



สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

โดย

นายพิเชษฐ์ จอมแปง รหัส B5617753

นางสาวณัฐภัทร กุณฑโร รหัส B5619580



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2557

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2559

สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ร.อ.ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วิภาวี หัตถกรรม)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2559

โครงการ	สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์ โดยใช้ ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
โดย	1. นายพิเชษฐ์ จอมแปง รหัส B5617753 2. นางสาวณัฐภัทร คุณฑโร รหัส B5619580
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษา	1/2559

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่เราใช้ในการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมา มักจะมีความถี่แปลกปลอมหรือความถี่ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น โครงการนี้จึงได้จัดทำ สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์ โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการในระบบ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำโครงการนี้จึงได้ออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์ที่ใช้ในการกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการ โดยใช้โปรแกรม CorelDRAW และใช้โปรแกรม CST STUDIO SUITE เพื่อทดสอบให้ได้ตามวัตถุประสงค์การกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการซึ่งจะใช้ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การวัดค่าจะวัดจากเครื่องวัดสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน เพื่อให้ได้ความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของการสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์ โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิด การดูแลเอาใจใส่ ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่อง ตลอดจนช่วยฝึกฝนและให้การสนับสนุนคณะผู้จัดทำให้มีความสามารถในการทำโครงการ ตลอดจนเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ แก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด รวมทั้งบัณฑิตศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกวิศวกรรมโทรคมนาคม และเพื่อนนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศแก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ



นายพิเชษฐ์ จอมแปง

นางสาวณัฐภัทร กุณฑโร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	1
1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 สายส่งไมโครสตริป และการออกแบบ	3
2.2.1 โครงสร้างสายนำสัญญาณไมโครสตริป	3
2.3 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	4
2.4 สรุป	6
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองแบบ	7
3.1 กล่าวนำ	7
3.2 การออกแบบสายส่งไมโครสตริป	7

สารบัญ

	หน้า
3.3 การออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	12
3.3.1 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์	13
3.3.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์	16
3.4 สรุป	19
บทที่ 4 การสร้างชิ้นงานและผลการทดลอง	20
4.1 กล่าวนำ	20
4.2 การสร้างชิ้นงาน	20
4.3 การวัดผล	24
4.4 สรุป	28
บทที่ 5 บทสรุปของโครงการ	29
5.1 กล่าวสรุป	29
5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา	29
5.3 ข้อเสนอแนะ	30
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป	30
ภาคผนวก	31
เอกสารอ้างอิง	33
ประวัติผู้เขียน	34

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป	3
รูปที่ 2.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด	5
รูปที่ 2.3 การนำช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ดมาใช้งานร่วมกับสายส่งไมโครสตริป	5
รูปที่ 3.1 โปรแกรม CST Studio Suite 2011	9
รูปที่ 3.2 แบบจำลองสายส่งไมโครสตริป	9
รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป	10
รูปที่ 3.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริป	11
รูปที่ 3.5 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (Mushroomlike EBG)	12
รูปที่ 3.6 แบบจำลองแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์	13
รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป และสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์	13
รูปที่ 3.8 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ในช่วงความถี่ 1.84 GHz ถึง 2.14 GHz	15
รูปที่ 3.9 แบบจำลองแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์	16
รูปที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ และ 6×6 อิลิเมนต์	16
รูปที่ 3.11 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์ในช่วงความถี่ 1.97 GHz ถึง 2.18 GHz	18
รูปที่ 4.1 สายส่งไมโครสตริป	20
รูปที่ 4.2 โปรแกรม CorelDRAW กำหนดการตัดแผ่น PCB	21
รูปที่ 4.3 นำผลการจำลองแบบของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 ไปตัดสติ๊กเกอร์	22
รูปที่ 4.4 การเจาะรูแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	23
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงชิ้นงานสายส่งไมโครสตริปกับแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเชื่อมรวมกัน	24

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.6 เครื่อง PNA Network Analyzer	24
รูปที่ 4.7 การติดตั้งสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ากับเครื่องวัด	25
รูปที่ 4.8 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป	25
รูปที่ 4.9 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็ก ไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์	26
รูปที่ 4.10 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็ก ไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์	27



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.1 ปัญหาที่พบ และสาเหตุของปัญหา รวมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหา

30



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุปกรณ์สื่อสารมักจะมีสมบัติแปลกปลอมหรือความถี่ที่ไม่ต้องการให้กับอุปกรณ์ชนิดอื่นโดยถูกออกแบบด้วยแผ่นพิมพ์วงจรหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยมีสายส่งทำหน้าที่เป็นตัวนำสัญญาณในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ตระหนักถึงปัญหานี้ โดยการออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อกำจัดหรือกักความถี่ที่ไม่ต้องการ ไม่ให้ผ่านสายส่งไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำให้ระบบสื่อสารวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไม่เกิดความถี่ที่ไม่ต้องการในระบบ หรือไม่มีสัญญาณรบกวนในวงจร

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้นำเสนอสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีวัตถุประสงค์ของโครงการ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาการทำงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาและออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์ที่ใช้ในการกำจัดความถี่แปลกปลอมหรือความถี่ที่ไม่ต้องการในระบบ

1.3 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาการทำงานของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์
2. ออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์
3. ทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ศ. 2559							
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล								
2.เขียนโครงงานและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา								
3.ฝึกการใช้โปรแกรม CST เพื่อใช้ในการประมวลผล								
4.ออกแบบ สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์								
5.หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้								
6.สร้างชิ้นงานจริง								
7.ทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์								
8.สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน								
9.นำเสนอโครงงาน								

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานเกี่ยวกับขอบเขตของโครงงานที่จะทำ
2. ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน
3. ศึกษาทฤษฎีและหลักการสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์
4. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม CST STUDIO SUITE และ โปรแกรม CorelDRAW
5. ออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์
6. สร้างชิ้นงานต้นแบบ
7. ทดสอบอุปกรณ์ และปรับปรุงแก้ไข
8. สรุปผลการทดลอง เขียนรายงาน โครงงานและนำเสนอโครงงาน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำความรู้ที่ได้ศึกษามา นำไปใช้ในการประกอบวิชาชีพได้
2. เพื่อสามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
3. สามารถทำงานเป็นทีมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

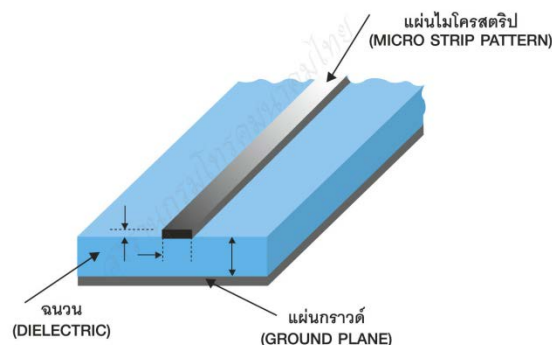
2.1 กล่าวนำ

สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆคือ สายส่งไมโครสตริปที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถใช้ในการส่งสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz และช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Band Gap หรือ EBG) ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นเฉพาะช่วงแถบความถี่ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.2 สายส่งไมโครสตริป และการออกแบบ

2.2.1 โครงสร้างสายส่งสัญญาณไมโครสตริป

สายนำสัญญาณไมโครสตริปได้นำมาออกแบบใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับสร้าง วงจรขยายสัญญาณ ย่านไมโครเวฟ เนื่องจากการสร้างโดยใช้เทคนิคแผ่นวงจรพิมพ์ทำให้มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา อีกทั้งยังง่าย ในการวางอุปกรณ์แอคทีฟและพาสซีฟบนส่วนต่างๆของโครงสร้างไมโครสตริป นอกจากนี้ยังสามารถปรับ- แต่งอุปกรณ์ได้ภายหลังจากการสร้างวงจรโครงสร้างของไมโครสตริปแสดงได้ดังในภาพที่ 2.1 ประกอบด้วยวัสดุ พื้นรองไดอิเล็กตริกซึ่งด้านล่างจะวางบน ระนาบกราวด์ (ground plane) และด้านบนจะติดกับตัวนำแถบแคบๆ (strip conductor) ซึ่งเป็นที่มาของคำว่าไมโครสตริปเส้นสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป

โดยขนาดของไมโครสตริปสามารถหาได้คือ

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \text{for } \frac{W}{d} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{for } \frac{W}{d} > 2 \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.3)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

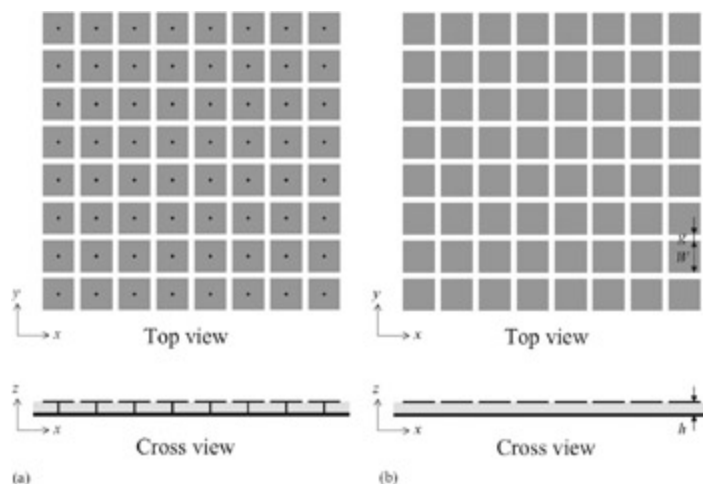
โดยที่ ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

