

ระบบวัดสายอากาศภายในอาคาร
INDOOR ANTENNA MEASUREMENT SYSTEM



โดย

นายชานทัต เอี่ยมทา รหัส 43015868
นายองอาจ สมสุข รหัส 43015898

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เลขหม.....
เลขทะเบียน... 46525
วัน, เดือน, ปี - 4 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์เชิงการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการสร้างโครงการนี้ทางผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนวทางในการดำเนินงานตลอดจนช่วยเหลือในเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานต่าง ๆ และดูแลผู้จัดทำเสมอมาจาก อ.พนารัตน์ ระวีวรรณ และ อ.มนต์ชัย แซ่มซ้อย จนกระทั่งสำเร็จเป็นโครงการที่ทีมงานผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบคุณท่านอาจารย์ที่ให้ความกรุณามา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนทางการเงินและ กำลังใจ แก่คณะผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ชานทัต เอี่ยมทา

องอาจ สมสุข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ	ระบบวัดสายอากาศภายในอาคาร		
โดย	นายธนาทัต	เอี่ยมทา	43015868
	นายองอาจ	สมสุข	43015898
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พนารัตน์	ระวีวรรณ	
	อาจารย์มนต์ชัย	เข้มช้อย	
ประจำปีการศึกษา	2545		

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทเนื่องจากมีข้อได้เปรียบในเรื่องของความยืดหยุ่นในการใช้งานทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำมาใช้จะเห็นได้จากมีความถี่ที่สูงขึ้นมีช่องสัญญาณมากขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้น เช่นในระบบ Wireless LAN ที่ต้องการความเร็วสูง แต่ในการใช้งานในอาคารนั้นจะทำให้เกิดการจางหายหลายวิธีขึ้นและยังส่งผลให้เกิดการรบกวนของสัญญาณขึ้น ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้นำเสนอระบบวัดสายอากาศภายในอาคารขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณภายในอาคารเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยโครงการนี้ได้นำเสนอระบบการวัดในแบบจำลองความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายสายอากาศไมโครสตริป ความถี่ 2.45 GHz ชุดสวิตช์สายอากาศ และชุดควบคุมการหมุนสายอากาศ ทำการเก็บค่าคุณสมบัติของสายอากาศ และเมื่อได้ค่าที่เก็บมาจากแบบจำลองแล้วจึงได้นำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องประมวลผลแบบดิจิทัล (DSP) มาทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

Thesis Title	Indoor Antenna Measurement System	
Name	Mr.Tantat	Eiamtha
	Mr.Ong-art	Somsuk
Major Field	Information Engineering	
Thesis Advisor	Miss.Panarat	Rawiwat
	Mr.Monchai	Chamchoy
Academic	2002	

ABSTRACT

Microwave Communication plays an important part now a days because of its advantage with wireless to develop in high technology such as wireless LAN to agree with high speed data rate. However in the indoor environment, the multi path fading is always occurred and leads to Inter Symbol Interference (ISI) Therefore, this project presents the Indoor Antenna Measurement System to be the tool for analyzing property of indoor channels. This project propose the indoor antenna measurement system by using network analyzer. Moreover, this system consists of the 2.45 GHz microstrip antenna, the antenna switch, and controller rotating the antenna. After the antenna characteristics are collected, these data are analyzed by the digital signal processor (DSP) for solving the above problem

สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	V
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการสายอากาศไมโครสตริป	2
2.1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	2
2.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป	3
2.3 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป	4
2.4 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป	6
2.5 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ	7
2.6 อาร์เรย์	26
2.6.1 บรอดไซด์อาร์เรย์ (Broadside Array)	27
2.6.2 เอนไฟต์อาร์เรย์ (End - fire Array)	28
2.7 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป	28
2.7.1 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป	28
2.7.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed)	30
2.8 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ	30
2.8.1 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)	31
2.8.1.1 โลบของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น	31
2.8.2 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์	33
2.8.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	33
2.8.4 ไคเรคติวิตี	34
2.8.5 อัตราขยาย (Gain)	35
2.8.6 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	38
2.8.7 อินพุทอิมพีแดนซ์	39
2.8.8 แบนด์วิดท์	41

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้าที่
บทที่ 3 การออกแบบวงจร	42
3.1 การคำนวณขนาดของสายอากาศไมโครสตริปลความถี่ 2.45 GHz	42
3.2 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม LEDIT	45
3.3 การทำแผ่นวงจรพิมพ์	46
3.4 ชุดควบคุมการหมุนของสายอากาศ	46
บทที่ 4 การวัดสัญญาณและการทดสอบ	48
4.1 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปลองค์ประกอบเดียว	48
4.2 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปลทั้งระบบ	50
บทที่ 5 บทสรุป	53
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นปะ	4
รูปที่ 2.3 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ travelling - wave	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบร่อง	6
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	7
รูปที่ 2.6 แบบการวิเคราะห์สายอากาศในระบบพิกัดฉาก	11
รูปที่ 2.7 แบบรูปของสนามไฟฟ้า 1 ช่องเปิดในระนาบ E - Plane	20
รูปที่ 2.8 แบบรูปของสนามไฟฟ้า 1 ช่องเปิดในระนาบ H - Plane	21
รูปที่ 2.9 แบบรูปของสนามแม่เหล็ก 1 ช่องเปิดในระนาบ E - Plane	22
รูปที่ 2.10 แบบรูปของสนามแม่เหล็ก 1 ช่องเปิดในระนาบ H - Plane	23
รูปที่ 2.11 แบบรูปสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป 1 เlemenต์	25
รูปที่ 2.12 แบบรูปสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป 1 เlemenต์	25
รูปที่ 2.13 แบบรูปการเปลี่ยนระยะห่าง (I) ของสายอากาศ	26
รูปที่ 2.14 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป	29
รูปที่ 2.15 รูปแบบการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล	30
รูปที่ 2.16 ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	31
รูปที่ 2.17 แพทเทอรันในแบบลิเนียร์	32
รูปที่ 2.18 โลบต่างๆ และบีมิวิตซ์ของแพทเทอรันสายอากาศ	33
รูปที่ 2.19 ขั้วอ้างอิงและการสูญเสียของสายอากาศ	37
รูปที่ 2.20 แสดงสายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์	39
รูปที่ 3.1 สายอากาศที่ออกแบบ	45
รูปที่ 3.2 วงจรขับสแต็บมอเตอร์	46
รูปที่ 3.3 วงจรอินเตอร์เฟส	47
รูปที่ 4.1 สายอากาศไมโครสตริป 1 องค์ประกอบ	48
รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น HP 8510	48
รูปที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปองค์ประกอบเดียว	49
รูปที่ 4.4 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
รูปที่ 4.5 สายอากาศทางด้านส่ง	50
รูปที่ 4.6 สายอากาศทางด้านรับ	50
รูปที่ 4.7 การต่อสวิตช์	51
รูปที่ 4.8 การวัดการแพร่กระจายคลื่น	51
รูปที่ 4.9 การวัดช่องสัญญาณ	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สายอากาศแผ่นไมโครสตริปได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในระยะสิบปีหลังนี้ เพราะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางไฟฟ้าที่ดีหลายๆ อย่าง เช่น เป็นแผ่นแบนเรียบ น้ำหนักเบา ราคาถูก ง่ายต่อการแก้ไข และนอกจากนี้ยังสามารถตัดแปลงโพลาริซั้ได้ง่ายซึ่ง สายอากาศแผ่นไมโครสตริปที่ใช้กันทุกๆ ไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งนี้ เนื่องจากขั้นตอนในการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศสามารถทำได้ง่ายกว่า แผ่นสายอากาศรูปแบบอื่น และโดยปกติคุณสมบัติการกระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีลักษณะโพลาริซั้แบบเชิงเส้น แต่ในบางครั้งเราต้องการโพลาริซั้แบบวงกลม ซึ่งสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณให้ต่างเฟสกัน 90 องศา ป้อนสัญญาณตรงขอบมุมของแผ่นสายอากาศ และหรือทำร่องตรงกลางแผ่นสายอากาศ

ไมโครสตริปเป็นสายนำสัญญาณที่สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ และใช้ในการเชื่อมโยงชิ้นส่วนวงจรต่างๆ ของวงจรไมโครเวฟ เนื่องจากไมโครสตริปมีขนาดเล็ก จึงเหมาะสำหรับทำวงจรรวมของไมโครเวฟ (microwave integrated circuit ย่อว่า MIC) แต่ก็มีข้อจำกัดที่สามารถรับกำลังได้ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับนำคลื่น นอกจากนี้ยังมีค่าการลดทอนสัญญาณค่อนข้างสูงด้วย ดังนั้น จึงใช้ในการส่งผ่านและจัดการกับสัญญาณที่มีระดับต่ำและในบริเวณจำกัด เช่น ภายในแผ่นวงจรพิมพ์อันเดียวกัน เป็นต้น เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปแสดงตัวเหมือนกับสายส่ง (Transmission Line) แทนที่จะเป็นตัวแพร่กระจายคลื่นจึงพิจารณาได้ว่าเป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ และมีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) แคบมาก ดังนั้นในการใช้งานจริงทั่วไปแล้ว นิยมสร้างเป็นอาร์เรย์เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) ที่สร้างขึ้นมาทั้งแบบเอเลเมนต์เดี่ยว (Single Element) และแบบอาร์เรย์ (Array) เพื่อทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของรูปแบบการกระจายคลื่น (Radiation Pattern) อัตราขยาย (Gain), VSWR, ลักษณะการโพลาริซั้ (Polarizations), อัตราส่วนของแกน (Axial Ratio) ในสายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์

บทที่ 2

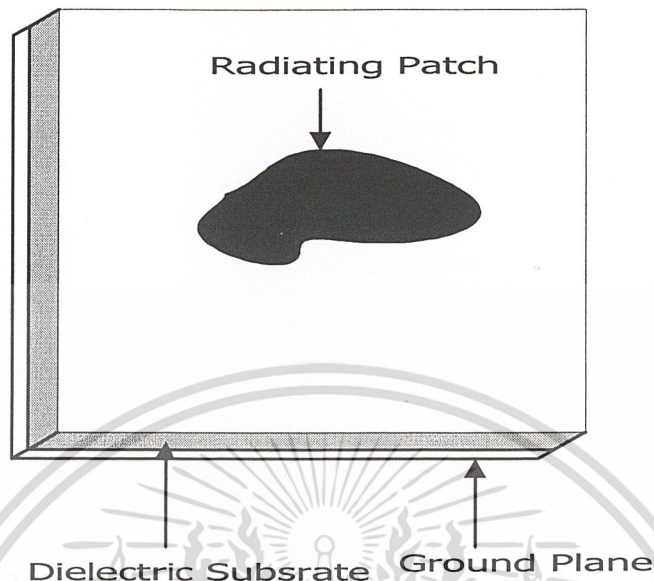
ทฤษฎีและหลักการสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป

แนวความคิดในการใช้ไมโครสตริปซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ในการแพร่กระจายคลื่น ได้ถูกนำเสนอครั้งแรก โดย Deschamps ค.ศ. 1953 และหลังจากนั้น 20 ปี จึงมีการสร้างสายอากาศใช้งานจริง โดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎี และเทคนิค photo - etch ของฐานรองที่เป็น copper หรือ gold - clad และมีคุณสมบัติทางอุณหภูมิต่ำและทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้นมีค่า loss tangent ที่ต่ำ สายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย Howell , Munson จากนั้นก็มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวางนำไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน

2.1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วย แผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่ โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งจะมีรูปร่างต่างๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) , รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) , วงกลม (Circle) , วงรี (Elliptical) ฯลฯ เรียกว่า ตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiation Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างมาก เรียกว่า แผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบตัวแพร่กระจายคลื่นให้มีขนาดตามความต้องการ แผ่นกราวด์ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มีขนาดจนถึงอนันต์ได้ ดังนั้น ในการออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัดของแผ่นกราวด์ว่าควรมีขนาดเท่าไร เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่น ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

2.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป จะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านไมโครเวฟแบบอื่นๆ โดยสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 เมกะเฮิร์ต ถึง 50 จิกะเฮิร์ต

2.2.1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- น้ำหนักเบา (lightweight) , ขนาดเล็ก (low volume)
- ทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้ เพราะไม่มีผลทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics)
- พื้นที่หน้าตัดน้อย (low profile)
- สามารถผลิตได้ง่าย และราคาถูก (low fabrication cost)
- มีความสะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ เช่น จรวด , ดาวเทียม เป็นต้น
- มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม

2.2.2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- มีช่วงความถี่ที่รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (narrow bandwidth)
- มีอัตราการสูญเสีย (loss)
- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดประมาณ 20 db
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ

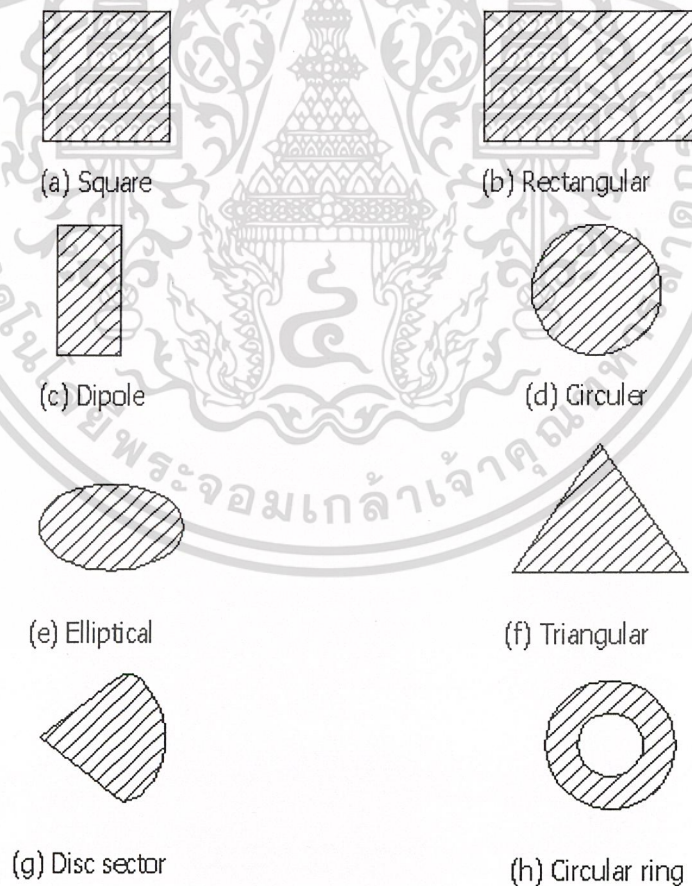
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศย่านไมโครเวฟทั่วไป ที่เห็นได้ชัด คือ รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ 1. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบแพทช์ (patch) 2. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบสล็อต (slot) 3. สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบคลื่นเคลื่อนที่ (travelling - wave) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ

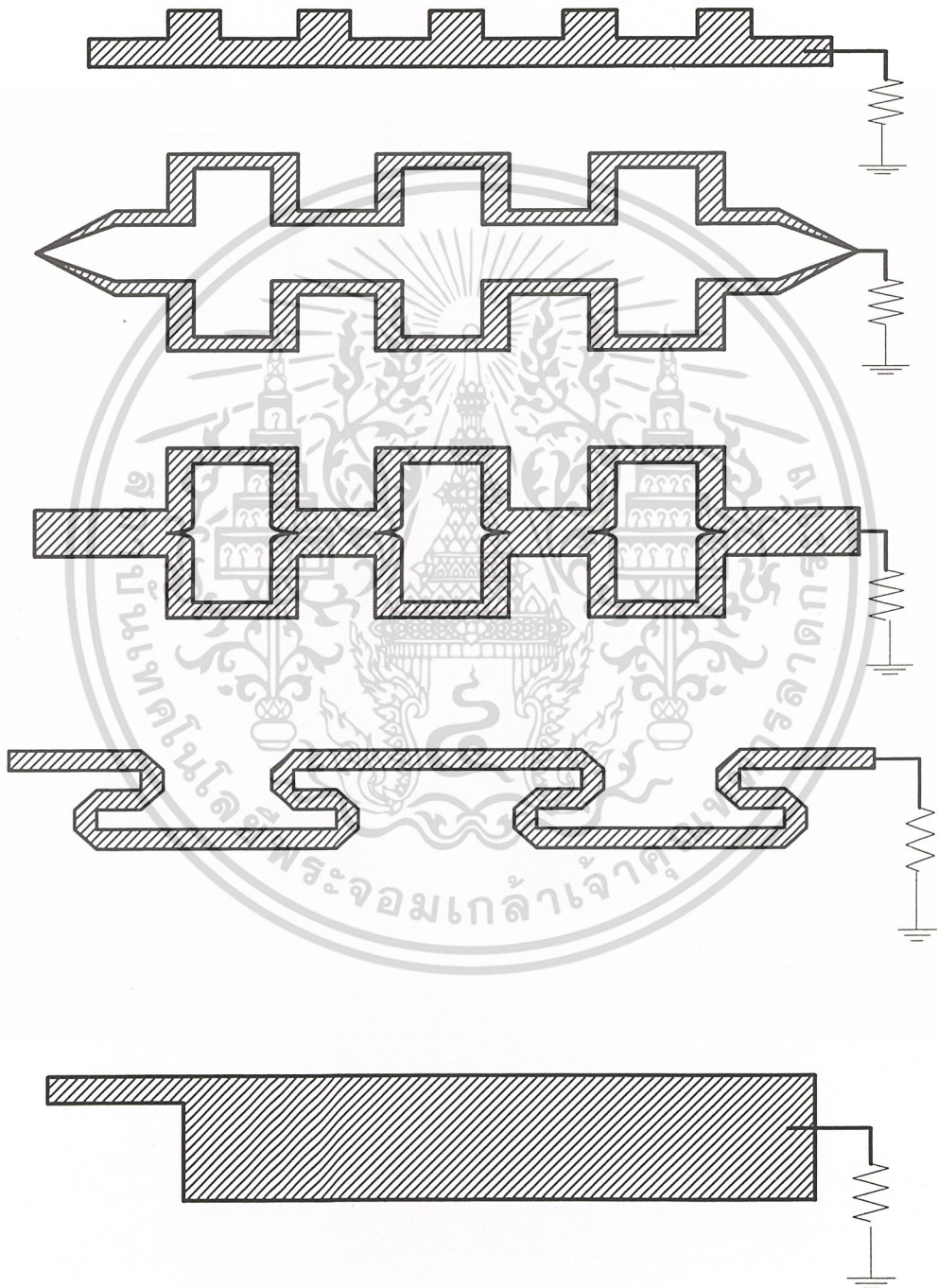
2.3.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นปะ (Microstrip Patch Antenna) ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปร่างทางเรขาคณิตอยู่บนแผ่นไดอิเล็กตริก อีกด้านหนึ่งของไดอิเล็กตริกจะเป็นพื้นกราวด์ แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งหาได้จากการคำนวณรูปร่างลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นปะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

