รหัสโครงการ SUT7-709-56-12-13

รายงานการวิจัย

การออกแบบแท็กย่านความถี่สูงยิ่งสำหรับติดตั้งบนวัตถุที่เป็นโลหะหรือของเหลว

(The design of UHF tags even on metallic or liquid objects)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-709-56-12-13

รายงานการวิจัย

การออกแบบแท็กย่านความถี่สูงยิ่งสำหรับติดตั้งบนวัตถุที่เป็นโลหะหรือของเหลว

(The design of UHF tags even on metallic or liquid objects)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มกราคม 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้ และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2556 สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

ระบบระบุเอกลักษณ์ด้วยความถี่วิทยุ หรืออาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification : RFID) ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ระบบอาร์เอฟไอดีประกอบไปด้วย ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (transponder/tag) เครื่องสำหรับอ่านข้อมูล (reader) และคอมพิวเตอร์หลัก (host computer) โดยตัวแท็กซึ่งประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิป จะถูกนำมาติดตั้งบนวัตถุ อาร์เอฟไอดีเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับระบุวัตถุในคลังสินค้า จัดการห่วงโซ่อุปทาน การบริการโลจิสติก ควบคุมและกระบวนการอัตโนมัติอื่น ๆ อย่างไรก็ตามแท็กย่านความถี่สูงยิ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากด้านหลังสินค้าโดยเฉพาะสินค้าที่เป็นโลหะ เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเปลี่ยนไป ทำให้แท็กแบบไดโพลไม่สามารถทำงานได้เมื่อถูกติดตั้งบนโลหะ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการออกแบบอาร์เอฟไอดีแท็กซึ่งสามารถใช้งานได้บนพื้นผิวโลหะโดยเฉพาะตู้คอนเทนเนอร์ในระบบท่าเรืออัจฉริยะ ซึ่งแท็กประกอบด้วย สายอากาศไดโพล และช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap : EBG) โดยวัสดุช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าถูกออกแบบที่ความถี่ 922 เมกกะเฮิร์ต และเฟสสะท้อนกลับของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศ โดยแท็กจะวางบนวัสดุฐานรองของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งถูกใช้เพื่อเป็นฉนวนของสายอากาศและถูกยึดติดกัน แท็กสามารถถูกใช้งานบนวัสดุโลหะได้และมีอัตราขยายที่สูงขึ้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแท็กที่นำเสนอสามารถสื่อสารกับตัวอ่านได้เป็นระยะทาง 8.6 เมตร

Abstract

Development of Radio Frequency Identification (RFID) systems has increased rapidly in recent years. RFID systems consist of radio frequency transponders (tags), radio frequency transceivers (readers) and a host computer. Tags that consist of an antenna and a microchip are attached to objects. RFID is a promising technology for products tracking in warehousing, supply chain management, service logistics, control and other automation processes. However, the UHF RFID tag is greatly affected by backside goods especially metallic object because the antenna impedance has changed. The dipole tag even can't work when it is attached on metal. Therefore, this thesis presents the design of a RFID tag that works reliably on metallic surface especially for container in a smart port system, it consists of a dipole antenna and an Electromagnetic Band Gap (EBG). The design of EBG material is operated at 922 MHz and its reflection phase has an effect on the antenna characteristic. The tag includes an EBG substrate which is used to insulate antenna and tagged on it. The tag can be used on metallic objects and have higher gain. The experimental results showed that the proposed tag can communicate with reader from a distance of 8.6 m.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ข

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 3

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน 3

1.5.2 สถานที่ทำการวิจัย 4

1.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 4

1.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 4

1.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 กล่าวนำ 5

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.2.1 สายอากาศและอาร์เอฟไอดีแท็ก 5

2.2.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 9

2.3 สรุป 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 14

3.1 โครงสร้างของระบบอาร์เอฟไอดี 14

3.2 ประเภทของแท็ก (Tag) 16

3.3 ความถี่ใช้งาน 17

3.4 สายอากาศ 20

3.5 ผลกระทบของโลหะและของเหลวต่อระบบ RFID 21

3.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern) 23

3.7 อัตราขยาย (Gain) 25

3.8 ระยะการอ่าน 26

3.9 ความกว้างแถบ (Bandwidth) 27

3.10 การแมตช์ (Matching) 27

3.11 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)) 30

3.12 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล 31

3.12.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ 31

3.12.2 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna Polarization) 34

3.13 ทฤษฎีช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap: EBG) 35

3.14 การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน 39

3.15 การสะท้อนของเฟส (Reflection Phase) 40

3.16 ตัวอย่างการใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อเป็นท่าเรืออัจฉริยะ 41

3.17 สรุป 45

4 การออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 46

4.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ 46

4.1.1 เครื่องอ่าน (Reader) 46

4.1.2 ไอซีชิป (IC Chip) 46

4.1.3 ความถี่ 47

4.2 การออกแบบสายอากาศไดโพล 47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการจำลอง RFID Tag โดยใช้สายอากาศไดโพล 55
4.4 ผลกระทบของแท็กไดโพลเมื่อวางบนวัสดุที่เป็นโลหะ 59
4.5 การศึกษาช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (EBG) 60
4.5.1 ปรับค่าช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g) 61
4.5.2 ปรับค่ารัศมีเส้นลวด (r) 61
4.5.3 ปรับค่ากว้างของแผ่นตัวนำ (w) 62
4.6 การศึกษาพารามิเตอร์ของอาร์เอฟไอดีแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 63
4.7 สรุป 76
5 การทดสอบและวิเคราะห์ผล 77
5.1 วิธีการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ 77
5.2 วิธีการสร้างและวัดทดสอบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ 79
5.3 การวัดทดสอบระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็ก 81
5.3.1 การวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง 83
5.3.2 การวัดระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะ 85
5.3.3 การวัดระยะการอ่านของแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ 87
5.4 จำลองการทดสอบเมื่อนำแท็กติดตั้งที่ตู้คอนเทนเนอร์ 89
5.4.1 วัดทดสอบแท็กที่ใช้บนโลหะทั่วไป 90
5.4.2 วัดทดสอบแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 93
5.5 สรุป 96
6 **บทสรุป** 97
6.1 สรุปเนื้อหางานวิจัย 97
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 98
6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต 98

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 99
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก เครื่องอ่านและไอซีชิป 102
ประวัติผู้เขียน 107

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 แท็ก (Tag) 2
2.1 สายอากาศอาร์เอฟไอดีแท็กแบบต่าง ๆ 6
2.2 การหักงอสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม 7
2.3 สายอากาศแบบสล๊อตรูปตัว Y 8
2.4 สายอากาศไมโครสตริป 8
2.5 สายอากาศแบบแผ่นเรียบ (planar) 9
2.6 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบก้นหอย 10
2.7 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด 10
2.8 สายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 11
2.9 แท็กแบบไดโพลพับร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 11
3.1 การทำงานของระบบ RFID 14
3.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่าน (Reader) 15
3.3 โครงสร้างภายในของ Tag 15
3.4 แสดงย่านความถี่ที่ RFID ถูกใช้งาน 18
3.5 Tag แบบ Inductive Coupling 21
3.6 Tag แบบ Microwave Coupling 21
3.7 ผลกระทบต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อวาง RFID Tag บริเวณที่มีโลหะหรือของเหลว 22
3.8 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจายกำลังงาน ของสายอากาศ 23
3.9 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว 24
3.10 วงจรสมมูลแบบอนุกรม 27
3.11 วงจรสมมูลไฟฟ้าของการส่งผ่าน 30
3.12 สายอากาศไดโพล 31
3.13 ระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศไดโพล 33
3.14 ระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศไดโพล 33

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.15 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ 34

3.16 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล 35

3.17 โครงสร้างแบบ 3 มิติ (ก) โครงสร้างแบบที่นำไดอิเล็กตริกเป็นสี่เหลี่ยมวางทับกันเป็นชั้น 35

3.18 โครงสร้างแบบ 2 มิติ 36

3.19 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (Mushrommlike EBG) 37

3.20 รูปแบบของค่าเหนี่ยวนำและค่าความจุของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 37

3.21 คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน 39

3.22 ขนาดเฟสของการสะท้อนคำนวณโดยใช้ผลของรูปแบบของวงจร 41

3.23 การติดตั้งเครื่องอ่าน (reader) ในท่าเรืออัจฉริยะ 43

4.1 สายอากาศไดโพล 48

4.2 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่า Reactance ของสายอากาศและไอซีชิปเมื่อปรับความยาวของสายอากาศไดโพล 48

4.3 สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ 50

4.4 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอเมื่อปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศ 50

4.5 สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก 51

4.6 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก เมื่อปรับความกว้างของเส้นพาราซิติก 52

4.7 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่า Reactance ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก เมื่อปรับระยะของเส้นหักงอกับเส้นพาราซิติก 53

4.8 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.9 ผลการจำลองแบบของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ ที่ความถี่ 920-925 MHz 55

4.10 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ 56

4.11 Smith chart ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ 57

4.12 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ 57

4.13 ระยะการอ่านของสายอากาศไดโพล 58

4.14 แท็กไดโพลวางบนวัสดุโลหะ 59

4.15 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแท็กบนโลหะ 59

4.16 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 60

4.17 เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 60

4.18 เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อปรับขนาดช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ 61

4.19 เฟสของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่ารัศม 62

4.20 เฟสช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่าความกว้างของแผ่นตัวนำ 62

4.21 เฟสสะท้อนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 63

4.22 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก 64

4.23 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ 65

4.24 ค่าอิมพิแดนซ์ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ 66

4.25 แบบจำลองแท็กช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ 67

4.26 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติกเมื่อปรับความยาวของเส้นพาราซิติก 68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.27 ค่า S_{11} ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ 69

4.28 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก 70

4.29 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 71

4.30 Smith chart ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 72

4.31 ระยะการอ่านของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 72

4.32 สนามระยะใกล้บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก 73

4.33 แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด 18 x 9 เซนติเมตร 73

4.34 ผลการจำลองแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด 18 x 9 เซนติเมตร 74

4.35 แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด 40 x 40 เซนติเมตร 75

4.36 ผลการจำลองแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ ที่มีขนาด 40 x 40 เซนติเมตร 75

5.1 อาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบวาดบนโปรแกรม Corel DRAW 77

5.2 อาร์เอฟไอดีแท็ก ต้นแบบ 78

5.3 โปรแกรม Corel DRAW กำหนดการตัดแผ่น PCB 79

5.4 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ 80

5.5 ผลวัดเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ 80

5.6 การวัดระยะการอ่าน 81

5.7 ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น 82

5.8 Reader และ Notebook 82

5.9 โปรแกรมอ่านค่าแท็ก 83

5.10 อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล 83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.11 สายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น 84
5.12 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 18 x 9 เซนติเมตร 85
5.13 อาร์เอฟไอดีแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนแผ่นโลหะขนาด 18 x 9 เซนติเมตร 85
5.14 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร 86
5.15 อาร์เอฟไอดีแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร 86
5.16 สายอากาศไดโพลแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ 88
5.17 สายอากาศไดโพลแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนวัสดุที่บรรจุน้ำ 88
5.18 ตู้คอนเทนเนอร์ 90
5.19 การวัดแท็ก Confidex Survivor 91
5.20 การวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่าง
แถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 คุณลักษณะและการใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ 19
3.2 มาตรฐานย่านความถี่ UHF ของแต่ละประเทศ 20
4.1 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ 54
4.2 ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ 60
4.3 ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 63
4.4 ขนาดของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 69
4.5 ผลการจำลองแบบต่าง ๆ 76
5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ 78
5.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ 80
5.3 ค่าการวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง 84
5.4 การวัดระยะการอ่านบนแผ่นโลหะ 87
5.5 การวัดระยะการอ่านแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ 89
5.6 การวัดแท็ก Confidex Survivor 92
5.7 การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า 95
5.8 การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
และแท็ก Confidex Survivor 95
6.1 ระยะการอ่านของแท็กแบบต่าง ๆ 98

บทที่ 1
บทนำ

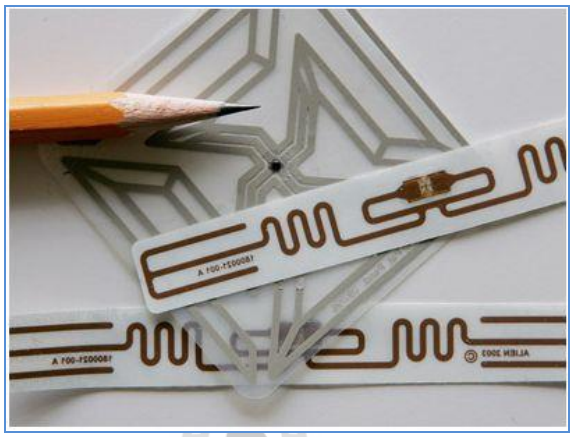
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้หลายองค์กรพยายามที่จะนำเอาระบบการสื่อสารที่สะดวก รวดเร็ว และทันสมัยมาประยุกต์ใช้กับองค์กรของตนเอง ตลอดจนการพยายามที่จะลดต้นทุนการซื้อเทคโนโลยีต่างๆ เทคโนโลยี Radio Frequency Identification (RFID) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การประยุกต์เทคโนโลยี RFID มีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันแต่อยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกันนั่นคือ การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุหรือเจ้าของวัตถุที่ติดป้าย RFID แทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า หลายองค์กรได้นำเอาเทคโนโลยีนี้มาพัฒนาร่วมกับการใช้งานภายในองค์กรในรูปแบบต่างๆ เช่น บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ หรือแม้แต่ในฉลากสินค้า เป็นต้น RFID มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบาร์โค้ดดังนี้

- มีความละเอียดและสามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่า ซึ่งทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสินค้าแต่ละ ชิ้นแม้จะเป็น SKU (Stock Keeping Unit - ชนิดสินค้า) เดียวกันก็ตาม
- ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบ RFID เร็วกว่าการอ่านข้อมูลจากแถบบาร์โค้ดหลายสิบเท่า
- สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลาย ๆ แถบ RFID
- สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับได้โดยไม่จำเป็นต้องนำไปจ่อในมุมที่เหมาะสมอย่างการใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Non-Line of Singht)
- ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยเทคโนโลยี RFID นั้นจะอยู่ที่ประมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยระบบบาร์โค้ดอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์
- สามารถ เขียนทับข้อมูลได้ จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้า ซึ่งคิดเป็นประมาณ 5% ของรายรับของบริษัท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบบาร์โค้ด
- ความเสียหายของ RFID Tag น้อยกว่าเนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกบรรจุภัณฑ์
- ระบบความปลอดภัยสูงกว่า ยากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ
- ทนทานต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก



รูปที่ 1.1 แท็ก (Tag)

โดยปกติแล้วเมื่อนำ RFID Tag ดังแสดงในรูปที่ 1 ไปใช้งานพบว่าโลหะ (metal) และของเหลว (liquid) จะเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของ RFID เนื่องจาก RFID ใช้หลักการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัว tag เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ chip ที่อยู่บน tag และสะท้อนเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมาผ่านทางสายอากาศบน tag โดย chip ก็จะทำการ modulate signal ที่สะท้อนกลับมาเพื่อให้สามารถระบุถึง ID ของตนเองกลับไปที่ RFID reader ได้ แต่โลหะนั้นจะสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ของเหลวก็จะซึมซับ (absorp) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ระบบ RFID ไม่สามารถระบุเอกลักษณ์วัตถุได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา ออกแบบ และสร้าง RFID Tag ที่สามารถลดผลกระทบจากโลหะและของเหลว โดยออกแบบให้ tag มีคุณสมบัติกักเก็บคลื่นไว้ในตัวเองและสะท้อนคลื่นไปมาจนแรงพอที่จะทำให้ RFID chip ที่อยู่ที่ผิวของวัสดุทำงานได้ โดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric) ตรงกลางประกบด้วยชั้นบางๆของวัสดุพิเศษที่คอยกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกกวนจากวัสดุที่ตัว tag นี้ไปติดอยู่ไม่ว่าจะเป็นโลหะหรือของเหลว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 การออกแบบสายอากาศและแมตช์สายอากาศให้ทำงานร่วมกับไมโครชิปได้

1.2.2 ออกแบบ RFID Tag ที่สามารถลดผลกระทบจากโลหะและของเหลวในย่านความถี่ 920-925 เมกะเฮิรตซ์ได้

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ออกแบบแท็กด้วยไดโพลสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 920 - 925 MHz และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

1.3.2 สร้างแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz และวัดทดสอบผล

1.3.3 สร้างแท็กด้วยไดโพลสำหรับนำมาใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 920-925 MHz และวัดทดสอบผล

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

1.4.1 จำลองแบบสายอากาศไดโพลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ย่านความถี่ 922 MHz

1.4.3 จำลองแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ความถี่ 922 MHz

1.4.4 ออกแบบ RFID Tag บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 922 MHz

1.4.5 สร้าง RFID Tag ต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลวัดทดสอบ และผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2) วิเคราะห์และออกแบบแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz ให้เหมาะสมกับไอซีชิปที่นำมาใช้งาน

3) วิเคราะห์และออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้กับแท็กแบบไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz

4) จำลองแบบแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

5) วิเคราะห์และออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้กับแท็กแบบไดโพลที่ทำการปรับค่าให้ใช้งานกับไอซีชิปแล้ว

6) สร้างแท็กแบบไดโพลที่เหมาะสมกับไอซีชิปบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

7) วัดระยะการอ่านข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดี

1.5.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการระบบสื่อสารไร้สาย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 (F4) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) โปรแกรม CST Microwave Studio 2009

2) โปรแกรมแมทแลบ (Matlab)

3) เครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (Reader)

4) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

1.5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บผลการทดสอบแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

2) วัดระยะการอ่านข้อมูล

1.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ ระยะการอ่าน

2) วิเคราะห์เฟสการสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

3) วัดทดสอบและวิเคราะห์ผลของการอ่านข้อมูลระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้แท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานบนพื้นผิวโลหะ โดยมีโครงสร้างง่าย น้ำหนักเบา

1.6.2 ได้แท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอัตราขยายสูงขึ้น

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของสายอากาศและอาร์เอฟไอดีแท็ก ได้แก่ สายอากาศไดโพล ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงสายอากาศแท็กไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของสายอากาศ ข้อดีและข้อเสียที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำมาใช้ปรับปรุงให้สอดคล้องกับอาร์เอฟไอดีแท็ก เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบอาร์เอฟไอดีแท็ก ต่อไป

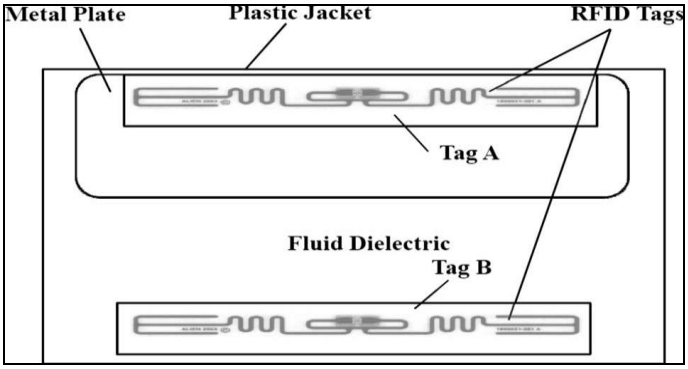
2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification)ได้เข้ามามีบทบาทต่อการบริหารจัดการธุรกิจรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นที่น่าจับตามองอย่างมาก เพราะประโยชน์ของเทคโนโลยีนี้จะทำให้การดำเนินธุรกิจ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หลายองค์กรได้นำเอาเทคโนโลยีนี้ มาพัฒนาร่วมกับการใช้งานภายในองค์กรในรูปแบบต่าง ๆ แล้ว เช่น โลจิสติกส์ ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก และสายการผลิตในโรงงาน เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า และวัตถุดิบในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปเทคโนโลยีบ่งชี้อัตโนมัติแบบต่าง ๆ ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึกด้วยมนุษย์ ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย

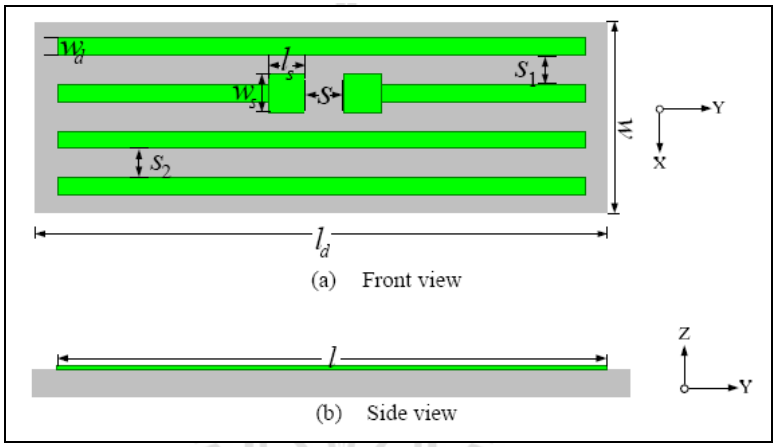
2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 สายอากาศและอาร์เอฟไอดีแท็ก

เทคโนโลยี อาร์เอฟไอดีมักนิยมออกแบบแท็กด้วยสายอากาศไดโพล (Rahul Bhattacharyya, Christian Floerkemeier, and Sanjay Sarma, 2010) สายอากาศไดโพลร่วมกับเส้นพาราซิติก (P. Wongsiritorn, C. Phongcharoenpanich, D. Torrungrueng and M. Krairiksh, 2009) ซึ่งมีข้อดีคือ ออกแบบง่าย ราคาถูก แต่จะมีอัตราขยายที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เนื่องจากโครงสร้างไม่ซับซ้อน แข็งแรงสามารถนำมาดัดแปลงได้ง่าย อีกทั้งยังมีราคาถูกอีกด้วย



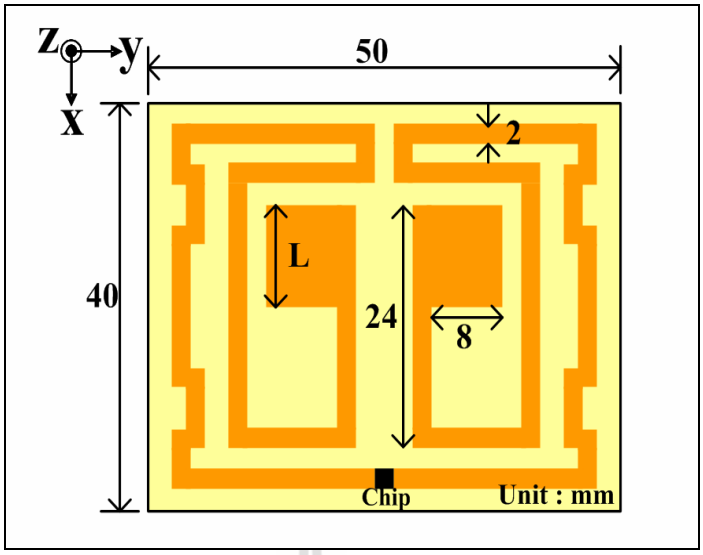
(ก) สาอากาศไดโพลแท็ก



(ข) สายอากาศไดโพลร่วมกับเส้นพาราซิติก

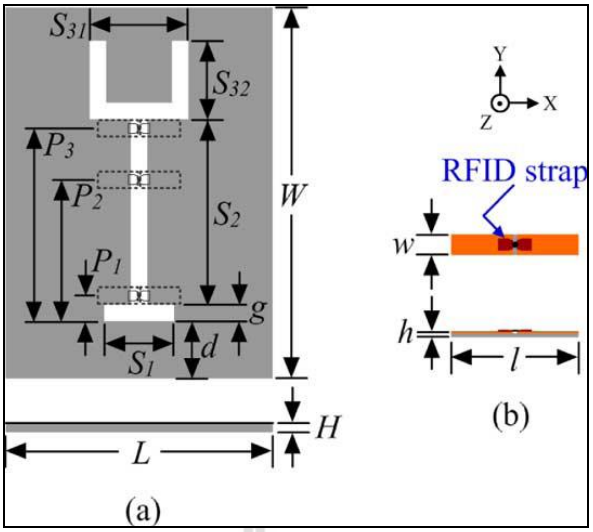
รูปที่ 2.1 สายอากาศอาร์เอฟไอดีแท็กแบบต่างๆ

ในปัจจุบันสายอากาศไดโพลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีอย่างแพร่หลายได้แก่ เทคนิคการปรับรูปร่างของสายอากาศไดโพลเส้นตรงและทำการแมตช์กับไอซีชิปเพื่อใช้สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก เช่น การหักงอสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมและทำการแมตช์กับไอซีชิป (Band Kyeong-Sik Min, Gun-Do Park, and Chul-Keun Park, 2007) ดังรูปที่ 2.2

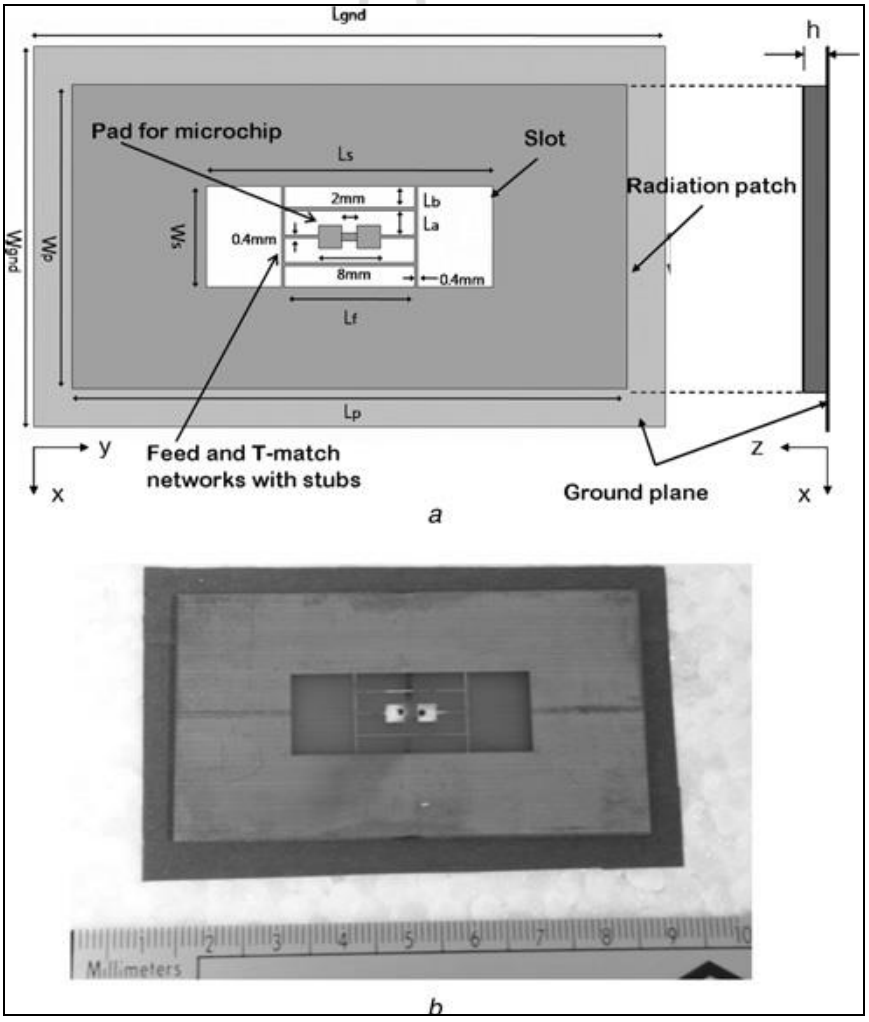


รูปที่ 2.2 การหักงอสายอากาศไดโพลให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม

ซึ่งมีข้อดีคือ ขนาดของตัวแท็กมีขนาดเล็ก แต่อาจมีการออกแบบที่ยุ่งยาก แท็กแบบต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำไปใช้งานบนวัสดุโลหะ หรือผิวน้ำจะทำให้ใช้งานไม่ได้ หรือระยะในการอ่านแท็กจะลดลง ต่อมาเราจึงทำการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการออกแบบสายอากาศเพื่อให้สามารถทำงานบนวัสดุโลหะและผิวน้ำได้ เช่น การออกแบบสายอากาศแบบสล๊อตรูปตัว Y (K. H. Lin, 2010) แต่สายอากาศดังกล่าวจะให้อัตราขยายต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เทคนิคต่อมาจะเป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับใช้งานบนวัสดุโลหะ (H.-G. Cho N.R, Labadie S.K. Sharma, 2009) ซึ่งเป็นการนำสายอากาศไมโครสตริปมาทำการแมตซ์กับไอซีชิป เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานบนวัสดุโลหะได้ แต่จะมีข้อเสียตรงที่เมื่อนำสายอากาศไมโครสตริปไปใช้งานจำเป็นต้องวางไว้บนโฟมที่มีขนาดประมาณ 3 mm. เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุโลหะได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

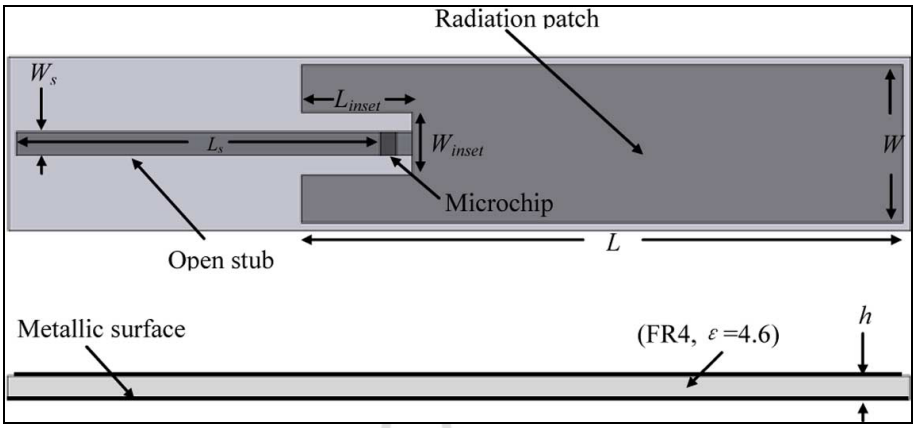


รูปที่ 2.3 สายอากาศแบบสล๊อตรูปตัว Y



รูปที่ 2.4 สายอากาศไมโครสตริป

นอกจากนั้นยังมีเทคนิคอื่นๆ เช่น การออกแบบสายอากาศแบบแผ่นเรียบ (planar) ร่วมกับสตับแบบเปิด (Open stub) (Lingfei Mo and Chunfang Qin, 2010) แต่ขั้นตอนในการออกแบบจะค่อนข้างยุ่งยากดังแสดงในรูปที่ 2.5