2.3 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

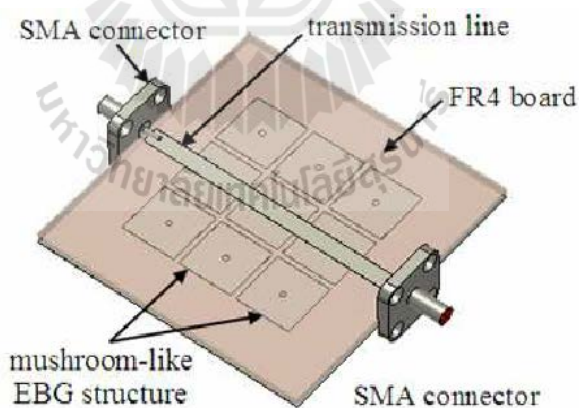
2.3.1 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่ เกรตติง พื้นผิวเลือกความถี่ ผลึกพลังงานแสง และช่องแถบพลังงานแสงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าจึงเรียกว่า โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าโดยทำหน้าที่เป็นตัวกีดขวางหรือ เสริมรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเฉพาะแถบของความถี่และเนื่องด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ส่งผลให้ความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศมีมากขึ้นตามไปด้วย จากสายอากาศธรรมดาหนึ่งต้นก็สามารถพัฒนาให้มีอัตราขยายที่สูงด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนที่ด้านหลังของสายอากาศจากเดิมนิยมใช้แผ่นโลหะตัวนำแต่ก็ยังพบปัญหาในเรื่องของคลื่นผิว (surface wave) ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจะมีรูปแบบต่างๆ เช่น ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (mushroom-type EBG) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้จะมี ขนาดคล้ายดอกเห็ดและสามารถเพิ่มอัตราขยายให้สายส่งได้ และมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด

ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามักถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นตัวสะท้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายส่งไมโครสตริปที่จะกล่าวถึงคือจัดวางสายส่งไมโครสตริปชนิดเส้นตรงบนแผ่นสะท้อนซึ่งทำจากแผ่นตัวนำและแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยระยะห่างระหว่างสายส่งและแผ่นสะท้อนที่ใกล้เคียงๆ เพื่อเปรียบเทียบ เป็นการนำช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด มาใช้งานร่วมกับสายส่งไมโครสตริปดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การนำช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ดมาใช้งานร่วมกับสายส่งไมโครสตริป

จึงวิเคราะห์ได้ว่าช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายส่งไมโครสตริปด้วยการระงับคลื่นผิวที่เกิดขึ้นบนแผ่นสะท้อน โดยมีพลังงานที่รั่วไหลตรงบริเวณช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะ ช่วยเสริมให้ตัวกำเนิดสัญญาณมีพลังงานเพิ่มสูงขึ้น

2.4 สรุป

ในการทำโครงงานสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีการนำหลักการของสายส่งไมโครสตริปมาประยุกต์กับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งก่อนการออกแบบและทำชิ้นงาน จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องที่ได้กล่าวมาเช่น ความเข้าใจในเรื่องของสายส่งไมโครสตริปและช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า การให้มีความเข้าใจเป็นอย่างดี เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน



บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองแบบ

3.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการสื่อสาร ที่ใช้อุปกรณ์ต่างๆภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมาเพื่อสะดวกในการใช้งานตามความต้องการ มักจะมีความถี่แปลกปลอมหรือความถี่ที่ไม่ต้องการ โครงการนี้จึงนำเสนอการออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อกำจัดหรือกักความถี่ที่ไม่ต้องการ ขั้นตอนการออกแบบจะใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2011 ในการจำลองผลโดยกำหนดความถี่ใช้งานที่ 2.45 GHz เพื่อให้สามารถจำกัดความถี่ที่ไม่ต้องการ ว่ามีความถี่ใดจากการออกแบบ โดยการเพิ่มลวดลิเมนต์ของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

3.2 การออกแบบสายส่งไมโครสตริป

โดยกำหนดให้สายส่งไมโครสตริป มีอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเท่ากับ 50Ω ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ความหนาของสารไดอิเล็กตริก $d = 1.6 \text{ mm}$ และมี $\epsilon_r = 4.5$ สมการที่ใช้ในการออกแบบสายส่งไมโครสตริป

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาเงื่อนไข $\frac{W}{d}$ สำหรับ $Z_0 = 50 \Omega$

$$\text{เมื่อ } A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (3.1)$$

$$A = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.5 + 1}{2}} + \frac{4.5 - 1}{4.5 + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.5} \right)$$

$$A = 1.529$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

$$B = \frac{377\pi}{2(50)\sqrt{4.5}}$$

$$B = 5.646$$

ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไข $\frac{W}{d} < 2$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณขนาดไมโครสตริป $\frac{W}{d}$

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (3.3)$$

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^{1.5438}}{e^{2(1.5438)}-2}$$

$$\frac{W}{d} = 1.914$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณขนาดไมโครสตริป W

$$\frac{W}{d} = 1.914$$

$$\frac{W}{1.6 \text{ mm}} = 1.914$$

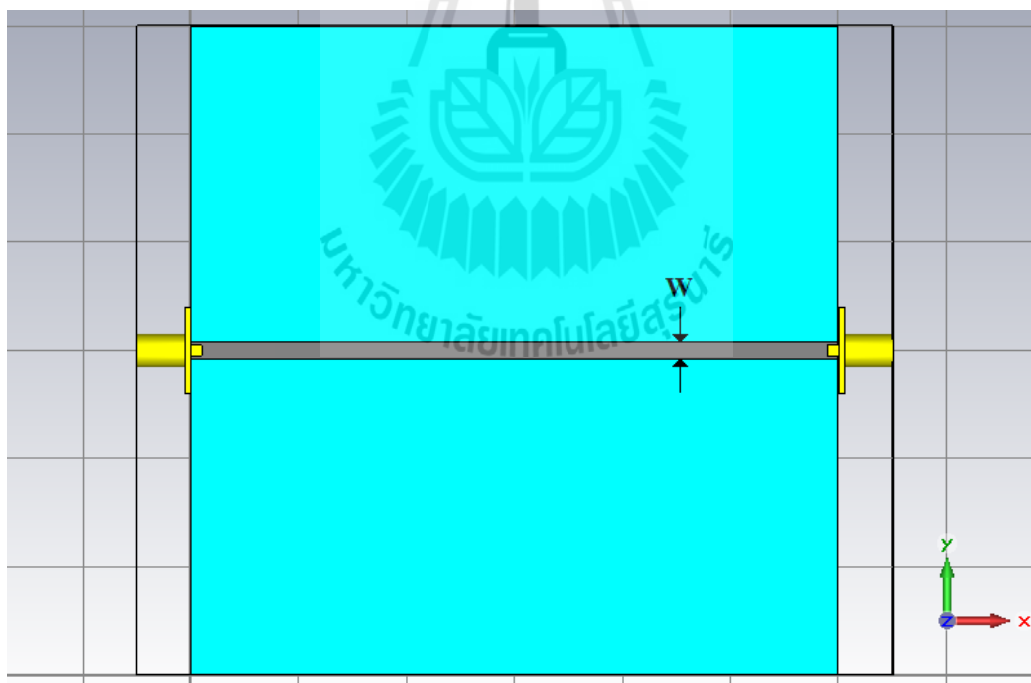
$$W = 3.06 \text{ mm}$$



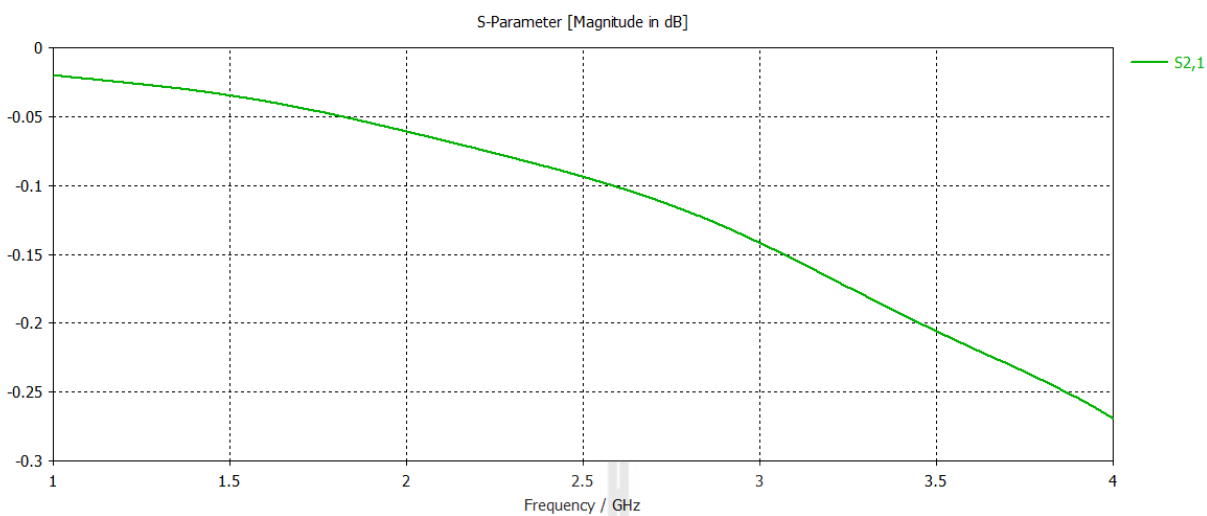
ออกแบบสายส่งไมโครสตริป โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2011 ในการออกแบบ
 ดังรูปที่ 3.1 – 3.2