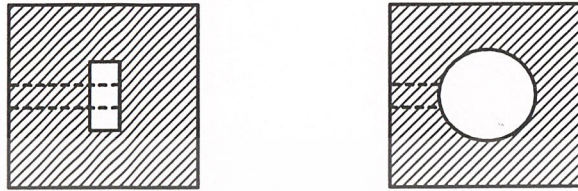
2.3.2 สายอากาศไมโครสตริปแบบคลื่นเคลื่อนที่ (MTA) ประกอบด้วยตัวนำลักษณะเป็นคาบหรือมีความยาวตามเส้น TEM จะต่อกับความต้านทานที่เป็นภาระ โดยมีรูปร่างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ travelling – wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบสลีต ประกอบด้วยช่องซึ่งตรงกับเส้นไมโครสตริป ช่องนี้จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กว้างหรือแคบก็ได้) , วงกลม หรือวงแหวน ดังรูปที่ 2.4



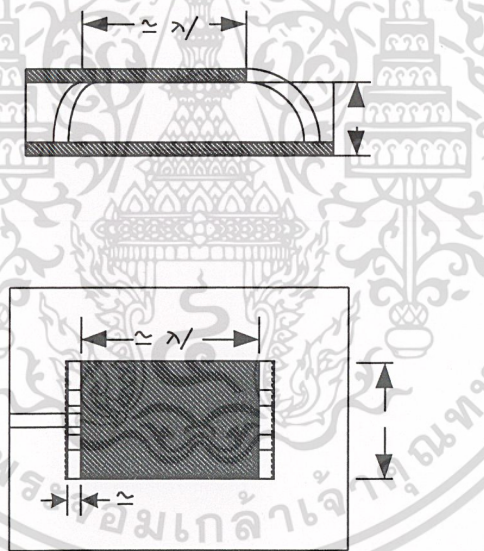
รูปที่ 2.4 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบร่อง

2.4 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป

การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปเกิดจากสนามโป่งที่เกิดขึ้นระหว่างขอบของตัวนำของสายอากาศไมโครสตริปกับพื้นกราวด์ การแพร่กระจายคลื่นอย่างไม่ต่อเนื่องของสายอากาศไมโครสตริปถูกทดสอบโดย Levin การวิเคราะห์ของเขาจะพิจารณากระแสที่ไหลในตัวนำ วิธีนี้จะใช้คำนวณหาค่า Q ของความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนอง ถ้าพิจารณาสนามในรูปแบบของช่องเปิด (aperture form) โดยเปิดให้สายอากาศไมโครสตริปแยกจากพื้นกราวด์ ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า Q ทั้งหมด ค่า Q นี้จะเป็นฟังก์ชันที่เกิดจากความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองค่าความเป็นฉนวนและความหนาของฐานรอง ผลลัพธ์ทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติจะแสดงว่าที่ความถี่สูง การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น จะมีค่ามากกว่าการสูญเสียเนื่องจากตัวนำ และค่าความเป็นฉนวน

2.5 สนามที่แพร่กระจายของสายอากาศ

การแพร่กระจายสนามของสายอากาศจะเกิดขึ้นที่สนามรอบนอกระหว่างขอบของแผ่นตัวนำของสายอากาศและแผ่นกราวด์เพลน (Ground Plane) ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปจะมีลักษณะโครงสร้างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศจะมีขนาดขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะใช้ งานที่จะออกแบบให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ แผ่นกราวด์เพลนที่ใช้เป็นลักษณะเป็นแผ่นทองแดง กว้างทั้งแผ่น ในส่วนของตัวนำจะมองขอบของตัวนำโดยจะมองเหมือนสายอากาศปากเปิด (Aperture Antenna) ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมหนึ่งองค์ประกอบ จะมีสายอากาศปากเปิดสองช่องเปิด ซึ่งทั้งสองช่องเปิดนี้จะถูกแยกออกจากกันโดยความยาวของตัวสายอากาศซึ่งจะมีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($\lambda/2$) ของแผ่นไดอิเล็กทริก ซึ่งทั้งสองช่องเปิดจะวางตัวเป็นแบบแนวตั้งกัน



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

การหาสนามรวมของสายอากาศไมโครสตริปหนึ่งองค์ประกอบนั้นจะหาได้จากการนำเอาสนามของปากเปิดหนึ่งตัวคูณกับแฟคเตอร์ค่าหนึ่งเรียกว่า อาร์เรย์แฟคเตอร์ (Array Factor) เพราะฉะนั้นเราสามารถหาสนามรวมของสายอากาศไมโครสตริปหนึ่งเอเลเมนต์ได้จาก

$$E(\text{รวม}) = [E(\text{ปากเปิดหนึ่งตัวที่จุดอ้างอิง})] \times [\text{อาร์เรย์แฟคเตอร์}] \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอาร์เรย์แฟคเตอร์สามารถหาได้จาก

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\varphi} \quad (2.2)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนเอเลเมนต์ของสายอากาศที่จะนำมาอาร์เรย์กัน

$$\varphi = kl \cos \gamma + \beta$$

β คือ ความต่างเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศ ในที่นี้เราจะให้เฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศเป็นเฟสเดียวกัน หรือ $\beta = 0$

สายอากาศแบบช่องเปิดสองตัววางตัวอาร์เรย์กันในแนวแกน Y ดังนั้น

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \mathbf{a}_y \cdot \mathbf{a}_r = a_y (a_x \sin \theta \cos \phi + a_y \sin \phi \cos \theta) \\ &= \sin \theta \cos \phi \end{aligned} \quad (2.3)$$

แทนสมการที่ (2.3) ลงในสมการที่ (2.2) จะได้

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)kl \sin \theta \sin \phi + \beta} \quad (2.4)$$

เมื่อ N คือ จำนวนสายอากาศปากเปิด = 2

สำหรับการคำนวณหาค่า E ของสายอากาศปากเปิดในสมการที่ (2.1) จะใช้ฟังก์ชันช่วย (Auxiliary Function) ที่เรียกว่า สักดาเวกเตอร์ (Vector Potential) มาช่วยในการแก้ปัญหา โดยสักดาเวกเตอร์ที่ใช้กันมากได้แก่ สักดาเวกเตอร์แม่เหล็ก (Magnetic Vector Potential) และสักดาเวกเตอร์ไฟฟ้า (Electric Vector Potential) F สำหรับการคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้า E และความเข้มสนามแม่เหล็ก H มักจะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ จะหาฟังก์ชันช่วยจากความหนาแน่นกระแสต้นกำเนิด (Source Current Density) ก่อนซึ่งจะเป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า J และความหนาแน่นกระแสแม่เหล็ก M จากนั้นจะคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้า E และความเข้มสนามแม่เหล็ก H ตามลำดับ

สนามไฟฟ้าในแนวแกน Y ที่ช่องเปิด สามารถสมมติให้เป็นค่าคงที่และมีค่าเท่ากับ

$$Ea = a_y Eo \begin{cases} -h/2 \leq x' \leq h/2 \\ -w/2 \leq y' \leq w/2 \end{cases} \quad (2.5)$$

โดยใช้หลักการสนามสมมูลย์ซึ่งจะคำนวณหาความหนาแน่นกระแสแม่เหล็กเชิงผิว (M_s) และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเชิงผิว (J_s) อันเป็นแหล่งจ่ายสมมูลย์ซึ่งเป็นต้นกำเนิดสนามออกมา ดังนี้

$$M_s = -2n \times Ea = -2a_z \times a_y Eo = 2Eoa_x = a_y Eo \begin{cases} -h/2 \leq x' \leq h/2 \\ -w/2 \leq y' \leq w/2 \end{cases} \quad (2.6)$$

และ

$$J_s = 0 \quad \text{สำหรับบริเวณอื่นๆ} \quad (2.7)$$

เมื่อเราทราบต้นกำเนิดของสนามไฟฟ้า (J) และสนามแม่เหล็ก (M) แล้วโดยอาศัยศักดาเวกเตอร์ไฟฟ้า (F) และศักดาเวกเตอร์แม่เหล็ก (A) สามารถที่จะนำมาคำนวณหาสนามแม่เหล็ก (H) และสนามไฟฟ้า (E) ในบริเวณระยะไกล (Far - Field) อันเป็นรูปแบบในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปได้ดังนี้

1. กำหนดแหล่งกำเนิดกระแสแม่เหล็ก M และกระแสไฟฟ้า J
2. หา F เนื่องจาก M_s เมื่อ $J_s = 0$ โดยใช้

$$F = \frac{\epsilon}{4\pi} \iint_s Ms \frac{e^{-jkR}}{R} ds' \quad (2.8)$$

ในการออกแบบจะพิจารณาในบริเวณระยะไกล (Far - Field) สามารถประมาณค่า R ได้ดังนี้

$$R \cong r - r' \cos \varphi \quad (2.9)$$

$$R \cong r \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

r คือ ระยะห่างจากจุดโคออดิเนต (Coordinate) ไปยังจุดที่สังเกต

r' คือ ระยะห่างจากจุดโคออดิเนตไปยังจุดใดๆ บนพื้นที่

φ คือ มุมระหว่างเวกเตอร์ r และ r'

เมื่อแทนค่าสมการที่ (2.9) และสมการที่ (2.10) ลงในสมการที่ (2.8) สามารถหาศักดาเวกเตอร์ไฟฟ้าได้ดังนี้

$$F = \frac{\epsilon}{4\pi} \iint_s Ms \frac{e^{-jk(r-r'\cos\varphi)}}{r} ds' \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.11) และสามารถแยกพจน์ได้เป็น

$$F = \frac{\epsilon}{4\pi} \iint_s Ms e^{-jkr} \cdot e^{-jkr'\cos\varphi} ds' \quad (2.12)$$

เมื่อพิจารณาเทอม e^{jkr} ให้เป็นค่าคงที่ที่สามารถดึงมาไว้หน้าเทอมอินทิเกรต จะได้

$$F = \frac{\epsilon e^{-jkr}}{4\pi} L \quad (2.13)$$

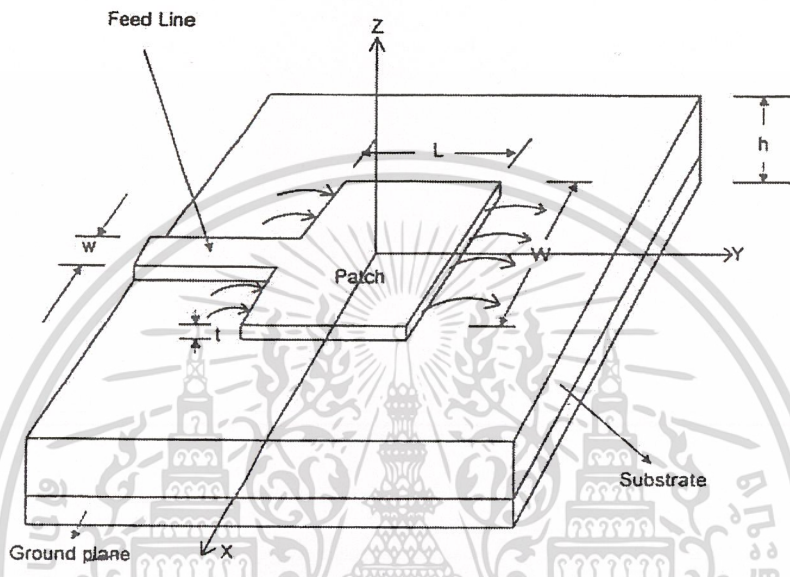
หรือ

$$F = \frac{\epsilon}{4\pi} \iint_s Ms e^{-jkr} \cdot e^{-jkr'\cos\varphi} ds' \quad (2.14)$$

เมื่อ

$$L = \iint_s Ms \cdot e^{-jkr'\cos\varphi} ds' \quad (2.15)$$

ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศโดยทั่วไป จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางตัวของสายอากาศที่วางตัวอยู่ในแต่ละระนาบ ซึ่งในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปจะพิจารณาให้สายอากาศวางตัวในระนาบ $x - y$ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบการวิเคราะห์สายอากาศในระบบพิกัดฉาก

จากการวิเคราะห์สายอากาศในระบบพิกัดฉาก ดังนั้น ในการหาระยะทางจากจุดใดๆ บนแหล่งจ่ายไปยังจุดที่สังเกตสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} r' \cos\phi &= r' \cdot a_y = (a_x x' + a_y y') \cdot (a_x \sin\theta \cos\phi + a_y \sin\theta \sin\phi + a_z \cos\theta) \\ &= x' \sin\theta \cos\phi + y' \sin\theta \sin\phi \end{aligned} \quad (2.16)$$

ในระบบพิกัดฉากในการหาอนุพันธ์ของพื้นที่ (Differential Area) ที่ใช้ในการวิเคราะห์สายอากาศสามารถหาได้จาก

$$ds' = dx' dy' \quad (2.17)$$

เมื่อนำค่าในสมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17) แทนค่าลงในสมการที่ (2.15) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
L &= \iint_s Ms \cdot e^{-jkr' \cos \phi} ds' \\
&= \iint_s (2Eoa_x) \left(e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi)} dx' dy' a_\theta \right) \\
&= 2Eo \iint_s (a_x \cdot a_x) e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi)} dx' dy' \quad (2.18)
\end{aligned}$$

การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะพิจารณาในระบบพิกัดทรงกลม ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนรูปแบบในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ จากระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดทรงกลม โดยรูปแบบในการเปลี่ยนจากระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดทรงกลม (The Rectangular to Spherical Transformation Matrix) [Balanis , 1982] ดังแสดงในสมการที่ (2.15)

$$\begin{bmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta \cos \phi & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta \\ \cos \theta \cos \phi & \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

จากรูปแบบในการเปลี่ยนระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดทรงกลม เมื่อทำการคูณเมตริกจะได้

$$a_r = a_x \sin \theta \cos \phi + a_y \sin \theta \sin \phi + a_z \cos \theta \quad (2.20)$$

$$a_\theta = a_x \cos \theta \cos \phi + a_y \cos \theta \sin \phi - a_z \sin \theta \quad (2.21)$$

$$a_\phi = a_x \sin \phi + a_y \cos \phi \quad (2.22)$$

เมื่อพิจารณา F จะพบว่า มีแต่เฉพาะทิศทาง a_x เท่านั้น เมื่อทำการ dot product ในทิศทางต่างๆ จะได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned}
a_x \cdot a_\theta &= a_x \cdot (a_x \cos \theta \cos \phi + a_y \cos \theta \sin \phi - a_z \sin \theta) \\
&= \cos \theta \cos \phi \quad (2.23)
\end{aligned}$$

$$a_x \cdot a_\phi = a_x \cdot (a_x \sin \phi + a_y \cos \phi)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= -\sin\phi \quad (2.24)$$

$$a_r = 0 \quad (2.25)$$

แทนค่าสมการที่ (2.23) และแทนค่าขอบเขตของ x' และ y' แทนค่าลงในสมการที่ (2.18) จะได้ L ในทิศทาง a_θ

$$L_\theta = 2E_0 \cos\theta \cos\phi \int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jk(x' \sin\theta \cos\phi + y' \sin\theta \sin\phi)} dx' dy' \quad (2.26)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.26) ซึ่งเทอมอินทิเกรตสามารถที่จะแยกการอินทิเกรตโดยใช้หลักการการอินทิเกรตตั้งสมการที่ (2.27)

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{j\alpha z} dz = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{\sin \frac{\alpha}{2} c}{\frac{\alpha}{2}} \right] \quad (2.27)$$

เมื่อใช้หลักการอินทิเกรตตั้งสมการที่ (2.27) ซึ่งสามารถแยกพิจารณาการอินทิเกรตโดยพิจารณาแยกการอินทิเกรตของแต่ละเทอมได้ดังนี้

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jk \sin\theta \cos\phi x'} dx' \quad (2.28)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.28) ซึ่งแยกเทอมการอินทิเกรตมาจากสมการที่ (2.26) เปรียบเทียบกับสมการที่ (2.27) จะพบว่า

$$\alpha = k \sin\theta \cos\phi \quad (2.29)$$

แทนสมการที่ (2.29) ในสมการที่ (2.27) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jk \sin \theta \cos \phi} dx' = h \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi\right)}{\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi} \right] \quad (2.30)$$

และเทอมอินทิเกรต

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jky' \sin \theta \sin \phi} dy' \quad (2.31)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.31) เปรียบเทียบกับสมการที่ (2.27) จะพบว่า

$$\alpha = k \sin \theta \sin \phi \quad (2.32)$$

แทนสมการที่ (2.32) ในสมการที่ (2.27) จะได้

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jky' \sin \theta \sin \phi} dy' = w \left[\frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi\right)}{\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi} \right] \quad (2.33)$$

ผลที่ได้จากการอินทิเกรตในแต่ละเทอมในสมการที่ (2.30) และสมการที่ (2.33) แทนค่าลงในสมการที่ (2.26) จะได้

$$L_{\theta} = 2whE_0 \cos \theta \cos \phi \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi\right)}{\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi} \right] \left[\frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi\right)}{\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi} \right] \quad (2.34)$$