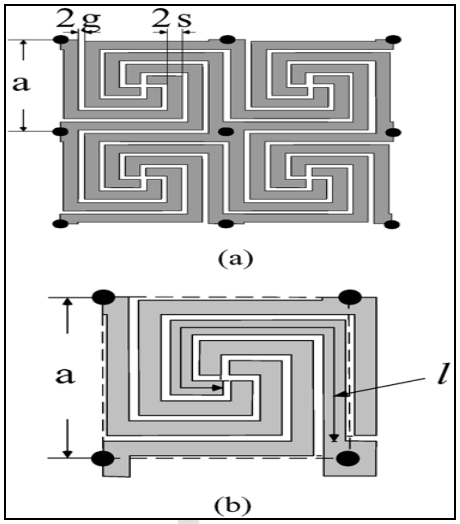


รูปที่ 2.5 สายอากาศแบบแผ่นเรียบ (planar)

จากงานปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมักนิยมออกแบบแท็กด้วยสายอากาศไดโพล ซึ่งสามารถออกแบบได้ง่ายและมีราคาถูก

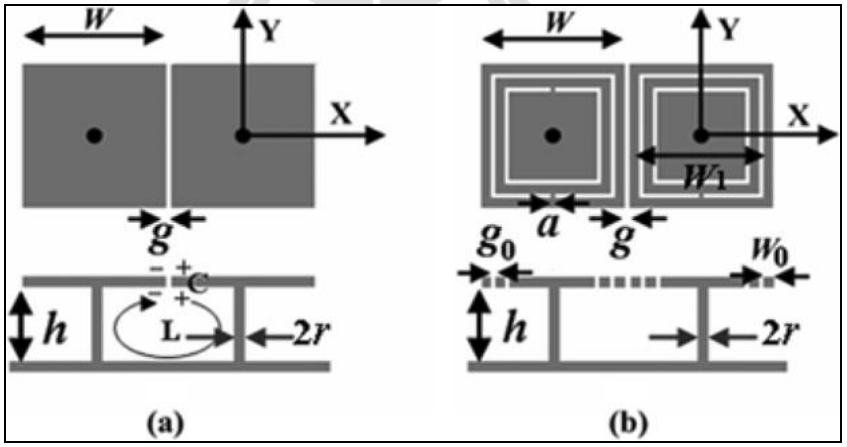
2.2.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่เกรตติ่ง พื้นผิวเลือกความถี่ ผลึกพลังแสง และช่องแถบพลังงานแสง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเรียกว่าโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำหน้าที่เป็นตัวกีดขวางหรือเสริมรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเฉพาะแถบของความถี่ และเนื่องด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ส่งผลให้ความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศมีมากขึ้นตามไปด้วย จากสายอากาศธรรมดาหนึ่งต้นก็สามารถพัฒนาให้มีอัตราขยายที่สูงด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนที่ด้านหลังของสายอากาศ จากเดิมนิยมใช้แผ่นโลหะตัวนำแต่ก็ยังพบปัญหาในเรื่องของคลื่นผิว (surface wave) ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีรูปแบบต่าง ๆ เช่น แบบก้นหอย (Spiral Electromagnetic Band-Gap) ซึ่งจะมีลักษณะหมุนวนคล้ายกับก้นหอย (Qiu-Rong Zheng, Yun-Qi Fu, and Nai-Chang Yuan, 2008) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบก้นหอย

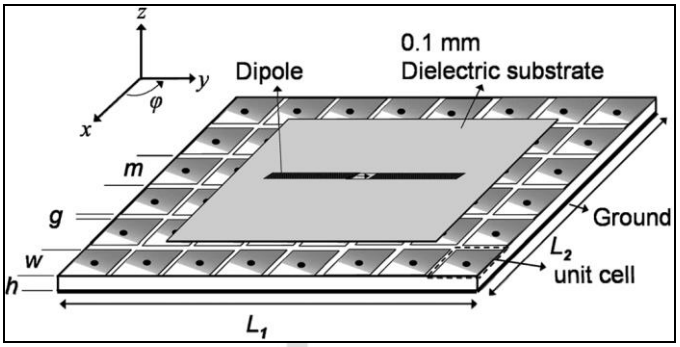
อีกรูปแบบหนึ่งคือช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (mushroom-type EBG) (Lin Peng, Cheng-Li Ruan, and Zhi-Qiang Li, 2010) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้จะมีขนาดคล้ายดอกเห็ดและสามารถเพิ่มอัตราขยายให้สายอากาศได้ และมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน



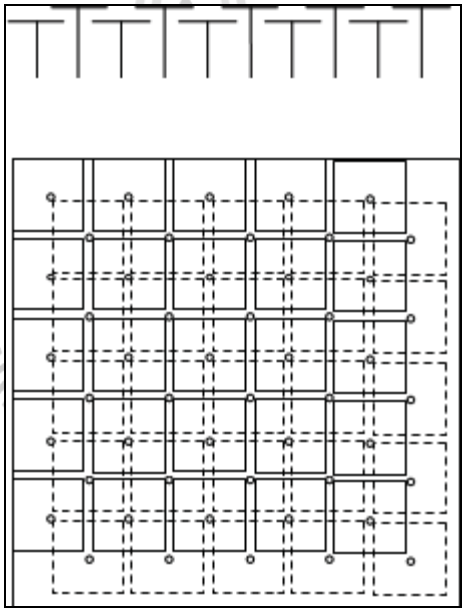
รูปที่ 2.7 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด

ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามักถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นตัวสะท้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศดังปริทัศน์วรรณกรรมที่จะกล่าวถึงคือ จัดวางสายอากาศไดโพลชนิดเส้นตรงบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Mohammed Ziaul Azad and Mohammod Ali,

2008) ซึ่งเป็นการนำช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด มาใช้งานร่วมกับสายอากาศแบบไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ผลที่ได้คือสายอากาศไดโพลมีอัตราขยายที่สูงขึ้น

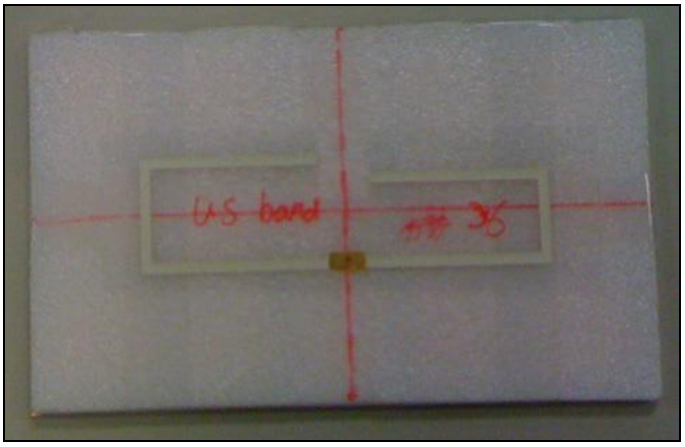


รูปที่ 2.8 สายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

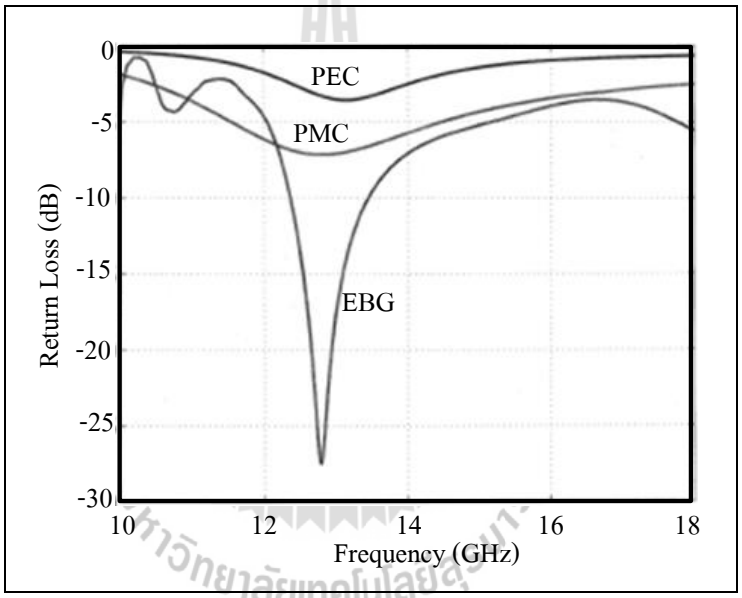


(ก) ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบสองชั้น

รูปที่ 2.9 แท็กแบบไดโพลพับร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า



(ข) สายอากาศบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า



(ค) การสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 2.9 แท็กแบบไดโพลพับร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

เทคนิคต่อมาจะเป็นการวางแท็กแบบไดโพลพับ (Folded dipole antenna) บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Bo Gao and Matthew M. F. Yuen, 2011) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เทคนิคนี้สามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้ดี แต่จะต้องมีโฟมรองระหว่างสายอากาศและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีความซับซ้อนเนื่องจากออกแบบให้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีสองชั้น

จากปริทัศน์วรรณกรรมที่กล่าวมาจึงวิเคราะห์ได้ว่าช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้ด้วยการระงับคลื่นผิวที่เกิดบนแผ่นสะท้อน โดยมีพลังงานที่รั่วไหลตรงบริเวณช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะช่วยเสริมให้ตัวกำเนิดสัญญาณมีพลังงานเพิ่มสูงขึ้น

2.3 สรุป

ตามเนื้อหาที่กล่าวมาในบทนี้จะเห็นว่า สายอากาศไดโพลยังคงเป็นที่นิยมนำมาดัดแปลงโครงสร้างเพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำมาเพิ่มอัตราขยายด้วย ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าได้ เนื่องจากช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถระงับคลื่นผิวที่เกิดบนแผ่นสะท้อนจึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการออกแบบสายอากาศแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอาร์แอฟไอดีแท็กดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

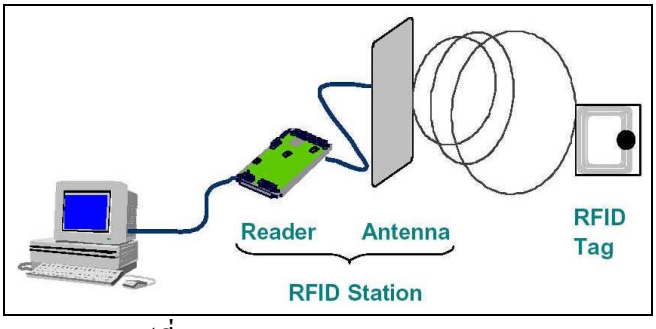
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศร่วมกับไอซีชิปและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ระบบ RFID มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของแท็ก (Tag) โดย แท็กจะเป็นอุปกรณ์ passive ซึ่งได้รับพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในส่วนของแท็กจะประกอบด้วย สายอากาศและ silicon chip ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบอ่านได้อย่างเดียวและแบบอ่านและเขียนทับได้ ในส่วนเครื่องอ่านประกอบด้วย สายอากาศและส่วนประมวลผล อุปกรณ์ทั้งสองสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ในระยะไม่เกิน 10 m แต่โดยปกติมักใช้ที่ระยะ 20 cm โดยงานวิจัยนี้จะออกแบบสายอากาศสำหรับแท็กย่านความถี่ UHF เท่านั้น ในบทนี้กล่าวถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งเป็นหลักการของระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศไดโพล และทฤษฎีช่องว่างแถบความถี่แม่แหล็กไฟฟ้าอีกด้วย

3.1 โครงสร้างของระบบอาร์เอฟไอดี

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification system: RFID เป็นระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ 1980 โดยที่อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน



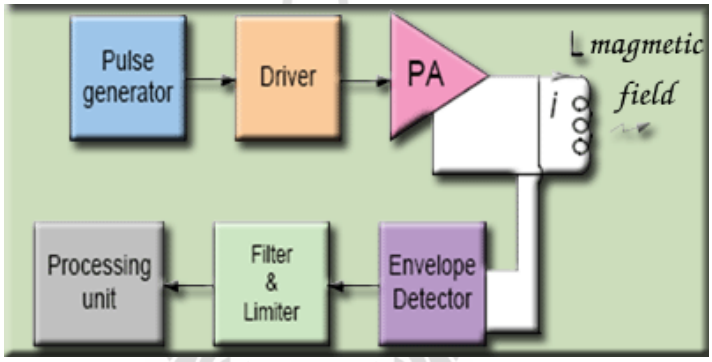
รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบ RFID

โครงสร้างของระบบ RFID ประกอบด้วย ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของแท็ก (Tag)

เครื่องอ่าน (Reader)

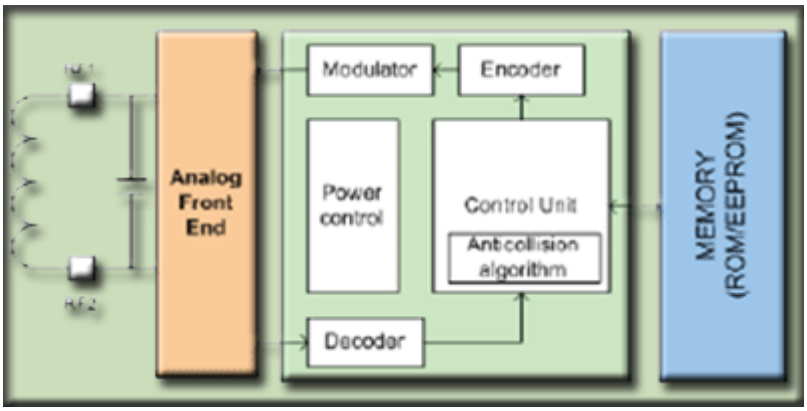
หน้าที่หลักของเครื่องอ่านคือ การเชื่อมต่อกับแท็กเพื่อทำการอ่าน หรือ เขียนข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับ โดยภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1. ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ (Tranciever)
2. ภาคสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier)
3. ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
4. วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
5. หน่วยประมวลผลข้อมูล (Processing Unit)



รูปที่ 3.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่าน (Reader)

แท็ก (Tag)



รูปที่ 3.3 โครงสร้างภายในของ Tag

โครงสร้างภายในแท็ก (Tag) จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. ไมโครชิป (Microchip) ทำหน้าที่ เก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้ อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือ ทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านทำการติดต่อสื่อสารกันนอกจาก ROM และ RAM แล้ว ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการสื่อสารระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก

2. สายอากาศ (Antenna) สายอากาศ คือ ขดลวดขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้กับไมโครชิปสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถมีได้หลากหลายขนาดและรูปร่าง เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะนำแท็กไปติดตั้ง และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ สายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver ให้เป็นอุปกรณ์ติดกัน

3.2 ประเภทของแท็ก (Tag)

โดยทั่วไปแท็กอาจจะอยู่ในรูปแบบที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก ที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป แต่ไม่ว่าแท็กจะอยู่ในรูปแบบใดก็ตาม เราสามารถแบ่งประเภทของแท็กได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ แบบแพสทีฟ (Passive Tag) และ แบบแอ็กทีฟ (Active Tag) โดยแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามรูปแบบการนำไปใช้งาน ราคา โครงสร้างภายใน และ หลักการทำงาน ดังนี้

1. Passive Tag ไม่มีแหล่งพลังงาน หรือแบตเตอรี่ภายในแท็ก (Tag) เพราะการทำงานอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน (Reader) (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือ ที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver

ข้อดี และ ข้อเสียของ Passive Tag

ข้อดี 1. น้ำหนักเบา
2.แท็กมีขนาดเล็ก
3. ราคาถูก
4. อายุการใช้งานไม่จำกัด

ข้อเสีย 1. ระยะการรับส่งข้อมูลสั้น (ระยะไกลสุดเพียง 1.5 เมตร)
2. หน่วยความจำมีขนาดเล็ก (ประมาณ 32 ถึง 128 บิต)

3.เครื่องอ่าน (Reader) ต้องมีกำลังส่งที่สูง

4. อาจเกิดผิดพลาดหากทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน

โครงสร้างภายในแท็กแบบ Passive Tag ประกอบด้วย

1) ส่วนการควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End)

2) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit)

3) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) อาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

2. Active Tag จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน การที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดจะไม่สามารถนำแท็กมาใช้งานได้อีกแต่สามารถออกแบบวงจรของแท็กให้ใช้กระแสไฟน้อยๆ ในการทำงาน ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

ข้อดี และ ข้อเสียของ Active Tag

ข้อดี 1. มีหน่วยความจำขนาดใหญ่ (ประมาณ1เมกะไบต์)

2. ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (ระยะไกลสุด 6 เมตร)

3. ทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี

ข้อเสีย 1. ราคาสูง

2. แท็กมีขนาดใหญ่

3. ระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด ตามอายุของแบตเตอร์รี่ประมาณ 3–7 ปี

ในปัจจุบันนิยมใช้แท็กแบบ Passive Tag มากกว่า แบบ Active Tag เนื่องจาก Passive Tag ได้เปรียบในเรื่องของ ราคา และอายุการงาน นอกจากการแบ่งแท็กตามชนิดของแท็กแล้ว ยังสามารถแบ่งแท็กได้ตามประเภทรูปแบบในการใช้งานได้ 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)

2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many : WORM)

3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

3.3 ความถี่ใช้งาน

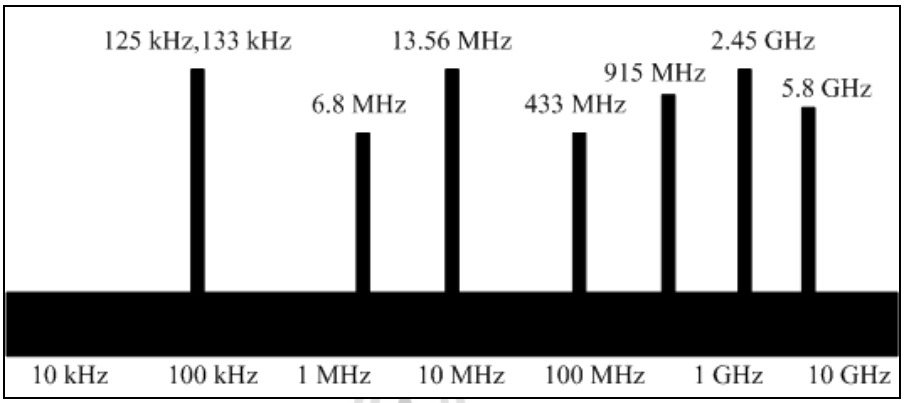
ปัจจุบันย่านความถี่สำหรับการใช้งาน RFID ทั่วโลกจะอยู่ในย่านความถี่ ISM Band (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่หลายประเทศกำหนดไว้สอดคล้องกันในการอนุญาตให้ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ มี 4 ย่านความถี่ และสำหรับย่านความถี่ใน ISM Band ที่กำหนดให้ใช้สำหรับ RFID ทั้ง 4 ย่านความถี่มีดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

• ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LH) ต่ำกว่า 150 kHz

• ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56/27.125 MHz

• ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 MHz

• ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 GHz



รูปที่ 3.4 แสดงย่านความถี่ที่ RFID ถูกใช้งาน

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ ๆ (LH ระยะอ่านประมาณ 10-20 ซม. และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่นระบบเก็บค่าบริการทาง

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนอาร์เอฟ-ไอดีที่ใช้คลื่นความถี่ในอีกสองย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมี 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่าง ๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศโดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะและการใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -ปศุสัตว์ -ระบบคงคลัง -รถยนต์
ย่านความถี่สูง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -สมาร์ตการ์ด
ย่านความถี่สูงยิ่ง 850-950 MHzแสดงดังตารางที่ 2.1 และย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 2.45 GHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-รถไฟ -ระบบเก็บค่าผ่านทาง

สำหรับคลื่นย่าน UHF นั้นปัจจุบันมีข้อกำหนดในหลายๆประเทศให้มีการใช้กันสำหรับมาตรฐาน EPCglobal Gen 2 standard

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานย่านความถี่ UHF ของแต่ละประเทศ

ประเทศ	ความถี่
US and Canada	902 ~ 928 MHz
Mexico	915 MHz
South America	915 MHz
Europe	865 ~ 868 MHz
Northern Africa	862 ~ 870 MHz
South Africa	915 MHz
Middle East	862 ~ 870 MHz
China	917 ~ 922 MHz
Japan	952 ~ 954 MHz
Pacific Rim	ขึ้นกับแต่ละประเทศ – 866 ~ 925 MHz
Australia	915MHz
New Zealand	862 ~ 928 MHz
Thailand	921-925 MHz

ทั้งนี้ในแต่ละ region ก็จะมีรายละเอียดการใช้ความถี่ในย่าน UHF นี้แตกต่างกันไปและแต่ละประเทศก็มีข้อกำหนดเรื่อง ERP กับ EIRP อีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 สายอากาศ

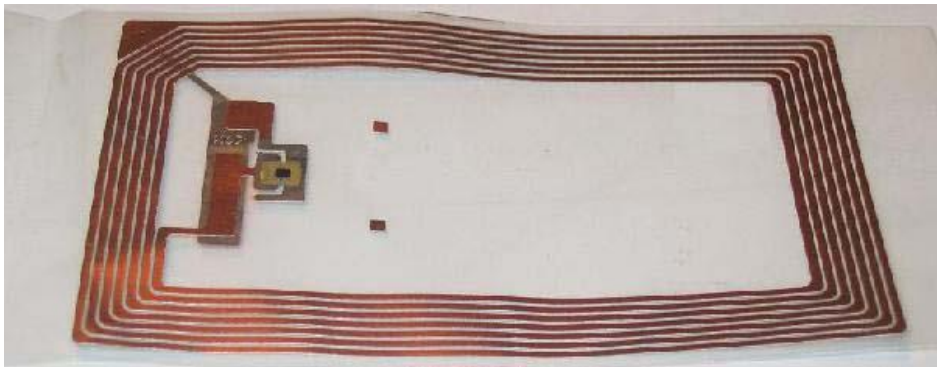
การออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID แบ่งได้ 2 แบบ คือ Inductive Coupling และ Microwave Coupling

Inductive Coupling (125 kHz –15 MHz)

-สายอากาศมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับ λ

- Coupling เฉพาะสนามแม่เหล็ก

- เป็นแท็กชนิดขดลวดระนาบ

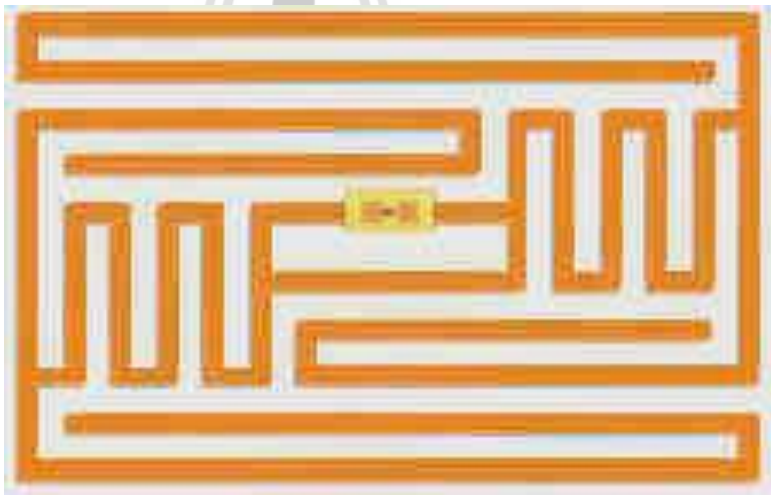


รูปที่ 3.5 Tag แบบ Inductive Coupling

Microwave Coupling (868 MHz –5.8 GHz)

-เป็นสายอากาศไดโพลแบบปกติ

-ระบบแมตช์ทำให้ขนาดของสายอากาศเล็ก

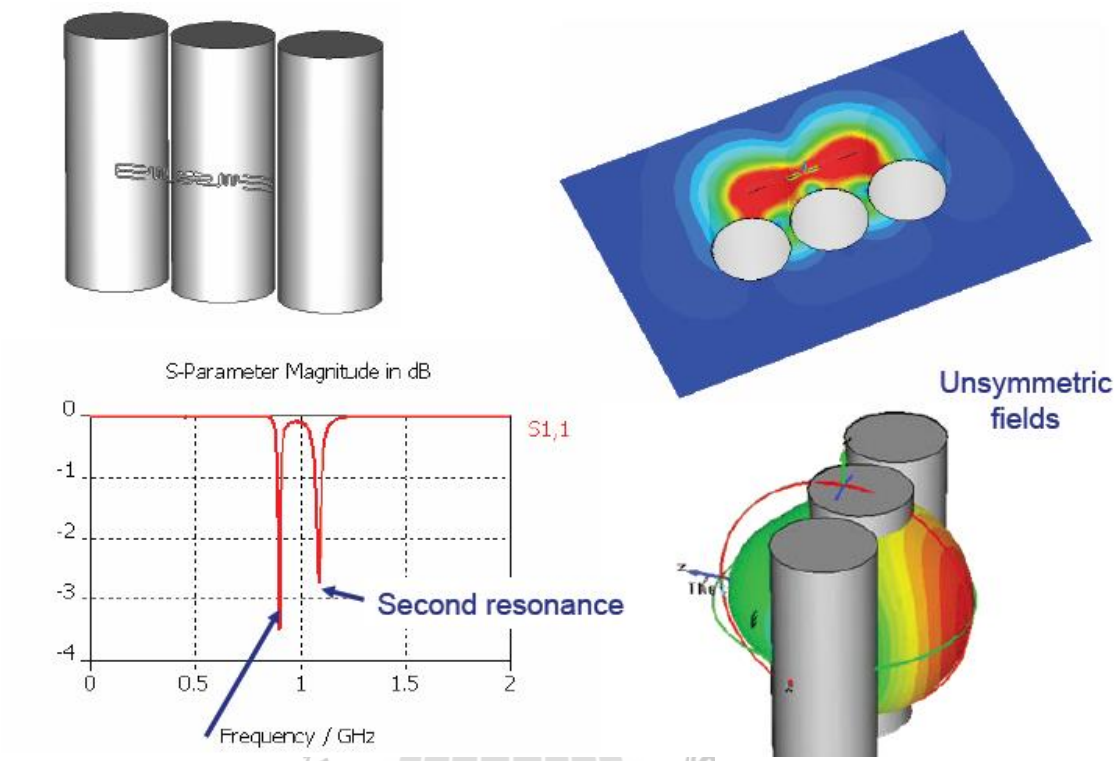


รูปที่ 3.6 Tag แบบ Microwave Coupling

3.5 ผลกระทบของโลหะและของเหลวต่อระบบ RFID

โดยปกติแล้วเมื่อนำ RFID Tag ไปใช้งานพบว่าโลหะ (metal) และของเหลว (liquid) จะเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของ RFID เนื่องจาก RFID ใช้หลักการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังตัว tag เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับ chip ที่อยู่บน tag และสะท้อนเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมาผ่านทางสายอากาศบน tag โดย chip ก็จะทำการ modulate signal ที่สะท้อนกลับมาเพื่อให้สามารถระบุ

ถึง ID ของตนเองกลับไปที่ RFID reader ได้ แต่โลหะนั้นจะสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ของเหลวก็จะซึมซับ (absorp) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เป็นปัญหาต่อระบบ RFID เช่น แบบรูปการแพร่กระจายพลังงานไม่สมมาตร RFID Tags ไม่แมตช์ และอัตราขยายลดลง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.7



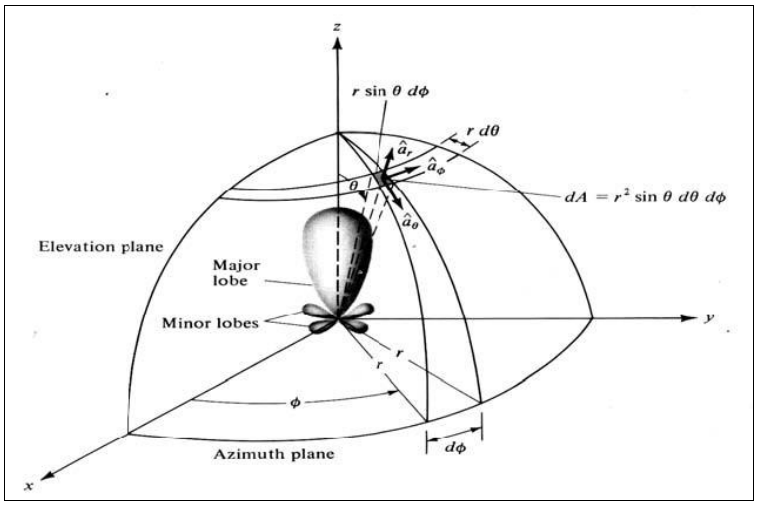
รูปที่ 3.7 ผลกระทบต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อวาง RFID Tag บริเวณที่มีโลหะหรือของเหลว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษา ออกแบบ และสร้าง RFID Tag ที่สามารถลดผลกระทบจากโลหะและของเหลวได้ โดยออกแบบให้ tag มีคุณสมบัติกักเก็บคลื่นไว้ในตัวเองและสะท้อนคลื่นไปมาจนแรงพอที่จะทำให้ RFID chip ที่อยู่ที่ผิวของวัสดุทำงานได้ โดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric) ตรงกลางประกบด้วยชั้นบางๆของวัสดุพิเศษที่คอยกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกกวนจากวัสดุที่ตัว tag นี้ไปติดอยู่ไม่ว่าจะเป็นโลหะหรือของเหลว

3.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation pattern)

สำหรับคุณสมบัติของสายอากาศที่จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งที่ดีนั้น จะต้องเป็นสายอากาศที่ทำให้สายอากาศภาครับสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด นั่นคือ ไม่ว่าสายอากาศภาครับจะอยู่ทางทิศใดของสายอากาศภาคส่ง และมีการโพลาไรซ์เป็นแบบใด ก็ควรที่จะสามารถรับคลื่นจากตัวส่งสัญญาณได้ โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณของเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลในย่าน 920-925 MHz จะต้องมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (radiation pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ หรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และมีโครงสร้างของสายอากาศที่ไม่ซับซ้อนจนเกินไป สามารถประกอบได้ง่าย มีน้ำหนักเบา รองรับกำลังงานที่สูงได้และมีอัตราขยายในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศได้มากขึ้น

แบบรูปการแผ่พลังงานหรือแบบรูปกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟฟิกหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (space coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กำลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (far-field region) เท่านั้น และจะนำเสนอในรูปฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง (directivity coordinates) เสมอ ซึ่งคุณสมบัติการแผ่กำลังงานนี้สามารถที่จะพิจารณารวมถึงความหนาแน่นของเส้นแรงกำลังงาน (power flux density) ความเข้มการแผ่กำลังงาน (radiation intensity) ความแรงของสนาม (field strength) เฟสของสภาพเจาะจงทิศทาง(directivity phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (polarization) ได้ ซึ่งคุณสมบัติของการแผ่กำลังงานสามารถที่จะแสดงในรูปของการกระจายพลังงานในแต่ละตำแหน่งและทิศทางที่เป็นแบบสองมิติและแบบสามมิติซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลมที่มีรัศมีคงที่ดังแสดงในรูป 3.8



