



การทดลองที่ 4 การวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ และอิมพีแดนซ์อินพุท
ของสายอากาศ

หน้า
1/7

รหัสวิชา.....010113340..... ชื่อวิชา Antenna and Microwave Engineering Laboratory
ภาคการศึกษาที่.....2.....ประจำปีการศึกษา.....2565.....
รหัสนักศึกษา...6201011631188.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย..โสภณ.....สุขสมบูรณ์.....
รหัสนักศึกษา.....6201011631072.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย ธนภูมิ.....อังก่านวยศิริ.....
วันที่ และช่วงเวลาทำการทดลองWed..13.00-16.00.....
อาจารย์ผู้สอน.....PTD...,WWT.....

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะในการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ และอิมพีแดนซ์อินพุทของสายอากาศ
2. เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะในการใช้เครื่อง Network Analyzer

ทฤษฎี

สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) หรือ Γ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานของคลื่นสะท้อนกลับ (Reflected Wave) และกำลังงานของคลื่นตกกระทบ (Incident Wave) ซึ่งเกิดจากการไม่แมตช์กันระหว่างอิมพีแดนซ์ทางด้านของแหล่งจ่าย (Z_S) กับอิมพีแดนซ์ของโหลด (Z_L)

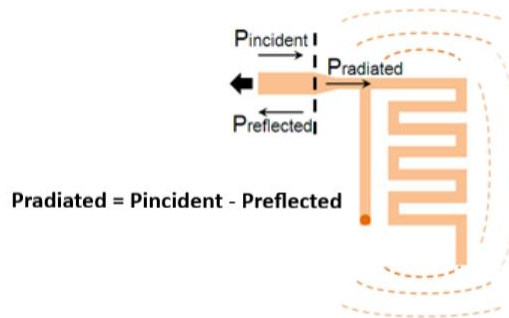
$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_S}{Z_L + Z_S} \quad (1)$$

$$|G|(\text{dB}) = 20 \log |G| \quad (2)$$

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกว่าสายอากาศมีการแมตช์อิมพีแดนซ์กับสายนำสัญญาณหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปสายนำสัญญาณและเครื่องมือวัดต่าง ๆ จะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50Ω ในการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศจะพิจารณาอยู่ในรูปของ S_{11} ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของคลื่นสะท้อนกลับที่พอร์ต 1 และกำลังงานของคลื่นตกกระทบที่พอร์ต 1

$$S_{11}(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_{\text{reflected}}}{P_{\text{incident}}} \quad (3)$$

สำหรับสายอากาศในอุดมคติที่มีการแมตช์อิมพีแดนซ์อย่างสมบูรณ์กับสายนำสัญญาณจะทำให้สายอากาศมีการแผ่พลังงานออกไปทั้งหมดโดยไม่มีการสะท้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 1 นั่นคือ $\Gamma = 0$ หรือ $|G|(\text{dB}) = S_{11}(\text{dB}) = -\infty$



รูปที่ 1 กำลังงานตกกระทบ กำลังงานสะท้อน และกำลังงานการแผ่พลังงาน

ตารางที่ 1 แสดงค่า S_{11} ที่สัมพันธ์กับอัตราส่วนของกำลังงานสะท้อนกลับต่อกำลังงานตกกระทบในหน่วยเปอร์เซ็นต์ โดยที่ $S_{11} = -10\text{ dB}$ แสดงว่า 90% ของกำลังงานตกกระทบจะเข้าสู่สายอากาศเพื่อแผ่พลังงาน โดยในทางปฏิบัติ $S_{11} \leq -10\text{ dB}$ จะเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 1 ค่า S_{11} และกำลังงานที่สะท้อนกลับจากสายอากาศ

$S_{11}(\text{dB})$	$P_{\text{reflected}} / P_{\text{incident}}$ (%)	$P_{\text{radiated}} / P_{\text{incident}}$ (%)
-20	1	99
-10	10	90
-3	50	50
-1	79	21

แบนด์วิดท์หรือความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth : BW) ของสายอากาศ คือ ย่านหรือช่วงความถี่ที่สายอากาศสามารถใช้งานได้ ซึ่งแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์จะสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เป็นต้น โดยในช่วงแบนด์วิดท์ใช้งานของสายอากาศจะต้องมีการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ ในทางปฏิบัติช่วงความถี่ดำเนินงานของสายอากาศจะพิจารณาที่ $S_{11} \leq -10\text{ dB}$ ถ้าสายอากาศมีย่านความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ต่ำสุด (f_L) ไปถึงความถี่สูงสุด (f_H) ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาแบนด์วิดท์จาก

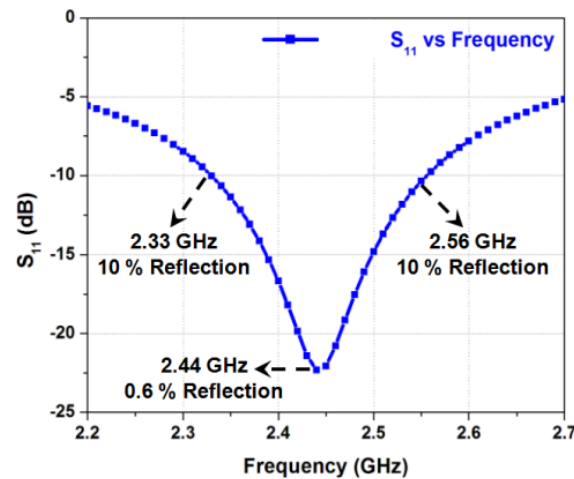
$$BW = f_H - f_L \quad (4)$$

หรือคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ได้จาก

$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_0} \times 100\% \quad (5)$$



โดยที่ $f_0 = (f_H + f_L)/2$



รูปที่ 2 S_{11} เทียบกับความถี่

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างกราฟ S_{11} ของสายอากาศเทียบกับความถี่ ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าสายอากาศมีความถี่
ดำเนินงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.33 GHz ถึง 2.56 GHz ดังนั้นแบนด์วิดท์ของสายอากาศนี้มีค่าเท่ากับ
230 MHz หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ได้คือ 9.41%

อุปกรณ์การทดลอง

1. สายอากาศแบบต่าง ๆ
2. Network Analyzer

ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง Vector Network Analyzer

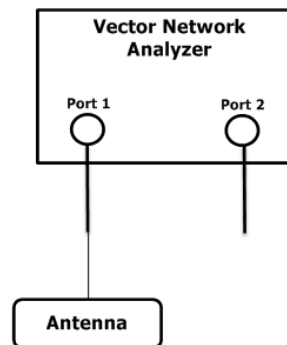
1. เปิดเครื่อง Vector Network Analyzer
2. เลือกช่วงความถี่ที่จะใช้วัดโดย
 - 2.1) เลือก Start Frequency โดยกดปุ่ม Start แล้วตามด้วยความถี่เริ่มต้นที่ต้องการ
 - 2.2) เลือก Stop Frequency โดยกดปุ่ม Stop แล้วตามด้วยความถี่สิ้นสุดที่ต้องการ
3. ทำการ Calibrate เครื่อง Vector Network Analyzer โดย
 - 3.1) เลือก Calibrate Menu
 - 3.2) เลือก S_{11}
 - 3.3) ต่อ Load Open เข้าที่ Port 1 แล้วเลือก Open
 - 3.4) ต่อ Load Short เข้าที่ Port 1 แล้วเลือก Short



3.5) ต่อ Load เข้าที่ Port 1 แล้วเลือก Load ตามด้วย Broadband แล้ว Done

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อสายอากาศ เข้าที่ Port 1 ของเครื่อง Network Analyzer



2. ทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศแล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 1
3. บันทึกภาพสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแต่ละตัวที่ทำการวัดทดสอบ

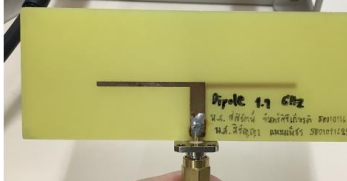

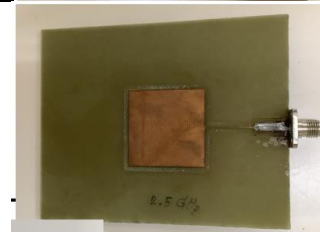



การทดลองที่ 4 การวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ และอิมพีแดนซ์อินพุท
ของสายอากาศ

หน้า
1/7

ตารางที่ 1 ให้นักศึกษาทำการวัด ความถี่ดำเนินงาน สัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ (Bandwidth) และ
อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