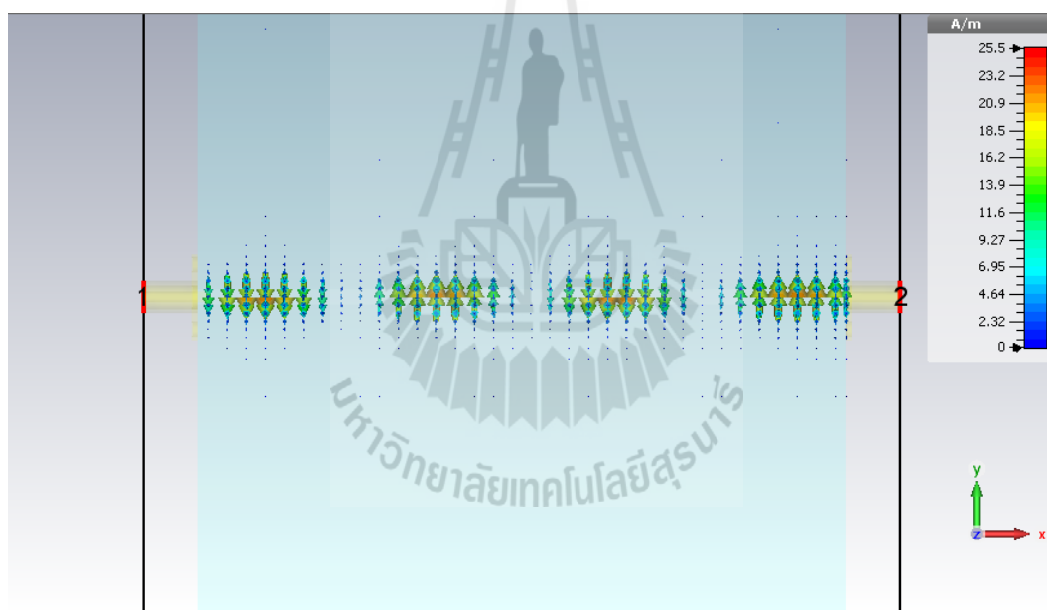
รูปที่ 3.1 โปรแกรม CST Studio Suite 2011



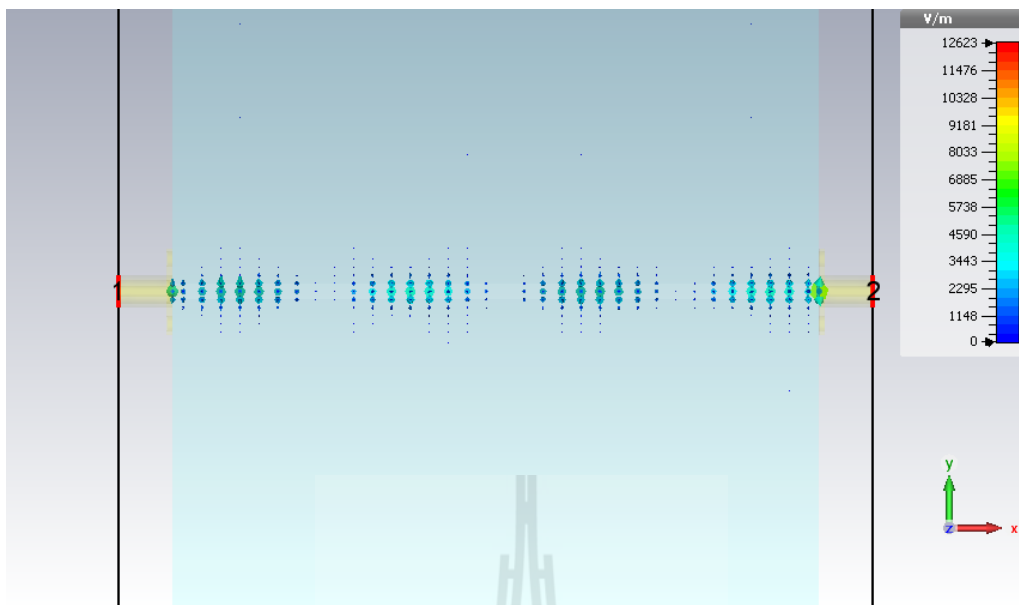
รูปที่ 3.2 แบบจำลองสายส่งไมโครสตริป



รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป



(ก) สนามไฟฟ้า



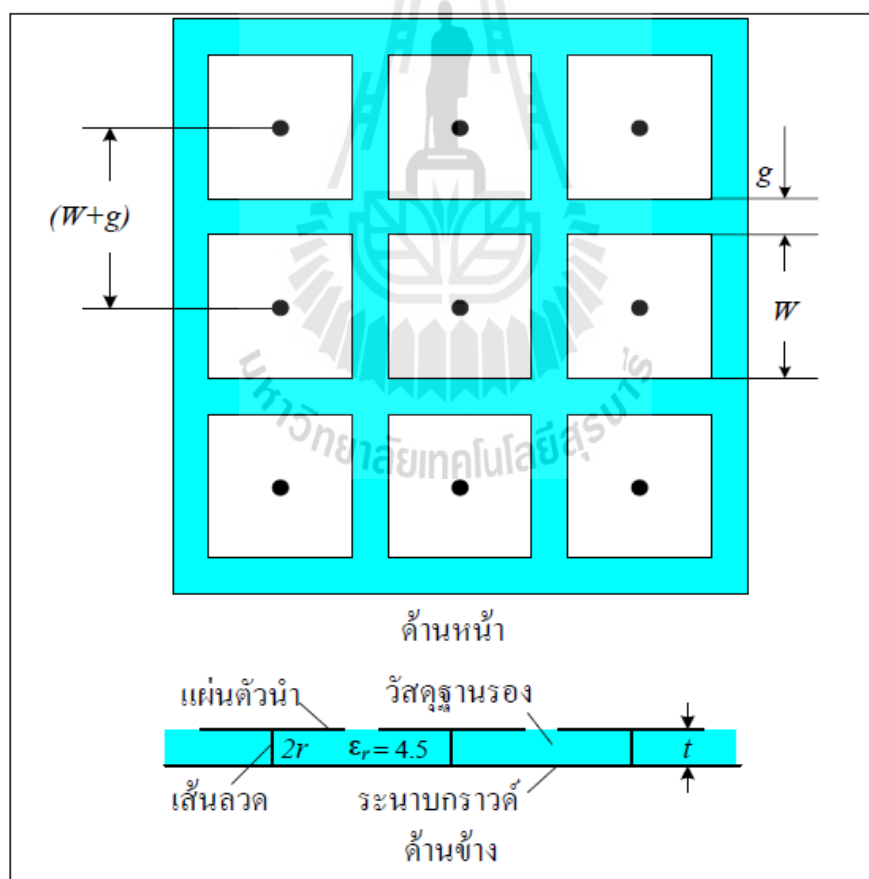
(ข) สนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริป

จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 จะเห็นได้ว่าสายส่งไมโครสตริป มีการส่งผ่านของคลื่น โดยการสูญเสียที่ความถี่ 2.45 GHz ประมาณ 0.09 dB แล้วพบว่าค่าของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสูงสุดคือ 12,623 V/m และ 25.5 A/m ตามลำดับ สายส่งไมโครสตริปมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสูญเสียเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) เสมือนไม่มีการสูญเสีย โดยรูปแบบการแผ่พลังงานจะแสดงในรูปความเข้มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เดินทางผ่านสายส่งไมโครสตริปดังรูป จะเห็นว่าการแผ่พลังงานสนามไฟฟ้า (รูปที่ 3.4 ก) และการแผ่พลังงานสนามแม่เหล็ก (รูปที่ 3.4 ข) มีความสอดคล้องกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในการส่งผ่านตัวนำสัญญาณจากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) แอมพลิจูดเท่ากัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (รูปที่ 3.3) มีค่าการสูญเสียอย่างมาก

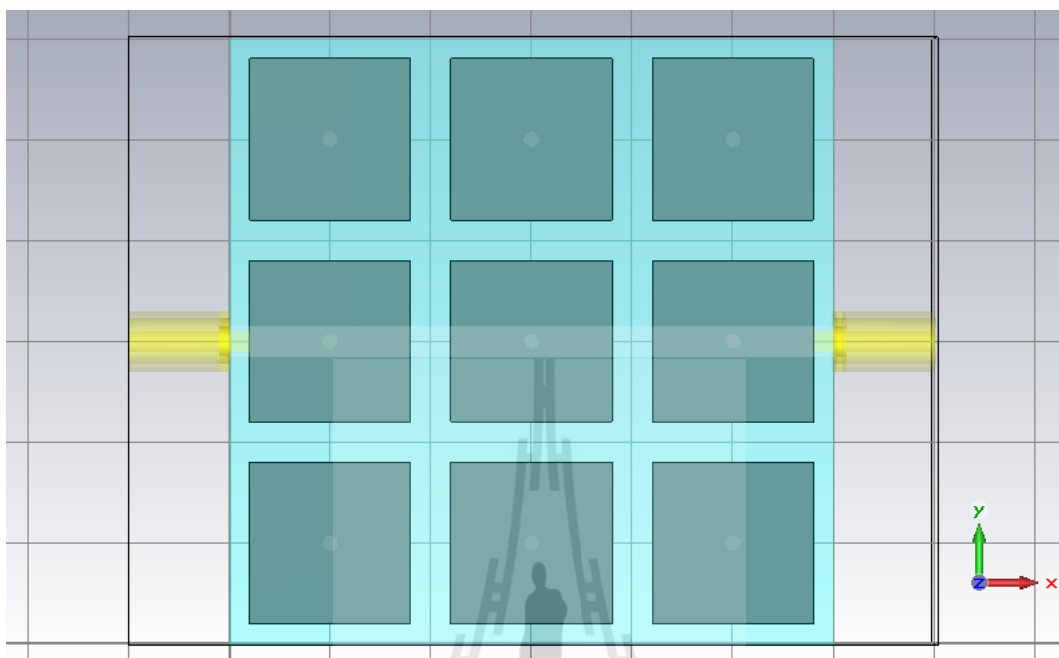
3.3 การออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

ออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดดอกเห็ดโดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าดังนี้ซึ่งใช้เป็นค่าพารามิเตอร์อ้างอิงเริ่มต้นในการออกแบบโดยกำหนดให้ W เท่ากับ 0.3505 เมตร g เท่ากับ 0.045 เมตร t เท่ากับ 0.01 เมตร r เท่ากับ 0.012 เมตร และ ϵ_r เท่ากับ 4.3 เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมีขอบเขตจำกัดคือกำหนดให้มีสภาพะยอมและความสูงของไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.4 และ 1.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2011 และ ค่าเฟสของการสูญเสียย้อนกลับ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าเฟสของการสูญเสียย้อนกลับเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบเนื่องจากการปรับค่าที่เหมาะสมให้มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.58 GHz (นุชนาฏ ฝาเพ็ญ, 2553) เมื่อจะออกแบบช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดดอกเห็ดให้มีความกว้างแถบครอบคลุมช่วงความถี่ปฏิบัติการประมาณช่วงความถี่ที่ 2 GHz โดยจะกำหนดให้ W เท่ากับ 0.02 เมตร g เท่ากับ 4 มิลลิเมตร t เท่ากับ 1.67 มิลลิเมตร r เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร และ ϵ_r เท่ากับ 4.5

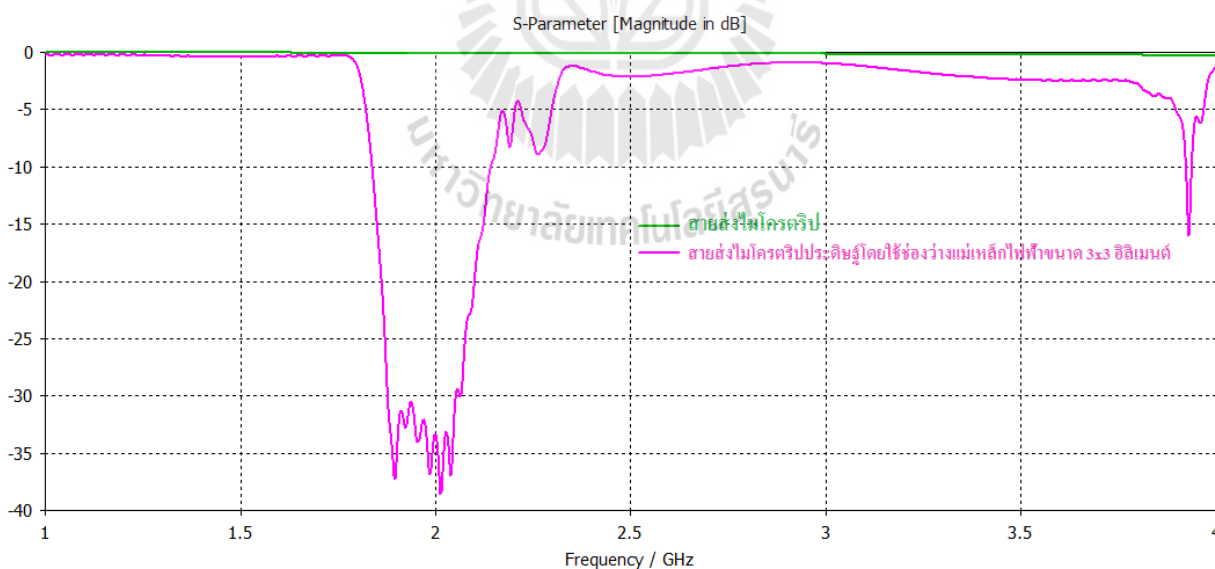


รูปที่ 3.5 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบดอกเห็ด (Mushroomlike EBG)

3.3.1 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อลิเมนต์

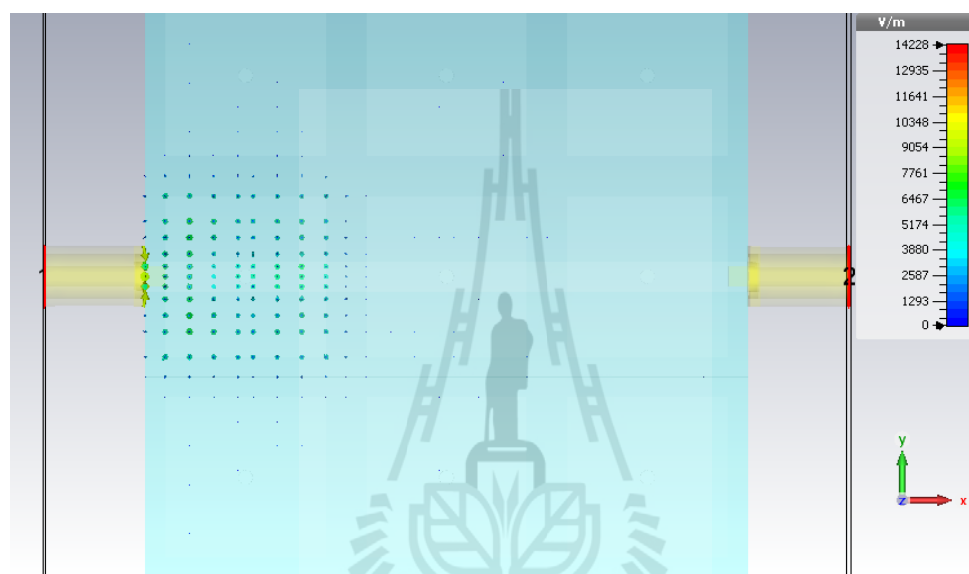


รูปที่ 3.6 แบบจำลองแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อลิเมนต์



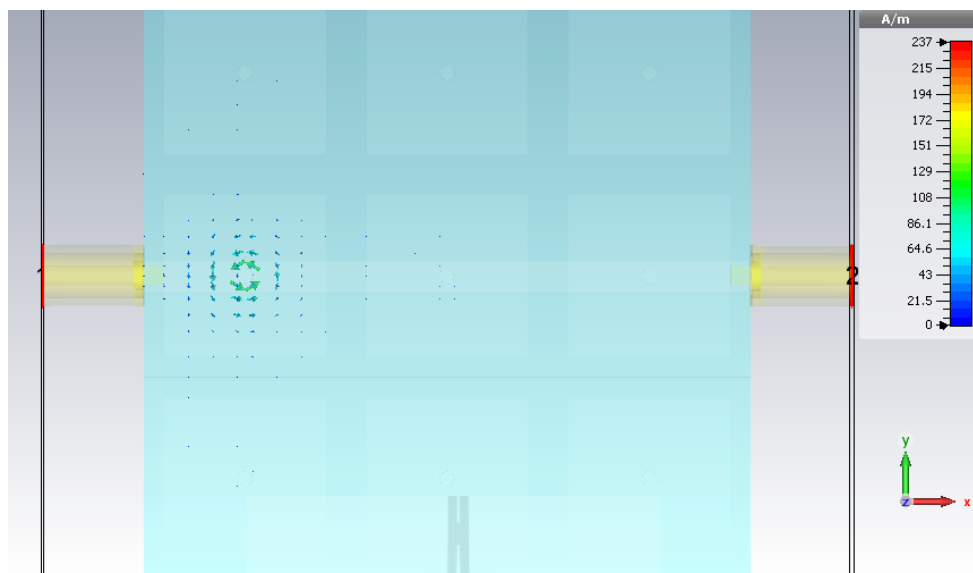
รูปที่ 3.7 ค่าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป และสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อลิเมนต์

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3x3 มิลลิเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 1.84 GHz ถึง 2.14 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 300 MHz และช่วงความถี่ 3.92 GHz ถึง 3.935 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz เมื่อเทียบกับสายส่งไมโครสตริปที่ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz มีการสูญเสียอยู่เล็กน้อย แต่ยังสามารถส่งผ่านเพื่อใช้งานได้ และยังทำการจำกัดความถี่ที่ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านน้อยกว่า -10 dB



(ก) สนามไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



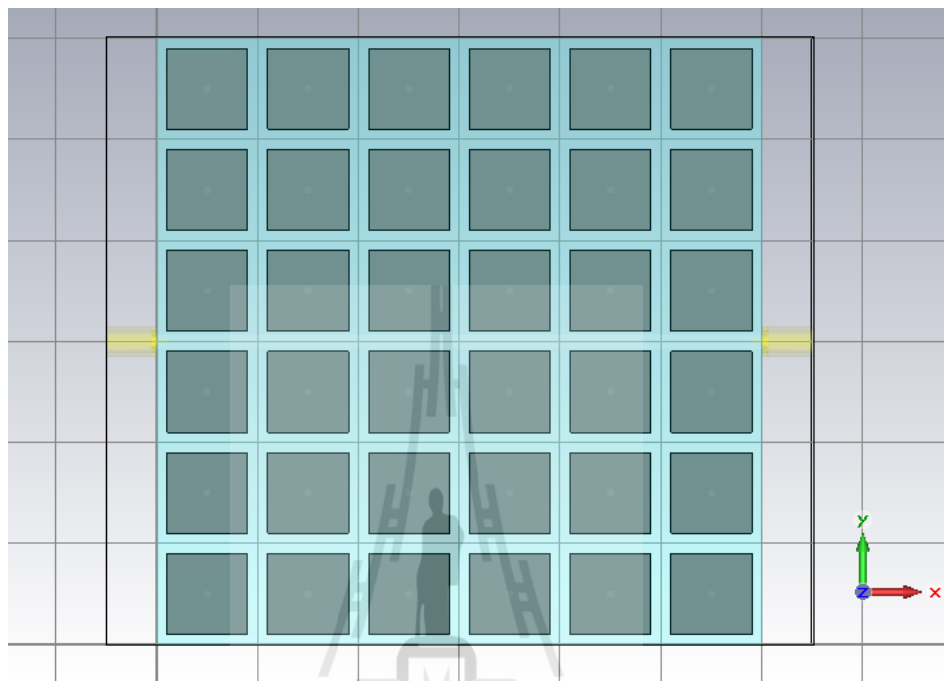
(จ) สนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.8 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่