รูปที่ 3.8 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ

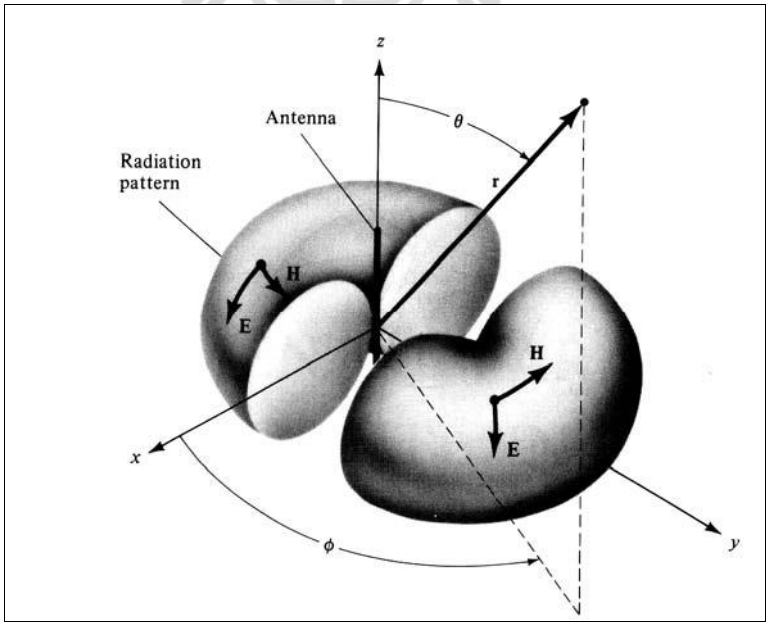
เส้นการกวาดของกำลังงานที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน(field pattern) และอีกวิธีหนึ่งถ้าเป็นแบบรูปที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่ง เราจะเรียกว่า แบบรูปแอมพลิจูดของสนาม (amplitude field pattern)

แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศสามารถอธิบายได้ 3 แบบ ดังนี้

1) แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบไอโซทรอปิก (isotropic radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นมาว่า ไม่มีการสูญเสียภายในตัวเอง และมีการแผ่พลังงานออกมาเท่ากันทุกทิศทาง

2) แบบรูปการแผ่กำลังงานของสายอากาศแบบมีทิศทาง (directional pattern) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ๆ ซึ่งมักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (maximum directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (halfwave dipole)

3) แบบรูปการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว (omnidirectional pattern) คือสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ในที่นี้คือ มุมกวาด (azimuth) และระนาบที่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กำลังงานเป็นแบบมีทิศทางในกรณีนี้คือมุมเงย ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศแผ่นไดโพลวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับระบบอาร์เอฟไอดี มีแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทาง เพราะสายอากาศที่ใช้สำหรับระบบอาร์เอฟไอดี จะต้องมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (radiation pattern) ที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ หรือสามารถเชื่อมต่อกับผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา และเป็นแบบรูปการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทางเหมาะสำหรับแท็กที่ใช้งานบนวัสดุโลหะ

3.7 อัตราขยาย (Gain)

ก. อัตราขยายจริง (absolute gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา

ข. อัตราขยายสัมพัทธ์ (relative gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้นโดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ก็คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มี การสูญเสีย (lossless isotropic source) และสายอากาศแบบไดโพล

การวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายที่สุด ก็คือวิธีที่เรียกว่าวิธีแบบใช้สายอากาศอ้างอิง (reference antenna method) หรือ วิธีการเปรียบเทียบ(comparison method) หรือวิธีการแทนที่ (substitution method) ซึ่งสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกำลังงานที่ได้รับด้วยสายอากาศอ้างอิง (P_{ref}) กับกำลังงานที่รับได้จากสายอากาศที่ทำการทดสอบ (P_{test}) ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ต้องการทราบจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G_{test} = \frac{P_{test}}{P_{ref}} \times G_{ref} \tag{3.1}$$

เมื่อต้องการคำตอบ ให้มีหน่วยเป็น dB ก็จะหาได้จากสมการ

$$G_{test}(dB) = P_{test}(dB) - P_{ref}(dB) + G_{ref}(dB) \tag{3.2}$$

ก่อนที่จะนำวิธีการแทนที่มาใช้นั้น เราจะต้องปรับเทียบเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ในการอ้างอิงเสียก่อน โดยการใช้สายอากาศสองตัวที่เหมือนกันทุกประการมาเป็นสายอากาศ

รับและส่งจากนั้นวัดค่ากำลังงานที่ส่งออกไปและค่าของกำลังงานที่รับได้ นำมาคำนวณหาค่าอัตราขยาย ซึ่งจะเป็นอัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง ดังสมการ

$$G = \frac{4\pi R}{\lambda}\sqrt{\frac{P_{ref}}{P_o}} \tag{3.3}$$

เมื่อ G คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะใช้เป็นตัวอ้างอิง

R คือระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง

P_{rec} และ P_o คือกำลังงานที่รับได้และกำลังงานที่ส่งออกไป ตามลำดับ

λ คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (หน่วยเดียวกันกับระยะทาง)

3.8 ระยะการอ่าน

ระบบการส่งผ่านอากาศว่าง โดยทั่วๆ ไปประกอบด้วย สายอากาศภาคส่ง และสายอากาศภาครับ โดยพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาได้แก่ กำลังส่ง พารามิเตอร์ของสายอากาศ และระยะทางระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ จากหลักของฟริส (Friis Transmission)

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \tag{3.4}$$

เมื่อเราต้องการทราบค่าระยะการอ่าน (R) จะได้ดังสมการ

$$R = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_T}{P_R} \bullet G_R G_T} \tag{3.5}$$

โดยที่ P_R คือ กำลังงานเครื่องรับ (Tag)

P_T คือ กำลังงานของเครื่องอ่าน

R คือ ระยะทางการอ่าน

λ คือ ความยาวคลื่น (wavelength)

G_T คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (gain of the transmitting antenna)

G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (gain of the receiving antenna)

ในระบบอาร์เอฟไอดีจะวัดระยะการอ่านซึ่งขึ้นกับอัตราขยายของแท็ก การแมตซ์ไดโพลกับชิป และประสิทธิภาพของแท็กและเครื่องอ่าน

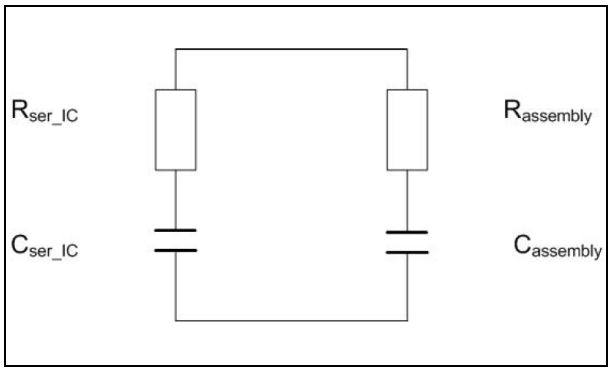
3.9 ความกว้างแถบ (Bandwidth)

ความกว้างแถบของสายอากาศ ถูกนิยามว่า ย่านความถี่ที่ยังอยู่ภายในสภาวะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ สภาวะดังกล่าวพิจารณาจากคุณสมบัติบางตัวของสายอากาศ และให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงของความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง (center frequency) ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้ จะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นี้

กรณีที่เป็น สายอากาศแถบกว้าง (broadband antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงใน รูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่นถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 10:1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่าและถ้าหากเป็นกรณีของ สายอากาศแถบแคบ (narrowband antennas) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุดลบความถี่ต่ำสุด) เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความกว้างแถบ ตัวอย่างเช่น ถ้าสายอากาศชนิดนี้มีความกว้างแถบเท่ากับ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้มีค่าเป็น 5% ของความถี่กลางของความกว้างแถบ สำหรับงานวิจัยนี้จะออกแบบแท็กที่มีความถี่แคบใช้งานช่วง 920-925 MHz

3.10 การแมตช์ (Matching)

สำหรับการออกแบบ UHF RFID Tag จำเป็นต้องตรวจสอบค่าอิมพิแดนซ์ระหว่างไอซีชิปและสายอากาศไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรสมมูลแบบอนุกรม

อิมพิแดนซ์ขาเข้าคือพารามิเตอร์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมในส่วนของวงจร โดยปกติแล้วในการออกแบบวงจรอิเล็คทรอนิกส์สำคัญมากที่ทำการแมตช์อิมพิแดนซ์ขาเข้า ($Z_{antenna}$) ในส่วนของคุณสมบัติของอาร์เอฟไอดี โดยปกติแล้วอิมพิแดนซ์ของไอซีชิป (Z_{chip}) ที่จะส่งกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังสายอากาศจะต้องเป็นสังยุคของจำนวนเชิงซ้อนของไอซีชิป

$$Z_{antenna} = Z_{chip}^{*} \tag{3.6}$$

หรือ

$$R_{antenna} = R_{chip} \tag{3.7}$$

$$X_{antenna} = -X_{chip} \tag{3.8}$$

สำหรับการออกแบบสายอากาศที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำการแมตช์ส่วนจริง และการสังยุคส่วนจินตภาพในส่วนของความต้านทานแหล่งกำเนิด หลักการนี้คำนึงถึงความต้านทานของไอซีชิปและความต้านทานรวมของแท็ก ถ้าเราสมมุติว่าความต้านทานตัวประกอบสังยุคแมตช์ระหว่างสายอากาศกับชิปสายอากาศได้รับกำลังงานสูงสุดดังสมการ

$$P_{antenna,\max} = \frac{|V_{antenna}|^2}{4R_{antenna}} \tag{3.9}$$

ซึ่ง $V_{antenna}$ คือ แรงดันที่กำเนิดโดยแท็กที่ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

และ $R_{antenna}$ คือ ความต้านทานของแท็ก

การที่จะหากำลังงานของแท็กที่จุดใดๆได้ดังสมการ (3.10)

$$P_{tag} = A_{tag} \cdot S \tag{3.10}$$

A_{tag} คือ พื้นที่รับได้ของสายอากาศตามสเปกของเครื่องอ่าน (Reader)

S คือ ความหนาแน่นกำลังงาน

โดยที่

$$A_{tag} = \frac{\lambda_0^2}{4\pi} \cdot G_{tag} \tag{3.11}$$

λ_0 คือ ความยาวคลื่น

G_{tag} คือ อัตราขยายของแท็ก

ดังนั้น

$$S = \frac{P_{readar} G_{readar}}{4\pi \cdot R^2} \tag{3.12}$$

P_{readar} คือ กำลังงานของเครื่องอ่าน

G_{reader} คือ อัตราขยายสายอากาศของเครื่องอ่าน

R คือ ระยะทางสูงสุดระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน

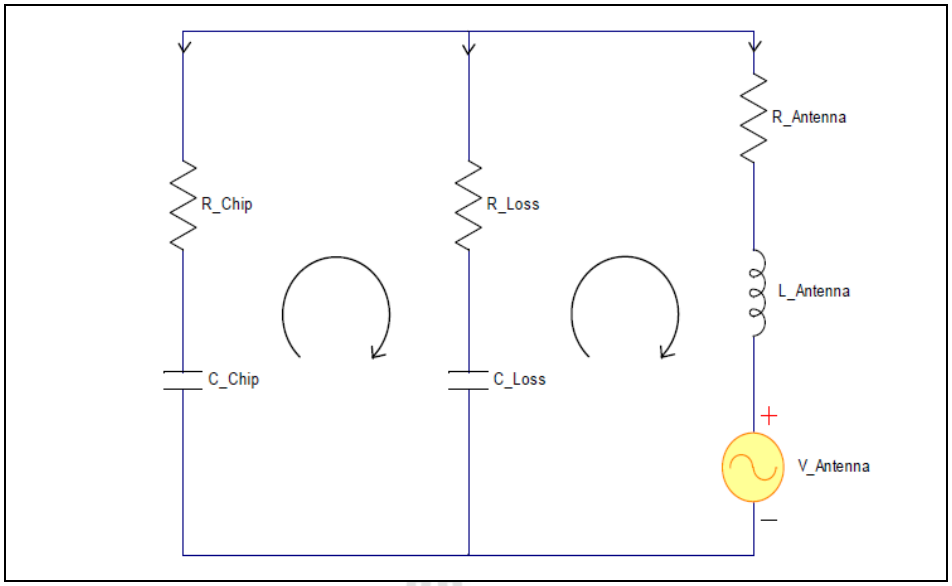
การหากำลังงานรวมที่แท็กได้รับประกอบด้วยสามส่วน คือ

$$P_{Tot} = P_{chip} + P_{loss} + P_{antenna} \tag{3.13}$$

ประสิทธิภาพของไอซีชิปหาได้จาก

$$\eta_{Chip} = \frac{P_{chip}}{P_{Tot}} = \frac{P_{Chip}}{P_{Chip} + P_{Loss} + P_{antenna}} \tag{3.14}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.11 วงจรสมมูลไฟฟ้าของการส่งผ่าน

3.11 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)

การเกิดสัมประสิทธิ์การสะท้อนโดยเฉพาะในความถี่สูงๆอย่างเช่นความถี่ย่าน UHF การไม่แมตช์ ระหว่างแหล่งกำเนิดกับโหลดถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) พื้นฐานของทฤษฎีสายนำสัญญาณสัมประสิทธิ์การสะท้อนกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนกับคลื่นตกกระทบ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นตัวที่จะใช้วัดคุณภาพการแมตช์ระหว่างแหล่งกำเนิดกับความต้านทานของโหลดดังสมการ

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0^*}{Z + Z_0} \tag{3.15}$$

Z คือ ความต้านทานที่ได้จากการวัด

Z_0 คือ normalizing impedance

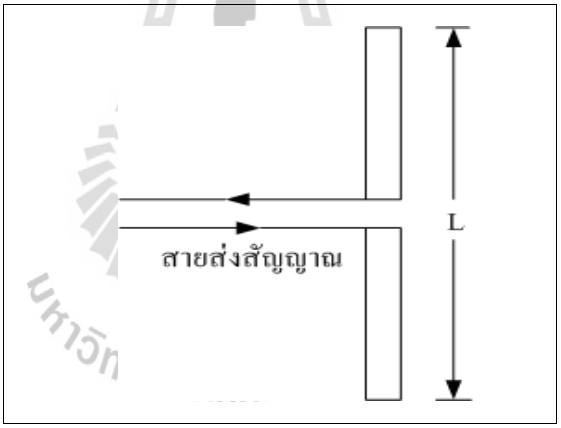
โดยส่วนมากส่วนจินตภาพของ Z_0 มักจะมีค่าเป็นศูนย์ และส่วนจริงจะถูกกำหนดไว้

$$\Gamma = \frac{Z - R_0}{Z + R_0}$$

3.12 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล

3.12.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

สายอากาศไดโพล (dipole antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดมีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว L วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 3.12 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพล และไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพลการแจงรูปของกระแส (current distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆ บนสายอากกาศไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 3.12 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (ideal dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่น ๆ สามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็กๆของความยาวไดโพล (infinitesimal dipole) ที่มีการแจงรูปของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎี ของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็ก ๆ โดยแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคือ การแสดงรูปแบบของกำลังงานที่แผ่กระจายออกจากตัวสายอากาศเป็นรูปภาพ 3 มิติ ที่วัดได้ในบริเวณสนามระยะไกล (far field region) คุณสมบัติ การแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (space coordinates) บริเวณของสนาม

ระยะไกลคือ บริเวณที่ไกลเพียงพอสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางที่อยู่ห่างจากสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใด ๆ สามารถที่จะทราบได้ด้วยการวัดทดลองและถ้าเราทราบลักษณะการแจงรูปของกระแสบน ตัวสายอากาศ ก็จะสามารถคำนวณหาจากการคำนวณได้เช่นเดียวกัน การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ จะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (far-field region) โดยสามารถคำนวณจากสมการ

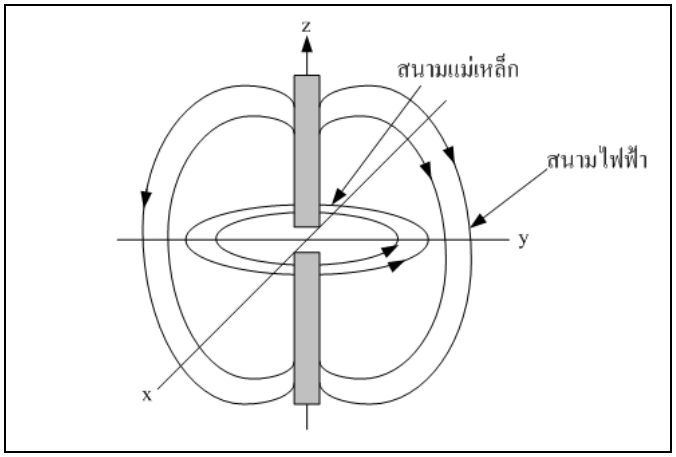
$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \tag{3.16}$$

เมื่อ R คือ ระยะของสนามระยะไกล

D คือ ความยาวสูงสุดของสายอากาศ

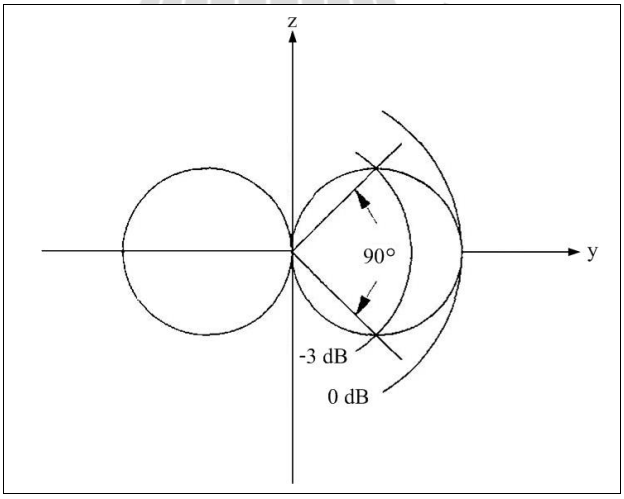
λ คือ ความยาวคลื่นของสายอากาศ

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายพลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นแบบรูปอันเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วย ตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (reciprocity theorem) ถึงแม้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติจะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกัน คือระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้าและระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก โดยเรียกว่า E-plane และ H-plane ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 แบบรูปการแผ่กระจาย กำลังงานในระนาบหนึ่ง ๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้น ๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจาย กำลังงานที่ถูกต้องควรจะจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสายอากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุใด ๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่

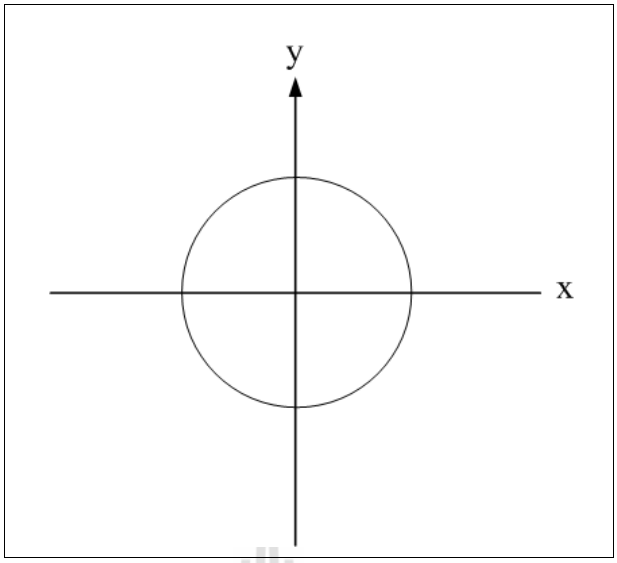


รูปที่ 3.13 ระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศไดโพล

รูปที่ 3.14 ได้แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของ ไดโพลอุดมคติ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนี้แสดงให้เห็นว่าไดโพลอุดมคตินั้นมีทิศทางด้วยเพราะว่าการแผ่กระจายกำลังงานจะมีความแรงของสัญญาณสูงในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางอื่นๆ ส่วนแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในสนามแม่เหล็ก (H-plane) ได้แสดงไว้ ในรูปที่ 3.15 ซึ่งในแบบรูปนี้การแผ่กระจายกำลังงานจะเท่ากันทุกทิศทาง



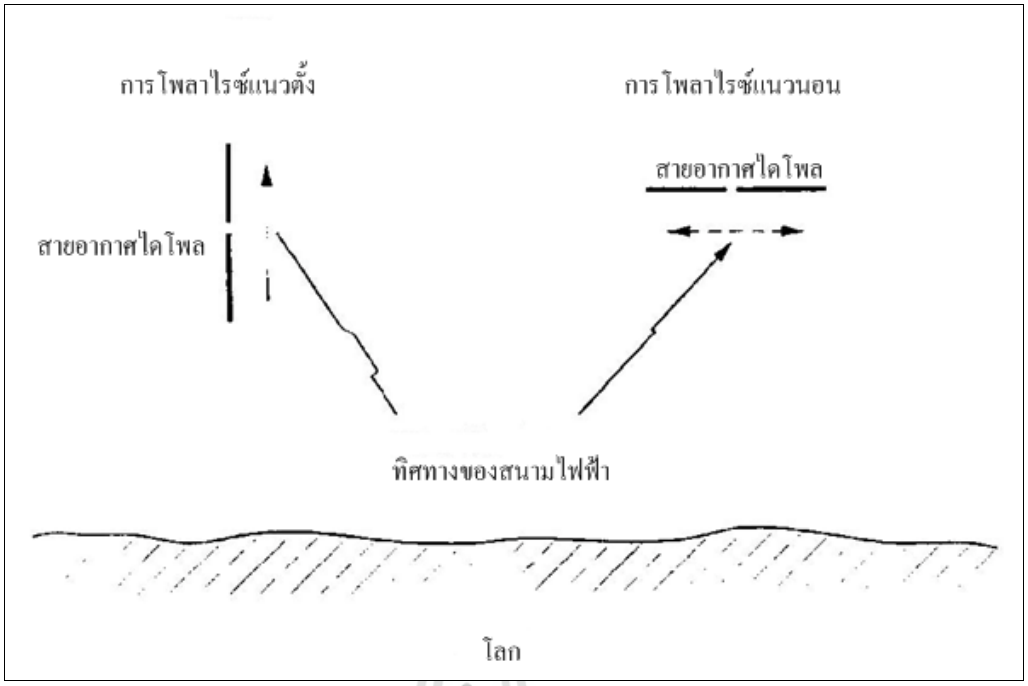
รูปที่ 3.14 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ



รูปที่ 3.15 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ

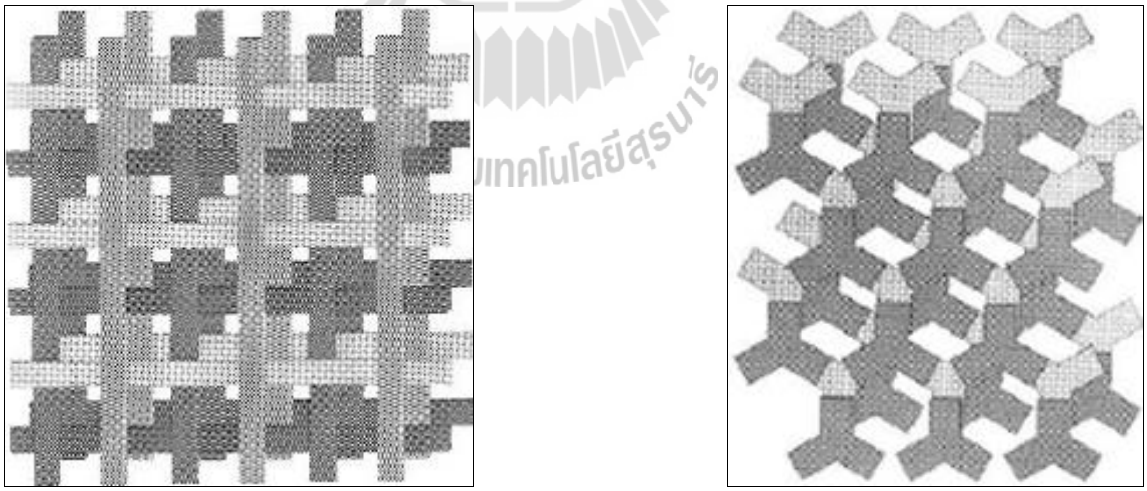
3.12.2 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกล สายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (linear polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และยังถูกแบ่งออกเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (vertical polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (horizontal polarization) ดังแสดงในรูปที่ 3.16 นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical) บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศเอง เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน เช่น สายอากาศไดโพลและยากิเราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศ แต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกันแต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้ เช่น สายอากาศปากแตร (horn) แบบบ่วง (loop) และแบบร่อง (slit) เป็นต้น เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศ ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมาหากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่น สัญญาณ ที่รับได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้งแต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่า เกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (cross-polarization isolation)



รูปที่ 3.16 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

3.13 ทฤษฎีช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap: EBG)



(ก) (ข)

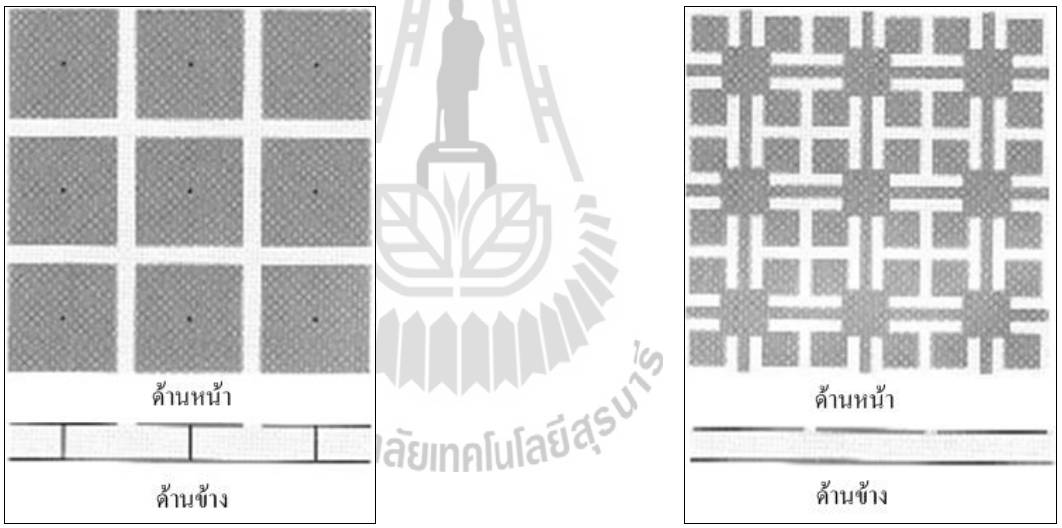
รูปที่ 3.17 โครงสร้างแบบ 3 มิติ (ก) โครงสร้างแบบที่นำไดอิเล็กตริกเป็นสี่เหลี่ยมวางทับกันเป็นชั้น (ข) โครงสร้างแบบรวมชั้นโลหะที่มีลักษณะสามง่ามวางเรียงลำดับกัน

ในปัจจุบันโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งเป็นกลุ่มตามลักษณะเรขาคณิตดังนี้

1) โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 3 มิติ มีลักษณะเป็นปริมาตร เช่น เป็นโครงสร้างแบบที่นำไดอิเล็กตริกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมวางทับกันเป็นชั้น และรวมชั้นโลหะที่มีลักษณะสามง่ามวางเรียงลำดับกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.17

2) โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 2 มิติ มีลักษณะเป็นพื้นผิวระนาบ เช่น โครงสร้างพื้นผิวแบบดอกเห็ด และโครงสร้างพื้นผิวแบบระนาบเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.18

3) โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 1 มิติ มีลักษณะเป็นสายส่ง เช่นโครงสร้างแบบไมโครสตริปร่วมกับหลุมที่วางเป็นคาบบนระนาบกราวด์ และสายส่งที่ประกอบไปด้วยทิศทางซ้ายและขวามือ

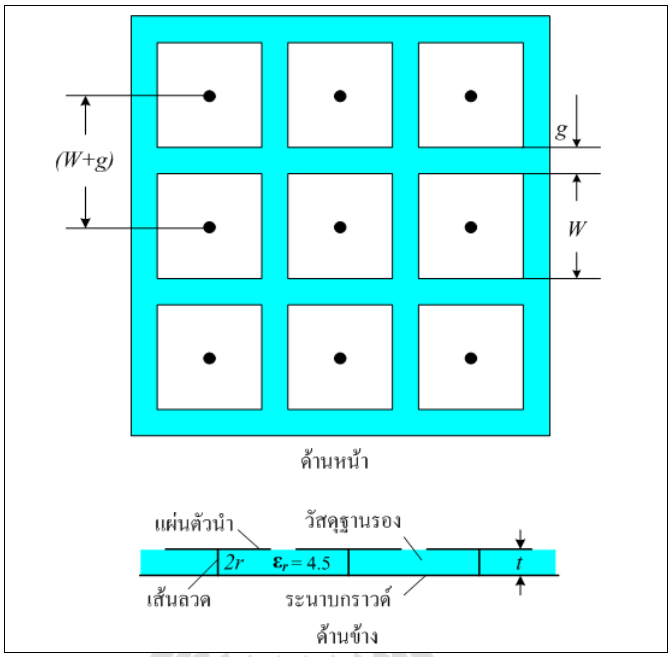


(ก) (ข)

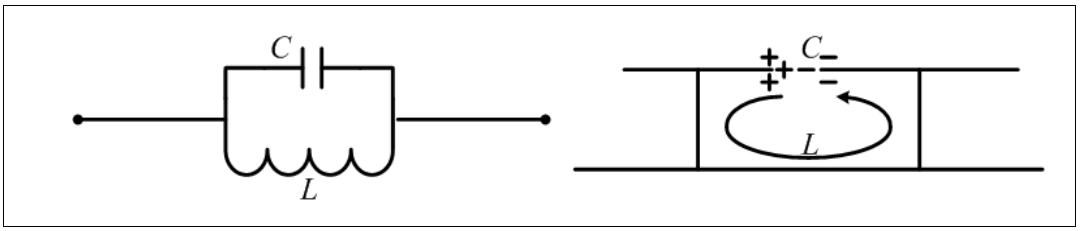
รูปที่ 3.18 โครงสร้างแบบ 2 มิติ (ก) โครงสร้างพื้นผิวแบบดอกเห็ด (ข) โครงสร้างพื้นผิวแบบระนาบเดียว

เพื่อง่ายต่อการสร้างและการนำไปใช้งาน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอโครงสร้างของช่องว่างความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างง่ายคือโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 (Yang F., Rahmat-Samii Y, 2009) โดยโครงสร้างสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วน ซึ่งประกอบด้วยส่วนบนจะเป็นแผ่นตัวนำ ส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างระนาบกราวด์และแผ่นตัวนำ และส่วนที่สาม คือ ระนาบกราวด์ สำหรับแผ่นตัวนำ

จะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม และมีเส้นลวดขนาดเล็ก (vias) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมแนวตั้งระหว่างแผ่นโลหะด้านบนกับระนาบกราวด์ ซึ่งมีรูปทรงเรขาคณิตคล้ายเห็ด (mushroomlike EBG) จากนั้นถูกนำมาประกอบเป็นแถวลำดับ ที่ซึ่งหนึ่งหน่วยของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าคือ จากเส้นลวดหนึ่งไปยังอีกเส้นลวดหนึ่งซึ่งมีความยาวน้อยกว่าหนึ่งความยาวคลื่น สามารถเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของหนึ่งหน่วยของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (Mushrommlike EBG)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.20 รูปแบบของค่าเหนี่ยวนำและค่าความจุของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

พารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดดอกเห็ด

W คือ ความกว้างของแผ่นตัวนำ (patch width)

g คือ ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (gap width)

t คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง (substrate thickness)