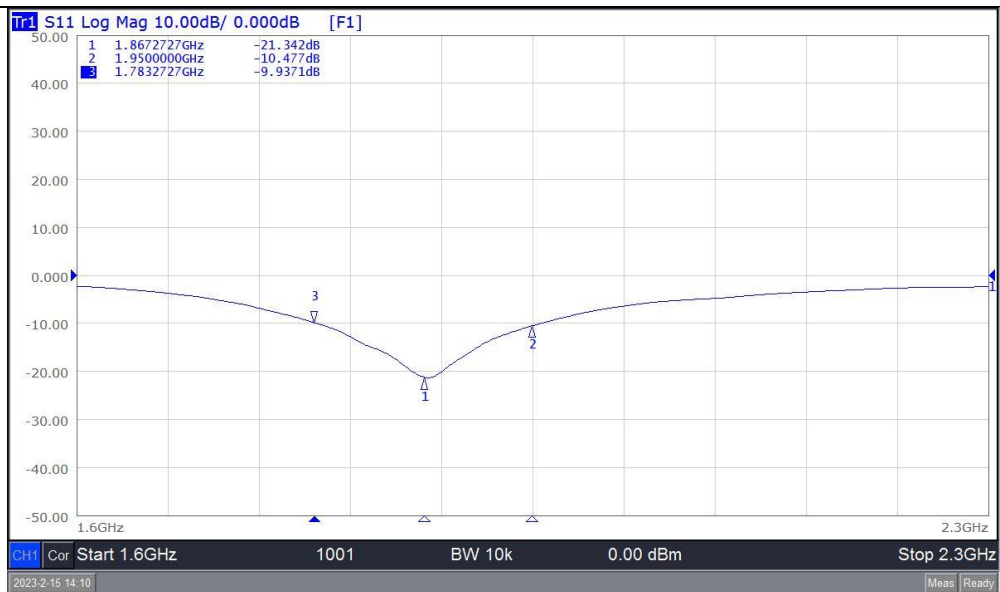
Network Analyzer ที่ใช้คือ.....TRANSCOM...T6.....

รูปสายอากาศ ที่ทำการวัดทดสอบ	ช่วงความถี่ ดำเนินงาน (GHz)	แบนด์วิดท์/ เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์	ค่า S_{11} ต่ำสุด (dB) $f(GHz)$	อิมพีแดนซ์ที่ ความถี่ที่ S_{11} ต่ำสุด
	1.78 – 1.95	170 MHz / 9.11%	-21.5 dB / 1.86 GHz	59.290+j2.27
	2.15 - 2.23	80 MHz / 3.65%	-12.609 dB / 2.21 GHz	31.663+j5.73
	2.48 – 2.53	50 MHz / 1.99%	-18.33 dB / 2.51 GHz	61.473-j6.98
	2.21 – 2.30	90 MHz / 3.99%	-14.38 dB / 2.36 GHz	37.02-j10.17

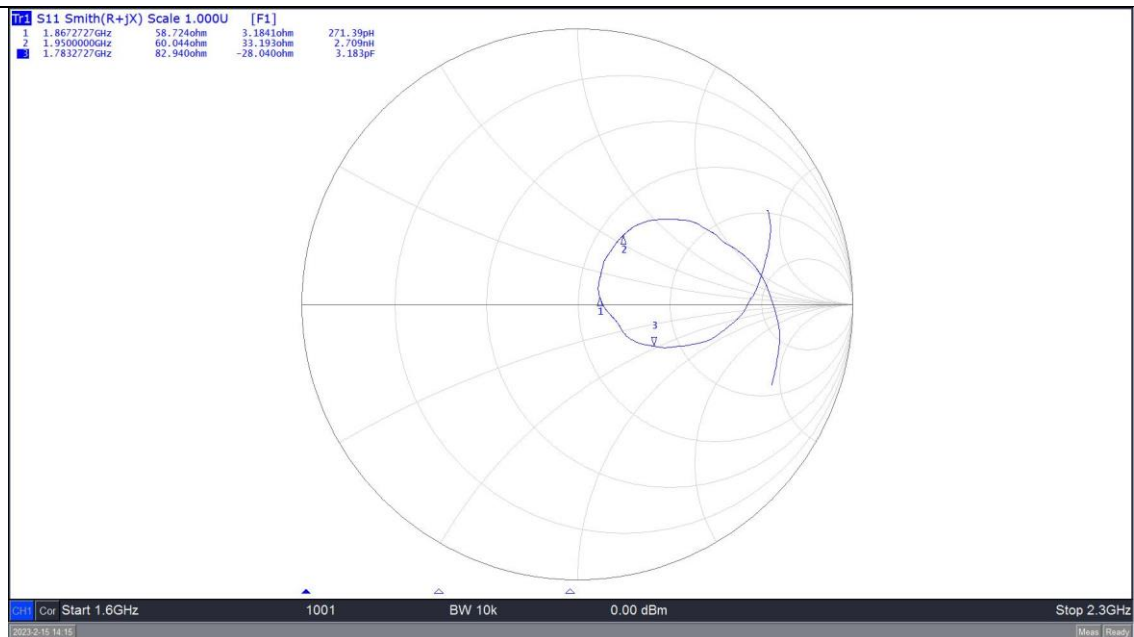


การทดลองที่ 4 การวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ และอิมพีแดนซ์อินพุท
ของสายอากาศ

หน้า
1/7

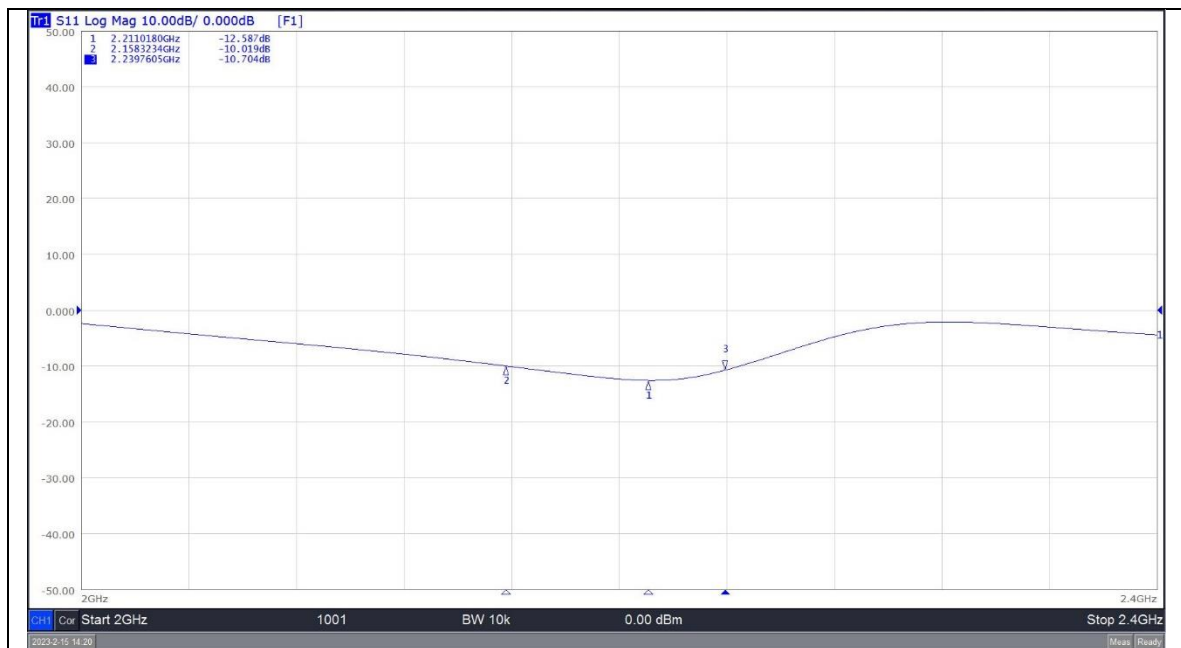


(ก)

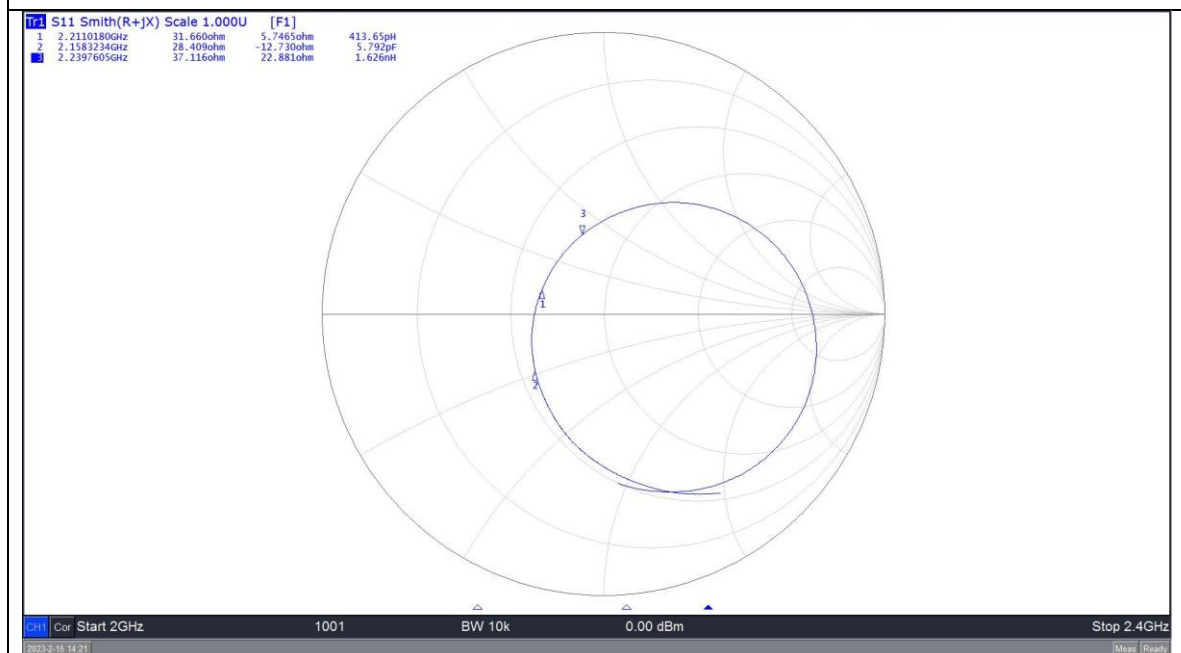


(ข)

