



การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้วัสดุชนิดกรา

ฟีน

โดย

นายพงษ์ชิต พลกิติพันธ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้
วิธีดุนิติกกราฟิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DESIGN AND ANALYSIS THE MICROSTRIP ANTENNA FOR 2.4 GHZ USING
GRAPHENE MATERIAL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Engineering (ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING)

Department of ELECTRICAL ENGINEERING

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่าน
ความถี่ 2.4 GHz โดยใช้วิธีสัจนิยมกราฟิก
โดย พงษ์ชิต พลกิติพันธ์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญา
มหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร. ภมร ศิลาพันธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

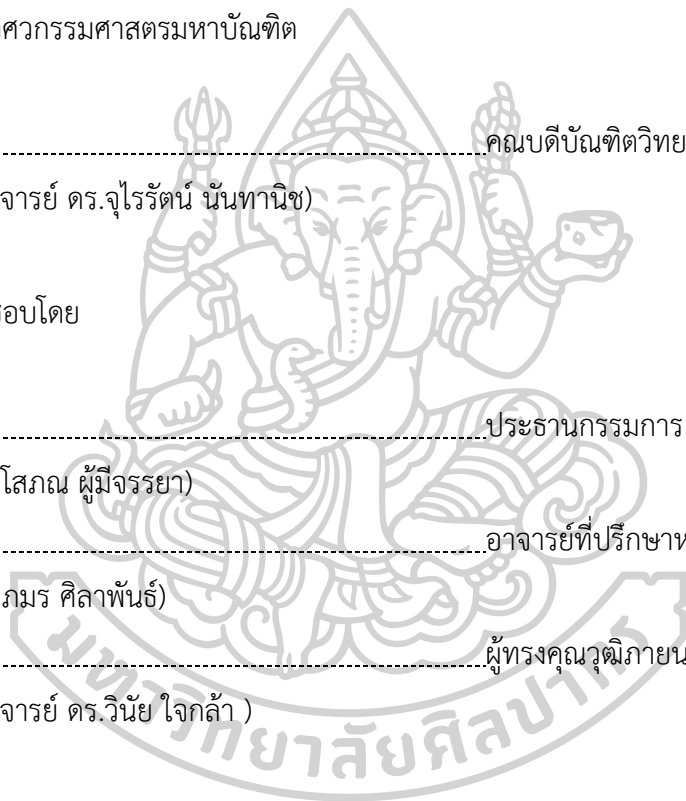
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.โสภณ ผู้มีจรรยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.ภมร ศิลาพันธ์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า)



60407207 : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน, เทคนิคขาลัดวงจร, ค่าการสูญเสียย้อนกลับ, กราฟีน

นาย พงษ์ชิต พลกิติพันธ์: การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้วัสดุชนิดกราฟีน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. ภูมิ ศิลาพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และสามารถพัฒนาให้เป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz ได้โดยการออกแบบนี้จะใช้เทคนิคขาลัดวงจรเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนย่านความถี่รวมไปถึงการทำให้เป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ได้ วัสดุกราฟีนจะถูกใช้ในส่วนของแพทช์วงแหวน และระนาบกราวด์ ในส่วนของฐานรองวัสดุจะใช้วัสดุ FR-4 การจำลองจะพิจารณา ค่าการสูญเสียย้อนกลับ รูปแบบการแผ่กระจายพลังงาน และค่าแบนด์วิดท์

ผลการทดสอบสมรรถนะผ่านการจำลองด้วยโปรแกรม EMCoS software พบว่าสายอากาศสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -54.07 dB โดยสามารถรองรับการใช้งานความถี่ได้ตั้งแต่ 1.6 GHz ถึง 2.83 GHz และสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -29.33 สำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และ -39.49 สำหรับย่านความถี่ 5.3 GHz โดยสามารถรองรับการใช้งานความถี่ได้ตั้งแต่ 2.02 GHz ถึง 2.74 GHz และ 5.02 GHz ถึง 5.4 GHz ในการออกแบบสายอากาศนี้สามารถใช้งานได้หลากหลายแอปพลิเคชัน เช่น โทรศัพท์มือถือ บลูทูธ เรดาร์ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ไร้สายนี้มีข้อดีหลายประการเช่น น้ำหนักที่เบา ออกแบบได้ง่าย ต้นทุนที่ต่ำ ขนาดที่เล็ก (40 ตารางมิลลิเมตร)

60407207 : Major (ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING)

Keyword : ANNULAR-RING MICROSTRIP ANTENNA, SHORT-PIN TECHNIQUE, RETURN LOSS, GRAPHENE

MR. PHONGCHIT PHONKITIPHAN : DESIGN AND ANALYSIS THE MICROSTRIP ANTENNA FOR 2.4 GHZ USING GRAPHENE MATERIAL THESIS ADVISOR : DR. PHAMORN SILAPAN

In this paper, the design process of an annular ring microstrip antenna using graphene material for 2.4 GHz bands and can be improved to dual-band applications. It can operate in the range of frequencies 2.4 GHz 5.3 GHz. By using the short-pin technique to switch between those frequencies. Including using as a dual-band antenna. The microstrip antenna is modified using graphene-based annular ring microstrip layers for patch and ground plane with FR-4 epoxy substrate in between. The simulation considers the return loss, directional radiation pattern, and bandwidth.

The result by the EMCoS software shows that the antenna for 2.4 GHz. has an operating range of frequency covers 1.6 GHz to 2.83 GHz with the minimum return loss of -54.07 dB. And the antenna for dual-bands, It can operate in the range of frequencies from 2.02 to 2.74 GHz and 5.02 to 5.4 GHz with the minimum return loss of -29.33 dB and -39.49 dB respectively. Which is potentially feasible for various applications such as mobile phone, Bluetooth, and radar in wireless communication devices with the profit of light-weight, easy-design, low-cost and compact size (40-millimeter square)

กิตติกรรมประกาศ

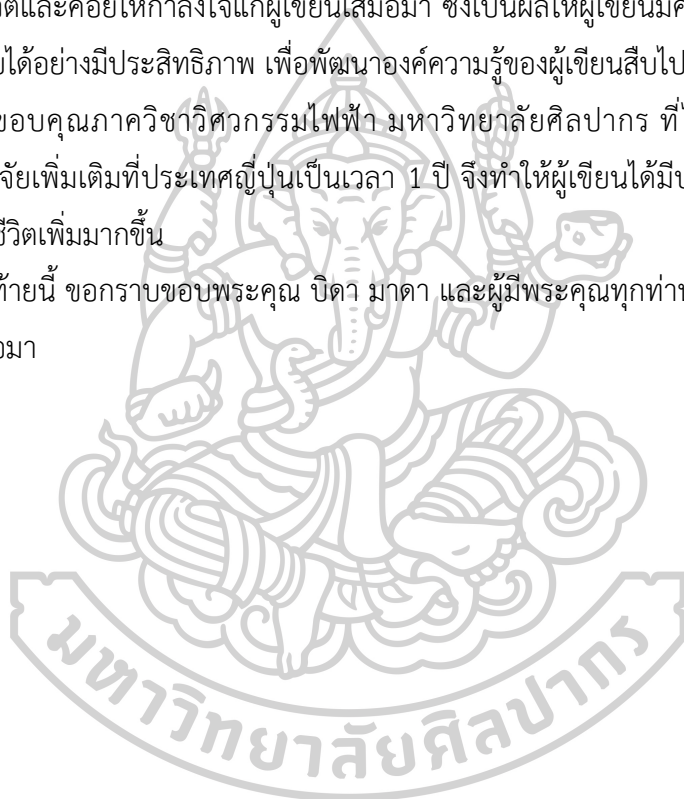
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ความคิดเห็น ข้อมูล และเป็นกำลังใจให้กับผู้เขียน

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระพีพันธ์ แก้วอ่อน อาจารย์ ดร. ภมร ศิลาพันธ์ อาจารย์ ดร. อรทัย วัชรกฤษกรณ และอาจารย์ ดร. กัณธิดา พันธุ์เจริญ ที่ได้ให้แนวคิดว่า ความรู้ทางวิชาการ ตลอดจนแนวทางและคำชี้แนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมไปถึงคำแนะนำ ในการดำรงชีวิตและคอยให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา ซึ่งเป็นผลให้ผู้เขียนมีความสามารถในการทำและ พัฒนางานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ของผู้เขียนสืบไป

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการ ไปศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นเวลา 1 ปี จึงทำให้ผู้เขียนได้มีประสบการณ์ทั้งได้วิชาการ และการดำรงชีวิตเพิ่มมากขึ้น

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่เป็นกำลังใจและส่งเสริม สนับสนุนเสมอมา

พงษ์ชิต พลกิติพันธุ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความหมายของสายอากาศ.....	4
2.2 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสายอากาศ.....	4
2.3 การแผ่พลังงานของสายอากาศ.....	6
2.4 โครงสร้างของไมโครสตริป (Microstrip).....	9
2.5 การออกแบบไมโครสตริป.....	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.7 สรุป.....	26
บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน.....	27
3.1 การออกแบบการวิจัย.....	27

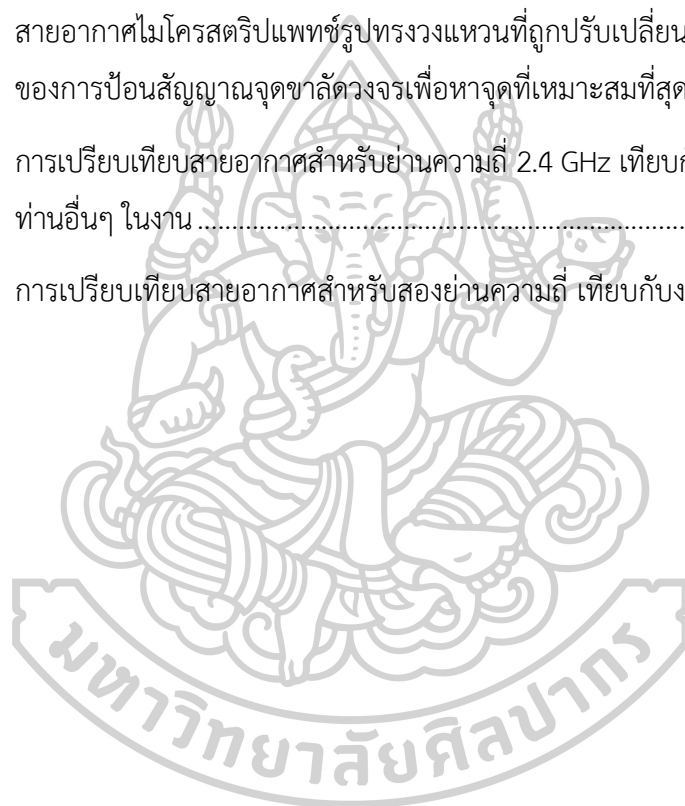
3.2 ระเบียบวิธี.....	27
บทที่ 4 ผลการจำลองการทำงาน	32
4.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz	32
4.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz.....	43
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	53
5.1 บทสรุป.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
รายการอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรมจำลอง EMCoS Software	60
ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	76
ประวัติผู้เขียน	92



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าและความหนาของวัสดุกราฟีนชนิดต่างๆ ..	30
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุดไฟด	33
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin	35
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน	36
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของ สายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวน รอบนอก	38
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุดไฟดเพื่อหาจุด ที่เหมาะสมที่สุด.....	40
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุด Short-pin เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด.....	41
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก	45

ตารางที่ 9	การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและ ย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูก ปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน.....	47
ตารางที่ 10	การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของ สายอากาศไมโคร สตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่ง ของการป้อนสัญญาณจุดไฟดเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด	48
ตารางที่ 11	การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของ สายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่ง ของการป้อนสัญญาณจุดขาลัดวงจรเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด	50
ตารางที่ 12	การเปรียบเทียบสายอากาศสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz เทียบกับงานวิจัย ท่านอื่นๆ ในงาน	54
ตารางที่ 13	การเปรียบเทียบสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ เทียบกับงานวิจัยท่านอื่นๆ	54



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 การแผ่พลังงานแบบไอโซโทรปิก	7
รูปที่ 2 แบบการแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง.....	7
รูปที่ 3 การแผ่พลังงานแบบชี้สองทิศทาง.....	8
รูปที่ 4 แบบการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง.....	8
รูปที่ 5 แพทช์แบบลักษณะต่างๆ.....	9
รูปที่ 6 โครงสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริป	10
รูปที่ 7 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแพทช์.....	10
รูปที่ 8 สายอากาศไมโครสตริปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	11
รูปที่ 9 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทรงวงแหวน	13
รูปที่ 10 ด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น [4].....	14
รูปที่ 11 สายอากาศไมโครสตริปทรงสี่เหลี่ยม [6].....	15
รูปที่ 12 ด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศที่ถูกออกแบบ.....	16
รูปที่ 13 สายอากาศไมโครสตริปทรงสี่เหลี่ยม	17
รูปที่ 14 มุมมองด้านหน้าของสายอากาศ.....	18
รูปที่ 15 มุมมองด้านข้างของสายอากาศ.....	18
รูปที่ 16 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่เดียว	19
รูปที่ 17 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับสองย่านความถี่.....	20
รูปที่ 18 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับสองย่านความถี่ที่ถูกสร้างจริง.....	21
รูปที่ 19 (a) ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสองช่องสล็อตที่ไม่มีฟีด, (b) มุมมองด้านข้างพร้อม.....	21
รูปที่ 20 มุมมองด้านบนของสายอากาศไมโครสตริป.....	22

รูปที่ 21	สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับสองย่านความถี่โดยใช้เทคนิค ขาลัดวงจร.....	22
รูปที่ 22	สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับสองย่านความถี่โดยใช้เทคนิค ขาลัดวงจร.....	23
รูปที่ 23	การออกแบบแพทช์ของสายอากาศไมโครสตริป	24
รูปที่ 24	โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป มุมมองด้านบนของสายอากาศ และมุมมอง ด้านข้างของสายอากาศ.....	25
รูปที่ 25	โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป.....	25
รูปที่ 26	โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน.....	30
รูปที่ 27	ตำแหน่งของจุดพีค และตำแหน่งของขาลัดวงจรบนแพทช์กราฟีนของ สายอากาศไมโครสตริปโดยมีระยะห่างที่ 0.25 มิลลิเมตร.....	31
รูปที่ 28	การปรับตำแหน่งของจุดพีคบนแพทช์วงกลม.....	32
รูปที่ 29	ความถี่ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีค	33
รูปที่ 30	การปรับตำแหน่งของ Short-pin บนแพทช์วงกลม.....	34
รูปที่ 31	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin ในตำแหน่งต่างๆ.....	34
รูปที่ 32	การปรับเปลี่ยนขนาดวงแหวนรอบในของแพทช์วงกลม	35
รูปที่ 33	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน.....	36
รูปที่ 34	การปรับเปลี่ยนขนาดวงแหวนรอบนอกของแพทช์วงกลม	37
รูปที่ 35	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก	38
รูปที่ 36	การปรับตำแหน่งของจุดพีคบนแพทช์วงกลม.....	39
รูปที่ 37	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีค	39
รูปที่ 38	การปรับตำแหน่งของจุด Short-pin บนแพทช์วงกลม	40
รูปที่ 39	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin.....	41
รูปที่ 40	สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz.....	42
รูปที่ 41	ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ.....	42

รูปที่ 42	การแผ่กระจายพลังงานแบบชี้ทิศทาง	43
รูปที่ 43	โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริบโดยใช้วัสดุกราฟีนสำหรับรองรับสองย่านความถี่	44
รูปที่ 44	ผลความถี่ที่ได้จากการคำนวณไว้	44
รูปที่ 45	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก	45
รูปที่ 46	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน.....	46
รูปที่ 47	การปรับตำแหน่งของจุดพีดบนแพทช์วงกลม.....	47
รูปที่ 48	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีด	48
รูปที่ 49	การปรับตำแหน่งของจุดขาลัดวงจรบนแพทช์วงกลม.....	49
รูปที่ 50	ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดขาลัดวงจร	49
รูปที่ 51	สายอากาศไมโครสตริบสำหรับสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz	50
รูปที่ 52	ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ.....	51
รูปที่ 53	การแผ่กระจายพลังงานแบบชี้ทิศทางสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz.....	51
รูปที่ 54	การแผ่กระจายพลังงานแบบชี้ทิศทางสำหรับย่านความถี่ 5.3 GHz.....	52
รูปที่ 55	หน้าตาของโปรแกรมจำลองการทำงานของโปรแกรม EMCoS antenna V lab simulation program.....	61
รูปที่ 56	หน้าตาของโหมด Working Plane	61
รูปที่ 57	หน้าตาของโหมด Dimensions	62
รูปที่ 58	การตั้งค่าตัวแปรต่างๆ.....	62
รูปที่ 59	การตั้งตำแหน่งของระนาบกราวด์.....	63
รูปที่ 60	ตั้งค่าขนาดความกว้างและความยาวของระนาบกราวด์	63
รูปที่ 61	ความสูงของระนาบกราวด์	64
รูปที่ 62	ภาพของระนาบกราวด์ที่ออกแบบไว้.....	64
รูปที่ 63	ชั้นบนเป็นฐานรองวัสดุ และชั้นล่างเป็นระนาบกราวด์	65
รูปที่ 64	ตั้งค่าการออกแบบขนาดของวงกลม	65

รูปที่ 65	การออกแบบแพทช์รูปทรงวงแหวน.....	66
รูปที่ 66	ขั้นตอนการเชื่อมวงกลมสองวงเข้าด้วยกัน.....	66
รูปที่ 67	การออกแบบจุดฟีด.....	67
รูปที่ 68	การทำจุดขาลัดวงจร (Short-pin).....	67
รูปที่ 69	ขั้นตอนการตั้งค่าไดอิเล็กทริกซ์สเตรท.....	68
รูปที่ 70	การตั้งค่าไดอิเล็กทริกซ์สเตรท.....	68
รูปที่ 71	การตั้งค่าวัสดุที่ใช้ในแพทช์และระนาบกราวด์.....	69
รูปที่ 72	หน้าการแสดงผลการป้อนอินพุตแรงดันและกระแส.....	69
รูปที่ 73	หน้าต่างการคำนวณจรรยาวัชวงความถี่ของการจำลองโดยการจำลองนี้ จะตั้งค่าช่วงความถี่ที่ 1 GHz ถึง 5 GHz.....	70
รูปที่ 74	หน้าต่างการกดปุ่มคำนวณเพื่อทำการจำลองการทำงานของสายอากาศ.....	70
รูปที่ 75	ขั้นตอนการเชื่อมวงกลมสองวงเข้าด้วยกัน.....	71
รูปที่ 76	การออกแบบจุดฟีด.....	72
รูปที่ 77	การทำจุดขาลัดวงจร (Short-pin).....	72
รูปที่ 78	ขั้นตอนการตั้งค่าไดอิเล็กทริกซ์สเตรท.....	73
รูปที่ 79	การตั้งค่าไดอิเล็กทริกซ์สเตรท.....	73
รูปที่ 80	การตั้งค่าวัสดุที่ใช้ในแพทช์และระนาบกราวด์.....	74
รูปที่ 81	หน้าการแสดงผลการป้อนอินพุตแรงดันและกระแส.....	74
รูปที่ 82	หน้าต่างการคำนวณจรรยาวัชวงความถี่ของการจำลองโดยการจำลองนี้ จะตั้งค่าช่วงความถี่ ที่ 1 GHz ถึง 6 GHz.....	75
รูปที่ 83	หน้าต่างการกดปุ่มคำนวณเพื่อทำการจำลองการทำงานของสายอากาศ.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายในย่านความถี่ใช้งานอุตสาหกรรม (Industrial Sciences Medicine) เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการอำนวยความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตประจำวันในการประกอบอาชีพการทำงานหรือการใช้ทางการแพทย์ ซึ่งล้วนต้องใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สาย สายอากาศเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากของการสื่อสารแบบไร้สาย โดยสามารถมีได้หลายรูปแบบเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันตัวอย่าง เช่น 1) สายอากาศแบบคอยล์ (Coil) ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในทางด้าน วิทยุ โทรทัศน์ และโทรทัศน์ ความถี่ในการทำงานอยู่ระหว่าง กิโลเฮิร์ตซ์และเมกะเฮิร์ตซ์ 2) สายอากาศแบบสล롯 (Slot) มักใช้งานทางด้านเรดาร์ ในเรือดำน้ำ หรือสถานีฐานโทรทัศน์มือถือ ทำงานระหว่าง เมกะเฮิร์ตซ์ และจิกะเฮิร์ตซ์ 3) สายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip) สามารถออกแบบได้หลายรูปทรงตามวัตถุประสงค์ มักใช้งานตั้งแต่ความถี่ 1 - 6 จิกะเฮิร์ตซ์ [1, 2] ดังนั้นสายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip) จึงมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบที่ย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริปนั้นมีขนาดที่เล็กกะทัดรัด มีน้ำหนักที่เบา มีรูปร่างไม่ซับซ้อน สามารถออกแบบได้ง่าย และราคาถูก [3-5] ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป มีโครงสร้างที่สำคัญด้วยกัน 3 ส่วนคือ แพทช์ (Patch) ฐานรองวัสดุ (Substrate) และระนาบกราวด์ (Ground Plan) โดยส่วนของแพทช์กับระนาบกราวด์ มักจะถูกใช้วัสดุที่เป็นโลหะ [6, 7] เช่น ทองแดง เป็นต้น โดยที่มีฐานรองวัสดุจะเป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่างแพทช์ และระนาบกราวด์ ซึ่งสายอากาศแบบไมโครสตริปจะมีรูปทรงหลากหลายแบบเช่น รูปทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม วงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือวงแหวน [8] สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากด้วยโหมดพื้นฐานซึ่งทำงานโดยโหมด TM_{11} ของมันจะมีขนาดที่เล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงวงกลม และรูปทรงสี่เหลี่ยม [9] สายอากาศรูปทรงวงแหวนยังสามารถทำให้ได้ค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่สูง และมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่ต่ำเมื่อเทียบกับสายอากาศรูปทรงอื่น [10] นอกจากนี้เทคนิคขาลัดวงจร (Short-pin technique) ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยอย่างหลากหลายเนื่องจากสามารถใช้ในการปรับให้เข้ากับความถี่ที่ต้องการและยังช่วยเพิ่มช่วงของค่าแบนด์วิดท์ [11-14] และยิ่งไปกว่านั้นในบางงานวิจัยยังใช้ข้อดีของเทคนิคขาลัดวงจรนี้พัฒนาสายอากาศให้เป็นสองย่านความถี่ได้อีกด้วย [15] ในปัจจุบันได้มีวัสดุที่นำไฟฟ้าหลากหลายชนิดมากขึ้นอย่างเช่น กราฟีน โดยที่วัสดุกราฟีนมีลักษณะ

โครงสร้างแบบรังผึ้งจึงได้มีการนำโครงสร้างนี้ไปใช้ประดิษฐ์วัสดุที่บางมากแต่ให้ความแข็งแรงกว่าวัสดุแบบเหล็กกว่า 100-300 เท่า [16] ซึ่งจะเห็นได้ว่าความหลากหลายของวัสดุที่นำไฟฟ้านี้จึงทำให้สามารถพัฒนาและออกแบบสายอากาศเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานได้มากขึ้นเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปโดยเฉพาะวัสดุกราฟีน เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการใช้สร้างสายอากาศอย่างเช่น การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.6 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับประมาณ -16 dB การออกแบบดังกล่าวนี้ใช้วัสดุ FR-4 เป็นฐานรองวัสดุ และแพทช์ใช้วัสดุกราฟีนแทนที่วัสดุที่เป็นทองแดง เนื่องจากปัญหาของวัสดุทองแดงที่มีน้ำหนักมาก มีความยืดหยุ่นที่ต่ำจึงอาจก่อให้เกิดการหักงอได้ดังนั้นการใช้วัสดุกราฟีนแทนวัสดุทองแดงจึงเป็นทางเลือกที่ดีเนื่องจากคุณสมบัติของ กราฟีนมีความยืดหยุ่นสูง มีการนำไฟฟ้าที่ดี [17] การพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้วัสดุกราฟีน การใช้วัสดุกราฟีนจะช่วยลดค่าความต้านทานทำให้ได้ค่านำไฟฟ้าที่มากขึ้นจึงส่งผลให้มีสายอากาศมีประสิทธิภาพในการทำงานที่มากขึ้นโดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ จะอยู่ที่ -20.5654 dB [18] การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.46 GHz ในลักษณะอาเรียโดยใช้วัสดุกราฟีน ซึ่งผลที่ได้เมื่อทำการเปรียบเทียบวัสดุกราฟีนกับทองแดงจะได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -40.28 dB และค่าแบนด์วิดท์ที่ 120 MHz ในขณะที่วัสดุทองแดงจะได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับประมาณ -34 dB และค่าแบนด์วิดท์ที่ 80 MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วัสดุกราฟีนจะทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ และค่าแบนด์วิดท์ที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุที่เป็นทองแดง [19] ซึ่งจากคุณสมบัติของกราฟีนนั้นเป็นทางเลือกที่ดีในการพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปจากเดิม ทำให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น การเปรียบเทียบวัสดุระหว่างโลหะทองแดงกับกราฟีน จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของ กราฟีนจะค่อนข้างดีกว่าโลหะทองแดงทั้งในทางด้านของน้ำหนักที่เบา มีการนำไฟฟ้าที่ดี และคุณสมบัติเชิงกลที่ดี อีกทั้งยังนำไปพัฒนาเป็นสายอากาศที่มีขนาดกะทัดรัดได้ [16-20] จึงสรุปได้ว่า การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปควรใช้วัสดุกราฟีนเพราะว่าวัสดุกราฟีนมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดี มีโครงสร้างภายในที่แข็งแรง มีความยืดหยุ่นสูง ทำให้เกิดการหักงอของสายอากาศได้ยาก มีน้ำหนักที่เบา และยังสามารถพัฒนาให้สายอากาศมีขนาดที่เล็กลง มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ และค่าแบนด์วิดท์ที่ดีอีกด้วย

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น คือมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำ และค่าแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอการสร้างสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนขนาดกระทัดรัดโดยใช้วัสดุกราฟีนเพื่อใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz และการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่จะถูกปรับเปลี่ยนให้มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดีขึ้น โดยมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งขนาดวงแหวน มีการใช้เทคนิคขาลัดวงจร (Short-pin technique) เพื่อเลื่อนหรือปรับความถี่ที่เหมาะสมประกอบกับใช้โปรแกรม (EMCoS software) ในการออกแบบและจำลองการทำงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีขนาดเล็กกระทัดรัด ในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้วัสดุกราฟีน

1.2.2 เพื่อทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรม EMCoS software จำลองสายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 2.4 GHz

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาโครงสร้างลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนเพื่อใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz และพัฒนาเป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz

1.3.2 ใช้วัสดุกราฟีนในการทำสายอากาศไมโครสตริปเพื่อสร้างสายอากาศที่มีประสิทธิภาพของค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) และค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth)

1.3.3 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ต้องต่ำกว่า -10 dB อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

1.3.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) สามารถยอมรับได้โดยค่าไม่เกิน 2

1.3.5 ค่าแบนด์วิดท์หรือแถบกว้างความถี่การใช้งานต้องมีค่าเพิ่มมากขึ้น

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 ได้สร้างสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุชนิดกราฟีนรูปทรงวงแหวนขนาด 40×40 ตารางมิลลิเมตร ที่ใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้เทคนิค short-pin

1.4.2 ได้สร้างสายอากาศที่ไม่ซับซ้อนสะดวกแก่การทดลองและนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านระบบสื่อสาร

1.4.3 สามารถนำโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนที่ทำด้วยเทคนิคขาลัดวงจรนี้ ไปพัฒนาเป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ (Dual-band) ได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน โดยใช้เทคนิค (Short-pin) โดยทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz และนำไปพัฒนาในเป็นสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz จึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานทำงานสายอากาศไมโครสตริป บทนี้จะอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของสายอากาศไมโครสตริปและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 2.1 ความหมายของสายอากาศหรือเสาอากาศ (Antenna)
- 2.2 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสายอากาศ
- 2.3 การแผ่พลังงานของสายอากาศ (Pattern)
- 2.4 โครงสร้างของไมโครสตริปและโครงสร้างของไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน
- 2.5 การออกแบบไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของสายอากาศ

สายอากาศคืออุปกรณ์สำหรับรับส่งคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งที่มีข้อมูลไปยังที่ต้องการข้อมูลโดยใช้สายอากาศเป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่า การเชื่อมต่อแบบไร้สาย อาจกล่าวได้ว่าการเชื่อมต่อที่ไร้สายนี้จำเป็นต้องมีสายอากาศไว้ใช้งานเสมอ

2.2 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสายอากาศ

สายอากาศจัดเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ดังนั้นในการออกแบบเพื่อสร้างสายอากาศนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำให้มีประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณให้ได้ดีที่สุดจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศ ซึ่งมีดังนี้

2.2.1 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง

ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR: Standing Wave Ratio) หรือ VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ถูกใช้ในการตรวจสอบว่าสายอากาศที่ใช้อยู่มีประสิทธิภาพเพียงใด โดยเป็นอัตราส่วน

ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในอัตราส่วนคลื่นนิ่ง กล่าวคืออัตราส่วนระหว่างกำลังส่งที่ถูกส่งออกไป
ต่อกำลังส่งที่ถูกสะท้อนกลับมา ดังนี้

$$SWR = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-1)$$

โดยที่ Γ คือ สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน
 V_{\max} คือ คลื่นนิ่ง หรือแรงดันเอาต์พุตสูงสุดจากสายอากาศ
 V_{\min} คือ คลื่นนิ่งขั้นต่ำ หรือแรงดันไฟฟ้าสะท้อนกลับ

โดยค่ามาตรฐานของอัตราส่วนคลื่นนิ่งจะอยู่ที่ 1.1:1 – 1.5:1 กรณีต่ำที่สุดไม่ควรเกิน
2:1 แต่ในหลักความเป็นจริงสายอากาศไม่สามารถยืดหดความยาวตามความถี่ใช้งานได้ จึงต้องใช้ค่า
กึ่งกลาง และนำมาคำนวณเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งย่านความถี่ที่จะใช้งาน โดยที่ SWR มีค่า
เป็น 1.1:1 สายอากาศจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.2.2 ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss : RL) หรือ S_{11} คือ ค่าของสัญญาณในส่วนที่
สะท้อนกลับเมื่อมีการส่งสัญญาณผ่านระบบต้องการให้สายอากาศไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ
จึงต้องดูที่สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน $|\Gamma| = 0$ หรือ $|\Gamma| = -10$ dB

$$RL = -10 \log \frac{P_r}{P_i} \quad (2-2)$$

$$P_i = P_r + P_o \quad (2-3)$$

โดยที่ RL คือ ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ
 P_r คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ
 P_i คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ
 P_o คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) มีหน่วยที่เรียกเฉพาะคือ dB ซึ่งถ้าค่า
การสูญเสียย้อนกลับมีมากจะแสดงว่ามีการสะท้อนกลับน้อย โดยเฉพาะถ้ายังเป็นระบบสื่อสาร
อนาล็อก จะให้ความสำคัญกับค่านี้มากโดยมักจะต้องการค่าการสูญเสียย้อนกลับสูงๆ เพื่อความ
แม่นยำของสัญญาณที่สะท้อนกลับ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ จะส่งผลถึงการลดทอนของสัญญาณด้วย
เนื่องจากเมื่อมันสะท้อนกลับไปหักล้างกับสัญญาณที่ส่งมาสัญญาณก็จะลดทอนลงไป

2.2.3 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ (Bandwidth) คือ ช่วงภายในของความถี่ ซึ่งประสิทธิภาพสายอากาศจะขึ้นกับคุณสมบัติในข้อนี้เพราะสามารถบอกได้ว่า สายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถรองรับการใช้งานได้ในช่วงความถี่ใดความถี่แบนด์วิดท์ ถือได้ว่าเป็นระยะห่างของความถี่สูงและต่ำ ซึ่งอยู่บนความถี่ศูนย์กลางโดยทั่วไปแล้วในระบบสื่อสารไร้สาย ต้องออกแบบสายอากาศให้มีค่าความสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB ในช่วงของความถี่แบนด์วิดท์ที่ต้องการให้สายอากาศใช้งานได้

ความถี่แบนด์วิดท์ของสายอากาศสามารถแสดงในรูปของแบนด์วิดท์สัมบูรณ์ (Absolute bandwidth: ABW) หรือ แบนด์วิดท์ย่อย (Fractional bandwidth: FBW) ค่าของความถี่ขอบบน (f_H) และความถี่ขอบล่าง (f_L) เป็นตัวแสดงขอบเขตที่ยอมรับได้ของสายอากาศแบนด์วิดท์ ค่า ABW ถูกกำหนดในรูปของค่าความต่างของความถี่ที่ขอบแบนด์วิดท์ทั้งสองข้าง ค่า FBW ถูกกำหนดในสถานะอัตราที่แตกต่างของความถี่เทียบกับความถี่ศูนย์กลาง ตามสมการที่ (2-4) ถึง (2-6)

$$ABW = f_H - f_L \quad (2-4)$$

$$FBW = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2-5)$$

สำหรับสายอากาศบรอดแบนด์ (Broadband Antennas) แบนด์วิดท์สามารถแสดงอยู่ในรูปสัดส่วนของขอบทั้งสองข้าง ที่ซึ่งประสิทธิภาพของสายอากาศสามารถยอมรับได้ ตามสมการที่ (2-6)

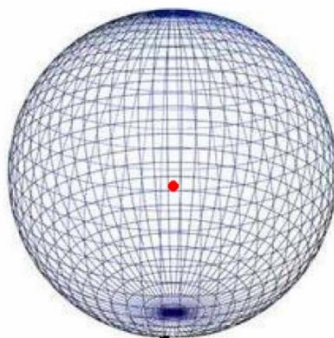
$$BW = \frac{f_H}{f_L} \quad (2-6)$$

2.3 การแผ่พลังงานของสายอากาศ

รูปแบบการแผ่พลังงาน คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานซึ่งเป็นฟังก์ชันในพิกัดทรงกลม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วรูปแบบการแผ่พลังงานนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล การอธิบายคุณสมบัติของการแผ่พลังงานจะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความเข้มของการแผ่พลังงาน คุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงรูปของพลังงานให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตเมื่อรัศมีคงที่รูปแบบการแผ่พลังงานมี 4 รูปแบบดังนี้

2.3.1 ไอโซโทรปิก (Isotropic)