หรือสมการที่ (2.34) สามารถเขียนใหม่ให้อยู่ใน $f(x) = \frac{\sin(x)}{x}$ ได้เป็น

$$L_\theta = 2whEo \cos \theta \cos \phi \left[\begin{array}{c|c} \frac{\sin X}{X} & \frac{\sin X}{Y} \\ \hline X & Y \end{array} \right] \quad (2.35)$$

เมื่อ

$$X = \frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi \quad (2.36)$$

$$X = \frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi \quad (2.37)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณา L ในทิศทาง a_ϕ จะได้ว่า

$$L_\phi = \iint_s (2Eo.a) e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi)} dx' dy' \cdot a_\phi \quad (2.38)$$

จากการเปลี่ยนระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดทรงกลม และพิจารณาในทิศทาง a_ϕ เมื่อทำการ dot product ในทิศทาง a_x และ a_ϕ จะได้ดังสมการที่ (2.20) และแทนค่าขอบเขตของ x' และ y' แทนค่าลงในสมการที่ (2.38)

$$L_\theta = -2whEo \cdot \sin \phi \int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi)} \quad (2.39)$$

พิจารณาการอินทิเกรต สามารถแยกการพิจารณาเทอมอินทิเกรต โดยพิจารณาแยกแต่ละเทอม ดังสมการที่ (2.27) โดยผลของการอินทิเกรตเทอมแรกจะได้

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} e^{jkx' \sin \theta \cos \phi} dx' = h \left[\frac{\sin \left(\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi \right)}{\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi} \right] \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลของการอินทิเกรตเทอมหลังจะได้

$$\int_{\frac{-w}{2}}^{\frac{w}{2}} e^{jky' \sin \theta \sin \phi} dy' = w \left[\frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi\right)}{\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi} \right] \quad (2.41)$$

ผลที่ได้จากการแยกอินทิเกรตในแต่ละเทอมในสมการที่ (2.40) และสมการที่ (2.41) เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.39) จะได้ค่า L ในทิศทาง $a\phi$

$$L_\theta = -2whEo \cos \theta \cos \phi \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi\right)}{\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi} \middle| \frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi\right)}{\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi} \right] \quad (2.42)$$

หรือสมการที่ (2.42) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$L_\theta = -2whEo.w.h \sin \phi \left[\frac{\sin \frac{X}{X}}{X} \middle| \frac{\sin X}{Y} \right] \quad (2.43)$$

จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน L กับศักดาเวกเตอร์ไฟฟ้า F สามารถที่จะหาศักดาเวกเตอร์ไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ โดยการแทนค่าฟังก์ชัน L ที่ได้ในแต่ละทิศทางที่หาได้จากสมการที่ (2.35) และสมการที่ (2.43) ลงในสมการที่ (2.14) จะได้ศักดาเวกเตอร์ไฟฟ้า F ดังสมการที่ (2.44) และสมการที่ (2.45) ตามลำดับ

$$F_\theta = \frac{\epsilon e^{-jkr}}{4\pi r} 2whEo \cos \theta \cos \phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin X}{Y} \right] \quad (2.44)$$

$$F_\theta = \frac{\epsilon e^{-jkr}}{4\pi r} 2whEo \sin \phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.45)$$

ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะพิจารณาในสนามระยะไกล (Far Field) โดยสนาม H สามารถที่จะประมาณได้จาก

$$H_F \cong -j\omega F \tag{2.46}$$

และสนาม E สามารถที่จะหาได้จาก

$$E_F = -\eta a_r \times H_F = j\omega\eta a_r \times F \tag{2.47}$$

เมื่อ

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \tag{2.48}$$

η เป็นอินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง
เมื่อพิจารณาสนาม E ในองค์ประกอบต่างๆ โดยพิจารณาในทิศทาง a_θ ก่อน

$$E_F = j\omega\eta \cdot a_r \times F_\theta \cdot a_r \tag{2.49}$$

$$E_F = j\omega\eta F_\theta \cdot a_\phi \tag{2.50}$$

แทนค่าสมการที่ (2.40) ลงในสมการที่ (2.46) จะได้สนาม E ในทิศทาง a_ϕ

$$E_\phi = j\omega\eta \frac{\epsilon e^{-jkr}}{4\pi r} 2E_o \cdot wh \cos\theta \cos\phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \tag{2.51}$$

หรือ

$$E_\phi = jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} whE_o \cdot \cos\theta \cos\phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \tag{2.52}$$

และพิจารณา E ในทิศทาง a_ϕ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_F = j\omega\eta \cdot a_r \times F_\phi \cdot a_\phi \quad (2.53)$$

เมื่อทำการ Cross Product สมการที่ (2.53) จะได้

$$E_F = -j\omega\eta \cdot F_\phi \cdot a_\theta \quad (2.54)$$

แทนค่าสมการที่ (2.44) ลงในสมการที่ (2.54) จะได้สนาม E ในทิศทาง a_θ

$$E_\phi = j\omega\eta \frac{\epsilon e^{-jkr}}{4\pi r} 2E_o \cdot wh \sin \phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.55)$$

สามารถที่จะจัดสมการที่ (2.55) ใหม่ได้เป็น

$$E_\phi = jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} whE_o \cdot \sin \phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.56)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาสนาม H ในองค์ประกอบต่างๆ โดยพิจารณาในทิศทาง a_θ

ก่อน

$$H_F \cong -j\omega F_\theta \quad (2.57)$$

แทนสมการที่ (2.44) ลงในสมการที่ (2.57) จะได้สนาม H ในทิศทาง a_θ

$$H_\theta \cong -j\omega \frac{\epsilon e^{-jkr}}{2\pi r} whE_o \cos \theta \cos \phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.58)$$

หรือ

$$H_\theta \cong -jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} whE_o \cos \theta \cos \phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.59)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.52) และสมการที่ (2.59) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสนาม E และ

H โดยทั้งสองค่าจะสัมพันธ์กันด้วยค่า η

$$H_\theta \cong \frac{-E_\phi}{\eta} \quad (2.60)$$

$$H_F \cong -j\omega F_\phi \quad (2.61)$$

แทนสมการที่ (2.45) ในสมการที่ (2.61) จะได้สนาม H ในทิศทาง a_ϕ

$$H_\phi \cong -j\omega\varepsilon \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} whE_0 \sin\phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.62)$$

หรือ

$$H_\phi \cong -jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi\eta r} whE_0 \sin\phi \left[\frac{\sin X}{X} \middle| \frac{\sin Y}{Y} \right] \quad (2.63)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.56) และสมการที่ (2.63) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสนาม E และ

H

$$H_\phi \cong \frac{E_\theta}{\eta} \quad (2.64)$$

ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของสนามในทิศทางของ θ และ ϕ ดังนั้นสมการที่ (2.56) เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$E_\theta = \sin\phi \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2} \sin\theta \cos\phi\right)}{\frac{kh}{2} \sin\theta \cos\phi} \middle| \frac{\sin\left(\frac{kW}{2} \sin\theta \sin\phi\right)}{\frac{kW}{2} \sin\theta \sin\phi} \right] \quad (2.65)$$

และสมการที่ (2.52) สามารถที่จะเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$E_\theta = \cos\theta \cos\phi \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2} \sin\theta \cos\phi\right)}{\frac{kh}{2} \sin\theta \cos\phi} \middle| \frac{\sin\left(\frac{kW}{2} \sin\theta \sin\phi\right)}{\frac{kW}{2} \sin\theta \sin\phi} \right] \quad (2.66)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

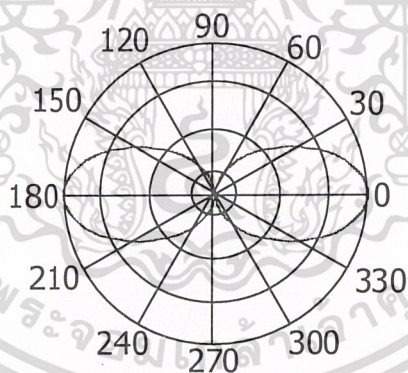
ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของคลื่นสายอากาศจะสามารถวิเคราะห์ได้ในระนาบ E - Plane ($\phi = \pi/2$) และ H - Plane ($\phi = 0$)

$$E - \text{Plane} \left(\phi = \frac{\pi}{2} \right)$$

$$E_r = E_\phi = 0 \quad (2.67)$$

$$E_\theta = \left[\frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \sin\theta\right)}{\frac{kw}{2} \sin\theta} \right] \quad (2.68)$$

รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าในระนาบ E - Plane โดยใช้สมการที่ (2.68) จะได้ดัง



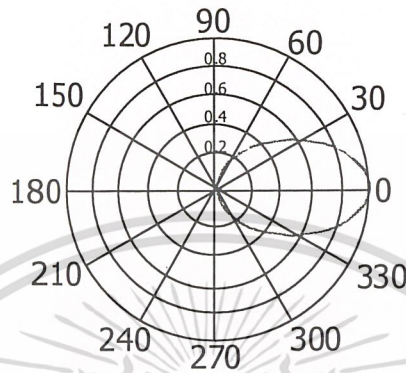
รูปที่ 2.7 แบบรูปของสนามไฟฟ้า 1 ช่องเปิดในระนาบ E - Plane

$$E_r = E_\theta = 0 \quad (2.69)$$

$$E_\phi = \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2} \sin\theta\right)}{\frac{kh}{2} \sin\theta} \right] \quad (2.70)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าในระนาบ H - Plane โดยใช้สมการที่ (2.70) จะได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แบบรูปของสนามไฟฟ้า 1 ช่องเปิดในระนาบ H - Plane

ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็ก H จะใช้วิธีการเดียวกันกับการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้า ดังนั้น สมการที่ (2.59) สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$H_{\theta} = \cos \theta \cos \phi \left[\begin{array}{c|c} \sin\left(\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi\right) & \sin\left(\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi\right) \\ \hline \frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi & \frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi \end{array} \right] \quad (2.71)$$

และสมการที่ (2.63) สามารถที่จะเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$H_{\phi} = \sin \phi \left[\begin{array}{c|c} \sin\left(\frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi\right) & \sin\left(\frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi\right) \\ \hline \frac{kh}{2} \sin \theta \cos \phi & \frac{kw}{2} \sin \theta \sin \phi \end{array} \right] \quad (2.72)$$

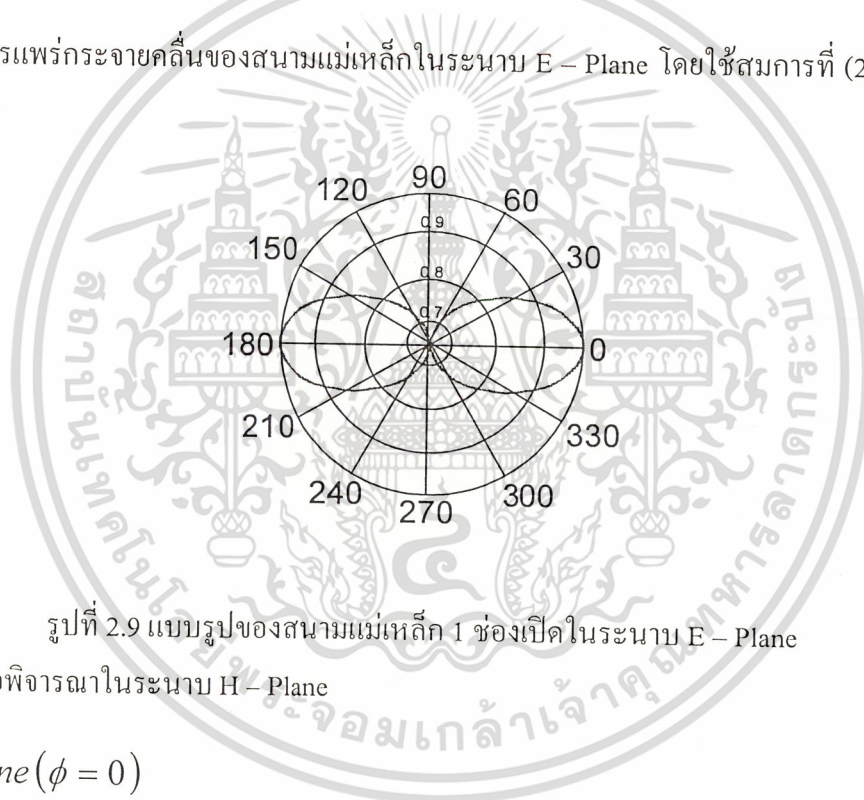
ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กสามารถที่จะวิเคราะห์ได้ในระนาบ E - Plane และ H - Plane ได้เหมือนกับการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้า

$$E - Plane \left(\phi = \frac{\pi}{2} \right)$$

$$H_r = H_\phi = 0 \quad (2.73)$$

$$H_\phi = \left[\frac{\sin \left(\frac{kw}{2} \sin \theta \right)}{\frac{kw}{2} \sin \theta} \right] \quad (2.74)$$

การแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กในระนาบ E-Plane โดยใช้สมการที่ (2.74) จะได้ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แบบรูปของสนามแม่เหล็ก 1 ช่องเปิดในระนาบ E-Plane เมื่อพิจารณาในระนาบ H-Plane

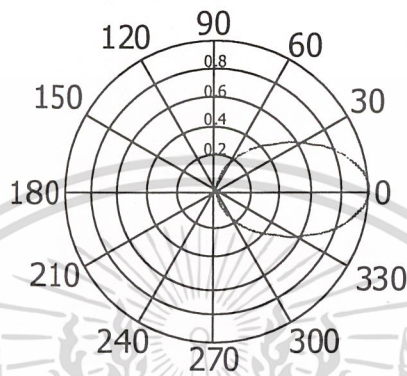
$$H - Plane (\phi = 0)$$

$$H_r = H_\phi = 0 \quad (2.75)$$

$$H_\theta = \cos \theta \left[\frac{\sin \left(\frac{kh}{2} \sin \theta \right)}{\frac{kh}{2} \sin \theta} \right] \quad (2.76)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายคลื่นของสนามแม่เหล็กในระนาบ H-Plane โดยใช้สมการที่ (2.76) จะได้
 ดังรูป



รูปที่ 2.10 แบบรูปของสนามแม่เหล็ก 1 ช่องเปิดในระนาบ H-Plane

ในการหาสนามไฟฟ้ารวมของสายอากาศไมโครสตริป 1 เlemenต์ สามารถที่จะหาได้จาก
 สนามไฟฟ้าของหนึ่งช่องเปิดคูณกับค่าอาร์เรย์แฟกเตอร์ ดังสมการที่ (2.1)

$$E - Plane \left(\phi = \frac{\pi}{2} \right)$$

$$E_r = E_\phi = 0 \quad (2.77)$$

$$E_\theta = \left[\frac{\sin\left(\frac{kw}{2} \sin\theta\right)}{\frac{kw}{2} \sin\theta} \right] \sum_{n=1}^2 e^{j(n-1)kl \sin\theta \sin\phi} \quad (2.78)$$

ในทำนองเดียวกันในระนาบ H-Plane สามารถที่จะหาสนามไฟฟ้ารวมได้จาก

$$E - Plane (\phi = 0)$$

$$E_r = E_\theta = 0 \quad (2.79)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_\phi = \cos\theta \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2}\sin\theta\right)}{\frac{kh}{2}\sin\theta} \right] \sum_{n=1}^2 e^{j(n-1)kl\sin\theta\sin\phi} \quad (2.80)$$

ในการหาสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป 1 เอลเมนต์ สามารถที่จะหาได้เช่นเดียวกับการหาสนามไฟฟ้ารวม

$$E - \text{Plane} \left(\phi = \frac{\pi}{2} \right)$$

$$H_r = H_\theta = 0 \quad (2.81)$$

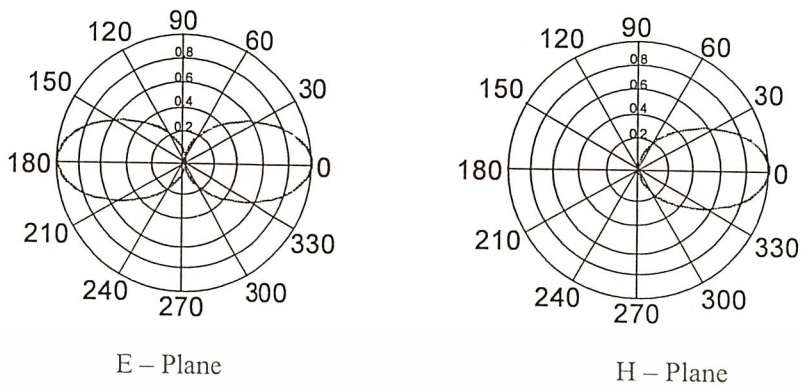
$$H_\phi = \left[\frac{\sin\left(\frac{k_w}{2}\sin\theta\right)}{\frac{k_w}{2}\sin\theta} \right] \sum_{n=1}^2 e^{j(n-1)kl\sin\theta\sin\phi} \quad (2.82)$$

$$H - \text{Plane} (\phi = 0)$$

$$H_r = H_\phi = 0 \quad (2.83)$$

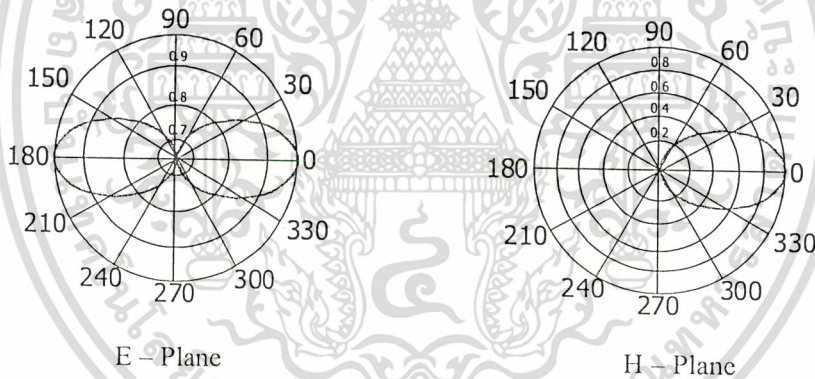
$$H_\theta = \cos\theta \left[\frac{\sin\left(\frac{kh}{2}\sin\theta\right)}{\frac{kh}{2}\sin\theta} \right] \sum_{n=1}^2 e^{j(n-1)kl\sin\theta\sin\phi} \quad (2.84)$$

สนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป 1 เอลเมนต์ โดยใช้สมการที่ (2.78) และ สมการที่ (2.80) จะได้แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E - Plane และระนาบ H - Plane ดังรูปที่ 2.11 ตามลำดับ



รูปที่ 2.11 แบบรูปสนามไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริป 1 เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป 1 เอลิเมนต์โดยใช้สมการที่ (2.82) และสมการที่ (2.84) จะได้แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E - Plane และระนาบ H - Plane ดังรูปที่ 2.12 ตามลำดับ

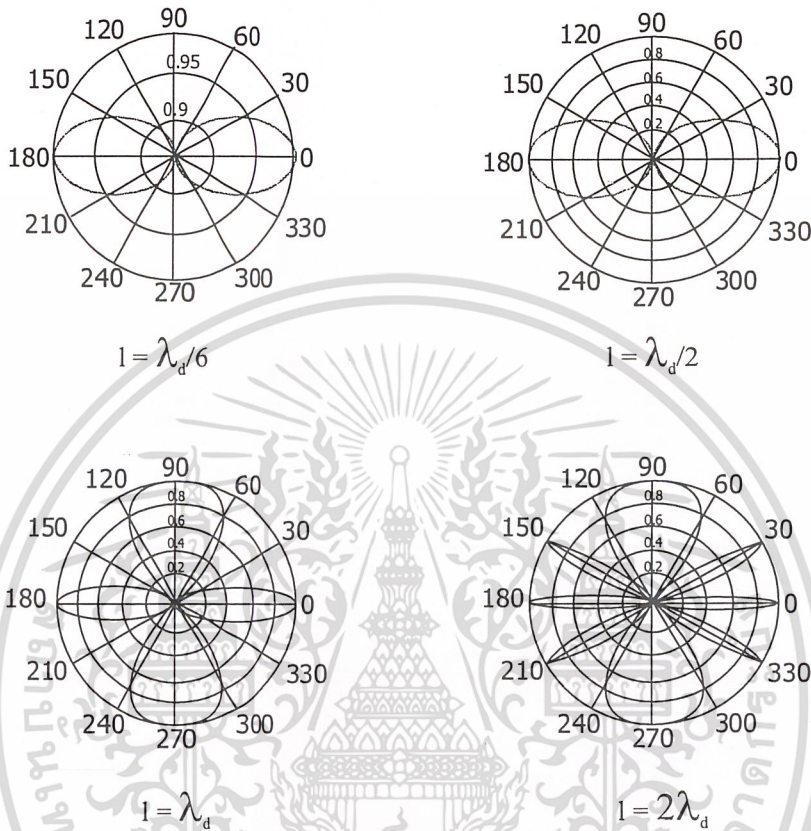


รูปที่ 2.12 แบบรูปสนามแม่เหล็กของสายอากาศไมโครสตริป 1 เอลิเมนต์

จากรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 จะพบว่าอาร์เรย์แฟคเตอร์จะมีผลเฉพาะแพทเทิร์นของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในระนาบ E - Plane เท่านั้น แต่จะไม่มีผลกับแพทเทิร์นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในระนาบ H - Plane เลย

เมื่อสนามรวมของอาร์เรย์จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าของระยะห่างระหว่างเอลิเมนต์ (I) เมื่อกำหนดให้ I มีค่าประมาณ $\lambda/2$ แพทเทิร์นการกระจายคลื่นของสนามจะมีทิศทางการแพร่กระจายของสนามไปในสองทิศทาง คือ 0° และ 180° เท่านั้น เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างระหว่าง

เอเลเมนต์ (I) จะทำให้แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสนามจะมีทิศทางการแพร่กระจายไปในทิศทางอื่นด้วย



รูปที่ 2.13 แบบรูปการเปลี่ยนระยะห่าง (I) ของสายอากาศ

จากรูปสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อค่าระยะห่าง (I) มีค่าน้อยกว่าค่า $\lambda_d/2$ แพทเทิร์น การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2.6 อาร์เรย์

โดยทั่วไปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเดี่ยวซึ่งมีแพทเทิร์นค่อนข้างกว้าง และมีแกนต่ำแต่ในบางงานที่ที่ต้องการใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายสูง การเพิ่มอัตราขยายนี้อาจทำได้โดยการเพิ่มขนาดของสายอากาศเดี่ยว จะทำให้คุณสมบัติในการชี้ทิศทางดีขึ้นก็ตาม แต่ยังมีวิธีอื่นที่จะเพิ่มแกนของสายอากาศโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของสายอากาศที่นำมาทำเป็นเอเลเมนต์ (Element) ซึ่งทำได้โดยการจัดเอเลเมนต์ที่แพร่กระจายคลื่นให้เหมาะสมทั้งทางด้านไฟฟ้าและรูปทรงซึ่งเรียกว่า อาร์เรย์ (Array) ซึ่ง ปกติจะเลือกให้แต่ละองค์ประกอบเหมือนกัน ในการหาสนามลัพธ์ของอาร์เรย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาได้โดยการบวกเวกเตอร์สนามของสนามที่แพร่กระจายในแต่ละเอเลเมนต์ซึ่งสนามจะรวมกันในทิศทางที่ต้องการติดต่อสื่อสาร และหักล้างกันในทิศทางที่ไม่ต้องการติดต่อสื่อสาร สายอากาศไมโครสตริปใน 1 องค์ประกอบ จะประกอบด้วย สายอากาศแบบปากเปิด 2 ตัววางอาร์เรย์กันในทิศทางที่เราต้องการ ในการออกแบบนี้จะเป็นการอาร์เรย์แบบที่มีการวางตัวเป็นเส้นตรงหรือเรียกว่า Linear Array ในการอาร์เรย์แบบวางตัวเป็นเส้นตรงเดียวกันและมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นไม่เป็น 0 ตัวแปรที่จะกำหนดลักษณะสมบัติของสายอากาศอาร์เรย์แบบนี้มีอยู่สองตัว คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศและขนาดของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศในแต่ละเอเลเมนต์ซึ่งรวมถึงเฟสของกระแสนั้นด้วย จากตัวแปรสองชนิดนี้สามารถแบ่งสายอากาศอาร์เรย์ที่มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรงออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ [บัณฑิต , 2537]

1. Uniform Array หมายถึง แบบที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศในแต่ละเอเลเมนต์และขนาดของเฟสของกระแสเท่ากันหมด
2. Uniformly spaced but uniformly excited arrays หมายถึง แบบที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศในแต่ละเอเลเมนต์เท่ากัน แต่ขนาดและเฟสของกระแสไม่เท่ากัน
3. Nonuniformly spaced but uniformly excited arrays หมายถึง แบบที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศในแต่ละเอเลเมนต์ไม่เท่ากันแต่ขนาดและเฟสของกระแสเท่ากัน
4. Nonuniformly spaced but nonuniformly excited arrays หมายถึง แบบที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศในแต่ละเอเลเมนต์ไม่เท่ากัน แต่ขนาดและเฟสของกระแสไม่เท่ากัน

ในการออกแบบนี้จะกล่าวเฉพาะในแบบ Uniform Array เท่านั้น ซึ่งจะเป็นแบบที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศในแต่ละเอเลเมนต์และขนาดของเฟสของกระแสเท่ากันหมด Uniform Array ยังสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.6.1 บรอดไซด์อาร์เรย์ (Broadside Array)

บรอดไซด์อาร์เรย์เป็นอาร์เรย์ที่การแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนอาร์เรย์ เพื่อจะทำให้อาร์เรย์แฟคเตอร์ของยูนิฟอร์มลินีเยร์อาร์เรย์ มีค่าสูงสุดในทิศทาง บรอดไซด์กับแนวแกนอาร์เรย์ ทุกเอเลเมนต์จะต้องเป็นเฟสเดียวกัน โดยที่ระยะห่างระหว่างเอเลเมนต์จะเป็นเท่าไรก็ได้สำหรับยูนิฟอร์ม อาร์เรย์ที่มีเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศเท่ากับ 0 และระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละเอเลเมนต์เท่ากับ $n\lambda_g$ เมื่อ n คือ จำนวนเอเลเมนต์ของสายอากาศที่นำมาอาร์เรย์กัน $(1,2,3,\dots,n)$ และ λ_g คือ ความยาวคลื่นในสารไดอิเล็กตริก นอกจากสนามจะมีค่าสูงสุดในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวแกนอาร์เรย์แล้ว สนามจะมีค่าสูงสุดในทิศทางตามแนวแกนอาร์เรย์ คือ ในทิศทาง 0 องศา และในทิศทาง 180 องศา

แต่ถ้าเราต้องการที่จะให้สนามที่แพร่กระจายให้มีค่าสูงสุดเฉพาะในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวแกนอาร์เรย์เท่านั้น เมื่อเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศเท่ากับ 0 แล้ว จะต้องกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละเอเลเมนต์ไม่ให้มีค่าเท่ากับ $n\lambda_g$ ก็จะได้สนามที่แพร่กระจายเฉพาะในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวแกนอาร์เรย์ดังกล่าว

2.6.2 เอนไฟต์อาร์เรย์ (End – fire Array)

เอนไฟต์อาร์เรย์เป็นอาร์เรย์ที่มีการแพร่กระจายคลื่นค่าสูงสุดในทิศทางแนวแกนอาร์เรย์สามารถกำหนดให้แพทเทอร์นมีค่าสูงสุดชี้ในทิศทาง 0 องศา หรือ 180 องศา ซึ่งสามารถกำหนดได้จากค่าเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศเท่ากับ $-kl$ เมื่อ k คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$ และ l คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละเอเลเมนต์ สนามจะมีทิศทางแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทาง 0 องศา และถ้าค่าเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศเท่ากับ kl สนามจะมีทิศทางแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทาง 180 องศา

ถ้าระยะห่างระหว่างเอเลเมนต์เท่ากับ $n\lambda_g$ นอกจากจะเป็นเอนไฟต์อาร์เรย์ยังมีค่าสูงสุดของแพทเทอร์นในทิศทางบรอดไซด์อาร์เรย์ด้วย นอกจากนี้ในทิศทางเอนไฟต์ยังชี้ทิศทาง 0 องศาและ 180 องศาอีกด้วย ดังนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างเอเลเมนต์เท่ากับ $n\lambda_g$ สนามจะมีค่าสูงสุดอยู่ในทั้งสี่ทิศทาง

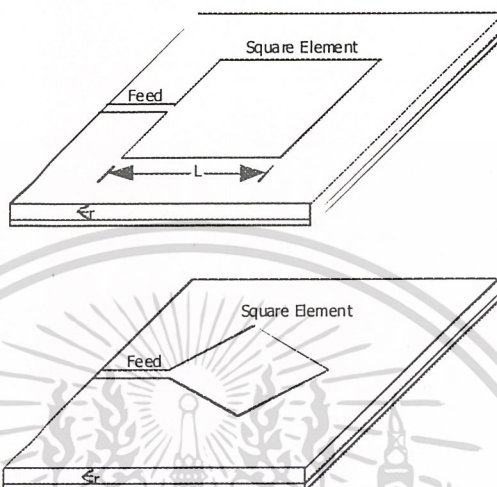
2.7 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป (Excitation Techniques)

สายอากาศไมโครสตริปจะมีการแพร่กระจายคลื่นของเอเลเมนต์ในแต่ละด้านของสารไดอิเล็กตริก และมีวิธีการป้อนสัญญาณสองวิธี คือ การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed) และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล (Coaxial Feed) ในการป้อนสัญญาณจะต้องป้อนให้เกิดความสมดุล (Matching) เสมอระหว่างสายป้อนสัญญาณกับตัวสายอากาศเพราะอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณจะต้องมีค่าเท่ากันประมาณ 50 โอห์ม ซึ่งจะเกิดการสมดุล (Matching) ได้ นั้นจะต้องเลือกตำแหน่งของสายป้อนสัญญาณ (Feed Line) ด้วย ตำแหน่งการป้อนสัญญาณทั้งการป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป และการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล เราสามารถกล่าวสรุปวิธีการป้อนทั้งสองแบบได้ดังนี้

2.7.1 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed)

การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริปเราสามารถแบ่งวิธีการป้อนสัญญาณได้สองวิธี คือ วิธีการป้อนสัญญาณที่ศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Center Feed Microstrip

Antennas) และวิธีการป้อนสัญญาณแบบด้านข้างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริป (Off - Center Feed Microstrip Antennas) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป

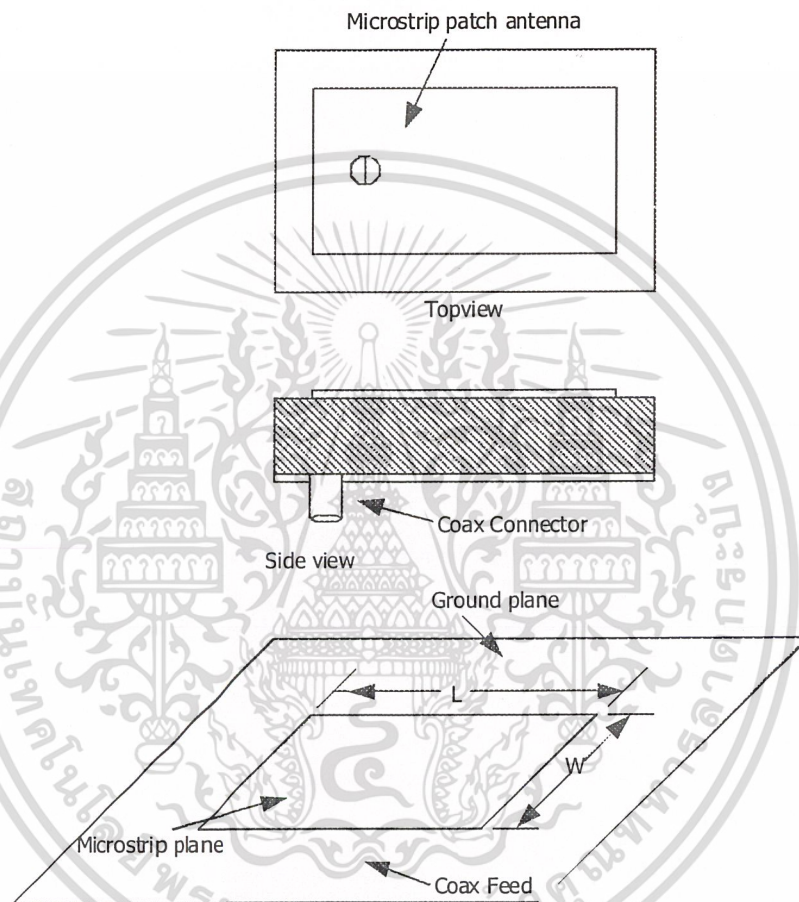
ตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดวิธีการกระตุ้นให้กับสายอากาศ เช่น การป้อนแบบจุดศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศ จะต้องทำการทดลองเพื่อที่จะหาตำแหน่งที่มีอิมพีแดนซ์ของสายป้อน 50 โอห์ม ซึ่งอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายป้อนเราสามารถวัดค่าออกมาได้ เมื่อนำสายมาป้อนให้กับสายอากาศแล้วจะต้องเกิดการสมมูลขึ้นระหว่างสายป้อนสัญญาณกับแผ่นตัวนำที่เป็นสายอากาศ

ในรูปแบบเฉพาะของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศสามารถป้อนได้หลายวิธีสนามของสายอากาศเปลี่ยนแปลงตามความกว้างของสายส่งแบบไมโครสตริป อินพุทอิมพีแดนซ์ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสายป้อน (Feed Line) จะมีผลกระทบบ้างเล็กน้อยโดยจะทำให้ความถี่รีโซแนนซ์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง ระหว่างสายป้อนสัญญาณและสายอากาศในแต่ละส่วนของแพทเทิร์นของสายอากาศจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าความถี่รีโซแนนซ์มีการเลื่อนออกไปสามารถชดเชยได้โดยการเปลี่ยนขนาดของแผ่นสายอากาศให้มีขนาดเล็กลง

2.7.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเชียล (Coaxial Feed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบสายส่งโคแอกเซียล มักจะกระทำที่ด้านหลังของแผ่นสายอากาศ ซึ่งตำแหน่งของคอนเนคเตอร์ที่ต่ออยู่กับสายอากาศไมโครสตริป สามารถที่จะหาได้จาก การสังเกตค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 2.15 รูปแบบการป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอกเซียล

2.8 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

ในการศึกษาเรื่องสายอากาศนั้น เราจะต้องรู้ถึงความหมายของคำเฉพาะในการใช้งานด้านนี้ ซึ่งคำเหล่านี้จะมีการนำมาใช้งานในด้านสายอากาศทั้งหมด ไป และสากลเพื่อให้เข้าใจกันในการใช้งาน คำเฉพาะที่ใช้งานในเรื่องนี้มีมากมาย แต่จะขอกล่าวถึงบางคำที่มีการนำมาใช้บ่อยๆ ในการกล่าวอ้างอิงถึงในการศึกษาในส่วนของพื้นฐานวิชาสายอากาศทุกๆ ไปดังนี้