รูปที่ 1 (ก) สัมประสิทธิ์การสะท้อน (ข) อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศตัวที่ 1



(ก)



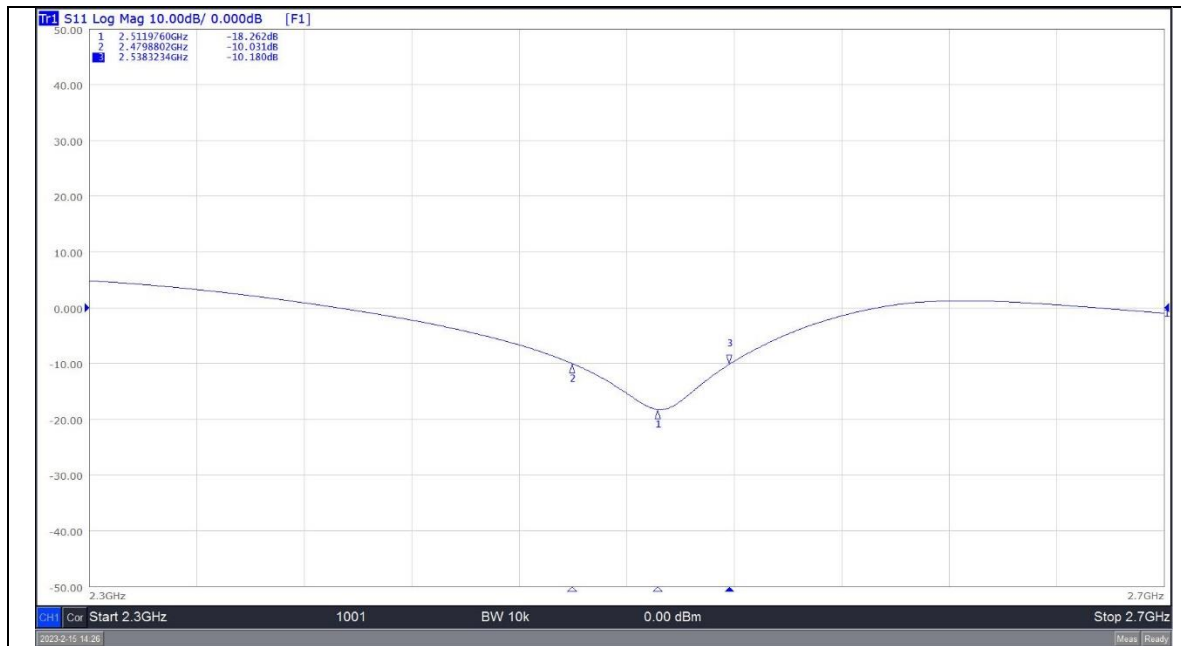
(ข)

รูปที่ 2 (ก) สัมประสิทธิ์การสะท้อน (ข) อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศตัวที่ 2

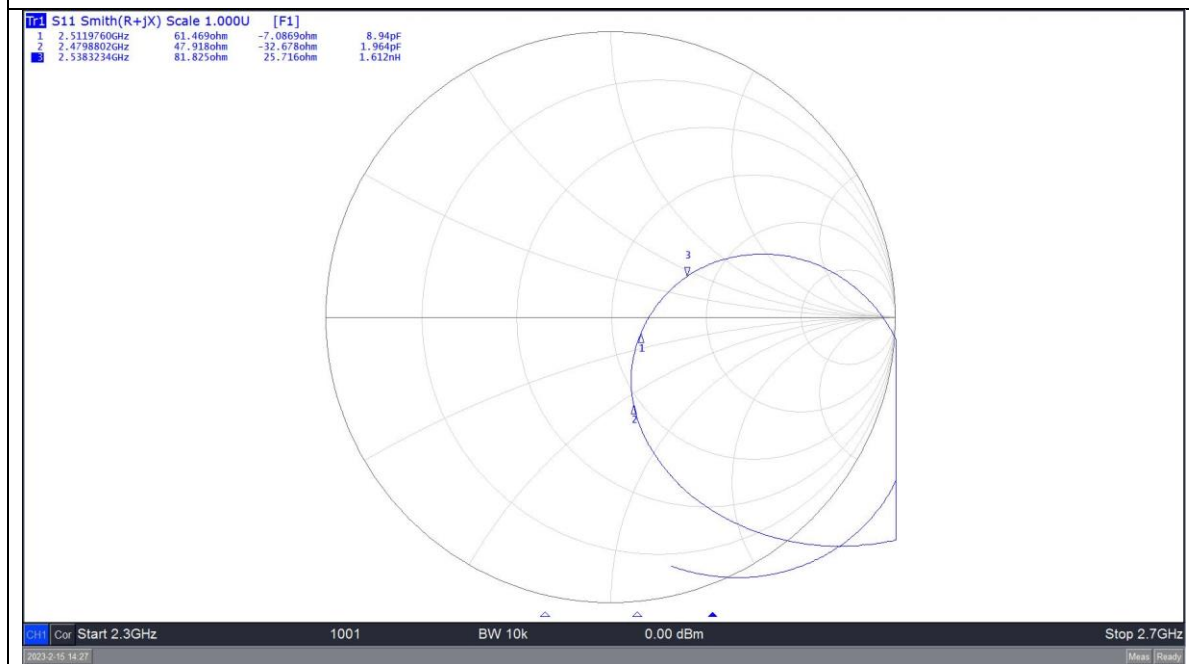


การทดลองที่ 4 การวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ และอิมพีแดนซ์อินพุท
ของสายอากาศ

หน้า
1/7



(ก)



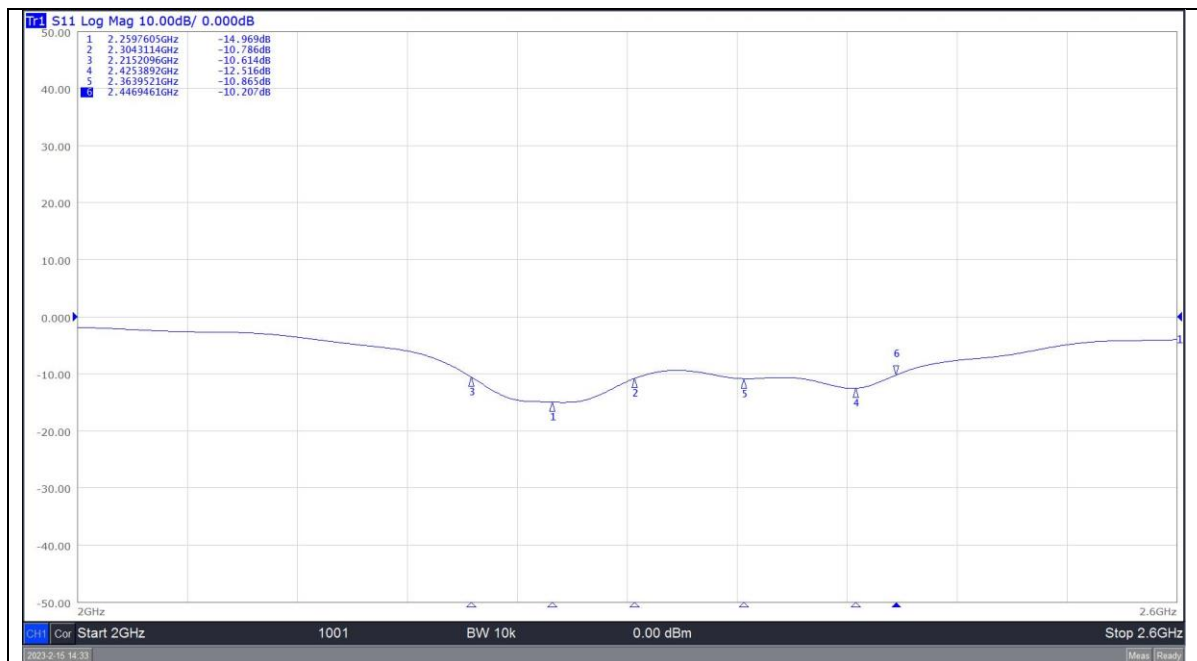
(ข)

รูปที่ 3 (ก) สัมประสิทธิ์การสะท้อน (ข) อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศตัวที่ 3