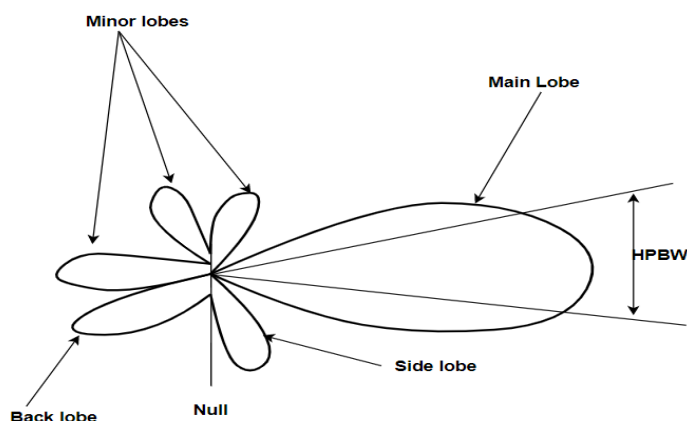
สายอากาศที่ถูกสมมติขึ้น โดยมีคุณสมบัติการแผ่พลังงานเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น แหล่งจ่ายแบบจุด (Point source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ



รูปที่ 1 การแผ่พลังงานแบบไอโซโทรปิก [<https://is.gd/ABPlOP>]

2.3.2 ชี้ทิศทาง (Directional)

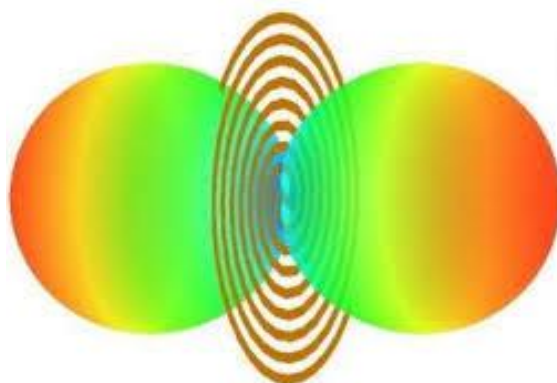
เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในทิศทางที่กำหนดสามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าเสาอากาศแบบรอบบอดี้ แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแผ่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย ชื่อของเสาอากาศแบบนี้ที่นิยมใช้กันได้แก่ เสาอากาศแบบเซ็กเตอร์ (Sector Antenna) เสาอากาศแบบยาگی (Yagi Antenna) สายอากาศแบบกริด (Grid antenna) สายอากาศแบบจาน (Solid Dish Antenna) อัตราขยายของสายอากาศแบบนี้อยู่ในอัตราขยาย (Gain) ที่สูง



รูปที่ 2 แบบการแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง [<https://is.gd/e4XUCL>]

2.3.3 ชีสองทิศทาง (Bi-directional)

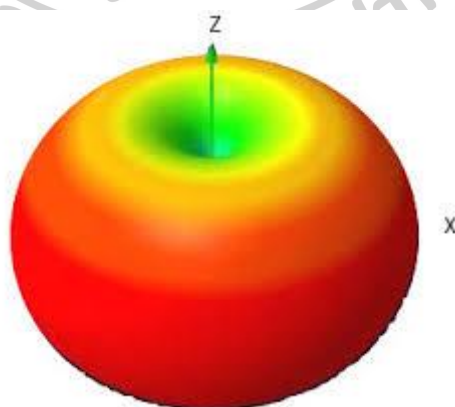
เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในสองทิศทางที่กำหนดคือ ด้านหน้า และด้านหลัง แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแผ่กระจายของคลื่น จะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย



รูปที่ 3 การแผ่พลังงานแบบชีสองทิศทาง [<http://wow.in.th/7rgz>]

2.3.4 การแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง (Omni Directional)

เป็นกรณีพิเศษของสายอากาศแบบชีทิศทาง ซึ่งสายอากาศประเภทนี้มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 4 แบบการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง [<https://is.gd/YFaXAT>]

2.4 โครงสร้างของไมโครสตริป (Microstrip)

ปัจจุบันสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในย่านความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น คือ น้ำหนักเบา ใช้พื้นที่น้อยมีลักษณะแบนราบ ซึ่งเหมาะกับการติดตั้งที่แบนราบไปกับพื้นผิว สามารถใช้รวมกันกับวงจรรวมไมโครเวฟ (Microwave integrated circuit : MICs) ทำงานได้ 2 ถึง 3 ความถี่พร้อมกันมีความแข็งแรง เมื่อนำมายึดติดกับพื้นผิว ทำให้ง่ายต่อการออกแบบ และสร้างสำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดในแต่ละชนิดจะมีรูปแบบและคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการออกแบบหรือเลือกใช้สายอากาศชนิดใดจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

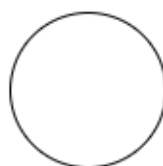
สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่าแพทช์ (Patch) ซึ่งเป็นตัวนำโดยทั่วไปจะมีได้หลายรูปทรงเช่น สี่เหลี่ยมมุมฉาก สามเหลี่ยม วงกลม วงแหวน เป็นต้น ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบางและมีลักษณะเป็นชั้นหรือเรียกว่าซับสเตรท (Substrate) ของสารไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6



Square



Dipole



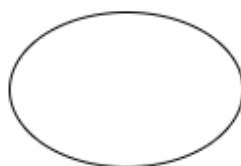
Circular



Annular-ring



Rectangular

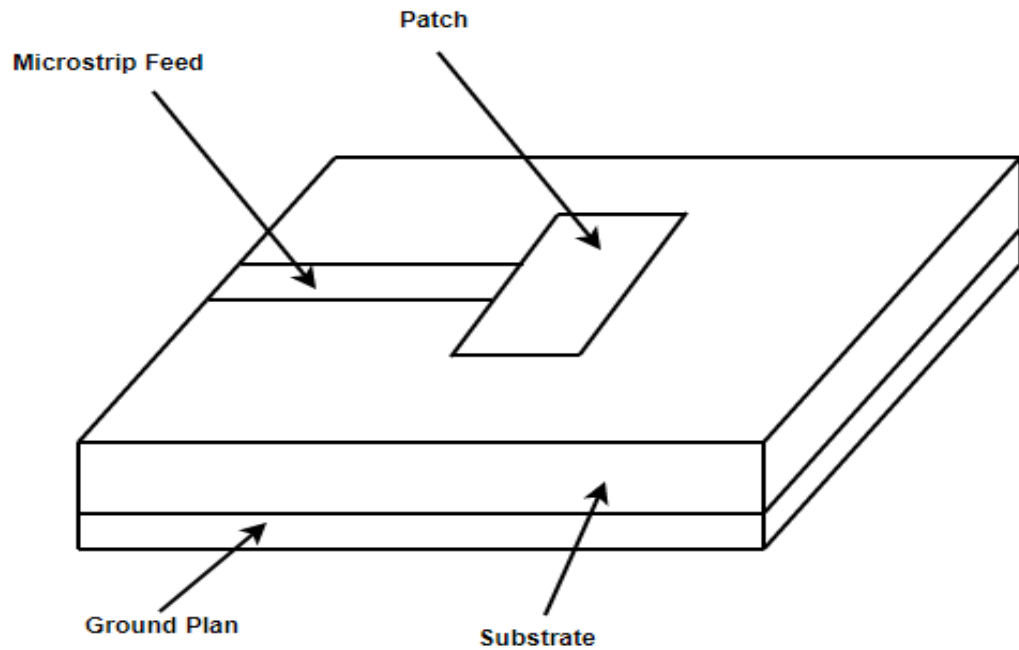


Elliptical

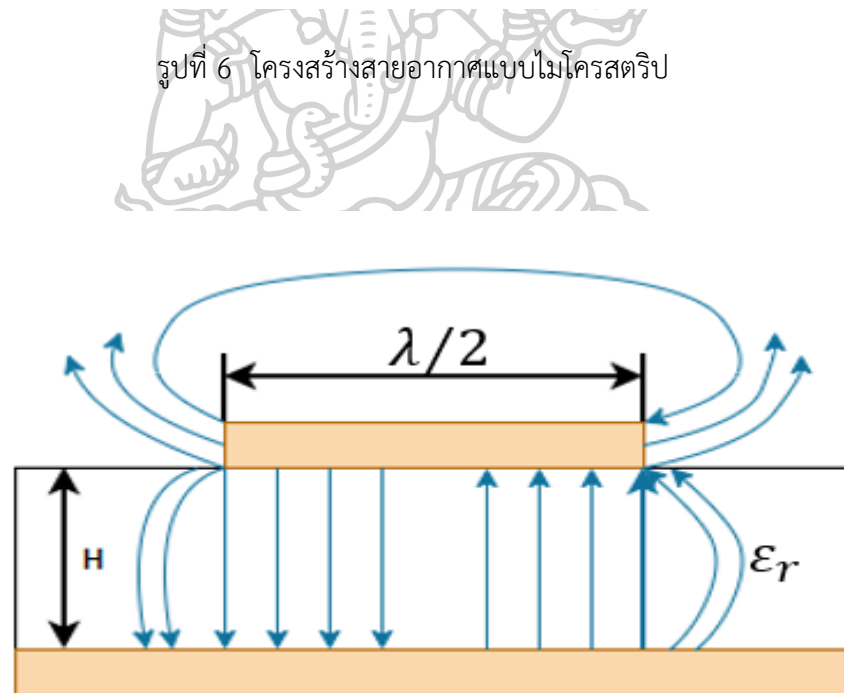


Triangle

รูปที่ 5 แพทช์แบบลักษณะต่างๆ



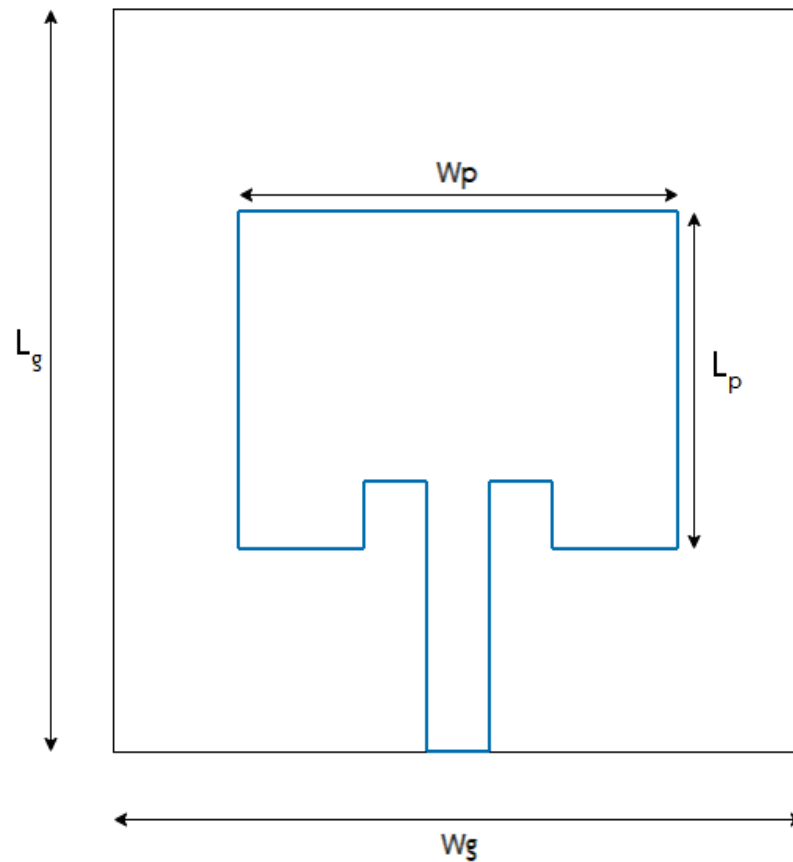
รูปที่ 6 โครงสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริป



รูปที่ 7 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแพทช์ [<https://is.gd/1tdNxb>]

รูปที่ 7 แสดงกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงของสนามไฟฟ้าภายในและบริเวณรอบๆแพทช์ โดยปกติสนามไฟฟ้าที่บริเวณขอบของแพทช์ที่ถูกต่อด้วยสายนำสัญญาณและด้านตรงข้ามขอบซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.5 การออกแบบไมโครสตริป



รูปที่ 8 สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การคำนวณเพื่อออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากรูปที่ 8 จะสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ [16-25]

- ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก
- h คือ ความหนาของฐานรองวัสดุ
- c คือ ความเร็วแสงมีค่า 3×10^8 m/s
- f_c คือ ความถี่กึ่งกลาง

โดยความกว้างของแพทช์ (W_p) และ ความยาวของแพทช์ (L_p) สามารถหาได้จากสมการที่ (2-7) และ (2-8)

$$W_p = \frac{c}{2f_c \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2-7)$$

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2-8)$$

โดยที่ค่าความยาวประสิทธิผล (L_{eff}) และค่าความยาวส่วนขยาย (ΔL) สามารถหาได้จากสมการที่ (2-9) และ (2-10)

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_c \sqrt{e_{eff}}} \quad (2-9)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W_p}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.264) \left(\frac{W_p}{h} + 0.8 \right)} \quad (2-10)$$

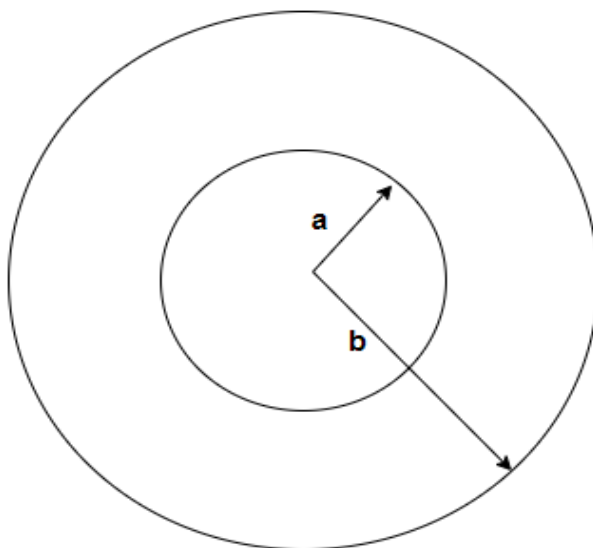
ค่าคงที่สภาพยอมสัมพัทธ์ประสิทธิผล (ϵ_{reff}) สามารถหาได้จากสมการที่ (2-11)

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_p} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2-11)$$

ค่าความกว้างของระนาบกราวด์ (W_g) และค่าความยาวของระนาบกราวด์ (L_g) สามารถหาได้จากสมการที่ (2-12) และ (2-13)

$$W_g = 6h + W_p \quad (2-12)$$

$$L_g = 6h + L_p \quad (2-13)$$



รูปที่ 9 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทรงวงแหวน

ในส่วนของการคำนวณเพื่อออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทรงวงแหวน มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากรูปที่ 9 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-14) และ (2-15)

- f_r คือ ความถี่กึ่งกลาง
- λ_{21} คือ ค่าเฉพาะเจาะจงสำหรับการทำงานในโหมดของ TM_{12} มีค่าเท่ากับ 3.2825
- ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก
- t คือ ความหนาของฐานรองวัสดุ

โดยที่ขนาดวงแหวนรอบใน (a) และขนาดวงแหวนรอบนอก (b) สามารถหาได้จากสมการที่ (2-14) และ (2-15)

$$a = \frac{3 \times 10^8 \times \lambda_{21}}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} + \frac{3t}{4} \quad (2-14)$$

$$b = 2a \quad (2-15)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศพวงงานวิจัยมีดังนี้

2.6.1 งานวิจัยของ T. S. Thillai และ T. R. G. Babu เรื่อง Rectangular Microstrip Patch Antenna at ISM Band [4]

ในปี 2018 เป็นการนำเสนอการออกแบบ การจำลอง การพัฒนา และการวัดค่าของสายอากาศไมโครสตริปทรงสี่เหลี่ยมโดยใช้วัสดุทองแดงสำหรับย่านความถี่ ISM band โดยศึกษาย่านความถี่ระหว่าง 2.4 - 2.5 GHz โดยการออกแบบและการจำลองนี้ถูกทำโดยโปรแกรม (Advanced Design System software : ADS) ซึ่งมีขนาด 46.2×37.773 ตารางมิลลิเมตร

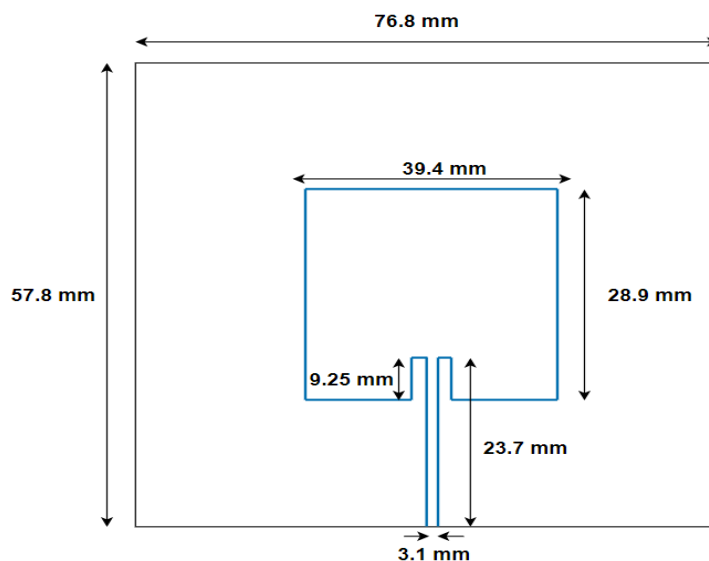


รูปที่ 10 ด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น [4]

การสร้างสายอากาศนี้ค่าความหนาของซิปสเตอร์ทที่ 1.6 มิลลิเมตรและมีค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ 4.6 โดยความกว้างและความยาวของแพทช์อยู่ที่ 36.6 และ 28.173 มิลลิเมตรตามลำดับขนาดของสายอากาศความกว้าง 42.9 มิลลิเมตร และความยาว 46.30 มิลลิเมตร ซึ่งการผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพอใจโดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -42.29 dB ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ 1.52 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในแอปพลิเคชันเช่น Bluetooth WLAN เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นสายอากาศในย่านความถี่สูงได้ สายอากาศในงานวิจัยนี้มีขนาดที่กระทัดรัด แต่ยังมีค่าแบนด์วิดท์ที่แคบอยู่โดยมีค่าประมาณ 8.33%

2.6.2 งานวิจัยของ V. Asokan, S. Thilagam และ K. V. Kumar เรื่อง Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna for 2.4GHz ISM Band and WLAN Application [6]

ในปี 2015 เป็นการนำสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุทองแดงให้ใช้งานในความถี่ 2.4 GHz ซึ่งออกมาแบบเพื่อสามารถใช้สำหรับ ISM band และ WLAN application ซึ่งมีขนาด 76.8×57.8 ตารางมิลลิเมตรดังรูปที่ 11

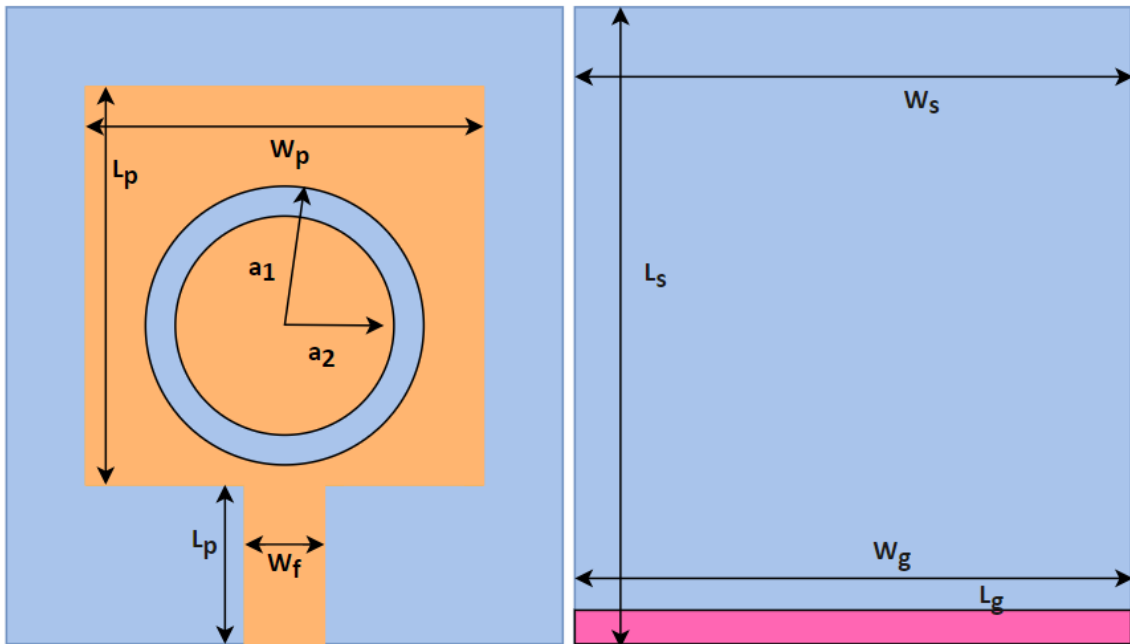


รูปที่ 11 สายอากาศไมโครสตริปทรงสี่เหลี่ยม [6]

การออกแบบสายอากาศนี้จะนำแผ่น FR-4 ที่มีความหนา 1.6 มิลลิเมตรมีค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ 4.4 ถูกลำมาใช้ ความกว้างของไมโครสตริปไลน์กำหนดให้ที่ 3.1 มิลลิเมตร มีความต้านทาน 50 โอห์ม กำหนดให้ความกว้างของแพทช์และความยาวของแพทช์ที่ 39.4 มิลลิเมตร และ 28.9 มิลลิเมตร โดยการออกแบบลักษณะดังนี้จะทำให้สายอากาศนี้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -23 dB แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศในงานวิจัยนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และค่าแบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบอยู่ที่ประมาณ 80 MHz

2.6.3 งานวิจัยของ S. Sharma และ D. Sombanshi เรื่อง Annular-ring slotted microstrip patch antenna for ISM band applications [23]

ปี 2015 ในมีการนำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปโดยการเจาะของแพทช์รูปทรงวงแหวนโดยนำไปใช้งานในย่าน ISM ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับแอปพลิเคชันได้แก่ ZigBee WiMAX และ Bluetooth โดยการนำเสนอนี้ถูกออกแบบได้ถูกสร้างและทดสอบที่ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยมีช่วงความถี่ที่ 2.26 GHz - 2.58 GHz

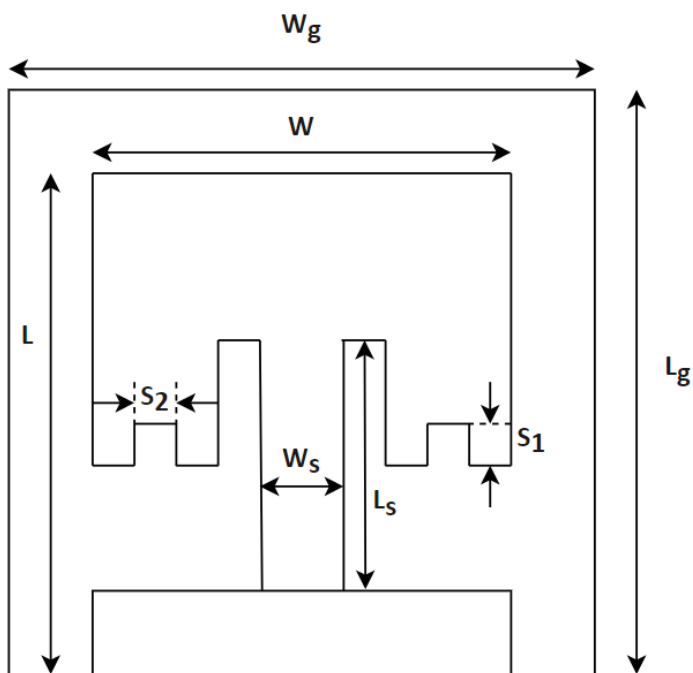


รูปที่ 12 ด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศที่ถูกออกแบบ

จากรูปที่ 12 สายอากาศถูกสร้างขึ้นบนพื้นผิวแผ่น FR-4 ที่มีความหนาที่ 1.6 มิลลิเมตร และค่าไดอิเล็กทริกที่ 4.4 โดยมีขนาด 24×33 ตารางมิลลิเมตร ความกว้างของไมโครสตริปพิด ถูกกำหนดให้คงที่ $W_f = 3$ มิลลิเมตร มีความต้านทาน 50 โอห์ม ความกว้างของแพทช์ $W_p = 20$ มิลลิเมตร และความยาวของแพทช์ $L_p = 25$ มิลลิเมตร โดยมีขนาดวงแหวนรอบนอกและรอบใน $R_1 = 9.7$ มิลลิเมตร, $R_2 = 8.7$ มิลลิเมตร ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลให้การออกแบบสายอากาศ ไมโครสตริปมีขนาดที่กระทัดรัด ค่าการสูญเสียย้อนกลับ -32.5 dB ซึ่งการที่แบนด์วิดท์ที่แคบ 0.13 GHz มีผลดีในเรื่องของปัญหาสัญญาณรบกวนจากแอปพลิเคชันอื่นๆ ใน ISM band แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานความกว้างของความถี่ก็จะถูกจำกัดไปด้วย

2.6.4 งานวิจัยของ A. Sarma K. Sarmah และ K. K. Sarma เรื่อง Low return loss slotted rectangular microstrip patch antenna at 2.4 GHz [24]

ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมที่สามารถใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง โดยสายอากาศที่ออกแบบมานั้นมีการบ่อนไมโครสตริปพิดที่มีขนาด 7.64×14.89 ตารางมิลลิเมตร โดยสายอากาศนี้ถูกออกแบบบนพื้นผิวอีพ็อกซี FR-4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก 4.4 โดยออกแบบและจำลองในโปรแกรม (High Frequency Structural simulator Software : HFSS) โดยขนาดความกว้างและยาวของสายอากาศไมโครสตริป 62.04 มิลลิเมตร และ 52.316 มิลลิเมตร ตามลำดับดังรูปที่ 13

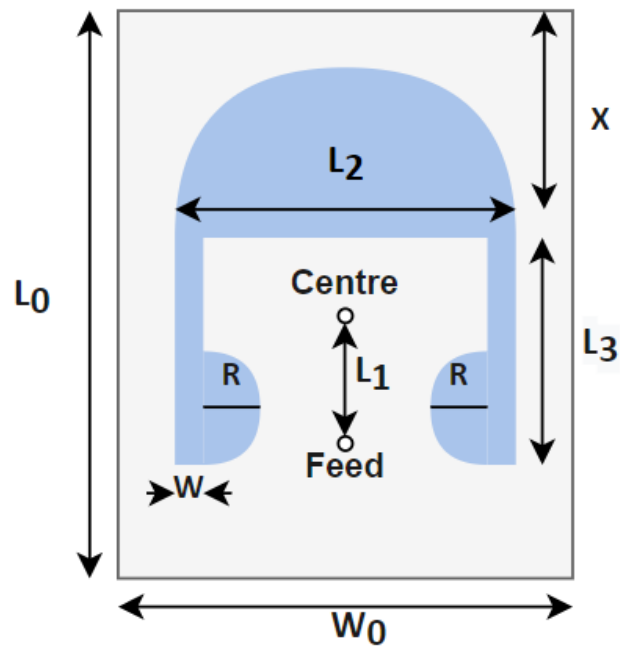


รูปที่ 13 สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยม

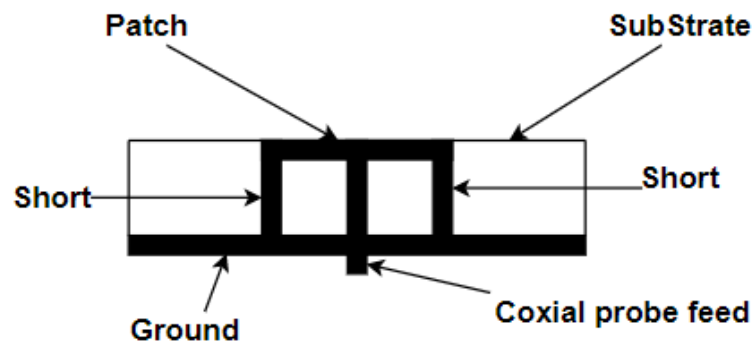
การออกแบบนี้ส่งผลให้สายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ค่อนข้างต่ำอยู่ที่ -40 dB มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง 1 แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศนี้ใช้วัสดุชนิดทองแดง และยังมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ โดยมีค่าแบนด์วิดท์ประมาณ 160 MHz

2.6.5 งานวิจัยของ B. S. Yan L. Wang Z. Q. Luo D. M. Deng และ L. Y. Feng เรื่อง Dual-band Microstrip Antenna Fed by Coaxial Probe [3]

ในบทความนี้คือการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปรองรับสองย่านความถี่ เพื่อตอบสนองความต้องการของระบบไร้สาย โดยสายอากาศไมโครสตริปที่ถูกป้อน Coaxial probe feed (โพรบโคแอกเซียล) 50 โอห์ม โดยการออกแบบจะใช้เทคนิคการ slot (สลีต) และเทคนิคการลัดขวางจรดังรูปที่ 14 และ 15



รูปที่ 14 มุมมองด้านหน้าของสายอากาศ

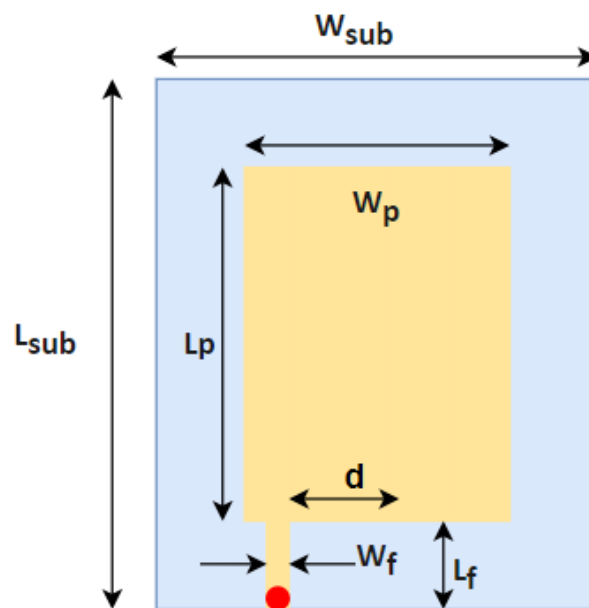


รูปที่ 15 มุมมองด้านข้างของสายอากาศ

ผลการจำลองและผลการวัดของสายอากาศสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 2.45 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -16.33 dB สำหรับแอปพลิเคชัน WLAN และ 5.25 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -12.66 dB สำหรับแอปพลิเคชัน WiMax ซึ่งสายอากาศในงานวิจัยนี้ที่ได้ ออกแบบคือใช้วัสดุชนิดทองแดง โดยเทคนิคในการทำสายอากาศให้เป็นสองย่านความถี่คือใช้เทคนิค ขาลัดวงจร

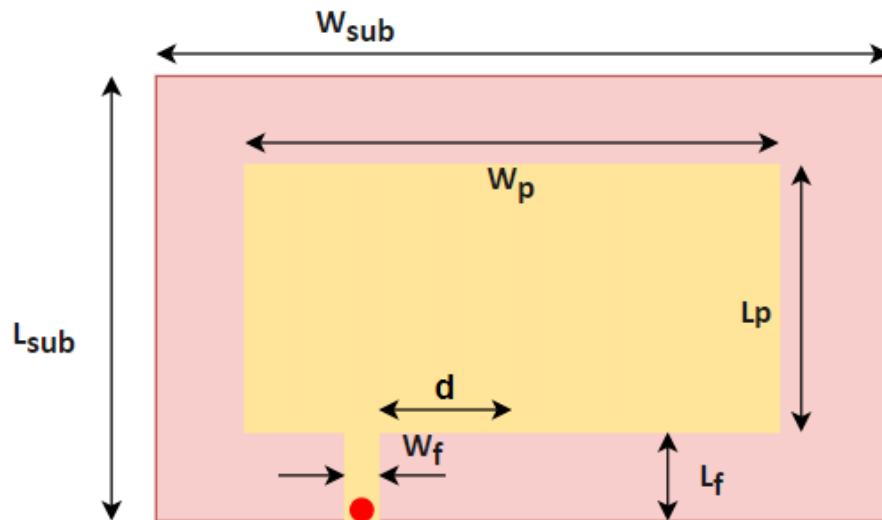
2.6.6 D. Kanchan M. Katore M. B. Kadu R. P. Labade และ S. S. Dongare เรื่อง
2.4/5.2 GHz Dual Band Rectangular Microstrip Antenna with Orthogonal
Polarization for Bluetooth and WLAN Applications [7]

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและวิวัฒนาการของสองระบบสายอากาศ
ไมโครสตริปโดยใช้วัสดุทองแดง โดยที่ครั้งแรกจะออกแบบไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งทำงานที่
บลูทูธ แอปพลิเคชันดังในรูปที่ 16



รูปที่ 16 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่เดียว

จากรูปการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยที่มีค่าความกว้างของแพทช์ (W_p) 27.4 มิลลิเมตร ค่าความยาวของแพทช์ 36.1 มิลลิเมตร ค่าความกว้างของซับสเตรท (W_{sub}) 50.1 มิลลิเมตร ค่าความยาวของซับสเตรท (L_{sub}) 58.6 มิลลิเมตร การออกแบบนี้ผลลัพธ์ที่ได้คือ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -45 dB ที่ความถี่ 2.44 GHz หลังจากนั้นจะถูกดัดแปลงเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบสองย่านความถี่ดังในรูปที่ 17



รูปที่ 17 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับสองย่านความถี่

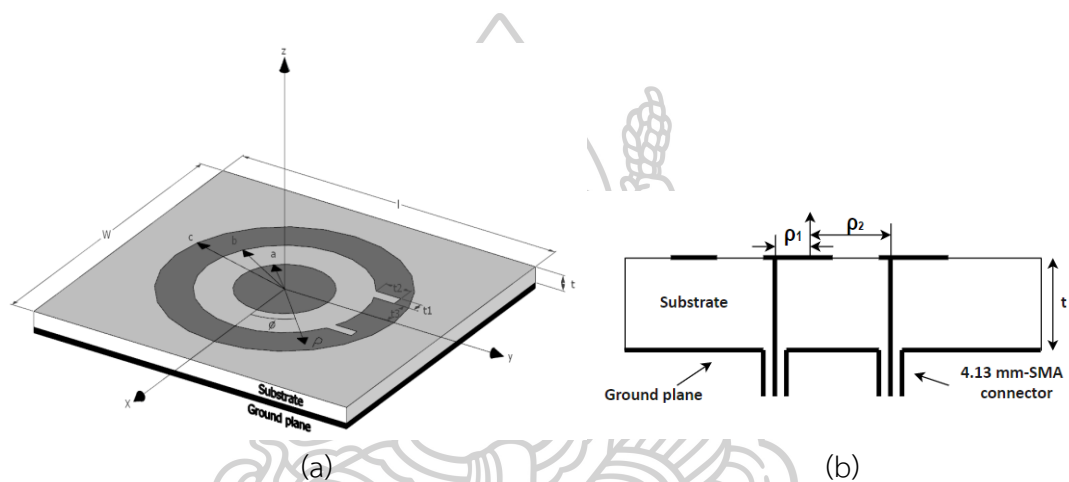
จากรูปการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยที่มีค่าความกว้างของแพทช์ (W_p) 28.7 มิลลิเมตร ค่าความยาวของแพทช์ 12 มิลลิเมตร ค่าความกว้างของซับสเตรท (W_{sub}) 36.7 มิลลิเมตร ค่าความยาวของ ซับสเตรท (L_{sub}) 24.7 มิลลิเมตร การออกแบบลักษณะนี้จะทำให้มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -24 dB ที่ความถี่ 2.44 GHz สามารถทำงานในย่านความถี่ตั้งแต่ 2.41 GHz ถึง 2.47 GHz และค่าการสูญเสียย้อนกลับ -27 dB ที่ 5.25 GHz สามารถทำงานในย่านความถี่ตั้งแต่ 5.05 GHz ถึง 5.45 GHz ซึ่งรองรับในการทำงานย่านบลูทูธ และ WLAN แอปพลิเคชัน

