

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศ UWB สำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล

UWB Antenna for Personal Area Network



โดย

นาย ฌพิเชฐ วัฒนกิจ

นาย พิศาล ผดุงศิลป์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร

บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

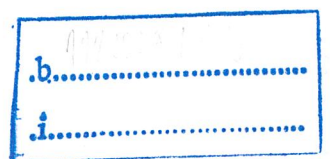
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 55776

วัน,เดือน,ปี 25 พ.ค. 2548



UWB Antenna for Personal Area Network

BY

Mr. NAPICHEAD WATTANAKIT



Mr. PISAN PADUNGSIN

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

2003

หัวข้อปริญญานิพนธ์ สาขาอากาศ UWB สำหรับ โครงข่ายส่วนบุคคล
ชื่อนักศึกษา นาย ณ พิเชฐ วัฒนกิจ รหัสนักศึกษา 44015641
 นาย พิศาล ผดุงศิลป์ รหัสนักศึกษา 44015660
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย
 อาจารย์ พิชญ สุพรรณกุล
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2546

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย)
 อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ พิชญ สุพรรณกุล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	สายอากาศ UWB สำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล		
ชื่อนักศึกษา	นาย ฌพิเชฐ	วัฒนกิจ	รหัสประจำตัว 44015641
	นาย พิศาล	ผดุงศิลป์	รหัสประจำตัว 44015660
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย		
	อาจารย์ พิชญ	สุพรรณกุล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2546		

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้ เป็นการออกแบบและสร้างสายอากาศให้สามารถใช้สำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (WPANs) โดยใช้อุลตราไวด์แบนด์ (UWB) โดยจะทำการออกแบบและสร้างสายอากาศให้สามารถทำงานได้ที่ความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งจะทำการศึกษาหาชนิดของสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้าง ซึ่งในโครงการนี้ได้นำเสนอสายอากาศไปโคนิคอลล สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศ vivaldi และได้ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศแบบต่างๆ รวมทั้งทำการวัดหาคูณสมบัติของสายอากาศ เช่น พารามิเตอร์ S, VSWR และแบบรูปการแพร่กระจายของสายอากาศ ซึ่งจากการทดลองคูณสมบัติของสายอากาศไปโคนิคอลลมีคูณสมบัติที่มีแบนด์วิดท์ตอบสนองต่อระบบการสื่อสารอุลตราไวแบนด์มากที่สุดและมีการสะท้อนกลับของกำลังงานต่ำที่สุด

Thesis Title	UWB Antenna for Personal Area Network	
Student	Mr. Napichad Wattanakit	ID 44015641
	Mr. Pisan Padungsin	ID 44015660
Advisor	Mr. Monchai Chamchoy	
	Mr. Pichaya Supanakoon	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2003	

ABSTRACT

In this project, an UWB antenna for wireless personal area network (WPANs) is designed and fabricated. Three wideband antennas, namely, Biconical antenna, Trapezoidal antenna, and Vivadi antennas are considered as the prototypes UWB antennas to operate over the frequency range of 3.1 to 10.6 GHz. The antenna characteristics such as the S-parameter, the reflection coefficient, and the radiation pattern are measured. From the experiment results, the biconical antenna has maximum bandwidth for UWB communication and lowest reflection coefficient

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นผลเนื่องมาจากความมานะอดทน และช่วยเหลือเกื้อกูลกันของเพื่อนๆ พี่ๆ และผู้ที่มีได้เอื้อนามอีกหลายท่าน ตลอดระยะเวลาการทำโครงการได้รับการสนับสนุนจาก อาจารย์มนตรีชัย แซ่มะซ้อย และ อาจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำเกี่ยวกับรายละเอียดในโครงการนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนทางการศึกษา อีกทั้งสิ่งดีๆ และทุกอย่างมาโดยตลอด รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยเป็นขวัญและกำลังใจเสมอมา

ผู้จัดทำ

นาย ณพิเชฐ วัฒนกิจ

นาย พิศาล ผดุงศิลป์

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 เทคโนโลยีอุตสาหกรรมไวต์แบนด์	15
2.2.1 ลักษณะพิเศษของอุตสาหกรรมไวต์แบนด์	16
2.2.2 การนำไปใช้งานในระบบสื่อสาร	16
2.3 ทฤษฎีสายอากาศไบโคนิคอล	16
2.3.1 สนามการแพร่กระจายคลื่น	17
2.3.2 อินพุตอิมพีแดนซ์	20
2.3.3 สายอากาศ triangular sheet , สายอากาศ bow-tie และ สายอากาศ wire simulation	22
2.3.4 การพัฒนาสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Antenna)	24
2.3.5 ลักษณะของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	24
2.4 สายอากาศไมโครสตริป	25
2.4.1 ลักษณะโครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป	25
2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป	26
2.4.3 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป	27
2.4.4 สายอากาศ vivaldi	27
2.4.5 การพัฒนาของวิธี TLM สำหรับสายอากาศ vivaldi	28
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศ UWB	
3.1 การออกแบบสายอากาศไบโคนิคอล	32
3.1.1 การกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งาน	32
3.1.2 การกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	32
3.1.3 คำนวณค่าความยาวคลื่น	32
3.1.4 คำนวณหาค่าความสูงของ โคนของสายอากาศไบโคนิคอล	33
3.2 กระบวนการสร้างสายอากาศไบโคนิคอล	34
3.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์	34
3.2.2 การทำแม่พิมพ์สายอากาศไบโคนิคอล	34
3.2.3 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศไบโคนิคอล	35
3.3 การออกแบบสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การกำหนดช่วงความถี่ใช้งาน	37
3.3.2 การกำหนดค่าอินพุต อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศ สี่เหลี่ยมคางหมู	37
3.3.3 การคำนวณหาความยาวคลื่น	37
3.3.4 คำนวณหาความกว้างของตัวฟีดสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	38
3.4 กระบวนการสร้างสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	39
3.4.1 จัดเตรียมอุปกรณ์	39
3.4.2 การขึ้นรูปสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	39
3.5 การออกแบบสายอากาศ vivaldi	42
3.6 กระบวนการสร้างสายอากาศ vivaldi	42
3.6.1 จัดเตรียมอุปกรณ์	42
3.6.2 กระบวนการขึ้นรูป สายอากาศ vivaldi	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การวัดคุณสมบัติของสายอากาศ	44
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
4.1.2 ขั้นตอนการวัด	45
4.2 ผลการทดลอง	45
4.3 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศ	53
4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	53
4.3.2 บล็อกไดอะแกรมในการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	53
4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง	55
4.4 ผลการทดลองการวัดแพทเทิร์นสายอากาศอุตตร้าไวด์แบนด์	55
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	58
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ	58
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา	59
5.4 สรุปผล	59

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของอุลตราไวด์แบนด์กับคลื่นชนิดอื่น	1
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์	2
รูปที่ 2.1 ระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	4
รูปที่ 2.2 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศชีททิศทาง (Omnidirectional)	5
รูปที่ 2.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร	6
รูปที่ 2.4 (a) โลบต่างๆและมีมิตต์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ (b) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์	8
รูปที่ 2.5 แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	8
รูปที่ 2.6 (a) และ (b) สายอากาศรูปเรขาคณิตและการแพร่กระจายคลื่นแบบทรงกลม	18
รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสของสายอากาศไบโคเนคอลล	18
รูปที่ 2.8 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่มีขนาดใหญ่หลายๆในอากาศ	21
รูปที่ 2.9 รูปที่ 2.9 สายอากาศ triangular sheet, สายอากาศ bow - tie, และ wire simulation ของสายอากาศไบโคเนคอลล	22
รูปที่ 2.10 อินพุต อิมพีแดนซ์ (ที่ขั้วไฟด) ของความยาวของสายอากาศไบโคเนคอลล ที่จำกัด	23
รูปที่ 2.11 รูปโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	26
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสายอากาศ vivaldi ความหนาของฉนวนเท่ากับ 4 มิลลิเมตร และทองแดงหนาเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรค่าคงที่ของฉนวนไฟฟ้าเท่ากับ 2.2 (a) ด้านล่าง (b) ด้านข้าง และ (c) ด้านบน	28
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำสายอากาศ UWB แบบ ไบโคเนคอลล	31
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ความยาวแต่ละด้านของสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีมุม 30° , 90° และ 60°	33
รูปที่ 3.3 ลักษณะของกรวยที่ออกแบบ	33
รูปที่ 3.4 รูปแม่พิมพ์สายอากาศไบโคเนคอลลในส่วนของแทนอัดและเบ้ารับ	35
รูปที่ 3.5 สาย Semi-rigid ด้านที่นำไปต่อเข้ากับสายอากาศ	36
รูปที่ 3.6 สายอากาศไบโคเนคอลลที่นำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบกันในขั้นตอนสุดท้าย	36
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ความยาวแต่ละด้านของสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีมุม 45° , 90° และ 45°	38

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 รูปสามเหลี่ยมที่จะมาทำตัวพีคเตอร์ของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	38
รูปที่ 3.9 รูปของตัวพีคของสายอากาศคางหมู	39
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างของส่วนของระนาบสร้างเงา	40
รูปที่ 3.11 รูปสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูในทิศทางจากด้านบน	41
รูปที่ 3.12 รูปแบบลักษณะเบื้องต้นของสายอากาศ vivaldi	41
รูปที่ 3.13 รูปลายปรินของสายอากาศ vivaldi	43
รูปที่ 3.14 รูปสายอากาศ vivaldi ที่ทำการประกอบเสร็จแล้ว	43
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดคุณสมบัติของสายอากาศ	44
รูปที่ 4.2 ค่า S_{11} ของสายอากาศ ไบโคนิคอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 48.38 มม.	45
รูปที่ 4.3 ค่าเฟสของสายอากาศไบโคนิคอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 48.38 มม.	46
รูปที่ 4.4 ค่า SWR ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 48.38 มม.	46
รูปที่ 4.5 ค่า S_{11} ของสายอากาศ ไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 65.34 มม.	47
รูปที่ 4.6 ค่าเฟสของสายอากาศไบโคนิคอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 65.34 มม.	47
รูปที่ 4.7 ค่า SWR ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 65.34 มม.	48
รูปที่ 4.8 ค่า S_{11} ของสายอากาศ ไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 67.7 มม.	48
รูปที่ 4.9 ค่าเฟสของสายอากาศไบโคนิคอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 67.7 มม.	49
รูปที่ 4.10 ค่า SWR ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 67.7 มม.	49
รูปที่ 4.11 ค่า S_{11} ของสายอากาศ สี่เหลี่ยมคางหมู	50
รูปที่ 4.12 ค่าเฟสของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	50
รูปที่ 4.13 ค่า SWR ของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	51
รูปที่ 4.14 ค่า S_{11} ของสายอากาศ vivaldi	51
รูปที่ 4.15 ค่าเฟสของสายอากาศ vivaldi	52
รูปที่ 4.16 ค่า SWR ของสายอากาศ vivaldi	52
รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ที่ใช้วัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	53
รูปที่ 4.18 บล็อกโคอะแกรมแสดงการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	54
รูปที่ 4.19 กราฟเชิงขั้วแสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศไบโคนิคอล	56

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 กราฟเชิงขั้วแสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	56
รูปที่ 4.24 กราฟเชิงขั้วแสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศ vivaldi	57

สารบัญตาราง

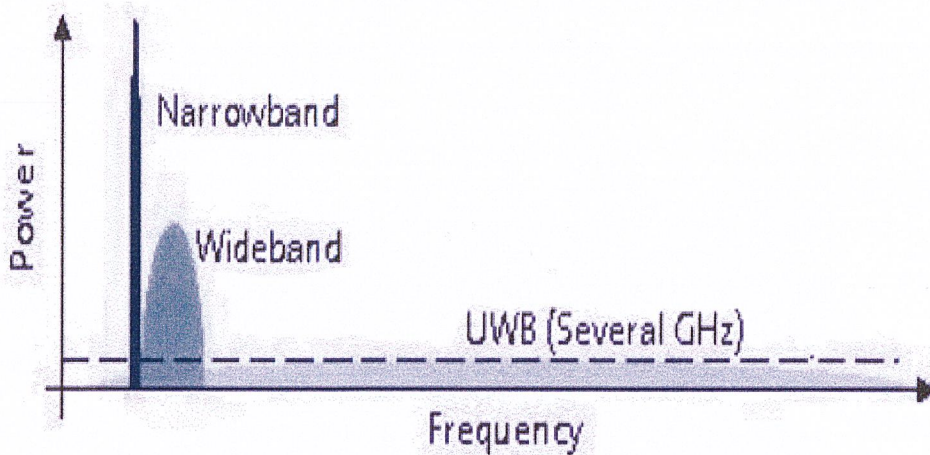
	หน้า
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆ	58
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแต่ละชนิด	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

สายอากาศ อุลตราไวด์แบนด์ (UWB) เป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับกับการสื่อสารคลื่นอุลตราไวด์แบนด์ซึ่งเป็นคลื่นที่ใช้ความหนาแน่นกำลังในการส่งต่ำแต่มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากดังแสดงในรูปที่ 1.1 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้คลื่นอุลตราไวด์แบนด์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลได้มากซึ่งทำให้เกิดการส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของอุลตราไวด์แบนด์กับคลื่นชนิดอื่น

และระดับสัญญาณของคลื่นอุลตราไวด์แบนด์ยังมีระดับสัญญาณที่ต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวน ดังนั้นสัญญาณของคลื่นอุลตราไวด์แบนด์จึงไม่ไปรบกวนกับระบบการสื่อสารชนิดอื่นจึงสามารถใช้แถบความถี่ร่วมกับแถบความถี่ของระบบการสื่อสารชนิดอื่นได้ ด้วยคุณสมบัติของการสื่อสารโดยใช้คลื่นอุลตราไวด์แบนด์ จึงต้องใช้สายอากาศที่มีช่วงความถี่ในการทำงานกว้างมาก เพื่อให้เหมาะสมกับคลื่นอุลตราไวด์แบนด์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศอุลตราไวด์แบนด์จึงได้ออกแบบและสร้างสายอากาศที่สามารถทำงานได้ที่ความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz รวมทั้งทำการวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น พารามิเตอร์ S , VSWR , และ รูปแบบของสายอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาหาชนิดของสายอากาศ ที่ทำงานในความถี่แถบกว้าง
- 1.2.2 เพื่อออกแบบ และสร้างสายอากาศที่ทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz
- 1.2.3 วัดหาคณสมบัติพารามิเตอร์ S, VSWR และแบบรูปของสายอากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

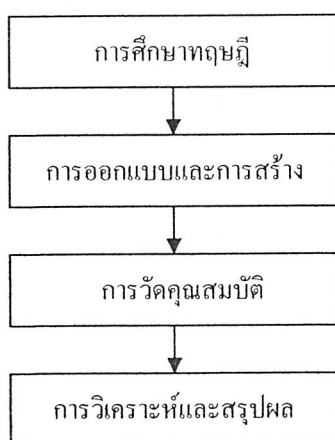
- 1.3.1 ออกแบบสายอากาศให้ทำงานที่ความถี่ 3.1-10.6 GHz
- 1.3.2 ทำการสร้างและวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

1.4 องค์ประกอบหลักของโครงการ

เป็นโครงการ โครงการนี้ได้ออกแบบและทำการสร้างสายอากาศเพื่อทำการวิเคราะห์หาถึงคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ โดยจะศึกษาจากทฤษฎีสายอากาศเพื่อหาโครงสร้างของสายอากาศที่เหมาะสมกับการสื่อสารคลื่นอุลตราไวด์แบนด์มากที่สุด

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ได้มีการศึกษาวางแผนและทำงานตามขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

การศึกษาทฤษฎีจะอยู่ในบทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่ควรรู้และใช้ประกอบในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับวิศวกรรมสายอากาศความรู้

พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไวต์แบนด์ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศไบโคเนคอลลทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูและทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ vivaldi

การออกแบบและการสร้างจะอยู่ในบทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการทำสายอากาศไบโคเนคอลลสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศ vivaldi

การวัดคุณสมบัติจะอยู่ในบทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการวัดและผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศไบโคเนคอลลสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศ vivaldi

วิเคราะห์และสรุปจะอยู่ในบทที่ 5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดและสรุปของผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศแบบไบโคเนคอลลสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูและสายอากาศ vivaldi

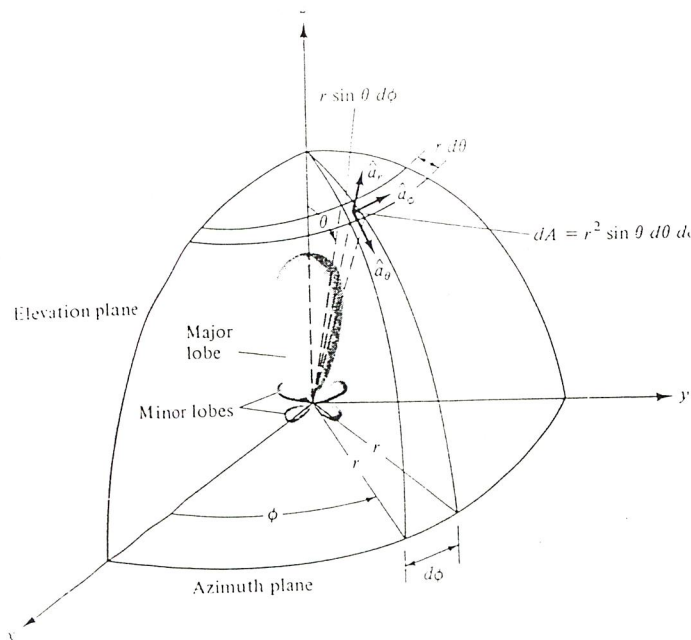
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีสายอากาศ

2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.1.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ (Radiation Pattern) หรือรูปแบบสายอากาศสายอากาศมีความหมายคือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ หรือ แสดงโดยเส้นที่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของสายอากาศตามฟังก์ชันของ สเปซ โคออดิเนท (Space Coordinates) ส่วนมากในกรณีของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้จะกำหนดการคิดในบริเวณที่เป็น สนามระยะไกล (Far-Field) และแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับฟังก์ชันตามทิศทางของ โคออดิเนท คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยกำลังความหนาแน่น ฟลักซ์แม่เหล็ก (flux), ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity), ความเข้มของสนาม (Field Strength), เฟส (Phase), หรือ โพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่



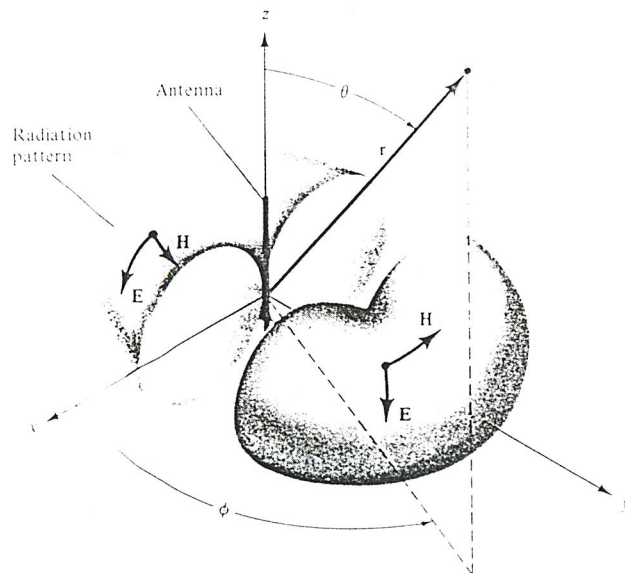
รูปที่ 2.1 ระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

รูปที่ 2.1 แสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่มีชื่อเรียกว่า รูปแบบกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีคงที่มีชื่อเรียกว่า สนามการแพร่กระจาย (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

2.1.1.1 รูปแบบการแพร่กระจายแบบไอโซโทรปิก ไดรเรชันแนลและออมนิไดเรชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiation) คือ สายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นให้มีการแพร่กระจายคลื่นเท่าๆกันในทุกทิศทาง แม้ว่ามันจะแก้แนวความคิดและไม่สามารถเป็นจริงได้ทางกายภาพ แต่ก็มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติแสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นหรือรองรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างของ สายอากาศที่มีคุณสมบัตินี้คือ สายอากาศแบบออมนิไดเรชันแนล (Omnidirectional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้มีดังแสดงในรูปที่ 2.2

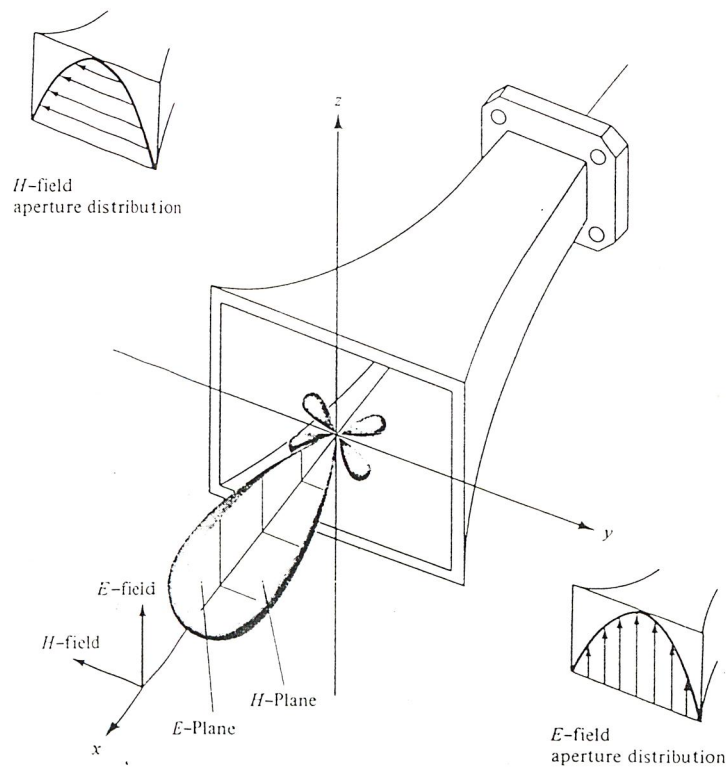


รูปที่ 2.2 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรชันแนล)

ตามรูปจะเห็นว่ารูปแบบการแพร่กระจายแบบนี้ไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุท (Azimuth - Plane) [$f(\phi), (\theta) = \pi/2$] แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอเลเวชัน (Elevation Plane) [$f(\theta), \phi =$ ค่าคงที่] รูปแบบการแพร่กระจายชนิดนี้ออกแบบสำหรับออบเจกต์เรดาร์เป็นกรณีพิเศษของรูปแบบการแพร่กระจายแบบชี้ทิศทาง

2.1.1.2 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก

สำหรับสายอากาศลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarized Antenna) จะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของรูปแบบการแพร่กระจายหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็ก H แพทเทอร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนรูปแบบการแพร่กระจายในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด



รูป 2.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

รูปที่ 2.3 เป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายหลัก โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน; $\phi = 0$) เป็นระนาบ E หลัก และมีระนาบ XY (ระนาบ อาซิมุท, $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบ H หลัก

2.1.1.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

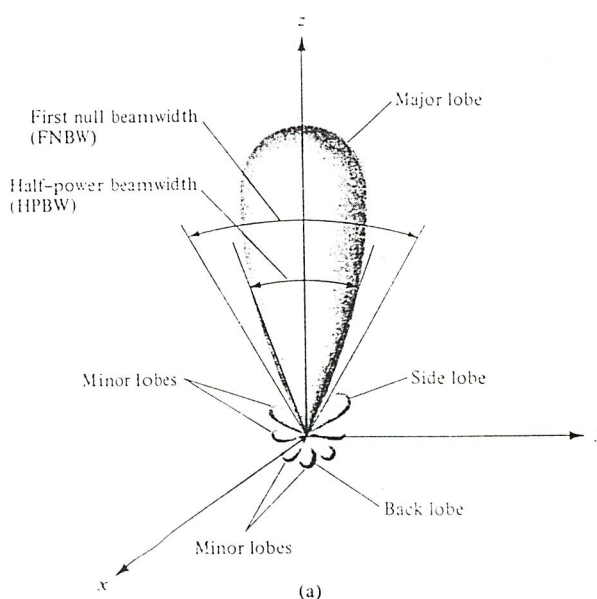
โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำรูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโอบแบบต่างๆ ดังนี้

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 2.4 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split-beam Antenna)

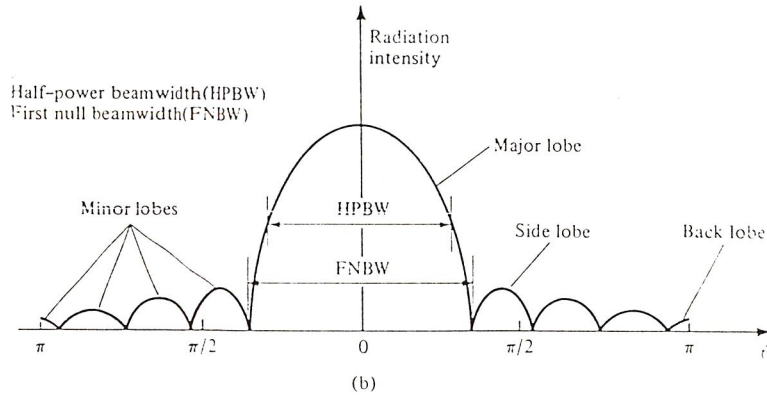
โอบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ โอบอื่นๆ นอกเหนือไปจากหลัก

โอบข้างหรือไซด์โอบ (Side Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง (Back Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลักปกติแล้วโอบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่จำเป็นต้องกำจัดโอบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดระดับของโอบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่กำลังลัดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของไซด์โอบ (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โอบน้อยกว่า -20 dB



รูปที่ 2.4 (a) โอบต่างๆและบีมวิคท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ

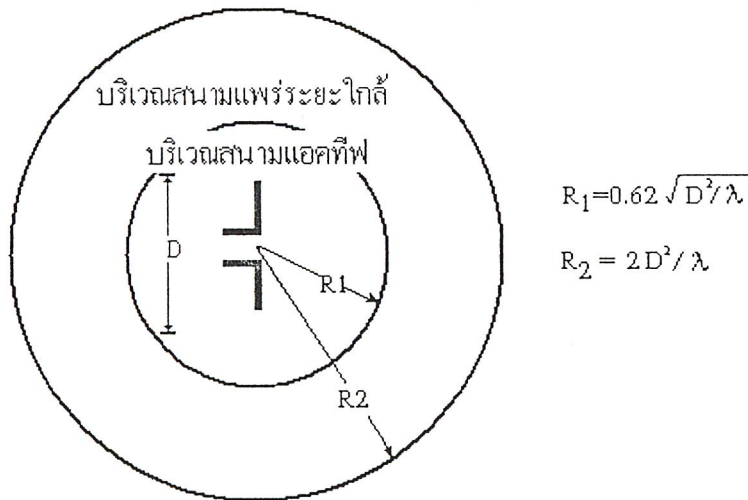


รูปที่ 2.4 (b) รูปแบบการแผ่กระจายในแบบลิเนียร์

2.1.1.4 บริเวณต่างๆของสนามสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far-Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

บริเวณสนามระยะไกล



รูปที่ 2.5 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

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

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับ บริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ เมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นสนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $2D^2 / \lambda > R \geq 0.62 \sqrt{D^3 / \lambda}$

บริเวณสนามระยะไกลเป็นบริเวณสนามของสายอากาศ ซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2 / \lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สามารถมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2 / \lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.1.2 ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ตัวความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แก่ พอยดิง-เวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Instantaneous Poynting Vector) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$W = \xi \times H \quad (2.1)$$

เมื่อ W = พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (W/m²)

ξ = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น (V/m)

H = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น (A/m)

เนื่องจากพอยดิงเวกเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดจะสามารถหาได้โดยอินทิเกรตส่วนของพอยดิงเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมดซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการจะได้

$$P = \oiint_S W \cdot ds = \oiint_S W \cdot nda \quad (2.2)$$

เมื่อ P = กำลังงานทั้งหมดซึ่งขณะเวลานั้น (W)

da = พื้นที่จิวบนพื้นที่ปิด (m²)

ในกรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้ โดยการอินทิเกรตค่าพอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้นตลอด 1 คาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้นสำหรับสนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิกในรูป $e^{j\omega t}$ เมื่อกำหนดสนาม \bar{E} และ \bar{H} เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อนแล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า ζ และ \mathcal{H} ชั่วขณะเวลาใดๆ ได้จาก

$$\zeta(x, y, z; t) = \text{Re}[\bar{E}(x, y, z) e^{j\omega t}] \quad (2.3)$$

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

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

$$W = \zeta \times \mathcal{H} = 1/2 \text{Re}[\bar{E} \times \bar{H}^*] + 1/2 \text{Re}[\bar{E} \times \bar{H} e^{j\omega t}] \quad (2.5)$$

เทอมแรกของ (2.5) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยดิงเวกเตอร์จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

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

ตัวประกอบ $1/2$ ใน (2.5) และ (2.6) เกิดขึ้นเพราะสนาม E และ H เป็นค่าสูงสุดไม่ใช่ค่า rms จาก (2.6) กำลังงานเฉลี่ยที่แพร่กระจายจากสายอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Prad} = \text{Pav} &= \iint_S \bar{W}_{rad} \cdot \bar{ds} \\ &= \iint_S \bar{W}_{rad} \cdot \bar{ds} \\ &= \frac{1}{2} \iint_S \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \cdot \bar{ds} \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.1.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่ออกจากสายอากาศต่อมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นและผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.8)$$

เมื่อ $U =$ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

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

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้คือ

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |\bar{E}(r, \theta, \phi)|^2 \\ &= \frac{r^2}{2\eta} [|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2] \\ &= \frac{1}{2\eta} [|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2] \end{aligned} \quad (2.8a)$$

เมื่อ \bar{E} = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทริเนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกันกำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดยอินทิเกรตความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (2.8) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \oint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.9)$$

2.1.4 ไดรเรคทีวิตี

ไดเรคทีฟเฟนในทิศทางที่กำหนดคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งใช้สำหรับอ้างอิงซึ่งปกติสายอากาศสำหรับใช้อ้างอิงนี้จะใช้ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (Isotropic Point Source)

ไดเรคทีวิตีคือ ค่าของไดเรคทีฟเฟนในทิศทางที่มีค่ามากที่สุดหรือไดเรคทีวิตีของต้นกำเนิดที่ไม่เป็นไอโซโทรปิกคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.10)$$

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.11)$$

D_g = ไดรเรคทีฟเฟน (ไม่มีหน่วย)

D_0 = ไดรเรคทีวิตี (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/ หน่วยมุมตัน)

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

U_0 = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) จะทราบโคเรคทีฟเฟนและโคเรคทีฟติของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่มีค่าเป็นหนึ่งเพราะว่ามันมีการแผ่กระจายกำลังงานออกไปทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากันคือ U , U_{\max} และ U_0 ต่างมีค่าเท่ากันแต่ต้นกำหนด (สายอากาศ) แบบอื่น ๆ นั้นย่อมมีโคเรคทีฟติมากกว่าหนึ่งเสมอ

สายอากาศที่มีโบลหลักแคบๆเพียง โบลเดียวและมีโบลย่อยที่มีขนาดเล็กจนสามารถตัดทิ้งได้มุมตันของบีมีจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกัน

$$D_0 = 4\pi / \Omega = 4\pi / \Theta_{1r} \Theta_{2r} \quad (2.12)$$

มุมตันของบีมี Ω ประมาณได้จาก

$$\Omega = \Theta_{1r} = \Theta_{2r} \quad (2.13)$$

Θ_{1r} = HPBW ในระนาบใดๆ (เรเดียน)

Θ_{2r} = HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (เรเดียน)

2.1.5 อัตราขยาย

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากโคเรคทีฟติโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่โคเรคทีฟติอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ นั้น มีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยาย} &= 4\pi (\text{ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น}) / (\text{กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ}) \\ &= 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{\text{in}}} \end{aligned} \quad (2.14)$$

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพันธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศนั้นต้องเท่ากันสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพลสายอากาศ

ปากแตรแต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็น ไอโซโทรปิกพอยท์ฟอร์สเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียดังนั้น

$$G_g = 4\pi U(\theta, \phi) / P_{in} \text{ (ไอโซโทรปิกที่ไม่มีการสูญเสีย)} \quad (2.15)$$

กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_{in} ดังนี้

$$P_{rad} = e_t P_{in} \quad (2.16)$$

เมื่อ e เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้จะได้

$$G_g(\theta, \phi) = e_t [4\pi U(\theta, \phi) / P_{rad}] \quad (2.17)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับไดเรกทิฟเอนดังนี้

$$G_g(\theta, \phi) = e_t D_g(\theta, \phi) \quad (2.18)$$

ในการทำงานเดียวกันค่าสูงสุดของเอนจะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตีโดย

$$G_0 = D_g(\theta, \phi)_{max} = e_t D_g(\theta, \phi)_{max} \quad (2.19)$$

ดังนั้นค่าประมาณของเอนจะได้

$$G_0 = 30000 / \Theta_{1r} \Theta_{2r} \quad (2.20)$$

Θ_{1r} = HPBW ในระนาบใดๆ (องศา)

Θ_{2r} = HPBW ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับระนาบแรก (องศา)

2.1.6 คลื่นนิ่ง (Standing Wave)

กำลังที่ได้ที่ออกจากสายอากาศแพร่ออกสู่อากาศโดยกำลังที่ส่งออกไปอาจจะมีกำลังส่วนหนึ่งที่มีการสะท้อนกลับมาสู่สายอากาศส่วนหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบคลื่นที่ส่งออกไปเป็นคลื่นเดินทางไปข้างหน้าและเมื่อคลื่นเดินทางกลับคืนกับคลื่นที่สะท้อนกลับจะเสริมกันหรือหักล้างกันแล้วแต่ความแตกต่างจากเฟสของคลื่นทั้งสองผลลัพธ์ของคลื่นทั้งจะปรากฏเป็นนิ่งสรุปแล้วคลื่นนิ่งก็คือ ผลที่เกิดจากคลื่นเดินทางและคลื่นสะท้อนกลับผสมกัน

2.1.6.1 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)

อัตราส่วนคลื่นนิ่งคือ อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่ง อัตราส่วนนี้เป็นค่าวัดปริมาณที่โหดผิดไปจากสถานะที่โหดแมตซ์กันมากน้อยเพียงใดเราหาค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งได้จากสูตร

$$VSWR = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} \quad (2.21)$$

เมื่อ Γ_L คือสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนมีค่าเท่ากับ

$$\Gamma_L = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.22)$$

เมื่อ Z_1, Z_2 คืออิมพีแดนซ์ของคลื่น

2.1.7 S-พารามิเตอร์ (S-PARAMETER)

เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับหาสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับเราสามารถเขียน S-พารามิเตอร์ได้ดังนี้

$$V_1^- = S_{11}V_1^+ + S_{12}V_2^+ \quad (2.23ก)$$

$$V_2^- = S_{21}V_1^+ + S_{22}V_2^+ \quad (2.23ข)$$

เมื่อ V_1^+ แรงดันที่จ่ายที่พอร์ตที่ 1 และ V_1^- คือแรงดันที่สะท้อนกลับที่พอร์ตที่ 1

เมื่อ V_2^+ แรงดันที่จ่ายที่พอร์ตที่ 2 และ V_2^- คือแรงดันที่สะท้อนกลับที่พอร์ตที่ 2

โดยที่ความหมายของ S-พารามิเตอร์แต่ละตัวคือ S_{11} และ S_{22} เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนที่วัดพอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 2 สำหรับ S_{12} และ S_{21} ก็จะเป็นสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านจากพอร์ตที่ 2 มายังพอร์ตที่ 1 และ จากพอร์ตที่ 1 ไปยังพอร์ตที่ 2 ตามลำดับเราจะสามารถหาค่า S_{ij} ได้โดยการวัดคลื่นที่สะท้อนกลับมายังในพอร์ตที่ 1 และจากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า S_{ij} ก็คือสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับและภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ V_j^i จะเขียนได้ดังนี้

$$V_j^i = S_{ij}V_1^+$$

หรือ

$$S_{ij} = \frac{V_i^-}{V_j^+} \quad (2.24)$$

ดังนั้น

$$S_{11} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \quad (2.25)$$

ในทำนองเดียวกันจะสามารถหาค่า S_{22} ได้ดังนี้

$$S_{22} = \frac{V_2^-}{V_2^+} \quad (2.27)$$

และแทน S_{12} กับ S_{21} จะได้

$$S_{12} = S_{21} = \frac{V_1^-}{V_2^+} = \frac{V_2^-}{V_1^+} \quad (2.28)$$

2.2 เทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์

เทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ (Ultrawideband, UWB) มีคุณสมบัติป้องกันที่ดีและมีการเตรียมการใช้งานให้เป็นประโยชน์ในคลื่นวิทยุขนาดนาโนการ เทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย สำหรับการส่งข้อมูลดิจิทัล (digital data) เกินความกว้างของขอบเขตความถี่ที่มีกำลังต่ำมากทุกการดำเนินงานของการทำงานของอุลตราไวด์แบนด์จะใช้งานในพื้นที่ที่ไม่กว้างมากหรือในระยะพัลส์ซึ่งเป็นผลในการทำงานให้มีแบนด์วิดท์การส่งที่กว้างมาก ๆ สิ่งเหล่านี้ไม่สามารถเป็นไปได้นอกจาก อุลตราไวด์แบนด์ ส่วนอื่น ๆ สามารถทำให้เพิ่มขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ อุลตราไวด์แบนด์ยังสามารถใช้งานร่วมกับสเปกตรัมที่มีความกว้างสัญญาณวิทยุที่ให้บริการอยู่ในตอนนี้ โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนหรือแทรกแซงของระบบอื่นๆเลยด้วยเหตุนี้จึงทำให้สเปกตรัมที่ขาดหายไปสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เทคโนโลยีสัญญาณวิทยุที่มีชื่อว่าอุลตราไวด์แบนด์ (กลายเป็นประเด็นที่ทำให้บริษัทหลายบริษัทในกาค้างจับตามองกับการนำมาใช้ในการพาณิชย์ทั่วไป)

อุลตราไวด์แบนด์ ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีไร้สายใหม่ที่เพิ่งได้รับอนุญาตให้ทดลองนำมาใช้ในการค้าทั่วไป โดยเทคโนโลยีนี้แตกต่างจากการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุที่มีกันอยู่ในปัจจุบันที่เป็นการส่งแบบความถี่แคบ ในขณะที่อุลตราไวด์แบนด์จะเป็นการส่งข้อมูลพัลส์สั้นๆผ่านความถี่กว้าง ซึ่งทำให้เป็นการโอนข้อมูลจำนวนมากเป็นระยะทางสั้นและไม่สิ้นเปลืองพลังงาน

เทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ยังทำให้การสร้างเครื่องส่ง (Transmitter) ทำได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีของเครื่องส่งของแนโรแบนด์ (Narrowband) ต้องมีชิ้นส่วนที่เป็นอนาล็อก (Analog) จำนวนมากทำให้การสร้างเครื่องส่งยุ่งยากกว่า นอกจากนี้การมีชิ้นส่วนที่ไม่ยุ่งยากของ UWB ทำให้การส่งสัญญาณนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูง

อุลตราไวด์แบนด์สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที เป็นระยะทาง 10 เมตร ในขณะที่เทคโนโลยีไร้สายอื่น เช่น มาตรฐาน 802.11b ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 6 เมกะบิตต่อวินาที เป็นระยะทาง 100 เมตร หรือบลูทูธ (Bluetooth) ที่ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที เป็นระยะทาง 10 เมตร อุลตราไวด์แบนด์มีศักยภาพที่จะกลายเป็นเทคโนโลยีสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แทนที่บลูทูธในอนาคต

แอปพลิเคชันที่ อุลตราไวด์แบนด์จะเข้ามาเพื่อรองรับคือการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระยะสั้น ๆ โดยไม่ต้องใช้สายเชื่อมซึ่งจะคล้ายๆกับบลูทูธอย่างไรก็ตามอุลตราไวด์แบนด์จะทำให้การส่งข้อมูลนั้นรวดเร็วมากยิ่งขึ้นกว่า 100 เท่า

แต่เนื่องจากความแตกต่างของความถี่ของอุลตราไวด์แบนด์จากความถี่วิทยุทั่วไปทำให้เกิดมีปฏิกิริยาจากบริษัทสายการบินบริษัทมือถือ และอีกหลายๆองค์กรที่เป็นห่วงว่าอุลตราไวด์แบนด์

จะรบกวนการทำงานของคลื่นต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น ในกรณีนักบินต้องนำเครื่องบินลงในสภาพอากาศที่แปรปรวนคลื่นอุลตราไวด์แบนด์อาจทำให้เครื่องลงผิดตำแหน่งได้

2.2.1 ลักษณะพิเศษที่แตกต่างในระบบอุลตราไวด์แบนด์

ข้อยกเว้นของเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ได้มาจากลักษณะของตัวอุลตราไวด์แบนด์เองซึ่งมีลักษณะพิเศษดังต่อไปนี้

- มีแบนด์วิดท์ขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ต่ำ
- มีอัตราขยายสูง
- ไม่รบกวนการทำงานของระบบอื่น
- โอกาสที่ตรวจพบหรือสกัดกันต่ำ
- ใช้พลังงานต่ำ

2.2.2 การนำไปใช้งานของระบบการสื่อสาร

อุลตราไวด์แบนด์ใช้เทคนิคที่ทำให้แบนด์วิดท์ (RF) กว้างการสื่อสารอุลตราไวด์แบนด์เชื่อมต่อกลายเป็นสิ่งเป็นไปได้แบนด์วิดท์ที่นำมาใช้ที่เปรียบเทียบกับความถี่ต่ำโดยจะทำให้หน่วยลงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารเป็นความสำคัญของการส่งของอุลตราไวด์แบนด์สำหรับทำให้คลื่นมีขนาดที่เล็กลงแต่มีแบนด์วิดท์สูง โดยใช้พลังงานที่ต่ำในส่วนของ การสูญเสีย (losses) ก็จะทำให้เกิดน้อยที่สุดและต้องการที่จะแพร่กำลังงาน

อุลตราไวด์แบนด์สามารถทำงานในระดับที่มีการรบกวนสูงได้โดยส่งข้อมูลระดับที่มีการขยาย คุณสมบัติของการแพร่กระจายกำลังงานต่ำและแบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างเป็นผลให้เกิดความหนาแน่นของกำลังงานต่ำของสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์ ด้วยวิธีนี้คลื่นวิทยุอุลตราไวด์แบนด์จึงสามารถทำงานในสเปกตรัมเดียวกันกับคลื่นวิทยุแอมโพลแบนด์ได้โดยไม่รบกวนกัน

ทำการจำกัดหรือลด โลบที่ไม่ต้องการในส่วนของความห่างของอารีย์สายอากาศเมื่อใช้ร่วมกับการส่งแบบแอมโพลแบนด์และร่วมไปกับรูปคลื่น (waveform) ของอุลตราไวด์แบนด์ ด้วยเหตุนี้จึงใช้สเปกตรัมให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดเหมือนกันการนำสเปกตรัมกลับมาใช้อีกครั้งหนึ่ง

2.3 ทฤษฎีสายอากาศไบโคนิกอล (BICONICAL)

เป็นรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อนที่สามารถใช้กับคุณสมบัติของบรอดแบนด์ได้ รูปร่างของสายอากาศไบโคนิกอลนั้นเป็นรูปทรงกรวยที่มีขนาดไม่จำกัดวางเข้าด้วยกันไว้ดังในรูปที่ 2.6(a) นั้นแสดงในรูปของสายส่งเมื่อใช้ค่าแรงดันอินพุต (V_i) ที่ขั้วจะมีผลออกมาเป็นคลื่นทรงกลมดังในรูปที่

2.6 (b) ซึ่งในผลสะท้อนในจุดใดๆ $(r, \theta = 0_c, = \phi)$ จะมีกระแส (I) ตามพื้นผิวของรูปทรงกรวยและแรงดัน (V) ระหว่างทรงกรวยทั้งสอง (รูปที่ 2.7) สามารถหาค่าคุณลักษณะพิเศษของอิมพีแดนซ์ (impedance) ของทรงเรขาคณิตนั้น ดังแสดงการหาค่าตัวแปรระยะของทรงกรวยที่จะทำให้ใช้เป็นสายส่งได้

2.3.1 สนามการแพร่กระจายคลื่น

เริ่มต้นโดยการวิเคราะห์ที่เป็นอย่างแรกหาการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้า (E) และการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (H) ระหว่างทรงกรวยซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้นแบบโหมด TEM (สนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H) มีการแพร่แบบเส้นตรงโดยทิศทางตัดขวางกัน) ถ้ากำหนดจุดหลายๆจุด (r, θ, ϕ) ค่าแรงดันและกระแสที่อยู่ในจุดต่างๆบนพื้นผิวทรงกรวย $(r, \theta = \theta_c, = \phi)$ จากกฎของฟาราเดย์เราสามารถเขียนได้ดังนี้

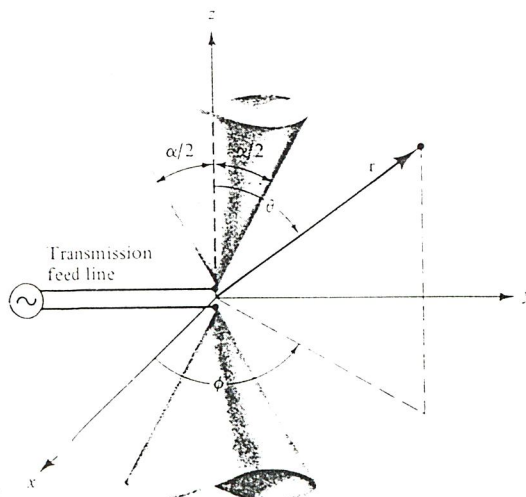
$$\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mu\mathbf{H} \quad (2.28)$$

ซึ่งถ้าหากแสดงให้อยู่ในพิกัดทรงกลมและซึ่งในสนามไฟฟ้า (E) อย่างเดียวมี E_θ เป็นตัวประกอบอิสระคือ ϕ จะได้

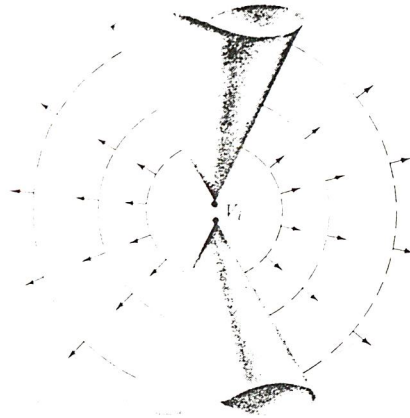
$$\nabla \times \mathbf{E} = \hat{\mathbf{a}}_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE_\theta) = -j\omega\mu(\hat{\mathbf{a}}_r H_\phi + \hat{\mathbf{a}}_\theta H_\phi) \quad (2.29)$$

โดยที่สนามแม่เหล็ก (H) มีส่วนประกอบในทิศทาง H_ϕ อย่างเดียวจำเป็นสำหรับโหมด TEM E_ϕ ในสมการที่ (2.29) สามารถเขียนได้

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE_\theta) = -j\omega\mu H_\phi \quad (2.29a)$$



(a) รูปร่างไบโคเนคคัล



(b) คลื่นทรงกลม

รูปที่ 2.6 (a) และ (b) สาขาอากาศรูปเรขาคณิตและการแพร่กระจายคลื่นแบบทรงกลม

สำหรับกฎของแอมแปร์(Ampere) มีดังนี้

$$\nabla \times \mathbf{H} = +j\omega \in \mathbf{E} \tag{2.30}$$

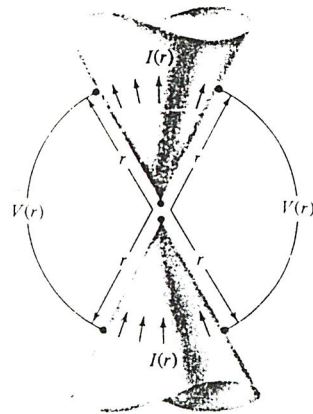
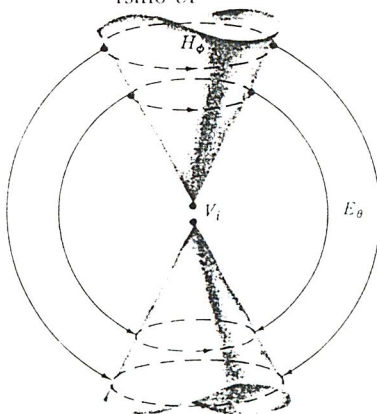
ซึ่งแสดงในพิกัดทรงกลมและมีส่วนประกอบในทิศทางของสนามไฟฟ้า E_θ อย่างเดียวและส่วนในทิศทางของสนามแม่เหล็ก H_ϕ เป็นตัวประกอบอิสระสำหรับ ϕ ก็จะได้

$$\hat{\mathbf{a}}_r \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta H_\phi) \right] - \hat{\mathbf{a}}_\theta \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta H_\phi) \right] = +j\omega \in (\hat{\mathbf{a}}_\theta E_\theta) \tag{2.31}$$

ซึ่งจะเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta H_\phi) = 0 \tag{2.31a}$$

$$\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta H_\phi) = -j\omega \in E_\theta \tag{2.31b}$$



รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของสาขาอากาศไบโคเนคัล

ซึ่งจะเขียนใหม่จากสมการ (2.31b) ได้เป็น

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) = -j\omega \epsilon E_\theta \quad (2.32)$$

และเมื่อนำไปแทนในสมการ (2.29a) จะได้สมการในทิศทาง H_ϕ ดังนี้

$$-\frac{1}{j\omega \epsilon r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) \right] = -j\omega \mu H_\phi \quad (2.33)$$

หรือ

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} (rH_\phi) = -\omega^2 \mu \epsilon (rH_\phi) = -k^2 (rH_\phi) \quad (2.33a)$$

การแก้สมการของ (2.33a) ได้โดยแทนสมการที่ (2.31a) ที่เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับสมการ (2.24a) เมื่อ θ แปรผันของสนามแม่เหล็กในทิศทาง H_ϕ จะได้รูปสมการคือ

$$H_\phi = \frac{f(r)}{\sin \theta} \quad (2.34)$$

สำหรับการแก้สมการของ (2.33a) ซึ่งต้องกำหนดให้เหมาะสมเหมือนกับสมการที่ (2.34) และแสดงการแพร่กระจายคลื่นคือ

$$H_\phi = \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.35)$$

ซึ่ง

$$f(r) = H_0 \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.35a)$$

เหมือนการแสดงการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่เหมาะสมกับโครงสร้างที่ยาวมากเมื่อสนามในโหมด TEM ดูจากสนามไฟฟ้าที่มีสนามแม่เหล็กที่เป็นอิสระกันและเขียนได้ดังนี้

$$E_\theta = \eta H_\phi = \eta \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.36)$$

ในรูปที่ 2.7 เราสามารถเห็นเส้นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในอากาศ (free space) ระหว่างโครงสร้างทรงกรวยทั้งสองเมื่อจ่ายแรงดันให้จุดที่ตรงกันของทรงกรวยที่มีระยะห่างรัศมี (r) จากจุดศูนย์กลางพิสูจน์โดย

$$V(r) = \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} (\hat{\mathbf{a}}_\theta E_\theta) \cdot (\hat{\mathbf{a}}_r r d\theta) = \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} E_\theta r d\theta \quad (2.37)$$

หรือโดยใช้สมการที่(2.29)

$$\begin{aligned} V(r) &= \eta H_0 e^{-jkr} \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} \frac{d\theta}{\sin \theta} = \eta H_0 e^{-jkr} \ln \left[\frac{\cot(\alpha/4)}{\tan(\alpha/4)} \right] \\ V(r) &= 2\eta H_0 e^{-jkr} \ln \left[\cot \left(\frac{\alpha}{4} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.37a)$$

เมื่อกระแสที่ไหลผ่านพื้นผิวของทรงกรวยที่มีระยะห่างรัศมี (r) จากจุดศูนย์กลางพิสูจน์โดยใช้สมการที่ (2.35) ดังนี้

$$I(r) = \int_0^{2\pi} H_0 r \sin \theta d\phi = H_0 e^{-jkr} \int_0^{2\pi} d\phi = 2\pi H_0 e^{-jkr} \quad (2.38)$$

ในรูปที่ 2.7(b) เราสามารถเห็นแรงดันและกระแสไหลในรัศมีสั้นจากจุดศูนย์กลาง

2.3.2 อินพุตอิมพีแดนซ์ (input impedance)

A. ทรงกรวยที่มีขนาดใหญ่มาๆ

ใช้สมการแรงดันในสมการที่ (2.37) และสมการกระแสในสมการที่ (2.31) เราสามารถเขียนคุณสมบัติของอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$Z_c = \frac{V(r)}{I(r)} = \frac{\eta}{\pi} \ln \left[\cot \left(\frac{\alpha}{4} \right) \right] \quad (2.39)$$

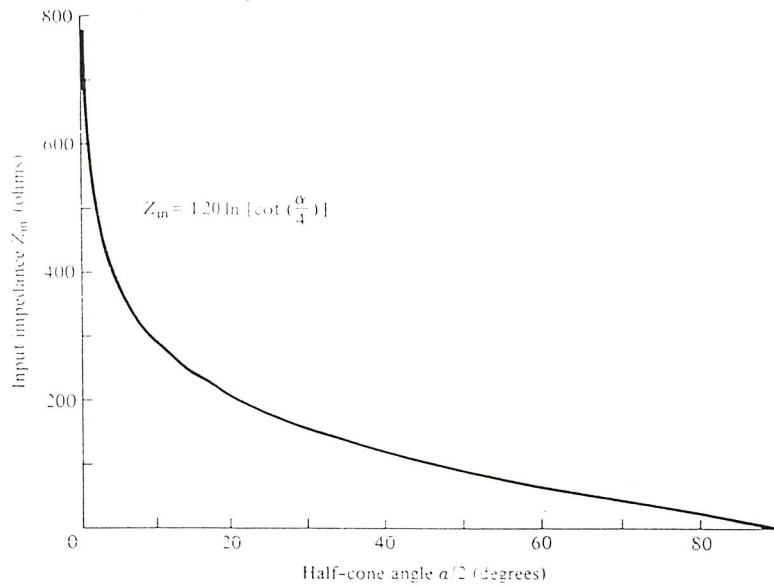
เมื่อคุณสมบัติ อิมพีแดนซ์ไม่ตรงกับฟังก์ชันจากรัศมี (r) แสดงเหมือนกับอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ขั้วสายอากาศสำหรับ โครงสร้างที่มีขนาดใหญ่เมื่อตัวกลางเป็นอากาศในสมการที่ (2.39) แสดงดังนี้

$$Z_c = Z_m = 120 \ln \left[\cot \left(\frac{\alpha}{4} \right) \right] \quad (2.39a)$$

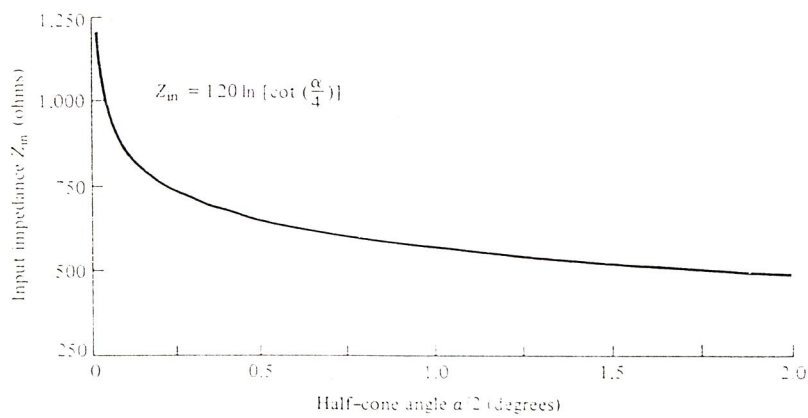
ซึ่งเมื่อ ไม่มีความต้านทานสำหรับทรงกรวยที่มีขนาดเล็ก

$$Z_m = \frac{\eta}{\pi} \ln \left[\cot \left(\frac{\alpha}{4} \right) \right] = \frac{\eta}{\pi} \ln \left[\frac{1}{\tan(\alpha/4)} \right] \cong \frac{\eta}{\pi} \ln \left(\frac{4}{\alpha} \right) \quad (2.39b)$$

ค่าแปรผันอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_m) สำหรับมุมของครึ่งของทรงกรวย ($\alpha/2$) ซึ่งแสดงในกราฟรูปที่ 2.8(a) ที่มีค่ามุมระหว่าง ($0^\circ < \alpha/2 \leq 90^\circ$) และ ในกราฟรูปที่ 2.8(b) ในรูปแสดงค่าระหว่าง ($0^\circ < \alpha/2 \leq 2^\circ$) แม้ว่ามุมของทรงกรวยจะไม่ใช่มุมวิกฤตที่สุดในการออกแบบ โดยปกติจะเลือกคุณสมบัติอิมพีแดนซ์ที่มีรูปร่างภายนอก ไบโคนิคอลซึ่งสามารถช่วยให้มีคุณสมบัติเหมือนกับสายอากาศไบโคนิคอลที่มีมุมเล็กไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ แต่รูปร่างที่มีมุมที่เหมาะสมสำหรับความถี่ของสายอากาศบรอดแบนด์



(a) Input impedance



(b) Input impedance in expanded scale

รูปที่ 2.8 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่มีขนาดใหญ่มากในอากาศ

อุปสรรคของการแพร่กระจายคลื่นจาก สมการ (2.39) ใช้สมการเหมือนกันโดยการหาค่าตั้งงานทั้งหมดเป็นอย่างแรก

$$\text{Prad} = \iint_S \mathbf{W}_{av} \cdot d\mathbf{s} = \int_0^{2\pi} \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} \frac{|E|^2}{2\eta} r^2 \sin \theta d\theta d\phi = \pi\eta |H_0|^2 \int_0^{\alpha/2} \frac{d\theta}{\sin \theta}$$

$$\text{Prad} = 2\pi\eta |H_0|^2 \ln \left[\cot \left(\frac{\alpha}{4} \right) \right] \quad (2.40)$$

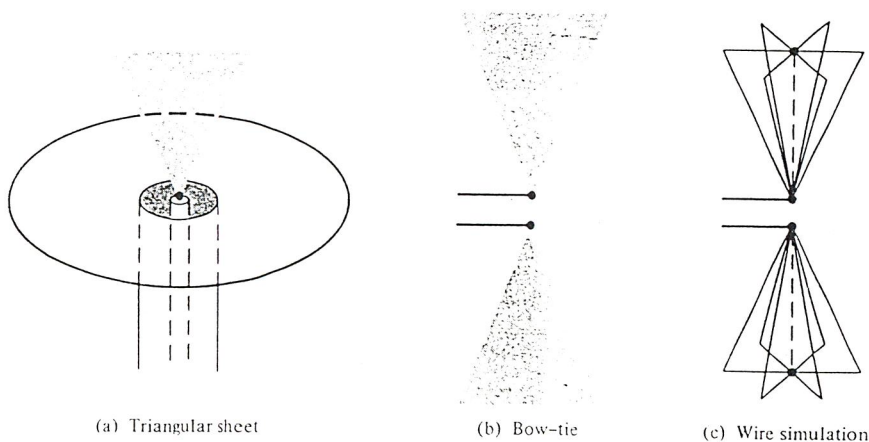
B. ทรงกรวยที่มีขอบเขต

ในสมการของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ (2.39) หรือ (2.41) ใช้สำหรับ โครงสร้างที่มีความยาวขอบเขตที่ไม่จำกัดที่หาค่าวัดค่าอธิบายขอบเขตมิติของอินพุตอิมพีแดนซ์ในกฎของ shelkunoff มีวิธีคำนวณที่ดีที่ใช้สำหรับทรงกรวยที่มีขอบเขต ($r = \ell/2$) สำหรับให้กำลังงานตามพื้นผิวของทรงกรวยเป็นการสะท้อนของการแพร่กระจายคลื่นชั่วขณะเวลาหนึ่ง โดยมากจะใกล้เคียงกับเส้นศูนย์ โดยพลังงานจะสามารถแพร่กระจายคลื่นออกเพราะปลายของทรงกรวยต่อโพลอิมพีแดนซ์และเมื่อจ่ายกระแสที่สมดุลกันที่ขั้วในสายส่ง ค่าอิมพีแดนซ์ (Z_C) ที่ขั้วในโพลอิมพีแดนซ์ (Z_L) สามารถคำนวณค่าได้แทนในความต้านทานอินพุตและรีแอกแตนซ์ของมุมเล็กของทรงกรวย แสดงในรูปที่(2.6) ก็เป็นค่าที่แสดงที่สายอากาศเหมาะสมออกไปจากแบบบรอดแบนด์ (ถ้ารีซิสแตนซ์และรีแอกแตนซ์เปลี่ยนแปลงไม่มาก) ขณะที่มุมของทรงกรวยมีขนาดเพิ่มขึ้น

สายอากาศไบโคนิคอลแสดงให้เห็นอย่างหนึ่งถึงปัญหาข้อบังคับในทฤษฎีสายอากาศ และรูปทรงของสายอากาศควรจะทำตามเป็นการตรวจสอบสมบัติทั่วไปของสายอากาศไดโพล

2.3.3 สายอากาศ triangular sheet , สายอากาศ bow-tie และ สายอากาศ wire simulation

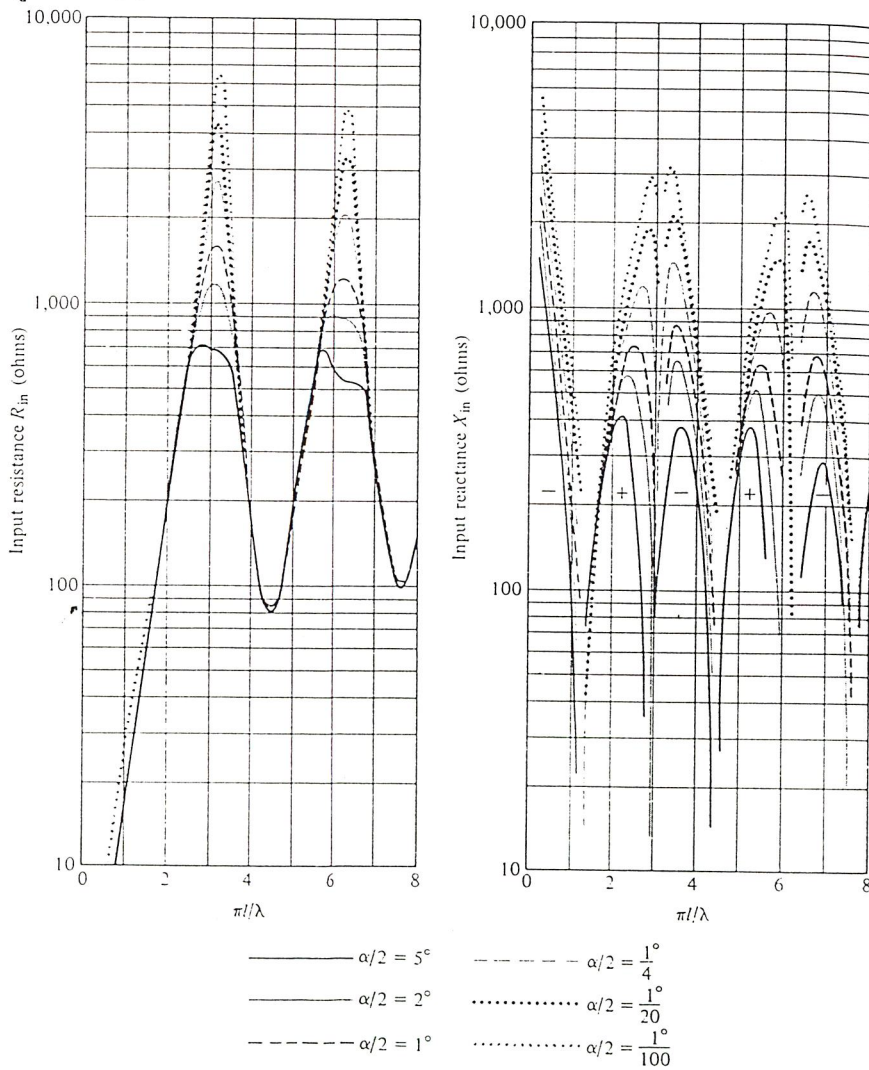
ตามหลักการคำนวณที่นำมาสร้างรูปทรงหรือพื้นผิวของโคนิคอลยูนิโพล (conical unipole) หรือสายอากาศไบโคนิคอล ก็คือสายอากาศ triangular sheet และ สายอากาศ bow-tie ที่แสดงที่รูป (a) และ (b) ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 สายอากาศ triangular sheet , สายอากาศ bow - tie , และ wire simulation ของสายอากาศไบโคนิคอล

แต่ละรูปแบบสร้างโดยแผ่นโลหะสายอากาศเหล่านี้สามารถจำลองการใช้งาน โดยต่อสายตามเส้นรอบวงของพื้นผิวเพื่อลดค่า รีซิสแตนซ์ รวมของโครงสร้างสายอากาศคำนวณอินพุตอิมพีแดนซ์ และ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ bow-tie เมื่อยอดของสายอากาศสูง

กว่าระดับระนาบสร้างเงาคำนวณได้โดยใช้โมเมนต์ (Moment method) อิมพีแดนซ์แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.10 เปรียบเทียบผลของรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าสายอากาศ bow-tie ไม่มีลักษณะตรงกับลักษณะของบรอดแบนด์ (broadband) (ค่าคงที่ที่เข้าใกล้ค่ารีซิสแตนซ์ และ ค่ารีแอคแตนซ์ จะเป็นศูนย์ทั้งแถบความถี่กว้าง) มีลักษณะเหมือนกับรูปทรงของสายอากาศไปโคนิคอล สำหรับขนาดที่ $30^\circ < \alpha < 90^\circ$ อีกทั้งมุมส่งกระจายค่ารีซิสแตนซ์ และ รีแอคแตนซ์ ของโครงสร้างที่ต่อจากสายส่งของ bow-tie ยังแกว่งไปแกว่งมาของสายอากาศ triangular sheet ด้วยเหตุนี้ bow-tie จึงเป็นแบบแนวลำแบนด์ (narrowband) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวรอบๆ ของไปโคนิคอล หรือสายอากาศ triangular sheet ในลำดับของแบบจำลองที่ดีจะดูดซับที่รอบๆ พื้นผิวของสายอากาศไปโคนิคอล โดยจากโครงสร้างพื้นฐาน โดยใช้ขดลวดหลายๆเส้นตัดผ่านกันแบบ bow-tie ตามที่แสดงดังรูปที่ 2.9 (c)



รูปที่ 2.10 อินพุต อิมพีแดนซ์ (ที่ขั้ว ฟีด) ของความยาวของสายอากาศไปโคนิคอลที่จำกัด

2.3.4 การพัฒนาของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Antenna)

สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูกลับหัวได้มีการพัฒนามาจากสายอากาศ bow-tie ที่ได้กล่าวไว้ที่หัวข้อที่แล้ว นอกจากนั้นสายอากาศ bow-tie ยังมีรูปแบบการชี้ทิศทางของสายอากาศสองทิศทาง พร้อมกับมีบีมหลักที่กว้างเป็นเส้นตั้งฉากกับแนวของสายอากาศ และ แพร่กระจายสัญญาณไปในทิศทางเดียว

สายอากาศ bow-tie เป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการสื่อสาร UHF (Ultra High Frequency) ของทีวีมาก่อน มันถูกใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณ โดยต่อเข้ากับสายกริด (grid) และข้างหลังต่อเข้ากับระนาบสร้างเงา (ground plane) เพื่อลดโลบหลัง

สายอากาศ bow-tie ส่วนใหญ่ถูกเอาใช้กับความถี่สูงต่อมาได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น โดยให้มีคุณสมบัติที่เป็นสายอากาศอุลตราไวด์แบนด์สี่เหลี่ยมคางหมู หรือ สายอากาศโมนโพลาร์ (Monopolar) bow-tie

2.3.5 ลักษณะของสายอากาศ สี่เหลี่ยมคางหมู

สิ่งที่ต้องการพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศ อุลตราไวด์แบนด์ที่เหมาะสมคือ

- การตอบสนอง อุลตราไวด์แบนด์
- ไม่เกิดการกระจัดกระจายของสัญญาณ , ประจุไฟฟ้ามี ขนานเล็ก
- ทำการกรองสัญญาณสำหรับสัญญาณที่ผิดเพี้ยน
- รูปแบบการแพร่กระจายชี้ทิศทางมีสองทิศทาง
- มีขนาดเล็ก
- ต้นทุนต่ำ

สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูกลับหัวเป็นสายอากาศแบบซิงเกิล (single) มีรูปแบบขนาดเล็กและไม่ซับซ้อนสามารถที่จะสร้างแบนด์วิดท์กว้างสำหรับใช้งานได้ครอบคลุมของความกว้างของความถี่ สำหรับแบบพกพาสายอากาศจะถูกออกแบบให้ประจุไฟฟ้ามีขนาดเล็กแบนด์วิดท์สายอากาศที่ใหญ่กว่า ซึ่งโดยปกติจะใช้ในระบบเรดาร์แบบธรรมดาและแสดงการกระจายที่สูงมากๆหรือตำแหน่งสำหรับให้เรดาร์ลอคทะลุพื้นผิว โดยกำหนดให้ความถี่มีลักษณะเป็นอิสระ , พารามิเตอร์ , อัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายในปกติความกว้างของความถี่ จะไม่แกว่งมากเกินไป

ในกรณีที่อิมพีแดนซ์แมตซ์และประสิทธิภาพการแพร่กระจายสูงจะต้องได้รับแบนด์วิดท์ทั้งหมดในการรับสัญญาณจะต้องเป็นที่น่าพอใจที่ยอมรับได้ และการทำงานมีการใช้กำลังงานต่ำในการทำงานเดียวกันจะต้องให้ผลตอบแทนเฟสเชิงเส้น สำหรับประสิทธิภาพการทำงาน

สายอากาศคางหมูเป็นวิธีที่ได้มาจากสายอากาศโคนคอด (conical) ด้วยรูปแบบที่ใกล้เคียงกันวิเคราะห์ความเป็นไปได้แตกต่างกันเพียงส่วนเดียวในแนบราบของแผ่นโลหะรูปสามเหลี่ยมจะขนานกับระนาบสร้างเงารูปตัว L ที่นอนไปในแนบพื้นราบโพลาไรเซชันลิเนีย (linear polarization) โดยจัดให้เข้ากับมุมของสายอากาศที่จะทำให้ไดเรคตีวิตีเพิ่มขึ้นและจะลดขนาดโลบข้าง ด้วยเหตุนี้สามารถแสดงให้เห็นในทอมซ์ของอิมพัคตอิมพีแดนซ์และรูปแบบการแพร่กระจายเป็นในลักษณะการทดลองตามทฤษฎีจากข้อมูลนี้จะกำหนดพารามิเตอร์ในกาออกแบบสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู พารามิเตอร์ เป็น อีเลเมนต์ฐานกว้าง และการเว้นช่องว่างของช่องอากาศของการพีคอีเลเมนต์ ฐานกว้างจะควบคุม อิมพัคตอิมพีแดนซ์ที่เกินความถี่อิมพีแดนซ์ความถี่สูงจะเหมือนกับความถี่รีโซแนนซ์ (resonance) การเว้นช่องเปิดของสายอากาศของพีคเหมือนกับสนับสนุนให้เกิดผลบน อิมพีแดนซ์แมตซ์ของสายอากาศ จากการวิเคราะห์นี้สามารถจะออกแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูให้ เป็นผลสำเร็จ เหมาะกับการใช้งานในระบบสัญญาณวิทยุบรอดแบนด์

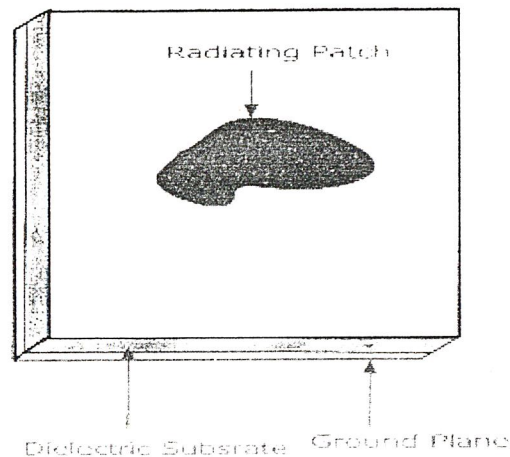
2.4 สายอากาศไมโครสตริป

แนวความคิดในการใช้งานไมโครสตริปซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็กในการแพร่กระจายคลื่นได้ถูกนำเสนอครั้งแรก โดย Deschamps ค.ศ. 1953 และหลังจากนั้น 20 ปีจึงมีการสร้างสายอากาศใช้งานจริง โดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎี และเทคนิค photo – etch ของฐานรองที่เป็น copper หรือ gold – clad และมีคุณสมบัติทางอุณหภูมิต่างกันและทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้นมีค่า loss tangent ที่ต่ำสายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ.1970 โดย Howell, Munson จากนั้นก็มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวางนำไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน

2.4.1 ลักษณะโครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่ โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งมีรูปร่างต่างๆ เช่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular), รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square), วงกลม (Circle), วงรี (Elliptical) ฯลฯ เรียกว่า ตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiation Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างมาก เรียกว่า แผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลาง

ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ขนาดของตัวแพร่กระจายจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับกรออกแบบตัวแพร่กระจายคลื่นให้มีขนาดตามความต้องการแผ่นกราวด์ ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มีขนาดจนถึงอนันต์ได้ ดังนั้น ในการออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัดของแผ่นกราวด์ว่าควรมีขนาดเท่าไร เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่า ตัวแพร่กระจายคลื่นลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปสามารถแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รูปโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป จะมีข้อดีได้เปรียบหลายประการ เมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านไมโครเวฟแบบอื่นๆ โดยสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 50 GHz

1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- น้ำหนักเบา (lightweight) , ขนาดเล็ก (low volume)
- ทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้เพราะไม่มีผลทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics)
- พื้นที่หน้าตัดน้อย (low profile)
- สามารถผลิตได้ง่ายและราคาถูก (low fabrication cost)
- มีความสะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้เช่น จรวด, ดาวเทียม เป็นต้น
- มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม

2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- มีช่วงความถี่ที่รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (narrow bandwidth)
- มีอัตราการสูญเสีย (loss)

- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดประมาณ 20 dB.
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ

2.4.3 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริป

การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปเกิดจากสนามโป่งที่เกิดขึ้น ระหว่างขอบของตัวนำของสายอากาศ ไมโครสตริป กับ พื้นกราวด์การแพร่กระจายคลื่นอย่างไม่ต่อเนื่องของสายอากาศไมโครสตริปถูกทดสอบโดย Levin การวิเคราะห์ของเขาจะพิจารณากระแสที่ไหลในตัวนำวิธีนี้จะใช้คำนวณค่า Q ของความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนอง ถ้าพิจารณาสนามในรูปแบบของช่องเปิด (aperture from) โดยเปิดให้สายอากาศไมโครสตริปแยกจากพื้นกราวด์ ใช้ในการวิเคราะห์ค่า Q ทั้งหมด ค่า Q นี้เป็นฟังก์ชันที่เกิดจากความถี่ที่สายอากาศไมโครสตริปตอบสนองค่าความเป็นฉนวนและความหนาของฐานรองผลึกพีซีทั้งทางทฤษฎี และ ทางปฏิบัติจะแสดงว่าที่ความถี่สูงการสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นจะมีค่ามากกว่าการสูญเสียเนื่องจากตัวนำและค่าความเป็นฉนวน

2.4.4 สายอากาศ vivaldi

ตามทฤษฎีสายอากาศ vivaldi จะมีลักษณะที่เรียวยาวมาเรื่อยๆในสายอากาศ vivaldi ส่วนที่แตกต่างของช่วงที่ใช้ในการแพร่สนามแม่เหล็กที่ความถี่ต่างกัน อย่างเช่นสายอากาศแถบความถี่กว้าง อย่างไรก็ตาม แบนด์วิดท์ของสายอากาศมีขอบเขตจำกัด โดยการส่งจากสาย พีค ถึงช่วงของสายอากาศ Gazit ได้ทดลอง antipodal ในรูปร่างของ vivaldi การส่งสัญญาณที่แก้ไขให้ดีขึ้นสำหรับใช้งานในแถบความถี่กว้าง ภายหลัง Langley ได้ลดการการ ครอดโพลาไรท์เซชัน ของสายอากาศโดยการเริ่มทำโครงสร้าง vivaldi แบบ antipodal สมดุล เมื่อเร็วๆนี้ Guillanton ได้ทำการต่อส่วนที่เรียวยาวของ สายอากาศ vivaldi antipodal สมดุลเพื่อที่จะสร้างสายอากาศ vivaldi ที่ทำงานเช่นเดียวกับไดโพล ในขอบความถี่ต่ำที่ช่วงของสายอากาศไม่สามารถแพร่กระจายได้ในขอบเขตความถี่ต่ำถูกแก้ไขโครงสร้างให้ง่ายขึ้นแถบความถี่กว้างและอัตราขยายสูง สายอากาศ vivaldi เป็นการใช้ในทุกๆขอบเขตทางกายภาพ ดังเช่นการใช้งาน GPR และ FM-CW เรดาร์ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ของสายอากาศ vivaldi รวมทั้งระนาบสร้างเงาที่แตกต่างกันยังไม่มีกรนำเสนอวิธีทางคณิตศาสตร์ สำหรับปัญหานี้ต้องการที่จะทำให้เหมาะสมสำหรับรูปแบบสายอากาศทั้งสองส่วน และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในหลายๆความแตกต่างปัจจุบัน FDTD และ TLM ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ

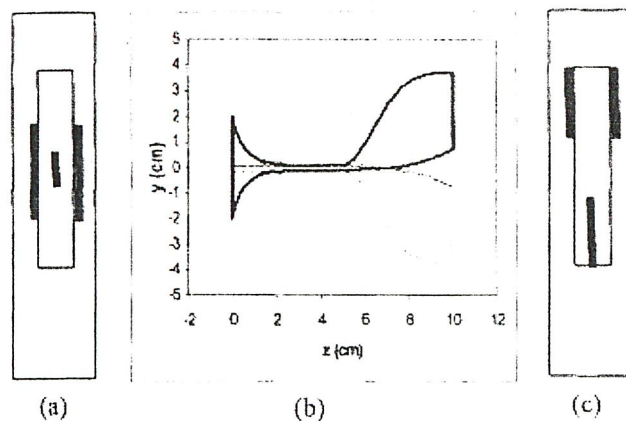
ในหลักการศึกษาวีธี 3D TLM เป็นการขยายการแก้ปัญหาทฤษฎีกระแสสมมูล (current-equivalency :CE) เป็นการทดลอง การทดลองทางเทคนิคประกอบไปด้วยสามขั้นตอน (1) โดยการ ใช้ ในกรณีที่ตัวนำไฟฟ้าไม่มีที่สิ้นสุดของการกระจายเมตริกซ์ของ SCN เพื่อจะเป็นตัวนำที่สมบูรณ์ที่ โหนด TLM (2) กำหนดกระแสสมมูลตามด้วยโหนดตัวนำ (แอมป์ปีจูดส์ และ เฟสของกระแสถูก กำหนด โดยส่วนที่เป็นตัวนำของพื้นผิว สายอากาศ) (3) สร้างกระแสสมมูล ที่ส่วนที่เป็นตัวนำที่ สายอากาศ vivaldi เบื้องต้นของเทคนิคกระแสสมมูล CE วิธี TLM เป็นรูปทรงของกระแสและ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวนำสมบูรณ์ตลอดทั้งแนวอวกัทั้งกระแสที่แพร่กระจายและสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศ

วิธี TLM กับเทคนิค CE นำมารวมกันเกี่ยวข้องเป็นวิธี TLM-CE ปัจจุบันเราจะคำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EM) ของสายอากาศ vivaldi ของรูปแบบ Guillanton's เมื่อสายอากาศอยู่ใน ตำแหน่งสูงสุดของกราวด์ที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยใช้วิธี 3-D TLM-CE

2.4.5 การพัฒนาของวิธี TLM สำหรับสายอากาศ vivaldi

รูปที่ 2.12 เป็นแบบของสายอากาศ vivaldi ของ Guillanton's โมเดลสายอากาศ ประกอบด้วยสามส่วนของรูปแผ่นตัวนำไฟฟ้าแยกกันโดยที่ 2 ส่วนมีค่า ($\epsilon = 2.2\epsilon_0$)

การแก้ปัญหาในสามมิติเราใช้วิธี TLM กับโหนดย่อยสัดส่วน (SCN) เพราะว่าการกระจาย เมตริกซ์ของ SCN ทุกๆอย่างของทุกๆตัวกลาง เราพิจารณากรณีเมื่อกริดทั้งหมดของสายอากาศเต็ม ไปด้วยตัวนำสมบูรณ์ $\epsilon = \mu = 0$ และ $\sigma = \infty$ ในกรณีนี้



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสายอากาศ vivaldi ความหนาของฉนวนเท่ากับ 4 มิลลิเมตรและทองแดง หนาเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ค่าคงที่ของฉนวนไฟฟ้าเท่ากับ 2.2 (a) ด้านล่าง (b) ด้านข้าง และ (c) ด้านบน

สเกลเดอริ่งเมตริกซ์ที่สามารถมีคุณสมบัติเป็นสเกลเดอริ่ง โมเดล ของกริดตัวนำไฟฟ้า สมบูรณ์ซึ่งแต่ก่อนขอบเขตของสายอากาศจะเกิดจากการสะท้อนของแรงดันจากพื้นผิวของสายอากาศไม่มีแรงดันตกกระทบ บนตัวสายอากาศที่เป็นไปตามขอบเขตของตัวนำไฟฟ้า ณ.ที่นี้เราเริ่มทำการแก้ปัญหาโดยใช้วิธี TLM

- (ก) สมมุติว่าตัวคอนดักเตอร์ของสายอากาศ มีความหนาที่ไม่มีที่สิ้นสุดและใช้เนื้อที่ในหนึ่งกริดของ TLM ในความหนาของสายอากาศ
- (ข) แทนด้วยสายอากาศที่ใช้พื้นที่เยื่อโดยรูปแบบตัวกลางและใช้สเกลเดอริ่งเมตริกซ์ S_c ที่ตัวคอนดักเตอร์เพื่อที่จะมีรูปแบบคุณสมบัติสเกลเดอริ่งเมตริกซ์ของตัวกลางนี้

ใช้การเคลื่อนที่ของกระแสที่คงที่โดยสนามไฟฟ้าในพื้นที่ที่รับหน้าที่แทนรูปแบบทางกายภาพ พื้นฐานที่นำกระแสของสายอากาศ ทางกายภาพเมื่อแรงดันเข้ามาที่ตัวพีคของสายอากาศการนำกระแสจะเป็นรูปร่างบน สายอากาศในส่วนอื่น ๆ เมื่อโหนดซึ่งรับหน้าที่แทนตัวนำทางไฟฟ้าของสายอากาศมีลักษณะจากเมตริกซ์ S_c ที่ชนิดของตัวกลางปกติกระแสสมมูลในทิศทาง โคดิเนท $(U=X,Y,Z)$ สามารถกำหนดในโหนดดังนี้

$$I_u = \frac{\partial Q_u}{\partial t} = C_u \frac{\partial V_u}{\partial t}, u = x, y, z \quad (2.41)$$

ถูกต้องตามลักษณะที่ตรงกันเกี่ยวเนื่องระหว่างสมการสายส่ง และ สมการแม็กเวลล์สมการที่(2.41) สามารถเขียนใหม่ดังนี้

$$I_u = \epsilon \Delta S \frac{\partial E_u}{\partial t}, \Delta S = \Delta x \Delta y \text{ for } u = z \quad (2.42)$$

เบื้องต้นของการแก้ปัญหาทั้งหมดถ้าปล่อยให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีปริมาณที่เกี่ยวข้องเนื่องจากกระแสสมมูล ในพื้นที่ของสายอากาศเป็นไปตามขอบเขตของตัวนำ เริ่มต้นโดยสายอากาศและสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะเดียวกับกระแสสมมูลในสมการที่ (2) จะเป็นตัวอย่างทางกายภาพของกระแสนบนสายอากาศ การใช้ขอบเขตตัวนำไฟฟ้านี้ส่วนประกอบที่สัมผัสของการรวมสนามไฟฟ้าที่เท่ากับศูนย์บนพื้นผิวของสายอากาศ vivaldi สมการ TML ที่พื้นผิวสายอากาศสามารถทำให้คงที่ได้ง่ายสองทางแก้ปัญหาสามารถหาจากขอบเขตของตัวนำไฟฟ้านี้ได้ ทางออกแรกคือการทำการปิดวงจรที่ขอบเขตสายอากาศเป็นการสะท้อนแบบพาสซีฟ (passive) อย่างไรก็ตามทางออกที่สองเปลี่ยนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างสายอากาศและสภาพแวดล้อมหลายๆแบบการแก้ปัญหานี้มีลักษณะระหว่างข้อมูลของสายอากาศและสนามจากสายอากาศ ในสมการ TLM

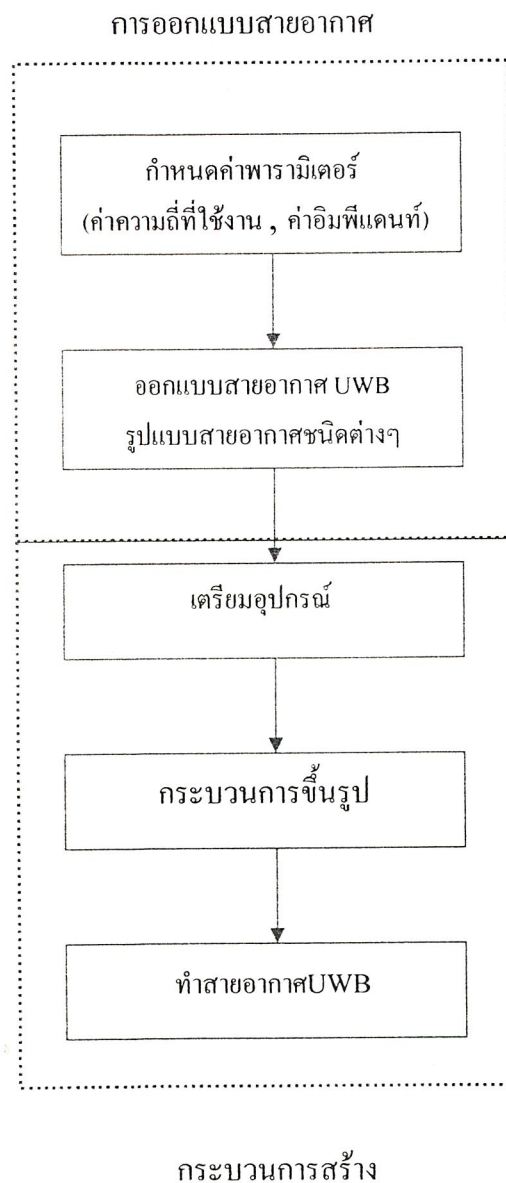
$$\begin{aligned}
{}_{k+1}V^i(10, x, y, z) &= {}_{-k}V^r(6, x+1, y, z) \\
{}_{k+1}V^i(6, x+1, y, z) &= {}_{-k}V^r(10, x, y, z) \\
{}_{k+1}V^i(11, x, y, z) &= {}_{-k}V^r(3, x+1, y, z) \\
{}_{k+1}V^i(3, x+1, y, z) &= {}_{-k}V^r(11, x, y, z)
\end{aligned}
\tag{2.43}$$

การแก้ปัญหาที่สองที่ขอบเขตปกติที่มีมิติ $-x$ สามารถเขียนได้ดังนี้ในสมการที่ (2.43) ใน ${}_k V^i$ เป็นแรงดันอินพุตที่โหนดของขอบเขตตัวนำสำหรับแก้ปัญหาสายอากาศที่วิธี TLM ใช้ร่วมระหว่างตัวนำกระแสสมมูล (CE) เพื่อที่จะแก้ปัญหการแพร่กระจายการแพร่กระจายของสายอากาศทำได้ด้วยตัวสายอากาศเอง เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ตัวอื่นๆของสายอากาศ

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างสายอากาศ UWB

ในการทำสายอากาศ UWB จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือการออกแบบสายอากาศ และกระบวนการสร้าง โดยจะมีขั้นตอนของการปฏิบัติงานดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำสายอากาศ อุตตราไวด์แบนด์

3.1 การออกแบบสายอากาศไบโคเนคคอลล

ในการออกแบบสายอากาศไบโคเนคคอลลขั้นตอนแรกเราจะต้องมีการกำหนดหรือคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการออกแบบก่อนจากนั้นจึงทำการออกแบบสายอากาศไบโคเนคคอลลแล้วจึงค่อยนำไปสู่กระบวนการสร้างสายอากาศไบโคเนคคอลล

3.1.1 การกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งาน

เนื่องจากสายอากาศไบโคเนคคอลลเป็นสายอากาศแถบความถี่กว้างจึงต้องกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งานให้เหมาะสมกับงานที่ใช้โดยในโครงการนี้ต้องการสายอากาศที่ทำงานที่ความถี่ 3.1-10.6GHz

3.1.2 การกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไบโคเนคคอลล

ในการกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไบโคเนคคอลลเพื่อให้เหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ต่อกับสายอากาศ และยังเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของโคนของสายอากาศไบโคเนคคอลล

ซึ่งโครงการนี้ใช้สายส่งที่ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω ดังนั้นจึงได้ลักษณะความต้านทานของสายอากาศเท่ากับ 50Ω ด้วยเพื่อให้เหมาะสมกัน ซึ่งเมื่อดูในตารางที่ 2.8 ในบทที่ 2 จะเห็นว่าลักษณะความต้านทานเท่ากับ 50Ω จะทำสายอากาศไบโคเนคคอลลมี $\lambda/4$ หรือมุมสายอากาศประมาณ 60°

3.1.3 คำนวณหาค่าความยาวคลื่น

ในการคำนวณหาค่าความยาวคลื่น (λ) ก็เพื่อจะได้นำมาหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของโคนของสายอากาศไบโคเนคคอลลเพราะจะกำหนดให้สายอากาศมีความกว้างเท่ากับความยาวครึ่งคลื่นหรือ ($\lambda/2$) ซึ่งจะหาค่าความยาวคลื่นได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

เมื่อ c คือ ค่าความเร็วของคลื่นมีค่าเท่ากับ 3×10^8

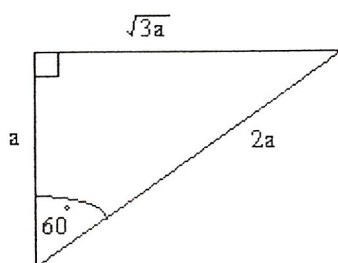
f คือ ค่าความถี่ซึ่งจะกำหนดค่าความถี่ต่ำสุดที่จะใช้งาน เท่ากับ 3.1 GHz
ดังนั้นจะได้

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{3.1 \times 10^9} = 0.0967 \text{ เมตร หรือ } 96.77 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้น $\lambda / 2$ จึงเท่ากับ 48.38 มิลลิเมตร ซึ่งก็คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศไปโคนิคอลล

3.1.4 คำนวณหาความสูงของโคนของสายอากาศไปโคนิคอลล

จากหัวข้อที่ 3.1.2 และ 3.1.3 เราจะได้มุมของสายอากาศและเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศซึ่งเราจะนำค่าพวกนี้มาทำการคำนวณหาความสูงของโคนโดยใช้สูตรเรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก แสดงในรูปที่ 3.2



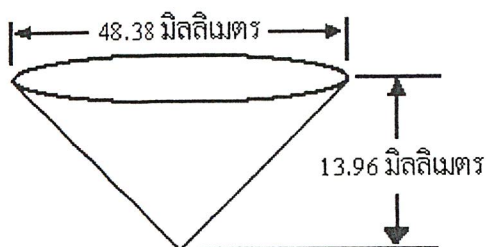
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ความยาวแต่ละด้านของรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีมุม 30° , 90° และ 60°

เนื่องจากเราได้เส้นผ่านศูนย์กลางจากหัวข้อที่ 3.1.3 เท่ากับ 48.38 มิลลิเมตรแต่สามเหลี่ยมด้าน $\sqrt{3}a$ ในรูปที่ 3.2 นั้นเป็นเพียงรัศมี ของโคนเท่านั้นจึงมีค่าเท่ากับ $48.38 / 2 = 24.19$ ดังนั้น เมื่อ กำหนดให้

$$\sqrt{3}a = 24.19$$

$$a = 24.19 / \sqrt{3}$$

ก็จะได้ $a = 13.966$ มิลลิเมตร ซึ่งก็คือ ค่าความสูงของโคนนั่นเอง



รูปที่ 3.3 ลักษณะของกรวยที่ออกแบบ

3.2 กระบวนการสร้างสายอากาศไบโคเนคคอลล

หลังจากที่ได้รูปแบบทรงกรวยของสายอากาศไบโคเนคคอลลที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.1 ขั้นตอนต่อไปก็คือการสร้างสายอากาศซึ่งจะมีกระบวนการดังนี้

3.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์

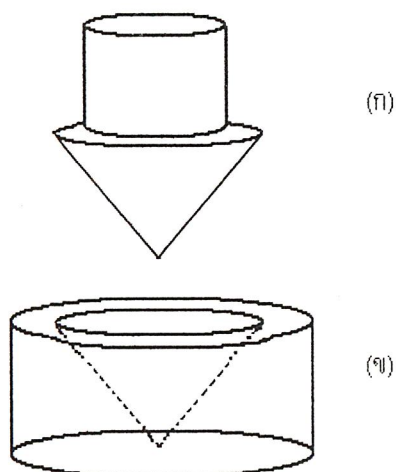
การทำสายอากาศไบโคเนคคอลลจะต้องมีการทำแม่พิมพ์รูปทรงกรวยขึ้นมาก่อน หลังจากนั้นค่อยสร้างสายอากาศที่ได้จากแม่พิมพ์อีกทีหนึ่ง โดยแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้วัสดุและอุปกรณ์หลายชนิด ซึ่งได้แก่

1. แผ่นทองแดง ขนาด 14 ออนซ์ใช้ทำเป็นตัวสายอากาศ
2. เหล็กสำหรับทำแม่พิมพ์สายอากาศ
3. สาย Semi-rigid ที่ค่าความต้านทาน 50Ω
4. คอนดักเตอร์
5. กรรไกรสำหรับตัดแผ่นโลหะ
6. ตะกั่ว สำหรับบัดกรี และน้ำยาประสาน
7. หัวแร้งจะต้องใช้ที่มีกำลังความร้อนสูงเนื่องจากทองแดงมีความหนาเพราะถ้าความร้อนสูงไม่เพียงพอจะทำให้บัดกรีไม่ติด
8. ตะไบและกระดาษทรายสำหรับตกแต่งขอบของสายอากาศ

3.2.2 การทำแม่พิมพ์สายอากาศ

การทำแม่พิมพ์สายอากาศไบโคเนคคอลลจะประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเบ้ารับกับส่วนที่เป็นแท่นอัด ซึ่งในส่วนที่เป็นตัวเบ้าก็จะนำเพราะเหล็กมากลึงให้เว้าเข้าไป โดยจะกลึงตามขนาดของกรวยที่เราได้ออกแบบไว้ โดยจะแสดงในรูปที่ 3.4 ข

ในส่วนของแท่นอัดก็จะนำเพราะเหล็กมากลึงให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบเช่นเดียวกันแต่จะแตกต่างกันตรงที่แท่นอัดนั้นจะไม่กลึงให้เข้าไปข้างในเพราะเหล็ก ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ก

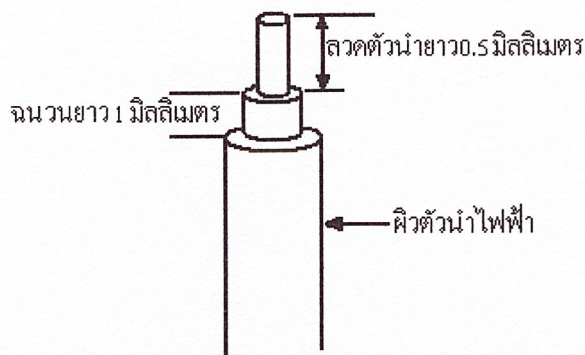


รูปที่ 3.4 รูปแม่พิมพ์สายอากาศไบโคนิคอลในส่วนของแท่นอัด (ก) และเบ้ารับ (ข)

3.2.3 การสร้างสายอากาศไบโคนิคอล

หลังจากผ่านกระบวนการทำแม่พิมพ์สายอากาศเสร็จแล้วนั้นขั้นตอนต่อไปก็คือ การสร้างสายอากาศโดยจะทำเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำแผ่นทองแดงมาตัดให้มีขนาดประมาณ 50×50 เซนติเมตรเพื่อที่ไม่ให้แผ่นทองแดง มีขนาดที่ใหญ่เกินไป ถ้าจากแผ่นทองแดงที่นำมามีขนาดใหญ่จะทำให้ทำงานไม่สะดวก
2. นำแผ่นทองแดงที่ตัดมาแล้วนำมาขึ้นรูปโดยการวางไว้ระหว่างแท่นอัดและเบ้ารับที่ต่อติดกับเครื่องปั๊มโลหะ ซึ่งขั้นตอนนี้จะต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เพราะถ้าทำการปั๊มที่ใช้แรงอัดที่มากเกินไปอาจจะทำให้แผ่นทองแดงนิกขาดได้หรือติดอยู่กับเบ้ารับจนไม่สามารถดึงออกมาได้
3. นำแผ่นทองแดงทรงกรวยที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาทำการตกแต่งขอบให้เรียบโดยการใช้ตะไบและกระดาษทรายขัด
4. ตัดสาย Semi-rigid ให้มีขนาดยาว 140 มิลลิเมตร
5. นำสาย Semi-rigid ไปต่อกับตัวคอนดักเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งปลอกสาย Semi-rigid ออกให้เหลือแต่ตัวนำทองแดงยาว 0.5 มิลลิเมตรและเหลือจนวนไว้ 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สาย Semi-rigid ด้านที่นำไปต่อเข้ากับสายอากาศ

6. นำแผ่นทองแดงรูปทรงกรวยมาทำการเจาะรูที่มุมของกรวยโดยกรวยแรกเจาะรูให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.25 มิลลิเมตรและกรวยที่สองเจาะรูให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร
7. นำแผ่นทองแดงทรงกรวยทั้งสองมาประกอบเข้าสาย Semi-rigid ด้วยการบัดกรีจะได้สายอากาศดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สายอากาศไบโคนิคอลที่นำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบกันในขั้นตอนสุดท้าย

3.3 การออกแบบสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูกลับหัวประกอบด้วยแผ่นโลหะรูปสี่เหลี่ยมที่เป็นสื่อไฟฟ้าและระนาบสร้างเงารูปตัว L จุดฟีด (feedpoint) ของสายอากาศอยู่ระหว่างส่วนที่แคบที่สุดของแผ่นโลหะสี่เหลี่ยมกับตรงกลางของระนาบสร้างเงารูปตัว L

เริ่มแรกออกแบบจะต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศแผ่นสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อจะสร้างเป็นตัวฟีดของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

3.3.1 การกำหนดช่วงความถี่ใช้งาน

กำหนดความถี่ใช้งานตามมาตรฐานของการสื่อสารระบบ อุลตราไวด์แบนด์ คือที่ความถี่

3.1-10.6 GHz

3.3.2 การกำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

ในการออกแบบสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูเรากำหนดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ 50Ω ซึ่งจากค่าอินพุตอิมพีแดนซ์นี้เราจะได้มุมของสายอากาศจากรางในรูปที่ 2.8 แต่เนื่องจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูอยู่กลุ่มของซิงเกิล โคน (single cone) กับระนาบสร้างเงา (ground plane) จะได้มุมของสายอากาศเท่ากับ 45°

3.3.3 การคำนวณหาความยาวคลื่น

การคำนวณหาความยาวคลื่นของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูจะเหมือนกับการคำนวณของสายอากาศไบโคนิคอลคือ

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

เมื่อ c คือ ค่าความเร็วของคลื่นมีค่าเท่ากับ 3×10^8

f คือ ค่าความถี่ซึ่งจะกำหนดค่าความถี่ต่ำสุดที่จะใช้งานเท่ากับ 3.1 GHz
ดังนั้นจะได้

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{3.1 \times 10^9} = 0.96 \times 10^{-1} = 0.096 \text{ เมตร}$$

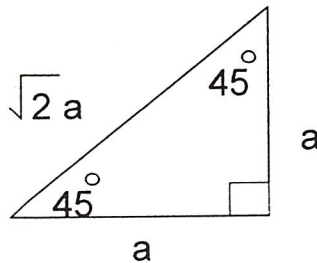
ดังนั้นจะได้

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{96.77 \text{ cm}}{2} = 48.38 \text{ มิลลิเมตร}$$

ซึ่งก็คือความสูงของตัวพีคของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

3.3.4 คำนวณหาความกว้างของตัวพีคสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

เราสามารถคำนวณหาความกว้างของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูได้จากสูตรทางคณิตศาสตร์ของสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีมุม 45° , 90° และ 45° คือ



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ความยาวแต่ละด้านของสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีมุม 45° , 90° และ 45°

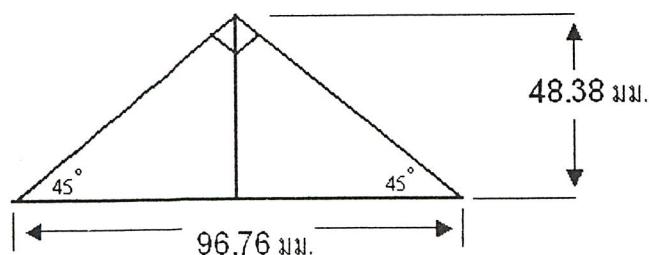
จากรูปเราได้ค่า a เท่ากับ 48.38 มิลลิเมตร ดังนั้นเราจะได้ความกว้างของตัวพีคสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูเท่ากับ

$$48.38 \times 2 = 96.76 \text{ มิลลิเมตร}$$

และ

$$\sqrt{2}a = \sqrt{2} \times 48.38 = 68.42 \text{ มิลลิเมตร}$$

เราจะได้ตัวพีคของสายอากาศดังนี้



รูปที่ 3. 8 รูปสามเหลี่ยมที่จะมาทำตัวพีคเคอร์ของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

3.4 กระบวนการสร้างสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

หลังจากที่เราได้ออกแบบตัวพีคของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไปก็คือการสร้างสายอากาศขึ้นมาซึ่งมีกระบวนการดังนี้

3.4.1 จัดเตรียมอุปกรณ์

1. แผ่นทองแดงขนาด 14 ออนซ์ ใช้ทำเป็นตัวสายอากาศ
2. คอนดักเตอร์
3. ตะกั่วสำหรับบัดกรีและนํ้ายาประสาน
4. หัวแร้งจะต้องใช้ที่มีกำลังความร้อนสูงเนื่องจากทองแดงมีความหนามากถ้าความร้อนไม่สูงเพียงพอจะทำให้บัดกรีไม่ติด
5. ตะไบและกระดาษทรายสำหรับตกแต่งขอบของสายอากาศ
6. เครื่องตัดแผ่นโลหะ
7. เครื่องพับแผ่นโลหะ
8. ดอกสว่านและเครื่องเจาะ

3.4.2 การขึ้นรูปสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

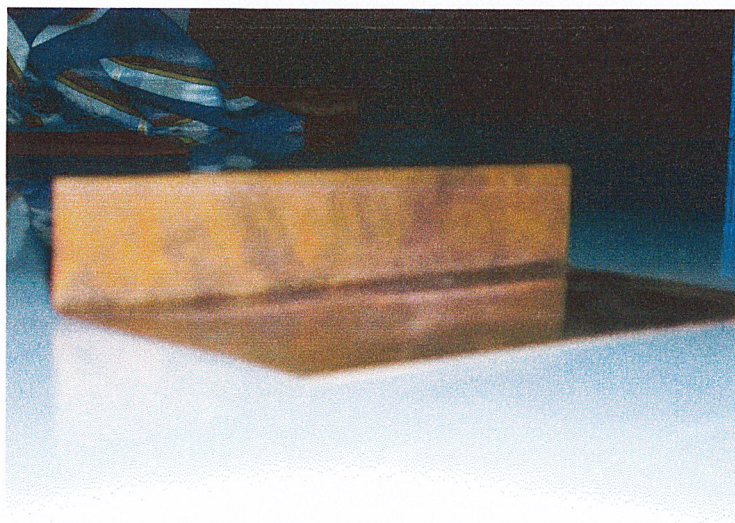
ขั้นตอนที่ 1 นำรูปแบบที่ออกแบบได้จากหัวข้อที่ 3.3 นำมาเขียนบนแผ่น โละทองแดง แล้วนำแผ่นทองแดงไปตัดที่เครื่องตัดแผ่น โลหะจะได้แผ่นทองแดงรูปสามเหลี่ยมดังที่เราต้องการดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 รูปของตัวพีคของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

ขั้นตอนที่ 2 ตัดแผ่นทองแดงอีกแผ่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความสูง 70.77 มิลลิเมตร และ กว้าง 142.06 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้เป็นระนาบสร้างเงา

ขั้นตอนที่ 3 นำแผ่นทองแดงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไปพับทำมุม 90 องศา โดยใช้เครื่องพับโลหะบริเวณที่มีความสูงจากฐานของสี่เหลี่ยมผืนผ้า 74.94 มิลลิเมตรก็จะได้ระนาบสร้างเงาที่เป็นรูปตัว L ตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างของส่วนระนาบสร้างเงาของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

ขั้นตอนที่ 4 นำแผ่นระนาบสร้างเงารูปตัว L ไปเจาะรูให้อยู่บริเวณตรงกลางของผนังในส่วนที่ตั้งขึ้นที่มีขนาดความสูงเท่ากับ 18.55 มิลลิเมตรเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.8 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 5 นำตัวพีคสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมาทำการตัดที่ปลายด้านมุม 90 องศา สูงจากมุมยอด 1.44 มิลลิเมตร ก็จะได้ตัวพีคที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

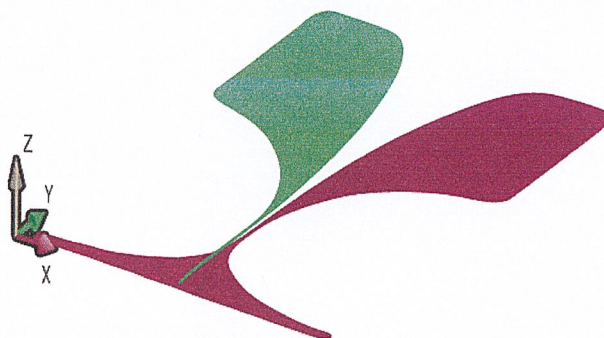
ขั้นตอนที่ 6 นำตัวพีคสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และระนาบสร้างเงารูปตัว L และคอนดักเตอร์มาประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้การบัดกรีดังรูปที่ 3.9 โดยให้ตัวพีคสายอากาศห่างจากระนาบสร้างเงา 1.44 มิลลิเมตร.



รูปที่ 3.11 รูปสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูในทิศทางจากด้านบน

3.5 การออกแบบสายอากาศ vivaldi

อัลกอริทึม 3-D TLM ประกอบกับเทคนิคกระแสสมมูลเพื่อที่จะใช้วิเคราะห์ สายอากาศ vivaldi แสดงในรูปที่ 3.12 พื้นที่จากการคำนวณเป็นการแบ่งเป็นกริดสามมิติขนาด $60 \times 60 \times 90$ รูปเส้นโค้งของสายอากาศเป็นการประมาณโดยเป็นลำดับขั้น สายอากาศรับการกระตุ้นจากแรงดันที่มิติ x ในการคำนวณใช้เทคนิคของหลายๆกริด แสดงในรูปที่ 3.10 ความคงที่ของกริดสำหรับแผ่นตัวนำไฟฟ้ามีขนาด 0.5 มิลลิเมตรในลำดับของการย่อขอบเขตการสะท้อน



2. The versatile and broadband Vivaldi antenna features this configuration.

รูปที่ 3.12 รูปแบบลักษณะเบื้องต้นของสายอากาศ vivaldi

ชั้นที่เหมาะสมที่สุด (PLM) จำกัดขอบเขตสถานะที่เป็นการใช้งาน PML ขอบเขตตัวนำไฟฟ้าเป็น หลักเบื้องต้นในตำแหน่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในชั้น PML กับแบ่งแยก สมการแม็กเวลท์ เมื่อสายอากาศถูกกระตุ้นโดยแรงดัน ไซน์ซออยคอด (sinusoidal) ผลตอบสนองของทุกๆจุด

ในระยะคำนวณอีกทั้งสัญญาณไซน์ซอซอดอล (sinusoidal) สำหรับทุกโหนดให้แทนในสายอากาศถ้าสนามไฟฟ้าในโหนดสถิต

$$\begin{aligned}\bar{A} &= \int \bar{I}(z') \frac{e^{-jkR}}{R} dz' \\ \bar{E} &= -j\omega\bar{A} - \frac{j}{\omega\mu\epsilon} \nabla\nabla\cdot\bar{A}\end{aligned}\quad (3.2)$$

ที่จุดนี้ สามารถเอานำมาจากสมการ (3.2) ในอาณาจักรของเวลา (time domain) อาณาจักรความถี่ (frequency domain) ขนาดและเฟสของกระแสสามารถเอาอย่างใดอย่างหนึ่งจาก FFT โดยเปรียบเทียบทิศทางกับแรงดันอินพุตไซน์ซอซอดอลสำหรับเฟสชิฟท์ (Phase shift) และขนาดจากกระแสที่แพร่บนสายอากาศรูปแบบการแพร่กระจายในหลายส่วนที่ประกอบกันสามารถเป็นแนวในการคำนวณ โดยตามหลักการ

3.6 กระบวนการสร้างสายอากาศ vivaldi

หลังจากที่เราได้ทำการออกแบบสายอากาศ vivaldi เสร็จแล้วขั้นตอนนี้ต่อไปก็คือ กระบวนการสร้างสายอากาศซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

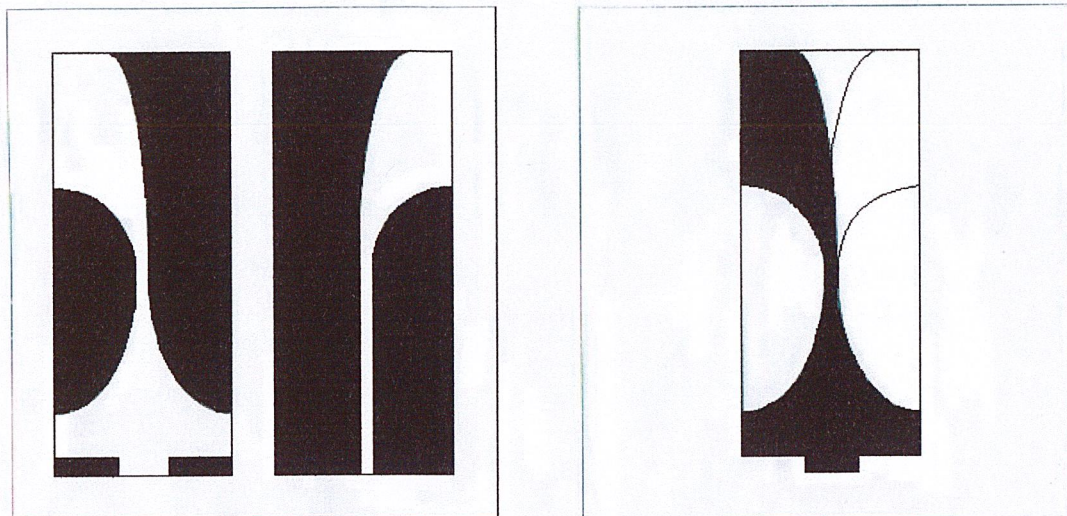
3.6.1 จัดเตรียมอุปกรณ์

1. แผ่นปรินท์ทองแดง 2 หน้าที่มีความหนาของฉนวนเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ใช้ทำเป็นสายอากาศ
2. ลายปรินท์สายอากาศ
3. สติกเกอร์ หรือ แผ่นคราย์ฟิล์มสำหรับลอกลายปรินท์ลงแผ่นปรินท์
4. น้ำยาคัดแผ่นปรินท์
5. คอนดัคเตอร์ชนิดความสูญเสียต่ำ
6. ตะไบและกระดาษทรายสำหรับตกแต่งขอบของสายอากาศ
7. หัวแร้ง
8. ตะกั่วสำหรับบัดกรี และน้ำยาประสาน

3.6.2 กระบวนการขึ้นรูปสายอากาศ vivaldi

ขั้นตอนที่ 1 ตัดแผ่นปรินท์ทองแดง 2 หน้าที่มีความหนาของฉนวนไฟฟ้าเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ให้มีขนาดความกว้าง 40 มิลลิเมตรและสูง 94 มิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบลายปริ้นของสายอากาศ vivaldi ตามรูปที่ 3.11

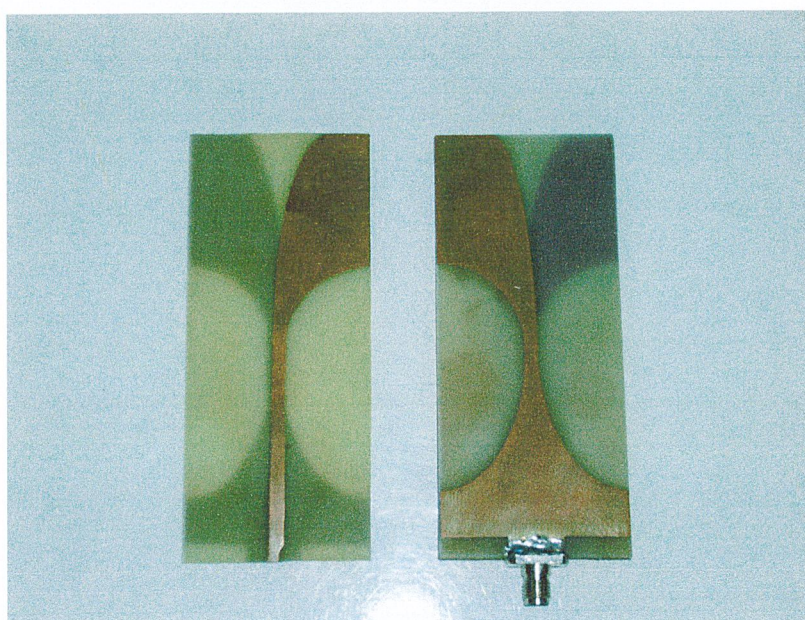


รูปที่ 3.13 รูปลายปริ้นของสายอากาศ vivaldi

ขั้นตอนที่ 3. นำลายปริ้นที่ได้ไปทำการลอกใส่ แผ่นทองแดงที่ตัดเตรียมไว้

ขั้นตอนที่ 4. นำแผ่นปริ้นที่ทำการลอกสายอากาศ vivaldi ไปกัดลายด้วยน้ำยากัดปลิ้น

ขั้นตอนที่ 5. นำลายปริ้นมาประกอบเข้ากับตัวคอนดักเตอร์ด้วยการบัดกรี ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.14 รูปสายอากาศ vivaldi ที่ทำการประกอบเสร็จแล้ว

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดคุณสมบัติสายอากาศ

ชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศสามารถวัด S - พารามิเตอร์ เพื่อหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ [return loss : S_{11} (dB)] วัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่อแรงดัน (SWR) ของสายอากาศว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยกว่า 2 และวัดเฟส (phase) ของสายอากาศ

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศ

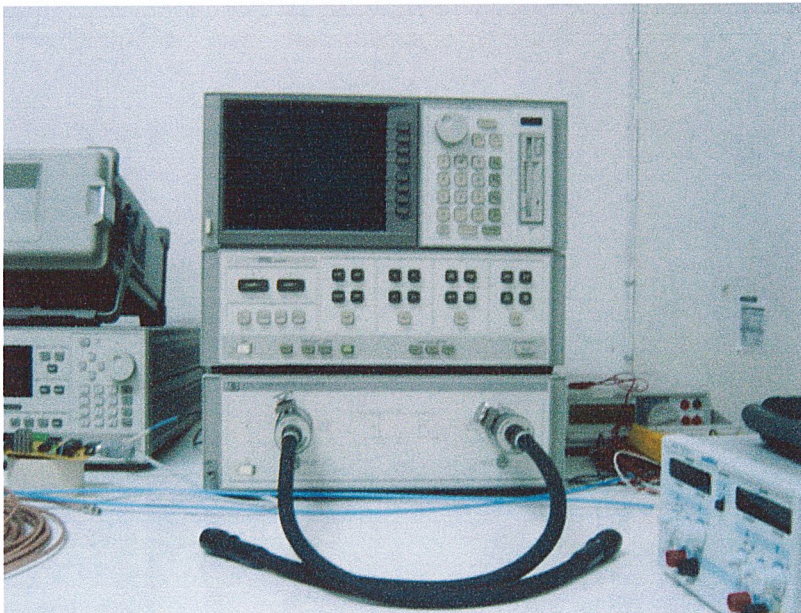
1.1 เครื่อง 8150C Network Analyzer

1.2 เครื่อง 8514B S-Parameter Test Set (45 MHz – 20 GHz)

1.3 เครื่อง 8360 Series Synthesized Sweeper(10 MHz – 20 GHz)

2. ชุดปรับเทียบค่า 85052B (Calibration kit 85052B 3.5 mm.)

3. สายอากาศที่ต้องการวัด



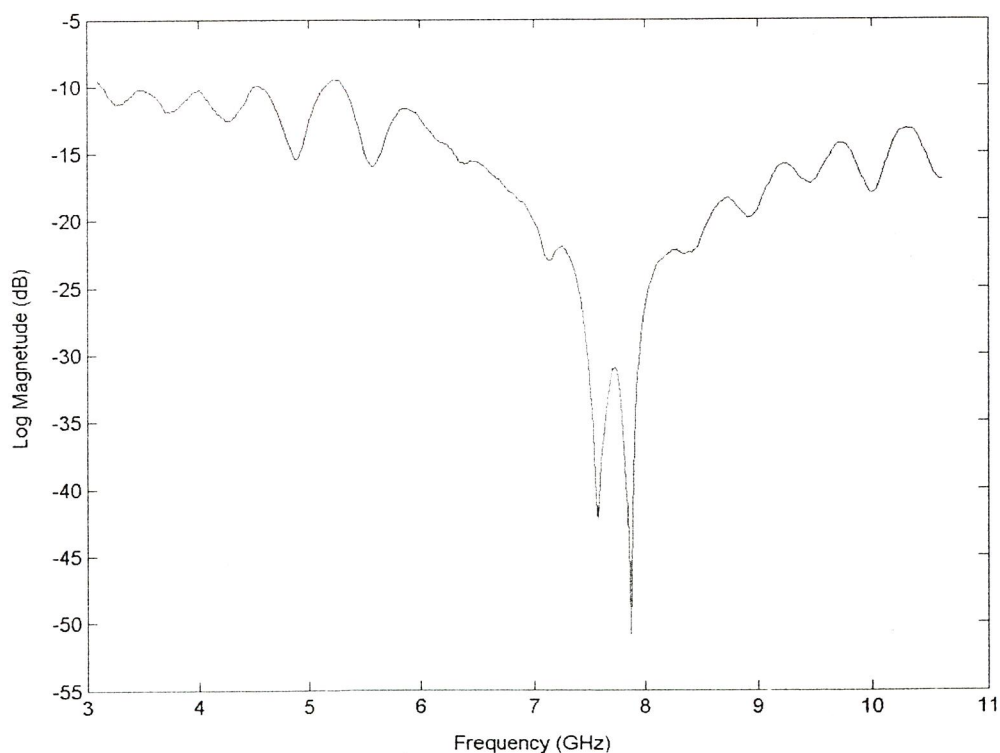
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

4.1.2 ขั้นตอนการวัด

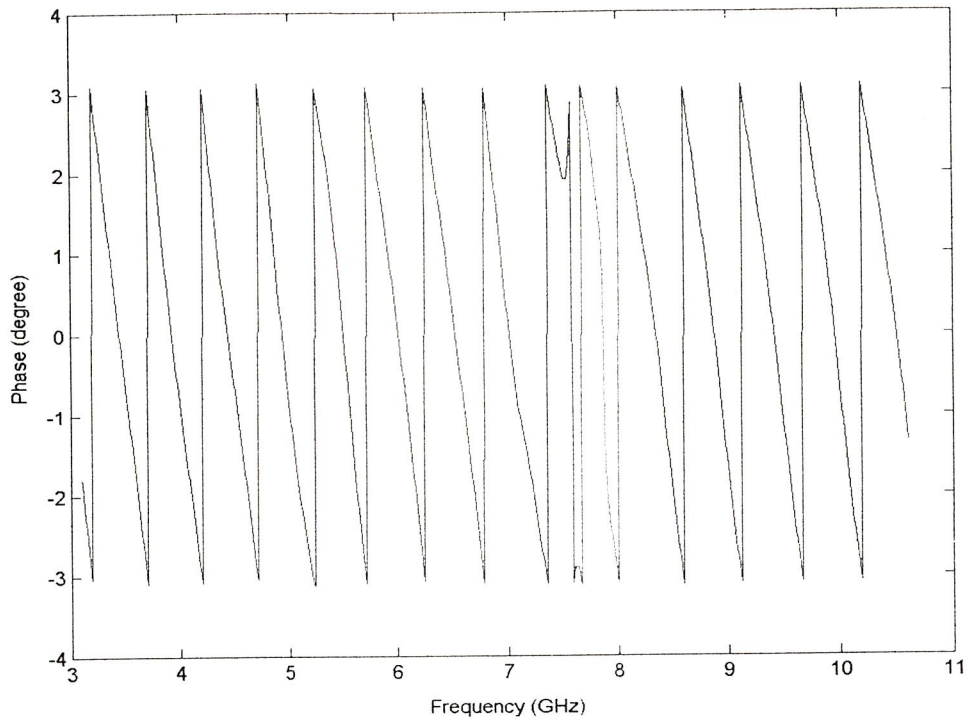
1. เปิดเครื่องวัดคุณสมบัติสายอากาศทุกตัว
2. ทำการปรับเทียบค่าเครื่องด้วยชุดปรับเทียบค่าซึ่งประกอบไปด้วยตัวรีดวงจร(short circuit), ตัว เปิดวงจร (open circuit) และโหลดบรอดแบนด์ (load broadband)
3. ต่อสายอากาศที่ต้องการวัดเข้ากับชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศ
4. เลือกเมนู (menu) วัดค่าเอช-พารามิเตอร์, ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่อแรงดันและค่าเฟส
5. บันทึกค่าที่วัดได้

4.2 ผลการทดลอง

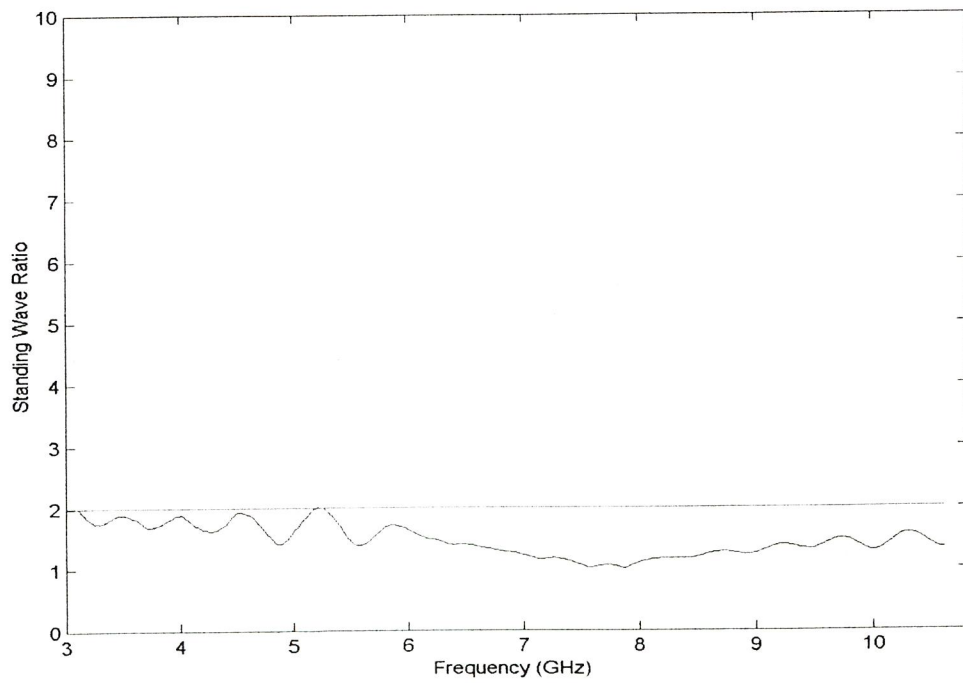
จากสายอากาศไบโคเนคคอลที่ได้จากการคำนวณในบทที่ 3 เรานำสายอากาศไบโคเนคคอลไปทำการทดลองวัดค่าหาคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศ คือค่า S_{11} , ค่า เฟส และค่า VSWR แสดงดังรูปที่ 4.2 - 4.5



รูปที่ 4.2 รูปแสดงค่า S_{11} ของสายอากาศไบโคเนคคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 48.38 มม.