ε_r คือ ค่าคงที่สภาพยอมของไดอิเล็กตริก (dielectric constant)

r คือ รัศมีของเส้นลวด (vias)

$(W+g)$ คือ หนึ่งหน่วยความกว้าง (width of unit cell)

สามารถอธิบายรูปแบบสื่อกลางของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าได้ด้วยวงจรสมมูลของวงจรที่ประกอบไปด้วยตัวหนี่ยวนำ (L) และ ตัวเก็บประจุ (C) ค่าตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นเป็นผลจากช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำด้านบน และค่าเหนี่ยวนำเกิดจากกระแสที่ไหลไปตามตัวนำที่อยู่ใกล้กันเป็นวงจร LC ต่อแบบขนานซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์ขนานหาได้จาก

$$Z = \frac{j\omega L}{1-\omega^2 LC} \tag{3.17}$$

และค่าความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรสามารถคำนวณได้จาก

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{3.18}$$

ค่าของตัวเก็บประจุสามารถพิสูจน์โดยใช้เทคนิคการคำนวณวงจรขนานระหว่างตัวเก็บประจุ และ ตัวเหนี่ยวนำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C = \frac{W\varepsilon_0(1+\varepsilon_r)}{\pi} cosh^{-1}\left(\frac{2W+g}{g}\right) \tag{3.19}$$

ค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากกระแสที่วิ่งผ่านเส้นลวดขนาดเล็ก (vias) และแผ่นตัวนำ

$$L = \mu_0 t \tag{3.20}$$

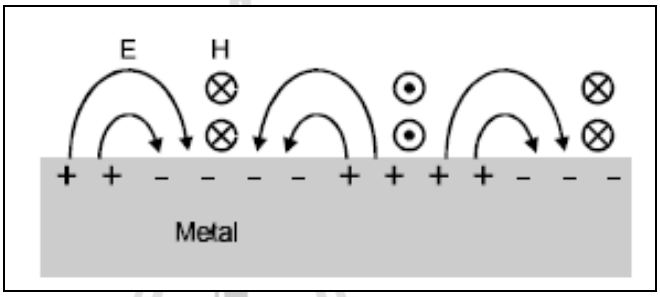
เมื่อ μ_0 คือ ความซาบซึมได้ (permeability)

ε_0 คือ สภาพยอม (permittivity)

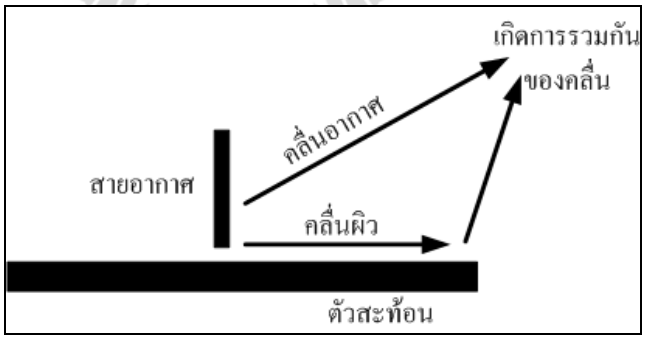
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.14 การแผ่พลังงานของสายอากาศบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.21 (ก) แสดงสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายบนพื้นผิวแผ่นโลหะในโหมด TM ซึ่งเกิดสนามแม่เหล็กมีทิศทางวนรอบตัวนำ ส่วนสนามไฟฟ้าวิ่งจากขั้วบวกไปยังขั้วลบที่บริเวณผิวของแผ่นโลหะ ถ้าวางสายอากาศด้านบนแผ่น โดยสายอากาศที่สามารถยกตัวอย่างได้ดีที่สุดคือสายอากาศโมโนโพล ซึ่งคลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือคลื่นที่แพร่กระจายสู่อากาศและคลื่นผิว โดยคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะไปรวมกัน ณ จุด ๆ หนึ่งดังรูปที่ 3.21 (ข) ในที่นี้ถ้าคลื่นทั้ง 2 ชนิดมีเฟสตรงกันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้



(ก) คลื่นผิวที่แพร่กระจายบนแผ่นโลหะในโหมด TM



(ข) การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลบนตัวสะท้อน

รูปที่ 3.21 คลื่นที่เกิดจากการวางสายอากาศบนแผ่นสะท้อน

3.15 การสะท้อนของเฟส (Reflection Phase)

อิมพิแดนซ์ระดับพื้นผิวกำหนดโดยเงื่อนไขขอบเขตที่พื้นผิวสำหรับคลื่นนิ่งประกอบด้วยคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน สำหรับพื้นผิวในระนาบ XZ อิมพิแดนซ์ระดับพื้นผิวดูจากคลื่นที่กระทบพื้นผิวจากทิศทาง X จะมีค่าตามสมการ

$$Z_s = \frac{E_z}{H_y} \tag{3.21}$$

เราสามารถกำหนดเฟสของการสะท้อนจากอิมพิแดนซ์ระดับพื้นผิว พิจารณาคลื่นนิ่งประกอบด้วยคลื่นวิ่งไปข้างหน้ากระทบบนพื้นผิวและคลื่นวิ่งกลับจากการสะท้อนกลับ สนามของคลื่นนิ่งหาได้จาก

$$E(x) = E_f e^{-jkx} + E_b e^{jkx} \tag{3.22}$$

$$H(x) = H_f e^{-jkx} + H_b e^{jkx} \tag{3.23}$$

เงื่อนไขของขอบเขตที่ X=0 กำหนดโดยอิมพิแดนซ์ระดับพื้นผิว

$$\frac{E_{total}(x=0)}{H_{total}(x=0)} = Z_s \tag{3.24}$$

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นวิ่งแต่ละคลื่นสัมพันธ์โดยอิมพิแดนซ์ของสูญญากาศ

$$\left|\frac{E_f(x)}{H_f(x)}\right| = \left|\frac{E_b(x)}{H_b(x)}\right| = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \eta \tag{3.25}$$

เฟสของการสะท้อนเป็นความแตกต่างเฟสระหว่างคลื่นวิ่งกลับและคลื่นที่วิ่งไปข้างหน้า

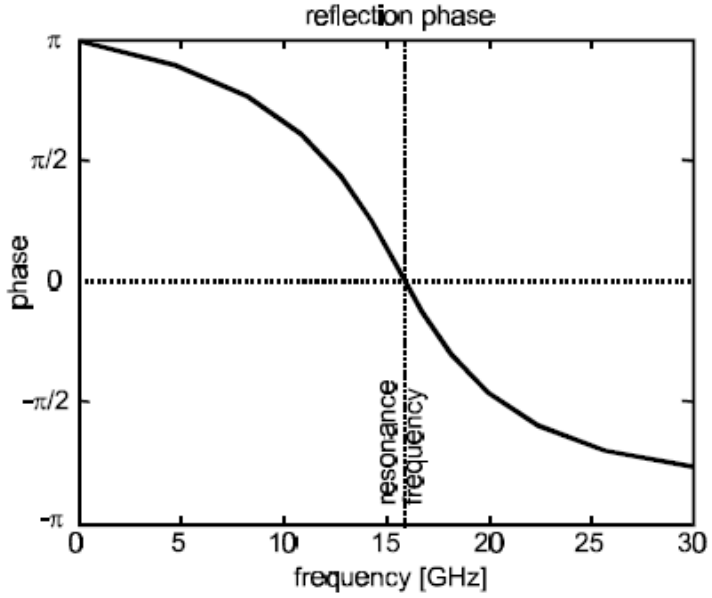
$$\Phi = Im\left\{ In\left(\frac{E_b}{E_f}\right)\right\} \tag{3.26}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลรวมของสมการ 3.24 และ 3.25 จะได้เฟสของการสะท้อนของพื้นผิวกับอิมพิแดนซ์ของสูญญากาศ

$$\Phi = Im\left\{ In\left(\frac{Z_s - \eta}{Z_s + \eta} \right) \right\} \tag{3.27}$$

สำหรับค่าที่ได้นำไปพล็อตเฟสสะท้อนกลับดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ขนาดเฟสของการสะท้อนคำนวณโดยใช้ผลของรูปแบบของวงจร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.16 ตัวอย่างการใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อเป็นท่าเรืออัจฉริยะ

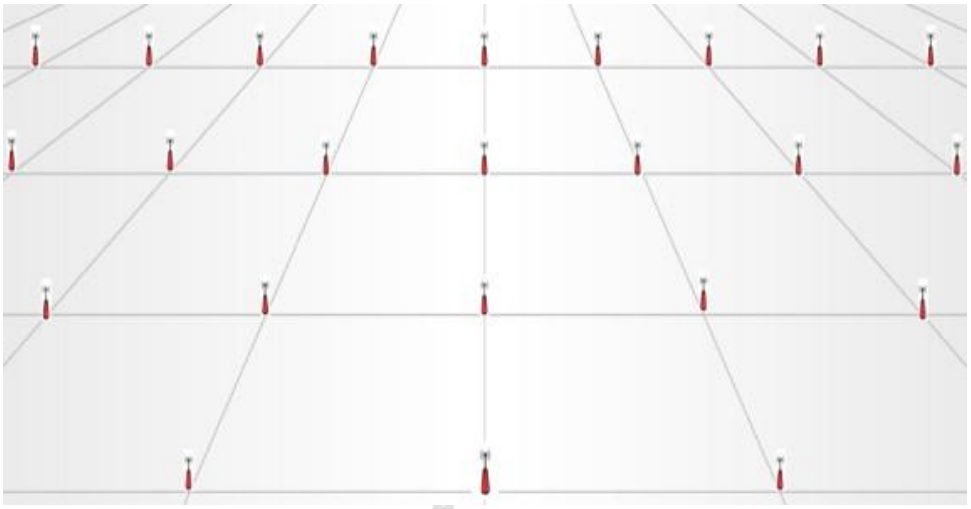
การนำเทคโนโลยี RFID ซึ่งเป็นสิ่งใหม่มาใช้เพื่อบริหารท่าเรือในภาพรวม รวมทั้งการควบคุมความปลอดภัยของการเคลื่อนย้ายสินค้าเข้า-ออกของท่าเรืออย่างมีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองปริมาณความต้องการของจำนวนสินค้าที่เพิ่มมากขึ้นของการค้าปัจจุบันได้ อีกทั้งระบบ RFID นี้ยังสามารถแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ความสามารถในการตรวจสอบสถานะของสินค้าได้ในทุกสภาวะ เช่น หิมะ น้ำแข็ง การเกิดหมอก ภายในตู้คอนเทนเนอร์ ในรถบรรทุก ในคลังสินค้าหรือในท่าเรือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็นความได้เปรียบของเทคโนโลยีนี้คือการไม่ต้องใช้คนในการติดต่อ สามารถติดตามและควบคุมสินค้าภายในพื้นที่ให้บริการได้โดยอยู่ตรงตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งก็ได้

เทคโนโลยี RFID เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นตัวกลางนำข้อมูลเพื่อใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ 2 ชนิดคือ อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Tag) และเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและการบริหารจัดการข้อมูลผ่านระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งเทคโนโลยี RFID นี้สามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ให้เกิดขึ้นได้ทั้งในภาคการผลิต และด้านโลจิสติกส์ มีการใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายเนื่องจากทำให้ต้นทุนของการบริหารจัดการต่ำลง ประโยชน์ของเทคโนโลยี RFID นี้ก่อให้เกิดกระบวนการทำงานที่เป็นอัตโนมัติ ซึ่งทำให้เกิดความรวดเร็ว ความยืดหยุ่น พัฒนาปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้เกิดคุณค่าในระบบบริหารจัดการซัพพลายเชน เป็นการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ขจัดปัญหาของความไม่มีประสิทธิภาพในกระบวนการทำงาน สร้างกรอบการทำงานโดยมีความร่วมมือ การวางแผน การติดตามและการลงมือปฏิบัติเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาการทำงานแบบตอบสนองทันที และยังเป็นตัวขับเคลื่อนนวัตกรรมในกระบวนการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนในอนาคต โดยติดแท็กไว้บนพาเลทหรือตู้คอนเทนเนอร์ในการเคลื่อนย้ายสินค้า

ตัวอย่างการนำระบบ RFID มาใช้เพื่อการควบคุมการเคลื่อนย้ายสินค้าในท่าเรือมี 2 ระบบ คือ

1. ระบบ “The Relevant Time Tracking System” (RTS) เป็นระบบ RFID ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์โครงข่าย หรือเครื่องอ่านข้อมูลที่ท่าเรือและจุดที่สำคัญตลอดเส้นทางการขนส่ง และใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (tag) ในการติดตามและควบคุมสินค้าบนรถบรรทุก เมื่อรถบรรทุกหรือตู้คอนเทนเนอร์ผ่านอุปกรณ์เครื่องอ่านข้อมูลก็จะส่งสัญญาณและเพื่อแจ้งสถานะของสินค้า

2. ระบบ “The Real Time Location and Tracking System” เป็นระบบ RFID อีกประเภทหนึ่งที่คล้ายกับระบบ RTS แต่แตกต่างที่อุปกรณ์นี้จะสามารถแจ้งสถานะของตู้คอนเทนเนอร์หรือรถบรรทุกได้แบบทันที เนื่องจากในอุปกรณ์ดังกล่าวนอกจากจะมีระบบ RFID แล้ว ยังมีการอ่านข้อมูลด้วยเครื่องอ่านในตัวเองและสามารถส่งข้อมูลแจ้งสถานะได้แบบทันทีในทุกระยะโดยใช้ระบบจีพีอาร์เอส (GPRS) เป็นตัวส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบโครงข่าย ซึ่งเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยนี้ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานในท่าเรือที่มีระบบบริหารจัดการโดยใช้คน เนื่องจากระบบนี้จะมีประโยชน์ในการบริหารจัดการตั้งแต่สินค้ามาถึงท่าเรือ การควบคุมการจัดการสินค้า การตรวจสอบ จนกระทั่งการนำสินค้าออกท่าเรือ แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.23 การติดตั้งเครื่องอ่าน (reader) ในท่าเรืออัจฉริยะ

การใช้เทคโนโลยี RFID สำหรับท่าเรืออัจฉริยะนี้เพื่อการควบคุมความปลอดภัยของสินค้าตั้งแต่การนำสินค้าลงจากเรือ การเคลื่อนย้ายสินค้าภายในท่าเรือ จนกระทั่งนำสินค้าออกจากท่าเรือ โดยมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการทราบว่าระบบนี้จะสามารถบอกสิ่งต่างๆ ที่ต้องการทราบดังต่อไปนี้ได้หรือไม่

- มีสินค้าอะไรบ้างที่มาถึงท่าเรือ
- มีสินค้าอะไรบ้างที่ผ่านเข้ามาในท่าเรือ
- สินค้าอะไรที่อยู่ในท่าเรือ
- สินค้าอะไรที่กำลังจะออกจากท่าเรือ
- ข้อมูลการเคลื่อนย้ายสินค้าที่ถูกกฎหมายและไม่ถูกกฎหมาย สามารถระบุความเสียหายที่ชี้วัดได้
- สามารถแจ้งเตือนถึงการฝ่าฝืนหรือกระทำผิดและรายงานให้แก่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องได้
- สามารถติดตามสถานะของสินค้าที่อ่อนไหวหรือสินค้าที่เน่าเสียง่ายได้
- สามารถให้ข้อมูลที่สำคัญหรือระบุความเสียหายที่สามารถชี้วัดได้เมื่อต้องการ
- สามารถแจ้งเตือนเมื่อต้องการทราบถึงการผ่านเข้าไปยังพื้นที่ที่กำหนดได้

ในการออกแบบระบบดังกล่าวมีการทำงานโดยมีระบบและอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องคือ

1. <u>เทคโนโลยี</u> เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในระบบมีดังนี้

1.1 Cargo Shipment tag/Electronic Seal (อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ควบคุมสินค้า) ต้องอยู่ภายใต้มาตรฐาน ISO17363/18185 และ ISO18000-7

1.2 Asset or Item tags เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีความเป็นอัจฉริยะที่สูงขึ้นใช้สำหรับสินค้าที่มีความอ่อนไหวสูงซึ่งจะมีการติดอุปกรณ์ sensor เพื่อให้สามารถตรวจสอบสินค้าได้ตลอดเวลา ภายใต้มาตรฐาน ISO18007

1.3 License plate tag ใช้สำหรับการติดตามรถบรรทุกหรือใช้สำหรับอุปกรณ์ที่ทำการยกสินค้าออกจากท่าเรือ

1.4 RFID Infrastructure in the port เป็นระบบโครงข่ายอัตโนมัติสำหรับเครื่องอ่านบันทึกข้อมูล (RFID reader) ซึ่งมีระยะการอ่านข้อมูลของจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ในระยะ 100-150 เมตร เนื่องจากระยะการอ่านแท็กสูงสุดคือ 8 ถึง 10 เมตร ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบการติดตั้งเครื่องอ่านบันทึกเป็นแบบโครงข่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.22

1.5 Communication Infrastructure เป็นระบบโครงข่ายสำหรับการส่งข้อมูลสัญญาณจากแท็กเข้าสู่ระบบศูนย์กลางบริหารจัดการและควบคุม (Central Processing and Control Center–CPCC)

2. <u>การออกแบบระบบย่อย</u> ประกอบด้วย

2.1 ระบบศูนย์กลางบริหารจัดการและควบคุม (Central Processing and Control Center–CPCC) เป็นระบบที่เป็นหัวใจหลักในการควบคุมและประสานงานการรับ-ส่งข้อมูลทั้งจากภายในและภายนอกระบบ รวมไปถึงเชื่อมต่อกับระบบศุลกากรที่อยู่เบื้องหลัง โดยระบบนี้จะทำการรับข้อมูลการอ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านข้อมูลทุกตัว ทำการคัดกรอง แยกประเภทและวิเคราะห์ประมวลผลระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณกับแผนที่และทำการแจ้งข้อมูลสถานะของสินค้าที่ได้รับอนุญาตหรือไม่ได้รับอนุญาตส่งไปยังระบบ LMCM

2.2 ระบบการบริหารและควบคุมการเคลื่อนที่ของสินค้าในแต่ละพื้นที่ (Location Movement Control and Management–LMCM) เป็นระบบที่ทำหน้าที่ในการประมวลข้อมูลและสถานะของสินค้าที่อยู่ในท่าเรือทั้งที่ได้รับอนุญาตและไม่ได้รับอนุญาต ติดตามสถานะของอุปกรณ์ส่งสัญญาณและรายงานหากมีสินค้าที่ไม่ได้รับอนุญาตอยู่ในพื้นที่

2.3 ระบบการควบคุมและติดตามสินค้าที่มีความอ่อนไหว (Sensitive Goods Control and Monitoring – SGCM) ระบบนี้ทำหน้าที่ในการติดตามสินค้าที่เน่าเสียได้ง่ายและสินค้าที่มีความเสี่ยงสูง โดยระบบนี้จะทำหน้าที่ในการติดตามสินค้าที่ติดแท็กที่มีตัวจับสัญญาณ ซึ่งใช้เฉพาะสินค้าที่เน่าเสียง่ายและสินค้าที่มีความเสี่ยงสูง หากระบบนี้ตรวจพบสิ่งผิดปกติจะทำหน้าที่ในการแจ้งเตือนและส่งข้อมูลหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2.4 ระบบการบริหารจัดการและควบคุมสินค้า (Cargo Handling Control and Management–CHCM) ระบบนี้จะทำหน้าที่ในการแนะนำคนขับรถโฟล์คลิฟท์หรือรถบรรทุกใน

การใช้เส้นทางที่จะเข้าไปหยิบสินค้า ซึ่งรถบรรทุกหรือรถโฟล์คลิฟท์จะต้องมีการติดสัญญาณนำทางด้วย โดยระบบนี้จะเชื่อมต่อข้อมูลการอ่านแท็ก หากมีการหยิบสินค้าผิด แท็กจะแจ้งผลไปยังระบบ CPCC เพื่อทำการควบคุมและแจ้งเตือนไปยังพนักงานขับรถบรรทุกหรือรถโฟล์คลิฟท์ทันที

2.5 ระบบการบริหารตรวจสอบและปล่อยสินค้า (Verification Control and Release Management – VCRM) ระบบนี้ทำหน้าที่ในการติดตามและตรวจสอบสินค้า หากพบว่าสินค้ามิได้ทำการเคลียร์ตามระเบียบหรือข้อปฏิบัติที่ถูกต้อง ระบบจะทำการแจ้งเตือนเพื่อมิให้สินค้าดังกล่าวเคลื่อนย้ายออกจากท่าเรือ

นอกจากนี้ ยังมีระบบสนับสนุนอื่นๆ อีกเช่น ระบบสุ่มตรวจโดยแบ่งสถานะของการตรวจเป็นสัญญาณสีต่างๆ เช่น 90% ของสินค้าทั้งหมดที่ไม่สงสัยจะแสดงผลสีเขียว 20 %ที่มีความสงสัยจะทำการตรวจสอบซึ่งจะต้องผ่านเครื่อง X-RAY เพื่อทำการตรวจสอบเกี่ยวกับอาวุธและยา รวมทั้ง 1% เป็นสีแดงก็ต้องทำการตรวจสอบและผ่านเครื่อง X-RAY ด้วยเช่นกัน

การบริหารท่าเรือนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับท่าเรือต่างๆ ทั่วโลกในการบริหารจัดการปริมาณเข้าออกของเรือ รถบรรทุก หรือข้อมูลความหลากหลายของสินค้าที่อยู่ในระบบให้สะดวกรวดเร็ว เพื่อให้เกิดต้นทุนที่ลดลง อีกทั้งเป็นการรองรับปริมาณสินค้าที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต ซึ่งความรวดเร็วและสะดวกเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในระบบบริหารจัดการซัพพลายเชนให้มีประสิทธิภาพ การนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อให้เกิดการทำงานแบบอัตโนมัติแทนการทำงานด้วยคนหรือเอกสารต่างๆ จะเป็นการทำให้เกิดความคุ้มค่าของการลงทุน เกิดผลกำไรที่มากขึ้น และสร้างรายได้ให้แก่องค์กร รวมทั้งยังสามารถขจัดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการทำงานด้วยคนหรือลดปริมาณเอกสาร หรือการเสียเวลาในการค้นหาข้อมูลได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เป็นการเพิ่มความปลอดภัยของสินค้าที่เคลื่อนย้ายอยู่ในระบบซัพพลายเชนในปัจจุบันและอนาคตได้

3.17 สรุป

สำหรับงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้สายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยนำสายอากาศไดโพลมาแมตซ์กับไอซีชิปและวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยการนำข้อดีของทั้งสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้สำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก เพื่อนำไปใช้งานกับวัสดุที่เป็นโลหะในท่าเรืออัจฉริยะได้

บทที่ 4
การออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับ อาร์เอฟไอดีแท็ก โดยออกแบบที่ความถี่ปฏิบัติการ 920-925 MHz เพื่อใช้งานร่วมกับไอซีชิป หลักการออกแบบสายอากาศสำหรับ RFID Tag นั้นเป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลให้แมตช์กับไอซีชิป สายอากาศที่ออกแบบแล้วจะถูกจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อดูค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะใกล้ของสายอากาศ และระยะการอ่าน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ

4.1.1 เครื่องอ่าน (Reader)

หน้าที่สำคัญของเครื่องอ่านข้อมูล ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้นหรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆไม่สิ้นสุด โดยเครื่องอ่านที่นำมาใช้งานคือ MR6134A เป็นเครื่องอ่านที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF แสดงในภาคผนวก

4.1.2 ไอซีชิป (IC Chip)

ไอซีชิปทำหน้าที่ เก็บข้อมูลของวัตถุ ในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้ อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือ ทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติ หน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านทำการติดต่อสื่อสารกัน สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะนำไอซีชิปแบบ UCODE G2XL มาใช้งาน ซึ่งเป็นไอซีชิปที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF และมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 21.3-j191.7 Ω ดังแสดงในภาคผนวก

4.1.3 ความถี่

ความถี่ที่ใช้งานคือ ความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ที่เป็นมาตรฐานของประเทศไทยคือความถี่ 920 - 925 MHz

4.2 การออกแบบสายอากาศไดโพล

จากบทที่ 3 ทฤษฎีสายอากาศไดโพล ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณความยาวของสายอากาศไดโพล คือ

$$L = \lambda/2 \tag{4.1}$$

เราสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงต่างๆ ของสายอากาศไดโพลได้ เมื่อกำหนดให้ความถี่ปฏิบัติการคือ 920-925 MHz ได้ดังต่อไปนี้

ความยาวของสายอากาศไดโพล หรือ ldd หาได้จาก

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}\ m/s}{922\times10^{6}\ Hz} = 325.4 \text{ mm}$$

ดังนั้น $$l_{dd} = \frac{\lambda}{2} = \frac{325.4}{2} = 162.7 \text{ mm}$$

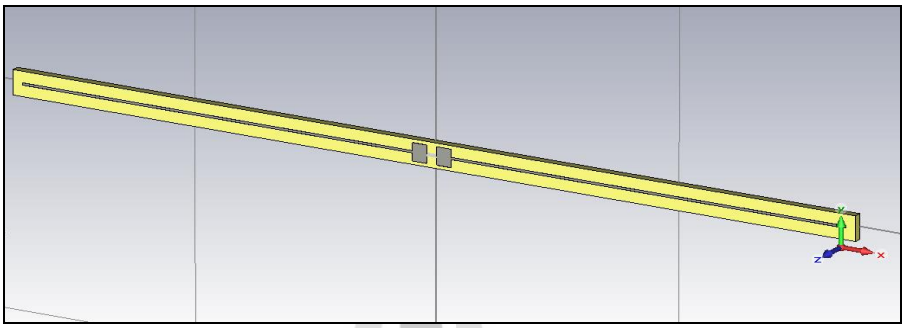
แต่โดยทั่วไปสายอากาศไดโพลที่ความยาวครึ่งคลื่นจะมีอิมพุตอิมพิแดนซ์เท่ากับ 73 โอห์ม สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการออกแบบสายอากาศไดโพลเพื่อใช้งานร่วมกับไอซีชิป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาหาความยาวที่เหมาะสมสำหรับอิมพิแดนซ์ที่ต้องการ

จากทฤษฎีบทที่ 3 การแมตซ์ (Matching) เราสามารถหาค่าอิมพิแดนซ์ของสายอากาศกับไอซีชิปได้ดังสมการ

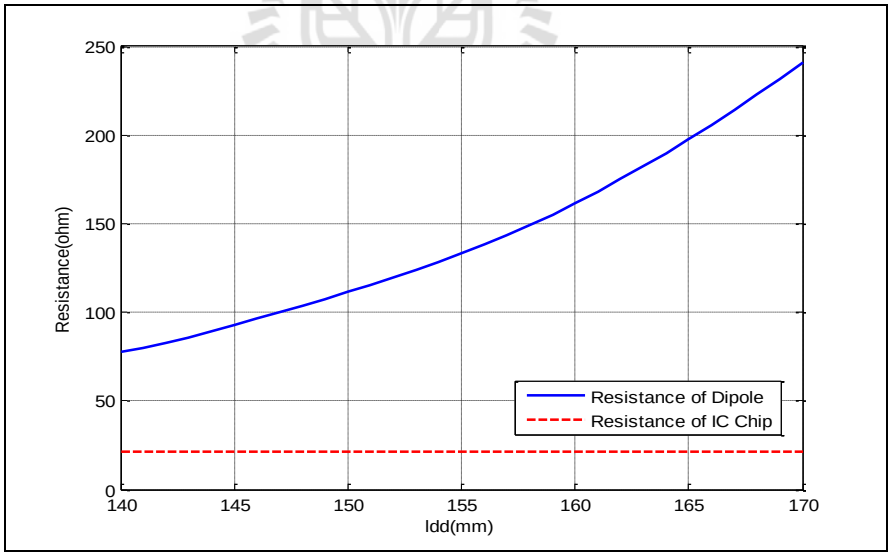
$$Z_{Ant} = Z_c^* \tag{4.2}$$

ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศควรจะมีค่าเท่ากับ 21.3+191.7 Ω ซึ่งจะตรงข้ามกับอิมพีแดนซ์ของไอซีชิปคือ 21.3-191.7 Ω เพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิป ซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายอากาศไดโพล โดยเริ่มต้นจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของสายอากาศไดโพลและอิมพิแดนซ์

ขั้นแรกจะทำการกำหนด ความกว้างสายอากาศเป็น 1 mm แล้วปรับค่าความยาวตั้งแต่ 140-170 mm ซึ่งได้จากสมการข้างต้น โดยใส่พอร์ต 50 Ω

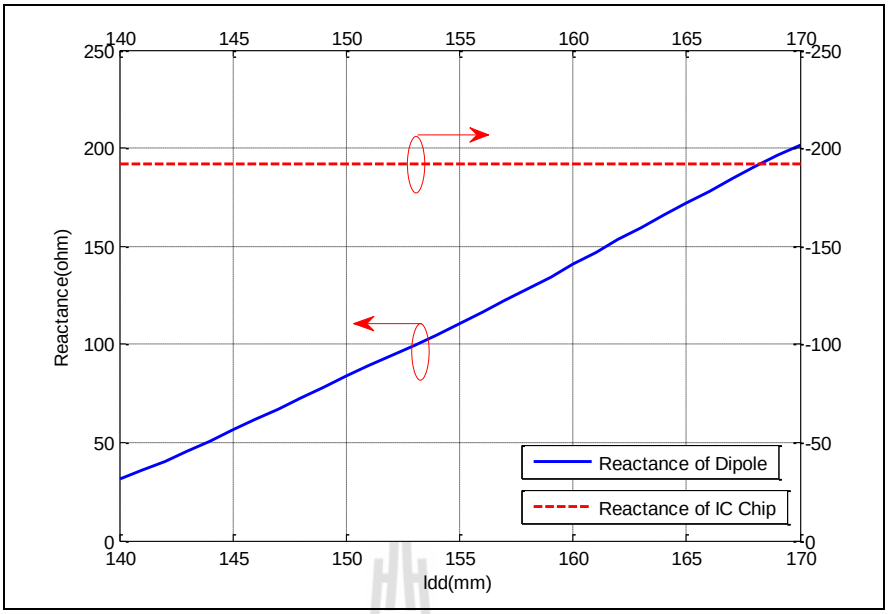


รูปที่ 4.1 สายอากาศไดโพล



(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)

รูปที่ 4.2 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่า Reactance ของสายอากาศและไอซีชิปเมื่อปรับความยาวของสายอากาศไดโพล

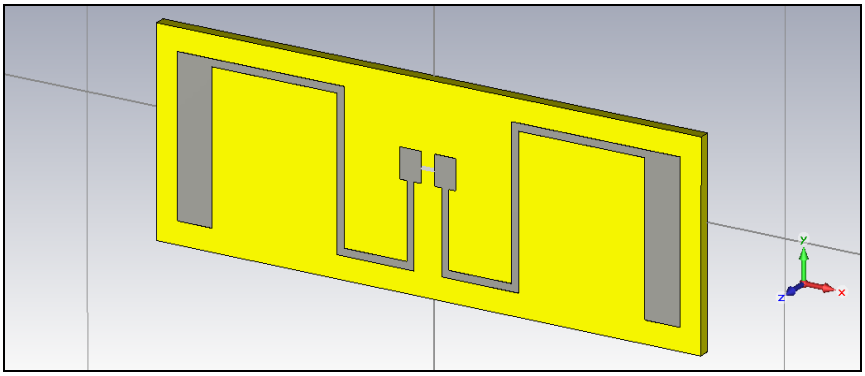


(ข) ค่า Reactance

รูปที่ 4.2 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่า Reactance ของสายอากาศ
และไอซีชิปเมื่อปรับความยาวของสายอากาศไดโพล(ต่อ)