2.6.7 B. H. Gan L. Zhou Y.P. Zhang H. H. Zhou และ J. F. Mao เรื่อง Design of a Dual-Band Microstrip Antenna Using Slotted Annular-Ring and Concentric Disk [25]

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนสำหรับสองย่านความถี่โดยใช้เทคนิคแผ่นดิสก์วงกลมช่วย โดยการออกแบบนี้จะดำเนินการในโหมดของ TM_{12} ซึ่งเป็นย่านความถี่ต่ำ (f_{lr}) และแผ่นดิสก์วงกลมทำงานในโหมดของ TM_{11} ซึ่งเป็นของย่านความถี่สูง (f_{hr}) โดยมีสองสลิตรูปทรงสี่เหลี่ยมถูกใช้เพื่อให้ได้ค่าแบนด์วิดท์ที่ดีขึ้นดังในรูปที่ 18



รูปที่ 18 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับสองย่านความถี่ที่ถูกสร้างจริง

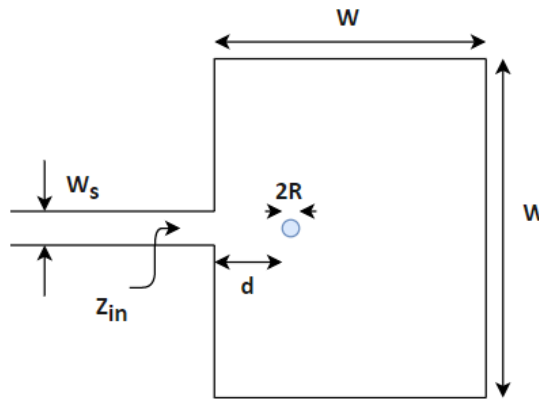


รูปที่ 19 (a) ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสองช่องสล็อตที่ไม่มีพีด, (b) มุมมองด้านข้างพร้อม

จากรูปตีศกัวงกลมมีรัศมี (a) 7.88 มิลลิเมตร ขนาดวงแหวนรอบใน (b) 27.7 มิลลิเมตร ขนาดวงแหวนรอบนอก (c) 57.4 มิลลิเมตร ผลที่ได้จากการจำลองคือ ย่านความถี่ต่ำที่ 2.45 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -20 dB และย่านความถี่สูงที่ 5.3 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -12.823 dB และเมื่อทำการวัดค่าจริงจะได้ว่าย่านความถี่ต่ำจะอยู่ที่ 2.479 โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -17.5 dB และย่านความถี่สูงที่ 5.283 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -20.96 dB

2.6.8 X. Zhang และ L. Zhu เรื่อง An impedance-agile microstrip patch antenna with loading of a shorting pin [11]

บทความนี้เสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้เทคนิคขาลัดวงจร โดยที่ หมุดโลหะจะถูกนำไปวางไว้จากแพทช์ถึงระนาบกราว ดังนั้นจะทำให้สนามไฟฟ้าถูกรบกวนซึ่ง ผลต่อความต้านทานอินพุต โดยเมื่อวางตำแหน่งของหมุดได้เหมาะสมจะช่วยสามารถปรับให้ กลายเป็นความถี่กว้างขึ้นได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนรูปร่างของแพทช์

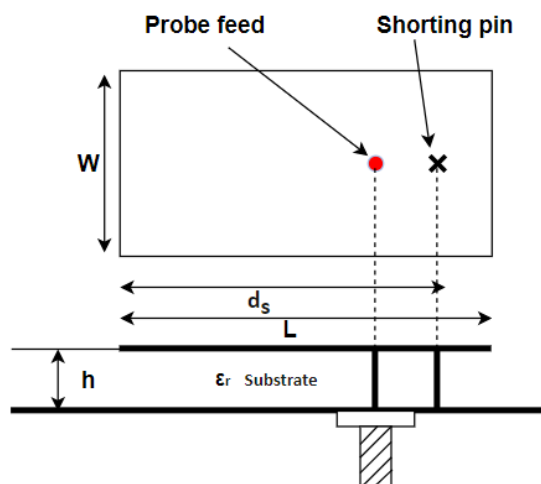


รูปที่ 20 มุมมองด้านบนของสายอากาศไมโครสตริป

จากหมุดขาลัดวงจรจะถูกกำหนดไว้ที่ตำแหน่ง $d/w = 0.1$ ในขณะที่ความกว้างของระนาบกราวด์ 116 มิลลิเมตร ความกว้างของแพทช์ 50 มิลลิเมตร ความกว้างของไมโครสตริปไลน์ 1.3 มิลลิเมตร ในการออกแบบสายอากาศในงานวิจัยจะเห็นได้ว่าตำแหน่งของหมุดขาลัดวงจรส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่ ซึ่งผลที่ได้เมื่อวางตำแหน่งหมุดขาลัดวงจรไว้อย่างเหมาะสมแล้ว ค่าความต้านทานอินพุตจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึงประมาณ 110 โอห์ม ในขณะที่เดียวกันความถี่เรโซแนนซ์จะถูกเลื่อนจาก 1.55 GHz ไปที่ 1.79 GHz

2.6.9 S. C. Pan และ K. L. Wong เรื่อง Design of Dual-Frequency Microstrip Antennas Using a Shorting-pin Loading [13]

ในบทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับสองย่านความถี่ โดยใช้เทคนิคขาลัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 21

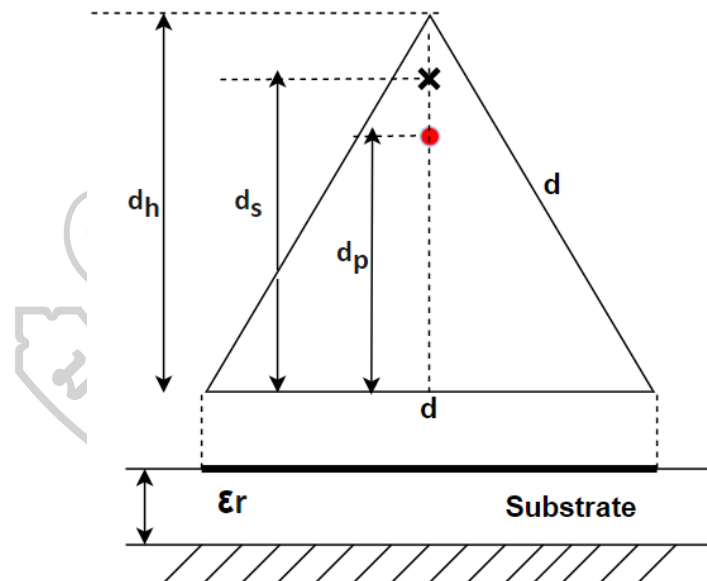


รูปที่ 21 สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับสองย่านความถี่โดยใช้เทคนิคขาลัดวงจร

สายอากาศนี้มีความหนาที่ 0.762 มิลลิเมตรและค่าไดอิเล็กตริกที่ 4.4 ความกว้างของแพทช์ 24.87 มิลลิเมตร และความยาวของแพทช์ 37.3 มิลลิเมตร ซึ่งการออกแบบสายอากาศโดยใช้วัสดุทองแดง โดยใช้เทคนิคขาลัดวงจรในลักษณะดังนี้จะส่งผลให้ได้ความถี่แรก (f_1) จะอยู่ที่ 766 MHz โดยมีช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 722-950 MHz และความถี่ที่สอง (f_2) จะอยู่ที่ 1886 MHz โดยมีช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 1900-2130 MHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิคขาลัดวงจรจะสามารถทำให้สายอากาศเป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ได้ และยังช่วยให้ได้สายอากาศที่มีขนาดกระทัดรัดด้วย

2.6.10 S. C. Pan และ K. L. Wong เรื่อง Dual-frequency triangular microstrip antenna with a shorting pin [14]

ในบทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุชนิดทองแดงรูปทรงสามเหลี่ยมที่มีการใช้งานสำหรับสองย่านความถี่โดยใช้เทคนิคขาลัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 22



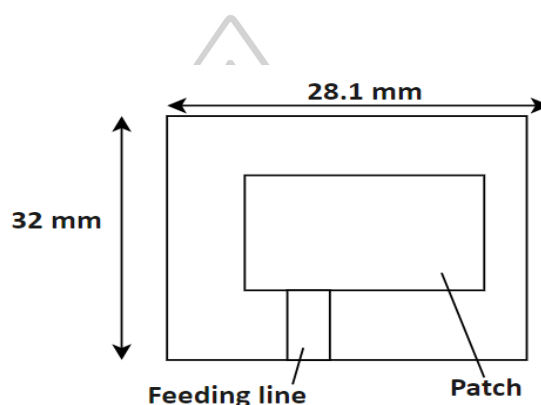
รูปที่ 22 สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับสองย่านความถี่โดยใช้เทคนิคขาลัดวงจร

จากรูปที่ 22 สายอากาศไมโครสตริปสามเหลี่ยมด้านเท่าขนาด 7.5 เซนติเมตร โดยที่มีค่าไดอิเล็กตริกที่ 4.4 ความหนาของซับสเตรท 1.6 มิลลิเมตร ผลการทดลองที่ได้สำหรับการทำงาน โดยมีสองย่านความถี่ที่โดยความถี่แรกที่ 464 MHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ประมาณ -24 dB และความถี่ที่สองที่ 2276 MHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ประมาณ -21 dB ซึ่งจากงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิคขาลัดวงจรสามารถทำให้ได้สายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ และยังมีขนาดที่เล็กกระทัดรัด

2.6.11 N. Abdullah N. M. Jizat S. K. A. Rahim M. I. Sabran และ M. Zaman

เรื่อง Investigation on graphene based multilayer thin film patch antenna [18]

บทความนี้จะนำเสนอการพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุชนิดกราฟีนสำหรับย่านความถี่ 2.45 GHz โดยที่แพทช์จะถูกใช้เป็นวัสดุกราฟีนเนื่องจากคุณสมบัติเชิงกล ไฟฟ้าเคมี และความร้อนที่ดี วัสดุนี้จึงนำมาถูกใช้แทนวัสดุทองแดงโดยมีขนาดของแพทช์ 21.5×17.5 ตารางมิลลิเมตร ในส่วนของไมโครสตริปไลน์จะถูกใช้เป็นวัสดุทองแดงขนาด 8×2.46 ตารางมิลลิเมตร ชั้นสเตรทจะถูกใช้เป็นวัสดุชนิด FR-4 ซึ่งมีค่าไดอิเล็กตริกที่ 4.4 ความหนา 1.6 มิลลิเมตรดังในรูปที่ 23

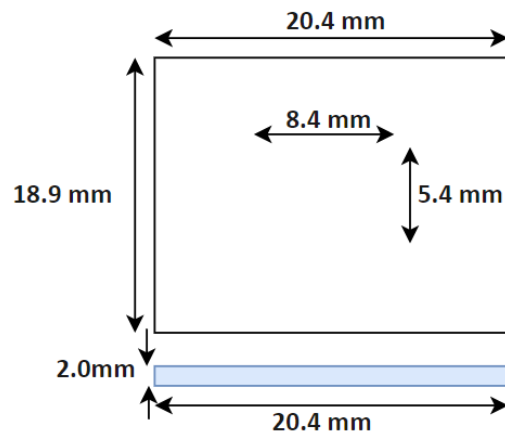


รูปที่ 23 การออกแบบแพทช์ของสายอากาศไมโครสตริป

ผลที่ได้ของการจำลองคือมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -20.5654 dB และค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อทำการวัด -10.7 dB. โดยที่ความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ 2.45 GHz ซึ่งมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานจริง จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่ามีขนาดสายอากาศที่เล็กโดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับยังมีค่าที่ได้ค่อนข้างต่ำ

2.6.12 N. Fugto R. Kaewon และ S. Sirivisoot เรื่อง A Comparison of Various Patch Sizes and Feed Point Positions of Graphene Microstrip Antenna for Orthopedic Implants [16]

บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้สำหรับวัสดุทางการแพทย์ด้วยวัสดุกราฟีนเป็นแพทช์เนื่องจากกราฟีนที่ถูกนำมาเป็นแพทช์ด้วยเหตุผลที่ว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางชีวภาพที่ดี จึงสามารถนำมาแทนที่วัสดุโลหะได้ และในส่วนของชั้นสเตรทที่ใช้วัสดุไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เนื่องจากมันมีน้ำหนักที่เบาทนต่อการกัดกร่อนได้ดีโดยมีค่าไดอิเล็กตริกอยู่ที่ 100 farad/meter และความหนาที่ 2 มิลลิเมตร โดยสายอากาศนี้จะใช้งานอยู่ในย่านความถี่ ISM band ที่ 2.5 GHz

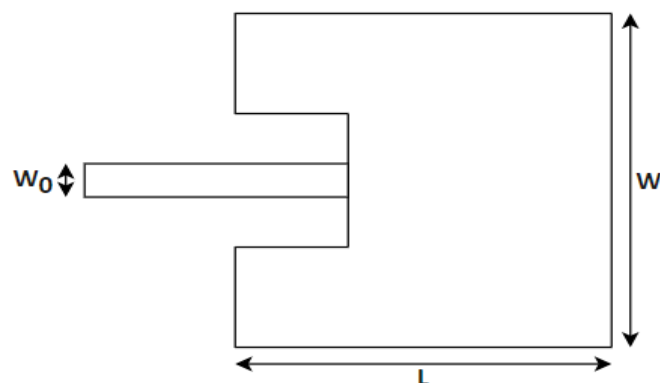


รูปที่ 24 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริป มุมมองด้านบนของสายอากาศ และมุมมองด้านข้างของสายอากาศ

จากรูปที่ 24 แสดงให้เห็นถึงแพทช์สี่เหลี่ยมด้านในซึ่งมีความกว้าง 8.4 มิลลิเมตร และความยาว 5.417 มิลลิเมตร โดยที่สี่เหลี่ยมด้านนอกคือซิปสเตอร์ที่มีความกว้าง 20.4 มิลลิเมตร และความยาว 18.89 มิลลิเมตร ซึ่งสายอากาศที่ได้มีขนาดที่เล็กเหมาะต่อการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ เนื่องจากวัสดุ กราฟีนมีความเป็นชีวภาพไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย ซึ่งคุณสมบัตินี้วัสดุทองแดงไม่สามารถทำได้

2.6.13 R. Song C. Liu J. Zhang C. Liu D. He และ Z. Wu เรื่อง Flexible Graphene Based Films for Microstrip Array Antennas [20]

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุกราฟีนซึ่งมีขนาดความกว้าง 37.26 มิลลิเมตร ความยาว 30 มิลลิเมตร และความกว้างของไมโครสตริปไลน์ 2.98 มิลลิเมตรดังในรูปที่ 25

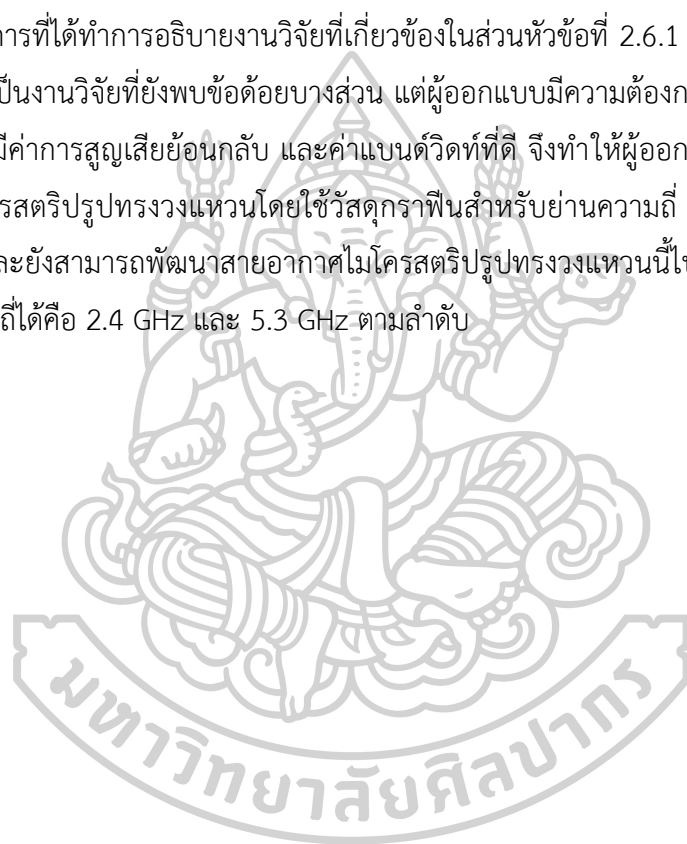


รูปที่ 25 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ผลที่ได้คือสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุกราฟีนมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ - 40.28 dB ที่ความถี่ 2.46 GHz ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศไมโครสตริปที่มีโครงสร้างเหมือนกัน แต่เป็นวัสดุชนิดทองแดง ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุชนิดกราฟีนให้ผลค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีกว่า และเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการใช้แทนวัสดุชนิดทองแดงได้ โดยมีค่าความกว้างของความถี่ที่ใช้งานอยู่ที่ 120 MHz

2.7 สรุป

จากการที่ได้ทำการอธิบายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนหัวข้อที่ 2.6.1 - 2.6.13 พบว่างานวิจัยโดยภาพรวมเป็นงานวิจัยที่ยังพบข้อด้อยบางส่วน แต่ผู้ออกแบบมีความต้องการที่อยากให้สายอากาศมีขนาดเล็กมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ และค่าแบนด์วิดท์ที่ดี จึงทำให้ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้เทคนิคขาลัดวงจร และยังสามารถพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนนี้ไปเป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ได้คือ 2.4 GHz และ 5.3 GHz ตามลำดับ



บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

การออกแบบสายอากาศที่จะนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทรงวงแหวนสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และนำไปพัฒนาเป็นสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz ได้ ซึ่งได้ทำการศึกษาการออกแบบสายอากาศจากงานวิจัยต่างๆ และได้นำความรู้ที่ได้จากการศึกษางานเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบสายอากาศที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งาน โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

3.1 การออกแบบการวิจัย

3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุกราฟีนที่นำมาใช้ในส่วนของ แพทช์ และระนาบกราวด์

3.1.2 ค้นหาตำแหน่งจุดพีคที่เหมาะสม และศึกษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งของจุดพีคที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่และค่าการสูญเสียย้อนกลับ

3.1.3 ค้นหาตำแหน่งจุด Short-pin ที่เหมาะสม และศึกษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งของจุด Short-pin ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่และค่าการสูญเสียย้อนกลับ

3.1.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดวงแหวนรอบนอก และวงแหวนรอบใน ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่

3.1.5 จำลองสายอากาศไมโครสตริปแบบรูปทรงวงแหวน โดยใช้โปรแกรมจำลอง EMCoS Software Antenna เพื่อหาประสิทธิภาพของสายอากาศ

3.2 ระเบียบวิธี

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนซึ่งประกอบด้วยแพทช์ซัซเสตรท และระนาบกราวด์ ซึ่งในการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นจำเป็นต้องมีค่าคุณสมบัติ อิเล็กทริก และค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุ รวมไปถึงช่วงของความถี่ด้วย โดยขั้นตอนแรกศึกษาหาจุดป้อนแรงดันไฟฟ้า และตำแหน่งของ Short-pin ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศ ขั้นตอนที่สองศึกษาผลของการปรับขนาดวงแหวนรอบนอกและรอบในของสายอากาศ ขั้นตอนที่สามกำหนดประเภทของวัสดุกราฟีน แพทช์ และระนาบกราวด์ ที่เหมาะสม

3.2.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปทรงวงแหวน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณขนาดของแพทช์สำหรับสายอากาศย่านความถี่ 2.4 GHz

$$a = \frac{3 \times 10^8 \times \lambda_{21}}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} + \frac{3t}{4} \quad (3-1)$$

$$b = 2a \quad (3-2)$$

เมื่อ	a	คือ	ขนาดวงแหวนรอบใน
	b	คือ	ขนาดวงแหวนรอบนอก
	λ_{21}	คือ	ค่าพารามิเตอร์สำหรับโหมด TM_{21} มีค่าเท่ากับ 3.2825
	f_r	คือ	ความถี่กลาง 2.4 GHz
	t	คือ	ความหนาของฐานรองวัสดุ มีค่าเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร
	ϵ_r	คือ	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของฐานรองวัสดุ มีค่าเท่ากับ 4.4

โดยจะแสดงการคำนวณของสมการที่ (3-1) และ (3-2) ดังนี้

$$a = \frac{3 \times 10^8 \times 3.2825}{2 \times \pi \times 2.4 \times 10^9 \times \sqrt{4.4}} + \frac{3 \times 0.5 \times 10^{-3}}{4}$$

โดยค่า a มีค่าประมาณ 31.13 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำค่า a ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (3-2) เพื่อหาขนาดของวงแหวนรอบนอก

$$b = 2 \times 31.13 \times 10^{-3}$$

โดยค่า b มีค่าประมาณ 62.26 มิลลิเมตร

การคำนวณขนาดของแพทช์สำหรับสายอากาศที่ใช้งานสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz

$$K = \frac{8.791 \times 10^9}{f_{sr} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3-3)$$

$$a = \frac{K}{\left\{1 + \frac{2t_{FR-4}}{\pi \epsilon_r K} \left[\ln\left(\frac{\pi K}{2t_{FR-4}}\right) + 1.7726 \right]\right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3-4)$$

$$b = \frac{3 \times 10^8 \times \lambda_{11}}{2\pi f_{fr} \sqrt{\epsilon_r}} + \frac{3t_{FR-4}}{4} \quad (3-5)$$

- เมื่อ a คือ ขนาดวงแหวนรอบใน
 b คือ ขนาดวงแหวนรอบนอก
 λ_{11} คือ ค่าพารามิเตอร์สำหรับโหมด TM_{11} มีค่าเท่ากับ 1.841
 f_{fr} คือ ความถี่กลางสำหรับความถี่แรก 2.4 GHz
 f_{sr} คือ ความถี่กลางสำหรับความถี่ที่สอง 5.3 GHz
 t คือ ความหนาของฐานรองวัสดุ มีค่าเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร
 ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของฐานรองวัสดุ มีค่าเท่ากับ 4.4

โดยจะแสดงการคำนวณของสมการที่ (3-3) ถึง (3-5) ดังนี้

$$K = \frac{8.791 \times 10^9}{5.3 \times 10^9 \times \sqrt{4.4}}$$

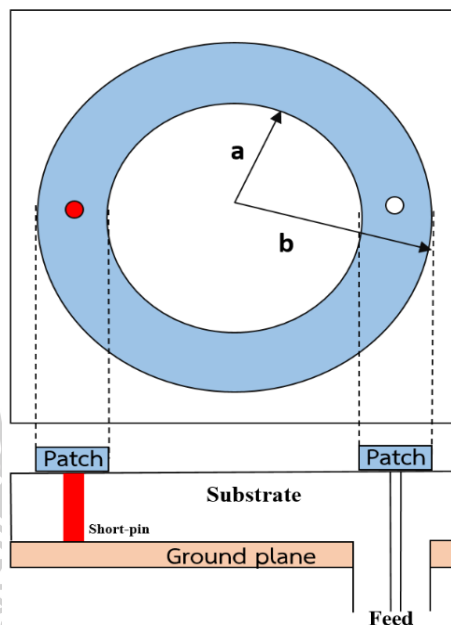
จากการคำนวณหาค่า K มีค่าประมาณ 0.79 หลังจากนั้นนำค่า K ที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ (3-4)

$$a = \frac{0.79}{\left\{1 + \frac{2 \times 0.5 \times 10^{-3}}{\pi \times 4.4 \times 0.79} \left[\ln\left(\frac{22}{7} \times 0.79}{2 \times 0.5 \times 10^{-3}}\right) + 1.7726 \right]\right\}^{\frac{1}{2}}}$$

จากการคำนวณหาค่า a มีค่าประมาณ 8 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจะคำนวณขนาดวงแหวนรอบนอกโดยใช้สมการที่ (3-5)

$$b = \frac{3 \times 10^8 \times 1.841}{2 \times \pi \times 2.4 \times 10^9 \times \sqrt{4.4}} + \frac{3 \times 0.5 \times 10^{-3}}{4}$$

จากการคำนวณหาค่า b ขนาดวงแหวนรอบนอก มีค่าประมาณ 17.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 26 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตรูปรูปทรงวงแหวน

3.2.2 การเลือกชนิดกราฟีนที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัสดุของแพทช์และระนาบกราวด์ของสายอากาศ

การนำไฟฟ้าของกราฟีนขึ้นอยู่กับความหนาของกราฟีนโดยการออกแบบนี้จะกำหนดให้แพทช์รูปทรงวงแหวนและระนาบกราวด์ใช้วัสดุกราฟีน [26, 27] โดยการนำไฟฟ้าและความหนาของวัสดุกราฟีนจะแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าและความหนาของวัสดุกราฟีนชนิดต่างๆ

ชนิดของวัสดุกราฟีน	ความหนา (nm)	ความนำไฟฟ้า (S/m)
Graphene single layer (GSL)	0.335	1×10^8
Graphene nanosheets (GNs)	3.4	1.098×10^7
	100	6.8×10^5
Graphene conductor sheet (GC)	2.5×10^4	1.94×10^5
Graphene paper (GP)	3×10^4	1.4×10^3

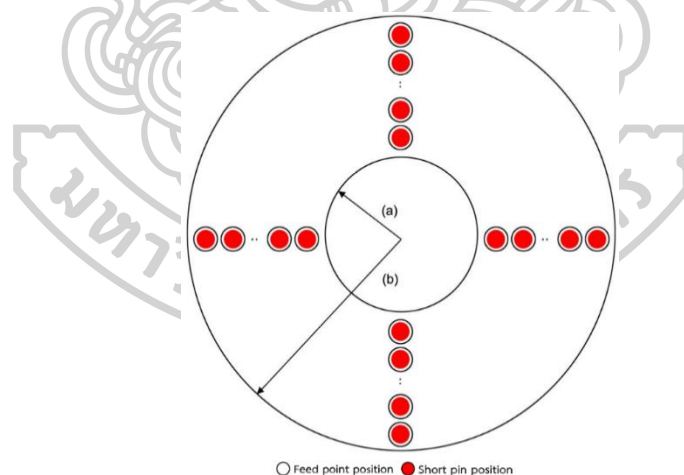
สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วัสดุกราฟีนประเภท Graphene Conductor Sheet (GC) ซึ่งจะนำไปใช้เป็นวัสดุของแพทช์และระนาบกราวด์

3.2.4 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้เทคนิคขาลัดวงจร

สายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้เทคนิคที่หลากหลายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศและเพื่อลดขนาดและการสูญเสียพลังงานได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคขาลัดวงจร (Short-pin) ในการช่วยพัฒนาปรับปรุงสายอากาศ โดยเทคนิคขาลัดวงจรนี้จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพลดขนาดของสายอากาศ และสามารถเปลี่ยนแปลงย่านความถี่ได้ โดยการสร้างขาลัดวงจรในงานวิจัยนี้มีดังนี้

1) สร้างหมุดขาลัดวงจรที่ตำแหน่ง $x = -12.75$ มิลลิเมตร $y = 0$ มิลลิเมตร บนแพทช์วงแหวนของสายอากาศสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และ สร้างหมุดขาลัดวงจรที่ตำแหน่ง $x = -12.50$ มิลลิเมตร $y = 0$ มิลลิเมตร บนแพทช์วงแหวนของสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ 2.4 GHz กับ 5.3 GHz

2) ย้ายตำแหน่งของขาลัดวงจรไปยังพื้นที่ต่างๆ บนแพทช์วงแหวนของสายอากาศ โดยมีระยะห่างของการย้ายแต่ละครั้งที่ 0.25 มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 27



รูปที่ 27 ตำแหน่งของจุดฟีด และตำแหน่งของขาลัดวงจรบนแพทช์กราฟีนของสายอากาศไมโครสตริป โดยมีระยะห่างที่ 0.25 มิลลิเมตร

3) เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดขาลัดวงจรแต่ละตำแหน่ง

บทที่ 4

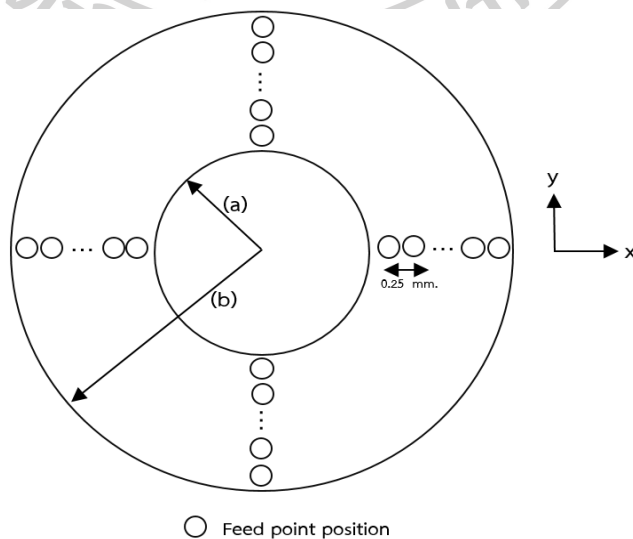
ผลการจำลองการทำงาน

หลังจากที่ได้ออกแบบและจำลองการทำงานเบื้องต้นของสายอากาศในบทที่ 3 แล้ว เพื่อเป็นการยืนยันผลการทำงานและสมรรถนะของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนเพื่อรองรับการทำงาน 2.4 GHz และสามารถพัฒนาต่อเพื่อรองรับสองย่านความถี่ที่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz ได้ ต่อจากนี้จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสมรรถนะการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรมการจำลองการออกแบบและการทำงานของสายอากาศ EMCoS Software

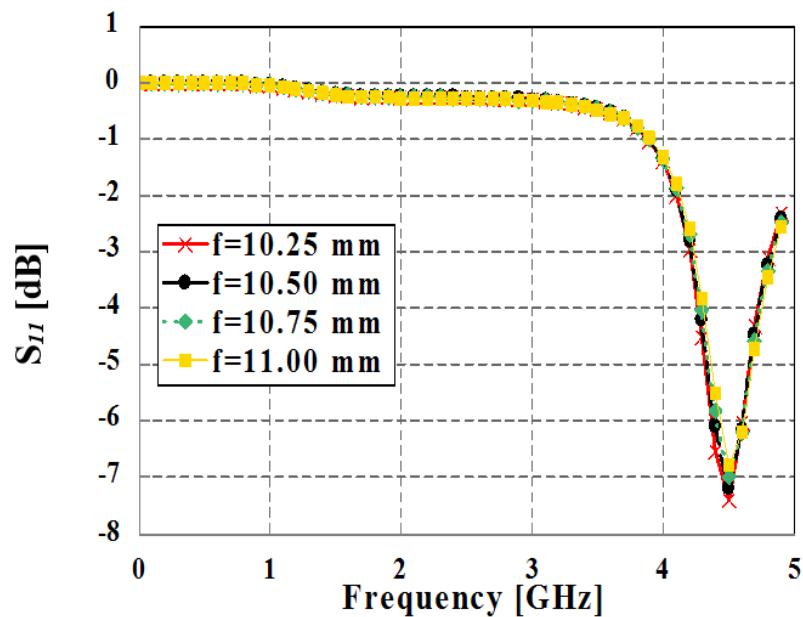
4.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz

4.1.1 การลดขนาดแพทช์ของสายอากาศ และการหาตำแหน่งของจุดฟีด

จากบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการคำนวณขนาดของแพทช์รูปทรงวงแหวนผลที่ได้คือขนาดวงแหวนวงใน (a) = 31.13 มิลลิเมตร และขนาดวงแหวนวงนอก (b) = 62.26 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามจากการคำนวณที่ได้นี้ซึ่งส่งผลให้สายอากาศมีขนาดใหญ่ไม่กะทัดรัด ผู้ออกแบบจึงได้ทำการลดขนาดของแพทช์รูปทรงวงแหวนวงแหวน โดยที่ให้ขนาด a = 10 มิลลิเมตร และขนาด b = 15 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีขนาดกะทัดรัด ซึ่งตำแหน่งของฟีด (Feed point) จะถูกปรับตั้งแต่ขอบของวงแหวนรอบในไปถึงขอบของวงแหวนรอบนอก โดยระยะห่างของการปรับจะอยู่ที่ครึ่งละ 0.25 มิลลิเมตร โดยที่ขั้นตอนนี้จะยังไม่มีการใช้เทคนิคของขาลัดวงจร (Short-pin) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 28 และผลที่ได้จากการปรับขนาด และปรับตำแหน่งของจุดฟีด ดังแสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 28 การปรับตำแหน่งของจุดฟีดบนแพทช์วงกลม



รูปที่ 29 ความถี่ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีค

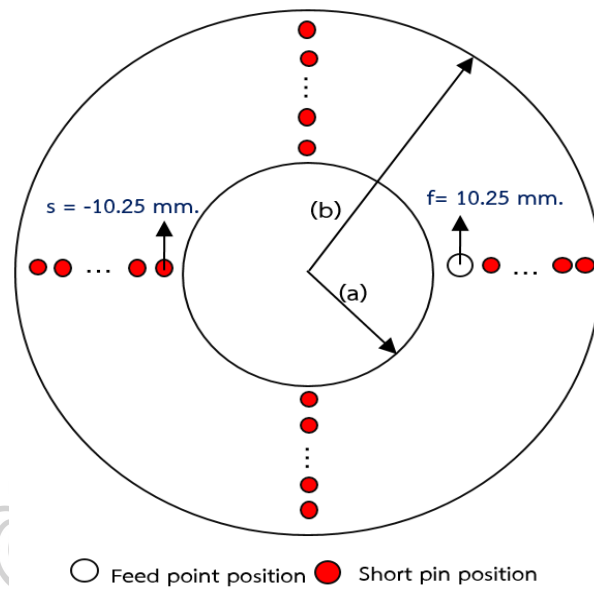
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป แพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุดพีค

ตำแหน่งของจุดพีค (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S ₁₁ (dB)	ความถี่ (GHz)
f = 10.25	-7.55	4.5
f = 10.50	-6.91	4.5
f = 10.75	-6.00	4.5
f = 11.00	-6.00	4.5

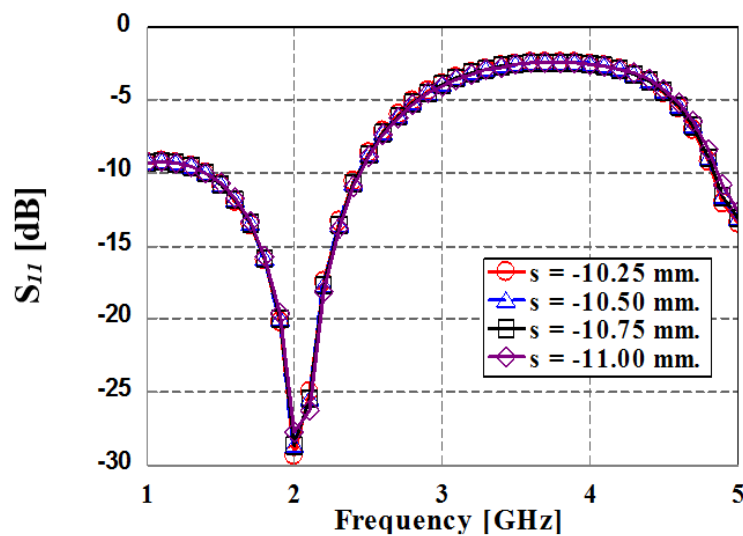
จากรูปที่ 29 และตารางที่ 2 จะได้ว่าตำแหน่งของจุดพีคที่ 10.25 มิลลิเมตรจะให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามความถี่ที่ได้จะอยู่ที่ 4.5 GHz ซึ่งผู้ออกแบบคาดหวังให้ได้ความถี่ที่ 2.4 GHz ดังนั้นเพื่อทำให้ได้ความถี่ที่ 2.4 GHz จึงใช้เทคนิค Short-pin เพื่อช่วยการปรับเปลี่ยนย่านความถี่ให้ได้ตามที่คาดหวัง

4.1.2 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin

ในขั้นตอนนี้จะทำการใช้เทคนิค Short-Pin เพื่อดูการปรับเปลี่ยนของย่านความถี่ โดยตำแหน่งของ Short-Pin จะถูกปรับตั้งแต่ขอบของวงแหวนรอบในถึงวงแหวนรอบนอกเหมือน ขั้นตอนการปรับจุดพีด ซึ่งระยะห่างของการปรับจะเว้นห่างทีละ 0.25 มิลลิเมตร แต่จะไม่ทับกับ ตำแหน่งของจุดพีดเดิมที่ 10.25 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 30 และผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยน ตำแหน่งของ Short-pin จะถูกแสดงในรูปที่ 31 และตารางที่ 3



รูปที่ 30 การปรับตำแหน่งของ Short-pin บนแพทช์วงกลม



รูปที่ 31 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin ในตำแหน่งต่างๆ

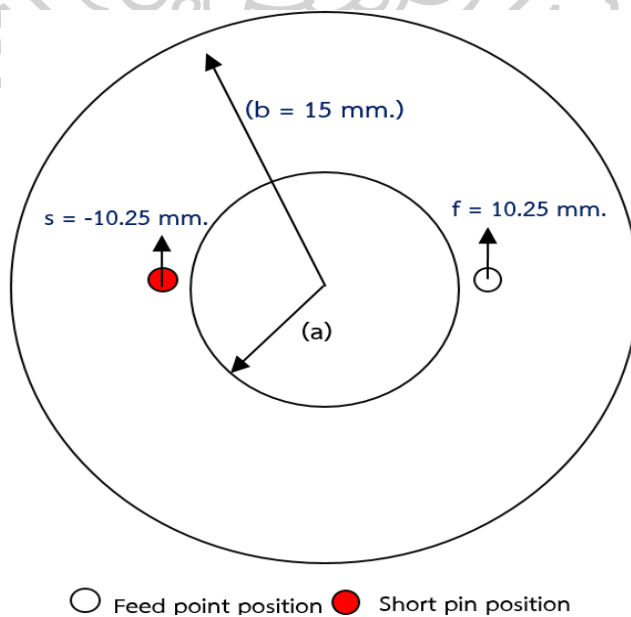
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin

ตำแหน่งของ Short-pin (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
$s = -10.25$	-29.32	2
$s = -10.50$	-28.71	2
$s = -10.75$	-28.71	2
$s = -11.00$	-27.74	2

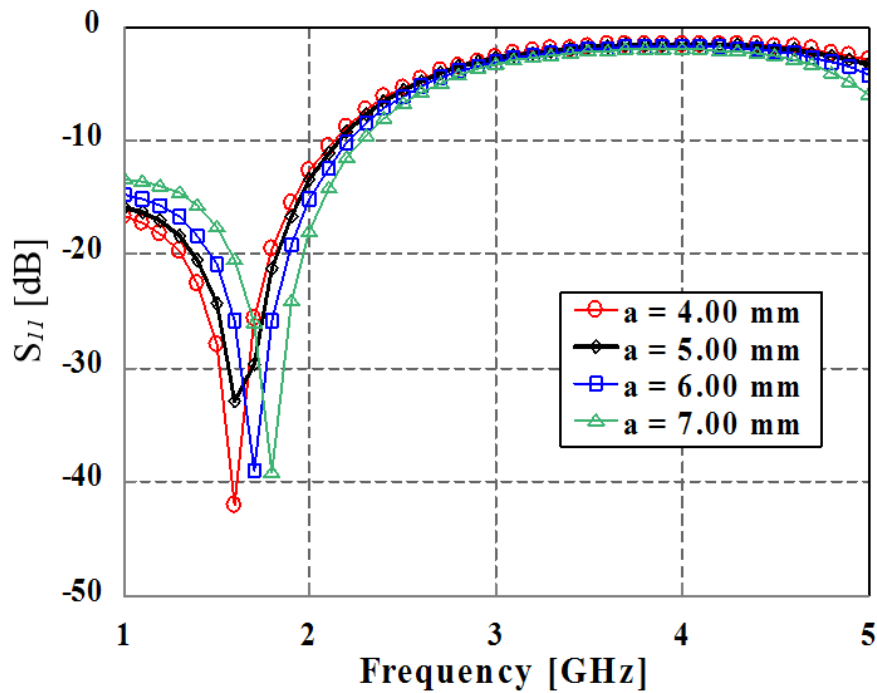
จากรูปที่ 31 และตารางที่ 3 เมื่อทำการใช้เทคนิค Short-pin จะสังเกตได้ว่าความถี่ถูกปรับจาก 4.5 GHz มาที่ 2 GHz ซึ่งตำแหน่งที่ให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่ง -10.25 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตามความถี่ที่ได้ยังไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

4.1.3 การปรับขนาดของวงแหวนรอบใน

ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบในเพื่อทำการดูผลการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่ และค่าการสูญเสียย้อนกลับ โดยที่ขนาดของวงแหวนรอบนอกจะอยู่ที่ 15 มิลลิเมตร และตำแหน่งของจุดฟีด และ Short-pin จะอยู่ที่ 10.25 มิลลิเมตรและ -10.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยการปรับขนาดวงแหวนรอบในจะทำการทดลองปรับขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร โดยที่ระยะห่างของการปรับครั้งละ 0.1 มิลลิเมตร โดยผลที่ได้จะแสดงสีค่าที่ดีที่สุดดังในรูปที่ 33 และตารางที่ 4



รูปที่ 32 การปรับเปลี่ยนขนาดวงแหวนรอบในของแพทช์วงกลม



รูปที่ 33 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน

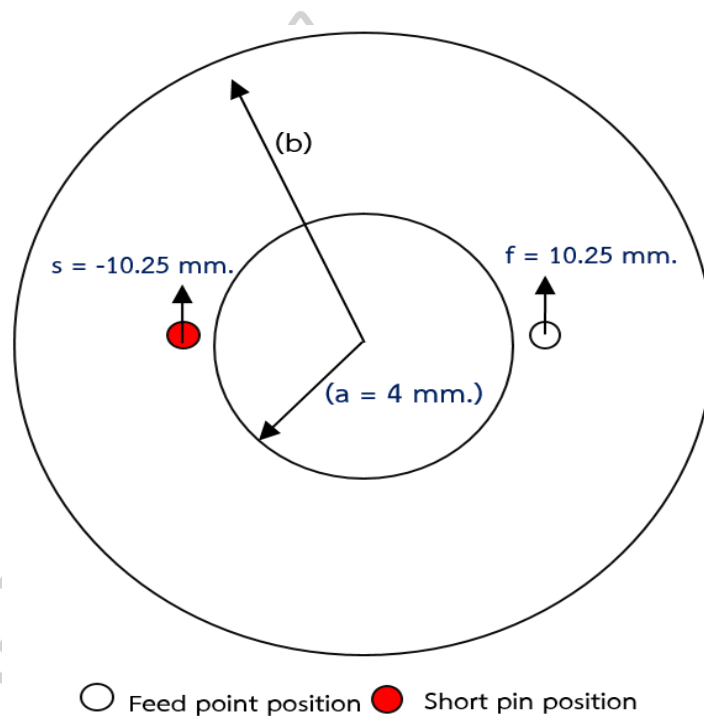
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน

วงแหวนรอบใน (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
a = 4	-42.08	1.6
a = 5	-32.94	1.6
a = 6	-39.04	1.7
a = 7	-39.17	1.8

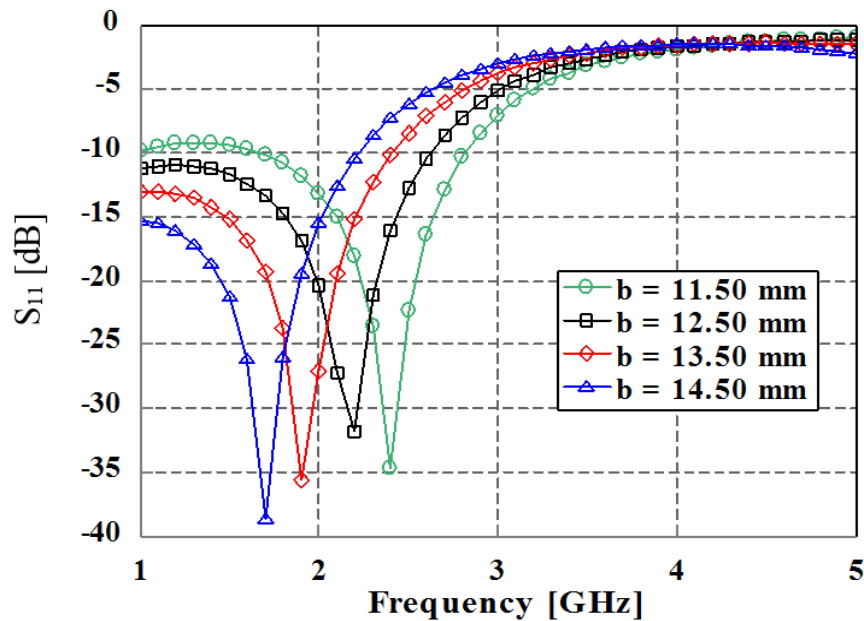
จากรูปที่ 33 และตารางที่ 4 ขนาดของวงแหวนรอบในที่ 4 มิลลิเมตรจะได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุดที่ -42.08 dB โดยมีความถี่ที่ 1.6 GHz ซึ่งอย่างไรก็ตามความถี่ที่ได้ 1.6 GHz ยังไม่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบคาดหวัง

4.1.4 การปรับขนาดของวงแหวนรอบนอก

จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบในแล้วจะสังเกตเห็นว่าย่านความถี่ถูกเปลี่ยน และได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำมากขึ้น ในขั้นตอนต่อไปจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอกเพื่อให้ได้ย่านความถี่ที่ 2.4 GHz โดยที่ให้ขนาดวงแหวนรอบในที่ 4 มิลลิเมตร ส่วนตำแหน่งของจุดฟีด และตำแหน่งของ Short-pin อยู่ที่ 10.25 มิลลิเมตร และ -10.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยขนาดวงแหวนรอบนอกจะได้ทำการทดลองปรับตั้งแต่ 11 มิลลิเมตร ถึง 16 มิลลิเมตร โดยที่ระยะห่างของการปรับครั้งละ 0.1 มิลลิเมตร โดยจะแสดงผลที่ได้สี่ค่าที่ดีที่สุด ดังในรูปที่ 35 และตารางที่ 5



รูปที่ 34 การปรับเปลี่ยนขนาดวงแหวนรอบนอกของแพทช์วงกลม



รูปที่ 35 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก

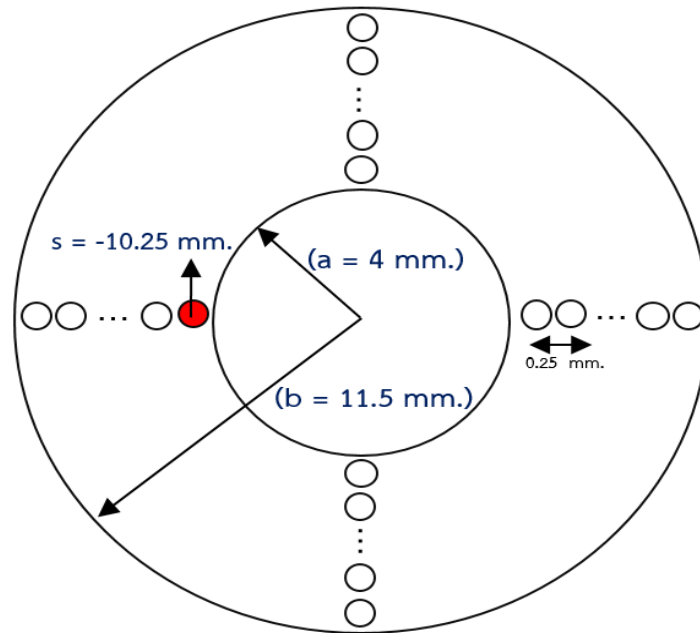
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก

วงแหวนรอบนอก (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
b = 11.5	-34.72	2.4
b = 12.5	-31.84	2.2
b = 13.5	-36.70	1.9
b = 14.5	-38.66	1.7

จากรูปที่ 35 และตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดวงแหวนรอบนอกที่ 11.25 มิลลิเมตรจะทำให้ได้ย่านความถี่ที่ 2.4 GHz โดยที่มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -34.72 dB

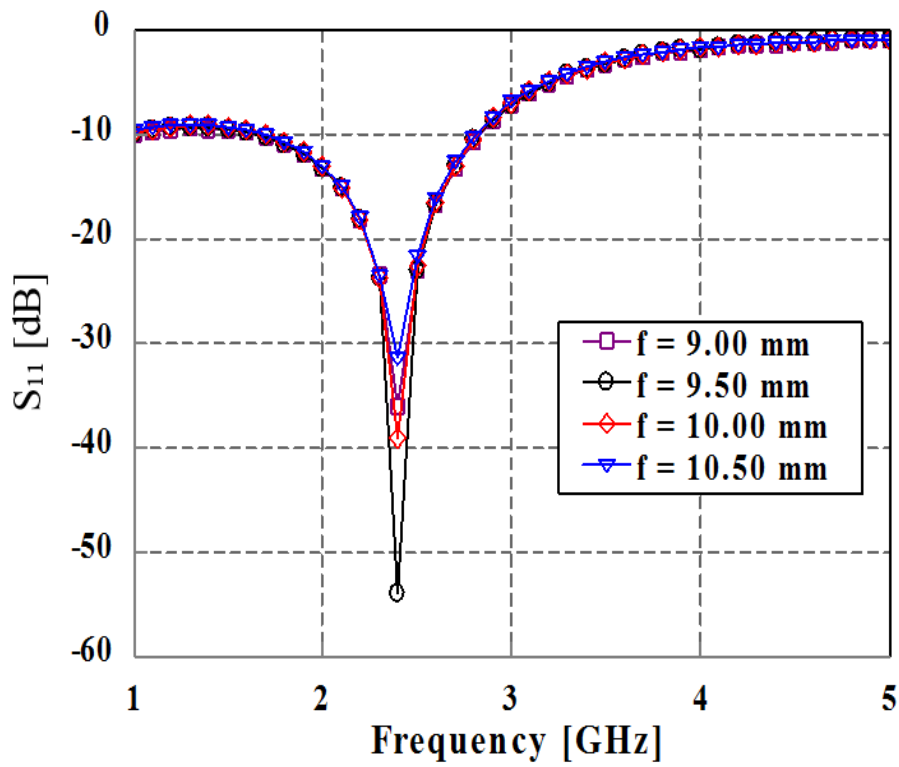
4.1.5 การปรับหาตำแหน่งของจุดพีด และ Short-pin เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด

ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับตำแหน่งของจุดพีด และ Short-pin เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่ให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุดซึ่งขั้นตอนการทำงานจะทำคล้ายกับขั้นตอนที่ 4.1 และ 4.2 โดยจะเริ่มทำการเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดพีดก่อน และจะเปรียบเทียบตำแหน่งของจุด Short-pin หลังจากได้ตำแหน่งของจุดพีดที่เหมาะสมแล้ว โดยระยะห่างของการปรับจะอยู่ที่ครึ่งละ 0.25 มิลลิเมตร โดยจะแสดงค่าที่ดีที่สุด ในรูปที่ 37 และตารางที่ 6



○ Feed point position ● Short pin position

รูปที่ 36 การปรับตำแหน่งของจุดพีดบนแพทช์วงกลม

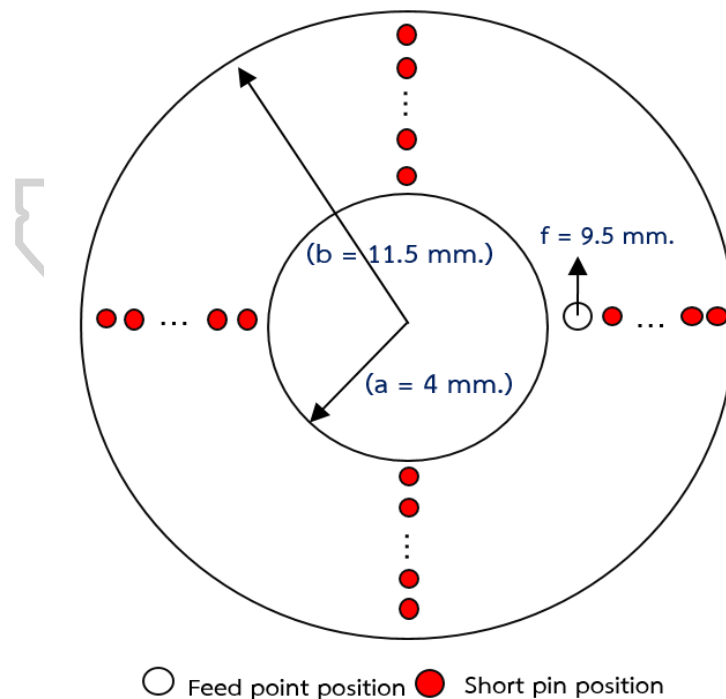


รูปที่ 37 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีด

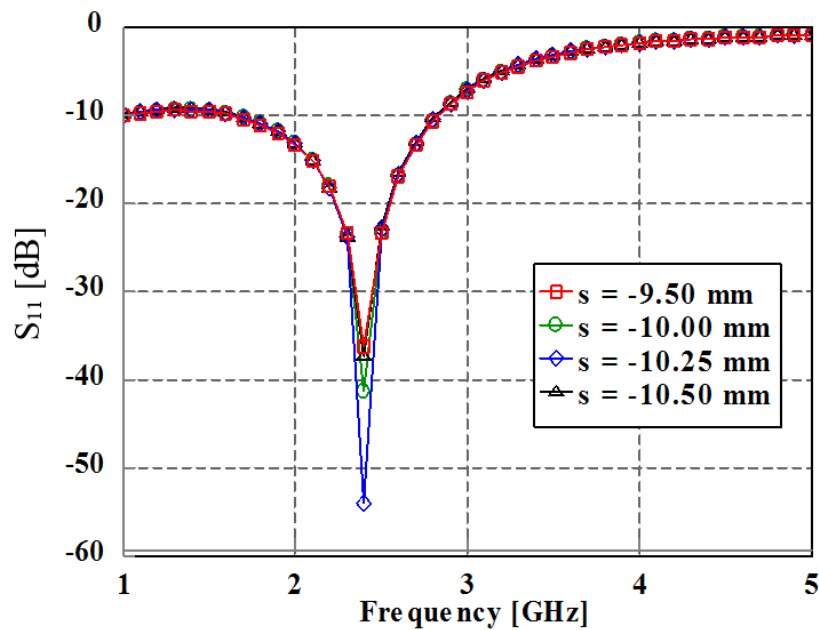
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป แพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุดพีคเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด

ตำแหน่งของจุดพีค (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
f = 9	-36.13	2.4
f = 9.5	-54.07	2.4
f = 10	-39.3	2.4
f = 10.5	-31.57	2.4

จากรูปที่ 37 และตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดพีคที่ทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุดคือตำแหน่งที่ 9.5 มิลลิเมตร และในขั้นตอนต่อไปจะทำการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของตำแหน่ง Short-pin ซึ่งแสดงในรูปที่ 40 และผลที่ได้จากการปรับตำแหน่งของจุดขาลัดวงจร โดยแสดงสีค่าที่ดีที่สุด ดังในรูปที่ 39 และตารางที่ 7



รูปที่ 38 การปรับตำแหน่งของจุด Short-pin บนแพทช์วงกลม



รูปที่ 39 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุด Short-pin

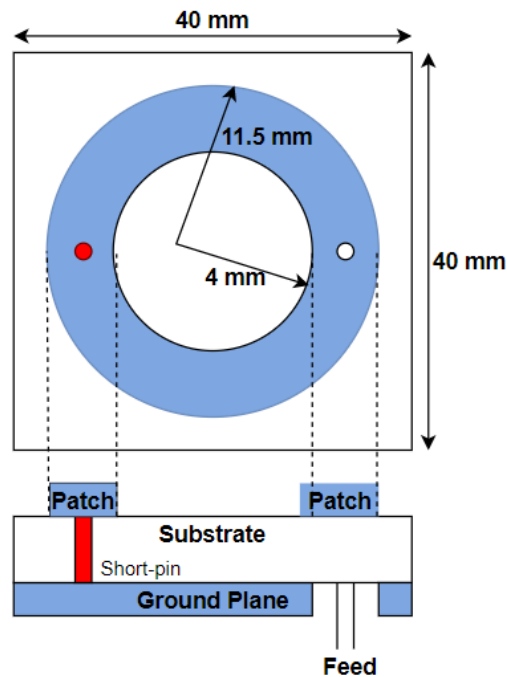
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป แพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการบ่อนสัญญาณจุด Short-pin เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด

ตำแหน่งของจุด Short-pin (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
s = -9.50	-36.37	2.4
s = -10.00	-41.52	2.4
s = -10.25	-54.07	2.4
s = -10.50	-37.50	2.4

จากรูปที่ 39 และตารางที่ 7 ตำแหน่ง Short-pin ที่ -10.25 มิลลิเมตรจะทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุดคือ -54.07 dB

4.1.6 ผลการทดลองของสายอากาศไมโครสตริป

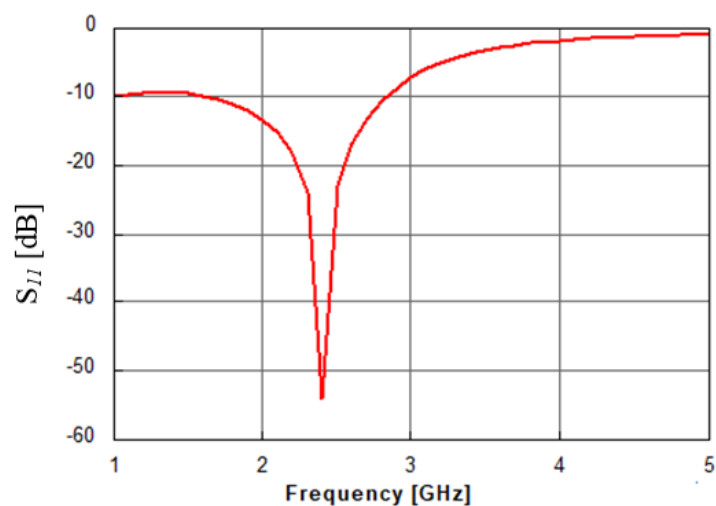
จากขั้นตอนการออกแบบสายอากาศนี้จึงทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสม โดยที่ ขนาดวงแหวนรอบในที่ 4 มิลลิเมตร ขนาดวงแหวนรอบนอกที่ 11.5 มิลลิเมตร ตำแหน่งของจุดไฟดที่ 9.5 มิลลิเมตร และตำแหน่งของ Short-pin ที่ -10.25 มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 40



รูปที่ 40 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz

4.1.6.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน

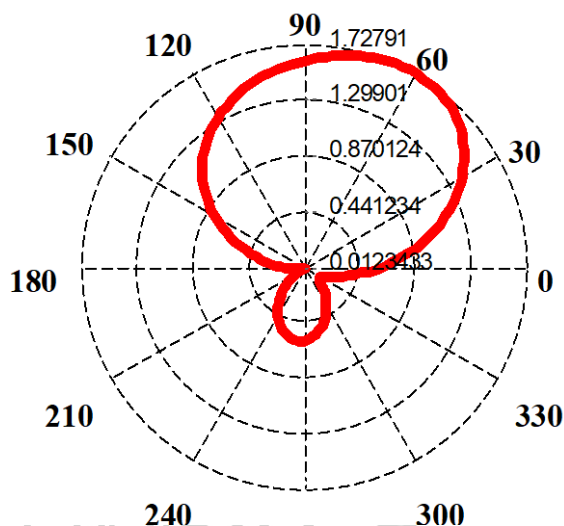
ในการออกแบบการสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนนี้ ส่งผลให้ได้ค่าการสูญเสียที่ต่ำ -54.07 dB ในย่านความถี่ 2.4 GHz และยังสามารถรองรับการใช้งานในได้ตั้งแต่ย่านความถี่ 2.02 GHz - 2.82 GHz ดังแสดงในรูปที่ 41



รูปที่ 41 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

4.1.6.2 รูปแบบลักษณะการแผ่กระจายพลังงาน

ผลการจำลองรูปแบบการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนที่ย่านความถี่ 2.4 GHz มีลักษณะเป็นการแผ่กระจายแบบชี้ทิศทาง (Directional) ซึ่งจะแสดงในระนาบแกน XZ ดังแสดงในรูปที่ 42

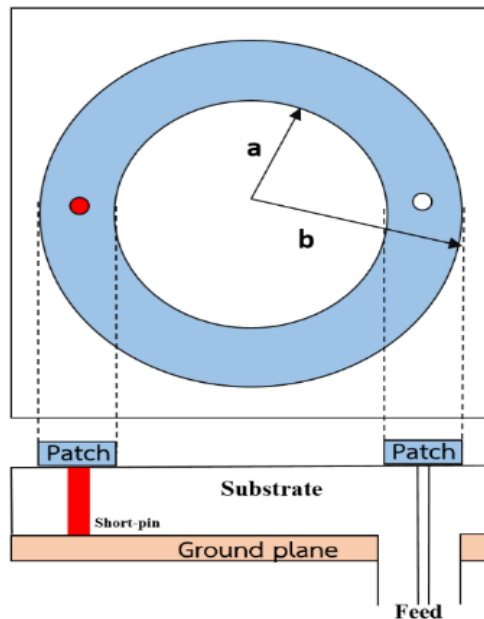


รูปที่ 42 การแผ่กระจายพลังงานแบบชี้ทิศทาง

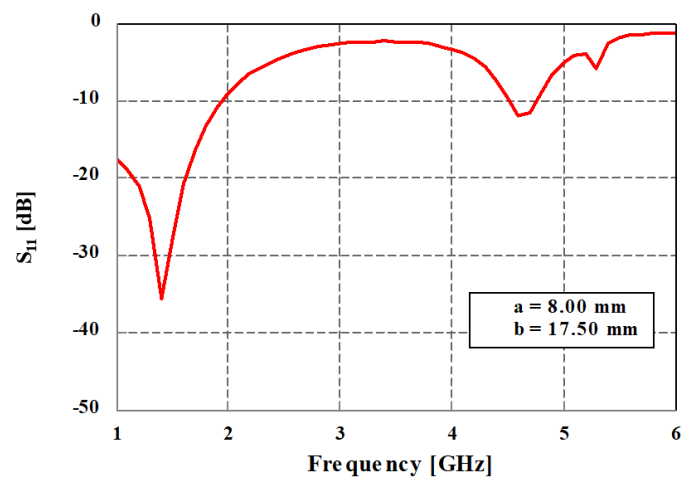
4.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz

4.2.1 การออกแบบสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่

จากขั้นตอนที่ 4.1 ซึ่งได้ขนาดสายอากาศขนาด 40×40 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้นเมื่อจะทำการพัฒนาสายอากาศจากเดิมให้กลายเป็นสองย่านความถี่ผู้ออกแบบจึงได้ทำการคำนวณขนาดวงแหวนจากบทที่ 2 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณขนาดวงแหวนวงใน (a) = 8 มิลลิเมตร และขนาดวงแหวนวงนอก (b) = 17.5 มิลลิเมตร ซึ่งตำแหน่งของจุดพีคที่ 12.75 มิลลิเมตร และตำแหน่งของซาล์ดวเจอร์ที่ -12.75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 43 และผลจากการออกแบบนี้จะถูกแสดงในรูปที่ 44



รูปที่ 43 โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้วัสดุกราฟีนสำหรับรองรับสองย่านความถี่

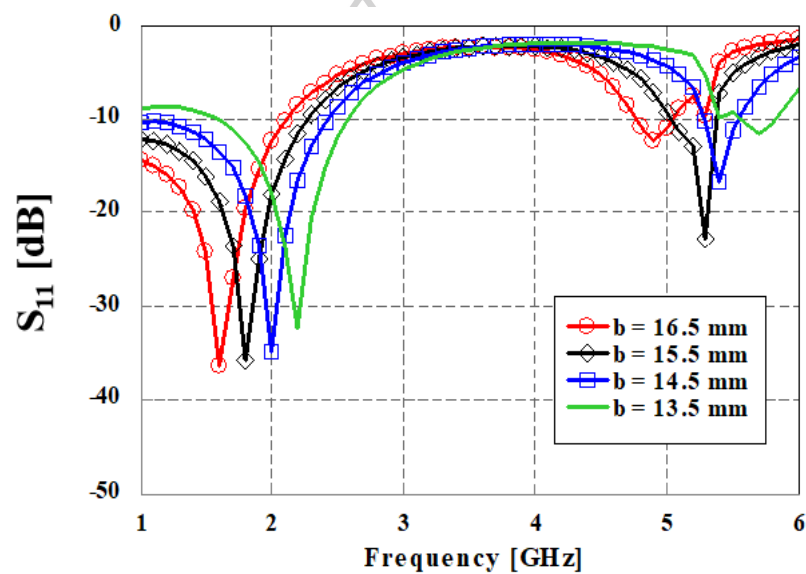


รูปที่ 44 ผลความถี่ที่ได้จากการคำนวณไว้

จากรูปที่ 44 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ที่ได้คือ 1.4 GHz และ 4.7 GHz ซึ่งไม่ได้เป็นไปตามที่คาดหวังดังนั้นผู้ออกแบบจึงได้ทำการทดลองการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอกเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการคือ 5.2 GHz

4.2.2 การปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก

ในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนเพื่อให้ย่านความถี่เดิมจาก 4.7 GHz เปลี่ยนแปลงให้ได้ตามความถี่ที่คาดหวัง โดยขนาดวงแหวนรอบในจะถูกตั้งค่าไว้ขนาดเดิมคือที่ 8 มิลลิเมตร และตำแหน่งของจุดพิกัดกับขาลัดวงจรยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม โดยขนาดวงแหวนรอบนอกที่ทำการปรับเปลี่ยนนั้นจะปรับตั้งแต่ขนาด 13 – 18.5 โดยระยะการปรับเปลี่ยนขนาดครั้งละ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งผลที่ได้จะแสดงสี่ค่าที่ดีที่สุด แสดงในรูปที่ 45 และตารางที่ 8



รูปที่ 45 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก

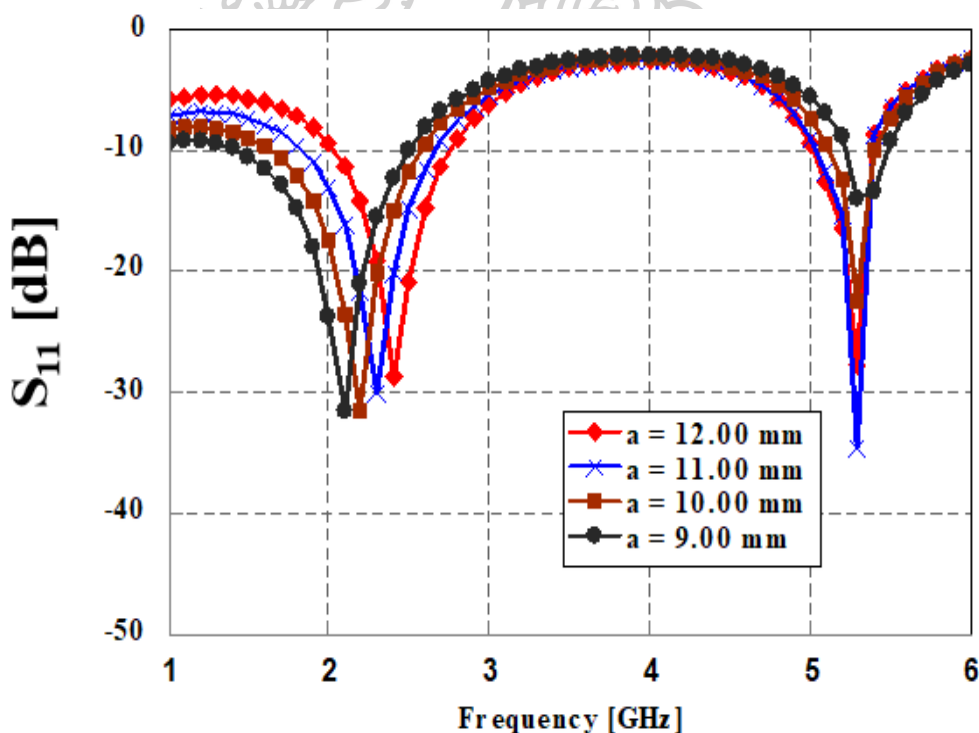
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบนอก

วงแหวนรอบนอก (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
b = 13.5	-31.20, -11.47	2.2, 5.7
b = 14.5	-33.81, -16.97	2.0, 5.4
b = 15.5	-35.48, -25.23	1.8, 5.3
b = 16.5	-36.36, -11.96	1.6, 4.9

จากตารางที่ 8 จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับขนาดวงแหวนรอบนอกจะทำให้ความถี่แรกและความถี่ที่สองถูกเปลี่ยนไปด้วย เมื่อขนาดวงแหวนรอบนอก 13.5 มิลลิเมตรจะทำให้ได้ความถี่แรกๆที่ 2.2 GHz ซึ่งเข้าใกล้ความถี่ที่คาดหวังคือ 2.4 GHz แต่ความถี่ที่สองที่ได้คือ 5.7 GHz ซึ่งได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ไม่ค่อยดี เมื่อเทียบกับขนาดวงแหวนรอบนอกที่ 14.5 มิลลิเมตรถึงแม้ว่าความถี่แรกจะยังไม่เข้าใกล้ 2.4 GHz ได้เท่ากับขนาดวงแหวนที่ 13.5 มิลลิเมตร แต่ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีแนวโน้มที่ดีกว่า ดังนั้นผู้ออกแบบจึงเลือกขนาดวงแหวนรอบนอกที่ 14.5 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้ยังคงได้ความถี่ไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง คือ 2.4 GHz และ 5.3 GHz

4.2.2 การปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน

ในขั้นตอนนี้ออกแบบจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดวงแหวนรอบใน โดยที่ให้ขนาดวงแหวนรอบนอกอยู่ที่ 14.5 มิลลิเมตร และตำแหน่งของจุดพีดกับขาลัดวงจรยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิมคือที่ 12.75 มิลลิเมตร และ -12.75 มิลลิเมตร การปรับเปลี่ยนขนาดวงแหวนรอบในจะทำการทดลองปรับขนาดตั้งแต่ 7 มิลลิเมตร ถึง 12 มิลลิเมตร โดยระยะการปรับเปลี่ยนครั้งละ 0.1 มิลลิเมตร โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงสีค่าที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 46 และตารางที่ 9



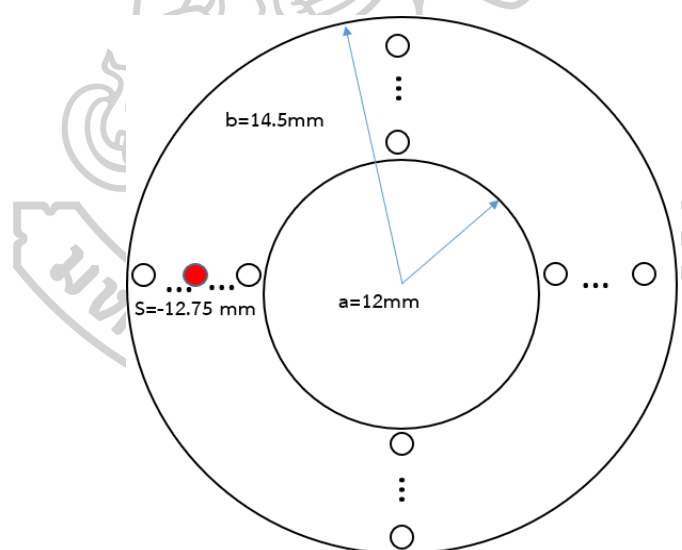
รูปที่ 46 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับและย่านความถี่ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนรอบใน

วงแหวนรอบใน (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
a = 9.0	-31.1, -12.1	2.1, 5.3
a = 10.0	-31.2, -22.1	2.2, 5.3
a = 11.0	-30.1, -35.6	2.3, 5.3
a = 12.0	-28.74, -27.69	2.4, 5.3

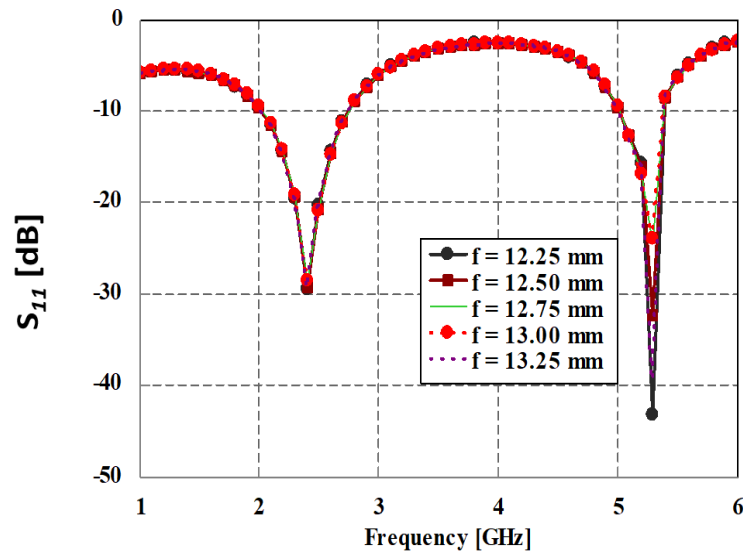
จากตารางที่ 9 เมื่อขนาดวงแหวนรอบในมีขนาด 12.0 มิลลิเมตรจะทำให้ได้ความถี่เป็นไปตามที่คาดหวังคือ 2.4 GHz และ 5.3 GHz ถึงขั้นตอนนี้ความถี่เป็นไปตามที่คาดหวังแล้วแต่ผู้ออกแบบอยากให้สายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ดีที่สุดดังนั้นจึงทำปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีคและขาลัดวงจร

4.2.3 การปรับตำแหน่งของจุดพีค และ จุดขาลัดวงจร เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 47 การปรับตำแหน่งของจุดพีคบนแพทช์วงกลม

ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับตำแหน่งของจุดพีค และจุดขาลัดวงจร เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่ให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดพีคก่อนดังแสดงในรูปที่ 47 และจะเปรียบเทียบตำแหน่งของจุด ขาลัดวงจรหลังจากได้ตำแหน่งของจุดพีคที่เหมาะสมแล้ว โดยแสดงผลลัพธ์ที่ค่าที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 48 และตารางที่ 10

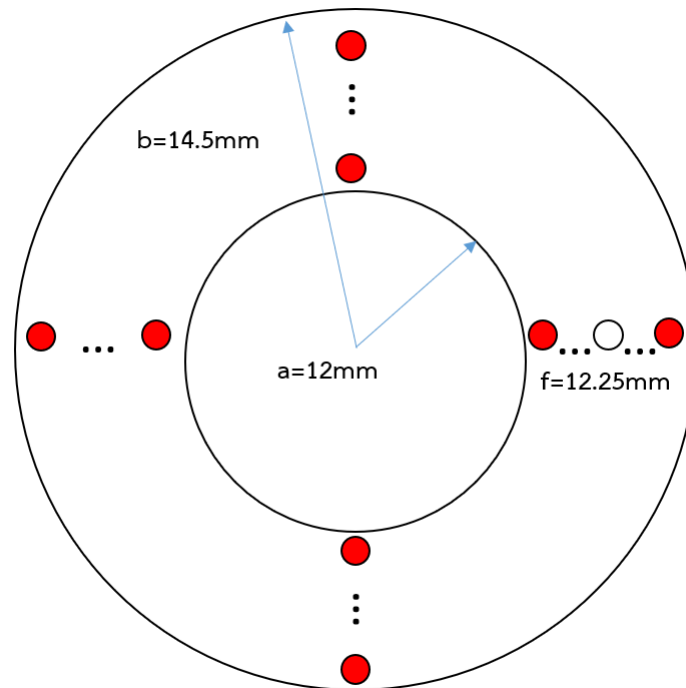


รูปที่ 48 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดพีด

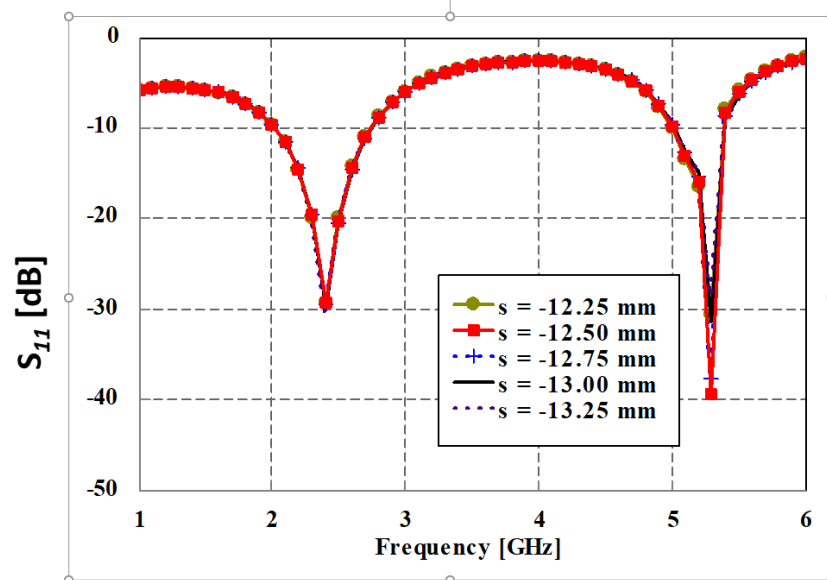
ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโคร สตรีปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุดพีดเพื่อ หาจุดที่เหมาะสมที่สุด

ตำแหน่งของจุดพีด (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
f = 12.25	-29.10, -43.82	2.4, 5.3
f = 12.50	-29.30, -32.00	2.4, 5.3
f = 12.75	-29.70, -25.40	2.4, 5.3
f = 13.00	-28.90, -25.20	2.4, 5.3

จากรูปที่ 48 และตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดพีดที่ทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เหมาะสมที่สุดคือตำแหน่งที่ 12.25 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของการสูญเสียย้อนกลับเปลี่ยนจาก -28.74 dB เป็น -29.10 dB และ -27.69 dB เป็น -43.82 dB และในขั้นต่อไป จะทำการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของตำแหน่ง Short-pin โดยแสดงผลลัพธ์ค่าที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 50 และตารางที่ 11



รูปที่ 49 การปรับตำแหน่งของจุดขาลัดวงจบบนแพทช์วงกลม



รูปที่ 50 ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดขาลัดวงจบบนแพทช์วงกลม

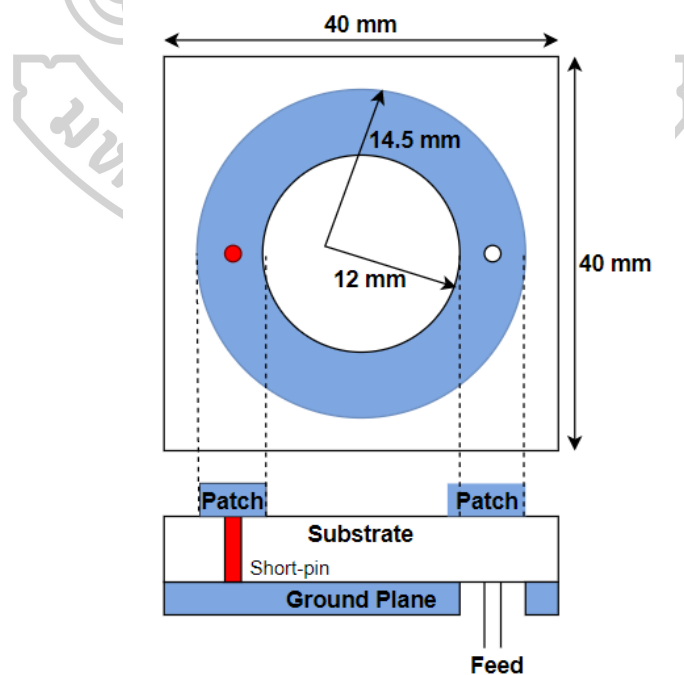
ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปทรงวงแหวนที่ถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการป้อนสัญญาณจุดขาลัดวงจรเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด

ตำแหน่งของจุด Short-pin (มม.)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ : S11 (dB)	ความถี่ (GHz)
s = -12.25	-29.25, -30.00	2.4, 5.3
s = -12.50	-29.33, -39.49	2.4, 5.3
s = -12.75	-29.30, -38.20	2.4, 5.3
s = -13.00	-29.31, -32.2	2.4, 5.3

จากรูปที่ 52 และตารางที่ 11 ตำแหน่งจุดขาลัดวงจรที่เหมาะสมที่สุดคือตำแหน่งที่ -12.50 มิลลิเมตร จะทำให้ได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ -29.33 dB และ -39.49 dB

4.2.4 ผลการทดลองของสายอากาศไมโครสตริป

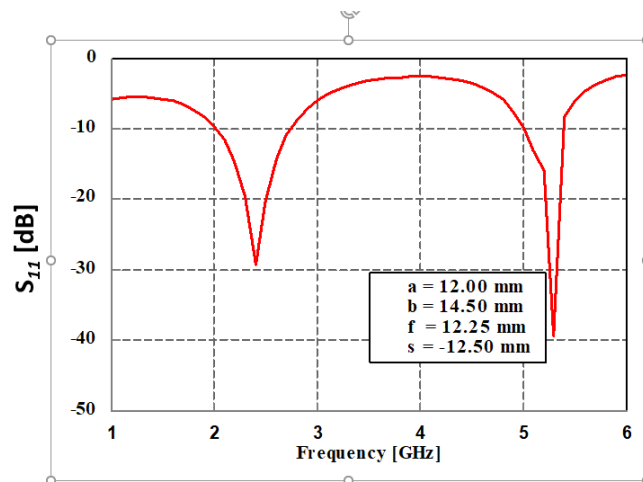
จากขั้นตอนการออกแบบสายอากาศนี้จึงทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม โดยที่ ขนาดวงแหวนรอบในที่ 12 มิลลิเมตร ขนาดวงแหวนรอบนอกที่ 14.5 มิลลิเมตร ตำแหน่งของจุดพีดที่ 12.25 มิลลิเมตร และตำแหน่งของขาลัดวงจรที่ -12.50 มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 51



รูปที่ 51 สายอากาศไมโครสตริปสำหรับสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz

4.2.4.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวน

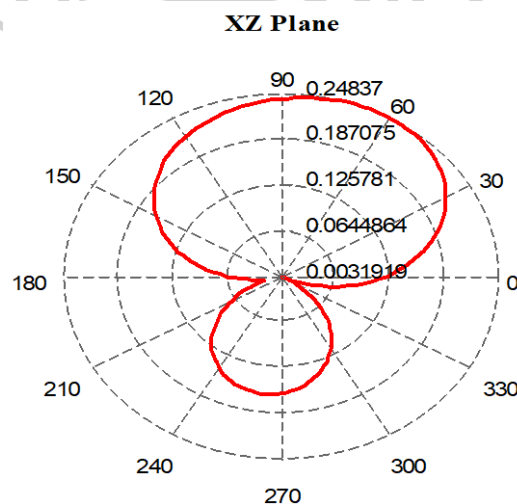
ในการออกแบบการสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนนี้ ส่งผลให้ได้ค่าการสูญเสียที่ต่ำ -29.33 dB ในย่านความถี่ 2.4 GHz และ -39.49 dB ในย่านความถี่ 5.3 GHz และยังสามารถรองรับการใช้งานในได้ตั้งแต่นย่านความถี่ 2.02 GHz ถึง 2.74 GHz กับ 5.02 GHz ถึง 5.4 GHz ดังแสดงในรูปที่ 54



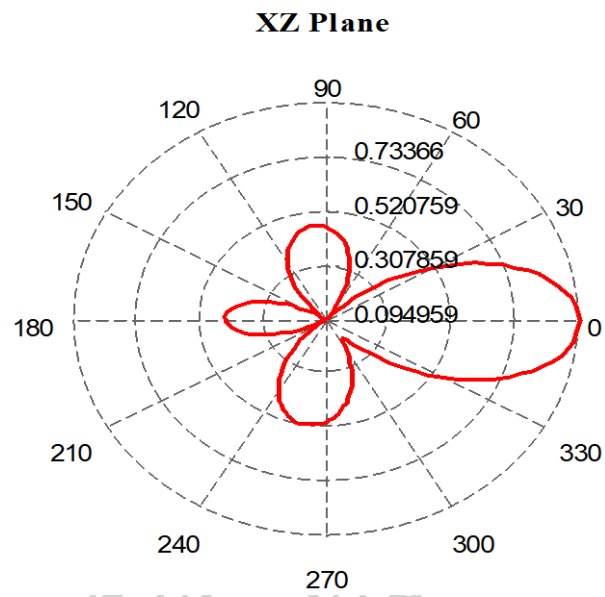
รูปที่ 52 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

4.1.6.2 รูปแบบลักษณะการแผ่กระจายพลังงาน

ผลการจำลองรูปแบบการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz มีลักษณะเป็นการแผ่กระจายแบบชี้ทิศทาง (Directional) ซึ่งจะแสดงในระนาบแกน XZ ดังแสดงในรูปที่ 53 และ 54



รูปที่ 53 การแผ่กระจายพลังงานแบบชี้ทิศทางสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz



รูปที่ 54 การแผ่กระจายพลังงานแบบชี้ทิศทางสำหรับย่านความถี่ 5.3 GHz



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนสำหรับการทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz และสามารถพัฒนาเป็นสองย่านความถี่สำหรับการใช้ที่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาการทำงานของสายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนที่ถูกออกแบบโดยวัสดุกราฟีน และตำแหน่งของจุดพีด (Feed point) กับ ตำแหน่งของขาลัดวงจร (Short-pin) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของย่านความถี่และค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

จากผลการดำเนินวิจัยได้ทำการจำลองการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้โปรแกรมจำลอง EMCoS Antenna Vlab ซึ่งได้นำเสนอสายอากาศรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนโดยใช้เทคนิค Short-pin เพื่อรองรับการทำงานในย่านความถี่ ISM Band ซึ่งขนาดวงแหวนที่ออกแบบมีรัศมีภายในที่ 4 มิลลิเมตร และรัศมีภายนอกที่ 11.5 มิลลิเมตร และขนาดของสายอากาศที่ 40 ตารางมิลลิเมตร โดยที่สามารถรองรับการทำงานครอบคลุมตั้งแต่ 1.6 GHz ถึง 2.83 GHz โดยที่มีความถี่กลางอยู่ที่ 2.4 GHz และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับอยู่ที่ -54.07 dB นอกจากนี้ยังพัฒนาให้เป็นสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ โดยมีขนาดวงแหวนรัศมีภายในที่ 12 มิลลิเมตร และรัศมีภายนอกที่ 14.5 มิลลิเมตร ขนาดของสายอากาศ 40 ตารางมิลลิเมตร โดยที่สามารถรองรับการทำงานครอบคลุมตั้งแต่ 2.02 GHz ถึง 5.02 GHz โดยมีความถี่กลางที่ 2.4 GHz และครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 5.02 GHz ถึง 5.4 GHz โดยมีความถี่กลางที่ 5.3 GHz จากงานวิจัยที่ได้ศึกษานี้ พบว่าการใช้เทคนิค Feed point และ Short-pin เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการในขณะที่ยังรักษาขนาดของสายอากาศให้มีขนาดที่กระทัดรัดได้ ซึ่งตำแหน่งของ Feed point และ Short-pin ที่เหมาะสมซึ่งส่งผลให้สามารถปรับเปลี่ยนย่านความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz กับงานวิจัยท่านอื่น แสดงในตารางที่ 12 และสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz กับงานวิจัยท่านอื่น แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบสายอากาศสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz เทียบกับงานวิจัยท่านอื่นๆ ในงาน

งานวิจัย	ตัวแปร		
	S_{11} (dB)	Resonant frequency (GHz)	Size (mm ²)
งานวิจัยนี้	-54.07	2.4	40 x 40
Sharma et al. [23]	-33	2.4	24 x 33
Gan et al. [25]	-20.96/ -12.823	2.45/5.3	160 x 160
Baek et al. [28]	-31.73	2.68	60 x 60

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ เทียบกับงานวิจัยท่านอื่นๆ

งานวิจัย	ตัวแปร			
	S_{11} (dB)	Resonant frequencies (GHz)	Size (mm ³)	Bandwidth (%)
งานวิจัยนี้	-29.33/-39.49	2.4/5.3	40 x 40 x 5	30.23/7.35
Yan et al. [3]	-16.33/-12.66	2.45/5.25	63 x 86.6 x 1.6	Less than 5
Katore et al. [7]	-24/-27	2.44/5.25	36.7 x 24.7 x 1.6	2.46/7.62
Gan et al. [25]	-20.96/-12.823	2.45/5.3	160 x 160 x 0.8	2.61/ 2.02
Chen et al. [29]	~ -35/-30	2.45/5.5	142 x 98 x 6	4/12.73

จากตารางที่ 12 เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบสายอากาศกับงานวิจัยท่านอื่นๆ พบว่าสายอากาศที่ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบนั้น มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้สำหรับการส่งข้อมูลในแบบไร้สาย และแอปพลิเคชันมือถือ โดยสายอากาศที่ได้นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กกระทัดรัด ซึ่งเป็นไปตามสิ่งที่ผู้ออกแบบได้คาดหวังไว้

จากตารางที่ 13 จากการออกแบบสายอากาศขนาดเล็กกระทัดรัดสำหรับใช้งานสองย่านความถี่ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยท่านอื่นๆ จะเห็นได้ว่าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำ สิ่งทำให้มั่นใจได้ว่าสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบมีประสิทธิภาพในแบนด์วิดท์ที่สามารถยอมรับได้สำหรับการส่งข้อมูลในย่าน ISM Bands และ C Bands และยังมีค่าแบนด์วิดท์ที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งสามารถรองรับการทำงานได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงวงแหวนโดยใช้วัสดุกราฟีนซึ่งใช้เทคนิค Feed point และ Short-pin นี้เพื่อออกแบบให้สายอากาศสามารถรองรับการทำงานในย่านความถี่ ISM Band ซึ่งเทคนิค Feed point และ Short-pin เมื่อมีตำแหน่งที่เหมาะสมและการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวน จะส่งผลให้สามารถออกแบบสายอากาศให้สามารถรองรับการทำงานสองย่านความถี่ (Dual-band) ที่ 2.4 GHz และ 5.3 GHz และยังสามารถทำให้มีสายอากาศที่มีค่าแบนด์วิดท์ที่ดีเหมาะต่อการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้พบว่ามีความถี่ (Gain) ที่ค่อนข้างต่ำ และยังเป็นแค่การจำลอง การออกแบบสายอากาศซึ่งยังไม่ได้สร้างสายอากาศจริง ดังนั้น สำหรับงานวิจัยในอนาคตสมควรปรับปรุงค่าเกนให้ดีขึ้น และยิ่งไปกว่านั้นควรสร้างสายอากาศขึ้น เพื่อวัดผลการทำงานจริง



รายการอ้างอิง

1. Bevelacqua, P.J., *Antenna array: Performance limits and geometry optimization*, in *Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng.* 2008, Arizona State University. p. 158.
2. Fung, C., *Basic antenna theory and application*, in *B.S. thesis, Dept. Electrical and Computer. Eng.* 2011, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA.
3. Yan, B.S., et al. *Dual-band microstrip antenna fed by coaxial probe*. in *presented at 2016 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)*. 2016.
4. Thillai, T.S. and T.R.G. Babu. *Rectangular microstrip patch antenna at ISM band*. in *presented at 2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*. 2015.
5. Mandal, A., et al. *Analysis of feeding techniques of rectangular microstrip antenna*. in *presented at 2012 IEEE International Conference on Signal Processing, Communication and Computing (ICSPCC)*. 2012. Hong Kong.
6. Asokan, V., S. Thilagam, and K.V. Kumar. *Design and analysis of microstrip patch antenna for 2.4 GHz ISM band and WLAN application*. in *presented at 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS)*. 2015.
7. Kanchan, D., et al. *2.4/5.2 GHz dual band rectangular microstrip antenna with orthogonal polarization for bluetooth and WLAN applications*. in *presented at 2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. 2017. Chennai.
8. Mouli, K.A.R.G.C., et al. *Analysis of rectangular and triangular microstrip antenna arrays using HFSS*. in *presented at 2015 13th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility (INCEMIC)*. 2015. Visakhapatnam.
9. Kokotoff, D.M., J.T. Aberle, and R.B. Waterhouse, *Rigorous analysis of probe fed printed annular ring antennas*. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1999. 47(2): p. 384-388.

10. Singh, A.K., R.K. Gangwar, and B.K. Kanaujia. *Cavity backed annular ring microstrip antenna loaded with concentric circular patch*. in presented at *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*. 2014.
11. Zhang, X. and L. Zhu. *An impedance-agile microstrip patch antenna with loading of a shorting pin*. in *Proc. Asia – Pacific Microwave Conf., Nanjing*. 2015.
12. Cao, W., et al. *A broadband microstrip dipole antenna loaded with shorted pin*. in *Proc. of Int. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology*. 2010.
13. Pan, S.C. and K.L. Wong. *Design of dual-frequency microstrip antennas using a shorting-pin loading*. in present at *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1998 Digest. Antenna: Gateways to the Global Network. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting*. 1998. GA.
14. Pan, S.C. and K.L. Wong. *Dual-frequency triangular microstrip antenna with a shorting pin*. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1997. 45(12): p. 1889-1891.
15. Qi, Z. and C. Chang. *Analysis of microstrip antennas loaded with shorting-pin*. *Proc. IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp*, 2005. 3A: p. 138-141.
16. Fugto, N., R. Kaewon, and S. Sirivisoot. *A comparison of various patch sizes and feed point positions of graphene microstrip antenna for orthopedic implants*. in presented at *2015 Biomedical Engineering International Conference*. 2015.
17. Sajal, S.Z., B.D. Braaten, and V.R. Marinov. *A microstrip patch antenna manufactured with flexible graphene-based conducting material*. in *Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. 2015.
18. Abdullah, N., et al. *Investigation on graphene based multilayer thin film patch antenna*. in presented at *the 10th European Conf. on Antennas and Propagation*. 2016. Davos.
19. Song, R., et al. *Flexible graphene based films for microstrip array antennas*. in presented at *Sixth Asia-Pacific Conf. on Antennas and Propagation*. 2017.

20. Xia, W., et al. *Rectangular dielectric resonator antenna fed by graphene films microstrip for 5G communication*. in presented at 2018 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics. 2018. Chengdu.
21. Balanis, C.A., *Antenna Theory Analysis and Design*. 2nd ed. 1997: John Wiley & Sons.
22. Srivastava, S. and D. Somwanshi. *Design and analysis of rectangular microstrip patch antenna for zigbee applications*. in presented at 2015 IEEE International Symposium on Nanoelectronic and Information Systems. 2015.
23. Sharma, S. and D. Sombanshi. *Annular-ring slotted microstrip patch antenna for ISM band applications*. in presented at Int. Conf. on Computer, Communication and Control. 2015.
24. Sarma, A., K. Sarmah, and K.K. Sarma. *Low return loss slotted rectangular microstrip patch antenna at 2.4 GHz*. in presented at 2015 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). 2015. India.
25. Gan, B.H., et al. *Design of a dual-band microstrip antenna using slotted annularring and concentric disk*. in Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. 2015.
26. Marinho, B., et al., *Electrical conductivity of compacts of graphene, multi-wall carbon nanotubes, carbon black, and graphite powder*. Powder Technology, 2012. 221: p. 351-358.
27. Fang, X.-Y., et al., *Temperature- and thickness-dependent electrical conductivity of few-layer graphene and graphene nanosheets*. Physics Letters A, 2015. 379(37): p. 2245-2251.
28. Baek, S.H., B. Lee, and F.J. Harackiewicz. *Modified aperture coupling annular-ring antenna fed by stripline*. in Proc. IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp. 2007.
29. Chen, I.F. and C.M. Peng. *Dual-band patch antenna array for WLAN applications*. in presented at 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC). 2018.



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร

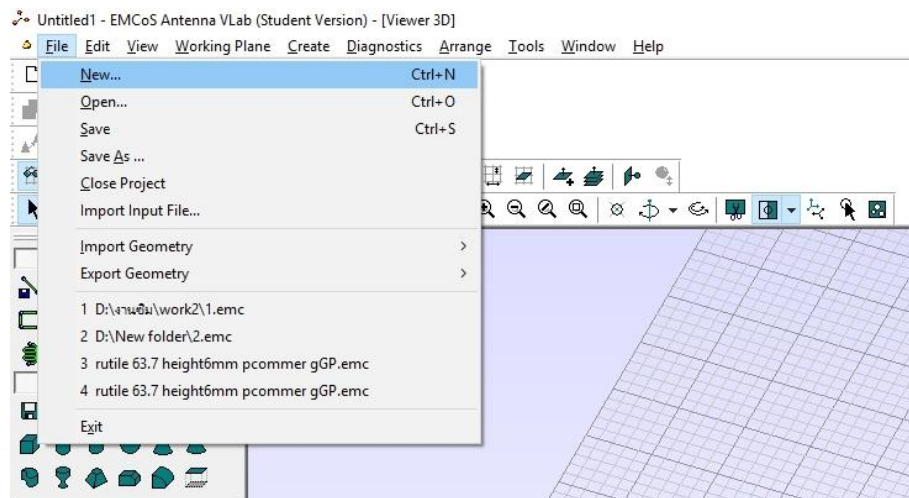


ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรมจำลอง EMCoS Software

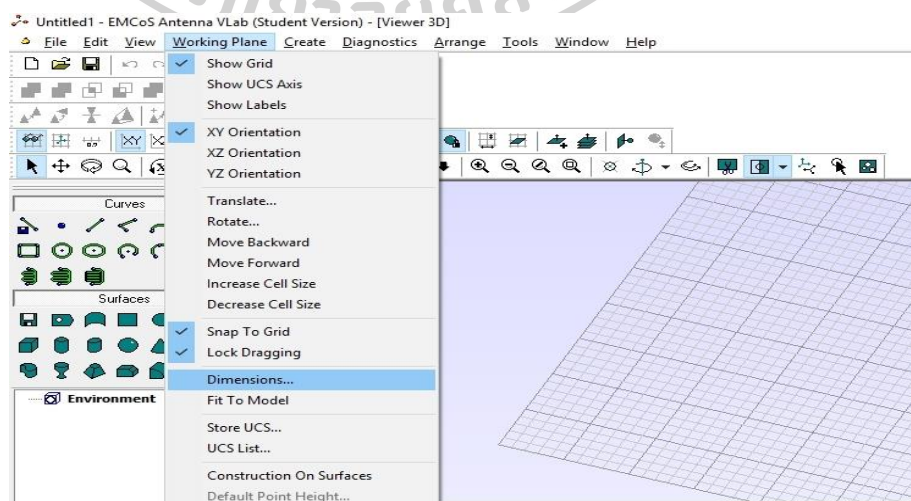
การจำลองการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม EMCoS antenna V Lab program เป็นโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่สามารถใช้งานได้ฟรีสำหรับการศึกษาของนักเรียน ซึ่งการใช้งานโปรแกรมนี้จะประกอบขึ้นตอนการออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่เดียว 2.4 GHz และสองย่านความถี่ 2.4 GHz กับ 5.3 GHz ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เปิดโปรแกรมจำลอง ECoS antenna V lab เลือก “File” และ “New” เพื่อสร้างการจำลองแสดงในรูปที่ 55

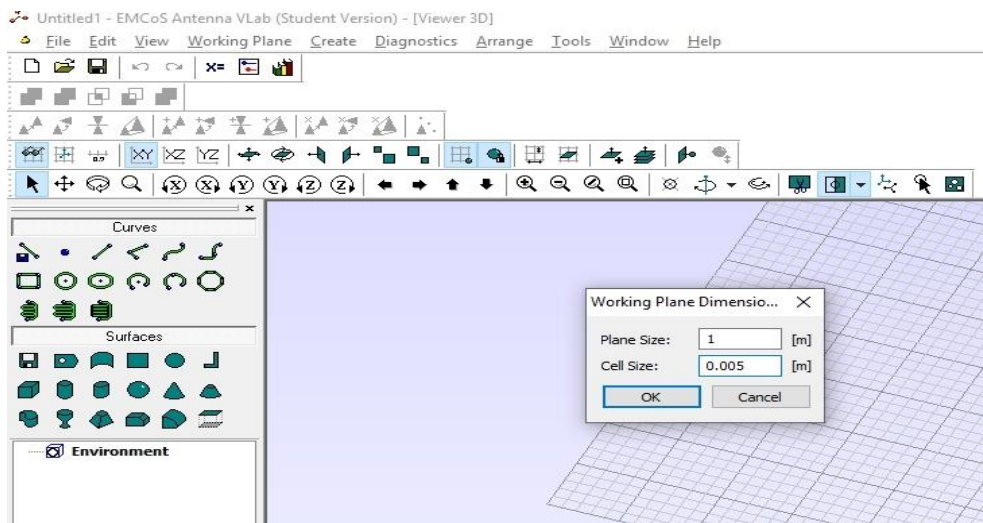


รูปที่ 55 หน้าต่างของโปรแกรมจำลองการทำงานของโปรแกรม EMCoS antenna V lab simulation program.

2) หลังจากกดเลือกหน้าต่าง New ให้เลือก Working plane แล้วไปที่ Dimensions เพื่อตั้งค่า Plane Size และ Cell Size แสดงในรูปที่ 56 และ 57 ตามลำดับ

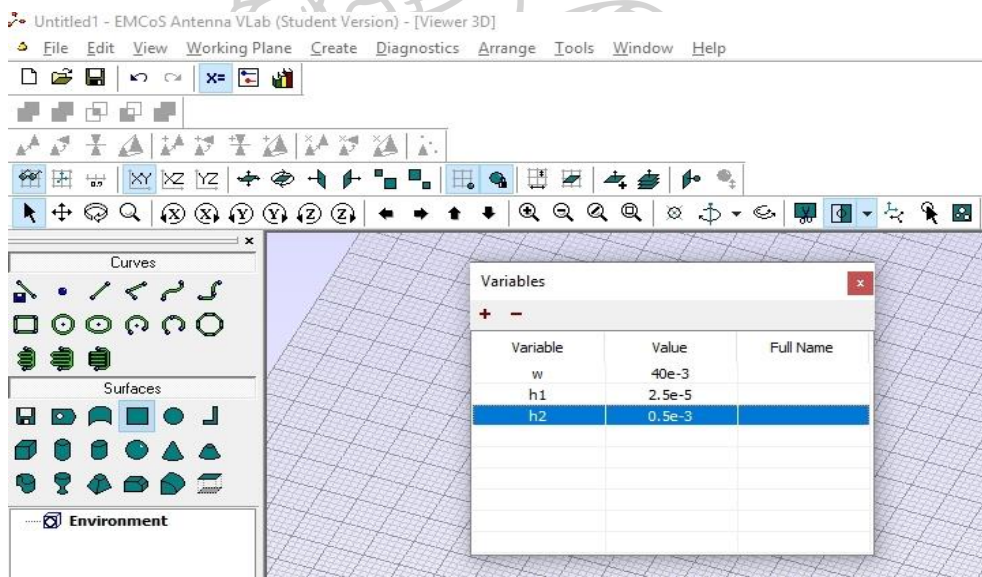


รูปที่ 56 หน้าต่างของโหมด Working Plane



รูปที่ 57 หน้าต่างของโหมด Dimensions

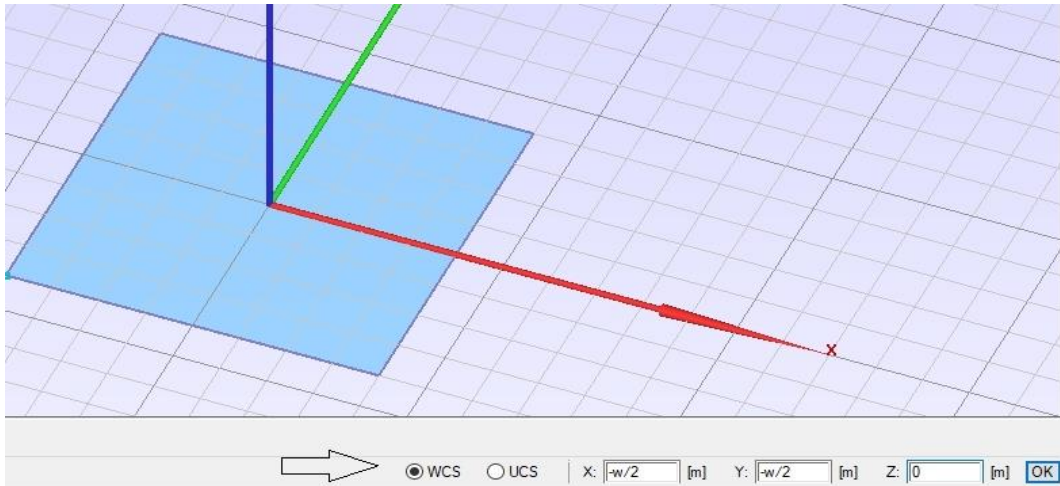
3) ในงานวิจัยนี้จะออกแบบสายอากาศรูปทรงวงแหวนดังนั้นเราสามารถตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ได้ใน Variables ดังในรูปที่ 58



รูปที่ 58 การตั้งค่าตัวแปรต่างๆ

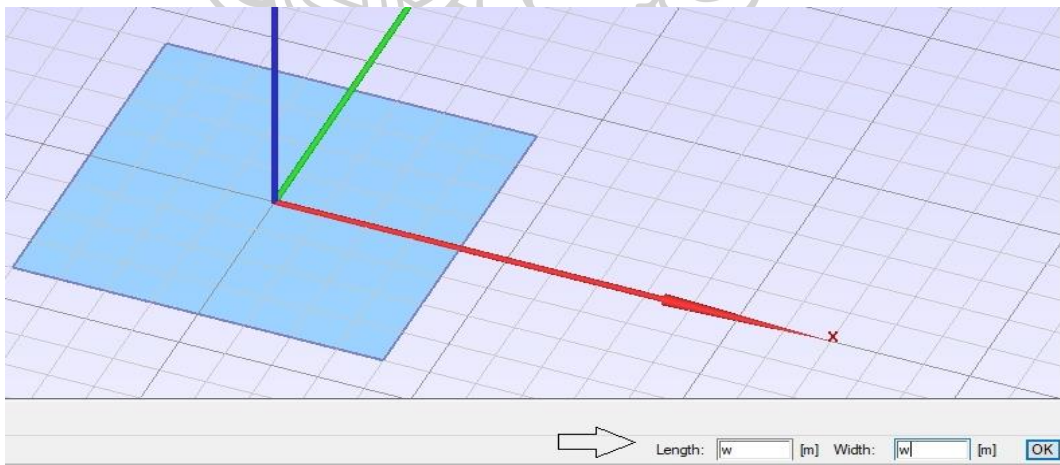
โดยการตั้งค่านี้อาจทำให้ w คือขนาดความกว้างและความยาวของสายอากาศ h_1 คือความหนาของวัสดุกราฟีน และ h_2 คือความหนาของฐานรองวัสดุซับสเตรท

4) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบสายอากาศไมโครสตรูปทรงวงแหวนโดยให้เลือกที่ Create เลือก Surface แล้วเลือกที่ Box จาก Main menu หลังจากนั้น เลือกที่ WCS แล้วใส่ค่าแกน x, y, z เป็น $(-w/2), (-w/2), (0.0)$ ตามลำดับ



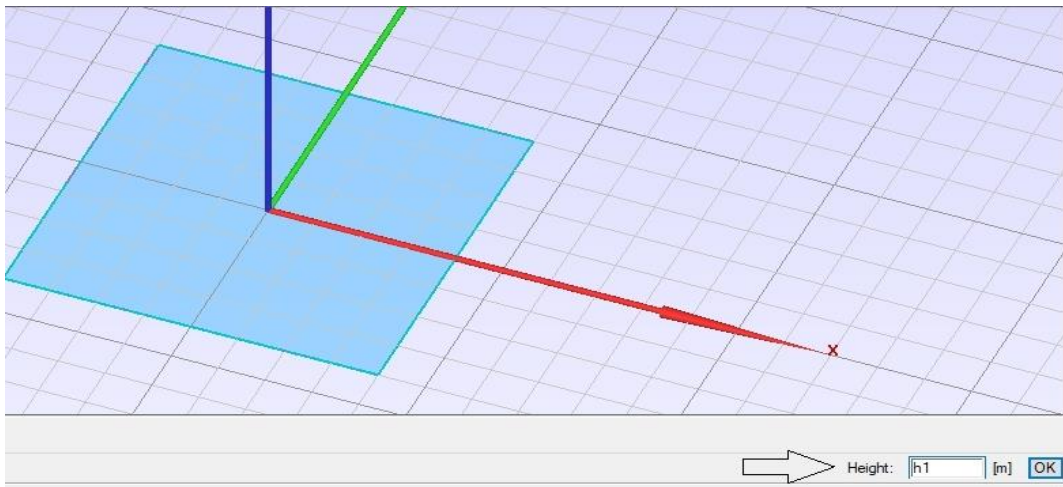
รูปที่ 59 การตั้งตำแหน่งของระนาบกราวด์

หลังจากนั้นให้ตั้งค่าความกว้างและความยาวดังในรูปที่ 60 โดยที่ Length = w, Width = w

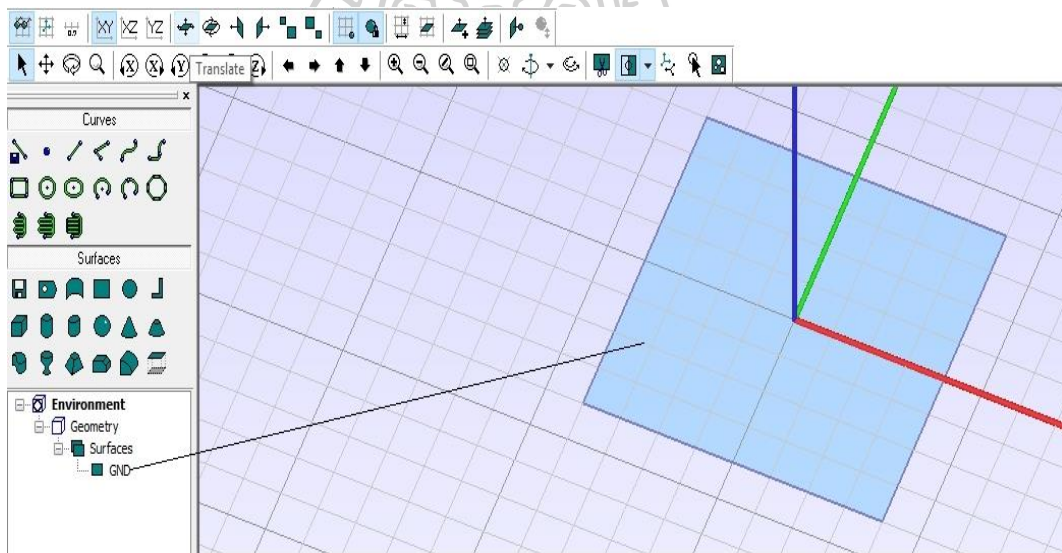


รูปที่ 60 ตั้งค่าขนาดความกว้างและความยาวของระนาบกราวด์

เมื่อเลือกค่าความกว้างและความยาวของระนาบกราวด์แล้วจะสามารถใส่ความสูงของระนาบกราวด์ได้ Height = h_1

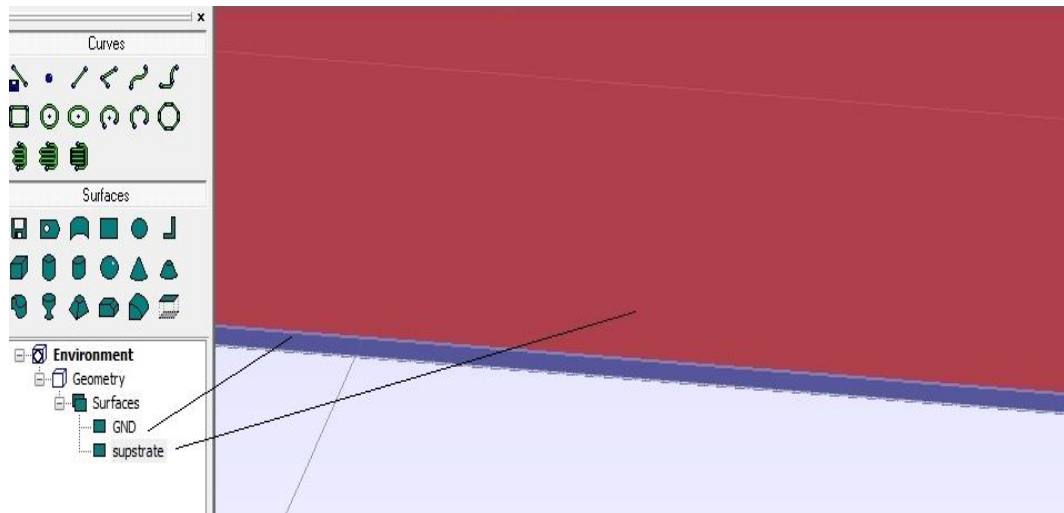


รูปที่ 61 ความสูงของระนาบกราวด์



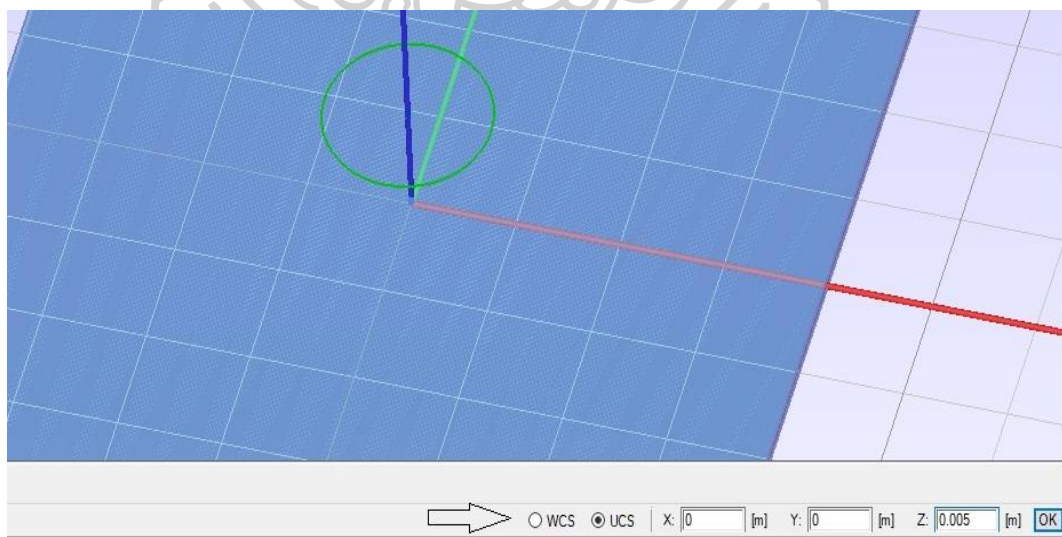
รูปที่ 62 ภาพของระนาบกราวด์ที่ออกแบบไว้

5) ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบฐานรองวัสดุซึ่งจะเป็นชั้นที่อยู่บนระนาบกราวด์ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบ จะคล้ายคลึงกับการออกแบบระนาบกราวด์ คือ x, y, z เป็น $(-w/2), (-w/2), (0.0)$ ตามลำดับ โดยที่ค่าความกว้างความยาว และความสูงของฐานรองวัสดุ $Length = w, Width = w, Hight = h2$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 63

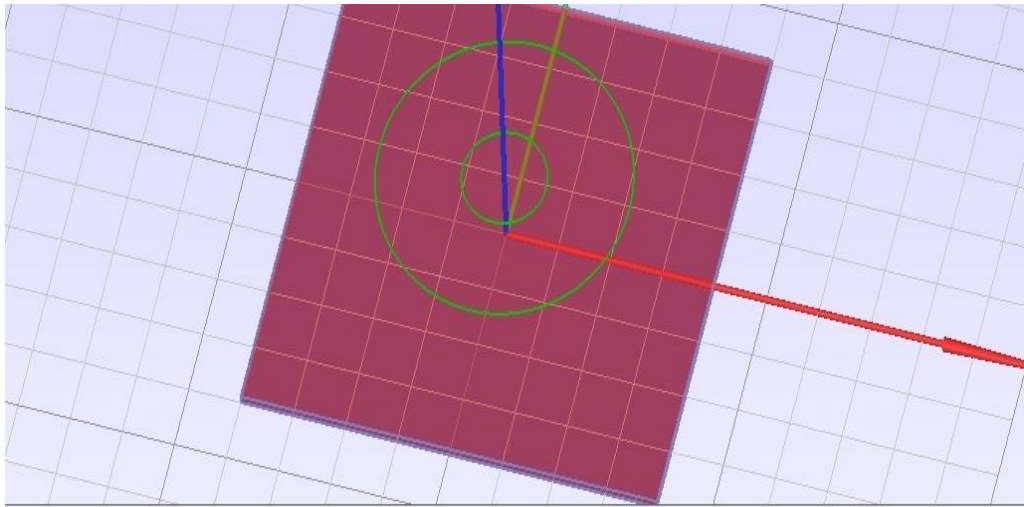


รูปที่ 63 ชั้นบนเป็นฐานรองวัสดุ และชั้นล่างเป็นระนาบกราวด์

หลังจากที่ทำการออกแบบระนาบกราวด์และฐานรองวัสดุแล้ว ในส่วนของชั้นตอนนี้ จะเป็นการออกแบบแพทช์รูปทรงวงแหวนโดยเลือกที่ Create เลือก Curve แล้วเลือกที่ Circle จาก Main menu หลังจากนั้นให้เลือก UCS ใส่ค่าแกน x, y, z ดังนี้ $x = 0$, $y = 0$, $z = 0.005$ หลังจากนั้นใส่ขนาดของวงแหวนรอบนอก 11.5 มิลลิเมตร และขนาดของวงแหวนรอบใน 4 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่ชั้นตอนนี้จะต้องทำสองรอบคือ ออกแบบวงกลมวงใน และวงกลมวงนอกดังในรูปที่ 64 และ 65 ตามลำดับ

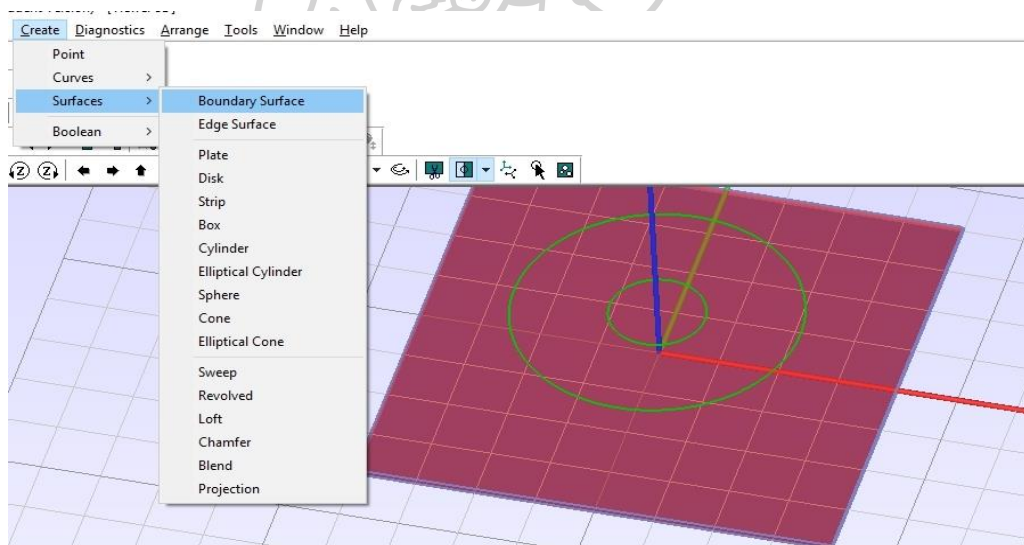


รูปที่ 64 ตั้งค่าการออกแบบขนาดของวงกลม



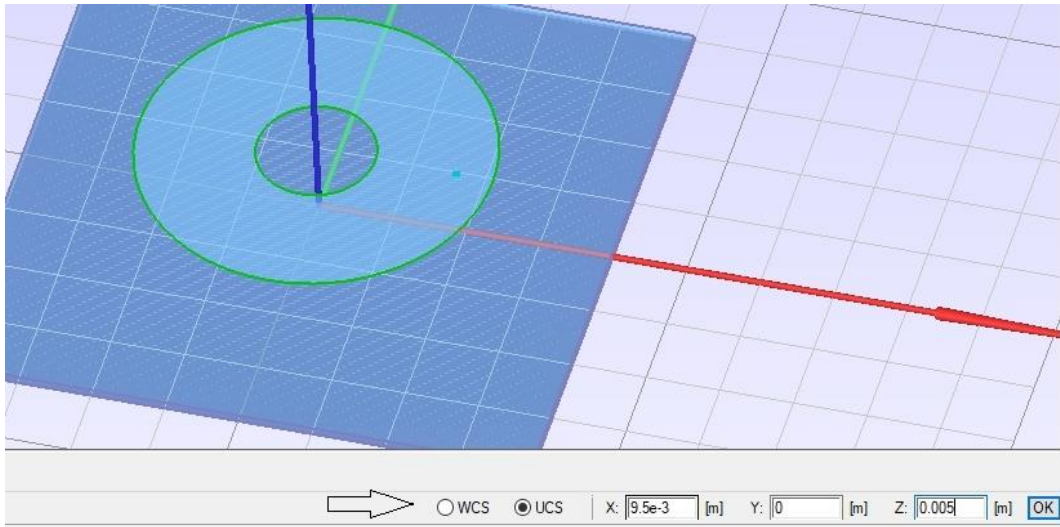
รูปที่ 65 การออกแบบแพทช์รูปทรงวงแหวน

เมื่อทำการออกแบบวงกลมสองวงได้แล้วให้ทำการเชื่อมให้เป็นรูปทรงวงแหวนโดยที่เลือก Create เลือก Surface แล้วเลือกที่ Boundary Surface จาก Main menu



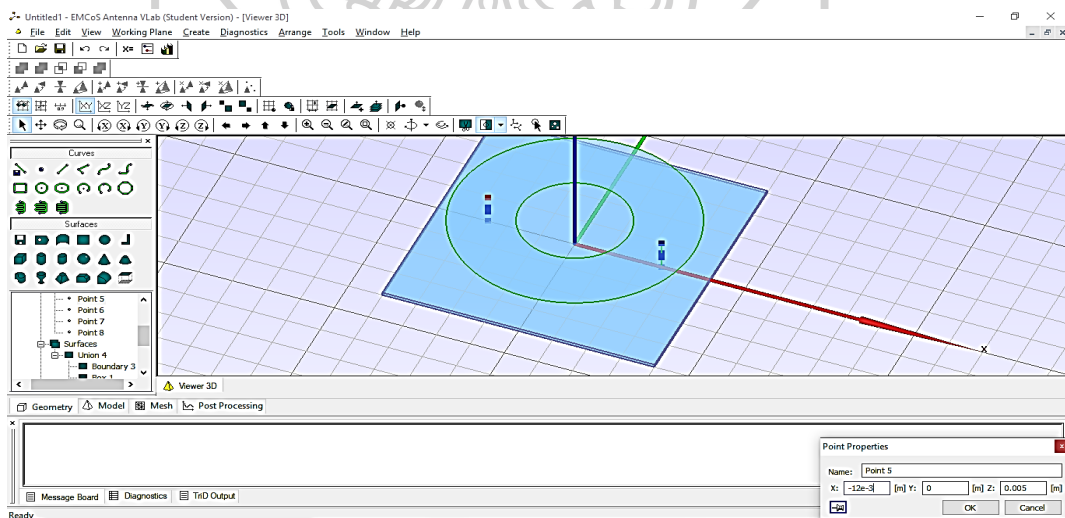
รูปที่ 66 ขั้นตอนการเชื่อมวงกลมสองวงเข้าด้วยกัน

6) ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทำจุดพืดเพื่อป้อนพลังงานโดยเลือกที่ Create เลือก Point จาก Main menu หลังจากนั้นให้ตั้งค่าทั้งหมด4จุดดังนี้ จุดที่ 1 $x = 9.5$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.005$ มิลลิเมตร จุดที่ 2 $x = 9.5$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.003$ มิลลิเมตร จุดที่ 3 $x = 9.5$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.002$ มิลลิเมตร จุดที่ 4 $x = 9.5$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.000$ มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 67



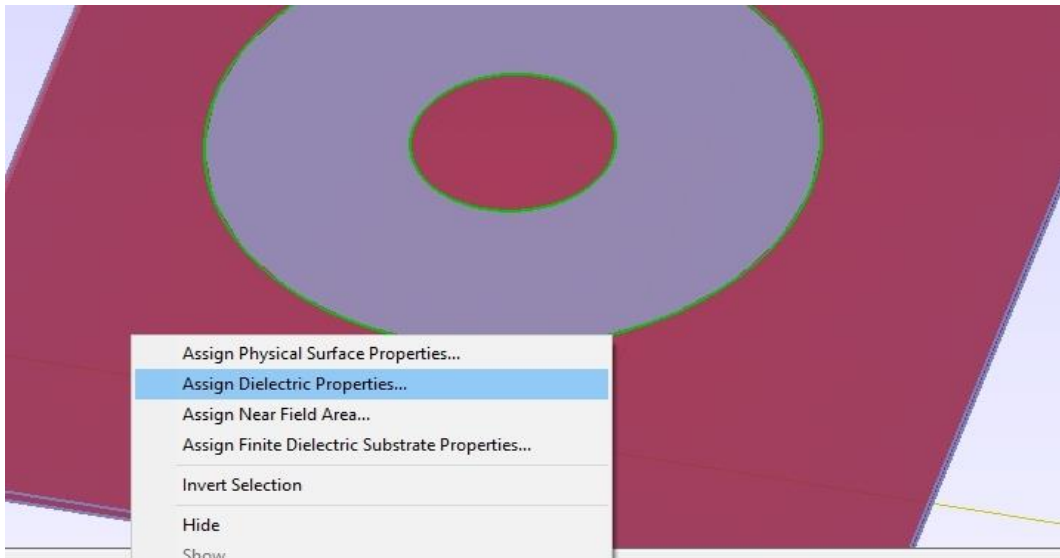
รูปที่ 67 การออกแบบจุดพีด

ซึ่งในการทำจุดขาลัดวงจร (Short-pin) จะทำในลักษณะเดียวกันคือเลือกที่ Create เลือก Point จาก Main menu ให้ตั้งค่าทั้งหมด4จุดดังนี้ จุดที่ 1 $x = -10.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$, $z = 0.005$ มิลลิเมตร จุดที่ 2 $x = -10.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.003$ มิลลิเมตร จุดที่ 3 $x = -10.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.002$ มิลลิเมตร จุดที่ 4 $x = -10.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = h1$ มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 68

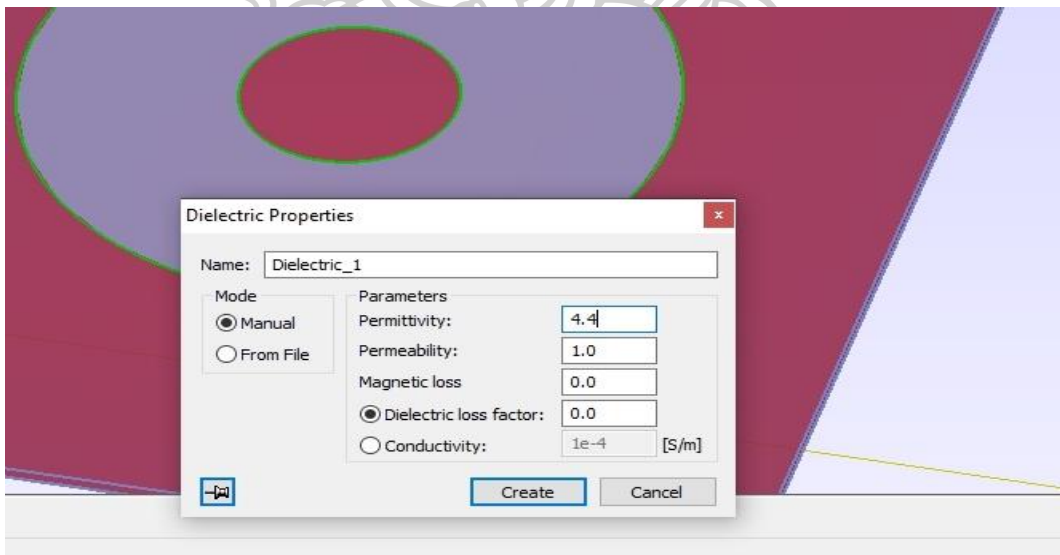


รูปที่ 68 การทำจุดขาลัดวงจร (Short-pin)

7) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตั้งค่าไดอิเล็กทริกซับสเตรทโดยมีขั้นตอนการทำคือ กดคลิกขวาที่พื้นผิวของซับสเตรท แล้วเลือก Assign Dielectric Properties ดังรูปที่ 69 และ 70 ตามลำดับ

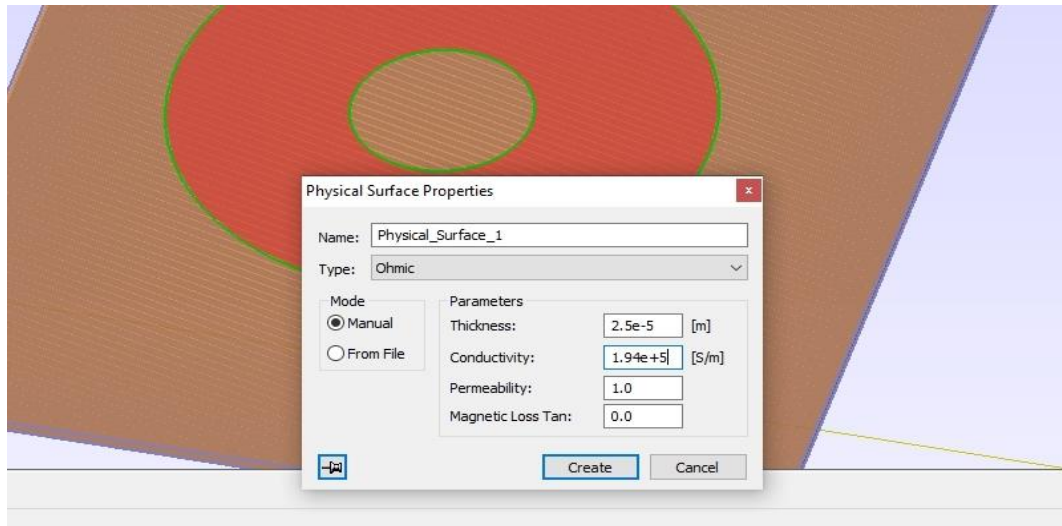


รูปที่ 69 ขั้นตอนการตั้งค่าไดอิเล็กทริกซับสเตรท



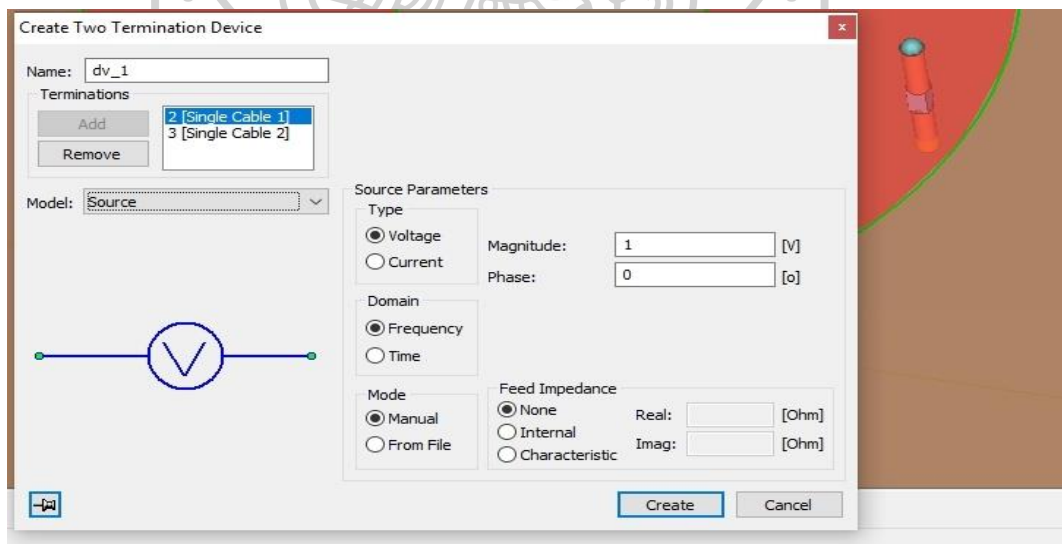
รูปที่ 70 การตั้งค่าไดอิเล็กทริกซับสเตรท

8) การตั้งค่าวัสดุของแพทช์และระนาบกราวด์โดยกด Ctrl+Shift+Tab แล้วกดที่พื้นผิวของแพทช์และระนาบกราวด์ดังในรูปที่ 71



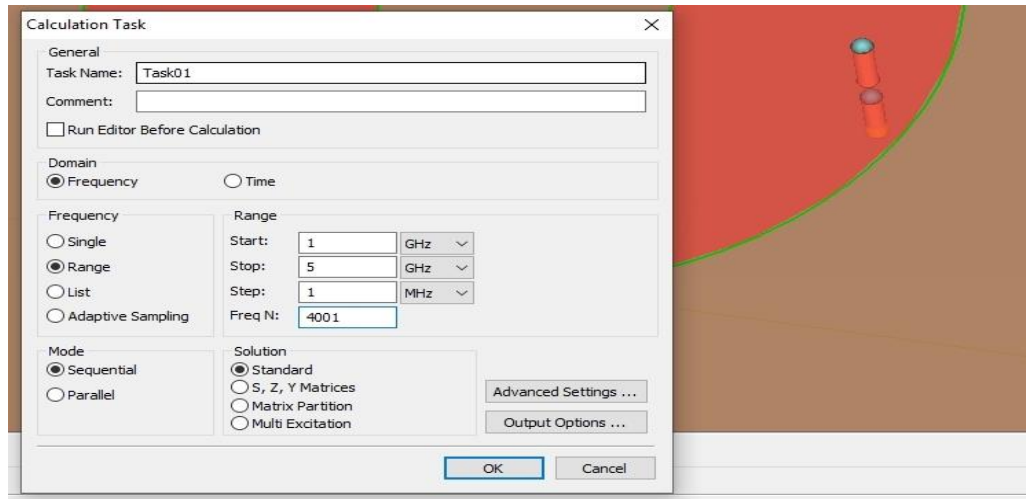
รูปที่ 71 การตั้งค่าวัสดุที่ใช้ในแพทช์และระนาบกราวด์

9) ขั้นตอนนี้จะเป็นการป้อนพลังงานที่จุดพีคโดยเลือกที่ “Create” เลือก “Devices” เลือก “Two termination Device” จาก “Main menu”



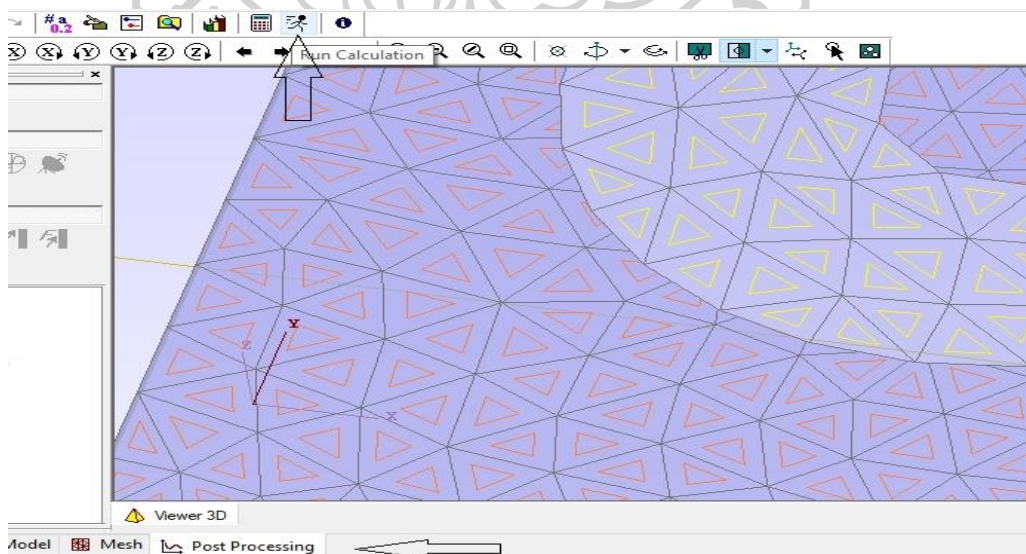
รูปที่ 72 หน้าการแสดงการป้อนอินพุตแรงดันและกระแส

10) ช่วงความถี่ของการจำลองสามารถกำหนดได้โดยเลือกที่ Calculation เลือก Task จาก Main menu ดังในรูปที่ 73



รูปที่ 73 หน้าต่างการคำนวณจะระบุช่วงความถี่ของการจำลองโดยการจำลองนี้จะตั้งค่าช่วงความถี่ที่ 1 GHz ถึง 5 GHz

