สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาออกแบบและสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับมัลติอินพุทและมัลติเอาท์พุต

A study on Design and Fabrication of Microstrip antennas for multi input and multi output

โดย

นาย สุวัฒน์ ละอองอินทร์

นาย อภิรัตน์ อ่อนสนิท

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62720
วัน,เดือน,ปี.....21 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A study on Design and Fabrication of Microstrip antennas for multi input and multi output

BY

Mr. Suwath Laongin

Mr. Apirut Onsanit

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาออกแบบและสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับมัลติอินพุทและมัลติเอาท์พุต
ชื่อนักศึกษา	นายสุวัฒน์ ละอองอินทร์ รหัสนักศึกษา 46015649
	นายอภิรัตน์ อ่อนสนิท รหัสนักศึกษา 46015653
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
	รศ.นิกร สุขุตมตันติ
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.นิกร สุขุตมตันติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาออกแบบและสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับมัลติอินพุทและมัลติเอาท์พุต
ชื่อนักศึกษา	นายสุวัฒน์ ละอองอินทร์ รหัสนักศึกษา 46015649
	นายอภิรัตน์ อ่อนสนิท รหัสนักศึกษา 46015653
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
	รศ.นิกร สุขุตมตันติ
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาวิจัยและออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับสายอากาศแบบมัลติอินพุทและมัลติเอาท์พุต ที่มีรูปแบบลักษณะของแพทช์เป็นแบบสี่เหลี่ยม แบบ อาร์เรย์ โดยทำงานย่านไมโครเวฟ ที่ความถี่ 5.2GHz ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และออกแบบโดยโปรแกรม ซีแลนด์ เพื่อสร้างสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ และทำการวัดวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study on Design and Fabrication of Microstrip antennas for multi input and multi output	
Student	Mr. Suwath Laongin	ID. 46015649
	Mr. Apirut Onsanit	ID. 46015653
Adviser	Mr. Sathaporn Promwong	
	Asst. Prof. Nikorn Sukutamatanti	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2005	

Abstract

This project is study and design of microstrip antennas for multi input and multi output. The design in configurations of the patch form square. Use in frequency Microwave5.2GHz. Make by program ZELAND. Make Micro strip Antennas by PCB. Measurement of characteristic microstrip antennas by Vector Network Analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำแนะนำและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่าง ดีตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ทั้งหมดนี้เกิดขึ้นได้เพราะข้าพเจ้ามีอาจารย์ที่ปรึกษาประกอบด้วย

อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

รศ.นิกร สุขุตมตันติ

รวมถึงได้ให้คำชี้แนะ ความรู้ สถานที่ และอุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งยังคอยตรวจตรางานของข้าพเจ้าเสมอมา

และ ผศ.พิชญ สุพรรณกุล ที่คอยให้คำแนะนำเสมอ สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนใน UWB Radio System Lab ที่คอยเป็นเพื่อนในเวลาทำงานและช่วยกันแก้ไขปัญหาอยู่เสมอ สุดท้ายนี้ที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่งคือ บิดา และมารดาที่เป็นผู้ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจอยู่เสมอมา

นายสุวัฒน์ ละอองอินทร์

นายอภิรัตน์ อ่อนสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 องค์ประกอบหลักของโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่2 ทฤษฎี	4
2.1 ลักษณะโครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)	4
2.2 ลักษณะรูปร่างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ	5
2.3 คุณสมบัติที่พิเศษกว่า Microstrip Antenna ชนิดอื่นๆ มีดังนี้	5
2.3.1 ข้อดีของ Microstrip Antenna	5
2.3.2 ข้อเสียของ Microstrip Antenna	6
2.3.3 การนำไปประยุกต์ใช้งาน	6
2.4 รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีต่างๆ	6
2.4.1 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Line)	6
2.4.2 การป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเชียล (Coaxial Cable)	7
2.5 รูปการแผ่กระจายคลื่นแพทช์ของไมโครสตริป (Radiations Wave)	8
2.6 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก	9
2.7 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	10
2.8 บริเวณต่าง ๆ ของสายอากาศ	11
2.9 บีมวิดธ์ของสายอากาศ	12
2.9.1วิธีหาค่าบีมวิดธ์สายอากาศ	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.10 ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น 13

2.11 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น 14

2.12 การแผ่กระจายกำลังงานจากร่องยาวอนันต์ (Infinite Slit) 15

2.13 สายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ (Microstrip Array) 23

2.13.1 สายอากาศอาร์เรย์แบบ 2 อิลิเมนต์ (Two-element Array) 23

2.13.2 สายอากาศอาร์เรย์แบบ N อิลิเมนต์ (N-element Array) 24

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริป 26

3.1 วิธีการออกแบบสร้างอากาศแบบไมโครสตริป (Design) 26

3.1.1 การคำนวณหาค่าแพทช์ (Patch) 26

3.1.2 วิธีการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปแบบการวางตัวแต่ละอิลิเมนต์ 28

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป 29

3.3 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริป 29

บทที่ 4 การทดลองวัดและผลการทดลอง 30

4.1 การทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศ 31

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 31

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ 31

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ 31

4.2.1 การวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ 31

4.2.2 การทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ 32

4.2.3 การทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) 33

4.2.4 ทดสอบวัดหาค่าเฟสของสายอากาศไมโครสตริป (Phase) 34

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศ 35

4.4 ทดลองวัดทดสอบรูปแบบการส่งผ่านคลื่น (Tranfer Function) 36

4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 36

4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ 36

4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ 36

4.5.1 ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ที่ระยะ1 เมตร 36

4.5.2 ทำการวัดวิเคราะห์ค่าเฟส (phase) การส่งสัญญาณ ที่ระยะ1 เมตร 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.5.3 ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ที่ระยะ2 เมตร 37

4.5.2 ทำการวัดวิเคราะห์ค่าเฟส (phase) การส่งสัญญาณ ที่ระยะ2 เมตร 38

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Fungtion) 39

บทที่ 5 บทสรุป 40

5.1 บทสรุป 40

5.2 วิจารณ์ และแนวทางการพัฒนา 40

5.2.1 ปัญหา 41

5.2.2 แนวทางแก้ไข 41

5.3 แนวทางการพัฒนา 41

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก ข้อมูลการป้อนโคแอกเชียล (Coaxial Cable) และข้อมูลแผ่น Epoxy FR-4

ภาคผนวก ข คำอธิบายความหมายของตัวแปรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย	2
ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป	31
ตารางที่ 4.2 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป	32
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริป	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงแบบโครงสร้างโดยทั่วไปสายอากาศไมโครสตริป 4

รูปที่ 2.2 แบบการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างต่างๆโดยทั่วไป 5

รูปที่ 2.3 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีสายส่งไมโครสตริป 7

รูปที่ 2.4 การป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเชียล 7

รูปที่ 2.5 การแพร่กระจายH-planes P-planes 8

รูปที่ 2.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร 9

รูปที่ 2.7 โลบต่าง ๆ และบีมวิดท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ 10

รูปที่ 2.8 รูปแบบการแพร่กระจายในแบบเลิเนียร์ 11

รูปที่ 2.9 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ 11

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการหาค่าบีมวิดธ์จากแพทเทอร์นสายอากาศ 13

รูปที่ 2.11 การแผ่กระจายกำลังงานจากร่องยาวอนันต์ (Infinite Slit) 16

รูปที่ 2.12 มุมมองด้านข้าง (Side View) ของร่องที่ยาวอนันต์ (Infinite Slit) 16

รูปที่ 2.13 กราฟของ (sinx)/x 17

รูปที่2.14 ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก 18

รูปที่ 2.15 สายอากาศอาร์เรย์แบบ 2 อิลิเมนต์ ที่วางตามแนวแกน Z 24

รูปที่ 2.16สายอากาศอาร์เรย์แบบ N อิลิเมนต์ (N-element array) 25

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณองค์ประกอบของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยม 26

รูปที่ 3.2 ระยะห่างระหว่างแพทช์สายอากาศแบบไมโครสตริป 28

รูปที่ 3.3 สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ทำการสร้างขึ้น 29

รูปที่ 4.1 สายอากาศไมโครสตริปที่ทำการต่อ Network Analyzer ใช้ในการทดลอง 30

รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ที่ได้จากการทดสอบ 32

รูปที่ 4.3 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance) ที่ได้จากการทดสอบ 33

รูปที่ 4.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) ที่ได้จากการทดสอบ 34

รูปที่ 4.5 ทดสอบวัดหาค่าเฟสของสายอากาศไมโครสตริป (Phase) 34

รูปที่ 4.6 ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) 35

รูปที่ 4.7 ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ที่ระยะ1 เมตร 36

รูปที่ 4.8 ผลการวัดค่าเฟส (phase) การส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่ระยะ1 เมตร 37

รูปที่ 4.9 ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ที่ระยะ 2 เมตร 38

รูปที่ 4.10 ผลการวัดค่าเฟส (phase) การส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่ระยะ2 เมตร 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

จากอดีตที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาค้นคว้าและทำการวิจัยต่างๆ เพื่อให้ได้ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆหลายด้านเข้ามาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยเฉพาะด้านกาสื่อสารซึ่งพัฒนาก้าวหน้าอย่างรวดเร็วเปลี่ยนจาโลกอุตสาหกรรมมาเป็นโลกของการสื่อสาร มีการพัฒนาอุปกรณ์ทางการสื่อสารทั้งในด้านรับ ด้านส่งสัญญาณอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ อุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไปจะมีขนาดใหญ่ เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาเรื่องพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ ต้องใช้วัสดุจำนวนมากในการประดิษฐ์อุปกรณ์ ฯลฯ

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่อง Microstrip Array Antenna เพื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์ทางการสื่อสาร ในด้านการรับ-ส่งสัญญาณในระยะใกล้ เช่นในเครื่องมือทางการแพทย์บางอย่างเป็นต้น เพิ่มความสะดวกในการติดตั้ง และมีประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เนื่องจากปัจจุบันมีการสร้างเครื่องรับ-ส่งสัญญาณขึ้นหลายชนิด ที่รู้จักกันทั่วไป คือ Antenna เช่น Wire Antenna , Aperture Antenna , Array Antenna , Refectory Antenna และ Lens Antenna สำหรับโครงการนี้มีเป้าหมายในการที่จะประยุกต์ Microstrip Antenna มาทำเป็น Array แบบ Hansen-Woodyard End Fire Array โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับ Impedance and radiation characteristics ของ Hansen-Woodyard End-Fire Array แล้วนำมาจำลองระบบ ด้วย Program Computer เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น ระหว่าง Dipole Antenna Array กับ Microstrip Antenna Array เพื่อพิจารณาว่า Microstrip Antenna Array.มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานแทน Dipole Antenna Array ในปัจจุบัน

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงงาน

การที่นำเอาแนวคิดทำสายอากาศเป็นการใช้งานในลักษณะแบบไมโครสตริปสำหรับมัลติอินพุทและมัลติเอาท์พุต Microstrip Antennas for multi input and multi output ที่ความถี่ 5.2 GHz นี้ นั่นก็หมายความว่า อุปกรณ์ชิ้นนั้นมันสามารถติดต่อสื่อสารกับเครื่องตัวอื่นในระบบ Network แบบไร้สายได้ โดยอยู่ภายใต้มาตรฐานเทคโนโลยี 802.11 สำหรับเลข 802.11 นั้นก็เป็น เทคโนโลยีมาตรฐานแบบเปิดซึ่งกำหนดโดย Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) โดยเลขหลักตัวหน้าจะเหมือนๆกัน แต่ความแตกต่างของเทคโนโลยีจะกำหนดด้วยตัวอักษรด้านหลัง เช่น 802.11b ,802.11a ,802.11g จากตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 มาตรฐานเครือข่ายไร้

มาตรฐาน	ย่านความถี่	ความเร็ว
IEEE802.11a	5.1 5.2 GHz	54 Mbps
IEEE802.11b	2.4-2.48 GHz	11 Mbps
IEEE802.11g	2.4-2.48 GHz	36-54 Mbps

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

2.1 เพื่อนำไปใช้ส่งสัญญาณในรูปแบบต่างๆในย่านความถี่ Microwave 5.2 GHz

2.2 เพื่อสร้างสายอากาศที่ใช้ในการทดลองอื่นๆได้อีก

2.3 เพื่อนำไปเป็นอุปกรณ์ในการศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปในรูปแบบต่างๆในย่านความถี่ Microwave 5.2 GHz

1.3.1 ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยวิธีการจำลองโดยโปรแกรม ZELAND

1.3.3 ทำการจัดหาอุปกรณ์ตามท้องตลาดเพื่อในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1.4 องค์ประกอบหลักของโครงงาน

1.4.1 เพื่อได้สายส่งสัญญาณในรูปแบบต่างๆในย่านความถี่ Microwave 5.2 GHz

1.4.2 เพื่อได้สร้างสายอากาศที่ใช้ในการทดลองอื่นๆได้อีก

1.4.3 เพื่อได้อุปกรณ์ในการศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1ทำการคำนวณสายอากาศที่มีค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปในรูปแบบต่างๆในย่านความถี่ Microwave 5.2 GHz

1.5.2ทำการวิเคราะห์สายอากาศที่ทำการออกแบบตามที่ได้คำนวณมาโดยโปรแกรม ZELAND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 ทำการจัดหาอุปกรณ์ตามท้องตลาดเพื่อในการสร้างสายอากาศไมโครสตริปที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้วออกแบบไว้

1.5.4 ทำการสร้างสายอากาศที่ทำการออกแบบและใช้อุปกรณ์ที่ได้จัดเตรียมไว้

1.5.5 ทำการวัดและทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นมาว่าสามารถใช้งานได้จริง

1.5.6 ทำการวัดเพื่อวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์การส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎี

สายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

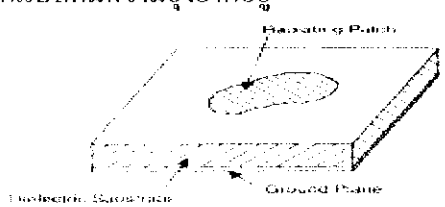
การคิดค้นในการใช้สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นได้ถูกนำมาเสนอ โดย Deschamps ในปี ค.ศ. 1953 ซึ่งเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก และหลังจากนั้น 20 ปี ต่อมาสายอากาศไมโครสตริป จึงถูกนำมาสร้างขึ้นมาทดลองใช้อย่างเป็นจริงจังเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย Howell , Munson โดยมีการพัฒนาแบบจำลองภาคทฤษฎี และเทคนิค photo-etch ·v ของฐานรองเป็น copper หรือ gold-clad ให้มีคุณสมบัติทางอุณหฤมิ และทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้น โดยมีค่า loss-tangent ที่ต่ำ ซึ่งหลังจากนั้นก็มีการศึกษาวิจัย และ พัฒนากันมากมาย และจึงนำมาสู่การพัฒนาเพื่อจะนำไปประยุคใช้งานที่แตกต่างกันจนถึงปัจจุบันนี้

2.1 ลักษณะโครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

ส่วนประกอบโครงสร้างหลักของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบอยู่ 4 ส่วนหลักๆคือ

1. แผ่นโลหะตัวนำที่บางมากเรียกว่าแพทช์ (Patch)
2. สารซับสเตรทไดอิเล็กตริก
3. กราวด์ซึ่งกว้างกว่า แพทช์มาก
4. สายป้อนสัญญาณ (Feeder) ซึ่งเป็นตัวป้อนกำลังให้กับเอลเลเมนท์

สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่าแพทช์ (Patch) ซึ่งเป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบาง (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าเป็นซับสเตรท (Substrate) ของสารไดอิเล็กตริก ไมโครสตริปได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้งานเนื่องจากมีลักษณะแบนราบไม่ต้านลมและสามารถติดกับผิวของยานพาหนะได้ นอกจากนี้ยังมีข้อดีในแง่ที่ราคาถูก น้ำหนักเบา และมีความสะดวกในการสร้างและการติดตั้ง แต่ขณะเดียวกันการออกแบบก็มีความยุ่งยากอยู่

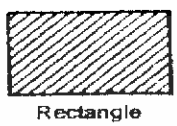


รูปที่ 2.1 แสดงแบบโครงสร้างโดยทั่วไปสายอากาศไมโครสตริป

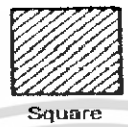
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะรูปร่างของแผ่นสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ

รูปแบบการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่นำมาเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์และนำมาประยุคใช้งานโดยทั่วไปจะมีรูปร่างต่างๆดังนี้



รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก



รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

รูปร่างเป็นห้าเหลี่ยม

รูปร่างเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก

รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมด้นขนาน

รูปร่างเป็นสามเหลี่ยม

รูปร่างเป็นวงแหวน

รูปร่างเป็นแผ่นกลม

รูปร่างเป็นแผ่นวงรี

รูปที่ 2.2 แบบการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปร่างต่างๆโดยทั่วไป

2.3 คุณสมบัติที่พิเศษกว่า Microstrip Antenna ชนิดอื่นๆ มีดังนี้

2.3.1 ข้อดีของ Microstrip antenna

- น้ำหนักเบา
- ขนาดเล็ก
- สามารถนำมาดัดแปลงรูปร่างให้สมดุลได้
- ราคาถูก
- การผลิตง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถทำให้บางได้
-ไม่มีเสียงรบกวนจากเครื่องบินหรือยวดยานต่างๆ
- สามารถดัดแปลงใช้ในการนำวิถีจรวดหรือดาวเทียมได้
- มีค่า scattering cross section ต่ำ
- แพร่กระจายคลื่นได้ทั้งแบบเส้นตรงและวงกลม
- สามารถรวมกับความถี่อื่นๆได้

2.3.2 ข้อเสียของ Microstrip antenna

- มีการจำกัดสัญญาณในการใช้งาน (Narrow bandwidth)
- มี loss มากซึ่งส่งผลให้ได้ gain ต่ำ
- กำลังส่งสัญญาณมีค่าความจุต่ำ Low power handling capability

2.3.3 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

ในทางปฏิบัติ ได้มีการนำสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปไปออกแบบใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริปมีมากกว่าข้อเสีย ในการนำสายอากาศไมโครสตริปไปประยุกต์ใช้งาน เช่น

การสื่อสารทางดาวเทียม
ดอปเปเลอร์ และเรดาร์อื่นๆ
การติดต่อทางวิทยุสื่อสาร
การสั่งงานและการควบคุม
การวัดสภาพแวดล้อมและการส่งสัญญาณระยะไกล
องค์ประกอบส่วนป้อนของสายอากาศที่มีโครงสร้างซับซ้อน
ตัวรับที่ใช้ในการเดินเรือ
ตัวกระจายคลื่นทางการแพทย์

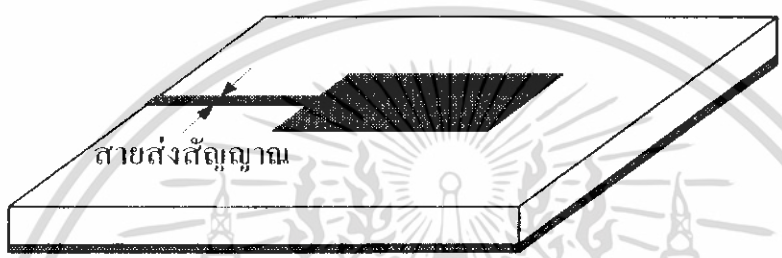
2.4 รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปด้วยวิธีต่างๆ

2.4.1 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Line)

การป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับสายอากาศไมโครสตริป เป็นการป้อนกำลังงานไฟฟ้าไปยังขอบตัวนำของสายอากาศด้านบนโดยพื้นกราวด์เป็นกราวด์ร่วมกันกับตัวสายอากาศ และสำหรับสายส่งไมโครสตริปนี้จะต้องคำนึงถึงการแมทช์อิมพิแดนซ์ ระหว่างสายป้อนสัญญาณกับด้านสายอากาศไมโครสตริป การป้อนสัญญาณที่แนวศูนย์กลางของสายอากาศ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการป้อนสัญญาณ ก็คือการใช้แผ่นไมโครสตริป และสายส่งไมโครสตริปต่อกับตัวกลางโดยตรง แต่วิธีนี้จะได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติไม่ค่อยดีนักเพราะโครงสร้างของสายอากาศและสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

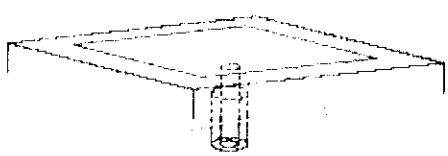
ไมโครสตริปจะไม่สอดคล้องกันกล่าวคือ สายอากาศนี้จะส่งคลื่นได้ไม่ดีนัก เนื่องจากมีผิวโลหะที่ไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้ระดับของคลื่นในทิศทางด้านข้างทิศทางหลัก (Side Lobe Level) มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะไปลดคุณภาพของสายอากาศ นอกจากนี้ ช่วงความถี่ที่ใช้งานจะกว้างขึ้นด้วย เนื่องจากมีพลังงานจำนวนมากสะสมอยู่ ภายใต้แผ่นตัวนำ (Cavity Effect) แต่สายส่งชนิดนี้สามารถปรับแมทชิ่งในตัวเองได้และยังสามารถสร้างได้ง่ายโดยทำการสร้างไปพร้อมกับแผ่นตัวนำที่ใช้ในการส่งคลื่นได้เลย ที่แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การป้อนสัญญาณด้วยวิธีสายส่งไมโครสตริป

2.4.2 การป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเชียล (Coaxial Cable)

เป็นการป้อนกำลังงานโดยการเจาะทะลุจากกราวด์ทางด้านล่างต่อตัวนำด้านในของสายส่งเข้ากับตัวสายอากาศ และตัวนำจะเชื่อมต่อเข้ากับแผ่นกราวด์ การป้อนกำลังงานจะทำการป้อนโดยที่จะต้องคำนึงว่าจุดที่เราป้อนเข้าไปนั้นว่า แมทช์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายป้อนสัญญาณกับสายอากาศไมโครสตริปหรือไม่ ในการใช้สายเคเบิลแกนร่วมเป็นตัวป้อนสัญญาณจะต้องต่อสายนำสัญญาณให้ตั้งฉากกับแผ่นตัวนำโดยตัวนำด้านในจะต่ออยู่กับตัวนำด้านบนและตัวนำด้านนอกจะต่ออยู่กับแผ่นระนาบตัวนำ ซึ่งจากการศึกษาจะพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า (สัญญาณ) ผ่านเข้าไปยังสายอากาศ สายอากาศจะมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นปริมาณน้อยมาก เมื่อใช้ตัวกลางที่มีขนาดบางแต่จะมีการแพร่กระจายคลื่นมากขึ้นถ้าต่อกับตัวกลางที่หนาขึ้น นอกจากนี้สายสัญญาณแกนคู่ยังสามารถต่อกับสายนำสัญญาณชนิดอื่นได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.4

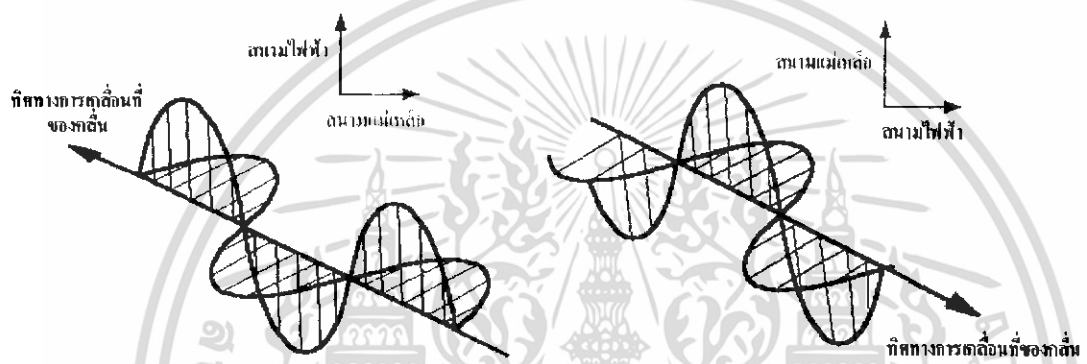


รูปที่ 2.4 การป้อนสัญญาณด้วยโคแอกเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 รูปการแผ่กระจายคลื่นแพทช์ของไมโครสตริป (Radiations wave)

เพื่อความเข้าใจในแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดแพทช์ของไมโครสตริป ที่เกิดขึ้นระหว่างแพทช์ของไมโครสตริปนี้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจึงมีลำคลื่นหลักที่มีค่าสูงสุดในทิศทางตามแนวแกนYรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศที่มีลักษณะเป็นช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมของท่อนำคลื่น (Rectangular Aperture) ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (E-planes and H-planes)



รูปที่ 2.5 การแพร่กระจายH-planes P-planes

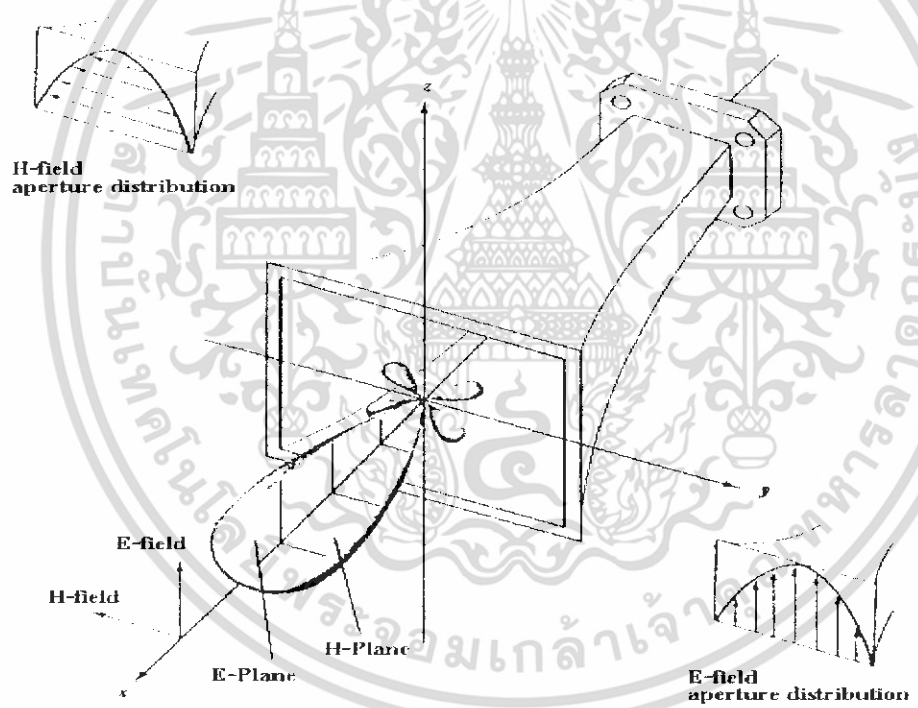
สายอากาศไดโพล (Dipole) คือ ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศเส้นลวด ที่มีการแผ่กระจายกำลังงานจากองค์ประกอบกระแสไฟฟ้า ส่วนสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่แตกต่างจากหลักการของสายอากาศแบบเส้นลวด ก็คือสายอากาศแบบช่องเปิด (Aperture Antenna) สายอากาศชนิดนี้จะมีช่องเปิดเพื่อให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุผ่านออกไปได้ ซึ่งท่อนำคลื่นปลายเปิด คือ ตัวอย่างแบบง่ายที่สุดของสายอากาศลักษณะนี้ ลักษณะรูปแบบของการกระจายพลังงานของคลื่น หรือที่เรียกกันเป็นศัพท์เฉพาะว่า "แพทเนอร์การกระจายคลื่น" ของสายอากาศไว้ก่อน ทิศทางที่สายอากาศจะแผ่ออกกระจายคลื่นออกไปนั้น อาจจะพุ่งขึ้นไปในท้องฟ้า หรือพุ่งไปในทิศทางต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศนั้น คุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งอย่างหนึ่งของสายอากาศก็คือ แพทเนอร์แสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้กระจายออกไปจากสายอากาศในทิศทางต่าง ๆ ตามธรรมชาติแล้วแพทเนอร์นี้จะมีลักษณะกระจายไปในทั้ง 3 มิติ แต่การเขียนรูปแสดงแพทเนอร์การกระจายคลื่นในลักษณะ 3 มิตินั้นทำได้ลำบาก ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วการเขียนรูปแสดงแพทเนอร์การกระจายคลื่นของสายอากาศจึงนิยมแบ่งเขียนกันอยู่ในสองระนาบเท่านั้น คือการเขียนรูปแสดงแพทเนอร์การกระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบแนวนอน และแนวตั้ง การเขียนรูปแสดงแพทเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายคลื่นของสายอากาศในแนวนอนมีชื่อว่า โพลาร์ หรือ อะซิมุธไดอะแกรม (Polar or Azimuth diagram)สำหรับสายอากาศไดโพลนั้นจะมีแพทเนอร์การกระจายคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.5