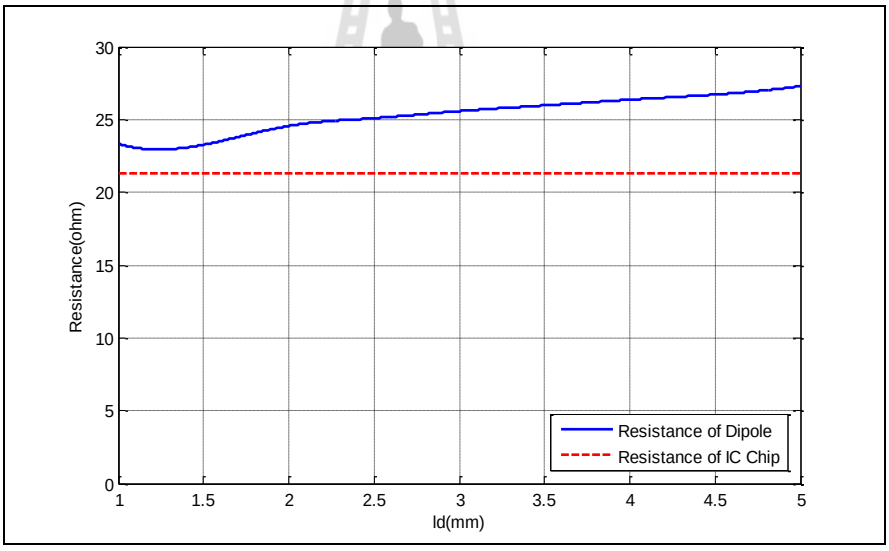
จากรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าเมื่อปรับความยาวของไดโพลตั้งแต่ 140-170 mm พบว่าค่าความต้านทาน (Resistance) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 80-240 Ω และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 40-200 Ω ดังนั้นค่าความต้านทานของสายอากาศนั้นยังไม่เท่ากับของไอซีชิป ส่วนค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศจะมีค่าใกล้เคียงกับ รีแอคแตน์ของไอซีชิป ในช่วง ldd ยาวประมาณ 165-170 mm

เนื่องจากลักษณะแนวโน้มของค่าความต้านทานและรีแอคแตนซ์ ของสายอากาศไดโพลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวของไดโพล ทำให้หาความยาวที่เหมาะสมเพื่อแมตซ์สายอากาศไดโพลกับไอซีชิปได้ยาก ถ้าใช้สายอากาศไดโพลที่ความยาว 165 mm ซึ่งมีรีแอคแตนซ์เท่ากับ 191.7 Ω จะส่งผลให้ค่าความต้านทานของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 170 Ω ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่สูงมาก แต่เราต้องการค่าความต้านทาน 21.3 Ω เพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิป จึงทำการหักงอและเพิ่มความกว้างในส่วนปลายของไดโพลดังรูปที่ 4.3 ดังนั้นการลดรูปโดยการหักงอให้เหลือขนาด 4 x 8 เซนติเมตร เพื่อสะดวกในการใช้งาน โดยเริ่มปรับที่ส่วนปลายของสายอากาศ



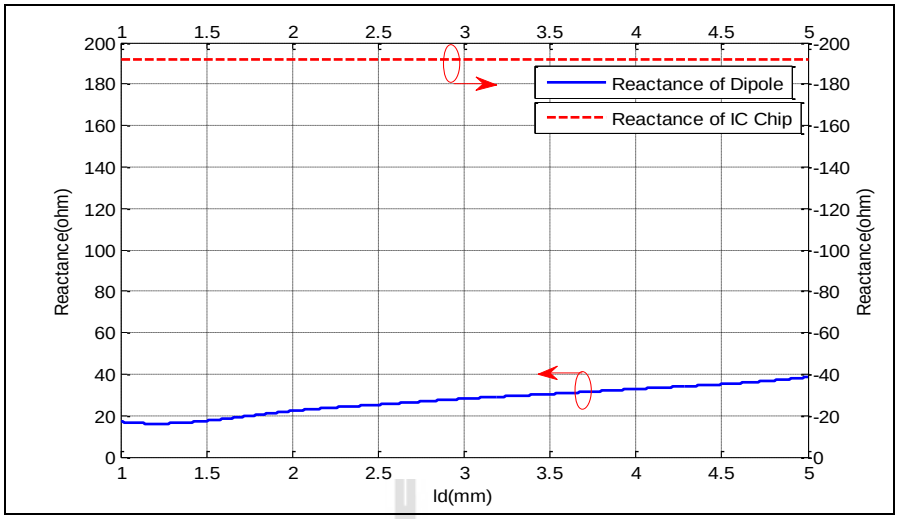
รูปที่ 4.3 สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอ

ค่าที่กำหนดคือ ความยาวของเส้นที่หักงอ 170 mm ความกว้างของเส้น 1 mm ปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศตั้งแต่ 1- 5 mm



(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)

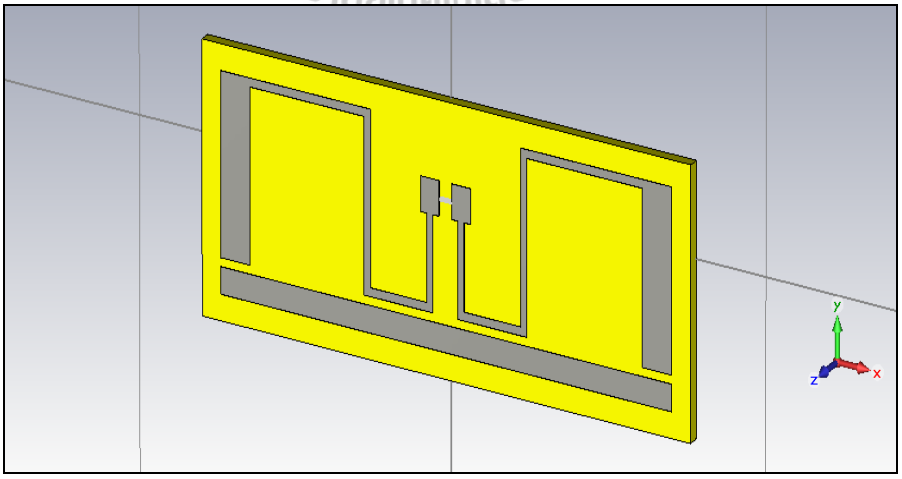
รูปที่ 4.4 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอเมื่อปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศ



(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.4 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอเมื่อปรับความกว้างส่วนปลายของสายอากาศ (ต่อ)

จากรูปที่ 4.4 (ก) จะเห็นว่าค่าความต้านทานสายอากาศนั้นมีความใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการอยู่ช่วงความกว้างประมาณ 1-2 mm ส่วนค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศนั่นยังไม่ได้ตามต้องการดังรูปที่ 4.4 (ข) เพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิป จึงทำการเพิ่มเส้นพาราซิติกขึ้นมาอีกหนึ่งเส้นดังรูปที่ 4.5

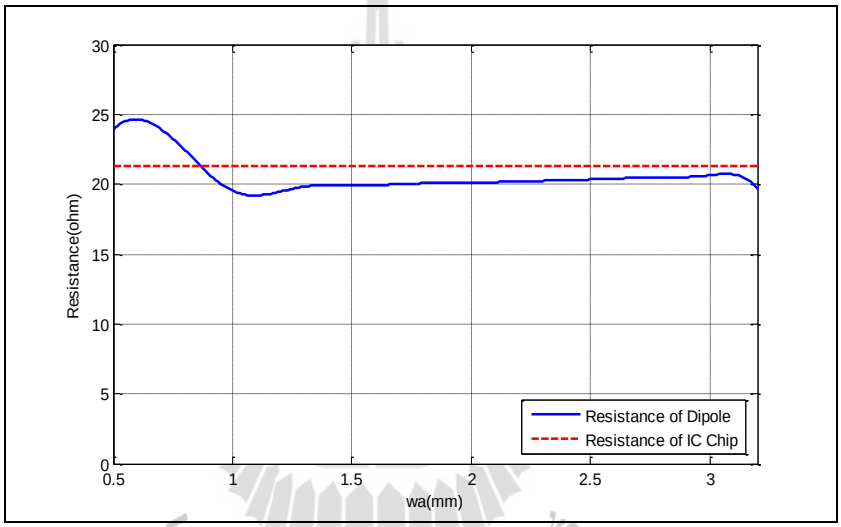


รูปที่ 4.5 สายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก

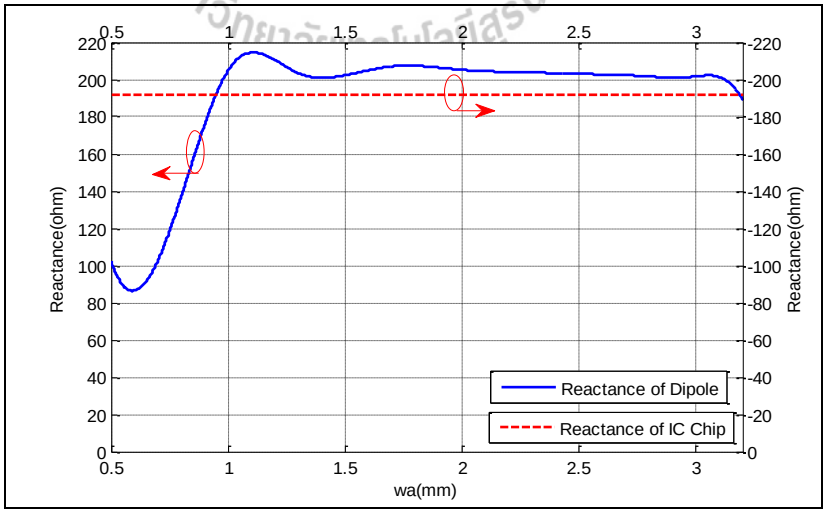
ค่าที่กำหนดคือ ความยาวของเส้นที่หักงอ 170 mm ความกว้างของเส้น 1 mm ส่วนปลายกว้าง 4.5 mm ระยะห่างเส้นหักกับเส้นตรง 1 mm ปรับความกว้างของเส้นพาราซิติก 0.5-3.2 mm

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการอยู่ในช่วงความกว้างประมาณ 0.5-1 mm แต่เพื่อให้สายอากาศกับไอซีชิปแมตช์มากขึ้นจึงทำการปรับค่าระยะห่างระหว่างเส้นหักงอกับเส้นพาราซิติกเพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ต้องการมากขึ้น ดังรูปที่ 4.5

ค่าที่กำหนดคือ ความยาว 170 mm ความกว้างของเส้น 1 mm ส่วนปลายกว้าง 4.5 mm ความกว้างของเส้นตรง 2 mm ปรับระยะห่างระหว่างเส้นที่ทำการหักงอกับเส้นตรง 0.6-1.5 mm

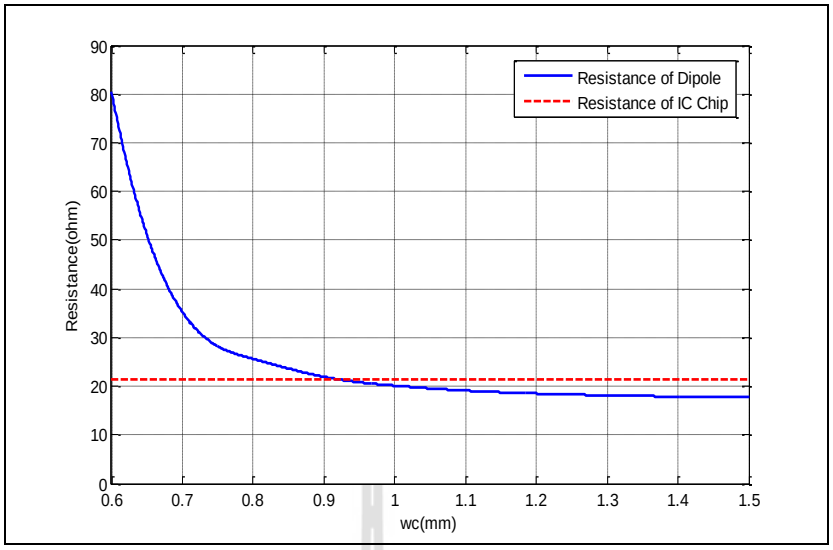


(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)

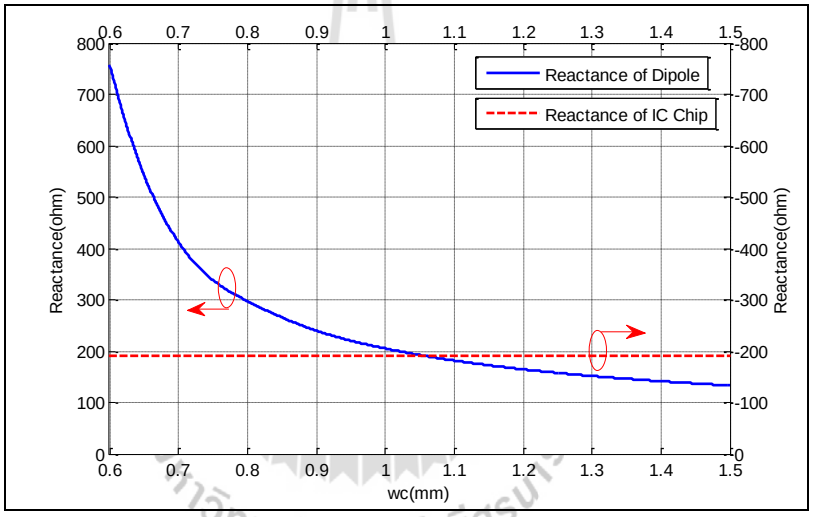


(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก เมื่อปรับความกว้างของเส้นพาราซิติก



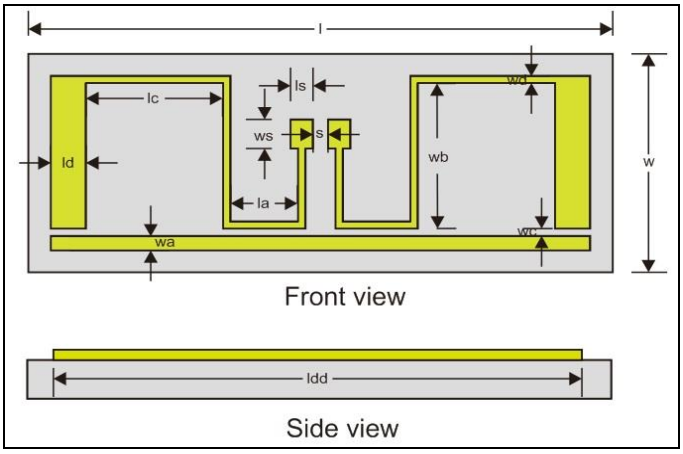
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.7 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่า Reactance ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก เมื่อปรับระยะของเส้นหักงอกับเส้นพาราซิติก

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการอยู่ในช่วงความกว้างประมาณ 0.9 - 1.1 mm หลังจากนั้นเราจึงปรับอีกเล็กน้อยเพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิปมากขึ้นจึงได้ขนาดออกมาดังรูปที่ 4.8 และมีค่าพารามิเตอร์ต่างตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.8 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ

ตารางที่ 4.1 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอต้นแบบ

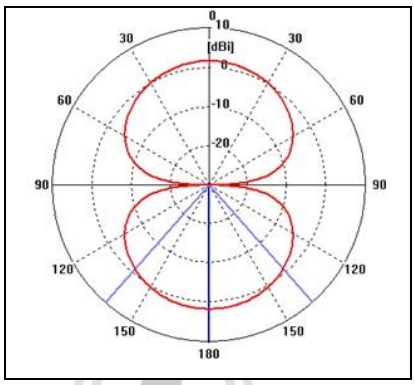
Parameters	Physical Size (mm)
W	30
Wa	2
Wb	20
Wd	1
Wc	1
Ws	4
L	78
La	9
Ld	4.7
Ldd	72
Lc	18.3
Ls	3
S	2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

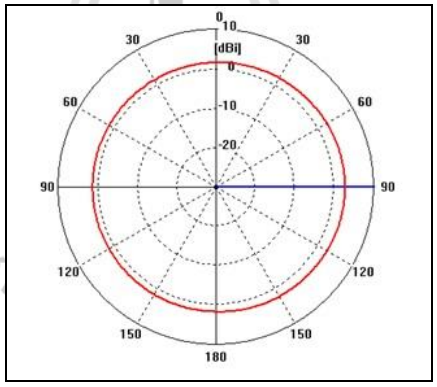
4.3 ผลการจำลอง RFID Tag โดยใช้สายอากาศไดโพล

จากเดิมที่ใช้พอต 50 Ω เปลี่ยนเป็นใช้พอต 21.3 Ω และใส่ค่า $C = 9x10^{-13}$ F ซึ่งคำนวนมาจากสมการที่ 4.3

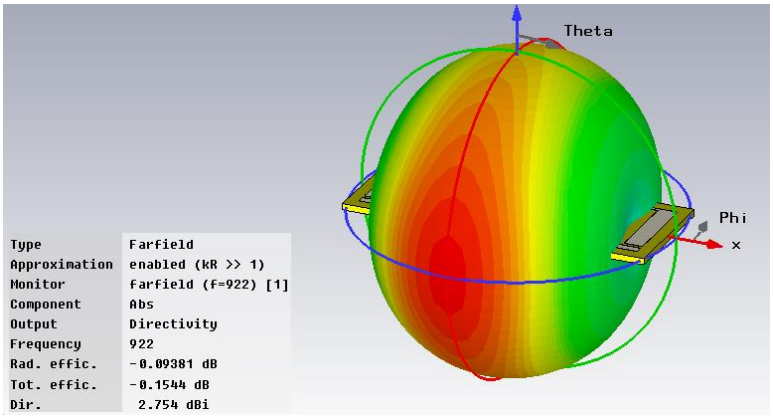
$$C = \frac{1}{\omega X} \tag{4.3}$$



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



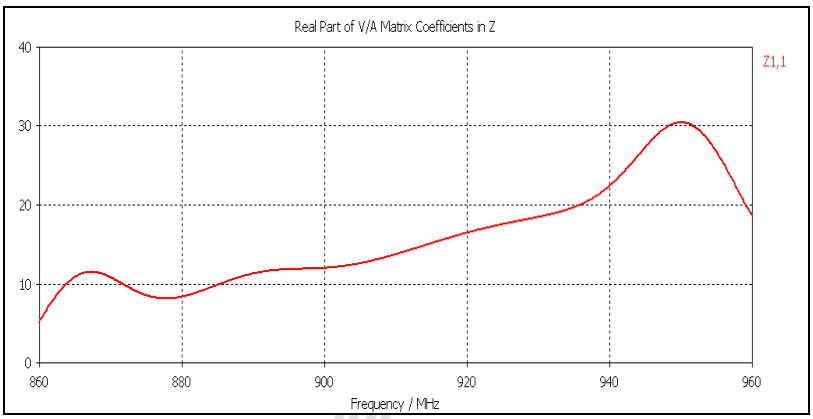
(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก



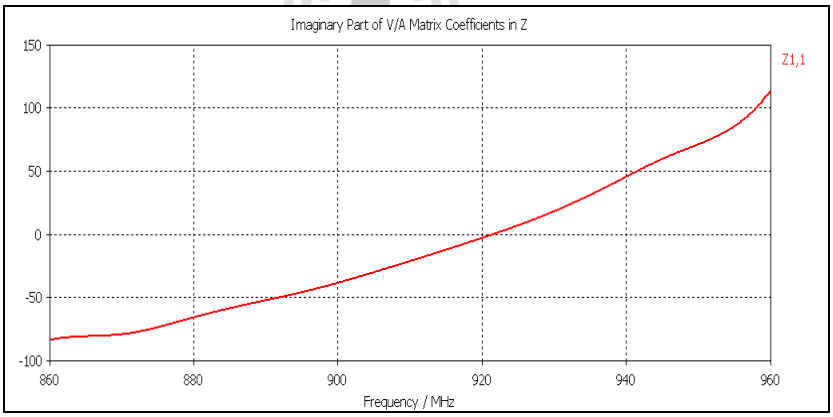
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.9 ผลการจำลองแบบของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 920-925 MHz

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของแท็กมีลักษณะรอบตัวในระนาบเดี่ยว และมีอัตราขยาย 2.75 dB ดังแสดงในรูป 4.9 (ค)

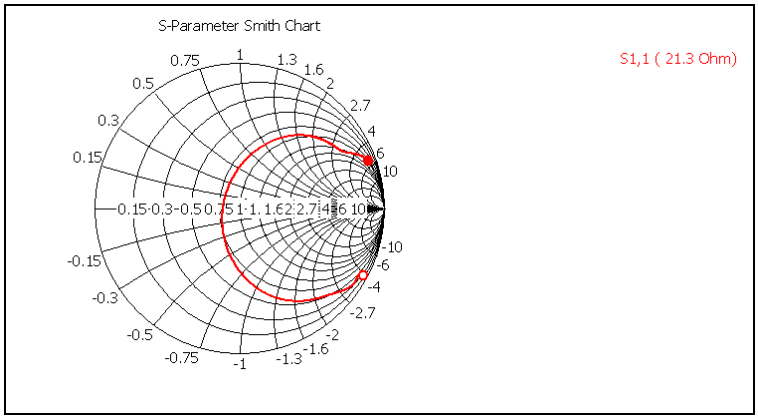


(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



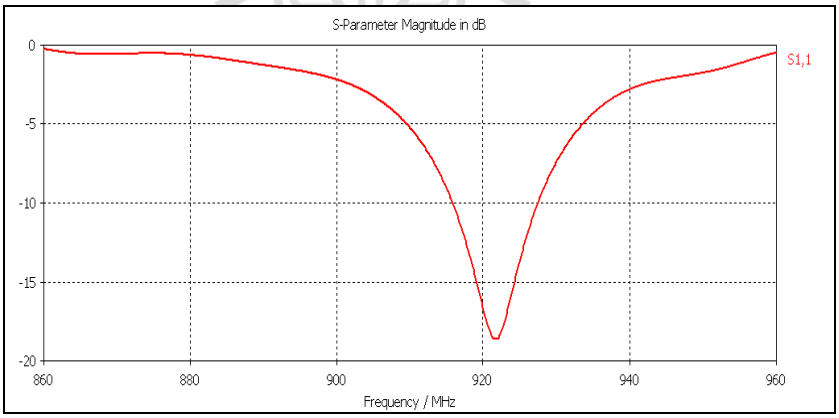
(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.10 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพล



รูปที่ 4.11 Smith chart ของสายอากาศไดโพล

จากรูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 920-925 MHz ได้อัตราขยายเท่ากับ 2.754 dB ส่วนค่าความต้านทานของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ 17 Ω ดังรูปที่ 4.10 (ก) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ และค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHzได้ประมาณ 0 Ω ดังรูปที่ 4.10 (ข) ซึ่งแสดงว่าสายอากาศแมตช์กับไอซีชิปแล้วดัง Smith chart ตามรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.12 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพล

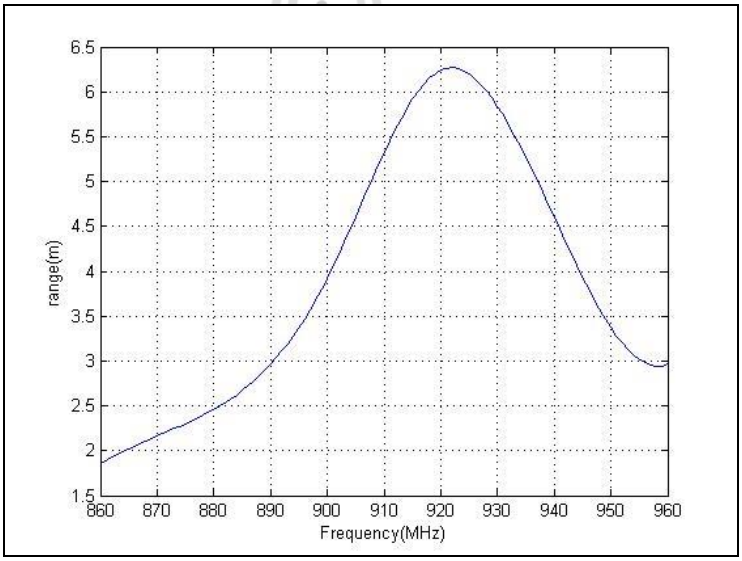
จากสมการ (4.2) วิธีการเพื่อที่จะแมตช์ให้ดีที่สุดระหว่างสายอากาศกับไอซีชิปเพื่อที่จะลดกำลังงานสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S^2|$ เป็นไปดังสมการ

$$\left|S^2\right| = \left|\frac{Z_{Ant} - Z_c^*}{Z_{Ant} + Z_c}\right| \tag{4.4}$$

โดยที่เรารู้พารามิเตอร์สายอากาศของแท็ก สามารถคำนวณประสิทธิภาพของแท็กได้ดังสมการ

$$R = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_T}{P_R} \bullet G_R G_T} \tag{4.5}$$

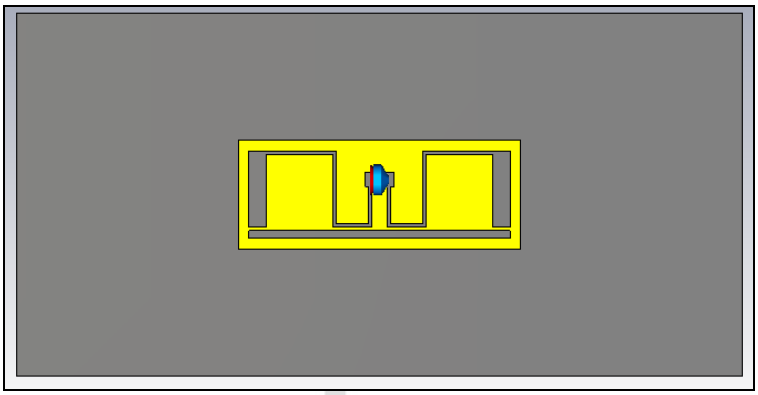
โดยที่ λ คือความยาวคลื่น P_R กำลังงานการแผ่จากเครื่องอ่าน P_T คือกำลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องการของไอซีชิป G_Rและ G_T คืออัตราการขยายของเครื่องอ่านและสายอากาศของแท็กตามลำดับ



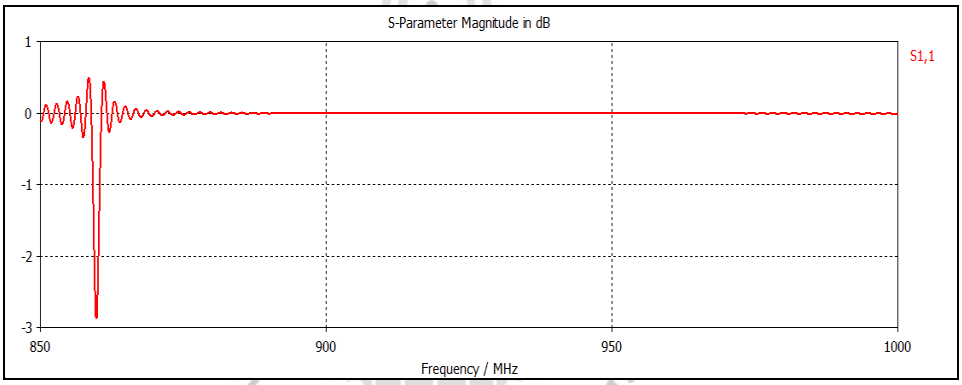
รูปที่ 4.13 ระยะการอ่านของสายอากาศไดโพล

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศจะเห็นว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 915-927 MHz ส่วนระยะการอ่านที่ความถี่ 922 MHz สามารถอ่านได้ประมาณ 6.43 เมตร ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งคำนวณมาจากสมการ (4.5)

4.4 ผลกระทบของแท็กไดโพลเมื่อวางบนวัสดุที่เป็นโลหะ



รูปที่ 4.14 แท็กไดโพลวางบนวัสดุโลหะ



รูปที่ 4.15 ค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแท็กบนโลหะ

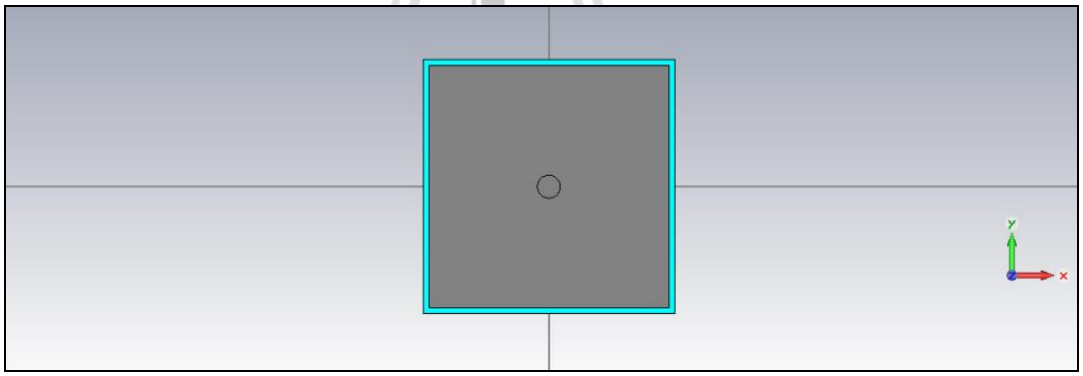
จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลแท็ก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำสายอากาศไดโพลแท็กไปวางบนวัสดุโลหะดังแสดงในรูปที่ 4.14 จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการเนื่องจากการนำตัวแท็กไปวางบนแผ่นโลหะจะทำให้ค่าอิมพิแดนซ์ของสายอากาศไดโพลแท็กเปลี่ยนไปทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับใช้งานร่วมกับสายอากาศไดโพลแท็กเพื่อให้สายอากาศไดโพลแท็กสามารถใช้งานบนโลหะได้ ซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

4.5 การศึกษาช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (EBG)

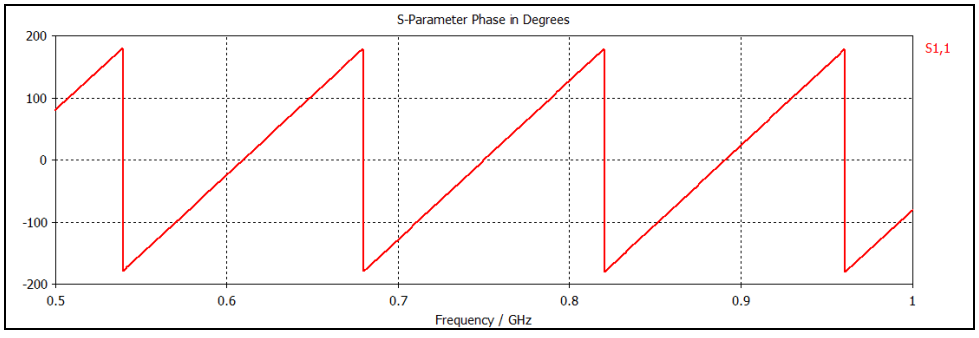
ออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดดอกเห็ดโดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังนี้ (Bo Gao and Matthew M. F. Yuen, 2011) ซึ่งใช้เป็นค่าพารามิเตอร์อ้างอิงเริ่มต้นในการออกแบบ

ตารางที่ 4.2 ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

หมายเลข	พารามิเตอร์		
	ส่วนประกอบ	ขนาด (mm.)	ชนิด
1	ความกว้างของแผ่นตัวนำ (w)	17	ทองแดง
2	ความสูงของวัสดุฐานรอง (t)	1.8	ทองแดง
3	รัศมีของเส้นลวด (r)	1	ทองแดง
4	ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g)	1	



รูปที่ 4.16 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

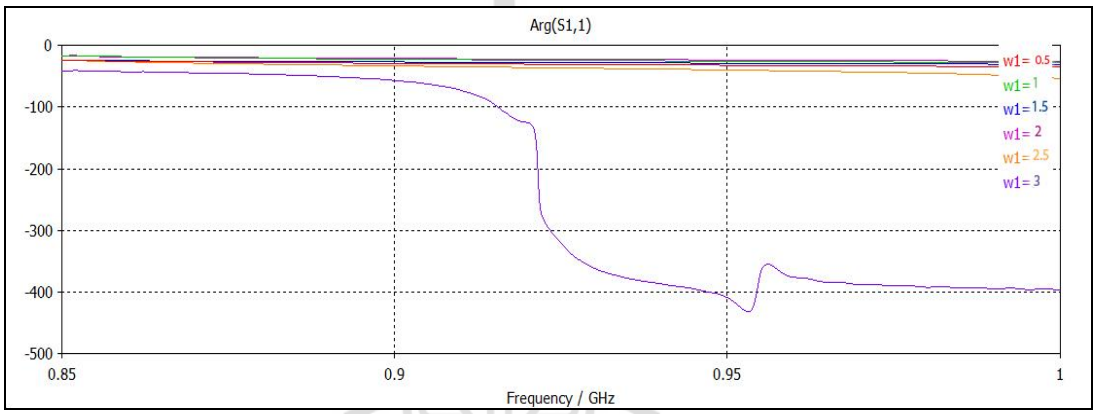


รูปที่ 4.17 เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.17 เป็นเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นว่าเฟสสะท้อนที่ความถี่ 920-925 MHz มีค่าเท่ากับ 80 องศา ถ้าต้องการนำแท็กไดโพลวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจำเป็นต้องออกแบบให้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสสะท้อน 0 องศาตามที่เราต้องการ เนื่องจากเฟสสะท้อนที่ 0 องศาทำให้คลื่นด้านหลังของไดโพลสะท้อนมาด้านหน้าด้วยเฟสตรงกันกับคลื่นด้านหน้า ดังนั้นในส่วนต่อไปจะทำการศึกษาพารามิเตอร์ของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ ค่า g w และ r

4.5.1 ปรับค่าช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g)

จะทำการปรับขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g) โดยจะให้ รัศมี (r) = 1 mm ความกว้างของแผ่นตัวนำ (w) =17 mm โดยปรับช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำตั้งแต่ 0.5-3 mm.