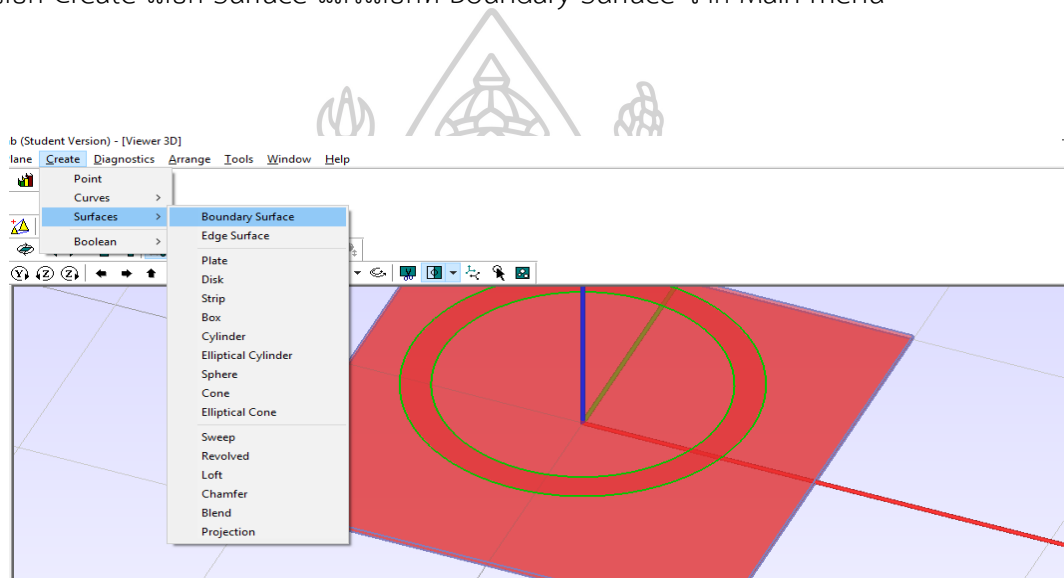
11) เมื่อทำการตั้งค่าช่วงความถี่เสร็จให้เลือกที่ Calculation เลือก Run จาก Main menu เมื่อทำการกดปุ่มโปรแกรมจะเริ่มการคำนวณเพื่อทำการจำลองการทำงานของสายอากาศ ดังในรูปที่ 74



รูปที่ 74 หน้าต่างการกดปุ่มคำนวณเพื่อทำการจำลองการทำงานของสายอากาศ

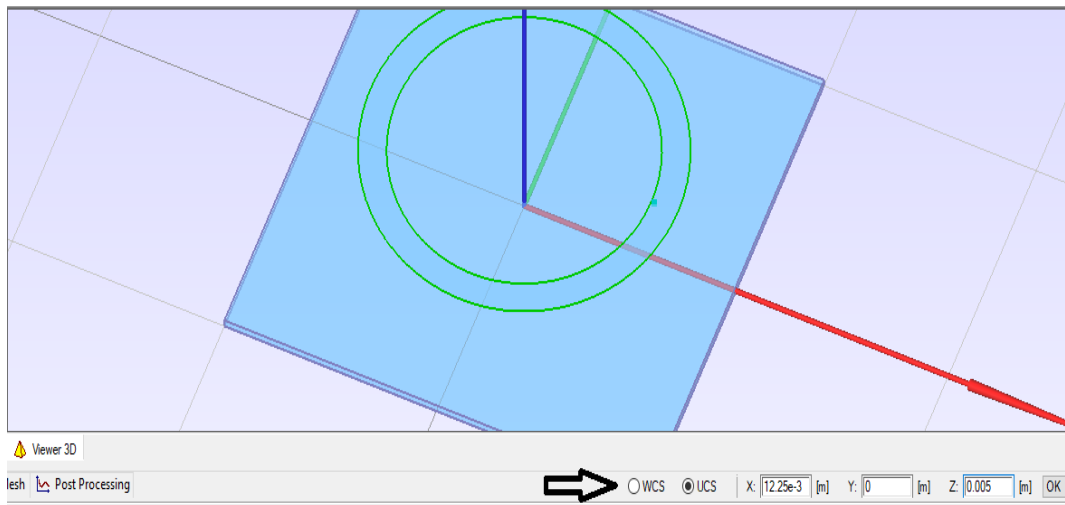
ในส่วนขั้นตอนต่อไปจะเป็นวิธีการออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่คือ 2.4 GHz และ 5.3 GHz ซึ่งจะมีขั้นตอนคล้ายคลึงกับการออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่เดียว โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

12) ในการทำสายอากาศสำหรับสองย่านความถี่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 จะทำในลักษณะแบบเดียวกันหลังจากนั้นใส่ขนาดของวงรอบนอก 14.5 มิลลิเมตร และขนาดของวงแหวนรอบใน 12 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่ขั้นตอนนี้จะต้องทำสองรอบคือ ออกแบบวงกลมวงใน และวงกลมวงนอกดังใน เมื่อทำการออกแบบวงกลมสองวงได้แล้วให้ทำการเชื่อมให้เป็นรูปทรงวงแหวนโดยที่เลือก Create เลือก Surface แล้วเลือกที่ Boundary Surface จาก Main menu



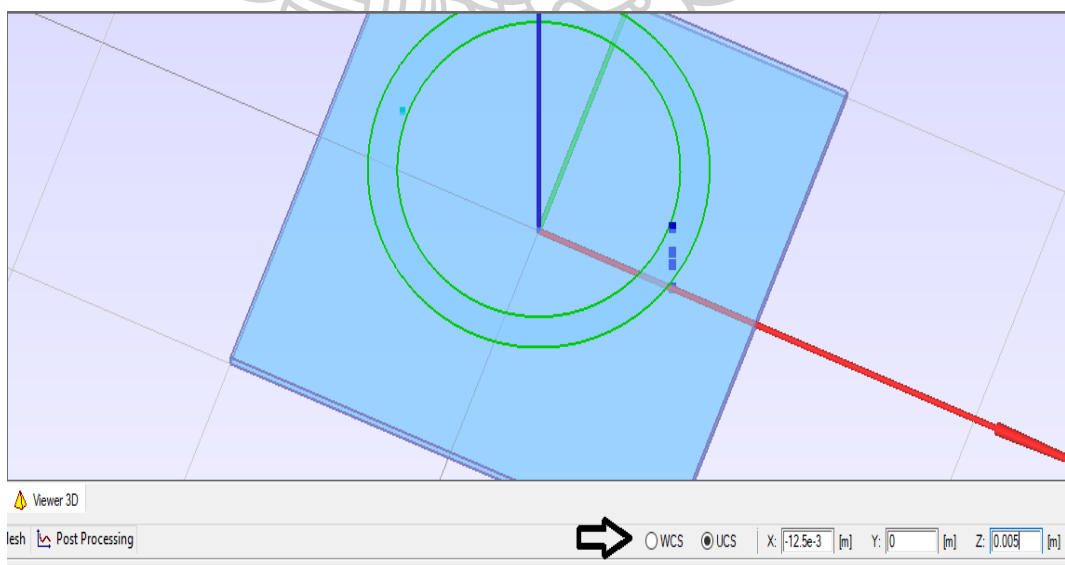
รูปที่ 75 ขั้นตอนการเชื่อมวงกลมสองวงเข้าด้วยกัน

13) ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทำจุดพีดเพื่อป้อนพลังงานโดยเลือกที่ Create เลือก Point จาก Main menu หลังจากนั้นให้ตั้งค่าทั้งหมด4จุดดังนี้ จุดที่ 1 $x = 12.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.005$ มิลลิเมตร จุดที่ 2 $x = 12.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.003$ มิลลิเมตร จุดที่ 3 $x = 12.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.002$ มิลลิเมตร จุดที่ 4 $x = 12.25$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.000$ มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 76



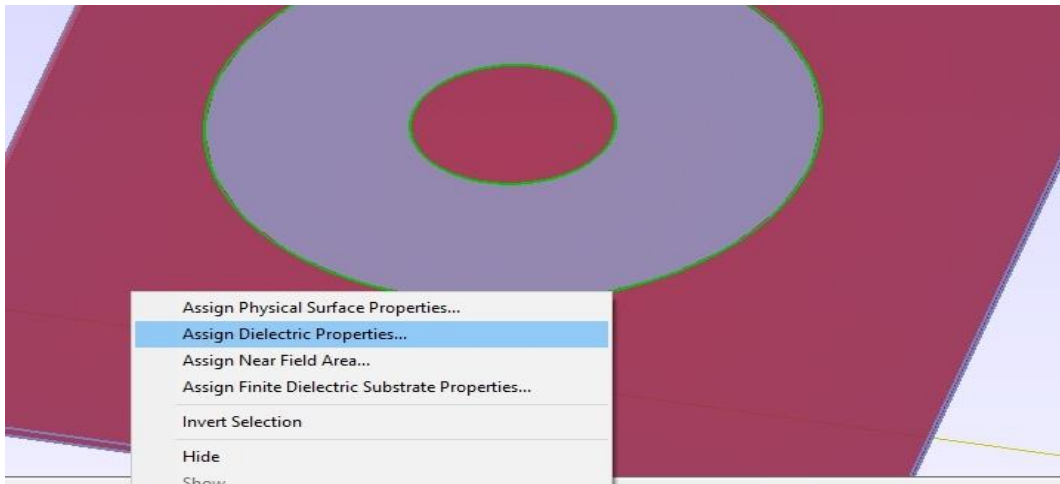
รูปที่ 76 การออกแบบจุดพืด

ซึ่งในการทำจุดขาลัดวงจร (Short-pin) จะทำในลักษณะเดียวกันคือเลือกที่ Create เลือก Point จาก Main menu ให้ตั้งค่าทั้งหมด4จุดดังนี้ จุดที่ 1 $x = -12.50$ มิลลิเมตร, $y = 0$, $z = 0.005$ จุดที่ 2 $x = -12.50$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.003$ มิลลิเมตร จุดที่ 3 $x = -12.50$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = 0.002$ มิลลิเมตร จุดที่ 4 $x = -12.50$ มิลลิเมตร, $y = 0$ มิลลิเมตร, $z = h1$ มิลลิเมตร ดังในรูปที่ 77

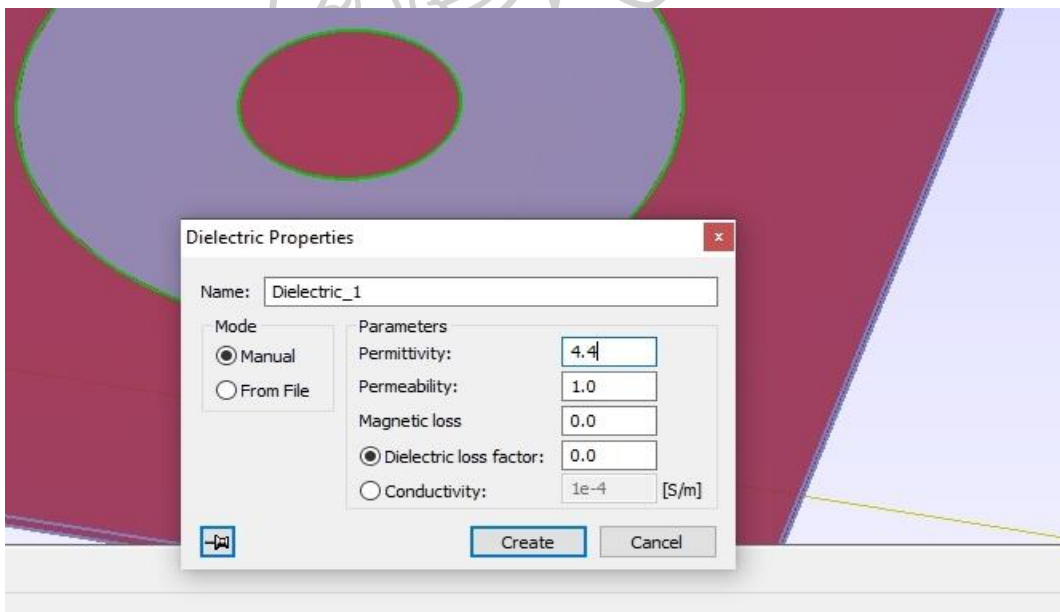


รูปที่ 77 การทำจุดขาลัดวงจร (Short-pin)

14) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตั้งค่าไดอิเล็กทริกซับสเตรทโดยมีขั้นตอนการทำคือ กดคลิกขวาที่พื้นผิวของซับสเตรท แล้วเลือก Assign Dielectric Properties ดังรูปที่ 78 และ 79 ตามลำดับ

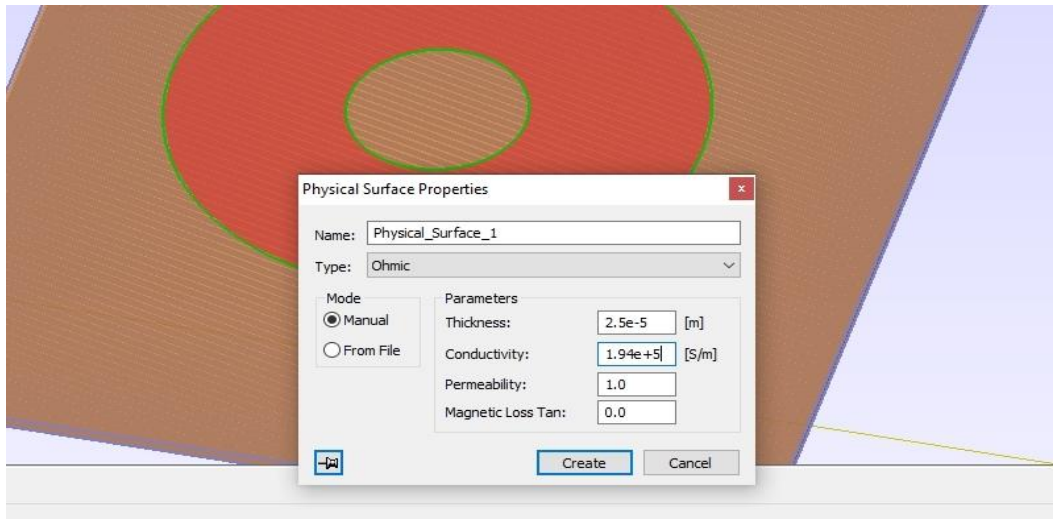


รูปที่ 78 ขั้นตอนการตั้งค่าไดอิเล็กทริกซับสเตรท



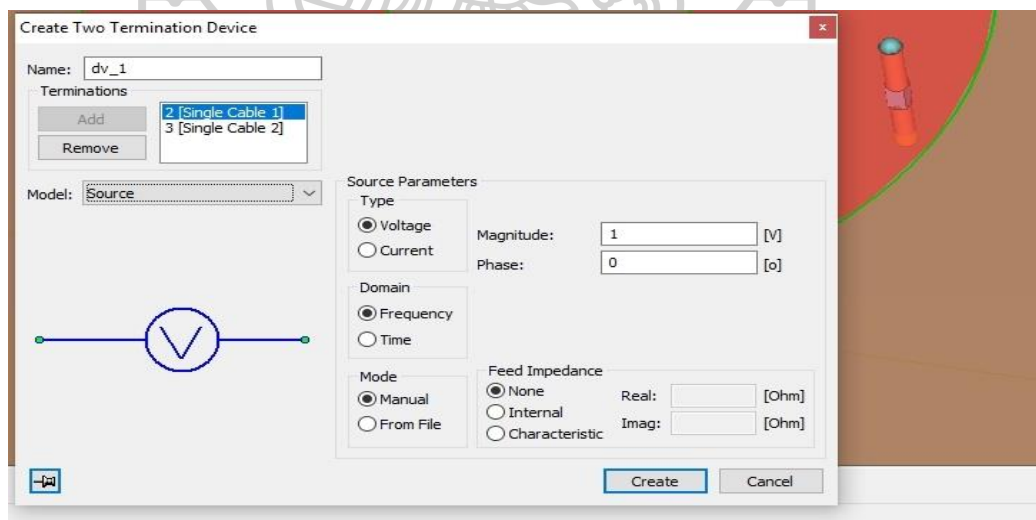
รูปที่ 79 การตั้งค่าไดอิเล็กทริกซับสเตรท

15) การตั้งค่าวัสดุของแพทช์และระนาบกราวด์โดยกด Ctrl+Shift+Tab แล้วกดที่พื้นผิวของแพทช์และระนาบกราวด์ดังในรูปที่ 80



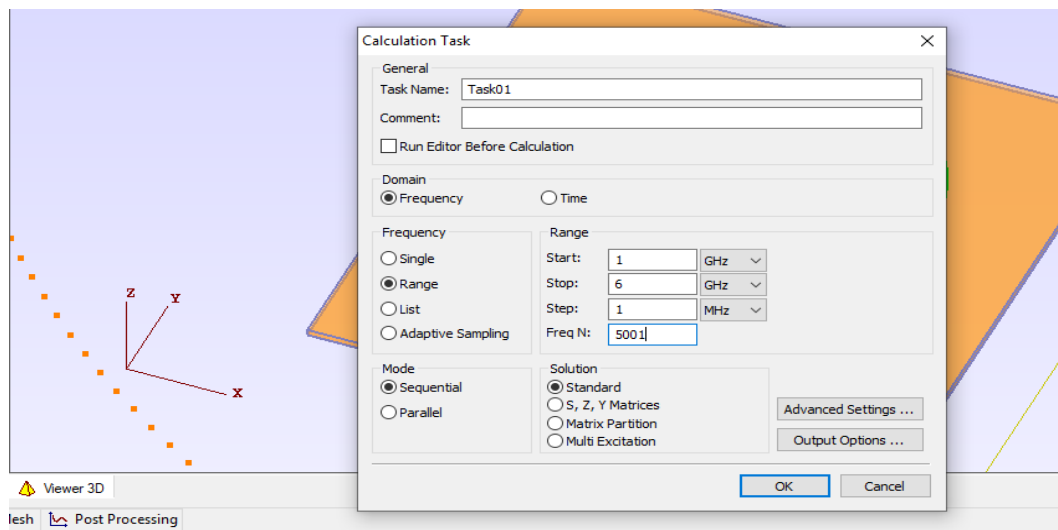
รูปที่ 80 การตั้งค่าวัสดุที่ใช้ในแพทช์และระนาบกราวด์

16) ขั้นตอนนี้จะเป็นการป้อนพลังงานที่จุดพีดโดยเลือกที่ “Create” เลือก “Devices” เลือก “Two termination Device” จาก “Main menu”



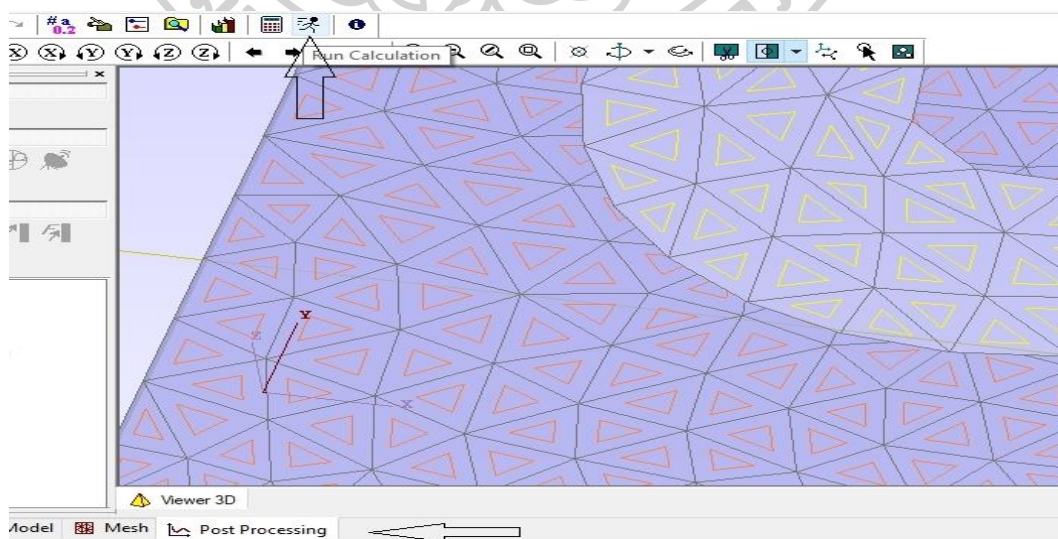
รูปที่ 81 หน้าการแสดงการป้อนอินพุตแรงดันและกระแส

17) ช่วงความถี่ของการจำลองสามารถกำหนดได้โดยเลือกที่ Calculation เลือก Task จาก Main menu ดังในรูปที่ 82



รูปที่ 82 หน้าต่างการคำนวณจะระบุช่วงความถี่ของการจำลองโดยการจำลองนี้จะตั้งค่าช่วงความถี่ที่ 1 GHz ถึง 6 GHz

18) เมื่อทำการตั้งค่าช่วงความถี่เสร็จให้เลือกที่ Calculation เลือก Run จาก Main menu เมื่อทำการกดปุ่มโปรแกรมจะเริ่มการคำนวณเพื่อทำการจำลองการทำงานของสายอากาศ ดังในรูปที่ 83



รูปที่ 83 หน้าต่างการกดปุ่มคำนวณเพื่อทำการจำลองการทำงานของสายอากาศ



การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

P. Phonkitiphan, R. Kaewon, K. Pancharoen, P. Silapan, and R. Chitaree “Design of Graphene Annular Ring Microstrip Antenna using Short-pin Technique for 2.4 GHz Bands” International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications (IJEETC, ISSN: 2319-2518), vol. 8, no. 5, pp. 1-4. Sept. 2019, (ฐานข้อมูล Scopus)

P. Phonkitiphan, R. Kaewon, K. Pancharoen, P. Silapan, and O. Watcharakitchakorn. "Design of Graphene-Based Annular Ring Microstrip Antenna Using Short-Pin Technique for Dual Band Applications" International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications (IJEETC, ISSN: 2319-2518), March 5, 2020, (ฐานข้อมูล Scopus)



Design of Graphene Annular Ring Microstrip Antenna using Short-pin Technique for 2.4 GHz Bands

P. Phonkitiphan¹, R. Kaewon¹, K. Pancharoen¹, P. Silapan¹, and R. Chitaree²

¹ Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakornpathom 73000, Thailand.

² Dept. of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

Email: phonkitiphan_p@su.ac.th; kaewon_r@su.ac.th; pancharoen_k@su.ac.th; silapan_p@su.ac.th; rachapak.chi@mahidol.ac.th

Abstract—This paper presents a design of a compact annular ring microstrip antenna using a modified graphene material with short-pin technique. The antenna design uses graphene material in parts of patch and ground plane of an annular ring antenna. The form factor of the antenna is designed for 2.4 GHz bands by adjusting the outer and inner radius using the short-pin technique to evaluate the resonant frequency. The simulation considers the return loss and directional radiation pattern in the feasibility analysis. The simulation results show that the form factor of the antenna in the proposed model can be adjusted to support 2.4 GHz bands with the return loss at -54.07 dB which is potentially feasible for various applications such as mobile phone, bluetooth, and radar in wireless communication devices

Index terms—Annular ring microstrip antenna, directional radiation pattern, short-pin technique, return loss, voltage standing wave ratio.

I. INTRODUCTION

The antenna is an important part of wireless communication system for transmitting and receiving data in free space, which can be generally divided into three types: (a) slot antennas used in a high-frequency bands from 2 GHz to 24 GHz; (b) coil or wire antennas used in a frequency range between KHz-MHz; and (c) microstrip antennas used widely in a range between 1 GHz to 6 GHz [1], [2]. The design of the microstrip antenna can achieve a selective frequency band with low manufacturing costs, lightweight, and compact size. Graphene material is frequently chosen in the design instead of copper due to its structural properties. The structure of graphene material is a two-dimensional plane consisting of carbon atoms organized in a honeycomb lattice [3]. This

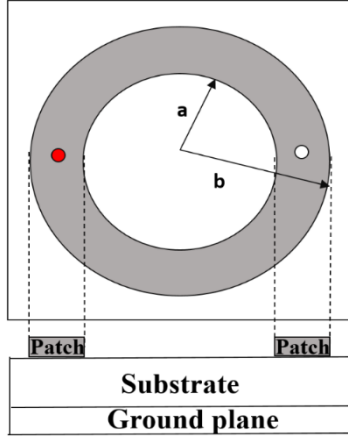
structural property can be utilized to fabricate a very thin material which is stronger than steel around 100-300 times [4]. Graphene materials has also been integrated in the antenna design to counter problems found when using copper in the fabrication of antenna structure. Copper plate is often subjected to repetitive bending which will fatigue and break the copper [5]. Moreover, the antennas fabricated by copper material are relatively large size around 60×60 mm² and still have high return loss (S_{11}) about -20 to -30 dB, and high voltage standing wave ratio (VSWR) about 1 [6]-[12]. Then, graphene material has been proposed in many recent works to replace copper material. For example, works by Abdullah *et al.* presented the structure of multilayer graphene for patch antenna to reduce the resistance of the metal and improve the electric conductivity of the antenna [13]. Works by Fugto *et al.* [4] presented the patch microstrip antenna using graphene materials instead of copper for biomedical devices due to its high electric conductivity and no effect on human health. Works by Sajal *et al.* [5] also presented the suitability of graphene material in the design of microstrip antenna as same as works by Song *et al.* [14]. The properties of graphene material, i.e. high stability and good flexibility, produce the better return loss and high gain value compared with copper antenna. Moreover, its light weight and flexibility would protect the antenna from being broken.

In this paper, we design the compact annular-ring microstrip antenna by using graphene material and investigate the frequency band of the antenna by varying the form factor.

The short-pin technique has been applied for the optimization of the selective frequency. The design using EMCoS software is presented including a comprehensive simulation to demonstrate an improvement in performance of the antenna.

II. ANTENNA DESIGN

The schematic of annular ring microstrip antenna is illustrated in Fig. 1. The graphene microstrip antenna consists of ring-shaped patch, ground plane, and FR-4 substrate. The conductivity of graphene is $\sigma = 1.94 \times 10^5$ S/m for a thickness of $25 \mu\text{m}$. The substrate is placed between patch and ground plane. The FR-4 substrate used in this work has a relative permittivity, ϵ_r of 4.4 and a loss tangent of 0.02. The thickness of the dielectric substrate, t , is 0.5 mm.



○ Feed point position ● Short-pin position

Fig. 1. Schematic of graphene annular ring microstrip antenna.

This annular ring microstrip antenna is designed to operate at the resonant frequency, f_r , of 2.4 GHz and support TM_{21} mode. Higher order modes of TM_{21} for the antenna have enhanced more radiation and bandwidth [15], [16]. The inner radius, a , of the antenna can be expressed as

$$a = \frac{3 \times 10^8 \times \lambda_{21}}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} + \frac{3t}{4} \quad (1)$$

where λ_{21} represents 3.2825 for specific case representing for TM_{21} mode of an annular ring characteristic equation [12], [17]. The outer radius b of this antenna is given by

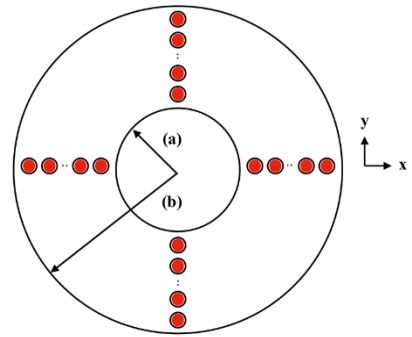
$$b = 2a \quad (2)$$

The inner and outer radius of the antenna calculated from (1) and (2) are 31.13 mm and 62.26 mm, respectively. The antenna size calculated by these parameters is quite large about $130 \times 130 \times 5 \text{ mm}^3$. To achieve a compact size antenna with the resonant frequency of 2.4 GHz, the inner and outer radius are varied up to 10 mm and 15 mm, respectively, by using short-pin technique described in the next section.

III. SIMULATION AND DISCUSSION

In this section, the physically size of the antenna is reduced to the desired size which has the inner and outer radius of up to 10 mm and 15 mm, respectively. To operate at the resonant frequency of 2.4 GHz, the antenna is optimized by using EMCoS Antenna VLab software (EMCoS Ltd., Tbilisi, Georgia). The scattering parameter return loss (S_{11}) simulated by EMCoS is observed for performance of the power wave of the antenna, i.e. the reflection power returning from the port 1 received by the antenna port. The standard of S_{11} is required to be close to -10 dB or lower [5]. The feeding position is varied along x -axis and y -axis as shown in Fig. 2. The distance between each point is 0.25 mm.

According to Fig. 3, the minimum amount of S_{11} obtained when the feed location (f) is at 10.25 mm away from the origin. Its resonant frequency is at 4.5 GHz which does not meet the expected frequency of 2.4 GHz.



○ Feed point position ● Short pin position

Fig. 2. Diagram of feed points and short-pin positions on graphene patch antenna.

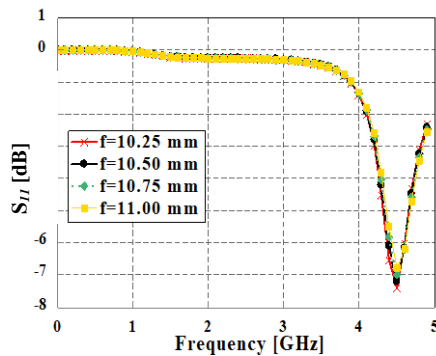


Fig. 3. Return loss of each feeding positions.

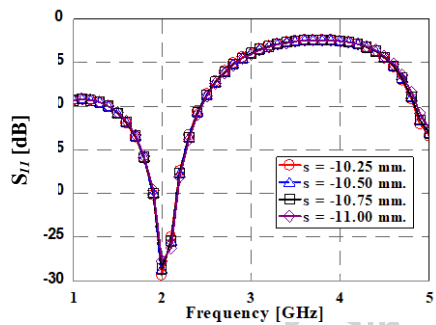


Fig. 4. Return loss of each short-pin positions with the fixed feed point of 10.25 mm.

The short-pin technique has been applied for tuning the resonant frequency to meet 2.4 GHz [18]-[20]. Firstly, the feed point is fixed at 10.25 mm, the short-pin position (s) is varied along x -axis and y -axis as shown in Fig. 2. The simulation results in Fig. 4 show that the minimum amount of S_{11} obtained when the short-pin position is at -10.25 mm.

Secondly, the inner radius is adjusted by fixing the outer radius, the feed points and short-pin positions at 15 mm, 10.25 mm and -10.25 mm, respectively. Fig. 5 shows that the inner radius (a) with the minimum amount of S_{11} is at 4 mm. Next, the outer radius is adjusted to meet the expected resonant frequency. The results are in Fig. 6.

According to Fig. 6, the resonant frequency of 2.4 GHz can be achieved by adjusting the outer radius = 11.5 mm, the inner radius = 4 mm, the feed point = 10.25 mm, and the short-pin positions = -10.25 mm. Its return loss is about -35 dB which is still not a minimum value.

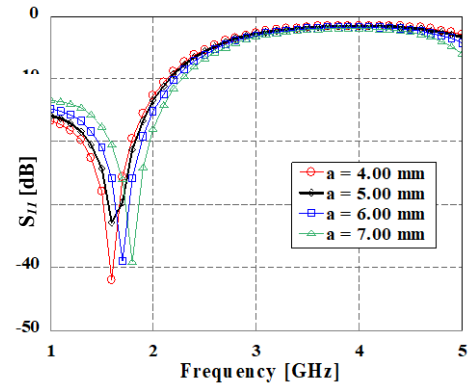


Fig. 5. Return loss of each inner radius (the outer radius = 15 mm, the feed point = 10.25 mm, the short-pin position = -10.25 mm).

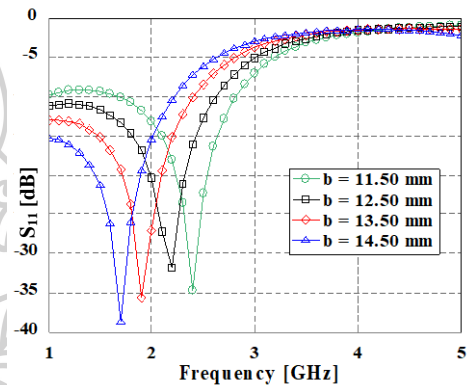


Fig. 6. Return loss of each outer radius (the inner radius = 4 mm, the feed point = 10.25 mm, the short-pin position = -10.25 mm).

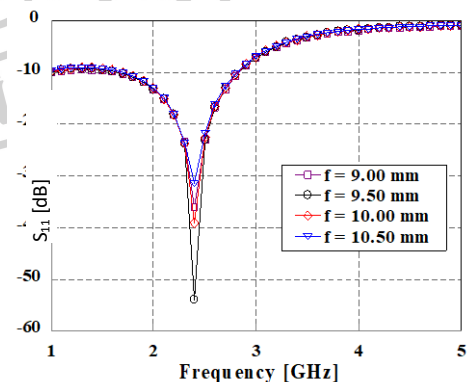


Fig. 7. Return loss of each feed points (the inner radius = 4 mm, the outer radius = 11.5 mm, the short-pin positions = -10.25 mm).

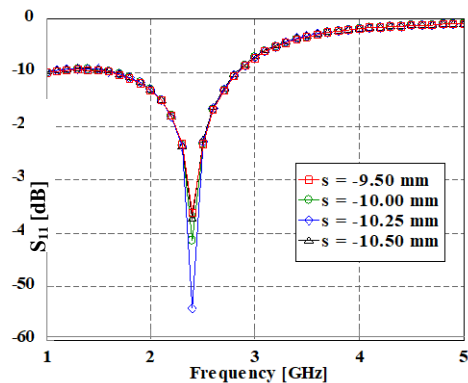


Fig. 8. Return loss of each short-pin positions (the inner radius = 4 mm, the outer radius = 11.5 mm, the feed position = 9.5 mm).

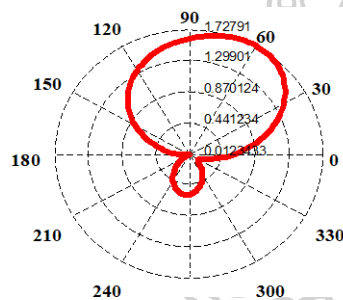


Fig. 9. Directional radiation pattern.

TABLE I. SUMMARY OF THE ANNULAR RING MICROSTRIP ANTENNAS.

The research	Parameters		
	S_{11} (dB)	Resonant frequency (GHz)	Size (mm ³)
This work	-54.07	2.4	40×40×5
Baek <i>et al.</i> [6]	-31.73	2.68	60×60×0.787
Sharma <i>et al.</i> [10]	-33	2.4	24×33×1.6
Gan <i>et al.</i> [11]	-20.96/-12.823	2.45/5.3	160×160×0.8

To minimize the return loss, the feed and short-pin positions are adjusted. The feed point is varied first with the fixed short pin position of -10.25 mm. Fig. 7 shows that the minimum

return loss of -54.07 dB obtained when the feed position is at 9.5 mm.

Next, the short-pin position is varied with the fixed feed point of 9.5 mm. Fig. 8 shows that the minimum return loss of -54.07 dB obtained when the short-pin position is at -10.25 mm.

According to the simulation results, the optimized parameters are the inner radius of 4 mm, the outer radius of 11.5 mm, the feed position of 9.5 mm, and the short-pin position of -10.25 mm. The form factor of the proposed antenna can be adjusted to support 2.4 GHz bands with the return loss at -54.07 dB. The directivity result of the antenna is a directional pattern as shown in Fig. 9.

The variation of the outer radius, the inner radius, the feed point, and the short-pin position has an influence on the amount of S_{11} parameter and the operating frequency of the antenna. The designed antenna in this work is compared with other works as shown in Table I.