2.8.1 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันสเปตโคออร์ดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่ แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นนามระยะไกล (Far field) การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นจะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) , ความเข้มของสนาม (Field Strength) , เฟส (Phase) หรือ โพลาร์ไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่ รูปที่ 2.18 แสดงระบบโคออร์ดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศได้รับตามแนวรัศมีคงที่มีชื่อเรียกว่า แพทเทิร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่มีชื่อเรียกว่า แพทเทิร์นสนาม (Field - Pattern) ของสายอากาศนั้น



รูปที่ 2.16 ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

2.8.1.1 โอบของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

โอบของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น ที่เกิดโดยเป็นบริเวณโดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ ดังรูปที่ 1.3 แสดงโพลาร์แพทเทิร์น (Polar - Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งโอบแบบต่างๆ ดังนี้

โอบหลัก (Major Lobe , Main Lob) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูปที่ 2.20 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแบบแยกบีม (Splitbeam)

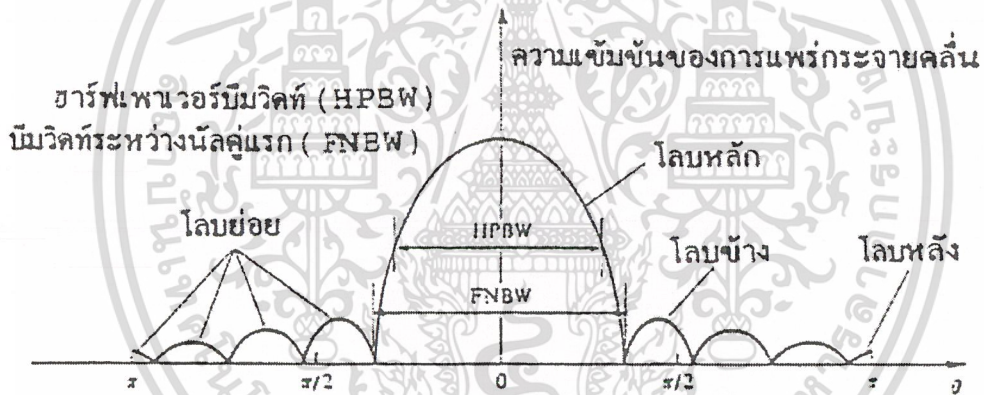
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ โลบอื่นๆ นอกเหนือไปจากโลบหลัก

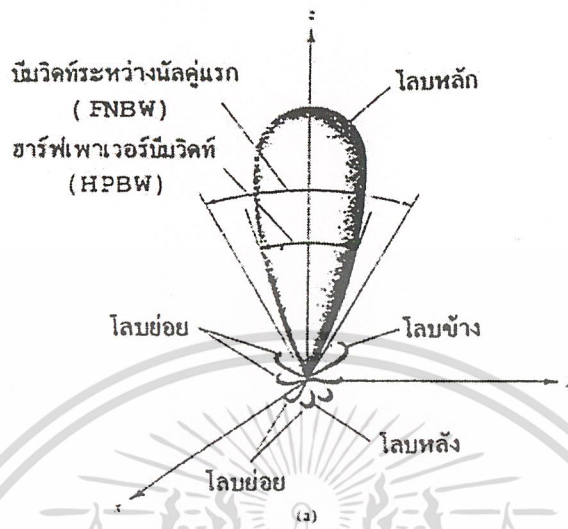
โลบข้างหรือไซด์โลบ (Side Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ติดกับโลบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบหลัก

โลบหลัง (Back Lobe) ซึ่งเป็นโลบย่อยที่อยู่ในทิศวงกลมตรงข้ามกับโลบหลัก ปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโลบนี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโลบย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของ ความหนาแน่นของพลังงานที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของกำลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่า

อัตราส่วนของไซด์โลบ (Sidelobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Sidelobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้น มักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB



รูปที่ 2.17 แพทเทอรันในแบบลิเนียร์



รูปที่ 2.18 โลบต่างๆ และแบริมวิดท์ของแพทเทอรันสายอากาศ

2.8.2 ฮาร์ฟเพาเวอร์แบริมวิดท์

ฮาร์ฟเพาเวอร์แบริมวิดท์ (Half Power Beamwidth : HPBW) เป็นมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในโลบหลักมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด สองจุด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เพื่อความสะดวกจะใช้คำย่อ HPBW แทน

2.8.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของคำว่า ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้ คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น และผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$U = r^2 \times W_{\text{rad}} \quad (2.85)$$

เมื่อ

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น , (W/มุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น , (W/m²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้ คือ

$$\begin{aligned}
 U(\theta, \phi) &= \frac{r_2}{2\eta} |\overline{E}(r, \theta, \phi)|^2 \\
 U(\theta, \phi) &= \frac{r_2}{2\eta} \left[|\overline{E}(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right] \\
 &\approx \frac{1}{2\eta} \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.86)
 \end{aligned}$$

เมื่อ

— E = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล
 E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล
 η = อินทริเนติกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นแพทเทิร์นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ได้เช่นกัน

กัน

2.8.4 ไดเรกทิวิตี

เพื่อที่จะเข้าใจถึงคำว่าไดเรกทิวิตี (Directivity) เราจำเป็นต้องรู้จักคำว่า ไดเรกทิฟเกน (Directive Gain) ไว้ก่อน ไดเรกทิฟเกนในทิศทางที่กำหนด คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับใช้อ้างอิงนี้จะใช้เป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (Isotropic Point Source)

ไดเรกทิวิตี คือ ค่าไดเรกทิฟเกน ในทิศทางที่มากที่สุด หรือกล่าวง่ายๆ ว่า ไดเรกทิวิตีของต้นกำเนิด (สายอากาศ) ที่ไม่เป็นไอโซโทรปิก คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_g = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.87)$$

$$D_g = \frac{U_{\max}}{U_o} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.88)$$

เมื่อ

D_g = ไคเรคทีฟเกน (ไม่มีหน่วย)

D_o = ไคเรคตีวิตี (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/มุมตัน)

U_{\max} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/มุมตัน)

U_o = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (W/มุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)

จากสมการที่ 3 และ 4 เราจะทราบว่า ไคเรคทีฟเกนและไคเรคตีวิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส มีค่าเป็นหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่า U , U_{\max} , U_o ต่างมีค่าเท่ากัน ไคเรคตีวิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สมีค่าเท่ากับหนึ่ง เพราะว่ามันแผ่กระจายกำลังออกไปในทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากัน แต่สำหรับต้นกำเนิด (สายอากาศ) แบบอื่นๆ นั้นย่อมมีไคเรคตีวิตีมากกว่าหนึ่งเสมอ

ข้อสรุปอีกอย่างหนึ่งในที่นี้คือ ค่าไคเรคทีฟเกนจะมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และน้อยกว่าหรือเท่ากับไคเรคตีวิตี ($0 \leq D_g \leq D_o$)

โดยปกติเรามักแสดงไคเรคทีฟเกนและไคเรคตีวิตีเป็นเดซิเบล

2.8.5 อัตราขยาย (Gain)

เกนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไคเรคตีวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไคเรคตีวิตีอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π x อัตราส่วนความเข้มการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศได้รับจากข้อต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะทั่วไปแล้วเราจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \frac{4\pi \times \text{radiation} \cdot \text{intensity}}{\text{power} \cdot \text{input}} \\ &= \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \end{aligned} \quad (2.89)$$

โดยนัยทั่วไปแล้ว เรามักจะพูดถึงเกนสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากับสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็น สายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่นๆ ซึ่งคำนวณเกนได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนี้

$$= \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.90)$$

เราสามารถเขียนได้ว่า กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ด้วย

$$P_{rad} = e_r P_{in} \quad (2.91)$$

เมื่อ e_r เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ใช้สมการที่ (2.91) จะทำให้สมการที่ (4.6) มีความสัมพันธ์ง่ายเข้า เป็น

$$G_g(\theta, \phi) = e_r [4\pi U(\theta, \phi)] \quad (2.92)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับสมการไดเรกทิฟเกน คือ

$$G_g(\theta, \phi) = e_r D_g(\theta, \phi) \quad (2.93)$$

ในการทำงานเดียวกัน ค่าสูงสุดของเกนจะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตี โดย

$$G_o = G_g(\theta, \phi)_{\max} = e_r D_t(\theta, \phi) \quad (2.94)$$

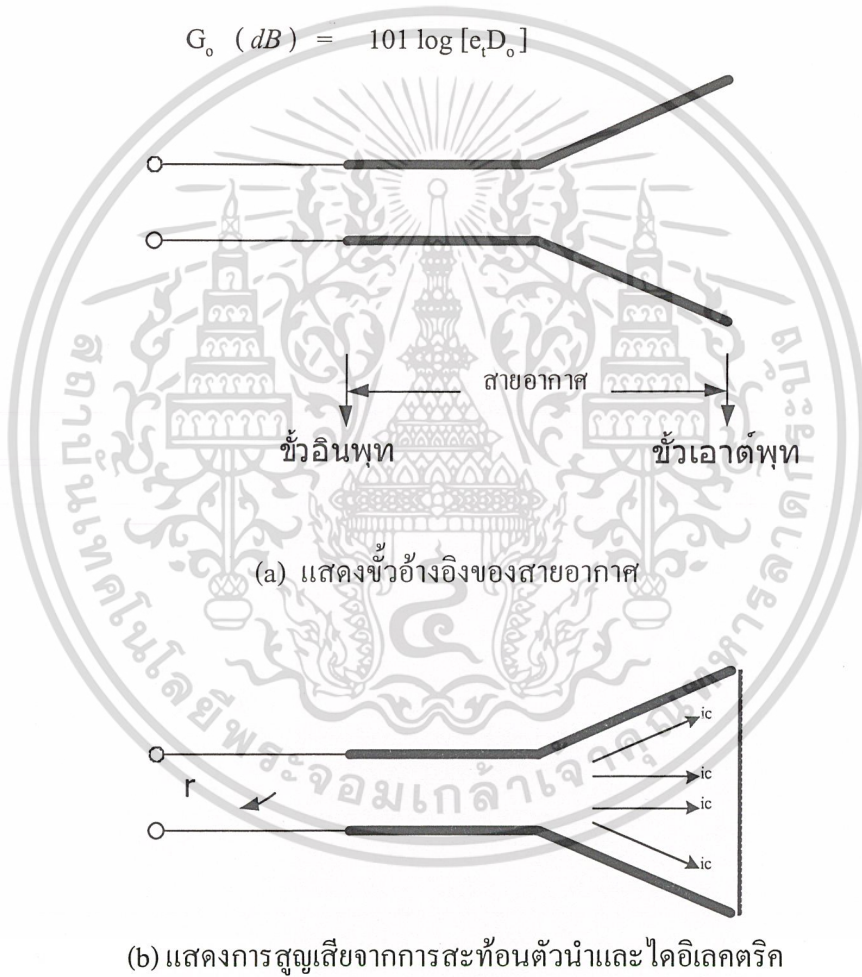
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าประมาณของเกนจะมีค่าเป็น

$$G_o = \frac{30,000}{\theta_{1d}\theta_{2d}} \tag{2.95}$$

ในทางปฏิบัติเมื่อกล่าวถึงเกน มักจะหมายถึง เพาเวอร์เกนที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงในสมการที่ (4.10)

$$G_o \text{ (dB)} = 101 \log [e_r D_o] \tag{2.96}$$



รูปที่ 2.19 ขั้วอ้างอิงและการสูญเสียของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้เมื่อเรากำลังพิจารณาการสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆ เมื่ออ้างอิง ตามรูปที่ (2.21) (b) อาจเนื่องมาจาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพจน์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ

2. การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน (I^2R)

โดยทั่วไปแล้ว ประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.97)$$

เมื่อ

e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)

e_r = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ $= (1 - |\Gamma|^2)$ (ไม่มีหน่วย)

e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)

e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)

Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ขั้วสัปดาห์ของสายอากาศ

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

เมื่อ

Z_{in} = อิมพีแดนซ์อินพุตที่แขนของสายอากาศ

Z_0 = อิมพีแดนซ์ลักษณะสมบัติ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง

ปกติ e_c และ e_d คำนวณได้ลำบาก ส่วนมากมักจะหาได้จากการทดลอง แต่ถึงกระนั้นก็แยก e_c จาก e_d ไม่ออก ดังนั้น เพื่อความสะดวกมักจะเขียน สมการที่ (4.13) ใหม่

$$e_t = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.98)$$

เมื่อ

$e_{cd} = e_c e_d$ = ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.7 อินพุทอิมพีแดนซ์

อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศใดๆ จะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วสายอากาศนั้นๆ อาจเป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสที่ขั้วของสายอากาศนั้น หรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ โดยที่ $a - b$ เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลดจะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งมีค่า

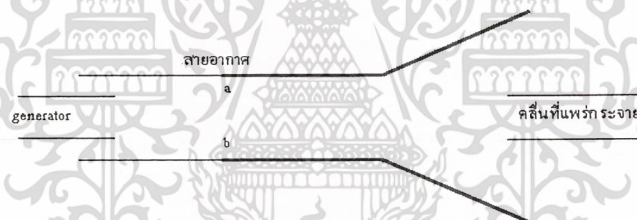
$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.99)$$

เมื่อ

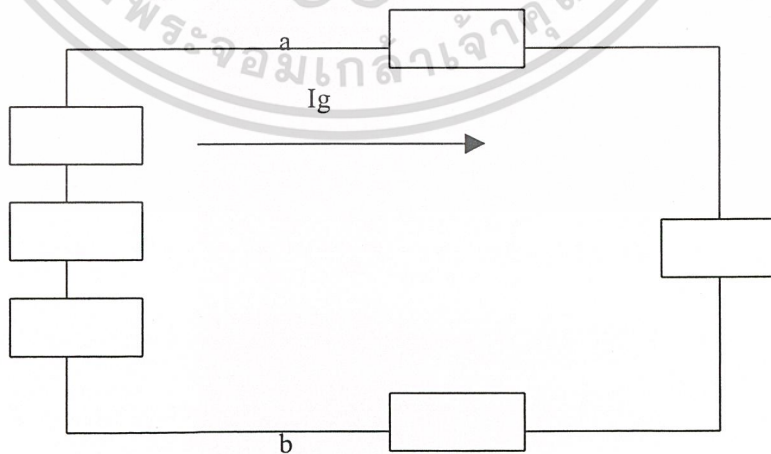
Z_A = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว $a - b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

R_A = ความต้านทานที่ขั้ว $a - b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

X_A = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว $a - b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)



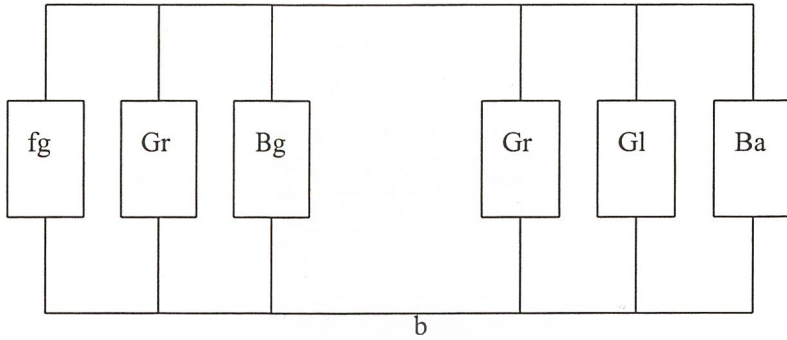
(a) แสดงสายอากาศในโหมดการส่ง



(b) แสดงวงจรสมมูลย์เทวินิน

a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) แสดงวงจรสมมูลย์นอร์ตัน

รูปที่ 2.20 แสดงสายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์

โดยทั่วไปความต้านทานในสมการที่ (3.15) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ คือ

$$R_A = R_r + R_L \tag{2.100}$$

เมื่อ

R_r = ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

R_L = ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าสมมติว่า สายอากาศถูกต้องอยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

$$Z_g = R_g + jX_g \tag{2.101}$$

เมื่อ

R_g = ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

X_g = รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

สายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายส่งสัญญาณจะแสดงวงจรสมมูลย์ ได้ดังรูปที่ (2.19) (b) ปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่และจะสัมพันธ์กับสายส่ง เฉพาะในช่วงความถี่ช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น นอกจากนี้อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟลคเตอร์ต่างๆ อีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจาก คำนวณได้ยาก จึงมักพบว่า ส่วนใหญ่จะหาอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่จะกำหนดให้อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์ , แพทเทอรัน , บีมวิดท์ , โพลาริเซชัน , ระดับของไซด์โลบ , เกน , ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือ ไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐานสำหรับสายอากาศแบนด์กว้าง มักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูง ต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ เช่น แบนด์วิดท์ 10:1 แสดงว่า ความถี่ที่ใช้งานด้านสูงมีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้งานด้านต่ำอยู่ 10 เท่า

สำหรับสายอากาศแบบแบนด์วิดท์แคบ จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์ เช่น แบนด์วิดท์ 5 % แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศเป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ (ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์ , แพทเทอรัน , เกน , โพลาริเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไปปกติ แล้วคุณสมบัติของแพทเทอรันกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ มักจะถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ นอกจากนี้แบนด์วิดท์ , เกน , ระดับของไซด์โลบ , บีมวิดท์ , โพลาริเซชัน จะมีแบนด์วิดท์ค่าเดียวกับแพทเทอรันแบนด์วิดท์ ในขณะที่แบนด์วิดท์ของอินพุทอิมพีแดนซ์และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

3.1 การคำนวณขนาดของสายอากาศไมโครสตริปความถี่ 2.45 GHz

จากโครงการที่ได้ใช้แผ่น PCB จากบริษัท ROGERS ADVANCED CIRCUIT MATERIALS DIVISION ซึ่งกำหนดค่า ϵ_r มากับแผ่น PCB สามารถเปิดหาได้จาก INTERNET ที่ WWW.ROGERS.COM ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

PROPER	TYPICAL	DIRECTION	UNIT	CONDITION	TEST METHOD
Dielectric Constant ϵ_r	3.2 ± 0.05	Z		2.5GHz-23 ° C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Dissipation Factor	0.0018	Z		2.5GHz-23 ° C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Tg	>280(536)		° C (° F)		TMA
Dimensional Stability	<0.5	X,Y	mils/inch (mm/m)	After Etch +E2/150	IPC-TM-650 2.4.4
Copper Peel Strength	5(0.88)		pli(N/mm)	After Solder Float	IPC-TM-650 2.4.8
Specific Gravity	1.72			23 ° C	ASTM D792
Coefficient of Thermal Expansion	20 17 25	X Y Z	ppm/° C	-55 to 125 ° C	IPC-TM-650 2.4.4.1
Moisture Absorption	0.025		%	48hr.immersion 0.060" sample Temperature 50 ° C	ASTM D570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความหนาของวัสดุฐานรอง

$$0.060'' \pm 0.004'' (1.524 \text{ mm.} \pm 0.1016 \text{ mm.})$$

ค่าความหนาของแผ่นทองแดง

$$1 \text{ ออนซ์} (35 \mu \text{ m})$$

ขนาดของแผ่น PCB

$$50'' \times 61'' (1.27 \text{ m} \times 1.549 \text{ m})$$

จากข้อมูลที่ได้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้

$$\text{ความถี่ } f_r = 2.45 \text{ GHz}$$

$$\text{ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก } \epsilon_r = 3.2$$

$$\text{ความสูงของวัสดุฐานรอง } h = 1.524 \text{ mm.}$$

$$\text{ค่าสูญเสียแทนเจนต์ } \tan \delta = 0.0018$$

3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบ

1. ความกว้างแผ่นสายอากาศ

$$\begin{aligned} W &= \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2(2.45 \times 10^9)} \left(\frac{3.2 + 1}{2} \right)^{-1/2} \\ &= 42.244 \text{ mm.} \end{aligned}$$

2. หาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-1/2} \\ \epsilon_{eff} &= \frac{3.2 + 1}{2} + \frac{3.2 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{1.5246 \times 10^{-3}}{42.244 \times 10^{-3}} \right) \\ \epsilon_{eff} &= 3.676 \end{aligned}$$

3. ความยาว ΔL จาก

$$= 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)}{(\epsilon_{eff} - 0.582)} \frac{\left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{\left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} h$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= (0.412) (1.524 \times 10^{-3}) \frac{(3.676 + 0.3)}{(3.676 - 0.582)} \left(\frac{\frac{42.24 \times 10^{-3}}{1.524 \times 10^{-3}} + 0.264}{\frac{42.24 \times 10^{-3}}{1.524 \times 10^{-3}} + 0.8} \right) \\
 &= 0.79 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

4 หาคความยาว L จาก

$$\begin{aligned}
 &= \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \\
 &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2.45 \times 10^9 \sqrt{3.54}} - 2 \times (0.55 \times 10^{-3}) \\
 &= 30.35 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

5 กำหนดความกว้างของไมโครสตริปที่ 50 โอห์ม

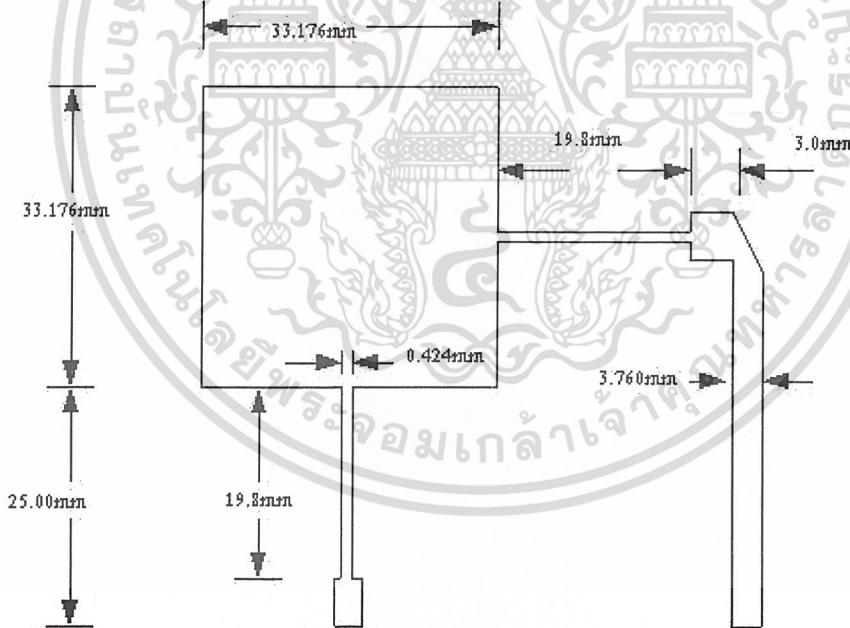
$$\begin{aligned}
 \frac{W}{h} &= \left(\frac{e^{H'} - 1}{8} - \frac{1}{4e^{H'}} \right)^{-1} \\
 H' &= \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \\
 H' &= \frac{50 \sqrt{2(3.2 + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{3.2 - 1}{3.2 + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{3.2} \ln \frac{4}{\pi} \right) \\
 H' &= 1.344 \\
 \frac{W}{h} &= \left(\frac{e^{1.344} - 1}{8} - \frac{1}{4e^{1.344}} \right)^{-1} \\
 \frac{W}{h} &= 2.415 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม LEDIT

จากขั้นตอนที่คำนวณได้จะต้องนำไปสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดเล็กมากซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร ดังนั้นจึงต้องใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบลายวงจรให้มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเพื่อที่จะทำให้ชิ้นงานที่สร้างออกมามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด

1. ในการออกแบบเพื่อให้เกิดความสะดวกต้องกำหนดลายวงจรลงบนกระดาษอย่างคร่าวๆ เพื่อเป็นต้นแบบในการทำโดยจะมีตำแหน่งอยู่ในพิกัดแกน X และแกน Y
2. เมื่อเข้าไปในโปรแกรม LEDIT จะต้องกำหนดความละเอียดของงานโดยจะวาดชิ้นงานในหน่วยไมครอน จากนั้นวาดชิ้นงานที่ทำการออกแบบ
3. บันทึกไฟล์ที่ออกแบบเป็นนามสกุล "PS"
4. นำไฟล์ไปทำแผ่นฟิล์มอาร์ทเวิร์ค(Proscript) แบบ Negative ที่ร้านรับทำ



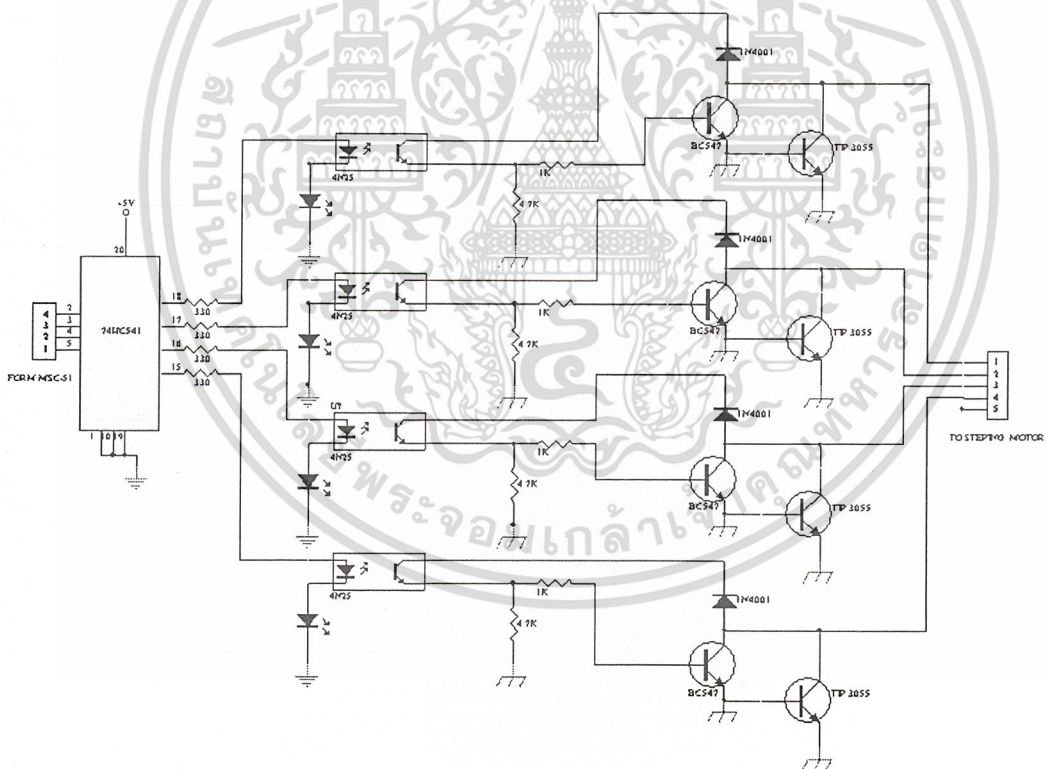
รูปที่ 3.1 สายอากาศที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทำแผ่นวงจรพิมพ์

1. ตัดแผ่นวงจรพิมพ์ให้มีขนาด 10 cm. × 10 cm.
2. นำแผ่นทรายฟิล์มมารีบบนแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ให้เกิดฟองอากาศ
3. นำผ้ามาทับบนแผ่นวงจรพิมพ์แล้วใช้เตารีดให้ความร้อนประมาณ 70 - 80 °C รีดทับไปบนผ้าพอให้แผ่นทรายฟิล์มติดแผ่นวงจรพิมพ์
4. นำแผ่นฟิล์มอาร์ทเวิร์ควางบนแผ่นวงจรพิมพ์แล้วทำการฉายแสงประมาณ 10 นาที
5. หลังจากฉายแสงแล้วนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปแช่ในสาร โซเดียมคาบอเนต
6. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปแช่ในกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
7. นำชิ้นงานไปลบทรายฟิล์มด้วยโซดาไฟก็จะได้แผ่นวงจรพิมพ์ตามต้องการ

3.4 การออกแบบชุดขับมอเตอร์

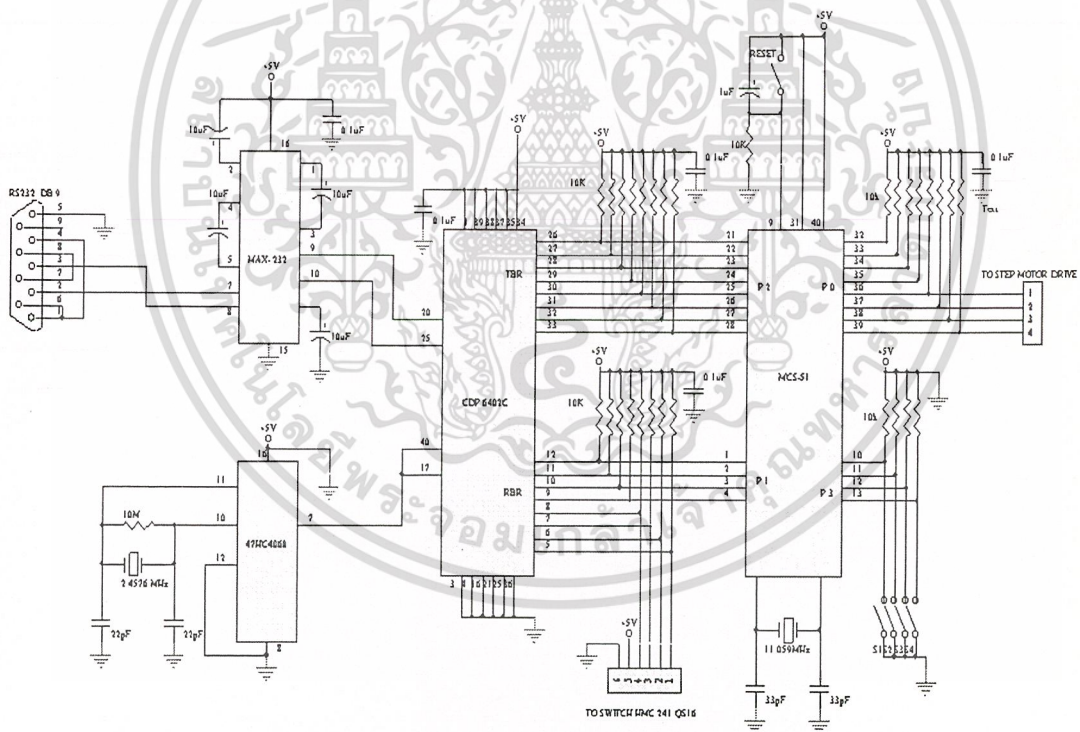


รูป 3.2 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสายอากาศรับจะต้องเคลื่อนที่ไปยังมุมต่าง ๆ เพื่อทำการเก็บค่าจากสายอากาศส่ง ตามองศาที่กำหนดไว้โดยแบ่งเป็นโหมดคือ 1 องศา, 5 องศา, 10 องศาและทำการหมุนกลับสู่ 0 องศาเพื่อเริ่มรับค่าใหม่โดยใช้ MCS-8051 เป็นตัวควบคุมการหมุนของสายอากาศ โดยรับค่าจาก Matlab ผ่านมาทางชุด Interface ที่ส่งงานทาง computer ผ่านทาง port RS-232C เพื่อไปสั่งชุดมอเตอร์

การทำงานจะรับสัญญาณควบคุมจากตัวคอนโทรลเลอร์ สัญญาณอินพุตจะไปขับ LED อินฟราเรดที่วางอยู่ในออปโตคัปเปอ์ โดยตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสให้กับ LED ในขณะที่เอาต์พุตของคัปเปอ์จะต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 139 เพื่อขับมอเตอร์เมื่อป้อนลอจิก "1" ให้กับออปโตคัปเปอ์ จะให้ LED ภายในออปโตคัปเปอ์ทำงานกระตุ้นให้โฟโตทรานซิสเตอร์ภายในตัวออปโตคัปเปอ์ทำงานเกิดแรงดันผ่านตัวต้านทานเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้ทรานซิสเตอร์ BD 139 นำกระแส เสมือนว่าขดลวดด้านหนึ่งต่อลงกราวด์จึงเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดการหมุนขึ้น



รูปที่ 3.3 วงจรอินเตอร์เฟส

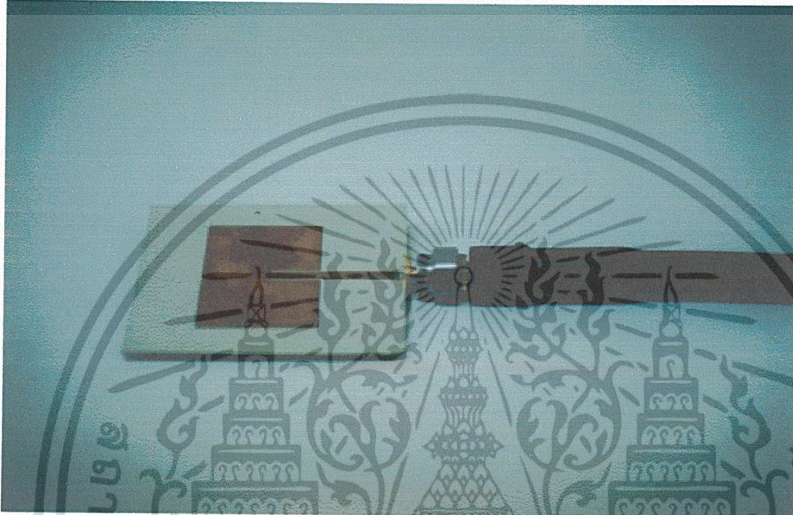
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

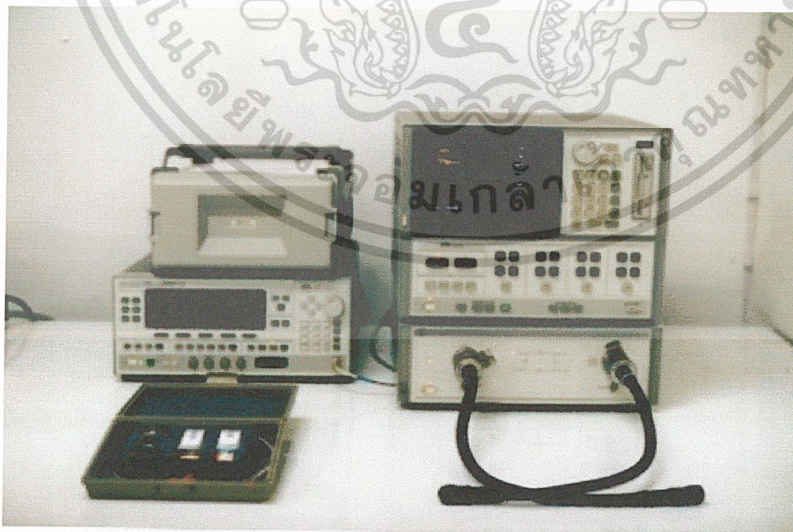
การวัดสัญญาณและการทดสอบ

4.1 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปองค์ประกอบเดียว

หลังจากทำการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริป 1 องค์ประกอบ ในการวัดคุณสมบัติของสายอากาศโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น HP 8510 มาทำการวิเคราะห์