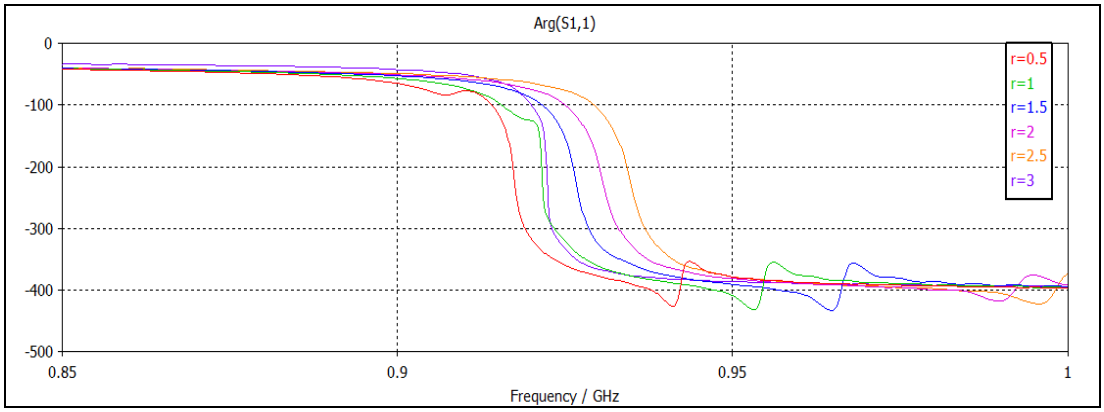


รูปที่ 4.18 เฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อปรับขนาดช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ

จากรูปที่ 4.18 เมื่อทำการปรับค่าขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ จะเห็นว่าค่าของเฟสจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับ 0 ที่ขนาด g=3 mm

4.5.2 ปรับค่ารัศมีเส้นลวด (r)

ต่อมาเราจะทำการปรับค่ารัศมีเส้นลวด (r) โดยกำหนดให้ความกว้างของแผ่นตัวนำ (w) =17 mm และช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g) เลือกใช้ที่ขนาด 3 mm

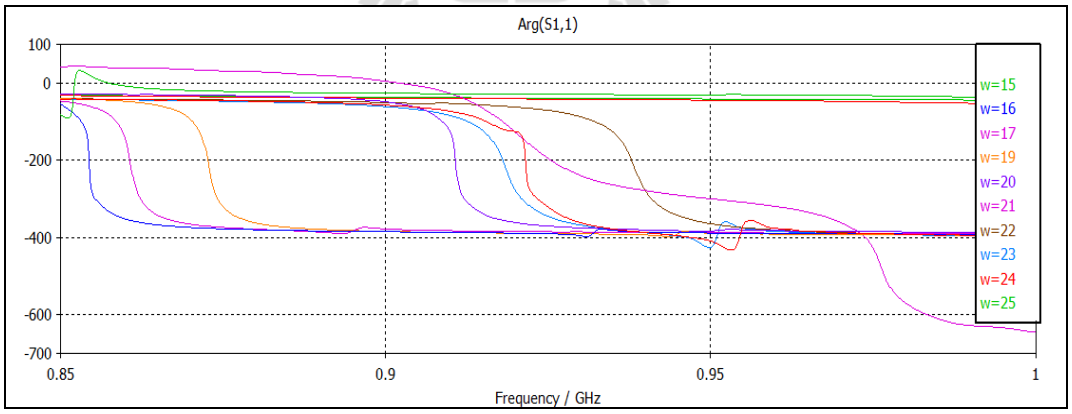


รูปที่ 4.19 เฟสของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่ารัศมี

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับขนาดรัศมีของเส้นลวดแล้วจะทำให้เฟสมีค่าใกล้ 0 ที่ขนาดรัศมีประมาณ 2 mm

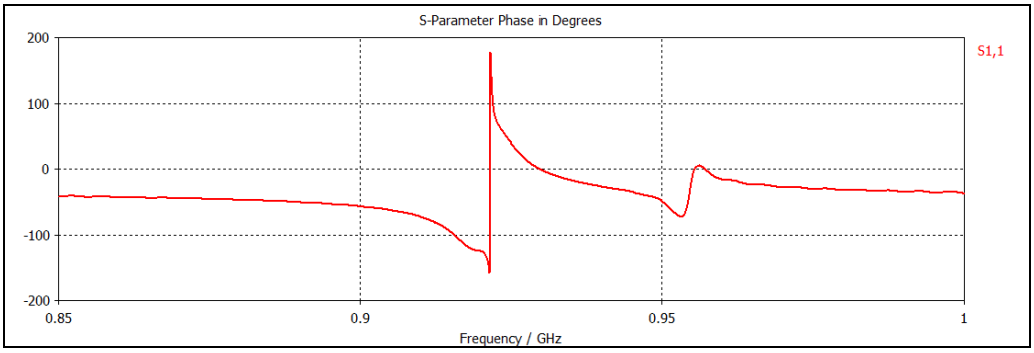
4.5.3 ปรับค่ากว้างของแผ่นตัวนำ (w)

ต่อมาเราจะทำการปรับค่าความกว้างของแผ่นตัวนำ (w) โดยกำหนดให้ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g) เลือกใช้ที่ขนาด 3 mm และเลือกใช้ขนาดของรัศมีของเส้นลวดที่ขนาด 2 mm



รูปที่ 4.20 เฟสช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปรับค่าความกว้างของแผ่นตัวนำ

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับขนาดความกว้างของแผ่นตัวนำแล้วจะทำให้เฟสมีค่าใกล้ 0 องศา ที่ขนาด 22 mm ต่อมาเราจะทำการปรับค่าอีกเล็กน้อยเพื่อให้ได้ค่าที่ดียิ่งขึ้น จะได้เฟสดังรูปที่ 4.21 และจะมีขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าตามตารางที่ 4.3



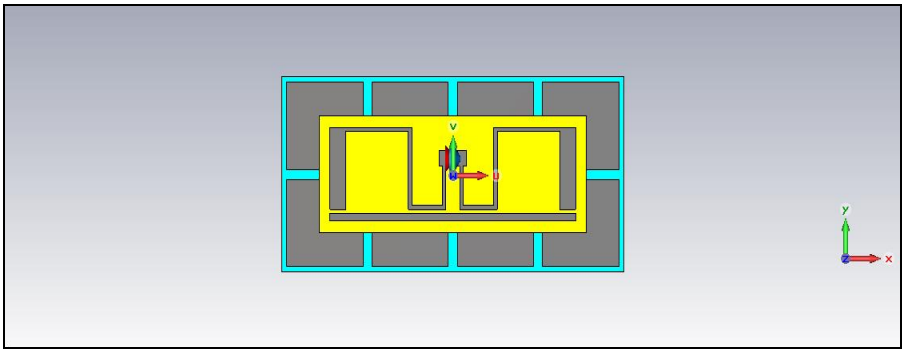
รูปที่ 4.21 เฟสสะท้อนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

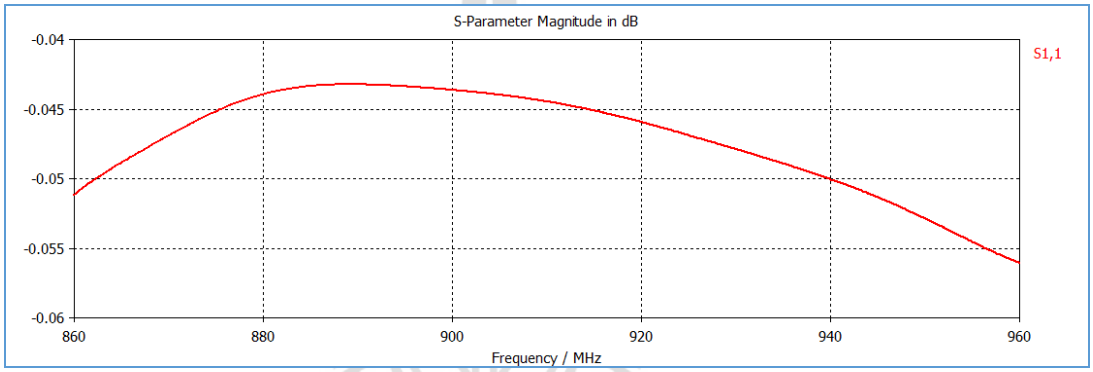
หมายเลข	พารามิเตอร์		
	ส่วนประกอบ	ขนาด (mm.)	ชนิด
1	ความกว้างของแผ่นตัวนำ (w)	22.5	ทองแดง
2	ความสูงของวัสดุฐานรอง (t)	3.2	ทองแดง
3	รัศมีของเส้นลวด (r)	2	ทองแดง
4	ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g)	2	

4.6 การศึกษาพารามิเตอร์ของอาร์เอฟไอดีแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้นำเสนอสายอากาศสตริปไดโพลบนแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้านั้นถูกนำมาใช้เพื่อเป็นแผ่นสะท้อนให้มีประสิทธิภาพในการระงับคลื่นผิวในช่วงความถี่ปฏิบัติการที่ต้องการ โดยเลือกใช้แบบจำลองสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ดังที่ออกแบบในหัวข้อข้างต้นเริ่มต้นการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศสตริปไดโพลด้วยการวิเคราะห์เฟสของการสูญเสียย้อนกลับของผิวช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าถูกนำมาจัดแถวลำดับ เมื่อเราได้ขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเราจะทำการเพิ่มแถวลำดับโดยเริ่มที่ขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์



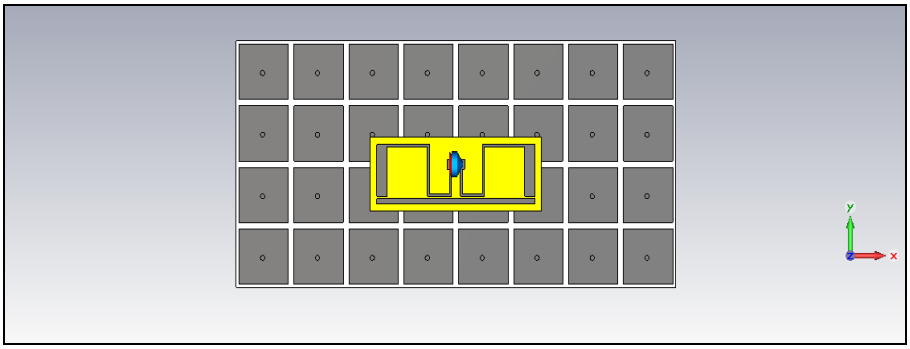
(ก) แบบจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก



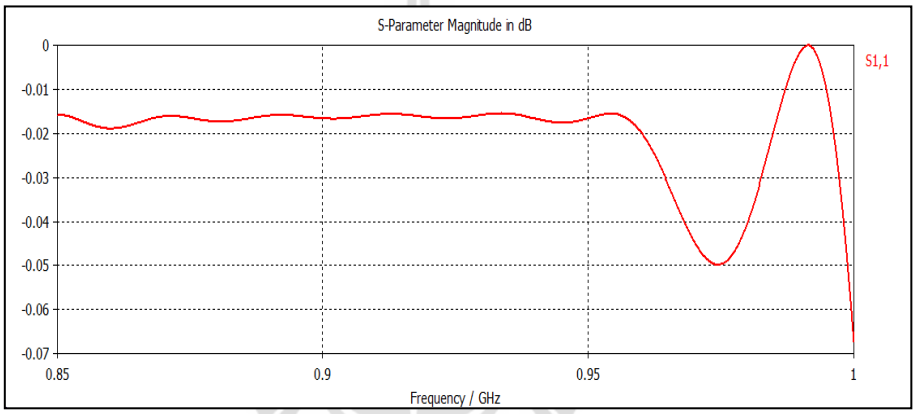
(ข) ค่า S_{11}

รูปที่ 4.22 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4x2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก

จากรูปที่ 4.22 เป็นผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 4 x 2 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กจะเห็นว่าค่า S_{11} ยังไม่ได้ตามที่ใช้งานที่ความถี่ 920-925 MHz เนื่องจากขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีอาจขนาดเล็กเกินไปทำให้พลังงานรั่วไหลออกไปได้ จึงทำการเพิ่มแถวลำดับของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเป็น 8 x 4 อิลิเมนต์



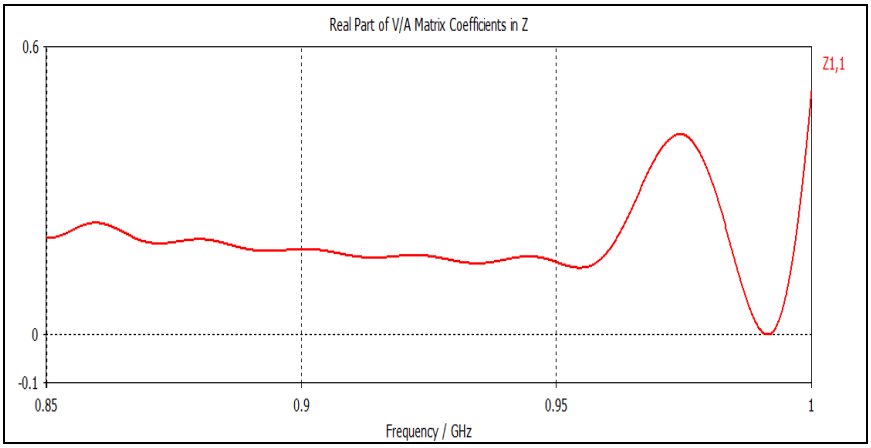
(ก) แบบจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก



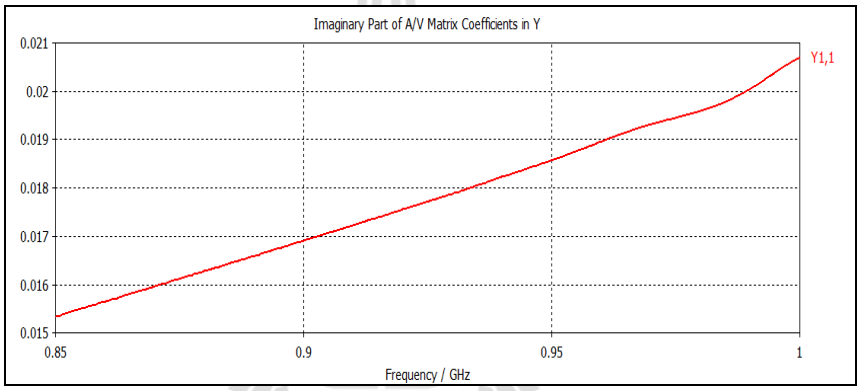
(ข) ค่า S_{11}

รูปที่ 4.23 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.22 เป็นผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กจะเห็นว่าค่า S_{11} ยังไม่ได้ตามที่ใช้งานที่ความถี่ 920-925 MHz จึงมาพิจารณาที่อิมพิแดนซ์



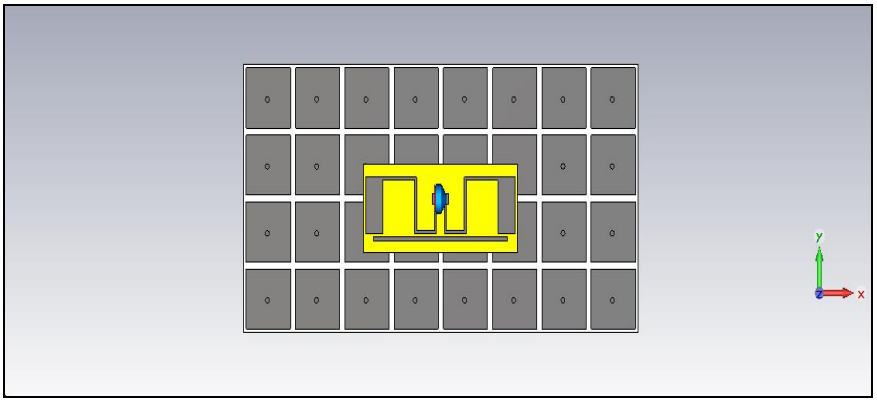
(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



(ข) ค่า รีแอคแตนซ์ (Reactance)

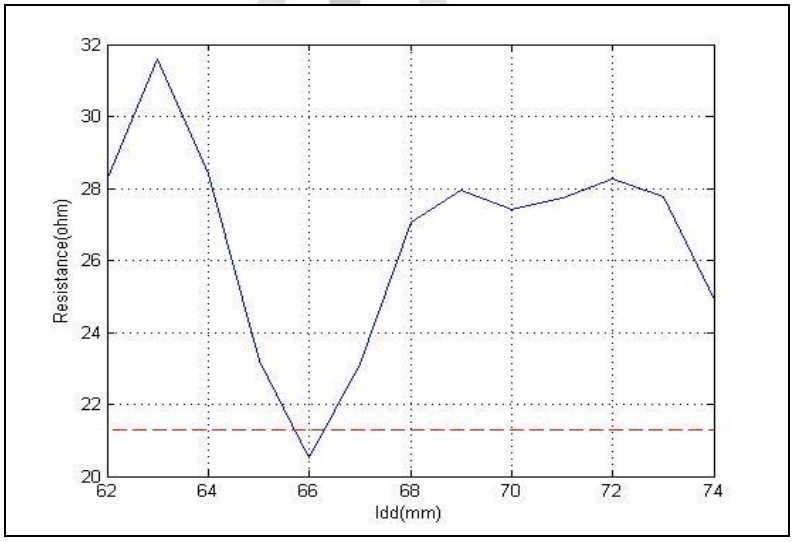
รูปที่ 4.24 ค่าอิมพิแดนซ์ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.23 เป็นค่าอิมพิแดนซ์ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์จะเห็นว่าค่าอิมพิแดนซ์มีค่าเปลี่ยนไปทำให้แท็กไม่สามารถทำงานได้ จึงทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ของแท็กเพื่อให้แมตซ์กับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยทำการปรับขนาดความยาวของเส้นพาราซิติก



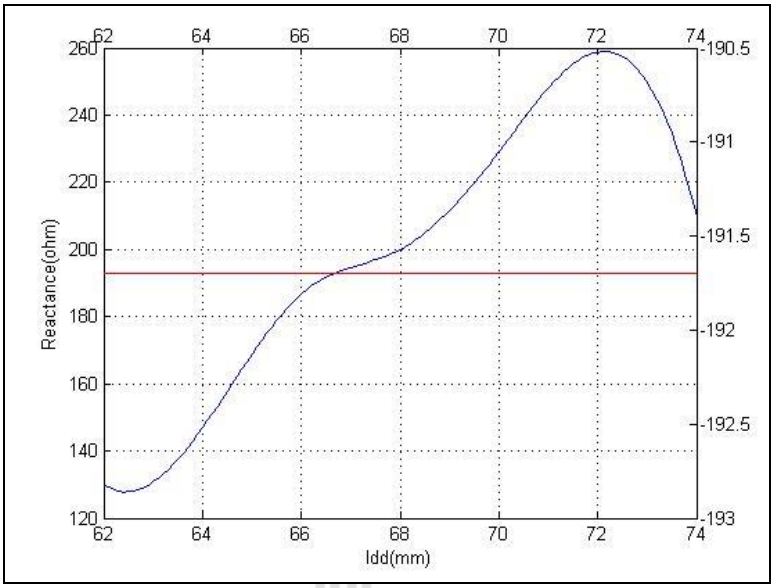
รูปที่ 4.25 แบบจำลองแท็กช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์

ค่าที่กำหนดคือ ความยาวของเส้นที่หักงอ 170 mm ความกว้างของเส้น 1 mm ส่วนปลายกว้าง 8.7 mm ระยะห่างเส้นหักกับเส้นตรง 1 mm ความกว้างของเส้นพาราซิติก 1.75 mm ปรับความยาวของเส้นพาราซิติก



(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)

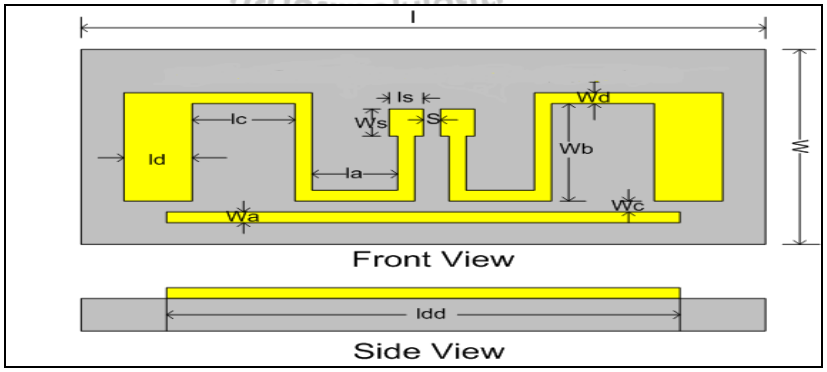
รูปที่ 4.26 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก เมื่อปรับความยาวของเส้นพาราซิติก



(ข) ค่ารีแอคแตน์ (Reactance)

รูปที่ 4.26 ค่าความต้านทาน (Resistance) และ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายอากาศไดโพลที่ลดรูปด้วยการหักงอร่วมกับเส้นพาราซิติก เมื่อปรับความยาวของเส้นพาราซิติก (ต่อ)

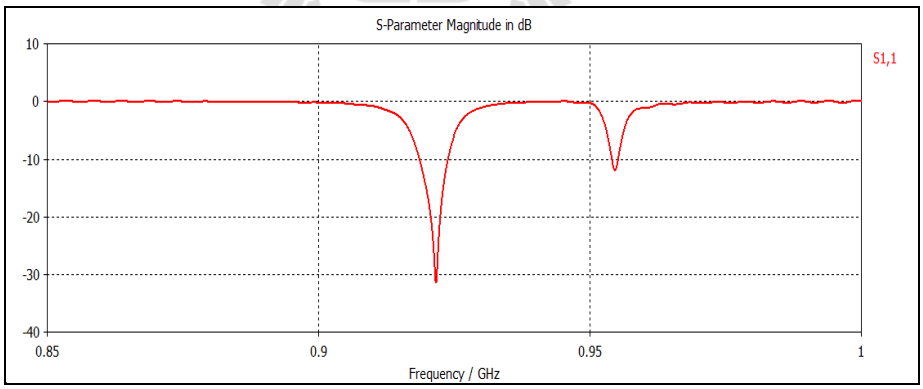
จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตน์ของสายอากาศมีค่าใกล้เคียงค่าที่ต้องการอยู่ในช่วงความยาวประมาณ 66-68 mm หลังจากนั้นเราจึงปรับอีกเล็กน้อยเพื่อให้สายอากาศแมตช์มากขึ้นจึงได้ขนาดออกมาดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ขนาดของสายอากาศไดโพลที่แมตช์กับไอซีชิป

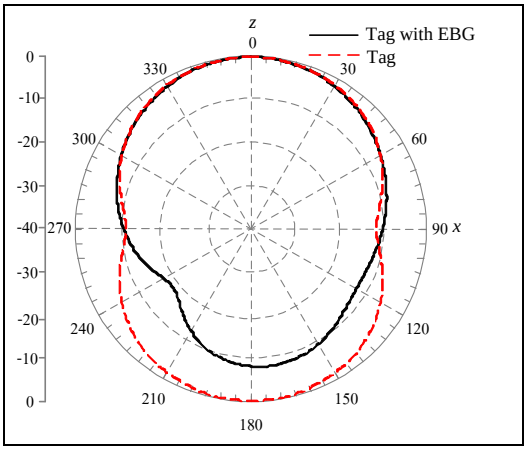
ตารางที่ 4.4 ขนาดของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

พารามิเตอร์	ขนาด (mm)
W	33
Wa	1.75
Wb	20
Wd	1
Wc	1.25
Ws	4
L	78
La	9
Ld	8.7
Ldd	68
Lc	16.3
Ls	3
S	2

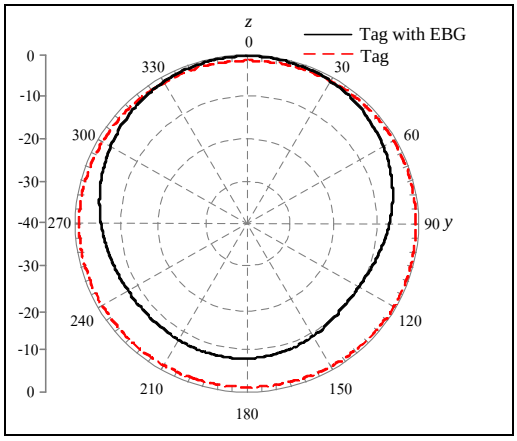


รูปที่ 4.28 ค่า S_{11} ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์

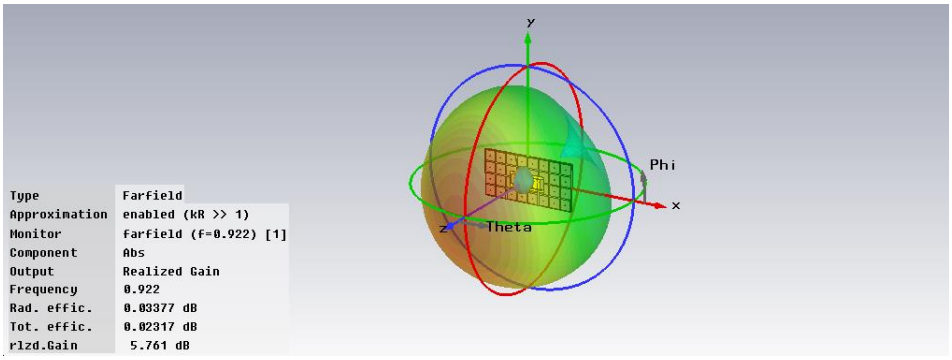
รูปที่ 4.27 เป็นการแสดงแบบจำลองแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ ซึ่งจากรูปที่ 4.28 แสดงค่า S_{11} เมื่อพิจารณาค่าที่ต่ำกว่า -10 dB จะเห็นว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ประมาณ 920-925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ปฏิบัติการณ์



(ก) E-plane



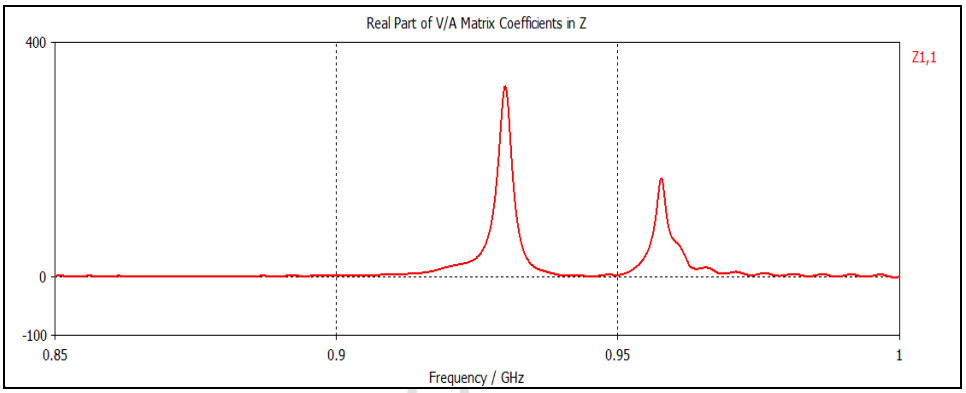
(ข) H-plane



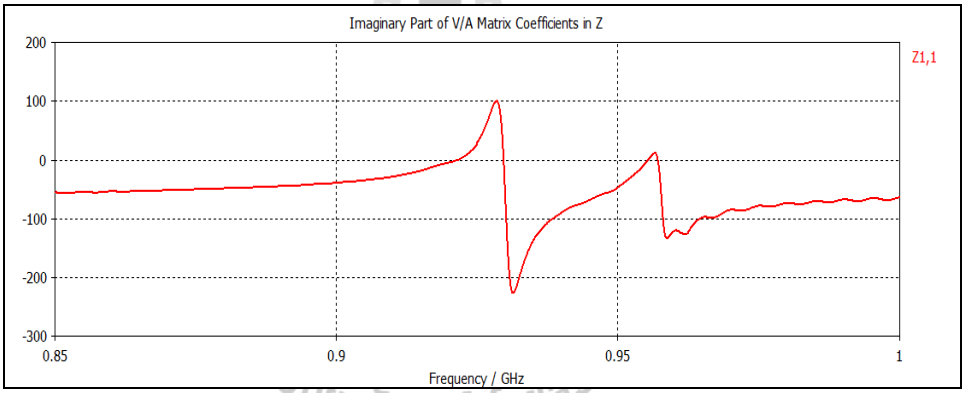
(ค) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.28 ผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก (ต่อ)

