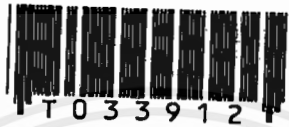


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศไมโครสตริป
Computer Aided Design of Microstrip Antenna



โดย

นาย ยรรยง บุญธีรศมี รหัส 40012057

นาย ศิริพงษ์ คำลือปลุก รหัส 40012065

เลขหน้.....
เลขทะเบียน.....33912
วัน, เดือน, ปี 20 ก.ย. 2542

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศไมโครสตริป


Computer Aided Design of Microstrip Antenna

จัดทำโดย นาย ขรรขง บุญธีรศมี รหัสประจำตัว 40012057
นาย ศิริพจน์ คำถือปลูก รหัสประจำตัว 40012065

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ประกิจ ตั้งติสานนท์
อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม
ประจำปีการศึกษา 2541

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรม
ศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(-----)
กรรมการ
(-----)
กรรมการ
(-----)
กรรมการ
(-----)
กรรมการ
(-----)
กรรมการ
(-----)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

โดย นาย ชรรยง บุญธิรัมย์ รหัสประจำตัว 40012057
นาย ศิริพงษ์ คำลือปลูก รหัสประจำตัว 40012065

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ประกิจ ตั้งศิษานนท์
อาจารย์ สถาพร พรหมวงค์

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโปรแกรมออกแบบสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งถูกป้อนสัญญาณด้วยไมโครสตริปไลน์ และใช้วิธีควอดเตอร์เวฟในการปรับแมทซ์ระหว่างสายอากาศกับไมโครสตริปไลน์ โปรแกรมนี้สามารถออกแบบแล้วนำผลจากการคำนวณไปสร้างสายอากาศได้จริง จากการทดสอบสายอากาศที่ได้สร้างขึ้นด้วยการออกแบบล่วงหน้า โดยโปรแกรมนี้ สังเกตได้ว่ารูปแบบการแผ่กระจายคลื่นเป็นไปตามทฤษฎีที่คำนวณไว้ ดังนั้นจึงยืนยันได้ว่าโปรแกรมนี้สามารถใช้ออกแบบสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปได้จริง ซึ่งได้มีการอธิบายทฤษฎีและสูตรต่างๆ ที่ใช้ ได้ทำการวัดและเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี รวมทั้งเหตุผลของความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัด กับทางทฤษฎีไว้ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

COMPUTER AIDED DESIGN OF MICROSTRIP ANTENNA

BY MR. YUNYONG BOONTHIRUSSAMEE

MR. SIRIPOJ COMELUEPLOOK

ADVISOR Assoc. Prof. Prakit Tungtisanon

Arjan. Sathaporn Promwong

YEAR 1998

Abstract

This thesis presents the design of microstrip patch antenna program which is fed by microstrip line and using quarter – wave method to adjust the matching between antenna and microstrip line . The measured result of the fabricated microstrip patch antenna are in good agreement with the theoretical results. Therefore , this program confirms to used for design of microstrip patch antenna .

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นรูปเล่มขึ้นมาได้ ก็เพราะอาศัยความรูจากบูรพาจารย์ทั้งหลาย ผู้เขียนเอกสารอ้างอิงต่างๆ ทุกท่าน คุณความดีทั้งหลายของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบเป็นเครื่องสักการะต่อท่านเหล่านั้น

อนึ่งแม้ว่าผู้จัดทำได้พยายามที่จะจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความใส่ใจเป็นอย่างดี แต่ก็ยังมีสิ่งจำเป็นที่จะต้องแก้ไขอยู่ ความสมบูรณ์ต่างๆ ของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีอยู่อย่างที่เป็นไม่ได้ ถ้าขาดความช่วยเหลือจากหลายท่านที่ให้ความรู้ต่างๆ ในการจัดทำ ซึ่งผู้จัดทำต้องขอขอบคุณไว้อย่างใจจริง คือ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา โดยเฉพาะ ท่านรองศาสตราจารย์ ประกิจ ดังศิษยานุศิษย์ และท่านอาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งท่านให้คำแนะนำ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ผู้เขียนยังได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากท่านอาจารย์ มนต์ชัย แซ่มะซ้อย และท่านอาจารย์ พิษณุ สุพรรณกุล ที่ให้คำแนะนำ และแก้ไขเป็นอย่างดี ซึ่งถ้าขาดสิ่งเหล่านี้แล้วการทดลองจะไม่ประสบผลสำเร็จไปได้

ท้ายนี้ผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนด้านต่างๆ รวมทั้งคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำด้วยใจจริงเสมอมา

บรรยง บุญธีรศมี

ศิริพจน์ คำถื่อปลุก

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 รายละเอียดปริญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ประวัติและลักษณะโครงสร้าง	3
2.2 รูปร่างลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศไมโครสตริป	4
2.2.1 สายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น	4
2.2.2 สายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling – Wave	4
2.2.3 สายอากาศไมโครสตริปแบบช่อง	5
2.3 สายส่งไมโครสตริป	6
2.4 พารามิเตอร์และสมการต่าง ๆ	12
2.4.1 กำลังงานที่กระจาย	12
2.4.2 กำลังงานที่สูญหาย	12
2.4.3 พลังงานที่ถูกเก็บสะสม	13
2.4.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าและแอดมิตแตนซ์ด้านเข้า	13
2.4.5 สภาพเจาะจงทิศทางและอัตรายาย	17
2.4.6 อัตรายายประสิทธิผล	18
2.4.7 ตัวประกอบคุณภาพและการสูญเสีย	18
2.4.8 แบนด์วิดท์	19

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.9 ความกว้างลำ	19
2.4.10 ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ	20
2.5 การเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศแถบแคบและไมโครสตริป	20
2.6 การป้อนสัญญาณให้สายอากาศ	21
2.6.1 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่ง	21
2.6.2 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล	22
2.6.3 การป้อนสัญญาณแบบฝัง	23
2.7 การวิเคราะห์โดยพิจารณาจากแบบจำลอง	23
2.7.1 แบบจำลองสายส่งสัญญาณ	23
2.8 การออกแบบตัวป้อนสัญญาณและแผ่นสายอากาศ	35
2.8.1 การออกแบบตัวป้อนสัญญาณ	35
2.8.2 การออกแบบแผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	36
บทที่ 3 ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม	38
3.1 รู้จักกับ VB5 (Visual Basic 5.0)	38
3.1.1 รายละเอียดของ VB5	38
3.1.2 หลักการในการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย VB5	38
3.1.3 พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับฟอร์ม และคอนโทรล	39
3.1.4 คุณสมบัติ เมคคอด และอีเวนต์ (Properties, Method and Even)	39
3.1.5 แนะนำคอนโทรลของ VB5	40
3.2 คอนโทรลพื้นฐานใน VB5	41
3.2.1 คอนโทรลเบื้องต้น ที่เราควรรู้จักได้แก่	41
3.2.2 รายละเอียดของฟอร์ม เมนู และคอนโทรลพื้นฐานต่างๆ	41
3.3 ฟอร์ม (Form)	41
3.4 เมนู (Menu)	41
3.5 เท็กบ็อกซ์ (TextBox)	42
3.6 เลเบล (Label)	43
3.7 ปุ่มคำสั่ง (Command Button)	43

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.8 ออปชั่นบัตตอน (Option Button)	43
3.9 เฟรม (Frame)	44
3.10 แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรม	45
3.11 การพัฒนาโปรแกรม	47
3.11.1 หน้าต่างเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม	47
3.11.2 หน้าต่างที่รับค่าจากผู้ใช้เพื่อทำการออกแบบ	48
3.11.3 หน้าต่างแสดงผลในการออกแบบสายอากาศ	50
3.11.4 หน้าต่างแสดงผลพารามิเตอร์ของสายอากาศ	50
3.11.5 หน้าต่างเลือกโหมดการแสดงผลแพทเทิร์นของสายอากาศ	52
3.11.6 หน้าต่างแสดงผลแพทเทิร์นรูปวงกลม	53
3.11.7 หน้าต่างแสดงผลแพทเทิร์นรูปเชิงเส้น	54
3.12 การออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ	55
บทที่ 4 การสร้าง และทดสอบสายอากาศ	56
4.1 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปขนาด 10 GHz	56
4.2 การทดลอง	59
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	59
4.4 ขั้นตอนการทดลอง	59
4.5 ผลการทดลอง	60
4.6 การวัด SWR	61
4.7 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์	62
บทที่ 5 บทสรุป	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก ก.	65

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป	3
รูปที่ 2 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (MPA)	4
รูปที่ 3 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling – Wave	5
รูปที่ 4 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่อง	6
รูปที่ 5 แสดงสนามที่แพร่กระจายเมื่อมองตามภาคตัดขวางของสายไมโครสตริป	6
รูปที่ 6 ลักษณะของสายแถบแคบ	20
รูปที่ 7 ลักษณะของไมโครสตริป	21
รูปที่ 8 แสดงการใช้สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปต่อเป็นตัวป้อนให้สายอากาศ	22
รูปที่ 9 แสดงการใช้สายโคแอกเชียลเป็นตัวป้อนให้สายอากาศ	22
รูปที่ 10 แสดงการป้อนสัญญาณแบบฝังให้กับสายอากาศ	23
รูปที่ 11 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด	24
รูปที่ 11 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด (ต่อ)	25
รูปที่ 12 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป, สนามไฟฟ้าและลักษณะของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล	25
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลต่อความถี่	26
รูปที่ 14 ความยาวประสิทธิผลของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	27
รูปที่ 15 สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและวงจรถ่ายเท่างของแบบจำลองสายส่ง	29
รูปที่ 16 ค่าความนำของร่องซึ่งเป็นฟังก์ชันของความกว้างของร่อง	31
รูปที่ 17 ตำแหน่งการป้อนสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานด้านเข้า	33
รูปที่ 17 ตำแหน่งการป้อนสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานด้านเข้า (ต่อ)	34
รูปที่ 18 ชุดบ็อกซ์ (Tool Box)	39
รูปที่ 19 คอนโทรลของ VB5	40
รูปที่ 20 เมนู (Menu)	42
รูปที่ 21 เท็กบ็อกซ์ (TextBox)	42
รูปที่ 22 เลเบล (Label)	43
รูปที่ 23 ปุ่มคำสั่ง (Command Button)	43
รูปที่ 24 ออปชั่นบัตตอน (Option Button)	44

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 25 เฟรม (Frame)	44
รูปที่ 26 แสดงโฟลว์ชาร์ตในการทำงานหลักของโปรแกรม	47
รูปที่ 27 หน้าต่างที่เข้าสู่การทำงานของโปรแกรม	47
รูปที่ 28 หน้าต่างที่รับค่าจากผู้ใช้เพื่อทำการออกแบบ	48
รูปที่ 29 หน้าต่างแสดงผลการออกแบบสายอากาศ	50
รูปที่ 30 หน้าต่างแสดงผลพารามิเตอร์ของสายอากาศ	51
รูปที่ 31 หน้าต่างเลือกโหมดการแสดงแพทเทิร์นของสายอากาศ	52
รูปที่ 32 หน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปวงกลม	53
รูปที่ 33 หน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปเชิงเส้น	54
รูปที่ 34 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม	53
รูปที่ 35 แสดงขนาดของไมโครสตริปที่สร้างจาก โปรแกรม Ledit	56
รูปที่ 36 แสดงแผ่น teflon และ film negative ที่จะนำมาสร้าง	57
รูปที่ 37 แสดงภาพการฉายแสงโดยใช้แสงจากพระอาทิตย์	57
รูปที่ 38 แสดงการล้างด้วยน้ำยาโซเดียมคาร์บอเนต	58
รูปที่ 39 แสดงการกัดแผ่น teflon โดยใช้น้ำยากัดแผ่นทองแดง	58
รูปที่ 40 แสดงรูปชิ้นงานที่สมบูรณ์	59
รูปที่ 41 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	60
รูปที่ 42 แสดงผลการวัด Log MAG ของสายอากาศที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz	61
รูปที่ 43 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz	61
รูปที่ 44 แสดงผลการวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในอดีตเทคโนโลยีที่ใช้งานทางด้านความถี่คลื่นวิทยุ และคลื่นไมโครเวฟ (RF and Microwave) นั้นส่วนใหญ่ได้เริ่มใช้กันในทางทหาร ต่อมาจึงได้มีการนำมาใช้ทางด้านงานอุตสาหกรรม เช่น การส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม , เครื่องมือติดตามยานพาหนะ และ อุปกรณ์สื่อสารติดตามตัว และจากนั้นก็นำมาใช้งานทางด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile telephone) รวมถึงการนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานในระบบ GPS ต่อไปในอนาคตซึ่งจะเห็นว่า ระบบที่ใช้ความถี่คลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟ ได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องทั้งที่ทำงานและในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีข้อดีมากมาย จึงมีวิศวกรได้เข้าไปทำงานด้านการออกแบบเพื่อศึกษาและทดลองในส่วนที่ไม่เคยได้รู้มาก่อน เช่น สายอากาศชนิดต่าง ๆ และวงจรที่ใช้งานทางด้านความถี่คลื่นวิทยุ

ในปัจจุบันนี้ การผลิตสายอากาศอย่างเช่น monopole และ งานสะท้อนของสายอากาศต่าง ๆ (reflector antennas) ยังคงถูกนำมาใช้งานเนื่องจากทำความเข้าใจและออกแบบได้ง่าย ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านสายอากาศไมโครสตริป (microstrip) ได้ถูกนำมาพิจารณาเพื่อพัฒนาการใช้งานแทน เนื่องจากมีข้อดีมากกว่า เช่น ขนาดเล็ก , น้ำหนักเบา เป็นต้น และที่สำคัญสามารถนำมาเข้ากันได้กับเทคโนโลยีของไอซี (IC)

สายอากาศไมโครสตริปเป็นส่วนที่ต่อออกไปจากสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป ซึ่งแต่ก่อนนี้ไมโครสตริปยังไม่ได้ถูกนำมาพัฒนาเนื่องจากการทำงานส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับ สายแถบแคบ (stripline) ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางไมโครเวฟ เช่นเดียวกัน แต่ข้อดีของไมโครสตริปที่ได้เปรียบกว่า สายแถบแคบ คือสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำบนแผ่นวงจรได้โดยต่อประกอบกันง่ายกว่า

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายอากาศไมโครสตริป มีความสำคัญอย่างมากที่จะนำมาใช้งานจึงต้องมีการเตรียมตัวสำหรับผู้ที่ไม่มีความชำนาญมาก่อน ให้ทำความเข้าใจในเรื่องของสายอากาศไมโครสตริป ทุก ๆ ด้าน เช่น ทฤษฎีเบื้องต้น , การออกแบบ , คุณสมบัติต่าง ๆ และ การวิเคราะห์ในรูปแบบต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเรียนรู้ถึงหลักการพื้นฐานของไมโครสตริป
2. เพื่อเรียนรู้ทฤษฎีและหลักการออกแบบไมโครสตริปด้วย Computer
3. เพื่อให้สามารถค้นคว้าและวิจัยด้วยตนเอง
4. เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณด้วย Computer ไปออกแบบและสร้างได้จริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำค่าต่าง ๆ ได้จากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์นำมาสร้างสายอากาศไมโคร - สตริปได้จริง
2. สามารถสร้างสายอากาศที่มีขนาดเล็กได้
3. สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของสายอากาศได้

1.4 รายละเอียดปฏิยานิพนธ์

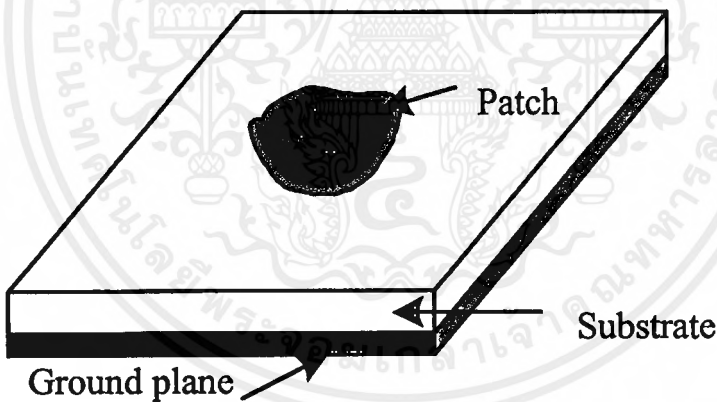
- บทที่ 1 กล่าวถึงวัตถุประสงค์ และประโยชน์ของการทำปฏิยานิพนธ์
- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ไป ของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป
- บทที่ 3 กล่าวถึงการใช้งาน โปรแกรมที่นำมาคำนวณสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป
- บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบ สร้าง และผลการทดลองสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป
- บทที่ 5 เป็นบทสรุป

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติ และ ลักษณะโครงสร้าง

แนวความคิดเกี่ยวกับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 1953 โดย Deschamps ซึ่งเมื่อ 20 ปีก่อน สายอากาศที่ถูกสร้างขึ้นในขณะนั้นได้นำหลักการและเทคนิคของโฟโต้เทค (Photo - tech) โดยจะใช้ทองแดงหรือทองปกคลุมฐานรองไดอิเล็กทริกตลอดช่วงความยาวของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เพื่อช่วยให้การดูดความร้อน และคุณสมบัติทางกลศาสตร์ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียสัมพัทธ์ที่จะเกิดขึ้นด้วย สายอากาศอันแรกได้ถูกสร้างขึ้น ในปี 1970 โดย Howell และ Munson ตั้งแต่นั้นมาก็มีการวิจัยและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปและอาร์เรย์อย่างต่อเนื่อง โดยมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ราคาถูก รูปร่างเป็นแผ่นเรียบ และยังสามารถสร้างอยู่ในวงจรรวม (IC) ข้อดีต่าง ๆ เหล่านี้จึงได้ถูกนำมาใช้ในสายอากาศไมโครสตริป



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครสตริปประกอบไปด้วย :

2.1.1 แพทช์ (Patch) แผ่นโลหะที่เป็นตัวนำอยู่ชั้นบนสุด ทำหน้าที่เป็นส่วนกระจายคลื่น สามารถออกแบบให้มีรูปร่างต่าง ๆ ได้

2.1.2 วัสดุฐานรอง (Substrate) ที่เป็นไดอิเล็กทริกจะกั้นอยู่ระหว่างตัวนำด้านบนที่เป็นส่วนแพร่กระจายคลื่น และ ระบายสร้างเงา

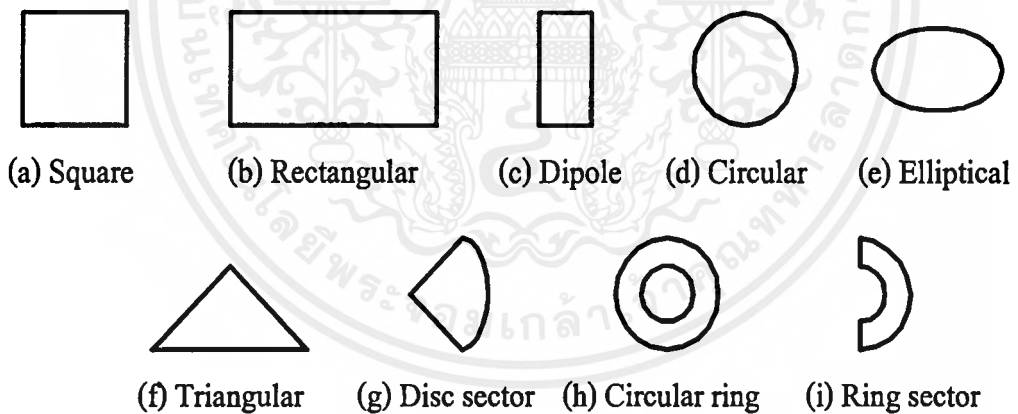
2.1.3 ระบายสร้างเงาเป็นแผ่นโลหะตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นกราวด์ (Ground plane) ซึ่งจะ เป็นส่วนที่รองรับทั้งหมด ซึ่งระบายสร้างเงา ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติ ไม่สามารถที่จะให้ ระบายสร้างเงา มีขนาดจนถึงอนันต์ได้ ดังนั้น ในการออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัด ของระบายสร้างเงา ว่าควรมีขนาดเท่าไร เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่น

2.2 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป จะมีพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ (Physics) มากกว่าสายอากาศ ย่านไมโครเวฟทั่ว ๆ ไป ที่เห็นได้ชัด คือ รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปแบบต่าง ๆ อย่างไรก็ตามตามสายอากาศไมโครสตริป สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.2.1 สายอากาศ ไมโครสตริปแบบแผ่น (Microstrip Patch Antenna ; MPA)

ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปทรงทางเรขาคณิตอยู่บนแผ่นวัสดุฐานรอง อีกด้านหนึ่ง ของไดอิเล็กทริก จะเป็นระบายสร้างเงา แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งหาได้ จากการคำนวณรูปร่างลักษณะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2

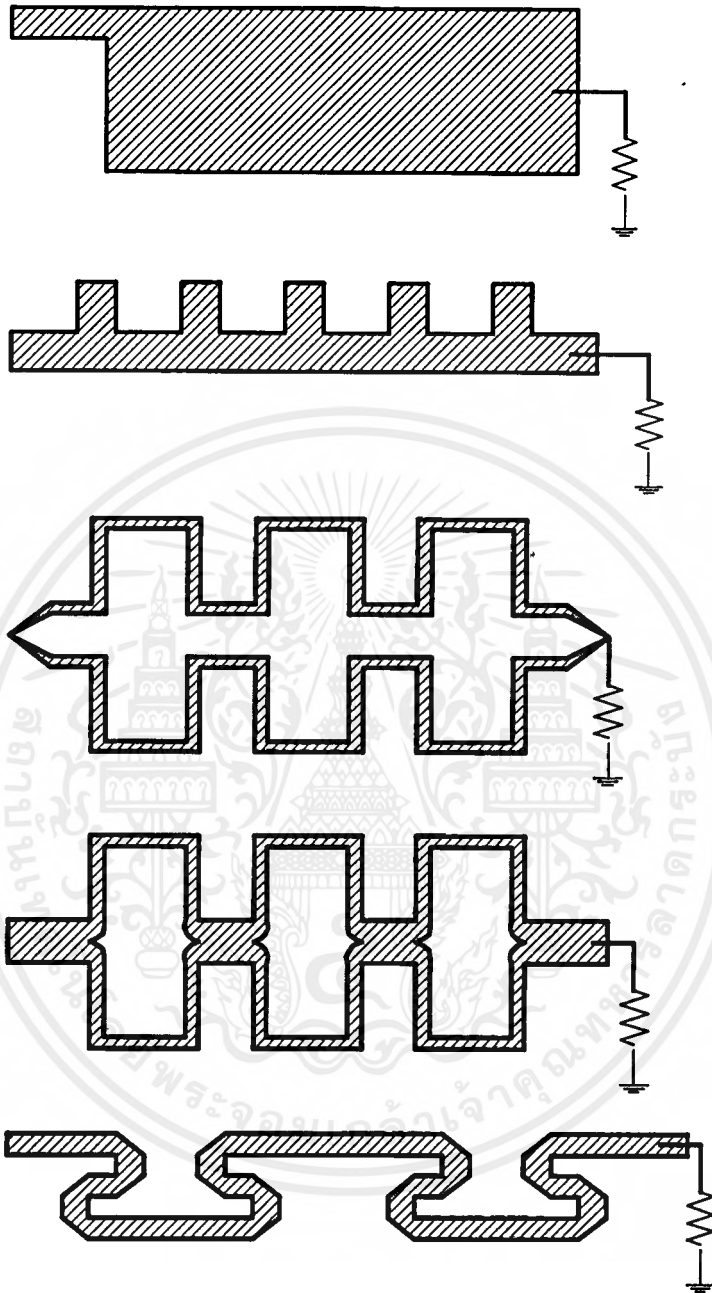


รูปที่ 2 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่น (MPA)

จากรูปที่ 2 นี้ เราจะสร้าง สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular)

2.2.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบ Traveling Wave (MTA)

ประกอบด้วยตัวนำลักษณะเป็นคาบ หรือ มีความยาวตามเส้น TEM จะต่อกับความต้านทานที่เป็นโหลด (Load) โดยมีรูปร่างดังรูปที่ 3

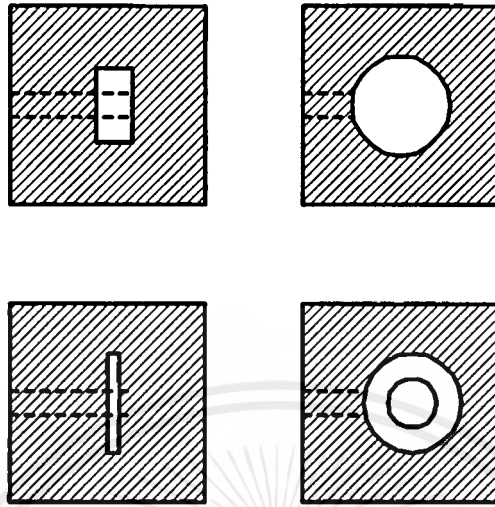


รูปที่ 3 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling – Wave

2.2.3 สายอากาศแผ่น ไมโครสตริปแบบช่อง (Slot)

ประกอบด้วยช่องซึ่งต่อกับเส้นไมโครสตริป ช่องนี้จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กว้างหรือแคบก็ได้) , วงกลม หรือ วงแหวน ดังรูปที่ 4

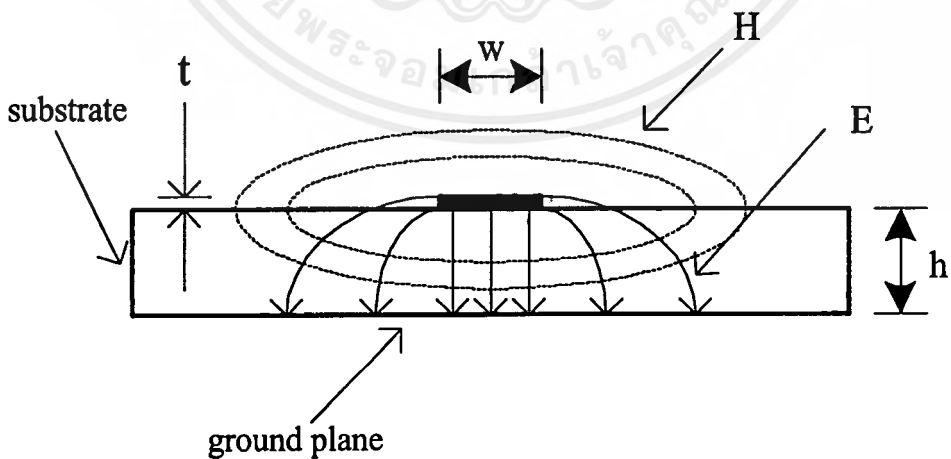
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่อง

2.3 สายส่งไมโครสตริป

ก่อนที่จะเริ่มการพิจารณาแบบต่าง ๆ ของแบบจำลองสำหรับสายอากาศไมโครสตริป ควรที่จะศึกษาบางส่วนบางส่วนที่เป็นสายส่งไมโครสตริป ซึ่งสายไมโครสตริป เป็นรูปแบบพื้นฐานสำหรับสายอากาศต่าง ๆ ดังนั้นการเรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของสายไมโครสตริป จะช่วยในการทำความเข้าใจสายอากาศต่าง ๆ



รูปที่ 5 แสดงสนามที่แพร่กระจายเมื่อมองตามภาคตัดขวางของสายไมโครสตริป

รูปที่ 5 แสดง ภาคตัดขวางของสายไมโครสตริป กับ รูปซึ่งแสดงไว้อย่างคร่าว ๆ ของสนามที่แบ่งแยกไปซึ่งทแยงกันอยู่ รวมถึงทิศทางของการแพร่กระจาย ซึ่งเป็นการสมมติในกระดาศเท่า นั้น เส้นแรงสนามไฟฟ้าทิศทางออกจากสายไมโครสตริป ถึง ระบายสร้างเงา เส้นแรงส่วนใหญ่จะรวมตัวกันภายใต้ไมโครสตริป บางเส้นแรงมีจุดเริ่มบนประจุที่ขอบ และ ส่วนบนสุดของไมโครสตริป และคั้งนั้นบางส่วนจึงขยายออกไปสู่ อวกาศที่ว่างทางด้านบนของวัสดุฐานรอง เส้นแรงสนามแม่เหล็กล้อมรอบสายไมโครสตริปเป็นวง และ ขยายไปสู่ด้านบนของวัสดุฐานรอง

สนามส่วนที่ขยายออกไปเหนือวัสดุฐานรองจะมีการแสดงความหมายออกมาได้มากมาย อันดับแรก เป็นคลื่นที่ถูกสนับสนุน โดยเส้นแรงที่เป็น non - TEM และมีองค์ประกอบสนามตามยาวตามทิศทางของการแพร่กระจายที่ไม่ได้แสดงไว้ในรูป เพราะมีขนาดเล็กกว่าตามขวาง และ ไม่ได้ได้รับความสนใจ อันดับที่สอง เส้นแรงสนามที่ปรากฏในอากาศจะลดทอนค่าไดอิเล็กตริกประสิทธิภาพ ที่คอยช่วยในการแพร่กระจายคลื่นตามสาย ถ้าสนามทั้งหมดคงอยู่ระหว่างสาย และ ระบายสร้างเงา ค่าไดอิเล็กตริก จะเป็นค่าไดอิเล็กตริก ค่าเดิมของวัสดุฐานรอง ซึ่งมันอาจจะมีค่าค่อนข้างน้อยกว่าค่าจริงของวัสดุฐานรอง ซึ่งความน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับค่าต่าง ๆ ขึ้นต้น เช่น ความกว้างของสาย , ค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง และ การสูญเสียเนื้อที่ รวมทั้ง ความสูงของวัสดุฐานรอง ชุดท้ายพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของไมโครสตริป เช่น อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และ ความเร็วเฟส ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ การกระจายตามความถี่ ” (Dispersion) เป็นการตีที่การเปลี่ยนแปลงตามความถี่นั้นจะมีน้อยกว่าที่ความถี่ต่ำกว่า 8 GHz และ ใช้กับไฟฟ้าวัสดุฐานรองชนิดบาง