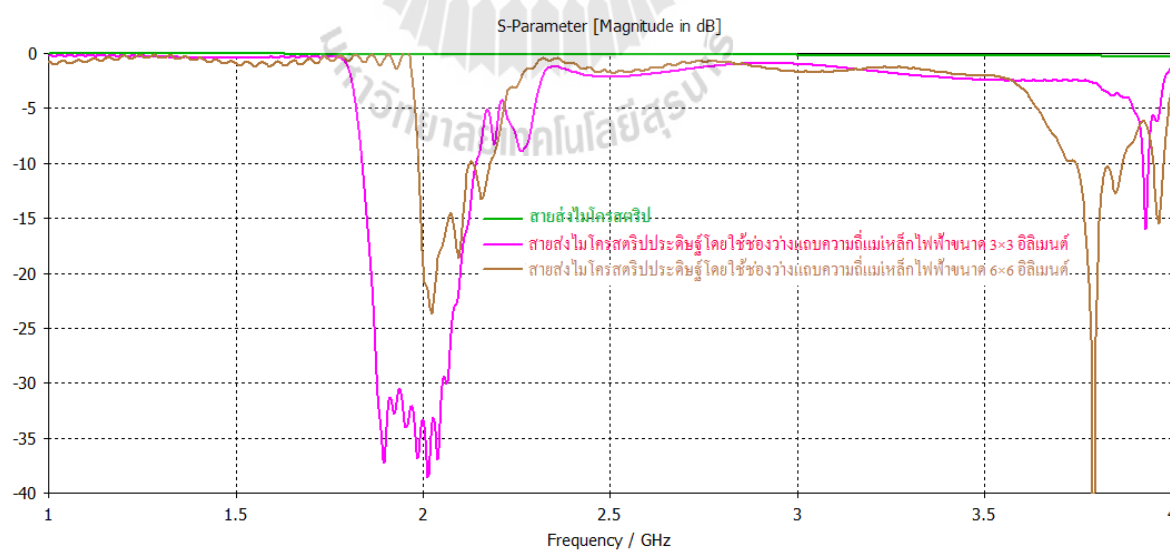
แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ในช่วงความถี่ 1.84 GHz ถึง 2.14 GHz

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถูกดูดซับกำลังไฟฟ้าที่ตัวช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การส่งผ่านคลื่นในช่วงความถี่ 1.84 GHz ถึง 2.14 GHz จากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) มีการสูญเสียมาก แล้วพบว่าค่าของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสูงสุดคือ 14,228 V/m และ 237 A/m ตามลำดับ การแผ่พลังงานของคลื่นความถี่ 1.84 GHz ถึง 2.14 GHz มีการลดทอนเนื่องจากการทำงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การส่งผ่านของคลื่นจากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) มีกำลังน้อยมาก หรือถูกจำกัดไปซึ่งดูจากการแผ่พลังงานจากด้านเข้าสายส่ง (port1) ที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถูกช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าทำการสะท้อนหรือทำการกีดขวางรูปแบบการแผ่พลังงาน เทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริป (รูปที่ 3.4)

3.3.2 ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์

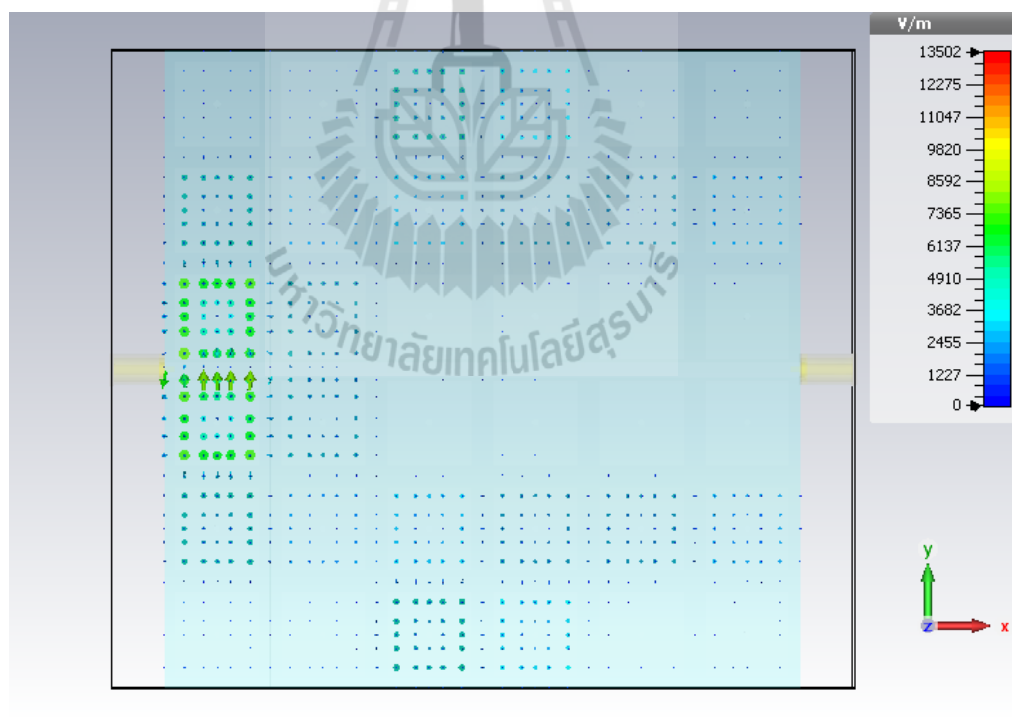


รูปที่ 3.9 แบบจำลองแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์

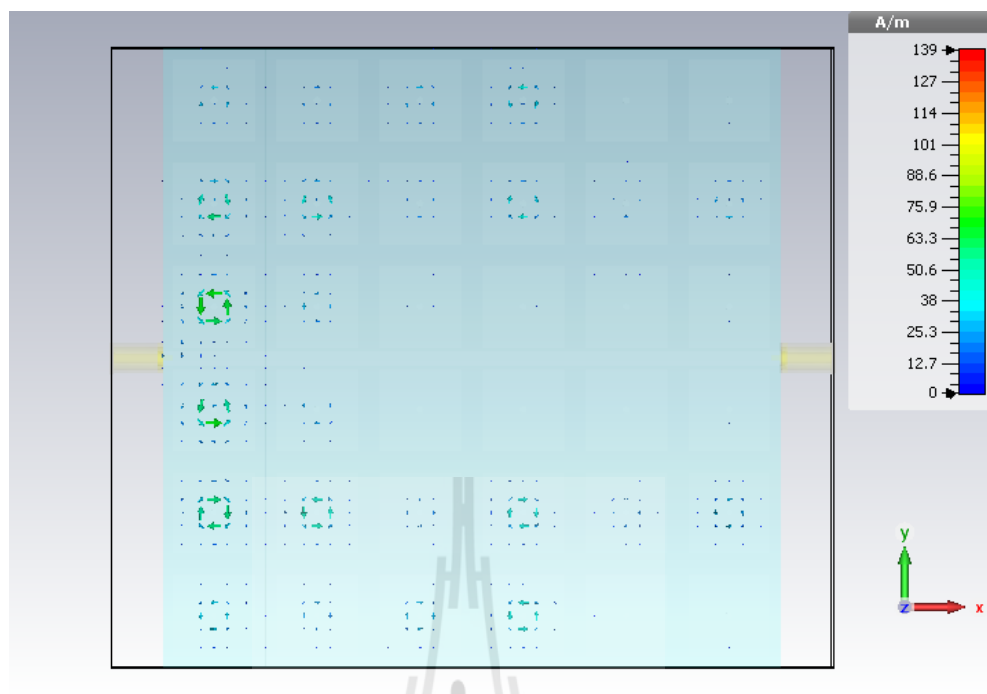


รูปที่ 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป สายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ และ 6×6 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 1.97 GHz ถึง 2.18 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 210 MHz ช่วงความถี่ 3.75 GHz ถึง 3.85 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 MHz และช่วงความถี่ 3.95 GHz ถึง 3.98 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 30 MHz เมื่อเทียบกับสายส่งไมโครสตริปที่ความถี่ใช้งาน 2.45 GHz มีการสูญเสียอยู่เล็กน้อย แต่ยังสามารถส่งผ่านเพื่อใช้งานได้ และยังทำการจำกัดความถี่ที่ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านน้อยกว่า -10 dB และเมื่อเทียบกับสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ ที่ความถี่ประมาณ 2 GHz การลดทอนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเพื่อทำการจำกัดความถี่ที่น้อยกว่า ทำให้การจำกัดความถี่ของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ดีกว่าช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์ที่ความถี่ประมาณ 2 GHz