รูปที่ 4.29 แสดงผลการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์ ที่ความถี่ 920-925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งาน จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของแท็กมีแบคโลบลดลงและมีอัตราขยาย 5.76 dB ดังรูปที่ 4.29 (ค)

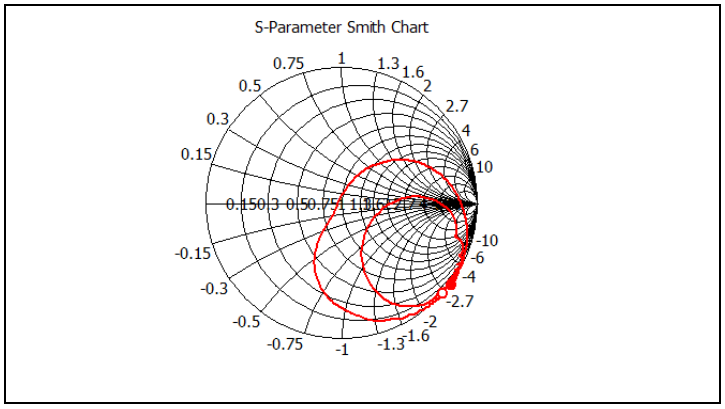


(ก) ค่าความต้านทาน (Resistance)



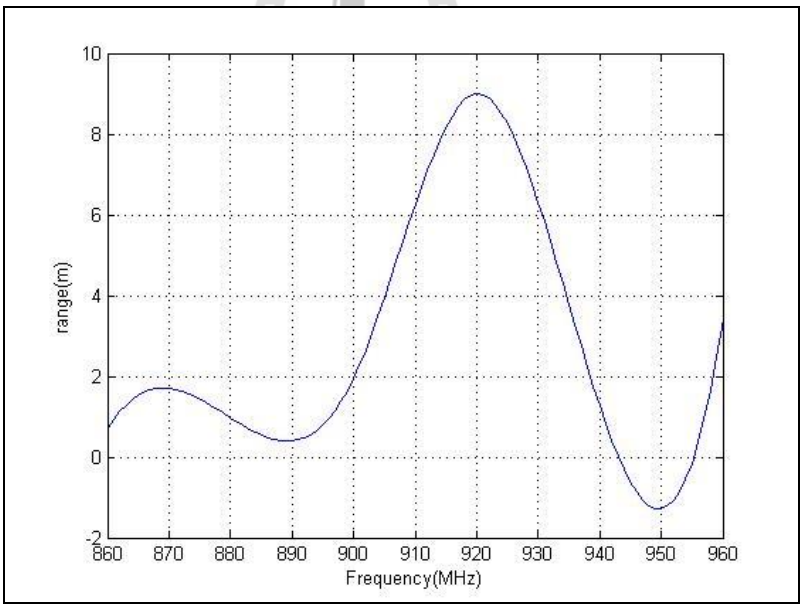
(ข) ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

รูปที่ 4.29 ค่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า



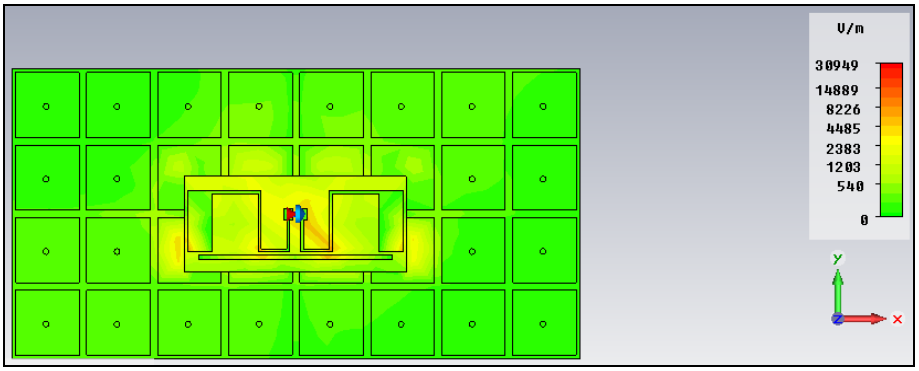
รูปที่ 4.31 Smith chart ของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.30 (ก) เป็นค่าความต้านทานของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ 20 Ω ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ และค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 920-925 MHz ได้ประมาณ 0 Ω ดังรูปที่ 4.30 (ข) ซึ่งแสดงว่าสายอากาศแมตช์กับไอซีชิปแล้วตาม Smith chart ดังรูปที่ 4.31



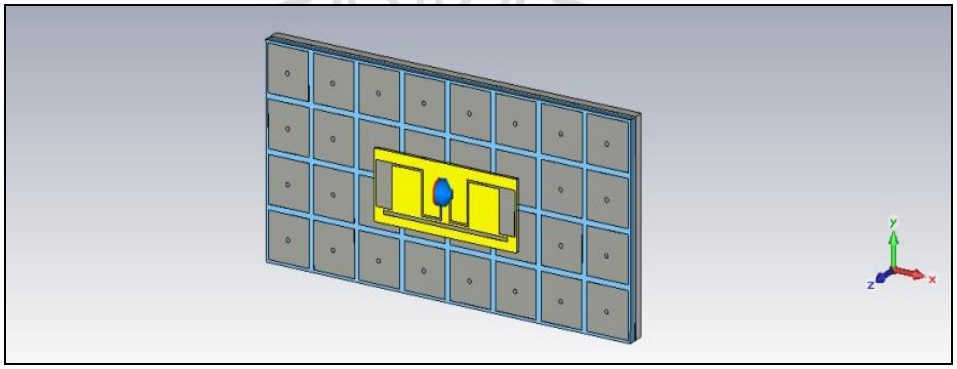
รูปที่ 4.31 ระยะการอ่านของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.31 แสดงผลระยะการอ่านที่ความถี่ 860-960 MHz พบว่าที่ความถี่ 922 MHz สามารถอ่านได้ประมาณ 8.9 เมตรซึ่งเป็นระยะที่วัดได้สูงสุด คำนวณมาจากสมการ (4.5)

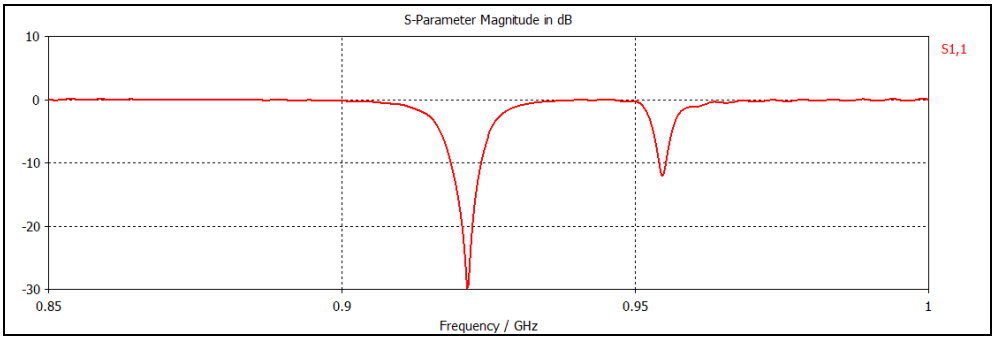


รูปที่ 4.33 สนามระยะใกล้บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็ก

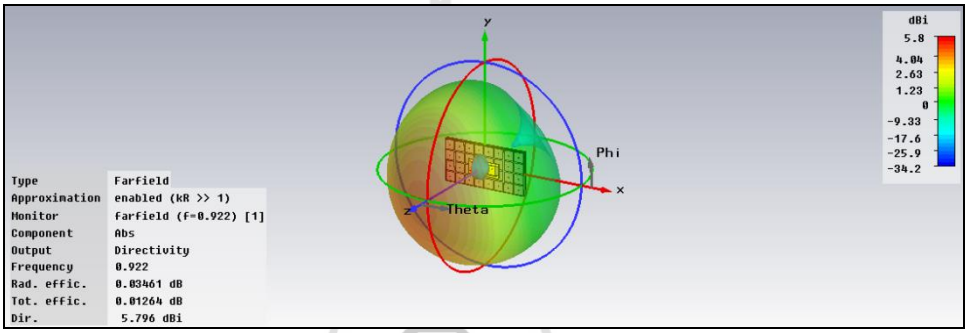
ผลจากการจำลองช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กที่สามารถนำมาพิจารณาสนามระยะใกล้ (near-field) ที่เกิดบริเวณผิวของแผ่นตัวนำในรูปของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 922 MHz ดังรูปที่ 4.33 พบว่ามีค่าของสนามไฟฟ้าเป็น 29.7 A/m ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถป้องกันไม่ให้สนามไฟฟ้ารั่วไหลไปข้างหลังตัวแท็กได้ เมื่อได้ขนาดของแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเราจะทำการจำลองผลเมื่อนำไปวางบนวัสดุทำจากโลหะด้วยโปรแกรม CST Microwave studio



รูปที่ 4.34 แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะ
ที่มีขนาด 18x9 cm



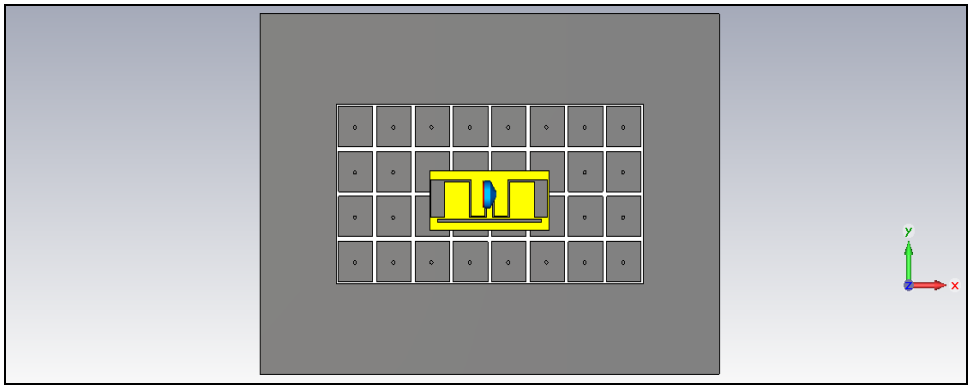
(ก) ค่า S_{11}



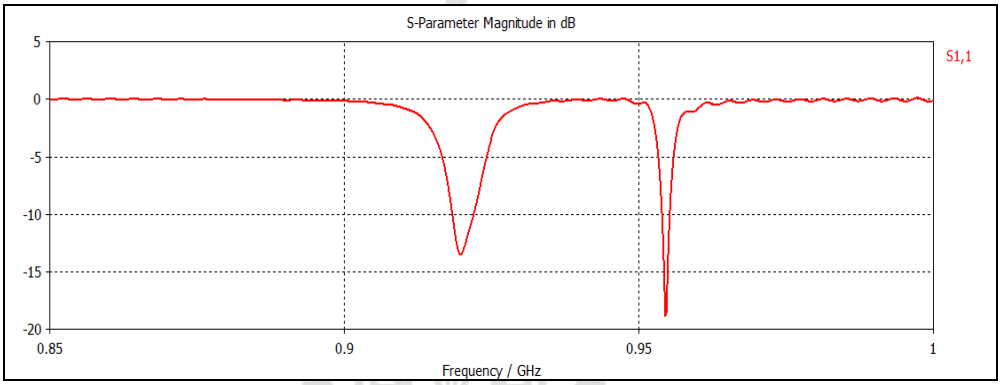
(ข) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.35 ผลการจำลองแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 18 x 9 cm

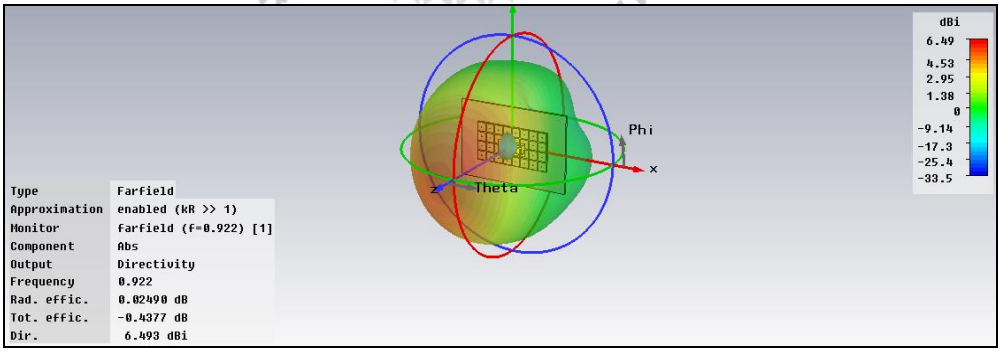
จากรูปที่ 4.35 (ข) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กขนาด 8x4 อิลิเมนต์วางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 18 x 9 cm ที่ความถี่ 920-925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งานและมีค่าอัตราขยาย 5.7 dB ส่วนรูปที่ 4.34 (ก) จะเป็นค่า S_{11} ซึ่งจะเห็นว่าสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 920-925 MHz



รูปที่ 4.36 แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าวางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 40 x 40 cm



(ก) ค่า S_{11}



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 4.37 ผลการจำแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
วางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 40 × 40 cm

จากรูปที่ 4.37 (ข) เป็นแบบรูปการแผ่พลังงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าร่วมกับอาร์เอฟไอดีแท็กขนาด 8 x 4 อิลิเมนต์วางบนแผ่นโลหะที่มีขนาด 40 × 40 cm ที่ความถี่ 920 - 925 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งานและมีค่าอัตราขยายประมาณ 6.4 dB ส่วนรูปที่ 4.37 (ก) จะเป็นค่า S_{11}ซึ่งจะเห็นว่าสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 920-925 MHz

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการจำลองแบบต่างๆ จะเห็นว่าแท็กแบบไดโพลที่ใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะให้อัตราขยายที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลการจำลองแบบต่างๆ

การจำลองแบบ	อัตราขยาย (dBi)	
	อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล	อาร์เอฟไอดีแท็กไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนอากาศว่าง	2.75	5.76
บนแผ่นโลหะขนาด 18 × 9 cm	-30	5.7
บนแผ่นโลหะขนาด 40 × 40 cm	-30	6.5

4.7 สรุป

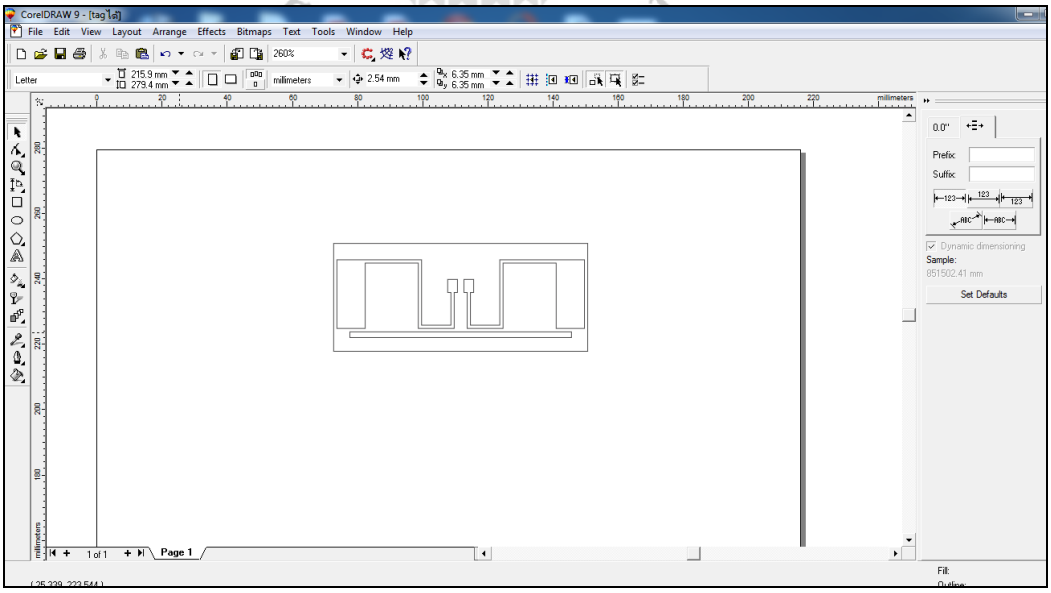
ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้างของสายอากาศไดโพล และสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยการจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio พบว่าสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า มีข้อดีคือ อัตราขยายเพียงพอสำหรับตัวอ่านข้อมูลของระบบ อาร์เอฟไอดี มีความกว้างลำคลื่นกำลังที่กว้างเพียงพอ และครอบคลุมความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 920-925 MHz ในการใช้เป็นอาร์เอฟไอดีแท็กสำหรับเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุที่ทำจากโลหะได้

บทที่ 5
การทดสอบและวิเคราะห์ผล

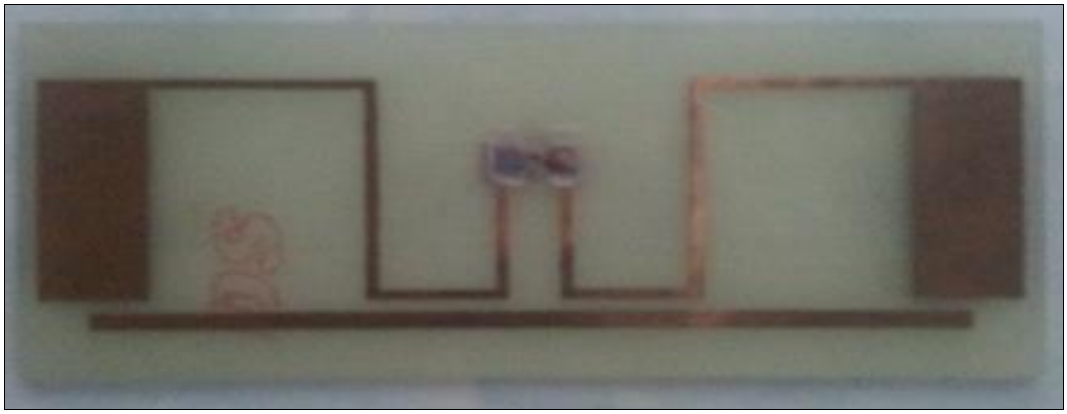
จากทฤษฎีและหลักการทั้งหมด ตลอดจนการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศไดโพล บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และ 4 ดังนั้นในบทที่ 5 นี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ จากเครื่อง RFID Reader สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

5.1 วิธีการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 เมื่อได้ขนาดของสายอากาศตามที่ต้องการแล้ว ตามที่แสดงได้ดังตารางที่ 5.1 และนำไปวาดและตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม Corel DRAW 9 ดังรูปที่ 5.1 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 ในการสร้างชิ้นงานโดยรูปที่ 5.2จะแสดงชิ้นงานอาร์เอฟไอดีแท็ก ต้นแบบ



รูปที่ 5.1 อาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบวาดบนโปรแกรม Corel DRAW



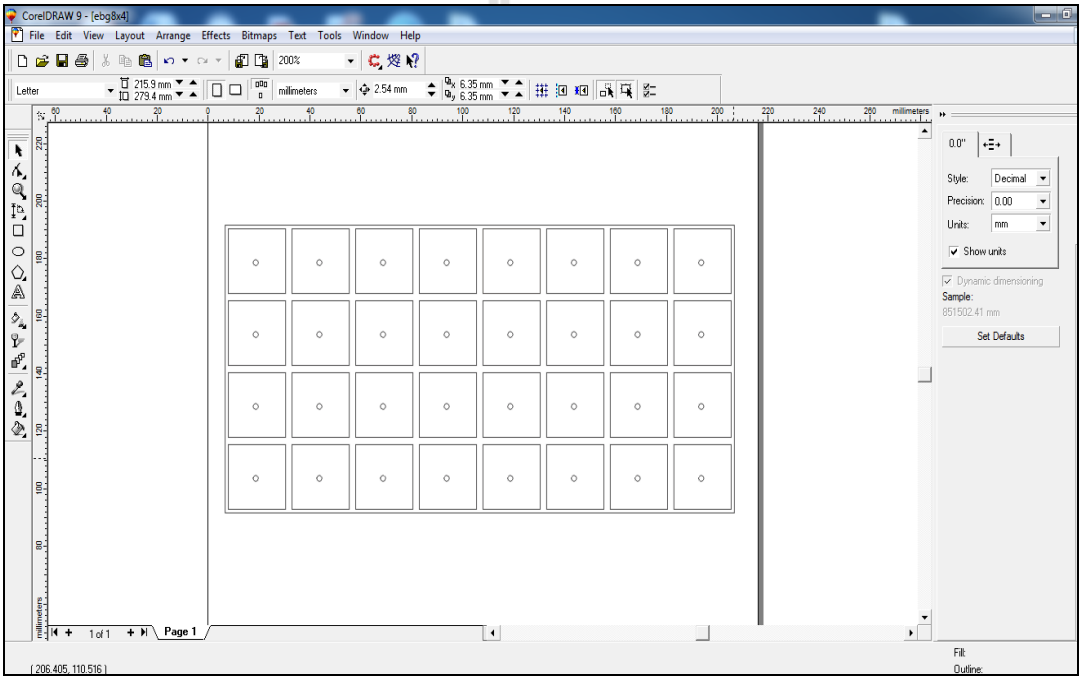
รูปที่ 5.2 อาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบ

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
ความกว้างของแผ่น FR4 (w)	33
ความกว้างของเส้นพาราซิติก (w_a)	1.75
ความสูงของสายอากาศที่หักงอ (w_b)	20
ความกว้างสายอากาศไดโพล (w_d)	1
ระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลและเส้น พาราซิติก (w_c)	1.25
ความสูงของช่วงติดไอซีชิป (w_s)	4
ความยาวของแผ่น FR4 (l)	78
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านล่าง (l_a)	9
ความกว้างส่วนปลายสายอากาศ (l_d)	8.7
ความยาวของเส้นพาราซิติก (l_{dd})	68
ความยาวของสายอากาศที่หักงอด้านบน (l_c)	16.3
ความยาวของช่วงติดไอซีชิป (l_s)	3
ช่องติดไอซีชิป (s)	2

5.2 วิธีการสร้างและวัดทดสอบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

เมื่อเราได้สร้างอาร์เอฟไอดีแท็กต้นแบบแล้ว ต่อมาเราจะทำการสร้างชิ้นงานช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยนำโครงสร้างของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าไปวาดและตัดสติ๊กเกอร์โดยใช้โปรแกรม Corel DRAW 9 ดังรูปที่ 5.3 ด้วยขนาดที่แสดงในตารางที่ 5.2 โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 จากนั้นเจาะรูตรงการของแต่ละแพตช์ เพื่อทำการเชื่อมแพตช์กับกราวด์ด้วยลวดเส้นเล็ก โดยรูปที่ 5.4แสดงแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างเสร็จ เรียบร้อยแล้ว

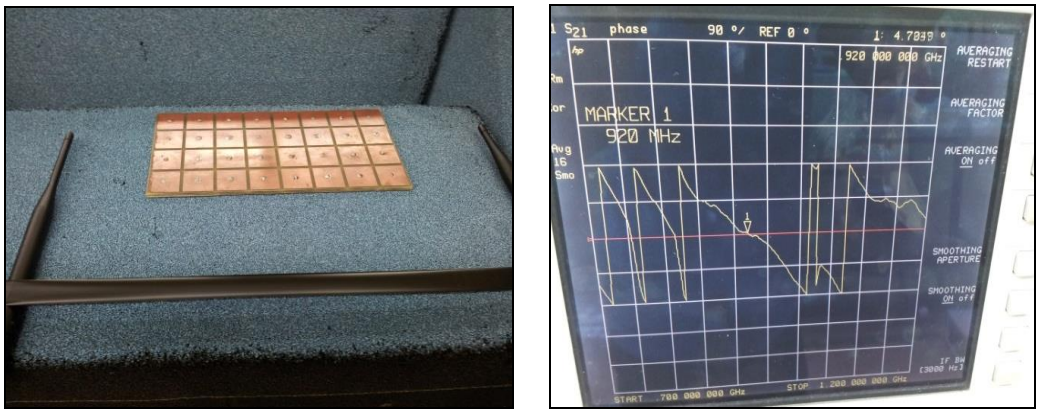


รูปที่ 5.3 โปรแกรม Corel DRAW กำหนดการตัดแผ่น PCB

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

หมายเลข	พารามิเตอร์		
	ส่วนประกอบ	ขนาด (มิลลิเมตร)	ชนิด
1	ความกว้างของแผ่นตัวนำ (w)	22.5	ทองแดง
2	ความสูงของวัสดุฐานรอง (t)	3.2	ทองแดง
3	รัศมีของเส้นลวด (r)	2	ทองแดง
4	ช่องว่างระหว่างแผ่นตัวนำ (g)	2	

รูปที่ 5.4 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ



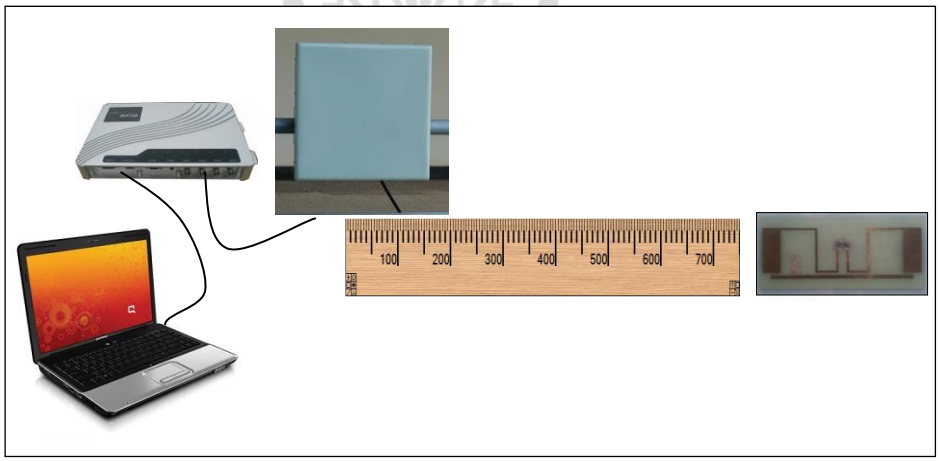
รูปที่ 5.5 ผลวัดเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ

จากรูปที่ 5.5 แสดงผลการวัดเฟสสะท้อนของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบ จะเห็นว่าค่าเฟสสะท้อนที่ได้ประมาณ 4.7 องศา ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองผล ตลอดจนผลที่เกิดจากการวัดทดสอบในสภาพจริง

เมื่อสร้างชิ้นงานอาร์เอฟไอดีแท็กและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการวัดระยะการอ่านของแท็กในรูปแบบต่าง ๆ

5.3 การวัดทดสอบระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็ก

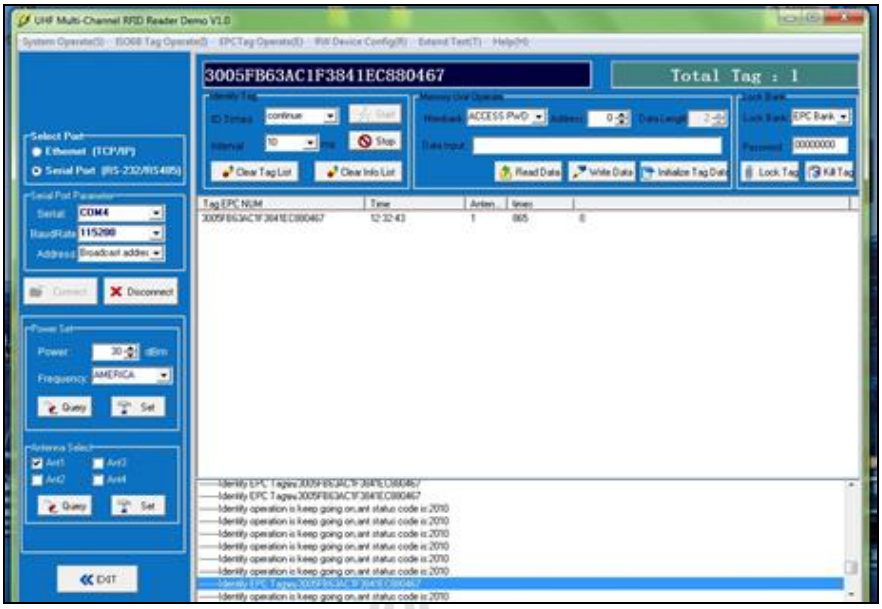
เมื่อสร้างชิ้นงานเรียบร้อยแล้วแล้ว นำชิ้นงานที่ได้มาวัดระยะการอ่านในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Anechoic Microwave Chamber) ดังรูปที่ 5.7 โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งประกอบด้วย สายอากาศ เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี และเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผล ถ้าเครื่องอ่านสามารถอ่านได้จะแสดงบนหน้าจอดังรูปที่ 5.9 หลังจากนั้นนำแท็กถอยออกจากสายอากาศของเครื่องอ่านจนกว่าเครื่องอ่านเริ่มอ่านไม่ได้บันทึกระยะ ทำการวัด 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.6 การวัดระยะการอ่าน

รูปที่ 5.7 ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น

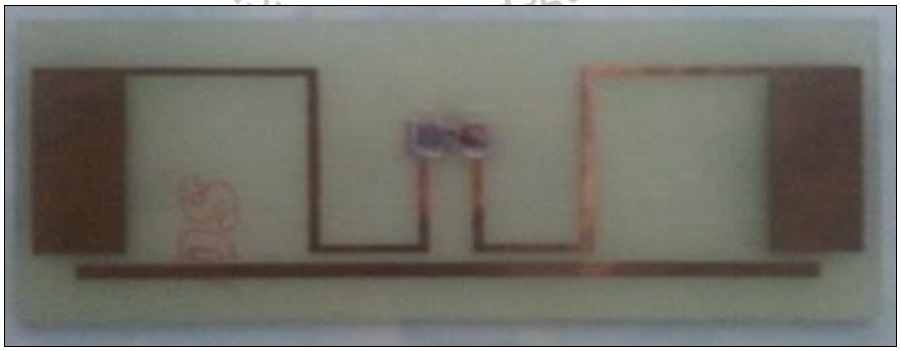
รูปที่ 5.8 Reader และ Notebook



รูปที่ 5.9 โปรแกรมอ่านค่าแท็ก

5.3.1 การวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง

ทำการวัดระยะเปรียบเทียบระหว่างแท็กแบบไดโพลและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าตามรูปที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ โดยทำการวัดระยะการอ่านตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการบันทึกผลวัดระยะการอ่านที่วัดได้ลงในตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.10 อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล

รูปที่ 5.11 สายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 5.3 ค่าการวัดระยะการอ่านแท็กบนอากาศว่าง