2.6 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก

สำหรับสายอากาศลิเนียร์ลิโพลาไรเซชัน(Lincarly Polarized Antenna) จะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของรูปแบบการแพร่กระจายหลัก (Principle Pattern) สนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็ก H แพทเนอร์ในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวคเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุดส่วนรูปแบบการแพร่กระจายในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวคเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด



รูปที่ 2.6 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

รูปที่ 2.6 เป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายหลัก โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน; $\phi = 0$) เป็นระนาบ E หลัก และ มีระนาบ XY (ระนาบ อาซิมุธ, $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบ H หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

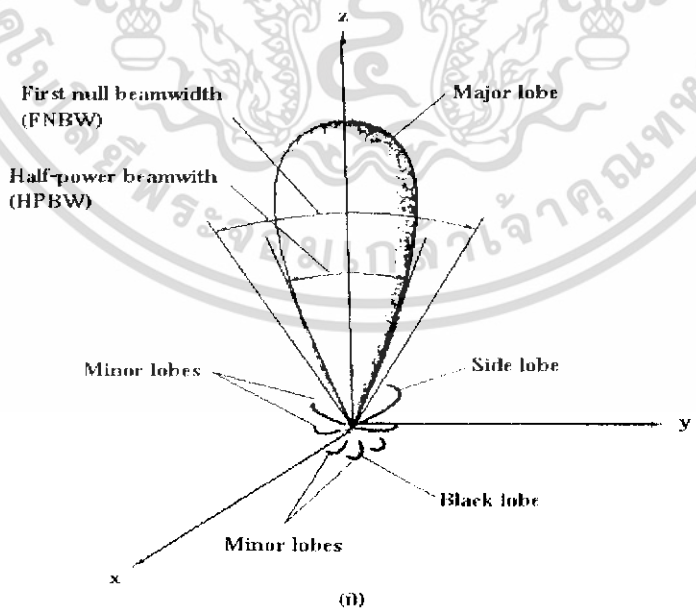
โลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณโดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มข้นของการแพร่กระจายคลื่นต่ำรูปที่2.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโลบแบบต่างๆ ดังนี้

โลบหลัก (Major หรือ Main Lobe) เป็นโลบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 2.7 มีโลบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบ เช่น สายอากาศแบบแยกบีม (Split-beam Antenna)

โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ โลบอื่น ๆ นอกเหนือไปจากโลบหลัก

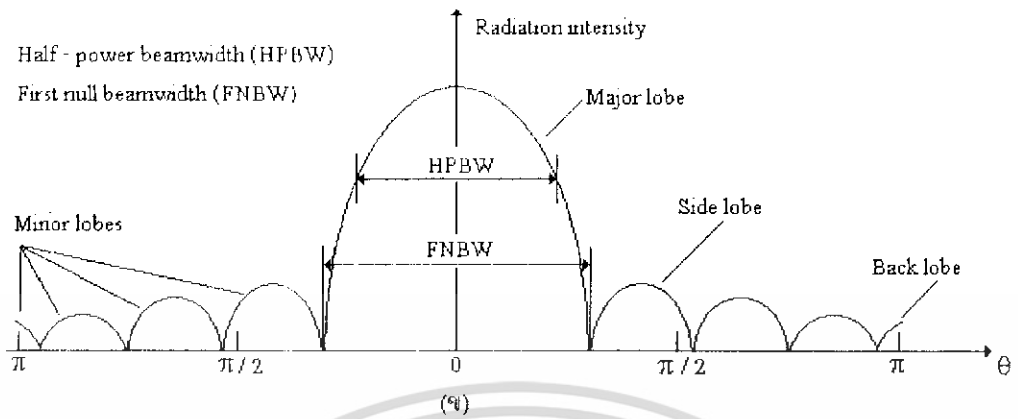
โลบข้าง หรือไซด์โลบ (Side Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ติดกับโลบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบหลัก

โลบหลัง (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลักปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการดังนั้นสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดระดับของโลบย่อยมักแสดงด้วยอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลักซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB



รูปที่ 2.7 โลบต่าง ๆ และบีมวิดท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ

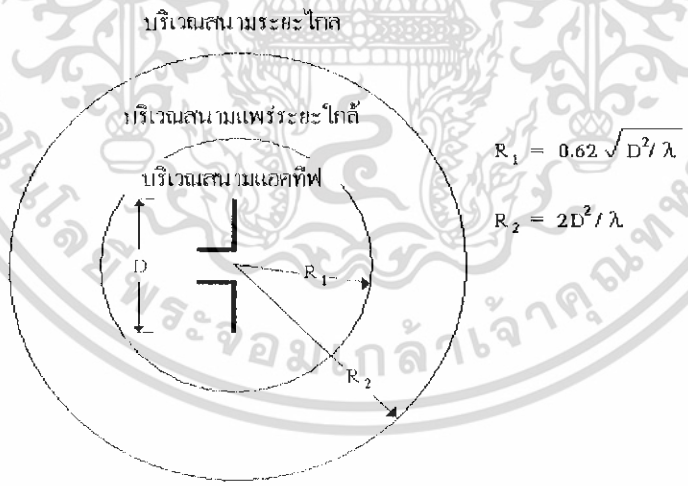
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์

2.8 บริเวณต่าง ๆ ของสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอคทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far-Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.9 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอคทีฟเป็นส่วนใหญ่บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62 \sqrt{D^3/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศเมื่อ λ เป็นความยาวคลื่นและ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอคทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นสนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีระยะทาง$2D^2 / \lambda > R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ บริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง $R > 2D^2 / \lambda$ จากสายอากาศในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า $R = 2D^2 / \lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.9 บีมวิดธ์ของสายอากาศ

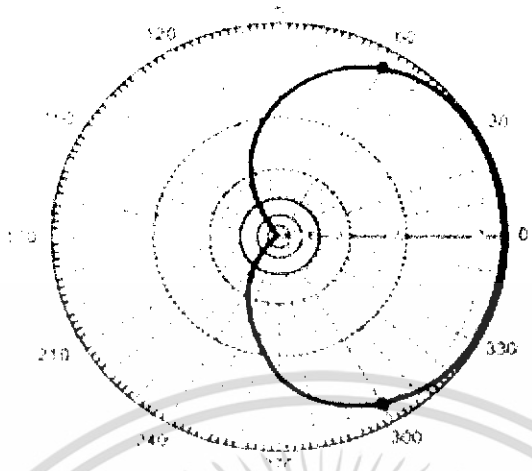
ค่าบีมวิดธ์(Beamwidth)ของสายอากาศเป็นการบอกมุมที่รับส่งสัญญาณได้ดีที่สุดของสายอากาศนั้นๆ หาดูได้จาก Product Specification ของผู้ผลิตสายอากาศนั้นๆมักถูกแบ่งเป็นสองแนวคือบีมวิดธ์แนวตั้ง (Vertical Beamwidth) และ บีมวิดธ์แนวนอน (Horizontal Beamwidth) ก็หมายถึงมุมที่รับส่งสัญญาณได้ดีที่สุด เมื่อวางสายอากาศนั้นๆ การที่เรามีบีมวิดธ์ กว้างๆนั้นเราจะส่งสัญญาณได้ใกล้ เช่น สายอากาศแบบรอบตัวมักจะบีมวิดธ์ 360 องศา นั่นหมายถึงคุณสามารถรับส่งสัญญาณได้ดีที่สุด ได้ในทุกๆทิศทาง แต่ระยะรับส่งจะใกล้ เพียงไม่กี่ร้อยเมตรเท่านั้น หรือสายอากาศแบบทิศทางที่มีบีมวิดธ์ที่แคบมากๆคุณสามารถมีระยะรับส่งที่ไกลถึงไกลมากๆประมาณหลายสิบกิโลเมตรแต่มุมของสายอากาศหรือบีมวิดธ์ นั้นแคบมากๆ การใช้งานจะต้องปรับมุมของสายอากาศให้ตรงกับมุมบีมวิดธ์จริงๆถึงสามารถรับส่งสัญญาณได้ดังนั้นการเลือกสายอากาศควรจะพิจารณาค่าบีมวิดธ์ ด้วย

2.9.1วิธีหาค่าบีมวิดธ์สายอากาศ

วิธีการหาค่าสายอากาศแบบง่าย

1. เตรียม Pattern ของแนวที่เราจะจัดวาง
2. จาก Pattern ลดกำลังส่งลง 3 dB หรือครึ่งหนึ่งของกำลังส่ง
3. หาจุดที่ Pattern ที่ตัดกับเส้นที่ถูกลดลง 3 dB
4. ลากเส้นจากจุดศูนย์กลางตัดกับจุดที่ตัดกับเส้นที่ถูกลดลง 3 dB แค่นี้ก็ได้ค่าบีมวิดธ์ แล้วครับ แต่จริงๆแล้วผู้ผลิตสายอากาศจะบอกค่าบีมวิดธ์ มาอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการหาค่าบีมวิดธ์จากแพทเทอร์นสายอากาศ

จากรูปเส้นบางคือเส้นรัศมีเมื่อลดกำลังส่งลง 3 dB จุดสีดำคือจุดตัดเส้นประคือมุมของ บีมวิดธ์ สรุปแล้ว Pattern สายอากาศตัวนี้มีค่าบีมวิดธ์ 120 องศา

2.10 ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใช้ในการส่งผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังไฟฟ้าโดยใช้ตัวความสัมพันดังกล่าวได้แก่พอยติงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Instantaneous Pointing Vector) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$W = \xi \times \mathcal{H} \qquad (2.1)$$

เมื่อ

W = พอยติงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (W / m^2)

ξ = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วเวลาขณะนั้น (V / m)

$\mathcal{H}$ = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น (A / m)

เนื่องจากพอยติงเวคเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงานดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดๆสามารถหาได้โดยอินทิเกรทส่วนของพอยติงเวคเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมดซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการจะได้

เมื่อ $\mathcal{P}$ = กำลังงานทั้งหมดชั่วขณะเวลานั้น (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

da = พื้นที่จำนวนพื้นที่ปิด (m^2)

$$\mathcal{P} = \oiint_S W \cdot \overline{ds} = \oiint_S W \cdot \bar{n} da \tag{2.3}$$

ในกรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้โดยการอินทิเกรทค่าพอยติงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้นตลอด 1 คาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้นสำหรับสนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิคในรูป $e^{j\omega t}$ เมื่อกำหนดสนาม $\bar{E}$ และ $\bar{H}$ เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อนแล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า ξ และ $\mathcal{H}$ ชั่วขณะเวลาใด ๆ ได้จาก

$$\xi(x, y, z; t) = \mathrm{Re}\,[\bar{E}(x, y, z)\, e^{j\omega t}] \tag{2.3}$$

$$\mathcal{H}(x, y, z; t) = \mathrm{Re}\,[\bar{H}(x, y, z) e^{j\omega t}] \tag{2.4}$$

จาก (2.3), (2.4) และโดยอาศัย $\mathrm{Re}\,[E e^{j\omega t}] = \frac{1}{2}[E e^{j\omega t} + E^* e^{j\omega t}]$ สมการ (2.1) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$W = \xi \times \mathcal{H} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\,[\bar{E} \times \bar{H}^*] + \frac{1}{2}\mathrm{Re}\,[\bar{E} \times \bar{H}\, e^{j2\omega t}] \tag{2.5}$$

เทอมแรกของ (2.5) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยติงเวคเตอร์จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

$$W_{av}(x, y, z) = [W(x, y, z; t)]_{AV} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\,[\bar{E} \times \bar{H}^*] \quad (W/m^2) \tag{2.6}$$

ตัวประกอบ ½ ใน (2.5) และ (2.6) เกิดขึ้นเพราะสนาม E และ H เป็นค่าสูงสุดไม่ใช่ค่า จาก rms (2.6) กำลังเฉลี่ยที่แพร่กระจายจากสายอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$P_{rad} = P_{av} = \oiint_S \overline{W}rad \cdot \overline{ds} = \frac{1}{2}\iint_S \mathrm{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \cdot \overline{ds} \tag{2.7}$$

2.11 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่ออกจากสายอากาศต่อมุมตัน(Solid Angle) ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น ผลจากการยกกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{rad} \tag{2.8}$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m^2)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้คือ

$$U(\theta,\phi) = \frac{1}{2\eta}\left[\left|E_\theta(\theta,\phi)\right|^2 + \left|E_\phi(\theta,\phi)\right|^2\right] \tag{2.9}$$

เมื่อ $\bar{E}$ = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

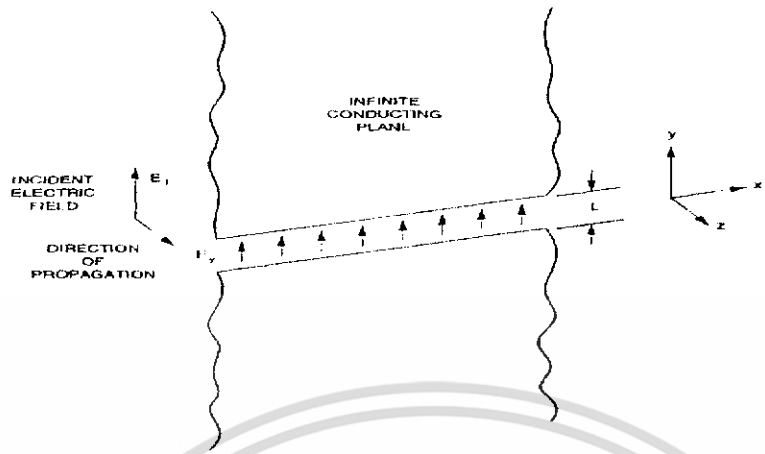
ดังนั้นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังทั้งหมดนี้หาได้โดยอินทิเกรทความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (2.8) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \oint\!\!\int_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} U \sin\theta d\theta d\phi \tag{2.10}$$