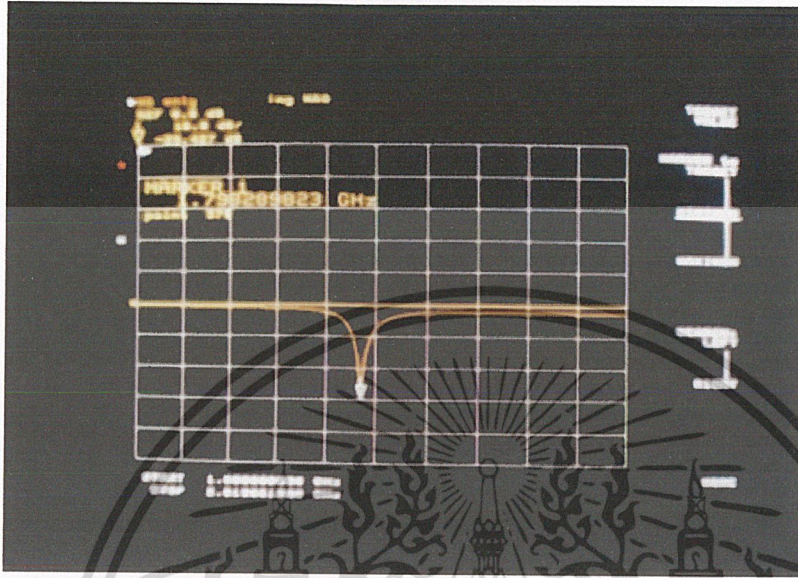
รูป 4.1 สายอากาศไมโครสตริป 1 องค์ประกอบ



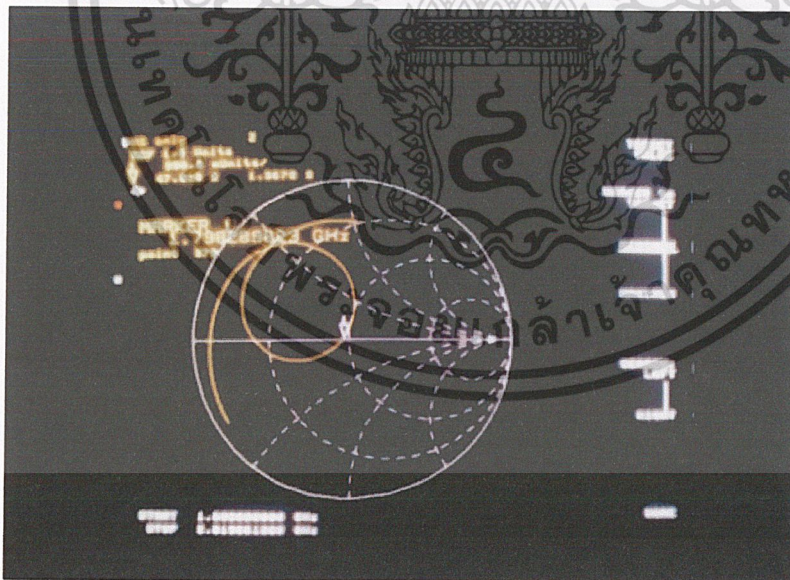
รูป 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น HP 8510

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองผลจากการทดลองวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ S11 ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1.7982 GHz มีค่าความสูญเสียอยู่ที่ -29.427 dB และวัดค่าอิมพีแดนซ์ได้ที่ติดอยู่ในรูปส่วนจริงและส่วนจินตภาพได้ $47.818\Omega + j1.3672\Omega$



รูป 4.3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11) ของสายอากาศไมโครสตริปองค์ประกอบเดียว



รูป 4.4 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ในบทนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานที่สร้างขึ้นจากทฤษฎีสายอากาศไมโครสตริปเพื่อทำการวัดสายอากาศเพื่อหา คุณสมบัติการส่งผ่านสัญญาณ , ย่านความความถี่ที่ตอบสนอง ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติการสะท้อนกลับของสัญญาณ เพื่อทดสอบว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการสร้าง

4.2 การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปทั้งระบบ

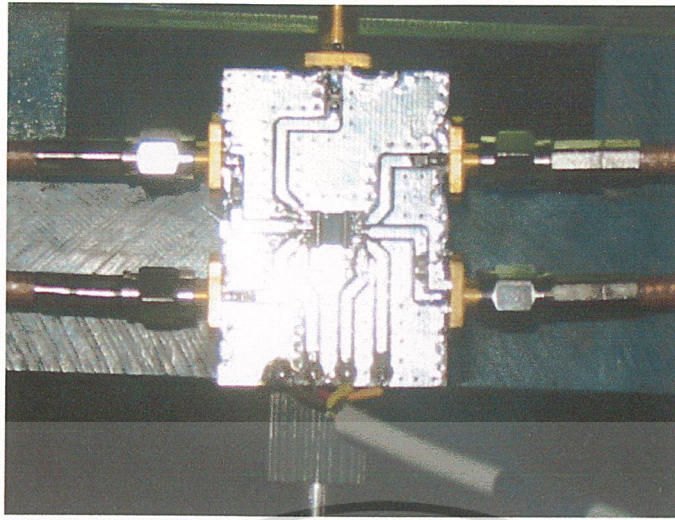


รูปที่ 4.5 สายอากาศทางด้านส่ง

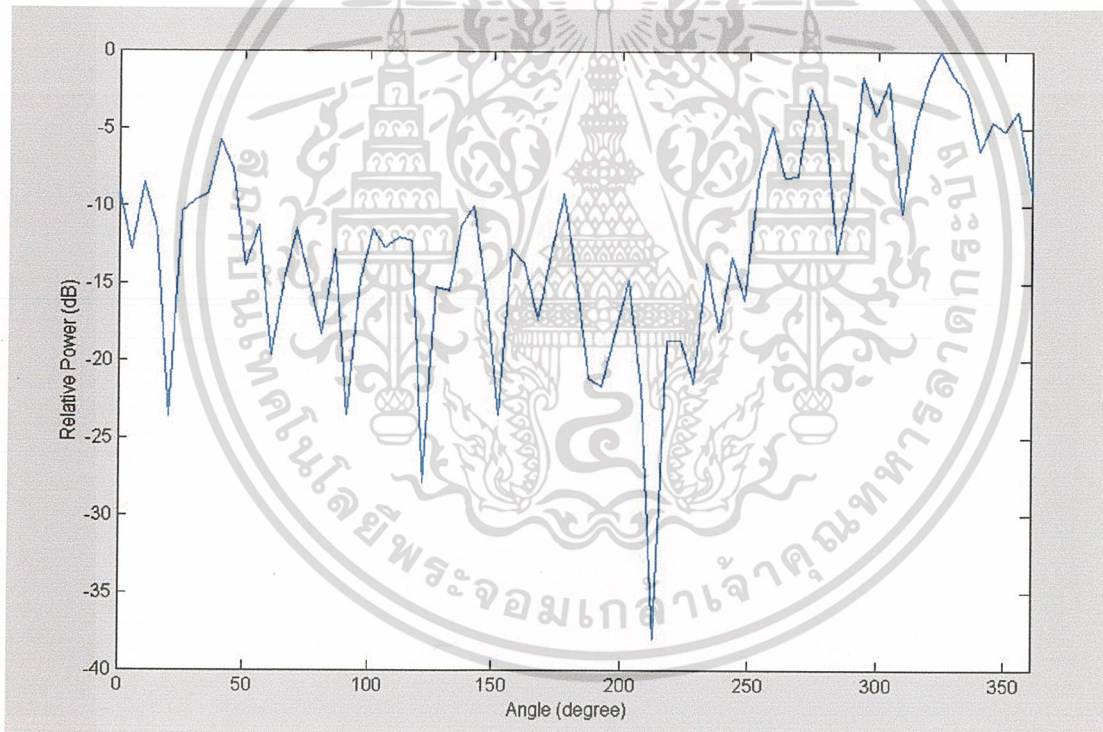


รูปที่ 4.6 สายอากาศทางด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

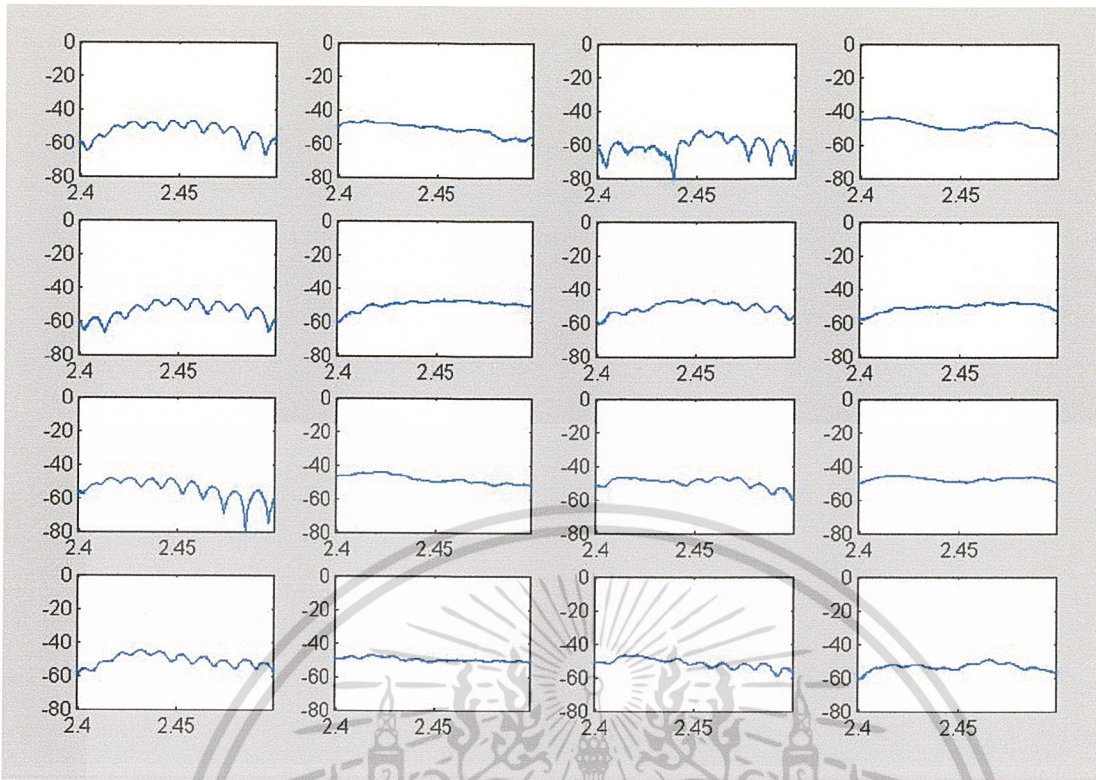


รูปที่ 4.7 การต่อสวิตช์



รูปที่ 4.8 การวัดการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การวัดช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

โครงการนี้ได้เสนอแนวความคิดที่จะจำลองระบบการวัดสายอากาศภายในอาคารซึ่งจะทำการจำลองคุณลักษณะ และคุณสมบัติทางคลื่นในการใช้งานจริงในระบบ “Wireless LAN” 2.45GHz เพื่อให้เห็นหลักการงานเพื่อที่จะพัฒนาต่อไปเป็นสายอากาศแบบ “สมาร์แอนเทนน่า” ซึ่งจะมีการนำมาใช้ในการสื่อสารในยุคต่อไป การสื่อสารแบบ “Wireless LAN” ที่ต้องการความเร็วสูง ทำให้เกิด “Multi Path” ซึ่งเป็นปัญหาทำให้เกิด “Inter Symbol Interference” โดยจะทำการเก็บค่าสายอากาศไว้ในเครื่องเน็ตเวิร์กเพื่อนำมาคำนวณแก้ไข

ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

1. ความไม่แน่นอนในการออกแบบเนื่องจากค่าที่คำนวณได้แล้วนำไปทดลองกับคอมพิวเตอร์แล้วนำมาทำการสร้างให้ผลที่ไม่ตรงกันทำให้ค่าที่วัดออกมาไปไม่ตรงกับค่าที่คำนวณ
2. ในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานยังไม่สามารถควบคุมให้ชิ้นงานออกมาตามที่ออกแบบไว้ได้
3. ไม่สามารถแก้ไขชิ้นงานได้เมื่อทำการออกแบบมาทำให้ทุกครั้งในการทดลองไม่สามารถแก้ไขได้จะต้องทำการสร้างใหม่ทุกครั้ง
4. ไม่สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของวัสดุที่ใช้ได้

แนวทางในการพัฒนาโครงการ

1. ต้องทำการออกแบบสายอากาศให้ละเอียดมากที่สุด โดยที่สามารถควบคุมค่าพารามิเตอร์ตามวัสดุที่ใช้ได้
2. ในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานจะต้องใช้ความรอบครอบและละเอียดให้มากที่สุดเพราะจะมีผลต่อการตอบสนองของความถี่เนื่องจากเนคความถี่สูง
3. ใช้ Digital Signal Processing ในการประมวลผลเพื่อแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- (1) โมไนย ไกรฤกษ์ และวิวัฒน์ กิรานนท์ ทฤษฎีสายอากาศ พิมพ์ครั้งที่ 5 , กรุงเทพฯ
- (2) C.A. Balanis , Antenna Theory Analysis and Design Singapore , John Wiley & Sons , 1997
- (3) Bharathi Bhat and Shibani K.Koul. Stripline-Like Transmission Line for Microwave Integrated Circuits.:Wiley Eastern Limited , 1998.
- (4) I.J. Bahl and P.Bhartia , Microstrip Antennas:Artech House , Dedham , MA , 1980



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

;PROGRAM : TEST ANTENNA

;FOR : MCS-51 MICROCONTROLLER (P89C51RD2HPB)

;ASSAMBLER: RAD51

; MAIN PROGRAM

DEGREE1	BIT	P1.0	; SW DEGREE 1
DEGREE5	BIT	P1.1	; SW DEGREE 5
DEGREE10	BIT	P1.2	; SW DEGREE 10

```
ORG 0000H
MOV P0,#00H
MAIN: SETB P3.4
      SETB P3.3
      SETB P3.2
      SETB P3.1
      SETB P3.0
      CLR P3.5
      CLR P3.6
      MOV R4,#01
      MOV R2,#01
      CLR A
      SETB P1.0
      SETB P1.1
      SETB P1.2
```

****MANUAL****

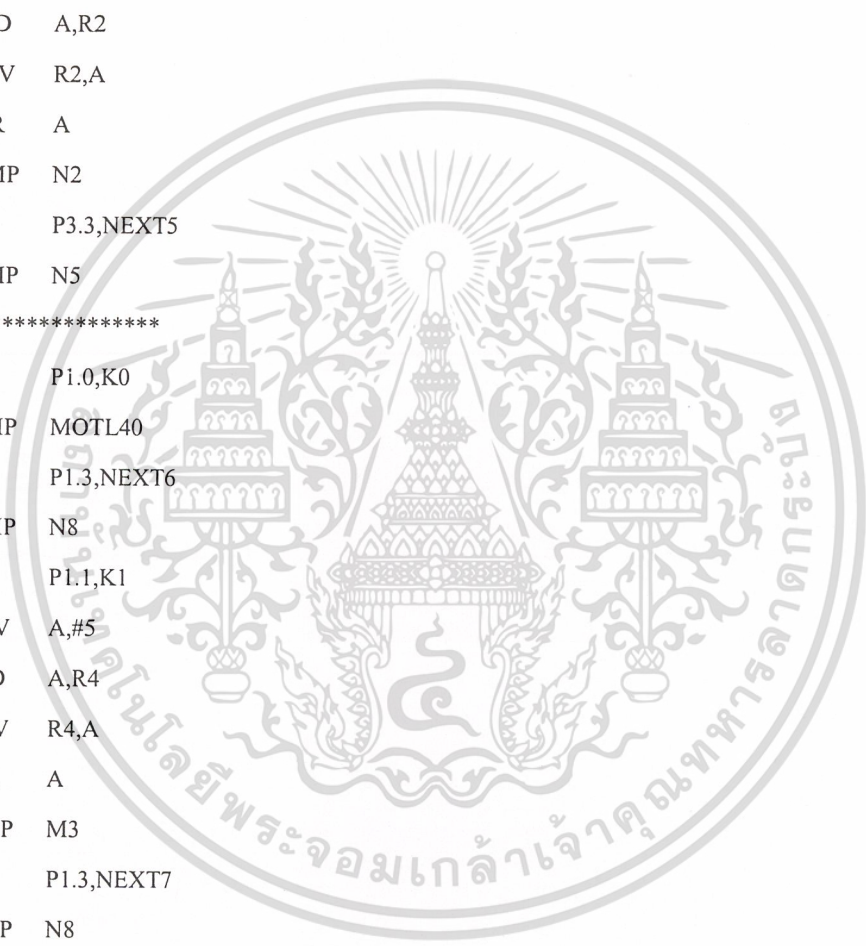
```
NEXT: MOV P2,#0FFH
      JB P3.0,M0 ;NEXT1
      AJMP N
M0: JB P3.3,NEXT1
     AJMP N5
NEXT1: JB P3.2,M1
       MOV A,#10
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADD    A,R2
MOV    R2,A
CLR    A
AJMP   N1
M1:    JB     P3.3,NEXT2
AJMP   N5
NEXT2: JB     P3.1,M2
MOV    A,#5
ADD    A,R2
MOV    R2,A
CLR    A
AJMP   N2
M2:    JB     P3.3,NEXT5
AJMP   N5
;*****
NEXT5: JB     P1.0,K0
AJMP   MOTL40
K0:    JB     P1.3,NEXT6
AJMP   N8
NEXT6: JB     P1.1,K1
MOV    A,#5
ADD    A,R4
MOV    R4,A
CLR    A
AJMP   M3
K1:    JB     P1.3,NEXT7
AJMP   N8
NEXT7: JB     P1.2,K2
MOV    A,#10
ADD    A,R4
MOV    R4,A
CLR    A
AJMP   M4
K2:    JB     P1.3,NEXT
AJMP   N8
;*****

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

N:      INC      R2
MOTL20: MOV  R5,#137
MOTL21: ACALL   LOOP22
        DJNZ   R5,MOTL21
        MOV   P0,#00H
        MOVP2,#00 ;*****
        ACALL DELAY1
        AJMP  NEXT

```

```

N1:      MOV  R1,#10
MOTL22:  MOV  R5,#137
MOTL23:  ACALL LOOP22
        DJNZ  R5,MOTL23
        DJNZ  R1,MOTL22
        MOV  P0,#00H
        MOV  P2,#00 ;*****
        ACALL DELAY1
        AJMP NEXT

```

```

N2:      MOV  R1,#5
MOTL24:  MOV  R5,#137
MOTL25:  ACALL LOOP22
        DJNZ  R5,MOTL25
        DJNZ  R1,MOTL24
        MOV  P0,#00H
        MOV  P2,#00 ;*****
        ACALL DELAY1
        AJMP NEXT

```

```

N5:      CJNE  R2,#00,N7
        MOV  P2,#00
        ACALL DELAY1
        AJMP NEXT

```

```

N7:      DJNZ  R2,N6
        MOV  P2,#00

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL DELAY1
LJMP MAIN
N6: MOV R5,#137
MOTL15: ACALL LOOP21
        DJNZ R5,MOTL15
        MOV P0,#00H
        AJMP N5
;*****
N8: CJNE R4,#00,N9
        MOV P2,#00
        ACALL DELAY1
        AJMP NEXT
N9: DJNZ R4,N10
        MOV P2,#00
        ACALL DELAY1
        LJMP MAIN
N10 MOV R5,#137
MOTL16: ACALL LOOP21
        DJNZ R5,MOTL16
        MOV P0,#00H
        AJMP N8
;*****
;*****AUTO*****
;*****
MOTL40: INC R4
        MOV R5,#137
MOTL41: ACALL LOOP22
        DJNZ R5,MOTL41
        MOV P0,#00H
        MOV P2,#00 ;*****
        ACALL DELAY1
        AJMP NEXT
;
M3: MOV R1,#5
MOTL42: MOV R5,#137

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOTL43:   ACALL LOOP22
          DJNZ  R5,MOTL43
          DJNZ  R1,MOTL42
          MOV   P0,#00H
          MOV   P2,#00      ;*****
          ACALL DELAY1
          AJMP  NEXT
;
M4:       MOV   R1,#10
MOTL44:   MOV   R5,#137
MOTL45:   ACALL LOOP22
          DJNZ  R5,MOTL45
          DJNZ  R1,MOTL44
          MOV   P0,#00H
          MOV   P2,#00
          ACALL DELAY1      ;*****
          AJMP  NEXT
;*****
;
;*****
;*****
LOOP22:   MOV   P0,#01H
          LCALL DELAY
          MOV   P0,#02H
          LCALL DELAY
          MOV   P0,#04H
          LCALL DELAY
          MOV   P0,#08H
          LCALL DELAY
          RET
LOOP21:   MOV   P0,#08H
          LCALL DELAY
          MOV   P0,#04H
          LCALL DELAY
          MOV   P0,#02H
          LCALL DELAY
          MOV   P0,#01H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCALL DELAY

RET

.******
;

; DELAY

.******
;

DELAY: MOV R7,#6 ; Do 100 times

DELAY1: MOV R6,#0E6H ; Each loop = 1 ms

DELAY2: NOP

NOP

DJNZ R6,DELAY2

DJNZ R7,DELAY1

RET



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mimo

```
clear all,close all,clc
TxSw=[0 2 1 3];
RxSw=[0 2 1 3];
Step=[0 0 0 1 1 1 1]; % Stop stepping motor

%%% Initial HP-IB interfacing with VNA %%%%%%%%%%%%%%
g=visa('agilent','GPIB0::16::INSTR');
set(g,'InputBufferSize',90960);
fopen(g)

%%% Initial Serial Port %%%%%%%%%%%%%%
s=serial('COM1');
set(s,'InputBufferSize',1);
fopen(s)
s.ReadAsyncMode='manual';
readasync(s)

M=input('Enter operating mode[1=single, 2=auto] = ');
if (M==1)
    fn=input('Enter file name = ');
    Tx=input('Enter number of Tx switch[1,2,3,4] = ');
    Rx=input('Enter number of Rx switch[1,2,3,4] = ');
    fn=[fn num2str(Tx) num2str(Rx) '_s.bin'];
    fid=fopen(fn,'w');
    if fid==0,
        fprintf('The file was not opened.\n');exit;
    end
    tx_lg=[[0 0] d2b(TxSw(Tx),2) zeros(1,4)];
    rx_lg=[d2b(RxSw(Rx),2) zeros(1,6)];
    sw=or(tx_lg,rx_lg);
    s_out=or(sw,Step);
    fwrite(s,b2d(s_out,8));
    fprintf('\n Turned on RF switch %d, %d and transferring data ...'\n',Tx,Rx)
    fprintf(g,'SING;')
    fprintf(g,'FORM4;OUTPDATA;')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

d=fscanf(g);
fprintf(g,'CONT;')
x=str2num(d);
xi=x(:,1)+x(:,2)*j;
freq=linspace(2.4,2.5,801);
plot(freq,20*log10(abs(xi)))
axis([2.4 2.5 -80 0])
xlabel('Frequency (GHz)')
ylabel('|S_{21}| (dB)')

fwrite(fid,x,'double');
fclose(g),fclose(s),delete(g),delete(s)
fclose(fid);

elseif (M==2)
fn=input('Enter file name = ');
freq=linspace(2.4,2.5,801);
for m=1:4,
    for n=1:4,
        fd=[fn num2str(m) num2str(n) '.bin'];
        fid=fopen(fd,'w');
        if fid==0,
            fprintf('The file was not opened.\n');exit;
        end
        %
        tx_lg=[d2b(TxSw(m),2) zeros(1,6)];
        rx_lg=[[0 0] d2b(RxSw(n),2) zeros(1,4)];
        sw=or(tx_lg,rx_lg);
        s_out=or(sw,Step);
        fwrite(s,b2d(s_out,8));
        pause(1);
        fprintf('\n Turned on RF switch %d, %d and transferring data ...\n',m,n)
        fprintf(g,'SING;')
        fprintf(g,'FORM4;OUTPDATA;')
        d=fscanf(g);
        fprintf(g,'CONT;')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x=str2num(d);
xi=x(:,1)+x(:,2)*j;
subplot(4,4,(m-1)*4+n),plot(freq,20*log10(abs(xi)))
axis([2.4 2.5 -80 0])
%htitle=[num2str(m) num2str(n)];
%title(htitle);
fwrite(fid,x,'double');
fclose(fid);

end

end
fclose(g),fclose(s),delete(g),delete(s)
else
disp('Missing parameter')
fclose(g),fclose(s),delete(g),delete(s)
exit;
end

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pat

```
clear all,close all,clc
TxSw=[0 2 1 3];
RxSw=[0 2 1 3];
Step=[0 0 0 1 1 1 1]; % Stop stepping motor
%%% Initial HP-IB interfacing with VNA %%%%%%%%%%%
g=visa('agilent','GPIB0::16::INSTR');
set(g,'InputBufferSize',90960);
fopen(g)
%%% Initial Serial Port %%%%%%%%%%%
s=serial('COM1');
set(s,'InputBufferSize',1);
fopen(s)
s.ReadAsyncMode='manual';
readasync(s)
%%%%%%%%%%
st=3; %<--- 1= 1 deg., 2 = 5 deg., 3=10 Deg.
Tx=1;
Rx=1;
Nstep=3;
tx_lg=[[0 0] d2b(TxSw(Tx),2) zeros(1,4)];
rx_lg=[d2b(RxSw(Rx),2) zeros(1,6)];
sw=or(tx_lg,rx_lg);
%%% Initial zero position %%%
Step(5)=0;
s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8));
%pause(0.5);
Step(5)=1;
s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8));
%
%status=1;
%
for m=1:Nstep,
    Step(9-st)=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8)); % On
Step(9-st)=1;
s_out=or(sw,Step);
%tic
fwrite(s,b2d(s_out,8)); % Off
%while fread(s,1)~=0;
%end
%toc
fprintf('On position %d\n',m)
pause(18); % 2 = 1 Deg., 9 = 5 Deg., 18 = 10 Deg.
fprintf(g,'SING;')
fprintf(g,'FORM4;OUTPMARK;')
d=fscanf(g);
fprintf(g,'CONT;')
x(m,:)=str2num(d);
end

% Return to zero position
Step(5)=0;
s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8));
%pause(0.5);
Step(5)=1;
s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8));
pause;

for m=1:Nstep,
    Step(9-st)=0;
    s_out=or(sw,Step);
    fwrite(s,b2d(s_out,8)); % On
    Step(9-st)=1;
    s_out=or(sw,Step);
    %tic
    fwrite(s,b2d(s_out,8)); % Off

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%while fread(s,1)~=0;
%end
%toc
fprintf('On position %d\n',m)
pause(18); % 2 = 1 Deg., 9 = 5 Deg., 18 = 10 Deg.
fprintf(g,'SING;')
fprintf(g,'FORM4;OUTPMARK;')
r=fscanf(g);
fprintf(g,'CONT;')
x(Nstep+m,:)=str2num(r);
end
% Return to zero position
Step(5)=0;
s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8));
%pause(0.5);
Step(5)=1;
s_out=or(sw,Step);
fwrite(s,b2d(s_out,8));
%
fclose(g),fclose(s)
p=x(:,1);
nm=max(p);
plot(p-nm)
save pat.dat p -ascii

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B2d

```
function decimal=b2d(binary,M)
```

```
L=length(binary)/M;
```

```
decimal=zeros(1,L);
```

```
for q=0:L-1,
```

```
    for w=1:M,
```

```
        decimal(q+1)=2*decimal(q+1)+binary(q*M+w);
```

```
    end;
```

```
end;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chplot

```
load ch11.dat
load ch12.dat
load ch13.dat
load ch14.dat
%
freq=linspace(2.4,2.5,801);
ch1z=ch11(:,1)+ch11(:,2)*j;
ch2z=ch12(:,1)+ch12(:,2)*j;
ch3z=ch13(:,1)+ch13(:,2)*j;
ch4z=ch14(:,1)+ch14(:,2)*j;
%
ch1=20*log10(abs(ch1z));
ch2=20*log10(abs(ch2z));
ch3=20*log10(abs(ch3z));
ch4=20*log10(abs(ch4z));
%
plot(freq',[ch1 ch2 ch3 ch4])
legend('Channel #1','Channel #2','Channel #3','Channel #4')
xlabel('Frequency (GHz)')
ylabel('Transmission (dB)')
axis([2.4 2.5 -80 -20])
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D2b

```
function binary=d2b(decimal,M)
```

```
l=length(decimal);
```

```
for i=0:l-1,
```

```
    temp=decimal(i+1);
```

```
    for m=M:-1:1,
```

```
        binary(i*M+m)=mod(temp,2);
```

```
        temp=floor(temp/2);
```

```
    end;
```

```
end;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HMC241QS16

GaAs MMIC SP4T NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

Typical Applications

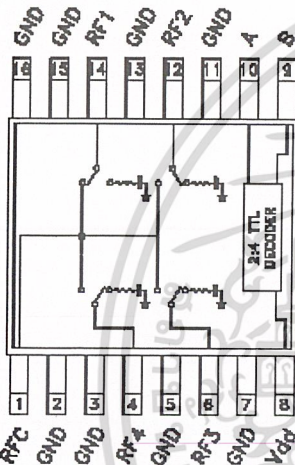
The HMC241QS16 is ideal for:

- Base Stations & Portable Wireless
- CATV / DBS
- Wireless Local Loop
- Test Equipment

Features

- Low Insertion Loss (2 GHz): 0.5 dB
- Single Positive Supply: $V_{dd} = +5V$
- Integrated 2:4 TTL Decoder
- 16 Lead QSOP Package

Functional Diagram



General Description

The HMC241QS16 is a low-cost non-reflective SP4T switch in a 16-lead QSOP package. Covering DC - 3.5 GHz, this switch offers high isolation and has a low insertion loss of 0.5 dB at 2 GHz. The switch offers a single positive bias and true TTL/CMOS compatibility. A 2:4 decoder is integrated on the switch requiring only 2 control lines and a positive bias to select each path, replacing 8 control lines normally required by GaAs SP4T switches.

Electrical Specifications,

$T_A = +25^\circ C$, For TTL Control and $V_{dd} = +5V$ in a 50 Ohm System

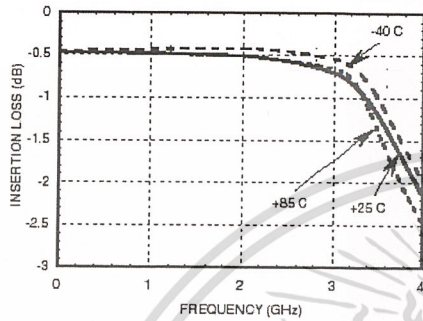
Parameter	Frequency	Min.	Typ.	Max.	Units
Insertion Loss	DC - 1.0 GHz		0.5	0.8	dB
	DC - 2.0 GHz		0.5	0.8	dB
	DC - 2.5 GHz		0.6	0.9	dB
	DC - 3.5 GHz		1.0	1.5	dB
Isolation	DC - 1.0 GHz	40	45		dB
	DC - 2.0 GHz	32	36		dB
	DC - 2.5 GHz	28	32		dB
	DC - 3.5 GHz	23	26		dB
Return Loss	*On State*	DC - 2.5 GHz	17	21	dB
		DC - 3.5 GHz	9	12	dB
Return Loss	RF1-4 *Off State*	0.3 - 3.5 GHz	8	12	dBm
		0.5 - 2.5 GHz	12	16	dBm
Input Power for 1dB Compression	0.3 - 3.5 GHz	22	26		dBm
Input Third Order Intercept (Two-tone Input power = +7dBm Each Tone)	0.3 - 3.5 GHz	40	44		dBm
Switching Characteristics	0.3 - 3.5 GHz				
		tRISE, tFALL (10%/90% RF) tON, tOFF (50% CTL to 10%/90% RF)	40	150	ns

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:
12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373
Visit us at www.hittite.com, or Email at sales@hittite.com

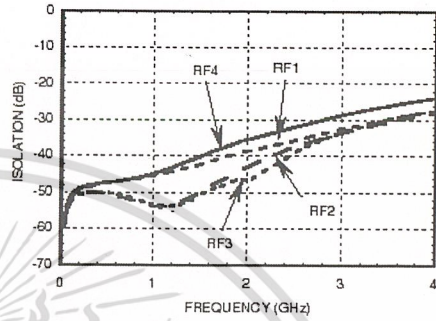
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GaAs MMIC SP4T NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

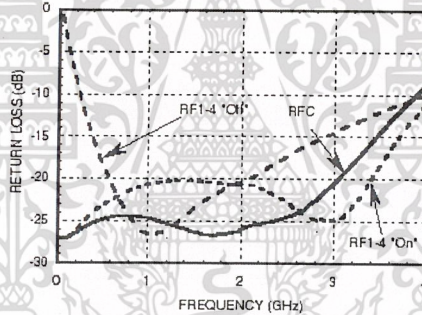
Insertion Loss



Isolation



Return Loss



For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:
12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373
Visit us at www.hittite.com, or Email at sales@hittite.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



v02.0101

HMC241QS16

GaAs MMIC SP4T NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

Truth Table

Control Input		Signal Path State
A	B	RFOOM to:
LOW	LOW	RF1
HIGH	LOW	RF2
LOW	HIGH	RF3
HIGH	HIGH	RF4

NOTE:
 DC Blocking capacitors are required at ports RFO and RF1, 2, 3, 4.

Bias Voltage & Current

Vdd Range = +5.0 Vdc ± 10%		
Vdd (Vdc)	Idd (Typ) (mA)	Idd (Max) (mA)
+5.0	4.0	7.0

TTL/CMOS Control Voltages

State	Bias Condition
Low	0 to +0.8 Vdc @ 50A Typ.
High	+2.0 to +5.0 Vdc @ 70 uA Typ.

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:
 12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373
 Visit us at www.hittite.com, or Email at sales@hittite.com

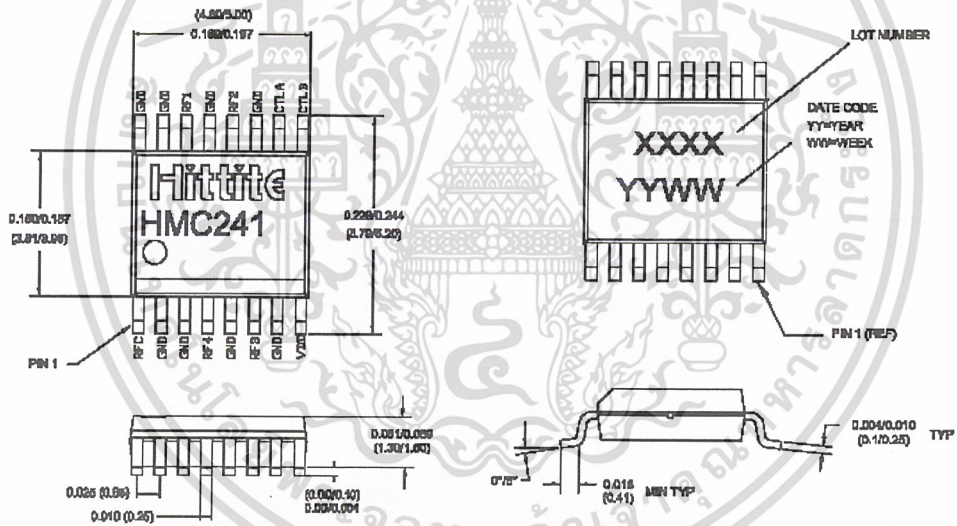
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GaAs MMIC SP4T NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

Absolute Maximum Ratings

Bias Voltage Range (Port Vdd)	+7.0 Vdc
Control Voltage Range (A & B)	-0.5V to Vdd +1 Vdc
Storage Temperature	-65 to +150 deg C
Operating Temperature	-40 to +85 deg C
Maximum Input Power Vdd = +5 Vdc	+20 dBm (0.05-0.5 GHz) +27 dBm (0.5 - 3.5 GHz)

Outline Drawing



- MATERIAL
 - PACKAGE BODY: LOW STRESS INJECTION MOLDED PLASTIC, SILICA & SILICONE IMPREGNATED.
 - LEADFRAME MATERIAL: COPPER ALLOY
- PLATING: LEAD-TIN SOLDER PLATE
- DIMENSIONS ARE IN INCHES (MILLIMETERS) UNLESS OTHERWISE SPECIFIED TOLERANCE ARE ± 0.005 (± 0.13).

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:
 12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373
 Visit us at www.hittite.com, or Email at sales@hittite.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้