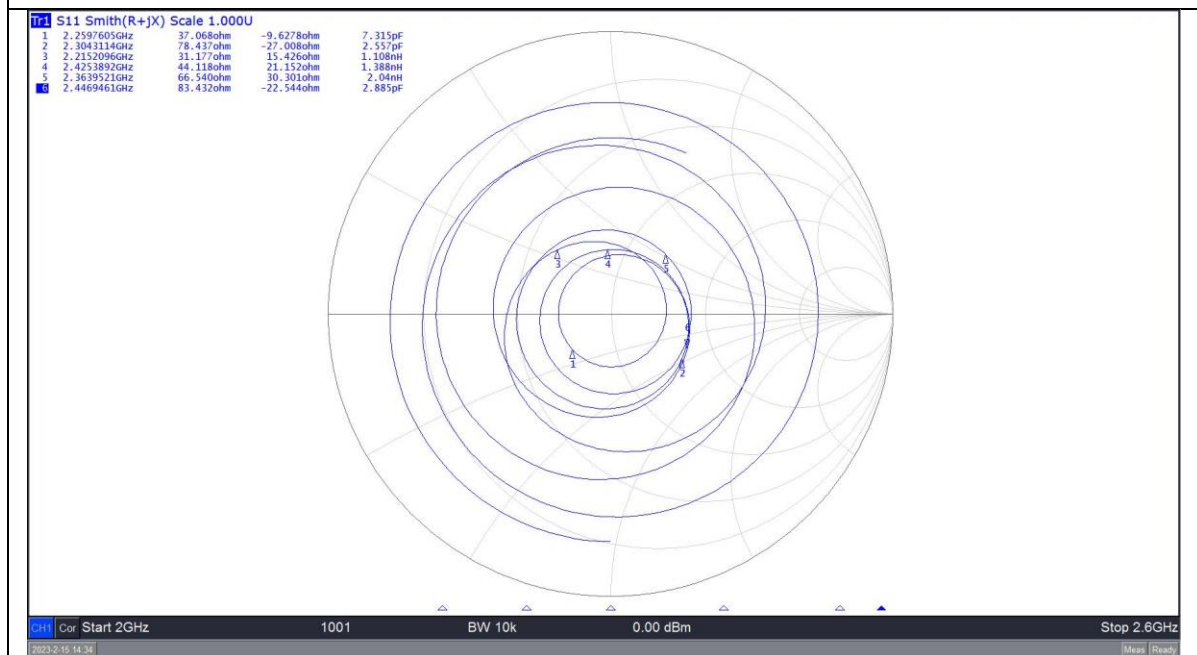


การทดลองที่ 4 การวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบนด์วิดท์ และอิมพีแดนซ์อินพุท
ของสายอากาศ

หน้า
1/7



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 (ก) สัมประสิทธิ์การสะท้อน (ข) อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศตัวที่ 4



สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 4 ในส่วนของการวัด S-parameters ของสายอากาศนั้นจะช่วยอธิบายถึงความสามารถในการรับ – ส่งสัญญาณ โดยจะขึ้นกับขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพอร์ตที่ 1 ($|S_{11}|$) โดยเมื่อขนาดของ S_{11} มีค่าสูง ๆ จะทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านมายังพอร์ตที่ 1 เกิดการสะท้อนกลับ ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังที่รับ-ส่งไป การเลือกใช้สายอากาศควรเลือกใช้สายอากาศที่ขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพอร์ตที่ 1 ต่ำกว่า -10 dB ยิ่งมีค่ามากยิ่งดี เพราะจะทำให้รับ – ส่งสัญญาณได้ดีขึ้น และเกิดการสูญเสียลดลง ตัวอย่างเช่นสายอากาศทดสอบตัวที่ 1 มีค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -21.5 dB สูงที่สุดสำหรับสายอากาศทดสอบทั้ง 4 ตัว เมื่อเราให้สายอากาศตัวที่ 1 ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ เมื่อเทียบกับสายอากาศที่รับความถี่ในช่วงเดียวกัน แต่มี $|S_{11}|$ ที่สูงกว่าสายอากาศทดสอบตัวที่ 1 จะเกิดการสูญเสียมากกว่า หรือกล่าวได้ว่า สายอากาศทดสอบตัวที่ 1 รับสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศที่มีค่า $|S_{11}|$ สูงกว่านั่นเอง

การทดลองที่ 4 ในส่วนของแบนด์วิดท์ (Bandwidth : BW) เมื่อเราทราบแล้วว่าขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพอร์ตที่ 1 ควรมีค่าต่ำกว่า -10 dB ทำให้สามารถพิจารณาย่านความถี่สำหรับรับ – ส่งสัญญาณได้ ย่านที่เราจะพิจารณาขอเรียกว่า แบนด์วิดท์ หรือย่านที่สายอากาศสามารถใช้งานได้ นั่นคือความถี่ตั้งแต่ช่วงที่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งหมด เราจะกำหนดความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ว่า ความถี่ต่ำสุด (Lower Frequency) และความถี่สูงสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้ว่า ความถี่สูงสุด (Upper Frequency) การที่แบนด์วิดท์กว้างมีข้อดีคือเราสามารถรับสัญญาณได้หลายความถี่ หลายช่วงนั่นเอง แต่ก็มีข้อเสียคือหากเราไม่ได้ตั้งย่านวัดที่เครื่องรับไว้ เราอาจได้รับสัญญาณที่เราไม่ต้องการเช่น สายอากาศหนึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างมาก รับสัญญาณได้หลายช่วง เมื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ เมื่อทำการอ่านค่าผ่าน Spectrum Analyzer อาจจะทำให้เราเห็นสัญญาณอื่นที่เราไม่ได้ต้องการ เช่น เราใช้เครื่อง Signal Generator ส่งความถี่ 1.9 GHz ผ่านสายอากาศตัวส่ง มายังสายอากาศตัวรับ อ่านค่าผ่าน Spectrum Analyzer แต่ในขณะเดียวกันบริเวณนั้นมีสัญญาณ 1.8 GHz (สัญญาณโทรศัพท์) ถ้าสายอากาศตัวรับสามารถทำงานบนช่วงความถี่ 1.8 GHz ได้ด้วย จะทำให้เราอ่านค่า 1.8 และ 1.9 GHz บน Spectrum Analyzer ได้ทั้งสองความถี่นั่นเอง



รหัสวิชา.....010113340..... ชื่อวิชา Antenna and Microwave Engineering Laboratory
ภาคการศึกษาที่.....2.....ประจำปีการศึกษา.....2565.....
รหัสนักศึกษา...6201011631188.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย..โสภณ.....สุขสมบูรณ์.....
รหัสนักศึกษา.....6201011631072.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย ธนภูมิ.....อังกำนวยศิริ.....
วันที่ และช่วงเวลาที่ทำการทดลองWed..13.00-16.00.....
อาจารย์ผู้สอน.....PTD.....,WWT.....

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน
2. เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระบบ XYZ
3. เพื่อให้ นักศึกษาสามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศได้
4. เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะในการใช้เครื่อง Spectrum Analyzer และ Signal Generator

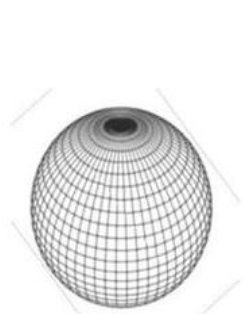
ทฤษฎี

แบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน

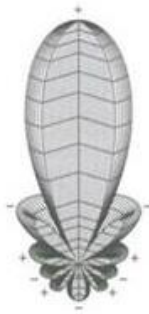
ไอโซทรอปิก (Isotropic radiation pattern) เป็นแบบรูปที่มีคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานเท่ากันในทุกทิศทางเป็นรูปทรงกลม เช่น แหล่งกำเนิดแบบจุด (Point source)

ชีทิศทาง (Directional radiation pattern) เป็นแบบรูปที่มีคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานหรือรับพลังงานเข้ามาในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าทิศทางอื่น

รอบทิศทางในระนาบเดียว (Omnidirectional radiation pattern) เป็นแบบรูปที่มีคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานออกไปรอบตัวในระนาบใดระนาบหนึ่ง ส่วนระนาบอื่นที่ตั้งฉากกันจะมีการแผ่พลังงานแบบมีทิศทาง



(ก) แบบรูปไอโซทรอปิก



(ข) แบบรูปชีทิศทาง

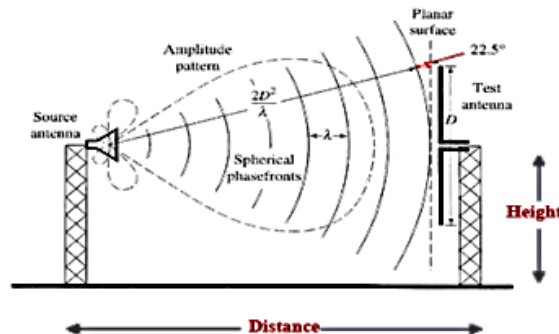


(ค) แบบรูปรอบทิศทางในระนาบเดียว

รูปที่ 1 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบต่าง ๆ



ระยะที่เหมาะสมในการวัดทดสอบสายอากาศ



รูปที่ 2 ระยะห่างและความสูงระหว่างสายอากาศรับและส่ง

ในการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในทางปฏิบัติจะวัดในย่านสนามระยะไกล (Far-field region) โดยระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ต้องการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานสามารถหาได้คือ

