



ตัวคัปเปลอร์แบบไฮบริดจ์แยกข้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3

โดย

- | | | |
|------------------|----------------|-----------------------|
| 1.นางสาวณัฐนิชา | อนุรักษ์พานวัน | รหัสประจำตัว B5120192 |
| 2.นายสมเจตน์ | ศรีใจ | รหัสประจำตัว B5127658 |
| 3.นางสาวชนิกานต์ | พานิชนอก | รหัสประจำตัว B5130733 |

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2554

ตัวฉบับแปลอร์แบบไฮบริดแถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3

คณะกรรมการสอบโครงการงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อูฑารสกุล)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน



(อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย)
กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจกอคนอก)
กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม

โครงการงาน

ตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
ในยุคที่ 3

โดย

1. นางสาวฉัฐนิชา อนุรักษ์พนาวัน รหัส B5120192
2. นายสมเจตน์ ศรีใจ รหัส B5127658
3. นางสาวชนิกานต์ พานิชนอก รหัส B5130733

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาคการศึกษาที่

1/2554

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่มีความสามารถในการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น จากเดิมและพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยมีวิวัฒนาการจากเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคต่างๆจนถึงปัจจุบัน คือ เทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่สาม โดยจะเพิ่มประสิทธิภาพด้วยโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นที่นิยมใช้กัน ได้แก่ วงจรก่อรูปลำคลื่น (Butler matrix) ซึ่งมีตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์เป็นองค์ประกอบหลักและสามารถพัฒนานำตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์ให้ครอบคลุมการทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1900–2100 MHz ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อูทาสกุล ผู้ที่เป็นเจ้าของความคิดริเริ่มตัวกลับเพลอร์แบบไฮบริดแถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 โดยใช้สายอากาศแก่งมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ท่านได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิด การออกแบบผลงาน และ ดูแลเอาใจใส่ติดตามผลงานอย่างใกล้ชิด ซึ่งนะขอบกพร่องตลอดจนช่วยฝึกฝนและการสนับสนุนคณะผู้จัดทำโครงการให้มีความสามารถในการทำโครงการจนเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำโครงการมาโดยตลอด พี่นักศึกษาปริญญาโทและเอกวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่คอยแนะนำและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ รวมถึงการสอนใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO โดยเฉพาะนางสาวปาสีรัตน์ วงษ์จำปาและนางสาวธัญญา แก้วกรัด นักศึกษาปริญญาโทวิศวกรรมโทรคมนาคม รุ่นที่ปริญญาโทวิศวกรรมโทรคมนาคมที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำดูแลอย่างใกล้ชิดและเพื่อนนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจมาให้โดยตลอด

คณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาให้แก่คณะผู้จัดทำโครงการให้ทำงานโครงการชิ้นนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

นางสาวณัฐนิชา	อนุรักษ์พนาวัน
นายสมเจตน์	ศรีใจ
นางสาวชนิกานต์	พานิชนอก

สารบัญ

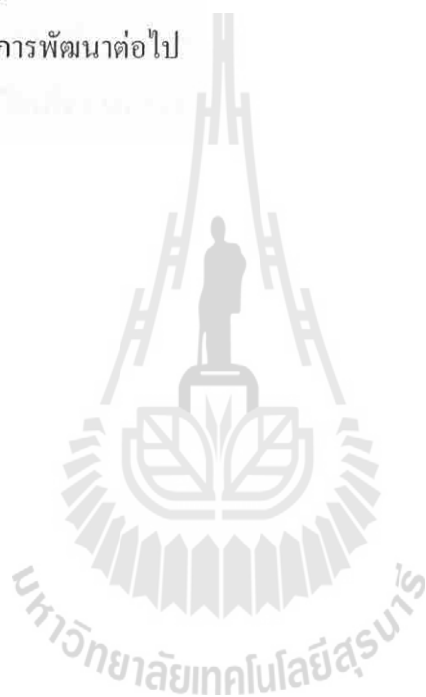
เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบการดำเนินงานเขตงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	3
2.2 ทฤษฎีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย	3
2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 1	3
2.2.2 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2	4
2.2.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3	5
2.3 ระบบสายอากาศแก่ง	5
2.3.1 สายอากาศแก่งชนิดสวิทช์ลาคัลลิน	6
2.3.2 สายอากาศแก่งชนิดปรับตัวได้	7
2.4 โครงข่ายก่อรูปลาคัลลินแบบ Butler matrix	8
2.4.1 ตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา (Hybrid coupler 90°)	9
2.4.2 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover)	10
2.4.3 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา (phase shifters 45°)	11
2.5 ทฤษฎีคัปเปิลอร์	13
2.5.1 คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์(Hybrids Coupler)	13
2.5.2 คัปเปิลอร์แบบไดเรกชันนัล (Directional Coupler)	15
2.6 ทฤษฎีสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป	15
2.7 สเกตเตอร์ริงเมตริกซ์	17
2.7.1 นิยามของสเกตเตอร์ริงเมตริกซ์	18

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.2 ความหมายของสเกลเตอร์เมตริกซ์หรือ S พารามิเตอร์	20
2.8 ข้อสรุปท้ายบท	20
บทที่ 3 การจำลองแบบบนคอมพิวเตอร์โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO	21
3.1 บทนำ	21
3.2 CST MICROWAVE STUDIO	21
3.2.1 การสร้างแบบจำลอง	21
3.2.2 การสร้างวัสดุ Material	22
3.2.3 Load from Material Library	22
3.2.4 การสร้างองค์ประกอบ Components	23
3.2.5 การกำหนดหน่วย Units	23
3.2.6 การกำหนดความถี่ Frequency	24
3.2.7 การกำหนดขอบเขต Boundary Conditions	24
3.2.8 การป้อนพลังงาน โดยการกำหนดพอร์ต์	26
3.2.9 การกำหนด Field Monitors	28
3.2.10 การประมวลผล	28
3.2.11 การสร้างรูปทรงพื้นฐาน (Basic Shape Creation)	29
3.2.12 เครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ	41
3.2.13 การลบคมและการเชื่อมขอบ	41
3.2.14 วิธีการทำงานของบูลีน (Boolean Operations)	43
3.3 หลักการออกแบบ	44
3.3.1 คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาแบบแถบกว้าง	45
3.4 ข้อสรุปท้ายบท	51
บทที่ 4 ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ	52
4.1 บทนำ	52
4.2 ภาพรวมอุปกรณ์ต้นแบบ	52
4.3 ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบด้วยเครื่อง Network Analyzer	53
4.3.1 ตัวตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้าง	53

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 ข้อเสนอท้ายบท	59
บทที่ 5 ข้อเสนอของโครงการ	
5.1 บทนำ	60
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไขปัญหา	60
5.3 ข้อเสนอแนะ	61
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	61
5.5 บทสรุป	61



สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์	1
รูปที่ 2.1 สายอากาศเก่งชนิดสวิทซ์ล้าคี่น[2]	6
รูปที่ 2.2 สายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้[3]	7
รูปที่ 2.3 วงจรก่อรูปล้าคี่นแบบ Butler matrix[4]	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะการก่อรูปล้าคี่นของ โครงข่ายก่อรูปล้าคี่นแบบ Butler matrix [5]	9
รูปที่ 2.5 ตัวคัปเปอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา (Hybrid coupler 90°) [6]	9
รูปที่ 2.6 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover) [7]	10
รูปที่ 2.7 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา (phase shifters 45°)[8]	11
รูปที่ 2.8 ความยาวของเส้นทางการเดินทางของพลังงานภายในตัวไขว้สัญญาณ	13
รูปที่ 2.9 วงจรไฮบริดจ์ทั่วไป[10]	14
รูปที่ 2.10 แมจิกที (magic tee)[11]	14
รูปที่ 2.11 วงจรไฮบริดจ์แบบวงแหวน[12]	14
รูปที่ 2.12 คัปเปิลอร์แบบไดเร็กชันนัล[13]	15
รูปที่ 2.13 การออกแบบสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป [14]	16
รูปที่ 2.14 วงจรไมโครเวฟที่มี N พอร์ตกับการนิยามสแกตเตอร์เมตริกซ์[15]	18
รูปที่ 3.1 หน้าต่างของ Create a New Project	21
รูปที่ 3.2 หน้าต่างของ New Material Parameters	22
รูปที่ 3.3 หน้าต่างของ Load from Material Library	23
รูปที่ 3.4 หน้าต่างของ Specify Units	23
รูปที่ 3.5 หน้าต่างของ Frequency Range Settings	24
รูปที่ 3.6 หน้าต่างของ Boundary Conditions	24
รูปที่ 3.6 ก Electric	25
รูปที่ 3.6 ข Magnetic	25
รูปที่ 3.6 ค Open (PML)	25
รูปที่ 3.6 ง Open (add space)	25
รูปที่ 3.6 จ Periodic	25

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.6 ข Conducting Wall	26
รูปที่ 3.7 หน้าต่างของ Waveguide Port	26
รูปที่ 3.8 หน้าต่างของ Discrete Port	27
รูปที่ 3.9 รูปแบบ ของ Discrete Port	27
รูปที่ 3.10 รูปของหน้าต่าง Monitor	28
รูปที่ 3.11 หน้าต่างของ Solver Parameters	29
รูปที่ 3.12 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม	30
รูปที่ 3.13 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมโดยทางลัด	30
รูปที่ 3.14 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม	31
รูปที่ 3.15 รูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 1	31
รูปที่ 3.16 รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2	32
รูปที่ 3.17 แสดงรูปกล่องสี่เหลี่ยมและหน้าต่างที่ชื่อ Brick ซึ่งได้จากการสร้าง ในขั้นตอนที่ 3	32
รูปที่ 3.18 กล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด	33
รูปที่ 3.19 รูปร่างของทรงกลมและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ ทรงกลม	33
รูปที่ 3.20 รูปทรงกลมที่ได้หลังจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เสร็จแล้ว	34
รูปที่ 3.21 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงกระบอก	34
รูปที่ 3.22 รูปวงกลมที่ได้จากการสร้างรูปทรงกระบอกในขั้นตอนที่ 1	35
รูปที่ 3.23 รูปร่างทรงกระบอกที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2	35
รูปที่ 3.24 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง	36
รูปที่ 3.25 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง และหน้าต่างของ การกำหนดค่าพารามิเตอร์	36
รูปที่ 3.26 รูปทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง มีขนาดตามที่ได้กำหนด	37
รูปที่ 3.27 วงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ของการสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี	38
รูปที่ 3.28 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 นี้	38
รูปที่ 3.29 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์	39

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.30 รูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็น วงรี	39
รูปที่ 3.31 รูปทรงกรวยที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด	39
รูปที่ 3.32 รูปทรงขนม โคนัทที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด	40
รูปที่ 3.33 แลบเครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ	41
รูปที่ 3.34 หน้าต่างในการกำหนดค่ารัศมีของการลบคม	41
รูปที่ 3.35 ขั้นตอนการลบคม	42
รูปที่ 3.36 หน้าต่างการกำหนดค่าของการเลื่อนคม	42
รูปที่ 3.37 ขั้นตอนการเลื่อนคม	42
รูปที่ 3.38 วิธีการรวมวัสดุ	43
รูปที่ 3.39 วิธีการลบวัสดุออก	43
รูปที่ 3.40 วิธีการตัดเอาส่วนที่อยู่ร่วมกันของวัสดุ	44
รูปที่ 3.41 วิธีการแทรกวัสดุ	44
รูปที่ 3.42 คัปเพลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาโดยใช้แบบแถบกว้าง	45
รูปที่ 3.43 คัปเพลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาโดยใช้แบบแถบกว้างที่ออกแบบเสร็จแล้ว	48
รูปที่ 3.44 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44}	48
รูปที่ 3.45 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{12} , S_{13} , S_{31} , S_{34}	49
รูปที่ 3.46 กราฟแสดงเฟสของพารามิเตอร์	50
รูปที่ 4.1 ภาพอุปกรณ์ต้นแบบของตัวคัปเพลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้าง	52
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{11}	53
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{22}	53
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{33}	54
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{44}	54
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{12}=S_{21}$	55
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{13}=S_{31}$	55
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{24}=S_{42}$	56
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{34}=S_{34}$	56
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่ามุมเฟสของพารามิเตอร์ $S_{12}=S_{21}$	57

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ามุมเฟสของพารามิเตอร์ $S_{13}=S_{31}$	57
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่ามุมเฟสของพารามิเตอร์ $S_{34}=S_{43}$	58
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ามุมเฟสของพารามิเตอร์ $S_{24}=S_{42}$	58



สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงเฟสของสายอากาศ, ทิศทางของลำคลื่นและเฟสที่มาจาก Butler Matrix ในรูปที่ 2.3 [4]	8
ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์แถบกว้างด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio	50
ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์แถบกว้างโดยวัดจากเครื่อง Network Analyzer	59
ตารางที่ 5.1 ปัญหาและสาเหตุที่พบในขณะดำเนินงานและวิธีการแก้ไข	60

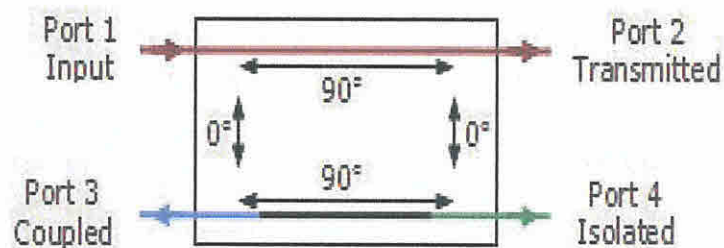


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ระบบเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 3 (The Third generation Technology) คือระบบการสื่อสารไร้สายในเรื่องของความเร็วในการเชื่อมต่อการรับและการส่งข้อมูล โดยเน้นการเชื่อมต่อแบบไร้สายด้วยความเร็วสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการรับและส่งข้อมูลต่างๆ รวดเร็วมากขึ้น โดยเทคโนโลยีดังกล่าวจะมีการใช้งานในย่านความถี่ 1900-2100 MHz ซึ่งได้นำเอาหลักการของระบบสายอากาศเก่ง (smart antenna systems) มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณอย่างตรงจุด ด้วยทฤษฎีโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix ในการเลือกใช้ลำคลื่นที่มีประสิทธิภาพและความแรงของสัญญาณมากที่สุด ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ โดยส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ ตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์ 90 องศา (90° Hybrid coupler) ซึ่งเป็นอุปกรณ์พาสซีฟที่ใช้ในระบบวิทยุและโทรคมนาคม เป็นชนิดของคัปเปิลอร์ที่มีกำลังไฟฟ้าถูกแบ่งเท่ากันระหว่างสองพอร์ตในการส่งผ่านของสัญญาณ ข้างต้นผู้เสนอโครงการงานได้มีความสนใจที่จะพัฒนาตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างให้มีการทำงานในย่านความถี่ดังกล่าว โดยใช้สายอากาศเก่งมาเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณ โดยจะเน้นทำให้อุปกรณ์ต้นแบบพกพาได้สะดวกเพิ่มมากขึ้น มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ทำงานในย่านความถี่สูง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายให้มีความแรงของสัญญาณเพิ่มมากขึ้น โดยตัวคัปเปิลอร์ที่เลือกใช้ดังกล่าวเป็นแบบไฮบริดจ์ 90 องศา มีจำนวนพอร์ตทั้งสิ้น 4 พอร์ตในการส่งผ่านสัญญาณดังรูป 1.1 [1] ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกออกแบบไว้ที่ความถี่ 1900-2100 MHz เพื่อให้ตรงตามจุดประสงค์ของเทคโนโลยีการสื่อสารที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน โดยจะออกแบบตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์แถบกว้างให้ครอบคลุมการใช้งานในย่านความถี่ดังกล่าวให้มากที่สุด



รูปที่ 1.1 ตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างคัปเปิลเลอร์ไฮบริดจ์ที่มีแถบความถี่กว้างช่วงความถี่ตั้งแต่ 1900-2,100 MHz สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่สามตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรม CST Microwave Studio

1.3 ขอบการดำเนินงานเขตงาน

1. ศึกษาโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อใช้ในการออกแบบคัปเปิลเลอร์ที่ทำงานในแถบกว้าง
2. ศึกษาและออกแบบคัปเปิลเลอร์ที่ทำงานในช่วงแถบกว้าง
3. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบและทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาโปรแกรม CST Microwave Studio และทฤษฎีของตัวคัปเปิลเลอร์ในช่วงความถี่กว้าง
2. ออกแบบคัปเปิลเลอร์ที่ทำงานในช่วงแถบความถี่แถบกว้างและนำไปทดสอบโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อให้อยู่ในช่วงที่มีความถี่กว้าง
3. สร้างตัวคัปเปิลเลอร์ไฮบริดจ์แถบความถี่กว้าง และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรม CST Microwave Studio ให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สอดคล้องกัน
4. สรุปผลการทดลอง เขียนรายงาน และนำเสนอโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

โครงการตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ได้มีการประยุกต์นำเอาระบบสายอากาศเก่งมาทำงานร่วมกับวงจรคู่รูปลำคลื่นแบบ Butler matrix โดยนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณให้ส่งผ่านออกไปอย่างตรงจุดซึ่งในวงจร Butler matrix นี้จะมีส่วนประกอบของตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์ 90 องศา (90° Hybrid coupler) เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ซึ่งทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับแต่ละส่วนดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

2.2 ทฤษฎีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายคือเทคโนโลยีที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องหรือกลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกันได้ รวมถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ด้วยเช่นกัน โดยปราศจากการใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อ แต่จะใช้คลื่นวิทยุเป็นช่องทางการสื่อสารแทน การรับส่งข้อมูลระหว่างกันจะผ่านอากาศ ทำให้ไม่ต้องเดินสายสัญญาณ และติดตั้งใช้งานได้สะดวกขึ้นระบบเครือข่ายไร้สายใช้แม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอากาศ เพื่อรับส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่าย โดยมีวิวัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายดังที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 1

วิวัฒนาการของโทรศัพท์มือถือเริ่มจากเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 1 (The First generation Technology) ยังเป็นยุคที่ใช้ระบบสื่อสารแบบอนาล็อกโดยใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นสามารถใช้งานทางด้านเสียงได้เพียงอย่างเดียวโดยไม่รองรับการส่งผ่านข้อมูลใดๆทั้งสิ้นซึ่งใช้ได้ทางด้านเสียงอย่างเดียวคือการโทรออกและรับสายเท่านั้น ไม่มีการรองรับข้อมูลใดๆทั้งสิ้นเป็นยุคแรกของการพัฒนาระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์วิธีการมอดูเลตสัญญาณอนาล็อกเข้าช่องสื่อสารโดยใช้การแบ่งความถี่ออกมาเป็นช่องเล็กๆด้วยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนช่องสัญญาณและการใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพติดขัดเรื่องการขยายจำนวนเลขหมายและการขยายแถบความถี่

2.2.2 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2

หลังจากนั้นได้พัฒนาต่อมาเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 2 (The Second generation Technology) เป็นยุคที่เริ่มสามารถใช้งานทางข้อมูลได้นอกเหนือจากการใช้งานทางด้านเสียงเพียงอย่างเดียวโดยเป็นยุคที่เริ่มเปลี่ยนจากการส่งคลื่นทางคลื่นวิทยุแบบอนาล็อกมาเป็นการเข้ารหัสแบบดิจิทัลโดยมีการส่งทางคลื่นไมโครเวฟซึ่งการส่งข้อมูลของเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่สองเป็นยุคที่นิยมการรับข้อมูลแบบเสียงรอสาย รูปภาพ และกราฟฟิก ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยบีบอัดสัญญาณเสียงในรูปดิจิทัลการติดต่อจากสถานีลูกหรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีเบสใช้วิธีการสองแบบคือ การแบ่งช่องเวลาออกเป็นช่องเล็ก ๆ และแบ่งกันใช้ ทำให้ใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอีกการแบ่งการเข้าถึงตามการเข้ารหัสและการถอดรหัสโดยใส่แอดเดรสในยุคที่ 2 จึงเป็นการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์แบบดิจิทัลทั้งหมดดังกล่าวมาแล้วจะมีเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ถัดมาจากเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 2 เพิ่มเติมอีกคือเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 2.5 เป็นยุคที่พัฒนาต่อมาโดยการเข้ารหัสสัญญาณเสียงโดยบีบอัดสัญญาณเสียงในรูปแบบดิจิทัลการติดต่อจากสถานีลูกหรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีเบสใช้วิธีการสองแบบคือการแบ่งช่องเวลาออกเป็นช่องเล็ก ๆ และแบ่งกันใช้ ทำให้ใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอีกการแบ่งการเข้าถึงตามการเข้ารหัสและการถอดรหัสโดยใส่แอดเดรสเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 2 จึงเป็นการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์แบบดิจิทัลหมดแล้วซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2 เป็นยุคที่กำเนิดเทคโนโลยี GPRS (General Packet Radio Service) นั่นเอง ซึ่งตามหลักการแล้วเทคโนโลยี GPRS นี้สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดถึง 115 Kbps เลยทีเดียวแต่เอาเข้าจริงๆ ความเร็วของ GPRS จะถูกจำกัดให้อยู่ที่ประมาณ 40 kbps เท่านั้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยุคที่ 2.5 ได้รับการพัฒนาต่อยอดมาจากเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2 แต่มีประสิทธิภาพดีออกกว่ามาตรฐานการสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 และที่กล่าวเพิ่มเติมลำดับสุดท้ายขอหัวข้อเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 2 คือเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 2.75 เป็นช่วงที่เริ่มมีการใช้เทคโนโลยี EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) นั่นถือเป็นเทคโนโลยีต่อยอดของ GPRS และถูกเรียกกันว่าเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2.75 เป็นทางเลือกก่อนก้าวเข้าสู่เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 อย่างต่อเนื่องและคุ้มค่าความเร็วการส่งผ่านข้อมูลโดยประมาณของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 2.75 ความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุดประมาณ 38 กิโลบิตต่อวินาที(Kbps)และมีความเร็วในการใช้งานจริงประมาณ 80-100 กิโลบิตต่อวินาที ความเร็วในการใช้งานจริงจะลดลงไปค่อนข้างมากเนื่องจากระหว่างใช้งาน ระบบต้องแบ่งสัญญาณ ไปใช้ทางด้านเสียงด้วย