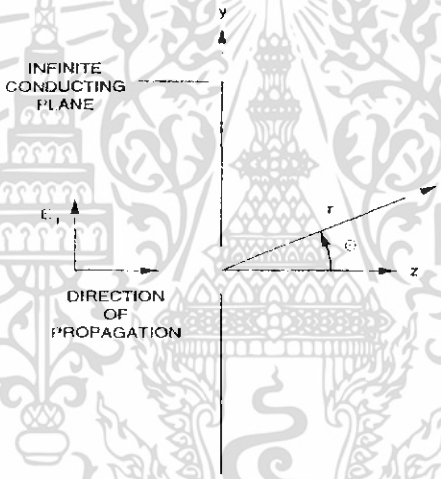
2.12 การแผ่กระจายกำลังงานจากร่องยาวอนันต์ (Infinite Slit)

จากรูปที่ 2.9 แสดงระนาบของคลื่นซึ่งเกิดขึ้นบนช่องในระนาบของตัวนำ โดยที่ช่องจะมีความยาวเป็นอนันต์ในทิศทางของแกน X ความกว้าง l. ในทิศทางของแกน Y จะแคบมาก ส่วนระนาบของคลื่นจะเดินทางในทิศทางตามแกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การแผ่กระจายกำลังงานจากร่องยาวอนันต์ (Infinite Slit)



รูปที่ 2.12 มุมมองด้านข้าง (Side View) ของร่องที่ยาวอนันต์ (Infinite Slit)

การแผ่กระจายของสนามในทิศทางของแกน Y กำหนดได้โดย

$$E_y = E_0 e^{-j\beta z} \tag{2.11}$$

เมื่อ E_y คือ สนามในทิศทางของแกน Y

E_0 คือ ค่าสูงสุดของ E_y

β คือ ค่าคงที่ของการเดินทางของคลื่น (Propagation Constant) มีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$

การแผ่กระจายของสนามในทิศทางของ θ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_\theta = j\beta \frac{e^{-j\beta r}}{2\pi r} E_0 L \frac{\sin[(\beta L/2)\sin\theta]}{(\beta L/2)\sin\theta} \tag{2.12}$$

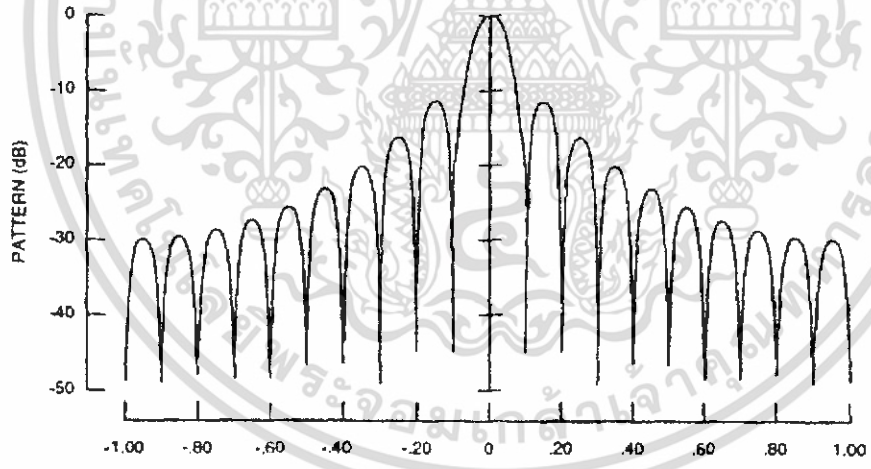
เมื่อ θ คือ มุมที่แสดงในรูปที่ 2.2

R คือ ระยะทางจากร่อง (Slit)

ส่วนที่ 2 ของสมการ (2.12) คือส่วนที่เราต้องสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Radiation Pattern): $F(\theta)$

$$F(\theta) = \frac{\sin[(\beta L/2)\sin\theta]}{(\beta L/2)\sin\theta} \tag{2.13}$$

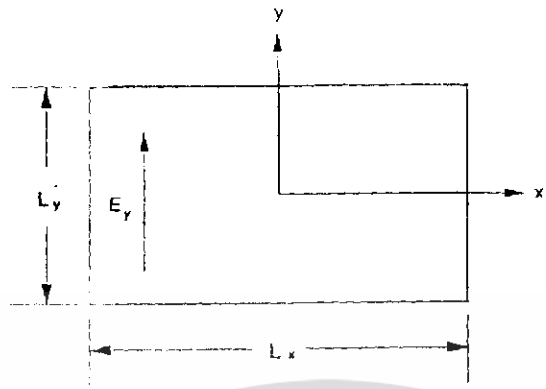
จากสมการ $(\sin x)/x$ มีรูปแบบในรูปของกราฟในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.13 กราฟของ $(\sin x)/x$

การแผ่กระจายกำลังงานจากช่องแบบสี่เหลี่ยมมุมฉากสม่ำเสมอ (Uniform Rectangular Aperture) พิจารณาท่อนำคลื่นเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศแบบช่องเปิด (Aperture Antenna) โดยมีภาพตัดขวางแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62720



รูปที่2.14 ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

สนามในระนาบสนามไฟฟ้า จะหาได้จากสมการ

$$E_\theta = j\beta \frac{e^{-j\beta r}}{2\pi r} E_0 L_x L_y \frac{\sin[(\beta L_y/2)\sin\theta]}{(\beta L_y/2)\sin\theta} \tag{2.14}$$

ซึ่งจะให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ ดังสมการ

$$F_E(\theta) = \frac{\sin[(\beta L_y/2)\sin\theta]}{(\beta L_y/2)\sin\theta} \tag{2.15}$$

ส่วนสนามในระนาบสนามแม่เหล็ก จะหาได้จากสมการ

$$E_\phi = j\beta \frac{e^{j\beta r}}{2\pi r} E_0 L_x L_y \frac{\sin[(\beta L_x/2)\sin\theta}{(\beta L_x/2)\sin\theta} \tag{2.16}$$

ซึ่งจะให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ ดังสมการ

$$F_H(\theta) = \cos\frac{\sin[(\beta L_x/2)\sin\theta}{(\beta L_x/2)\sin\theta} \tag{2.17}$$

สมการที่แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ทั้งสองสมการ จะอยู่ในรูปของ $(\sin x)/x$ ดังนั้นผลรวมของสมการแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ ก็คือ ผลรวมของ $(\sin x)/x$ ในระนาบสนามไฟฟ้า และ $(\sin x)/x$ ในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในการอธิบายพารามิเตอร์ของสายอากาศสัญลักษณ์และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้อธิบายคุณสมบัติ มีดังต่อไปนี้

P_o คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศตัวส่ง (หน่วยเป็น วัตต์)

P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกไปโดยสายอากาศตัวส่ง (หน่วยเป็น วัตต์)

η คือ ประสิทธิภาพการแผ่กระจายกำลังงาน $\eta = P_{rad}/P_o$ (ไม่มีหน่วย)

Φ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Intensity) (หน่วยเป็น วัตต์ต่อสเตอร์เรเดียน)

สเตอร์เรเดียน (Steradian; sr) คือ หน่วยของมุมตัน (Solid Angle) ซึ่งทรงกลมหนึ่งๆจะมีค่า 4π สเตอร์เรเดียน ดังนั้นเราสามารถกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานได้เป็น

$$\phi_{avg} = \frac{P_{rad}}{4\pi} \text{ (W/sr)} \tag{2.18}$$

D คือค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) (ไม่มีหน่วย)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ ค่าความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดในทิศทางที่กำหนดโดยเทียบกับความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานเฉลี่ย (Average Radiation Intensity) ของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Antenna)

$$D = \frac{\phi_{\max}}{\phi_{avg}} = \frac{\phi_{\max}}{P_{rad}/4\pi} \tag{2.19}$$

G คือ อัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain) หรือ อัตราขยายเจาะจงทิศทาง (Directive Gain) (ไม่มีหน่วย)

สำหรับสายอากาศแบบไม่มีการสูญเสีย ค่าอัตราขยายของสายอากาศหรืออัตราขยายเจาะจงทิศทางจะมีค่าเท่ากับค่าสภาพเจาะจงทิศทาง อย่างไรก็ตามสำหรับสายอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้อยกว่า 1 (100%) จะมีค่าอัตราขยายแตกต่างกัน นั่นคือ

$$G = \eta D \tag{2.20}$$

คือ มุมตันของลำคลื่นของสายอากาศ (Antenna Beam Solid Angle) (หน่วยเป็นสเตอเรเดียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสอดคล้องกันกับมุมตัน (Solid Angle) จะนำมาใช้ในการหาค่ากำลังงานที่แผ่กระจายออกมาทั้งหมด (P_{rad}) ที่ระดับความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุด f_{max}

$$P_{rad} = \Omega_a \phi_{\max} \tag{2.21}$$

จะได้สมการสำหรับหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางอีกสมการหนึ่ง คือ

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_a} \tag{2.22}$$

A_e คือ พื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) หรือ ช่องเปิดประสิทธิผล (Effective Aperture) (หน่วยเป็นตารางเมตร)

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \tag{2.23}$$

นามในระนาบสนามไฟฟ้า จะหาได้จากสมการ

$$E_\theta = j\beta \frac{e^{-j\beta r}}{2\pi r} E_0 L_x L_y \frac{\sin[(\beta L_y/2)\sin\theta]}{(\beta L_y/2)\sin\theta} \tag{2.24}$$

ซึ่งจะให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ ดังสมการ

$$F_E(\theta) = \frac{\sin[(\beta L_y/2)\sin\theta]}{(\beta L_y/2)\sin\theta} \tag{2.25}$$

ส่วนสนามในระนาบสนามแม่เหล็ก จะหาได้จากสมการ

$$E_\phi = j\beta \frac{e^{-j\beta r}}{2\pi r} E_0 L_x L_y \frac{\sin[(\beta L_x/2)\sin\theta}{(\beta L_x/2)\sin\theta} \tag{2.26}$$

ซึ่งจะให้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ ดังสมการ

$$F_H(\theta) = \cos\frac{\sin[(\beta L_x/2)\sin\theta}{(\beta L_x/2)\sin\theta} \tag{2.27}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ทั้งสองสมการ จะอยู่ในรูปของ $(\sin x)/x$ ดังนั้นผลรวมของสมการแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนอร์แมลไลซ์ ก็คือ ผลรวมของ $(\sin x)/x$ ในระนาบสนามไฟฟ้า และ $(\sin x)/x$ ในระนาบสนามแม่เหล็ก

ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในการอธิบายพารามิเตอร์ของสายอากาศ สัญลักษณ์และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้อธิบายคุณสมบัติ มีดังต่อไปนี้

P_o คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศตัวส่ง (หน่วยเป็น วัตต์)

P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกไปโดยสายอากาศตัวส่ง (หน่วยเป็น วัตต์)

η คือ ประสิทธิภาพการแผ่กระจายกำลังงาน $\eta = P_{rad}/P_o$ (ไม่มีหน่วย)

สายอากาศส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Efficiency) จะมีค่าใกล้เคียง 1 หรือ 100% อย่างไรก็ตามสำหรับสายอากาศบางชนิดเช่น สายอากาศแบบเส้นลวดสั้น (Short-Wire) ตัวอย่างเช่น สายอากาศไดโพลอุดมคติ ที่ได้อธิบายไปแล้วในแบบฝึกหัด 1-1 จะมีประสิทธิภาพการแผ่กระจายกำลังงานค่อนข้างต่ำ

Φ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Intensity) (หน่วยเป็น วัตต์ต่อสเตอร์เรเดียน)

สเตอร์เรเดียน (Steradian; sr) คือ หน่วยของมุมตัน (Solid Angle) ซึ่งทรงกลมหนึ่งๆจะมีค่า 4π สเตอร์เรเดียน ดังนั้นเราสามารถกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานได้เป็น

$$\phi_{avg} = \frac{P_{rad}}{4\pi} \text{ (W/sr)} \tag{2.28}$$

D คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) (ไม่มีหน่วย)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ ค่าความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดในทิศทางที่กำหนดโดยเทียบกับความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานเฉลี่ย (Average Radiation Intensity) ของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Antenna)

$$D = \frac{\phi_{\max}}{\phi_{avg}} = \frac{\phi_{\max}}{P_{rad}/4\pi} \tag{2.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G คือ อัตราขยายของสายอากาศ (AntennaGain) หรือ อัตราขยายเจาะจงทิศทาง (Directive Gain)(ไม่มีหน่วย)

สำหรับสายอากาศแบบไม่มีการสูญเสีย ค่าอัตราขยายของสายอากาศหรืออัตราขยายเจาะจงทิศทางจะมีค่าเท่ากับค่าสภาพเจาะจงทิศทาง อย่างไรก็ตามสำหรับสายอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้อยกว่า 1 (100%) จะมีค่าอัตราขยายแตกต่างกันคือ

$$G = \eta D \tag{2.30}$$

Ω_a คือ มุมตันของลำคลื่นของสายอากาศ (Antenna Beam Solid Angle) (หน่วยเป็นสเตอเรเดียน)

Ω_a จะสอดคล้องกันกับมุมตัน (Solid Angle) จะนำมาใช้ในการหาค่ากำลังงานที่แผ่กระจายออกมาทั้งหมด (P_{rad}) ที่ระดับความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุด f_{max}

$$P_{rad} = \Omega_a \phi_{\max} \tag{2.31}$$

จะได้สมการสำหรับหาค่าสภาพเจาะจงทิศทางอีกสมการหนึ่ง คือ

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_a} \tag{2.32}$$

A_e คือ พื้นที่ประสิทธิผล (Effective Area) หรือ ช่องเปิดประสิทธิผล (Effective Aperture) (หน่วยเป็นตารางเมตร)

ค่าพื้นที่ประสิทธิผลจะเป็นไปตามขนาดพื้นที่การดูดกลืนคลื่น ซึ่งแสดงโดยตัวสายอากาศเมื่อชั้นคลื่นเข้ามาตกกระทบตัวมัน ในกรณีของสายอากาศแบบช่องเปิดนั้น จะมีค่า A_e เท่ากันหรือน้อยกว่าพื้นที่ของช่องเปิดทางกายภาพ (Physical Aperture) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายกับความยาวคลื่น (λ และ A_e อยู่ในหน่วยที่เหมือนกัน) จะเท่ากับ

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_e \tag{2.33}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

η_{ap} คือ อัตราส่วนระหว่างค่าพื้นที่ประสิทธิผล A_e และค่าพื้นที่ทางกายภาพของช่องเปิดของสายอากาศแบบช่องเปิด ซึ่งโดยทั่วไปจะประมาณการไว้ที่ค่า 50% ของ A_e ซึ่งเป็นค่าประมาณสำหรับคิดค่าประสิทธิภาพของช่องเปิด

$$\eta_{ap} = \frac{A_e}{A_p} \tag{2.34}$$

เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณที่ต้องการส่งในทิศทางที่ต้องการกับความแรงของสัญญาณในทิศทางตรงกันข้าม ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือใช้อธิบายความสามารถของสายอากาศเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่เข้ามาจากด้านหน้าและสัญญาณที่ได้มาจากด้านหลังเมื่อสายอากาศถูกใช้เป็นตัวรับ

$$\text{F/B} = \text{Main Lobe (dB)} - \text{Back Lobe (dB)} \tag{2.35}$$

F/B คือ อัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลัง (Front-to-Back Ratio) (หน่วยเป็น เดซิเบล)

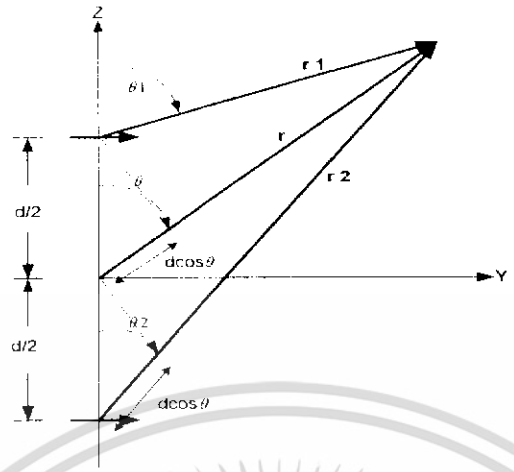
2.13 สายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ (Microstip Array)

การศึกษาคุณสมการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศไมโครสตริปอิลิเมนต์เดียว (Single) จะมีแพทเทอร์นค่อนข้างกว้างและมีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ จึงต้องนำสายอากาศมาหนึ่งอิลิเมนต์มาจัดเรียงกันเป็นแบบอาร์เรย์

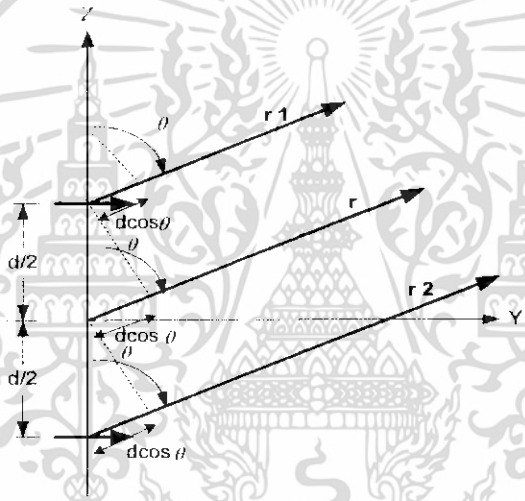
2.13.1 สายอากาศอาร์เรย์แบบ 2 อิลิเมนต์ (Two-element array)

สมมติสายอากาศไดโพลขนานจิ๋ว 2 ตัว วางตามแนวนอนและเรียงตามแกน Z ดังแสดงในรูปที่ และสมมติว่าไม่มีการคัปปลิ้งระหว่างอิลิเมนต์ทั้งสอง ดังนั้นสนามที่แพร่กระจายของสายอากาศจิ๋วทั้งสองจะเป็นผลรวมของสายอากาศทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 2.15 สายอากาศอาร์เรย์แบบ 2 อิลิเมนต์ ที่วางตามแนวแกน Z
(a) สายอากาศไดโพลขนานจิ๋ว 2 ตัว
(b) สนามระยะไกลที่สังเกต

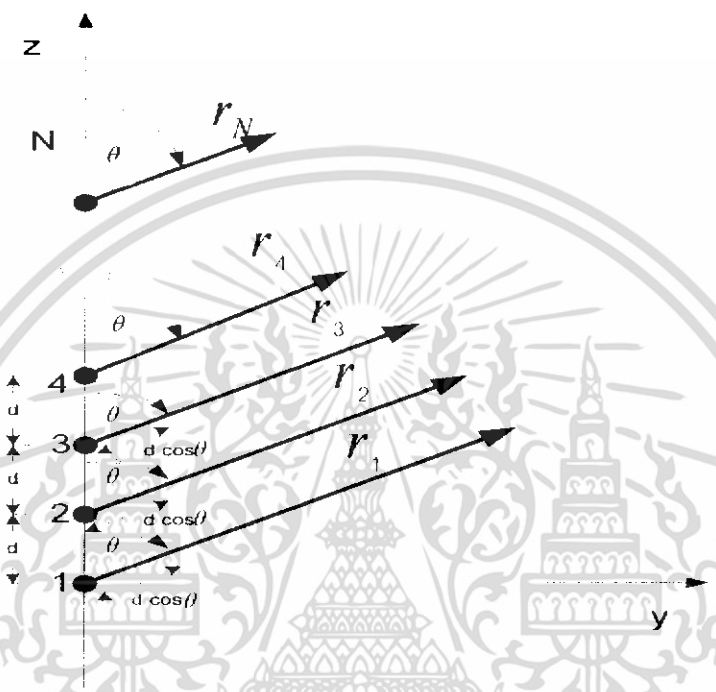
2.13.2 สายอากาศอาร์เรย์แบบ N อิลิเมนต์ (N-element array)

จากหลักการของสายอากาศไดโพล อาร์เรย์ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับสายอากาศไมโครสตริปแบบอาร์เรย์โดยพิจารณา อาร์เรย์แฟคเตอร์เหมือนกัน แต่ต่างกันที่สนามของสายอากาศอิลิเมนต์เดียวที่จุดอ้างอิง

ให้สายอากาศไมโครสตริปทุกอิลิเมนต์เหมือนกัน วางด้วยระยะห่างเท่ากัน (d) ให้ขนาดและ การกระตุ้นสัญญาณ (β) ในแต่ละอิลิเมนต์มีค่าเท่ากัน (Uniform Amplitude and Spacing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิจารณาว่าสายอากาศแบบไมโครสตริปแต่ละอิลิเมนต์ เป็นจุดกำเนิด (Point Source) โดยแต่ละตัวให้สนามดังรูป



รูปที่ 2.16สายอากาศอาร์เรย์แบบ N อิลิเมนต์ (N-element array)

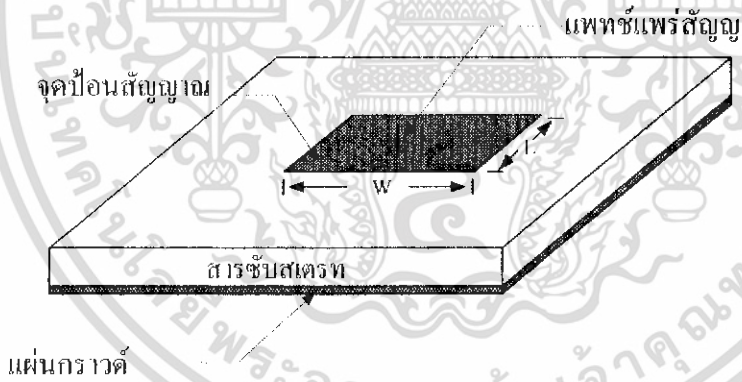
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริป

สำหรับการออกแบบ และ การสร้างอากาศแบบไมโครสตริปในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการออกแบบสายอาสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมแบบ 8×8 อิลิเมนต์ ซึ่งมีการจัดวางตัวเป็นแบบคอลิเนียร์ (Colinear) ตามแนว H-plane โดยมีระยะห่างระหว่างแพทช์ (λ_m /2) และมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแนวเส้นตรง (Linear Polization) โดยที่เลือกใช้งานที่ความถี่ที่เลือกใช้งาน (5.2 GH_z)

3.1 วิธีการออกแบบสร้างอากาศแบบไมโครสตริป (Design)

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยม เราต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ ต่างๆที่นำมาใช้ร่วมในการออกแบบ เช่น ค่าความถี่ที่เลือกใช้งาน, ค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (loss-tangent) , ε_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของซับสเตรท (Substrate)ของวัสดุฐานรองดังแสดงในรูป เป็นต้น



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะองค์ประกอบ ของ สายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยม

3.1.1 การคำนวณหาค่าแพทช์ (Patch)

การคำนวณหาค่าแพทช์ (Patch) ที่นำไปใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยม โดยมีสมการและขั้นตอนการคำนวณดังนี้

-ค่าความกว้างของแพทช์ (W)

-ความยาวของแพทช์ (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความกว้างของแพทช์ (W) ซึ่งมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าความยาวคลื่นกลุ่มภายในสายไมโครสตริป (Group Wavelength in Microstrip : $\lambda_g / 2$) สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$w = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}} \tag{3.1}$$

เมื่อ C = ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^8 c/m

f_r = ความถี่ที่เลือกใช้งาน (5.2 GHz)

ε_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ของซับสเตรท (Teflon = 4.4)

จากสมการ (3.1) สามารถคำนวณค่าความกว้างของแพทช์ได้เท่ากับ W = 17.55 mm

ค่าความยาวของแพทช์ (L) ซึ่งมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าความยาวคลื่นภายในสายไมโครสตริป (Group Wavelength in Microstrip : 0.48 λ_d < L > 0.49 λ_d) สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$L = \frac{C}{2 f_r \sqrt{\varepsilon_e}} - 2\Delta l \tag{3.2}$$

ที่

$$\lambda_d = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\varepsilon_e}} \tag{3.3}$$

สำหรับความยาว(L)จะพิจารณาจากค่าคงที่ไดอิเลคตริก(ε_e)และการขยายตัวตามความยาว(Δl)

เมื่อ ค่าคงที่ไดอิเลคตริก(ε_e)

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \tag{3.4}$$

ค่าการขยายตัวตามความยาว(Δl)

$$\Delta l = 0.412h\left[\frac{(\varepsilon_e + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_e - 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}\right] \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.4) สามารถคำนวณค่าคงที่ไดอิเลคตริก(ε_e) = 3.874

จากสมการ (3.5) สามารถคำนวณค่าการขยายตัวตามความยาว(Δl) = 0.72624 mm

นำค่าจากสมการ (3.4) และ ค่าจากสมการ (3.5) นำมาร่วมในการคำนวนหาค่าความยาวของแพทช์ (L) ในสมการที่ (3.2)

จากสมการ (3.4) สามารถคำนวณค่าความยาวของแพทช์ (L) = 13.2 mm

3.1.2 วิธีการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปแบบการวางตัวแต่ละอิลิเมนต์

จากที่ทำการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปแบบอิลิเมนต์เดียวแล้วนำค่าที่ทำการคำนวณได้มาทำการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริปแบบ 8×8 อิลิเมนต์ ซึ่งมีการจัดวางตัวเป็นแบบคอลิเนียร์ (Colinear) ตามแนว H-plane โดยมีระยะห่างระหว่างแพทช์ ($\lambda_m/2$) โดยมีการคำนวณและออกแบบดังนี้

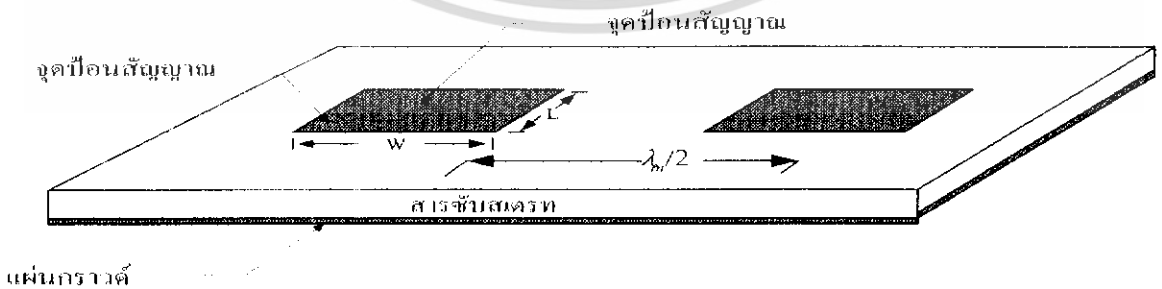
ระยะห่างระหว่างแพทช์ ($\lambda_m/2$) จากสมการ

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_e}} \tag{3.6}$$

ที่ค่า ความกว้างของแพทช์ (W) = 17.55 mm

ความยาวของแพทช์ (L) = 13.2 mm

ระยะห่างระหว่างแพทช์ ($\lambda_m/2$) = 14.66332 mm



รูปที่ 3.2 ระยะห่างระหว่างแพทช์สายอากาศแบบไมโครสตริป

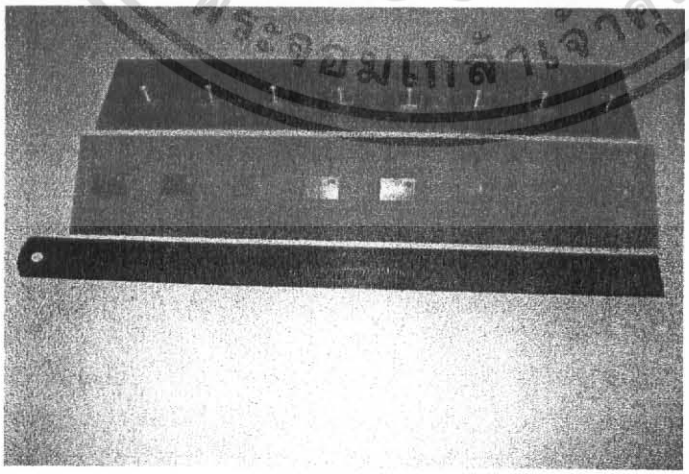
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. แผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้สารตัวกลางกั้นกลางเป็นอีพ๊อคซี่
2. ขั้วต่อ SMA
3. เลื่อยฉลุ
4. กระดาษทราย (แบบหยาบและละเอียด)
5. แผ่นดรายฟิล์ม (Dry Film)
6. กรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
7. หัวแร้ง
8. ตะกั่ว
9. หลอดไฟหรือเครื่องฉายแผ่นดรายฟิล์ม (Dry Film)

3.3 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริป

1. ศึกษาการใช้โปรแกรม IE3D และ Auto Cad
2. ทำการวาดรูปร่างในโปรแกรม IE3D
3. จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม
4. ปรับแต่งรูปร่างเพื่อให้ค่าที่ได้ดีที่สุดหรือใกล้เคียงมากที่สุดที่ยอมรับได้
5. นำขนาดที่วาดในโปรแกรม IE3D มาวาดลงในโปรแกรม Auto Cad
6. พิมพ์ขนาดจริงลงกระดาษ A4 แล้วนำไปถ่ายลงกระดาษไขหรือแผ่นใส
7. ทำการฉายแสงลงแผ่นดรายฟิล์ม (Dry Film)
8. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปกัดกับกรดกัดแผ่นวงจรพิมพ์
9. นำมาต่อกับขั้วต่อ SMA



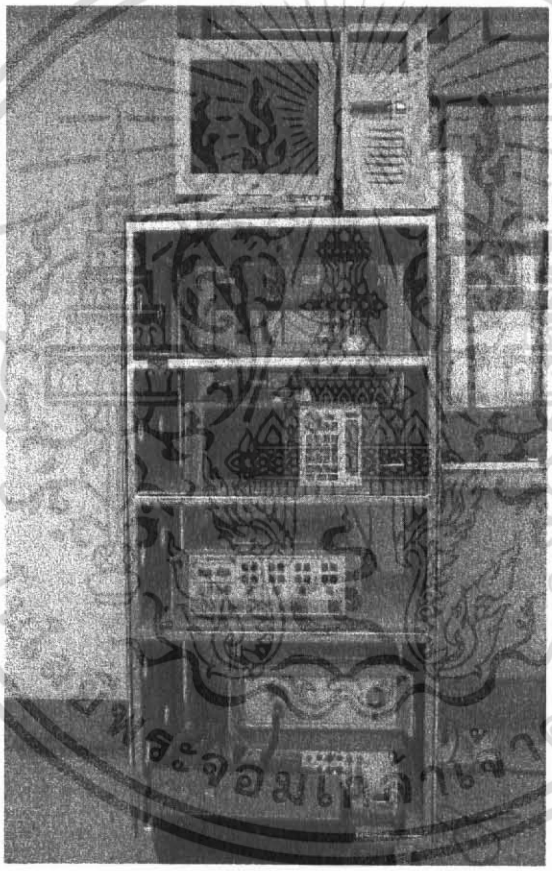
รูปที่ 3.3 สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองวัดและผลการทดลอง

4.1 การทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

เมื่อทำการออกแบบ และ ทำการสายอากาศไมโครสตริปแบบ 8×8 อิลิเมนต์ นำสายอากาศที่ทำการออกแบบแล้วมาทำการทดสอบด้วยเครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C ซึ่งเราจะทำการวัดทดสอบสายอากาศดังแสดงในรูป รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สายอากาศไมโครสตริปที่ทำการต่อ Network Analyzer ใช้ในการทดลอง

สำหรับการวัดและการทดสอบค่าต่างๆ ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องการทดสอบด้วยเครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C การวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายวิทยุนี้สามารถวัดและแสดงรูปสัญญาณพร้อมทั้งค่าต่างๆ ออกมาโดยละเอียด ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ได้แก่ ตัวเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับเครื่องวัดจะใช้ขั้วต่อเป็นแบบ SMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองจะประกอบไปด้วย การวัดและทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ คือ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์และเฟสของสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นี้จะนำมาวิเคราะห์หาความผิดพลาดของการคำนวณว่าได้ใกล้เคียงกับการทดลองหรือไม่อย่างไร เพื่อนำมาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่อง เวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C
2. ชุดคาลิเบรท 85022 B. 3.5 mm
3. สายอากาศไมโครสตริป

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการคาริเบรทเครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C ด้วยชุดคาลิเบรท 85022 B. 3.5 mm
2. เลือกความถี่เริ่มต้น 3 GHz และความถี่สุดท้าย 11 GHz
3. ทำการต่อสายอากาศไมโครสตริป เข้ากับเครื่อง Network Analyzer
4. ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Return Loss)
5. ทำการวัดหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปด้วยเครื่อง Network Analyzer
6. ทดสอบวัดหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริป (VSWR)
7. ทดสอบวัดหาค่าเฟสของสายอากาศไมโครสตริป (Phase)

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

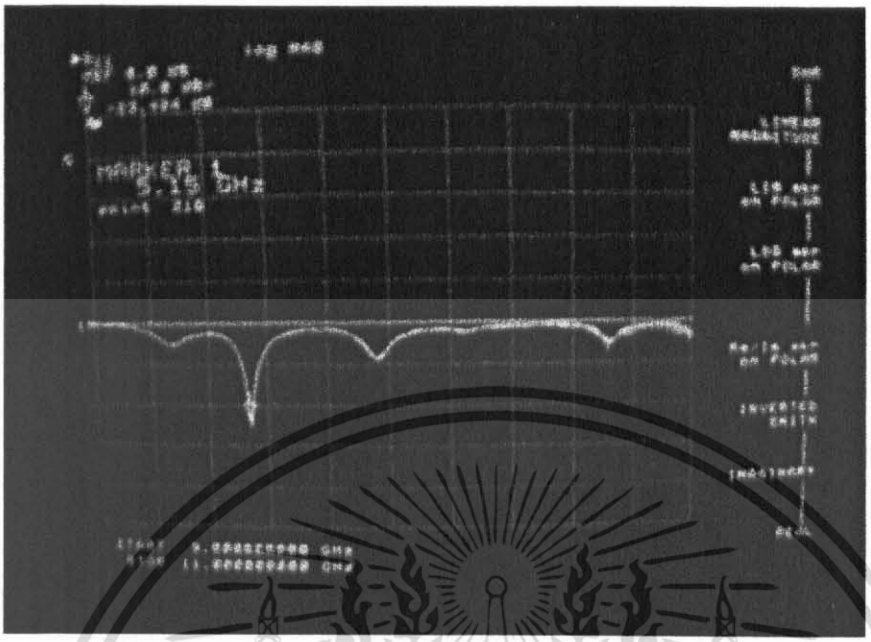
4.2.1 การวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ

ในการทดสอบหาค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ของสายอากาศไมโครสตริป จะทำการวัดโดยดูที่ความถี่ใช้งาน ความถี่เช่นกัน คือที่ Marker 1 จะอยู่ที่ 5.15 GHz ซึ่งผลการทดลองจะได้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ
1	5.15 GHz	-23.49 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ที่ได้จากการทดสอบ

จากผลการทดสอบหาค่าการสูญเสียย้อนกลับนี้จะพบว่าที่ความถี่ 5.15 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -23.49 dB โดยในการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับนี้ค่าที่สามารถใช้งานได้ต้องมีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ซึ่งก็จะพบว่าความถี่ 5.15 GHz เท่านั้นที่สามารถใช้งานได้

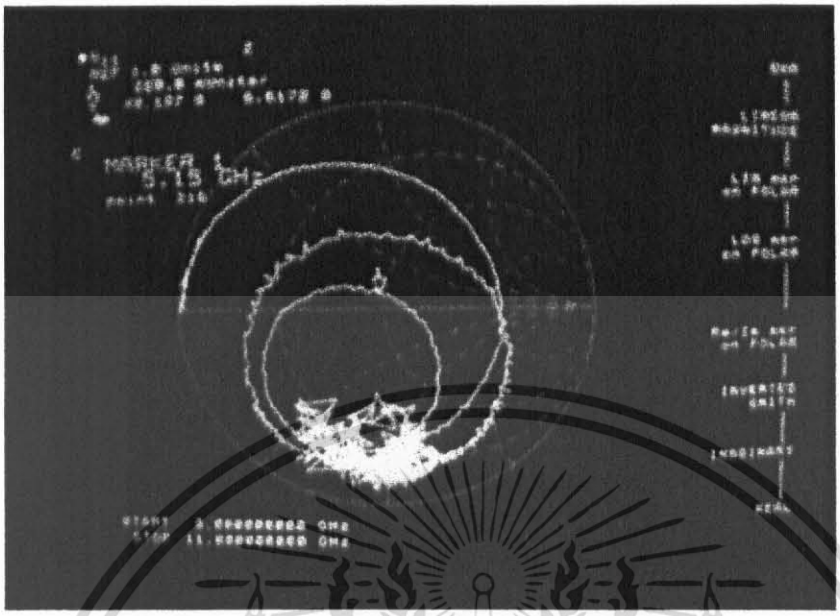
4.2.2 การทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ในการทดสอบ หาค่าอิมพีแดนซ์อินพุตของสายอากาศไมโครสตริปนี้ โดยการอ่านค่า Smith Chart จากเครื่อง Vector Network Analyzer โดยกำหนดให้ Marker 1 เป็นความถี่ Center ที่ 5.15 GHz ซึ่งผลการทดสอบจะได้ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริป

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าอิมพีแดนซ์ (Ω)
1	5.15 GHz	48.188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Impedance) ที่ได้จากการทดสอบ

ซึ่งในการวัดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์นี้เราจะต้องทำให้ค่าจินตภาพของสายอากาศเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดเพื่อนำเอาจะได้เฉพาะค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นค่าจริง โดยจากผลการทดสอบจะพบว่า ที่ Marker 1 ความถี่ 5.15 GHz มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 48.18 โอห์ม จะเห็นว่าความถี่ 5.15 GHz เท่านั้นที่ใกล้เคียงกับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่เราต้องการคือ 50 โอห์ม ซึ่งค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ได้นี้ก็จะมีผลต่อค่า Return Loss และค่า VSWR ในการทดสอบต่อไป

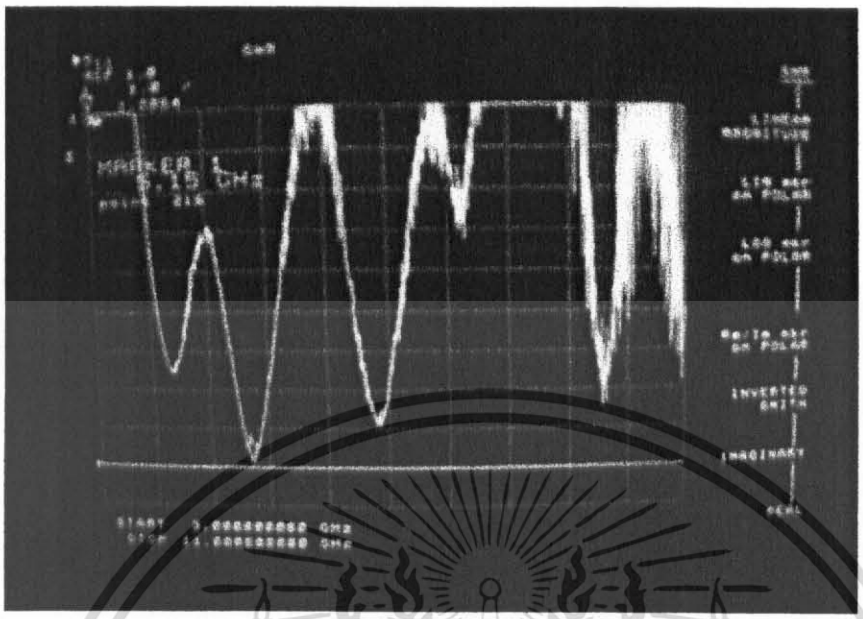
4.2.3 การทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR)

ในการทดสอบหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริปนี้ ก็จะทำการทดสอบคล้ายๆ กับการหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์คือ จะดูค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ความถี่ใช้งานที่ความถี่โดยให้ Marker 1 คือ ความถี่ใช้งาน 5.15 GHz ซึ่งทำการทดสอบจะได้ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไมโครสตริป

Maker	ความถี่ที่ใช้งาน	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง
1	5.15 GHz	1.2054 : 1

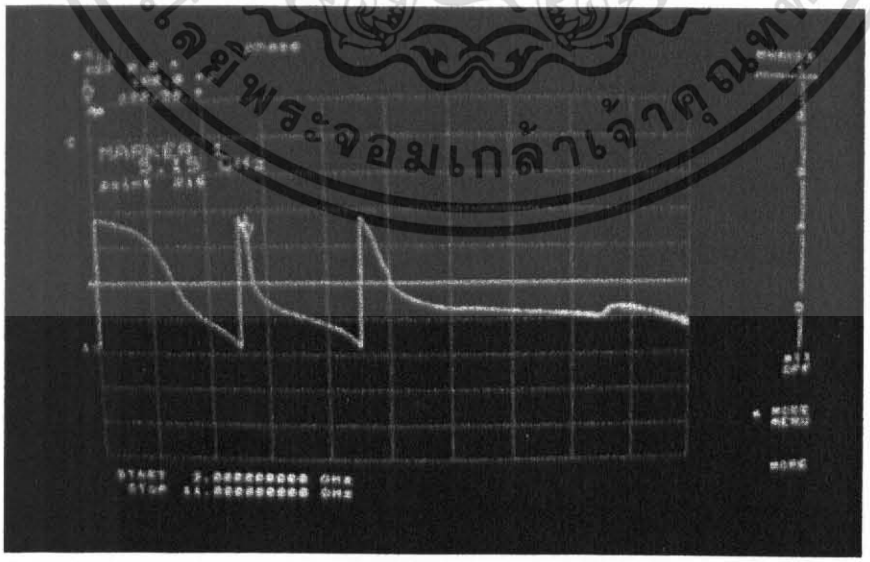
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) ที่ได้จากการทดสอบ

จากการทดสอบที่ได้จะเห็นว่าที่ความถี่ 5.15 GHz มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 1.2054 : 1 โดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ต้องการนี้จะสามารถใช้งานได้นั้นต้องมีค่าต่ำกว่า 2 : 1 ซึ่งจากการทดสอบนี้จะพบว่ามีเพียงความถี่ที่ 5.15 GHz ใช้งานได้

4.2.4 ทดสอบวัดหาค่าเฟสของสายอากาศไมโครสตริป (Phase)



รูปที่ 4.5 ทดสอบวัดหาค่าเฟสของสายอากาศไมโครสตริป (Phase)