(ก) สนามไฟฟ้า



(ข) สนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.11 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่

แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์ที่ช่วงความถี่ 1.97 GHz ถึง 2.18 GHz

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นว่า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถูกดูดซับกำลังไฟฟ้าที่ตัวช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การส่งผ่านคลื่นในช่วงความถี่ 1.97 GHz ถึง 2.18 GHz จากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) มีการสูญเสียมากดังรูปที่ 3.10 แล้วพบว่าค่าของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสูงสุดคือ 13,502 V/m และ 139 A/m ตามลำดับ การแผ่พลังงานของคลื่นความถี่ 1.97 GHz ถึง 2.18 GHz มีการลดทอนเนื่องจากการทำงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การส่งผ่านของคลื่นจากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) ได้บ้างแต่ยังมีกำลังน้อยอยู่ เทียบกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ (รูปที่ 3.8) การกำจัดความถี่ทำได้ดีกว่า

3.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึง การออกแบบและการจำลองแบบสายส่งไมโครสตริป ด้วยการจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio 2011 ของสายส่งไมโครสตริปและการออกแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า มีข้อดีคือ สามารถดูดซับกำลังไฟฟ้าในการส่งผ่านคลื่นในบางช่วงความถี่ได้ แต่มีข้อเสีย ที่ความถี่ที่ใช้งานมีการสูญเสียประมาณ 1-2 dB เมื่อเพิ่มส่วนกราวด์ด้วยแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าและการใช้งานความถี่ที่สูงขึ้นทำให้การส่งผ่านเกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



บทที่ 4

การสร้างชิ้นงานและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

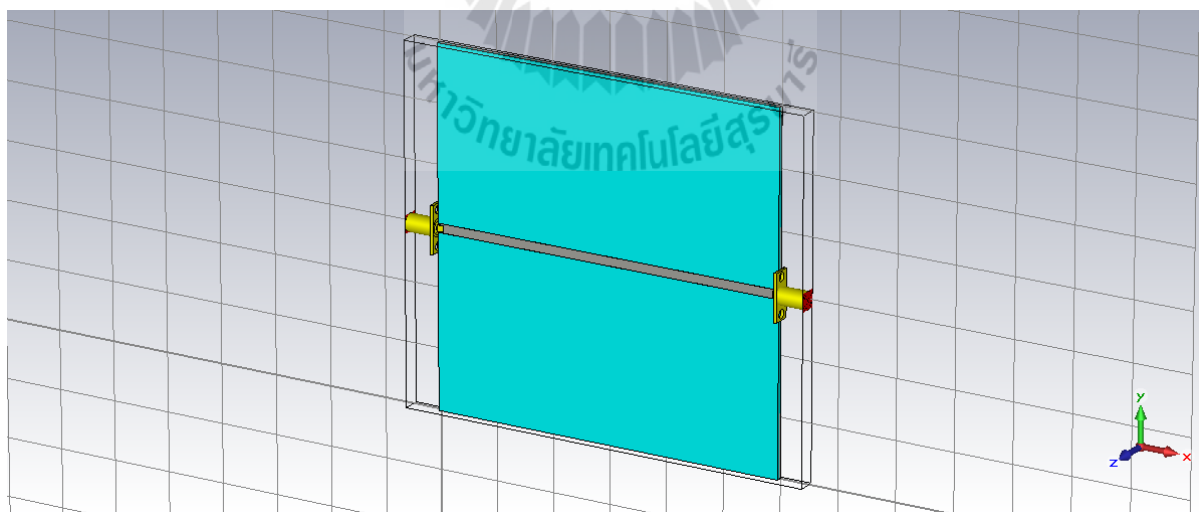
จากการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 2 และบทที่ 3 นั้น ในบทนี้จะทำการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์ เพื่อจะนำไปวัดทดสอบการใช้งานจริง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ

4.2 การสร้างชิ้นงาน

เมื่อออกแบบและจำลองแบบสายส่งไมโครสตริปในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 เรียบร้อยแล้วจึงนำผลที่ได้มาสร้างชิ้นงานจริงตามขั้นตอนดังนี้

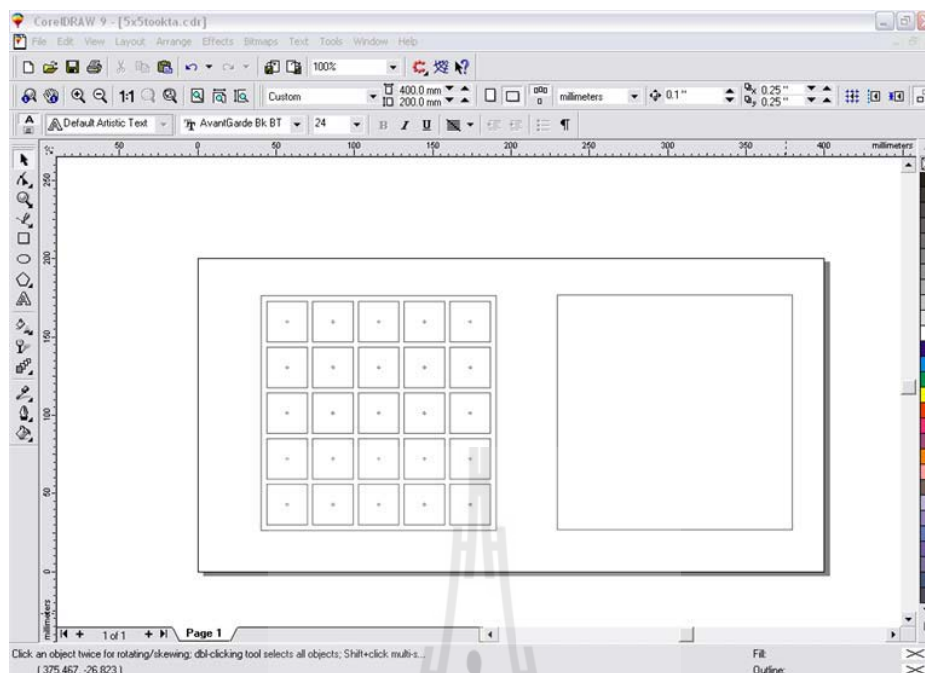
ขั้นตอนการสร้างและทดสอบชิ้นงาน

1. นำผลการจำลองแบบของสายส่งไมโครสตริปในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 ดังรูปที่ 4.1 แล้วตัดสติ๊กเกอร์ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ



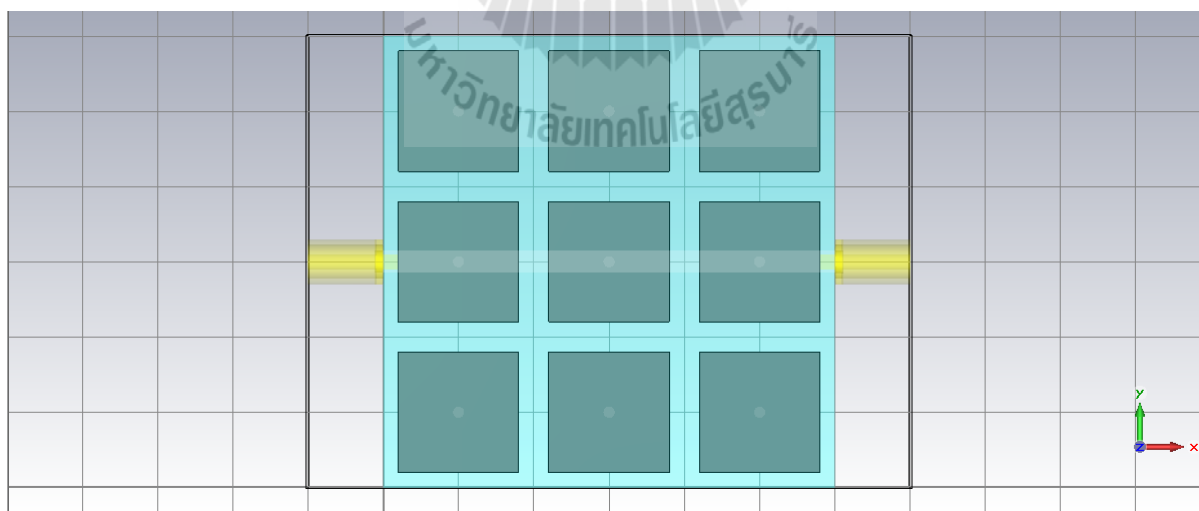
รูปที่ 4.1 สายส่งไมโครสตริป

2. ออกแบบชิ้นงานช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

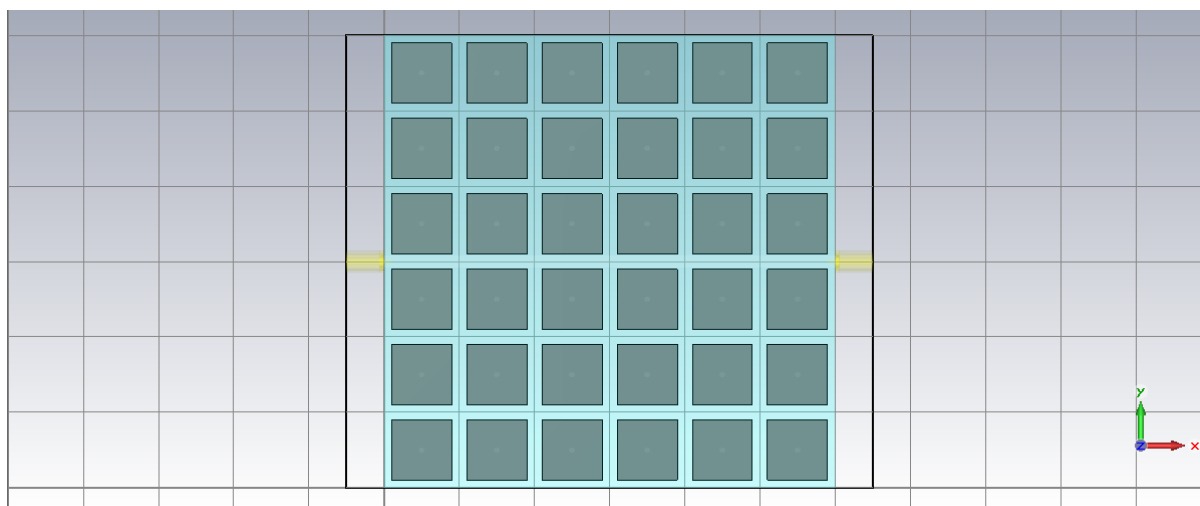


รูปที่ 4.2 โปรแกรม CorelDRAW กำหนดการตัดแผ่น PCB

3. นำผลการจำลองแบบของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 ดังรูปที่ 4.3 แล้วตัดศดิกเกอร์ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ



(ก) ภาพแสดงผลการจำลองแบบของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์



(ข) ภาพแสดงการจำลองแบบของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์

รูปที่ 4.3 นำผลการจำลองแบบของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในโปรแกรม

CST Studio Suite 2011 ไปตัดสติ๊กเกอร์

- (ข) ตัดสติ๊กเกอร์ของสายส่งไมโครสตริปจำนวน 4 ชั้นโดยนำไปติดกับแผ่น PCB และ ตัดสติ๊กเกอร์ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบละ 1 ชั้น แล้วนำสติ๊กเกอร์ที่ตัดไปติดบนแผ่น PCB เพื่อกำหนดวงแหวนให้ได้ตามที่ออกแบบ
- (ค) นำแผ่น PCB ที่กัดเสร็จแล้วมาเจาะตามรูปที่ 4.4 แล้วทำการบัดกรีตะกั่วตรงรูเจาะให้สามารถนำสัญญาณได้ หลังจากนั้นนำแผ่น PCB ที่เป็นสายส่งไมโครสตริปมาประกบกับ PCB ที่เป็นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า โดยเชื่อมแผ่น PCB ทั้งสองแผ่นเข้าด้วยกันด้วยหัวเชื่อมต่อ(Connectors) จะได้ชิ้นงานทั้งหมด 3 ชั้น แต่ละชั้นจะเรียงตามลำดับชั้นดังนี้



รูปที่ 4.4 การเจาะรูแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

- ชิ้นงานชิ้นที่ 1

PCB ที่เป็นสายส่งไมโครสตริป

- ชิ้นงานชิ้นที่ 2

PCB ที่เป็นสายส่งไมโครสตริป

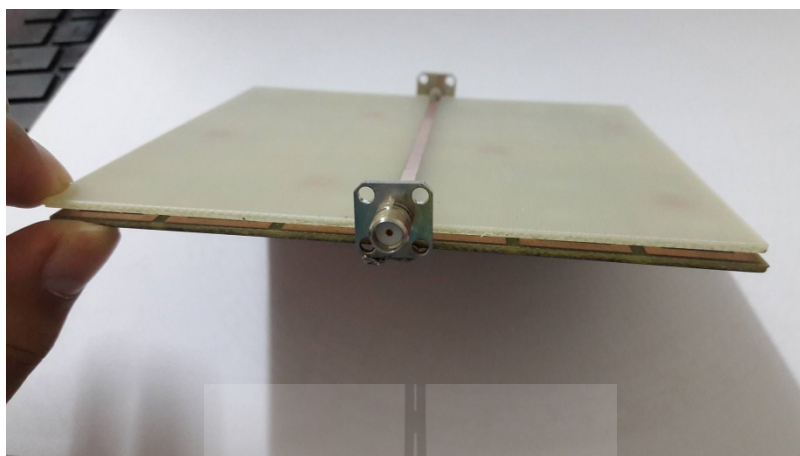
PCB ที่เป็นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 มิลลิเมตร

- ชิ้นงานชิ้นที่ 3

PCB ที่เป็นสายส่งไมโครสตริป

PCB ที่เป็นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 มิลลิเมตร

เมื่อทำการเชื่อมทั้งหมดรวมกันเป็นชั้นๆจะได้ชิ้นงานต้นแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดังรูปที่ 4.5



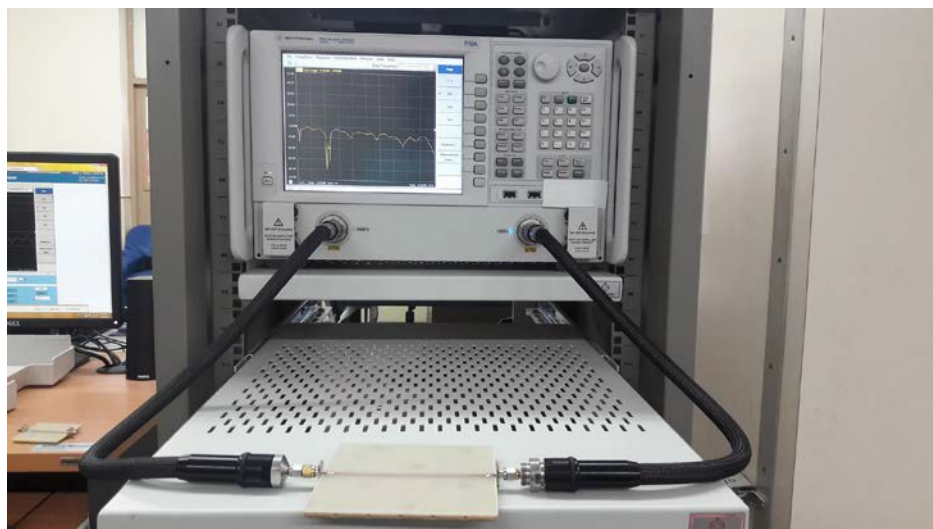
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงชิ้นงานสายส่งไมโครสตริปกับแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเชื่อมรวมกัน

4.3 การวัดผล

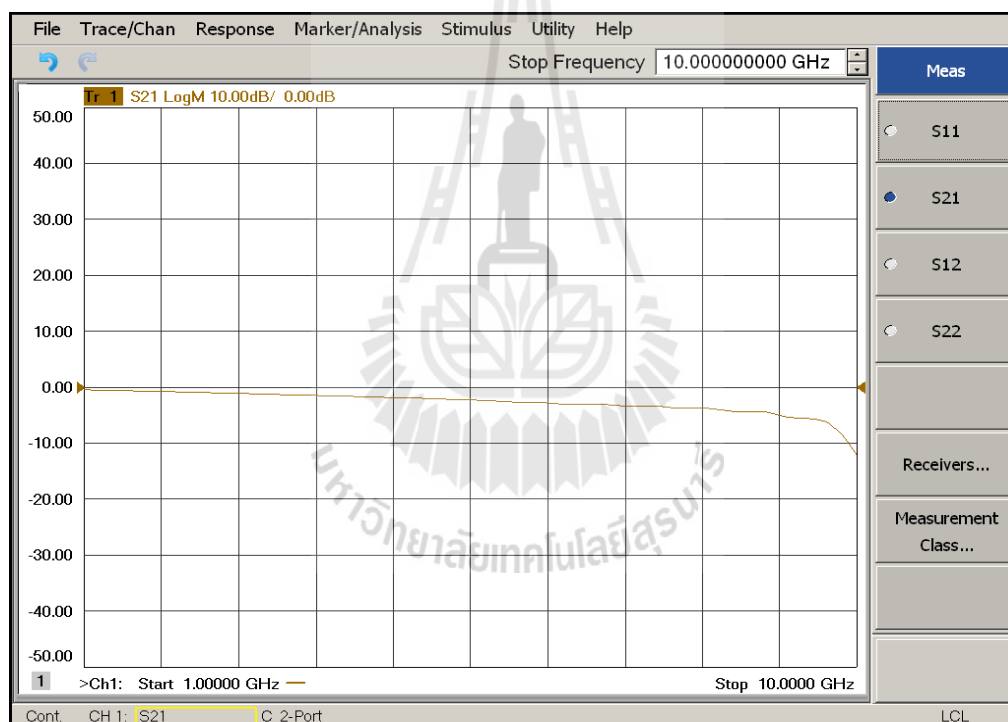


รูปที่ 4.6 เครื่อง PNA Network Analyzer

นำชิ้นงานต้นแบบสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว มาวัดค่ากับเครื่องPNA Network Analyzer ดังรูปที่ 4.6 โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.7 โดยเครื่องจะแสดงค่าที่บนหน้าจอของเครื่องดังรูปที่ 4.8 หลังจากนั้นทำการบันทึกค่ากราฟที่วัดได้