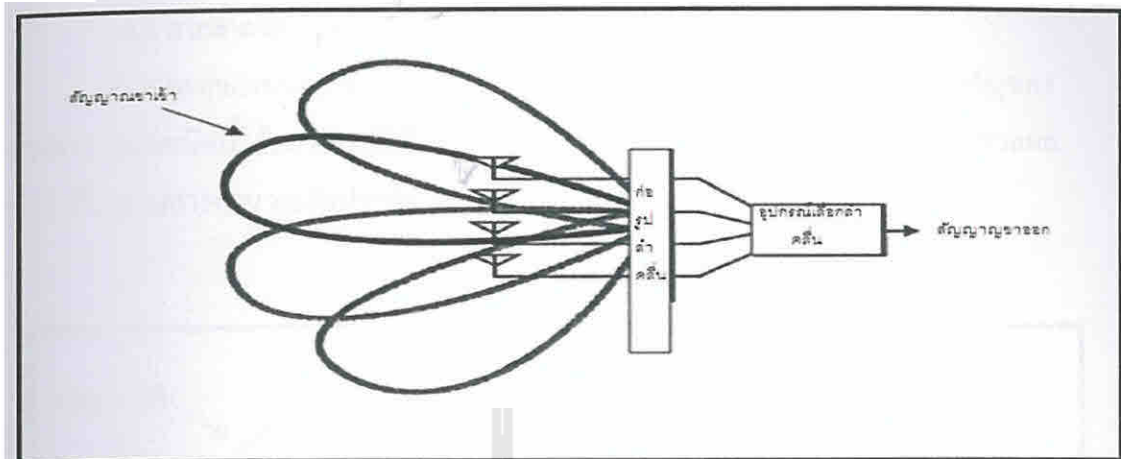
2.2.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3

ในปัจจุบันได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่สาม (The Third generation Technology) เป็นเรื่องของความเร็วในการเชื่อมต่อการรับและการส่งข้อมูลเป็นการผสมผสานการนำเสนอข้อมูลและเทคโนโลยีในปัจจุบันเข้าด้วยกัน การใช้บริการมัลติมีเดียและส่งผ่านข้อมูลในระบบไร้สายด้วยอัตราความเร็วที่สูงขึ้น โดยเน้นการเชื่อมต่อแบบไร้สายด้วยความเร็วสูงทำให้ประสิทธิภาพในการรับและส่งข้อมูลต่างๆรวดเร็วมากขึ้น อาทิ เช่น การรับส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ การใช้บริการระบบการประชุมทางไกลผ่านจอภาพ (Video Conference) การส่งสัญญาณโทรทัศน์ทั้งภาพและเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

2.3 ระบบสายอากาศแก่ง

ระบบสายอากาศแก่ง คือ ระบบสายอากาศที่มีความสามารถในการก่อรูปลำคลื่นของพหุหลักหันไปในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงได้ ในขณะที่หันจุดศูนย์ (null) และพургองไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด (interference signal) ได้ ซึ่งทำให้อัตราขยายของระบบเพิ่มสูงขึ้น ระบบสายอากาศแก่งนั้นเป็นระบบสายอากาศแถวลำดับที่ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีการประมวลผลสัญญาณ โดยใช้กระบวนการค้นหาทิศทางของสัญญาณขาเข้า และนำค่าสัญญาณที่ได้ไปทำการคำนวณค่าแวกเตอร์ของวงจรก่อรูปลำคลื่น เพื่อปรับลำคลื่นของสายอากาศไปยังเป้าหมายที่ต้องการ โดยทั่วไประบบสายอากาศแก่งนั้นจะทำการปรับลำคลื่นเพื่อชี้ไปในทิศทางที่สนใจ สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้ และสามารถช่วยลดผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดระหว่างช่องได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาการประวิงเวลา (delay) ของสัญญาณ ซึ่งเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมของสัญญาณที่มาถึงทางด้านรับมากกว่าหนึ่งเส้นทางเนื่องจากการสะท้อนสัญญาณกับวัตถุต่างๆ เช่น กำแพง ประตู กระจก เป็นต้น แม้จะเป็นสัญญาณเดียวกันมาจากแหล่งเดียวกันแต่มาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ดังนั้นสัญญาณจะถูกประวิงไปเล็กน้อยไม่เท่ากันตามเส้นทางที่มีระยะสะท้อนต่างกัน สามารถลดปัญหาที่นี้ได้ด้วยการใช้งานสายอากาศแก่งที่มีความสามารถในการปรับลำคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถกำหนดไม่ให้รับสัญญาณที่ไม่ต้องการได้เช่นกันสายอากาศแก่งสามารถแบ่งประเภทได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 สายอากาศแก่งชนิดสวิตช์ลำคลื่น



รูปที่ 2.1 สายอากาศแก่งชนิดสวิตช์ลำคลื่น[2]

ระบบสายแก่งชนิดสวิตช์ลำคลื่น (switched-beam antenna) ดังรูปที่ 2.1 เป็นระบบสายอากาศแฉกลำดับที่ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีการประมวลผลสัญญาณ โดยใช้กระบวนการค้นหาทิศทางของสัญญาณขาเข้า มีการกำหนดระยะเวลาห่างของสายอากาศแต่ละต้นที่แน่นอน โดยขณะใช้งานระบบจะเลือกลำคลื่นหนึ่งจากหลายๆลำคลื่น เพื่อใช้ในการรับและการส่งสัญญาณ โดยทั่วไปลำคลื่นที่ถูกเลือกคือลำคลื่นที่มีทิศทางของสัญญาณที่แรงที่สุด

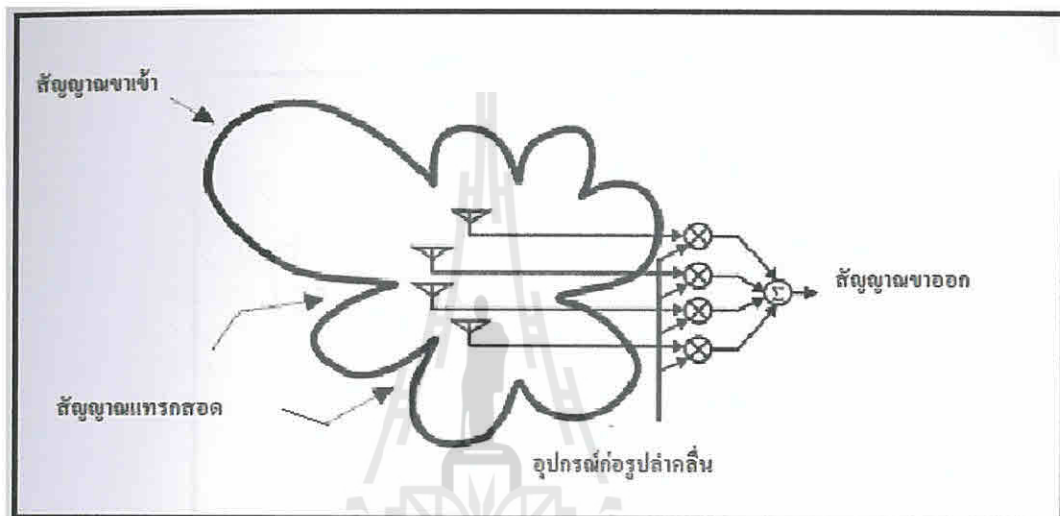
ขั้นตอนการทำงานของระบบสายอากาศแก่งชนิดสวิตช์ลำคลื่น

ระบบจะเริ่มทำการหาทิศทางความแรงของสัญญาณ เมื่อตรวจพบทิศทางความแรงของสัญญาณที่แรงที่สุด ระบบจะทำการสวิตช์ลำคลื่น ไปยังทิศทางนั้น ในขณะที่ผู้ใช้งานหยุดนิ่งอยู่กับที่ เมื่อผู้ใช้งานเคลื่อนที่ไปยังอีกที่หนึ่งระบบก็จะเริ่มต้นกระบวนการดังกล่าวใหม่อีกครั้ง

นอกจากนี้สัญญาณขาออกของสายอากาศหลายๆตัว ที่ออกจากวงจรก่อรูปลำคลื่น ทำให้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น สามารถสร้างรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศได้หลากหลายมากขึ้น ซึ่งทำให้ระบบมีทางเลือกของรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มากกว่าการใช้สายอากาศต้นเดียว ข้อดีของสายอากาศแก่งชนิดสวิตช์ลำคลื่น ได้แก่ มีความซับซ้อนน้อยและสามารถติดตามสัญญาณได้รวดเร็วตามอัตราการสวิตช์ลำคลื่น แต่อัตราการขยายสัญญาณยังต่ำในทิศทางที่อยู่ระหว่างลำคลื่น การลดสัญญาณการแทรกสอดมีข้อจำกัด ในกรณีที่สัญญาณไม่ชัดเจนหรือมีการบดบังสัญญาณ การแทรกสอดของสัญญาณ หรือมีสัญญาณมาถึงในมุมกว้างหลายๆมุม อาจมีความผิดพลาดในการเลือกสัญญาณได้

2.3.2 สายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้

สายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้ (adaptive antenna) ดังรูปที่ 2.2 ส่วนประกอบสำคัญของสายอากาศเก่งชนิดนี้ได้แก่ ส่วนที่ใช้ถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับลำคลื่น ซึ่งต้องการหน่วยประมวลผลความเร็วสูงในการคำนวณสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับรูปลำคลื่น



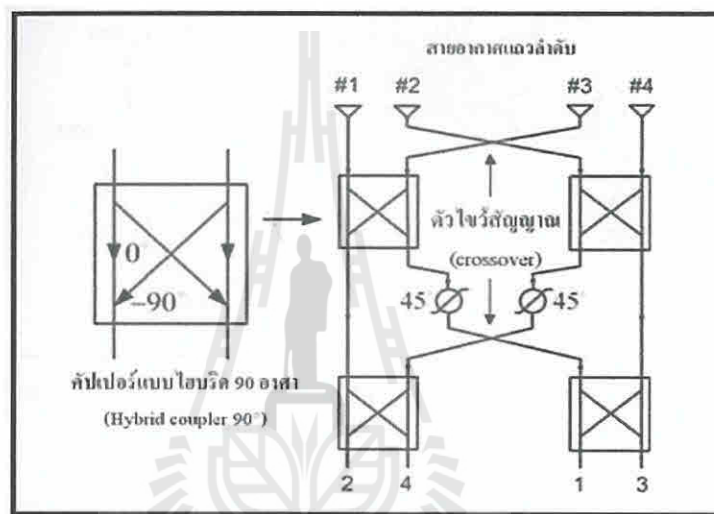
รูปที่ 2.2 สายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้[3]

สายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้เป็นสายอากาศที่สามารถเปลี่ยนรูปลำคลื่นให้ชี้ไปในทิศทางใดๆก็ได้โดยอิสระ โดยในภาคส่งจะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นเพื่อให้แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยรวมปรับเปลี่ยนไปในทิศทางที่ต้องการ ส่วนในภาครับจะใช้การปรับเปลี่ยนสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นเพื่อให้ได้สัญญาณในทิศทางที่ต้องการมีความแรงขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็เกิดการลดทอนความแรงของสัญญาณในทิศทางที่ไม่ต้องการ การปรับเปลี่ยนสัญญาณเหล่านี้สามารถทำได้ด้วยวิธีทางดิจิทัลโดยใช้วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ โดยหาค่าผิดพลาดจากการประมาณที่น้อยที่สุดระหว่างแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ส่งออกไปกับแบบรูปการแพร่กระจายกำลังงานของสายอากาศจริง ข้อของสายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้คือ มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ดี โดยไม่ต้องการปรับแต่งสายอากาศ(calibration)และมีประสิทธิภาพดีแม้ในกรณีที่จำนวนสัญญาณมากกว่าจำนวนสายอากาศ แต่สายอากาศเก่งชนิดปรับตัวได้มีความซับซ้อนสูงมากกว่าสายอากาศเก่งชนิด

สวิตช์ลำคลื่น และยังต้องการสัญญาณอ้างอิงที่ดีเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ที่สำคัญคือต้องการหน่วยประมวลผลความเร็วสูงในการคำนวณสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับรูปลำคลื่น

2.4 โครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix

จากหัวข้อที่ 2.3.1 ได้กล่าวถึงโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นของระบบสายอากาศแก่งชนิดสวิตช์ลำคลื่น ได้มีความสัมพันธ์กับวงจรก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix ในการเลือกใช้ลำคลื่นที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด



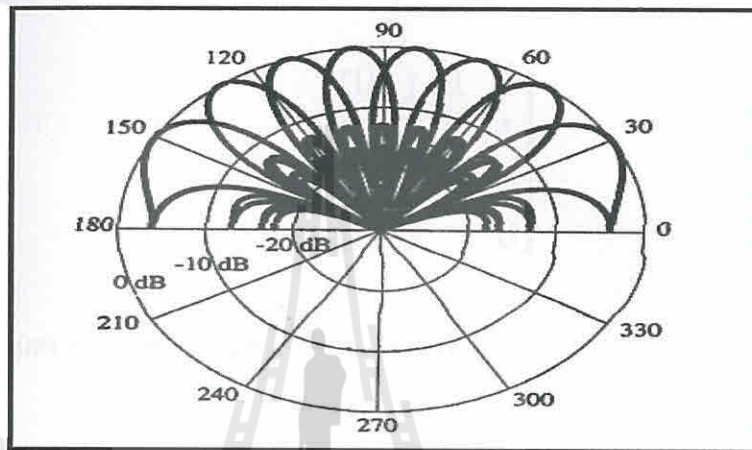
รูปที่ 2.3 วงจรก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix[4]

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงเมตริกซ์ขนาด 4×4 อย่างง่ายในการก่อรูปลำคลื่น ประกอบไปด้วย ตัวไขว้สัญญาณ 2 ตัว ตัวคัปเปอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา 4 ตัว สายอากาศโมโนโพลอีก 4 ต้น และ ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา วางอยู่ระหว่างพอร์ต 1 กับพอร์ต 3 และ อยู่ระหว่างระหว่างพอร์ต 2 กับพอร์ต 4 เพื่อทำให้เกิดการก่อรูปลำคลื่นไป 45 องศาและเมื่อรวมวงจรแล้วจะทำให้ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงเฟสของสายอากาศ, ทิศทางของลำคลื่น และเฟสที่มาจาก Butler Matrix ในรูปที่ 2.3 [4]

	Element #1	Element #2	Element #3	Element #4	Beam Direction	Inter-Element Phasing
Port 1	-45 °	-180°	45 °	-90°	138.6°	-135 °
Port 2	0°	-45 °	-90°	-135 °	104.5°	-45 °
Port 3	-135 °	-90°	-45 °	0°	75.5°	45 °
Port 4	-90°	45 °	-180°	-45 °	41.4°	135 °

ตารางที่ 2.1 จะแสดงถึงเฟสของสายอากาศแต่ละต้น, ทิศทางของลำคลื่นและเฟสที่มาจาก Butler matrix ยกตัวอย่างเช่น สายอากาศต้นที่ 1 จะมีค่าเฟส $-45^\circ, 0^\circ, -135^\circ, -90^\circ$ จากพอร์ตที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จะมีค่าทิศทางของลำคลื่นเป็น $138.6^\circ, 104.5^\circ, 75.5^\circ, 41.4^\circ$ จากพอร์ตที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และมีเฟสที่มาจากแต่ละต้นเป็น $-135^\circ, -45^\circ, 45^\circ, 135^\circ$ จากพอร์ตที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับเช่นกัน

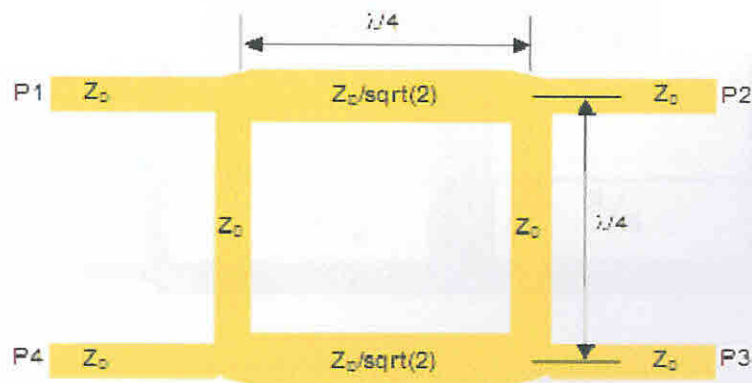


รูปที่ 2.4 ลักษณะการก่อรูปลำคลื่นของโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix [5]

จากรูปวงจรก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix แบ่งลักษณะการออกแบบของวงจรได้ดังนี้

- | | |
|--|-------------|
| 2.4.1 ตัวคัปเปอ์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา (Hybrid coupler 90°) | จำนวน 4 ตัว |
| 2.4.2 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover) | จำนวน 1 ตัว |
| 2.4.3 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา (phase shifters 45°) | จำนวน 2 ตัว |
- ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

2.4.1 ตัวคัปเปอ์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา (Hybrid coupler 90°)



รูปที่ 2.5 ตัวคัปเปอ์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา (Hybrid coupler 90°) [6]

จากการอ้างอิง รูปที่ 2.5 โดยการดำเนินการขึ้นพื้นฐานของการแยกเส้นทางของการเชื่อมต่อ ถ้าทุกพอร์ตมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากันและเมื่อใส่พลังงานเข้าไปที่พอร์ต P1 พลังงานจะถูกแบ่งแยกอย่างเท่าเทียมระหว่าง พอร์ต P2 และ พอร์ต P3 ซึ่งพลังงานที่ได้จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของพลังงานที่เข้ามาในพอร์ต P1 พลังงานที่ได้จากพอร์ต P2 และ พอร์ต P3 จะล่าหลังกันอยู่ 90 องศา และจะไม่มีพลังงานออกไปที่ พอร์ตที่ P4 (พอร์ต โคดเคียว) ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการ [S]เมตริกซ์ ได้ดังสมการที่ (2.1)

$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

จากวงจรและสมการค่า [S] เมตริกซ์ จะได้ค่าดังนี้

$$P1 = 0 \quad (\text{พอร์ตเข้าของพลังงาน})$$

$$P2 = \frac{-j}{\sqrt{2}}$$

(พลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจากพลังงานที่เข้ามาในพอร์ต P1 และมีเฟสล่าหลังอยู่ 90 องศาจากพอร์ต P1 ถึงพอร์ต P2)

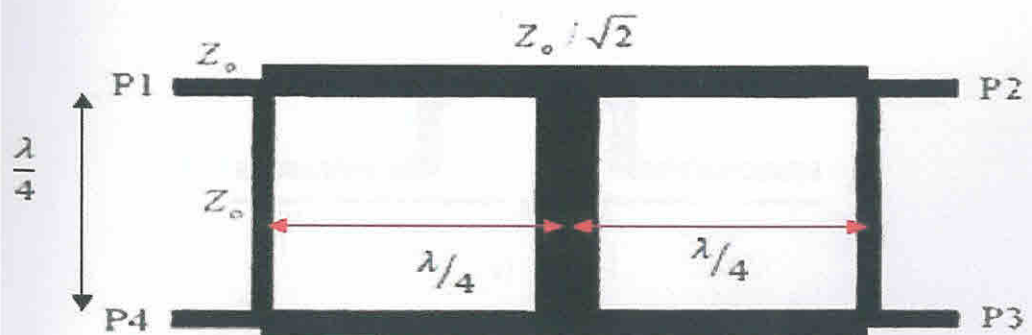
$$P3 = \frac{-1}{\sqrt{2}}$$

(พลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจากพลังงานที่เข้ามาในพอร์ต P1 และมีเฟสล่าหลังอยู่ -180 องศาจาก พอร์ต P1 ถึงพอร์ต P3)

$$P4 = 0$$

(ไม่มีพลังงานออกจาก พอร์ต P4)

2.4.2 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover)



รูปที่ 2.6 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover) [7]

จากรูปที่ 2.6 ตัวไขว้สัญญาณ (crossover) เป็นวงจรเชื่อมต่อโดยที่มีสัญญาณมารวมกัน โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานและความล่าช้าระหว่างกัน ลักษณะการไหลของพลังงานจะเป็นแบบไขว้ คือ เมื่อพลังงานเข้าพอร์ต P1 พลังงานนั้นก็จะออกจากพอร์ต P3 และ เมื่อพลังงานเข้าพอร์ต P4 พลังงานนั้นก็จะออกพอร์ต P2 ดังนั้น ค่า [S] เมตริกซ์ ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

จากวงจรและสมการค่า [S] เมตริกซ์ จะได้ค่าดังนี้

$P_1 = 0$	(พอร์ตเข้าของพลังงาน)
$P_2 = -j$	(พลังงานที่เข้ามาในพอร์ต P4 และมีเฟสล่าหลังอยู่ 0 องศาจาก พอร์ต P4 ถึงพอร์ต P2)
$P_3 = -j$	(พลังงานที่เข้ามาในพอร์ต P1 และมีเฟสล่าหลังอยู่ 0 องศาจาก พอร์ต P1 ถึงพอร์ต P3)
$P_4 = 0$	(พอร์ตเข้าของพลังงาน)

2.4.3 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา (phase shifters 45°)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา (phase shifters 45°)[8]

จากวงจรระยะห่าง 45 องศา สร้างมาจากการออกแบบสายส่ง โดยที่มี W คือความกว้างตัวเลื่อนเฟสในสายส่งแบบไมโครสตริป และมีความยาวเท่ากับ L ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda} L \quad (2.3)$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (2.4)$$