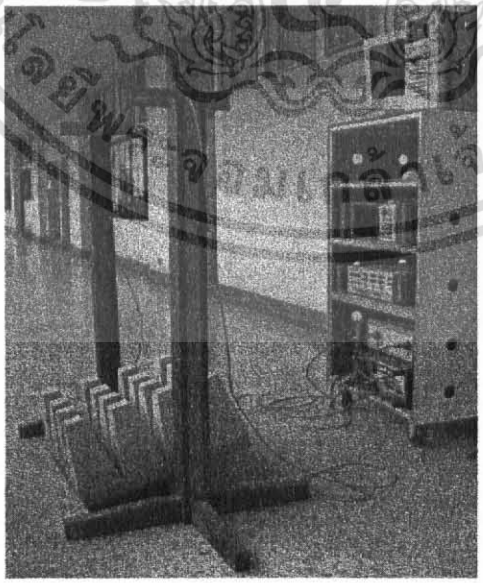
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

จากการทดสอบที่ผ่านมาทั้งหมด เป็นการทดสอบหาคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป ที่ความถี่ 5.15 GHz นั้นมีค่าต่างๆที่ทำการทดสอบเป็นไปตามความต้องการ แต่ที่ 5.2GHz ก็สามารถใช้ได้ แต่ค่าคุณสมบัติยังไม่ดีพอ โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างสายอากาศไมโครสตริป ในขั้นตอนการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งอาจจะเกิดความผิดพลาดของขนาดของสายส่งไมโครสตริปหรือที่ตัวแผ่นแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นทำให้ที่ความถี่ 5.2 GHz มีอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ไม่แมทช์ ทำให้ค่าต่างๆที่ทดสอบที่ความถี่ 5.2 GHz ผิดพลาดตามไปด้วย ดังนั้นในขั้นตอนของการพัฒนาก็จะทำการพัฒนาสายอากาศไมโครสตริป ให้การใช้งานที่ความถี่ 5.2 GHz มีอินพุตอิมพีแดนซ์ให้ใกล้เคียง 50 โอห์ม ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ที่ความถี่ 5.15GHz มาใช้งาน ที่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -23.49 dB มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 48.18 โอห์ม และ มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) เท่ากับ 1.2054 : 1

4.4 ทดลองวัดทดสอบรูปแบบการส่งผ่านคลื่น (Tranfer Function)

การวัดเพื่อทำการทดลองวัดทดสอบรูปแบบการส่งผ่านคลื่น (Tranfer Function) นี้จะเป็นการวัดเพื่อทดสอบสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นว่าสามารถทำการรับและส่งผ่านสัญญาณได้จริงตามความต้องการ การวัดทดลองนี้เราจะวัดค่าการส่งผ่าน และทำการวิเคราะห์ค่าส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้น การทดสอบด้วยเครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.เครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C 5

2. ชุดคาลิเบรท 85022 B. 3.5 mm

3. สายอากาศไมโครสตริป

4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการคาลิเบรทเครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C ด้วยชุดคาลิเบรท 85022 B. 3.5 mm

2. เลือกความถี่เริ่มต้น 5 GHz และความถี่สุดท้าย 5.3 GHz

3. ทำการต่อสายอากาศไมโครสตริป เข้ากับเครื่องเวคเตอร์เน็ทเวิร์คอนาไลเซอร์ (Vector network analyzer) HP 8510C

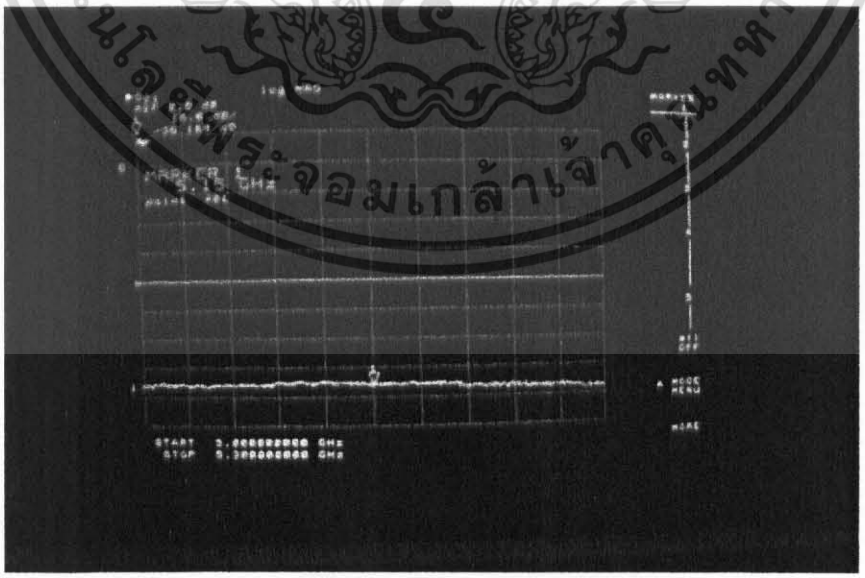
4. ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function)

5. ทำการวัดวิเคราะห์ค่าเฟส (phase) การส่งสัญญาณ

4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

4.5.1 ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function)

ผลการวัดค่าการส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่มีการต่อสัญญาณให้กับตัวรับและตัวส่งที่มีการวางตัวรับและตัวส่งห่างกัน 1 เมตรว่าสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้สามารถรับส่งสัญญาณได้จริง



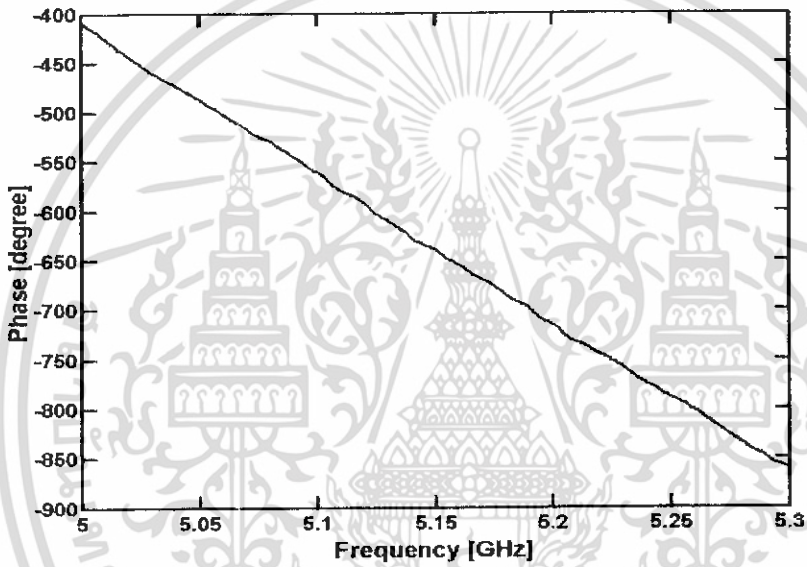
รูปที่ 4.7 ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ที่ระยะ1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผล ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) 5.15 GHz มีค่าการ 10 dB / -36.164 dB ซึ่งเมื่อดูผลการส่งผ่านแล้วสายอากาศที่สร้างขึ้นนี้สามารถส่ง และรับสัญญาณได้

4.5.2 ทำการวัดวิเคราะห์ค่าเฟส (phase) การส่งสัญญาณ

ผลการวัดค่าวิเคราะห์ค่าเฟสการส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่มีการต่อสัญญาณให้กับตัวรับ และตัวส่ง ที่มีการวางตัวรับและตัวส่งห่างกัน 1 เมตร



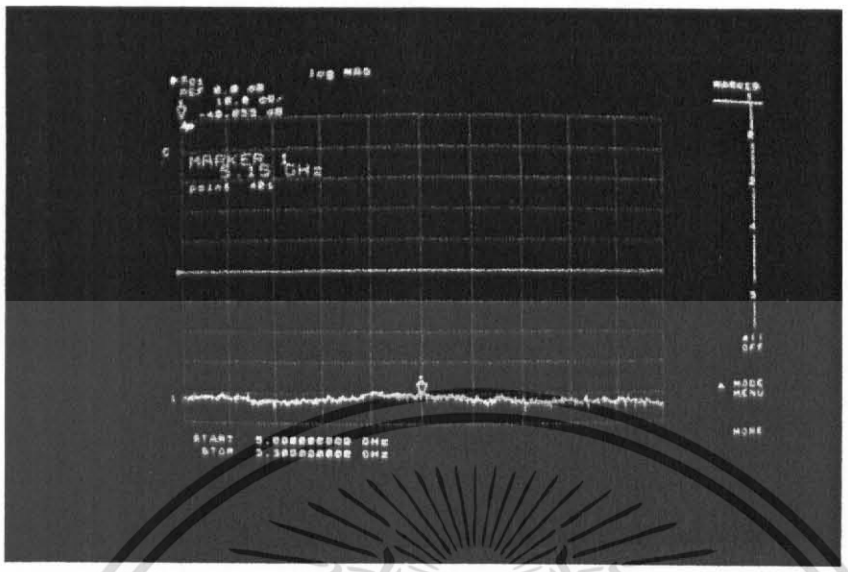
รูปที่ 4.8 ผลการวัดค่าเฟส (phase) การส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่ระยะ1 เมตร

จากผล ค่าทดสอบ ผลการวัดค่าเฟสการส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้น 5.15 GHz จากรูปที่มีค่าเฟสที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้ มีคุณสมบัติตามที่สายอากาศทั่วไปที่ควรจะเป็น

4.5.3 ทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function)

ผลการวัดค่าการส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่มีการต่อสัญญาณให้กับตัวรับและตัวส่ง ที่มีการวางตัวรับและตัวส่งห่างกัน2 เมตร เพื่อทำการทดลองว่าสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นสามารถทำการที่ระยะทางการส่งผ่านที่เพิ่มขึ้นได้ดีเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

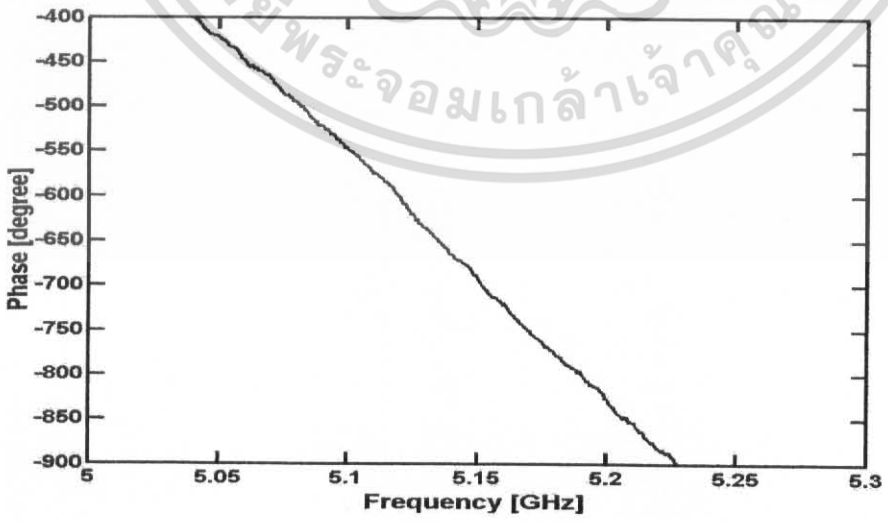


รูปที่ 4.9 ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ที่ระยะ 2 เมตร

จากผล ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) 5.15 GHz มีค่าการ 10 dB / -36.164 dB ซึ่งเมื่อดูผลการส่งผ่านแล้วสายอากาศที่สร้างขึ้นนี้สามารถส่ง และรับสัญญาณได้

4.5.4 ทำการวัดวิเคราะห์ค่าเฟส (phase) การส่งสัญญาณ

ผลการวัดค่าวิเคราะห์ค่าเฟสการส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่มีการต่อสัญญาณให้กับตัวรับ และตัวส่ง ที่มีการวางตัวรับและตัวส่งห่างกัน 2 เมตร



รูปที่ 4.10 ผลการวัดค่าเฟส (phase) การส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้นที่ระยะ2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผล ค่าทดสอบ ผลการวัดค่าเฟสการส่งผ่านของสายอากาศที่สร้างขึ้น 5.15 GHz จากรูปที่มีค่าเฟสที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้ มีคุณสมบัติตามที่สายอากาศทั่วไปที่ควรจะเป็นและจะสังเกตเห็นว่าสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้เมื่อทำการเพิ่มระยะของการรับส่งสัญญาณแล้วค่าที่ทำการร้าเย้งไม่เกิดผลกระทบต่อการรับส่งสัญญาณเท่าใดนัก

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function)

จากการทดสอบที่ผ่านมาทั้งหมด เป็นการทดสอบหา ค่าทดสอบวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Tranfer Function) ของสายอากาศไมโครสตริปที่ทำการสร้างขึ้น ที่ความถี่ 5.15 GHz นั้นมีค่าต่างๆที่ทำการทดสอบเป็นไปตามความต้องการ และทำให้เห็นว่าสายอากาศที่ทำการสร้างขึ้นนี้สามารถรับ และส่งสัญญาณได้จริง และมีค่าตรงตามคุณสมบัติตามที่สายอากาศควรจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 บทสรุป

สายอากาศไมโครสตริปได้ทำการออกแบบการสร้างและทดลองเป็นลักษณะสายอากาศแบบแผ่นที่มีรูปร่างของส่วนที่ใช้แพร่กระจายคลื่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยสายอากาศไมโครสตริปตัวนี้จะสร้างจากวัสดุฐานรองที่เป็นแบบเอ็ฟอีพ็อคซี่ สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นจะเป็นสายอากาศไมโครสตริป รองรับการใช้งานย่านความถี่ 5.15 GHz ใช้งานในระบบมัลติอินพุท และมัลติเอาท์พุต ซึ่งจะทำให้ครอบคลุมการใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE802.11a ซึ่งได้แสดงทฤษฎีการออกแบบ การสร้างและการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ โดยจะทำการทดสอบวัดค่ากำลังงานสูญเสีย (Return Loss) การหาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทดลองวัดทดสอบรูปแบบการส่งผ่านคลื่น (Tranfer Function) และทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศจากที่ทดลองทางทฤษฎี ว่ามีความสอดคล้องหรือมีความแตกต่างกันอย่างไร และสามารถยอมรับนำไปใช้งานได้ ซึ่งจากทฤษฎีการออกแบบ การสร้างสายอากาศไมโครสตริปสามารถนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบ การสร้างสายอากาศไมโครสตริปและสายอากาศย่านความถี่สูงในรูปแบบ อื่น ๆ ต่อไป

5.2 วิจารณ์ และแนวทางการพัฒนา

5.2.1 ปัญหา

ในการจัดทำโครงงานชุดนี้ สามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนี้

1. ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้แผ่นตัวนำที่ใช้ทำเป็นกราวด์เพลนมีขนาดที่ไม่จำกัด และเป็นตัวนำที่สมบูรณ์ได้

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเมื่อนำมาทดลอง และออกแบบสร้างผลที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ใช้คำนวณได้

3. การสร้างแผ่นแพร่กระจายคลื่นให้มีขนาดตรงตามที่คำนวณทำได้ยาก เพราะว่ามีความละเอียดมาก จึงไม่สามารถสร้างตามการคำนวณได้

4. ในการวัด และทดสอบค่าการสูญเสียกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง จะมีค่าไม่สอดคล้องกัน คือ ถ้าค่าสะท้อนกลับมีมากเป็นผลที่ไม่ดี แต่ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่วัดได้พร้อมกันจะมีค่าที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในการวัด และทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ไม่สามารถทำการทดลองสายอากาศโดยเฉพาะ ดังนั้นในการทดลองจึงเกิดความคลาดเคลื่อน

6. การบัดกรี เพื่อทำการเชื่อมต่อตัวเชื่อมต่อแบบ SMA กับสายส่งไมโครสตริปนั้นทำได้ยาก เพราะว่าจุดเชื่อมต่อมีขนาดเล็ก และแผ่นทองแดงสามารถหลุดจากส่วนที่เป็นฉนวนได้ถ้าการบัดกรีใช้ความร้อนสูงเกินไป

7. เกิดคราบออกไซด์บนแผ่นแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป ทำให้มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

5.2.2 แนวทางแก้ไข

1. ออกแบบสายอากาศให้แผ่นตัวนำ ที่ใช้ทำเป็นกราวด์เพลนมีขนาดใหญ่มากที่สุด เท่าที่สามารถจะทำได้

2. ในการออกแบบสายอากาศ ค่าคงตัวของสารที่ใช้เป็นฉนวน ต้องกำหนดให้ได้ตรงตามค่าของสารนั้น และถูกต้องมากที่สุด

3. ในส่วนของการสร้างสายอากาศไมโครสตริป ต้องสร้างให้ได้ขนาดตามที่คำนวณให้มากที่สุด คือต้องออกแบบขนาดโดยใช้เครื่องมือที่สามารถกำหนด และวัดขนาดของแผ่นแพร่กระจายคลื่นที่มีความละเอียดสูง และให้เกิดค่าที่คลาดเคลื่อนจากการออกแบบที่น้อยที่สุด

4. การวัด และทดสอบถ้าจะให้ได้ค่าต่าง ๆ มีความถูกต้องและสอดคล้องกันต้องสร้างสายอากาศให้มีขนาดที่ถูกต้อง และมีความละเอียดในการสร้างให้สูงมากขึ้น

5. ในการวัด และทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ต้องใช้เครื่องมือ และชุดทดสอบมีความเที่ยงตรงและผิดพลาดน้อยที่สุด รวมทั้งห้องที่ทำการทดสอบ ต้องจัดตำแหน่งของสายอากาศ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้อง ไม่ให้เกิดการรบกวน

6. การบัดกรี ต้องใช้เครื่องมือบัดกรีที่ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะสามารถควบคุมอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมต่อ ไม่ให้มีความร้อนสูงเกินไป

7. การขจัดคราบออกไซด์ทำได้โดยกรดทำความสะอาดแผ่นแพร่กระจายคลื่น และทำการเคลือบด้วยแล็คเกอร์

5.3 แนวทางการพัฒนา

1.การสร้างสายอากาศให้มีขนาดเล็กลง ทำได้โดยการเพิ่มความถี่ใช้งานสูงขึ้น

2.ในส่วนของทฤษฎีการออกแบบคำนวณสามารถออกแบบคำนวณสามารถออกแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเพื่อเพิ่มความถูกต้องให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ในการสร้างสายอากาศ สามารถสร้างสายอากาศให้มีอัตราการขยายของสายอากาศเพิ่มมากขึ้น โดยออกแบบให้สายอากาศเชื่อมต่อกันหลาย ๆ ตัว (Array) ซึ่งอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกัน

4.การใช้เครื่องมือที่ใช้ในการตัดแผ่นวงจรพิมพ์ ที่สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์จะทำให้การสร้าง และออกแบบส่วนของ แผ่นแพร่กระจายคลื่นให้มีความละเอียดได้สูง สะดวก และรวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ "วิศวกรรมสายอากาศ" ,สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , พ.ศ.2536

2. พิชัย ภักดีพานิชเจริญ "ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ", สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ ,พ.ศ.2536

3. โมไนย ไกรฤกษ์ "ทฤษฎีสายอากาศ" , สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , พ.ศ.2541

4. A.W. Rudge W.Milne and A.D. Olver P.Wnight, "Handbook Of Antenna Design" ,Volume 1 Peregrinus LTD., London, UW, 1982

5. C.A. Balanis, " Antenna Theory Analysis and Design," 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1997

6. Edward A. Wolf, "Antenna Analysis" ,John Wiley and Sons Inc, 1966

7. Kin - lu Wong "Planar Antennas for Wireless Communications", John Wiley and Sons Inc, 2003

8. Robort E. Collin, "Antenna and Radiowave Propagation" ,McGraw-Hill Book Company, New York, 1985

9. Thomas A. Milligan, Martin Marietta Denver Aerospace, "Modern Antenna Design" ,McGraw-Hill, New York, 1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPPER CLAD LAMINATES

GENERAL PROPERTIES

Test Item		Unit	Treatment Condition	Designation	DS-7405
				ANSI Grade	FR-4
				Property Data	
				Standard Value	Guaranteed Value
Tg		℃	DSC TMA DMA	135 135 165	above 130 above 130 above 160
CTE	x-axis y-axis z-axis	ppm/℃	Ambient to Tg	18 13 55	less than 20 less than 15 less than 60
Flammability		-	UL-94	V-0	V-0
Insulation Resistance		ohm	C-96/20/65 C-96/20/65+D-2/100	1×10^{9} - 1×10^{9} 1×10^{8} - 1×10^{11}	above 5×10^{8} above 1×10^{6}
Volume Resistivity		ohm-cm	C-96/20/65 C-96/20/65+C-96/40/60	1×10^{14} - 1×10^{15} 5×10^{13} - 5×10^{14}	above 1×10^{8} above 5×10^{6}
Surface Resistance		ohm	C-96/20/65 C-96/20/65+C-96/40/60	5×10^{13} - 5×10^{14} 1×10^{13} - 1×10^{13}	above 1×10^{8} above 1×10^{6}
Arc Resistance		min.seconds	-	110	above 60
Dielectric Constant (1 MHz)		-	C-96/20/65 C-96/20/65+D-48/50	4.5 - 4.8 4.6 - 5.2	less than 5.5 less than 5.8
Dissipation Factor (1 MHz)		-	C-96/20/65 C-96/20/65+D-48/50	0.015 - 0.020 0.018 - 0.023	less than 0.035 less than 0.045
Comparative Tracking Index		volt	IEC Method	-	-
Solder Float(260℃)		sec	A	above 180	above 120
Peel Strength	Cu.foil 1oz (0.035mm)	kg/cm	A	1.8 - 2.2	above 1.43
Flexural Strength		kg/mm²	A	40 - 50	above 32.7
Water Absorption		%	E-24/50+D-24/23	0.10 - 0.15	less than 0.25

Specimen Thickness : 1.6mm

PURCHASING INFORMATION

- Copper foil : 0.5 oz/ft² (0.018 mm), 1 oz/ft² (0.035 mm), 2 oz/ft² (0.070 mm) available.
- Thickness : 0.4mm to 3.2mm

Standard Size		Tolerance(mm)
1,020 X 1,220mm (40" X 48") 1,070 X 1,220mm (42" X 48") 1,020 X 1,020mm (40" X 40")	915 X 1,220mm (36" X 48") 970 X 1,220mm (38" X 48")	+3 -0

※ Other sheet size and thickness could be available upon request.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOOSAN Electro-Materials

DS-7405

(ANSI : FR-4)

COPPER CLAD LAMINATES

FEATURES

- Good dimensional stability.
- Soldering reliability has been bettered
- Good electrical properties
- High density automatic mounting can be carried out

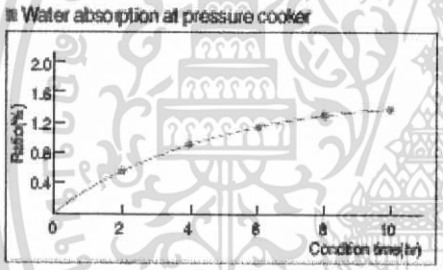
INTERNATIONAL STANDARD RECOGNITION

- UL : E103670
- CSA : LR-93237
- BSI : 6741
- VDE : VDE-Reg-Nr. 4945

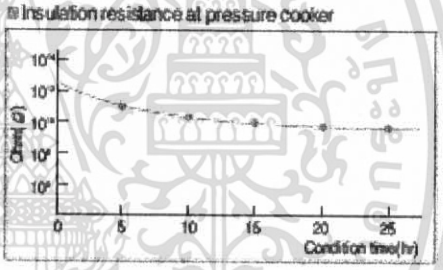
APPLICATIONS

Computer, Instrumentation, VCR, Television, Elatronic Toy, etc.,

■ Water absorption at pressure cooker

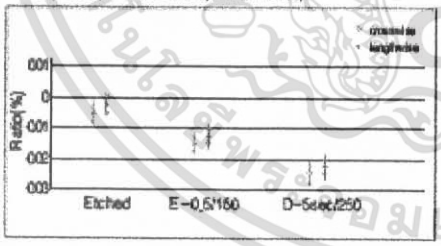


■ Insulation resistance at pressure cooker



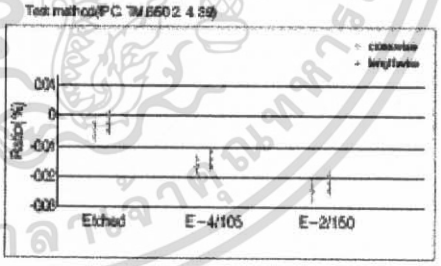
■ Dimensional stability

PCB process(size:660X510mm span:31(DX254mm)

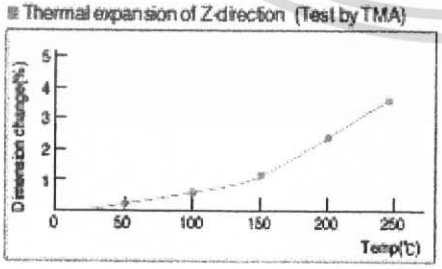


■ Dimensional stability

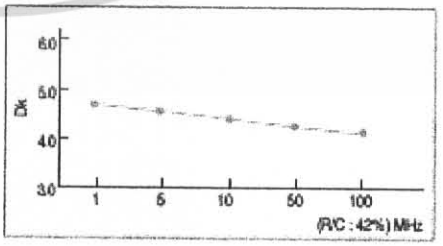
Test method(IPC TM-650 2.4.39)



■ Thermal expansion of Z-direction (Test by TMA)



■ Dielectric constant



The World Leader in Technology and Quality

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายความหมายของตัวแปรต่างๆ

P = Power (in radial directional)

P_{rad} = The average power radiated by an antenna (radiated power)

U = Radiation intensity (w/unit solid angle)

W_{rad} = Radiation density (w/m^2)

E = Far-zone electric field

E_θ , E_ϕ = Far – zone electric field components of the antenna

η = Intrinsic impedance of the medium

E_r = E - field component

H_ϕ ,H_r = H - field component

R = Observation distance from target (m)

$\hat{a}$ = เวกเตอร์หนึ่งหน่วยทิศตามแกน z

ε = Emissivity

μ = permittivity

I_e = Electric current

I_0 = constant current

L = ความยาวของ dipole

W_{av} = The average pointing vector

λ = ความยาวคลื่น

β_0 = ค่าคงที่

$F(\theta,\phi)$ = Related to the radiation intensity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D_0 – ค่า Directivity (dimensionless)

φ = Phase shift ของสัญญาณที่เข้าไปในแต่ละ elements

d = Spacing

AF – Array factor

W – Power Density

γ = kl/2

β – The difference in phase excitation between the element

α – $jk\cos\theta$

Z_S = อิมพิแดนซ์ที่ต้นสาย

Z_T = อิมพิแดนซ์ที่ปลายสาย

Z_0 = อิมพิแดนซ์ลักษณะ (Characteristic impedance) หรือ อิมพิแดนซ์ลูก

คลื่น (Surge impedance)

β = ค่าคงตัวเฟส

d = ความยาวของสายส่ง

λ = ความยาวคลื่น

α = ค่าคงตัวลดทอน

Γ_T = สปส. การสะท้อนที่ปลายสาย

V_T^+ = คลื่นของแรงดันตกกระทบ(ต้นสายไปปลายสาย)

V_T^- = คลื่นของแรงดันสะท้อนกลับ(ปลายสายกลับมายังต้นสาย)

I_T^+ = คลื่นของกระแสตกกระทบ

I_T^- = คลื่นของกระแสสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Γ = สปส. การสะท้อน

Z = แสดงทิศทางตามแกน z

V_{max} = แรงดันที่มีค่ามากที่สุดที่จุดใดในสายส่ง

V_{min} = แรงดันที่มีค่าน้อยที่สุดที่จุดใดในสายส่ง

I_{max} = กระแสที่มีค่ามากที่สุดในสายส่ง

I_{min} = กระแสที่มีค่าน้อยที่สุดในสายส่ง

Z_{max} = อิมพิแดนซ์ที่ตำแหน่งที่เกิดจากแรงดันสูงสุดและกระแสต่ำสุดอินเฟสกัน ทำให้ได้ค่าอิมพิแดนซ์ที่มีค่าสูงสุด

Z_{min} = อิมพิแดนซ์ที่จุดในสายเป็นค่าจริงและเป็นค่าต่ำสุด

d_1 = ระยะทางจากโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้