เช่นเดียวกับสายอากาศไมโครสตริป วิธีการวิเคราะห์จำนวนมากถูกประยุกต์ใช้เพื่อเป็นสายส่งไมโครสตริป ซึ่ง Gupta et al. เตรียมการพิจารณาเพื่อความเข้าใจและทบทวนเรื่องนี้ เนื่องจากความสำคัญทางวิศวกรรมไมโครสตริป จึงพยายามอย่างมากที่จะพัฒนาเพื่อแทนที่รูปแบบปิดสำหรับพารามิเตอร์ของสายส่ง งานของ Hammerstad และ Bahl และ Garg ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีความแม่นยำในงานออกแบบส่วนใหญ่ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0) และค่าไดอิเล็กตริก ประสิทธิภาพ (ϵ_{reff}) หาได้โดย

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left\{ \frac{8h}{W_e} + \frac{0.25W_e}{h} \right\} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} \leq 1 \quad (2.1)$$

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \frac{1}{\left\{ \frac{W_e}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left[\frac{W_e}{h} + 1.444 \right] \right\}} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} > 1 \quad (2.2)$$

ซึ่ง

$$\frac{W_c}{h} = \frac{W}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left[1 + \ln \left(\frac{4\pi W}{t} \right) \right] \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \quad (2.3)$$

$$\frac{W_c}{h} = \frac{W}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left[1 + \ln \left(\frac{2h}{t} \right) \right] \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} > \frac{1}{2\pi} \quad (2.4)$$

และ

$$\varepsilon_{\text{reff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} F \left(\frac{W}{h} \right) - C \quad (2.5)$$

ซึ่ง

$$F \left(\frac{W}{h} \right) = \sqrt{1 + \frac{12h}{W} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} \leq 1 \quad (2.6)$$

$$F \left(\frac{W}{h} \right) = \sqrt{1 + \frac{12h}{W}} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} > 1 \quad (2.7)$$

$$C = \frac{(\varepsilon_r - 1) \frac{t}{h}}{4.6 \sqrt{\frac{W}{h}}} \quad (2.8)$$

ในสมการก่อนหน้านี้

η_0 เป็น ค่าอิมพีแดนซ์ของคลื่นในอวกาศว่าง (free space) มีค่าเท่ากับ 377 Ω

ε_r เป็น ค่าไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง

และ สัญลักษณ์อื่น ๆ ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 2 และ สมการต่าง ๆ เหล่านี้ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ และใช้ได้เมื่อสามารถตัดการกระจายทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่สูงกว่า 8 GHz การกระจายจะถูกรวมเข้าไปเพื่อแก้ไขการออกแบบที่ถูกต้องขึ้นใน วงจรต่าง ๆ บ่อยครั้งที่ความยาวของสายไมโครสตริป จะต้องเป็นอัตราส่วนที่มีความแน่นอนของ ความยาวคลื่น ซึ่งความยาวคลื่นบนสายหาได้จาก

$$\lambda = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad \text{หรือ} \quad \lambda = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}(f)}} \quad (2.9)$$

ซึ่ง λ_o คือ ความยาวคลื่นในอวกาศว่าง

สำหรับการเลื่อนเฟส (Phase shift) เกิดขึ้นจากความยาวของสาย (1) ซึ่งหาได้จาก

$$\beta = \frac{2\pi l}{\lambda} = \frac{2\pi l \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}{\lambda_o} \quad \text{หรือ} \quad \beta = \frac{2\pi l \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}(f)}}{\lambda_o} \quad (2.10)$$

จากความรู้ที่ผ่านมาสัญญาณเมื่อเดินทางมาตกกระทบไมโครสตริปจะถูกลดทอนลง ซึ่ง เป็นสาเหตุจากค่าความนำที่จำกัดของตัวนำ และการเป็นโลหะของระนาบสร้างเงา และการสูญเสีย ในไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นเครื่องแสดงสัมประสิทธิ์ในการลดทอน โดยมี 2 องค์ประกอบ อย่างที่หนึ่ง เป็นการสูญเสียของ (α_c) และอีกอย่างคือ การสูญเสียของไดอิเล็กตริก (α_d) สมการนี้จะอยู่ในรูป ของ dB ต่อ หน่วยความยาว

$$\alpha_c = \frac{1.38AR_s}{hZ_o} \left[\frac{32 - \frac{W_e}{h}}{32 + \frac{W_e}{h}} \right]^2 \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{W}{h} \leq 1 \quad (2.11)$$

$$\alpha_c = 6.1 \times 10^{-5} \frac{AR_s Z_o \epsilon_{\text{reff}}}{h} \left[\frac{W_e}{h} + \frac{0.667W_e}{\frac{W_e}{h} + 1.444} \right] \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{W}{h} > 1 \quad (2.12)$$

และ

$$\alpha_d = 27.3 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{\epsilon_{\text{reff}} - 1}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \right) \frac{\tan \delta}{\lambda_o} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง

$$A = 1 + \frac{h}{W_e} \left\{ 1 + \frac{1.25}{\pi} \ln \left(\frac{2\pi W}{t} \right) \right\} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \quad (2.14)$$

$$A = 1 + \frac{h}{W_e} \left\{ 1 + \frac{1.25}{\pi} \ln \left(\frac{2h}{t} \right) \right\} \quad \text{เมื่อ } \frac{W}{h} > \frac{1}{2\pi} \quad (2.15)$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu_o}{\sigma}} \quad (2.16)$$

ซึ่ง σ คือ ค่าความนำของตัวนำในหน่วย Siemens/meter (S/m)

ผลรวมสัมประสิทธิ์ในการลดทอนจะเป็น $\alpha = \alpha_c + \alpha_d$

พิจารณาขนาดของสัญญาณ (V_o) ที่เป็นด้านเข้าบนสายไมโครสตริป หลังจากมีการเดินทางได้ระยะทาง 1 สัญญาณจะมีค่า

$$V = V_o e^{-\alpha l} e^{-j\beta l} \quad (2.17)$$

ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีพื้นฐานของสายส่งสัญญาณ ขนาดของสัญญาณจะถูกลดลงโดยการลดทอน (รูปของเอ็กโปเนนเชียลรวมกับ α) และ ความรู้ในการเลื่อนเฟส (รูปของเอ็กโปเนนเชียลกับ β) α เป็น ค่าคงที่ในการลดทอน และ β เป็นค่าคงที่ทางเฟส ค่าทั้งสองนี้รวมกันในรูปของปริมาณ $\gamma = \alpha + j\beta$ ซึ่งถูกเรียกว่า เป็นค่าคงที่การแพร่กระจาย สายไมโครสตริป ส่วนใหญ่มีค่าการสูญเสียต่ำ ดังนั้น $\gamma \approx j\beta$ ซึ่ง ค่า γ พร้อมด้วย Z_o เป็นค่าที่อธิบายลักษณะของสายได้อย่างสมบูรณ์

แม้ว่าแต่ก่อนจะไม่มีกรอธิบายที่แน่นอน ผลลัพธ์ในช่วงแรกนี้ที่ได้จะถูกนำไปใช้กับสายไมโครสตริป ที่อันดับต่ำที่สุด (Lowest Order) เท่านั้น ที่โหมดหลัก (Dominant Mode ; ซึ่งเป็นไปตามการวาด ในรูปที่ 5) ไดอิเล็กทริกของวัสดุฐานรองที่เป็นกราวด์ (ยกเว้นสายไมโครสตริป) สามารถนำพลังงานได้เช่นกัน ซึ่งคลื่นที่ถูกนำเรียกว่า “ คลื่นตามผิว ” (Surface Wave) ส่วนใหญ่สนามของคลื่นตามผิวจะอยู่ในไดอิเล็กทริก โครงสร้างของสนามบางส่วนจะคงอยู่ในอวกาศว่างเหนือวัสดุฐานรอง ซึ่งสนามจะมีค่าลดลงแบบเอ็กโปเนนเชียลเมื่อเคลื่อนที่ออกห่างจากวัสดุฐานรองในแนวตั้ง โหมดของคลื่นตามผิวที่มีอันดับต่ำที่สุดสำหรับวัสดุฐานรองแล้ว ความถี่คัทออฟ

(cut - off) จะอยู่ที่ศูนย์ และดังนั้นสามารถถูกกระตุ้นได้ที่มีความถี่ใด ๆ ก็ตาม ซึ่งก็คือโหมด TM_0 คลื่นตามผิวในโหมดอื่น ๆ มีความถี่คutoffไม่เป็นศูนย์ ในทางไฟฟ้าแล้ววัสดุฐานรองที่มีขนาดบางนั้น โหมดที่มีอันดับสูงกว่ามักจะมีค่าความถี่ต่ำกว่าจุดคutoff และไม่ถูกกระตุ้นได้ง่าย ๆ

สัญญาณบนวงจรไมโครสตริปสามารถกระตุ้นคลื่นตามผิว โหมด TM_0 มักจะอยู่ในวัสดุฐานรอง จากผลลัพท์นี้ทำให้มีการสูญเสียกำลังงานขณะที่คลื่นตามผิวจะมีการแพร่กระจายออกจากไมโครสตริป คลื่นตามผิวแพร่กระจายอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งพบกับความไม่สม่ำเสมอ (Discontinuity) เช่น ที่ขอบของวัสดุฐานรอง หรือ ที่สายไมโครสตริปอื่น เมื่อคลื่นตามผิวพบกับความไม่สม่ำเสมอ คลื่นตามผิวอาจจะแพร่กระจายจนถึงความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการนัก คลื่นตามผิวนี้อาจจะเข้าไปรบกวนคุณสมบัติของวงจร หรือ สายอากาศ การกระตุ้นของโหมด TM_0 จะลดลงเมื่อแผ่นวัสดุฐานรองมีขนาดบางมาก และมีค่าไดอิเล็กตริกต่ำ สำหรับการกำหนดค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ จะเลือกจากความสูง ดังนี้

$$h \leq \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_r} - 1} \quad (2.18)$$

ซึ่ง c เป็นความเร็วของแสงมีค่า 3×10^8 เมตร / วินาที

และ f คือความถี่ที่ใช้งาน

สนามไฟฟ้าอยู่ภายใต้สายไมโครสตริป ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นจุดสำคัญที่เหมือนกันที่มองสายตามขวาง เมื่อความถี่หรือความกว้างของสายเพิ่มขึ้นมันก็สามารถที่จะกระตุ้นโหมดเรโซแนนซ์ตามขวาง (Transverse Resonant Mode) บนสาย คุณสมบัติที่สำคัญของสายไมโครสตริปเหมือนกับเรโซเนเตอร์ (Resonator) กับการกระตุ้นคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ตามความกว้างของสาย สนามไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดที่ขอบของสายจากค่า ศูนย์ ที่จุดกลาง และ ย้อนกลับไปไปยังค่าสูงสุดที่ขอบของสายอีกข้างหนึ่ง เห็นได้ชัดว่า มันไม่เป็นที่ต้องการเหมือนกับกำลังงานที่หายไปโหมดนี้ การผิดเพี้ยนของสัญญาณสามารถเกิดขึ้นด้วย เพราะพลังงานจะแตกออกเป็น 2 โหมดที่เดินทางด้วยความเร็วที่ต่างกัน สำหรับการกำหนดวัสดุฐานรอง และ ความกว้างของสาย , ความถี่คutoff สำหรับโหมดตามขวาง (Transverse Mode) กำหนดโดย

$$f_c = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}[2w + 0.8h]} \quad (2.19)$$

ความกว้างของสายที่มากที่สุดนั้นจะถูกใช้ เช่น ความถี่คัทออฟ กำหนดโดยสมการ (2.18) ซึ่งจะคิดที่จุดเหนือกว่าค่าความถี่สูงสุด

2.4 พารามิเตอร์ และสมการ ต่าง ๆ

2.4.1 กำลังงานที่กระจาย (Radiating Power)

หาได้โดยการอินทิเกรต ส่วนจริงของ Poynting Vecor รอบช่องเปิดที่กระจายคลื่น

$$P_r = \frac{1}{2} \iint_s \left| \vec{E} * \vec{H}^* \right| ds \quad (2.20)$$

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มีสนามไฟฟ้าตั้งฉากและมีสนามแม่เหล็กที่สัมผัสกับแพ็คเกจ และมี $h \ll \lambda$

$$P_r = V_o^2 \frac{I_L}{240\pi^2} \quad (2.21)$$

$$I_L = \int_0^\pi \sin^2 \left[\frac{K_0 W}{2} \cos \theta \right] \tan^2 \theta \sin \theta d\theta \quad (2.22)$$

2.4.2 กำลังงานที่สูญเสีย (Dissipate Power)

จะประกอบไปด้วยการสูญเสียในตัวนำ (Conductor loss , P_c) และ การสูญเสียในสาร ไดอิเล็กตริก (Dielectric Loss , P_d) P_c หาได้จาก $I^2 R$ ซึ่งสัมพันธ์กับ การ อินทิเกรต รอบพื้นที่ของแพ็คเกจ และ ระบายสร้างเงา

$$P_c = R_m \iint_s (\vec{J}_m, \vec{J}^*) ds \quad (2.23)$$

โดยที่ R_m เป็นส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ที่ผิว

P_d หาได้จากการอินทิเกรตสนามไฟฟ้าภายในโพรง (cavity) ของสายอากาศไมโครสตริป รอบปริมาตร

$$P_d = \left(\frac{W\varepsilon''}{2} \right) \iiint_V |E|^2 dV \quad (2.24)$$

โดยที่ ε'' เป็นส่วนจินตภาพของสภาพยอม (permittivity)

2.4.3 พลังงานที่ถูกรักษาสะสม (Stored Energy)

ในช่วงเวลาเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าและแม่เหล็กที่ถูกรักษาในโพรง เรโซแนนซ์ (resonance) จะมีค่าเท่ากันที่ความถี่

$$W_t = W_s + W = \iiint_V (\varepsilon \bar{E}^2 + \mu \bar{H}^2) dV \quad (2.25)$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$W_t = \left(\frac{1}{2} \right) \varepsilon h \iint_s \bar{E}^2 ds \quad (2.26)$$

2.4.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าและแอดมิตแตนซ์ด้านเข้า

(Input Impedance and Input Admittance)

สายอากาศทุกชนิดจำเป็นต้องทำให้แมตช์ (match) กับสายป้อนสัญญาณ จึงต้องคำนวณหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้าสายอากาศไมโครสตริปสามารถป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเชียล หรือ ใช้สายไมโครสตริป สำหรับการป้อนสัญญาณแบบสายโคแอกเชียล (coaxial) สามารถคำนวณหากำลังงานขาเข้าได้จาก

$$P_m^c = - \iiint_V \bar{E} \cdot \bar{J}_s dV \quad (2.27)$$

โดยที่ c ใช้กำกับเพื่อแสดงให้รู้ว่าเป็นการป้อนสัญญาณโดยสายโคแอกเชียล

เมื่อสายอากาศไมโครสตริปมีขนาดบางมาก ๆ และ กระแสในสายโคแอกเชียล อยู่ในทิศ
ทาง Z สมการ (2.27) จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{in}^c = - \int_0^h \overline{E}(x_0, y_0) I^*(Z') dZ' \quad (2.28)$$

โดยที่ (X_0, Y_0) เป็นตำแหน่งป้อนสัญญาณ
 ดังนั้น ที่อิมพีแดนซ์ด้านเข้าสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$P_{in}^c = \frac{|I_{in}|^2}{Z_{in}}$$

$$Z_{in} = \left(\frac{P_{in}^c}{I_{in}^2} \right) = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad (2.29)$$

$$= h \overline{E}(x_0, y_0) I_{in} \quad (2.30)$$

ส่วนสายอากาศไมโครสตริป ที่ใช้สายส่งสัญญาณ ไมโครสตริป เป็นตัวป้อนสัญญาณ กำลังงานขาเข้าจะเป็น

$$P_{in}^m = \iiint_V \overline{H}^* I_m dV \quad (2.31)$$

โดยที่ I_m เป็นความหนาแน่นกระแสแม่เหล็ก
 m ใช้กำกับเพื่อแสดงให้รู้ว่าเป็นการป้อนสัญญาณโดยใช้ ไมโครสตริป

ดังนั้น อิมพีแดนซ์ด้านเข้า จะเป็น

$$Y_{in} = \left(\frac{1}{V_{in}^2} \right)^w \int_0^w \overline{H}(x_L, y_L)^2 Y(I) dI \quad (2.32)$$

โดยที่ W' เป็น ความกว้างของตัวนำไมโครสตริป
 $V(I)$ เป็น แรงดันระหว่างแท่งกับระนาบสร้างเงา

สำหรับไมโครสตริปที่มีขนาดแคบ $V(I)$ มีค่าใกล้เคียงกับ V_{in} ถ้า h มีค่าน้อย ๆ กระแสที่เข้าสายอากาศจะมีค่า

$$I_{in} = W \overline{H}(x_L, y_L)$$

ดังนั้น จะได้

$$Y_{in} = \left(\frac{I_{in}}{V_{in}} \right)^* \quad (2.33)$$

และสำหรับความต้านทานการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Resistance) สามารถหาได้จาก (2.34) และ (2.37)

$$R_r = \frac{V_0^2}{2P_r} = \frac{120\pi^2}{I_L} \quad (2.34)$$

$$\text{ที่ } W \ll \lambda_0, \quad R_r \cong \frac{90R^2}{W^2} \quad (2.35)$$

$$W \gg \lambda_0, \quad R_r \cong \frac{120R^2}{W^2} \quad (2.36)$$

ในกรณีหลัง ความต้านทานการแผ่กระจายคลื่นต่อหน่วยความยาวของแต่ละช่องเปิดมีค่าเป็น

$$R_r = 120\lambda_0 \Omega \quad (2.37)$$

เพื่อที่จะทำให้ง่ายขึ้น สำหรับสายอากาศที่มีความหนาน้อย ๆ การคำนวณสามารถประมาณได้ดังนี้ คือ

$$R_r = 120\lambda_0 \left[\frac{1 - (kh)^2}{24} \right] \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมี Normalized Line Extention

$$\Delta l = 0.412h \left[\frac{(\epsilon_o + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_o + 0.25)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \right] \quad (2.39)$$

และ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (Effective Dielectric Constant)

$$\epsilon_o = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \sqrt{1 + \frac{12h}{W}} \quad (2.40)$$

มีค่าเป็น ค่าชั้สเซปแดนซ์ (Susceptance) ของแต่ละช่องเปิด ซึ่งแทนด้วย ค่าความจุ (Capacitance)

$$C = \frac{\Delta l \sqrt{\epsilon_o}}{cZ_o} \quad (2.41)$$

โดยที่ c เป็น ความเร็วแสง

Z_o เป็น อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

แอดมิตแดนซ์ด้านเข้า ของส่วนแผ่กระจายคลื่นเป็น

$$Y_m = G + jB + \left[\frac{Y_o \{G + j(B + Y_o \tan \mu l)\}}{\{Y_o + j(G + jB) \tan \beta l\}} \right] \quad (2.42)$$

$$\text{โดยที่ } G = \frac{1}{R_r}$$

$$B = \frac{k\Delta l \sqrt{\epsilon_o}}{Z_o}$$

β เป็น ค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น (Propagation Constant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_0}}{\lambda}$$

สายอากาศไมโครสตริปสามารถแทนได้ด้วย ค่าแอดมิตแตนซ์ 2 ค่า ที่ต่อกันด้วยสายส่งที่ ความถี่เรโซแนนซ์ ส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์ด้านเข้าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์ ของส่วนแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จาก

$$\tan(\beta l) = \frac{2Y_o B}{B^2 + G^2 - Y^2} \quad (2.43)$$

ส่วนแอดมิตแตนซ์ด้านเข้าที่ตำแหน่งป้อนใด ๆ มีค่าเป็น

$$Y_m(Z) = \left[\frac{2G}{\cos^2(\beta z) + \frac{(G^2 + B^2) \sin^2(\beta z)}{Y_o^2}} - \frac{B \sin(2\beta z)}{Y_o} \right] \quad (2.44)$$

โดยที่ z เป็นระยะจากขอบของแพ็คซ์ไปยังตำแหน่งป้อนที่ $\frac{G}{Y_o} \ll 1$

และ $\frac{B}{Y_o} \ll 1$

$$Y_m(Z) = \frac{2G}{\cos^2(\beta l)} \quad (2.45)$$

ซึ่งสามารถหาค่าได้ทุก ๆ ที่ ยกเว้นที่ $\beta z = \frac{\pi}{2}$

2.4.5 สภาพเจาะจงทิศทาง และ อัตราขยาย (Directivity and Gain)

เมื่อ สภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานสูงสุดในลำหลัก ต่อความหนาแน่นพลังงานเฉลี่ยของสภาพเจาะจงทิศทางของช่องเปิดแสดงโดย

$$D = \frac{\frac{1}{2} \operatorname{Re}(\bar{E}_\theta \dot{H}_\phi - \bar{E}_\phi \dot{H}_\theta) \Big|_{\theta=\frac{\pi}{2}}}{\frac{P_r^2}{4\pi r^2}} = \frac{4W^2 \pi^2}{I_L \lambda_o^2} \quad (2.46)$$

โดย I_L แสดงด้วยสมการ (2.22)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีของสายอากาศไมโครสตริป ที่ประกอบด้วย 2 ช่องเปิด อยู่ห่างกัน l สภาพ
เจาะจงทิศทาง ใน E - Plane จะเป็น

$$W \ll \lambda_0, D_w \cong 6.6 \quad (2.47)$$

$$W \gg \lambda_0, D_w \cong \frac{8W}{\lambda_0} \quad (2.48)$$

2.4.6 อัตราขยายประสิทธิภาพ (Effective Gain)

$$G_m = \eta D_w \quad (2.49)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศ

2.4.7 ตัวประกอบคุณภาพและการสูญเสีย (Quality Factor and Loss)

ตัวประกอบคุณภาพ (Q_f) ของสายอากาศมีความสัมพันธ์กับความต้านทานการกระจายคลื่น
ซึ่งจะสามารถหาได้จาก

$$Q_f = \frac{2\pi f_r W_t}{P_r} \quad (2.50)$$

$$W_t = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E_x^2 h L W}{4} \quad (2.51)$$

$$Q_f = \frac{C \sqrt{\epsilon_m}}{4 f_r h} \quad (2.52)$$

ความต้านทานสมมูลสำหรับการสูญเสียในตัวนำ (R_c) และในไดอิเล็กตริก (R_d) จะเป็น

$$R_c = \frac{0.00027 I Q_f^2 \sqrt{f_r}}{W} \quad (2.53)$$

$$R_d = 30 \tan \sigma h Q_f^2 I W \epsilon_r \quad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\tan \sigma$ เป็น แทนเจนต์การสูญเสีย (Loss Tangent)
 f_r มีหน่วยเป็น GHz

Quality Factor รวม (Q_t) มีค่าเป็น

$$Q_t = \frac{2Q_f R_c}{R_r} \quad (2.55)$$

2.4.8 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

โดยปกติจะคิดแบนด์วิดท์ที่ค่า $VSWR < 2$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$BW = \frac{1}{Q_t \sqrt{2}} \quad (2.56)$$

จะเห็นว่า การเพิ่มแบนด์วิดท์ สามารถทำได้โดยการเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรองวิธีนี้มีข้อเสียหลายอย่างจึงไม่นิยมใช้

2.4.9 ความกว้างลำ (Beamwidth)

ความกว้างลำจะคิดระหว่างมุมที่พลังงานที่รับได้ลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beamwidth) หรือ ที่ค่าของสนามลดลง $1/2$ ของค่ามากที่สุดที่รับได้ จะประเมินค่าได้จาก

$$\Phi_{BH} = 2 \cos^{-1} \left| \frac{1}{2 + kW} \right|^{1/2} \quad (2.57)$$

$$\Phi_{BE} = 2 \cos^{-1} \left| \frac{7.03}{3k^2 l^2 + k^2 h^2} \right|^{1/2} \quad (2.58)$$

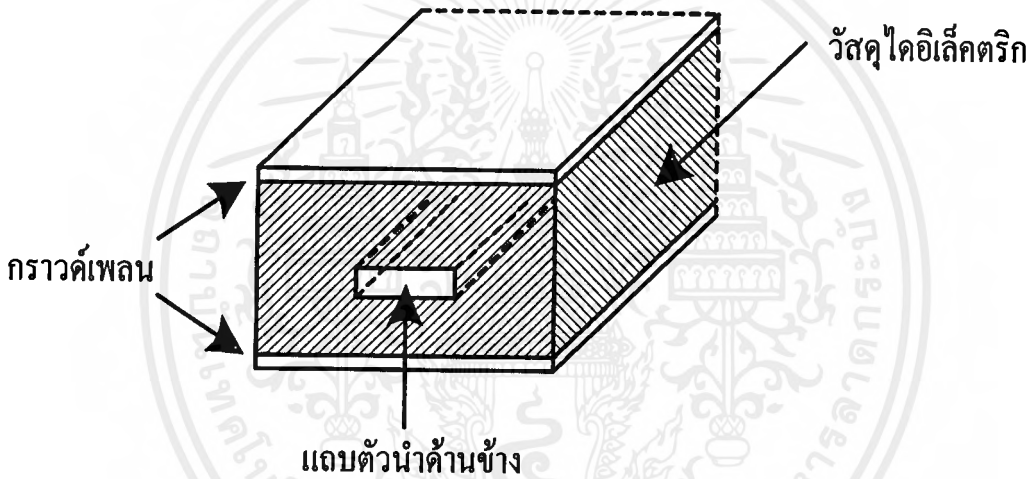
โดยที่ Φ_{BH} และ Φ_{BE} เป็น ความกว้างลำที่พลังงานลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบ H (H - Plane) และระนาบ E (E - Plane) ตามลำดับ จากสมการจะเห็นว่าความกว้างลำของสายอากาศไมโครสตริปแบบองค์ประกอบเดี่ยวจะแปรผกผันกับขนาดของสายอากาศ

2.4.10 ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ

ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังคลื่นที่แพร่กระจาย ต่อกำลังด้านเข้าซึ่งอาจแสดงในสมการของความต้านทานสมมูล ได้คือ

$$\eta \% = \frac{R_r}{R_T} \times 100 \quad (2.59)$$

2.5 การเปรียบเทียบระหว่างสายแถบแคบ และ ไมโครสตริป

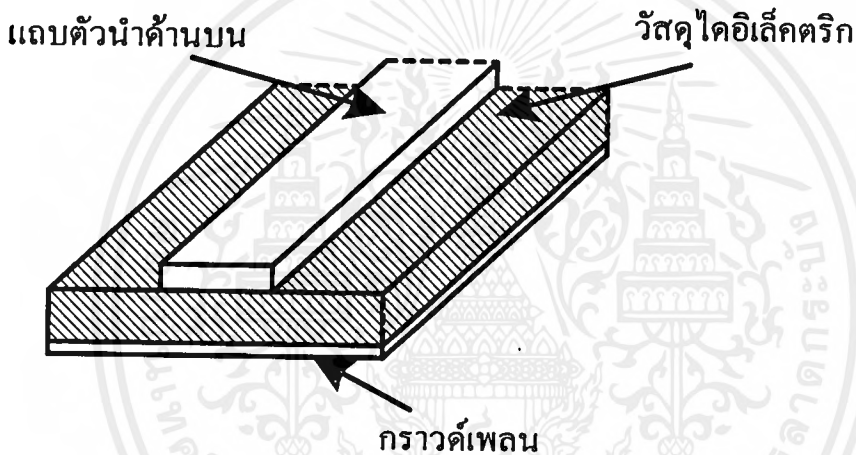


รูปที่ 6 ลักษณะของสายแถบแคบ

สายแถบแคบประกอบด้วยแถบตัวนำ (strip) ขนาดบางวางอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ ซึ่งเป็น ระบายสร้างเงาคั่นไว้ด้วยสาร ไดอิเล็กตริก ดังในรูปที่ 6 ระบายสร้างเงาด้านนอกจะทำหน้าที่ ชิลด์ (shield) สัญญาณไม่ให้เกิดการแผ่กระจายคลื่นออกไปนอกสายแถบแคบ ความสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายคลื่น (Radiation loss) จะเกิดในช่วงปลายซึ่งถูกเปิดไว้โดยไม่มีการชิลด์ของสาย แถบแคบ สายแถบแคบเปรียบได้กับสายโคแอกเซียลที่ถูกทำให้แบน และ แยกแผ่นตัวนำภายนอก ออกเป็นสองส่วนเป็นด้านบน และ ด้านล่าง สนามไฟฟ้าจะถูกแยกออกครึ่งหนึ่งมีทิศพุ่งขึ้นด้านบน และอีกครึ่งหนึ่งลงไปทางด้านล่าง ความสูญเสียที่ตรงปลายของแถบตัวนำมีค่าน้อย และอาจปิด ปลายด้วยแผ่นตัวนำหรือปล่อยทิ้งไว้ สายแถบแคบมีข้อดีตรงที่สามารถสร้างบนสาร ไดอิเล็กตริก ได้หลายรูปแบบโดยใช้วิธีการในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Technique) สายแถบแคบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดเล็กกว่าท่อนำคลื่น (waveguide) หรือ โคแอกเซียล และมีแถบความถี่ใช้งานอยู่ในช่วงประมาณ 1 – 20 GHz ใช้ต่อระหว่างองค์ประกอบ (component) ในวงจร หรือใช้เป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวงจร

ไมโครสตริปมีลักษณะเป็นแถบตัวนำขนาดเล็กและบางวางอยู่บนวัสดุฐานรอง(substrate) ที่ทำจากสารไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นตัวกั้นกลางระหว่าง แถบตัวนำ และ ระบายสร้างเงา ไมโครสตริปไม่มีการชิลด์สัญญาณที่ดีเนื่องจากไม่มีระบายสร้างเงาปิดด้านบนเหมือนสายแถบแคบ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียจากการแผ่กระจายคลื่นสูงกว่าสายแถบแคบ ส่วนข้อดีที่ได้เปรียบกว่า คือ สามารถสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ได้ โดยใช้เทคนิคการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์วิธีเดียวกับสายแถบแคบ และ



รูปที่ 7 ลักษณะของไมโครสตริป

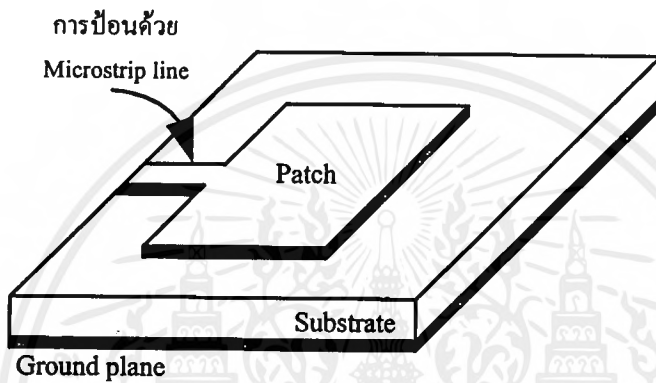
สามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำบนแผ่นวงจรได้โดยต่อประกอบกันง่ายกว่า เนื่องจากไม่มีระบายสร้างเงา ด้านบนของเขาไว้ การที่แถบตัวนำของไมโครสตริปมีด้านบนสัมผัสกับอากาศ และ ด้านล่างสัมผัสกับสารไดอิเล็กตริก สนามไฟฟ้าจึงแยกไปในอากาศส่วนหนึ่ง และส่วนที่เหลือผ่านไปนสารไดอิเล็กตริก ไมโครสตริปใช้ประโยชน์ในการต่อระหว่างองค์ประกอบบนแผ่นวงจรไมโครเวฟขนาดเล็ก

2.6 การป้องกันสัญญาณให้สายอากาศ

2.6.1 การป้องกันสัญญาณโดยใช้สายส่ง (Transmission line)

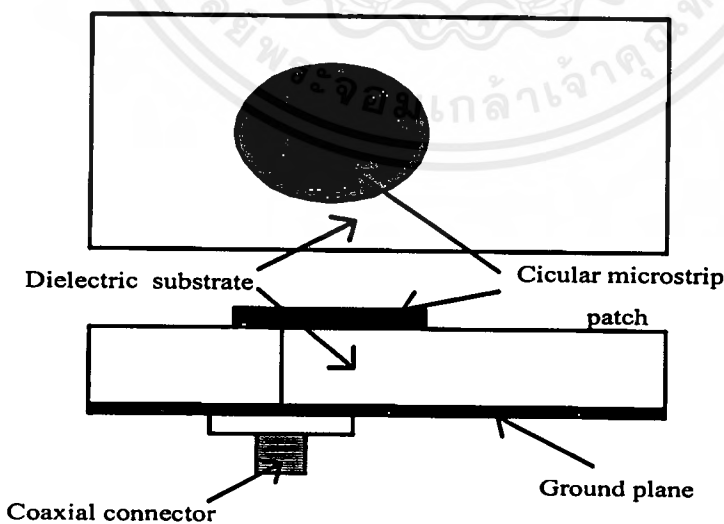
วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะป้องกันสัญญาณให้กับแถบโลหะของไมโครสตริป ทำได้โดยรวมสายป้องกันสัญญาณแบบไมโครสตริป และ แถบโลหะไมโครสตริป เข้าด้วยกันบนวัสดุฐานรองเดียวกัน ตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8 อย่างไรก็ตามโครงสร้างนี้จะไม่ให้ผลดีกับทั้งสายอากาศ หรือ ทั้งสายส่ง เพราะสิ่งที่จำเป็นต่าง ๆ เฉพาะอย่างของทั้งคู่ต่างกัน ตามความหมายนี้นั้นบางอย่างต้องยอม ๆ กันระหว่างการรวมกันของทั้งสอง ซึ่งสายป้อนสัญญาณจะไม่แพร่กระจายมากที่ความไม่สม่ำเสมอต่าง ๆ การแพร่กระจายที่ไม่เท่าเทียมระดับพูข้าง (side-lobe) และ การโพลาไรเซชัน (polarization) ตามขวาง ซึ่งจะลดคุณสมบัติของสายอากาศลง กล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า สามารถพิจารณาผลกระทบของกำลังงานที่สะสมภายใต้แถบโลหะ (ผลกระทบแบบโพรง)



รูปที่ 8 แสดงการใช้สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปต่อเป็นตัวป้อนให้สายอากาศ

2.6.2 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล



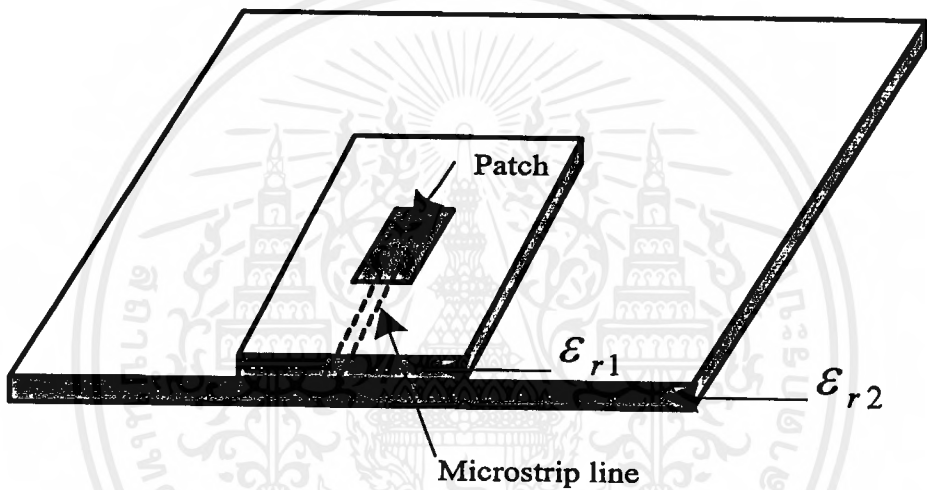
รูปที่ 9 แสดงการใช้สายโคแอกเซียลเป็นตัวป้อนให้สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาทางทฤษฎีต่าง ๆ ที่จำเป็นเกี่ยวกับการป้อนสัญญาณ โดยใช้สายโคแอกเซียลกระทำกันอย่างใกล้ชิด โดยจะถูกวางให้ตั้งฉากกับแถบโลหะที่เป็นส่วนของสายอากาศ

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ การป้อนสัญญาณโดยวิธีนี้เป็นการยากที่จะทำได้จริง เพราะจะต้องมีการเจาะช่อง หรือ ตอก วัสดุฐานรองให้ทะลุเป็นรู ตัวนำจากสายโคแอกเซียล จะต้องถูกนำทะลุผ่านช่อง และ ถูกเชื่อมกับแถบโลหะ ซึ่งต้องการการทำงานที่มีความระมัดระวัง

2.6.3 การป้อนสัญญาณแบบฝัง (Buried)



รูปที่ 10 แสดงการป้อนสัญญาณแบบฝังให้กับสายอากาศ

วิธีการป้อนสัญญาณแบบนี้จะไม่เชื่อมต่อ โดยตรงระหว่างสายอากาศ และส่วนป้อนสัญญาณ ซึ่งทำได้โดย การวางแถบโลหะ และส่วนที่ป้อนสัญญาณที่ระดับต่างกัน การแพร่กระจายจากการป้อนสัญญาณสามารถจะลดทอน โดยการใช้วัสดุฐานรอง 2 ตัวที่วางอยู่ต่างระดับกัน และมีค่า ϵ_r ที่ต่างกัน แต่วิธีนี้แบบจำลองอย่างง่ายไม่เหมาะสมพอสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแบบหลายชั้น (multilayer) นี้

2.7 การวิเคราะห์โดยพิจารณาจากแบบจำลอง

2.7.1 แบบจำลองสายส่งสัญญาณ

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ให้ผลที่ไม่ถูกต้องนักและมีความยืดหยุ่นน้อย แต่วิธีนี้จะทำให้เห็นภาพทางฟิสิกส์ได้ดี กรณีที่ใช้แบบจำลองโครงสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะถูกแทนด้วยอาร์เรย์ (Array) ของตัวแพร่กระจายคลื่น 2 ตัว ที่มีช่องเปิดแคบ ๆ (Slot) แต่ละอันกว้าง

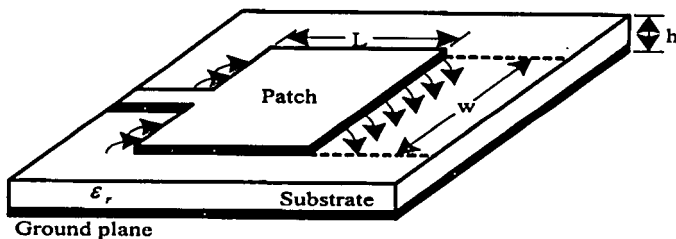
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W และ สูง h วางห่างกันด้วยระยะ L โดยพื้นฐานแล้ว แบบจำลองสายส่งสัญญาณจะแทนสายอากาศไมโครสตริปด้วยร่อง 2 ร่อง แยกจากกันโดยมีอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ ๆ Z_c ของสายส่งสัญญาณ คั่นอยู่ระหว่าง ร่องทั้ง 2 ด้วยระยะทาง L

2.7.1.1 ผลของฟริงกิง (fringing)

เนื่องจากขนาดของแพ็คนั้นจะถูกจำกัดไว้ด้วยขนาดความกว้างและความยาวที่แน่นอน ดังนั้น สนามที่บริเวณขอบของแพ็คจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 11a และ 11b ปริมาณของสนามฟริงกิงจะเป็นฟังก์ชันของขนาดของแพ็ค และความสูงของวัสดุฐานรอง สำหรับในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) สนามที่แผ่กระจายจะเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนระหว่างความยาวของ แพ็ค , L ต่อความสูง h ของวัสดุฐานรอง (L/h) และ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r ของวัสดุฐานรอง ดังนั้นสำหรับสายอากาศไมโครสตริป ที่มี $L/h \gg 1$ สนามที่แผ่กระจายจะลดลง ซึ่งค่าพวกนี้จะมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ ของสายอากาศ ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

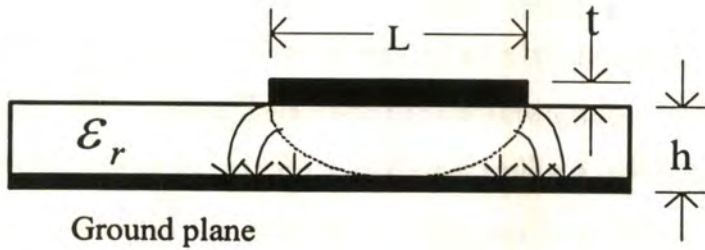
สำหรับสายส่งสัญญาณไมโครสตริป ดังแสดงในรูปที่ 12a ลักษณะของสนามไฟฟ้าจะแสดงได้ดังรูปที่ 12b ซึ่งเป็นลักษณะของเส้นที่แสดงสนามระหว่าง ไดอิเล็กตริก 2 ชั้น ที่ไม่เอกพันธ์หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันนั่นเอง ซึ่งปกติมักจะเป็นวัสดุฐานรอง กับ อากาศ สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในวัสดุฐานรอง และบางส่วนจะเกิดขึ้นในอากาศ เมื่อค่า $L/h \gg 1$ และ $\epsilon_r \gg 1$ สนามไฟฟ้าจะรวมกันอยู่ภายในวัสดุฐานรองมากขึ้น การแผ่กระจายของสนามในลักษณะนี้จะทำให้ขนาดทางไฟฟ้าของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปกว้างกว่าขนาดจริง ๆ ของมัน ดังนั้นคลื่นจะเดินทางไปในวัสดุฐานรอง และบางส่วนเดินทางไปในอากาศ ซึ่งเราจะต้องศึกษาเกี่ยวกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ประสิทธิภาพ (Effective Dielectric Constant ; ϵ_{reff}) เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการแผ่กระจายของสนามและการเดินทางของคลื่นในสายส่งสัญญาณ



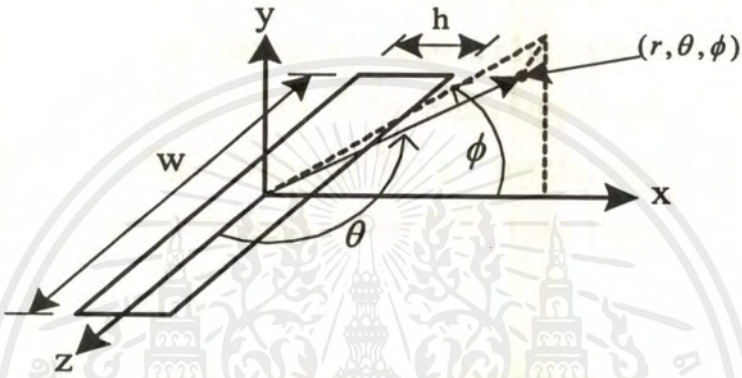
(a) Microstrip antenna

รูปที่ 11 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

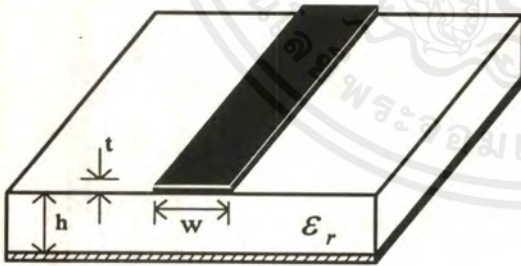


(b) Side view



(c) Coordinate system for each radiating slot

รูปที่ 11 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด (ต่อ)



(a) Microstrip line



(b) Electric field lines

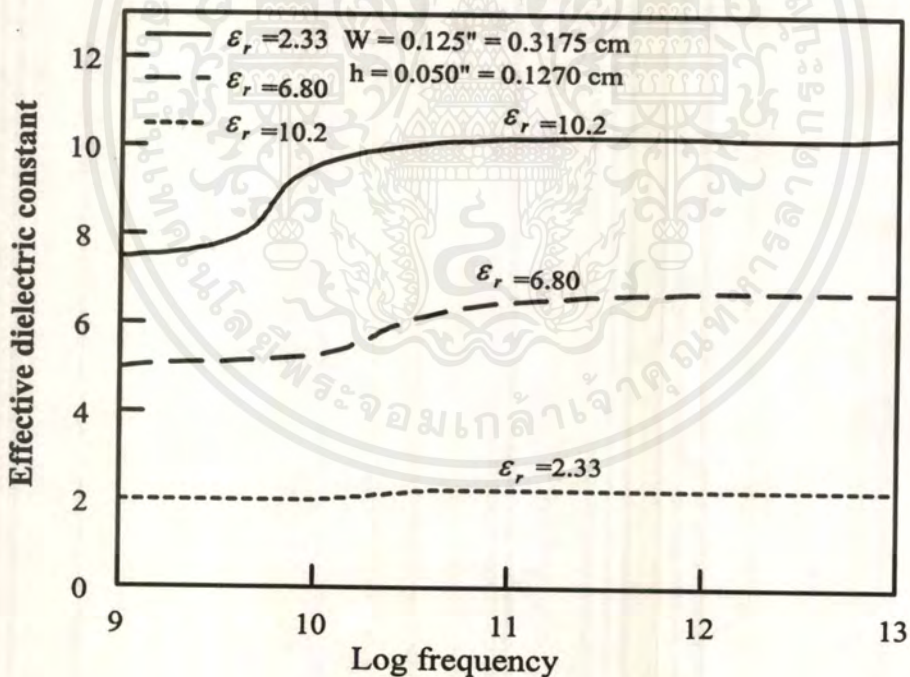


(c) Effective dielectric constant

รูปที่ 12 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป,สนามไฟฟ้าและลักษณะของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทำความเข้าใจกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล เราจะสมมติให้ คำนวณของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปถูกวางอยู่เหนือระนาบสร้างเงาภายในวัสดุฐานรองที่เป็นไดอิเล็กตริกเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 12c ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะถูกนิยามให้เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองที่สมมูล ดังในรูปที่ 12c ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าในอุดมคติ ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้น แสดงในรูปที่ 12a สำหรับสายส่งสัญญาณที่มีอากาศอยู่เหนือวัสดุฐานรอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล จะมีค่าอยู่ในช่วง $1 < \epsilon_{\text{reff}} < \epsilon_r$ กรณีที่ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่ามากกว่าหนึ่งมาก ๆ ($\epsilon_r \gg 1$) ค่า ϵ_{reff} จะเข้าใกล้ค่าคงที่ ϵ_r จริง ๆ ของวัสดุฐานรอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลนี้จะเป็นฟังก์ชันของความถี่ เมื่อความถี่ในการทำงานมีค่าสูงขึ้นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่ภายในวัสดุฐานรอง ดังนั้น สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปจะมีพฤติกรรมคล้ายกับสายส่งสัญญาณที่อยู่ในวัสดุฐานรองเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่มีผลต่อค่าคงที่ ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลบนวัสดุฐานรองที่แตกต่างกัน 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 13



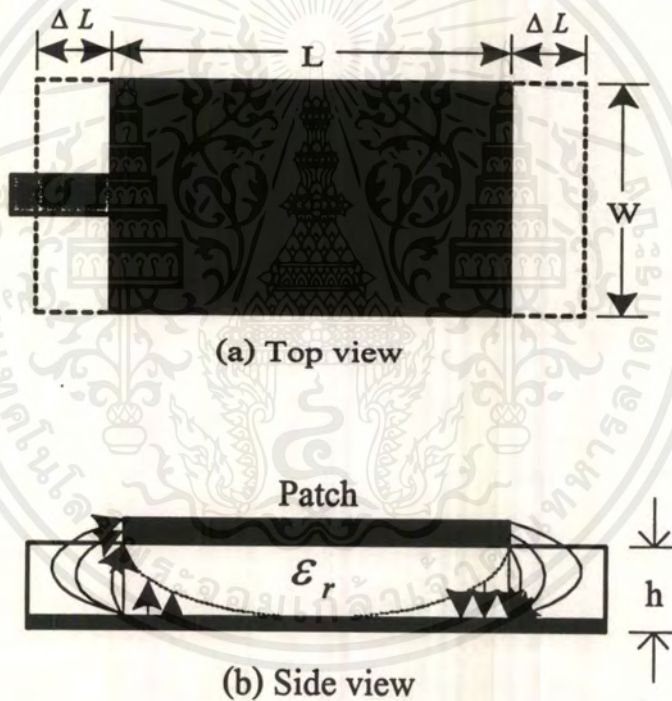
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลต่อความถี่

สำหรับที่ความถี่ต่ำ ๆ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะมีลักษณะคงที่ แต่เมื่อความถี่อยู่ในช่วงกลาง ๆ ค่าจะเริ่มสูงขึ้น ค่าเริ่มต้น (ที่ความถี่ต่ำ) ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล เราเรียกว่า “ ค่าสแตติก ” (Static) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\frac{W}{h} > 1;$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.60)$$

2.7.1.2 ความกว้าง, ความยาวประสิทธิผล และ ความถี่เรโซแนนซ์



รูปที่ 14 ความยาวประสิทธิผลของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เนื่องจากผลของสนามฟริงกิงจะทำให้ขนาดทางไฟฟ้าของแพตช์มีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริง สำหรับในระนาบสนามไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 14 โดยที่ขนาดของแพตช์ด้านยาวนั้นจะยาวออกไปจากเดิมทั้ง 2 ด้าน โดยความยาวแต่ละด้านที่ยาวออกไปให้เป็น ΔL ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล ϵ_{reff} และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง (W / h) วิธีที่นิยมในการประมาณค่าความสัมพันธ์ของความยาวที่ยาวออกไปนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.61)$$

คั่งนั้นความยาวแต่ละด้านของแพ็คจะยาวออกมา ΔL และความยาวประสิทธิผลจะมีค่าเป็น

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (2.62)$$

สำหรับโหมดหลัก (Dominant Mode) TM_{010} ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโคร-สตริปจะเป็นฟังก์ชันของความยาวของแพ็ค โดยปกติจะเท่ากับ

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.63)$$

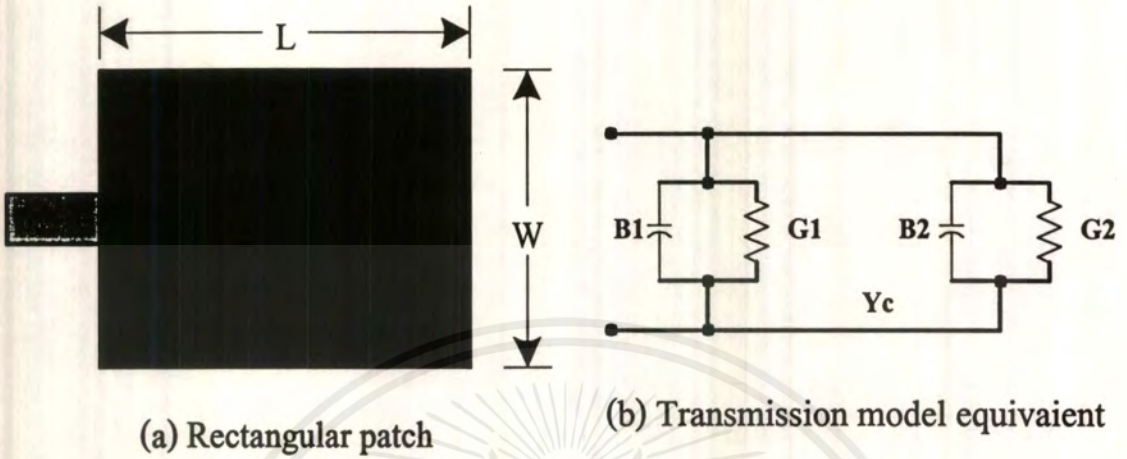
โดยที่ V_0 คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ สมการ (2.62) ไม่ได้คำนึงถึง ผลของฟริงกิงด้วย ส่วนสมการ (2.63) เป็นสมการที่แก้ไขปรับปรุงแล้ว โดยรวมผลของฟริงกิงซึ่งทำให้ได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} (f_r)_{010} &= \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{1}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \\ &= q \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = q \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \end{aligned} \quad (2.64)$$

$$\text{โดยที่ } q = \frac{(f_{rc})_{010}}{(f_r)_{010}} \quad (2.64 \text{ ก})$$

ค่า q นี้เป็นค่าที่เรียกว่า “ ฟริงกิง แฟคเตอร์ ” (fringing factor) เมื่อความสูงของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น สนามฟริงกิงนี้ก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย

2.7.1.3 ค่าความนำ



รูปที่ 15 สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและวงจรเทียบเท่าของแบบจำลองสายส่ง

ร่องสำหรับแพร่กระจายคลื่นแต่ละร่องจะถูกแทนด้วยค่าแอดมิตแดนซ์สมมูล Y แบบขนาน (ซึ่งประกอบด้วยค่าความนำ G และ ค่าขั้วเสปแดนซ์ B) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 15 แต่ละร่องให้ชื่อเป็น #1 และ #2 ค่า แอดมิตแดนซ์ สมมูลของร่องที่ #1 ซึ่งสมมติให้มีความกว้างเป็นอนันต์ และ สม่่าเสมอ จะได้ว่า

$$Y_1 = G_1 + jB_1 \quad (2.65)$$

สำหรับร่องที่มีความกว้าง W จะได้ว่า

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{(k_0 h)^2}{24} \right] \quad \text{เมื่อ } \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (2.65a)$$

$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln(k_0 h)] \quad \text{เมื่อ } \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (2.65b)$$

ดังนั้นร่องที่ #2 ก็มีค่าเหมือนกับร่องที่ #1 แอดมิตแดนซ์สมมูล จะมีค่าเป็น

$$Y_2 = Y_1, \quad G_2 = G_1, \quad B_2 = B_1 \quad (2.66)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความนำของร่องเพียงร่องเดียวสามารถหาได้โดยอาศัยแบบจำลองโพรงได้ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าความนำถูกนิยามเป็น

$$G_1 = \frac{2P_{rad}}{|V_o|^2} \quad (2.67)$$

เมื่ออาศัยสนามไฟฟ้า กำลังงานที่แพร่กระจายออกมาสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P_{rad} = \frac{|V_o|^2}{2\pi\eta_o} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_o W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta \quad (2.68)$$

ดังนั้น ค่าความนำในสมการ (2.69) สามารถเขียนได้เป็น

$$G_1 = \frac{I_1}{120\pi^2} \quad (2.69)$$

โดยที่

$$I_1 = \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_o W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \sin^3\theta d\theta$$

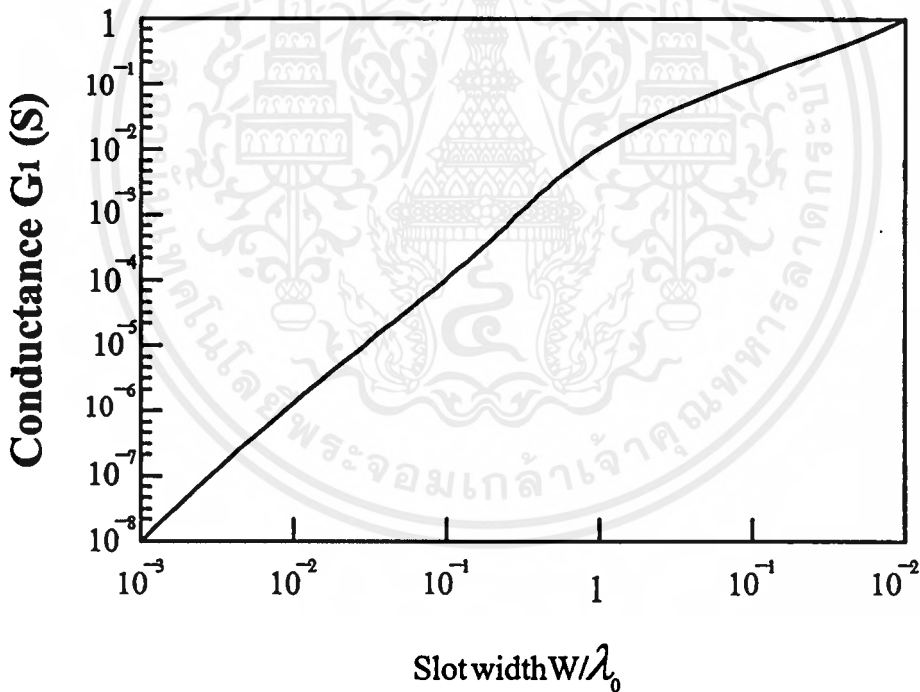
$$= -2 + \cos(X) + X S_1(X) + \frac{\sin(X)}{X} \quad (2.69a)$$

$$X = k_o W \quad (2.69b)$$

ค่าของสมการ (2.72) และ (2.72a) ในลักษณะที่ไม่สมมาตร คือ

$$G_1 = \begin{cases} \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 & W \ll \lambda_0 \\ \frac{1}{120} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right) & W \gg \lambda_0 \end{cases} \quad (2.70)$$

ค่าของสมการ (2.70) สำหรับ $W \gg \lambda_0$ เป็นค่าในอุดมคติซึ่งกำหนดโดยสมการ (2.65a) กราฟ (graph) ของค่า G ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ W/λ_0 แสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ค่าความนำของร่องซึ่งเป็นฟังก์ชันของความกว้างของร่อง

2.7.1.4 ความต้านทานด้านเข้าที่จุด เรโซแนนซ์

ค่าแอดมิตแดนซ์รวมของร่องที่ # 1 (แอดมิตแดนซ์ด้านเข้า) สามารถหาได้โดยการแปลงค่าแอดมิตแดนซ์ของร่อง #2 จากจุดต่อที่ด้านออก (Output) ไปยังจุดต่อที่ด้านเข้า โดยใช้สม-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การการแปลงแอดมิตแดนซ์ของสายส่งสัญญาณ ในอุดมคติร่องทั้ง 2 ระหว่างกันด้วยระยะ $\lambda / 2$ โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นในไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของฟริงกิงความยาวทางไฟฟ้าของแพ็คซ์จะยาวกว่าความยาวจริงของแพ็คซ์ ดังนั้นร่องทั้งสองจะวางอยู่ห่างกันน้อยกว่า $\lambda / 2$ ซึ่งการลดลงของความยาวนี้หาได้โดยอาศัยสมการ (2.61) (ปกติ $0.48 \lambda < L < 0.49 \lambda$) การแปลงแอดมิตแดนซ์ ของร่องที่ #2 จะได้

$$\tilde{Y}_2 = \tilde{G}_2 + j\tilde{B}_2 = G_1 - jB_1 \quad (2.71)$$

หรือ

$$\tilde{G}_2 = G_1 \quad (2.71a)$$

$$\tilde{B}_2 = -B_1 \quad (2.71b)$$

ดังนั้น แอดมิตแดนซ์ด้านเข้ารวมที่จตุเรโซแนนซ์ จะเป็นค่าจำนวนจริง ซึ่งกำหนดโดย

$$Y_m = Y_1 + \tilde{Y}_2 = 2G_1 \quad (2.72)$$

ดังนั้น แอดมิตแดนซ์ด้านเข้ารวมจะมีค่าเป็นจำนวนจริง และอิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่จตุเรโซแนนซ์ จะเป็นจำนวนจริงด้วย

$$Z_m = \frac{1}{Y_m} = R_m = \frac{1}{2G_1} \quad (2.73)$$

ความต้านทานด้านเข้าที่จตุเรโซแนนซ์ ดังสมการ (2.73) นั้นไม่ได้คำนึงถึงผลของปรากฏการณ์เชื่อมต่อกัน (Mutual Coupling) ระหว่างร่องทั้ง 2 ซึ่งเมื่อรวมผลของปรากฏการณ์เชื่อมต่อกันแล้วสมการ (2.73) จะกลายเป็น

$$R_m = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (2.74)$$

โดยเครื่องหมาย (+) แสดงว่าเป็นโหมคตี และ เครื่องหมาย (-) แสดงว่าเป็นโหมคคู่ ค่าการเชื่อมต่อกัน (Mutual) ของค่าความนำถูกนิยามให้อยู่ในเทอมของสนามระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{12} = \frac{1}{|V_o|^2} \operatorname{Re} \iint_s E_1 \times H_2^* ds \quad (2.75 a)$$