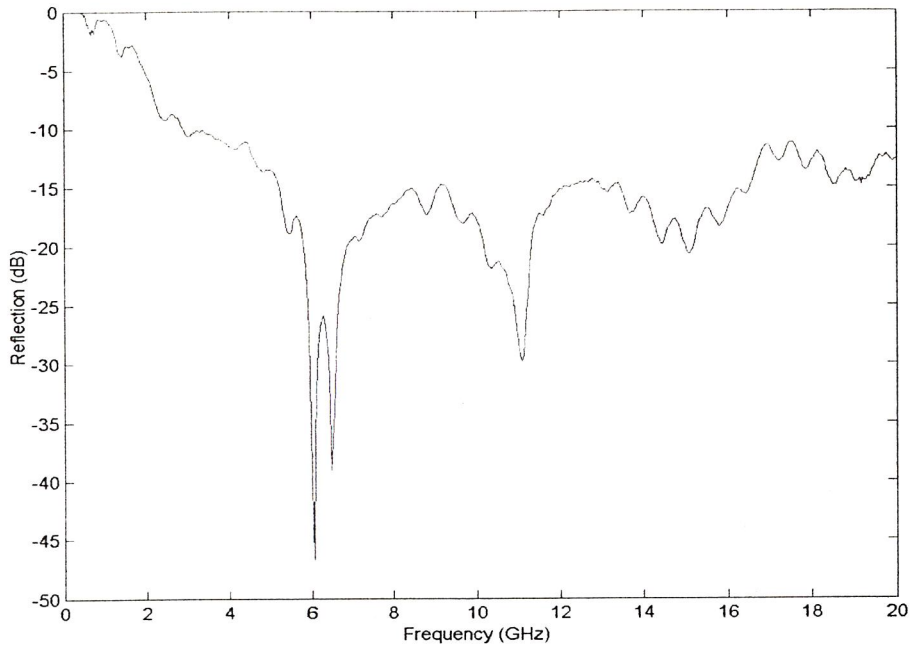
รูปที่ 4.3 ค่าเฟสของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 48.38 มม.



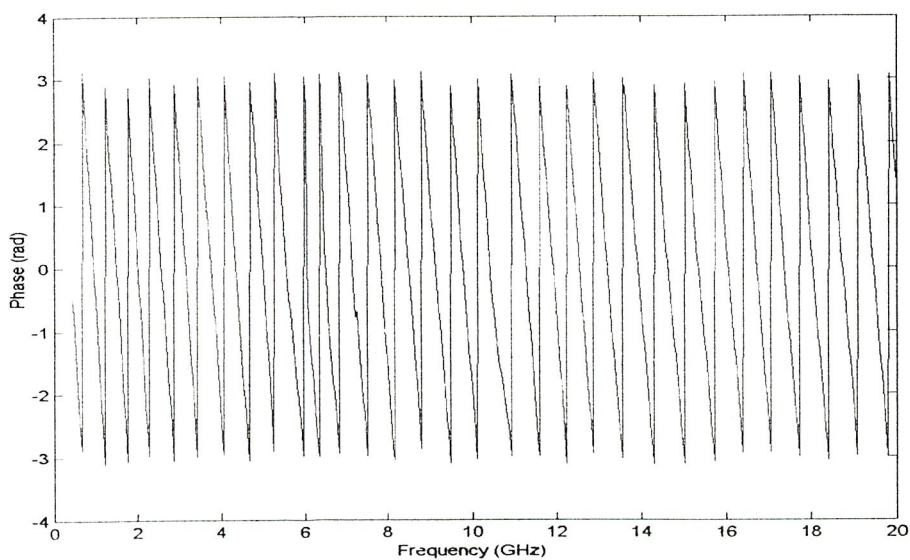
รูปที่ 4.4 ค่า SWR ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 48.38 มม.

จากสายอากาศที่สร้างจากการคำนวณในบทที่ 3 นั้นยังไม่สามารถทำงานได้ที่จุดประสงค์ที่ตั้งไว้จึงได้มีการพัฒนารูปแบบโครงสร้างสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อที่จะได้ทำงานได้ที่ความถี่ที่ตั้งไว้ จึงได้มีการสร้างสายอากาศไบโคเนคอลลขึ้นมาอีกสองขนาด คือ

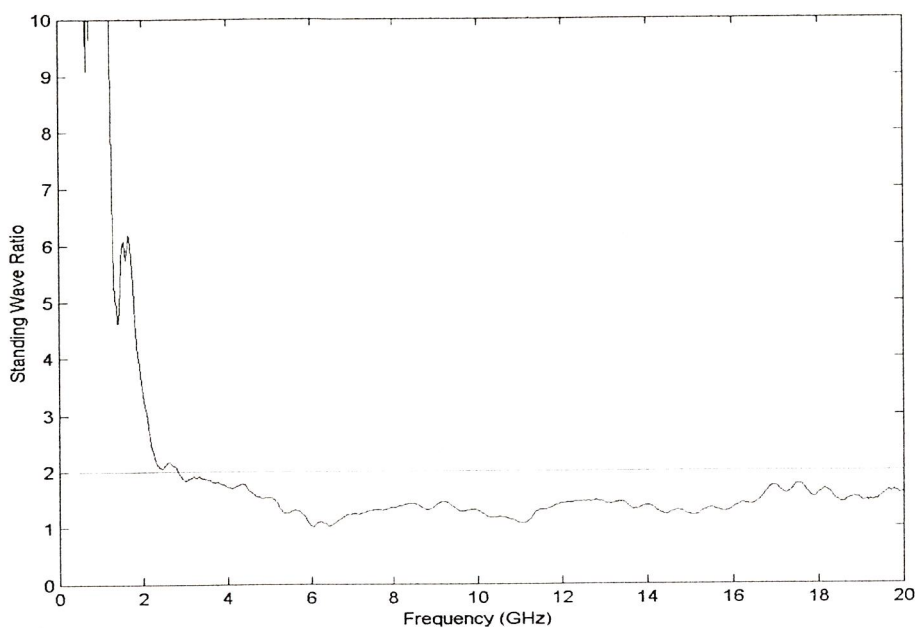
1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของกรวย 65.34 มม. และความสูงของกรวยเท่ากับ 14.75 มม. มีผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5-4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ค่า S_{11} ของสายอากาศไบโคเนคอลลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 65.34 มม.

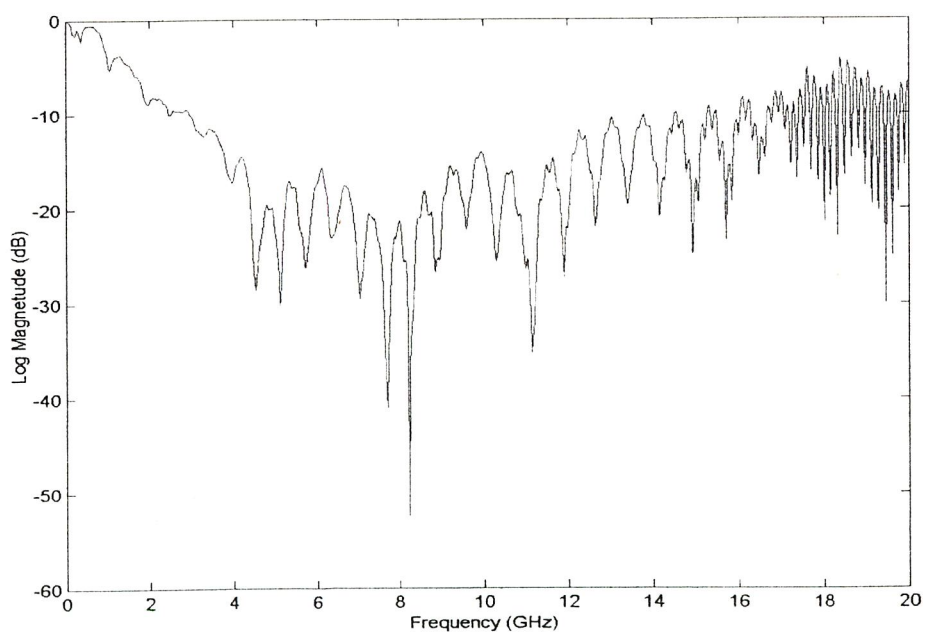


รูปที่ 4.6 ค่าเฟสของสายอากาศไบโคเนคอลลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 65.34 มม.

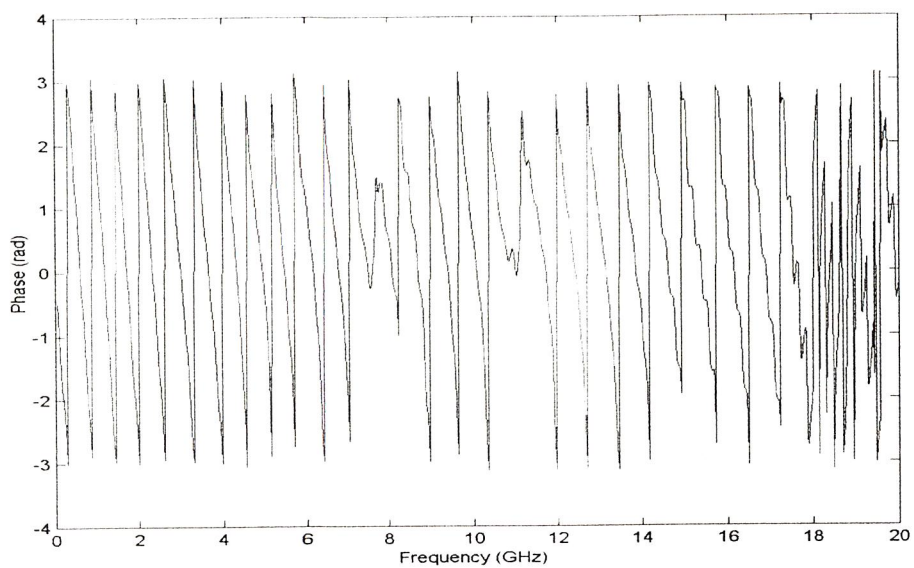


รูปที่ 4.7 ค่า SWR ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 65.34 มม.

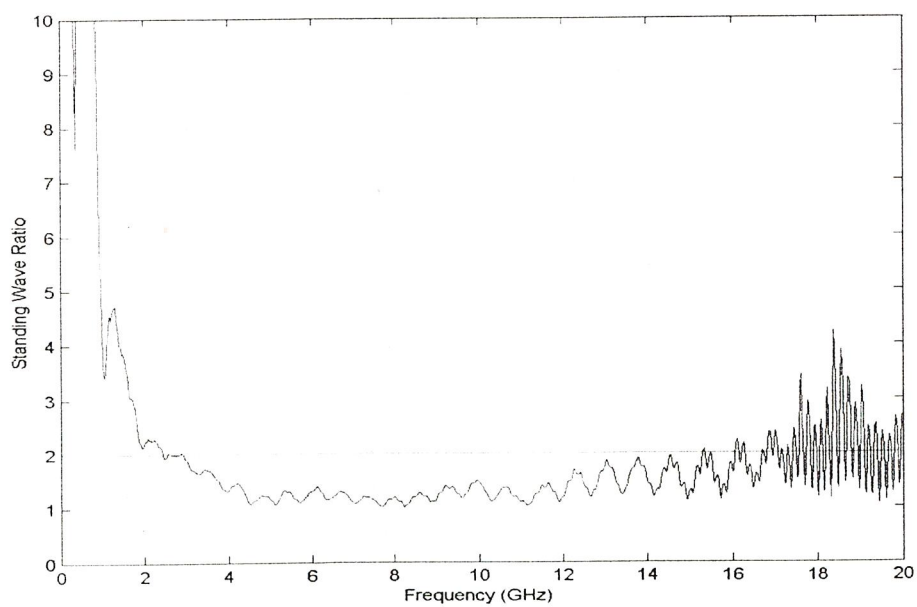
2. สายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 67.7 มม. และความสูงของกรวยเท่ากับ 20.25 มม. มีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ค่า S_{11} ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวยเท่ากับ 67.7 มม.



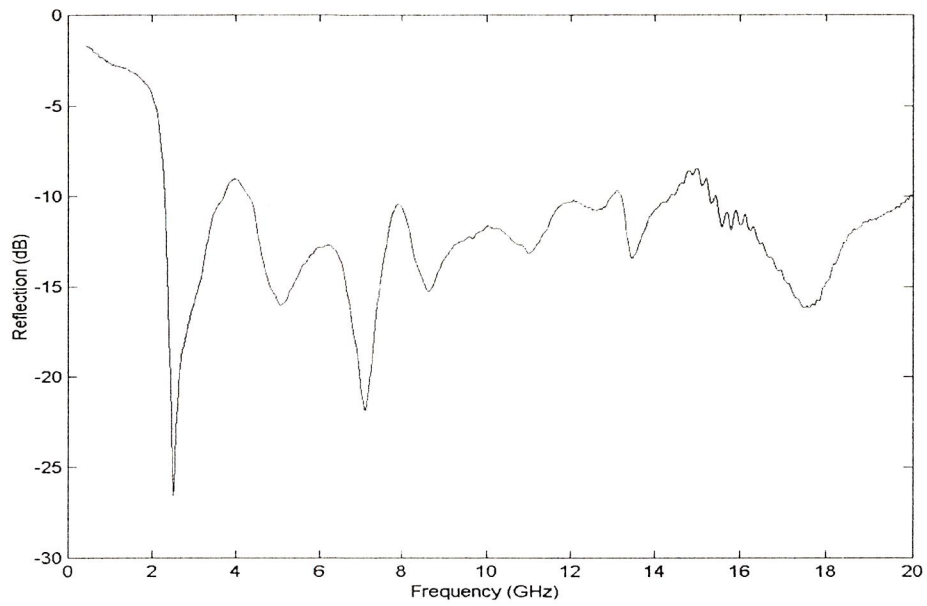
รูปที่ 4.9 ค่าเฟสของสายอากาศไบโคนิคอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 65.34 มม.



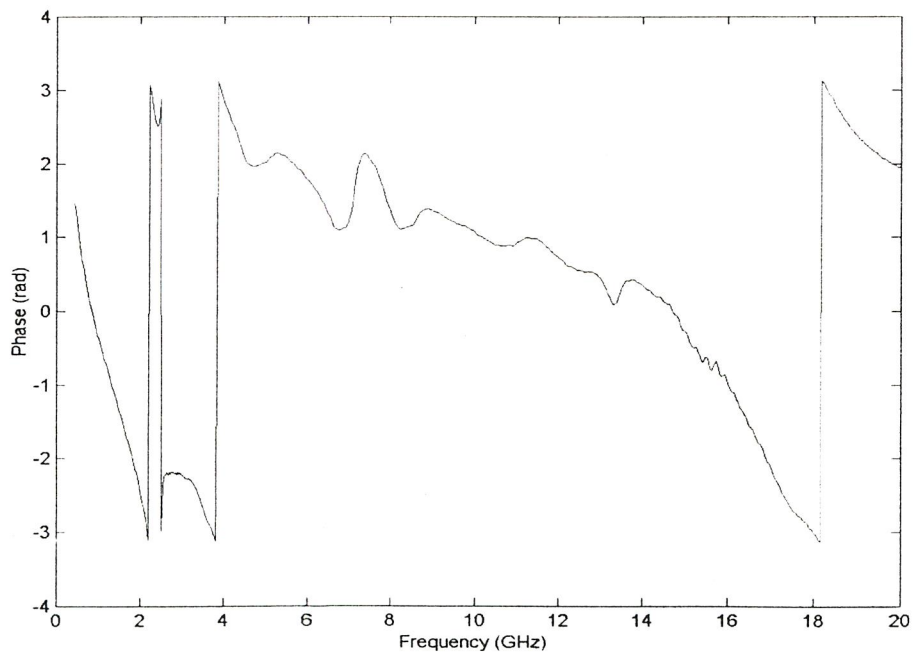
รูปที่ 4.10 ค่า SWR ของสายอากาศไบโคนิคอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 67.7 มม.

สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

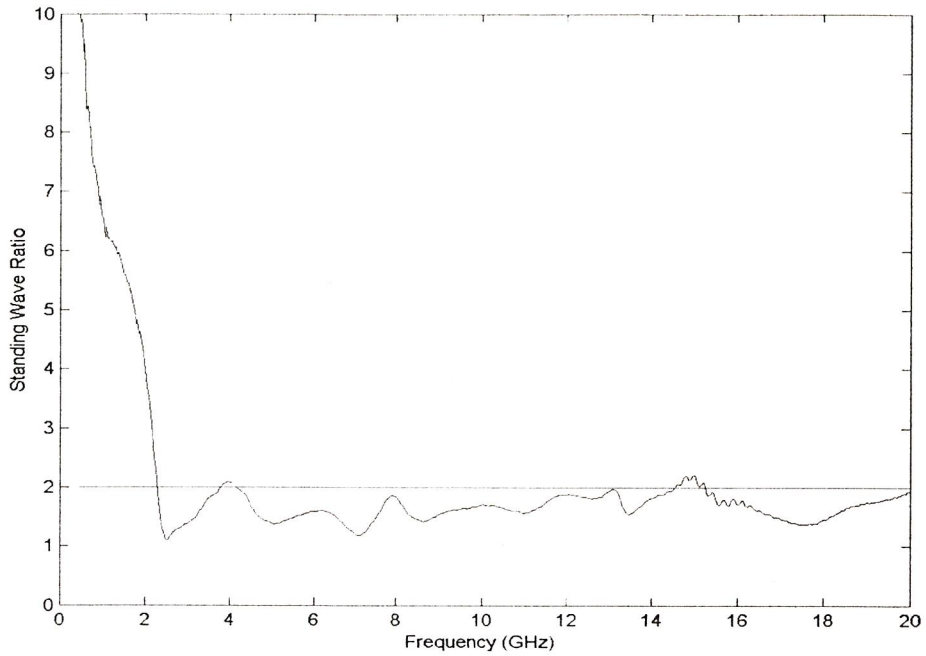
ผลการทดลองของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูมีผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ค่า S_{11} ของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู



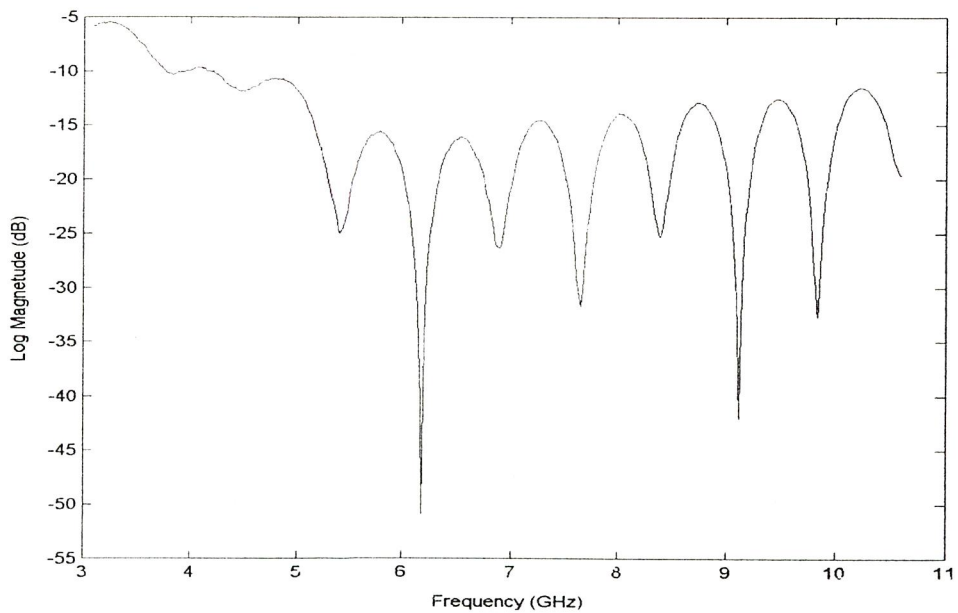
รูปที่ 4.12 ค่าเฟสของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู



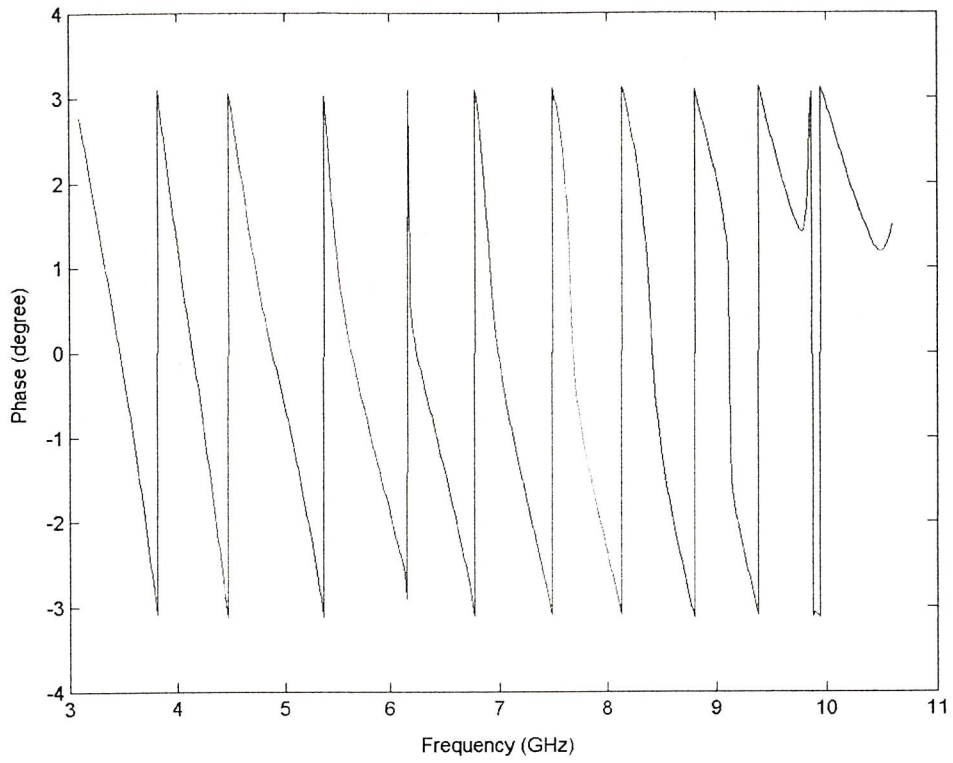
รูปที่ 4.13 ค่า SWR ของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

สายอากาศ vivaldi

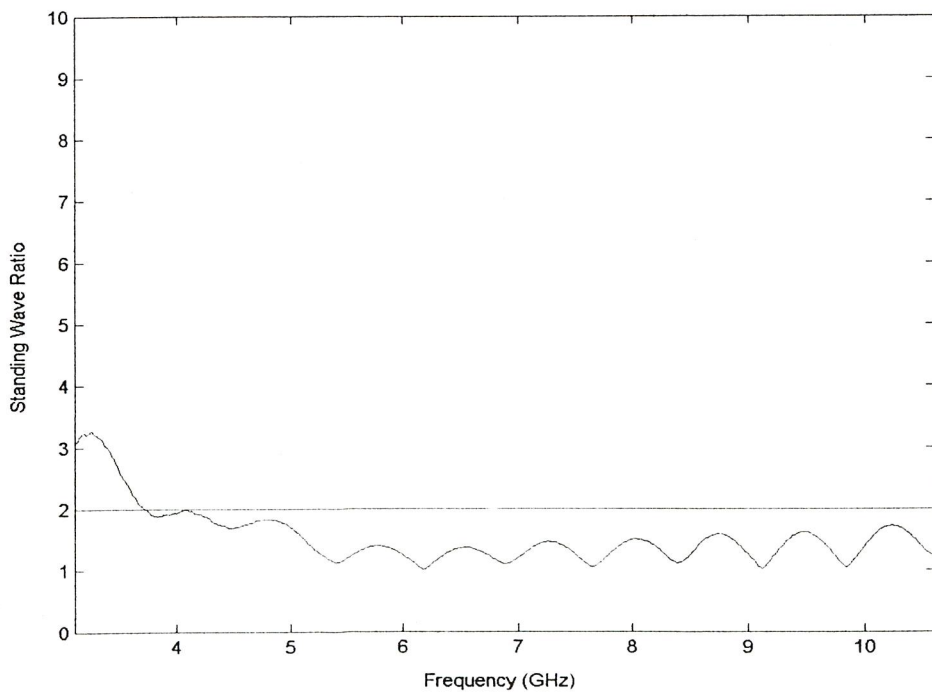
ผลการทดลองการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ vivaldi มีผลการทดลองดังรูปที่ 4.14 - 4.1.6



รูปที่ 14.14 ค่า S_{11} ของสายอากาศวิเวอร์ดี



รูปที่ 14.15 ค่าเฟสของสายอากาศวิเวอร์ดี



รูปที่ 14.16 ค่า SWR ของสายอากาศวิเวอร์ดี

4.3 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นการวัดคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในมุมต่างๆ ซึ่งจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าสายอากาศรับคลื่นได้ดีในทิศทางใดและรับได้ไม่ดีในทิศทางใด

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์วัดสัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วย
 - 1.1 เครื่อง 8150C Network Analyzer
 - 1.2 เครื่อง 8514B 8510B S-Parameter Test Set (45 MHz - 20 GHz)
 - 1.3 เครื่อง 8360 Series Synthesized Sweeper (10 MHz - 20 GHz)
2. สาย Semi-rigid และหัวต่อ (connector) ชนิดความสูญเสียต่ำ (low loss)
3. สายอากาศที่จะนำมาทำการวัดและสายอากาศที่นำมาใช้ในการส่งสัญญาณ
4. อุปกรณ์หมุนสายอากาศเพื่อวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น
5. เครื่องคอมพิวเตอร์นำมาใช้ในการควบคุมตัวหมุนสายอากาศและเก็บค่าที่วัดได้



รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ที่ใช้วัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

4.3.2 บล็อกไดอะแกรมในการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 4.18 เป็นต่ออุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทดลองซึ่งทางด้านส่งจะประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณและสายอากาศซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณออกไปส่วนสายอากาศด้านรับจะต่อติดกับ เครื่องหมุนสายอากาศ ระยะจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีระยะเท่ากับ 100 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในสนามระยะไกล (far field) สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

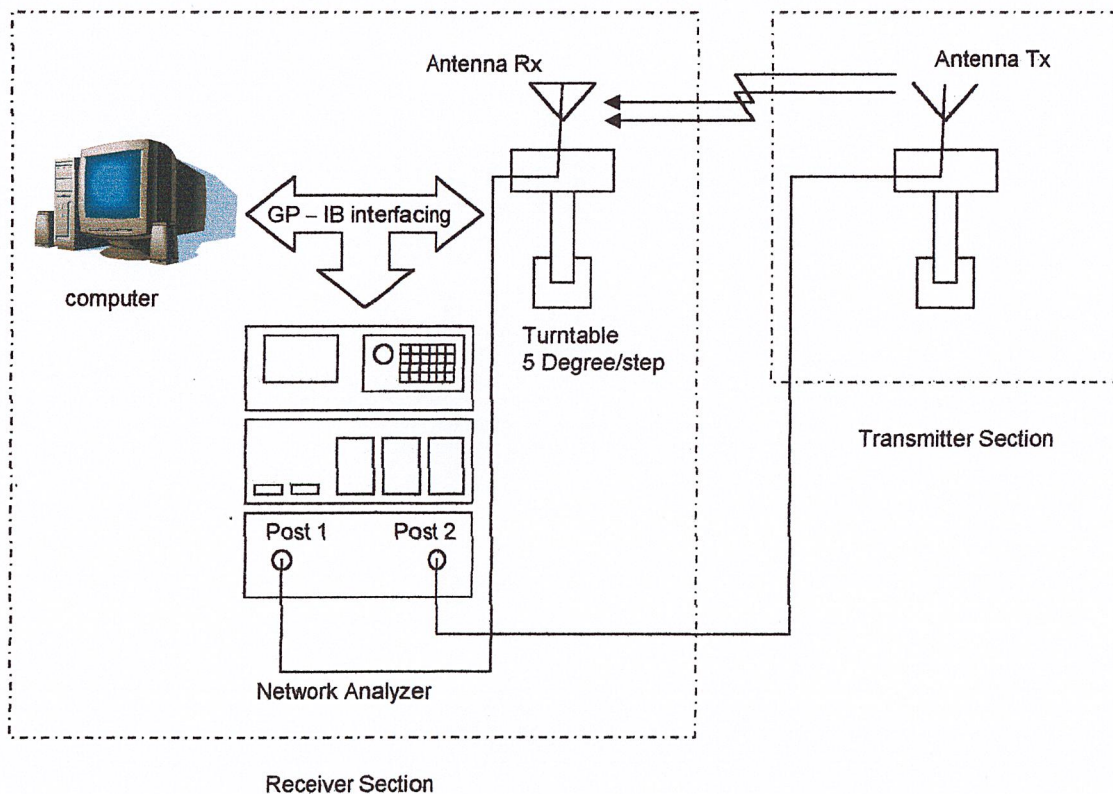
$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \tag{4.1}$$

โดยที่ R : ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ.(far field)

D : มิติที่ยาวที่สุด(efficiency length) ของสายอากาศอูดตัวไวด์แบนด์

λ : ความยาวคลื่นที่ใช้ทดลอง (ในที่นี้ใช้ความถี่สูงของUWB คือ 10.6 GHz.)

ที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.18 บล็อกไดอะแกรมแสดงการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

หลักการทำงานเบื้องต้น คอมพิวเตอร์จะทำการควบคุมเครื่องหมุนสายอากาศ ตั้งแต่ 0 องศาจนถึง 360 องศา โดยจะทำการหมุนครั้งละ 5 องศา (จำนวน 73 ครั้ง) โดยการหมุนแต่ละครั้งก็จะมี

การส่งค่าที่ทำการวัดนำไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำค่าเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ค่าของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นอีกทีหนึ่ง

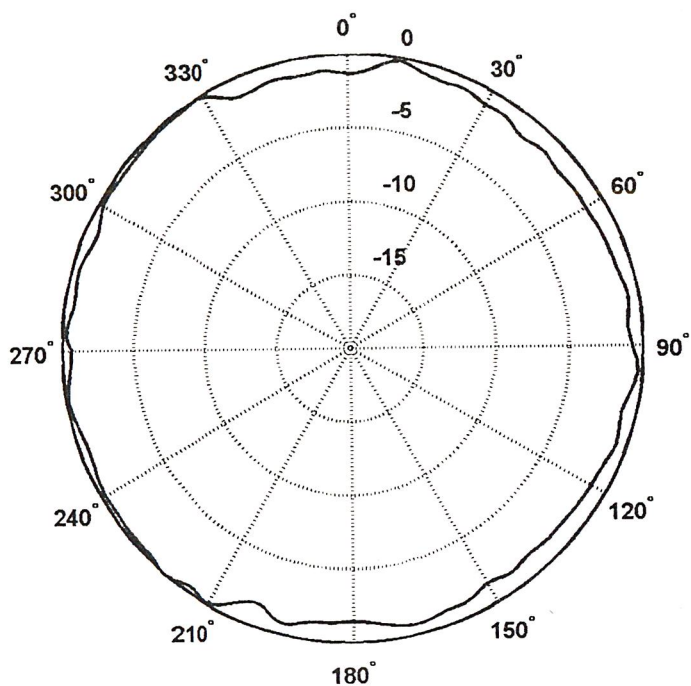
4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้จะทำการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอุตสาหกรรมไร้ไวด์แบนด์ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

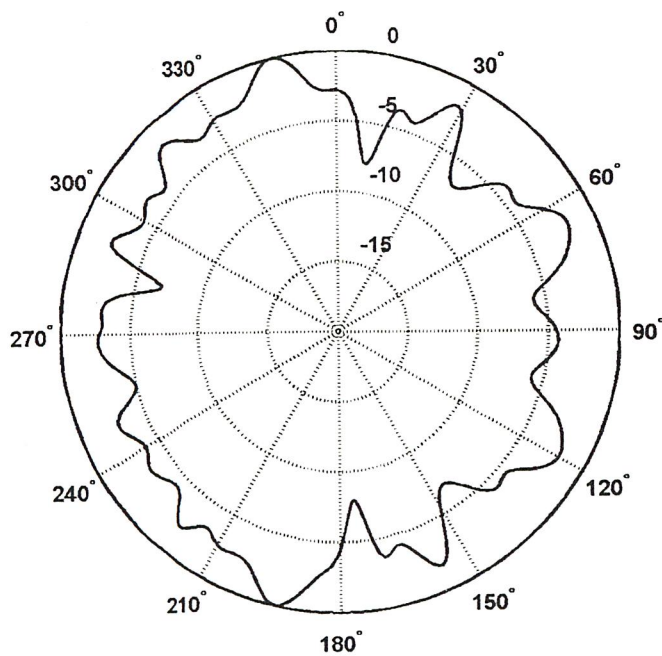
1. จัดอุปกรณ์ตามบล็อกไดอะแกรม (รูปที่ 4.18)
2. ทำการปรับเทียบค่าสายส่ง โดยการนำสายส่งสัญญาณ (สาย Semi-rigid) ของสายอากาศภาครับกับภาคส่งนำมาต่อกันโดยใช้ข้อต่อที่มีการสูญเสียต่ำและทำการปรับเทียบค่า
3. ติดตั้งสายอากาศที่ต้องการจะวัดบนตัวหมุนและวางห่างจากสายอากาศอีกตัวเป็นระยะทาง 1 เมตร
4. ต่อสายสัญญาณสายควบคุมรวมทั้งตรวจตราอุปกรณ์และจุดต่อต่างๆให้ถูกต้อง
5. ทำการส่งสัญญาณ
6. วัดสัญญาณที่รับได้และควบคุมตัวหมุนให้หมุนไปที่ละ 5 องศา โดยใช้เวลาครั้งละ 9 วินาที
7. นำสัญญาณที่วัดได้มาทำการพล็อตกราฟรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิด
8. เปลี่ยนสายอากาศที่วัดแล้วทำตามขั้นตอน 3-7 อีกทีทำงานกว่าวัดสายอากาศครบทั้ง 3 ชนิด

4.4 ผลการทดลองการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศอุตสาหกรรมไร้ไวด์แบนด์

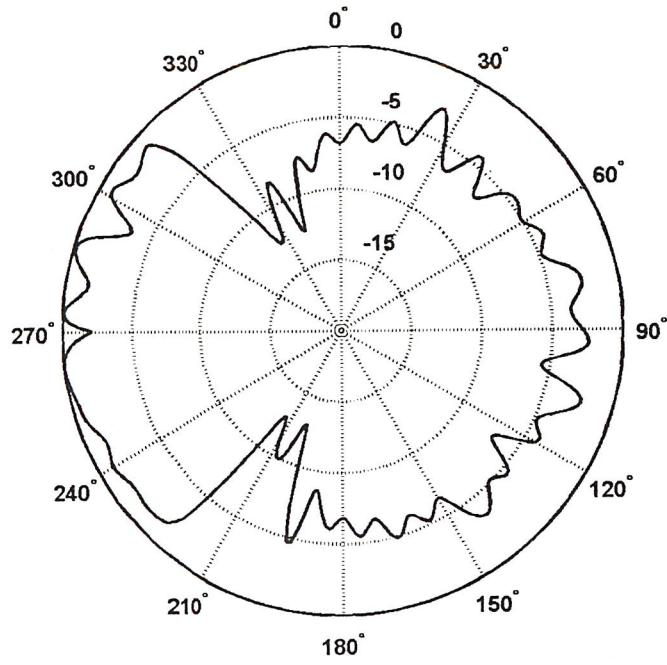
หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆจากหัวข้อที่ 4.3.2 เราก็จะได้ค่า S_{21} ซึ่งเราจะนำค่า S_{21} นี้มาทำการวิเคราะห์อีกครั้ง โดยจะวิเคราะห์ค่าที่มุม (ที่กำหนดไว้มุมละ 5 องศา) จะได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.20 กราฟเชิงขั้วแสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศใบ โคนิคอล



รูปที่ 4.22 กราฟเชิงขั้วแสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 4.24 กราฟเชิงขั้วแสดงรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศ vivaldi

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

โครงการนี้ได้เสนอการสร้างสายอากาศที่ใช้งานในแถบความถี่กว้างเพื่อที่จะตอบสนองการใช้งานในการสื่อสารระบบ อุตตราไวด์แบนด์ ที่ต้องการใช้ แบนด์วิดท์ ในการทำงานกว้างมากคือใช้ ในแถบความถี่ ที่ 3.1 GHz. – 10.6 GHz. ซึ่งในโครงการนี้ได้สร้างสายอากาศขึ้นมา 3 ชนิด คือ สายอากาศไบโคเนคคอล , สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู และ สายอากาศ vivaldi

ซึ่งจะนำผลมาทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของสายอากาศแต่ละชนิดและดูว่าสายอากาศชนิดใดมีคุณสมบัติเหมาะสมกับระบบการสื่อสาร อุตตราไวด์แบนด์ มากที่สุด

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆ

	ค่า S_{11} สูงสุด(dB)	ค่าเฟส	ช่วง SWR ที่ต่ำกว่า 2
สายอากาศไบโคเนคคอล ขนาด 48.38 มม.	-51 dB.	ปานกลาง	5 GHz -11 GHz
สายอากาศไบโคเนคคอล ขนาด 65.34 มม.	-47 dB.	ดี	3 GHz - 20 GHz
สายอากาศไบโคเนคคอล ขนาด 67.7 มม.	-53 dB.	ปานกลาง	3 GHz – 15.5 GHz
สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู	-27 dB.	แย่	4.5 GHz – 13 GHz
สายอากาศ vivaldi	-52 dB.	ปานกลาง	4.5 GHz – 11 GHz

ค่าที่วัดได้จากหัวข้อที่ 4.3 จะเป็นค่าของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นว่าการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเป็นเช่นไรเพื่อที่จะได้นำไปใช้งานแต่ละประเภท ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติรูปแบบของสายอากาศแต่ละชนิด

	Biconical	Trapezoidal	Vivaldi
รูปแบบการแพร่กระจาย	Omnidirectional	Directional	Directional
กำลังที่แพร่ออกที่ต่ำที่สุดที่ 100 ซม.	-2 dB	-8 dB	-13 dB
ต้นทุนการสร้าง	สูง	ปานกลาง	ต่ำ

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

1. ในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานยังไม่สามารถควบคุมให้ชิ้นงานออกมาตามที่ออกแบบไว้ได้
2. ไม่สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของวัสดุที่ใช้ได้
3. ในการวัดค่า S_{21} ต้องใช้สาย Semi-rigid เป็นสายส่งสัญญาณเนื่องจากมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง แต่มีลักษณะของสายที่แข็งจึงทำให้เกิดปัญหาบ่อยครั้งที่ทำการวัด

5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

1. ต้องทำการออกแบบสายอากาศให้ละเอียดมากที่สุด โดยที่สามารถควบคุมค่าพารามิเตอร์ตามวัสดุที่ใช้ได้
2. ในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานจะต้องใช้ความรอบคอบให้มากที่สุดเพราะจะมีผลต่อการตอบสนองความถี่

5.4 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ได้เสนอการออกแบบและการสร้างของสายอากาศอูตร้าไวด์แบนด์ ซึ่งได้ออกแบบมาสายอากาศที่ทำงานตั้งแต่ความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ที่สามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอูตร้าไวด์แบนด์

บรรณานุกรม

1. C.A. Balanis , “Antenna Theory Analysis And Design” , Second Edition , John Wiley and Sons ,New York , 1997
2. Jame D. Taylor, “Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems” , CRC Press , Retired , U.S. Air Force
3. Celine Foong Leng Law , “Inverted Trapezoidal Antenna For Pulsed Application” , Department of Electrical Engineering , The University of Queensland , Australia
4. ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ และ ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ , “ทฤษฎีสายอากาศ” , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กทม.
5. I.J. Bahl and P.Bhartia , Microstrip Antennas:Artech House , Dedham , MA , 1980
6. Ce LIU, Jing LI , and Wei GAO , “ Analysis of Vivaldi Antenna over a Heterogeneous Ground using a 3-D TLM-CE Method ”, Department of Electrical and Computer Engineering , University of Houston