According to Table I, this work shows the lowest value of the return loss S_{11} of -54.07 dB which is in an acceptable range for sending the information in wireless bands and mobile applications. The form factor of the antenna can be optimized using short-pin technique to meet the required frequency of 2.4 GHz with the compact size of 40×40×5 mm³ obtained.

IV. CONCLUSION

The design of graphene annular-ring microstrip antenna was studied in this work. The designed antenna has an inner and outer ring of 4 mm and 11.5 mm respectively, giving a compact size of 40×40 mm². The operating range of frequency covers 1.6 GHz to 2.83 GHz with the minimum return loss of -54.07 dB. Tuning the resonant frequency of the antenna by using the feed point and short-pin technique provides an effective solution for 2.4 GHz bands. This work can be developed using the short-pin technique to be a dual band antenna operated at 2.4 GHz and 5.2 GHz, respectively.

ACKNOWLEDGMENT

Thanks to the student license program of EMCoS Antenna VLab supported by EMCoS Ltd., Tbilisi, Georgia. The authors would like to thank Lect. Pornchai Pliamsup from Silpakorn University, and Prof. Atsushi Saito from Yamagata University for their time and advice. I would also like to thanks Silpakorn University Research, Innovation and Creative Fund for scholarship.

REFERENCES

- [1] P. J. Bevelacqua, "Antenna array: Performance limits and geometry optimization," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Arizona State University, 2008, 158 pages; 33006661
- [2] C. Fung, "Basic antenna Theory and Application," B.S. thesis, Dept. Electrical and Computer, Eng., Worcester Polytechnic Institute., Worcester, MA, 2011.
- [3] B. Wu and Y. Hao, "Material region division and antenna application of monolayer and multilayer graphene," in *Proc. The 8th European Conf. on Antennas and Propagation*, 2014, pp. 497-498.
- [4] N. Fugto, R. Kaewon and S. Sirivisoot, "A Comparison of Various Patch Sizes and Feed Point Positions of Graphene Microstrip Antenna for Orthopedic Implants," presented at 2015 Biomedical Engineering International Conference, 2015.
- [5] S. Z. Sajal, B. D. Braaten and V. R. Marinov, "A microstrip patch antenna manufactured with flexible graphene-based conducting material," in *Proc. of IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015, pp. 2415-2416.
- [6] S. H. Baek, B. Lee and F. J. Harackiewicz, "Modified aperture coupling annular-ring antenna fed by stripline," in *Proc. of IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, 2007, pp. 3680 – 3683.
- [7] V. Asokan, S. Thilagam and K. Vinoth Kumar, "Design and analysis of microstrip patch antenna for 2.4 GHz ISM band and WLAN application," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Electronics and Communication Systems*, 2015, pp. 1114-1118.
- [8] P. K. Sharma, R. Saraswat and N. Rai, "Performance comparison of square shaped and annular ring microstrip patch antenna," in *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology*, 2017, pp. 178-183.
- [9] C. Hannachi and S. V. Tatu, "Performance comparison of 60 GHz printed patch antennas with different geometrical shapes using miniature hybrid microwave integrated circuits technology," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 11, no. 1, pp. 106-112, Aug 2017.
- [10] S. Sharma and D. Sombanshi, "Annular-ring slotted microstrip patch antenna for ISM band applications," presented at Int. Conf. on Computer, Communication and Control, 2015.
- [11] B. H. Gan, L. Zhou, Y.P. Zhang, H. H. Zhou and J. F. Mao, "Design of a dual-band microstrip antenna using slotted annular-ring and concentric disk," in *Proc. of IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015, pp. 1886-1887.
- [12] S.M. Rathod, P. Jadhav, R.N. Awale, K.P. Ray and S.S. Kakatkar, "Low profile hexagonal ring patch antenna for biomedical application," in *Proc. Int. Conf. on Computing Communication Control and automation*, 2016.
- [13] N. Abdullah, N. M. Jizat, S. K. A. Rahim, M. I. Sabran and M. Zaman, "Investigation on graphene based multilayer thin film patch antenna," presented at the 10th European Conf. on Antennas and Propagation, 2016.
- [14] R. Song, C. Liu, J. Zhang, C. Liu, D. He and Z. Wu, "Flexible graphene based films for microstrip array antennas," presented at Sixth Asia-Pacific Conf. on Antennas and Propagation, 2016.
- [15] J. C. Batchelor and R. J. Langley, "Microstrip ring antennas operating at higher order modes for mobile communications," *IEE Proceedings – Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 142, no. 2, pp. 151-155, Apr. 1995.
- [16] S. E. El-khamy, R. M. El-Awadi, and E. B. A. El-Sharawy, "Simple analysis and design of annular ring microstrip antenna," *IEE Proceedings H – Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 133, no. 3, pp. 198-202, June 1986.
- [17] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1997.
- [18] Z. Qi and C. Chang, "Analysis of microstrip antennas loaded with shorting-pin," in *Proc. IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, 2005, vol. 3A, pp. 138-141.
- [19] X. Zhang and L. Zhu, "An impedance-agile microstrip patch antenna with loading of a shorting pin," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, Nanjing, .
- [20] W. Cao, B. Zhang, H. Li, T. Yu and A. Liu, "A broadband microstrip dipole antenna loaded with shorted pin," in *Proc. of Int. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology*, 2010, pp. 1035-1037.



P. Phonkitiphan was born in 15 June 1994, Udonthani, Thailand. I received a B.E. in Electrical Engineering Silpakorn University, Nakornpathom, Thailand in 2016. Currently, I am studying in master degree at the Department of Electrical and Computer Engineering, Silpakorn University, Nakornpathom, Thailand since 2017. My research interest is antenna engineering.



R. Kaewon received his B.E. in Telecommunication Engineering from King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, in 2005, and his M.E. in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok, Thailand, in 2008. His research interests include antenna engineering, optical instrumentation.

Currently, he is an Assistant professor in the Department of Electrical Engineering at Silpakorn University, Nakornpathom, Thailand.



K. Pancharoen obtained her BE from Thammasat University, Thailand, in 2008, and MSc in Microelectromechanical Systems from University of Southampton, UK, in 2013, and Ph.D. in Electronics and Electrical Engineering from University of Southampton UK, in 2018. She is currently a lecturer in the department of Electrical Engineering at

Silpakorn University, Thailand. Her research interests include energy harvesting and sensors systems.



P. Silapan received a B.E. in Electrical Engineering from Mahanakorn University of Technology Thailand, in 2002, and M.S.Ind.Ed. from King Mongkut's Institute of Technology, Thailand, in 2005, and Ph.D. in electrical engineering education from King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok, Thailand, in 2010.

Currently, he works as a lecturer in the department of Electrical Engineering at Silpakorn University, Thailand.



R. Chitaree received a B.Sc. in Physics from Mahidol University, in 1990 and his Ph.D. in electrical engineering (measurement and instrument) from City University London, London, UK, in 1994. His research interests include optical instrumentation, techniques,

measurement, and optical interferometry.

Design of Graphene-Based Annular Ring Microstrip Antenna Using Short-Pin Technique for Dual Band Applications

P. Phonkitiphan, R. Kaewon, K. Pancharoen, P. Silapan, and O. Watcharakitchakorn
 Silpakorn University, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Department of Electrical Engineering,
 6 Rajamankha Nai Rd, Nakornpathom 73000, Thailand
 Email: phonkitiphan_p@su.ac.th; kaewon_r@su.ac.th; pancharoen_k@su.ac.th;
 silapan_p@su.ac.th; watcharakitchak_o@su.ac.th

Abstract—In this paper, the design process of an annular ring microstrip antenna using graphene material for dual-band applications is proposed. The microstrip antenna is modified using graphene-based annular ring microstrip layers for patch and ground plane with FR-4 epoxy substrate in between and simulated by the EMCoS software. The design process applied the short-pin technique for the estimation of the return loss, which leads to the analysis of the resonant frequency and the dual-band directions. The evaluation shows the acceptable performance in the frequency range of two resonant positions with the return loss of -29.33 dB at 2.4 GHz in ISM-band and the return loss of -39.49 dB at 5.3 GHz in C-band. However, the modified antenna offers several advantages such as low profile, low cost and small size (40 x 40 mm²).

Index terms—dual-band, annular ring microstrip antenna, short-pin technique, return loss.

I. INTRODUCTION

Microstrip antennas are essential parts of wireless communication applications [1]. There are lots of benefits such as inexpensive, lightweight, small size, and easy to design [2]-[4]. The structure of the microstrip antenna can be arranged into three layers. It consists of patch and ground planes which are divided by dielectric substrate [5], [6]. The microstrip antenna comes in many different shapes such as square, triangular, circular, elliptical, rectangular, annular ring, etc [7]. Especially, the annular-ring shape receives much attention

from many researchers because its fundamental mode is smaller than the circular and rectangular shapes, which allows operation in TM₁₁ mode [8]. Nowadays, the annular-ring microstrip antenna is normally used for high bandwidth and the lower resonant frequency compared with other antennas [9]. According to these features, the major application of the annular-ring antenna is to deliver the information with compact size and low profile. The increased demand for multiband antennas due to the rapid growth of wireless communication leads to the development of the dual-band antenna which can operate with more than one frequency at a time. This is advantageous to many applications such as ISM-band applications and radar applications operating in S- and C-bands [10].

The dual-frequency microstrip antennas was first studied by Yan *et al.* They presented the microstrip antenna fed by a coaxial probe technique, which designed for wireless local area network (WLAN) and worldwide interoperability for microwave access (WiMAX) at the frequencies of 2.45 GHz and 5.25 GHz [2]. Later, Guo *et al.* [11] presented the selective dual-band circular microstrip shape using T-slot form to operate at the frequencies of 2.44 GHz and 5.5 GHz in ISM band and C-band applications. A compact dual-band microstrip antenna with a circular ring was

Manuscript received November 30, 2019; revised January 15, 2020; accepted March 5, 2020.

Corresponding author: R. Kaewon (email: kaewon_r@su.ac.th).

This research was financially supported by EMCoS Ltd., Tbilisi, Georgia as the student license program of EMCoS

Antenna VLab. The authors would like to thank Silpakorn University Research, Innovation and Creative Fund for scholarship.

also studied by Gan *et al.* aiming at the frequencies of 2.45 GHz and 5.3 GHz [12]. Another work by Katore *et al.* [13] developed the dual-band microstrip antenna for wireless applications in the frequencies of 2.4 GHz and 5.2 GHz. In addition, Chen *et al.* [14] simulated a dual-band patch antenna using an array method for wireless communications at 2.4 GHz and 5.8 GHz. As aforementioned, there are many alternative ways to build and tune the dual-band antenna. In this paper, the short-pin technique has been proposed.

The short-pin technique has been applied in many works since it can be easily used for tuning to the target frequency and increasing range of bandwidth [15-19]. The dual-frequency triangular microstrip antenna developed by Pan *et al.* [18] also used the short-pin technique tuning for the frequencies of 464 MHz and 2,276 MHz bands. Phonkitiphan *et al.* [19] offered the design of the graphene annular ring microstrip antenna by taking advantage of the short-pin modification to adjust the resonant frequency of the antenna to be 2.4 GHz.

Currently, graphene material has been studied and developed in many works since it is adaptable to numerous applications [20]. The basic structure of graphene material composes of two dimensions of carbon atoms in a honeycomb lattice, which possess great thermal conductivity, electric conductivity, mechanical properties and biocompatibility [21]-[24]. These properties are mainly beneficial for antenna applications. Therefore, the graphene material is normally employed in the microstrip patch antenna instead of copper because it can handle a repetitive warping deformation [22]. This is corresponding to the research performed by Xia *et al.* [23]. They mentioned that the graphene-based films have high conductivity compared with the copper material of the rectangular dielectric resonator antenna, which was suitable for RF devices. Works by Song *et al.* applied the graphene-based films for microstrip array antenna to design for RF antennas with a distinctive performance, low profile and high flexibility [24].

In this research, the design process of a graphene-based annular ring microstrip antenna for dual-band applications based on TM_{11} mode is presented. The short-pin technique has been

applied to adjust the antenna size and tune to an optimal frequency for the ISM band and C-band using the EMCoS software to simulate within the form factor design.

II. ANTENNA DESIGN

Fig.1 illustrates the structure of the graphene-based annular ring microstrip antenna. This design has been developed from previous work [19] for dual bands. Its structure consists of a patch and a ground plane with a substrate layer (FR-4) placed in between. The graphene material has been used for the layers of patch and ground planes, which has conductivity (σ) of 1.94×10^5 S/m. The thickness of each layer (t_g) is 25 μm .

The antenna size has been defined at 40 x 40 mm^2 [19]. The relative permittivity (ϵ_r) and thickness (t_{FR-4}) of FR-4 substrate are 4.4 and 0.5 mm, respectively, with the loss tangent at 0.02.

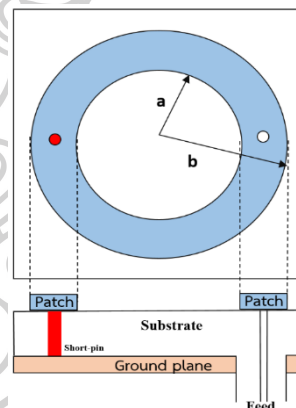


Fig. 1. Schematic of the graphene-based annular ring microstrip antenna.

The inner (a) and outer (b) radii of the antenna have been calculated along x-axis aiming to the first (f_{fr}) and second (f_{sr}) resonant frequencies at 2.4 GHz and 5.3 GHz, respectively. The constant property (K) and the inner radius (a) can be calculated by

$$K = \frac{8.791 \times 10^9}{f_{sr} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$a = \frac{K}{\left\{1 + \frac{2t_{FR-4}}{\pi \epsilon_r K} \left[\ln \left(\frac{\pi K}{2t_{FR-4}} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

The outer radius (b) is then given by

$$b = \frac{3 \times 10^8 \times \lambda_{11}}{2\pi f_{fr} \sqrt{\epsilon_r}} + \frac{3t_{FR-A}}{4} \quad (3)$$

where λ_{11} is equal to 1.841 in the case of TM_{11} mode of an annular ring characteristic [12], [25].

The outer radius (b) is evaluated using (3) at the first resonant frequencies (f_{fr}) of 2.4 GHz to support at TM_{11} mode.

According to the above equations, the calculated results are $a = 8$ mm and $b = 17.5$ mm. These results were set as a preliminary design to find out the suitable parameters for achieving the frequencies required. Later, the feed point (f) and the short-pin technique (S) are employed with respect to the target resonant frequencies of 2.4 GHz and 5.3 GHz.

III. SIMULATION AND DISCUSSION

EMCoS software (EMCoS Ltd., Tbilisi, Georgia) was employed to simulate the antenna design aiming for the resonant frequencies of 2.4 GHz and 5.3 GHz. The return loss (S_{11}) describes the input electromagnetic power of a reflected back signal, which measures the amount of power returning to the analyzer on antenna port. It is an important parameter to achieve the antenna yield. This parameter should not exceed -10 dB to ensure that the antenna works efficiently with high radiation and clear propagated waves [26]. Another important parameter is bandwidth (B_p) which is simply known as a percentage of the center frequency [24]. Bandwidth can be determined by

$$B_p = \frac{f_U - f_L}{f_C} \times 100\% \quad (4)$$

where f_U is upper frequency, f_L is lower frequency and f_C is center frequency.

The preliminary design parameters ($a = 8$ mm and $b = 17.5$ mm) obtained from the previous section were simulated by EMCoS software to observe the return loss of the antenna as shown in Fig. 2. The resonant frequencies were still at 1.4 GHz and 4.6 GHz with -35 dB, and -12 dB, respectively. This result does not meet the requirement.

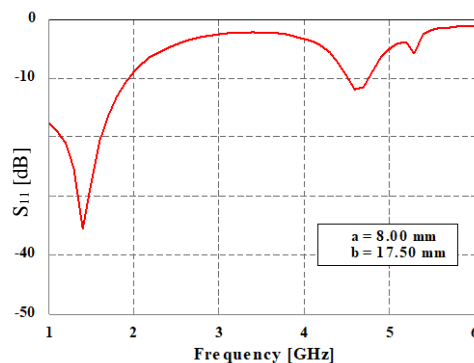


Fig. 2. Return loss of the antenna using the inner radius ($a = 8$ mm.) and outer radius ($b = 17.5$ mm.) as calculated from antenna design.

The resonant frequencies in Fig. 2 did not meet the expected frequencies (2.4 and 5.3 GHz) due to improper radius (a and b) applied. Then, the radius of the antenna was varied to observe the change of the resonant frequency. In this step, the short-pin position (s) and the feed points (f) were fixed at -12.75 mm and 12.75 mm, respectively. The outer radius (b) was varied from 12.5 mm to 16.5 mm with a fixed inner radius, $a = 8$ mm. The results show that the resonant frequencies decrease with the increase of the outer radius as illustrated in Fig. 3.

According to Fig. 3, the first resonant frequencies (f_{fr}) of the outer radius $b = 13.5$ mm and $b = 14.5$ mm were 2.2 GHz and 2 GHz, respectively. Although the first resonant frequencies (f_{fr}) given by $b = 13.5$ mm is closer to the expected frequency ($f_{fr} = 2.4$ GHz) than that given by $b = 14.5$ mm, the second resonant frequencies (f_{sr}) given by $b = 13.5$ mm is not applicable. So, the outer radius $b = 14.5$ mm was chosen instead even though its second resonant frequency was still at 5.4 GHz. In order to reach the expected frequencies ($f_{fr} = 2.4$ GHz and $f_{sr} = 5.3$ GHz), the inner radius (a) was varied from 9 mm to 12.5 mm by fixing the outer radius at $b = 14.5$ mm. The results show that the first resonant frequency increases with the increase of the inner radius while the second resonant frequency remains steady at 5.3 GHz as shown in Fig. 4. Fig. 4 shows that the optimal inner and outer radius of the antenna are at $a = 12$ mm and $b = 14.5$ mm, respectively. The resonant frequencies of 2.4 GHz and 5.3 GHz can be achieved with the return losses of -28.74 dB and -27.69 dB.

In order to improve the antenna performance, the return loss has to be minimized using the short-pin technique. The feeding and short-pin positions are varied along x- and y-axes as in Fig. 5. The distance between each point was set to be 0.25 mm.

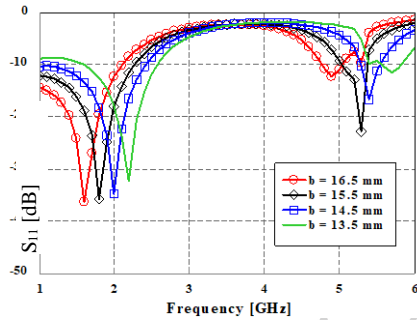


Fig. 3. Return loss of each outer radius (the inner radius = 8 mm, the feed point = 12.75 mm, the short-pin position = -12.75 mm).

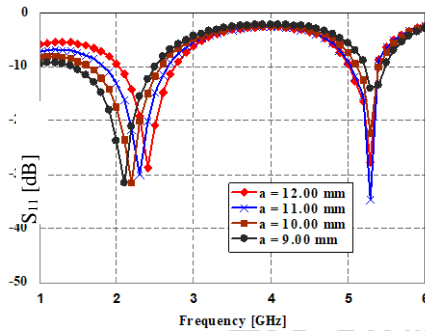


Fig. 4. Return loss of each inner radius (the outer radius = 14.5 mm, the feed point = 12.75 mm, the short-pin position = -12.75 mm).

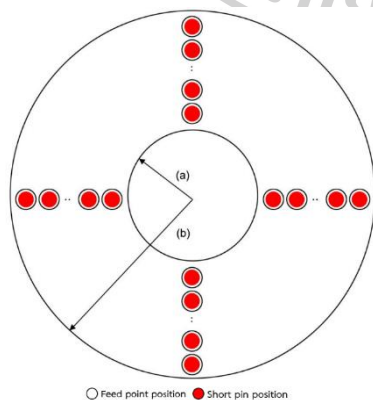


Fig. 5. Diagram of feed points and short-pin positions on graphene patch antenna [19].

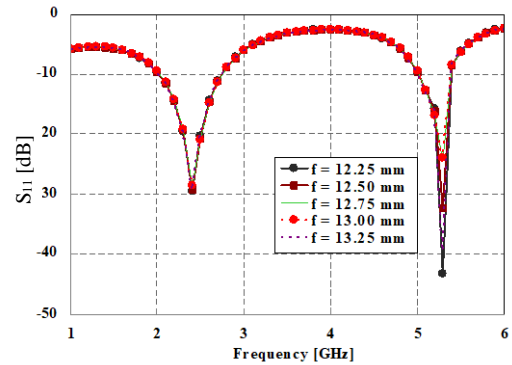


Fig. 6. Return loss at different feed points (the inner radius = 12.00 mm, the outer radius = 14.50 mm and the short-pin position = -12.75 mm).

In this process, the inner (a) and outer (b) radii were fixed at 12 mm and 14.5 mm, respectively. The feed point (f) was varied first from 12.25 mm to 14.25 mm with the fixed short-pin positions (s) = -12.75 mm. The simulation results are in Fig. 6.

The return losses can be minimized from -28.74 dB to -29.17 dB at 2.4 GHz and from -27.69 to -43.82 dB at 5.3 GHz when the feed point is at 12.25 mm as shown in Fig. 6. After that, the short-pin position was varied from -14.25 mm to -12.25 mm with the feed point fixed at 12.25 mm in order to obtain minimum return loss. The simulation results in Fig. 7 shows that the optimal return losses of -29.33 dB and -39.49 dB can be obtained at the short-pin position of -12.50 mm and provided sufficient bandwidth at 30.23 % and 7.35 %, respectively.

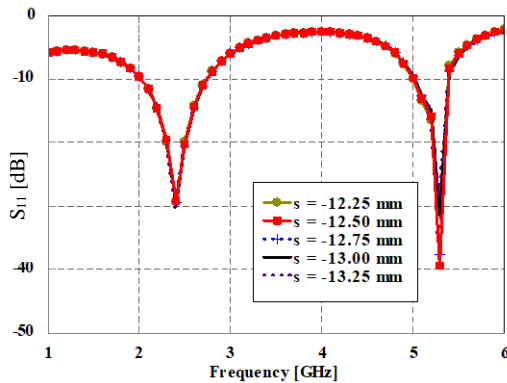


Fig. 7. Return loss of different short-pin positions (the inner radius = 12.00 mm, the outer radius = 14.50 mm and the feed point = 12.50 mm).

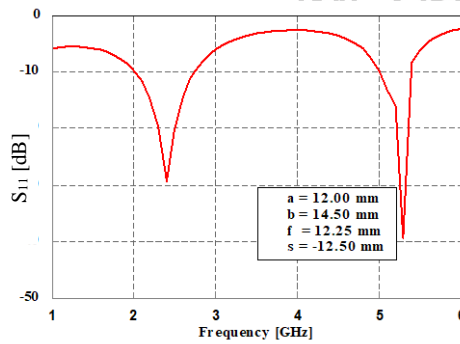


Fig. 8. Simulated result for the dual-band of the microstrip antenna.

According to all simulation results, the optimal parameters are the inner radius of 12.00 mm, the outer radius of 14.50 mm, the feed position of 12.25 mm and the short-pin position of -12.50 mm. The form factor of the antenna design can support 2.4 GHz and 5.3 GHz bands with the return losses of -29.33 dB and -39.49 dB as shown in Fig. 8.

The patterns of the dual-band antenna are shown in Fig. 9 and Fig. 10. The directional radiation patterns at 2.4 GHz and 5.3 GHz are both directional shapes in the XZ plane.

The variation of the inner radius, the outer radius, the feed point and the short-pin position has an influence on the return loss, bandwidth and the operating frequencies of the antenna. The output results of the designed antenna are then compared with the previous works as summarized in Table I.

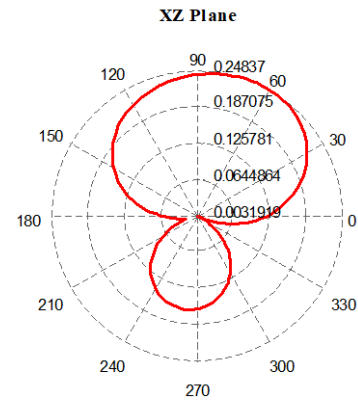


Fig. 9. Directional radiation pattern of 2.4 GHz in the XZ plane.

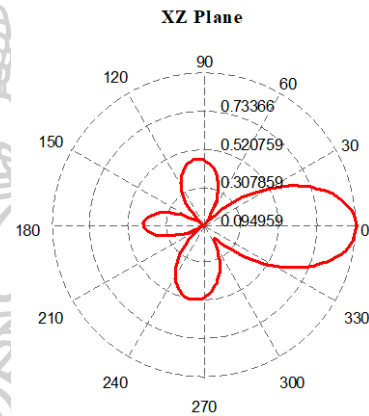


Fig. 10. Directional radiation pattern of 5.3 GHz in the XZ plane.

TABLE I. SUMMARY OF THE ANNULAR RING MICROSTRIP ANTENNAS.

Research	Parameters			
	S_{11} (dB)	Resonant frequencies (GHz)	Size (mm ³)	Bandwidth (%)
This work	-29.33/-39.49	2.4/5.3	40×40×5	30.23/7.35
[2]	-16.33/-12.66	2.45/5.25	63×86.6×1.6	< 5
[12]	-20.96/-12.823	2.45/5.3	160×160×0.8	2.61/ 2.02
[13]	-24/-27	2.44/5.25	36.7×24.7×1.6	2.46/7.62
[14]	~-35/-30	2.45/5.5	142×98×6	4/12.73

Compared with others in Table I, the return loss of this work is quite low (-29.33 dB at 2.4 GHz and -39.49 dB at 5.3 GHz) which ensures that the proposed antenna can efficiently operate in an acceptable range for sending the information in ISM bands and C bands. This work shows that the target frequencies of 2.4 GHz and 5.3 GHz can be reached with a compact-size antenna of $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ by using the short-pin technique.

IV. CONCLUSION

The design of a graphene-based annular ring microstrip antenna using the short-pin technique is presented in this work for dual-band applications. It can operate in the range of frequencies from 2.02 to 2.74 GHz and 5.02 to 5.4 GHz with the minimum return loss of -29.33 dB and -39.49 dB respectively, which is suitable to support wireless communication devices of ISM band and C band. Using the feed point and short-pin technique provides an effective solution to achieve the desired frequencies while keeping the antenna size as compact as possible. Finally, our design is optimum for dual-band frequency range between 2.4 GHz to 5.3 GHz, that it was developed from single band at 2.4 GHz [19]. Continuously, it can be modified for serving many of frequency range such as 2.4 GHz in ISM-band [19], 3.5 GHz in S-band [10], and 5.3 GHz in C-band [10] with triple-bands or wide-band, respectively. In case of improvement of the user flexibility to cover multi-band and wide-band microstrip antenna design will be a challenge for the further work.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

P. Phongchit conducted the research and analyzed the data; P. Phonkitiphan and R. Kaewon wrote the paper; all authors had reviewed and approved the final version.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to give gratitude to Lect. Pornchai Pliamsup from Silpakorn University, and Prof. Atsushi Saito from Yamagata University for their kind support.

Copyright © 2020 by the authors. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY-NC-ND 4.0), which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

REFERENCES

- [1] R. Tiwari, S. Verma, A. Sharma and A. Kumar, "Design and Analysis of a Compact Microstrip Antenna Using Shorting Pin for 5 GHz Band," presented at 2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics, 2017.
- [2] B. S. Yan, L. Wang, Z. Q. Luo, D. M. Deng and L. Y. Feng, "Dual-band Microstrip Antenna Fed by Coaxial Probe," presented at 2016 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE), 2016.
- [3] T. S. Thillai and T. R. G. Babu, "Rectangular Microstrip Patch Antenna at ISM Band," presented at 2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 2015.
- [4] A. Mandal, A. Ghosal, A. Majumdar, A. Ghosh, A. Das and S. K. Das, "Analysis of feeding techniques of rectangular microstrip antenna," presented at 2012 IEEE International Conference on Signal Processing, Communication and Computing (ICSPCC), Hong Kong, Aug 12-15, 2012.
- [5] V. Asokan, S. Thilagam and K. V. Kumar, "Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna for 2.4 GHz ISM Band and WLAN Application," presented at 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), 2015
- [6] D. Kanchan, M. Katore, M. B. Kadu, R. P. Labade and S. S. Dongare, "2.4/5.2 GHz Dual Band Rectangular Microstrip Antenna with Orthogonal Polarization for Bluetooth and WLAN Applications," presented at 2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, April 6-8, 2017.
- [7] K. A. R. G. C. Mouli, M. S. Anuradha, D. Kuppli, D. Gopi, "Analysis of rectangular and triangular microstrip antenna arrays using HFSS," presented at 2015 13th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility (INCEMIC), Visakhapatnam, July 22-23, 2015.
- [8] D. M. Kokotoff, J. T. Aberle and R. B. Waterhouse, "Rigorous Analysis of Probe Fed Printed Annular Ring Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 2, pp. 384-388, Feb. 1999.
- [9] A. K. Singh, R. K. Gangwar and B. K. Kanaujia, "Cavity backed annular ring microstrip antenna loaded with concentric circular patch," presented at The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 2014.

- [10] A. A. Deshmukh, K. Lele, S. Agrawal and K. P. Ray, "Dual band stub loaded microstrip reflectarray antenna with microstrip antenna feed," presented at 2015 International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP), Dhanbad, Dec 11-13, 2015.
- [11] X. Guo, W. Liao, Q. Zhang and Y. Chen, "A Dual-band Embedded Inverted T-slot Circular Microstrip Patch Antenna," presented at 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), 2016.
- [12] B. H. Gan, L. Zhou, Y.P. Zhang, H. H. Zhou and J. F. Mao, "Design of a dual-band microstrip antenna using slotted annular-ring and concentric disk," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015, pp. 1886-1887.
- [13] D. Kanchan, M. Katore, M. B. Kadu, R. P. Labade and S. S. Dongare, "2.4/5.2 GHz Dual Band Rectangular Microstrip Antenna with Orthogonal Polarization for Bluetooth and WLAN Applications," presented at 2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, April 6-8, 2017.
- [14] I. F. Chen and C. M. Peng, "Dual-band patch antenna array for WLAN applications," presented at 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), 2018.
- [15] X. Zhang and L. Zhu, "An impedance-agile microstrip patch antenna with loading of a shorting pin," in *Proc. Asia - Pacific Microwave Conf.*, Nanjing, Dec 6-9, 2015.
- [16] W. Cao, B. Zhang, H. Li, T. Yu and A. Liu, "A broadband microstrip dipole antenna loaded with shorted pin," in *Proc. of Int. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology*, 2010, pp. 1035-1037.
- [17] S. C. Pan and K. L. Wong, "Design of Dual-Frequency Microstrip Antennas Using a Shorting-pin Loading," present at IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1998 Digest. Antenna: Gateways to the Global Network. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting, GA, June 21-26, 1998.
- [18] S. C. Pan and K. L. Wong, "Dual-frequency triangular microstrip antenna with a shorting pin," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 12, pp. 1889-1891, Dec. 1997.
- [19] P. Phonkitiphan, R. Kaewon, K. Pancharoen, P. Silapan, and R. Chitaree, "Design of Graphene Annular Ring Microstrip Antenna using Short-pin Technique for 2.4 GHz Bands," *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, Vol. 8, No. 5, pp. 287-291, Sep. 2019.
- [20] N. Abdullah, N. M. Jizat, S. K. A. Rahim, M. I. Sabran and M. Zaman, "Investigation on graphene based multilayer thin film patch antenna," presented at the 10th European Conf. on Antennas and Propagation, Davos, April 10-15, 2016.
- [21] N. Fugto, R. Kaewon and S. Sirivisoot, "A Comparison of Various Patch Sizes and Feed Point Positions of Graphene Microstrip Antenna for Orthopedic Implants," presented at 2015 Biomedical Engineering International Conference, Pattaya, November 25-27, 2015.
- [22] S. Z. Sajal, B. D. Braaten and V. R. Marinov, "A microstrip patch antenna manufactured with flexible graphene-based conducting material," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015, pp. 2415-2416.
- [23] W. Xia, W. Zhou, J. Zhang, D. He, C. Liu and Z. Wu, "Rectangular Dielectric Resonator Antenna Fed by Graphene Films Microstrip for 5G Communication," presented at 2018 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics, Chengdu, March 26-28, 2018.
- [24] R. Song, C. Liu, J. Zhang, C. Liu, D. He and Z. Wu, "Flexible graphene based films for microstrip array antennas," presented at Sixth Asia-Pacific Conf. on Antennas and Propagation, 2017.
- [25] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1997.
- [26] S. Srivastava and D. Somwanshi, "Design and Analysis of Rectangular Microstrip Patch Antenna for ZigBee Applications," presented at 2015 IEEE International Symposium on Nanoelectronic and Information Systems, 2015.



P. Phonkitiphan was born in 15 June 1994, Udonthani, Thailand. I received a B.E. in Electrical Engineering Silpakorn University, Nakornpathom, Thailand in 2016. Currently, I am studying in Master degree at the Department of Electrical and Computer Engineering, Silpakorn University, Nakornpathom, Thailand since 2017. My research interest is antenna engineering.



R. Kaewon received his B.E. in Telecommunication Engineering from King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, in 2005, his ME in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok, Thailand, in 2008, and Ph.D. in Electrical and Information Engineering from King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi, Thailand, in 2019. His research interests include antenna engineering, optical instrumentation. Currently, he is an Assistant professor in the department of Electrical Engineering at Silpakorn University, Nakornpathom Thailand.



K. Pancharoen obtained her B.E. from Thammasat University, Thailand, in 2008, and M.Sc. in Microelectromechanical Systems from University of Southampton, UK, in 2013, and Ph.D. in Electronics and Electrical Engineering from University of Southampton UK, in 2018. She is currently a lecturer in the department of Electrical Engineering at Silpakorn University, Thailand. Her research interests include energy harvesting and sensors systems.



P. Silapan received a B.E. in Electrical Engineering from Mahanakorn university of technology Thailand, in 2002, and M.S.Ind.Ed. from King Mongkut's Institute of Technology, Thailand, in 2005, and Ph.D. in Electrical Engineering Education from King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok, Thailand, in 2010. Currently, he works as a lecturer in the department of Electrical Engineering at Silpakorn University, Thailand.



O. Watcharakitchakorn received her B.S. in Physics from King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Thailand, in 1999, her M.E. in Electrical and Information Engineer from King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Thailand, in 2008, and Ph.D. in Electrical and Computer Engineering (International Program) from King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Thailand, in 2017. Her research interests include photonic crystals waveguide, magnetic applications. Currently, she is a lecturer in the department of Electrical Engineering at Silpakorn University, Nakornpathom Thailand.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายพงษ์ชิต พลกิติพันธ์
วัน เดือน ปี เกิด	15 มิถุนายน 2537
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมปลาย โรงเรียนมัธยมวัดสิงห์ พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	287/11 หมู่ 9 ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