โดยที่ E_1 เป็นสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายโดยร่องที่ #1

H_2 เป็นสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายโดยร่องที่ #2

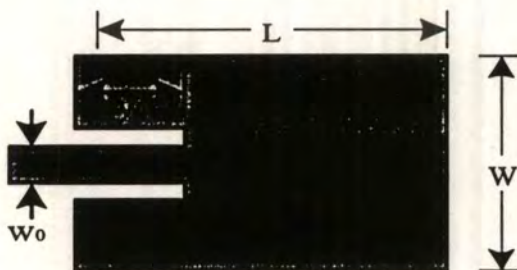
V_o เป็นกรงคั่นระหว่างร่อง และ การอินทิกรัลจะเป็นการอินทิกรัลทรงกลม

ที่มีรัศมีใหญ่มาก ค่า G_{12} นี้จึงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_o W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 J_o(k_o L \sin\theta) \sin^3 \theta d\theta \quad (2.75 b)$$

โดยที่ J_o คือ เบสเซล ฟังก์ชัน (Bessel Function) ประเภทที่หนึ่งอันดับที่ศูนย์ (First Kind of Order zero) ปกติแล้วสำหรับสายอากาศไมโครสตริป ค่าเชื่อมต่อยุบรวมของค่าความนำสามารถหาได้โดยใช้สมการ (2.75b) จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความนำของตัวเอง (Self Conductance G_1) ของสมการ (2.75b) หรือ (2.69)

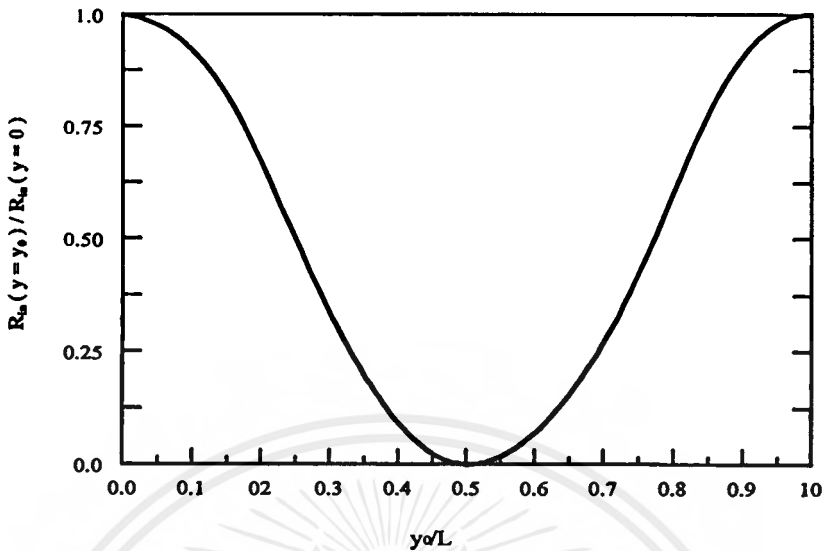
ดังแสดงในสมการ (2.75b) และ (2.74) ความต้านทาน อินพุทจะไม่ขึ้นอยู่กับความสูง (h) ของวัสดุฐานรอง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่า h นี้จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้น $k_o h \ll 1$ ความต้านทาน อินพุทจึงไม่ขึ้นอยู่กับ h ดังนั้น ความต้านทาน อินพุทสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มความกว้าง W ของแพตช์ซึ่งค่าอัตราส่วน W/L ต้องมีค่าไม่เกิน 2 เนื่องจากประสิทธิภาพของช่องเปิดของแพตช์เดี่ยวจะเริ่มลดลงเมื่อค่า W/L นี้มากกว่า 2



(a) Recessed microstrip-line feed

รูปที่ 17 ตำแหน่งการป้อนสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานด้านเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) Normalized input resistance

รูปที่ 17 ตำแหน่งการป้อนสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานด้านเข้า (ต่อ)

ความต้านทานด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์ สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ (2.74) แต่ค่าความต้านทานอินพุตนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยอาศัยการป้อนเข้าไปภายใน แพ็คซ์ ด้วยระยะทาง y_0 จากร่องที่ #1 ดังแสดงในรูปที่ 17 วิธีการนี้สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อทำการแมตช์สายอากาศไมโครสตริป โดยใช้สายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป โดยอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ กำหนดได้จาก

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right] & \frac{W_0}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]} & \frac{W_0}{h} > 1 \end{cases} \quad (2.76a)$$

$$(2.76b)$$

โดย W_0 คือ ความกว้างของสายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป ดังแสดงในรูปที่ 17 อาศัยการวิเคราะห์โดย Modal - expansion ความต้านทานด้านเข้าที่จุดป้อนเข้าแพ็คซ์สามารถประมาณได้จาก

$$R_m(y = y_o) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \left[\cos^2\left(\frac{\pi y_o}{L}\right) + \frac{G_1^2 + B_1^2}{Y_c^2} \sin^2\left(\frac{\pi y_o}{L}\right) - \frac{B_1}{Y_c} \sin\left(\frac{2\pi y_o}{L}\right) \right] \quad (2.77)$$

โดยที่ $Y_c = \frac{1}{Z_c}$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว $\frac{G_1}{Y_c} \ll 1$ และ $\frac{B_1}{Y_c} \ll 1$ ดังนั้นสมการ (2.77) นี้ จะ

ลดลงเหลือ

$$\begin{aligned} R_m(y = y_o) &= \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \cos^2\left(\frac{\pi y_o}{L}\right) \\ &= R_m(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi y_o}{L}\right) \end{aligned} \quad (2.77a)$$

กราฟของค่าตามสมการ (2.77a) ที่ Normalized แล้ว แสดงดังรูปที่ 17b

ค่าคงที่ที่ได้จากสมการ (2.77) นี้จะสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง แต่การป้อนสัญญาณเข้าไปในแพ็คเกจนี้จะทำให้เกิดค่าความจุที่จุดต่อ ซึ่งจะมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งปกติแล้วจะมีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 1% จากสมการ (2.77a) และรูปที่ 17b ค่าสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อป้อนเข้าที่ขอบร่อง ($y_o = 0$) โดยที่แรงดันจะมีค่าสูงสุดและกระแสมีค่าต่ำสุด โดยปกติแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 150 – 300 Ω ค่าต่ำสุด (0) จะปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คเกจ ($y_o = L/2$) โดยที่แรงดันมีค่าเป็นศูนย์ และ กระแสมีค่ามากที่สุด เมื่อย้ายจุดป้อนจากขอบเข้าไปยังจุดกึ่งกลางของแพ็คเกจ อิมพีแดนซ์ด้านเข้าที่จุดเรโซแนนซ์ จะลดลงอย่างช้า ๆ และ จะเป็นศูนย์ที่จุดกึ่งกลางแพ็คเกจ แต่เมื่อก่อน ๆ ย้ายจุดป้อนเข้าใกล้กึ่งกลางของ แพ็คเกจ ($y_o = L/2$) ฟังก์ชัน $\cos^2\left(\frac{\pi y_o}{L}\right)$ จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2.8 การออกแบบตัวป้อนสัญญาณ (Feed) และ แผ่นสายอากาศ (Patch)

2.8.1 การออกแบบตัวป้อนสัญญาณ (Feed)

จะต้องระบุค่าดังต่อไปนี้

- ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (ϵ_r)
- ความถี่เรโซแนนซ์ (f_r)
- ความสูงของวัสดุฐานรอง (h)

เพื่อจะหาความกว้าง (W_o) และ ความยาว (L) จากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ให้ } A = \left[\frac{Z_o \sqrt{\epsilon_r + 1}}{60} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (2.78)$$

$$\text{และ } B = Z_o \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} \quad (2.79)$$

เมื่อ A มีค่าน้อยกว่า 1.52 และ B มีค่าน้อยกว่า 89.91

$$\frac{W_o}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{377\pi}{2Z_o \sqrt{\epsilon_r}} - 1 - \ln \left(\frac{377\pi}{Z_o \sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{377\pi}{2Z_o \sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad \dots\dots\dots(2.80)$$

เมื่อ A มีค่ามากกว่า 1.52 และ B มีค่ามากกว่า 89.91

$$\frac{W_o}{h} = \frac{8 \exp \left[\frac{Z_o \sqrt{\epsilon_r + 1}}{60} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \right]}{\exp \left[\frac{Z_o \sqrt{\epsilon_r + 1}}{30} + \frac{2(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \right] - 2} \quad (2.81)$$

2.8.2 การออกแบบแผ่นสายอากาศ (Patch) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จะต้องระบุค่าดังนี้ คือ

- ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (ϵ_r)
- ความถี่เรโซแนนซ์ (f_r)
- ความสูงของวัสดุฐานรอง (h)

เพื่อจะหาค่า ความกว้าง (W) และ ความยาว (L) ดังสมการต่อไปนี้

$$W = \frac{\lambda_o}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.82)$$

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (2.83)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\lambda_o = \frac{c}{f_r} \quad (2.84)$$

กรณี $\frac{W}{h} \leq 1$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] \quad (2.85)$$

กรณี $\frac{W}{h} > 1$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right) \quad (2.86)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (2.87)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{\left[\left(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right) \right]}{\left[\left(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right) \right]} \quad (2.88)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมและการออกแบบ

3.1 รู้จักกับ VB5 (Visual Basic 5.0)

3.1.1 รายละเอียดของ VB5

โปรแกรมไมโครซอฟต์ Visual Basic 5.0 เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการสร้างแอปพลิเคชันบน Microsoft windows การสร้างแอปพลิเคชันที่แสดงผลในหน้าต่างของเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ได้ รวมทั้งสร้างคอนโทรล ActiveX ได้อย่างรวดเร็ว และภายใน VB5 จะมีเครื่องมือช่วยในการสร้างแอปพลิเคชันอยู่อย่างมากมาย

การสร้างแอปพลิเคชันโดยใช้ VB5 จะเป็นไปในลักษณะตามขั้นตอนต่อไปนี้

- การออกแบบส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยเลือกการคอนโทรลที่ตอบสนองการใช้งานที่ต้องการลงบนหน้าจอ จัดตำแหน่ง และขนาดตามความเหมาะสม

- การเขียนคำสั่งโปรแกรมที่ต้องการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น การตอบสนองต่อผู้ใช้ เป็นต้น (เราเรียกว่าการเขียนโปรแกรมแบบ Event-driven) ใน VB5 นั้นได้ใช้ภาษา BASIC ซึ่งอาจจะมีรูปแบบที่คล้ายกับรูปแบบของภาษา BASIC แบบดั้งเดิม เนื่องจากภาษา BASIC เป็นภาษาที่ออกแบบมาสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน แต่ยังคงความสามารถในการสร้างแอปพลิเคชันที่ต้องการได้เป็นอย่างดี

3.1.2 หลักการในการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย VB5

การพัฒนาแอปพลิเคชันใน VB5 จะไม่เหมือนกับการเขียนโปรแกรมที่เราเคยเขียนมาก่อน ในภาษาโปรแกรมแบบอื่นๆ บน DOS ที่โปรแกรมจะทำงานตั้งแต่คำสั่งแรกจนถึงคำสั่งสุดท้าย ซึ่งอาจจะมีทางเลือกการทำซ้ำ หรือการเรียกโปรแกรมย่อยมาทำงาน

ใน VB5 จะเป็นการเขียนโปรแกรมแบบ Event-driven การเขียนโปรแกรมแบบนี้เป็นการเขียนโปรแกรมที่ต้องตอบสนองต่อเหตุการณ์ (Even , ต่อไปเราจะขอให้คำว่า อีเวนต์ แทนเหตุการณ์) ที่เกิดขึ้นมาเป็นเหตุการณ์ๆ ไป อีเวนต์ (Even) เช่น กรอบข้อความสำหรับป้อนข้อความ (คอนโทรลเท็กซ์บ็อกซ์) เมื่อผู้ใช้ได้ใส่ข้อความลงไป จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเหตุการณ์ (อี-เวนต์) ของเท็กซ์บ็อกซ์ที่ชื่อว่า Change ซึ่งเราสามารถเขียนคำสั่งโปรแกรมไปตอบสนองการทำงานของอีเวนต์นั้นได้เป็นต้น

ขั้นตอนในการพัฒนาแอปพลิเคชันอย่างง่ายๆโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- การเขียนรหัสโปรแกรม

- การคอมไพล์โปรแกรม
- การทดสอบโปรแกรม

ใน VB5 มีเครื่องมือที่ช่วยให้การทำการทั้ง 3 ขั้นตอนนั้นอยู่อย่างครบถ้วน เมื่อเราคอมไพล์แอปพลิเคชันที่เราได้เขียนขึ้นมา เมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในการคอมไพล์ เราสามารถแก้ไขคำสั่งโปรแกรมที่เกิดข้อผิดพลาดได้ทันที และคอมไพล์ต่อจากเดิมได้โดยไม่ต้องเริ่มต้นคอมไพล์ใหม่ทำให้เราสามารถทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเสียเวลาในการคอมไพล์น้อยลง

3.1.3 พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับฟอร์ม และคอนโทรล

ในการใช้งานโปรแกรมต่างๆ บนวินโดวส์ เราอาจจะสังเกตเห็นเครื่องมือต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องมือที่รับข้อความจากผู้ใช้เลือกสิ่งที่ต้องการเป็นต้น เราเรียกว่าเครื่องมือต่างๆ เหล่านี้ว่า คอนโทรล (Control)

คอนโทรลเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ ใน VB5 จะมีแถบเครื่องมือที่เก็บคอนโทรลอยู่ เราเรียกแถบเครื่องมือนี้ว่า “ทูลบ็อกซ์” (ToolBox) ดังรูป 18



รูปที่ 18

ส่วนหน้าต่างที่เรากำลังทำงานอยู่ด้วยที่ใช้วางคอนโทรลจากทูลบ็อกซ์ เราเรียกว่า “ฟอร์ม” ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแอปพลิเคชัน โดยทั่วไปบนวินโดวส์ ในโปรเจกต์หนึ่งสามารถมีได้หลายฟอร์ม และเราสามารถให้โปรแกรมของเราเริ่มจากฟอร์มไหนก็ได้

ฟอร์ม จะเป็นสิ่งที่ใช้ตอบสนองการทำงานกับผู้ใช้ โดยผู้ใช้จะทำงานกับคอนโทรลต่างๆ ที่วางอยู่บนฟอร์ม การออกแบบการจัดวางคอนโทรลบนฟอร์มที่ดีจะทำให้โปรแกรมของเราตอบสนองการทำงานได้ดี และสวยงามด้วย

3.1.4 คุณสมบัติ เมคธอด และอีเวนต์ (Properties, Method and Even)

3.1.4.1 คุณสมบัติ (Properties)

เป็นสิ่งที่ใช้บรรยายลักษณะต่างๆ ของคอนโทรล เช่น คุณสมบัติ Text ของ

คุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนโทรลจะทำให้คอนโทรลสามารถใช้งานที่หลากหลายรูปแบบมากขึ้นและลักษณะต่าง ๆ ก็แตกต่างกันไม่ซ้ำกัน เช่น คอนโทรลคอมโบบ็อกซ์ที่เปลี่ยนลักษณะของคอนโทรลได้ถึง 3 แบบ ด้วยคุณสมบัติ Style เป็นต้น

3.1.4.2 เมคธอด (Method)

เมคธอดเป็นโปรแกรมย่อยประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นสมาชิกของคอนโทรลนั้น ๆ เหมือนกับคุณสมบัติของคอนโทรล เมื่อเรียกใช้เมคธอดจะเป็นการสั่งให้คอนโทรลทำงานให้ ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของคอนโทรลนั้น ในการเรียกใช้เมคธอดนี้จะคล้ายกับการเรียกใช้โปรแกรมย่อยต่าง ๆ ที่เราเรียนรู้ในบทที่แล้ว เช่น ต้องมีการส่งค่าพารามิเตอร์ และการส่งค่ากลับคืนมาเป็นต้น

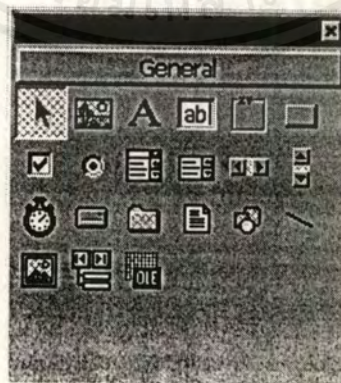
3.1.4.3 อีเวนต์ (Event)

อีเวนต์เป็นการตอบสนองต่อเหตุการณ์ภายนอกของคอนโทรล เช่น กลุ่มคำสั่งจะมีอีเวนต์ Click ที่คอยตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่ผู้ใช้งานคลิกเมาส์บนปุ่มคำสั่งนั้น เป็นต้น

ใน VB5 อีเวนต์จะเป็นโปรแกรมย่อยที่จะทำงานทันทีที่เกิดเหตุการณ์นั้นขึ้นมา บางอีเวนต์อาจจะมีพารามิเตอร์ส่งเข้ามา เพื่อใช้เป็นข้อมูลบางอย่างที่จำเป็นต่อการเขียนคำสั่งตอบสนองต่ออีเวนต์นั้น

3.1.5 แนะนำคอนโทรลของ VB5

ในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงคอนโทรลของ VB5 อยู่ 2 แบบ คือ แบบแรกนี้จะกล่าวถึงคอนโทรลพื้นฐาน และ แบบที่สองจะกล่าวถึงคอนโทรลที่ซับซ้อนมากขึ้น คอนโทรลทุกอย่างที่เราสามารถใช้ได้จะปรากฏบนทูลบ็อกซ์ (Toolbox) ดังรูป 19



รูปที่ 19

3.2 คอนโทรลพื้นฐานใน VB5

คอนโทรลพื้นฐานใน VB5 จะเป็นคอนโทรลติดต่อกับผู้ใช้ในการทำงานพื้นฐานต่างๆ เช่น การแสดงข้อความและรับข้อความจากผู้ใช้ การแสดงรูปภาพ การแสดงตัวเลือกแก่ผู้ใช้ เป็นต้น คอนโทรลพื้นฐานต่างๆ ของ VB5 จะมีดังต่อไปนี้

3.2.1 คอนโทรลเบื้องต้นที่เราควรรู้จักได้แก่

- เท็กซ์บ็อกซ์ (Text Box)
- เลเบล (Label)
- ปุ่มคำสั่งสั่ง (Command Button)
- ออปชั่นบัตตอน (Option Button)
- เฟรม (Frame)

3.2.2 รายละเอียดของฟอร์ม เมนู และคอนโทรลพื้นฐานต่างๆ

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงฟอร์ม เมนู และคอนโทรลต่างๆ ในรายละเอียด เช่น ลักษณะการใช้งาน คุณสมบัติที่จำเป็น การใช้งานเมคคอดและการตอบสนองต่ออีเวนต์ เป็นต้น

3.3 ฟอร์ม (Form)

ฟอร์มและเมนูเป็นส่วนประกอบพื้นฐานในการติดต่อกับผู้ใช้ฟอร์ม เป็นพื้นที่ของแอปพลิเคชันของเราที่สามารถแสดงผลการทำงาน รวมทั้งรับอินพุตการทำงานต่างๆ จากผู้ใช้ฟอร์มแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภทใหญ่ คือ

- MDI Form เป็นฟอร์มที่ใช้ในแอปพลิเคชันประเภท MDI (Multiple Document Interface) ฟอร์มนี้จะทำหน้าที่เป็นฟอร์มหลักที่บรรจุฟอร์มอื่นๆ ที่เรเรียกว่า "ฟอร์มลูก" (Child Form) ได้หลายฟอร์ม แอปพลิเคชันที่ใช้ MDI Form จะสามารถแสดง หรือทำงานกับเอกสาร ได้ครั้งละหลายๆ เอกสาร
- Form แบบธรรมดา เป็นฟอร์มที่ใช้ในแอปพลิเคชันแบบ SDI (Single Document Interface) คือ จะมีเอกสารที่สามารถเปิดอยู่ได้เพียงครั้งละหนึ่งเอกสารเท่านั้น

3.4 เมนู (Menu)

เมนูจะแสดงฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานได้ ตัวอย่างเมนูของโปรแกรมบางโปรแกรม ดังรูป 20

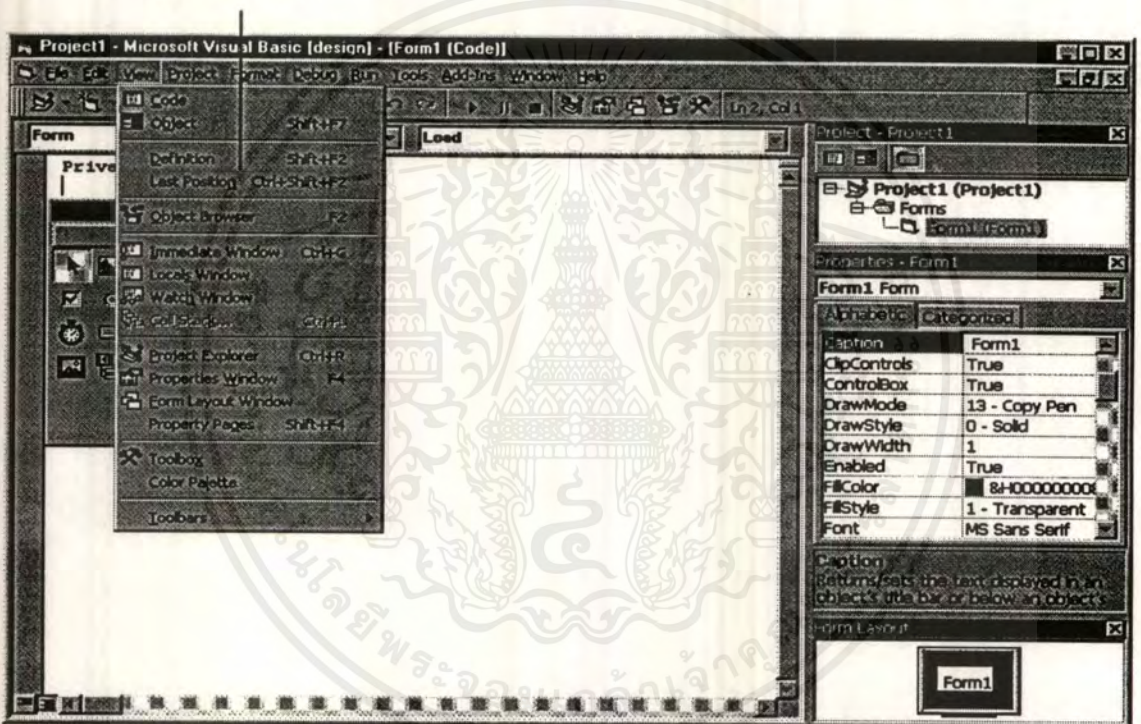
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เท็กบ็อกซ์ (TextBox)

คอนโทรลนี้ปรากฏอยู่บนทูลบ็อกซ์ดังรูป 21 เป็นคอนโทรลที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ดังต่อไปนี้

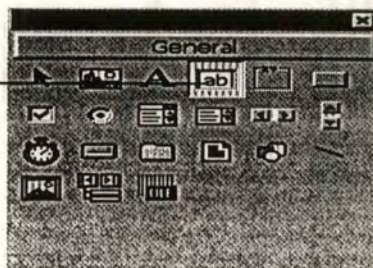
- ให้ผู้ใช้สามารถเติม แก้ไขข้อความในเท็กบ็อกซ์นี้ได้โดยผ่านคีย์บอร์ดเข้าสู่โปรแกรม
- แสดงข้อมูลต่างๆ ในโปรแกรมของเราได้
- ใช้ในการสร้างไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ใส่รหัสผ่านได้

เมนูของแอปพลิเคชัน



รูปที่ 20

เท็กบ็อกซ์

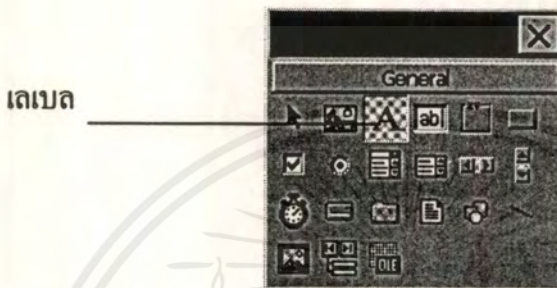


รูปที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 เลเบล (Label)

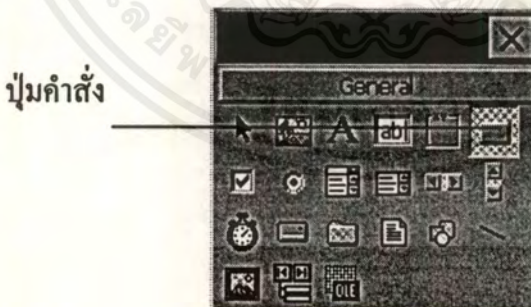
เป็นคอนโทรลที่ใช้ในการแสดงกราฟิกข้อความตามที่เรต้องการ เพื่อแสดงข้อมูลบางอย่างแก่ผู้ใช้ โดยไม่สามารถให้ผู้ใช้แก้ไขข้อความนั้นได้ในคอนรันโปรแกรมข้อความต่างๆ ในเลเบลนั้นสามารถแก้ไขได้ในคำสั่งโปรแกรมคอนรัน และคอนออกแบบเท่านั้น คอนโทรลนี้จะอยู่ในทูลบ็อกซ์ ดังรูป 22



รูปที่ 22

3.7 ปุ่มคำสั่ง (Command Button)

เป็นคอนโทรลที่ใช้ในการทำงานอย่างหนึ่งตามที่เรต้องการ โดยเราสามารถกำหนดสิ่งที่เราต้องการให้ทำงานในอีเวนต์ Click คอนโทรลนี้จะอยู่ในทูลบ็อกซ์ ดังรูปที่ 23



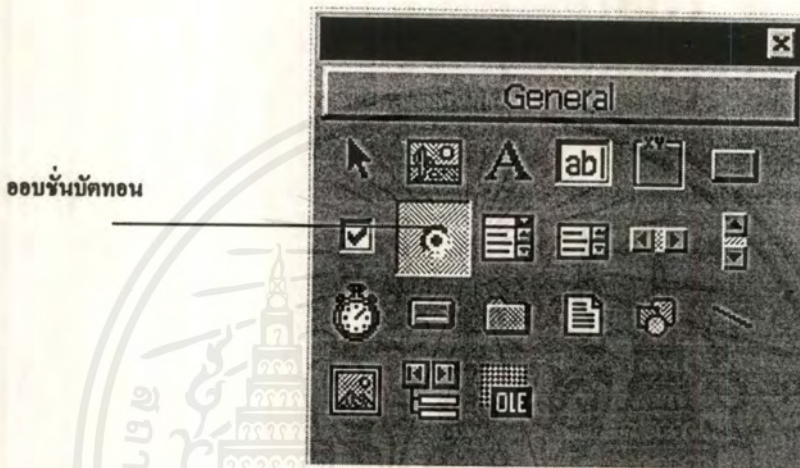
รูปที่ 23

3.8 ออปชั่นบัตตอน (Option Button)

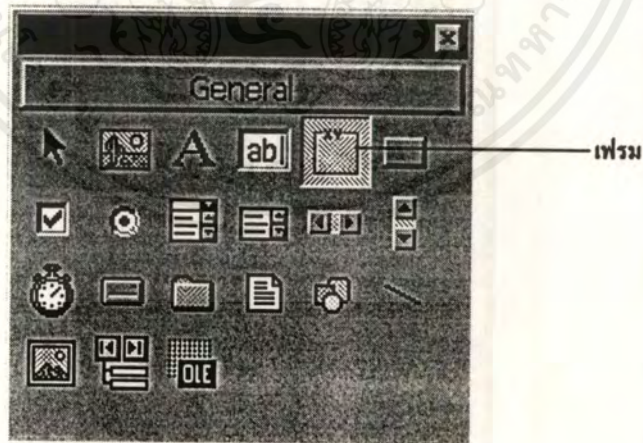
คอนโทรลตัวนี้ใช้เพื่อจุดประสงค์ คือ เป็นตัวเลือกให้แก่ผู้ใช้คลิกคอนโทรลนี้ จะสามารถเลือกได้ครั้งละหนึ่งตัวเลือกเท่านั้น เราสามารถใช้คอนโทรลเฟรมในการแบ่งกลุ่มของตัวเลือกต่างๆ ได้ด้วย ดังรูปที่ 24

3.9 เฟรม (Frame)

เป็นคอนโทรลที่มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มคอนโทรลที่ต้องใช้ร่วมกัน เพื่อทำงานอย่างเดียวกันไว้ด้วยกัน เช่น ใช้ในการแบ่งกลุ่มออกชั้นบัตรทอนออกเป็นพวกๆ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นคอนโทรลที่ช่วยเพิ่มความเรียบร้อย และความสวยงามของโปรแกรมเรามากขึ้นคอนโทรลเฟรมจะแสดงอยู่ในทูลบ็อกซ์ ดังรูปที่ 25