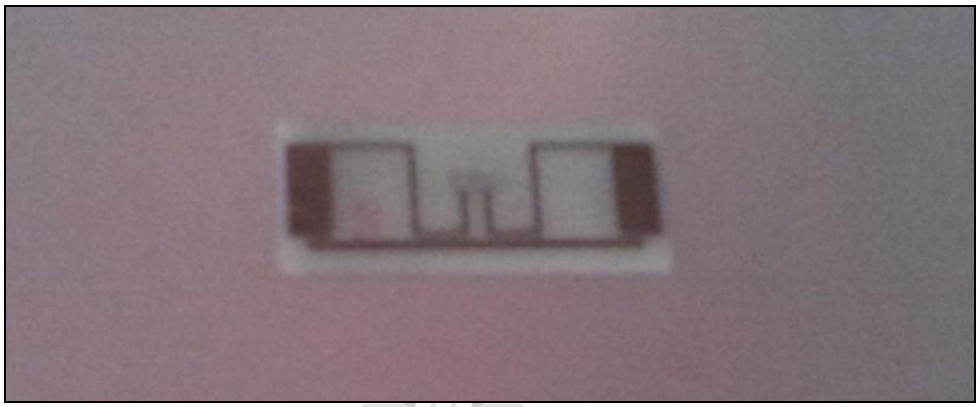
จำนวนครั้งการวัด	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	แท็กแบบไดโพล	แท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
1	6.05	8.50
2	6.04	8.55
3	6.08	8.60
4	6.08	8.50
5	6.04	8.55
เฉลี่ย	6.07	8.54

จากตารางที่ 5.3 พบว่าแท็กแบบไดโพลจะมีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6.07 เมตรและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.54 เมตรซึ่งจะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างแท็กแบบไดโพลและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนอากาศว่างแล้วจะเห็นว่าแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีระยะการอ่านที่ไกลกว่าซึ่งมีผลใกล้เคียงกับแบบจำลองที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ตามสมการ (5.1)

$$R = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_T}{P_R} \bullet G_R G_T} \qquad (5.1)$$

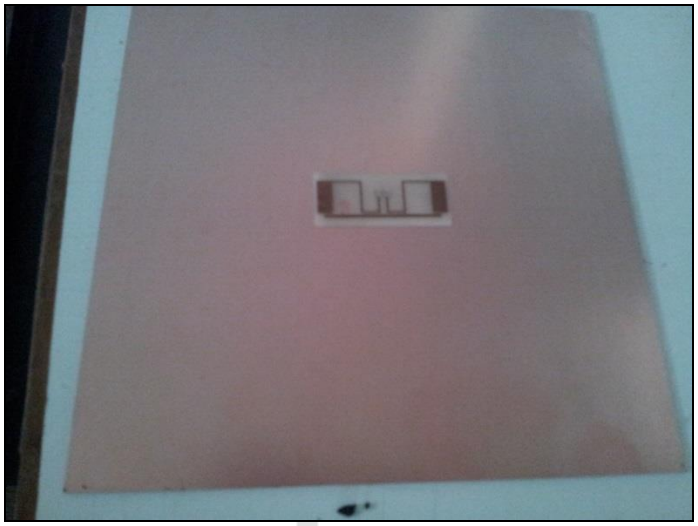
5.3.2 การวัดระยะการอ่านอาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะ

ต่อมาจะทำการวัดระยะการอ่านบนแผ่นโลหะ โดยจะทำการวัดบนแผ่นโลหะสองขนาด คือ ขนาด 18 x9 เซนติเมตรและขนาด 40 x40 เซนติเมตรตามลำดับทำการวัดระยะการอ่านตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการบันทึกผลวัดระยะการอ่านลงในตารางที่ 5.4

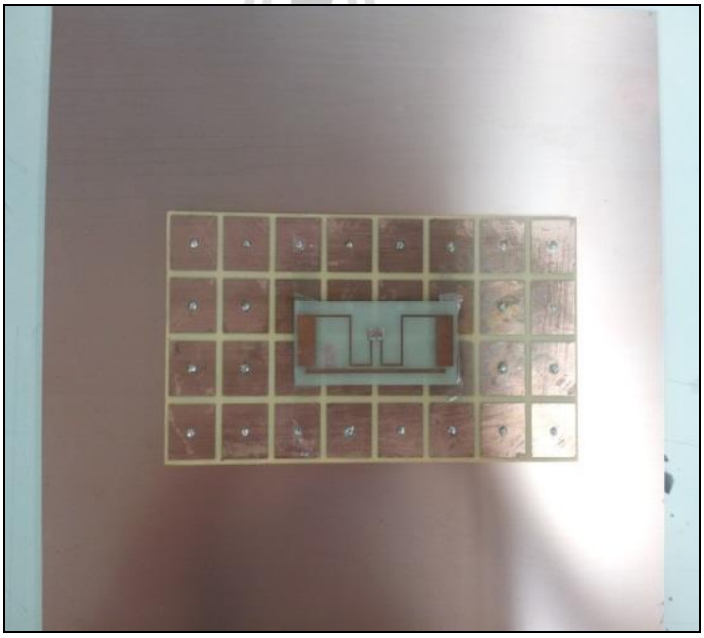


รูปที่ 5.12 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด18 x 9 เซนติเมตร

รูปที่ 5.13 อาร์เอฟไอดีแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนแผ่นโลหะขนาด18 x 9 เซนติเมตร



รูปที่ 5.14 อาร์เอฟไอดีแท็กบนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร



รูปที่ 5.15 อาร์เอฟไอดีแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนแผ่นโลหะขนาด 40 x 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 5.4 การวัดระยะการอ่านบนแผ่นโลหะ

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน		
	แท็กแบบไดโพลบนโลหะ	แท็กไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนโลหะ ขนาด 18 x 9 เซนติเมตร	แท็กไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนโลหะ ขนาด 40 x 40 เซนติเมตร
1	0	8.70	8.80
2	0	8.65	8.75
3	0	8.55	8.55
4	0	8.55	8.65
5	0	8.60	8.65
เฉลี่ย	0	8.61	8.68

จากตารางที่ 5.4 พบว่าแท็กแบบไดโพลบนแผ่นโลหะจะมีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0 เมตรและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนโลหะขนาด 18 x 9 และ 40 x 40 มีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.61 เมตร และ 8.68 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อนำแท็กแบบไดโพลไปใช้งานบนวัสดุโลหะจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ ส่วนแท็กไดโพลที่ใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถใช้งานได้ตามปกติ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

5.3.3 การวัดระยะการอ่านของแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะทำการวัดระยะการอ่านแท็กไดโพลบนวัสดุที่เป็นผิวน้ำและแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่เป็นผิวน้ำ โดยทำการวัดตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และบันทึกค่าลงในตารางที่ 5.4

รูปที่ 5.16 สายอากาศไดโพลแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

รูปที่ 5.17 สายอากาศไดโพลแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

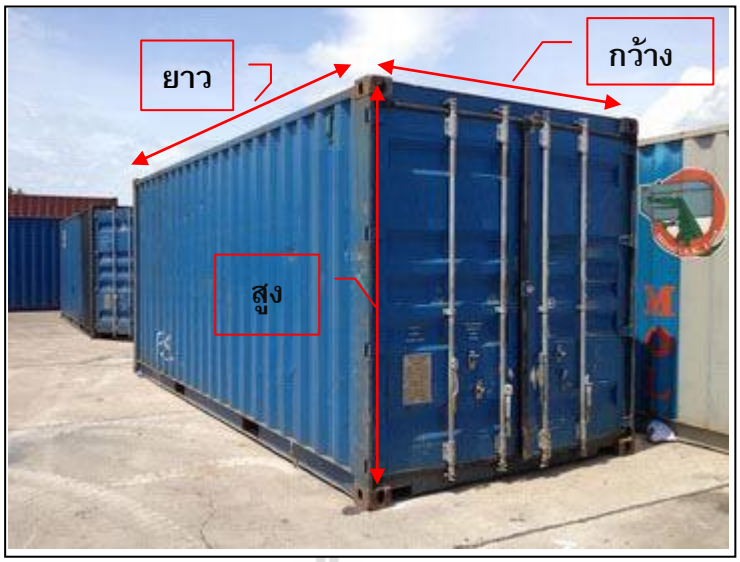
ตารางที่ 5.5 การวัดระยะการอ่านแท็กบนวัสดุที่บรรจุน้ำ

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	แท็กแบบไดโพลบนวัสดุที่บรรจุน้ำ	แท็กไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำ
1	0	8.60
2	0	8.50
3	0	8.55
4	0	8.65
5	0	8.55
เฉลี่ย	0	8.57

จากตารางที่ 5.5 พบว่าแท็กแบบไดโพลบนวัสดุที่บรรจุน้ำไม่สามารถวัดระยะการอ่านแท็กได้และแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าบนวัสดุที่บรรจุน้ำมีค่าระยะทางการอ่านเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 8.57 เมตรซึ่งจะเห็นว่า เมื่อนำแท็กไดโพลไปใช้งานบนวัสดุที่บรรจุน้ำจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ ส่วนแท็กไดโพลที่ใช้งานร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถใช้งานได้ตามปกติซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

5.4 จำลองการทดสอบเมื่อนำแท็กติดตั้งที่ตู้คอนเทนเนอร์

โดยขั้นตอนนี้จะทำการจำลองแบบการวัดโดยกำหนดให้วางตู้คอนเทนเนอร์ซ้อนกัน 3 ชั้น และทำการวัดระยะการอ่าน ซึ่งจะจำลองขนาดจากตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดมาตรฐาน 20 ฟุต ซึ่งมีความกว้าง 2.44 เมตรความสูง 2.6 เมตรความยาว 6.06 เมตรดังแสดงในรูปที่ 5.18 ในงานวิจัยนี้จะใช้แผ่นทองแดงแทนผนังของตู้คอนเทนเนอร์ โดยจะวัดที่ความสูงสามระดับตามความสูงของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชั้นตู้แรกจะวัดที่ความสูง 2.5 เมตรจากพื้น ตู้ที่สองจะวัดที่ความสูง 5.1 จากพื้น และตู้ที่สามจะวัดที่ความสูงจากพื้น 7.7 เมตร โดยจะทำการวัดทดสอบเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ วัดทดสอบแท็กที่ใช้บนโลหะทั่วไปยี่ห้อ Confidex Survivor และวัดทดสอบแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่นำเสนอ



รูปที่ 5.18 ตู้คอนเทนเนอร์

5.4.1 วัดทดสอบแท็กที่ใช้บนโลหะทั่วไป

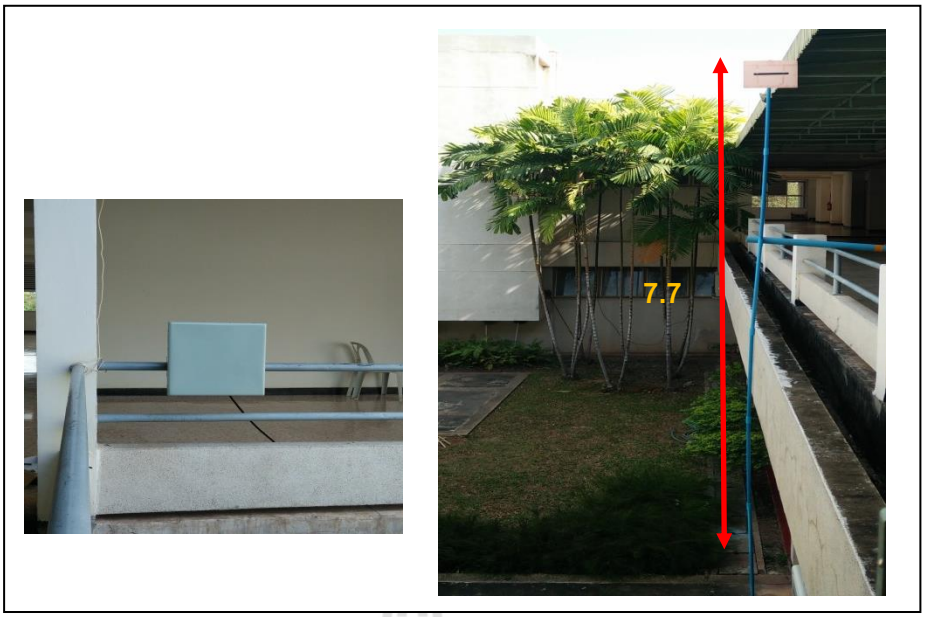
โดยแท็กที่จะนำมาวัดทดสอบเปรียบเทียบ คือ Confidex Survivor ซึ่งจะแสดงข้อมูลใน ภาคผนวกโดยจะทำการวัดระยะที่ความสูง 3 ระดับและติดตั้งสายอาการของเครื่องอ่านที่ระดับความสูง 5.1 เมตรซึ่งจะสูงเท่ากับระยะการติดแท็กที่ตู้คอนเทนเนอร์ตู้ที่สองดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ข) วัดที่ความสูง 7.7 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ค) และวัดที่ความสูง 2.5 เมตรดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ก) ตามละดับ ทำการวัดทดสอบห้าครั้งโดยจะทำการวัดระยะการอ่านของแท็กในแนวระดับแล้วหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าระยะการอ่านดังตารางที่ 5.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก) การวัดแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 2.5 เมตร

(ข) การวัดแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 5.1 เมตร

รูปที่ 5.19 การวัดแท็ก Confidex Survivor



(ค) การวัดแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 7.7 เมตร

รูปที่ 5.19 การวัดแท็ก Confidex Survivor (ต่อ)

ตารางที่ 5.6 การวัดแท็ก Confidex Survivor

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (เมตร)		
	ความสูง 2.5 เมตร	ความสูง 5.1 เมตร	ความสูง 7.7 เมตร
1	6.01	7.79	6.00
2	6.05	7.80	6.05
3	6.01	7.88	6.05
4	6.01	7.78	6.03
5	6.05	7.78	6.05
เฉลี่ย	6.03	7.81	6.04

จากตารางที่ 5.6 จะพบว่าแท็ก Confidex Survivor ที่ความสูง 5.1 เมตร วัดระยะการอ่านได้ 7.81 เมตรที่ความสูง 7.7 เมตรวัดระยะการอ่านได้ 6.03 เมตรและที่ความสูง 2.5 เมตรวัดระยะการอ่านได้ 6.04 เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าถ้าเราต้องการให้แท็กสามารถอ่านค่าได้ที่ความ

สูงทั้งสามระดับพร้อมกันเราจำเป็นต้องติดตั้งแท็กห่างจากเครื่องอ่านเป็นระยะประมาณ 6.03 เมตร ขั้นตอนต่อมาเราจะทำการวัดระยะการอ่านของแท็กแบบไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อวัดเปรียบเทียบผล

5.4.2 วัดทดสอบแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นตอนนี้จะทำการวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับความสูงต่าง ๆ โดยติดตั้งให้สายอากาศเครื่องอ่านสูง 5.1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.20 ทำการวัดทดสอบห้าครั้งโดยจะทำการวัดระยะการอ่านของแท็กในแนวระดับแล้วหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าระยะการอ่านดังตารางที่ 5.7

(ก) แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 2.5 เมตร

รูปที่ 5.20 การวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

(ข) แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 5.1 เมตร

(ค) แท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 7.7 เมตร

รูปที่ 5.20 การวัดระยะอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

ตารางที่ 5.7 การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

จำนวนครั้งที่วัด	ระยะการอ่าน (เมตร)		
	ความสูง 2.5 เมตร	ความสูง 5.1 เมตร	ความสูง 7.7 เมตร
1	6.03	8.05	6.04
2	6.05	8.03	6.05
3	6.03	8.01	6.05
4	6.01	8.06	6.03
5	6.05	8.05	6.04
เฉลี่ย	6.03	8.04	6.04

จากตารางที่ 5.7 จะพบว่าแท็กร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ความสูง 5.1 เมตร วัดระยะการอ่านได้ 8.04 เมตรที่ความสูง 7.7 เมตรวัดระยะการอ่านได้ 6.04 เมตรและที่ความสูง 2.5 เมตรวัดระยะการอ่านได้ 6.03 เมตรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าถ้าเราต้องการให้แท็กสามารถอ่านค่าได้ที่ความสูงทั้งสามระดับพร้อมกันเราจำเป็นต้องติดตั้งแท็กห่างจากเครื่องอ่านเป็นระยะประมาณ 6.03 เมตรการการวัดทดสอบผล ค่าระยะการอ่านของแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีค่าระยะการอ่านที่ใกล้เคียงกับแท็ก Confidex Survivor ดังแสดงในตารางที่ 5.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.8 การวัดแท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าและแท็ก Confidex Survivor

ความสูงของการติดตั้งแท็ก (เมตร)	ระยะการอ่าน (เมตร)	
	แท็กแบบไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	แท็ก Confidex Survivor
2.5	6.03	6.03
5.1	8.04	7.81
7.7	6.03	6.04

5.5 สรุป

ในบทนี้แสดงการสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะคุณสมบัติของสายอากาศไดโพลแท็ก และสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบ และการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ การวัดระยะการอ่านซึ่งจากผลการวัดแสดงให้เห็นว่าสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าว่าสามารถใช้งานบนวัสดุที่ทำมาจากโลหะได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 6
บทสรุป

6.1 สรุปเนื้อหางานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก จะมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทางด้วยการวางสายอากาศไดโพล บนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสายอากาศจะมีลักษณะของการกระจายคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการ สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพลร่วมกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์นี้ได้จะทำการศึกษาโครงสร้างของสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า จากการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศไดโพลและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ทั้งสององค์ประกอบมีความถี่ปฏิบัติการที่ตรงกันคือ 920-925 MHz สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นอาร์เอฟไอดีแท็ก เพื่อให้สามารถใช้งานบนวัสดุที่เป็นโลหะได้ดี

สำหรับการออกแบบสายอากาศไดโพลต้นแบบในวิทยานิพนธ์นี้ ในเบื้องต้นได้ออกแบบหาสายอากาศไดโพลต้นแบบ โดยการโดยเริ่มจากการหาความยาวของสายอากาศ คือให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 21.3+j191.7Ω ซึ่งจะเป็นสังยุคของไอซีชิปคือ 21.3-j191.7 Ω เพื่อให้สายอากาศแมตช์กับไอซีชิปที่ความถี่ 920-925 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่สำหรับเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในประเทศไทย จากนั้นนำสายอากาศไดโพลมาวางในแนวระนาบบนแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้สายอากาศสตริปไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีรูปแบบการแผ่พลังงานเป็นแบบเจาะจงทิศทาง จะส่งผลให้สายอากาศมีอัตราขยายสูง โดยได้เลือกใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการจำลองแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศสตริปไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าก่อน สำหรับรายละเอียดในการออกแบบและวิเคราะห์ทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 ซึ่งเป็นการสรุปคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศไดโพลแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และเมื่อพิจารณาจากความต้องการที่จะนำไปใช้งานของเทคโนโลยี RFID ที่ตั้งเป้าหมายไว้นั้น เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio และจากการวัดทดสอบมาเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 6.1 ระยะการอ่านของแท็กแบบต่าง ๆ

ลักษณะการใช้งาน	ระยะการอ่าน (m)	
	อาร์เอฟไอดีแท็กแบบไดโพล	อาร์เอฟไอดีแท็กบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
บนอากาศว่าง	6.07	8.54
บนแผ่นโลหะขนาด 18 × 9 cm	0	8.61
บนแผ่นโลหะขนาด 40 × 40 cm	0	8.68
บนวัสดุที่บรรจุน้ำ	0	8.57

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากบทที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อนำสายอากาศไดโพลมาวางบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้วจะทำให้มีความหนาค่อนข้างมาก แนวทางการแก้ไขคือปรับขนาดของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง

6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอาร์เอฟไอดีแท็ก สามารถทำการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้โดยการเพิ่มจำนวนอาร์เรย์ของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมทั้งการปรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ของช่องวางแถบความถี่ไฟฟ้าได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

รังสรรค์ วงศ์สรรค์ (2555). **วิศวกรรมสายอากาศ.** ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. 546 น.

Balanis, Constantine A. (1989). **Advanced engineering electromagnetics**. John Wiley & Sons, New York.

Rahul Bhattacharyya, Christian Floerkemeier, and Sanjay Sarma. (2010**) Low Cost, Ubiquitous RFID Tag Antenna Based Sensing**. SPECIAL ISSUE OF IEEE PROCEEDINGS.

Wongsiritorn, P., Phongcharoenpanich, C., Torrungrueng, D., Krairiksh, M. (2009). **UHF-RFID tag antenna design using dipole with parasitic lines**. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009. 6th International Conference on , vol.02, pp. 794-797.

Band Kyeong-Sik Min, Gun-Do Park, and Chul-Keun Park (2007) **design for the miniaturized RFID Tag antenna in 910 MHz band**. IEEE Region 10 Conference, pp. 1-4

Cho, H.-G.; Labadie, N.R.; Sharma, S.K (2010). **Design of an embedded-feed type microstrip patch antenna for UHF radio frequency identification tag on metallic objects**. Microwaves, Antennas & Propagation, IET, vol. 4, no. 9, pp. 1232-1239.

Genovesi S. and Monorchio A., (2010) **Low-profile three-arm folded dipole antenna for uhf band rfid tags mountable on metallic objects.** IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, pp. 1225-1228.

Sung-Lin Chen and Ken-Huang Lin (2009). A slim **RFID tag antenna design for metallic object applications**. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 7, pp. 729-732.

Lin, K.-H., Chen, S.L., Mittra, R (2010). **A capacitively coupling multifeed slot antenna for metallic RFID tag design.** IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, pp. 447-450.

Lingfei Mo and Chunfang Qin. (2010) **planar UHF RFID Tag antennaWith open stub feed for metallic objects**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58, pp. 3037-3043.

Azad, M.Z. and Ali, M. (2008). **Novel wideband directional dipole antenna on a mushroom like EBG structure.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 56, pp. 1242-1250.

Zheng, Qiu-Rong, Fu, Yun-Qi and Yuan, Nai-Chang (2008). **A novel compact uni-planar electromagnetic band-gap (UC-EBG) structure.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 56, no.6, pp. 1656-1660.

Bo Gao and Matthew M. F. Yuen. (2011) **Passive UHF RFID packaging with electromagnetic band gap (EBG) material for metallic objects tracking.** IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 1, no. 8, pp. 1140-1146.

รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2552). วิศวกรรมสายอากาศ. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

I-Fong Chen, Chia-Mei Peng, and Sheng-Chieh Liang (2005) Single Layer Printed Monopole Antenna for Dual ISM-Band Operation. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 53(2): 1270-1273, 2005.

Taguchi, M.,Egashira, S., Tanaka, K. (1991) Sleep Antenna with Ground Wires. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 39(1): 1-7, 1991.

Jame, J.D., and Hall, P.S. (1989) Handbook of Microstrip Antenna, Vol.1, London, 1989.

Sim, D.-U., Choi, J.-I. (2006) **A Compact Wideband Modified Planar Inverted F Antenna (PIFA) for 2.4/5-GHz WLAN Applications.** Antennas and Wireless Propagation Letters. 5(1): 391-394, 2006.

Krishnan, L.-W. Li and M.-S. Leong, (2005) A V-Shaped Structure for Improving the Directional Properties of the Loop Antenna. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, vol.53. pp. 2114-2117, June 2005.

Dubost, G. (1981) Flat Radiating Dipoles and Applications to Arrays. RESEARCH STUDIES PRESS A DIVISION OF JOHN WILEY & SONS LTD. pp. 28-36.1981.

Thumvichit , Takano (2006) Ultra Low Profile Dipole Antenna with a Simplified Feeding Structure and a Parasitic Element. IEICE Transaction Communications, vol.E89-B, No.2, pp. 576-580, 2006.

Thumvichit and Takano (2007) Characteristics Verification of a Half-Wave Dipole Very Close to a Conducting Plane With Excellent Impedance Matching. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.55, No.1, 2007.

Pimpol, S. and Wongsan, R.(2007) Impedance Analysis of a Shorted-End Curved Dipole on Reflector Plane using Method of Moment. The 2007 ECTI International Conference, Thailand, Vol. 2, pp. 667-670, 2007.

Sievenpiper, D., Zhang, L., Broas, R. F. J., Alexopolus, N. G., and Yablonovitch, E.(1999) High Impedance Electromagnetic Surface with a for-bidden Frequency Band. IEEE Trans. Microw. Theory Tech, Vol. 47, No. 11, 2059–2074, 1999.

Wongsan, R. (2009) A wide-beam array antenna using shorted-end curved dipoles on a reflector plane. WSEAS Trans. Commun, vol. 8, pp. 207–216, February 2009.

Li, L., Li, B., Liu, H., and Liang, C. (2006) Locally resonant cavity cell model for electromagnetic band gap structure. Transactions on Antenna and Propagation, vol. 54, pp. 90–100, January 2006.

Wang, E., Zheng, J., and Liu, Y.(2009) A Novel Dual-Band Patch Antenna for WLAN Commuications. Progress In Electromagnetics Research C, Vol.6, 2009, pp. 93-102.

Elkamchouchi, H., and Abu Nasr, M. (2004) The S-Shaped Dipole Antenna. 2004 4th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceeding, 2004, pp. 19-22.

Yang, F., Rahmat-Samii, Y.(2009) Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engneering. USA by Cambridge University Press, New York, 2009

Wang, E., Zheng, J., Lui, Y. (2009) A Novel Dual-Band Patch Antenna for WLAN Communication. Progress In Electromagnetic Research C, vol. 6, pp. 93–102, 2009

Zhan, L., Rahmat-Samii, Y. (2000) PBG, PMC and PEC Ground Plane: A Case Study of Dipole Antenna. IEICE Transaction. Communications, pp. 674–677, 2000

อาร์เอฟไอดี.สืบค้นจาก : http://th.wikipedia.org.

RFID (Radio Frequency Identification).สืบค้นจาก : http://www.student.chula.ac.th/~49801110.

RFID (Radio Frequency Identification).สืบค้นจาก : http://rfid-datacom.blogspot.com.

ระบบ RFID. สืบค้นจาก : http://www.spcom.co.th/node/14

ภาคผนวก ก

เครื่องอ่านและไอซีชิป

Reader introduce: **RFID Fixed reader MR 6134A**

MR6134A is base on generation 1 （MR6034A） product improved generation 2 RFID reader, This reader compatible many protocol, separate type design, connect with 4 antenna, fast reading, multi tag identify, Industry protection grade design etc. This reader are widely use in various RFID system, reference application as below:

- Logistics and warehouse Management: Goods flow, warehouse management, and the flowing management of mail, parcel, luggage.
- Intelligent parking Management :Parking management and automatic charge
- Productive lines Management: Production process fixed Identify
- Product counterfeit-proof inspection: Using memory's write-protect functions inside tags, and identifying with true-false of products
- Other fields: Used widely in club management, library, student's school, consumption management, time management, dinner management, pool management

Reader characteristic:

- Special Anti collision algorithm, high efficient of multi-tag identify capability;
- Four separate transmit/receive antenna to make more wide of area in the application;
- Compatible ISO18000-6B and ISO18000-6C(EPC-GEN2) protocol standard;
- Read/Write tag capability : read 5-8m, write is 60% of read reading (depend on different tag)
- Reader support multi tag identify, single tag read, tag write, lock, and Kill tag etc.

Model No.	MR 6134A
Standard Compliance	ISO18000-6B, ISO18000-6C (EPC GEN2)
Frequency Range	Standard ISM 902~928MHz or ISM 865~868MHz option (other frequency depend on customer request)
Operation Mode	(FHSS)
RF Power	0~30dBm， software configurable
Communication Interface	Standard RS232, RJ45 (TCP/IP), RS485
Output Port	4 Tem OUTPORT (can control output high/low level)
Reading Range	Depends on antenna gain connect 12dBi antenna, the reading distance above 8 m
Signal	BUZZER and LED
Antenna	One ~ Four Antennas, TNC connector
Power Supply	DC+ 9V(Supply AC/DC power adapter)
Dimension	310mm × 210mm × 40mm
Weight	2 Kg
Operation Temperature	-20 ℃~ + 80 ℃

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

IC Chip ที่นำมาใช้คือ UCODE G2XL เป็น IC Chip ที่ทำงานในช่วงย่านความถี่ UHF

UCODE G2XM
UCODE G2XL

Ultra high frequency smart label ICs

UCODE G2XM and UCODE G2XL are specifically tailored to the requirements of passive intelligent tags and labels. Conforming to the EPCglobal Class1 Gen2 standard, the devices address application areas which demand long operating distances and high anti-collision rates, such as supply chain management and logistics.

General Description

The devices show unsurpassed UHF performance over the entire UHF bandwidth, reliable operation in dense reader environment and long read ranges. UCODE G2X feature an extended 240 bit EPC number and a 64 bit tag identifier, including a 32 bit unique serial number.

UCODE G2XM and UCODE G2XL provide a unique custom command set, such as Electronic Article Surveillance (EAS) for increased theft protection, Read Protect which prevents unauthorized chip memory access and Calibrate, which makes it easier to optimize the reader to tag communication. All custom commands are 32 bit access password protected.

Benefits

- Long read range due to high chip sensitivity
- Ease of tag assembly due to high chip input capacitance
- Consistent performance on different materials
- Reliable operation in multi-reader environment
- Theft protection through EAS feature
- Prevention of unauthorized memory access due to read protection
- Wide temperature range: -40°C up to +85°C
- Global use from 840 up to 960MHz

Applications

- Supply chain management
- Asset tracking
- Pallet and case tracking
- Container identification
- Item level tagging

Key Features

- EPCglobal C1G2 1.0.9 certified, compliant to EPCglobal C1G2 1.1.0
- 512-bit on-chip user memory (available on UCODE G2XM)
- 240-bit EPC number
- 64-bit tag identifier, including 32-bit unique serial number
- EAS (electronic article surveillance) custom command
- Read Protect custom command
- Calibrate custom command
- 32-bit access password, 32-bit kill password
- Fast data rate:
  - Forward link: 40 - 160 kbits/s
  - Return link: 40 - 640 kbits/s
- Multi-label operation
  - Europe: 600 tags/s
  - US: 1600 tags/s

NXP founded by Philips

Standards Compliance

UCODE G2XM and UCODE G2XL are certified according to EPCglobal Class1 Generation2 Version1.0.9 and conform to EPCglobal Class1 Generation2 Version1.1.0.

Frequency Band

Symbol	Description	Min	Max	Unit
UHF	Frequency Band	840	960	MHz

Electrical Parameter

Description	Typ. value	Unit
Input chip capacitance	0.9	pF
Quality factor	9	
Minimum operating power	- 15	dBm
Interference signal suppression*	- 4	dB

* Modulated jammer, offset to carrier frequency > 1.0 MHz

Ordering information

Part	Ordering number	Delivery type description
UCODE G2XM	SL3ICS1002FUG/V7AF	Bumped and sawn wafer on foil frame carrier (8 inch)
	SL3S1002FTT	SMD package: TSSOP8
	SL3FCS1002FC	Flip chip package: Polymer strap
UCODE G2XL	SL3ICS1202FUG/V7AF	Bumped and sawn wafer on foil frame carrier (8 inch)
	SL3S1202FTT	SMD package: TSSOP8
	SL3FCS1202FC	Flip chip package: Polymer strap

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

ผศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ เกิดเมื่อ 9 กันยายน 2517 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี 2540 และต่อมาได้ศึกษาระดับปริญญาโทต่อด้วยทุนส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษเป็นอาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้าสื่อสาร) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อปี 2550 ได้สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจได้แก่ เทคโนโลยีสายอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี