

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

Wideband Microstrip Antenna



โดย
นายณยศ ลิขิตเอกราช
นายอิทธิพล รัตนภรณ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 71996
วัน,เดือน,ปี..... 7 ส.ย. 2550

b. 61623
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

Wideband Microstrip Antenna

โดย

นายณยศ ลิขิตเอกราช 47015006

นายอิทธิพล รัตนภรณ์ 47015039

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

รศ.ดร. จเร สุรวัดณ์ปัญญา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

Wideband Microstrip Antenna

ผู้จัดทำ

1. นาย ฌยศ ลิขิตเอกราช 47015006

2. นาย อธิธิพล รัตนารณ์ 47015039


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. ชuwong พงศ์เจริญพาณิชย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. จor สุรวัดน์ปัญญา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

Wide Band Microstrip Antenna

โดย นาย ณยศ ลิขิตเอกราช 47015006

นาย อธิธิพล รัตนาภรณ์ 47015039

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

รศ.ดร. จเร สุรวุฒินันท์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง โดยจะรองรับการใช้งานหลายย่านความถี่ทำให้ครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้กับเทคโนโลยี BLUETOOTH, UMTS+, IEEE802.11 b/g และ IEEE802.11a ข้อดีของสายอากาศแบบไมโครสตริปคือน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด ออกแบบง่าย และติดตั้งสะดวก และในโครงการนี้จะศึกษาคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่น ได้แก่ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น ค่าสภาพแอมเพดแทนซ์ทาง การโพลารไรซ์ คุณลักษณะอิมพีแดนซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของสายอากาศ

Abstract

This project presents the study, design, fabrication and measurement of wideband microstrip patch antenna. This antenna is designed to cover the technology of BLUETOOTH, UMTS+, IEEE802.11b/g and IEEE802.11a The merit of the microstrip patch antenna is that it possesses light weight, compact size, easy design and convenient fabrication. Additionally, this project will analyze the radiation characteristics such as radiation pattern, beamwidth, directivity, polarization and impedance characteristics such as input impedance, return loss and standing wave ratio of microstrip antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำแนะนำและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ตลอดจนคนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ทั้งหมดนี้เกิดขึ้นได้เพราะข้าพเจ้ามีอาจารย์ที่ปรึกษาประกอบด้วย

ผศ.ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

รศ.ดร. จเร สุรวัฒนปัญญา

รวมถึงบุคคลที่ได้ให้คำแนะนะ ความรู้ สถานที่ และอุปกรณ์ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ขอบเขตโครงการ	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	3
2.2 ชนิดของสายอากาศไมโครสตริป	4
2.2.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (Patch)	4
2.2.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบสล็อต (Slot)	4
2.2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบ Travelling-Wave	5
2.3 รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีต่างๆ	5
2.3.1 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Line)	5
2.3.2 การป้อนสัญญาณด้วย โคแอกเซียล (Coaxial Cable)	6
2.3.3 การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด (Aperture)	7
2.3.4 การป้อนสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน (Proximity)	8
2.4 หลักการกระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป	8
2.5 การส่งผ่านคลื่นในสายส่งไมโครสตริป	15
2.6 การลดทอนกำลังสัญญาณของไมโครสตริป	19
2.7 อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance)	21
2.7.1 อินพุตอิมพีแดนซ์ของการป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป	21
2.7.2 อินพุตอิมพีแดนซ์ของการป้อนสัญญาณแบบโคแอกเซียล	24
2.8 โพลาริเซชัน (Polarization)	26
2.9 พารามิเตอร์ของสายอากาศ (Antenna Parameter)	26
2.9.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)	26
2.9.2 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)	27
2.9.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)	28
2.9.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)	29
2.9.5 บีมวิดท์ (Beamwidth)	29
2.9.6 อัตราขยาย (Gain)	30
2.9.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	30
2.9.8 แบนด์วิดท์ (Bandwidth : BW)	31

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	32
3.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป	32
3.1.1 การคำนวณและการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมมุมฉาก	32
3.1.2 การออกแบบหาจุดป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป	34
3.1.3 การออกแบบหาค่าความกว้างของสายส่ง (Strip Line)	36
3.2 การออกแบบและการคำนวณสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง	36
3.2.1 การออกแบบหาความกว้างของสายส่งไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง	36
3.2.2 การออกแบบหาความยาวของสายส่งไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง	37
3.2.3 การออกแบบส่วนแพร่กระจายของสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง	38
3.3 สายอากาศไมโครสตริปที่นำมาทำเป็นชิ้นงานมีสารไดอิเล็กตริกเป็นแบบอีพ็อกซี	44
3.4 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป	44
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป	44
3.4.2 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริป	45
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์	46
4.1 พิจารณาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Impedance)	46
4.2 พิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR)	47
4.3 พิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)	48
4.4 พิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ผลจำลองจากโปรแกรม CST)	49
4.5 พิจารณาค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง	54
บทที่ 5 ผลการทดสอบและผลการทดลอง	55
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	55
5.2 ขั้นตอนการทดสอบ	56
5.3 ผลการทดสอบ	56
5.3.1 การทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	56
5.3.2 การทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR)	57
5.3.3 การวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ	58
5.3.4 การทดสอบหาค่าแบนด์วิดท์	59
5.3.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation Pattern)	60
5.3.6 การวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศ (Polarization)	68
5.3.7 การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ (Gain)	69
5.3.8 การทดสอบส่งสัญญาณของสายอากาศในการใช้งานจริง	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.8.1 การคำนวณค่า throughput ด้วยโปรแกรม Chariot	72
5.3.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	74
บทที่ 6 สรุปวิจารณ์ และแนวทางการพัฒนา	75
6.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ	75
6.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	75
6.2.1 ปัญหา	75
6.2.2 แนวทางแก้ไข	76

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการสื่อสารแบบไร้สาย (WirelessLAN)	1
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	4
รูปที่ 2.3 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปแบบสลีต	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปแบบทราเวอร์ริงเวฟ	5
รูปที่ 2.5 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีสายส่งไมโครสตริป	6
รูปที่ 2.6 การป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเซียล	7
รูปที่ 2.7 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีผ่านช่องเปิด	7
รูปที่ 2.8 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีวางไว้ใกล้กัน	8
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	8
รูปที่ 2.10 ลักษณะของสนามไฟฟ้าภายใต้แผ่นและบริเวณของสายอากาศไมโครสตริป	9
รูปที่ 2.11 ลักษณะการเกิดสลีต	9
รูปที่ 2.12 แหล่งจ่ายกระแสแบบที่ทำให้เกิดสนามในระนาบใกล้เคียงกัน	11
รูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายกระแสเชิงผิวอีกแบบหนึ่ง ที่ทำให้เกิดสนามในระนาบใกล้เคียงกัน	12
รูปที่ 2.14 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และสนามที่แพร่กระจายบริเวณขอบของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป	12
รูปที่ 2.15 เส้นแรงไฟฟ้าในราบตามขวางของไมโครสตริป	15
รูปที่ 2.16 ไมโครสตริปที่ $w/h \gg 1$ และ $w/h \ll 1$	18
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล	19
รูปที่ 2.18 การส่งผ่านของคลื่น TEM แบบอุดมคติในไมโครสตริป	20
รูปที่ 2.19 โครงสร้างทางกายภาพของสายส่งไมโครสตริป	21
รูปที่ 2.20 อัตราส่วนค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ต่อค่าคงที่สัมพัทธ์ของฉนวน	23
รูปที่ 2.21 คุณสมบัติดิสเพอร์ชัน $\epsilon_c(f)$ ในไมโครสตริป	24
รูปที่ 2.22 แสดงระบบ โคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	27
รูปที่ 2.23 โลบต่างๆและบีมวิดท์ของแบบรูปสายอากาศ	27
รูปที่ 2.24 แบบรูปในแบบเชิงเส้น	28
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม	32
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม	34
รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.4 GHz	39
รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz	40
รูปที่ 3.5 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5 GHz	42
รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz	43
รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของสายส่งและส่วนแพร่กระจายคลื่นที่คำนวณ	43
รูปที่ 4.1 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance) ที่ได้จากโปรแกรม CST	46
รูปที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) ที่ได้จากโปรแกรม CST	47
รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ที่ได้จากโปรแกรม CST	48
รูปที่ 4.4 แบบรูปแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz	49
รูปที่ 4.5 แบบรูปแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz	50
รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz	51
รูปที่ 4.7 แบบรูปแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.2 GHz	52
รูปที่ 4.8 แบบรูปแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz	53
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์มิตติวิตี (ϵ_r) ของสารตัวกลาง มีค่า 3.0	54
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์มิตติวิตี (ϵ_r) ของสารตัวกลาง มีค่า 5.0	54
รูปที่ 5.1 สายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ในการทดลอง	55
รูปที่ 5.2 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance) ที่ได้จากการทดสอบ	56
รูปที่ 5.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) ที่ได้จากการทดสอบ	57
รูปที่ 5.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ที่ได้จากการทดสอบ	58
รูปที่ 5.5 ค่าแบนด์วิดท์ที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 2.4 GHz – 6 GHz	59
รูปที่ 5.6 การจัดวางสายอากาศภายในห้องเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	61
รูปที่ 5.7 การจัดวางสายอากาศเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบต่างๆ	61
รูปที่ 5.8 สายอากาศที่ใช้ทดสอบการแพร่กระจายคลื่น (ก) สายอากาศที่มีย่านความถี่ใช้งาน 2.45GHz (ข) ท่อเวฟไกด์ที่มีย่าน ความถี่ใช้งานตั้งแต่ 2.85 GHz ไปจนถึง 6.8 GHz	62
รูปที่ 5.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz	63
รูปที่ 5.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz	64
รูปที่ 5.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz	65
รูปที่ 5.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.2 GHz	66
รูปที่ 5.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz	67
รูปที่ 5.14 การวัดโพลารไรซ์เซชันของสายอากาศ	68
รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบการวัดโพลารไรซ์เซชันของสายอากาศ	68
รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ	69
รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศที่ย่านความถี่ 2.4GHz และ 3.4 GHz	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 GHz , 5.2 GHz และ 6 GHz	70
รูปที่ 5.19 สายอากาศไมโครสตริปที่ติดตั้งกับ Access Point ในการทดสอบใช้งานจริง	71
รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบส่งสัญญาณของสายอากาศในการใช้งานจริง	72
รูปที่ 5.21 สายอากาศที่ใช้ทดสอบ	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป	57
ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริป	58
ตารางที่ 5.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป	59
ตารางที่ 5.4 ค่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 1 GHz – 7 GHz	60
ตารางที่ 5.5 ค่าอัตราขยายของสายอากาศ ที่ได้จากการทดสอบ	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

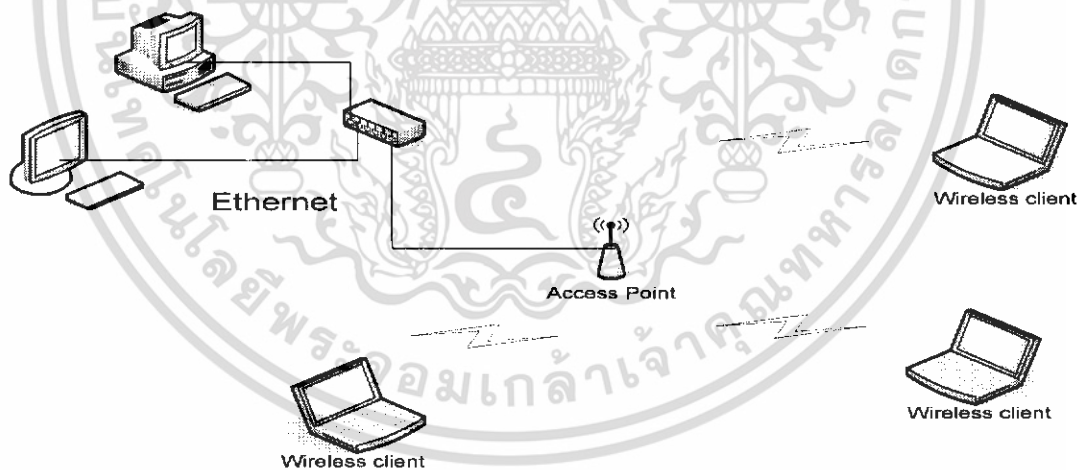
บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication System) โดยทั่วไปจะประกอบด้วย อุปกรณ์หลัก คือ เครื่องส่ง สายนำสัญญาณ สายอากาศและเครื่องรับ สายนำสัญญาณจะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศ หรือรับสัญญาณโดยสายอากาศและส่งผ่านมายังเครื่องรับ สายอากาศจึงถือว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญที่สุดอันหนึ่งในระบบการสื่อสารที่ใช้คลื่นเพราะสายอากาศที่ดีและมีประสิทธิภาพสูงจะทำให้สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องส่ง โครงสร้างสายอากาศนั้นมักถูกสร้างจากวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดีและออกแบบเพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกระแสซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นสายอากาศจึงเป็นโครงสร้างที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

โดยในปัจจุบันการสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟมีบทบาทสำคัญมากสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟนั้น มีการนำเอามาใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมมากยิ่งขึ้น สายอากาศย่านความถี่ไมโครเวฟจึงมีการมีการวิจัยและพัฒนาอยู่เสมอแบบ สายอากาศไมโครสตริปปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น เป็นแผ่นแบนเรียบ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา จึงสามารถออกแบบเพื่อติดตั้งใช้งานได้ง่ายและสร้างได้เองโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless LAN)

การสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication System) ในปัจจุบันจะมีมาตรฐานการใช้งานที่แพร่หลาย คือ มาตรฐาน IEEE 802.11b /g โดยจะใช้งานในย่านความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบสร้างสายอากาศไมโครสตริปให้มีคุณสมบัติใช้งานได้ในหลายย่านความถี่โดยจะครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 2.4 GHz ไปจนถึง 6 GHz เพื่อทดสอบศึกษาคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นซึ่งได้แก่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ความกว้างของลำคลื่น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางการโพลาไรซ์คุณลักษณะอิมพีแดนซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบไมโครสตริป

1.2 ขอบเขตโครงการ

สามารถออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศไมโครสตริป ภายในช่วงความถี่ 2.4 GHz ไปจนถึง 6 GHz โดยจะทดสอบการใช้งานจริงในย่านความถี่ 2.45 GHz

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

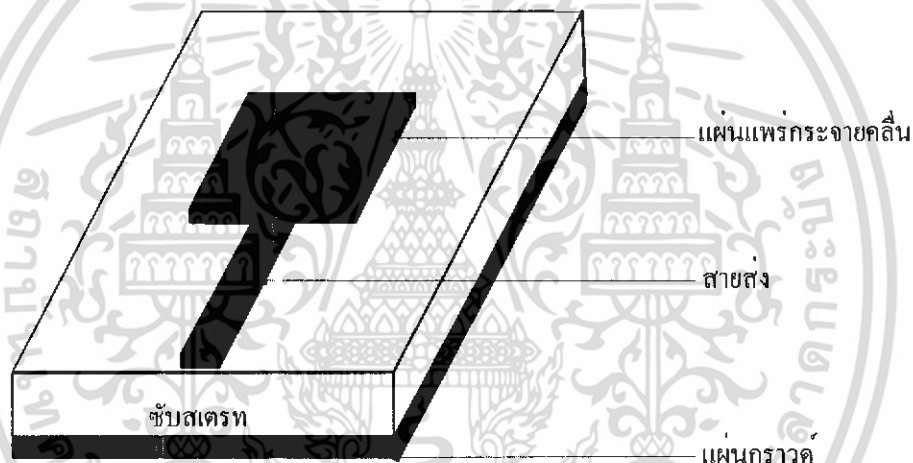
1. ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศตั้งแต่ 2.4 GHz ไปจนถึง 6 GHz
2. ทดสอบการใช้งานจริงในย่าน 2.45 GHz
3. ศึกษาโครงสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริปและเข้าใจหลักการในการทำงาน การวัด และการทดสอบของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

สายอากาศไมโครสตริปมีรูปร่างภายนอกง่ายๆประกอบด้วย ส่วนที่ทำการแพร่กระจายคลื่นซึ่งจะอยู่ด้านบนของแผ่นรองรับ และด้านล่างของแผ่นรองรับจะเป็นผิวโลหะทำหน้าที่เป็นกราวด์ ส่วนที่ทำการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นแผ่นตัวนำธรรมดาซึ่งจะเป็นแผ่นทองแดง สายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถมีรูปร่างได้หลายรูปแบบ ทำให้วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้ความถี่ตามที่ต้องการโดย ในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปและวิธีการคำนวณแบบต่างๆ

2.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

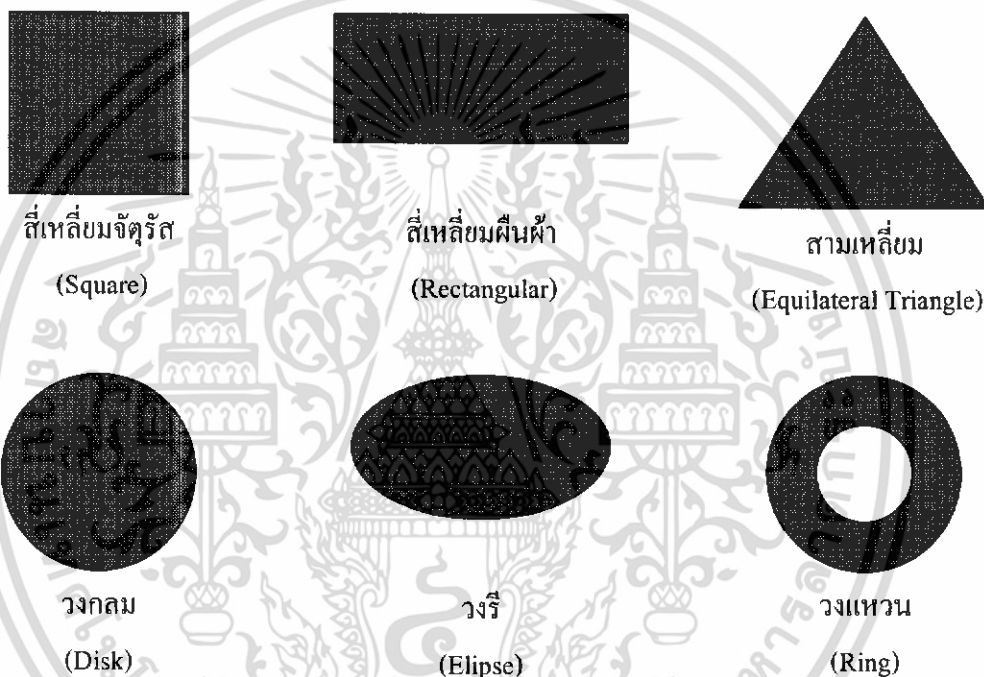
ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วย แผ่นตัวนำ 2 แผ่นวางขนานกัน โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งมีรูปร่างต่างๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปวงกลม วงรี ฯลฯ เรียกว่า ตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiation Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะเป็นแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยในอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างมาก เรียกว่า แผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง

2.2 ชนิดของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศแผ่นไมโครสตริปจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟทั่วไป ที่พบเห็นได้ชัด คือ รูปร่างของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบต่างๆ อย่างไรก็ตาม สายอากาศแผ่นไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้คือ

2.2.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (Patch)

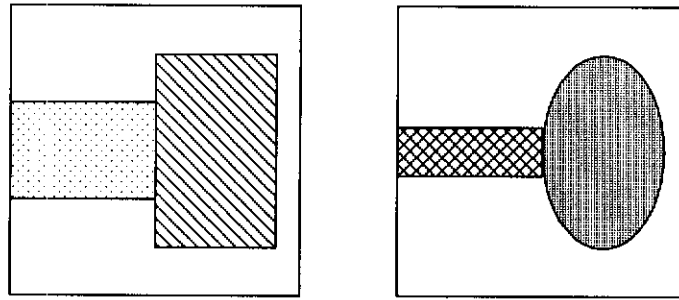
สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น Patch ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางๆ ที่มีรูปทรงทางเรขาคณิตอยู่บนแผ่นสารตัวกลาง และอีกด้านหนึ่งของสารตัวกลางจะเป็นพื้นกราวด์ แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายรังสี ซึ่งหาได้จากการคำนวณตามรูปร่างลักษณะต่างๆ ดังรูป



รูปที่ 2.2 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น

2.2.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบสล็อต (Slot)

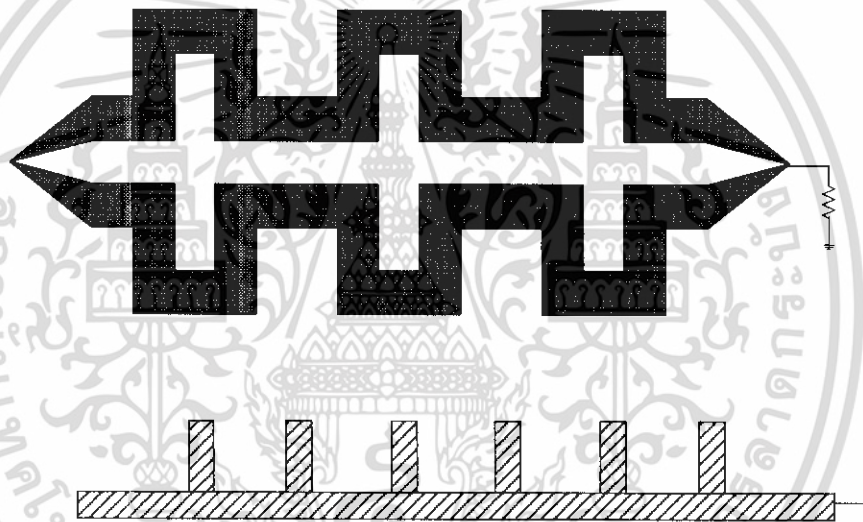
สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบสล็อต มีลักษณะคือ มีช่องที่พื้นกราวด์และทำการป้อนสัญญาณโดยใช้เส้นไมโครสตริปที่เป็นช่อง รูปร่างของสล็อตจะเป็น สี่เหลี่ยมผืนผ้า วงกลม หรือวงแหวน ที่แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปแบบสลีต

2.2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบ Travelling-Wave

สายอากาศไมโครสตริปแบบ ทราเวลลิงเวฟ ประกอบด้วยนำลักษณะเป็นคาน หรือมีความยาวตามเส้น TEM โดยที่ปลายเปิดของเส้น TEM จะต่อกับตัวภาระที่ทำการแมทซ์แล้ว โดยที่จะมีรูปร่างแสดงดังรูปที่ 2.4



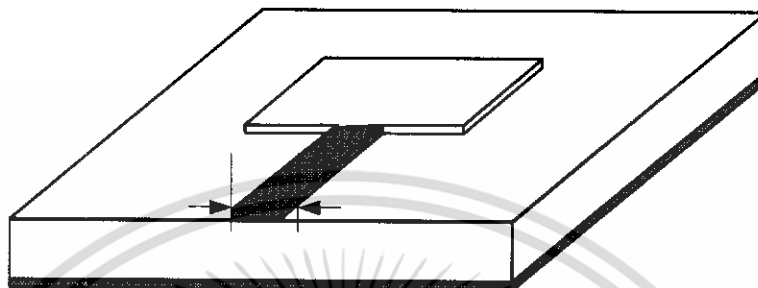
รูปที่ 2.4 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปแบบทราเวลลิงเวฟ

2.3 รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีต่างๆ

2.3.1 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Line)

การป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับสายอากาศไมโครสตริปเป็นการป้อนกำลังงานไฟฟ้าไปยังขอบตัวนำของสายอากาศด้านบน โดยพื้นกราวด์เป็นกราวด์ร่วมกันกับตัวสายอากาศ สำหรับสายส่งไมโครสตริปนี้ จะต้องคำนึงถึงการแมทซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายป้อนสัญญาณกับด้านสายอากาศไมโครสตริป การป้อนสัญญาณที่แนวศูนย์กลางของสายอากาศ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการป้อนสัญญาณก็คือการใช้แผ่นไมโครสตริป และสายส่งไมโครสตริปต่อกับตัวกลางโดยตรงแต่วิธีนี้จะได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติไม่ค่อยดีนัก เพราะโครงสร้างของสายอากาศและสายส่งไมโครสตริปจะไม่สอดคล้องกันกล่าวคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

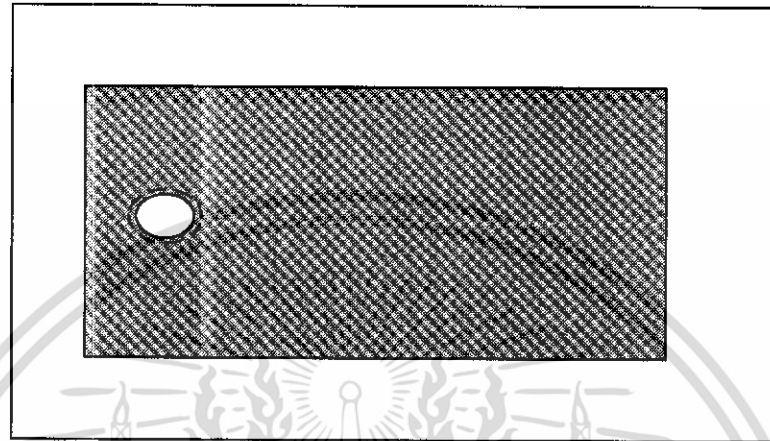
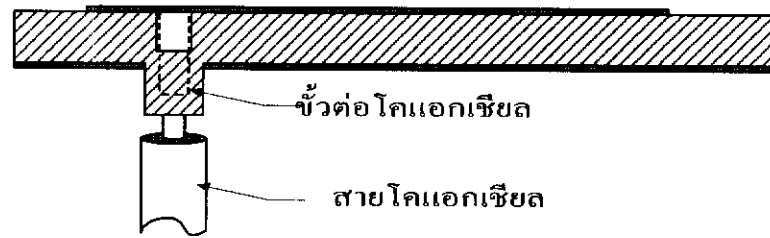
สายอากาศนี้จะส่งคลื่นได้ไม่ดีนัก เนื่องจากมีผิวโลหะที่ไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้ระดับของคลื่นในทิศทางด้านข้างทิศทางหลัก (Side Lobe Level) มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะไปลดคุณภาพของสายอากาศ นอกจากนี้ ช่วงความถี่ที่ใช้งานจะกว้างขึ้นด้วย เนื่องจากมีพลังงานจำนวนมากสะสมอยู่ภายใต้แผ่นตัวนำ (Cavity Effect) แต่สายส่งชนิดนี้สามารถปรับแมทซ์ซึ่งในตัวเองได้ และยังสามารถสร้างได้ง่าย โดยทำการสร้างไปพร้อมกับแผ่นตัวนำที่ใช้ในการส่งคลื่นได้เลย ที่แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีสายส่งไมโครสตริป

2.3.2 การป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเซียล (Coaxial Cable)

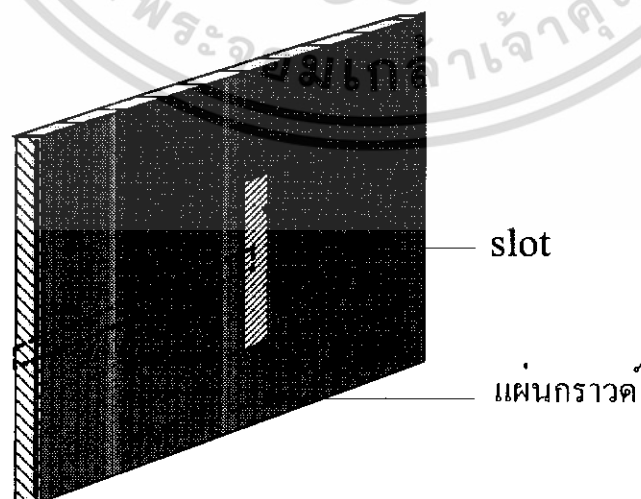
เป็นการป้อนกำลังงานโดยการเจาะทะลุจากกรวดทางด้านล่างต่อตัวนำด้านในของสายส่ง เข้ากับตัวสายอากาศ และตัวนำจะเชื่อมต่อเข้ากับแผ่นกรวด การป้อนกำลังงานจะทำการป้อนโดยที่จะต้องคำนึงว่าจุดที่เราป้อนเข้าไปนั้นว่า เมทซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายป้อนสัญญาณกับสายอากาศไมโครสตริปหรือไม่ ในการใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นตัวป้อนสัญญาณจะต้องต่อสายนำสัญญาณให้ตั้งฉากกับแผ่นตัวนำโดยตัวนำด้านในจะต่ออยู่กับตัวนำด้านบนและตัวนำด้านนอกจะต่ออยู่กับแผ่นระนาบตัวนำ ซึ่งจากการศึกษาจะพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า (สัญญาณ) ผ่านเข้าไปยังสายอากาศ สายอากาศจะมีการแผ่กระจายคลื่นเป็นปริมาณน้อยมาก เมื่อใช้ตัวกลางที่มีขนาดบาง แต่จะมีการแผ่กระจายคลื่นมากขึ้นถ้าต่อกับตัวกลางที่หนาขึ้น นอกจากนี้สายสัญญาณแกนคู่ยังสามารถต่อกับสายนำสัญญาณชนิดอื่นได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การป้อนสัญญาณด้วยโครแอคเซียล

2.3.3 การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด (Aperture)

การป้อนสัญญาณประเภทนี้จะนำเอาข้อบกพร่องของการป้อนสัญญาณในแบบที่ 1 และ 2 เนื่องจากทั้ง 2 แบบโดยธรรมชาติแล้วจะไม่สมมาตรกัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโหมด ในอันดับที่สูงขึ้นกว่า (Higher Order Mode) ทำให้เกิดการแพร่กระจายที่โพลาไรซ์เซชันไขว้ (Cross Polarization) จึงได้มีการคิดวิธีการป้อนสัญญาณ โดยการค้ำปลีงผ่านช่องเปิด แต่วิธีการนี้จะมีการสร้างยากที่สุด และมีแบนด์วิดท์แคบ แต่การแพร่กระจายคลื่นประเภทนี้จะช่วยลดการกระจายคลื่นปลอมปนได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีผ่านช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การป้อนสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน (Proximity)

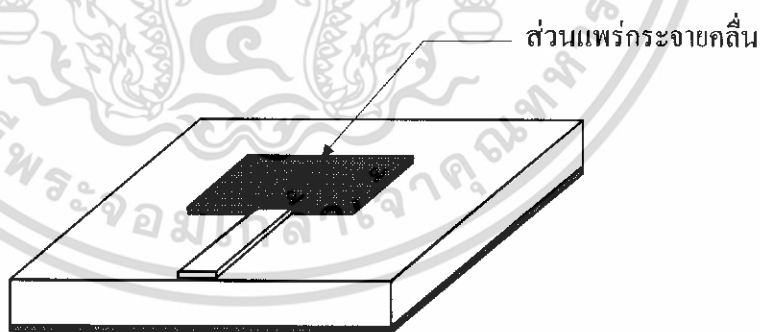
การป้อนสัญญาณประเภทนี้ มีลักษณะเช่นเดียวกับการป้อนสัญญาณประเภทที่ 3 โดยลักษณะโครงสร้างจะประกอบด้วยวัสดุฐานรอง 2 ชั้นที่ถูกแยกออกจากกันด้วยระนาบสร้างเงาด้านล่างของวัสดุฐานรองแผ่นล่างสุด จะเป็นวัสดุที่มีค่าคงที่สารตัวกลางต่ำกว่าระนาบสร้างเงาที่แบ่งวัสดุฐานรองทั้งสองออกจากกัน จะช่วยป้องกันการแพร่กระจายคลื่นออกจากส่วนป้อนสัญญาณ ซึ่งจะช่วยลดการแพร่กระจายคลื่นปลอมปน และทำให้ได้โพลาริเซชันที่บริสุทธิ์ขึ้น ซึ่งการป้อนสัญญาณโดยการวางไว้ใกล้ๆกัน นั้นจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด และยังง่ายต่อการสร้างแบบจำลองและมีการปลอมปนของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ แต่การสร้างยังทำได้ยากอยู่ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีวางไว้ใกล้กัน

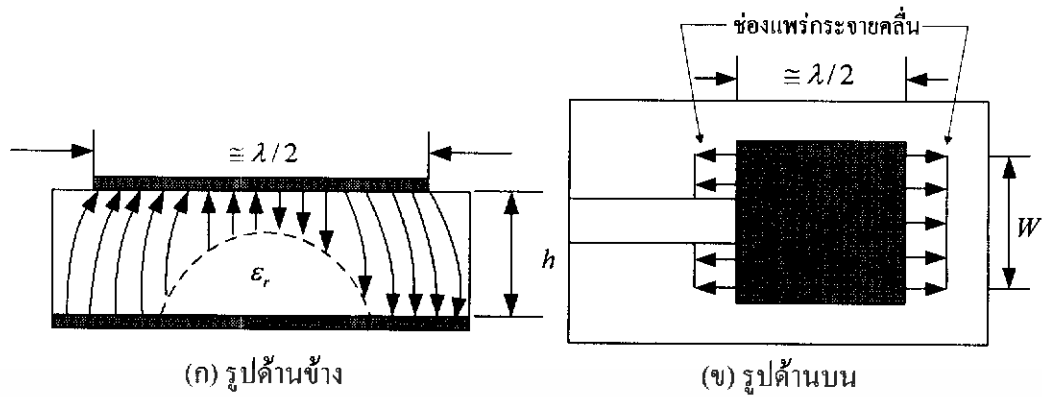
2.4 หลักการกระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป

การแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศไมโครสตริปสามารถทำได้ง่ายขึ้น โดยจะให้ส่วนแพร่กระจายคลื่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.9



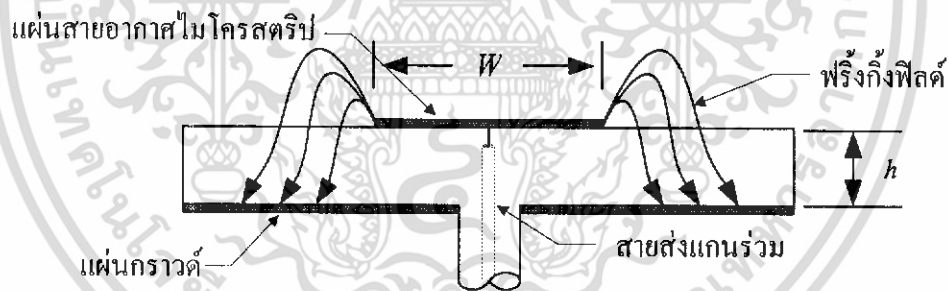
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

สมมติให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าตามแนวความกว้าง และความหนาแน่นของสายอากาศไมโครสตริปสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของสนามไฟฟ้าภายใต้แผ่นและบริเวณของสายอากาศไมโครสตริป

สนามไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามแนวความยาวของส่วนกระจายคลื่น ซึ่งเท่ากับ $\lambda/2$ การแพร่กระจายคลื่น สามารถอธิบายได้จากสนามบริเวณขอบที่เปิดวงจรของแผ่นแพร่กระจายคลื่น โดยจะแยกพิจารณาสนามไฟฟ้าที่ขอบเป็นส่วนประกอบแนวตั้งฉาก และส่วนประกอบแนวสัมผัส ส่วนประกอบตั้งฉากจะมีการกลับเฟส 180 องศา เพราะส่วนการการแพร่กระจายคลื่นมีความยาว $\lambda/2$ ดังนั้น สนามระยะไกลที่เกิดขึ้นจะไม่มีกระแสกระจายสูงสุด โดยตั้งฉากกับผิวของส่วนกระจายคลื่นแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการเกิดสล็อต

ในกรณีสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง สายอากาศแผ่นไมโครสตริปจะเกิดเป็นสล็อตซึ่งจะเรียกแต่ละสล็อตว่า เซลล์สนาม (Field-Cell) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งเซลล์ของแต่ละสนามมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ

$$Z_i = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z_o \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

$$Z_c = \frac{Z_o}{n\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377}{10\sqrt{2}} = 26.7 \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเป็นสายอากาศ $\mu_r = \epsilon_r = 1$ และ $Z_i = Z_o = 377$ โอห์ม ดังนั้น ถ้ามีจำนวนเซลล์สนาม
ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปมีค่า

$$Z_c = \frac{Z_o}{\sqrt{N\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

โดย $N = \frac{W}{t}$ เพราะฉะนั้น

$$Z_c = \frac{Z_o}{\sqrt{W\epsilon_r}} t \quad (2.4)$$

ในรูปจะตัดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากขอบทั้งสองข้างทิ้งไป แต่ถ้าต้องการค่าที่ละเอียดจะเขียนได้ว่า

$$Z_c = \frac{Z_o}{\sqrt{\epsilon_r [(W/t) + 2]}} \quad (2.5)$$

ถ้าความยาว L ไม่ใช่ $\lambda/2$ แต่มีค่าเท่ากับ λ โดย $\lambda = \lambda_o / \sqrt{\epsilon_r}$ เซลล์สนามทั้งสองข้างของ
ขอบของสายอากาศแผ่นไมโครสตริปจะมีผลต่อการกระจายคลื่นทันที สมมติ $\epsilon_r = 1$ จะได้ว่า

$$Z_c = \frac{Z_o^2}{4Z_d} \quad (2.6)$$

เมื่อ Z_o คือ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศแผ่นไมโครสตริปที่อยู่ในสูญญากาศ
ซึ่งเท่ากับ 377 โอห์ม

Z_d คือ ค่า Impedance Complementary Dipole (โอห์ม)

ซึ่งสามารถหาค่าสภาพเจาะจงของทิศทางได้โดยใช้สูตร

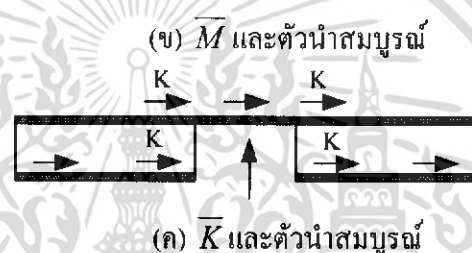
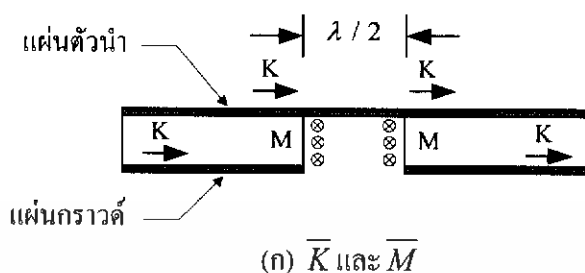
$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (2.7)$$

เมื่อ Ω_A คือ มุมที่กระจายคลื่น (Beam Area)

การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป สนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกจากแผ่น
ไมโครสตริป สามารถหาได้จากสมมติสถานะและการจ่ายกระแสให้แก่สายอากาศ แหล่งจ่ายกระแสที่
สมมติขึ้นนี้มีอยู่ 3 แบบดังรูปที่ 2.12 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากกระแสเชิงผิวสามารถพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากรูปที่ 2.12 (ก) สนามระยะไกลสามารถคำนวณได้จากสนามแม่เหล็ก (\bar{M}) รวมกับสถานะตัวนำสมบูรณ ดังรูปที่ 2.12 (ข) ความหนาแน่นกระแสของสนามไฟฟ้าแนวสัมผัสจะทำให้สนามระยะไกลเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้า (\bar{K}) รวมกับสถานะตัวนำแม่เหล็กสมบูรณ พิจารณาได้จากรูปที่ 2.12 (ค)



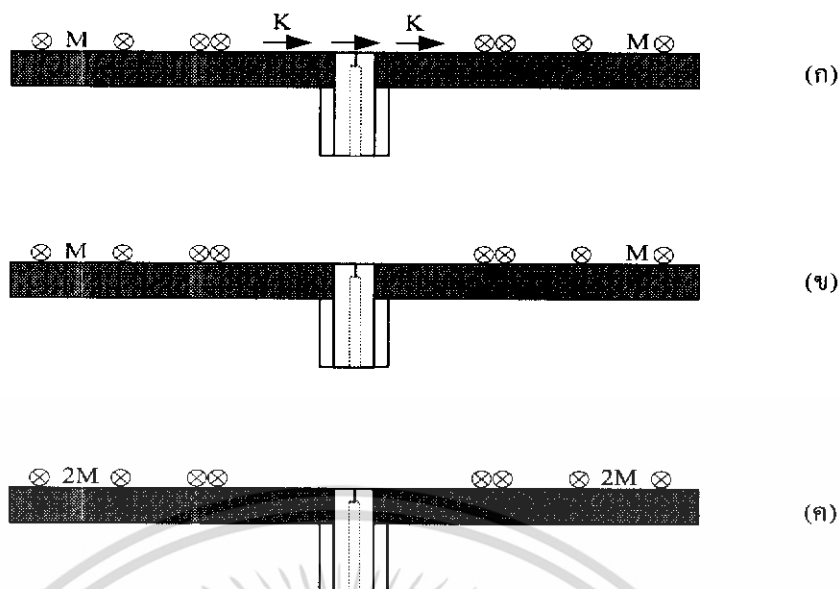
รูปที่ 2.12 แหล่งจ่ายกระแสแบบที่ทำให้เกิดสนามในระยะไกลเหมือนกัน

สำหรับกรณีต่อไป การกำหนดสมการจะใช้พื้นฐานของขอบเขตเงื่อนไข คือ

$$\left. \begin{aligned} \bar{E} \times \bar{a}_n &= 0 \\ \bar{a}_n \times \bar{H} &= \bar{K} \end{aligned} \right\} \text{บนแผ่นแพร่กระจายคลื่นและพื้นกราวด์} \quad (2.8)$$

เมื่อ \bar{a}_n คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ขนานกับพื้นผิว E กับ \bar{H} คือสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในแนว สัมผัสภายในสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

ซึ่งแหล่งจ่ายจะทำให้เกิดสนามในระยะไกลเหนือแผ่นแพร่กระจายคลื่น สนามไฟฟ้าที่อยู่ใต้พื้นกราวด์จะเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 2.13 (ก) แสดงกระแสไฟฟ้าและกระแสแม่เหล็กในระนาบ ดังรูปที่ 2.13 (ข) แสดงกระแสแม่เหล็ก และตัวนำกระแสเชิงผิวจะเพิ่มเป็น 2 เท่า



รูปที่ 2.13 แหล่งจ่ายกระแสเชิงผิวอีกแบบหนึ่ง ที่ทำให้เกิดสนามในระยะไกลเหมือนกัน

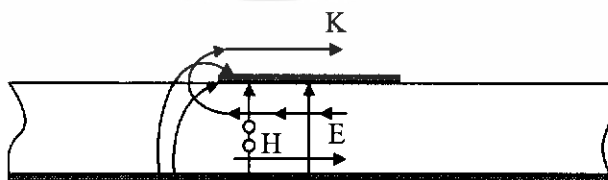
สภาวะดังกล่าวทั้ง 6 อย่างจะต้องมีการกระจายกระแสที่เที่ยงตรง เนื่องจากสามารถคำนวณสนามในระยะไกลได้ถูกต้อง ถ้าวัสดุฐานรองเป็นเนื้อเดียวกัน ตามคุณสมบัติ (Isotropic)

การเหมือนกัน (Homogeneous) และมีการสูญเสียค่าความนำของตัวนำของส่วนแพร่กระจายคลื่น และพื้นกราวด์ของสายอากาศแผ่น ไมโครสตริปมีค่าเป็นอนันต์ กระแสเชิงผิวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าแนวสัมผัส \vec{M} เป็น

$$\vec{K} = \vec{a}_n \times \vec{H} \tag{2.9}$$

$$\vec{M} = \vec{E} \times \vec{a}_n \tag{2.10}$$

สมการทั้งสองแสดงความสัมพันธ์ของสนามภายในสายอากาศแผ่นไมโครสตริปกับกระแสเชิงผิว ดังรูปที่ 2.14 เพื่อความรวดเร็วในทางปฏิบัติ จะพิจารณาเพียงกระแสด้านบนและด้านล่างของส่วนกระจายคลื่น ฟังก์ชันของศักย์ไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะทำให้ทราบส่วนที่แพร่กระจายที่เกิดจากกระแสเชิงผิวข้างขึ้น ในขั้นแรกจะสมมติให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ ซึ่งอยู่ภายนอกสายอากาศแผ่นไมโครสตริป สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.14 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และสนามที่แพร่กระจายบริเวณขอบของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

ในขั้นแรก สมมติให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ที่จุดใด $P(r, \theta, \phi)$ ซึ่งอยู่ภายนอกแผ่นไมโครสตริป สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12

$$\bar{E}_e(r) = \frac{-j}{\omega\mu\epsilon} \nabla(\nabla \cdot \bar{A}) - j\omega\bar{A} \quad (2.11)$$

$$\bar{H}_e(r) = \frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{A} \quad (2.12)$$

โดยที่ตัวห้อย e ที่ \bar{E} และ \bar{H} แสดงถึงสนามที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้า

- เมื่อ μ คือ เพอร์มิบิลิตี (Permeability)
 ϵ คือ เพอร์มิททิวิตี (Permittivity)
 ω คือ ความถี่เชิงมุม (Angular Frequency)
 \bar{A} คือ เวกเตอร์ศักย์แม่เหล็ก (Vector Magnetic Potential)

\bar{A} สามารถหาได้จาก

$$\bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \iint_s \frac{\bar{M}(r') e^{-jk_0|\bar{r}-\bar{r}'|}}{|\bar{r}-\bar{r}'|} ds' \quad (2.13)$$

- เมื่อ k_0 คือ จำนวนของคลื่นในอากาศ
 $\bar{M}(r')$ คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเชิงผิว ที่ห่างจากจุดกำเนิด

ในทำนองเดียวกัน โดยใช้เวกเตอร์ศักย์ไฟฟ้า (\bar{F}) สนามเนื่องจากสนามแม่เหล็ก สามารถแสดงได้ดังสมการที่

$$\bar{E}_m(r) = -\frac{1}{\epsilon} \nabla \times \bar{F} \quad (2.14)$$

$$\bar{H}_m(r) = \frac{-j}{\omega\mu\epsilon} \nabla(\nabla \cdot \bar{F}) - j\omega\bar{F} \quad (2.15)$$

โดยที่ตัวห้อย m ที่ \bar{E} และ \bar{H} แสดงถึงสนามที่เกิดจากสนามแม่เหล็กและเวกเตอร์ศักย์ไฟฟ้าสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{F} = \frac{\epsilon}{4\pi} \int_s \bar{M}(r') \frac{e^{-jk_0|\bar{r}-\bar{r}'|}}{|\bar{r}-\bar{r}'|} \quad (2.16)$$

เพื่อความสะดวกจะตัดเทอม $e^{-j\omega t}$ ซึ่งเกิดจากสนามที่เปลี่ยนแปลงตามสนามของเวลา (Time Varing Field) ดังนั้นสนามรวม คือ

$$\bar{E}(r) = \bar{E}_e + \bar{E}_m = \frac{-j\nabla(\nabla \cdot \bar{A})}{\omega\mu\epsilon} - j\omega\bar{A} - \frac{\nabla \times \bar{F}}{\epsilon} \quad (2.17)$$

$$\bar{H}(r) = \bar{H}_e + \bar{H}_m = \frac{\nabla \times \bar{A}}{\mu\epsilon} - \frac{j\nabla(\nabla \cdot \bar{F})}{\omega\mu\epsilon} - j\omega\bar{F} \quad (2.18)$$

ทั้งเวกเตอร์ศักย์ไฟฟ้าและเวกเตอร์ศักย์แม่เหล็กที่นำไปใช้แก้ปัญหาสมการ 2 สมการ คือ

$$\nabla^2 \bar{A} + \omega^2 \mu\epsilon \bar{A} = 0 \quad (2.19)$$

$$\nabla^2 \bar{F} + \omega^2 \mu\epsilon \bar{F} = 0 \quad (2.20)$$

เมื่อพิจารณาสนามที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้า สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$\bar{H}(r) = \frac{\bar{E}(r)}{\eta_0} \quad (2.21)$$

$$\bar{E}(r) = -j\omega\bar{A} \quad (2.22)$$

และสำหรับสนามกระแสที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก คือ

$$\bar{H}(r) = -j\omega\bar{F} \quad (2.23)$$

$$\bar{E}(r) = \bar{H}(r)\eta \quad (2.24)$$

เมื่อ η คือ ค่าอินทรีนซิกอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120π

สนามระยะไกลจะพิจารณาภายใต้เงื่อนไข หรือเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดของช่องเปิด ดังนั้นจากสมการที่ 2.21 และ 2.22 จะได้

$$\bar{E} = \frac{-j\omega\epsilon e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \iint_s K(r') [e^{-jk_0 r' \cos\phi}] ds' \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

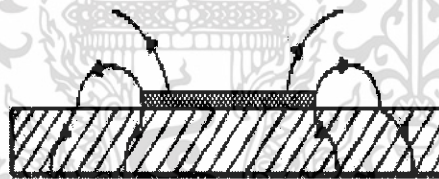
และได้สมการ

$$\vec{H} = \frac{-j\omega\epsilon e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \iint_s M(r') [e^{-jk_0 r' \cos\phi}] ds' \quad (2.26)$$

เมื่อ ϕ คือ มุมระหว่าง r กับ r'

2.5 การส่งผ่านคลื่นในสายส่งไมโครสตริป

ไมโครสตริปถึงแม้จะมีโครงสร้างง่ายๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปโดยละเอียดทางทฤษฎีนั้นเป็นสิ่งยุ่งยากมาก ทั้งนี้เป็นเพราะระบบแกนประสานที่ใช้และเงื่อนไขของขอบเขตของระบบค่อนข้างยุ่งยากเมื่อเทียบกับท่อนำคลื่นหรือสายนำสัญญาณชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามได้มีผู้ทำการศึกษาทางทฤษฎีและพบว่าคลื่นที่ส่งผ่านไปตามไมโครสตริปนั้นจะใกล้เคียงกับโหมด TEM มากแต่จะไม่ใช้โหมด TEM เสียทีเดียว เพราะมีสนามในแนวแกนร่วมอยู่ด้วย จึงนิยมเรียกโหมดดังกล่าวนี้ว่าโหมดกึ่ง TEM (Quasi TEM mode) ดังรูปที่ 2.15 แสดงเส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวาง ซึ่งไมโครสตริปที่มีสนามในแนวแกนอยู่ข้างนั้นเป็นเพราะมีโครงสร้างที่มีสารไดอิเล็กตริก และอากาศอยู่ในระบบเดียวกัน และในสภาพที่มีสนามแนวแกนเกิดอยู่นี้ โหมดนั้นจะเกิดเป็นไฮบริดโหมด



รูปที่ 2.15 เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของไมโครสตริป

การที่คลื่นส่งผ่านไปโหมดกึ่ง TEM ซึ่งอนุโลมให้โหมดกึ่ง TEM นี้ ทำให้สามารถใช้หลักการวงจรกระจายในการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติของไมโครสตริปได้ กล่าวคือ ถ้าสามารถหาค่าอินดักแตนซ์และค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวได้ จะนำค่าทั้งสองนี้ไปคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติได้ อย่างไรก็ตามการหาค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของไมโครสตริปจะยุ่งยากกว่าสายอากาศคู่ขนานหรือสายอากาศโคแอกเชียล เพราะไมโครสตริปมีทั้งสารตัวกลางและอากาศอยู่ในบริเวณที่พลังงานของคลื่นส่งผ่าน สำหรับการหาค่าอินดักแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวนั้น จะไม่ถูกระทบจากการที่มีสารไดอิเล็กตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าการหาค่าคาปาซิแตนซ์จะยุ่งยากกว่าปกติ แต่มีวิธีทำให้ง่ายขึ้นโดยใช้วิธีหาค่าคงตัวของไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล (Effective Dielectric Constant: ϵ_{eff}) ของระบบซึ่งจะรวมผลของสารตัวกลาง และอากาศเข้าด้วยกัน และเนื่องจากสารตัวกลางทั้งหลายมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่หรือคิสมเปอร์ชั้นเชิงวัสดุ ดังนั้น ϵ_{eff} ที่หาได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ไปด้วย อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทางทฤษฎี และการทดลองของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 2 GHz ลงมา ค่า ϵ_{eff} จะเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีของไฟฟ้าสถิตน้อยมาก จึงสามารถอนุมานให้ใช้ค่า ϵ_{eff} ของไฟฟ้าสถิตได้สำหรับช่วงความถี่สูงกว่า 2 GHz ต้องคำนึงถึงค่าคิสมเปอร์ชั้นโดยทำการปรับแต่งค่า ϵ_{eff} ให้เหมาะสมกับความถี่ที่จะใช้งาน

ในการหาค่า ϵ_{eff} ของกรณีไฟฟ้าสถิตนั้นจะใช้แนวความคิดของวงจรกระจายดังต่อไปนี้เมื่อคลื่นที่ส่งผ่านไปไมโครสตริปเป็นโหมด TEM อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ Z_c จะเขียนในรูปของค่าอินดักแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาว L และค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหน่วยความยาว C ได้ในรูปต่อไปนี้

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.27)$$

ในขณะเดียวกันกับความเร็วเฟส V_p จะเขียนได้ดังนี้

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.28)$$

จากสมการที่ 2.28 ทำให้อยู่ในรูปของ V_p กับ L และ C ได้ดังนี้

$$Z_c = V_p L = \frac{1}{V_p C} \quad (2.29)$$

ในขั้นต่อไป พิจารณาที่วัสดุฐานรองรับที่เป็นสารตัวกลางถูกคูดออกไป เหลือแต่อากาศเพียงอย่างเดียวที่โอบล้อมไมโครสตริปอยู่ ในสภาพเช่นนี้ค่าความเร็วเฟสของคลื่น TEM ที่ส่งผ่านจะทำกับความเร็วแสง และค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวจะเปลี่ยนแปลง โดยที่ค่าอินดักแตนซ์จะไม่ถูกกระทบ ถ้าให้ค่าคาปาซิแตนซ์เปลี่ยนไปนั้นมีค่าเป็น C_0 กับความเร็วเฟสในรูปต่อไปนี้

$$c = \frac{1}{\sqrt{LC_0}} \quad (2.30)$$

ในขณะเดียวกันกับค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ จะเขียนได้ดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C_o}} \quad (2.31)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.30) มารวบรวมสมการ (2.28) จะได้ผลดังนี้

$$\frac{C}{C_o} = \left(\frac{c}{V_p}\right)^2 \quad (2.32)$$

ค่า C/C_o นี้ตามนิยามโดยทั่วไปคือค่าคงตัวของสารไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของสาร ไดอิเล็กตริก ที่โอบล้อมระบบเก็บประจุอยู่ในกรณีที่เราพิจารณาอยู่นี้ ค่านี้จะเปรียบเสมือนค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ประสิทธิภาพของระบบ ไมโครสตริปที่มีฉนวนเป็นสาร ไดอิเล็กตริก และด้านบนเป็นอากาศอยู่นั้นคือ

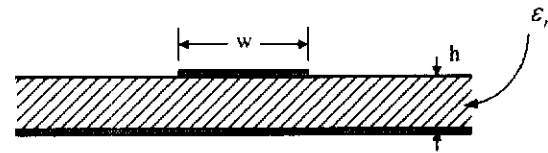
$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{c}{V_p}\right)^2 \quad (2.33)$$

จากสมการที่ (2.29) ถึงสมการที่ (2.33) จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง Z_c, Z_o และ ϵ_{eff} ได้ดังนี้

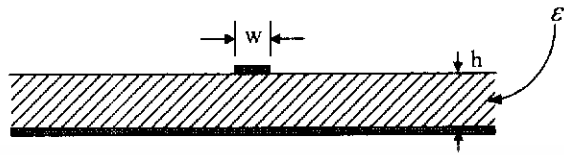
$$Z_c = \frac{Z_o}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \text{หรือ} \quad Z_o = Z_c \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad \text{หรือ} \quad \epsilon_{eff} = \left(\frac{Z_o}{Z_c}\right)^2 \quad (2.34)$$

ความสัมพันธ์ตามสมการ 2.34 นี้จะใช้ประโยชน์ในการออกแบบภายหลัง

จากผลที่ได้นี้จะเห็นได้ว่า ถ้าเราสามารถรู้ค่า ϵ_{eff} ได้ก็จะทำให้สามารถคำนวณคุณสมบัติอื่นตามมาได้ อย่างไรก็ตามค่า ϵ_{eff} จะเปลี่ยนแปลงไปตามความกว้างของไมโครสตริปเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของฉนวน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้โดยพิจารณา 2 กรณีต่อไปนี้ กรณีแรกคือ กรณีที่ $w/h \gg 1$ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 (ก) ในกรณีนี้เนื่องจากเส้นแรงไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณที่มีฉนวนสตริปหรือกล่าวอีกในหนึ่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านอยู่ในบริเวณดังกล่าวเกือบทั้งหมด สภาพดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงค่า ϵ_r ของฉนวน หรือ $\epsilon_{eff} \rightarrow \epsilon_r$ สำหรับกรณีนี้ส่วนกรณีที่สองคือกรณีที่ $w/h \ll 1$ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.16 ไมโครสตริปที่มี $w/h \gg 1$ และ $w/h \ll 1$

ในกรณีนี้เส้นแรงไฟฟ้าจะผ่านฉนวนครึ่งหนึ่งและผ่านอากาศอีกครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผลมีค่าเท่ากับ $(\epsilon_r + 1)/2$ จากที่อธิบายมานี้จะเห็นได้ว่า ค่า ϵ_{eff} จะเปลี่ยนแปลงตามค่า w/h และจะมีขอบบนและขอบล่างตามค่าที่ได้ดังนี้

$$\frac{1}{2}(\epsilon_r + 1) \leq \epsilon_{eff} \leq \epsilon_r \quad (2.35)$$

และเพื่อความสะดวกในการคำนวณและการออกแบบต่อไป ได้มีการเขียนค่า ϵ_{eff} ในรูปต่อไปนี้

$$\epsilon_{eff} = 1 + q(\epsilon_r - 1), \quad \frac{1}{2} \leq q \leq 1 \quad (2.36)$$

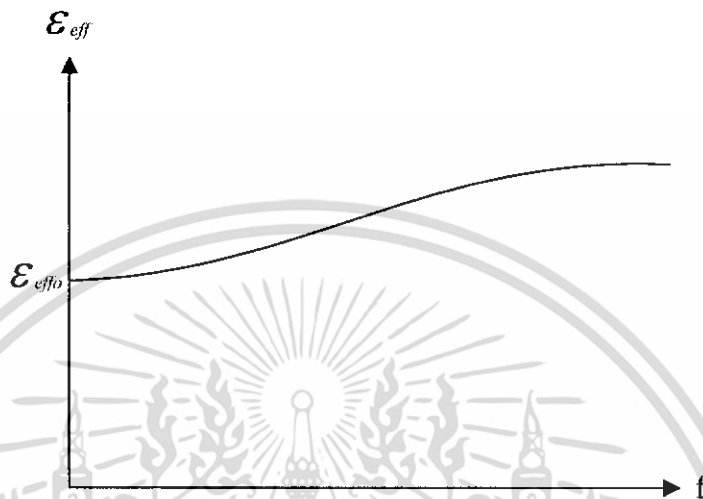
ค่า q ในสมการ (2.36) นี้ถูกเรียกว่าฟิลลิงแฟกเตอร์ (filling factor) ซึ่งหมายถึงตัวประกอบที่แสดงให้รู้ว่าฉนวนที่เป็นสารไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อโครงสร้างไมโครสตริปนั้นมากน้อยแค่ไหน เมื่อเขียนค่า ϵ_{eff} ตามสมการ (2.36) นี้ ค่า q ก็จะเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามค่า w/h

ในกรณีที่ความถี่ใช้งานสูงเกินกว่า 2 GHz นั้นดิสเพอร์ชันเชิงวัสดุของฉนวนจะมีผลมากการคำนึงถึงผลกระทบของดิสเพอร์ชันในส่วนนี้จะทำได้โดยพิจารณาว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนไปความเร็วเฟสก็เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งทำให้ค่า ϵ_{eff} ตามสมการ (2.33) เขียนได้ดังนี้

$$\epsilon_{eff}(f) = \left\{ \frac{c}{V_p(f)} \right\}^2 \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่า $\varepsilon_{eh}(f)$ ตามสมการ (2.37) นี้จะพบว่าในช่วงความถี่ต่ำที่ $f \rightarrow 0$ นั้น ค่า $\varepsilon_{eff}(f)$ ก็จะเข้าหาค่า ε_{eff} ของกรณีไฟฟ้าสถิต และเมื่อ f มีค่าสูงขึ้นเข้าหา ∞ ค่า $\varepsilon_{eff}(f)$ ก็จะเข้าหาค่า ε_r ของฉนวน เพราะความเร็วเฟสจะเข้าหาความเร็วของแสงในสารไดอิเล็กตริกที่เป็นฉนวน ดังนั้นโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของค่า $\varepsilon_{eff}(f)$ ตามความถี่จะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 ซึ่งค่า $\varepsilon_{eff}(f)$ จะสูงขึ้นตามความถี่



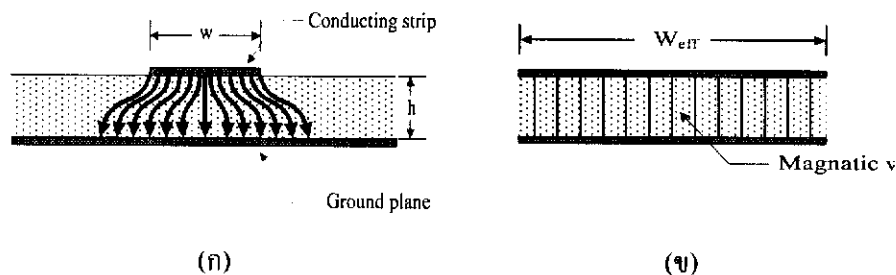
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล

2.6 การลดทอนกำลังสัญญาณของไมโครสตริป

เนื่องจากไมโครสตริปทำด้วยโลหะที่ไม่สมบูรณ์แบบ และมีสายไดอิเล็กตริกคั่นในบริเวณที่คลื่นส่งผ่าน ดังนั้นการลดทอนสัญญาณจึงเกิดจากทั้งสองสาเหตุนี้ เมื่อพิจารณาว่าไมโครสตริปส่งผ่านคลื่นในโหมด TEM เราจะสามารถเขียนค่าคงที่ของการลดทอนสัญญาณได้ในสมการต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{R}{2Z_c} + \frac{GZ_c}{2} \equiv \alpha_m + \alpha_d \quad (2.38)$$

โดยที่ α_m และ α_d เป็นค่าคงที่ของการลดทอนสัญญาณที่เกิดจากโลหะและสารไดอิเล็กตริกตามลำดับ การหาค่า α_m โดยการวิเคราะห์ให้ละเอียดตามทฤษฎีจะทำได้ลำบากมากเพราะการกระจายของสนามแม่เหล็กบนผิวโลหะมีความสลับซับซ้อนมากขึ้นเกี่ยวกับการกระจายของสนามไฟฟ้า และจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่า w/h และความหนาของแถบสตริป t อีกด้วย ในทางปฏิบัตินั้นจึงมักใช้วิธีคิดที่ง่ายขึ้นโดยสมมติให้คลื่น TEM ส่งผ่านอยู่ภายในบริเวณข้างใต้แถบสตริปเท่านั้นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 เสร็จแล้วคำนวณการสูญเสียในเนื้อโลหะในสภาพดังกล่าว แล้วจึงนำผลที่ได้นั้นไปคูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่งเพื่อทำการชดเชยให้มีความถูกต้องมากขึ้น เมื่อให้ค่าคงที่ดังกล่าวเป็น K จะได้ α_m ในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.18 การส่งผ่านของคลื่น TEM แบบอุดมคติในไมโครสตริป

$$\alpha_m = \frac{KR}{2Z_c} = \frac{KR_r}{wZ_c} = \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2\sigma}} \cdot \sqrt{\frac{K}{wZ_c}} = \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2 \times 5.8 \times 10^7 \sigma_r}} \cdot \frac{K}{wZ_c} \quad \text{Nep/m} \quad (2.39)$$

โดยที่ σ_r คือค่าคงตัวของการนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (relative conductivity) ที่เทียบกับทองแดง ซึ่งมี $\alpha = 5.8 \times 10^7$ S/m ค่า K นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า w/h และความถี่ โดยที่ในกรณีที่ค่า w/h มีค่าใหญ่ หมายความว่าคลื่น TEM จะเข้าใกล้แบบอุดมคติที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 ค่า K ก็จะ趨เข้าหา 1 ในกรณีกลับกัน คือ $w/h \ll 1$ ค่า K ก็จะ趨เข้าหา 0.5 ในทางปฏิบัตินั้นพบว่ากรณีที่ออกแบบให้มีอิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติเป็น 50Ω โดยที่ $\epsilon_r = 10$ จะได้ค่า $K \cong 0.63$

สำหรับการหาค่า α_d ก็จะอาศัยหลักการคิดค่า ϵ_{eff} ขึ้นมาใหม่ดังรายละเอียดต่อไปนี้

$$\alpha_d = \frac{GZ_c}{2} = \frac{Z_c}{2} (\omega C \tan \delta_{eff}) = \frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{2cC} (\omega C \tan \delta_{eff}) = \frac{\pi f \sqrt{\epsilon_{eff}}}{c} \tan \delta_{eff} \quad \text{Nep/m} \quad (2.40)$$

โดยที่ค่า $\tan \delta_{eff}$ นั้นเปรียบเหมือนค่า $\tan \delta$ ประสิทธิภาพ ซึ่งจะสัมพันธ์กับ $\tan \delta$ ในรูปต่อไปนี้

$$\frac{\tan \delta_{eff}}{\tan \delta} = \frac{1 - (1/\epsilon_{eff})}{1 - (1/\epsilon_r)} \quad (2.41)$$

ความสัมพันธ์ตามสมการ (2.41) นี้เป็นสิ่งที่สมเหตุสมผลเพราะเมื่อแทนค่า ϵ_{eff} ด้วย 1 ซึ่งหมายถึงตัวกลางเป็นอวกาศ ค่า $\tan \delta_{eff}$ จะเท่ากับ 0 และเมื่อแทนค่า $\epsilon_{eff} = \epsilon_r$ ซึ่งหมายถึงตัวกลางจะเป็นสารไดอิเล็กตริกทั้งหมด ค่า $\tan \delta_{eff}$ จะเท่ากับ $\tan \delta$

เมื่อนำค่า α_m และ α_d ในสมการ (2.39) และสมการ (2.40) แทนกลับเข้าไปในสมการ (2.38) ก็จะได้ค่า α ผลรวมออกมา และเนื่องจากเรานิยมเขียนค่า α ให้มีหน่วยเป็น dB/m เขียนความถี่ที่ใช้งานให้มีหน่วยเป็น GHz และเขียนความกว้างของแถบสตริปให้มีหน่วยเป็น mm ดังนั้น α จะเขียนสมการได้ในรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \frac{72K}{wZ_c} \sqrt{\frac{f}{\sigma_r}} + 91f\sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot \frac{1 - (1/\epsilon_{eff})}{1 - (1/\epsilon_r)} \tan \delta \quad \text{dB/m} \quad (2.42)$$

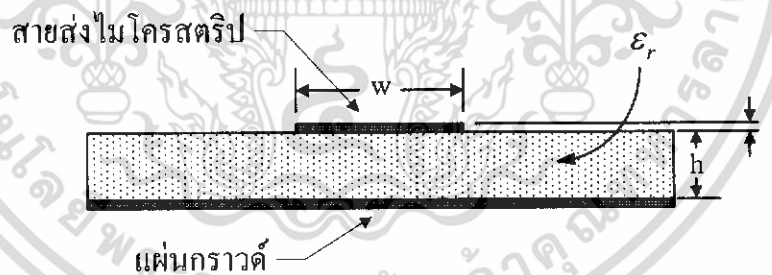
จากผลที่ได้นี้จะเห็นได้ว่า α_m แปรตาม \sqrt{f} ในขณะที่ α_d แปรตาม f ซึ่งทำให้ดูเหมือนว่า α_d จะมีค่าสูงกว่า α_m อย่างไรก็ตามในระยะหลังนี้ได้มีการพัฒนาซบสเตรทที่มีคุณสมบัติดีขึ้นคือมีค่า $\tan \delta$ ต่ำกว่า ทำให้ในช่วงความถี่ที่ $f < 10$ GHz ค่า α_m จะใหญ่กว่าค่า α_d และเป็นค่าสูญเสียหลักของไมโครสตริป

2.7 อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance)

อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศใดๆ จะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วสายอากาศนั้นๆ ส่วนอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบวงกลม จะขึ้นอยู่กับกรุป็อนสัญญาณของสายอากาศกล่าวคือ อินพุตอิมพีแดนซ์ของการป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป และแบบโคแอกเชียล ที่จะมีสมการในการคำนวณที่แตกต่างกัน การหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์จะต้องกำหนดขนาดความกว้างของสัญญาณให้เหมาะสมเสียก่อน

2.7.1 อินพุตอิมพีแดนซ์ของการป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป

การป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป ความกว้างของสายส่งไมโครสตริป (w) จะเป็นตัวที่กำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งวิธีการป้อนจะใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบ



รูปที่ 2.19 โครงสร้างทางกายภาพของสายส่งไมโครสตริป

แถบตัวนำกว้าง w หนา t ถูกวางอยู่บนสารซบสเตรทไดอิเล็กตริก ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์เป็น ϵ_r สารซบสเตรทที่ใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น อลูมินาไดออกไซด์ ซึ่งมีค่า ϵ_r แปรเปลี่ยนตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 12 ซ้ำบนสารไดอิเล็กตริกจะเป็นอากาศที่มีค่า $\epsilon_r = 1$

สายส่งแบบไมโครสตริปถูกใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรรวมในระบบไมโครเวฟ เนื่องจากราคาถูกและอุปกรณ์ลัมพ์แบบพาสซีฟ สามารถนำไปสร้างอยู่บนซบสเตรทชั้นเดียวกันได้หาอุปกรณ์แยก

ทีพี และจำพวกชิพต่างๆ ก็สามารถเชื่อมต่อกับแถบโลหะได้โดยตรง ค่าอิมพีแดนซ์และคุณลักษณะของสายส่งไมโครสตริปที่มีค่าความกว้าง (w) สูง (h) และโลหะมีความหนาน้อยมาก ($t/w \leq 0.005$)

กรณี $w/h \leq 1$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_c}} \ln\left(\frac{8h}{w'} + 0.25 \frac{w'}{h}\right) \quad (2.43)$$

$w/h \geq 1$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_c}} \left[\frac{w'}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{w'}{h} + 1.444\right) \right]^{-1} \quad (2.44)$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot F(w/h) - C \quad (2.45)$$

เมื่อ

$$C = \frac{\epsilon_r - 1}{4.6} \cdot \frac{t/h}{\sqrt{w/h}} \quad (2.46)$$

ที่ $w/h \leq 1$

$$F(w/h) = \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{\frac{1}{2}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \quad (2.47)$$

ที่ $w/h \geq 1$

$$F(w/h) = \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.48)$$

เมื่อ $w/h \leq 2$

$$w/h = \frac{8 \exp(A)}{\exp(2A) - 2} \quad (2.49)$$

เมื่อ $w/h \geq 2$

$$w/h = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \cdot \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (2.50)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_r - 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)} \quad (2.51)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแถบ w มีความหนา ค่า w'/h ในสูตรจะถูกแทนดังนี้

เมื่อ $w/h \geq \pi/2$

$$\frac{w'}{h} = \frac{w}{h} + \frac{1.25}{\pi} \cdot \frac{t}{h} \cdot \left(1 + \ln \frac{2h}{t}\right) \quad (2.53)$$

เมื่อ $w/h \leq \pi/2$

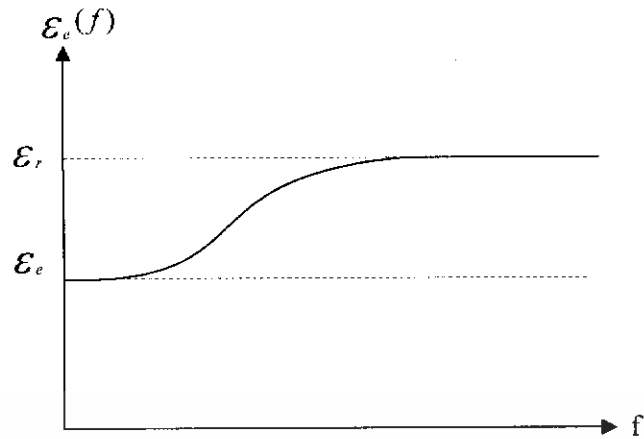
$$\frac{w'}{h} = \frac{w}{h} + \frac{1.25}{\pi} \cdot \frac{t}{h} \cdot \left(1 + \ln \frac{4\pi w}{t}\right) \quad (2.53)$$



รูปที่ 2.20 อัตราส่วนค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ต่อค่าคงที่สัมพัทธ์ของฉนวน

สายส่งไมโครสตริปจะมีคุณสมบัติ dispersive โดยธรรมชาติ นั่นคือการที่ ϵ_r แปรค่าตามความถี่ ดังรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 คุณสมบัติดิสเพอร์ชัน $\epsilon_e(f)$ ในไมโครสตริป

โครงสร้างของสายส่งไมโครสตริปเป็นลักษณะกึ่ง TEM ดังนั้นสมการพื้นฐานเกี่ยวกับความยาวคลื่นในสายส่งไมโครสตริป คือ

$$\lambda_g = \frac{c}{f \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.55}$$

เมื่อ

- λ_g คือ ความยาวคลื่นในไมโครสตริป
- c คือ ความเร็วแสง
- ϵ_e คือ effective dielectric constant
- f คือ ความถี่

ความเร็วเฟสในสายส่งไมโครสตริป คือ

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{2.56}$$

การสูญเสียทางไฟฟ้าของสายส่งไมโครสตริป คือการสูญเสียในตัวนำ และสูญเสียในสาร ไดอิเล็กตริก ตามปกติแล้วค่าการสูญเสียในตัวนำมีค่าทำได ขึ้นอยู่กับสารนั้นๆ เช่น อลูมิเนียม ที่ความถี่สูง ค่าการสูญเสียในสาร ไดอิเล็กตริก จะมีค่ามากกว่าค่าการสูญเสียในตัวนำ

2.7.2 อินพุตอิมพีแดนซ์ของการป้อนสัญญาณแบบโคแอกเซียล

อินพุตอิมพีแดนซ์ของการป้อนแบบนี้ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับจุดที่ป้อนสัญญาณ (p_0) โดยสมการในการคำนวณหาเป็นดังนี้ (Bahlet.al,1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \frac{V^2}{2P_T} = \frac{h^2 J_n^2(kp_0)}{2P_T} \quad (2.57)$$

เมื่อ

P_T คือ กำลังการสูญเสียรวม (W)

P_0 คือ จุดป้อนสัญญาณ (m)

สำหรับ P_T ประกอบไปด้วย กำลังการแพร่กระจายคลื่น (P_γ) กำลังการสูญเสียจากแผ่นตัวนำ (P_0) และกำลังการสูญเสียจากวัสดุที่ไม่เป็นสื่อทางไฟฟ้า (P_d) ซึ่งสามารถเขียนสมการของการสูญเสียรวมได้ดังนี้

$$P_T = P_\gamma + P_0 + P_d \quad (2.58)$$

กำลังการแพร่กระจายคลื่นสามารถคำนวณได้จาก

$$P_\gamma = \frac{(hE_0 J_n(k_a) a k_0)^2}{1920} \cdot I_1 \quad (2.59)$$

$$I_1 = \int_0^\pi \left[\frac{[J_{n+1}(k_0 a \sin \theta) - J_{n-1}(k_0 a \sin \theta)]^2 + \cos^2 \theta [J_{n+1}(k_0 a \sin \theta) + J_{n-1}(k_0 a \sin \theta)]^2}{\sin \theta} \right] \cdot \sin \theta d\theta \quad (2.60)$$

สำหรับค่ากำลังการสูญเสียของแผ่นตัวนำนั้น จะเกิดจากแผ่นตัวนำแบบวงกลมหรือแผ่นตัวนำแบบสี่เหลี่ยมกับแผ่นกรวด ซึ่งมีสมการดังนี้

$$P_c = 1.68 \times 10^{-10} f^{-3/2} \quad (2.61)$$

เมื่อ

f คือ ความถี่ (GHz)

ส่วนค่ากำลังการสูญเสียที่เป็นวัสดุที่ไม่เป็นสื่อทางไฟฟ้า จะมีสมการดังนี้

$$P_d = 0.805 \times 10^{-4} \cdot \frac{h \cdot \tan \delta}{f} \quad (2.62)$$

โดยที่ $\tan \delta$ เป็นค่า Loss Tangent ของสารไดอิเล็กตริก ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าสารไดอิเล็กตริกนั้นมีการสูญเสียเนื่องมาจากการนำกระแสเล็กน้อยเพียงใด โดยที่ยิ่งค่าก็ยิ่งดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็นำเสนอสมการที่ 2.59 – 2.62 แทนลงในสมการที่ 2.58 เพื่อหาจุดบ่อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปแบบโคแอกเซียลในสมการที่ 2.57

2.8 โพลาริเซชัน (Polarization)

โพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายเป็นรูปซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไปในทิศทาง และขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลาสำหรับโพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จะเป็นโพลาริเซชันที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น ถ้าเป็นสายอากาศส่ง หรือถ้าเป็นสายอากาศทางด้านรับจะมีโพลาริเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้นมาแทน ในทิศทางที่สายอากาศมีอัตราขยายมากที่สุด ดังนั้น โพลาริเซชันของสายอากาศในทิศทางที่แตกต่างกัน ก็จะแตกต่างกันออกไปด้วย

ในการแบ่งชนิดของโพลาริเซชันอาจแบ่งตามลักษณะการหมุนของยอดเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็นแบบ

1. โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) มีเวกเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา ณ จุดใดๆ ในอวกาศเป็นเส้นตรงเสมอ เช่น โพลาริเซชันแบบเวอร์ติคัล (Vertical) และฮอริซอนทอล (Horizontal)
2. โพลาริเซชันแบบวงกลม (Circularly Polarization) มีเวกเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันกับเวลา ณ จุดใดๆ ในอวกาศหมุนเป็นรูปร่างวงกลม
3. โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptically Polarization) มีเวกเตอร์ที่แสดงสนามไฟฟ้าที่แปรผันตามเวลา ณ จุดใดๆ ในอวกาศหมุนเป็นรูปร่างวงรี

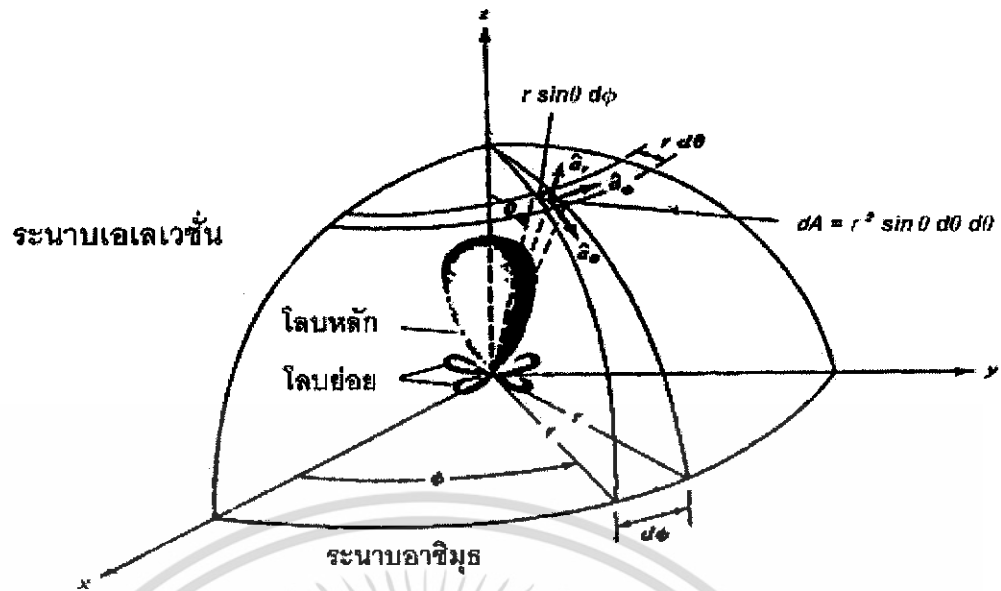
2.9 พารามิเตอร์ของสายอากาศ (Antenna Parameter)

2.9.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาริเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

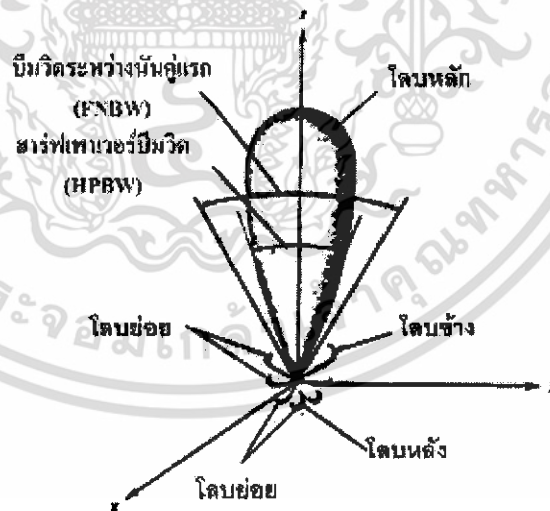
รูปที่ 2.22 แสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น เพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น



รูปที่ 2.22 แสดงระบบ โคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

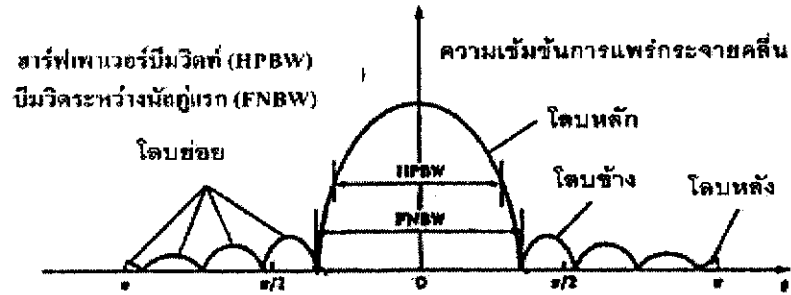
2.9.2 โลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

โลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูป 2.23 แสดงแบบรูปแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโลบต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.23 โลบต่างๆและบีมวิทซ์ของแบบรูปสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แบบรูปในแบบเชิงเส้น

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแผ่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูป 2.24 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta=0$ สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split Beam Antenna)

โอบข้อย (Minor Lobe) ได้แก่โอบอื่นๆนอกเหนือไปจากโอบหลัก

โอบข้างหรือไซด์โอบ (Side Lobe) เป็นโอบข้อยที่อยู่ติดกับโอบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง (Back Lobe) เป็นโอบข้อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลัก ปกติแล้วโอบข้อยจะเกิดจากการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโอบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโอบข้อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของ ความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โอบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โอบ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โอบน้อยกว่า -20 dB

2.9.3 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น และผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.63)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W / หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (W / m²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศ ในระยะไกลได้คือ

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2 \cdot \eta} \cdot \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.64)$$

เมื่อ E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

N = อินทริเนติกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นแบบรูปของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึง ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังงานทั้งหมดนี้ หาได้โดยอินทิเกรตความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นตาม (2.63) และ (2.64) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.65)$$

2.9.4 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางต่างๆ เทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิก ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_0(\text{dBi}) = 10 \cdot \log \left(\frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \right) \approx 10 \cdot \log \left(\frac{4\pi (180/\pi)^2}{\theta_E \theta_H} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{41253}{\theta_E \theta_H} \right) \quad (2.66)$$

เมื่อ U_{\max} = ค่าสูงสุดของความเข้มการแผ่กระจายคลื่น

P_{rad} = กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin(\theta) d\theta d\phi \quad (2.67)$$

2.9.5 บีมวิทท์ (Beamwidth)

บีมวิทท์ คือ จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงไดเรกทิวิตีของสายอากาศได้ดีโดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้

- ที่จุดซึ่งค่าพลังงานในการแผ่คลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุด
- หรือจุดที่ค่าความเข้มสนามเหลือ $1/\sqrt{2}$ หรือ 0.707 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
- หรือจุด 3 dB บนรูปแบบการแผ่คลื่น

จะได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_{BH} = 2 \cos^{-1} \left(\frac{1}{2 \left(1 + \frac{k_0 w}{2} \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.68)$$

$$\theta_{BE} = 2 \cos^{-1} \left(\frac{7.03}{(3k_0^2 L^2 + k_0 h^2)} \right)^{-1} \quad (2.69)$$

เมื่อ

θ_{BH} คือ มุมที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งของบีมหลักในแนวระนาบของสนามแม่เหล็ก

θ_{BE} คือ มุมที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่งของบีมหลักในแนวระนาบของสนามไฟฟ้า

บีมวัดของสายอากาศไมโครสตริปตัวหนึ่งสามารถเพิ่มได้ โดยเลือกขนาดของสายอากาศที่เล็กลง ดังนั้นขนาดความกว้างของสายอากาศ และความยาวของสายอากาศจึงเล็กลงด้วย สำหรับที่ความถี่เรโซแนนซ์อาจจะต้องเลือกใหม่ให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันความกว้างของบีมด์หลักจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นก็เป็นผลทำให้อัตราการขยายลดลงแต่จะไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายอากาศแต่อย่างใด

2.9.6 อัตราขยาย (Gain)

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากอีกตัวหนึ่งของสายอากาศ อัตราขยายของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพเจาะจงทิศทาง และค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ แต่สภาพเจาะจงทิศทางเป็นค่าที่อธิบายถึงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น และถ้าค่าประสิทธิภาพไม่ถึง 100% อัตราขยายจะน้อยกว่าสภาพเจาะจงทิศทาง ดังนั้น จะได้ความสัมพันธ์ที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G = \eta D \quad (2.70)$$

เมื่อ

G คือ อัตราการขยาย

η คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศ

D คือ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

2.9.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป ประกอบด้วยอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายของสายอากาศต่อไดเรกทิวิตี จะได้ค่าประสิทธิภาพดังนี้คือ

$$\eta = \frac{G}{D} \times 100\% \quad (2.71)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.8 แบนด์วิดท์ (Bandwidth : BW)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศในมาตรฐานที่กำหนดให้อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพของการแพร่พลังงาน อัตราการขยาย อิมพีแดนซ์ รูปแบบการแพร่พลังงาน ความกว้างลำบีม การโพลาไรซ์เซชัน และระดับพลู้อยู่ เป็นต้น ให้อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติที่ความถี่ที่ออกแบบไว้ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านั้นผิดไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้าง มักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ใช้งานได้ทางด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานทางด้านต่ำ แบนด์วิดท์มักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้นดังสมการ

$$\%BW = \left(\frac{f_H - f_L}{f_r} \right) \times 100 \quad (2.72)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_H คือ ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านสูง
 f_L คือ ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านต่ำ
 f_r คือ ความถี่กลางของแบนด์วิดท์

ข้อจำกัดเรื่องแบนด์วิดท์ ก็เป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของสายอากาศไมโครสตริปเพราะมีค่าประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็สามารถที่จะเพิ่มแบนด์วิดท์ได้โดยเพิ่มความเป็นตัวนำให้กับสายอากาศอาจจะทำเป็นช่องในตัวสายอากาศ หรือเพิ่มอุปกรณ์ที่เป็นตัวนำเข้าไปเพื่อทำให้การแผ่รังสีของตัวการแผ่กระจายกลับกับสายนำสัญญาณดีขึ้น

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

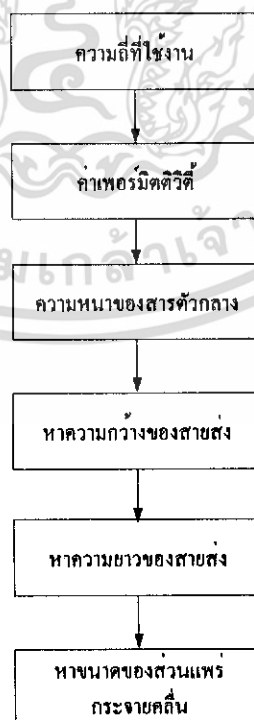
การคำนวณและการออกแบบรูปแบบของสายอากาศไมโครสตริปจะทำการคำนวณและออกแบบแผ่นตัวนำแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยสายอากาศนี้ได้ออกแบบใช้งานที่ความถี่ 2.4 GHz ถึง 6 GHz และใช้สารแบบอีพ็อกซี และดูรอยด์ (Droid) เป็นสารตัวกลาง ซึ่งอีพ็อกซีมีค่าคงที่สัมพัทธ์ของสารตัวกลางของวัสดุที่นำมาทำแผ่นรองรับ (ϵ_r) ที่มีค่าเท่ากับ 4.6 และความหนาแน่นของสารที่เป็นสารตัวกลาง (h) มีค่าประมาณเท่ากับ 1.6 mm การเชื่อมต่อสัญญาณให้กับแผ่นแพร่กระจายคลื่น จะเป็นการป้อนสัญญาณแบบใช้สายส่งไมโครสตริป

3.1.1 การคำนวณและการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ในการคำนวณและการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมมุมฉากจะมีองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบในคือ

- ค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง (ϵ_r)
- ความหนาของสารตัวกลาง (h)

ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญในการคำนวณหาค่า ความกว้าง (w) และความยาว (L) ของแผ่นแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปจากรูปที่ (3.1) เป็นการแสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาความกว้างของส่วนแพร่กระจายคลื่นสามารถอาศัยสมการที่ 3.1

$$W = \frac{\lambda_{av}}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของส่วนการแพร่กระจายคลื่น (cm)

λ_{av} คือ ความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ใช้งาน (cm)

ϵ_r คือ ค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง

โดยค่า λ_0 อาศัยสมการที่ 3.2

$$\lambda_0 = \frac{C_0}{f_0} \quad (3.2)$$

เมื่อ λ_0 คือ ความยาวคลื่นที่ใช้งาน (cm)

C_0 คือ ความเร็วคลื่นในสุญญากาศ (3×10^8 m/s)

f_0 คือ ความถี่คลื่นใช้งาน (GHz)

แต่ในทางปฏิบัติการออกแบบค่าจริงของ W จะเท่ากับ

$$W \cong (0.49) \times \lambda_0 \quad (3.3)$$

ในส่วนต่อไปจะเป็นการคำนวณหาค่าความยาวของแผ่นการแพร่กระจายคลื่น (L) โดยอาศัยสมการที่ 3.4

$$L = \frac{\lambda_d}{2} \quad (3.4)$$

เมื่อค่า λ_d สามารถหาจากสมการที่ 3.5

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.5)$$

เมื่อ λ_d คือ ความยาวคลื่นของสารที่เป็นตัวกลาง (cm)

ϵ_{eff} คือ ค่าคงที่ตัวประสิทธิผล

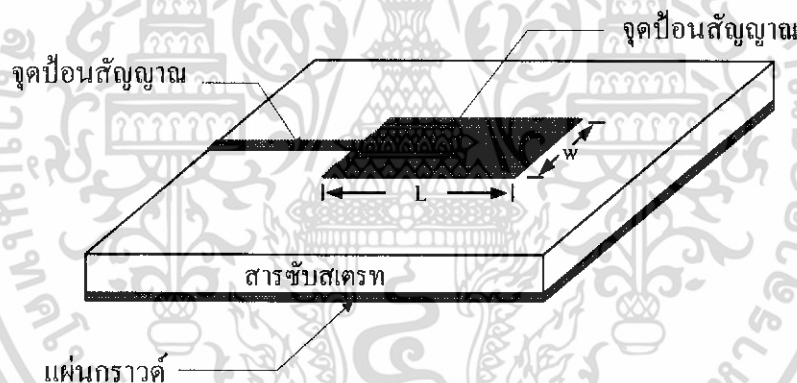
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเราทราบค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง (ϵ_r) และความหนาของสารตัวกลาง (h) ทำให้เราสามารถหาค่า ϵ_{eff} โดยอาศัยสมการที่ 3.6

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left(1 + \frac{10h}{W} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

- เมื่อ ϵ_{eff} คือ ค่าคงที่ตัวประสิทธิผล
 ϵ_r คือ ค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง
 h คือ ความหนาของสารตัวกลาง (cm)
 W คือ ความกว้างของส่วนการแพร่กระจายคลื่น (cm)

ซึ่งลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมที่ได้จากการออกจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

3.1.2 การออกแบบหาจุดป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป

การออกแบบจะต้องคำนึงถึงตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากับระบบที่ใช้งาน โดยในการออกแบบจะออกแบบให้สายอากาศไมโครสตริปมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณของตัวสายอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 3.7

$$Z(in) = R_m(y=0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (3.7)$$

โดยที่ y_0 คือ ระยะห่างจากขอบแผ่นตัวนำถึงขอบของช่องว่าง (Slot)

R_m คือ ค่าความต้านทานด้านอินพุตที่แมทช์กับกับ y_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหาได้จากสมการที่ 3.7

$$R_m = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (3.8)$$

โดยที่

G_1 และ G_{12} คือ ค่าความนำ

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda} \left[1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right] \quad (3.9)$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right] J_0(k_0 L \sin\theta) \sin^3 \theta d\theta \quad (3.10)$$

นำค่า W , L และ k_0 แทนลงในสมการที่ 3.9 และ 3.10 โดยที่ k_0 หาได้จากสมการที่ 3.11

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.11)$$

$$G_1 = 1.006 \times 10^{-3} \quad \text{ซีเมนต์}$$

$$G_{12} = 5.793 \times 10^{-4} \quad \text{ซีเมนต์}$$

ส่วนเครื่องหมายจะเป็นบวกหรือเป็นลบนั้นขึ้นอยู่กับ Dominate Mode ว่าเป็นคี่หรือคู่ ถ้าเป็นคี่จะได้เป็นเครื่องหมาย (+) แต่ถ้าเป็นคู่จะได้เครื่องหมายเป็นลบ (-) นำค่า G_1 และ G_{12} แทนลงในสมการที่ 3.8

$$R_m = 315.428 \quad \Omega$$

นำค่า R_m และค่า L แทนในสมการที่ 3.7 และเมื่อใช้โปรแกรม Mathcad วิเคราะห์หาค่า

$$Z(in) = 50 \text{ โอห์ม} \quad \text{ที่ } y_0 = 1.035 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบหาค่าความกว้างของสายส่ง (Strip Line)

จะใช้แถบตัวนำเป็นทองแดงร่วมกับสารไดอิเล็กตริกชั้นสเตรท (Substrate) โดยแถบทองแดงที่ใช้จะวางตัวอยู่บนสารไดอิเล็กตริกชั้นสเตรท (Substrate) และพิจารณาหาค่าความกว้างของสายส่งจากค่าอิมพีแดนซ์

คุณลักษณะ (Z_0)

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right] \quad ; \frac{W_0}{h} \leq 1 \quad (3.12)$$

และ

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]^{-1} \quad ; \frac{W_0}{h} > 1 \quad (3.13)$$

โดยที่

W_0 คือ ค่าความกว้างของสายส่ง (Strip Line)

ϵ_{reff} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลสัมพัทธ์

และหาได้จากสมการที่ 3.14

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

3.2 การออกแบบและการคำนวณสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

ส่วนนี้จะเป็นการออกแบบสายไมโครสตริปย่านความถี่กว้างที่สามารถใช้ได้ถึงความถี่ 2.4 GHz ถึง 5.2 GHz ซึ่งโครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยจะสามารถรองรับเทคโนโลยีสื่อสารใหม่ๆ ที่ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz ถึง 6 GHz

3.2.1 การออกแบบหาค่าความกว้างของสายส่งไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

จากสมการที่ 3.14 เมื่อนำ W , h และ ϵ_r แทนลงในสมการและคำนวณโดยใช้โปรแกรม Mathcad ทำให้ได้ค่า

$$\epsilon_{\text{reff}} = 4.139 \quad (3.15)$$

โดยค่าที่ได้จะนำไปแทนในสมการที่ 3.13 โดยกำหนดให้ $Z_0 = 50$ โอห์ม และ $h = 1.6$ mm จะได้ความกว้างของสายส่งไมโครสตริปเท่ากับ

$$W_0 = 6 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบหาความยาวของสายส่งไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

$$L_0 = \frac{\lambda_g}{2} \quad (3.16)$$

ซึ่ง λ_g สามารถหาค่าได้จาก

$$\lambda_g = \frac{\lambda_{av}}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.17)$$

เมื่อ λ_{av} คือ ความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ใช้งานของสาย

ϵ_{reff} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลสัมพัทธ์

หาค่า λ ที่ความถี่ 2.4 GHz

$$\lambda_{(2.4\text{GHz})} = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m}$$

หาค่า λ ที่ความถี่ 3.4 GHz

$$\lambda_{(3.4\text{GHz})} = \frac{3 \times 10^8}{3.4 \times 10^9} = 0.0882 \text{ m}$$

หาค่า λ ที่ความถี่ 4 GHz

$$\lambda_{(4\text{GHz})} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^9} = 0.075 \text{ m}$$

หาค่า λ ที่ความถี่ 5 GHz

$$\lambda_{(5\text{GHz})} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9} = 0.06 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า λ ที่ความถี่ 6 GHz

$$\lambda_{(6\text{GHz})} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} = 0.05 \text{ m}$$

ทำการหาค่าเฉลี่ยของความยาวคลื่นที่ใช้งาน

$$\lambda_{av} = \frac{\lambda_{(2.4\text{GHz})} + \lambda_{(3.4\text{GHz})} + \lambda_{(4\text{GHz})} + \lambda_{(5\text{GHz})} + \lambda_{(6\text{GHz})}}{5} \quad (3.18)$$

ดังนั้นจะได้ความยาวคลื่นเฉลี่ยที่ใช้งานมีค่าเท่ากับ 0.07964 m

นำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.18 แทนลงในสมการที่ 3.17 โดยค่า $\epsilon_{\text{eff}} = 4.139$ จะทำให้ได้ค่า

$$\lambda_g = 39.25 \text{ mm}$$

และเมื่อนำค่า λ_g แทนลงในสมการที่ 3.16 เพื่อหาความยาวของสายส่งไมโครสตริป ในที่นี้สายส่งไมโครสตริปจะมีค่าเท่ากับ 33.25 mm

3.2.3 การออกแบบส่วนแพร่กระจายของสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง

วิธีการนี้เป็นการออกแบบส่วนแพร่กระจายคลื่นของสายโดย ที่ส่วนแพร่กระจายคลื่นจะคิดความยาวคลื่นที่ $\lambda/4$ และ $\lambda/2$ ซึ่งในการออกแบบจะให้ส่วนแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบ Step Line เพื่อลดความยาวของส่วนแพร่กระจายคลื่น และจะจัดให้สายส่งไมโครสตริปจัดอยู่ตรงกลางของส่วนแพร่กระจายคลื่น เพื่อลดขั้นตอนการหาระยะการต่อจุดป้อนสัญญาณในจากนั้นก็ทำการออกแบบส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ต่างๆที่ใช้งาน

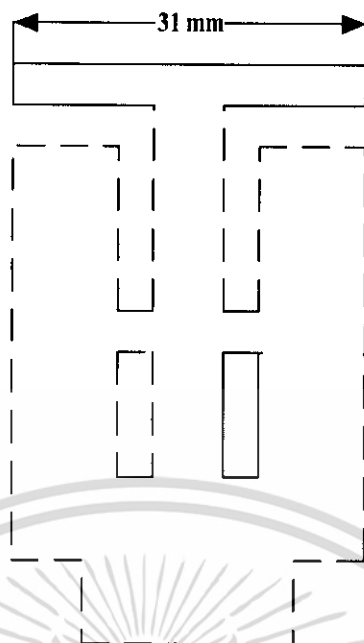
การออกแบบส่วนแพร่กระจายที่ความถี่ 2.4 GHz หาได้จากสมการที่ 3.2

$$\lambda_{(2.4\text{GHz})} = \frac{c}{f_{(2.4\text{GHz})}} = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125 \text{ m}$$

คิดความยาวคลื่นที่ $\lambda/4$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{0.125}{4} = 31 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.4 GHz

ในส่วนความถี่ 3.4 GHz จะออกแบบให้มีลักษณะเป็น Step Line เพื่อที่จะทำให้ตอบสนองความถี่ที่ 3.4 GHz อีกทั้งเพื่อลดความยาวของส่วนแพร่กระจายคลื่นให้มีรูปแบบที่เล็กและกะทัดรัดการออกแบบส่วนแพร่กระจายคลื่น ที่ความถี่ 3.4 GHz อาศัยสมการที่ 3.19

$$L = \frac{c}{4f_m \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.19)$$

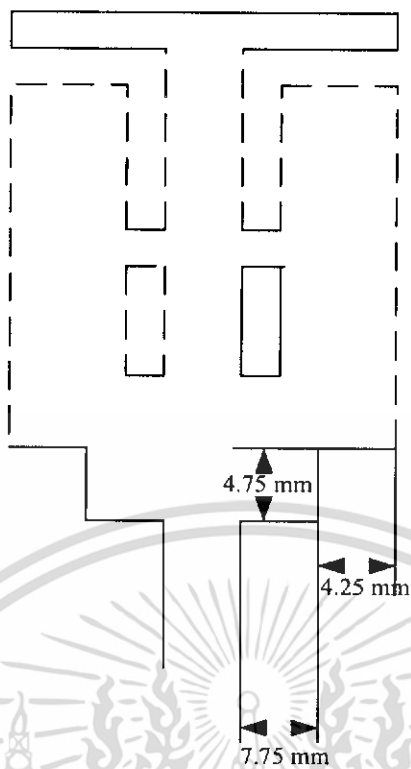
เมื่อ $\epsilon_{eff} = 3.376$

จึงทำให้ที่ความถี่ 3.4 GHz ได้ดังนี้

$$L = \frac{3 \times 10^8}{4f_{(3.4\text{GHz})} \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3.4 \times 10^9 \sqrt{3.376}}$$

$$= 16.75 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz

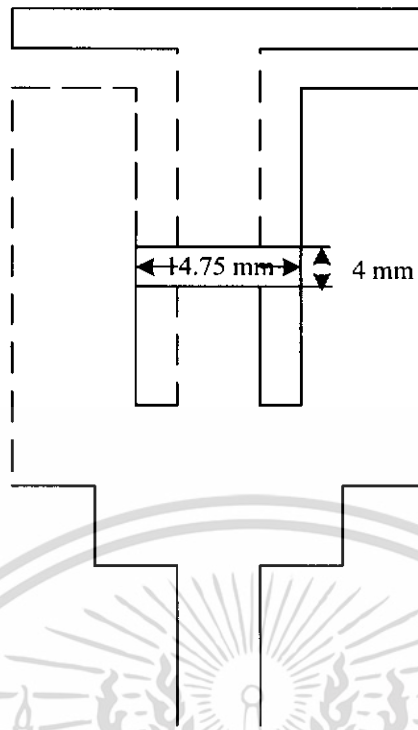
การออกแบบส่วนแพร่กระจายที่ความถี่ 4 GHz

$$\lambda_{(4\text{GHz})} = \frac{c}{f_{(4\text{GHz})}} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^9} = 0.075 \text{ m}$$

คิดความยาวคลื่นที่ $\lambda/4$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{0.075}{4} = 18.75 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดของส่วนแพร์กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz

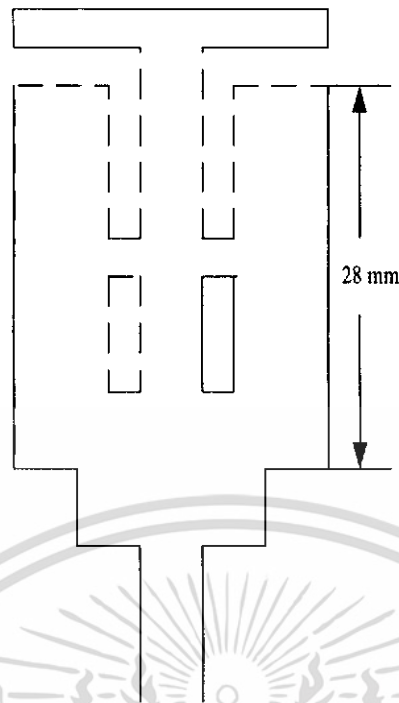
จากนั้น เราจะทำการออกแบบในส่วนที่ทำให้การตอบสนองที่ความถี่ 5 GHz และ 6 GHz โดยการออกแบบจะเป็นดังนี้
การออกแบบส่วนแพร์กระจายคลื่นที่ความถี่ 5 GHz

$$\lambda_{(5\text{GHz})} = \frac{c}{f_{(5\text{GHz})}} = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9} = 0.057 \text{ m}$$

คิดความยาวคลื่นที่ $\lambda/2$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{0.057}{2} = 28 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของส่วนแพร์กระจายคลื่นที่ความถี่ 5 GHz

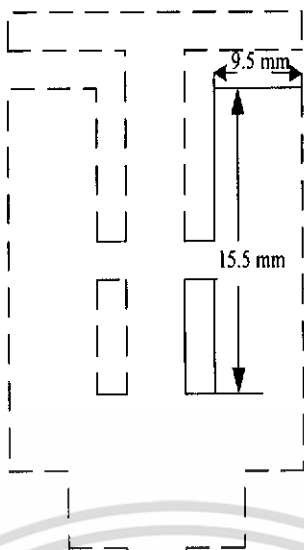
การออกแบบส่วนแพร์กระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz

$$\lambda_{(6\text{GHz})} = \frac{c}{f_{(6\text{GHz})}} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} = 0.05 \text{ m}$$

คิดความยาวคลื่นที่ $\frac{\lambda}{2}$

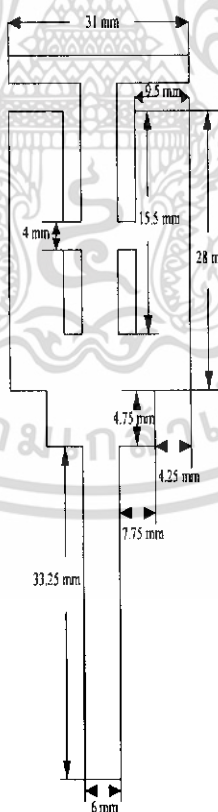
$$\frac{\lambda}{2} = \frac{0.05}{2} = 25 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของส่วนแหวนกระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz

เมื่อเรานำมารวมเป็นส่วนแหวนกระจายคลื่นแบบสี่เหลี่ยมจะได้ดังรูปแบบที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของสายส่งและส่วนแหวนกระจายคลื่นที่คำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สายอากาศไมโครสตริปที่นำมาทำเป็นชิ้นงานมีสารไดอิเล็กตริกเป็นแบบอีพ็อกซี่

ค่าคงที่สัมพัทธ์ของสารตัวกลาง (ϵ_r)	= 4.6
ความหนาของสารตัวกลาง (h)	= 1.6 mm
ส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.4 GHz	= 31 mm
ส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz	= 16.75 mm
ส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz	= 18.75 mm
ส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5 GHz	= 28 mm
ส่วนแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz	= 25 mm
ค่าความกว้างสายส่ง (Strip Line) (W_0)	= 6 mm
ความยาวสายส่ง (Strip Line) (L_0)	= 33.25 mm

3.4 การสร้างสายอากาศไมโครสตริป

การสร้างสายอากาศไมโครสตริปนั้นจะใช้โปรแกรม CST ในการออกแบบรูปร่างและขนาดแล้วทำการ Simulation เพื่อให้ได้ความถี่ที่เราต้องการที่เป็น Wide-Band คือ 2.4 GHz และ 6 GHz ซึ่งเราจะต้องปรับแต่งรูปร่างและขนาดให้มีค่าที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงมากที่สุด จากนั้นเราก็นำขนาดจริงไปวาดลงที่โปรแกรม Protel แล้ววาดขนาดจริงเพื่อที่จะนำไปทำชิ้นงาน

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. แผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้สารตัวกลางกึ่งกลางเป็นอีพ็อกซี่
2. ขั้วต่อ SMA
3. เลื่อยจตุ
4. กระดาษทราย (แบบหยาบและละเอียด)
5. สติกเกอร์
6. กรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
7. หัวแร้ง
8. ตะกั่ว

3.4.2 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม CST และ Auto Cad
2. ทำการวาดรูปร่างในโปรแกรม CST
3. จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม
4. ปรับแต่งรูปร่างเพื่อให้ค่าที่ได้ดีที่สุดหรือใกล้เคียงมากที่สุดที่ยอมรับได้
5. นำขนาดที่วัดในโปรแกรม CST มาวัดลงในโปรแกรม Auto Cad
6. พิมพ์ขนาดจริงลงกระดาษ A4
7. ทำการแกะสติกเกอร์ลายวงจร
8. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปก๊อปปี้กับกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
9. นำมาต่อกับขั้วต่อ SMA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

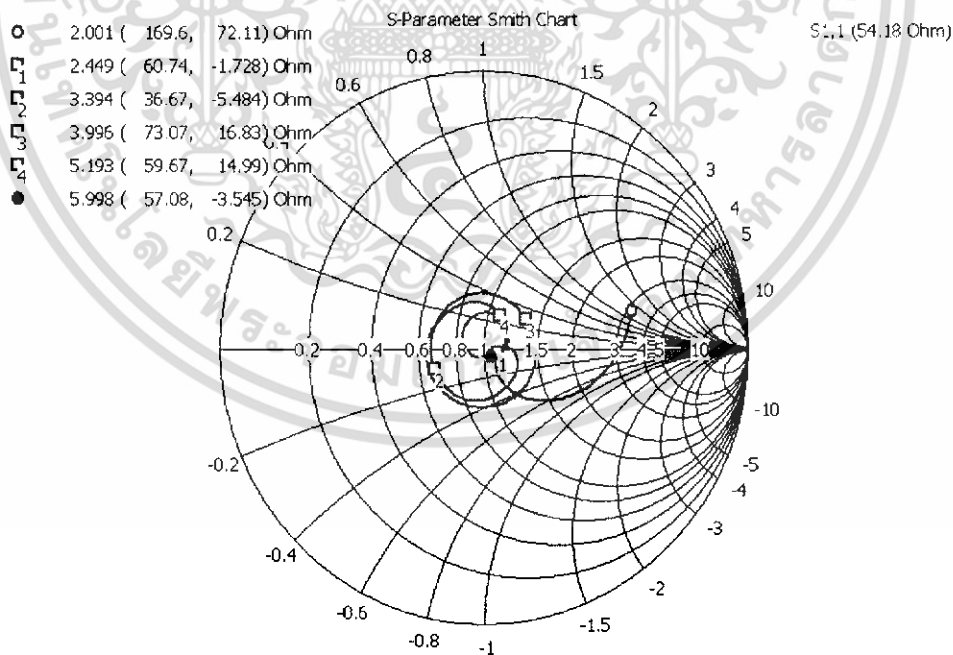
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์รูปแบบของสายอากาศนั้น จะมีพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากในการที่จะต้องนำมาพิจารณา เช่น อิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าการสูญเสียเนื่องมาจากการย้อนกลับ (Return Loss)

โดยในการวิเคราะห์จะนำขนาดของสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่กว้างที่คำนวณได้ในบทที่แล้วมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยโปรแกรม CST แล้วทำการปรับแต่งขนาดเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด (Optimum) แล้วนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์โปรแกรม CST มาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการสร้างและพัฒนาสายอากาศจากนั้นจึงนำสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้มาทำการทดสอบกับเครื่อง Network Analyzer

4.1 พิจารณาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์

สายอากาศไมโครสตริปจะมีส่วนที่สายส่งไมโครสตริป ซึ่งค่าความกว้างและความยาวของสายส่งนี้ จะมีผลต่ออิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ โดยอิมพีแดนซ์ที่ต้องการสำหรับการออกแบบสายอากาศนั้นมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST พิจารณาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ใช้งานทั้ง 5 ความถี่คือ 2.45 GHz ถึง 6 GHz



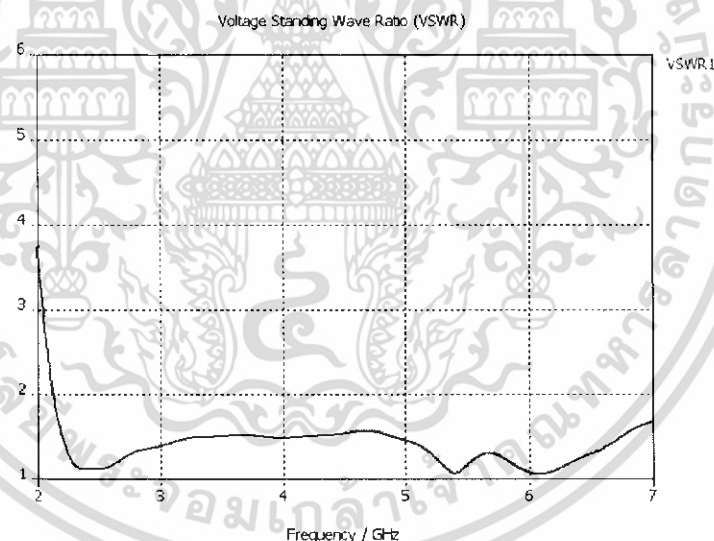
รูปที่ 4.1 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ที่ได้จากโปรแกรม CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าที่ Maker 1 จะสามารถอ่านค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ประมาณ 52.61 โอห์ม ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.4 GHz ส่วนที่ Maker 2 จะสามารถอ่านค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ประมาณ 56.65 โอห์ม ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 3.4 GHz ส่วนที่ Maker 3 จะสามารถอ่านค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ประมาณ 50.38 โอห์ม ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 4 GHz ส่วนที่ Maker 4 จะสามารถอ่านค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ประมาณ 40.74 โอห์ม ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 5.2 GHz และส่วนที่ Maker 5 จะสามารถอ่านค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้ประมาณ 56.01 โอห์ม ซึ่งเป็นอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 6 GHz ซึ่งจะเห็นว่าอินพุตอิมพีแดนซ์ทั้ง 5 ค่าที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียง 50 โอห์ม ตามที่เราต้องการ

4.2 พิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน คือค่าแรงดัน V_{max} ของคลื่นนิ่ง และแรงดัน V_{min} ของคลื่นนิ่ง ได้มาจากการบวกกันของคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อนที่มีเฟสตรงกันและตรงกันข้ามกันตามลำดับ โดยการนำอัตราส่วนของแรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด ก็จะเรียกว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน โดยการพิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันนี้ ไม่ควรมีค่าเกิน 2 หรือต้องต่ำกว่า 2 นั่นเองที่สามารถยอมรับนำไปใช้งานได้ แต่ถ้าจะให้ดีก็ควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 1.5 จะดีมากกว่า



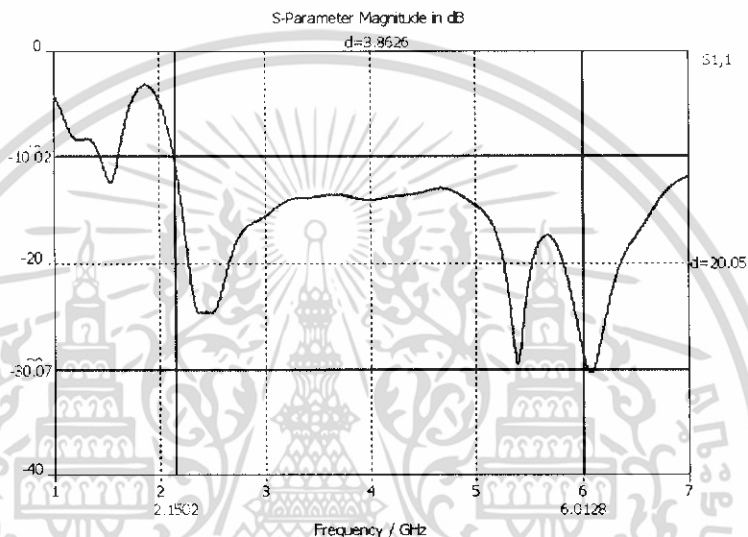
รูปที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ที่ได้จากโปรแกรม CST

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST จะทำให้ได้กราฟแสดงอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ของสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งจากกราฟจะพบว่าที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่า 1.499:1 ที่ความถี่ 3.4 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่า 1.575 :1 ที่ความถี่ 4 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่า 1.235 :1 ที่ความถี่ 5.2 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่า

1.599 :1 ที่ความถี่ 6 GHz มี ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่า 1.033 :1 ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากับหลักการเบื้องต้นที่ว่าค่า ต้องมีค่าต่ำกว่า 2 ก็ถือว่าค่า ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้สามารถนำไปสร้างได้

4.3 พิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์อินพุตของสายอากาศจนได้ค่าตามต้องการแล้ว ส่วนต่อไปที่เราจะพิจารณาก็คือการพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ ซึ่งในการพิจารณาค่าดังกล่าวก็ต้องพิจารณาที่ย่านความถี่ Wide-Band เช่นกัน ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับที่สามารถยอมรับได้ จะต้องมีย่านน้อย -10 dB ขึ้นไป

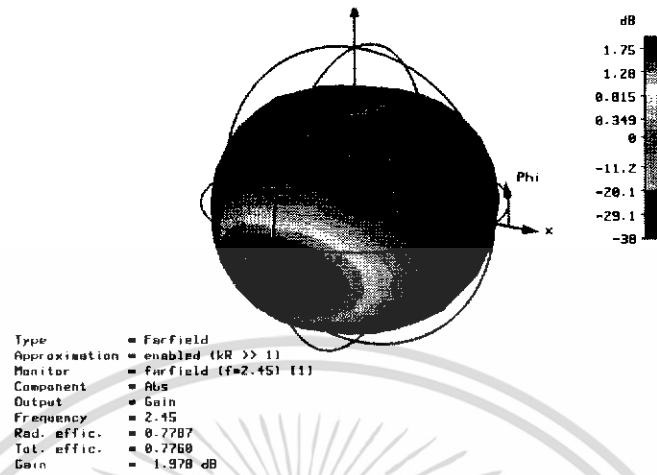


รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ที่ได้จากโปรแกรม CST

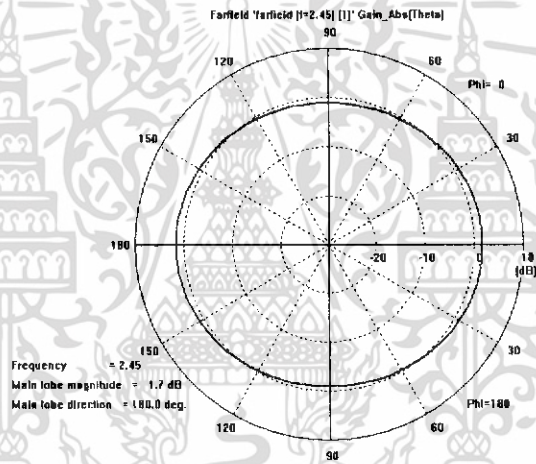
จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST จะทำให้ได้กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งจากกราฟจะพบว่าที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -13.81 dB ที่ความถี่ 3.4 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -15.68 dB ที่ความถี่ 4 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -14.64 dB ที่ความถี่ 5.2 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -12.24 dB ที่ความถี่ 6 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -2.52 dB ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับทั้ง ย่านความถี่ Wide-Band มีค่าน้อยกว่า -10 dB ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้นที่สามารถยอมรับนำไปใช้งานได้

4.4 พิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (ผลจำลองจากโปรแกรม CST)

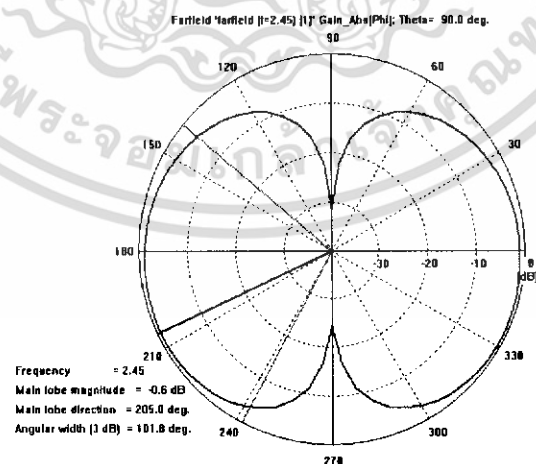
ที่ความถี่ 2.45 GHz



(ก) ภาพสามมิติ



(ข) ในระนาบสนามไฟฟ้า

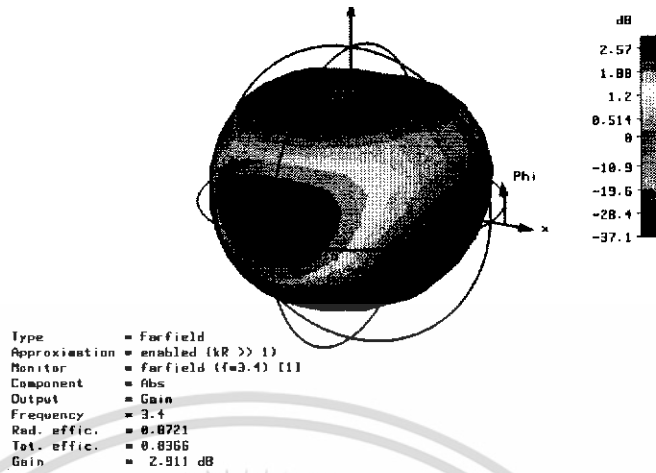


(ค) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

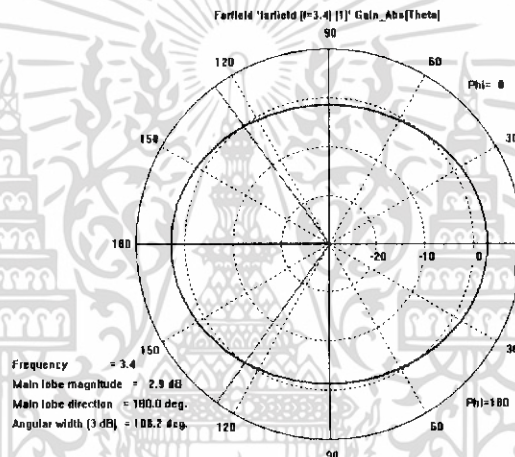
รูปที่ 4.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

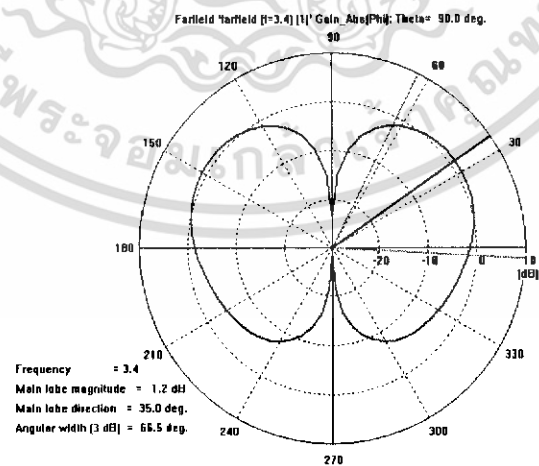
ที่ความถี่ 3.4 GHz



(ก) ภาพสามมิติ



(ข) ในระนาบสนามไฟฟ้า

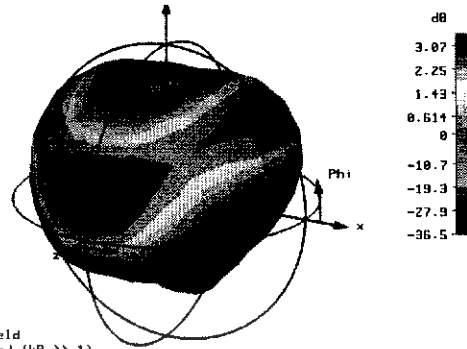


(ค) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz

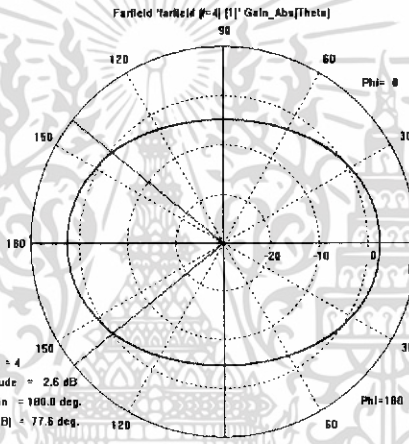
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่ 4 GHz



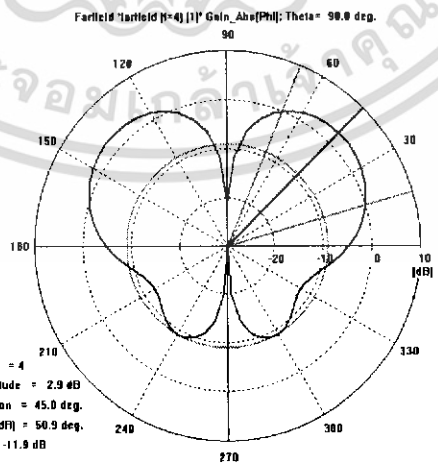
Type = Farfield
 Approximation = enabled (kr >> 1)
 Monitor = farfield (f=1) [1]
 Component = Abs
 Output = Gain
 Frequency = 4
 Rad. effic. = 0.8936
 Tot. effic. = 0.8812
 Gain = 3.177 dB

(ก) ภาพสามมิติ



Frequency = 4
 Main lobe magnitude = 2.6 dB
 Main lobe direction = 180.0 deg.
 Angular width [3 dB] = 77.6 deg.

(ข) ในระนาบสนามไฟฟ้า

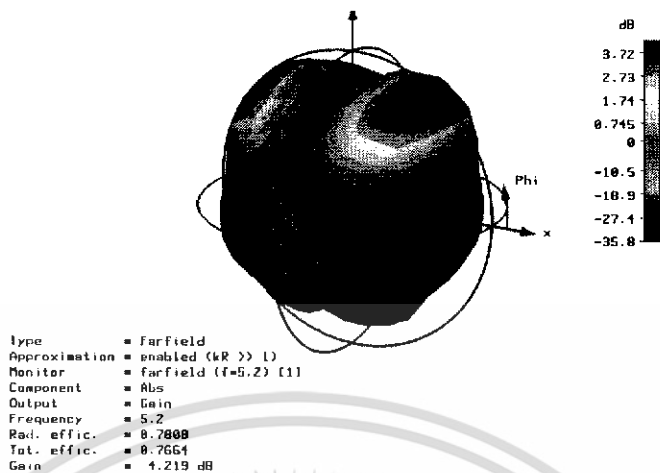


Frequency = 4
 Main lobe magnitude = 2.9 dB
 Main lobe direction = 45.0 deg.
 Angular width [3 dB] = 50.9 deg.
 Side lobe level = -11.9 dB

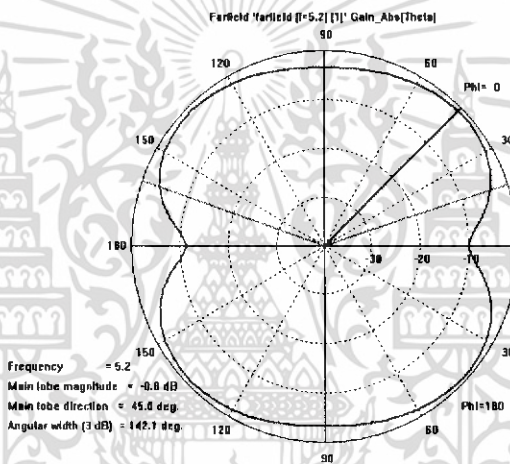
(ค) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

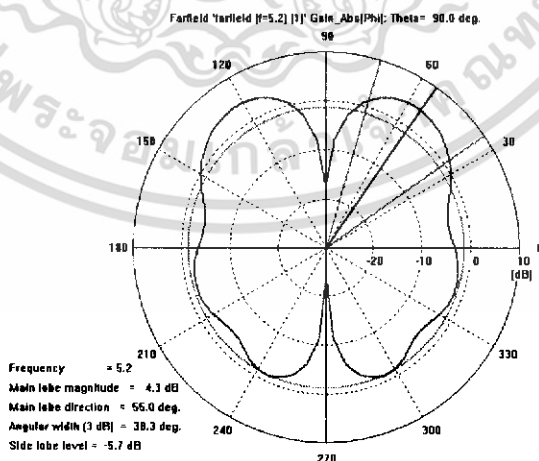
ที่ความถี่ 5.2 GHz



(ก) ภาพสามมิติ



(ข) ในระนาบสนามไฟฟ้า

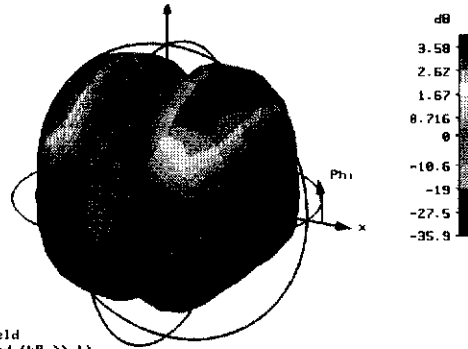


(ค) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.2 GHz

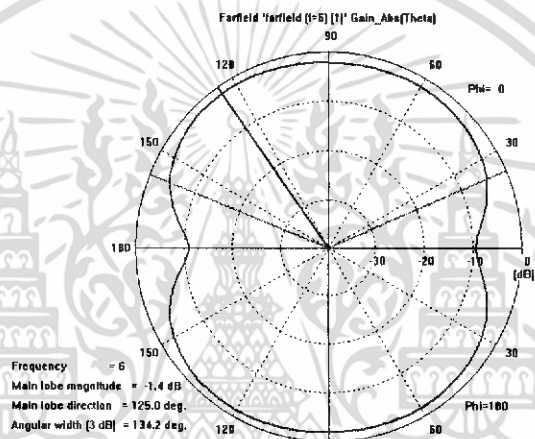
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่ 6 GHz

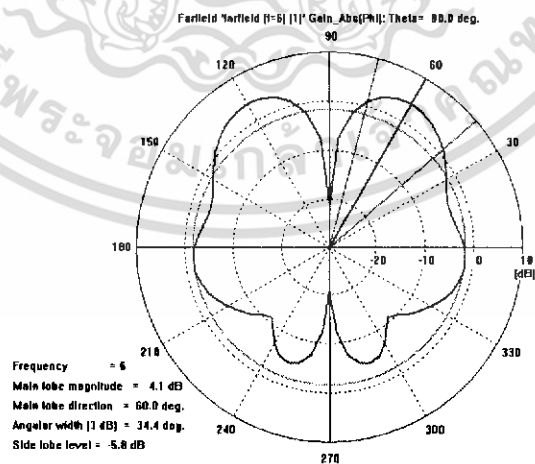


- Type ▪ Farfield
- Approximation ▪ enabled (kR >> 1)
- Monitor ▪ farfield (f=6) [1]
- Component ▪ Abs
- Output ▪ Gain
- Frequency ▪ 6
- Rad. effic. ▪ 0.7510
- Tot. effic. ▪ 0.7498
- Gain ▪ 1.055 dB

(ก) ภาพสามมิติ



(ข) ในระนาบสนามไฟฟ้า



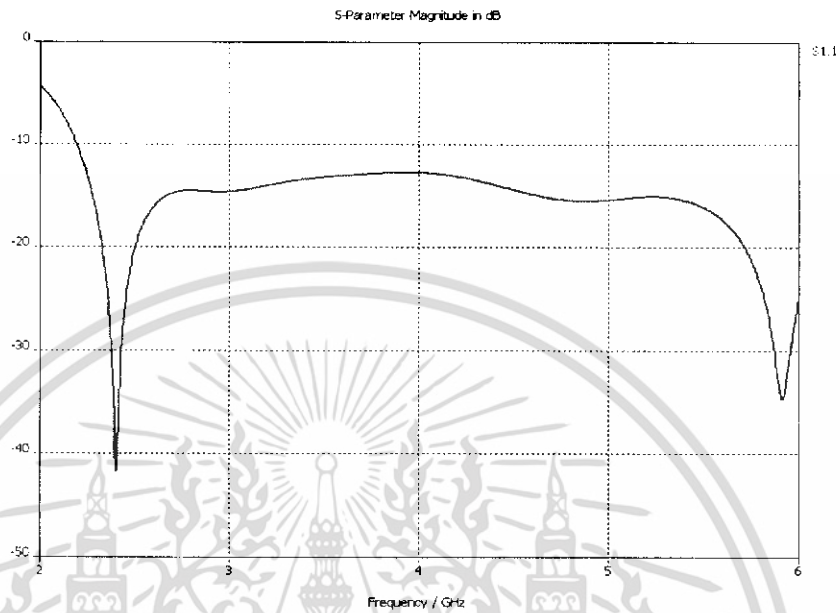
(ค) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 6 GHz

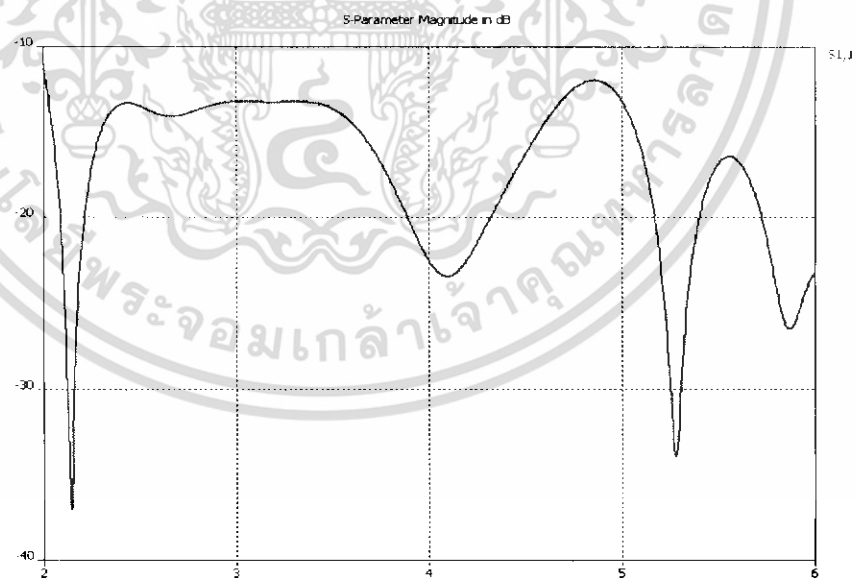
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยในหัวข้อนี้เท่านั้น เมื่อผู้ยู ติเห็น เเบ้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 พิจารณาค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง (ϵ_r)

เมื่อทำการจำลองผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม CST ในการลองปรับค่าพารามิเตอร์ (ϵ_r) จาก 4.6 เป็น 3.0 และ 5.0 ซึ่งจะพบว่าผลที่ได้นั้นจะทำให้ช่วงความถี่ที่เราต้องการ ไปใช้งานนั้นคลาดเคลื่อนไป



รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง (ϵ_r) มีค่า 3.0



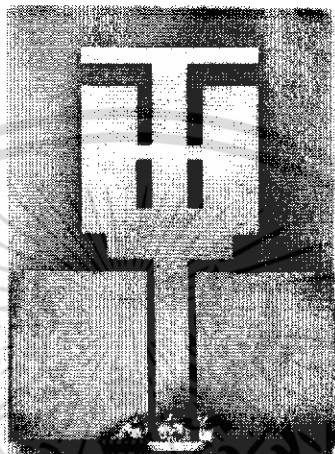
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์มิตติวิตีของสารตัวกลาง (ϵ_r) มีค่า 5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบและผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ การออกแบบ และการสร้าง ทำให้เราทราบถึงขนาดและส่วนประกอบต่างๆ โดยให้ทำงานที่ 5 ความถี่ คือ 2.45 GHz, 3 GHz ,4 GHz ,5.2 GHz และ 6GHz ซึ่งเมื่อนำมาสร้างก็จะได้ ชิ้นงานออกมาดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับการวัดและการทดสอบค่าต่างๆในการทดลองนี้จะใช้ เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายวิทยุ (Network Analyzer : รุ่น HP 8720C 50 MHz – 20 GHz) การวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายวิทยุนี้สามารถวัดและแสดงรูปสัญญาณพร้อมทั้งค่าต่างๆออกมาโดยละเอียด ส่วนอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ได้แก่ ตัวเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับเครื่องวัดจะใช้ขั้วต่อเป็นแบบ SMA

การทดลองจะประกอบไปด้วย การวัดและทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ คืออัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้าง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นี้จะนำมาวิเคราะห์หา ความผิดพลาดของการคำนวณว่าได้ใกล้เคียงกับการทดลองหรือไม่ อย่างไรเพื่อนำมา ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่อง Network Analyzer : รุ่น HP 8720C 50 MHz – 20 GHz
2. ชุดคาร์ดิเบรท 85022 B. 3.5 mm
3. Computer Notebook
4. สายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

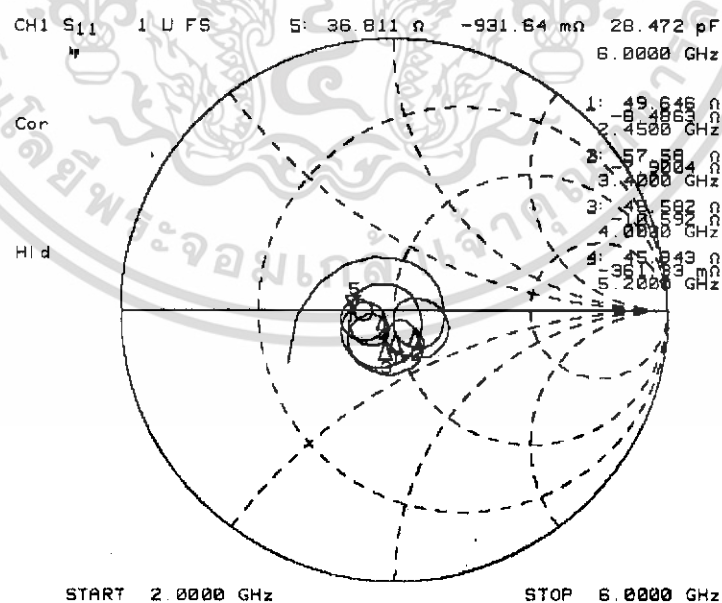
5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการควิเบรทเครื่อง Network Analyzer ด้วยชุดควิเบรท 85022 B. 3.5 mm
2. เลือกความถี่เริ่มต้น 2 GHz และความถี่สุดท้าย 6 GHz
3. ทำการต่อสายอากาศไมโครสตริป เข้ากับเครื่อง Network Analyzer
4. ทำการวัดหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปด้วยเครื่อง Network Analyzer
5. ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน
6. ทดสอบวัดหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริป
7. ทดสอบการวัดหาค่าแบนด์วิดท์
8. ทดสอบการวัดหาค่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
9. ทดสอบการวัดหาค่าโพลาไรเซชันของสายอากาศ
10. ทดสอบการวัดหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ
11. ทดสอบการวัดหาค่าการส่งสัญญาณของสายอากาศในการใช้งานจริง

5.3 ผลการทดสอบ

5.3.1 การทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ในการทดสอบ หาค่าอิมพีแดนซ์อินพุตของสายอากาศไมโครสตริปนี้ โดยการอ่านค่า Smithchart จากเครื่อง Network Analyzer โดยกำหนดให้ Marker 1 เป็นความถี่ Center ที่ 2.45 GHz Marker 2 เป็นความถี่ Center ที่ 3 GHz Marker 3 เป็นความถี่ Center ที่ 4 GHz Marker 4 เป็นความถี่ Center ที่ 5 GHz Marker 5 เป็นความถี่ Center ที่ 6 GHz ซึ่งผลการทดสอบจะได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

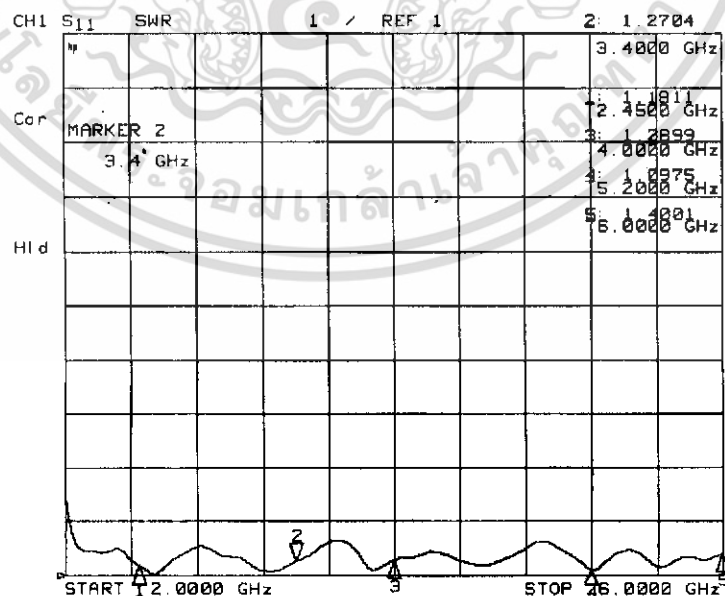
ตารางที่ 5.1 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)
1	2.45 GHz	49.646
2	3.4 GHz	57.58
3	4 GHz	45.582
4	5.2 GHz	45.943
5	6 GHz	36.811

ซึ่งในการวัดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์นี้เราจะต้องทำให้ค่าจินตภาพของสายอากาศเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดเพื่อนำเอาจะได้เฉพาะค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นค่าจริง โดยจากผลการทดสอบจะพบว่า ที่ Marker 2 ความถี่ 3 GHz มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 57.58 โอห์ม และที่ Marker 3 และ Marker 4 ความถี่ 4 GHz และ 5 GHz มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 45.582 โอห์ม และ 45.943 โอห์ม จะเห็นว่าจะมีเพียงความถี่ 6 GHz เท่านั้นที่มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 36.811 โอห์ม ซึ่งค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ได้นี้ก็จะมีผลต่อค่า และค่า ในการทดสอบต่อไป

5.3.2 การทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR)

ในการทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริปนี้ ก็จะทำการทดสอบคล้ายๆกับการหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์คือ จะดูค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความถี่ใช้งานทั้ง 5 คือ Marker 1 จะอยู่ที่ 2.4 GHz ที่ Marker 2 จะอยู่ที่ 3 GHz Marker 3 จะอยู่ที่ 4 GHz Marker 4 จะอยู่ที่ 5 GHz Marker 6 จะอยู่ที่ 6 GHz ซึ่งทำการทดสอบจะได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) ที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

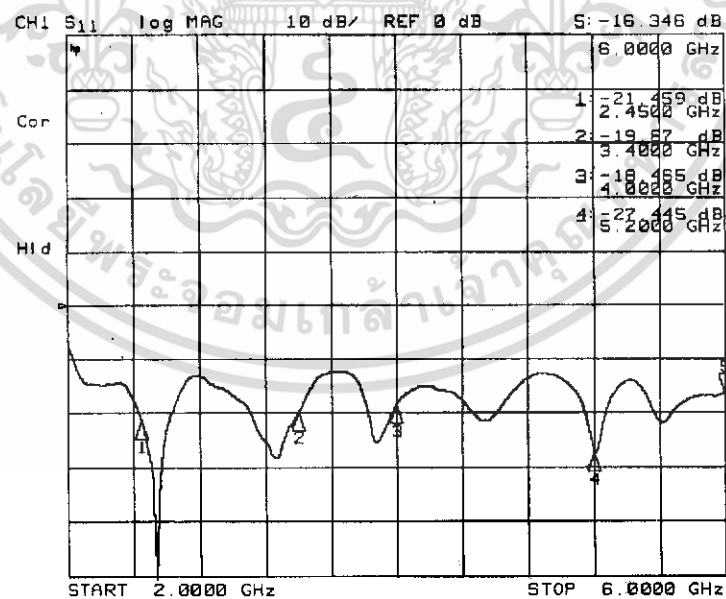
ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริป

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง
1	2.4 GHz	1.1811:1
2	3.4 GHz	1.2704:1
3	4 GHz	1.2899:1
4	5.2 GHz	1.0975:1
5	6 GHz	1.4001:1

จากการทดสอบที่ได้จะเห็นว่าทั้ง 5 ความถี่จะมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ต่ำกว่า 2:1 โดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ต้องการนี้จะสามารถใช้งานได้ นั่นต้องมีค่าต่ำกว่า 2:1 ซึ่งจากการทดสอบนี้จะพบว่าทั้ง 5 ความถี่สามารถใช้งานได้

5.3.3 การวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ

ในการทดสอบหาการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้างนี้จะทำการวัดโดยดูที่ความถี่ใช้งานทั้ง 5 ความถี่เช่นกัน คือที่ Marker 1 จะอยู่ที่ 2.4 GHz ที่ Marker 2 จะอยู่ที่ 3GHz Marker 3 จะอยู่ที่ 4 GHz Marker 4 จะอยู่ที่ 5 GHz Marker 6 จะอยู่ที่ 6 GHz ซึ่งผลการทดลองจะได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

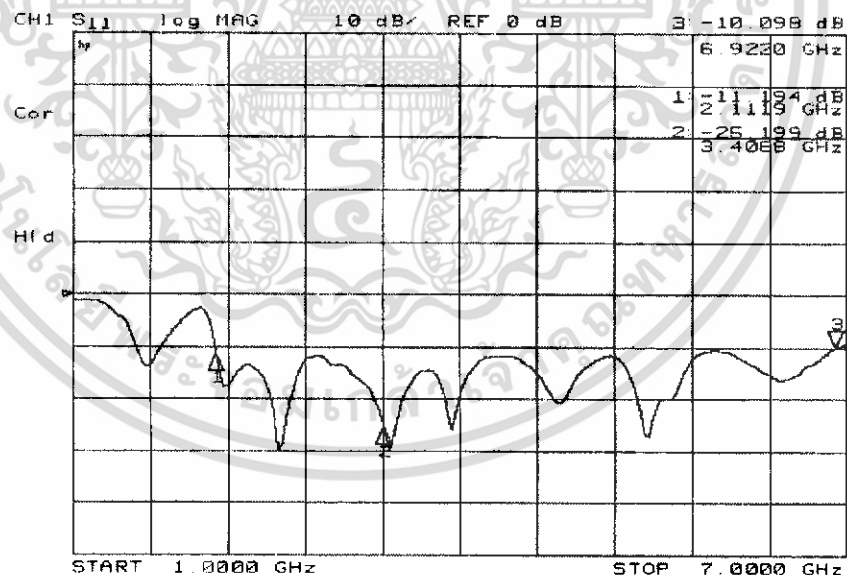
ตารางที่ 5.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ
1	2.45 GHz	-21.459
2	3 GHz	-19.87
3	4 GHz	-18.465
4	5 GHz	-27.445
5	6 GHz	-16.346

จากผลการทดสอบหาค่าการสูญเสียย้อนกลับนี้จะพบว่าทั้งย่านที่ใช้ในการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับนี้มีค่าได้ตามที่ต้องการ โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ซึ่งก็จะพบว่าสามารถใช้งานได้ทั้งย่านความถี่ที่ใช้ทดสอบ

5.3.4 การทดสอบหาค่าแบนด์วิดท์

ในการทดสอบหาค่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่กว้าง จะทำการวัดโดยดูในช่วงความถี่ที่ใช้งานทั้ง 5 ความถี่ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ค่าแบนด์วิดท์ที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 1 GHz – 7 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 2.4 GHz – 6 GHz

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ
1	2.1 GHz	-11.194
2	3 GHz	-25.199
3	6.9 GHz	-10.098

จากการทดสอบหาค่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ถึง 6 GHz ซึ่งจะพิจารณาค่าแบนด์วิดท์ โดยดูจากช่วงของความถี่ที่มีการสูญเสียย้อนกลับจึงจะต้องมีค่าน้อยกว่า -10 dB ก็จะเป็นว่ามีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.811 GHz ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 2 GHz – 6 GHz ซึ่งตามมาตรฐานในการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11a มาตรฐาน IEEE 802.11b และมาตรฐาน IEEE 802.11g ที่ความถี่ 2.45 GHz จะมีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 2.400 GHz – 2.483 GHz และช่วงความถี่ 5.2 GHz จะมีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 5.15 GHz – 5.35 GHz ซึ่งจะเห็นว่าสายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่นี้สามารถรองรับการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11a , IEEE 802.11b และมาตรฐาน IEEE 802.11g ได้

5.3.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ การทดสอบนั้นจะทำในห้องที่มีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด สามารถทำได้ในห้องไร้คลื่นสะท้อนซึ่งเป็นห้องที่สร้างขึ้นเพื่อไม่ให้มีคลื่นสะท้อนกลับออกจากผนังทุกด้านของห้องส่วนของระยะที่ใช้ในการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะใช้บริเวณสนามระยะไกลซึ่งเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ที่การแพร่ของสนาม ของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศบริเวณสนามระยะไกล

$$\text{Far Field Distance}(R) = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (5.1)$$

โดยที่ R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับ กับสายอากาศส่ง (mm)

D = มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (mm)

ระยะที่ใช้ในการทดสอบ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

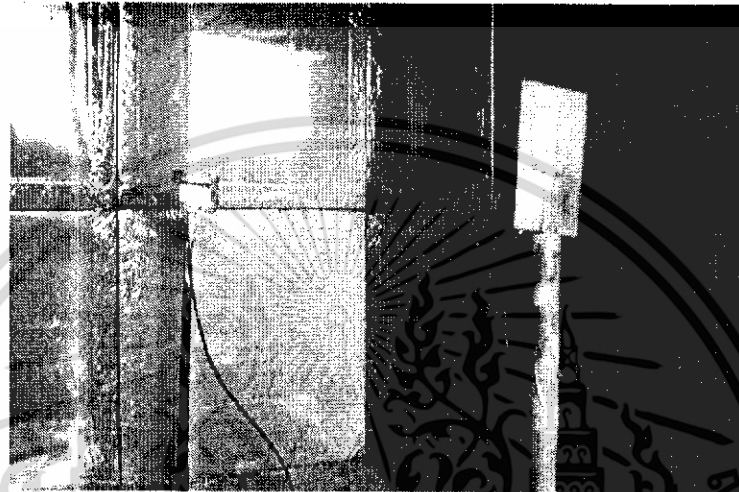
โดยที่ D = 0.1 mm

λ = 0.05 mm

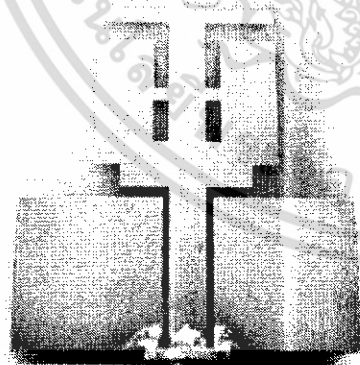
$$\text{Far Field Distance}(R) = \frac{2(0.1)^2}{0.05} \geq 0.4 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

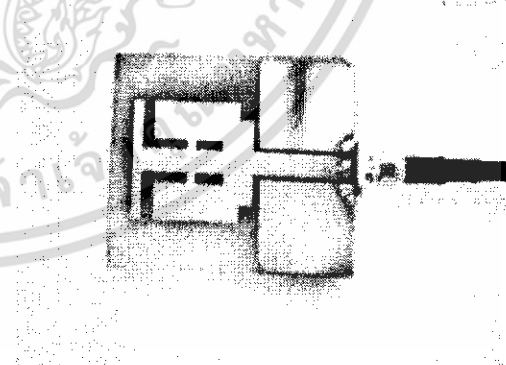
ในการทดสอบนี้จะใช้ระยะไกล ที่มากกว่า 0.4 m ในระนาบ E-Plane โดยติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่ง ให้โพรบตั้งฉากกับพื้นระนาบโดยนำสายอากาศ ไปติดตั้งที่ตำแหน่งซึ่งจะหมุนด้วยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ ครั้งละ 5 องศา แล้ววัดค่ากำลังสนามที่องศาต่างๆ จนครบ 360 องศา โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ระบบโครงข่าย (Network Analyzer) เป็นตัวส่งและรับ ส่วนการวัดค่ากำลังสนามในระนาบ H-Plane นั้น ต้องติดตั้งสายอากาศที่ใช้รับและส่ง ให้โพรบขนานกับพื้นระนาบแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกันกับ E-Plane



รูปที่ 5.6 การจัดวางสายอากาศภายในห้องเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น



(ก) ในระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.7 การจัดวางสายอากาศเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบต่างๆ

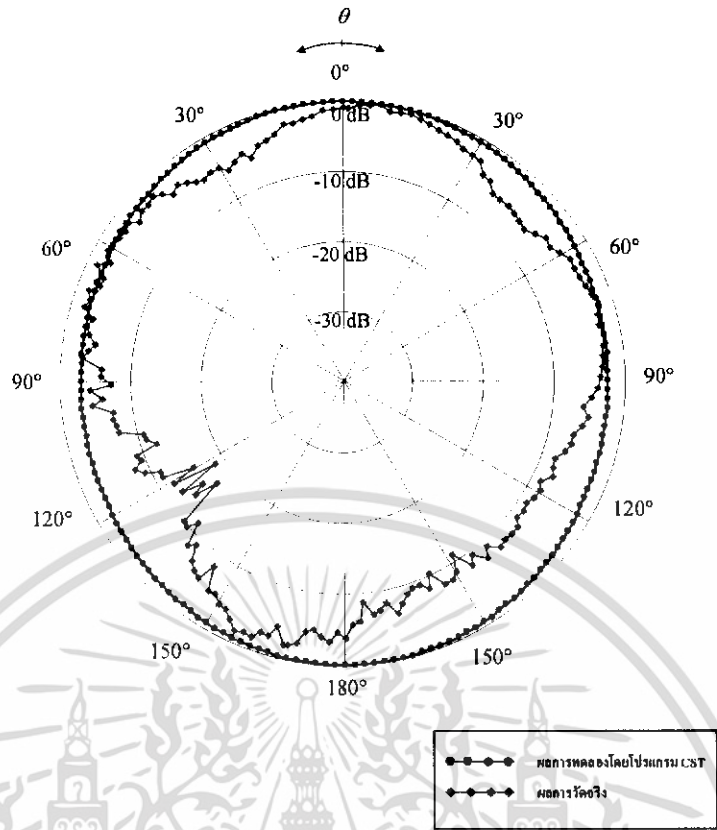
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบการแพร่กระจายคลื่น ใช้สายอากาศสองตัวในการวัดทดสอบโดยใช้สายอากาศที่เป็นมาตรฐานโดยจะมีสายอากาศที่มีย่านความถี่ใช้งาน 2.45 GHz และท่อเวฟไกด์ปลายเปิดด้านเดียวที่มีย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 2.85 GHz ไปจนถึง 6.8 GHz

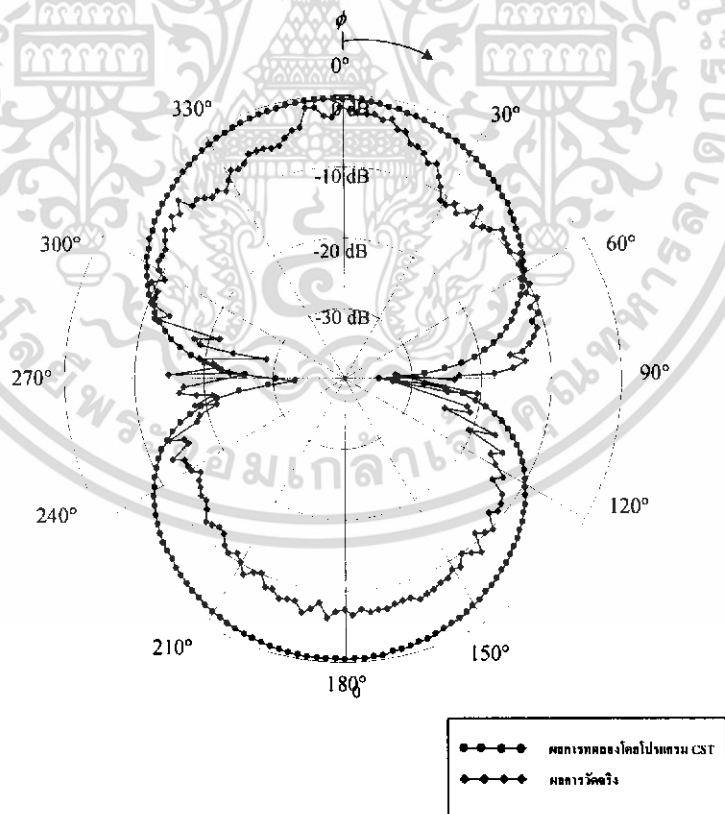


รูปที่ 5.8 สายอากาศที่ใช้ทดสอบการแพร่กระจายคลื่น (ก) สายอากาศที่มีย่านความถี่ใช้งาน 2.45GHz
(ข) ท่อเวฟไกด์ปลายเปิดด้านเดียวที่มีย่าน ความถี่ใช้งานตั้งแต่ 2.85 GHz ไปจนถึง 6.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



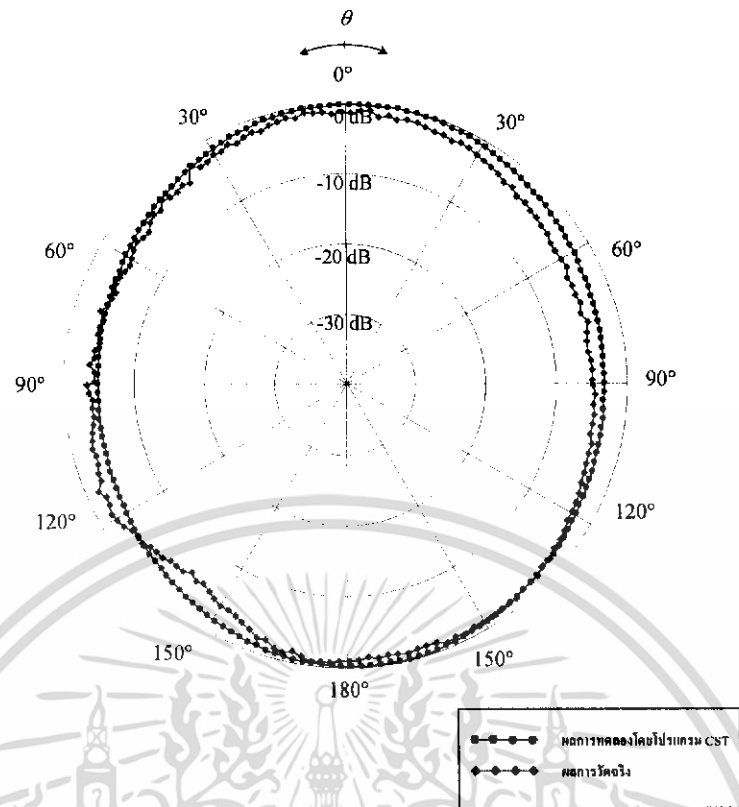
(ก) ในระนาบสนามไฟฟ้า



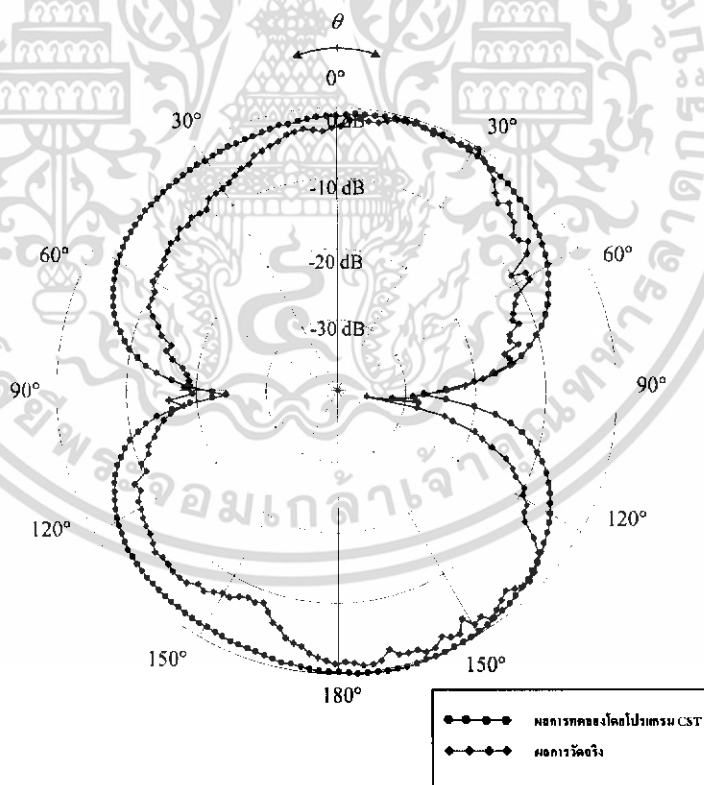
(ข) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.45 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



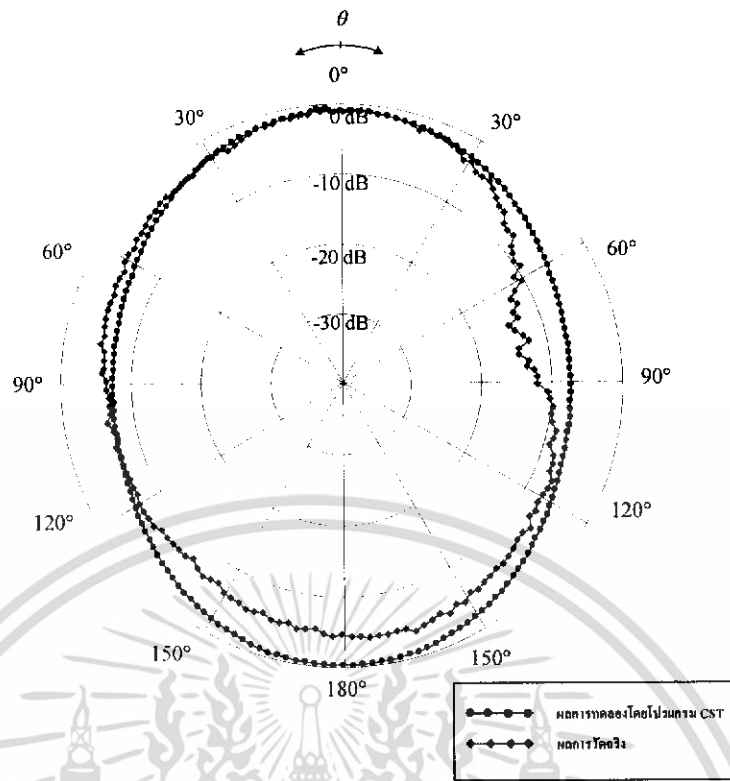
(ก) ในระนาบสนามไฟฟ้า



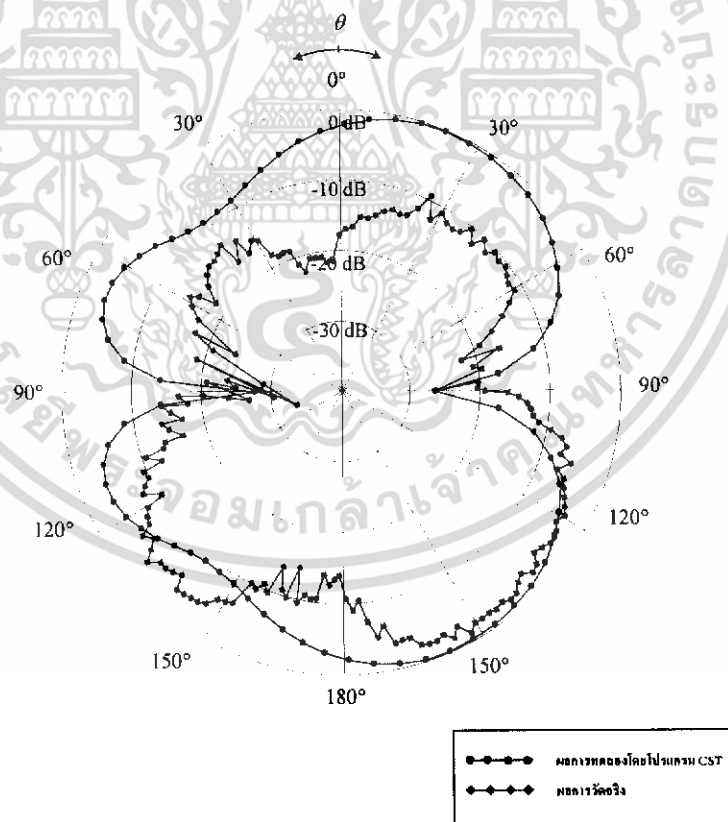
(ข) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 3.4 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



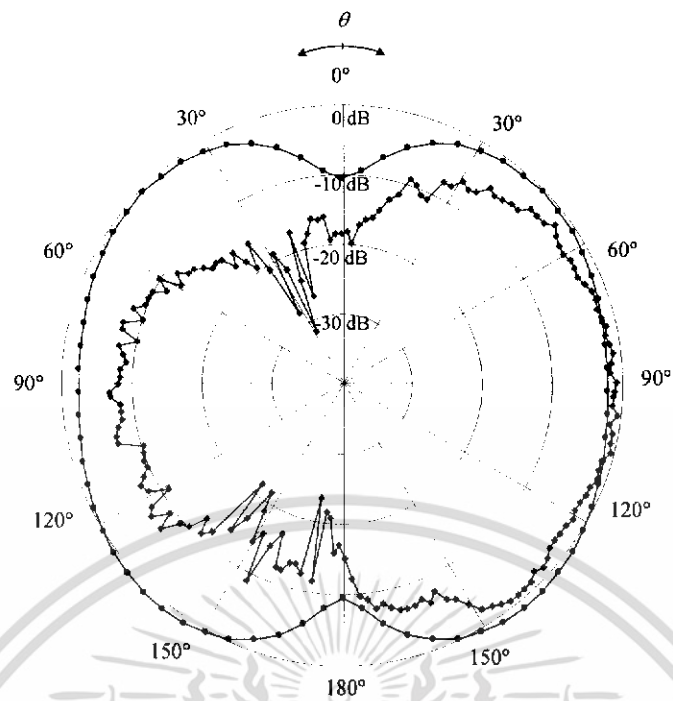
(ก) ในระนาบสนามไฟฟ้า



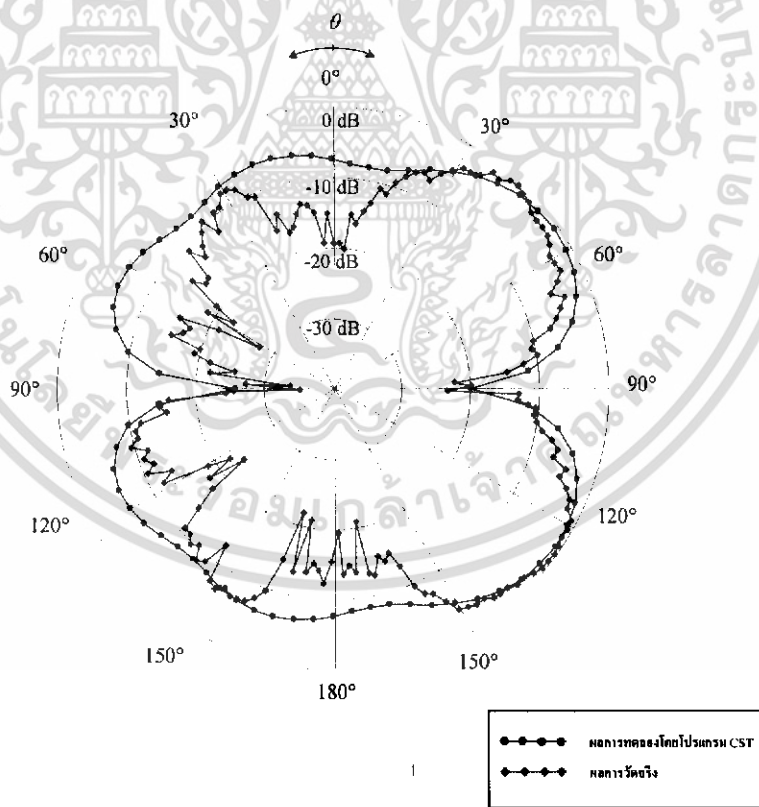
(ข) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 4 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ในระนาบสนามไฟฟ้า



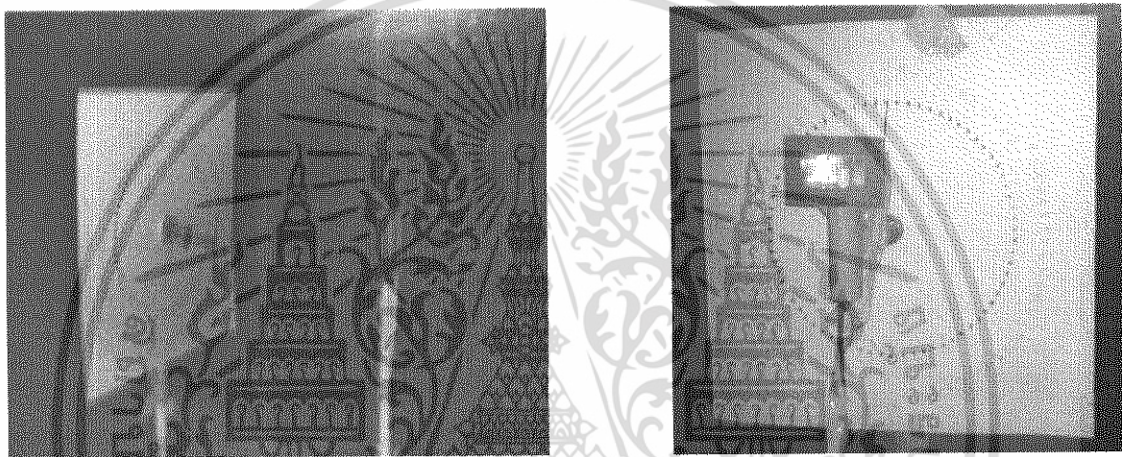
(ข) ในระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 5.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 5.2 GHz

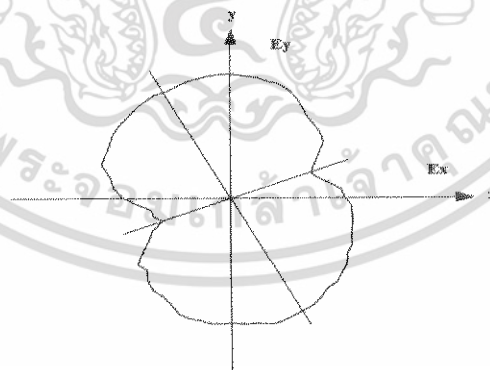
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.6 การวัดโพลาไรซ์เซชันของสายอากาศ (Polarization)

การวัดโพลาไรซ์เซชันนั้นนับว่าเป็นสิ่งจำเป็น ในกรณีที่เรต้องการส่งคลื่นที่มี โพลาไรซ์เซชัน อย่างใดอย่างหนึ่งออกจากสายอากาศแล้วทำการตรวจสอบจากการวัดว่าได้คลื่นที่มีโพลาไรซ์เซชัน ตามที่ ต้องการหรือไม่การวัดโพลาไรซ์เซชันของคลื่น ส่วนใหญ่จะเป็น การตรวจสอบอัตราส่วนของการโพลา-ไรซ์ เซชันนี้ ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่บ่งบอกคุณสมบัติของสายอากาศในเชิงการสร้างโพลาไรซ์เซชัน วิธีการวัดโพลาไรซ์เซชันของคลื่นนี้จะทำได้โดยใช้สายอากาศที่รับคลื่นที่มีโพลาไรซ์เซชันแบบเส้นตรง เช่น สายอากาศแบบไดโพล และสายอากาศไมโครสตริป การวัดโพลาไรซ์เซชันก็จะทำได้โดยนำสายอากาศดังกล่าวรับคลื่นที่เคลื่อนที่เข้ามา แล้วหมุนสายอากาศนั้นรอบตัวเอง ขนาดของสนามไฟฟ้าที่วัดได้ ที่มุมต่างๆจะขึ้นอยู่กับโพลาไรซ์เซชันของคลื่น



รูปที่ 5.14 การวัด โพลาไรซ์เซชันของสายอากาศ



รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบการวัดโพลาไรซ์เซชันของสายอากาศ

ผลการทดสอบการวัดโพลาไรซ์เซชันของสายอากาศ จากรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าโพลาไรซ์เซชันของสายอากาศนั้นมีรูปแบบโพลาไรซ์เซชัน เป็นวงรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.7 การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ

การทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศจะใช้สายอากาศทั้งตัวส่งและตัวรับที่มีโครงสร้างและคุณลักษณะเหมือนกันวางห่างกันด้วยระยะทางที่มากกว่าหรือเท่ากับบริเวณสนามระยะไกลและใช้เครื่อง (Network Analyzer) เป็นตัวส่งและรับ สัญญาณที่รับได้จากเครื่องเน็ตเวิร์คอะนาไลเซอร์จะมีค่าเท่ากับ $10\log(P_r/P_t)$ เมื่อนำไปแทนในสมการ (5.2) ซึ่งเป็นสมการการส่งคลื่นของ ฟรีส จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศ

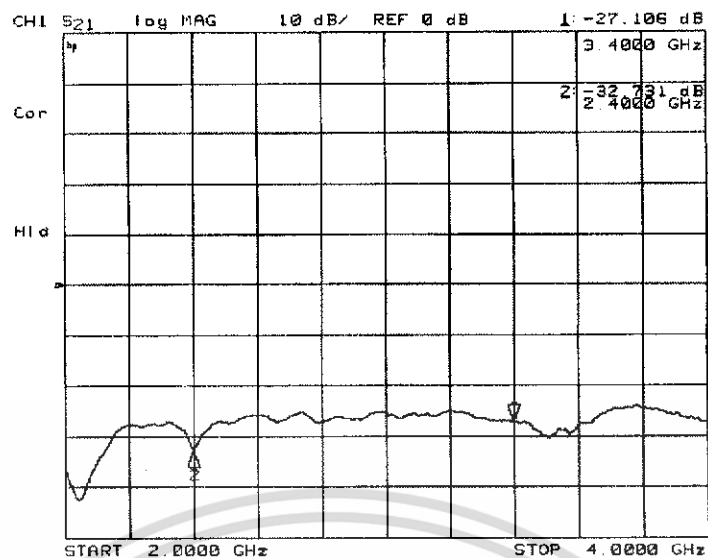
$$10\log\left(\frac{P_r}{P_t}\right) = G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (5.2)$$

เมื่อ G_t = เกนของสายอากาศส่ง (dB)
 G_r = เกนของสายอากาศรับ (dB)
 P_t = กำลังงานด้านส่ง (W)
 P_r = กำลังงานด้านรับ (W)
 R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง และรับที่มากกว่าหรือเท่ากับ
 บริเวณสนามระยะไกล (m)
 โดยเทอมของ $20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)$ เป็นการสูญเสียในอากาศ

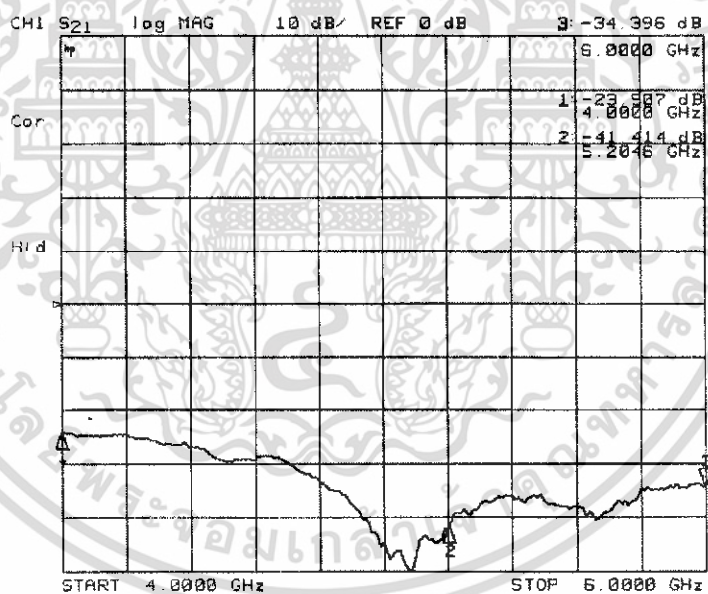


รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศที่ย่านความถี่ 2.4 GHz และ 3.4 GHz



รูปที่ 5.18 ผลการทดสอบหาอัตราขยายของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 GHz , 5.2 GHz และ 6 GHz

เมื่อเราทราบค่าอัตราขยายของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่งจะสามารถหาค่าอัตราขยายของสายอากาศตัวอื่นๆ ได้ทั้งหมดซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$G_t(dB) + G_r(dB) = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (5.3)$$

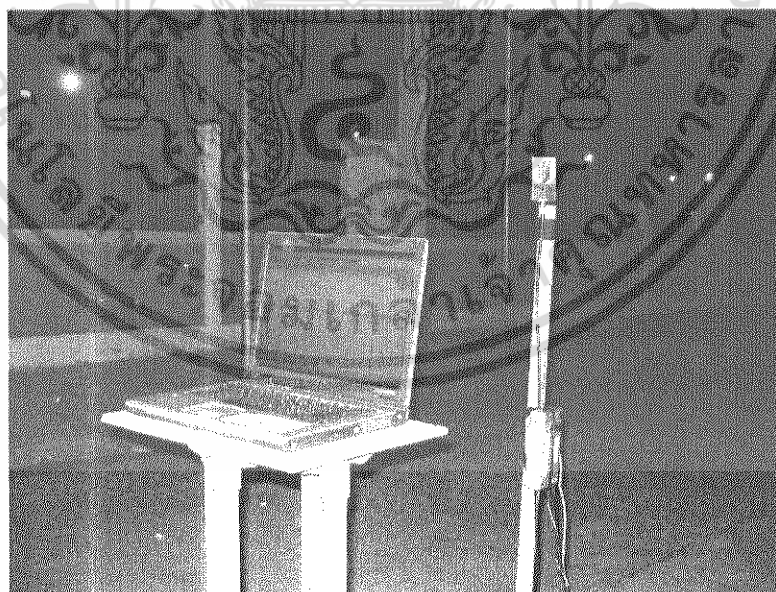
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ค่าอัตราการขยายของสายอากาศ ที่ได้จากการทดสอบ

ความถี่ของสายอากาศ	อัตราการขยาย (dBi)
2.4 GHz	1.864
3.4 GHz	2.127
4 GHz	4.069
5.2 GHz	4.206
6 GHz	1.082

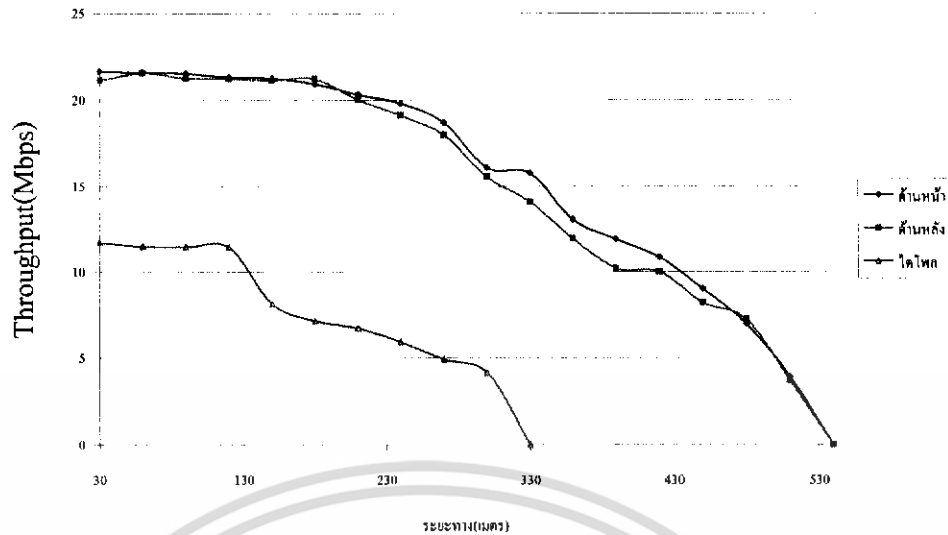
5.3.8 การทดสอบส่งสัญญาณของสายอากาศในการใช้งานจริง

ในการทดสอบใช้งานจริงทดสอบในย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ในการใช้งานในระบบ Wireless LAN ดังนั้นการทดสอบ การรับ และ ส่ง สัญญาณของสายอากาศจะทำโดย ทำการต่อสายอากาศเข้ากับ Access Point ในระบบ Wireless LAN มาตรฐาน IEEE 802.11g และใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาทำการหาระยะที่สายอากาศสามารถส่งสัญญาณได้



รูปที่ 5.19 สายอากาศไมโครสตริปที่ติดตั้งกับ Access Point ในการทดสอบใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 ผลการทดสอบส่งสัญญาณของสายอากาศในการใช้งานจริง

สาเหตุที่ค่า Throughput ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เนื่องจากการรับ-ส่งสัญญาณของระบบไวร์เลสแลนนั้นจะใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งอุปกรณ์ทุกๆตัวไม่ว่าจะเป็นแอ็กเซสพอยน์ หรือการ์ดไวร์เลสแลนก็จะรับส่งข้อมูลที่ความถี่นี้ และจะต้องผลัดกันรับ-ส่งข้อมูลไม่สามารถส่งข้อมูลพร้อมกันได้ ไม่เช่นนั้นจะเกิดข้อมูลชนกันในอากาศ การส่งแบบนี้เรียกว่าวิธีแบบ ฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half-Duplex Mode) คล้ายกับวิทยุตำรวจที่ผู้ส่งจะต้องกดปุ่มที่วิทยุเพื่อพูด เมื่อเราพูดก็จะไม่ได้ยินเสียงอะไร ดังนั้นอีกฝ่ายพูดอีกฝ่ายหนึ่งต้องฟังระบบไวร์เลสแลนนั้นใช้ช่องสัญญาณเดียวในการรับส่งกว่าจะส่งข้อมูลได้ก็ต้องมีการร้องขอ และตอบกลับหลายครั้ง จึงทำให้ความเร็วที่แท้จริงของระบบไวร์เลสจะต่ำกว่าสเปคที่กำหนดไว้กว่าครึ่งหนึ่ง ในกรณีนี้ มาตรฐาน IEEE802.11g ที่ระบุมีความเร็วประมาณ 54 เมกะบิตต่อวินาที ความเร็วจริงของระบบจะมีค่าประมาณ 24-27 เมกะบิตต่อวินาทีเท่านั้นเอง

5.3.8.1 การคำนวณค่า throughput ด้วยโปรแกรม Chariot

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Throughput} = (\text{Bytes_Sent} + \text{Bytes_Received_By_Endpoint_1}) / ((\text{Throughput_Units}) * (\text{Measured_Time}))$$

โดย

Bytes_Sent คือจำนวนไบต์ที่ทำการส่งที่ Endpoint_1 เท่ากับ 10000000 bytes

Bytes_Received คือจำนวนไบต์ที่ทำการรับที่ Endpoint_1 เท่ากับ 100 bytes

Measured_Time คือเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล

Throughput_Units เท่ากับ 125000 bytes per second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าค่า throughput นั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ถ้าใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลน้อยค่า throughput ก็จะมีค่ามาก ในทางตรงข้ามถ้าใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลมากค่า throughput ก็จะมีค่าน้อย จากกราฟจะพบว่าที่ระยะทางไกลออกไปจะใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นทำให้กราฟมีค่าลดลง

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ระยะ 30 m

$$\text{throughput} = \frac{(80,000,800)}{1,000,000 \times 3.677} = 21.757 \text{ Mbps}$$

ที่ระยะ 240 m

$$\text{throughput} = \frac{(80,000,800)}{1,000,000 \times 4.041} = 19.797 \text{ Mbps}$$

ที่ระยะ 450 m

$$\text{throughput} = \frac{(80,000,800)}{1,000,000 \times 8.879} = 9.01 \text{ Mbps}$$

ซึ่งจากผลการทดสอบการใช้งานจริงที่ได้จะเห็นว่าความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเพราะจากตัวอย่างการคำนวณแสดงให้เห็นว่าในระยะทางที่เพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลจะเพิ่มขึ้น

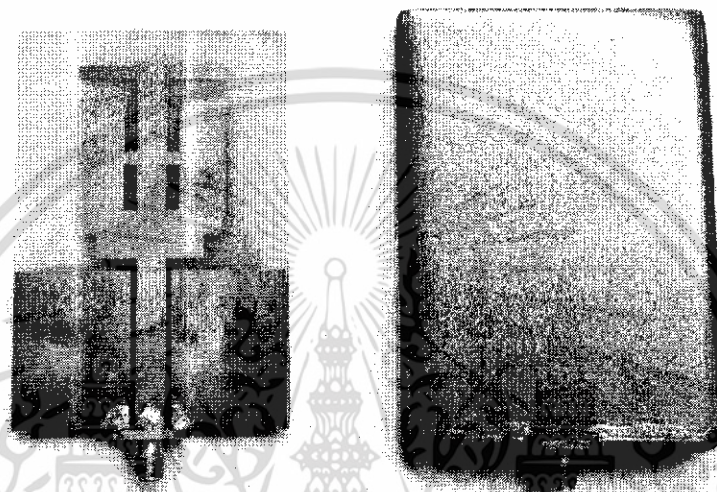
ในการเลือกระยะที่ใช้เริ่มทำการวัดที่ระยะ 30 m นั้นเมื่อดูตามสมการ

$$\text{Far Field Distance}(R) \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

ซึ่งตามทฤษฎีในการวัดหาค่า throughput ที่ส่งออกจากสายอากาศนั้นต้องวัดในระยะที่มากกว่า Far Field ที่คำนวณได้ ซึ่งในที่นี้สายอากาศไมโครสตริปมี Far Field มากกว่า 40 cm เมื่อวัด throughput ที่ได้จะเป็นค่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจริง จากการทดลองในการวัดที่ระยะ 1 m และ 30 m ค่า throughput ที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากโดยจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 21 mbps โดยที่ทุกๆ 30 m ความแรงของสัญญาณจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ในการทดลองจึงเลือกระยะที่ทำการวัดสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 30 m ถ้าใช้ระยะที่น้อยกว่านี้ก็จะได้กราฟที่มีความละเอียดมากขึ้นแต่จะใช้เวลาในการวัดที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

5.3.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการทดสอบคุณสมบัติต่างของสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่กว้างพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงความถี่ที่กำหนดสามารถนำไปใช้งานได้โดยที่แต่ละช่วงความถี่จะมีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่ต่างกันสามารถที่จะนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานได้ตามความเหมาะสม



รูปที่ 5.21 สายอากาศที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปวิจารณ์ และแนวทางการพัฒนา

ทำการออกแบบการสร้าง และทดลองให้สายอากาศไมโครสตริปตัวนี้จะสร้างจากวัสดุฐานรองที่เป็นแบบอีพ็อกซี่ สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นจะเป็น สายอากาศไมโครสตริปที่สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ 2GHz ไปจนถึง 6GHz ซึ่งจะทำการครอบคลุมการใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งหมด โดยออกแบบลักษณะของ สายอากาศแบบแผ่น ที่มีรูปร่างของ ส่วนที่ใช้แพร่กระจายคลื่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ละส่วนที่ใช้แพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ต่างๆที่ต้องการมาประกอบเข้าด้วยกันและ จึงทำการขิมมูเลทโดยโปรแกรม CST ซึ่งได้แสดงทฤษฎี การออกแบบ การสร้าง การทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ โดยจะทำการทดสอบวัดค่ากำลังงานสูญเสีย การหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และการแพร่กระจายคลื่น และทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศจากที่ทดลองทางทฤษฎี ว่ามีความสอดคล้องหรือมีความแตกต่างกันอย่างไร

6.1 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

1. สามารถออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมโดยมีคุณสมบัติใช้งานในช่วง 2.4 GHz ถึง 6 GHz
2. สามารถนำสายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นไปทดสอบหาค่าคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศได้
3. สามารถนำคุณลักษณะของสายอากาศที่สร้างมาไปประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสม
4. เป็นแนวทางการศึกษาเพื่อพัฒนาสายอากาศให้มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น

6.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

6.2.1 ปัญหา

ในการจัดทำโครงการชุดนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนี้

1. ในการออกแบบให้สายอากาศให้สามารถใช้งานได้หลายความถี่ ทำได้ยาก
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเมื่อนำมาทดลอง และออกแบบสร้างผลที่ได้มีความแตกต่างกับทฤษฎีที่ใช้คำนวณอยู่บ้าง
3. การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในหลายย่านความถี่จะกำหนดทิศทางไปทางใดทางหนึ่งได้ยากเพราะที่ความถี่สูงขึ้นการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนแปลงโดยที่ความถี่สูงขึ้นทิศทางการแพร่กระจายคลื่น ที่ดีที่สุดแตกต่างไปจากการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่า
4. ในการวัด และทดสอบค่าการสูญเสียบางความถี่ยังมีการสูญเสียเยอะ
5. ในการวัดและทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไม่สามารถทำการทดลองสายอากาศโดยเฉพาะที่มีความถี่ใช้งานหลายย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เกิดคราบออกไซด์บนแผ่นแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป ทำให้มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