รูปที่ 24



รูปที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรม

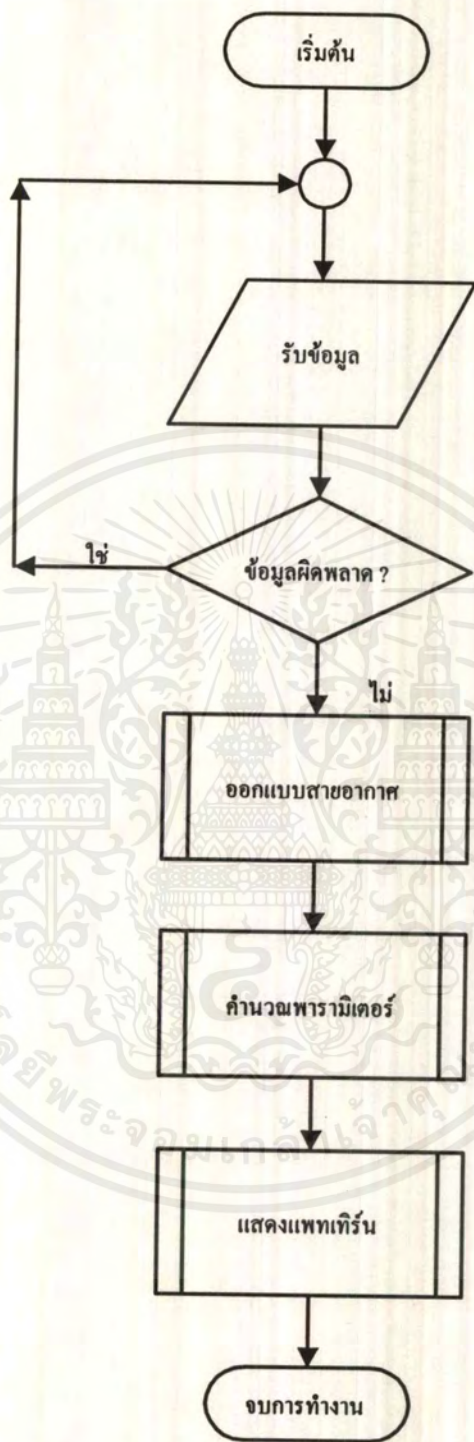
ส่วนของการพัฒนาโปรแกรมนั้น ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทกับการพัฒนางานด้านต่าง ๆ ของประเทศมากขึ้นทุกวัน และ จะสังเกตเห็นได้อีกอย่างจากคอมพิวเตอร์ปัจจุบันนี้ก็คือ เมื่อทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ขึ้นมาโดยส่วนใหญ่แล้วจะเข้าสู่ระบบปฏิบัติการที่เรียกว่า “Windows” ทันที ซึ่งจากจุดนี้เราจึงนำข้อดีของ Visual Basic ที่ว่าสามารถแสดงผลบน Windows ได้ มาใช้ประโยชน์ร่วมกัน ซึ่งอาจจะเห็นว่าเป็น Compiler ตัวใหม่ แต่แท้ที่จริงแล้วหาเป็นเช่นนั้นไม่ ซึ่ง Visual Basic ที่ใช้เขียนโปรแกรมออกแบบสายอากาศนี้จะ เป็นเวอร์ชัน 5 แล้ว ย่อมไม่ใช่ตัวใหม่อย่างแน่นอน แต่จะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นทุกวันพร้อมกับ วินโดวส์

ในส่วนของการศึกษาคอมพิวเตอร์ตัวนี้นั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. ส่วนของการออกแบบหน้าจอเพื่อติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) โดยจากข้อมูลเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ตัวนี้นั้นสามารถทำการออกแบบลักษณะหน้าจอเพื่อแสดงผลได้ ให้มีรูปแบบสวยงามได้ตามแต่ผู้เขียน
2. ส่วนของการเขียน Source Code นั้นจะแตกต่างจากคอมพิวเตอร์ทั่วไปที่แสดงผลบน Dos ซึ่งจะเป็นการเขียน โปรแกรมขึ้นมาเพื่อรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งความต้องการนี้ไม่แน่นอนเสมอไป แตกต่างกันไปตามผู้ใช้แต่ละคนจะ ต้องการ โดยในส่วนนี้เป็นส่วนที่เขียนขึ้นมาเพื่อให้ โปรแกรมสามารถทำงานได้ตามที่ ผู้เขียนโปรแกรมกำหนดไว้ ทั้งการประกาศตัวแปรเพื่อใช้งาน ทั้งการคำนวณต่าง ๆ เป็นต้น

โดยหลังจากผ่านส่วนหลักสองส่วนนี้ก็จะเข้าสู่กระบวนการทั่วไปของการเขียนโปรแกรม คือ เมื่อทำการเขียนโปรแกรมเสร็จแล้วจะทำการแปล (Compile) และทดลองให้แสดงผล (Run) เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรม ซึ่งหากมีข้อผิดพลาด ก็จะกลับไปตรวจสอบข้อผิดพลาดของ โปรแกรมที่เขียนขึ้นมา และทำการแก้ไขข้อผิดพลาดนั้น ๆ และทดลองแสดงผลอีกครั้งหนึ่ง

ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีในการคำนวณสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป สามารถนำมา กำหนดรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม และสามารถเขียนผังงานในการทำงานหลักของ โปรแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 26 แสดงโฟลว์ชาร์ตในการทำงานหลักของโปรแกรม

ซึ่งจากโฟลว์ชาร์ต สามารถอธิบายการทำงานหลักของโปรแกรมได้ดังนี้ คือ เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน จะทำการรับข้อมูลจากผู้ใช้ซึ่งทำการป้อนโดยใช้คีย์บอร์ด หลังจากนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะตรวจสอบข้อมูลที่ป้อนเข้ามา โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ หากมีข้อผิดพลาด โปรแกรมจะให้ย้อนกลับไปรับค่าอีกครั้ง หรือ หากไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น โปรแกรมจะแยกไปทำงานตามกระบวนการย่อย ๆ 3 กระบวนการ คือ ส่วนออกแบบสายอากาศ , ส่วนคำนวณพารามิเตอร์ของสายอากาศ และ ส่วนแสดงแพทเทิร์นของสายอากาศ โดยในส่วนของ การออกแบบสายอากาศนั้น โปรแกรมจะหาค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นในการสร้างสายอากาศ และสามารถเลือกการแสดงผลได้คือ หน้าจอ หรือ ปริ้นเตอร์ ก็ได้ ส่วนที่สองจะเป็นส่วนที่คำนวณพารามิเตอร์ของสายอากาศ โดยจะทำการแสดงผลออกมาได้ 2 ทางเลือกเช่นเดียวกันกับ ส่วนการออกแบบ และส่วนสุดท้ายคือส่วนที่แสดงแพทเทิร์นของสายอากาศ โดยในส่วนนี้จะมีส่วนการทำงานย่อย 2 ส่วนคือ ส่วนที่แสดงแพทเทิร์นแบบวงกลม และ แบบเชิงเส้น ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะแสดงออกมาทั้ง สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก

3.11 การพัฒนาโปรแกรม

ส่วนของโปรแกรมที่ทำการสร้างประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่รับค่าจากผู้ใช้ และ ส่วนแสดงผลออกทางจอภาพ

3.11.1 หน้าต่างเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 27 หน้าต่างเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม

หน้าต่างนี้จะทำการบอกให้ผู้ใช้ทราบถึงจุดประสงค์ของโปรแกรม และผู้ออกแบบโดยจะมีปุ่มสำหรับเข้าสู่การทำงาน โดยสามารถนำ Mouse มาคลิกที่ปุ่มนี้ หรือสามารถกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ดเพื่อเข้าสู่การทำงานได้เช่นกัน แต่การใช้ปุ่ม Enter นั้นก่อนอื่นต้องกดปุ่ม Tab หนึ่งครั้งก่อนจึงจะสามารถใช้งานปุ่ม Enter ได้

3.11.2 หน้าต่างที่รับค่าจากผู้ใช้เพื่อทำการออกแบบ

The screenshot shows a software interface titled "Design" for a "Microstrip Patch Antenna". It features a "Font" menu with "Thai" and "English" options. The main area contains several input fields with their respective values and units:

- frequency (fr): 10 GHz
- Dielectric constant of the substrate: 2.2
- height of the substrate (h): 1.6 mm
- Position of the recessed feed point (y0): 0 mm
- Input Impedance (Z_{in}): 50 Ohm

On the right side of the interface, there are four buttons: "Show Result", "Show Parameters", "Show Radiation Pattern", and "Exit".

รูปที่ 28 หน้าต่างที่รับค่าจากผู้ใช้เพื่อทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างนี้จะรับค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้เพื่อ โปรแกรมจะได้นำค่าต่าง ๆ ที่ป้อนให้เข้าไปทำการประมวลผลตามทางเลือก 3 ทางเลือก คือ

1. Show Result เมื่อผู้ใช้นำเมาส์มาคลิกที่ปุ่มนี้จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมเข้าสู่หน้าต่างของการออกแบบ
2. Show Parameters เมื่อผู้ใช้นำเมาส์มาคลิกที่ปุ่มนี้จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมเข้าสู่หน้าต่างของการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ
3. Show Radiation Pattern เมื่อผู้ใช้นำเมาส์มาคลิกที่ปุ่มนี้จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมเข้าสู่หน้าต่างที่ทำการแสดงแพทเทิร์นของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก โดยจะมีหน้าต่างให้เลือกอีกครั้งหนึ่ง

โดยทั้ง 3 ปุ่มนี้ ขณะนี้จะยังไม่สามารถใช้งานได้ (Active) เนื่องจากผู้ใช้อย่างไม่ได้ป้อนค่าเข้าไป หากทำการป้อนค่าเข้าไปแม้เพียง 1 ค่าก็จะสามารถใช้งานได้

ส่วนของค่าต่าง ๆ ที่ต้องป้อนให้หน้าต่างนี้ก็คือ

1. frequency (fr) คือ ค่าความถี่ที่จะนำสายอากาศไปใช้งาน
2. Dielectric constant of the substrate คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองโดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 12
3. Height of the substrate (h) คือ ค่าความสูงของวัสดุฐานรอง
4. Position of the recessed feed point (y0) คือ ค่าตำแหน่งจุดป้อนเข้าของสายส่งไมโครสตริป ซึ่งจะวัดตำแหน่งนี้จากขอบกึ่งกลางของแพ็ทช์ โดยหากมีค่าเป็นศูนย์จะหมายถึงการป้อนสัญญาณเข้าตรงขอบกึ่งกลางของแพ็ทช์
5. Input Impedance (Z_{in}) คือ ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ป้อนให้สายอากาศ ณ ตำแหน่งที่ทำการต่อ Connector ไว้ ซึ่งหากสายที่ใช้ต่อกับคอนเน็คเตอร์นั้นเป็นสายโคแอกเชียลจะมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์อยู่ประมาณ 50 โอห์ม

โดยหน้าต่างนี้สามารถแสดงเป็นภาษาไทย หรือ เปลี่ยนภาษาได้ โดยทำการเลือกจาก เมนูบาร์ ที่ชื่อ Font และ คลิกเมาส์เพื่อเลือกภาษาอีกครั้งหนึ่ง หรือ สามารถทำการเลือกหัวข้อนี้ได้จาก คีย์บอร์ดโดยกดปุ่ม Alt + F และ สามารถเลือกภาษาไทยได้โดยกดปุ่ม Alt + T หรือ ปุ่ม Alt + E เพื่อเปลี่ยนเป็นภาษาอังกฤษ

3.11.3 หน้าต่างแสดงผลในการออกแบบสายอากาศ

Result

Font File

Thai
English

Microstrip Patch Antenna

Input	Output
frequency (fr)	10.00 GHz
height of substrate (h)	1.60 mm
Dielectric Constant of Substrate	2.20
Input Impedance (Z_{in})	50.00 Ohm
	Characteristic Impedance (Z_{o0}) 50.000 Ohm
	Characteristic Impedance (Z_{o1}) 106.99746 Ohm
	Antenna Impedance (Z_{ant}) 228.96913 Ohm
	Antenna Impedance at Recessed Feed 228.96913 Ohm
	Width of microstrip line (w_0) 4.92988 mm
	Width of microstrip line (w_1) 1.12943 mm
	Width of antenna (W) 11.85854 mm
	Length of microstrip line (L_0) 10.68503 mm
	Length of microstrip line (L_1) 5.34252 mm
	Length of antenna (L) 9.05120 mm

Top View

Side View

Date Design 03/05/99

Time Design 03:59:35

<< Back

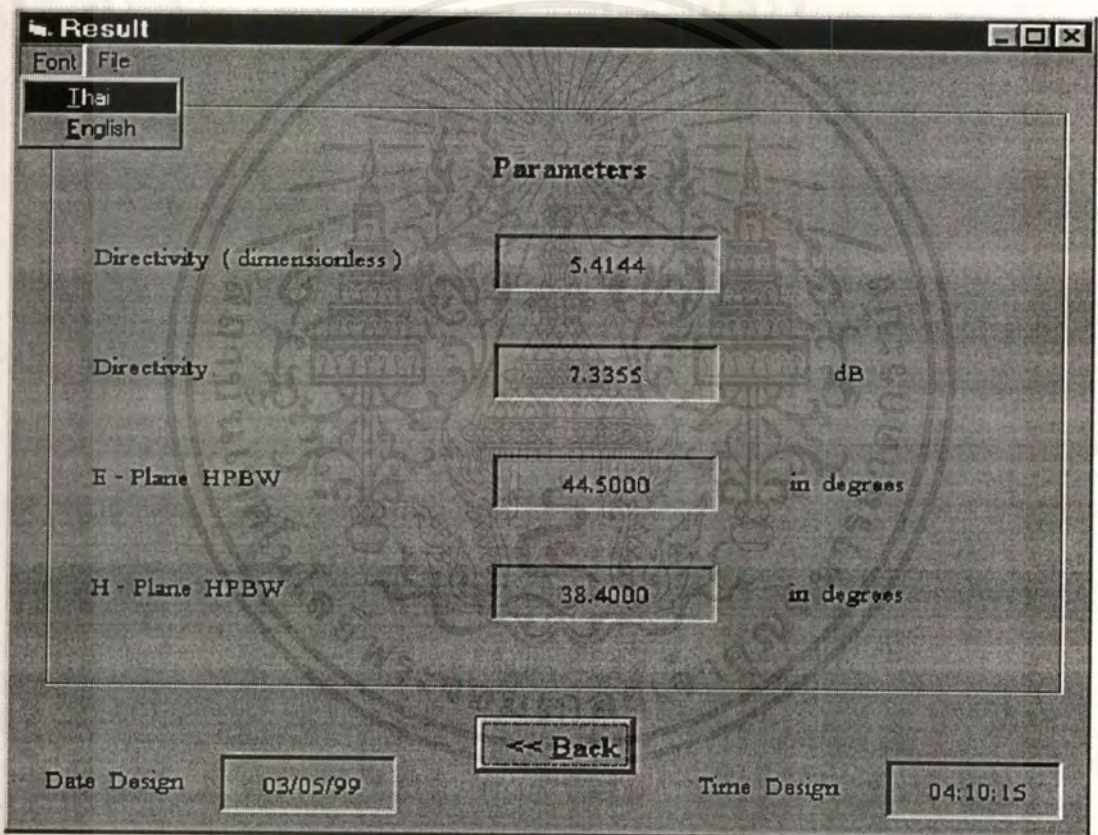
รูปที่ 29 หน้าต่างแสดงผลการออกแบบสายอากาศ

หน้าต่างของการแสดงผลในการออกแบบนั้น จะนำค่าต่าง ๆ ที่แสดงทางฝั่งขวาของจอภาพไปสร้างสายอากาศไมโครสตริปอีกครั้งหนึ่ง โดยหน้าต่างนี้สามารถแสดงเป็นภาษาไทย หรือเปลี่ยนภาษาได้ โดยทำการเลือกจาก เมนูบาร์ ที่ชื่อ Font และ คลิกเมาส์เพื่อเลือกภาษาอีกครั้ง- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง หรือ สามารถทำการเลือกหัวข้อนี้ได้จากคีย์บอร์ดโดยกดปุ่ม Alt + F และ สามารถเลือกภาษาไทยได้โดยกดปุ่ม Alt + T หรือ ปุ่ม Alt + E เพื่อเปลี่ยนเป็นภาษาอังกฤษ

และในหน้าต่างนี้สามารถแสดงผลผ่านปริ้นเตอร์ได้ โดยเลือกจากเมนูบาร์ ที่ชื่อ File และคลิกเมาส์เพื่อเลือกที่หัวข้อ Print Form หรือ เลือกหัวข้อนี้ได้จากคีย์บอร์ด โดยกดปุ่ม Alt + I เพื่อเลือกหัวข้อ File และ กดปุ่ม Alt + r เพื่อเลือกปริ้นท์ได้เช่นกัน

3.11.4 หน้าต่างแสดงผลพารามิเตอร์ของสายอากาศ



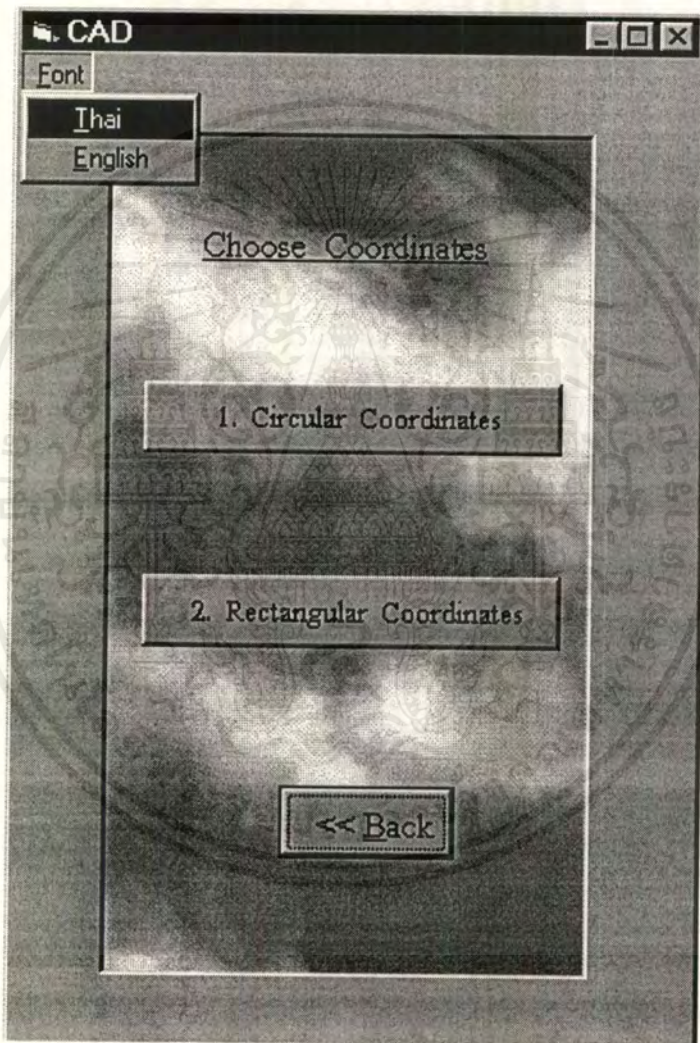
รูปที่ 30 หน้าต่างแสดงผลพารามิเตอร์ของสายอากาศ

หน้าต่างนี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้น โดยหน้าต่างนี้สามารถแสดงเป็นภาษาไทย หรือ เปลี่ยนภาษาได้ โดยทำการเลือกจาก เมนูบาร์ ที่ชื่อ Font และ คลิกเมาส์เพื่อเลือกภาษาอีกครั้งหนึ่ง หรือ สามารถทำการเลือกหัวข้อนี้ได้จากคีย์บอร์ดโดยกดปุ่ม Alt + F และ สามารถเลือกภาษาไทยได้โดยกดปุ่ม Alt + T หรือ ปุ่ม Alt + E เพื่อเปลี่ยนเป็นภาษาอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในหน้าต่างนี้สามารถแสดงผลผ่านปริ้นเตอร์ได้ โดยเลือกจากเมนูบาร์ ที่ชื่อ File และคลิกเมาส์เพื่อเลือกที่หัวข้อ Print Form หรือ เลือกหัวข้อนี้ได้จากคีย์บอร์ด โดยกดปุ่ม Alt + I เพื่อเลือกหัวข้อ File และ กดปุ่ม Alt + r เพื่อเลือกปริ้นท์ได้เช่นกัน

3.11.5 หน้าต่างเลือกโหมดการแสดงผลแพทเทิร์นของสายอากาศ



รูปที่ 31 หน้าต่างเลือกโหมดการแสดงผลแพทเทิร์นของสายอากาศ

หน้าต่างนี้จะแสดงให้ผู้ใช้ได้เลือกโหมดในการแสดงผลแพทเทิร์น โดยแบ่งเป็น 2 โหมด คือ

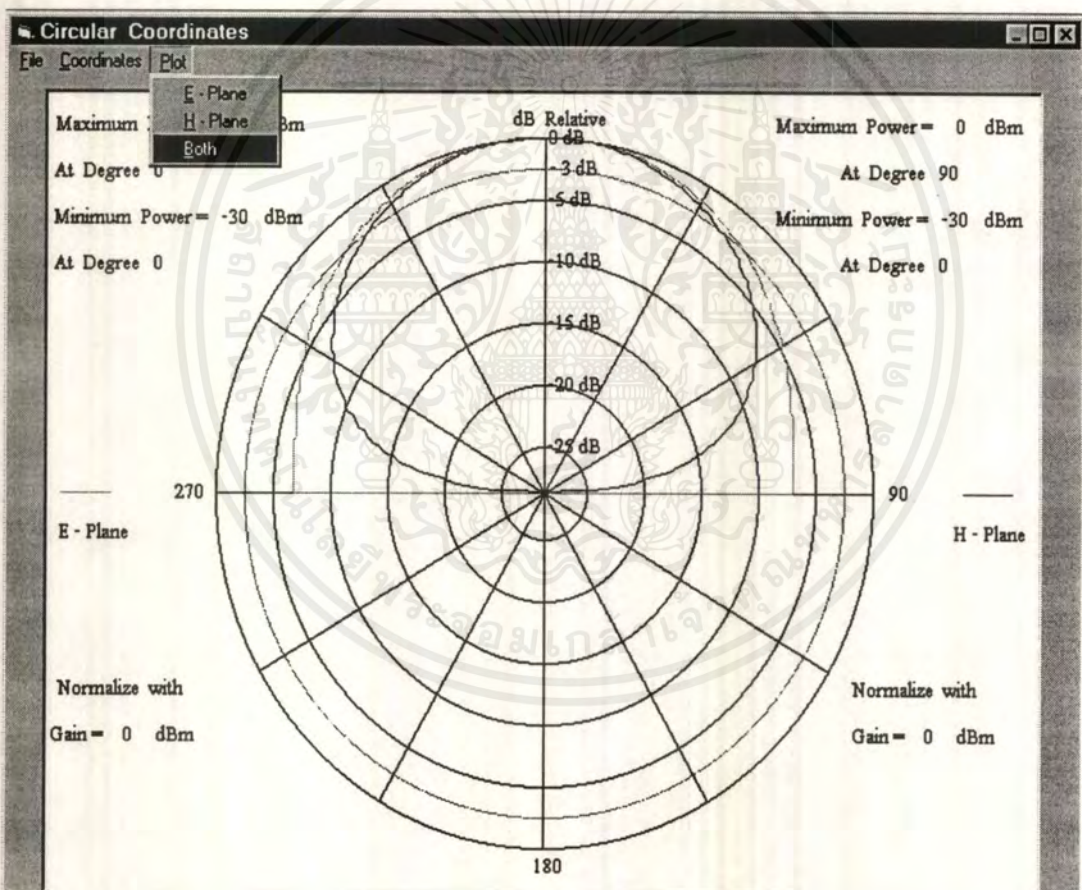
1. วงกลม โหมดนี้จะแสดงผลแพทเทิร์นในรูปวงกลม 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เชิงเส้น โหมดนี้จะแสดงแพทเทิร์นในรูปแบบเชิงเส้น โดยมี 2 แกน และมีระยะของมุมเป็น 360 องศา

โดยหน้าต่างนี้สามารถแสดงเป็นภาษาไทย หรือ เปลี่ยนภาษาได้ โดยทำการเลือกจาก เมนูบาร์ ที่ชื่อ Font และ คลิกเมาส์เพื่อเลือกภาษาอีกครั้งหนึ่ง หรือ สามารถทำการเลือกหัวข้อนี้ได้จาก คีย์บอร์ดโดยกดปุ่ม Alt + F และ สามารถเลือกภาษาไทยได้โดยกดปุ่ม Alt + T หรือ ปุ่ม Alt + E เพื่อเปลี่ยนเป็นภาษาอังกฤษ

3.11.6 หน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปวงกลม (Circular Coordinates)



รูปที่ 32 หน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปวงกลม

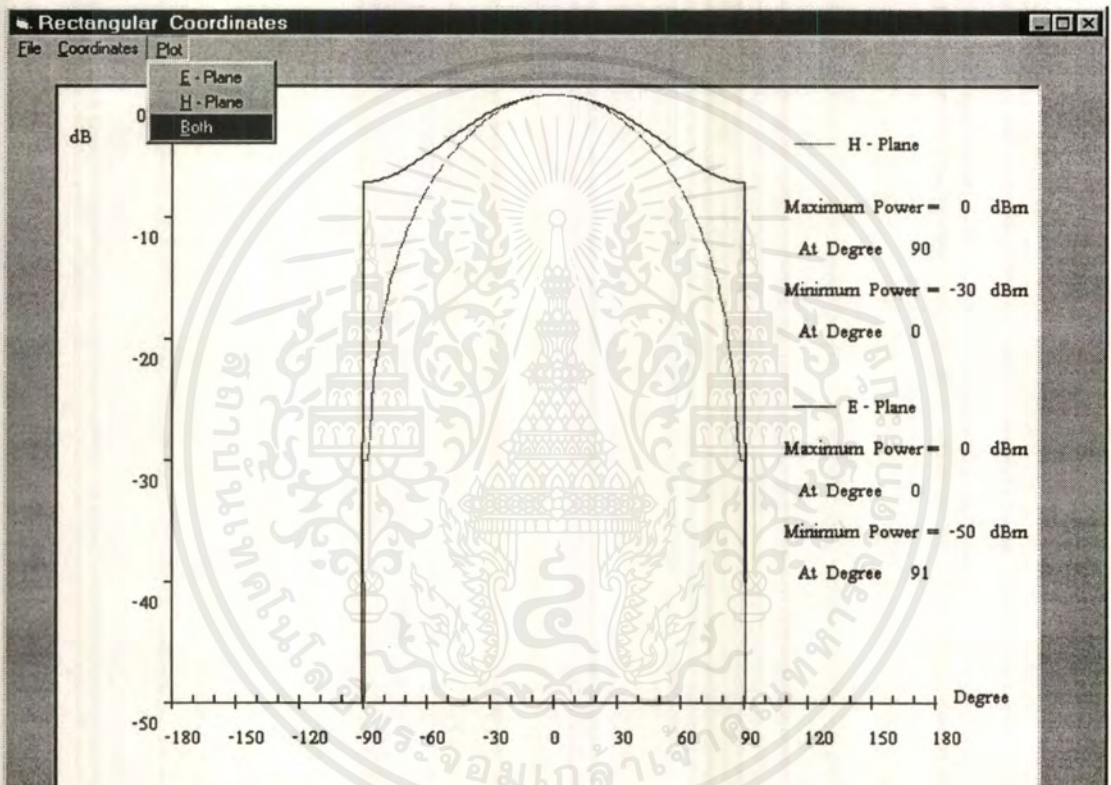
โดยหน้าต่างนี้จะแสดงแพทเทิร์นการแผ่กระจายคลื่นรูปวงกลม โดยมีมุมที่แพทเทิร์นจะแสดงทั้งหมดเป็น 360 องศา โดยสามารถที่จะให้โปรแกรมพล็อตได้ทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็ก หรือ เลือกพล็อตเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งก็ได้ โดยความสามารถนี้ทำการเลือกจากเมนูบาร์ ในหัวข้อ Plot และ เลือกการแสดงผลสนามไฟฟ้า หรือ สนามแม่เหล็กก็ได้

ในหน้าต่างนี้สามารถย้ายการทำงานไปยังหน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปเชิงเส้นก็ได้ โดยเลือกจากเมนูบาร์ในหัวข้อ Coordinates

3.11.7 หน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปเชิงเส้น (Rectangular Coordinates)



รูปที่ 33 หน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปเชิงเส้น

โดยหน้าต่างนี้จะแสดงแพทเทิร์นการแผ่กระจายคลื่นรูปเชิงเส้น โดยมีมุมที่แพทเทิร์นจะแสดงทั้งหมดเป็น 360 องศา แต่จะเริ่มที่มุม -180 องศา ก่อนและไปสิ้นสุดที่มุม 180 องศา โดยสามารถที่จะให้โปรแกรมพล็อตได้ทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก หรือ เลือกพล็อตเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งก็ได้ โดยความสามารถนี้ทำการเลือกจากเมนูบาร์ ในหัวข้อ Plot และ เลือกการแสดงผลสนามไฟฟ้า หรือ สนามแม่เหล็กก็ได้

ในหน้าต่างนี้สามารถย้ายการทำงานไปยังหน้าต่างแสดงแพทเทิร์นรูปเชิงเส้นก็ได้โดยเลือกจากเมนูบาร์ในหัวข้อ Coordinates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 การออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

กำหนดค่าที่ต้องป้อนเพื่อทำการออกแบบ

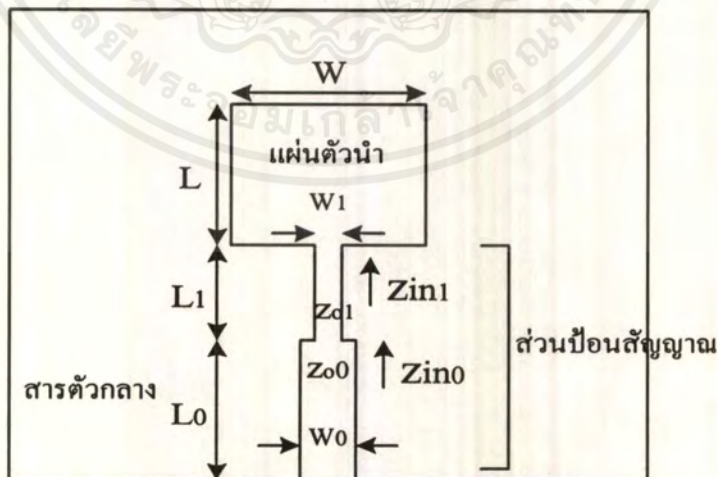
- ความถี่ที่ใช้งาน 10 GHz
- ความสูงของชั้นเซตาร์ท 1.6 มม.
- ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของชั้นเซตาร์ท 2.2
- อินพุทอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

จากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์จะได้ค่าต่างๆ ที่สามารถนำไปสร้างสายอากาศมีดังนี้

- ความกว้างสายไมโครสตริปส่วนป้อนสัญญาณ (w_0) = 4.92988 มม.
- ความกว้างสายไมโครสตริปส่วนปรับแมทซ์ (w_1) = 1.12943 มม.
- ความกว้างสายอากาศ (W) = 11.85854 มม.
- ความยาวสายไมโครสตริปส่วนป้อนสัญญาณ (L_0) = 10.68503 มม.
- ความยาวสายไมโครสตริปส่วนปรับแมทซ์ (L_1) = 5.34252 มม.
- ความยาวสายอากาศ (L) = 9.05120 มม.

โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- อิมพีแดนซ์ คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ของสายไมโครสตริปส่วนปรับแมทซ์ (Z_{o1}) = 106.99746 โอห์ม
- อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Z_{ant}) = 228.96913 โอห์ม



อินพุทอิมพีแดนซ์ (Z_{in})

รูปที่ 34 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

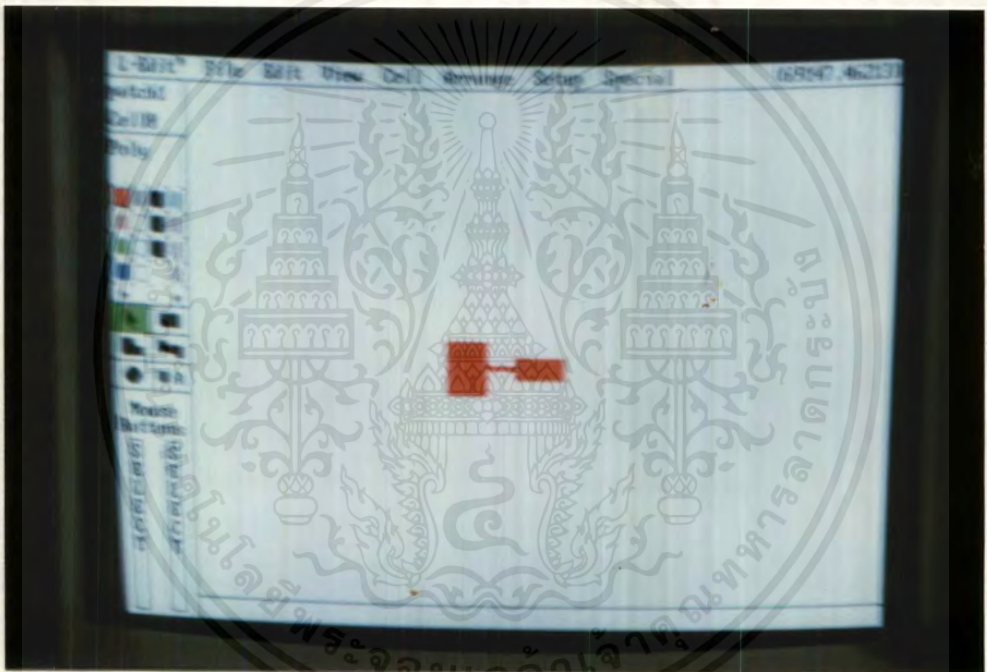
บทที่ 4

การสร้าง และทดลอง

4.1 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปขนาด 10 GHz

4.1.1 นำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นไปสร้างเป็นรูปโดยใช้โปรแกรม Ledit และทำการตั้งค่าโดยค่าที่ตั้งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยใช้อัตราส่วน 1 : 1000

4.1.2 เมื่อทำการสร้างรูปจากโปรแกรม Ledit เรียบร้อยแล้วให้ทำการแปลงไฟล์เป็นนามสกุล eps ดังรูปที่ 35



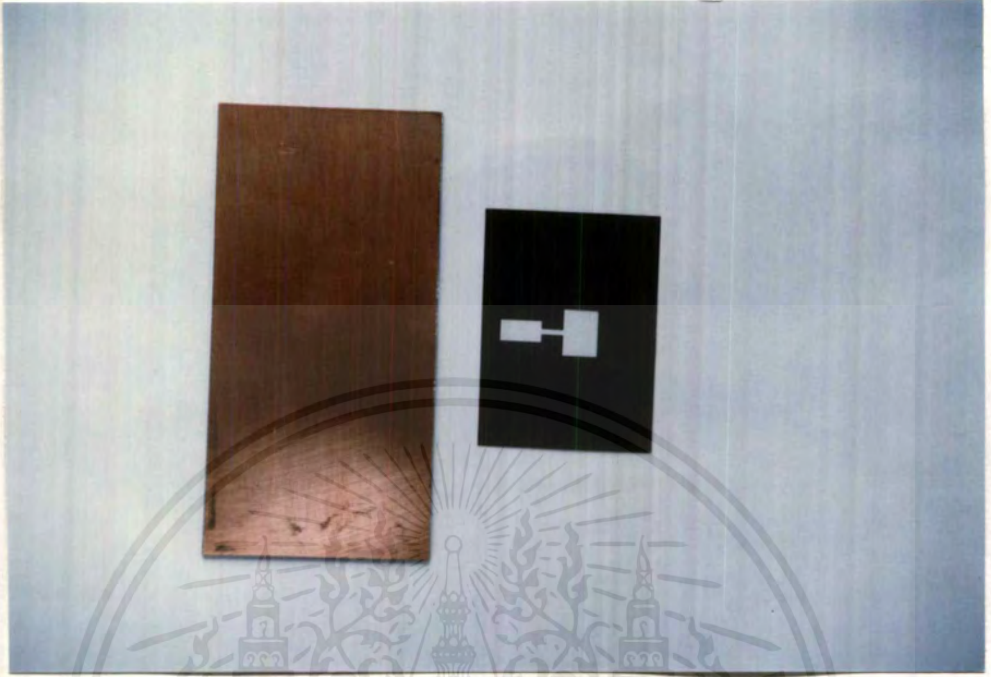
รูปที่ 35 แสดงขนาดของไมโครสตริปที่สร้างจากโปรแกรม Ledit

4.1.3 นำรูปที่สร้างแล้วไปทำการถ่ายฟิล์ม (film negative) ซึ่งรูปที่ใช้ในการออกแบบจะมาอยู่บนแผ่นฟิล์มและจะมีขนาดเท่ากับที่เราออกแบบไว้

4.1.4 นำแผ่น teflon มาทำความสะอาดและรีดแผ่น Dryfilm ให้เรียบพยายามอย่าให้มีฟองอากาศจากนั้นทำการถ่ายแบบโดยใช้แผ่น film negative ดังรูปที่ 36

4.1.5 นำแผ่นฟิล์มที่ถ่ายแบบไว้แล้วมาวางบน teflon ที่ถูกรีด้วย Dryfilm แล้วนำแผ่นกระจกใสมาวางทับอีกทีหนึ่ง จากนั้นทำการฉายแสงโดยใช้แสงจากพระอาทิตย์ส่องประมาณ 15 นาที (ตอนกลางวัน) ดังรูปที่ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 36 แสดงแผ่น teflon และ film negative ที่จะนำมาสร้าง



รูปที่ 37 แสดงภาพการฉายแสงโดยใช้แสงจากพระอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 จากนั้นนำแผ่น teflon มาล้างด้วยน้ำยาโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งน้ำยานี้จะขจัดแผ่น Dryfilm ที่ถูกบ่งด้วยแผ่นฟิล์มออกคงเหลือไว้แต่ Dryfilm ที่ถูกแสงแดดดังรูปที่ 38

4.1.7 หลังจากนั้นจึงนำแผ่น teflon มาแช่ในน้ำยากัดแผ่นทองแดง หลังจากนั้นน้ำยากัดแผ่นทองแดงที่ไม่ใช่ออกหมดแล้วเราก็จะได้รูปไมโครสตริปที่ยังมีแผ่น Dryfilm เคลือบอยู่ดังรูปที่ 39



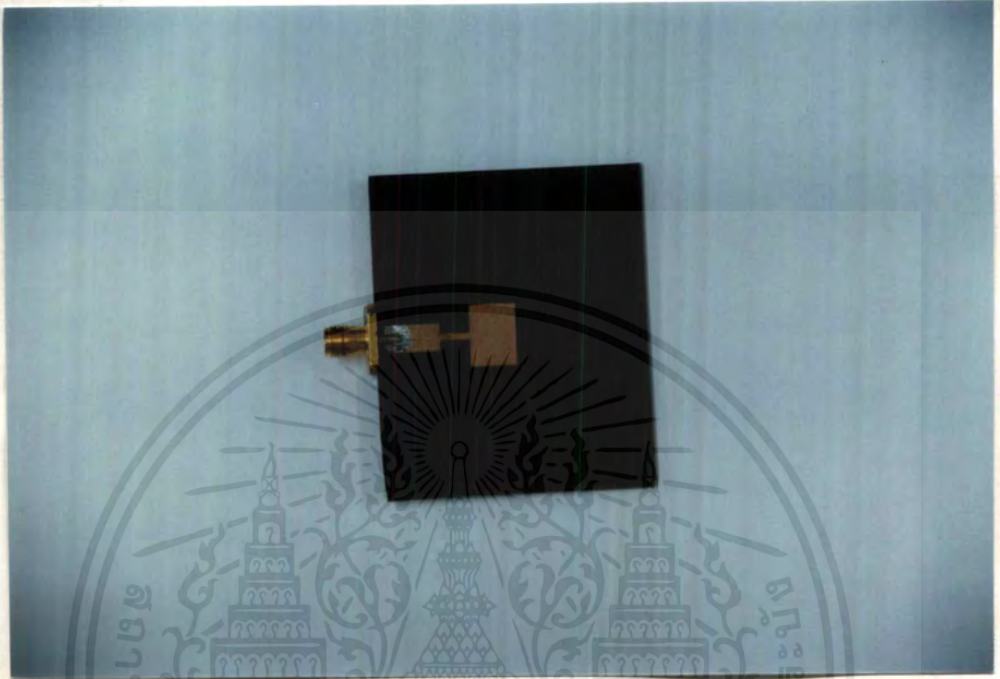
รูปที่ 38 แสดงการล้างด้วยน้ำยาโซเดียมคาร์บอเนต



รูปที่ 39 แสดงการกัดแผ่น teflon โดยใช้น้ำยากัดแผ่นทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 นำแผ่น teflon ไปล้างน้ำสะอาดแล้วใช้แอลกอฮอล์เช็ดแผ่น Dryfilm ที่เคลือบทองแดงที่เหลืออยู่ออกให้หมด จากนั้นก็นำขั้วมาต่อก็จะได้รูปชิ้นงานที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 40



รูปที่ 40 แสดงรูปชิ้นงานที่สมบูรณ์

4.2 การทดลอง

4.2.1 การทดลองวัดค่า Log MAG , SWR และ อินพุทอิมพีแดนซ์

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

4.3.1 เครื่องเน็ตเวิร์ค อนุไลเซอร์

4.3.2 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

4.3.3 เครื่องกำเนิดความถี่

4.3.4 คอนเน็คเตอร์ SMA

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

4.4.1 ทำการปรับเครื่องเน็ตเวิร์ค อนุไลเซอร์ โดยใช้ คอนเน็คเตอร์ SMA

4.4.2 สำหรับการวัดที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz ต้องทำการปรับ เน็ตเวิร์ค อนุไลเซอร์ ให้

4.4.3 มีการกวาดความถี่ระหว่าง 8GHz – 12 GHz

4.4.4 ต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องเน็ตเวิร์ค อนุไลเซอร์ ที่ พอร์ต S11 หรือ S22 ก็ได้ กรณี

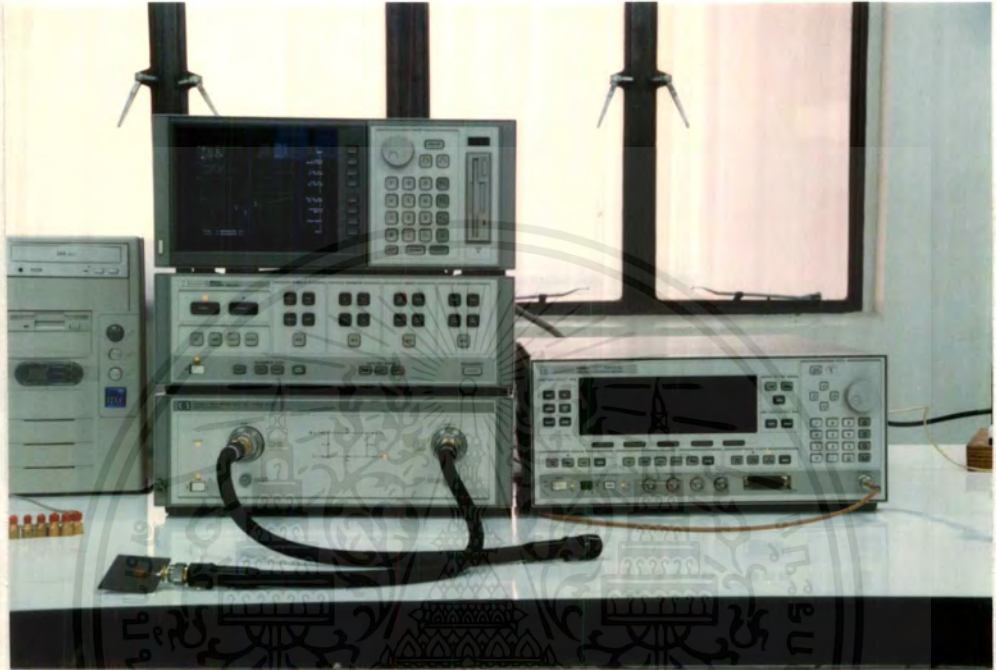
ที่ใช้เพียงชุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 วัดค่า Log MAG

4.4.6 วัดค่า SWR

4.4.7 วัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์



รูปที่ 41 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

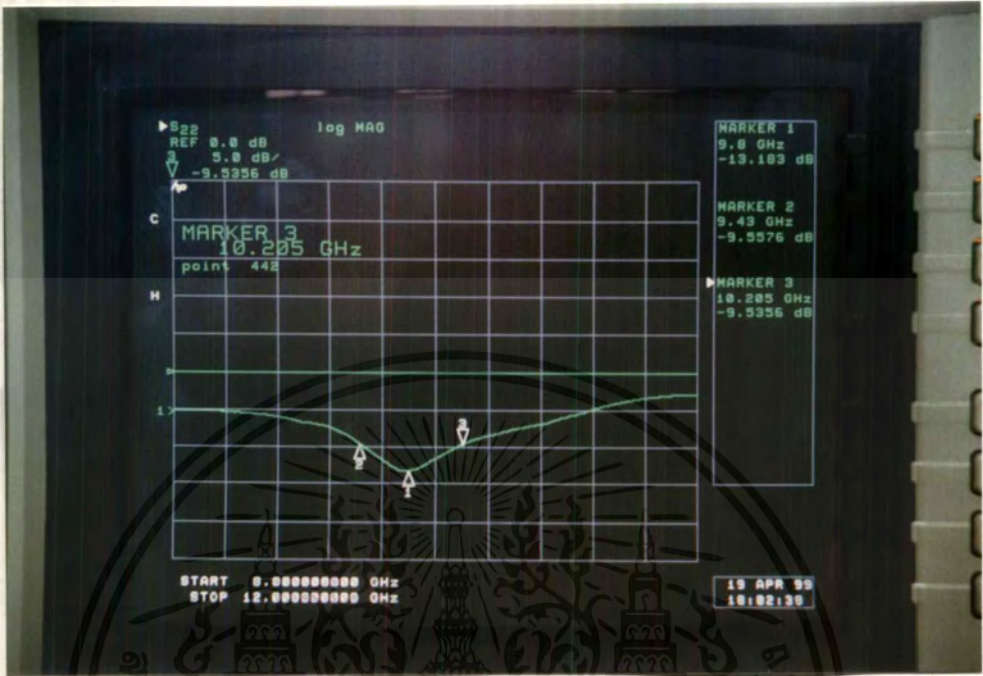
4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 การวัด Log MAG เพื่อหาค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับที่ต่ำที่สุด

ความถี่ 9.43 GHz แสดงค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับ -9.5576 dB

ความถี่ 9.8 GHz แสดงค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับ -13.183 dB (ซึ่งเป็นจุดที่ดีที่สุด)

ความถี่ 10.205 GHz แสดงค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับ -9.5356 dB



รูปที่ 42 แสดงผลการวัด Log MAG ของสายอากาศที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz

4.6 การวัด SWR



รูปที่ 43 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ที่ตำแหน่ง Marker 1 สังเกตได้ว่าจะอยู่ใกล้เส้นแถบหนามากที่สุด ซึ่งในการวัดนี้ จะใช้อัตราส่วนในการวัด 2 : 1 ซึ่งแต่ละช่องในรูปจะห่างกัน 1 ค่า

เพราะฉะนั้น ที่ตำแหน่ง Marker 1 จะมีค่า SWR ประมาณ 1.5 ที่ความถี่ 9.8 GHz
 ที่ตำแหน่ง Marker 2 จะมีค่า SWR ประมาณ 2 ที่ความถี่ 9.43 GHz
 ที่ตำแหน่ง Marker 3 จะมีค่า SWR ประมาณ 2 ที่ความถี่ 10.205 GHz

จากผลที่ได้ ตำแหน่ง Marker 1 ที่ความถี่ 9.8 GHz เป็นจุดที่ดีที่สุดของสายอากาศเพราะมีค่า SWR ใกล้ 1 มากที่สุด ส่วนตำแหน่ง Marker 2 และ 3 คือตำแหน่งที่สามารถใช้งานได้แต่จะให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร และหากความถี่ที่สูงกว่า หรือต่ำกว่านี้ให้ค่า SWR ที่แย่มากเกินกว่าที่จะยอมรับได้ เพราะฉะนั้น ระหว่าง Marker 2 – 3 จะมีแบนด์วิดท์ เท่ากับ 775 MHz ซึ่งก็คือ ความถี่ที่ใช้งานควร จะอยู่ระหว่าง 9.43 GHz – 10.205 GHz

4.7 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 44 ผลที่ได้จากการวัด อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ได้ดังนี้

ที่ Marker 1 ความถี่ 9.8 GHz มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $38.727 - j16.244$ โอห์ม

ที่ Marker 2 ความถี่ 9.43 GHz มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $98.137 + j11.281$ โอห์ม

ที่ Marker 3 ความถี่ 10.205 GHz มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $30.317 + j19.285$ โอห์ม



รูปที่ 44 แสดงผลการวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ใช้งาน 10 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากการทดลองเราใช้ที่ความถี่ 10 GHz ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้นำค่าต่าง ๆ ไปสร้างเป็นสายอากาศและผลที่ได้จากการสร้างได้สายอากาศที่ความถี่ 9.8 GHz โดยมีแบนด์วิดท์ที่ใช้ได้ 775 MHz คือที่ความถี่ 9.43 GHz – 10.205 GHz ซึ่งความถี่ที่ดีที่สุด คือ ความถี่ 9.8 GHz ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ที่ใช้ในการออกแบบ

สำหรับปัญหาที่พบ คือ ผลจากการคำนวณที่ได้นั้นมีขนาดเล็กเกินไป ซึ่งจะส่งผลไปถึงการสร้างสายอากาศด้วย เพราะการสร้างสายอากาศที่ความถี่สูงนั้น จะเกิดการผิดพลาดเนื่องจากการใช้น้ำยากัดแผ่นทองแดงมีความไม่แน่นอน ซึ่งอาจจะทำให้ขอบของสายอากาศขรุขระ จึงเกิดการเบี่ยงเบนทางความถี่ได้

ส่วนของโปรแกรมนั้นได้พัฒนามาจากภาษาซี โดยใช้ Visual Basic เพื่อให้สามารถใช้งานบนวินโดวส์ได้ จึงทำให้ การใช้งานง่าย และสะดวกต่อการป้อนค่าต่าง ๆ ที่จำเป็น และคาดว่าจะมีการนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนา ให้สามารถออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบอาร์เรย์ หรือแบบต่าง ๆ ได้

บรรณานุกรม

- [1] กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล และจำลอง ครุชุตสาหะ ,“ Visual Basic 5 ฉบับโปรแกรมเมอร์ ,” หจก.-ไทยเจริญการพิมพ์ : ดวงกลมสมัย จำกัด , 2521 .
- [2] จเร สุรวัฒน์ปัญญา ,“ การคำนวณเชิงตัวเลขด้วย BASIC ,” ซีเอ็ดยูเคชั่น : กรุงเทพฯ ฯ , 2521 .
- [3] ชาริน สิทธิธรรมชารี และธนัญชัย จำนงค์ภักดี , “ Microsoft Visual Basic Version 5.0 ,” บริษัท ซัคเซส มีเดีย จำกัด : ซีเอ็ดยูเคชั่น 2521 .
- [4] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ ,“ วิศวกรรมสายอากาศ ,” สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [5] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ ,“ วิศวกรรมไมโครเวฟ ,” สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] วรวิทย์ ตันติโกติน และ นกคณ ชาญธีระเดช , “ การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย Visual Basic ภาคปฏิบัติ ,” ซีเอ็ดยูเคชั่น : กรุงเทพฯ ฯ , 2537 .
- [7] สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช , “ Visual BASIC 4.0 Professional ,” ซีเอ็ดยูเคชั่น : กรุงเทพฯ ฯ , 2539 .
- [8] Constantien A.Balanis ,“Antenna Theory Analysis and Design ,” John Wiley & Sons ,Inc. 1982 .
- [9] I. J. Bahl and P. Bhartia , “ Microstrip Antennas ,” Artech House Inc. , Massachusetts , 1982 .
- [10] Manfield ,Richard . ,“ Visual Basic power toolkit : cutting – edge , tools and techniques for programmers ,” John Wiley & Sons , Inc . 1992 .
- [11] Torgerson , Thomas W. , “ Visual Basic Professional 3.0 Programming ,” New York : John Wiley & Sons , Inc . 1994 .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdBack_Click()
```

```
    ChooseCoor.Hide
```

```
    Design.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdCircularCoor_Click()
```

```
    ChooseCoor.Hide
```

```
    CircularCoor.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdRecCoor_Click()
```

```
    ChooseCoor.Hide
```

```
    RecCoor.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuEnglish_Click()
```

```
    mnuFont.Caption = "&Font "
```

```
    mnuThai.Caption = "&Thai "
```

```
    mnuEnglish.Caption = "&English "
```

```
    Label1.Caption = " Choose Coordinates "
```

```
    cmdCircularCoor.Caption = " 1. Circular Coordinates "
```

```
    cmdRecCoor.Caption = " 2. Rectangular Coordinates "
```

```
    cmdBack.Caption = " << &Back "
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuThai_Click()
```

```
    mnuFont.Caption = " เปลี่ยน&ภาษา "
```

```
    mnuThai.Caption = " ภาษา&ไทย "
```

```
    mnuEnglish.Caption = " ภาษา&อังกฤษ "
```

```
    Label1.Caption = " เลือก โคนอ&ร์ดิเนต "
```

```
    cmdCircularCoor.Caption = " 1. เซอร์&ควาร์ โคนอ&ร์ดิเนต "
```

```
    cmdRecCoor.Caption = " 2. เร&กแท&ง&ควาร์ โคนอ&ร์ดิเนต "
```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครเชียงใหม่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cmdBack.Caption = " &ถึถึถึ"

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub Form_Paint()

Dim n As Integer

Dim r As Single, stt As Single, stp As Single

Dim Add As Single, ShVal As String

Dim Cx As Single, Cy As Single

Picture1.Cls

Picture1.ScaleMode = 3

Cx = Picture1.ScaleWidth / 2

Cy = Picture1.ScaleHeight / 2

Add = -30

For r = 30 To 230 Step 40

Picture1.Circle (Cx, Cy), r, QBColor(0)

Add = Add + 5

ShVal = Format(Add, "#0 dB ")

Picture1.CurrentX = Cx + 2

Picture1.CurrentY = Cy - (r + 15)

Picture1.Print ShVal

Next r

Picture1.Circle (Cx, Cy), 210, QBColor(12)

Picture1.CurrentX = Cx

Picture1.CurrentY = Cy - (226)

Picture1.Print " - 3 dB"

Picture1.CurrentX = 275

Picture1.CurrentY = 1

Picture1.CurrentX = Cx - 25

Picture1.Print " dB Relative "

Picture1.CurrentX = 5

Picture1.CurrentY = 370

Picture1.Print " Normalize with "

Picture1.CurrentY = 400

Picture1.Print " Gain = dBm "

Picture1.CurrentX = 2

Picture1.CurrentY = 5

Picture1.Print " Maximum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 1

Picture1.CurrentY = 35

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.CurrentX = 1

Picture1.CurrentY = 65

Picture1.Print " Minimum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 1

Picture1.CurrentY = 95

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.Line (10, Cy)-(45, Cy), QBColor(13)

Picture1.CurrentX = 5

Picture1.CurrentY = Cy + 10

Picture1.Print " E - Plane "

Picture1.CurrentX = 560

Picture1.CurrentY = 370

Picture1.Print " Normalize with "

Picture1.CurrentX = 560

Picture1.CurrentY = 400

Picture1.Print " Gain = dBm "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Picture1.CurrentX = 505 ศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Picture1.CurrentY = 5

Picture1.Print " Maximum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 550

Picture1.CurrentY = 35

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.CurrentX = 505

Picture1.CurrentY = 65

Picture1.Print " Minimum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 550

Picture1.CurrentY = 95

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.Line (640, Cy)-(675, Cy), QBColor(9)

Picture1.CurrentX = 630

Picture1.CurrentY = Cy + 10

Picture1.Print " H - Plane "

Picture1.CurrentX = 585

Picture1.CurrentY = Cy - 15

Picture1.Print " 90 "

Picture1.CurrentX = Cx - 10

Picture1.CurrentY = 485

Picture1.Print " 180 "

Picture1.CurrentX = 85

Picture1.CurrentY = Cy - 15

Picture1.Print " 270 "

stp = Pi

For n = 1 To 6

stt = stt + Pi / 6

stp = stp + Pi / 6

Picture1.Circle (Cx, Cy), 230, QBColor(0), -stt, -stp

Next n

End Sub

Private Sub mnuBack_Click()

CircularCoor.Hide

ChooseCoor.Show

End Sub

Private Sub mnuBoth_Click()

Call mnuEplane_Click

Call mnuHplane_Click

End Sub

Private Sub mnuNew_Click()

Call Form_Paint

End Sub

Private Sub mnuRecCoor_Click()

CircularCoor.Hide

RecCoor.Show

End Sub

Private Sub mnuEplane_Click()

Dim Phi As Single, Phir As Single

Dim Arg As Single, Sinc As Single

Dim Eth(0 To 361) As Single, level As Single

Dim Ethval As Single, Ethmax As Single

Dim span As Single, n As Single, k As Single

Dim Max As Single, Max1 As Single

Dim Min As Single, Min1 As Single

Dim e(0 To 360) As Single, f(0 To 360) As Single

Dim Cx As Single, Cy As Single

Cx = Picture1.ScaleWidth / 2

Cy = Picture1.ScaleHeight / 2

Wavelength = c / fr

Width_rec = (Wavelength / 2) * Sqr(2 / (Er + 1))

Ereff = ((Er + 1) / 2) + ((Er - 1) / 2) * (1 / Sqr(1 + (12 * height_rec) / Width_rec))

Delta_L = (0.412 * height_rec) * ((Ereff + 0.3) * ((Width_rec / height_rec) + 0.264)) / _
((Ereff - 0.258) * ((Width_rec / height_rec) + 0.8))

Leff = Wavelength / (2 * Sqr(Ereff))

L = Leff - (2 * Delta_L)

k0 = 2 * Pi / Wavelength

Ethmax = Sin((1 / 2) * k0 * height_rec) / ((1 / 2) * k0 * height_rec)

For Phi = 0 To 360

Phir = Phi * Pi / 180

If Phi > 90 And Phi < 270 Then

Eth(Phi) = -30

Else

Arg = (1# / 2#) * k0 * height_rec * Cos(Phir)

If Arg = 0# Then

Sinc = 1#

Else

Sinc = Sin(Arg) / Arg

End If

Ethval = Sinc * Cos((1# / 2#) * k0 * Leff * Sin(Phir)) / Ethmax

level = 20# * Log10(Ethval)

If level < -30# Then

```

    Eth(Phi) = -30#
Else
    Eth(Phi) = level
End If
End If
Next Phi

Max = 0#
Min = -30#

For Phi = 1# To 359#
    g = (Eth(Phi - 1#)) + 30#

    xp = (1# / 30#) * 230# * g * Sin((360# - (Phi - 1)) * Pi / 180#)
    yp = (1# / 30#) * 230# * g * Cos((360# - (Phi - 1)) * Pi / 180#)

    e(Phi) = Cx - (CInt(xp))
    f(Phi) = Cy - (CInt(yp))

    If Phi = 1# Then
        Picture1.Line (e(359#), f(359#))-(e(0), f(0)), QBColor(13)
    Else
        Picture1.Line (e(Phi - 1), f(Phi - 1))-(e(Phi), f(Phi)), QBColor(13)
    End If
Next Phi

Picture1.CurrentX = 50
Picture1.CurrentY = 400
Picture1.Print Max

Picture1.CurrentX = 128
Picture1.CurrentY = 5
Picture1.Print Max

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Picture1.CurrentX = 70

Picture1.CurrentY = 35

Picture1.Print k

Picture1.CurrentX = 120

Picture1.CurrentY = 65

Picture1.Print Min

Picture1.CurrentX = 70

Picture1.CurrentY = 95

Picture1.Print n

End Sub

Private Sub mnuHplane_Click()

Dim Ephmax As Single, Ephval As Single

Dim Eph(0 To 181) As Single

Dim Arg1 As Single, Arg2 As Single

Dim Sinc1 As Single, Sinc2 As Single

Dim Th As Single, Thr As Single

Dim n As Single, k As Single, j As Single

Dim Max As Single, Max1 As Single

Dim Min As Single, Min1 As Single

Dim span As Single, g As Single

Dim xp As Single, yp As Single

Dim e(0 To 360) As Single, f(0 To 360) As Single

Dim d(0 To 360) As Single

Dim Cx As Single, Cy As Single

Cx = Picture1.ScaleWidth / 2

Cy = Picture1.ScaleHeight / 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Wavelength} = c / fr$$

$$k0 = 2\pi / \text{Wavelength}$$

$$\text{Width_rec} = (\text{Wavelength} / 2) * \text{Sqr}(2 / (\text{Er} + 1))$$

$$\text{Ephmax} = \text{Sin}((1 / 2) * k0 * \text{height_rec}) / ((1 / 2) * k0 * \text{height_rec})$$

For Th = 0 To 180

$$\text{Thr} = \text{Th} * \text{Pi} / 180$$

$$\text{Arg1} = (1 / 2) * k0 * \text{height_rec} * \text{Sin}(\text{Thr})$$

$$\text{Arg2} = (1 / 2) * k0 * \text{Width_rec} * \text{Cos}(\text{Thr})$$

If Arg1 = 0 Then

$$\text{Sinc1} = 1$$

Else

$$\text{Sinc1} = \text{Sin}(\text{Arg1}) / \text{Arg1}$$

End If

If Arg2 = 0 Then

$$\text{Sinc2} = 1$$

Else

$$\text{Sinc2} = \text{Sin}(\text{Arg2}) / \text{Arg2}$$

End If

$$\text{Ephval} = \text{Sin}(\text{Thr}) * \text{Sinc1} * \text{Sinc2} / \text{Ephmax}$$

If Ephval < 0.031622776 Then

$$\text{Eph}(\text{Th}) = -30$$

Else

$$\text{Eph}(\text{Th}) = 20 * \text{Log10}(\text{Ephval})$$

End If

Next Th

$$\text{Max} = \text{Eph}(0)$$

$$\text{Max1} = \text{Eph}(0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n = 0

Min = Eph(0)

Min1 = Eph(0)

For Th = 0 To 180

If Eph(Th) > Max Then

If Eph(Th) > Max Then

Max = Eph(Th)

k = Th

Else

Max1 = Eph(Th)

End If

Else

If Max1 > Max Then

Max = Max1

k = Th

Else

Max1 = Eph(Th)

End If

End If

If Eph(Th) < Min1 Then

If Eph(Th) < Min Then

Min = Eph(Th)

n = Th

Else

Min1 = Eph(Th)

End If

Else

If Min1 < Min Then

Min = Min1

n = Th

Else

Min1 = Eph(Th)

End If

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End If

Next Th

span = Max - Min

If span > 30# Then

span = 30#

Min = Max - 30#

End If

For Th = 0 To 179

If (Max - Eph(Th)) > 30# Then

Eph(Th) = Max - 30#

End If

Next Th

For Th = 1 To 179

g = (Eph(Th - 1#) - Min) + (30# - span)

xp = (1# / 30#) * 230# * g * Sin((90 - (Th - 1)) * Pi / 180)

yp = (1# / 30#) * 230# * g * Cos((90 - (Th - 1)) * Pi / 180)

e(Th) = Cx - (CInt(xp))

f(Th) = Cy - (CInt(yp))

If Th = 1 Then

Picture1.Line (e(359), f(359))-(e(0), f(0)), QBColor(9)

Else

Picture1.Line (e(Th - 1), f(Th - 1))-(e(Th), f(Th)), QBColor(9)

End If

Next Th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Picture1.CurrentX = 610

Picture1.CurrentY = 400

Picture1.Print Max

Picture1.CurrentX = 631

Picture1.CurrentY = 5

Picture1.Print Max

Picture1.CurrentX = 619

Picture1.CurrentY = 35

Picture1.Print k

Picture1.CurrentX = 624

Picture1.CurrentY = 65

Picture1.Print Min

Picture1.CurrentX = 619

Picture1.CurrentY = 95

Picture1.Print n

End Sub

Sub PrintHeader(header As String)

Printer.CurrentX = Printer.ScaleLeft

Printer.Print Date\$;

Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(header)) / 2

Printer.Print header

pageNumber = "Page: " + Format\$(Printer.Page, "###")

Printer.CurrentX = Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(pageNumber)

Printer.Print pageNumber

Printer.Print

End Sub

Sub PrintFooter()

Printer.Print

pageNumber - "Page: " + Format\$(Printer.Page, "###")

Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(pageNumber)) / 2

Printer.Print pageNumber;

Printer.NewPage

End Sub

Private Sub mnuPrintForm_Click()

PrintForm

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub cmdExit_Click()

End

End Sub

Private Sub cmdShowRad_Click()

Design.Hide

ChooseCoor.Show

End Sub

Private Sub mnuEnglish_Click()

mnuFont.Caption = "&Font "

mnuThai.Caption = "&Thai "

mnuEnglish.Caption = "&English "

Label1.Caption = " Microstrip Patch Antenna "

Label2.Caption = " frequency (fr) "

Label3.Caption = " Dielectric constant of the substrate "

Label4.Caption = " height of the substrate (h) "

Label5.Caption = " Position of the recessed feed point (y0) "

Label6.Caption = " Input Impedance (Zin) "

Label7.Caption = " GHz "

Label8.Caption = " mm "

Label9.Caption = " mm "

Label10.Caption = " Ohm "

cmdShowResult.Caption = " Show Re&sult "

cmdShowParam.Caption = " Show &Parameters "

cmdShowRad.Caption = " Show Radiation &Pattern "

cmdExit.Caption = " E&xit "

End Sub

Private Sub mnuThai_Click()

mnuFont.Caption = " เปลี่ยน&ภาษา "

mnuThai.Caption = " ภาษา&ไทย "

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mnuEnglish.Caption = " ภาษา&อังกฤษ "

Label1.Caption = " สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป "

Label2.Caption = " ความถี่ใช้งาน (fr) "

Label3.Caption = " ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของฉนวน "

Label4.Caption = " ความสูงของฉนวน (h) "

Label5.Caption = " ตำแหน่งป้อนสัญญาณ (y0) "

Label6.Caption = " ความต้านทานอินพุท (Zin) "

Label7.Caption = " จิกะเฮิร์ตซ "

Label8.Caption = " มม. "

Label9.Caption = " มม. "

Label10.Caption = " โอห์ม "

cmdShowResult.Caption = " แสดง&ผลการออกแบบ "

cmdShowParam.Caption = " แสดง&พารามิเตอร์ของสายอากาศ "

cmdShowRad.Caption = " แสดง&เพทเทิร์นการ&แผ่กระจายคลื่น "

cmdExit.Caption = " &ออกจากโปรแกรม "

End Sub

Private Sub Text1_Change()

If Text1.Text = " " And Text2.Text = " " And Text3.Text = " " And Text4.Text = " " And Text5.Text =

cmdShowResult.Enabled = False

cmdShowParam.Enabled = False

cmdShowRad.Enabled = False

cmdExit.Enabled = True

Else

cmdShowResult.Enabled = True

cmdShowParam.Enabled = True

cmdShowRad.Enabled = True

cmdExit.Enabled = True

fr = Val(Text1.Text)

Er = Val(Text2.Text)

height_rec = Val(Text3.Text)

y0 = Val(Text4.Text)

Zin_lin = Val(Text5.Text)

End If

End Sub

Private Sub Text2_Change()

Call Text1_Change

End Sub

Private Sub Text3_Change()

Call Text1_Change

End Sub

Private Sub Text4_Change()

Call Text1_Change

End Sub

Private Sub Text5_Change()

Call Text1_Change

End Sub

Private Sub Text1_LostFocus()

If Val(Text1.Text) < 0 Then

Call Error

Text1.Text = ""

End If

End Sub

Private Sub Text2_LostFocus()

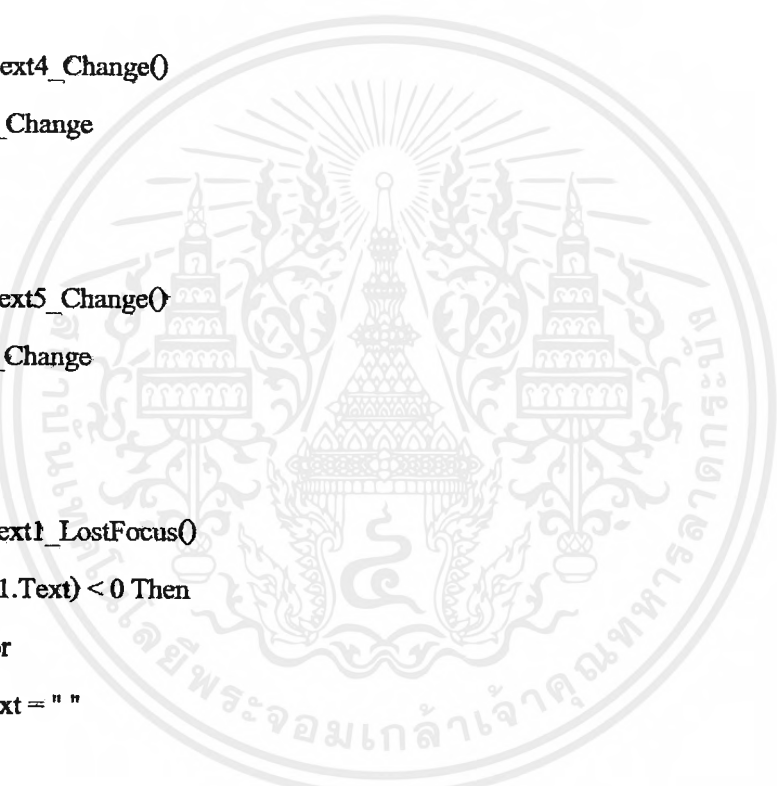
If Val(Text2.Text) < 0 Then

Call Error

Text2.Text = ""

End If

End Sub



```
If Val(Text3.Text) < 0 Then
```

```
    Call Error
```

```
    Text3.Text = " "
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text4_LostFocus()
```

```
    If Val(Text4.Text) < 0 Then
```

```
        Call Error
```

```
        Text4.Text = " "
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text5_LostFocus()
```

```
    If Val(Text5.Text) < 0 Then
```

```
        Call Error
```

```
        Text5.Text = " "
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Error()
```

```
    Beep
```

```
    MsgBox " Your value not right !! , It must greater than 0.", vbOKOnly, " Error "
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdShowResult_Click()
```

```
    Dim Xi As Single, Theta As Single
```

```
    Dim F1 As Single, F2 As Single
```

```
    Dim Res1 As Single, Res2 As Single
```

```
    Design.Hide
```

```
    Wavelength = c / fr
```

```
    Width_rec = (Wavelength / 2#) * Sqr(2# / (Er + 1))
```

```
    Ereff = ((Er + 1#) / 2#) + ((Er - 1#) / 2#) * (1# / Sqr(1# + (f2# * height_rec) / Width_rec))
```

```
    Wavelength_g = Wavelength / Sqr(Ereff)
```

```
    Delta_L = (0.412 * height_rec) * ((Ereff + 0.3) * ((Width_rec / _
```

$\text{height_rec} + 0.264) / ((\text{Ereff} - 0.258) * ((\text{Width_rec} / \text{height_rec}) + 0.8))$

$\text{Leff} = \text{Wavelength} / (2\# * \text{Sqr}(\text{Ereff}))$

$L = \text{Leff} - (2\# * \text{Delta_L})$

$k0 = 2\# * \text{Pi} / \text{Wavelength}$

$\text{Theta} = \text{Pi} / 180\#$

$\text{Res1} = 0$

$\text{Res2} = 0$

For I = 1 To 180

$\text{Xi} = I * \text{Pi} / 180$

$\text{F1} = \text{FN1}(\text{Xi})$

$\text{Res1} = \text{Res1} + \text{Theta} * \text{F1} * \text{Sin}(\text{Xi})$

$\text{F2} = \text{FN2}(\text{Xi})$

$\text{Res2} = \text{Res2} + \text{Theta} * \text{F2} * \text{Sin}(\text{Xi})$

Next I

$\text{G1} = \text{Res1} / (120\# * \text{Pi} \wedge 2)$

$\text{G12} = \text{Res2} / (120\# * \text{Pi} \wedge 2)$

$\text{Gin} = 2 * (\text{G1} + \text{G12})$

$\text{Rin_ant} = 1 / \text{Gin}$

$\text{Rin_y0} = \text{Rin_ant} * \text{Cos}((\text{Pi} * \text{y0}) / L) \wedge 2$

$\text{L0} = \text{Wavelength_g} / 2\#$

$\text{L1} = \text{Wavelength_g} / 4\#$

$\text{Zo1} = \text{Sqr}(\text{Zin_lin} * \text{Rin_ant})$

$\text{Zo0} = \text{Zin_lin}$

$w0 = \text{DetW}(\text{Zo0})$

$w1 = \text{DetW}(\text{Zo1})$

ShowResult.Show

ShowResult.Lbl_fr.Caption = Format(fr, "#00.00####")

ShowResult.Lbl_h.Caption = Format(height_rec, "#0.00####")

ShowResult.Lbl_Er.Caption = Format(Er, "#0.00####")

ShowResult.Lbl_Zin.Caption = Format(Zin_lin, "#00.00####")

ShowResult.Lbl_Zo0.Caption = Format(Zo0, "#00.000####")

ShowResult.Lbl_Zo1.Caption = Format(Zo1, "#00.00####")

```

ShowResult.Lbl_Zant.Caption = Format(Rin_ant, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_Zanty0.Caption = Format(Rin_y0, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_w0.Caption = Format(w0, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_w1.Caption = Format(w1, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_W.Caption = Format(Width_rec, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_L0.Caption = Format(L0, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_L1.Caption = Format(L1, "#0.00000")
ShowResult.Lbl_L.Caption = Format(L, "#0.00000")

```

End Sub

Private Sub cmdShowParam_Click()

```

Dim Theta As Single, Phi_Dir As Single
Dim Prad As Single, Umax As Single
Dim Xa As Single, Xb As Single
Dim F3 As Single, Ua As Single
Dim A As Integer, B As Integer
Wavelength = c / fr
Width_rec = (Wavelength / 2) * Sqr(2 / (Er + 1))
k0 = 2 * Pi / Wavelength
Ereff = ((Er + 1) / 2) + ((Er - 1) / 2) * (1 / Sqr(1 +
(12 * height_rec) / Width_rec))
Leff = Wavelength / (2 * Sqr(Ereff))

```

Design.Hide

ShowParameters.Show

'คำนวณ ไดเร็กทอรี

Theta = Pi / 180

Phi_Dir = Pi / 180

Prad = 0

Umax = 0

For A = 1 To 180

Xa = A * Pi / 180

เอกสารนี้เป็นเอกสารราชการ
For B = 1 To 180 รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Xb = B * \text{Pi} / 180$

$F3 = \text{Urect}(Xb, Xa)$

If $F3 > U_{\text{max}}$ Then

$U_{\text{max}} = F3$

End If

$Ua = \text{Theta} * \text{Phi_Dir} * F3 * \text{Sin}(Xb)$

$\text{Prad} = \text{Prad} + Ua$

Next B

Next A

$\text{Directivity} = 4 * \text{Pi} * U_{\text{max}} / \text{Prad}$

$\text{Directivity_dB} = 10 * \text{Log10}(\text{Directivity})$

$\text{ShowParameters.Lbl_Dir.Caption} = \text{Format}(\text{Directivity}, "##0.0000")$

$\text{ShowParameters.Lbl_DirdB.Caption} = \text{Format}(\text{Directivity_dB}, "##0.0000")$

' คำนำณ E - Plane HPBW

Dim I As Integer

Dim Phi As Single, Phir As Single

Dim Arg As Single, Sinc As Single

Dim Ethval As Single, Ehpbw As Single

For I = 1 To 901

$\text{Phi} = (I - 1) / 10$

$\text{Phir} = \text{Phi} * \text{Pi} / 180$

$\text{Arg} = (1 / 2) * k0 * \text{height_rec} * \text{Cos}(\text{Phir})$

If $\text{Arg} = 0$ Then

$\text{Sinc} = 1$

Else

$\text{Sinc} = \text{Sin}(\text{Arg}) / \text{Arg}$

End If

$\text{Ethval} = \text{Sinc} * \text{Cos}((1 / 2) * k0 * \text{Leff} * \text{Sin}(\text{Phir}))$

If $\text{Ethval} < 1 / \text{Sqr}(2)$ Then

$\text{Ehpbw} = \text{Phi}$

GoTo Place1

End If

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Next I

ShowParameters.Lbl_Ehpbw.Caption = Format(Ehpbw, "##0.0000")

'คำนวณ H- Plane-HPBW

Dim Th As Single, Thr As Single

Dim Arg1 As Single, Arg2 As Single

Dim Sinc1 As Single, Sinc2 As Single

Dim Ephval As Single, Hhpbw As Single

For I = 1 To 901

Th = 90 + (I - 1) / 10

Thr = Th * Pi / 180

Arg1 = (1 / 2) * k0 * height_rec * Sin(Thr)

Arg2 = (1 / 2) * k0 * Width_rec * Cos(Thr)

If Arg1 = 0 Then

Sinc1 = 1

Else

Sinc1 = Sin(Arg1) / Arg1

End If

If Arg2 = 0 Then

Sinc2 = 1

Else

Sinc2 = Sin(Arg2) / Arg2

End If

Ephval = Sin(Thr) * Sinc1 * Sinc2

If Ephval < 1 / Sqr(2) Then

Hhpbw = Th - 90

GoTo Place2

End If

Next I

ShowParameters.Lbl_Hhpbw.Caption = Format(Hhpbw, "##0.0000")

End Sub

Private Sub mnuBack_Click()

RecCoor.Hide

ChooseCoor.Show

End Sub

Private Sub mnuBoth_Click()

Call mnuEplane_Click

Call mnuHplane_Click

End Sub

Private Sub mnuNew_Click()

Call Form_Paint

End Sub

Private Sub mnuCircularCoor_Click()

RecCoor.Hide

CircularCoor.Show

End Sub

Private Sub Form_Paint()

Dim Cx As Single, Cy As Single

Dim Th As Integer, k As Integer

Picture1.Cls

Picture1.ScaleMode = 3

Cx = Picture1.ScaleWidth / 2

Cy = Picture1.ScaleHeight / 2

Picture1.Line (80, 5)-(80, 445)

Picture1.Line (80, 445)-(620, 445)

Th = -180

เอกสารนี้ $k=0$ สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For I = 80 To 620 Step 15

Picture1.Line (I, 440)-(I, 445)

If k Mod 3 = 0 Then

Picture1.CurrentX = I - 5

Picture1.CurrentY = 455

Picture1.Print Th

Picture1.Line (I, 445)-(I, 450)

Th = Th + 30

End If

k = k + 1

Next I

Th = 10

For I = 5 To 445 Step 88

Picture1.Line (75, I)-(80, I)

Picture1.CurrentX = 52

Picture1.CurrentY = I

Th = Th - 10

Picture1.Print Th

Next I

Picture1.CurrentX = 5

Picture1.CurrentY = 20

Picture1.Print " dB "

Picture1.CurrentX = 630

Picture1.CurrentY = 425

Picture1.Print " Degree "

Picture1.Line (520, 40)-(550, 40), QBColor(12)

Picture1.CurrentX = 555

Picture1.CurrentY = 25

Picture1.Print " H - Plane "

Picture1.CurrentX = 510

Picture1.CurrentY = 70

Picture1.Print " Maximum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 520

Picture1.CurrentY = 100

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.CurrentX = 510

Picture1.CurrentY = 130

Picture1.Print " Minimum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 520

Picture1.CurrentY = 160

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.Line (520, 230)-(550, 230), QBColor(9)

Picture1.CurrentX = 555

Picture1.CurrentY = 215

Picture1.Print " E - Plane "

Picture1.CurrentX = 510

Picture1.CurrentY = 245

Picture1.Print " Maximum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 520

Picture1.CurrentY = 275

Picture1.Print " At Degree "

Picture1.CurrentX = 510

Picture1.CurrentY = 305

Picture1.Print " Minimum Power = dBm "

Picture1.CurrentX = 520

Picture1.CurrentY = 335

Picture1.Print " At Degree "

End Sub

Private Sub mnuEplane_Click()

Dim Phi As Single, Phir As Single

Dim Arg As Single, Sinc As Single

Dim Eth(0 To 361) As Single

Dim Ethval As Single, Ethmax As Single

Dim Max As Single, MaxI As Single

Dim Min As Single, MinI As Single

Dim dmx As Single, dmn As Single

Dim span As Single

Wavelength = c / fr

Width_rec = (Wavelength / 2) * Sqr(2 / (Er + 1))

Ereff = ((Er + 1) / 2) + ((Er - 1) / 2) * (1 / Sqr(1 + (12 * height_rec) / Width_rec))

Delta_L = (0.412 * height_rec) * ((Ereff + 0.3) * ((Width_rec / height_rec) + 0.264)) / ((Ereff - 0.258) * ((Width_rec / height_rec) + 0.8))

Leff = Wavelength / (2 * Sqr(Ereff))

L = Leff - (2 * Delta_L)

k0 = 2 * Pi / Wavelength

Ethmax = Sin((1 / 2) * k0 * height_rec) / ((1 / 2) * k0 * height_rec)

For Phi = 0 To 360

Phir = Phi * Pi / 180

If Phi > 90 And Phi < 270 Then

Eth(Phi) = -50

Else

Arg = (1 / 2) * k0 * height_rec * Cos(Phir)

If Arg = 0 Then

Sinc = 1

Else

Sinc = Sin(Arg) / Arg

End If

Ethval = Sinc * Cos((1 / 2) * k0 * Leff * Sin(Phi)) / Ethmax

level = 20 * Log10(Ethval)

If level < -30 Then

Eth(Phi) = -30

Else

Eth(Phi) = level

End If

End If

Next Phi

Max = Eth(0)

Max1 = Eth(0)

Min = Eth(0)

Min1 = Eth(0)

dmx = 0

dmin = 0

For Phi = 1 To 359

If Eth(Phi) > Max1 Then

If Eth(Phi) > Max Then

Max = Eth(Phi)

dmx = Phi

Else

Max1 = Eth(Phi)

End If

Else

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ If Max1 > Max Then านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Max = Max1
dmx = Phi
Else
Max1 = Eth(Phi)
End If
End If

If Eth(Phi) < Min1 Then
If Eth(Phi) < Min Then
Min = Eth(Phi)
dmn = Phi
Else
Min1 = Eth(Phi)
End If
Else
If Min1 < Min Then
Min = Min1
dmn = Phi
Else
Min1 = Eth(Phi)
End If
End If

Next Phi

span = 50
Phi = 0

For Phi = 0 To 360
Eth(Phi) = Eth(Phi) - Max
If Eth(Phi) < -50 Then
Eth(Phi) = -50
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eth(Phi) = ((Eth(Phi) + 50) / span) * 440

Next Phi

For Phi = 0 To 180

Picture1.Line (CInt(1.5 * (Phi + 180)) + 80, CInt(445 - Eth(Phi))) _
-(CInt(1.5 * (Phi + 181)) + 80, CInt(445 - Eth(Phi + 1))), QBColor(9)

Next Phi

For Phi = 180 To 359

Picture1.Line (CInt(1.5 * (Phi - 180)) + 80, CInt(445 - Eth(Phi))) _
-(CInt(1.5 * (Phi - 179)) + 80, CInt(445 - Eth((Phi + 1) Mod 360))), QBColor(9)

Next Phi

Picture1.CurrentX = 635

Picture1.CurrentY = 245

Picture1.Print Max

Picture1.CurrentX = 600

Picture1.CurrentY = 275

Picture1.Print dmx

Picture1.CurrentX = 630

Picture1.CurrentY = 305

Picture1.Print Min

Picture1.CurrentX = 600

Picture1.CurrentY = 335

Picture1.Print dmn

End Sub

Private Sub mnuHplane_Click()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim Arg1 As Single, Arg2 As Single

Dim Sinc1 As Single, Sinc2 As Single

Dim Th As Integer, Thr As Single

Dim Max As Single, Max1 As Single

Dim Min As Single, Min1 As Single

Dim dmx As Single, dmn As Single

Dim span As Single

Wavelength = c / fr

k0 = 2 * Pi / Wavelength

Width_rec = (Wavelength / 2) * Sqr(2 / (Er + 1))

Ephmax = Sin((1 / 2) * k0 * height_rec) / ((1 / 2) * k0 * height_rec)

For Th = 0 To 180

Thr = Th * Pi / 180

Arg1 = (1 / 2) * k0 * height_rec * Sin(Thr)

Arg2 = (1 / 2) * k0 * Width_rec * Cos(Thr)

If Arg1 = 0 Then

Sinc1 = 1

Else

Sinc1 = Sin(Arg1) / Arg1

End If

If Arg2 = 0 Then

Sinc2 = 1

Else

Sinc2 = Sin(Arg2) / Arg2

End If

Ephval = Sin(Thr) * Sinc1 * Sinc2 / Ephmax

If Ephval < 0.0316227766 Then

Eph(Th) = -30

Else

$Eph(Th) = 20 * \text{Log}_{10}(Ephval)$

End If

Next Th

Max = Eph(0)

Max1 = Eph(0)

Min = Eph(0)

Min1 = Eph(0)

dmx = 0

dmin = 0

For Th = 1 To 179

If Eph(Th) > Max1 Then

If Eph(Th) > Max Then

Max = Eph(Th)

dmx = Th

Else

Max1 = Eph(Th)

End If

Else

If Max1 > Max Then

Max = Max1

dmx = Th

Else

Max1 = Eph(Th)

End If

End If

If Eph(Th) < Min1 Then

If Eph(Th) < Min Then

Min = Eph(Th)

dmin = Th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Else

Min1 = Eph(Th)

End If

Else

If Min1 < Min Then

Min = Min1

dmm = Th

Else

Min1 = Eph(Th)

End If

End If

Next Th

span = 50

Th = 0

For Th = 0 To 180

Eph(Th) = Eph(Th) - Max

If Eph(Th) < -50 Then

Eph(Th) = -50

End If

Eph(Th) = ((Eph(Th) + 50) / span) * 440

Next Th

For Th = 0 To 180

Picture1.Line (CInt(1.5 * (Th + 90) + 80), CInt(445 - Eph(Th))) _

-(CInt(1.5 * (Th + 91) + 80), CInt(445 - Eph(Th + 1))), QBColor(12)

Next Th

For Th = 180 To 181

Picture1.Line (CInt(1.5 * (Th - 90) + 80), CInt(445 - Eph(Th))) _

-(CInt(1.5 * (Th - 89) + 80), CInt(445 - Eph((Th + 1) Mod 360))), QBColor(12)

Next Th

Picture1.CurrentX = 635

Picture1.CurrentY = 70

Picture1.Print Max

Picture1.CurrentX = 600

Picture1.CurrentY = 100

Picture1.Print dmx

Picture1.CurrentX = 630

Picture1.CurrentY = 130

Picture1.Print Min

Picture1.CurrentX = 600

Picture1.CurrentY = 160

Picture1.Print dmn

End Sub

Sub PrintHeader(header As String)

Printer.CurrentX = Printer.ScaleLeft

Printer.Print Date\$;

Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(header)) / 2

Printer.Print header

pageNumber = "Page: " + Format\$(Printer.Page, "###")

Printer.CurrentX = Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(pageNumber)

Printer.Print pageNumber

Printer.Print

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sub PrintFooter()

Printer.Print

pageNumber = "Page: " + Format\$(Printer.Page, "###")

Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(pageNumber)) / 2

Printer.Print pageNumber;

Printer.NewPage

End Sub

Private Sub mnuPrintForm_Click()

PrintForm

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdBack_Click()
```

```
    ShowParameters.Hide
```

```
    Design.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuEnglish_Click()
```

```
    mnuFont.Caption = " &Font "
```

```
    mnuEnglish.Caption = " &English "
```

```
    mnuThai.Caption = " &Thai "
```

```
    mnuFile.Caption = " Fi&le "
```

```
    mnuPrintForm.Caption = " Print For&m "
```

```
    mnuPrintGraphics.Caption = " Print &Graphics "
```

```
    mnuBack.Caption = " &Back "
```

```
Label1.Caption = " Parameters "
```

```
Label2.Caption = " Directivity ( dimensionless ) "
```

```
Label3.Caption = " Directivity "
```

```
Label4.Caption = " E - Plane HPBW "
```

```
Label5.Caption = " H - Plane HPBW "
```

```
Label10.Caption = " dB "
```

```
Label11.Caption = " in degrees "
```

```
Label12.Caption = " in degrees "
```

```
cmdBack.Caption = " << &Back "
```

```
Label6.Caption = " Date Design "
```

```
Label7.Caption = " Time Design "
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuThai_Click()
```