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

โดยที่ D คือ ความกว้างสูงสุดของสายอากาศ (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ต้องการวัดทดสอบ (เมตร)

นอกจากนี้ความสูงของสายอากาศทั้งตัวรับและตัวส่ง ต้องมีความสูงไม่น้อยกว่าระยะ 1^{st} Fresnel zone คือ

$$\text{Height} \geq \frac{3 \times \text{Distance}}{40f} \quad (2)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ที่ต้องการวัดทดสอบ (GHz)

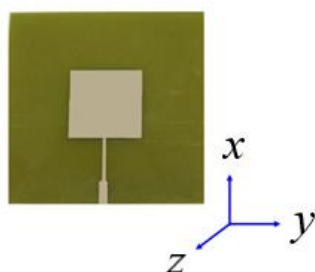
การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน (Radiation Pattern)

การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบ 2 มิติ จะทำได้โดยการวัดระนาบหลักที่ตั้งฉากกันสองระนาบ เช่น ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) นอกจากนี้ยังแบ่งเป็นการวัดในรูปของโพลาไรเซชันร่วม (Co-polarization) คือโพลาไรเซชันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับตรงกัน และโพลาไรเซชันไขว้ (Cross-polarization) คือโพลาไรเซชันของสายอากาศส่งและ

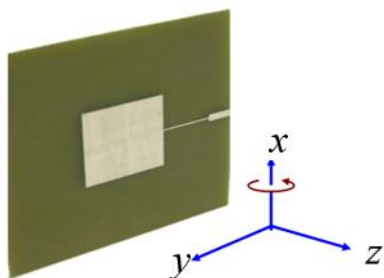


สายอากาศรับตั้งฉากกัน อย่างไรก็ตามการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระบบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศนั้นทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องทราบลักษณะของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศนั้น ๆ โดยทั่วไปลักษณะของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงนิยมใช้การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระบบ xyz ตามโครงสร้างสายอากาศต้นแบบแทน

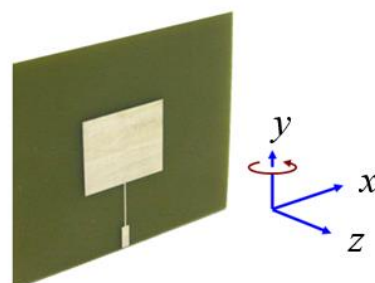
การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระบบ xyz จะทำการวัดในระบบ xy ระบบ xz และระบบ yz ซึ่งการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระบบใดนั้น จะยึดจากระนาบของสายอากาศที่ต้องการวัดทดสอบเป็นหลัก โดยจะใช้หลักการที่ว่าถ้าต้องการวัดระนาบใดให้เอาระนาบนั้นขนานกับพื้นโลกดังแสดงในรูปที่ 3



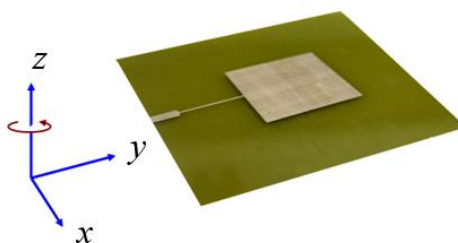
(ก) ระบบ xyz ของสายอากาศ



(ข) ระนาบ yz ของสายอากาศ



(ค) ระนาบ xz ของสายอากาศ



(ง) ระนาบ xy ของสายอากาศ

รูปที่ 3 ระนาบการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ

**การวัดอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain)**

การวัดอัตราขยายของสายอากาศ สามารถหาได้โดยใช้สมการส่งผ่านของฟรีส (Friis) โดยในการวัดจะให้สายอากาศสองตัววางห่างกันด้วยระยะ R ซึ่งเป็นระยะในย่านสนามระยะไกล (Far field region) ที่คำนวณได้จากความถี่และขนาดของสายอากาศที่ทำการวัดดังแสดงในสมการ (1) เมื่อพิจารณาให้สายอากาศทั้งสองมีการแมตช์ของโพลาริเซชัน ดังนั้นสามารถหาอัตราขยายในทิศทางการแผ่พลังงานสูงสุดได้จากสมการส่งผ่านของฟรีสคือ

$$(P_r)_{dB} = (P_t)_{dB} + (G_{ot})_{dB} - 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + (G_{or})_{dB}$$

หรือ

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = (P_r)_{dB} - (P_t)_{dB} + 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (3)$$

เมื่อ $(G_{ot})_{dB}$ คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง (dB) ที่มุม 0 องศา

$(G_{or})_{dB}$ คือ อัตราขยายของสายอากาศตัวส่ง (dB) ที่มุม 0 องศา

P_r คือ กำลังที่รับได้ (dB)

P_t คือ กำลังที่ใช้ส่ง (dB)

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (m)

λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้วัด (m)

โดยที่ $20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)$ คือ ค่าการสูญเสียในอวกาศว่าง (Free space path loss) ถ้าคิดการสูญเสียในสายนำสัญญาณด้วย จะสามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศได้จาก

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = (P_r)_{dB} - (P_t)_{dB} + 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + (\text{cable loss})_{dB} \quad (4)$$

ในการวัดทดสอบอัตราขยายสายอากาศนั้น โดยทั่วไปแล้วจะทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศรับ โดยที่สายอากาศส่งจะเป็นสายอากาศมาตรฐานที่รู้ค่าอัตราขยายแน่นอน แต่ในกรณีที่ไม่มีสายอากาศมาตรฐาน จะใช้สายอากาศตัวส่งและตัวรับที่เหมือนกันทุกประการ $((G_{ot})_{dB} = (G_{or})_{dB})$ ดังนั้นจะสามารถหาอัตราขยายได้คือ

$$(G_{or})_{dB} = (G_{ot})_{dB} = \frac{1}{2} \left[(P_r)_{dB} - (P_t)_{dB} + 20\log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + (\text{cable loss})_{dB} \right] \quad (5)$$

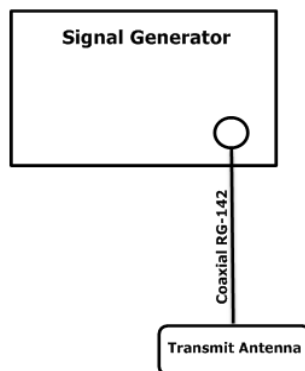


อุปกรณ์การทดลอง

1. สายอากาศที่เหมือนกัน 2 ตัว
2. Signal Generator 1 เครื่อง
3. Spectrum Analyzer 1 เครื่อง
4. สาย Coaxial
5. ขาตั้งสายอากาศ และแท่นหมุนสายอากาศ

ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง Signal Generator

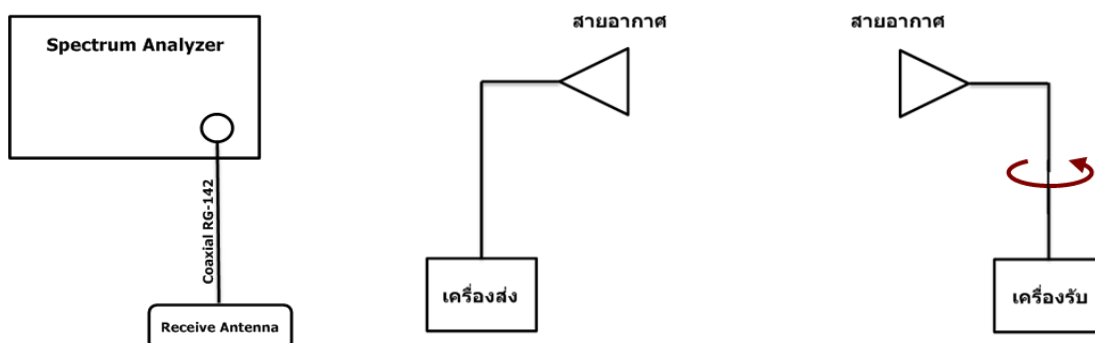
1. เปิดเครื่อง Signal Generator
2. ต่อสาย Coaxial เข้ากับ Signal Generator และสายอากาศส่ง โดยที่สายอากาศส่งจะถูกติดตั้งกับเสาส่งและหันหน้าเข้าหาสายอากาศรับ



3. เลือกความถี่ใช้งาน โดยกด Center แล้วตามด้วยความถี่ดำเนินงานของสายอากาศ
4. เลือกกำลังงานที่ใช้ส่ง โดยกด Power Level แล้วตามด้วยกำลังงานที่ต้องการส่งให้กับสายอากาศส่ง ซึ่งในการทดลองให้ตั้งไว้ที่ 0 dBm (แต่ถ้าไม่สามารถรับ-ส่งกำลังงานกันได้ให้เพิ่ม Power Level)

ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง Spectrum Analyzer

1. เปิดเครื่อง Spectrum Analyzer
2. ต่อสาย Coaxial เข้ากับ Spectrum Analyzer และสายอากาศรับที่ต้องการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน โดยสายอากาศรับจะติดตั้งกับแท่นหมุน เพื่อหมุนรับกำลังงานจากสายอากาศส่งในแต่ละองศา
3. เลือกความถี่ใช้งาน โดยกด Center Frequency แล้วตามด้วยความถี่ดำเนินงานของสายอากาศ ทั้งนี้ความถี่ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับต้องเป็นความถี่เดียวกัน และตั้งค่าการลดทอน (Attenuation) เป็น 0 dB
4. กด Peak Search เพื่อดูระดับกำลังงานที่รับได้โดยสายอากาศรับ



คำสั่ง ให้นักศึกษาเลือกทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไมโครสตริป เช่น สายอากาศไมโครสตริปไดโพล หรือสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ ในระนาบ xz และระนาบ yz

ขั้นตอนการทดลอง

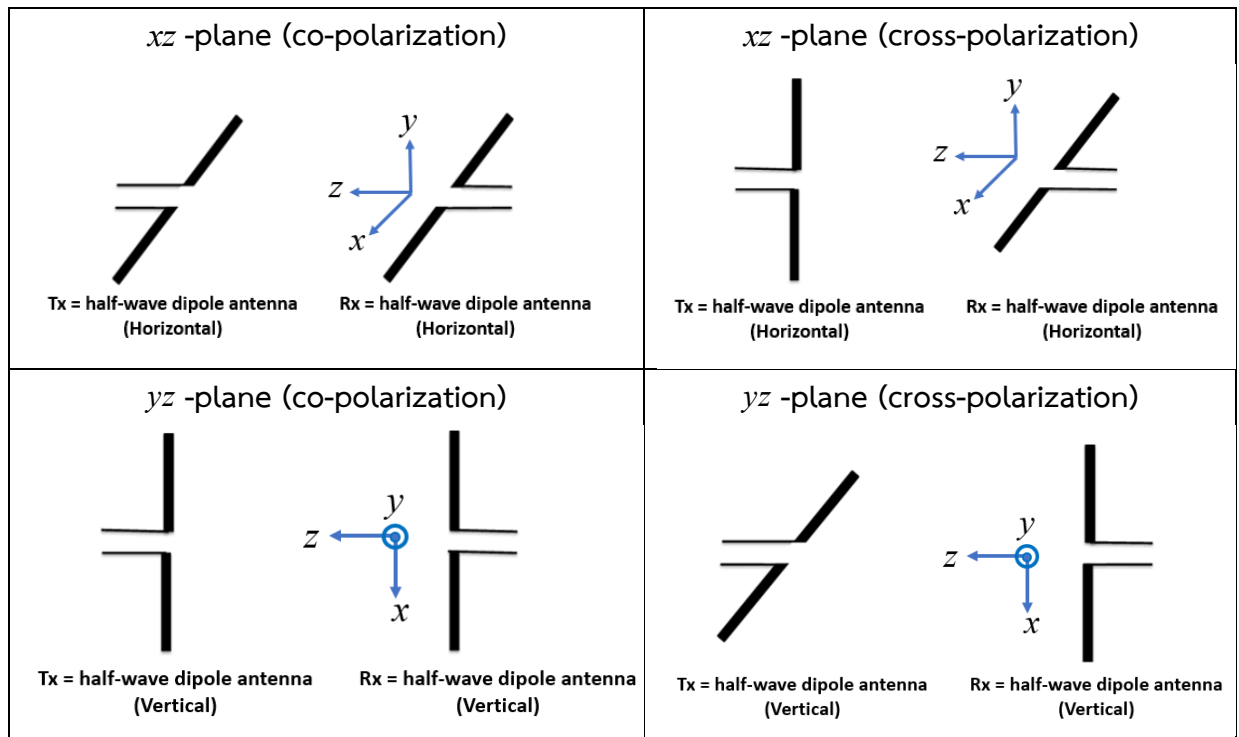
1. ทำการติดตั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ต้องการจะวัดในระนาบต่าง ๆ ได้แก่ ระนาบ xz (โพลาริเซชันร่วม) ระนาบ xz (โพลาริเซชันไขว้) ระนาบ yz (โพลาริเซชันร่วม) และระนาบ yz (โพลาริเซชันไขว้) ตัวอย่างดังรูปที่ 4
2. หมุนสายอากาศตัวรับไปครั้งละ 10 องศา โดยเริ่มจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา และบันทึกค่า Received Power ที่ได้ในตารางที่ 1, 2, 3, และ 4
3. นำค่าที่วัดได้จากตารางที่ 1 และ 2 มาพล็อตกราฟแบบเชิงขั้ว (Polar plot) โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 3.1) หาค่า Received Power สูงสุดของแต่ละตาราง
 - 3.2) ทำการเปรียบเทียบ Maximum Received Power ของตารางที่ 1 และ 2 แล้วเลือกค่าที่มากกว่า

มาทำการ Normalize

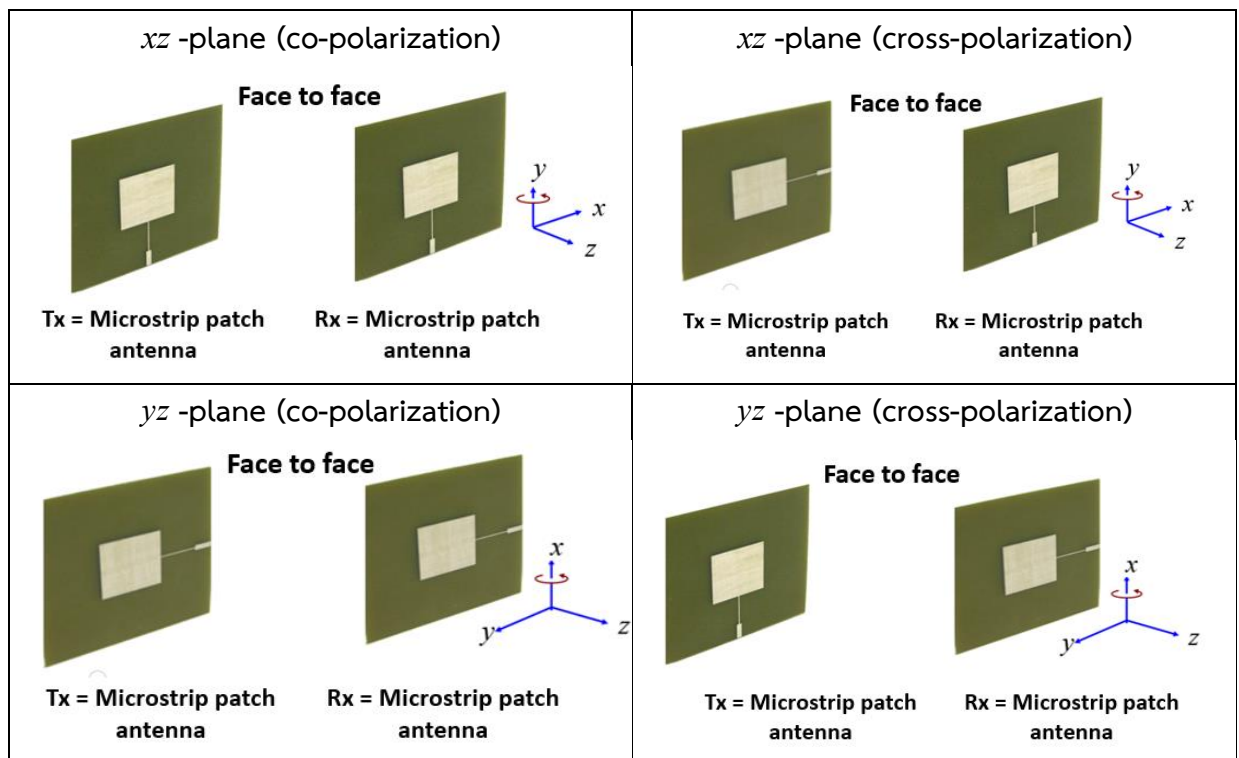
- 3.3) ทำการ Normalize ค่ากำลังงานที่วัดได้ โดยนำค่ากำลังที่วัดได้ในองศาต่าง ๆ ลบด้วยค่า Maximum Received Power ซึ่งจะ使得ค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB
- 3.4) ทำการพล็อตกราฟค่าที่ได้จากการ Normalize จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ลงในกราฟเดียวกัน
4. นำค่าที่วัดได้จากตารางที่ 3 และ 4 มาพล็อตกราฟแบบเชิงขั้ว (Polar plot) โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 4.1) หาค่า Received Power สูงสุดของแต่ละตาราง
 - 4.2) ทำการเปรียบเทียบ Maximum Received Power ของตารางที่ 3 และ 4 แล้วเลือกค่าที่มากกว่า

มาทำการ Normalize

- 4.3) ทำการ Normalize ค่ากำลังงานที่วัดได้ โดยนำค่ากำลังที่วัดได้ในองศาต่าง ๆ ลบด้วยค่า Maximum Received Power ซึ่งจะ使得ค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB
- 4.4) ทำการพล็อตกราฟค่าที่ได้จากการ Normalize จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ลงในกราฟเดียวกัน



(ก) สายอากาศไดโพล



(ข) สายอากาศไมโครสตริปแพทช์

รูปที่ 4 ตัวอย่างการจัดวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ต้องการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน



บันทึกผลการทดลอง

Signal Generator ที่ใช้ในการทดสอบ	Vector Signal Generator
Spectrum Analyzer ที่ใช้ในการทดสอบ	T8260
สายอากาศที่นำมาวัดทดสอบ	Microstrip Patch Antenna
กำลังงานที่ใช้ในการส่ง (Power level)	0 dB
ย่านความถี่ดำเนินงานของสายอากาศส่ง/รับ	Tx.....1.5 GHz.....Rx.....1.5 GHz.....
ความถี่ที่ใช้ในการวัดทดสอบ และระยะในการทดสอบ	$f = \dots\dots 1.5 \text{ GHz} \dots\dots R = \dots\dots 17 \text{ cm} \dots\dots$
ค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณเส้นที่ 1 และ 2	Cable Tx...-3.4 dBm.....Cable Rx.....-2 dBm....

ตารางที่ 1 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับในระนาบ xz (โพลาริเซชันร่วม)

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-41.69	-6.02	190	-51.23	-15.56
10	-41.97	-6.30	200	-54.73	-19.06
20	-42.67	-7.00	210	-56.23	-20.56
30	-43.37	-7.70	220	-56.97	-21.30
40	-44.87	-9.20	230	-56.32	-20.65
50	-48.63	-12.96	240	-52.11	-16.44
60	-51.12	-15.45	250	-52.24	-16.57
70	-50.24	-14.57	260	-49.97	-14.30
80	-48.84	-13.17	270	-49.51	-13.84
90	-46.72	-11.05	280	-48.21	-12.54
100	-44.71	-9.04	290	-47.23	-11.56
110	-47.63	-11.96	300	-45.22	-9.55
120	-50.74	-15.07	310	-45.11	-9.44
130	-51.23	-15.56	320	-44.87	-9.20
140	-49.21	-13.54	330	-42.17	-6.50
150	-45.66	-9.99	340	-42.11	-6.44
160	-52.02	-16.35	350	-42.23	-6.56
170	-52.62	-16.95	360	-41.77	-6.10
180	-51.82	-16.15			



ค่า Maximum Received Power-41.69 dB.....

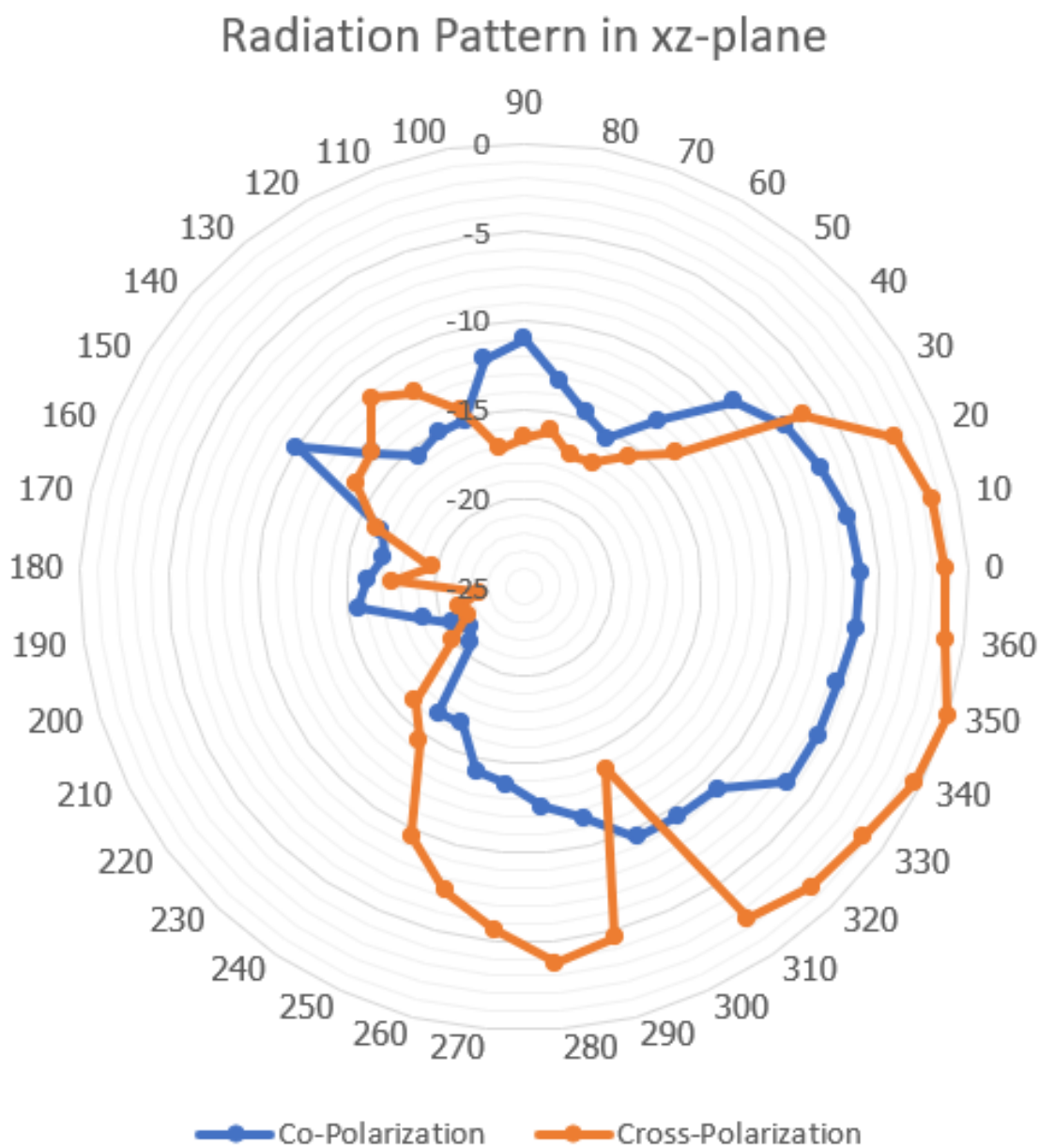
ตารางที่ 2 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับในระบบ xyz (โพลาริเซชันไขว้)

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-36.87	-1.2	190	58.12	-22.45
10	-37.15	-1.48	200	-56.89	-21.22
20	-38.12	-2.45	210	-57.12	-21.45
30	-42.21	-6.54	220	-55.72	-20.05
40	-49.21	-13.54	230	-51.76	-16.09
50	-51.17	-15.50	240	-50.19	-14.52
60	-52.70	-17.03	250	-45.29	-9.62
70	-52.79	-17.12	260	-43.01	-7.34
80	-51.72	-16.05	270	-41.27	-5.60
90	-52.27	-16.60	280	-39.37	-3.70
100	-52.74	-17.07	290	-40.26	-4.59
110	-50.12	-14.45	300	-49.39	-13.72
120	-48.12	-12.45	310	-38.12	-2.45
130	-47.02	-11.35	320	-37.27	-1.60
140	-49.27	-13.60	330	-36.94	-1.27
150	-49.56	-13.89	340	-36.07	-0.40
160	-51.67	-16.00	350	-35.67	0.00
170	-55.37	-19.70	360	-36.74	-1.07
180	-53.28	-17.61			

ค่า Maximum Received Power.....-35.67 dB.....



แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบ xz ทั้งโพลาไรเซชันร่วมและโพลาไรเซชันไขว้





ตารางที่ 3 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับในระบบ xyz (โพลาริเซชันร่วม)

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-38.72	0	190	-52.60	-13.88
10	-39.76	-1.04	200	-50.97	-12.25
20	-41.03	-2.31	210	-49.07	-10.35
30	-41.03	-2.31	220	-49.83	-11.11
40	-41.76	-3.04	230	-52.13	-13.41
50	-45.27	-6.55	240	-51.23	-12.51
60	-46.74	-8.02	250	-49.67	-10.95
70	-43.27	-4.55	260	-48.91	-10.19
80	-46.23	-7.51	270	-50.92	-12.20
90	-46.12	-7.40	280	-48.12	-9.40
100	-45.21	-6.49	290	-45.97	-7.25
110	-52.97	-14.25	300	-44.92	-6.20
120	-52.87	-14.15	310	-43.67	-4.95
130	-51.92	-13.20	320	-44.12	-5.40
140	-49.21	-10.49	330	-43.03	-4.31
150	-48.97	-10.25	340	-41.29	-2.57
160	-47.23	-8.51	350	-40.23	-1.51
170	-49.14	-10.42	360	-39.27	-0.55
180	-52.17	-13.45			

ค่า Maximum Received Power-38.72 dB.....