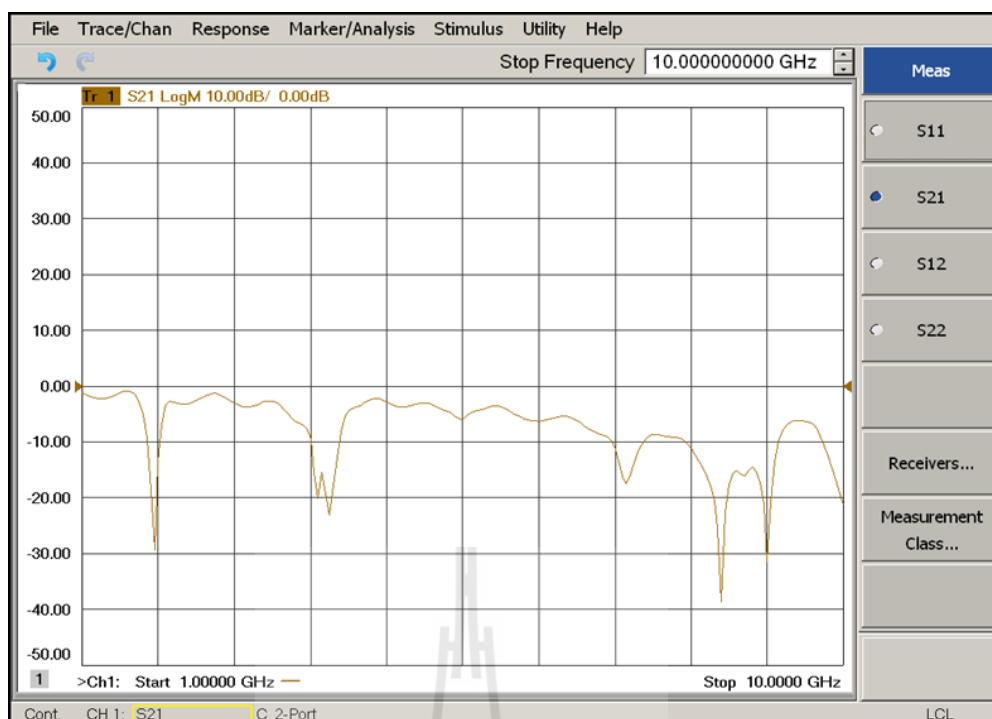


รูปที่ 4.7 การติดตั้งสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ากับเครื่องวัด



รูปที่ 4.8 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริป จะส่งผ่านทุกความถี่แต่จะมีการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการจำลองผลในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 (รูปที่ 3.3) มีความใกล้เคียงกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของการวัดจริงจะมีความคลาดเคลื่อนไปบาง เนื่องจากปัจจัยการสร้างชิ้นงานหรือตัววัสดุอุปกรณ์



รูปที่ 4.9 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบ
ความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 3×3 อิลิเมนต์ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ความถี่ประมาณ 1.8 GHz ถึง 2.1 GHz และความถี่ประมาณ 4 GHz ถึง 4.5 GHz นอกจากนั้นเป็นการสูญเสียเนื่องจากความถี่ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการจำลองผลในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 (รูปที่ 3.7) มีความใกล้เคียงกัน โดยที่การทำงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดจริง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ใช้งานมากกว่าในการจำลองผล หรือทำให้การแผ่กำลังไฟฟ้าจากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) เกิดการสูญเสียภายในมากขึ้นในช่วงความถี่ที่ใช้งานเทียบกับการจำลองผล



รูปที่ 4.10 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์

โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 6×6 อิลิเมนต์ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ความถี่ประมาณ 1.7 GHz ถึง 1.9 GHz และความถี่ประมาณ 4 GHz ถึง 4.2 GHz นอกจากนั้นเป็นการสูญเสียเนื่องจากความถี่ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการจำลองผลในโปรแกรม CST Studio Suite 2011 (รูปที่ 3.10) มีความใกล้เคียงกัน โดยที่การทำงานของช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดจริง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ใช้งานมากกว่าในการจำลองผล หรือทำให้การแผ่กำลังไฟฟ้าจากด้านเข้าของสายส่ง (port1) ไปยังสายส่งด้านรับ (port2) เกิดการสูญเสียภายในมากขึ้นในช่วงความถี่ที่ใช้งานเทียบกับการจำลองผล และในช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 4 GHz มีความคลาดเคลื่อนของการทำงานช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่างจากที่จำลองผลไว้ สาเหตุเนื่องจากการสร้างตัวชิ้นงานมีขนาดคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้

4.4 สรุป

หลังจากที่สร้างสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าและนำไปวัดทดสอบ พบว่าผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีความคล้ายคลึงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยโปรแกรม CST Studio Suite 2011 ในบทที่ 3 สำหรับผลบางส่วนที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะมีสาเหตุเป็นเพราะการสร้างชิ้นงานจริงให้ตรงกับที่ออกแบบไว้หรือเพราะความคลาดเคลื่อนของตัววัสดุอุปกรณ์



บทที่ 5

บทสรุปของโครงการ

5.1 กล่าวสรุป

เนื้อหาในบทนี้เป็นการกล่าวถึงบทสรุปของโครงการสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และประกอบไปด้วยปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน วิธีการแก้ไข ข้อเสนอแนะ และวิธีการพัฒนาโครงการต่อไป

โครงการสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลัก คือ

1. เครื่อง PNA Network Analyzer เป็นเครื่องส่งสัญญาณและวัดค่า
2. สายส่งไมโครสตริป เป็นสายนำสัญญาณ
3. ตัวขึ้นงานช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า เป็นกราวด์ของสายส่งไมโครสตริป

สำหรับขั้นตอนการออกแบบ เริ่มจาก การหาความกว้างและยาวของสายส่งไมโครสตริปที่ทำให้แมตช์กับค่าความถี่ที่ 2.45 GHz ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งไมโครสตริปเท่ากับ 50Ω เราต้องออกแบบ หลังจากนั้นเราได้ทำการจำลองผลดูว่าสายอากาศสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ ผลที่ออกมาคือสามารถใช้งานได้ เราจึงสร้างชิ้นงานต้นแบบแล้วนำไปวัดทดสอบกับช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ผลคือสามารถใช้งานได้จริง

ซึ่งจากการวัดทดสอบพบว่า สายส่งที่ได้ออกแบบและสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นมานั้นสามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบมาเพื่อใช้งาน

5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

ในการทำโครงการสายส่งไมโครสตริปประดิษฐ์โดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าปัญหาที่พบดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วยตัวปัญหาที่พบ สาเหตุของปัญหารวมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหา

ตารางที่ 5.1 ปัญหาที่พบ และสาเหตุของปัญหา รวมทั้งวิธีการแก้ไขปัญหา

ปัญหาที่พบในขณะดำเนินงาน	สาเหตุและวิธีการแก้ไข
1. ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากสเกลของชิ้นมาบางตำแหน่งมีสเกลที่เล็กมากทำให้กัดและเจาะแผ่นFR4ได้ชิ้นงานออกมาคลาดเคลื่อนไม่ตรงตามขนาดที่ออกแบบไว้ <u>วิธีการ</u> ควรใช้ความประณีตในการสร้างชิ้นงาน
2. การประกอบตัวสายส่งไมโครสตริปปริคิษฐ์	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากตัวช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ามีความหนาของตัวพินไม่เท่ากัน ทำให้ยากต่อการประกอบตัวชิ้นงาน และได้ชิ้นงานออกมาไม่ตรงตามขนาดที่ออกแบบไว้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการออกแบบสายส่งด้วยโปรแกรม CST นั้นมีการใช้งานทรัพยากรของเครื่องสูงสังเกตได้จากกราฟการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางจาก Task manager ของ Windows จึงควรใช้งานโปรแกรม CST กับเครื่องที่มีสมรรถนะสูงจะทำให้จำลองผลเร็วขึ้น

5.3.2 ในการสร้างชิ้นงานควรใช้ความประณีต และใจเย็นอย่างมาก เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ตรงตามการออกแบบ

5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป

เนื่องจากชิ้นงานต้นแบบในโครงการนี้สามารถกำจัดความถี่ได้ช่วงแบนด์วิดท์แคบๆ การพัฒนาคือการหาเทคนิคทำให้สามารถกำจัดความถี่ได้ช่วงแบนด์วิดท์กว้างขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์. Communication Networks and Transmission Lines .
วิศวกรรมโทรคมนาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] วิทยานิพนธ์ของ นายประพล จาระตะคุ. สืบค้นจาก
: sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2490/1/prapol_fulltext.pdf
- [3] วิทยานิพนธ์ของ นายชวลิต เกตรา. สืบค้นจาก
: 203.158.6.11:8080/sutir/bitstream/123456789/5177/2/Fulltext.pdf
- [4] งานวิจัยของ รศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์. สืบค้นจาก
: sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5555/2/Fulltext.pdf
- [5] cst microwave studio. สืบค้นจาก : <http://www.edaboard.com/forum.php>



ประวัติผู้เขียน

นายพิเชษฐ์ จอมแปง เกิดเมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ.2537 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลศรีดอนไชย อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนปลื้มวิทยาคม อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2555 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นางสาวณัฐภัทร กุณฑโร เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2538 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนมหาวชิราวุธจังหวัดสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2555 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์. Communication Networks and Transmission Lines .
วิศวกรรมโทรคมนาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] วิทยานิพนธ์ของ นายประพล จาระตะคุ. สืบค้นจาก
: sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2490/1/prapol_fulltext.pdf
- [3] วิทยานิพนธ์ของ นายชวลิต เกตรา. สืบค้นจาก
: 203.158.6.11:8080/sutir/bitstream/123456789/5177/2/Fulltext.pdf
- [4] งานวิจัยของ รศ.ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์. สืบค้นจาก
: sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5555/2/Fulltext.pdf
- [5] cst microwave studio. สืบค้นจาก : <http://www.edaboard.com/forum.php>



ประวัติผู้เขียน

นายพิเชษฐ์ จอมแปง เกิดเมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ.2537 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลศรีดอนไชย อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนปลื้มวิทยาคม อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย เมื่อปี พ.ศ. 2555 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นางสาวณัฐภัทร กุณฑโร เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2538 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนมหาวชิราวุธจังหวัดสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2555 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