```
    mnuFont.Caption = " เปลี่ยน&ภาษา "
```

```
    mnuEnglish.Caption = " ภาษา&อังกฤษ "
```

```
    mnuThai.Caption = " ภาษา&ไทย "
```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mnuFile.Caption = "ไฟล์"  
mnuPrintForm.Caption = "พิมพ์&ผล"  
mnuPrintGraphics.Caption = "พิมพ์&กราฟ&พีค"  
mnuBack.Caption = "&กลับ"
```

```
Label1.Caption = "พารามิเตอร์ของสายอากาศ"
```

```
Label2.Caption = "ไดเรกต์วิที"
```

```
Label3.Caption = "ไดเรกต์วิที"
```

```
Label4.Caption = "E - Plane HPBW"
```

```
Label5.Caption = "H - Plane HPBW"
```

```
Label10.Caption = "เดซิเบล"
```

```
Label11.Caption = "องศา"
```

```
Label12.Caption = "องศา"
```

```
cmdBack.Caption = "<< &กลับ"
```

```
Label6.Caption = "วันที่ออกแบบ"
```

```
Label7.Caption = "เวลาที่ออกแบบ"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Dim MyDate As String
```

```
Dim MyTime As String
```

```
MyDate = Format(Now, "dd/mm/yy")
```

```
MyTime = Format(Now, "hh:mm:ss")
```

```
Text1.Text = MyDate
```

```
Text2.Text = MyTime
```

```
End Sub
```

```
Sub PrintHeader(header As String)
```

```
Printer.CurrentX = Printer.ScaleLeft
```

```
Printer.Print Date$;
```

```
Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth(header)) / 2
```

```
Printer.Print header
```

```
pageNumber = "Page: " + Format$(Printer.Page, "###").
```

```
Printer.CurrentX = Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth _  
    (pageNumber)
```

```
Printer.Print pageNumber
```

```
Printer.Print
```

```
End Sub
```

```
Sub PrintFooter()
```

```
Printer.Print
```

```
pageNumber = "Page: " + Format$(Printer.Page, "###")
```

```
Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth _  
    (pageNumber)) / 2
```

```
Printer.Print pageNumber;
```

```
Printer.NewPage
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuBack_Click()
```

```
ShowParameters.Hide
```

```
Design.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuPrintForm_Click()
```

```
PrintForm
```

```
End Sub
```

Private Sub cmdBack_Click()

ShowResult.Hide

Design.Show

End Sub

Private Sub mnuEnglish_Click()

mnuFont.Caption = " &Font "

mnuThai.Caption = " &Thai "

mnuEnglish.Caption = " &English "

mnuFile.Caption = " Fi&le "

mnuPrintForm.Caption = " Print For&m "

mnuPrintGraphics.Caption = " Print &Graphics "

mnuBack.Caption = " &Back "

Label6.Caption = " Date Design "

Label7.Caption = " Time Design "

ShowResult.Caption = " Result "

Label1.Caption = " Microstrip Patch Antenna "

Label2.Caption = " frequency (fr) "

Label3.Caption = " height of substrate (h) "

Label4.Caption = " Dielectric Constant of Substrate "

Label5.Caption = " Input Impedance (Zin) "

Label10.Caption = " GHz "

Label11.Caption = " mm. "

Label12.Caption = " Ohm "

Label13.Caption = " Characteristic Impedance (Zo0) "

Label14.Caption = " Characteristic Impedance (Zo1) "

Label15.Caption = " Antenna Impedance "

Label16.Caption = " Antenna Impedance at Recessed Feed "

Label17.Caption = " Width of microstrip line (w0) "

Label18.Caption = " Width of microstrip line (w1) "

Label19.Caption = " Width of antenna (W) "

Label20.Caption = " Length of microstrip line (L0) "

Label21.Caption = " Length of microstrip line (L1) "

Label22.Caption = " Length of antenna (L) "

Label33.Caption = " Ohm "

Label34.Caption = " Ohm "

Label35.Caption = " Ohm "

Label36.Caption = " Ohm "

Label37.Caption = " mm. "

Label38.Caption = " mm. "

Label39.Caption = " mm. "

Label40.Caption = " mm. "

Label41.Caption = " mm. "

Label42.Caption = " mm. "

Label44.Caption = " Input "

Label45.Caption = " Output "

Label43.Caption = " Top View "

Label56.Caption = " Side View "

cmdBack.Caption = " << &Back "

End Sub

Private Sub mnuThai_Click()

mnuFont.Caption = " เปลี่ยน&ภาษา "

mnuThai.Caption = " ภาษา&ไทย "

mnuEnglish.Caption = " ภาษา&อังกฤษ "

mnuFile.Caption = " &ไฟล์ "

mnuPrintForm.Caption = " พิมพ์&ผล "

mnuPrintGraphics.Caption = " พิมพ์&กราฟ&ฟิก "

mnuBack.Caption = " &กลับ "

Label6.Caption = " วันที่ออกแบบ "

Label7.Caption = " เวลาที่ออกแบบ "

ShowResult.Caption = " แสดงผลลัพธ์ "

Label1.Caption = " สายอากาศแผ่นแบบ ไมโครสตริป "

Label2.Caption = " ความถี่ที่ใช้งาน (fr) "

Label3.Caption = " ความสูงของชั้นสเตรท (h) "

Label4.Caption = " ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของชั้นสเตรท "

Label5.Caption = " ความต้านทานอินพุท (Zin) "

Label10.Caption = " จิกะเฮิร์ต "

Label11.Caption = " มม. "

Label12.Caption = " โอห์ม "

Label13.Caption = " ความต้านทานสายไมโครสตริป (Zo0) "

Label14.Caption = " ความต้านทานสายไมโครสตริป (Zo1) "

Label15.Caption = " ความต้านทานสายอากาศ (Zant) "

Label16.Caption = " ความต้านทานสายอากาศ วัดจากขอบกึ่งกลาง
เข้าไปในเฟิร์ท "

Label17.Caption = " ความกว้างสายไมโครสตริป (w0) "

Label18.Caption = " ความกว้างสายไมโครสตริป (w1) "

Label19.Caption = " ความกว้างสายอากาศ (W) "

Label20.Caption = " ความยาวสายไมโครสตริป (L0) "

Label21.Caption = " ความยาวสายไมโครสตริป (L1) "

Label22.Caption = " ความยาวสายอากาศ (L) "

Label33.Caption = " โอห์ม "

Label34.Caption = " โอห์ม "

Label35.Caption = " โอห์ม "

Label36.Caption = " โอห์ม "

Label37.Caption = " มม. "

Label38.Caption = " มม. "

Label39.Caption = " มม. "

Label40.Caption = " มม. "

Label41.Caption = " มม. "

Label42.Caption = " มม. "

Label44.Caption = " ค่าที่ป้อน "

Label45.Caption = " ผลลัพธ์ที่ได้ "

Label43.Caption = " ด้านบน "

Label56.Caption = " ด้านข้าง "

cmdBack.Caption = " << &กลับ "

End Sub

Private Sub Form_Load()

Dim MyStr As String

Dim MyTime As String

MyStr = Format(Now, " dddd d mmmm yyyy ")

Text1.Text = MyStr

MyTime = Format(Now, " hh:mm:ss ")

Text2.Text = MyTime

End Sub

Sub PrintHeader(header As String)

Printer.CurrentX = Printer.ScaleLeft

Printer.Print Date\$;

Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth _
(header)) / 2

Printer.Print header

pageNumber = "Page: " + Format\$(Printer.Page, "###")

Printer.CurrentX = Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth _
(pageNumber)

Printer.Print pageNumber

Printer.Print

เอกสาร End Sub เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sub PrintFooter()

Printer.Print

pageNumber - "Page: " + Format\$(Printer.Page, "###")

Printer.CurrentX = (Printer.ScaleWidth - Printer.TextWidth _
(pageNumber)) / 2

Printer.Print pageNumber;

Printer.NewPage

End Sub

Private Sub mnuBack_Click()

ShowResult.Hide

Design.Show

End Sub

Private Sub mnuPrintForm_Click()

PrintForm

End Sub



Private Sub cmdEntrance_Click()

Title.Hide

Design.Show

End Sub



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Public Function Log10(P As Single) As Single

Log10 = Log(P) / Log(10)

End Function

' Function of Directivity

Public Function Urect(ByVal x1 As Single, ByVal x2 As Single) As Single

Dim Sinc1 As Single, Sinc2 As Single

Dim Arg1 As Single, Arg2 As Single, Arg3 As Single

Arg1 = (1 / 2) * k0 * height_rec * Sin(x1) * Cos(x2)

Arg2 = (1 / 2) * k0 * Width_rec * Cos(x1)

Arg3 = (1 / 2) * k0 * Leff * Sin(x1) * Sin(x2)

If Abs(Arg1) < Tol Then

Sinc1 = 1

Else

Sinc1 = Sin(Arg1) / Arg1

End If

If Abs(Arg2) < Tol Then

Sinc2 = 1

Else

Sinc2 = Sin(Arg2) / Arg2

End If

Urect = (Sinc1 ^ 2) * (Sinc2 ^ 2) * Sin(x1) ^ 2 * Cos(Arg3) ^ 2

End Function

' กำหนดฟังก์ชันเป็น FN1 เพื่อใช้ในการอินทิเกรต

Public Function FN1(Th1 As Single) As Single

Dim Si1 As Single, Ar1 As Single

Ar1 = (1 / 2) * k0 * Width_rec * Cos(Th1)

If Abs(Ar1) < Tol Then

เอกสารนี้เป็นเอกสาร Si1 = 1 ใช้งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Else

$$Si1 = \sin(Ar1) / Ar1$$

End If

$$FN1 = (k0 * Width_rec / 2) ^ 2 * Si1 ^ 2 * \sin(Th1) ^ 2$$

End Function

' กำหนดฟังก์ชันเป็น FN2 เพื่อใช้ในการอินทิเกรต

Public Function FN2(Th2 As Single) As Single

Dim Si2 As Single, Ar2 As Single

$$Ar2 = (1 / 2) * k0 * Width_rec * \cos(Th2)$$

If Abs(Ar2) < Tol Then

$$Si2 = 1$$

Else

$$Si2 = \sin(Ar2) / Ar2$$

End If

$$FN2 = (k0 * Width_rec / 2) ^ 2 * Si2 ^ 2 * \sin(Th2) ^ 2 * \text{BessJ0}(k0 * L * \sin(Th2))$$

End Function

' เมสเสลฟังก์ชันที่ J0

Public Function BessJ0(x0 As Single) As Single

Dim Y As Single, Ax As Single, Z0 As Single, XX As Single

Dim A1 As Single, A2 As Single, A3 As Single, A4 As Single, A5 As Single

Dim B1 As Single, B2 As Single, B3 As Single, B4 As Single, B5 As Single

Dim C1 As Single, C2 As Single, C3 As Single, C4 As Single, C5 As Single

Dim C6 As Single, C7 As Single, C8 As Single, C9 As Single, C10 As Single

Dim C11 As Single, C12 As Single, C13 As Single, C14 As Single

Const P1 = 1

Const P2 = -0.001098628627

Const P3 = 0.00002734510407

Const P4 = -0.000002073370639

Const P5 = 0.0001430488765

Const Q1 = -0.01562499995

Const Q2 = 0.0001430488765

Const Q3 = -0.000006911147651

Const Q4 = 7.621095161E-07

Const Q5 = -9.34945152E-08

Const R1 = 57568490574#

Const R2 = -13362590354#

Const R3 = 651619640.7

Const R4 = -11214424.18

Const R5 = 77392.33017

Const R6 = -184.9052456

Const S1 = 57568490411#

Const S2 = 1029532985

Const S3 = 9494680.718

Const S4 = 59272.64853

Const S5 = 8532712

Const S6 = 1

If Abs(x0) < 8 Then

Y = x0 ^ 2

A1 = R5 + Y * R6

A2 = R4 + Y * A1

A3 = R3 + Y * A2

A4 = R2 + Y * A3

A5 = R1 + Y * A4

B1 = S5 + Y * S6

B2 = S4 + Y * B1

B3 = S3 + Y * B2

B4 = S2 + Y * B3

B5 = S1 + Y * B4

BessJ0 = A5 / B5

Else

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $Ax = Abs(x0)$ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z0 = 8 / Ax$$

$$Y = Z0^2$$

$$XX = Ax - 0.785398164$$

$$C1 = \text{Sqr}(0.636619772 / Ax)$$

$$C2 = \text{Cos}(XX)$$

$$C3 = P4 + Y * P5$$

$$C4 = P3 + Y * C3$$

$$C5 = P2 + Y * C4$$

$$C6 = P1 + Y * C5$$

$$C7 = Z0 * \text{Sin}(XX)$$

$$C8 = Q4 + Y * Q5$$

$$C9 = Q3 + Y * C8$$

$$Q10 = Q2 + Y * C9$$

$$Q11 = Q1 + Y * C10$$

$$C12 = C1 * C2$$

$$C13 = C12 * C6$$

$$C14 = C7 * C11$$

$$\text{BessJ0} = C13 - C14$$

End If

End Function

Public Function DetW(Zo As Single) As Single

Dim Aw As Single, Bw As Single, Cw As Single

$$Aw = (Zo / 60) * (\text{Sqr}((Er + 1) / 2) + ((Er - 1) / (Er + 1)) * _ \\ (0.23 + 0.11 / Er))$$

$$Bw = Zo * \text{Sqr}(Ereff)$$

If Aw > 1.52 And Bw > 89.91 Then

$$\text{DetW} = (8 * \text{height_rec} * \text{Exp}(Aw)) / (\text{Exp}(2 * Aw) - 2)$$

Elseif Aw < 1.52 And Bw < 89.91 Then

$$Cw = (377 * \text{Pi}) / (2 * Zo * \text{Sqr}(Er))$$

$$\text{DetW} = (1 / \text{Pi}) * 2 * \text{height_rec} * (Cw - 1 - \text{Log}(2 * Cw - 1)) _ \\ + ((Er - 1) / (2 * Er)) * (\text{Log}(Cw - 1) + 0.39 - 0.61 / Er)$$

End If

End Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global fr As Single

Global Er As Single

Global height_rec As Single

Global y0 As Single

Global Width_rec As Single

Global w0 As Single

Global w1 As Single

Global L As Single

Global L0 As Single

Global L1 As Single

Global Leff As Single

Global Ereff As Single

Global Delta_L As Single

Global Wavelength As Single

Global Wavelength_g As Single

Global Rin_ant As Single

Global Rin_y0 As Single

Global Zo As Single

Global Zo0 As Single

Global Zo1 As Single

Global Zin_lin As Single

Global Gin As Single

Global G1 As Single

Global G12 As Single

Global k0 As Single

Global Directivity As Single

Global Directivity_dB As Single

Global Const Tol = $1 * 10^{-6}$

Global Const c = 300

Global Const-Pi = 3.141592654



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RT/duroid® 5880
Glass Microfiber Reinforced
Polytetrafluoroethylene Composite

RT/duroid® 5880 glass microfiber reinforced PTFE composite is designed for exacting stripline and microstrip circuit applications.

Glass reinforcing microfibers are randomly oriented to maximize benefits of fiber reinforcement in the directions most valuable to circuit producers and in the final circuit application.

The dielectric constant of RT/duroid 5880 laminates is uniform from panel to panel and is constant over a wide frequency range. Its low dissipation factor extends the usefulness of RT/duroid 5880 to Ku-band and above.

RT/duroid 5880 laminate is easily cut, sheared and machined to shape. It has excellent dimensional stability and is resistant to all solvents and reagents, hot or cold, normally used in etching printed circuits or in plating edges and holes.

Normally supplied as a laminate with electrodeposited copper of 1/4 to 2 ounces/ft.² on both sides, RT/duroid 5880 composites can also be clad with rolled copper foil for more critical electrical applications. Cladding with aluminum, copper or brass plate may also be specified.

When requested copper-clad, RT/duroid 5880 composite can be certified to MIL-S-13949 Type GRN or Type GPN microwave material specifications.

When ordering RT/duroid 5880 laminates, it is important to specify dielectric thickness, tolerance, rolled or electrodeposited copper foil, and weight of copper foil required.

(See reverse for product data)



RT / duroid® 5880
Glass Microfiber Reinforced
Polytetrafluoroethylene Composite

RT/duroid® 5880 glass microfiber reinforced PTFE composite is designed for exacting stripline and microstrip circuit applications.

Glass reinforcing microfibers are randomly oriented to maximize benefits of fiber reinforcement in the directions most valuable to circuit producers and in the final circuit application.

The dielectric constant of RT/duroid 5880 laminates is uniform from panel to panel and is constant over a wide frequency range. Its low dissipation factor extends the usefulness of RT/duroid 5880 to Ku-band and above.

RT/duroid 5880 laminate is easily cut, sheared and machined to shape. It has excellent dimensional stability and is resistant to all solvents and reagents, hot or cold, normally used in etching printed circuits or in plating edges and holes.

Normally supplied as a laminate with electrodeposited copper of 1/4 to 2 ounces/ft.² on both sides, RT/duroid 5880 composites can also be clad with rolled copper foil for more critical electrical applications. Cladding with aluminum, copper or brass plate may also be specified.

When requested copper-clad, RT/duroid 5880 composite can be certified to MIL-S-13949 Type GRN or Type GPN microwave material specifications.

When ordering RT/duroid 5880 laminates, it is important to specify dielectric thickness, tolerance, rolled or electrodeposited copper foil, and weight of copper foil required.

(See reverse for product data)

PROPERTY	TEST METHOD	CONDITION	UNITS[1]	DIRECTION	TYPICAL VALUE[2]
Dielectric constant, ε _r	IMHz IPC-TM-650, 2.5, 5.3 10GHz, IPC-TM-650, 2.5, 5.5 IMHz IPC-TM-650, 2.5, 5.3 10GHz, IPC-TM-650, 2.5, 5.5	C 24/23/50 C 24/23/50 C 24/23/50 C 24/23/50	—	Z	2.20
				Z	2.20 ± 0.02 (± 0.01 available)
				Z	0.0004
				Z	0.0009
Dissipation factor, tan δ	IPC-TM-650, 2.5, 17.1 IPC-TM-650, 2.5, 17.1	C96/35/90 C96/35/90	Mohm cm Mohm	Z	2 × 10 ⁴
				X, Y	3 × 10 ⁴
Volume resistivity	IPC-TM-650, 2.5, 17.1 IPC-TM-650, 2.5, 17.1	C96/35/90 C96/35/90	Mohm cm Mohm	Z	2 × 10 ⁴
				X, Y	3 × 10 ⁴
Surface resistivity	IPC-TM-650, 2.5, 17.1 IPC-TM-650, 2.5, 17.1	C96/35/90 C96/35/90	Mohm cm Mohm	Z	2 × 10 ⁴
				X, Y	3 × 10 ⁴
Tensile modulus	ASTM D638	A	MPa (kpsi)	X	1070 (156)
				Y	860 (125)
Ultimate stress	ASTM D638	A	MPa (kpsi)	X	29 (4.2)
				Y	27 (3.9)
Ultimate strain	ASTM D638	A	%	X	6.0
				Y	4.9
Compressive modulus	AST D695	A	MPa (kpsi)	X	710 (103)
				Y	710 (103)
Ultimate stress	AST D695	A	MPa (kpsi)	Z	940 (136)
				X	27 (3.9)
Ultimate strain	AST D695	A	%	Y	21 (3.1)
				Z	52 (7.5)
Deformation under load	ASTM D621	24 hr/14MPa (2 kpsi)	%	X	8.5
				Y	7.7
Water absorption	ASTM D570	D 24/23	mg (%) mg (%)	Z	12.5
				X	17.6
Specific gravity	ASTM D792	1.82MPa (264 psi)	—	Z	1.0
				X, Y	0.9 (0.02) 1.3 (0.015)
Heat distortion temperature	ASTM D648	Calculated	°C (°F)	X, Y	22
				Z	>260 (>500)
Specific heat	Rogers TR2721	Calculated	J/g(K)(BTU/lb°F)	Z	0.96 (0.23)
				X, Y	0.26 (1.8)
Thermal conductivity	ASTM D3386	-100°C 15	W/m(K)(BTU/ft²hr°F)	Z	0.26 (1.8)
				25	0.26 (1.8)
Thermal expansion	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	X	3.8
				15	3.8
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Y	5.5
				25	5.5
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Z	69.5
				15	69.5
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	X	6.1
				15	6.1
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Y	-18.7
				15	-18.7
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Z	-0.9
				15	-0.9
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	X	-0.5
				15	-0.5
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Y	1.1
				15	1.1
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Z	8.7
				15	8.7
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	X	2.3
				15	2.3
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Y	3.2
				15	3.2
Base temperature of 35°C	ASTM D3386	(10 K/min.)	mm/m	Z	5.5
				15	5.5

The above information is not intended to and does not create any warranties, express or implied, including the warranty of merchantability or fitness for a particular purpose. Use of RT/duroid microwave laminate in your particular application may yield different results.

These reports may require a validated export license issued by the U.S. Department of Commerce for export of these materials from the United States or Canada.

RT/duroid is a registered trademark of Rogers Corporation for its microwave laminates.

© 2015 Rogers Corporation. All rights reserved. Rogers Corporation, Rogers, the Rogers logo, and the Rogers logo with "R" inside a circle are trademarks of Rogers Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

IPC-TM-650, 2.5, 17.1, 2024, 2534, 1415 were all at 23°C unless otherwise noted.

IPC-TM-650, 2.5, 17.1, 2024, 2534, 1415 values should not be used for specification limits.

ROGERS CORPORATION
 Microwave and Circuit Materials Division, 100 S. Roseville Avenue, Chandler, AZ 85226-3415 602.961.1382 Fax 602.961.4533
 Printed in U.S.A.

ROGERS CORPORATION
 Microwave and Circuit Materials Division, 100 S. Roseville Avenue, Chandler, AZ 85226-3415 602.961.1382 Fax 602.961.4533
 Printed in U.S.A.

RO4003™ High Frequency Material Insertion Loss Comparison With Other Material Types

Microwave circuits require substrate materials that have tight control of dielectric constant as well as low loss. Materials that meet these requirements traditionally have been priced much higher than conventional epoxy/glass boards. The emergence of the commercial microwave market has brought about a strong need to balance performance, manufacturability and cost. The introduction of Rogers RO4003™ High Frequency Material bridges the gap by providing tight control on dielectric constant, and low loss, while processing the same as standard epoxy/glass at a fraction of the cost of conventional microwave laminates. RO4003 is a proprietary woven glass reinforced hydrocarbon/ceramic with the electrical performance of PTFE/woven glass and the manufacturability of epoxy/glass.

An evaluation of insertion loss for a 50Ω microstrip transmission line was conducted on several materials. The materials selected range from standard FR4 (difunctional epoxy), to the more sophisticated PTFE based laminates (GX and RO3003). The goal of the evaluation was to quantify the circuit losses on the various types of materials. This would enable one to better understand the frequency limitations of each material type. The selected materials and advertised ϵ_r are presented in Table I.

Table I. Commercial Grade Materials for Microwave Applications

Material	Advertised ϵ_r
RO3003™ (PTFE/ceramic)	3.0
GX (PTFE/woven glass)	2.4 - 2.6
RO4003™ (Hydrocarbon/woven glass)	3.38
BT	3.7 - 3.9
Epoxy/PPO	3.95
BT/Epoxy	4.0
Difunctional Epoxy	4.5

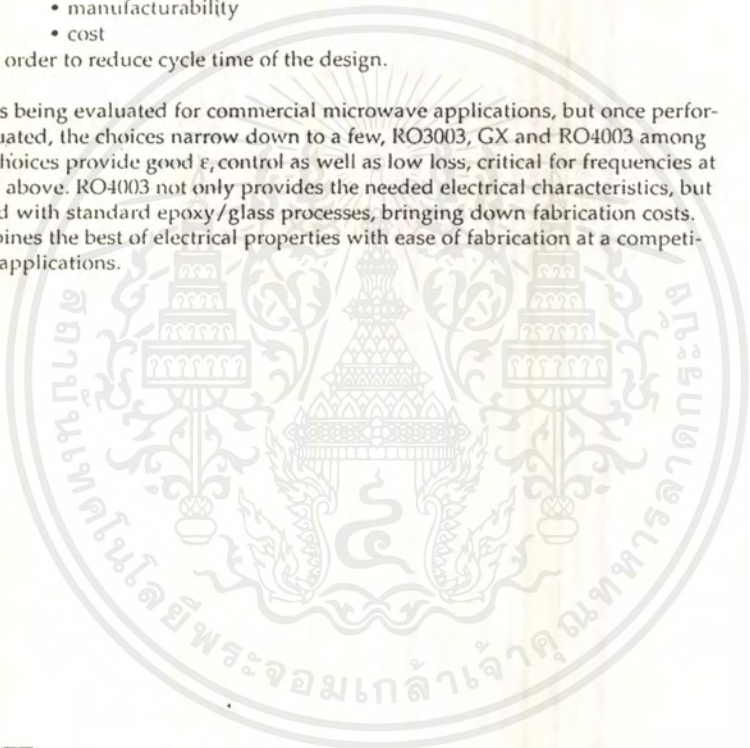
In order to obtain the insertion loss of the 50Ω lines, two different length lines, 3 and 7 inches long, were measured for S_{21} from 0.1 to 18 GHz on a network analyzer. The difference of the two measured values was divided by the difference in the length of the lines. The result of this operation would yield the insertion loss of the incremental length of the line thus eliminating most of the losses caused by reflections at the launch site. Figure 1 displays the method used for calculation. All circuits were fabricated on 0.030" material with 1 oz copper.

RO4003 material provides loss comparable to RO3003 and GX material. A large increase in loss is evident when going to the next material, BT glass. The lossiest material, difunctional epoxy, is 4.5 times lossier than the RO4003. Overall when selecting a material during the design stages, issues like;

- ϵ_r control
- material loss
- electrical and mechanical thermal stability
- manufacturability
- cost

need to be considered in order to reduce cycle time of the design.

There are many materials being evaluated for commercial microwave applications, but once performance and cost are evaluated, the choices narrow down to a few, RO3003, GX and RO4003 among them. These remaining choices provide good ϵ_r control as well as low loss, critical for frequencies at C-band (4 to 8 GHz) and above. RO4003 not only provides the needed electrical characteristics, but can also be manufactured with standard epoxy/glass processes, bringing down fabrication costs. In general, RO4003 combines the best of electrical properties with ease of fabrication at a competitive cost for commercial applications.



ROGERS



Rogers Corporation
Microwave and Circuit Materials Division
100 S. Roosevelt Avenue
Chandler, AZ 85226-3415
602 961-1382 FAX: 602 961-4533

These products may require a validated export license issued by the United States Department of Commerce for export of these materials from the United States or Canada.

The information and guidelines contained in this document are intended to assist you in designing with RO4000™ materials. They are not intended to and do not create any warranties express or implied including any warranty of merchantability or fitness for a particular application. Results may vary as conditions and equipment may vary. The user should determine the suitability of Rogers materials for each application. RO4000 and RO3000 are trademarks of Rogers Corporation for its laminates.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RT/duroid® and TMM® Microwave Laminates

PROPERTY	RT/duroid® 5880 (GR,GP)	RT/duroid® 5870 (GR,GP)	ULTRALAM® 2800 (G1,G2)	RT/duroid® 6002	RT/duroid® 6005	RT/duroid® 6010, 6010LM	TMM® Temperature Stable Microwave Laminates				
	3	4	6	10	101	3	4	6	10	101	
Dielectric constant and tolerance @10GHz	2.20±0.020	2.33±0.020	2.40±2.60 0.040	2.94±0.040	6.15±0.150	10.2±0.250	3.27 ±0.016	4.50 ±0.045	6.00 ±0.080	9.20 ±0.230	9.80 ±0.245
Dissipation factor (Loss tangent) @10 GHz. Typ.	0.0009	0.0012	0.0019	0.0012	0.0019	0.0023	0.0020	0.0020	0.0023	0.0023	0.0020
Thermal coeff. of ε, 0° to 100°C ppm/°C (Typical)	-125	-115	-100	+16	-110	-425	+39	—	+10	+38	+43
Volume resistivity Mohm-cm (Minimum)	2x10 ⁷	2x10 ⁷	2x10 ⁷	10 ⁸	2x10 ⁷	5x10 ⁸	3x10 ⁷	6x10 ⁸	1x10 ⁸	2x10 ⁷	—
Surface resistivity Mohm (Minimum)	3x10 ⁸	2x10 ⁸	4x10 ⁷	10 ⁷	7x10 ⁷	5x10 ⁸	>9x10 ⁸	1x10 ⁸	1x10 ⁸	4x10 ⁷	—
Tensile modulus Kpsi (MPa)	156(1076)	189(1340)	1700(11,730)	120(828)	74(511)	135(932)	⁽¹⁾ 1916 (13,210)	⁽¹⁾ 2000* (13,790)	⁽¹⁾ 2200 (15,168)	⁽¹⁾ 2400 (16,547)	—
(Typical)	125(863)	185(1277)	1300(8970)	120(828)	91(628)	81(559)	⁽¹⁾ 1916 (13,210)	⁽¹⁾ 2000* (13,790)	⁽¹⁾ 2200* (15,168)	⁽¹⁾ 2400 (16,547)	—
Compressive modulus-Z axis Kpsi (MPa) (Typical)	136 (938)	120 (828)	—	360* (2482)	155 (1070)	311 (2146)	742 (5116)	752 (5185)	736 (5075)	575 (3964)	—
Moisture absorption D23/24 % (Maximum)	0.015	0.015	0.03	0.1	0.05	0.6 (LM 0.05)	⁽²⁾ 0.04	⁽²⁾ 0.010	⁽²⁾ 0.06	⁽²⁾ 0.09	⁽²⁾ 0.16
Thermal ⁽³⁾ conductivity W/m ² ·K (Typical)	0.20	0.22	0.24	0.60	0.49	0.78	0.70	0.70	0.72	0.76	0.76
Coefficient of thermal expansion 0° to 100°C ppm/°C (Typical)	X 31 Y 48 Z 237	22 28 173	15 15 200	16 16 24	47 34 117	24 24 24	16 16 20	14 14 20	16 16 20	16 16 20	16* 16* 20*
Specific gravity (Typical)	2.2	2.2	2.2	2.1	2.7	2.9	1.78	2.07	2.37	2.77	2.77

⁽¹⁾ Estimated
⁽²⁾ Young's Modulus
⁽³⁾ Testing conditions: 50°C, 48 hours, 0.5in² (12.7mm²) samples
⁽⁴⁾ Values represent a typical range of values of TMM. For the complete data ranges, please contact RT/duroid and TMM sales offices at the following addresses:
⁽⁵⁾ Tested by IPC, TMM 450 method 2555
⁽⁶⁾ Tested by ASTM D316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้