โดยที่

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

L คือ ความยาว

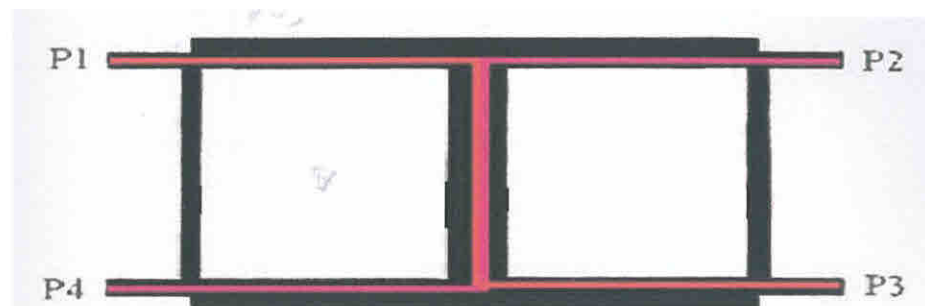
θ คือ มุม

λ คือ ค่าความยาวคลื่นในตัวกลางของสายส่ง

λ_0 คือ ค่าความยาวคลื่นในตัวกลางของอากาศ

W คือ ความกว้างตัวเลื่อนเฟสในสายส่งแบบไมโครสตริป

ดังนั้นค่าของตัวเลื่อนเฟส 45 องศาภายในโครงข่ายระหว่าง พอร์ต P1 กับ พอร์ต P3 มีความยาว เท่ากับความยาวระหว่างพอร์ต P4 กับ พอร์ต P2 รวมกับค่าของตัวเลื่อนเฟส 45 องศา มีค่าเท่ากับกับค่าของตัวเลื่อนเฟส 45 องศาภายใน โครงข่ายระหว่าง พอร์ต P1 กับ พอร์ต P3 ดังนั้นความยาวของตัวเลื่อนเฟส 45 องศา ภายในโครงข่าย มีค่าเท่ากับ 95.49 มิลลิเมตรเนื่องจากมีความยาวมากเกินไปไม่เข้ากับ โครงข่ายอื่นจึงมีการคดงอขึ้น โดยการคดงอนั้นทำ โดยการนำค่าความยาวของตัวเลื่อนเฟส 45 องศาภายในโครงข่าย ลบออกจาก ค่าความยาวที่ตัวเลื่อนเฟส 45 องศาภายใน โครงข่าย สามารถเชื่อมต่อได้แล้วค่าที่เหลือให้นำค่ามางอขึ้นตามความสวยงาม โดยที่ค่าความกว้างจะต้องคงที่ ดังรูปที่ 2.8 เพื่อให้เข้ากับ โครงข่ายได้



รูปที่ 2.8 ความยาวของเส้นทางการเดินทางของพลังงานภายในตัวไขว้สัญญาณ

- (ก) โดยสีแดงเป็นความยาวระหว่างพอร์ต P1 กับ พอร์ต P3
- (ข) โดยสีชมพูเป็นความยาวระหว่างพอร์ต P4 กับ พอร์ต P2

2.5 ทฤษฎีคัปเปิลเลอร์ [9]

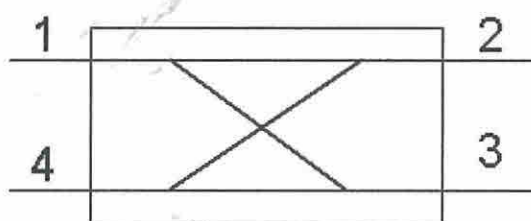
คัปเปิลเลอร์ที่เราจะทำการศึกษาเป็นแบบ 4 พอร์ต โดยมีอยู่หลายแบบด้วยกัน และมีที่ใช้อย่างกว้างขวางจะกล่าวถึงชิ้นส่วนวงจร 4 พอร์ตที่มีใช้อยู่ทั่วไป

2.5.1 คัปเปิลเลอร์แบบไฮบริดจ์(Hybrids Coupler)

ไฮบริดจ์คัปเปิลเลอร์เป็นชิ้นส่วนวงจรแบบ 4 พอร์ตที่จะส่งสัญญาณ โดยมีกฎเกณฑ์ดังนี้

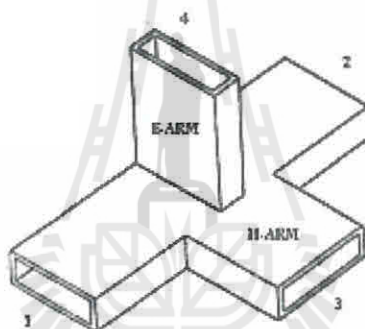
- เมื่อส่งคลื่นเข้าทางพอร์ตที่ 1 คลื่นจะแยกออกไปทางพอร์ต 2 และพอร์ตที่ 3 เท่ากัน โดยมีเฟสตรงกัน และจะไม่มีคลื่นออกไปทางพอร์ตที่ 4
- เมื่อส่งคลื่นเข้าทางพอร์ตที่ 4 คลื่นจะแยกออกไปทางพอร์ตที่ 2 และพอร์ตที่ 3 เท่ากัน โดยมีเฟสตรงกันข้าม และจะไม่มีคลื่นออกไปทางพอร์ตที่ 1
- ถ้ามีคลื่นที่มีขนาดเท่ากันและเฟสตรงกันส่งเข้ามาทางพอร์ตที่ 2 และ 3 คลื่นจะมารวมกันออกที่พอร์ต 1 โดยไม่ออกที่พอร์ต 4
- ถ้ามีคลื่นที่มีขนาดเท่ากันแต่เฟสตรงกันข้ามส่งเข้ามาทางพอร์ตที่ 2 และ 3 คลื่นจะมารวมกันออกที่พอร์ต 4 โดยไม่ออกที่พอร์ต 1

คุณสมบัติที่กล่าวมานี้เป็นคุณสมบัติของวงจรไฮบริดจ์ทั่วไปรูปที่ 2.9 แสดงวงจรไฮบริดจ์ดังที่กล่าวข้างต้น



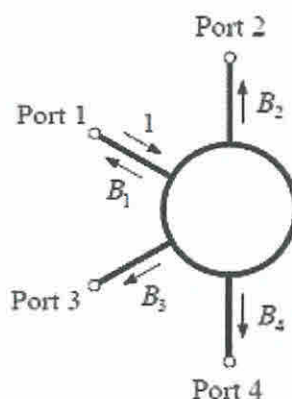
รูปที่ 2.9 วงจรไฮบริดจ์ทั่วไป[10]

วงจรท่อนำคลื่นที่มีคุณสมบัติต่างๆก็จะได้แก่ แมจิกที (magic tee) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.10 แมจิกทีเป็นการรวมเอาคุณสมบัติของวงจรรูปตัว T ในระนาบ H และระนาบ E เข้าด้วยกันให้แขนในระนาบ H (H-Plane arm) เป็นพอร์ตที่ 3 แขนที่ระนาบ E (E-Plane arm) เป็นพอร์ตที่ 4 และส่วนของท่อนำคลื่นหลักเป็นพอร์ตที่ 1 และ 2 จะมีคุณสมบัติข้างต้นตามที่กล่าวมา



รูปที่ 2.10 แมจิกที (magic tee)[11]

วงจรไฮบริดจ์นั้นนอกจากแมจิกทีแล้วยังมีอีกโครงสร้างหนึ่งที่มีการใช้งานมากพอสมควร คือวงจรไฮบริดจ์แบบวงแหวน (Ring hybrids) ดังรูปที่ 2.11

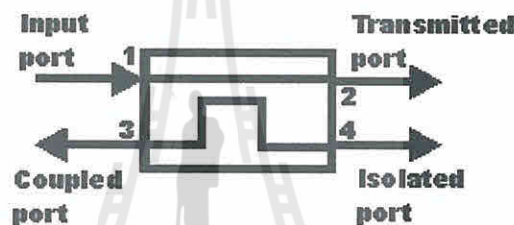


รูปที่ 2.11 วงจรไฮบริดจ์แบบวงแหวน[12]

ตามรูปเมื่อเราส่งคลื่นเข้าที่พอร์ตที่ 1 ถ้าคลื่นนั้นแยกออกไปทั้งสองด้านเท่าๆกัน และมีเฟสตรงกันข้ามทำให้มีคลื่นส่งผ่านออกไปที่พอร์ตที่ 2 และพอร์ตที่ 4 ได้ เพราะคลื่นที่ไปปรากฏตรงปากทางของพอร์ตทั้งสองมีเฟสตรงข้ามกัน สำหรับตรงปากทางของพอร์ตที่ 3 นั้นคลื่นทั้งสองจะมีเฟสตรงกัน เพราะความยาวของเส้นทางในการเดินทางต่างกันอยู่ที่ $\frac{\lambda_g}{2}$ จึงไม่มีคัปปลิงระหว่างพอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 3 ในทำนองเดียวกันก็จะไม่มีการคัปปลิงระหว่างพอร์ตที่ 2 และพอร์ตที่ 4

2.5.2 คัปเปลอร์แบบไดเรกชันนัล (Directional Coupler)

คัปเปลอร์แบบไดเรกชันนัลจัดได้ว่าเป็นวงจร 4 พอร์ตที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากในระบบไมโครเวฟ การทำงานจะแสดงดังรูปที่ 2.12



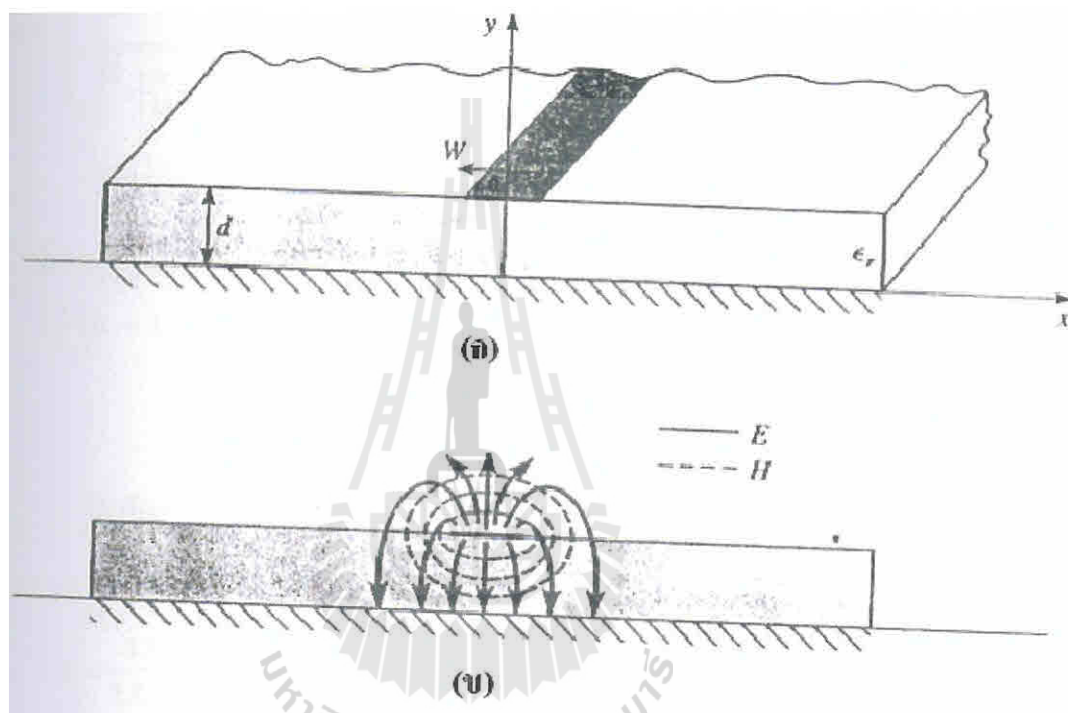
รูปที่ 2.12 คัปเปลอร์แบบไดเรกชันนัล[13]

กล่าวคือ คลื่นที่เข้าจากพอร์ตที่ 1 จะส่งผ่านออกทางพอร์ตที่ 1 เป็นหลัก โดยมีกำลังคลื่นบางส่วนคัปปลิงไปออกที่พอร์ตที่ 3 แต่จะไม่คัปปลิงไปออกที่พอร์ตที่ 4 นั่นคือการคัปปลิงจะเป็นแบบมีทิศทางตามความหมายของชื่อเรียกคัปเปลอร์นี้ ในทำนองเดียวกันคลื่นที่เข้าจากพอร์ตที่ 2 จะส่งผ่านออกทางพอร์ตที่ 1 เป็นหลัก โดยมีคลื่นบางส่วนคัปปลิงไปออกยังพอร์ตที่ 4 และคลื่นที่เข้าจากพอร์ตที่ 3 และพอร์ตที่ 4 ก็จะส่งผ่านในลักษณะเดียวกัน ตามลักษณะการทำงานนี้ทำให้คัปเปลอร์แบบไดเรกชันนัล มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการมอนิเตอร์กำลังคลื่นและใช้ในการวัดอัตราส่วนระหว่างกำลังคลื่นขาเข้ากับกำลังคลื่นที่สะท้อนกลับ

2.6 ทฤษฎีสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

ไมโครสตริปที่เป็นที่นิยมกันมาก คือชนิดที่เป็นสายส่งแบบแบน เพราะว่าสามารถสร้างเป็นระบบรูปภาพ และง่ายที่จะรวมกับอุปกรณ์ไมโครเวฟอื่นๆ ตัวควบคุมไมโครสตริปได้แก่ ความกว้าง (W), ความหนาของฐาน (d), อัตราความจุกระแสไฟฟ้า (ϵ_r) ถ้าสายเป็นแบบ two-wireline จะประกอบด้วย ตัวนำราบเรียบ 2 แผ่น จะมีความกว้าง (W) จะแบ่งเป็นระยะทาง $2d$ ในกรณีนี้

สามารถจะใช้ $V_p = c$ และ $\beta = k_0$ ถ้าเป็นฉนวน และฉนวนไม่อยู่ในอากาศเหนือแผ่น ($y > d$) จะทำให้มีความยากลำบากในการวิเคราะห์ไมโครสตริป ซึ่งจะแตกต่างจากสตริป เมื่อภายในบรรจุด้วยฉนวน ไมโครสตริปจะเป็นเส้นในบริเวณฉนวน ซึ่งจะจับกลุ่มกันระหว่างแผ่นตัวนำและระนาบพื้น จะมีส่วนบริสุทธิ์ของคลื่นแบบ TEM ความเร็วเฟสของ TEM ในบริเวณฉนวน จะมีค่าเป็น $c/\sqrt{\epsilon_r}$ แต่ความเร็วเฟสของ TEM ในบริเวณอากาศจะมีค่าเป็น c [7]



รูปที่ 2.13 การออกแบบสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป [14]

ความเร็วเฟสและค่าคงที่การแผ่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.6)$$

$$\beta = k_0 \sqrt{\epsilon_e} \quad (2.7)$$

เมื่อ ϵ_e คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุ

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_{r+1} + \epsilon_{r-1}}{2} \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{12d}{W}\right)}} \quad (2.8)$$

ขนาดของไมโครสตริปและค่าความต้านทานภายในสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln\left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d}\right) & \text{เมื่อ } W/d \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{d} + 1.444\right)\right]}} & \text{เมื่อ } W/d \geq 1 \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \text{เมื่อ } W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_{r-1}}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{เมื่อ } W/d > 2 \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\text{เมื่อ } A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_{r-1}}{2}} + \frac{\epsilon_{r-1}}{\epsilon_{r+1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

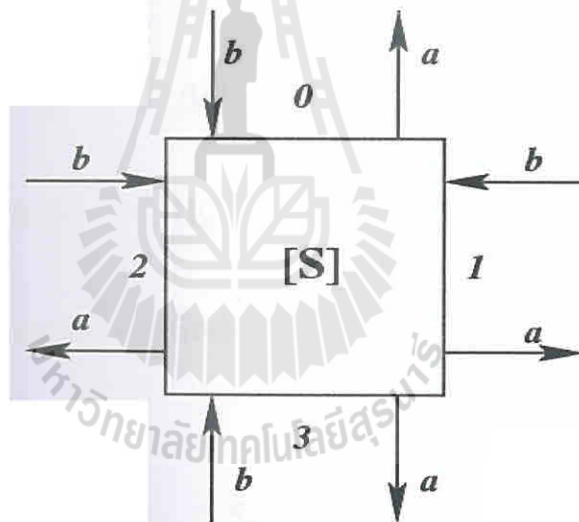
$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

2.7 สเกตเตอร์ริงเมตริกซ์

ในหัวข้อนี้จะพิจารณานิยาม และความหมายของสเกตเตอร์ริงเมตริกซ์ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวงจรไมโครเวฟและวงจรความถี่สูงๆทั้งหลาย เหตุผลที่นิยมใช้กันมากก็เพราะพารามิเตอร์ต่างๆในสเกตเตอร์ริงเมตริกซ์จะเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับค่าที่ทำการวัดตั้งหัวต่อไปนี้

2.7.1 นิยามของสเกตเตอร์ริงเมตริกซ์

เมื่อพิจารณาวงจรไมโครเวฟที่มี N พอร์ตตามรูป 2.14 ในทางปฏิบัติเราจะทำการวัดค่าคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio:SWR):ซึ่งจะให้ข้อมูลของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านซึ่งจะสามารถทำได้โดยป้อนกำลังเข้าที่พอร์ตใดพอร์ตหนึ่ง แล้ววัดค่ากำลังที่ออกไปที่พอร์ตที่เหลือ การวัดในสภาพดังกล่าวนี้กระทำได้ง่ายและให้ผลชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถวัดได้ทั้งขนาดและเฟสของคลื่นเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา ดังนั้นเราจะนิยามพารามิเตอร์ที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา (V_n^+) กับคลื่นที่สะท้อนและคลื่นที่ส่งผ่านออกไปทางพอร์ตต่างๆด้วย (V_n^-) หรืออาจเรียกรวมๆว่าคลื่นที่กระจัดกระจาย (scatter) ออกไป พารามิเตอร์ชุดดังกล่าวนี้จะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับค่าที่ทำการวัดได้และค่าพารามิเตอร์นี้ก็คือสเกตเตอร์ริงเมตริกซ์นั่นเอง ดังนั้นสามารถเขียนพารามิเตอร์ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.14 วงจรไมโครเวฟที่มี N พอร์ตกับการนิยามสเกตเตอร์ริงเมตริกซ์[15]

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

$$\text{หรือ} \quad [V^-] = [S] [V^+] \quad (2.12)$$

ในการคำนวณค่า S พารามิเตอร์โดยทั่วไปเราจะใช้ค่า V_n^+ และ V_n^- คือกำลังงานขาเข้าและกำลังงานขาออกตามลำดับ โดยจะเขียนอยู่ในรูป $|V_n^+|$ และ $|V_n^-|$ ในที่นี้เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนที่อาจจะเกิดขึ้นจึงกำหนดให้ค่า V_n^+ และ V_n^- เป็น a_n และ b_n ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่าง a_n, b_n กับ V_n^+, V_n^- จะเขียนได้ดังนี้

$$a_n = V_n^+ / \sqrt{Z} = I_n^+ \sqrt{Z_n} \quad (2.13)$$

$$b_n = V_n^- / \sqrt{Z} = V_n^- / \sqrt{Z} \quad (2.14)$$

ซึ่งทำให้กำลังงานคลื่นขาเข้าและกำลังงานคลื่นขาออกที่พอร์ต n เขียนได้ดังนี้

$$|a_n|^2 = |V_n^+|^2 / Z_n = |I_n^+|^2 Z_n \quad (2.15)$$

$$|b_n|^2 = |V_n^-|^2 / Z_n = |I_n^-|^2 Z_n \quad (2.16)$$

เมื่อเราใช้ค่า a_n, b_n ดังกล่าวนี้ S เมตริกซ์ที่ได้ก็จะเป็นการผูกความสัมพันธ์ระหว่าง a_n และ b_n ดังนี้

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \dots \dots \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} \dots \dots \dots & S_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ S_{N1} & S_{N2} \dots \dots \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_N \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\text{หรือ} \quad [b] = [S][a] \quad (2.18)$$

สำหรับเหตุผลที่เราใช้ a_n, b_n แทนที่จะใช้ V_n^+, V_n^- นั้นก็เพราะต้องการให้ S เมตริกซ์ที่เกิดขึ้นไปตามทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับ

2.7.2 ความหมายของสเกลเตอร์เมตริกซ์หรือ S พารามิเตอร์

S พารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าที่ทำการวัดในทางปฏิบัติเราจะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขสัมประสิทธิ์การสะท้อน (The reflection coefficient) จากสมการ (2.17) เราจะได้

$$b_i = S_{ii} a_i$$

$$\text{หรือ} \quad S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} = \frac{V_i^-}{V_i^+} = \Gamma_i \quad (2.19)$$

โดยเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากสมการอื่นได้อีกด้วยดังจะยกในตัวอย่างในสมการ (2.18)

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2.20)$$

โดยที่ค่า

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนดังกล่าวยังสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสัญญาณ (Return Loss) ได้ดังสมการ (2.19)

$$\text{Return Loss} = 10 \log \left[\frac{P_i}{P_r} \right] = -20 \log \left[\frac{E_r}{E_i} \right] = -20 \log \left[\frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right] = 20 \log \Gamma$$

โดยที่ค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสัญญาณจะมีหน่วยเป็น dB

2.8 ข้อสรุปท้ายบท

ในการทำโครงการคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 มีการนำหลักการของระบบสายอากาศแงมาประยุกต์ใช้งาน โดยประกอบด้วย โครงข่ายก่อรูปค่าคลื่นแบบ Butler matrix ที่มีตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศา ตัวไขว้สัญญาณ ตัวเลื่อนเฟส 45 องศา เป็นส่วนประกอบและมีการนำเอาหลักการทฤษฎีคัปเปิลอร์ สเกลเตอร์เมตริกซ์ มาใช้ในการทำโครงการนี้ด้วยเพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

บทที่ 3

การจำลองแบบบนคอมพิวเตอร์โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO

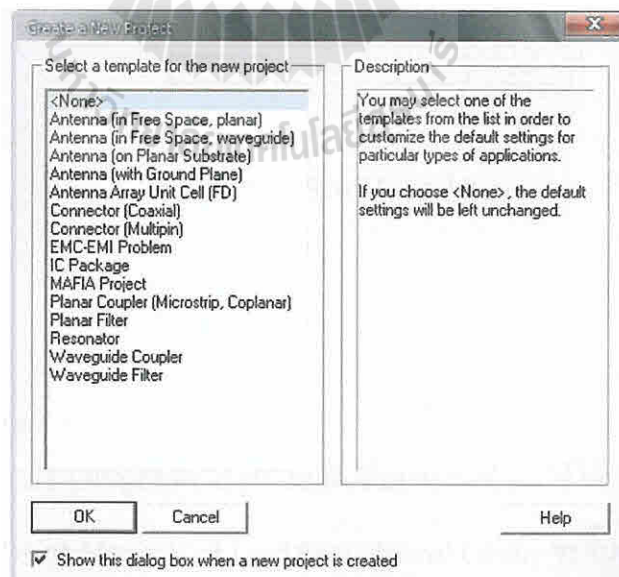
3.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 3 จะเป็นการแนะนำการใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เบื้องต้น เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้โปรแกรมอย่างถูกวิธีและให้รู้หลักการสร้างแบบจำลองรวมถึงวิธีการ ประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ จุดประสงค์เพื่อให้เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษาและใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ได้เข้าใจในโปรแกรมมากขึ้น