6.2.2 แนวทางแก้ไข

1. ในส่วนของการสร้างสายอากาศไมโครสตริป ต้องสร้างให้ได้ขนาดตามที่คำนวณให้มากที่สุด คือต้องออกแบบขนาดโดยใช้เครื่องมือที่สามารถกำหนด และวัดขนาดของแผ่นแพร่กระจายคลื่นที่มีความละเอียดสูง และให้เกิดค่าที่คลาดเคลื่อนจากการออกแบบที่น้อยที่สุด
2. การวัด และทดสอบถ้าจะให้ค่าต่าง ๆ มีความถูกต้องและสอดคล้องกันต้องสร้างสายอากาศให้มีขนาดที่ถูกต้อง และมีความละเอียดในการสร้างให้สูงมากขึ้น
3. นำเอาทิศทางที่ดีที่สุดไปประยุกต์ใช้งาน ในย่านความถี่ที่ต้องการ โดยดูจากผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่น
4. ในการวัด และทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ต้องใช้เครื่องมือ และชุดทดสอบมีความเที่ยงตรงและผิดพลาดน้อยที่สุด รวมทั้งห้องที่ทำการทดสอบ ต้องจัดตำแหน่งของสายอากาศเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้อง ไม่ให้เกิดการรบกวน
5. ใช้สายอากาศโคโพลที่ใช้งานย่านความถี่ 2.45 GHz และ สายอากาศใช้งาน 2.85 GHz ถึง 6.2 GHz ในการทดสอบการแพร่กระจายคลื่น
6. การขจัดคราบออกไซด์ทำได้โดยกรดทำความสะอาดแผ่นแพร่กระจายและทำการป้องกันการเกิดคราบออกไซด์

หนังสืออ้างอิง

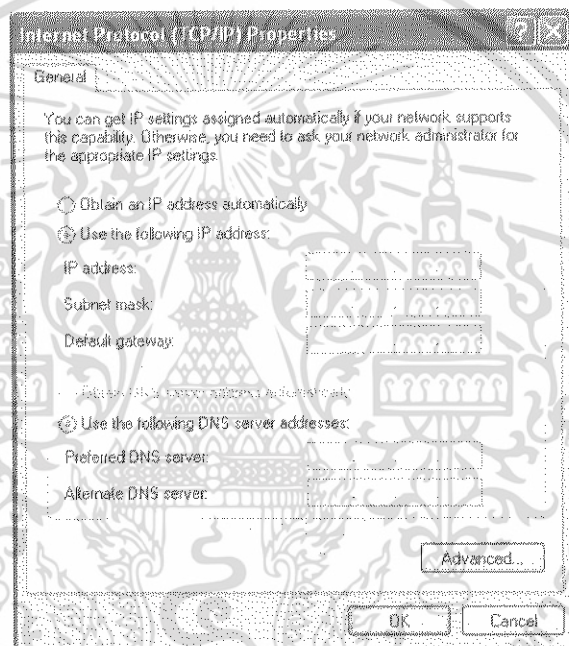
1. พิชัย ภักดีพานิชเจริญ “ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ”, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, พ.ศ.2536
2. โมไนย ไกรฤกษ์ “ทฤษฎีสายอากาศ”, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, พ.ศ.2541
3. บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์ “วิศวกรรมสายอากาศ”, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2536
4. A.W. Rudge W.Miline and A.D. Olver P.Wnight, “Handbook Of Antenna Design” ,Volume 1 Peregrinus LTD., London, UW, 1982
5. R. E. Collin, “Antenna and Radiowave Propagation” ,McGraw-Hill Book Company, New York, 1985
6. Kin - lu Wong “Planar Antennas for Wireless Communications”, John Wiley and Sons Inc, 2003
7. T. A. Milligan, M. Marietta Denver Aerospace, “Modern Antenna Design” ,McGraw-Hill, New York, 1985
8. C.A. Balanis, “ Antenna Theory Analysis and Design,” 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1997
9. E. A. Wolf, “Antenna Analysis” ,John Wiley and Sons Inc, 1966

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

วิธีการติดตั้งระบบ Wireless

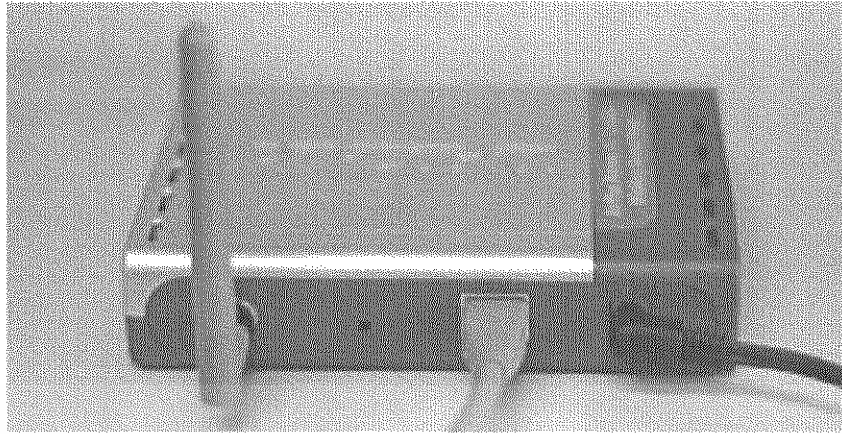
การ setup เพื่อการเชื่อมต่อเข้าระบบ Wireless ซึ่งระบบที่นำไปใช้ในการทดสอบใช้งาน เป็นการสร้างระบบของ Wireless ไร้ซึ่งต้องทำการ Setup IP address และ Subnet mask ทั้งเครื่องของตัวรับและตัวส่งซึ่งทั้งสองจะต้อง Setup IP address และ Subnet mask ที่เป็นค่าเดียวกับตัว Access Point (ซึ่งค่าทั่วไปของ Access Point ของ D-Link DWL-2100AP ที่ใช้ IP address คือ 192.168.0.50) IP address เมื่อใช้ค่าที่ Setup ใหม่ 161.246.18.50 Subnet mask :255.255.255.0 เพื่อจะทำให้คอมพิวเตอร์ทั้งตัวส่งและตัวรับสามารถเชื่อมต่อผ่านระบบ Wireless ได้



รูปที่ 1 การ Setup IP address และ Subnet mask

ซึ่งต่อไปจะเป็นการ setup เพื่อการเชื่อมต่อ ระหว่างอุปกรณ์ชิ้นต่างๆ โดยการใช้ Setup Wizard ของ D-Link DWL-2100AP เป็นอีกทางหนึ่งที่ไม่ต้องลง software ซึ่งจะเป็นการ setup ที่เครื่องตัวส่งที่ติดต่อกับตัว Access Point ด้วยสาย LAN สำหรับการ setup มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเสียบสาย Power เข้ากับตัว Wireless Access Point พร้อมทั้งเสียบสาย LAN เพื่อการเชื่อมต่อระหว่าง Wireless Access Point กับเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2 การติดตั้งตัว Wireless Access Point

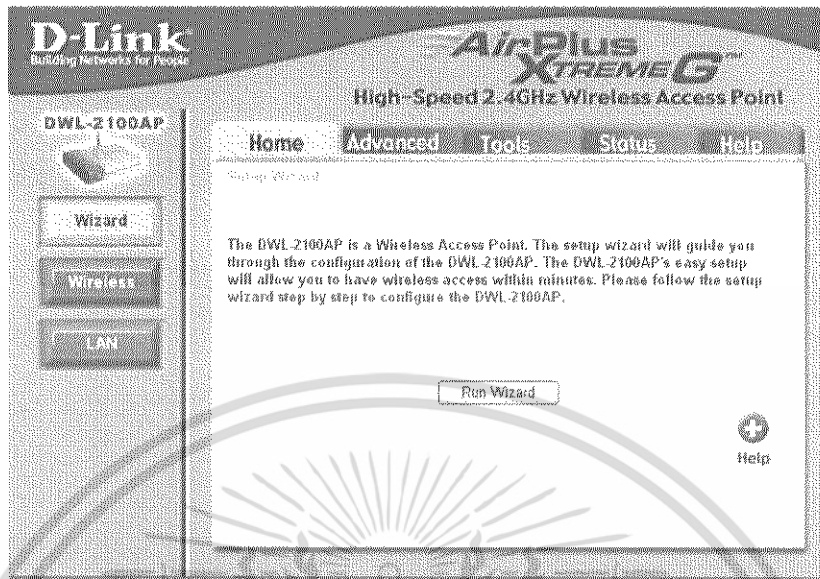
2. เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว จึงทำการตั้งค่าตัว Wireless Access Point ขั้นแรกให้เปิด Web Browser ขึ้นมา ไปที่ Microsoft Internet Explorer จากนั้นก็พิมพ์ 192.168.0.50 (IP Address ของ Wireless Access Point) ไปที่ช่อง Address ตามรูปแล้วก็กด Enter หลังจากนั้นก็จะจะมี Windows เล็กๆ โผล่ขึ้นมา ตาม User name และ password สำหรับ Wireless Access Point ของ D-Link ที่เพิ่งแกะกล่องออกมา จะตั้งค่า User name เป็น admin แต่ไม่มี password ที่นี่ก็ป้อน admin ไปในช่อง User name แล้วก็คลิกปุ่ม OK ถ้ามีการ set IP มาแล้วต้องทำการกด reset เข้าไปประมาณ 3 วินาทีสังเกตที่ไฟจะดับแล้วจะติดอีกครั้งแสดงว่าทำการ reset เรียบร้อยแล้ว แล้วเริ่มทำใหม่ตามข้อ 2 อีกครั้ง



รูปที่ 3 การตั้งค่าตัว Wireless Access Point

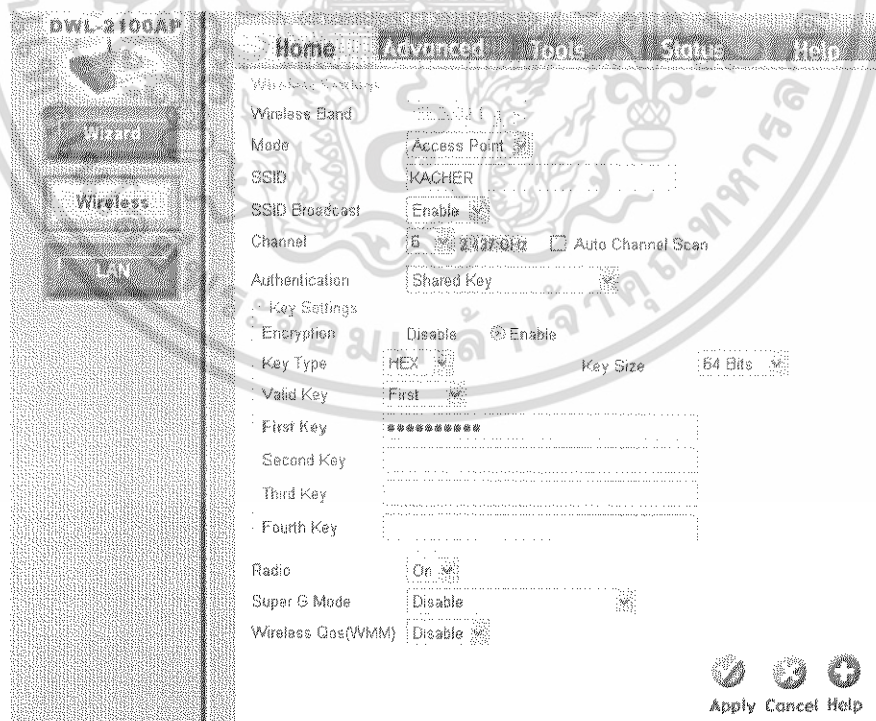
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เริ่มทำการ Setup ขั้นแรกให้คลิกที่ Setup Wireless



รูปที่.4 การ Setup Wireless ของ Wireless Access Point

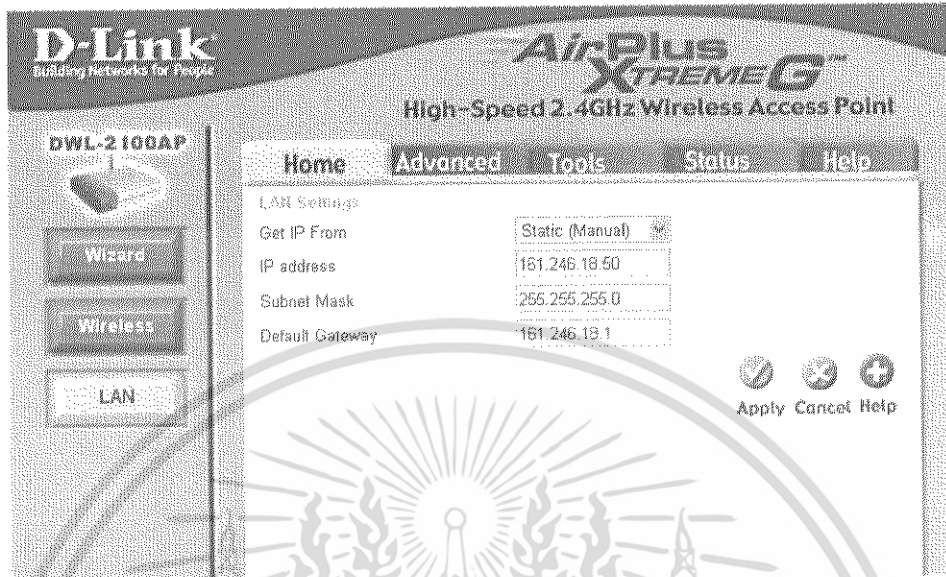
4. หน้าจอ Setup Wireless จะบอกว่า อย่างน้อยควรที่จะผ่าน 4 ขั้นตอนในการ Setup คือ เปลี่ยนการตั้งชื่อ SSID (ซึ่งจะเป็นชื่อของระบบ Wireless) และ Channel, Authentication (setup ตามรูปเพื่อป้องกันเครื่องอื่นเข้ามาใช้ในระบบเดียวกัน), ตั้งการเข้ารหัสข้อมูล, Password หลังจากนั้นก็ กด Apply



รูปที่.5 แสดงขั้นตอนในการ Setup ของ Wireless Access Point

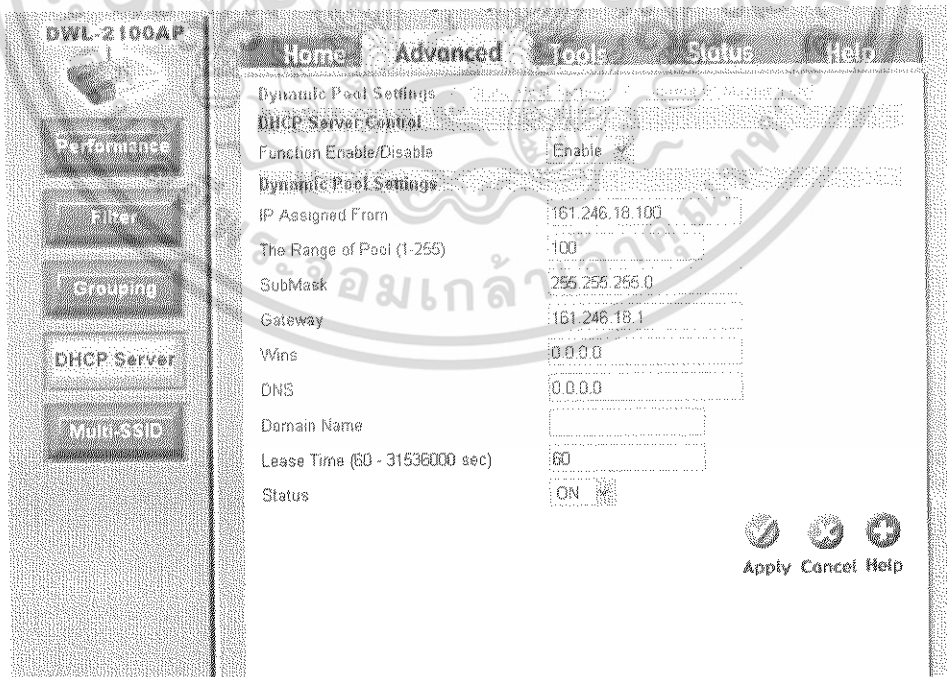
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หน้าจอ LAN จะเป็นการ Setup เพื่อเปลี่ยนค่าของ IP address และ Subnet mask ของ Wireless Access Point หลังจากนั้นก็ กด Apply



รูปที่.6 แสดงขั้นตอนในการ Setup LAN ของ Wireless Access Point

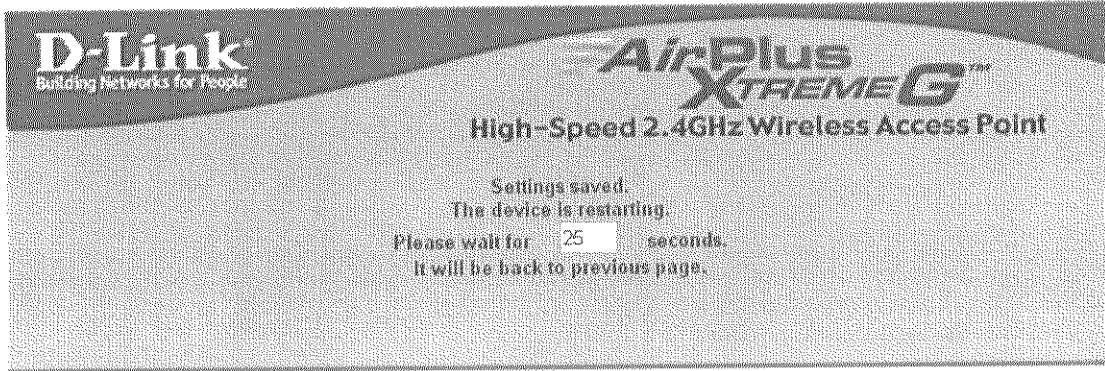
6. หน้าจอ DHCP จะเป็นส่วนที่ใช้ในการ Setup เพื่อให้ในการขอใช้งานระบบ Wireless ว่ามีจำนวนเครื่องในการใช้งานในระบบเท่าไร (ถ้าไม่มีระบบ Wireless ระบบอื่นอยู่ก็ไม่ต้อง Setup) เพื่อเป็นการป้องกันเครื่องอื่นเข้ามาในระบบ หลังจากนั้นก็ กด Apply



รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนในการ Setup DHCP ของ Wireless Access Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.กด Apply



รูปที่ .8 แสดงขั้นตอนในการ Setup ของ Wireless Access Point

8. การ setup ตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่อง Notebook เป็นตัวทดลองในการรับสัญญาณข้อมูล โดยต่อเข้ากับอุปกรณ์ Wireless LAN จากรูป 9 พบว่าทางมุมขวาล่างของหน้าจอจะเห็นรูปจอซ้อนกันสองจอ ซึ่งเป็น icon ของ Wireless LAN และของ LAN แบบมีสาย ซึ่งจะแสดง Wireless Network connection สามารถใช้งานได้แล้ว

โปรแกรม Chariot

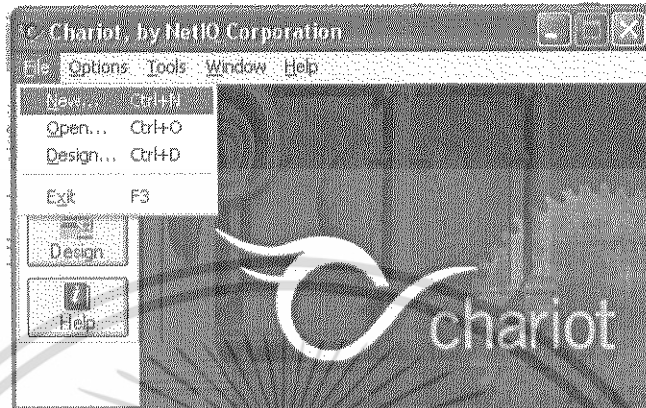
โปรแกรม Chariot เป็นโปรแกรมที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ ของระบบ wireless LANs โดยการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม Chariot จะใช้ ค่าช่องสัญญาณที่ส่งได้ (Throughput) เป็นตัวกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบ วิธีการทดสอบ จะทำการต่อสายอากาศที่จะทำการทดสอบเข้ากับ access point และใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาที่มีโปรแกรม Chariot เป็นตัวรับสัญญาณ โดยทดสอบ ในระยะทางที่มีระยะห่างที่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

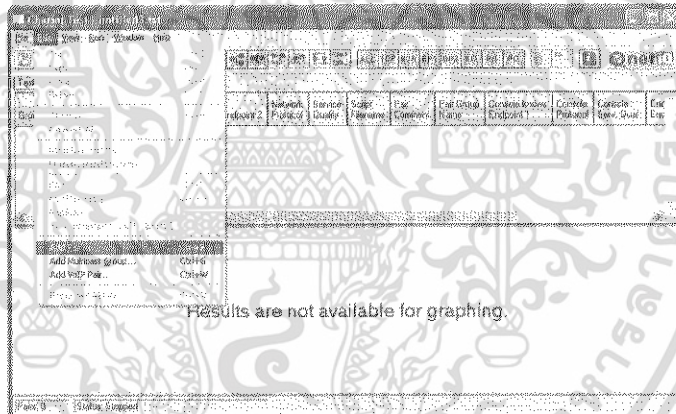
การกำหนดส่วนการทดสอบของโปรแกรม Chariot

1. เริ่มต้นใช้โปรแกรม

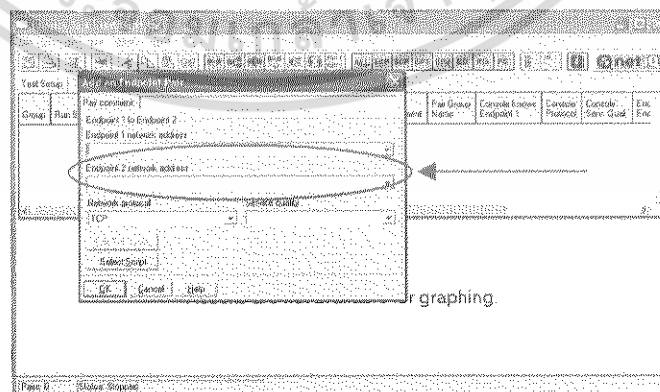


รูปที่ 1

2. ทำการกำหนดตัวรับตัวส่งโดย End point 1 เป็น IP address ตัวรับสัญญาณ และ End point 2 เป็น IP address ตัวส่ง



รูปที่ 2 (ก)

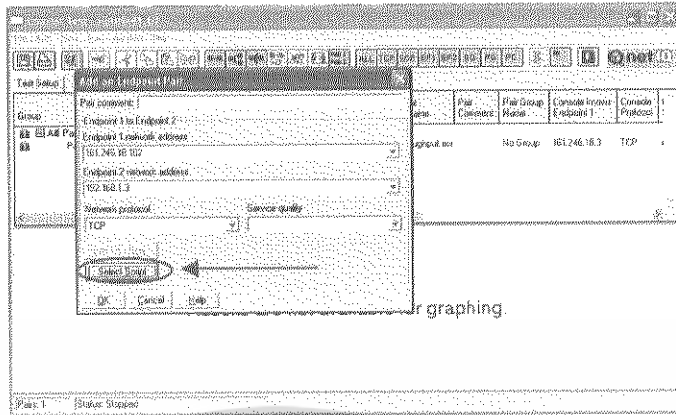


รูปที่ 2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

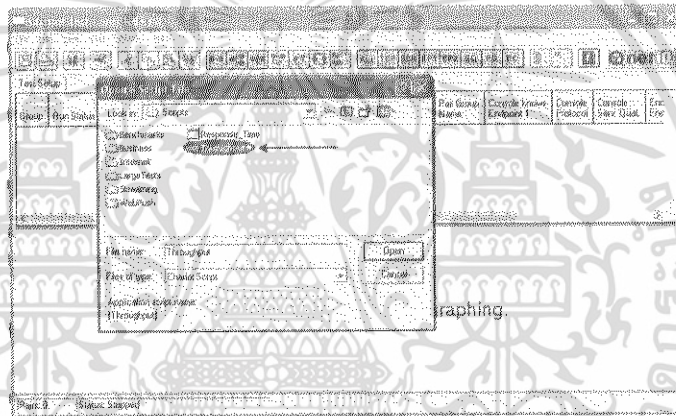
3. คลิกที่

Select Script



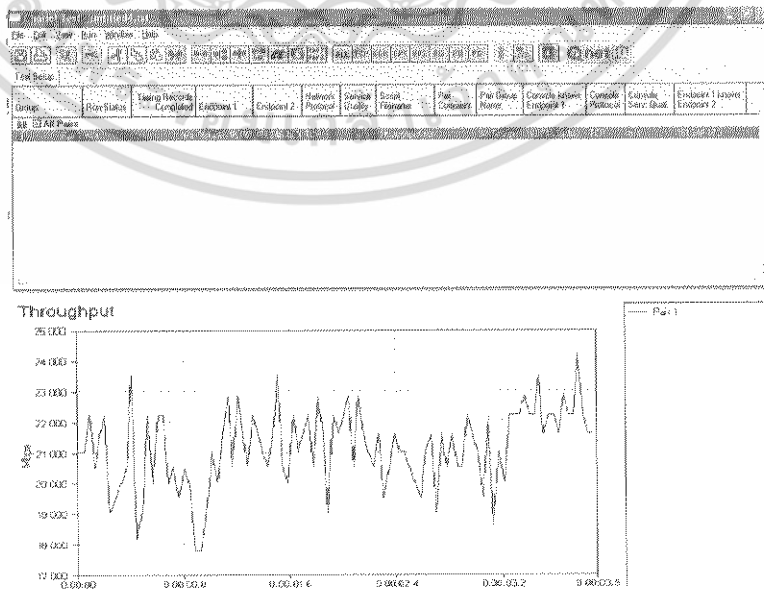
รูปที่ 3

4. เลือกคัมเบิลคลิกที่ Throughput และ OK



รูปที่ 4

5. จากนั้นเลือก ที่ RUN โปรแกรมก็จะทำการแสดงค่า Throughput ที่รับได้



รูปที่ 5 ผลการทดสอบ โปรแกรม Chariot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าช่องสัญญาณที่ส่งได้ (Throughput) และ ค่าที่ควรคำนึงถึงในการทดสอบ

1.1 ค่าช่องสัญญาณที่ส่งได้ (Throughput) หมายถึงการรับส่งข้อมูลจากปลายหนึ่งไปยังอีกปลายหนึ่งได้ด้วยอัตราเท่าไรในจำนวนบิตต่อวินาที ค่านี้มีได้หมายถึงค่าสูงสุดของช่องสัญญาณที่จะรับส่งได้ ค่า Throughput นี้อาจใช้ค่าที่ ผู้ให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider: ISP) รับประกันช่องสัญญาณน้อยที่สุด เช่น เราเช่าสายวงจรเช่าขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาที แต่มีการรับประกันว่าเราจะใช้ได้ไม่ต่ำกว่า 32 กิโลบิตต่อวินาที ค่า 32 จึงเป็นค่า Throughput แต่เมื่อใช้กับงานบริการเฉพาะบางอย่างจำเป็นต้องมีการประกันช่องสัญญาณเช่น การส่งสัญญาณเสียง สัญญาณวิดีโอ เป็นต้น

1.2 มาตรฐานของ wireless LAN IEEE 802.11

1.2.1 IEEE 802.11b

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz

1.2.2 IEEE 802.11a

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz

1.2.3 IEEE 802.11g

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11g ได้ให้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้

1.3 สภาวะแวดล้อมในการทดสอบ สภาวะแวดล้อมในการทดสอบควรทดสอบในที่โล่งไม่มีสิ่ง

กีดขวาง เช่น ต้นไม้ รถยนต์ และไม่ควรมีการรบกวนจากการใช้งานความถี่เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้