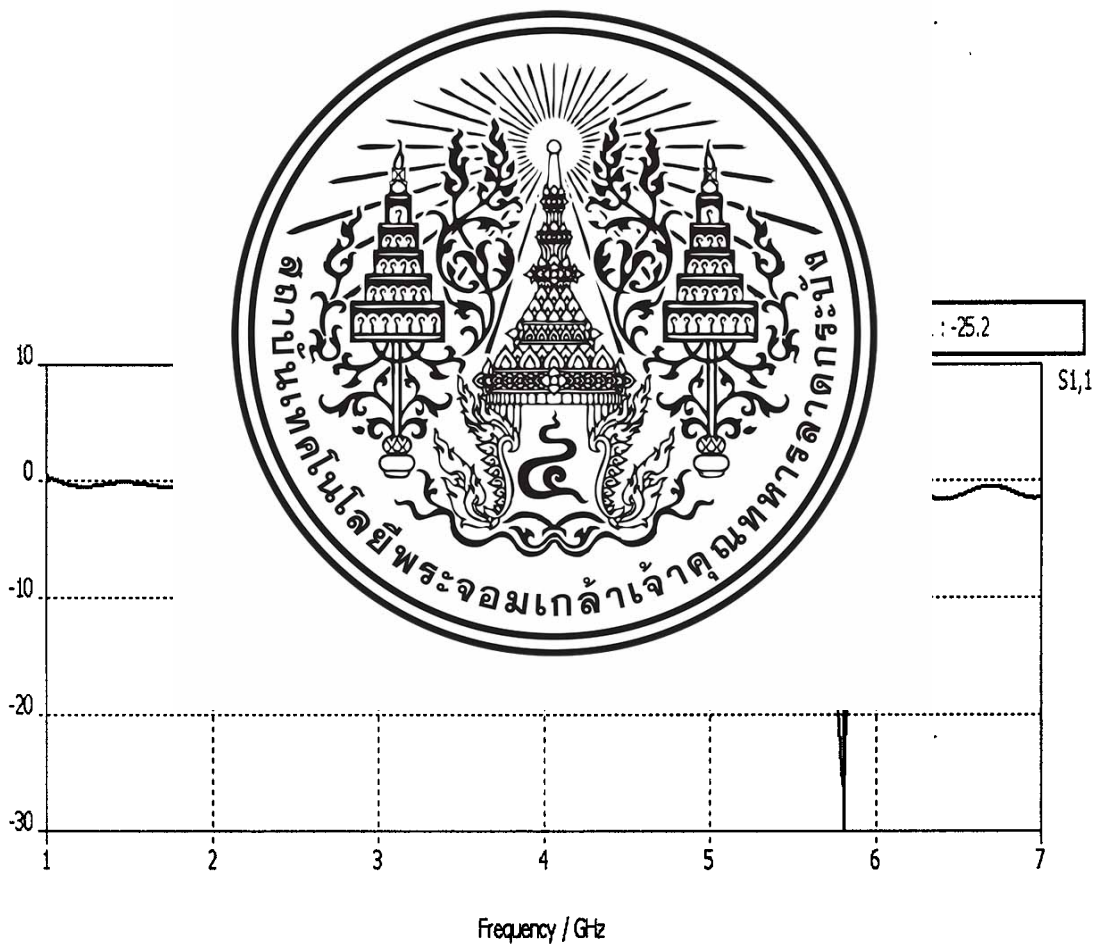
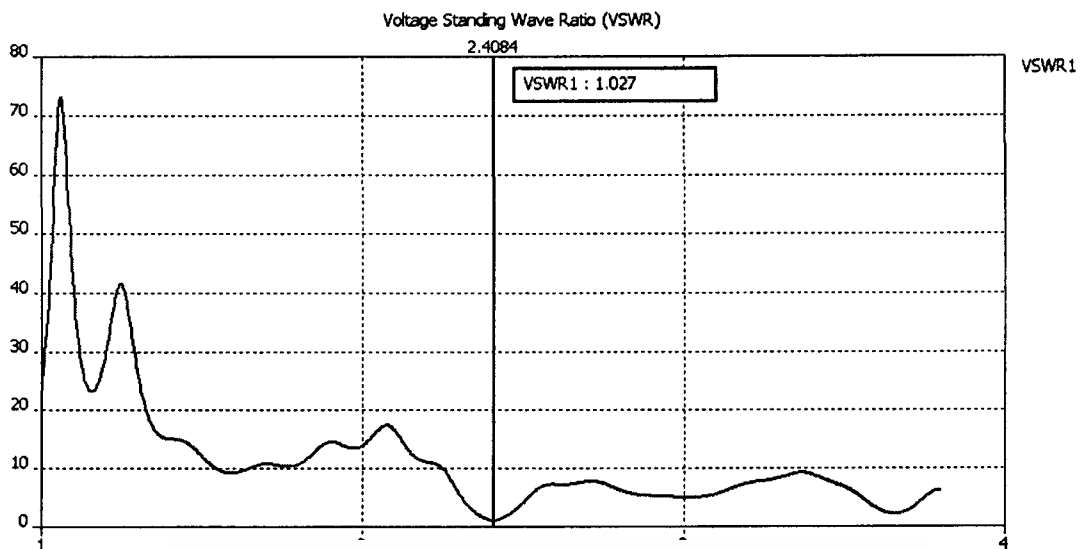


S1,1 (40.81 Ohm)



รูปที่ 4.3 อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

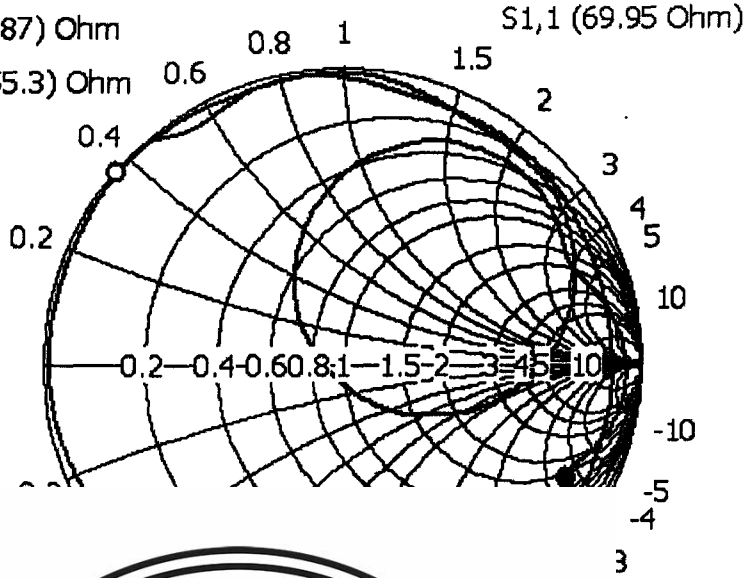


รูปที่ 4.5  $S_{11}$  ค่า Return Loss ของสายอากาศ 5.8 GHz

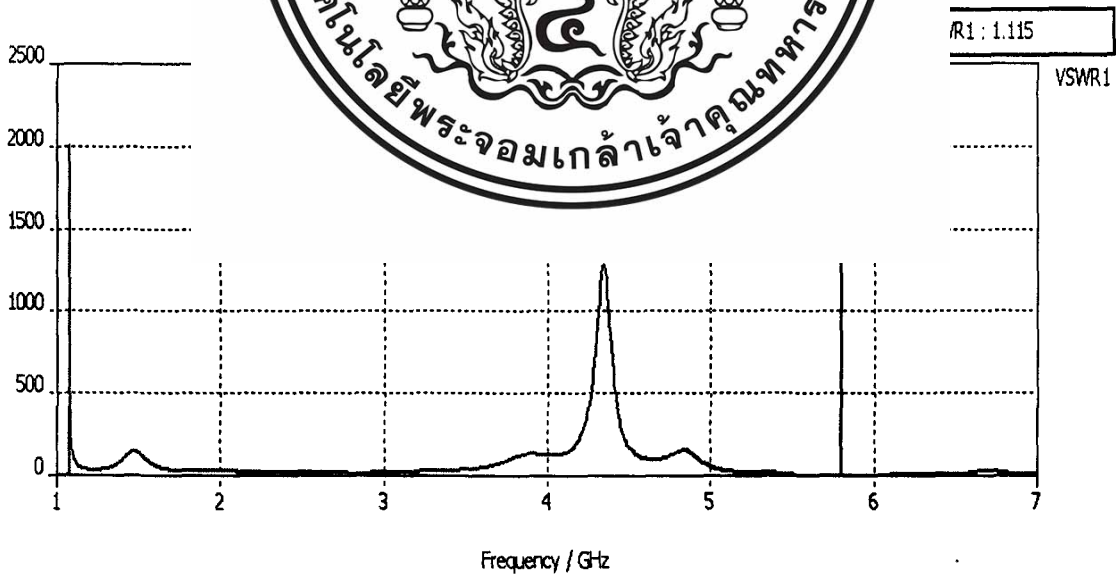
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S-Parameter Smith Chart

- 1.000 ( -1.9, 25.87) Ohm
- 7.000 ( 93.32, -255.3) Ohm



Parameter =



รูปที่ 4.7 แสดงค่า VSWR ของสายอากาศ 2.45GHz

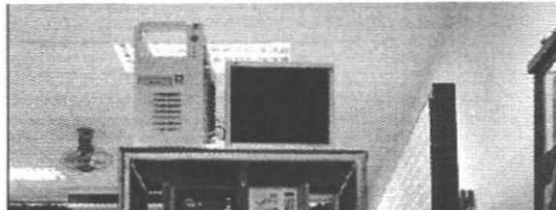
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวัดของสายอากาศที่สร้างขึ้น

### 4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดผลของสายอากาศ

- เครื่อง VNA (Vector Network Analyzer)

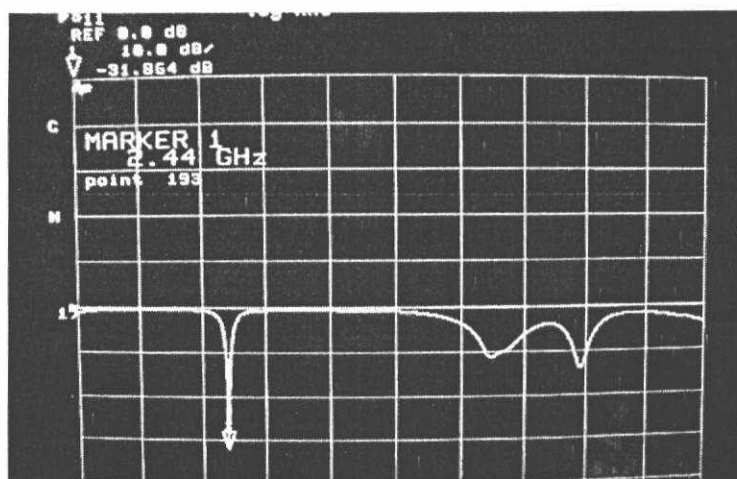
- สายต่อวงจร



รูป

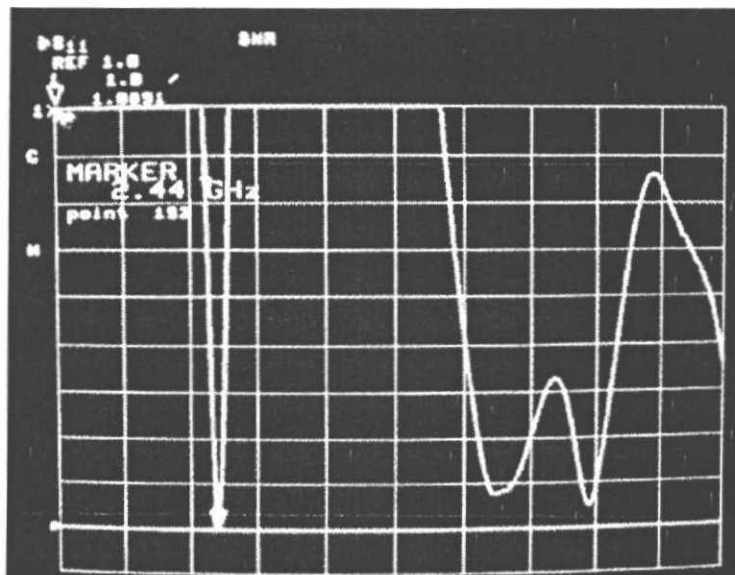
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 แสดงผลของค่าพารามิเตอร์ต่างได้ดังนี้



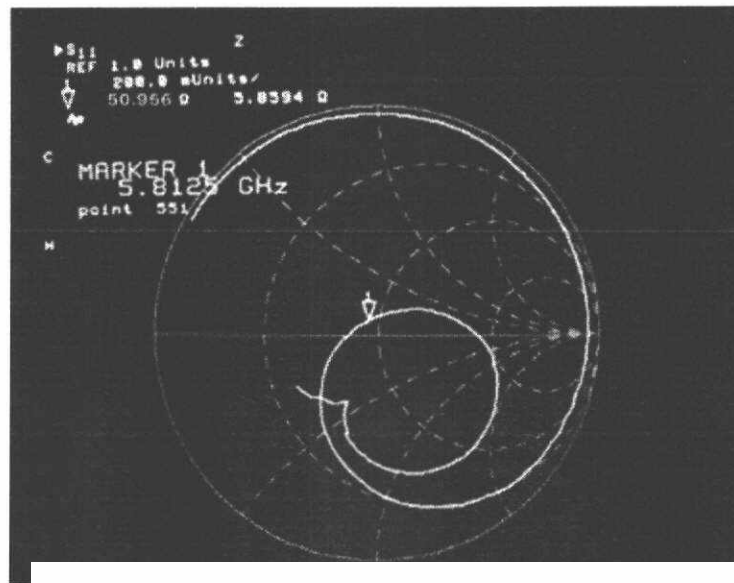
รูปที่ 4.10 อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 2.45GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12  $S_{11}$  ค่า Return Loss ของสายอากาศ 5.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่า SWR ของสายอากาศ 5.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสายอากาศแบบปากแตรติดตั้งที่เสาสำหรับส่งสัญญาณ
2. นำสายอากาศไมโครสตริปที่ต้องการจะวัดไปติดตั้งที่เสาสำหรับรับสัญญาณซึ่งมีเครื่องหมุนติดอยู่ด้วย
3. ต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับสายอากาศปากแตรโดยผ่านสายนำสัญญาณ
4. ต่อเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเข้ากับสายอากาศไมโครสตริป โดยผ่านสายนำสัญญาณ โดยเริ่มที่การวัดระนาบไฟฟ้า

5. กำหนดให้

6. เปิดเครื่อง

7. สังเกตดูผล

8. เปลี่ยนองศา

9. เปลี่ยนระนาบ



180 องศา



รูปที่ 4.15 การทดลองวัดรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น

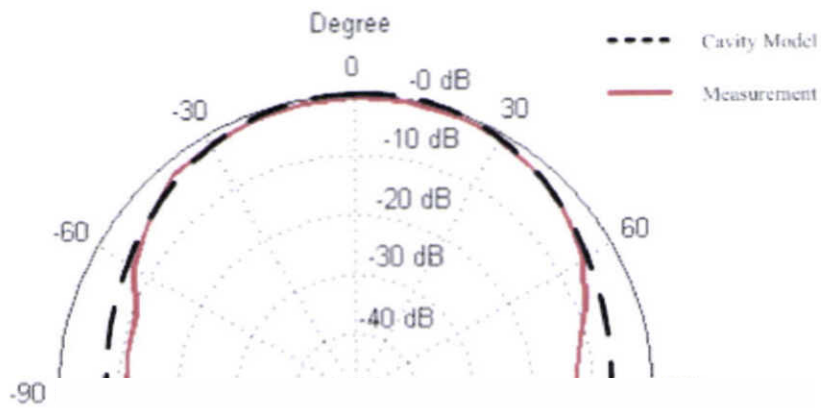
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบรูปสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ซึ่งสังเกตได้ว่าลักษณะของรูปแบบที่วัดได้จะมีความสอดคล้องกับแบบรูปในทางทฤษฎีเป็นอย่างมาก ดังนั้นสายอากาศแบบแผ่นไมโครสตริปที่สร้างขึ้นจึงมีคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของสายอากาศที่ถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีทุกประการ



รูปที่ 4.17 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ H-Plane 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1



-90

รูปที่ 4.19 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ H-Plane 5.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

เนื่องจากอุปกรณ์ RFID ที่ย่านไมโครเวฟจะใช้ความถี่ 2.45 / 5.8 GHz ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริปนี้ เพื่อศึกษาเรียนรู้ถึงลักษณะคุณสมบัติของสายอากาศและการตอบสนองความถี่ ค่า SWR และค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ และนำผลที่ได้จากการทดลองมาสรุปเป็นตารางไว้ดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองของสายอากาศ 2.45 GHz

ลักษณะแม่เหล็กไฟฟ้า	ส่วนหัวขั้ววัด
สาย	
ความถี่	
ความถี่ที่	
อินพุทอิม	
อินพุทอิมพี	



ตารางที่ 5.2 สรุปผล

ลักษณะ	
สาย	
ความถี่ที่ขงแม่เหล็ก (GHz)	2.4
ความถี่ที่ตอบสนอง (GHz)	5.8125
$S_{11}$ (dB)	-22.491
SWR	1.1623
อินพุทอิมพีแดนซ์สายส่ง ( $\Omega$ )	50
อินพุทอิมพีแดนซ์สายอากาศ ( $\Omega$ )	50.956

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จากการทดลองทั้งหมดนี้สรุปได้ว่าสายอากาศที่ถูกต้องแบบและสร้างขึ้นมานี้สร้างเพื่องานวิจัยเทคโนโลยี RFID ในส่วนที่ใช้เป็นเครื่องอ่าน (Reader) หรือป้าย (Tag) โดยผลการทดสอบสายอากาศได้เป็นไปตามคุณสมบัติตามทฤษฎีของสายอากาศทุกประการ
2. ผลที่วัดได้ของสายอากาศเป็นไปตามทฤษฎีของสายอากาศความถี่ 2.45 GHz และ 5.8 GHz
3. สามารถนำทดสอบกับอุปกรณ์ชิ้นส่วนของ RFID ได้อย่างสมบูรณ์แบบการใช้งานอาจขึ้นอยู่กับชนิดของแท็กในการรับส่งข้อมูลด้วยเช่นกันเช่นถ้าเป็นแท็กชนิดพาสซีฟก็จะมีระยะในการส่งสูงสุด 1 เมตร และถ้าเป็นแท็กชนิดแอกทีฟจะมีระยะในการส่ง 1-15 เมตรเท่านั้น
4. ผลการวิจัยและการทดลองเราสามารถนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ดีสำหรับการพัฒนาระบบนี้ต่อไป

### ผลวิจารณ์และข้อเสา

สำหรับปัญหาหน้าสัมผัสของเงินลื่น จะทำการบดกรีก่อน สายอากาศ เพื่อไม่ให้เกิ



r) ที่ใช้เป็นเงิน  
ระไบถูกบริเวณที่  
เรือส่วนบนของ  
รามิเตอร์ ขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

## โปรแกรมคำนวณ Input Impedance ของแผ่นแพทช์สายอากาศจาก

[www.emtalk.com/mpacalc.php](http://www.emtalk.com/mpacalc.php)

## Microstrip Patch Antenna Calculator

DRBs - 1 to 44 GHz  
Dielectric Resonator Oscil  
[www.luobx.com](http://www.luobx.com)

Antennas for 2.4 + 5 GHz  
WLAN + WiFi outdoor antn  
[www.ferimex.com](http://www.ferimex.com)

AP Amplifiers  
Broadband, Solid State, Rf  
[www.ar-worldwide.com](http://www.ar-worldwide.com)

PF Terminations, Hi-Po  
DC to 6 GHz, up to 800 W  
[www.innovativepp.com](http://www.innovativepp.com)

Resonar

$f_r$ :

emtalk.com

mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง แสดงคุณสมบัติของสารตัวกลางบางชนิด (1)**

Material	$\epsilon_r$ (Approx)	$\tan \delta \times 10^{-1}$ at 2-10 GHz	Surface roughness ( $\mu m$ )	Thermal conductivity, K (W/cm/°C)
RT-duroid 5880	2.16-2.24	5-15	0.75-1.0* 4.25-8.75**	0.0026
RT-duroid 6010	10.2-10.7	10-60	-do-	0.0041
Epsilam -10	10 -13	20	-	0.0037
Alumina99.5%	9.6-10.4	0.5-3	0.05-0.25	0.37
Beryllia (BeO)				0.01

**ตาราง แสดงคุณสมบัติ**

Material	Re Perr ( at : )	Loss Factor ( $\tan \delta$ ) at 2-10 GHz
Alumina99.5%	9	0.0003
Beryllia BeO		
(Zr,Sn)TiO4		0.0022
Silicon Si		0.0010
Ferrite	9.6-16.0	$\approx 0.0010$
Epoxy FR4	4.7	$\approx 0.0100$
DI-MIC CF	$21.6 \pm 0.6$	0.0003
DI-MIC CB	$29.0 \pm 0.7$	0.0004
DI-MIC CD	$37.0 \pm 1$	0.0004
DI-MIC CG	$65.5 \pm 2$	0.0008
GaAs	13.0	0.0006
TMM-3	3.25	0.0016



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงคุณสมบัติของสารตัวกลางบางชนิด 1 (ต่อ)

Material	Relative Permittivity $\epsilon_r$ at 2-10 GHz	Loss Factor ( $\tan \delta$ ) at 2- 10 GHz	Material Factor GHz	Relative Permittivity $\epsilon_r$ at 2- 10 GHz	Loss ( $\tan \delta$ ) at 2-10
TMM-4	4.5	0.0017			
TMM-6	6.				
TMM-10	9.				
TMM-13	12.				



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้