3.2 CST MICROWAVE STUDIO

3.2.1 การเริ่มสร้างแบบจำลอง

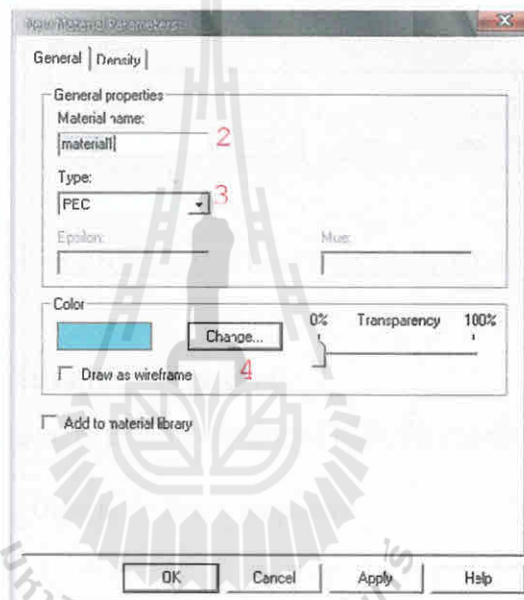
1. เมื่อเปิดโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO แล้วให้เลือกที่เมนู File → New
2. จากนั้นจะขึ้นหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.1 เป็นการสร้าง templates ให้กับชิ้นงาน โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะมีแบบให้เลือกแล้วแต่ความต้องการ หากไม่ต้องกำหนดให้เลือก None แล้วเลือก OK



รูปที่ 3.1 หน้าต่างของ Create a New Project

3.2.2 การสร้างวัสดุ Material

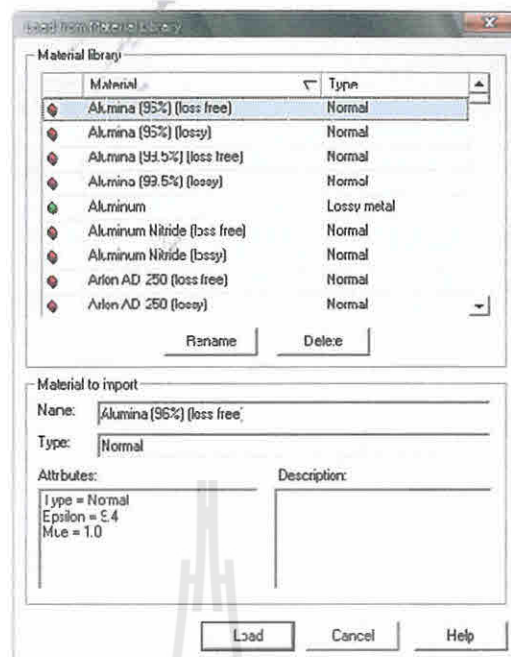
1. เลือกเมนู Solve → Materials → New Materials จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.2
2. ตั้งชื่อให้กับวัสดุ
3. กำหนด ชนิดของวัสดุ (PEC ,Normal ,Anisotropic และ Lossy Metals)
4. เลือกสีให้กับวัสดุ
5. เลือก OK



รูปที่ 3.2 หน้าต่างของ New Material Parameters

3.2.3 Load from Material Library

1. โปรแกรม CST มีข้อมูลของวัสดุบางชนิด ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้
เลือก Solve → Materials → Load from Material Library จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.3
2. เลือก วัสดุที่ต้องการ จะเห็นว่าแต่ละชนิดจะมีค่าคุณสมบัติให้อัตโนมติ
3. เลือก OK



รูปที่ 3.3 หน้าต่างของ Load from Material Library

3.2.4 การสร้างองค์ประกอบ Components

การสร้าง Components เป็นการกำหนดเลขอร์ให้กับชิ้นงานเพื่อความสะดวกในการสร้างงาน แต่ละชิ้น โดยเลือกเมนู Objects → New Component

3.2.5 การกำหนดหน่วย Units

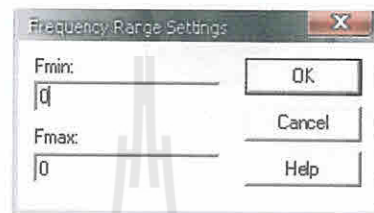
1. เลือกเมนู Solve → Units จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.4
2. เลือก Dimensions ความถี่และเวลาที่ต้องการ
3. เลือก OK



รูปที่ 3.4 หน้าต่างของ Specify Units

3.2.6 การกำหนดความถี่ Frequency

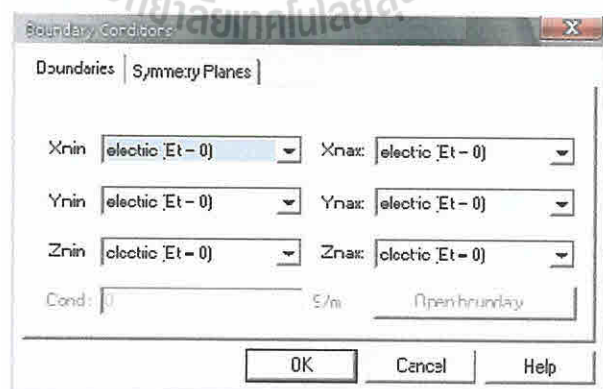
1. หลังจากสร้างชิ้นงานแล้วจะสามารถกำหนดความถี่ได้โดยเลือกเมนู Solve → Frequency จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.5
2. กำหนด ความถี่เริ่มต้น F_{min} และ ความถี่สูงสุด F_{max} ค่าของความถี่ที่ตั้งไว้จะตั้งค่า signal monitors โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.5 หน้าต่างของ Frequency Range Settings

3.2.7 การกำหนดขอบเขต Boundary Conditions

1. เลือกเมนู Solve → Boundary Conditions จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.6
2. เลือกขอบเขตตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.6 หน้าต่างของ Boundary Conditions

Electric: ค่าสนามไฟฟ้าของด้านที่เลือก ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ มีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 3.6 ก



รูปที่ 3.6 ก Electric

Magnetic: ค่าสนามแม่เหล็กของด้านที่เลือก ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ ดังรูปที่ 3.6 ข



รูปที่ 3.6 ข Magnetic

Open (PML): เสมือนเป็นอากาศว่าง Free Space คลื่นสามารถผ่านไปได้ ดังรูปที่ 3.6 ค



รูปที่ 3.6 ค Open (PML)

Open (add space): เหมือน Open (PML) แต่จะเพิ่มระยะสำหรับการคำนวณ farfield การกำหนดแบบนี้ส่วนมากใช้ในการสร้างสายอากาศ ดังรูปที่ 3.6 ง



รูปที่ 3.6 ง Open (add space)

Periodic: เป็นการเชื่อมขอบเขตด้านตรงข้ามเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.6 จ



รูปที่ 3.6 จ Periodic

Conducting Wall: เสมือนเป็นผนังของวัสดุโลหะแบบ lossy ดังรูปที่ 3.6 ช



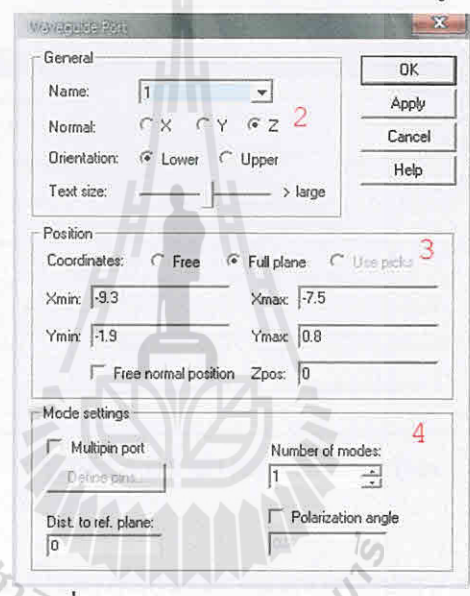
รูปที่ 3.6 ข Conducting Wall

3.2.8 การป้อนพลังงานโดยการกำหนดพอร์ต

การกำหนด ทำได้ 2 วิธี คือ Waveguide Port และ Discrete Port

ก) Waveguide Port

1. เลือกเมนู Solve → Waveguide Port จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าต่างของ Waveguide Port

2. ส่วนของ General – Normal สามารถเลือกแกน X , Y และ Z ที่ต้องการป้อนพอร์ตได้ Orientation เป็นการกำหนดระนาบให้อยู่ด้านใดของระนาบนั้น

3. ส่วนของ Position – Coordinates

Free: หากเลือก Normal ระนาบใด เราจะกำหนดความกว้างยาวของพอร์ตอีก 2 ระนาบ ดังนี้

Normal Edit fields

X Ymin, Ymax, Zmin, Zmax

Y Xmin, Xmax, Zmin, Zmax

Z Xmin, Xmax, Ymin, Ymax

Full plane: หากเลือกคำสั่งนี้ ไม่จำเป็นต้องกำหนดค่า เพราะจะสั่งให้ทั้งระนาบนั้นเป็นการ

ป้อนพอร์ตทั้งหมด

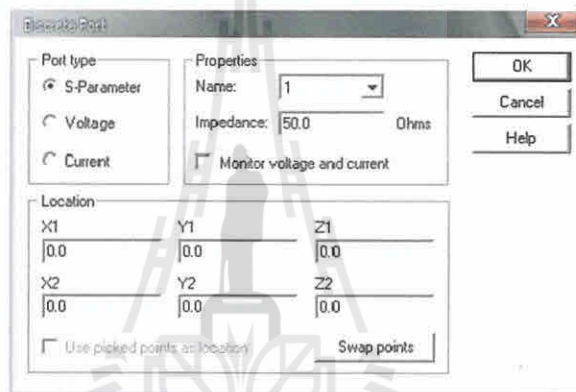
Free normal position: กำหนดระยะการวางพอร์ต

4. ส่วนของ Mode Setting เป็นการสร้างจุดอ้างอิงของพอร์ต
5. เลือก OK

ข) Discrete Port

การสร้างพอร์ตแบบนี้ใช้หลักการสร้างจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่ง โดยระหว่างพอร์ตนั้นต้องไม่มีเนื้อของชิ้นงานแรกอยู่

1. เลือกเมนู Solve → Discrete Port จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 หน้าต่างของ Discrete Port

2. ส่วนของ Port type เป็นการกำหนดลักษณะเพื่อการประมวลผล
 - S-Parameter – อ้างอิง โดยให้พอร์ตที่ป้อนเป็น 50 โอห์ม
 - Voltage – อ้างอิง โดยป้อนแรงดันให้กับพอร์ตตามที่กำหนด
 - Current – อ้างอิง โดยป้อนกระแสให้กับพอร์ตตามที่กำหนด
3. ส่วนของ Location เป็นการกำหนดจุดที่ต้องการในการป้อนพลังงาน โดยรูปแบบของ discrete port จะเป็นดังรูปที่ 3.9



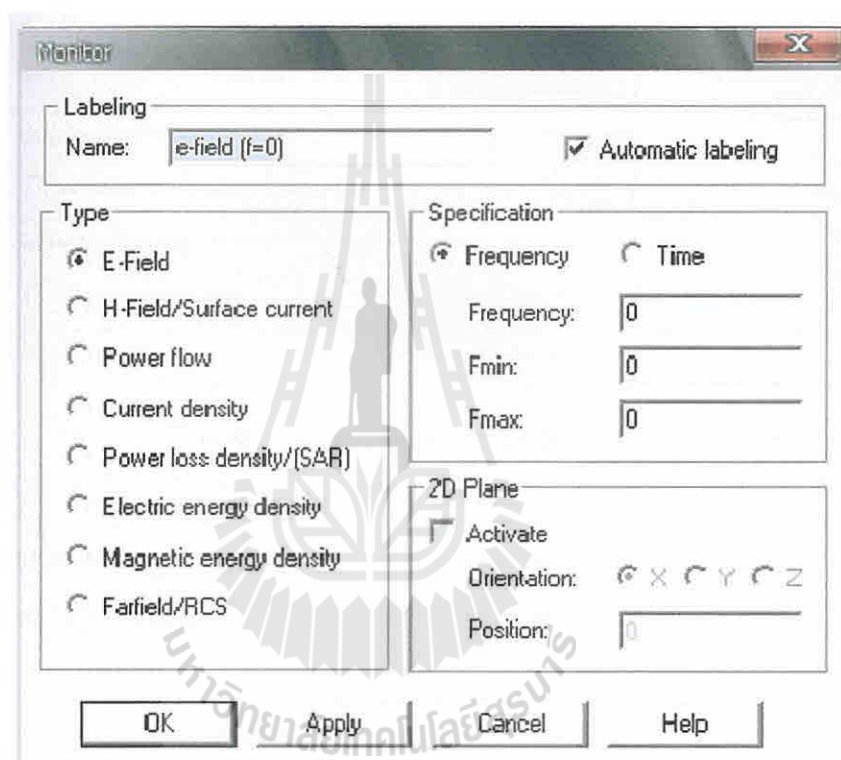
รูปที่ 3.9 รูปแบบ ของ Discrete Port

3.2.9 การกำหนด Field Monitors

ก่อนที่จะทำการประมวลผลจะต้อง เลือกว่าจะดูผลแบบใดบ้าง

1. เลือกเมนู Solve → Field Monitors จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.10
2. เลือก Type ที่ต้องการจะดูการประมวลผล
3. เลือก OK

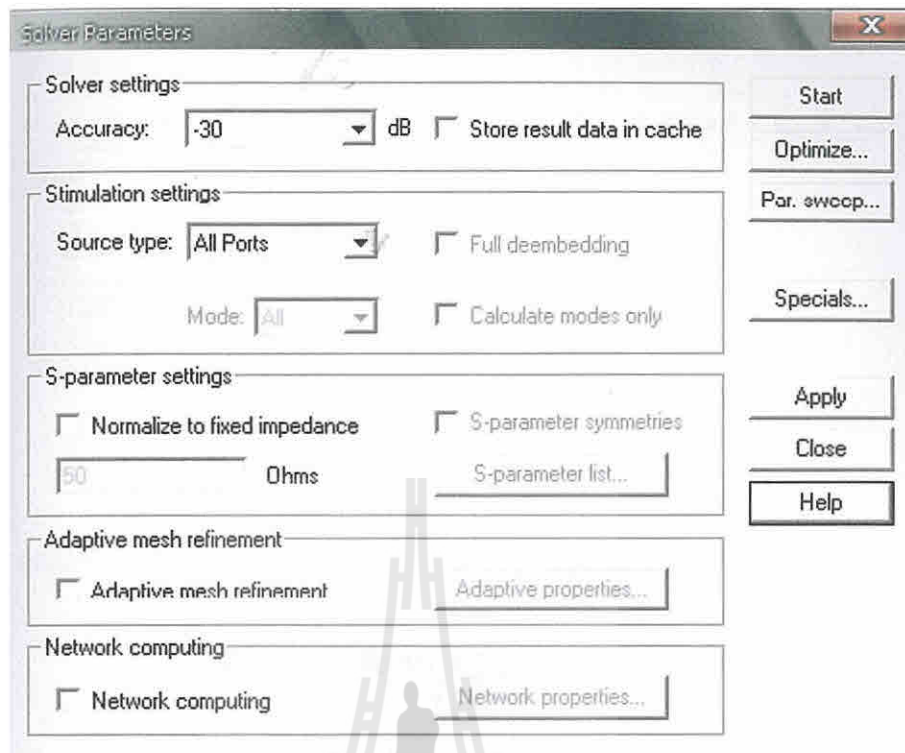
ในการตั้งค่า Field Monitors สามารถกำหนด type ได้หลายตัว



รูปที่ 3.10 รูปของหน้าต่าง Monitor

3.2.10 การประมวลผล

1. เลือกเมนู Solve → transient Solver จะขึ้นหน้าต่างดังรูปที่ 3.11
2. กำหนด Accuracy ขึ้นอยู่กับสายอากาศที่ออกแบบมา
3. เลือก Start



รูปที่ 3.11 หน้าต่างของ Solver Parameters

3.2.11 การสร้างรูปทรงพื้นฐาน (Basic Shape Creation)

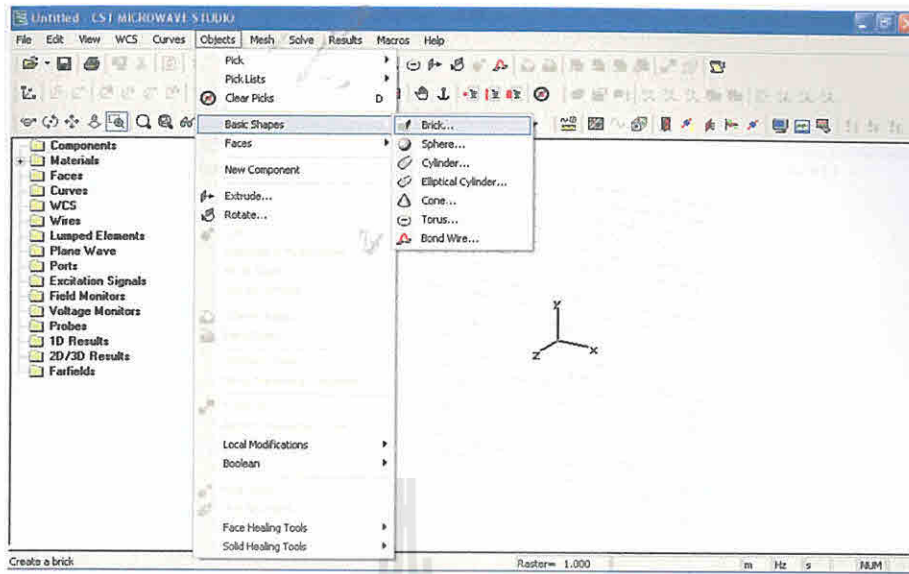
การสร้างรูปทรงพื้นฐานต่างๆในโปรแกรม CST มีดังนี้

-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Brick**
-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Sphere**
-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Cylinder**
-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Elliptical Cylinder**
-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Cone**
-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Torus**

ก) การสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม (Brick)

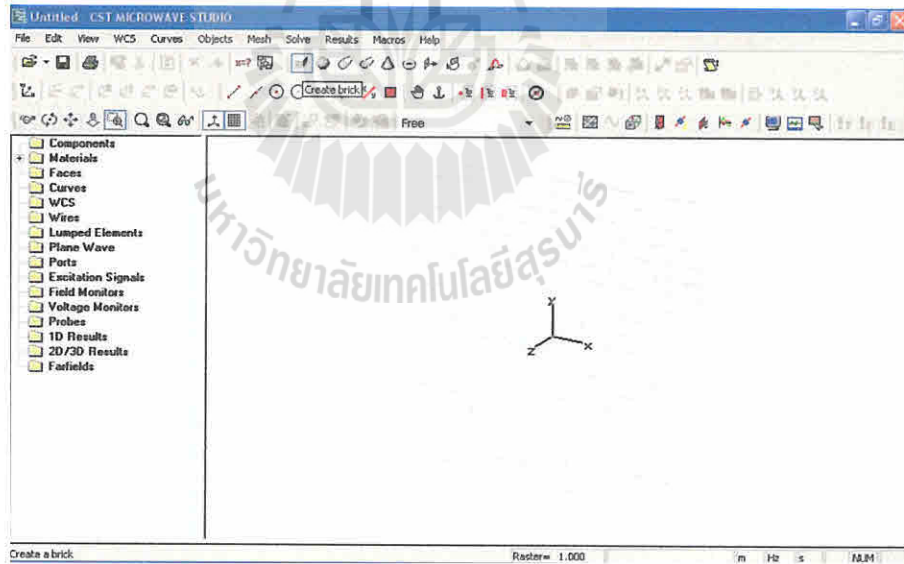
วิธีที่ 1 ไปที่ main menu แล้วทำตามขั้นตอนดังนี้ ตามรูปที่ 3.12

-  **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Brick**



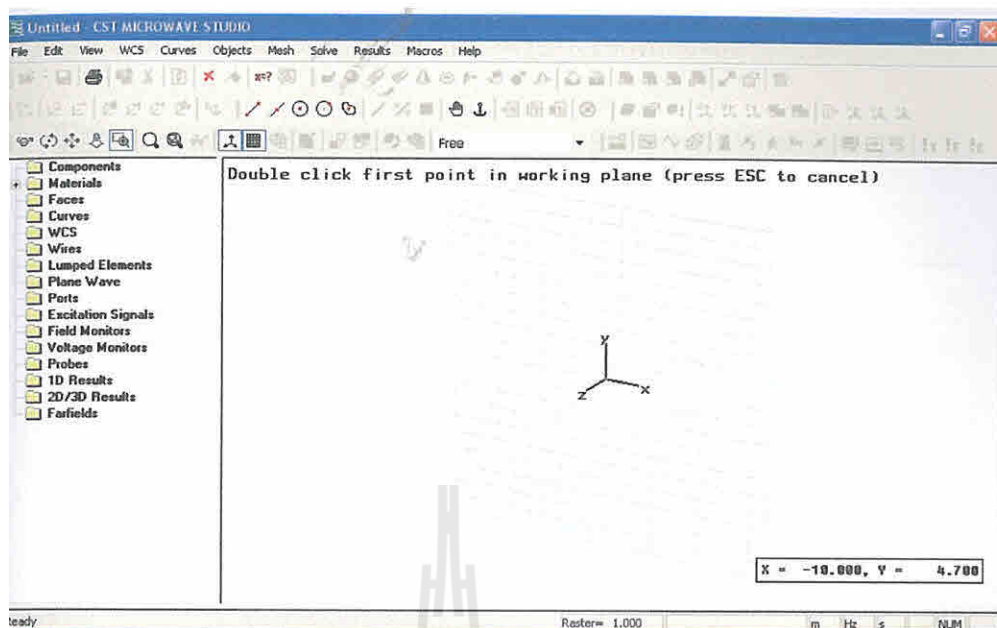
รูปที่ 3.12 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม

วิธีที่ 2 ไปที่ Objects toolbar คลิกที่รูปสี่เหลี่ยม (Create brick) ตามรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การใช้คำสั่งในการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมโดยทางลัด

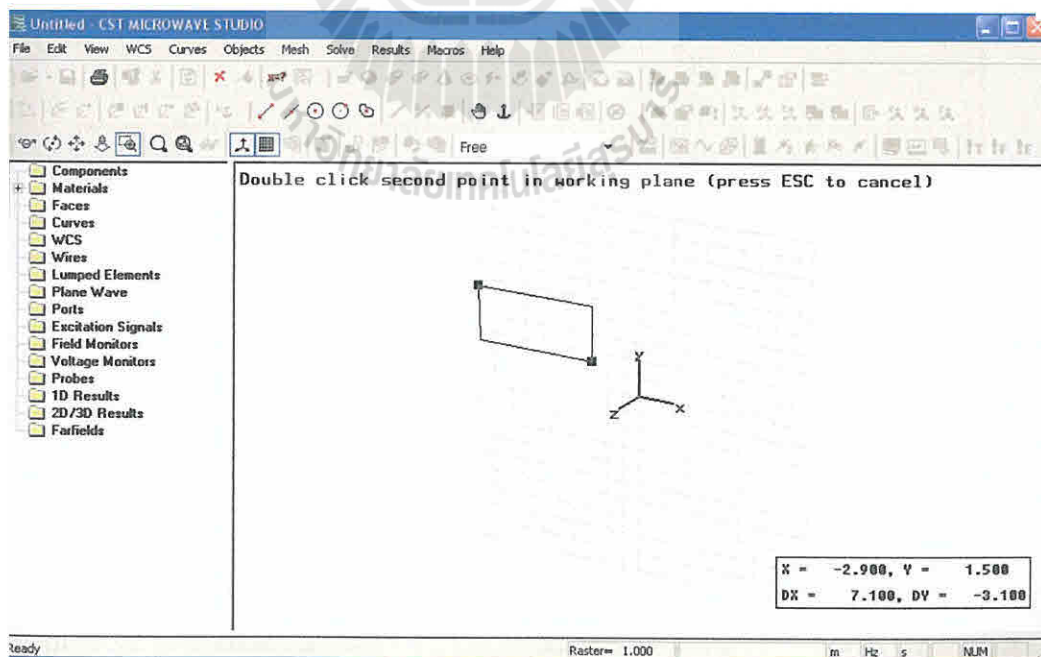
จากทั้ง 2 วิธี จะได้นหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม

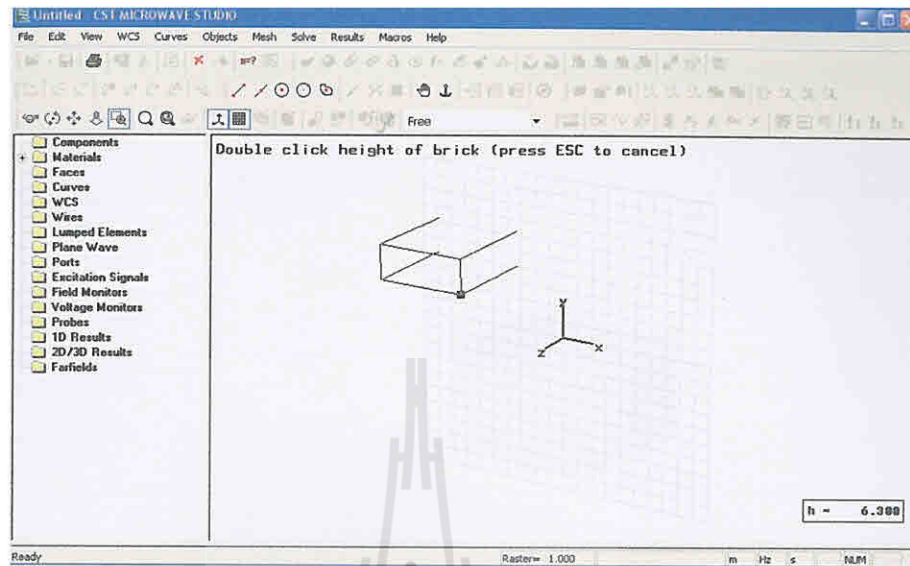
จากนั้นทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ดับเบิลคลิกหนึ่งครั้งบนพื้นที่ว่างแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.15



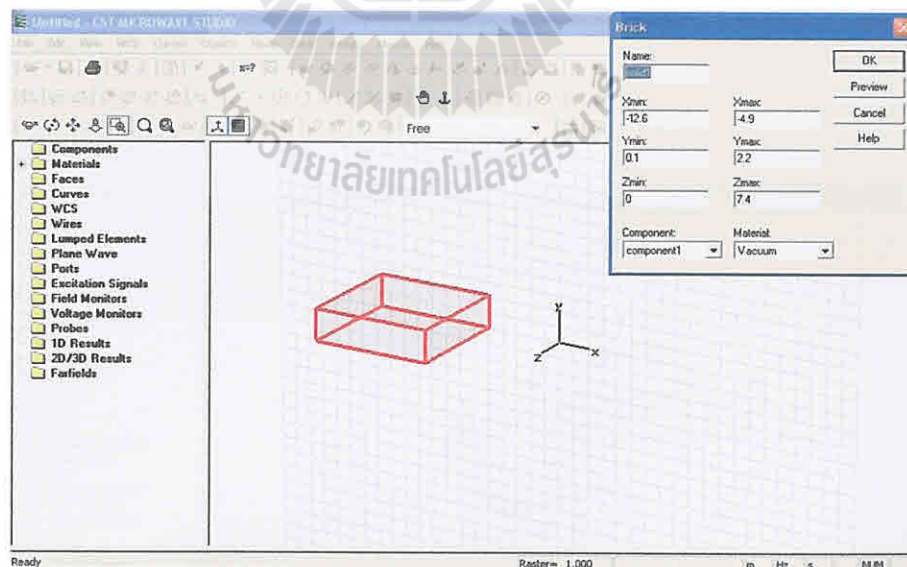
รูปที่ 3.15 รูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 1

2. คับเบิ้ลคลิกอีกครั้งหนึ่งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 รูปทรงของกล่องสี่เหลี่ยมที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2

3. คับเบิ้ลคลิกอีกครั้งหนึ่งจะได้รูปกล่องสี่เหลี่ยมและมีหน้าต่างที่ชื่อ Brick ขึ้นมาดังรูปที่ 3.17

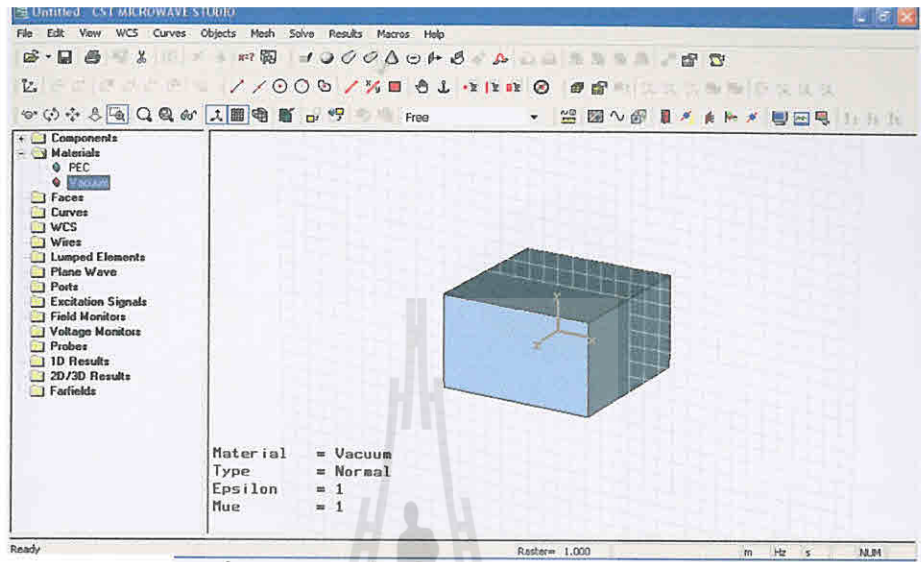


รูปที่ 3.17 แสดงรูปกล่องสี่เหลี่ยมและหน้าต่างที่ชื่อ Brick ซึ่งได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 3

4. ตั้งชื่อในช่อง Name กำหนดค่าต่างๆให้ครบ ส่วนตรงช่อง Component กับ Material ให้เลือกว่า

จะเอาอะไรตามที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ตอนต้น

5. คลิกที่ OK ก็จะได้รูปกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามที่ได้กำหนดดังรูปที่ 3.18



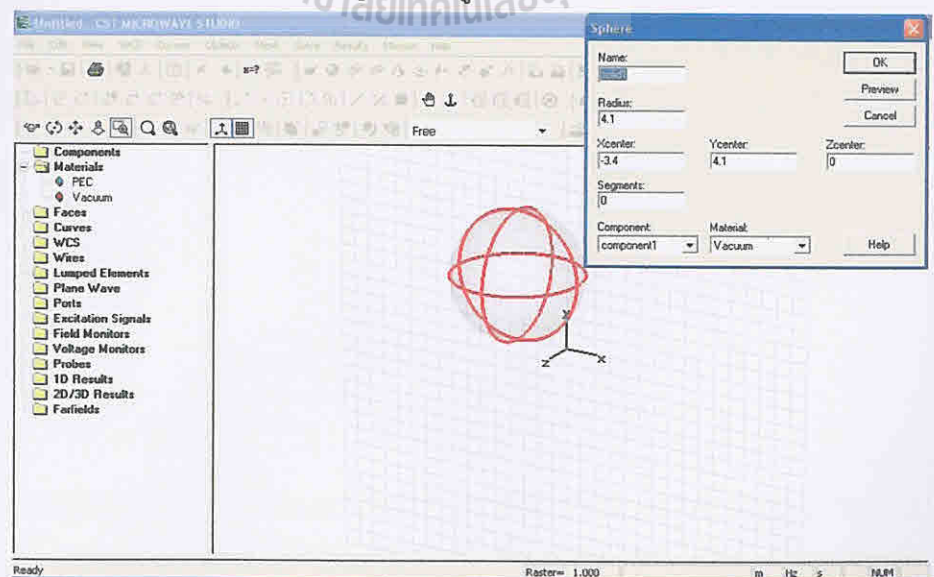
รูปที่ 3.18 กล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด

ข) การสร้างรูปทรงกลม (Sphere)

การสร้างรูปทรงกลมมี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

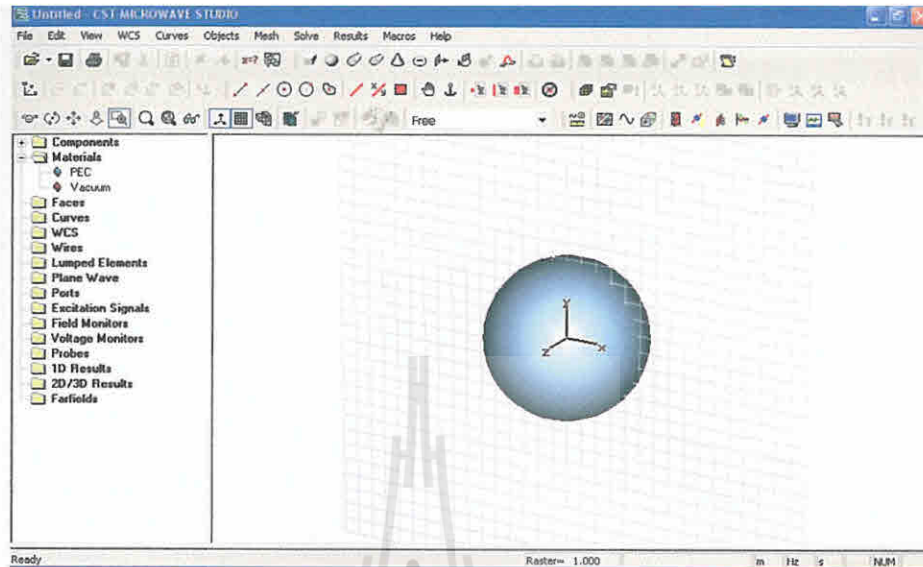
Objects ⇒ **Basic Shapes** ⇒ **Sphere**

แล้วทำการกำหนดค่าในหน้าต่างที่ชื่อ Sphere ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 รูปร่างของทรงกลมและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทรงกลม

จากนั้นก็ทำเช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม จะได้รูปทรงกลมออกมาดังนี้ ตามรูปที่ 3.20



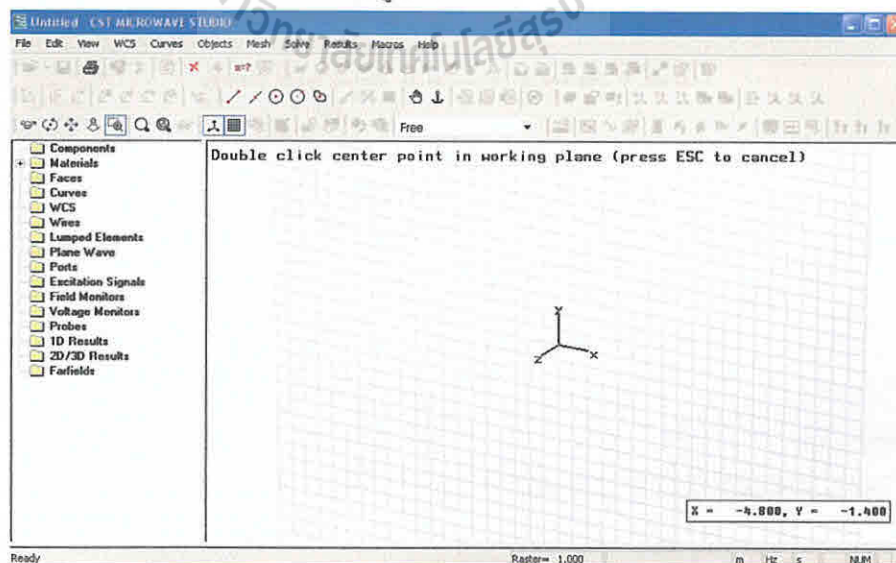
รูปที่ 3.20 รูปทรงกลมที่ได้หลังจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เสร็จแล้ว

ค) การสร้างรูปทรงกระบอก (Cylinder)

การสร้างรูปทรงกระบอก มี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

 **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Cylinder**

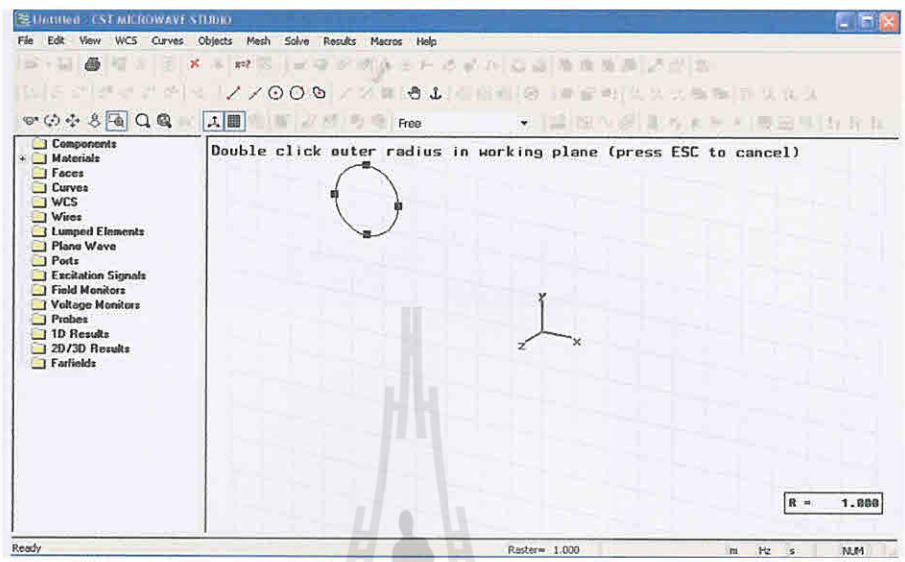
เมื่อเข้าไปตามคำสั่งนี้แล้วจะได้หน้าต่างดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 หน้าต่างของการสร้างรูปทรงกระบอก

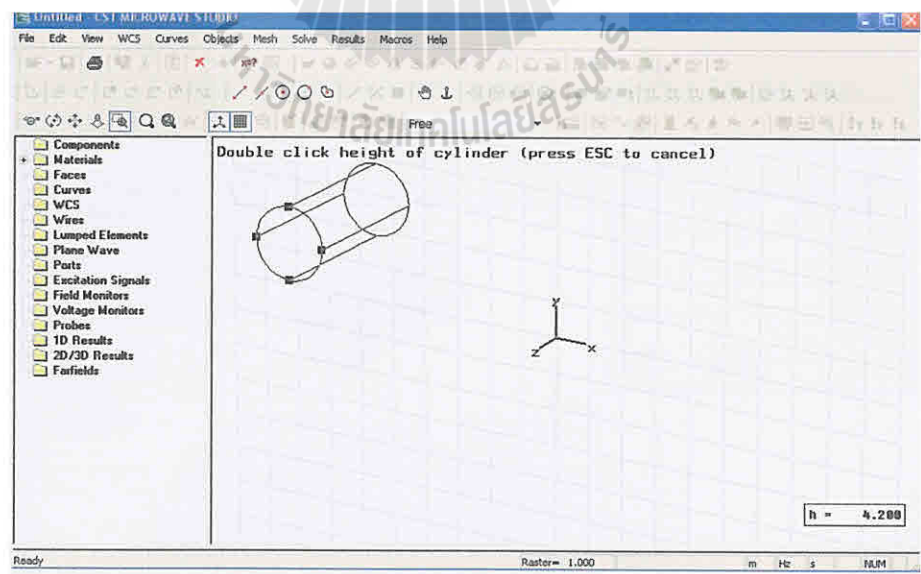
จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิกที่พื้นที่ว่างหนึ่งครั้งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปวงกลมดังรูปที่ 3.22



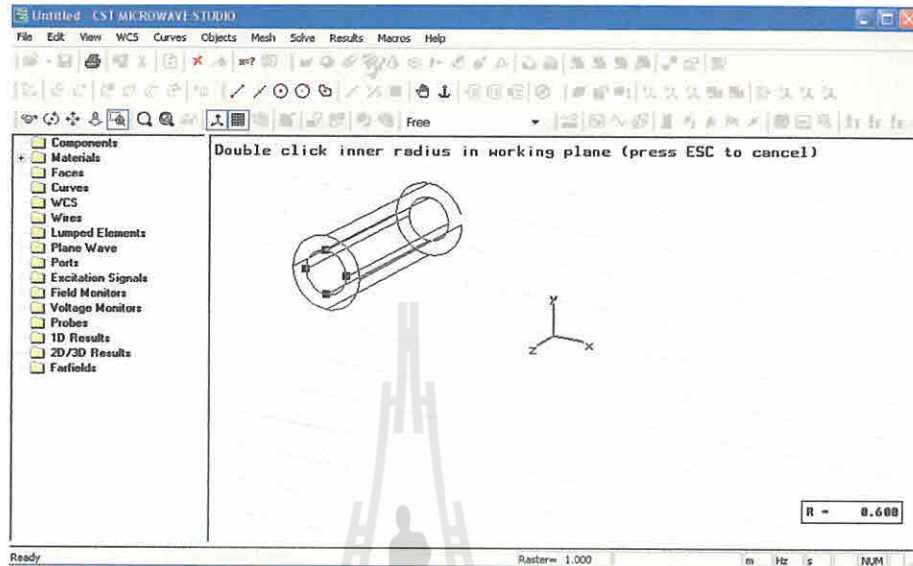
รูปที่ 3.22 รูปวงกลมที่ได้จากการสร้างรูปทรงกระบอกในขั้นตอนที่ 1

2. ดับเบิ้ลคลิกอีกหนึ่งครั้งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้รูปปร่างทรงกระบอกดังรูปที่ 3.23



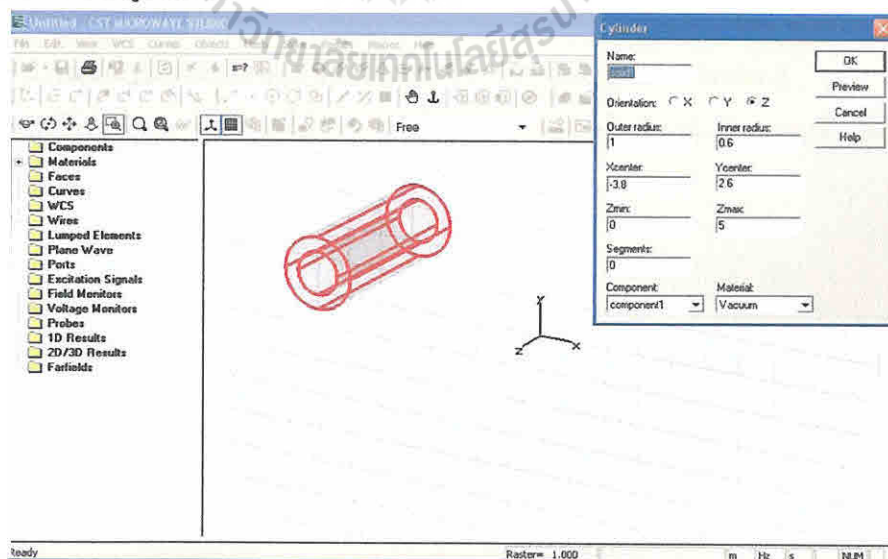
รูปที่ 3.23 รูปปร่างทรงกระบอกที่ได้จากการสร้างในขั้นตอนที่ 2

3. ดับเบิลคลิกอีกหนึ่งครั้งแล้วลากเมาส์เข้าไปด้านในของทรงกระบอกจากรูปที่ 3.23 จะได้รูปร่างของทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง ดังรูปที่ 3.24



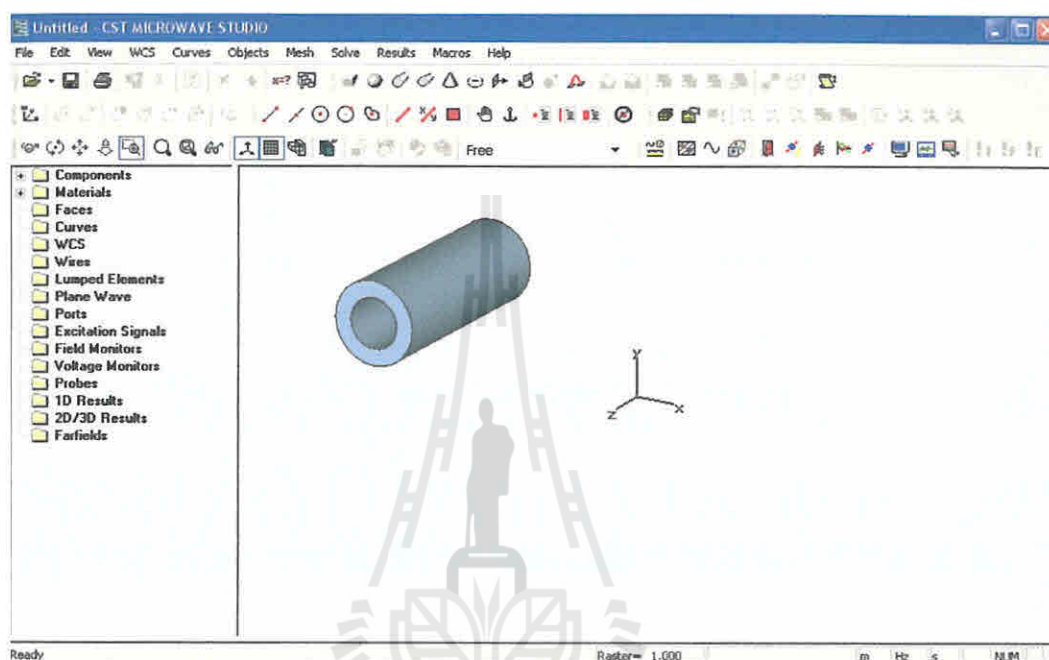
รูปที่ 3.24 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง

4. ดับเบิลคลิกอีกหนึ่งครั้งจะได้รูปร่างของทรงกระบอก (จากขั้นตอนที่ 2 สามารถกด Esc ออกไปเลยก็ได้แล้วค่อยไปกำหนดค่ารัศมีเอาทีจะได้อีกเช่นกัน) และจะปรากฏหน้าต่างที่ชื่อ Cylinder ขึ้นมาเพื่อให้กำหนดค่า ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง และหน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์

5. เมื่อกำหนดค่าเสร็จแล้ว คลิกที่ปุ่ม OK จะได้รูปทรงกระบอกที่มีลักษณะกลวงและมีความหนาตามรัศมีของวงกลม 2 วง ที่ได้กำหนด และมีจุดศูนย์กลางกับความยาวตามแนวแกนที่กำหนด ดังรูปที่ 3.26



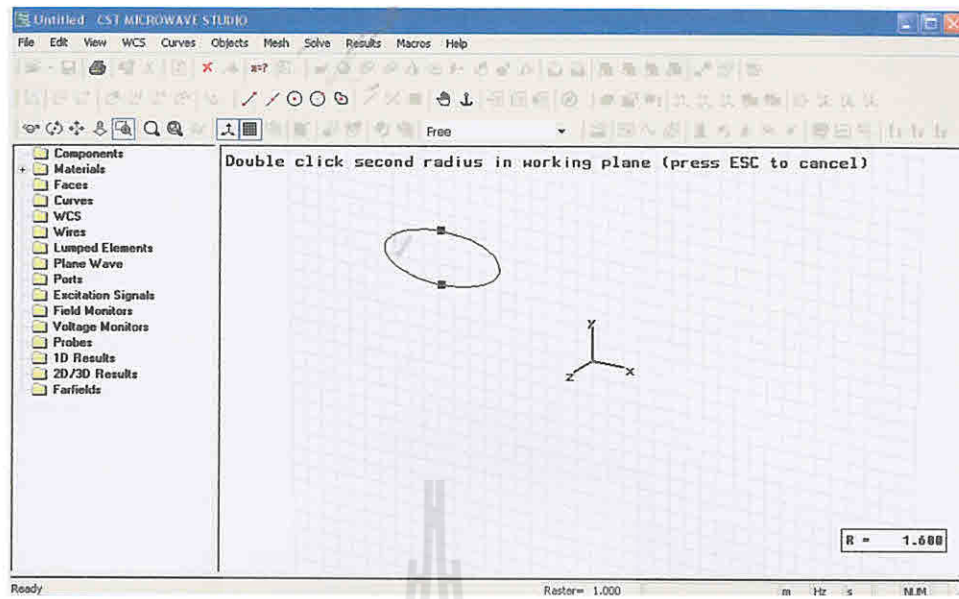
รูปที่ 3.26 รูปทรงกระบอกที่มีวงกลมรัศมีต่างกัน 2 วง มีขนาดตามที่ได้กำหนด

ง) การสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี (Elliptical Cylinder)

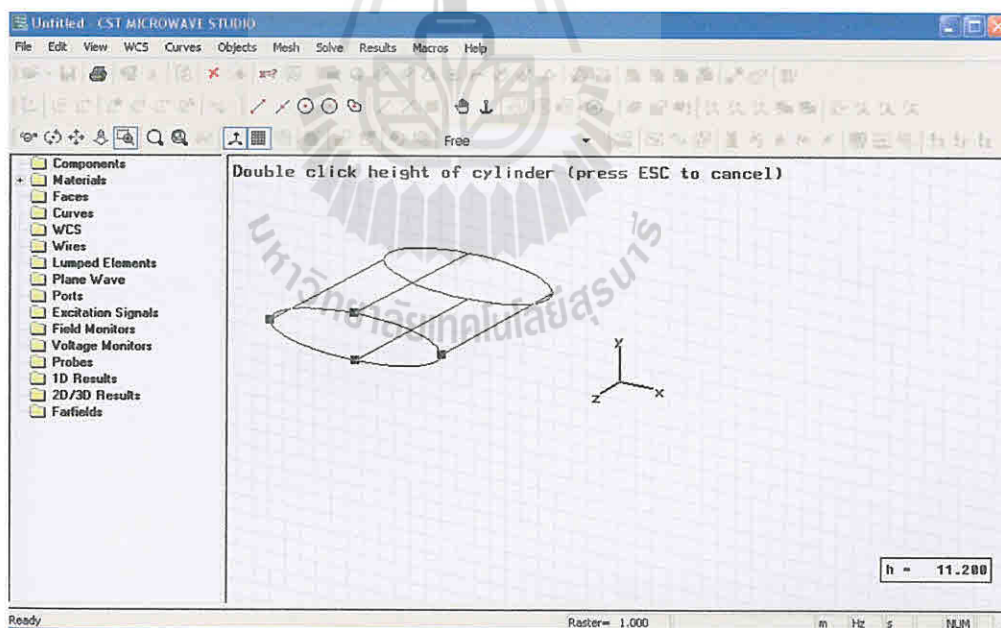
การสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี มี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

 **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Elliptical Cylinder**

1. ดับเบิลคลิกบนพื้นที่ว่างหนึ่งครั้งแล้วลากเมาส์ออกไปจะได้เส้นตรงจากนั้นดับเบิลคลิกอีกหนึ่งครั้งจะได้รูปวงรีดังรูปที่ 3.27

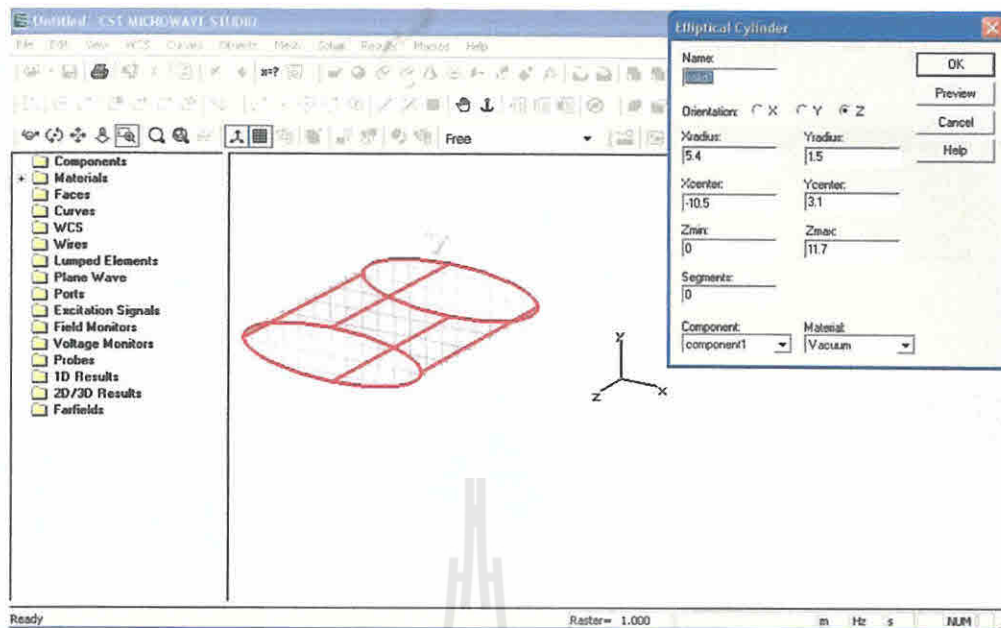


รูปที่ 3.27 วงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ของการสร้างรูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี
 2. คับเบิลคลิกอีกครั้งจะได้รูปทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีดังรูปที่ 3.28



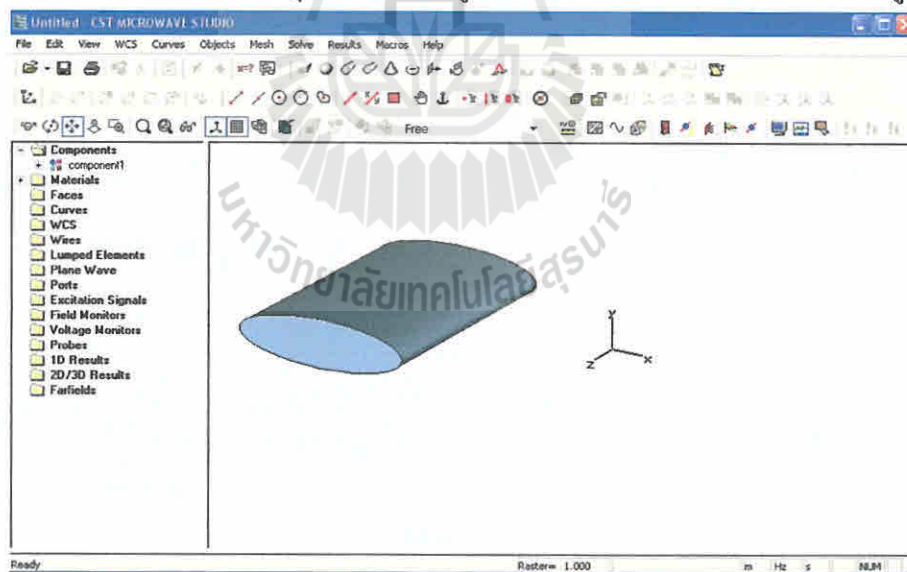
รูปที่ 3.28 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 นี้

3. คับเบิลคลิกอีกครั้งจะมีหน้าต่าง Elliptical Cylinder ขึ้นมาเพื่อให้กำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 รูปร่างของทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีและหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์

4. กำหนดค่าต่างๆ ให้ครบแล้วกดปุ่ม OK ก็จะได้รูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็นวงรี ดังรูปที่ 4.30



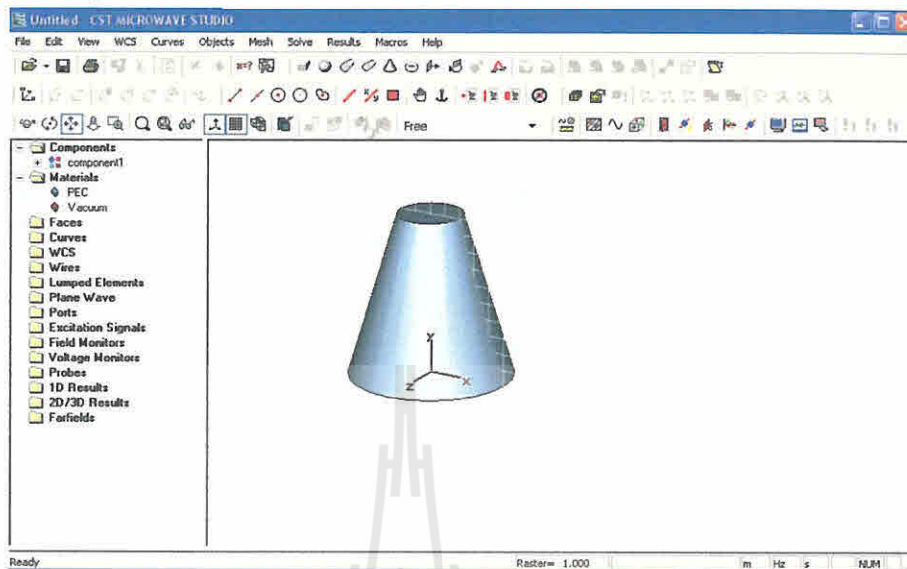
รูปที่ 3.30 รูปทรงกระบอกที่มีลักษณะเป็น วงรี

จ) การสร้างรูปทรงกรวย (Cone)

การสร้างรูปทรงกรวย มี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปอื่นๆ แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

 **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Cone**

ส่วนขั้นตอนการทำและการกำหนดค่านั้นเหมือนกับการสร้างรูปที่ผ่านมา จะได้รูปออกมาเป็นรูปทรงกรวย ดังรูปที่ 3.31



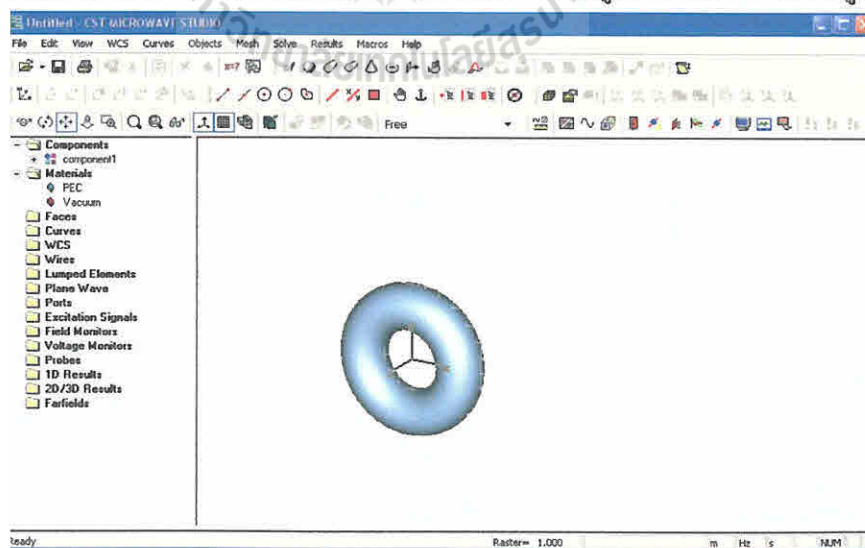
รูปที่ 3.31 รูปทรงกรวยที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด

ฉ) การสร้างรูปทรงขนมโดนัท (Torus)

การสร้างรูปทรงขนมโดนัทมี 2 วิธี เช่นเดียวกันกับการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปอื่นๆ แต่เลือกคำสั่งจาก main menu ดังนี้

☞ **Objects** ⇨ **Basic Shapes** ⇨ **Torus**

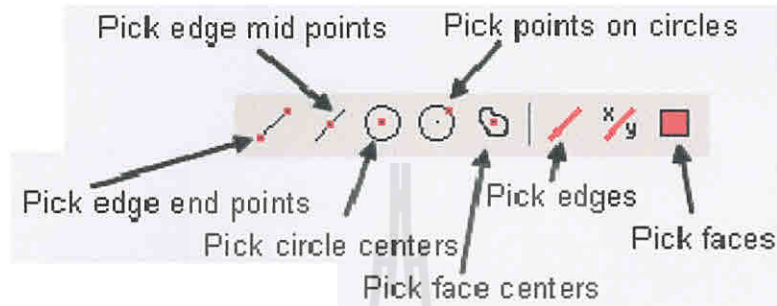
ส่วนขั้นตอนการทำและการกำหนดค่านั้นเหมือนที่ผ่านมา จะได้รูปทรงขนมโดนัท ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 รูปทรงขนมโดนัทที่มีขนาดตามที่ได้กำหนด

3.2.12 เครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ

เครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ (pick tool) ลักษณะของแถบเครื่องมือเป็นดังรูปที่ 3.33



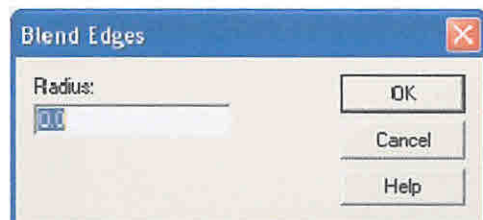
รูปที่ 3.33 แถบเครื่องมือที่ใช้ในการเลือกขอบหรือผิววัสดุ

3.2.13 การลบคมและการเนียนขอบ

ก) การลบคม

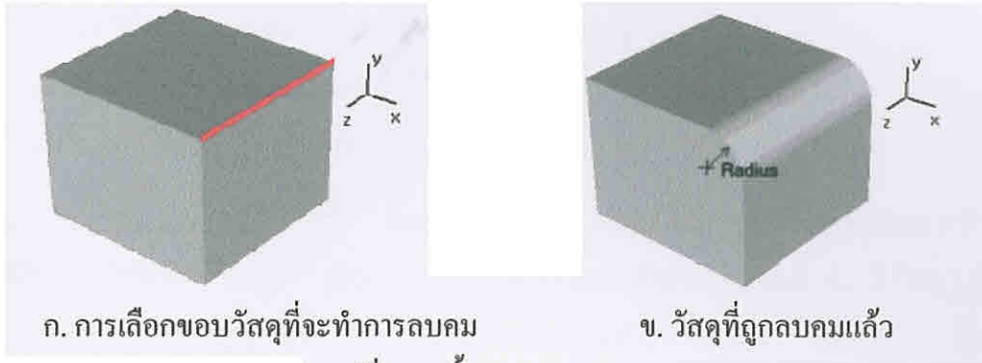
การลบคม (Blend Edge) ขั้นตอนการทำมีดังนี้

1. เลือกคำสั่ง Pick edges จาก Pick tool
2. ใช้เมา์ไปดับเบิลคลิกที่ขอบวัสดุที่จะทำการลบคม
3. เลือกใช้คำสั่งจาก main menu ดังนี้ **Objects** ⇒ **Blend Edges** (👉)
4. จากนั้นจะมีหน้าต่างเล็กๆขึ้นมาเพื่อให้ใส่ค่ารัศมีว่าจะลบคมเป็นรัศมีเท่าไรก็ได้ใส่ไป ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 หน้าต่างในการกำหนดค่ารัศมีของการลบคม

จะได้ออกมาดังรูปที่ 3.35ก และ 3.35ข



ก. การเลือกขอบวัสดุที่จะทำการลบคม

ข. วัสดุที่ถูกลบคมแล้ว

รูปที่ 3.35 ขั้นตอนการลบคม

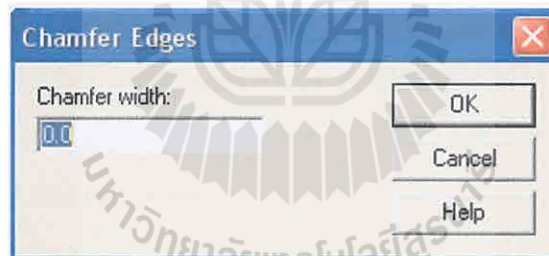
ข) การเนียนคม

การเนียนคม (Chamfer Edges) ขั้นตอนการทำมีดังนี้

1. เลือกคำสั่ง Chamfer Edges จาก Pick tool
2. ใช้เมา์ไปดับเบิลคลิกที่ขอบวัสดุที่จะทำการเนียนคม
3. เลือกใช้คำสั่งจาก main menu ดังนี้

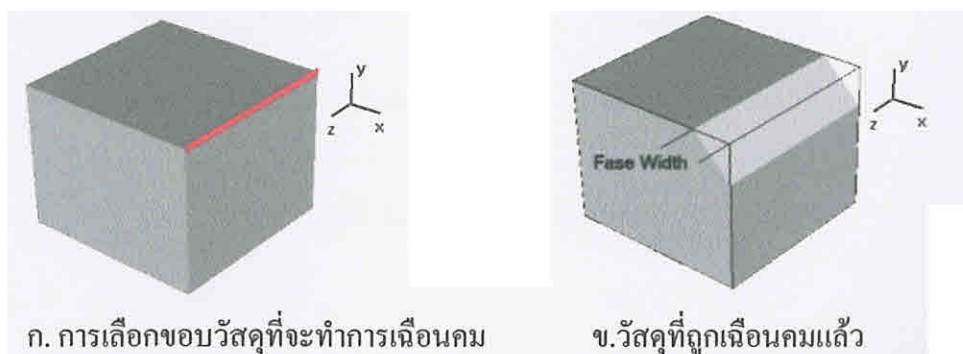
Objects → **Chamfer Edges** ().

4. จากนั้นจะมีหน้าต่างเล็กๆขึ้นมา ดังรูปที่ 3.36 เพื่อให้ใส่ค่ารัศมีว่าจะเนียนคมเป็นความกว้างเท่าไรก็ได้



รูปที่ 3.36 หน้าต่างการกำหนดค่าของการเนียนคม

จะได้ออกมาดังรูปที่ 3.37ก และ 3.37ข



ก. การเลือกขอบวัสดุที่จะทำการเนียนคม

ข. วัสดุที่ถูกเนียนคมแล้ว

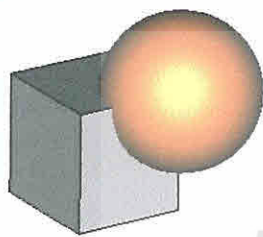
รูปที่ 3.37 ขั้นตอนการเนียนคม

3.2.14 วิธีการทำงานของบูลีน (Boolean Operations)

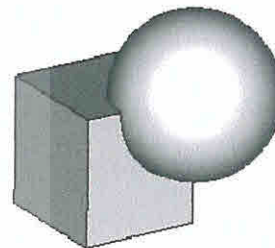
ก) วิธีการรวมวัตถุ(Add Mode)

เลือกวัตถุที่จะทำการ Add จาก component

จากนั้น คลิกที่ **Boolean Add** (+) ที่อยู่บน Objects toolbar หรือ คลิกที่ main menu แล้วเลือก **Objects** ⇒ **Boolean** ⇒ **Add** เลือกวัตถุที่จะทำการ Add เข้ากับวัตถุชิ้นนี้ เช่น มีวัตถุ 2 ชิ้น ดังรูปที่ 3.38ก เมื่อทำการ Add เสร็จจะได้วัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 3.38ข



ก. วัตถุที่ยังไม่ทำการ Add

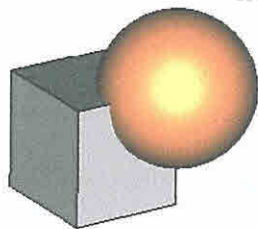


ข. วัตถุที่ Add แล้ว

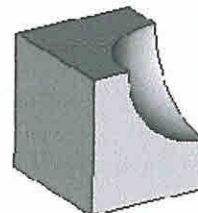
รูปที่ 3.38 วิธีการรวมวัตถุ

ข) วิธีการลบวัตถุออก (Subtract Mode)

ทำเช่นเดียวกันกับการรวมวัตถุ (Add Mode) แต่เลือกคลิกรูปที่อยู่บน Objects toolbar ดังนี้ **Boolean Subtract** (-) หรือ คลิกที่ main menu แล้วเลือกดังนี้ **Objects** ⇒ **Boolean** ⇒ **Subtract** จะได้วัตถุที่เป็น ดังรูปที่ 3.39ก และ 3.39ข



ก วัตถุที่ยังไม่ทำการ Subtract

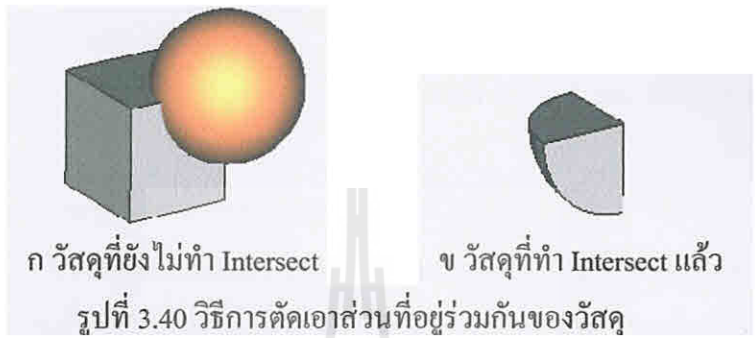


ข วัตถุที่ทำการ Subtract แล้ว

รูปที่ 3.39 วิธีการลบวัตถุออก

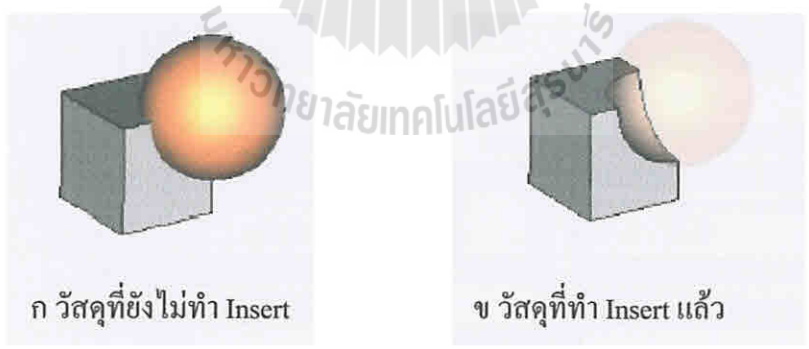
ค) วิธีการตัดเอาส่วนที่อยู่ร่วมกันของวัสดุ (Intersect Mode)

ทำเช่นเดียวกันกับการรวมวัสดุ (Add Mode) แต่เลือกคลิกรูปที่อยู่บน Objects toolbar ดังนี้ **Boolean Intersect** (☒) หรือ คลิกที่ main menu แล้วเลือกดังนี้ **Objects** ⇨ **Boolean** ⇨ **Intersect** จะได้วัสดุที่เป็น ดังรูปที่ 3.40ก และ 3.40ข



ง) วิธีการแทรกวัสดุ (Insert Mode)

ทำเช่นเดียวกันกับการรวมวัสดุ (Add Mode) แต่เลือกคลิกรูปที่อยู่บน Objects toolbar ดังนี้ **Boolean Insert** (☒) หรือ คลิกที่ main menu แล้วเลือกดังนี้ **Objects** ⇨ **Boolean** ⇨ **Insert** จะได้วัสดุที่เป็น ดังรูปที่ 3.41ก และ 3.41ข



รูปที่ 3.41 วิธีการแทรกวัสดุ

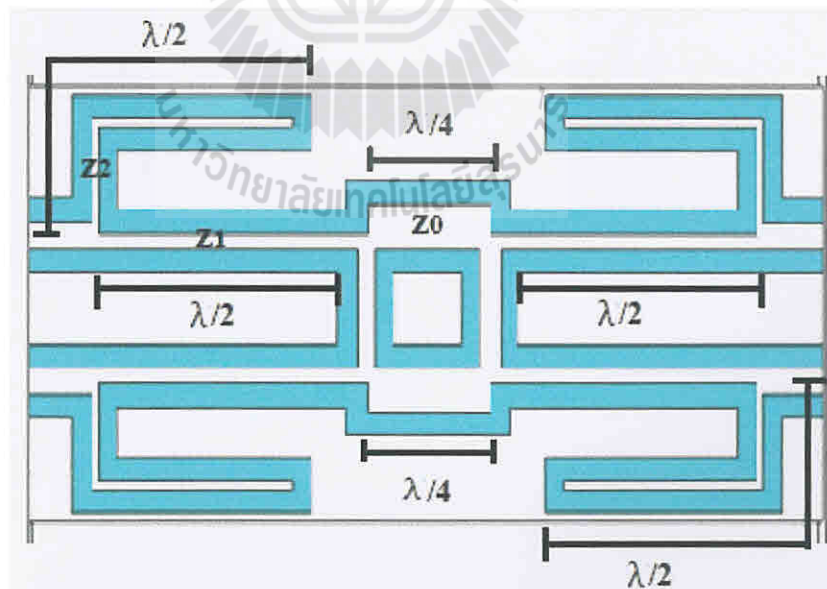
3.3 หลักการออกแบบ

ในการออกแบบตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ซึ่งทำบนแผ่น FR-4 แบบสองหน้า มีพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการออกแบบดังนี้

1. ความถี่ที่ใช้ปฏิบัติงานของตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดแถบกว้าง
2. ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของฉนวน (Dielectric constant : ϵ_r) ซึ่งไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบเป็น Glass Epoxy FR-4 แบบสองหน้าซึ่งมีค่า Dielectric constant : ϵ_r เท่ากับ 4.5
3. ความสูงของ ไดอิเล็กตริกฉนวน (h) สำหรับในการออกแบบนี้ให้มีความสูง h เท่ากับ 1.66 mm.
4. ขนาดของแผ่นฉนวนสำหรับในการออกแบบนี้ กว้าง 6 cm. ยาว 12 cm.

3.3.1 คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาแบบแถบกว้าง

คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาแบบแถบกว้าง (Wideband) จะทำหน้าที่ดำเนินการขึ้นพื้นฐานของการแยกเส้นทางของการเชื่อมต่อถ้า ทุกพอร์ตมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากันเมื่อใส่พลังงานเข้าไปที่พอร์ต P1 พลังงานจะถูกแบ่งแยกเท่าเทียมระหว่างพอร์ต P2 และพอร์ต P3 ซึ่งพลังงานที่ได้จะมีค่าครึ่งหนึ่งของพลังงานที่เข้ามาในพอร์ต P1 พลังงานที่ได้จากพอร์ต P2 และพอร์ต P3 จะหักล้างกันอยู่ 90 องศาและจำไม่มีพลังงานออกไปที่พอร์ต P4 (พอร์ต โคลด์เดี่ยวช่วงความถี่ที่ปฏิบัติการคือระหว่าง 1900-2100 MHz



รูปที่ 3.42 คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาโดยใช้แบบแถบกว้าง

คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาแบบแถบกว้างสามารถคำนวณได้จากรูปที่ 3.42 โดยใช้ดังต่อไปนี้

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) & ; W/d \leq 1 \\ \frac{120 \pi}{\sqrt{\epsilon_e} \left[\frac{W}{d} + 1.393 - 0.667 \ln \left(\frac{W}{d} + 1.444 \right) \right]} & ; W/d \geq 1 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2} & ; W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B-1 - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B-1) + 0.39 + \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & ; W/d > 2 \end{cases} \quad (3.2)$$

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

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \frac{1}{\sqrt{1+12\frac{d}{W}}} \quad (3.3)$$

$$k_0 = \frac{2\pi f}{c} \quad (3.4)$$

$$l = \frac{90(\pi/180)}{\sqrt{\epsilon_e k_0}} \quad (3.5)$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \frac{1}{f} \quad (3.6)$$

กำหนดค่า $Z_0 = 50 \Omega$, $Z_0/\sqrt{2} = 35.355 \Omega$, $Z_1 = 68 \Omega$, $Z_2 = 85.5 \Omega$, $\epsilon_r = 4.5$, $f = 2.0 \text{ GHz}$

$$d = 1.66 \text{ mm.} , C = 3 \times 10^8$$

ทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากสมการดังกล่าวจะได้ดังนี้

ที่ Z_0

$$A = 1.544$$

เราสามารถนำไปใช้ได้ตามสมการที่ 3.2

$$\epsilon_e = 3.394$$

$$\frac{W}{d} = 1.88 \text{ mm.}$$

$$W = 3.12 \text{ mm.}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 20.36 \text{ mm.}$$

ที่ $\frac{Z_0}{\sqrt{2}}$

$$B = 8$$

$$W = 5.34 \text{ mm.}$$

$$\epsilon_e = 3.56$$

$$k_0 = 50.265 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 19.38 \text{ mm.}$$

ที่ Z_1

$$A = 2.1$$

$$\epsilon_e = 2.243$$

$$\frac{W}{d} = 1.035 \text{ mm.}$$

$$W = 1.72 \text{ mm.}$$

$$\frac{\lambda}{2} = 41.65 \text{ mm.}$$

ที่ Z_2

$$A = 2.56$$

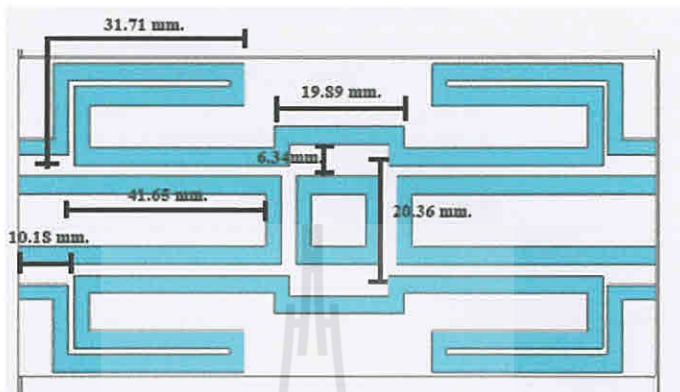
$$\epsilon_e = 3.147$$

$$\frac{W}{d} = 0.63 \text{ mm.}$$

$W = 1.04 \text{ mm.}$

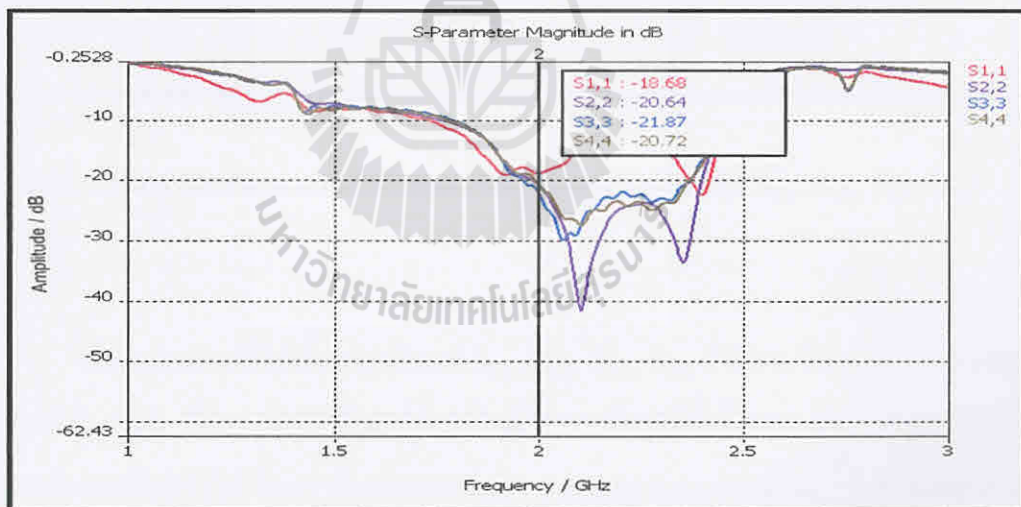
$\frac{\lambda}{2} = 42.28 \text{ mm.}$

ผลการคำนวณออกแบบของคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาแบบแถบกว้าง



รูปที่ 3.43 คัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาโดยใช้แบบแถบกว้างที่ออกแบบเสร็จแล้ว

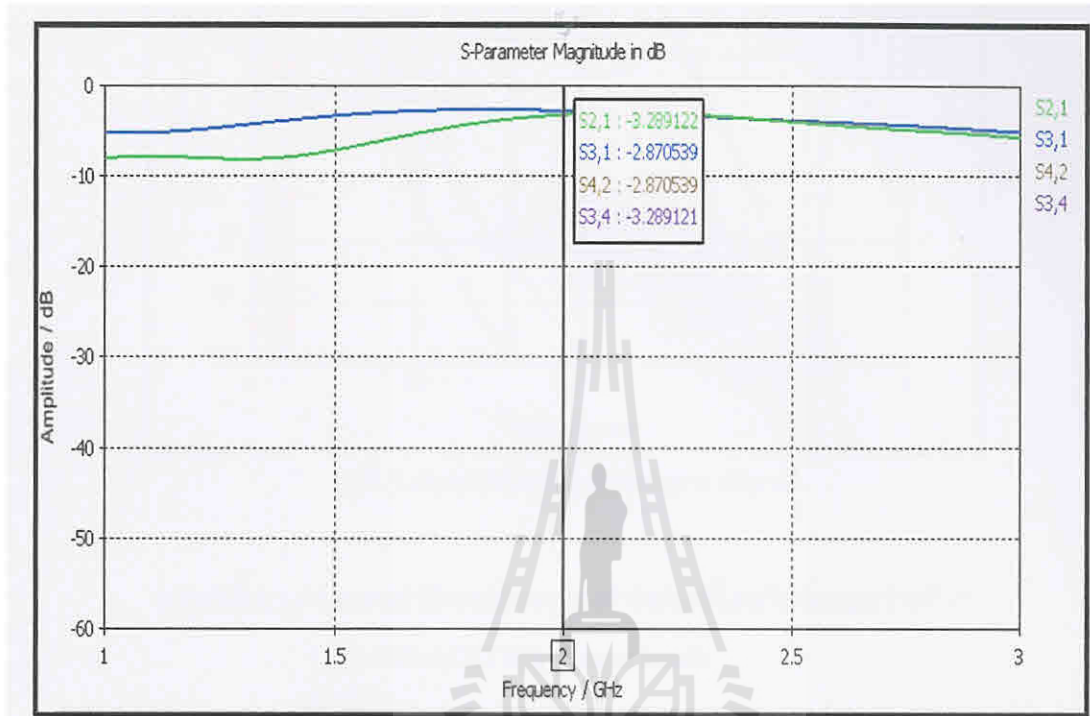
ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ค่าของพลังงานได้ดังรูป



รูปที่ 3.44 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S₁₁, S₂₂, S₃₃, S₄₄

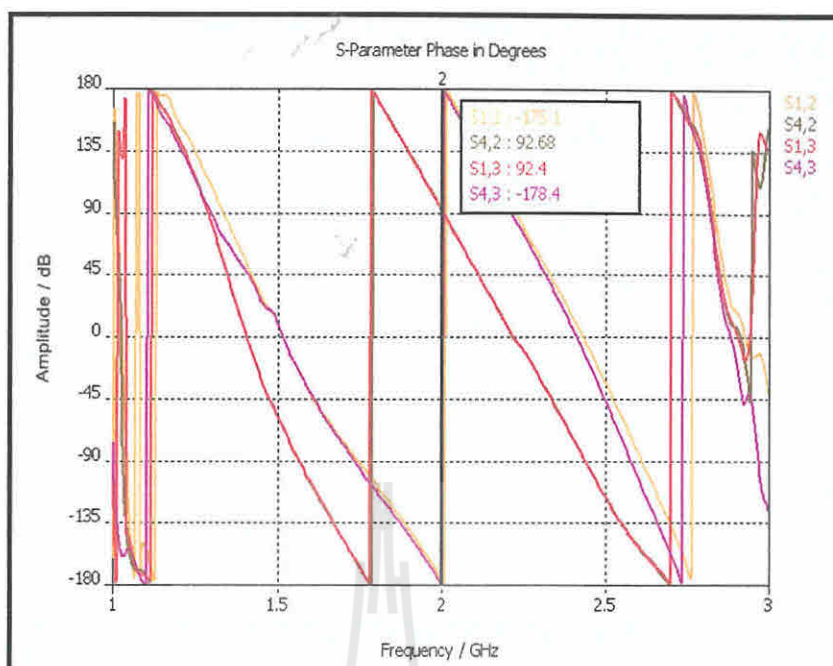
จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ S₁₁, S₂₂, S₃₃, S₄₄ ที่ทำงานที่ความถี่ 1.9-2.1 GHz มีค่าต่ำกว่า -10dB เนื่องจากพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดการสะท้อนกลับอันมาจากเนื่องจากพลังงานของคลื่นที่ส่งผ่านไป ถ้าจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนกลับ (Return Loss) ที่ต่ำกว่า

-10 dB เป็นค่าที่ยอมรับได้ในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยเราอ้างอิงมาจากสูตร $\text{Return Loss} = 20 \log \Gamma$ ก็จะได้ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนกลับมีค่าน้อยเพียงใดซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนกลับของพลังงานมีค่าน้อยตามไปด้วยเท่านั้น



รูปที่ 3.45 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{12} , S_{13} , S_{31} , S_{34}

จะพบว่ากราฟที่ได้นั้นพารามิเตอร์ S_{12} , S_{13} , S_{31} , S_{34} ที่ทำงานที่ความถี่ 1.9-2.1GHz มีค่ามากกว่า -3 dB เนื่องจากพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดการส่งผ่านของพลังงานที่เกิดจากพลังงานที่ใส่เข้าไป โดยเราอ้างอิงมาจากสูตร $\text{Coupling factor} = -10 \log \frac{P_3}{P_1}$ ก็จะได้ค่าว่าค่าพลังงานที่ใส่เข้ามาจะมีการส่งผ่านพลังงานออกไปเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่ส่งเข้ามานั้นคือจะมีการแยกพลังงานออกไปทางพอร์ตเอาต์พุตอย่างละครึ่ง



รูปที่ 3.46 กราฟแสดงเฟสของพารามิเตอร์

ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของคัปเปลอร์ไฮบริคจ์แถบกว้างด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

พารามิเตอร์	แอมพลิจูด (dB)		เฟส (องศา)	
	ความถี่ต้น (1.9 GHz)	ความถี่ปลาย (2.1 GHz)	ความถี่ต้น (1.9 GHz)	ความถี่ปลาย (2.1 GHz)
S11	-18.17	-14.91	105	152.5
S22	-15.18	-40.72	34.75	-87.56
S33	-15.35	-27.89	32.61	94.29
S44	-15.57	-27.16	39.61	63.37
S12	-3.67	-3.13	-153.4	138.3
S13	-2.75	-3.05	116.5	47.02
S34	-3.67	-3.13	-148	141.7
S24	-2.75	-3.05	127.1	47.64

S14	-10.87	-18.41	179.5	45.33
S23	-11.43	-19.58	176.5	44.05

3.4 ข้อสรุปท้ายบท

ในเรื่องการออกแบบตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ได้นำเสนอการออกแบบตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO โดยได้ศึกษาทฤษฎีคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ เพื่อทำการออกแบบ ตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างที่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่ 1.9-2.1 GHz

จากการออกแบบจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO นั้นได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ก่อนทำการสร้างคือ แผ่นไมโครสตริปที่ใช้ให้มีขนาดความสูงเท่ากับ 1.66 mm มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของฉนวน : ϵ_r เท่ากับ 4.5 ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ป้อนเข้ามามีค่าต่ำกว่า -10 dB ทุกตัวค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการส่งผ่านของสัญญาณมีค่าน้อยกว่า -3 dB ทุกตัวและในการสร้างตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์โดยใช้แบบแถบกว้างที่ทำงานในย่านความถี่ 1.9-2.1 GHz ที่ออกแบบจากโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO สามารถใช้งานได้ตรงตามความถี่ที่ได้ออกแบบไว้ และมีประสิทธิภาพตรงตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานจริง

บทที่ 4

ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

4.1 บทนำ

ตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ได้มีการประยุกต์นำเอาระบบสายอากาศเก่งมาทำงานร่วมกับวงจรก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix โดยนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณให้ส่งผ่านออกไปอย่างตรงจุดซึ่งในวงจร Butler matrix นี้จะมีส่วนประกอบของตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์ 90 องศา(90° Hybrid coupler)เป็นส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนของวงจรก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix ที่จะมีส่วนประกอบของตัวคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์ 90 องศาจำนวน 1 ตัวซึ่งทำการออกแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานตกอยู่ในช่วง 1900-2100 MHz โดยจะเน้นไปที่จุดนี้เพราะเราจะทำการให้อุปกรณ์ต้นแบบดังกล่าวทำงานได้ในช่วงคลื่นที่เรียกว่าระบบไร้สายในยุคที่ 3 และนำมาออกแบบด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO

4.2 ภาพรวมอุปกรณ์ต้นแบบ

ภาพรวมอุปกรณ์ต้นแบบตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้าง โดยจะมีตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์ 90 องศาเป็นส่วนประกอบหลักดังจะแสดงดังรูปที่ 4.1 เป็นภาพที่ทำการประกอบอุปกรณ์ต้นแบบเรียบร้อยแล้ว

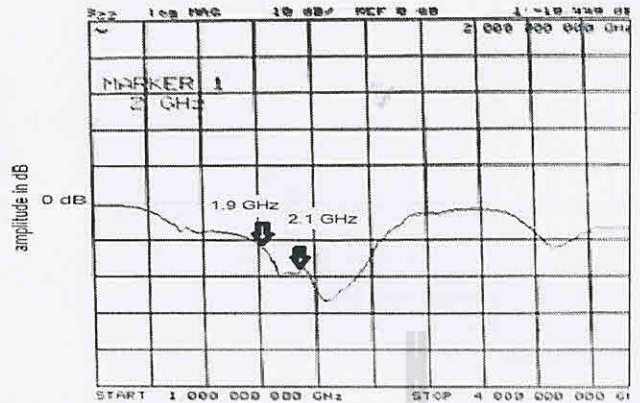


รูปที่ 4.1 ภาพอุปกรณ์ต้นแบบของตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้าง

4.3 ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบด้วยเครื่อง Network Analyzer

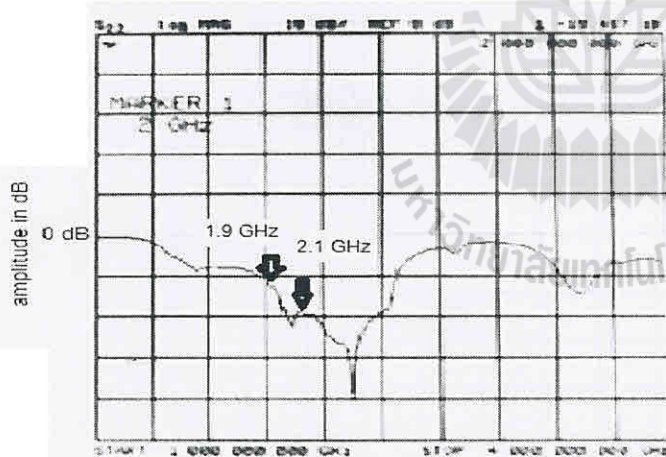
4.3.1 ตัวตัวคัปเปิลเตอร์แบบไฮบริดจ์แอบกว้าง

■ ทางขนาด(Amplitude)



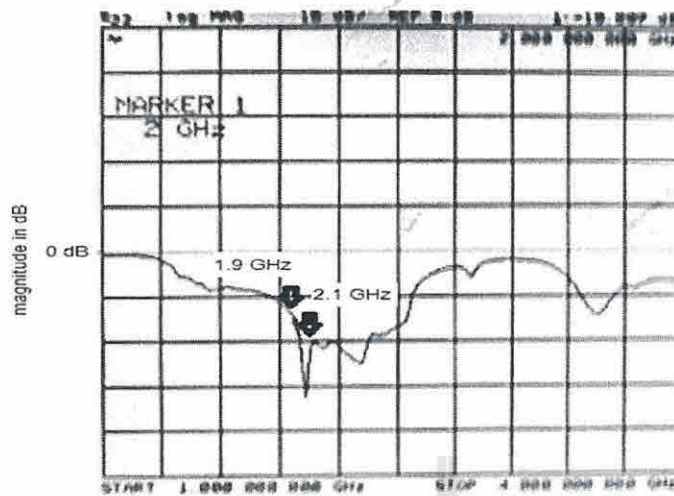
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{11}

จะพบว่ากราฟที่ได้นั้นพารามิเตอร์ S_{11} โดยจะมีความถี่ตั้งอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -11 dB และมีความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -18 dB จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ 28.18% และ 12.59% ตามลำดับ



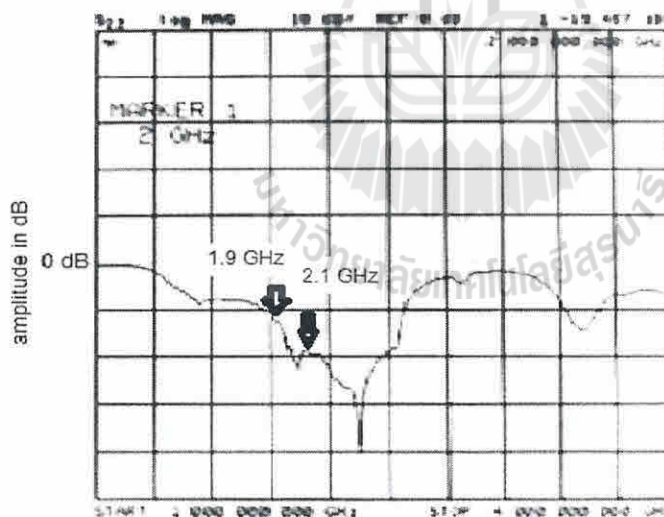
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{22}

จะพบว่ากราฟที่ได้นั้นพารามิเตอร์ S_{22} โดยจะมีความถี่ตั้งอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -11 dB และมีความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -19 dB จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ 28.18% และ 11.22% ตามลำดับ



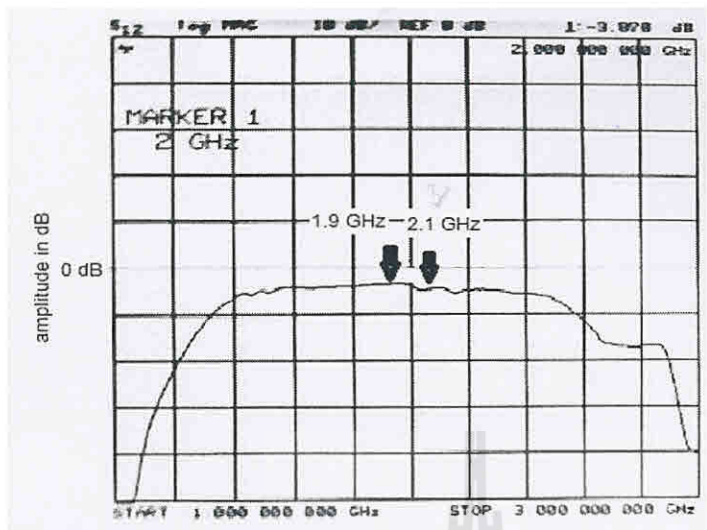
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{33}

จะพบว่ากราฟที่ได้ที่พารามิเตอร์ S_{33} โดยจะมีความถี่ตั้งอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -11 dB และมีความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -21 dB จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ 28.18% และ 8.91% ตามลำดับ



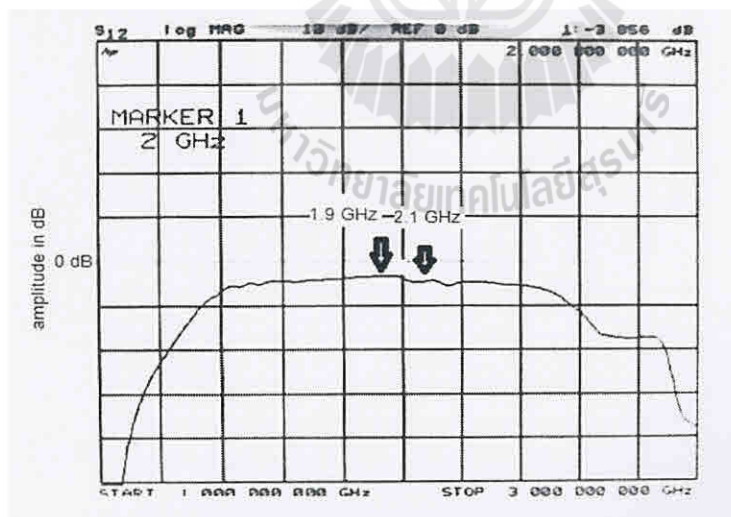
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ S_{44}

จะพบว่ากราฟที่ได้ที่พารามิเตอร์ S_{44} โดยจะมีความถี่ตั้งอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -11 dB และมีความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่า Return Loss เท่ากับ -19 dB จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ 28.18% และ 11.22% ตามลำดับ



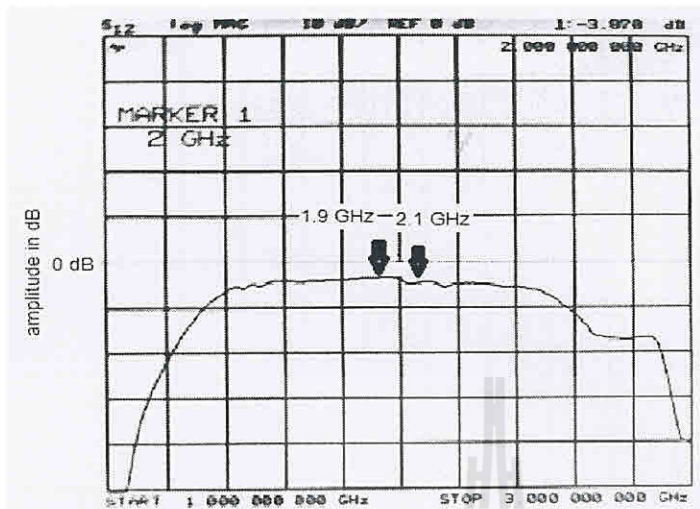
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{12} = S_{21}$

จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{12} = S_{21}$ โดยจะมีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3dB และความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3.85dB จะทำให้เกิดการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ 50% และ 41.21% ตามลำดับ



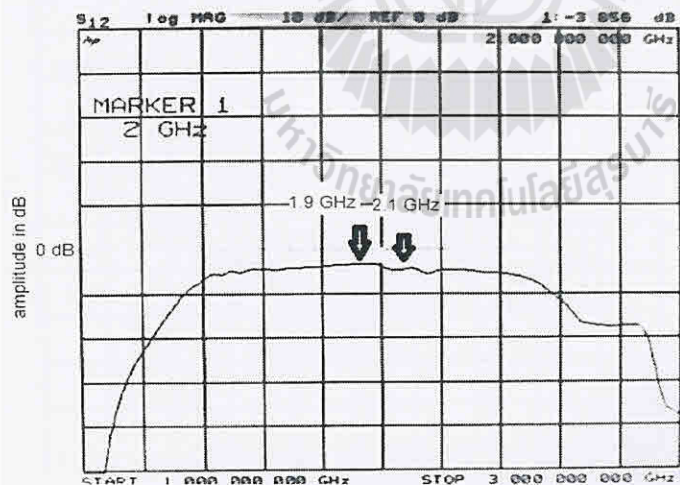
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{13} = S_{31}$

จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{13} = S_{31}$ โดยจะมีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3dB และความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3.85 dB จะทำให้เกิดการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ 50% และ 41.21% ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{24}=S_{42}$

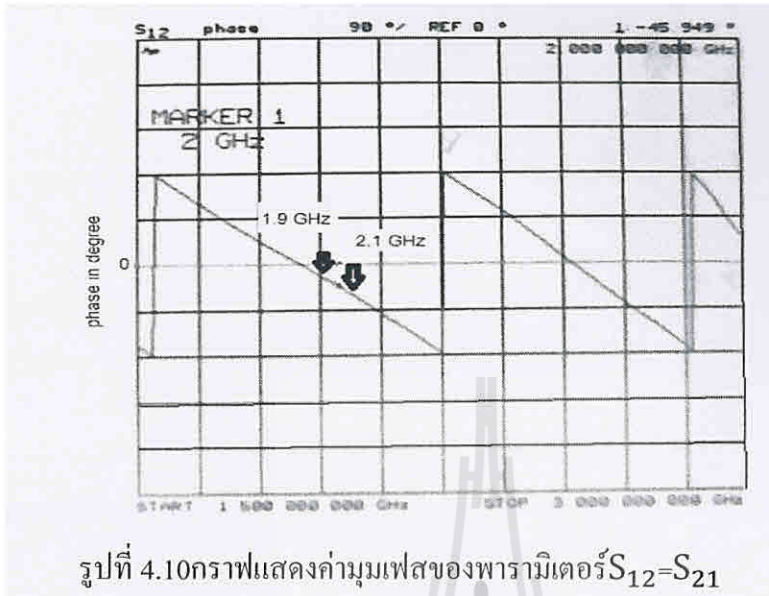
จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{24}=S_{42}$ โดยจะมีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3dB และความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3.9 dB จะทำให้เกิดการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ 50% และ 40.74% ตามลำดับ



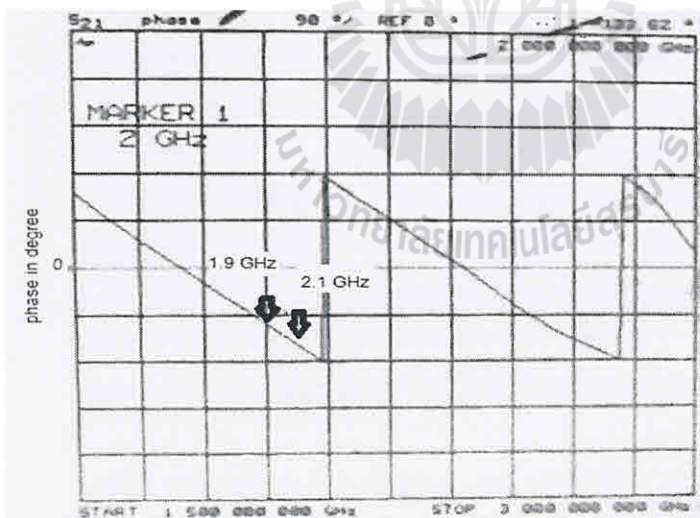
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานของพารามิเตอร์ $S_{34}=S_{43}$

จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{34}=S_{43}$ โดยจะมีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ 1.9 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3dB และความถี่ปลายอยู่ที่ 2.1 GHz มีค่าการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ -3.9 dB จะทำให้เกิดการส่งผ่านของพลังงานเท่ากับ 50% และ 40.74% ตามลำดับ

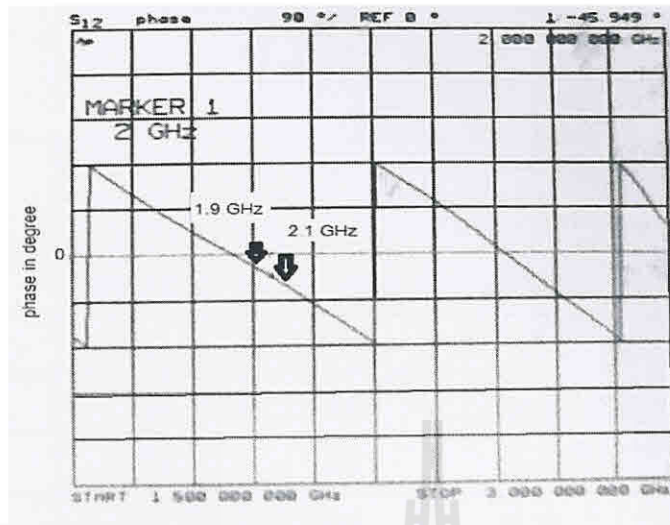
■ ทางมุม(Phase)



จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{12}=S_{21}$ มีมุมเฟสเท่ากับ -45°

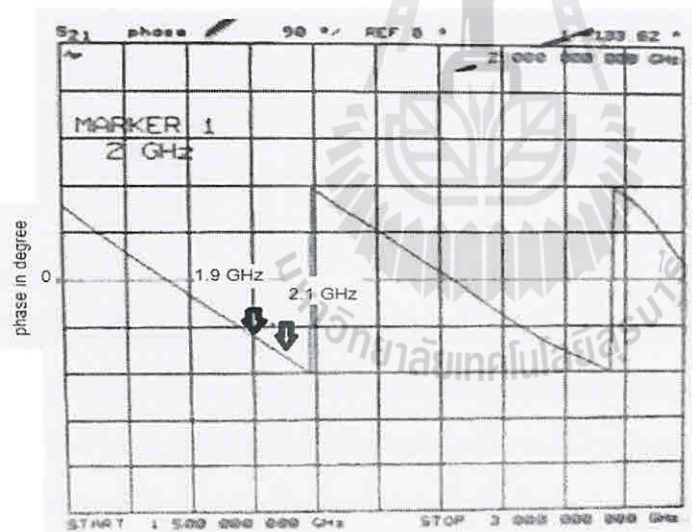


จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{13}=S_{31}$ มีมุมเฟสเท่ากับ -133° มุมเฟสต่างกันประมาณเท่ากับ 88° มีค่าใกล้เคียงกับความต่างเฟสของตัวกลับเฟสของไฮบริดจ์คือเท่ากับ 90°



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่ามุมเฟสของพารามิเตอร์ $S_{34}=S_{43}$

จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{34}=S_{43}$ มีมุมเฟสเท่ากับ -45°



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ามุมเฟสของพารามิเตอร์ $S_{24}=S_{42}$

จะพบว่ากราฟที่ได้ นั้นพารามิเตอร์ $S_{24}=S_{42}$ มีมุมเฟสเท่ากับ -133° มุมเฟสต่างกันประมาณเท่ากับ 88° ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความต่างเฟสของตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดคือเท่ากับ 90°

ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของคัปเปิลอร์ไฮบริดจ์แถบกว้างโดยวัดจากเครื่อง Network Analyzer

พารามิเตอร์	แอมพลิจูด (dB)		เฟส (degree)	
	ความถี่ต้น (1900 MHz)	ความถี่ปลาย (2100 MHz)	ความถี่ต้น (1900 MHz)	ความถี่ปลาย (2100 MHz)
S11	-11	-18	101	150.4
S22	-11	-19	32.13	-86.17
S33	-11	-21	30.48	93.45
S44	-11	-19	35.21	64.31
S12	-3	-3.85	-132.62	-134.56
S13	-3	-3.85	-44.32	-47.1
S34	-3	-3.9	-138.42	-141.65
S24	-3	-3.9	-35.34	-36.78
S14	-12.35	-14.89	165.4	43.13
S23	-13.45	-16.91	155.5	45.6

4.4 ข้อสรุปท้ายบท

หลังจากที่ได้นำอุปกรณ์ต้นแบบตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในการใช้งานในย่านความถี่ 1900-2100 GHz แล้ว จะพบว่าตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างจะทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ต้องการคือสามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ที่เป็นระบบการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 และมีช่วงความถี่กว้างเพิ่มมากขึ้นอีกด้วยในลักษณะความถี่แถบกว้าง

บทที่ 5

ข้อสรุปของโครงการ

5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการกล่าวถึงบทสรุปของโครงการตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาที่พบในขณะดำเนินการ วิธีการแก้ปัญหา ข้อเสนอแนะ และวิธีการพัฒนาโครงการต่อไป

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

ในการทำโครงการตัวคัปเปิลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ปรากฏปัญหาต่างๆดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาที่พบ สาเหตุของปัญหารวมทั้งวิธีการแก้ไข

ตารางที่ 5.1 ปัญหาและสาเหตุที่พบในขณะดำเนินงานและวิธีการแก้ไข

ปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน	สาเหตุและวิธีการแก้ปัญหา
ความล่าช้าในการใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ทำการออกแบบ	สาเหตุ เนื่องจากผู้ใช้โปรแกรมยังไม่มีความรู้มากมายพอที่ใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ได้ อย่างเต็มที่ วิธีการแก้ไข ผู้ใช้จะต้องหาคู่มือหนังสือการใช้โปรแกรมที่ครอบคลุมมาประกอบการใช้โปรแกรมและมันฝึกฝนการใช้โปรแกรมบ่อยๆ
การใช้เครื่อง Network Analyzer และตัว matching ในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆของตัวอุปกรณ์	สาเหตุ เนื่องจากการใช้งาน Network Analyzer ยังมีปัญหาการวัดเนื่องจากการกำหนดค่าการ calibrate ต่างๆบางครั้งยังวัดได้ไม่ตรงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้และอุปกรณ์ matching เกิดการชำรุดขึ้นหรือใช้งานไม่ได้ในขณะนั้น วิธีการแก้ไข ผู้ใช้งานจะต้องทำการ calibrate ค่าต่างๆในการวัดพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบอย่างถูกต้องวิธีตามคำแนะนำที่มีบอกในใบแนะนำการ calibrate เพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในขณะที่ตัว matching

	<p>เกิดการชำรุดจะต้องสั่งซื้ออุปกรณ์ใหม่และถ้าวัดค่าแล้วไม่ตรงตามที่เรากำหนดแบบในโปรแกรม ตัว matching นั้นอาจจะใช้งานไม่ได้แล้วก็ต้องลองเปลี่ยนใช้ตัวใหม่</p>
--	---

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ตัวโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO บางครั้งผู้ใช้บางท่านอาจจะยังไม่เข้าใจ เราจึงได้ทำการเขียนการใช้พื้นฐานโปรแกรมขึ้นต้นไว้แล้วในบทที่ 4 แต่ถ้าผู้สนใจการใช้งาน อาจจะซื้อคู่มือหนังสือการใช้โปรแกรมที่ครอบคลุมมาใช้งานเพื่อต่อยอดพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆต่อไป

5.3.2 บางครั้งการใช้เครื่อง Network Analyzer ก็อาจจะเกิดปัญหาอยู่บ้างเพราะการ calibrate ค่าต่างๆ ในการวัดพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบต้องทำอย่างรอบคอบและละเอียด มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นแต่ถ้าไม่แน่ใจอาจจะถามอาจารย์หรือรุ่นพี่ที่ชำนาญการใช้เครื่องมาช่วยสอนวิธีการใช้งานเครื่องอย่างละเอียดและถูกต้องให้จึงจะทำให้เกิดการวัดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

เนื่องจากโครงงานตัวคัปเปิลเลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 อาจจะยังพัฒนาต่อไปได้อีกโดยนำไปใช้กับระบบการสื่อสารในยุคต่อไปเรื่อยๆ และอาจจะพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมและมีขนาดกระทัดรัดมากกว่านี้เพื่อนำไปใช้ให้เกิดการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

5.5 บทสรุป

โครงงานตัวคัปเปิลเลอร์แบบไฮบริดจ์แถบกว้างสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 มีส่วนประกอบหลักคือ วงจรก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix ที่มีตัวคัปเปิลเลอร์ไฮบริดจ์ 90 องศา เป็นส่วนประกอบสำคัญมีจำนวนพอร์ตทั้งสิ้น 4 พอร์ตในการส่งผ่านสัญญาณ โดยทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในตอนแรกแล้วนำการออกแบบดังกล่าวมาสร้างตัวอุปกรณ์จริง โดยเน้นหลักการทำให้อุปกรณ์จริงมีประสิทธิภาพในการทำงานในย่านความถี่ที่ต้องการคือ 1900-2100 MHz และยังมีย่านความถี่ที่กว้างเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Quadrature ;<http://www.rfcafe.com/references/electrical/directional-coupler.htm>
- [2],[3] <http://www.circuitstoday.com/smart-antennas>
- [4],[5] Joseph C. Liberti; Theodore S. Rappaport Smart Antennas for Wireless Communications IS-95 and Third Generation CDMA Applications, PrenticeHall PTR Upper saddle River, New Jersey, 1990.
- [6] Jean-Sébastien Neron and Gilles-Y. Delisle Microstrip EHF Butler Matrix Design and Realization ETRI Journal, Volume 27, Number 6, December 2005
- [7],[8],[14] David M. Pozar Microwave Engineering Second Edition, JOHN WILEY & SONS, INC., USA, 1998.
- [9] วิศวกรรมไมโครเวฟ บัณฑิต โรจน์อารยานนท์
- [10] <http://conocimientosmicrowavedevices.blogspot.com/2010/07/directional-couplers.html>
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Magic_tee
- [12] http://examcrazy.com/Engineering/Electronics-Communication/The_180_Hybrid.asp
- [13] <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/coupler>
- [15] http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/full/2007/29/aa5911-06/aa5911-06.right.html
- [16] B. Mayer, R. Knoche, "Branchline couplers with improved design flexibility and bandwidth", IEEE MTT-S 1990 International Microwave Symposium Digest, pp.391-394, 1990.