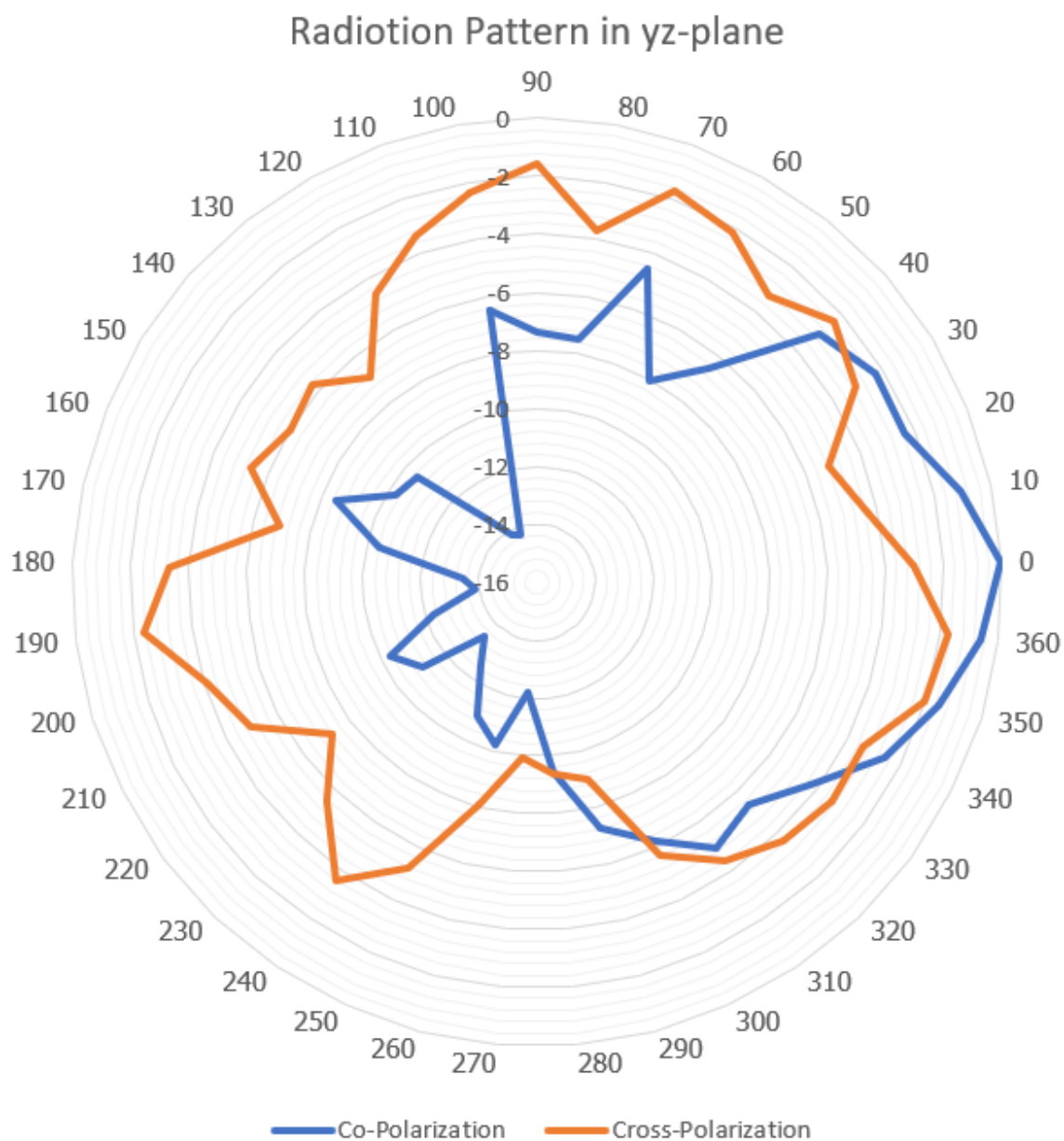
ตารางที่ 4 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับในระบบ xyz (โพลาริเซชันไขว้)

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-41.73	3.01	190	-41.07	-2.35
10	-43.07	-4.35	200	-42.82	-4.10
20	-43.91	-5.19	210	-43.69	-4.97
30	-41.85	-3.13	220	-45.92	-7.20
40	-41.07	-2.35	230	-44.23	-5.51
50	-42.03	-3.31	240	-42.32	-3.60
60	-40.87	-2.15	250	-43.91	-5.19
70	-40.39	-1.67	260	-46.82	-8.10
80	-42.39	-3.67	270	-48.67	-9.95
90	-40.27	-1.55	280	-48.07	-9.35
100	-41.07	-2.35	290	-47.71	-8.99
110	-42.08	-3.36	300	-44.39	-5.67
120	-43.37	-4.65	310	-43.14	-4.42
130	-45.61	-6.89	320	-42.41	-3.69
140	-44.39	-5.67	330	-42.06	-3.34
150	-44.72	-6.00	340	-42.13	-3.41
160	-44.12	-5.40	350	-40.73	-2.01
170	-45.62	-6.90	360	-40.41	-1.69
180	-42.03	-3.31			

ค่า Maximum Received Power-40.27 dB.....



แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบ yz ทั้งโพลาไรเซชันร่วมและโพลาไรเซชันไขว้





จากกราฟที่ได้จากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระบบ XYZ จะได้ว่า
สายอากาศที่นำมาวัดทดสอบมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบใด

☐ Isotropic ☐ Directional ☒ Omnidirectional

จงแสดงวิธีคำนวณอัตราขยายของสายอากาศที่มุม 0 องศา

$$\text{จากสูตร } (G_{or})_{dB} = (G_{ot})_{dB} = \frac{1}{2} \left[(P_r)_{dB} - (P_t)_{dB} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + (\text{cable loss})_{dB} \right] \dots (1)$$

สิ่งที่เราทราบ

- กำลังที่ฝั่งเครื่องรับ : $P_r = -36.87 \text{ dB}$ (จากตารางที่ 2)
- กำลังที่ฝั่งเครื่องส่ง : $P_t = 0 \text{ dB}$ (จากเครื่อง Vector Generator Signal)
- ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง : $R = 17 \text{ cm}$ (Far-Field)
- ความยาวคลื่น : $\lambda = 0.2 \text{ m}$ (ความถี่ 1.5 GHz)
- ค่าความสูญเสียเนื่องจากสายส่ง : cable loss = -3.4 dBm และ -2 dBm หรือเท่ากับ -35.40 dB

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อเรานำค่าไปแทนในสมการ (1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} & ; (G_{or})_{dB} = (G_{ot})_{dB} = \frac{1}{2} [-36.87 - 0 + 20 \log \left(\frac{4\pi(17 \times 10^{-2})}{0.2} \right) + (-35.40)] \\ & \therefore (G_{or})_{dB} = (G_{ot})_{dB} = -12.45 \text{ dB} \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า อัตราขยายของสายอากาศที่มุม 0 องศา มีค่าเท่ากับ -12.45 เดซิเบล

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าสายอากาศแบบ Microstrip Patch ที่นำมาใช้ทดลองเพื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงาน นั้น มีลักษณะการแผ่พลังงานแบบ Omnidirectional หรือก็คือ ระนาบหนึ่งมีการแผ่กระจายรอบทิศทาง และ ระนาบหนึ่งมีการแผ่กระจายแบบมีทิศทาง โดยจากการทดลองเมื่อนำค่าไปพล็อตและสังเกตผล จะพบว่า ระนาบ XZ มีการแผ่กระจายพลังงานไปยังด้านหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะ และระนาบ YZ มีการแผ่กระจายพลังงานเสมือนรอบทิศทาง เนื่องจากการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นมีปัญหาหลายอย่าง เช่น อุปกรณ์สำหรับการทดลองไม่พร้อมใช้งาน สภาพแวดล้อมสำหรับการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน แต่สามารถพิจารณาได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง ซึ่งการทดลองมีทั้งหมด 4 การทดลอง มีการพิจารณาการแผ่พลังงานแบบ Co-Polarization และ Cross-Polarization ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าสายอากาศเมื่อทำการติดตั้งแบบ Cross-Polarization มีแบบรูปการแผ่พลังงานดีกว่า มีกำลังงานสูงกว่าในระยะ Far-Field ดังนั้น สายอากาศ Microstrip Patch 1.5 GHz ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ Omnidirectional และแผ่พลังงานได้ดีเมื่อมีการติดตั้งแบบ Cross-Polarization



รหัสวิชา.....010113340..... ชื่อวิชา Antenna and Microwave Engineering Laboratory
ภาคการศึกษาที่.....2.....ประจำปีการศึกษา.....2565.....
รหัสนักศึกษา...6201011631188.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย..โสภณ.....สุขสมบูรณ์.....
รหัสนักศึกษา.....6201011631072.....ชื่อ-นามสกุล.....นาย ธนภูมิ.....อังกำนวยศิริ.....
วันที่ และช่วงเวลาที่ทำการทดลองWed..13.00-16.00.....
อาจารย์ผู้สอน.....PTD.....,WWT.....

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับโพลาไรเซชันของสายอากาศ
2. เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะในการวัดโพลาไรเซชันของสายอากาศ
3. เพื่อให้ นักศึกษามีทักษะในการใช้เครื่อง Spectrum Analyzer และ Signal Generator

ทฤษฎี

โพลาไรเซชัน (Polarization) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนด คือ โพลาไรเซชันของคลื่นที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายอากาศส่ง) หรือเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่ตกกระทบสายอากาศนั้น (เมื่อเป็นสายอากาศรับ) โดยใช้อธิบายถึงขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาขณะที่แผ่พลังงานออกจากสายอากาศ

โพลาไรเซชันแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ โพลาไรเซชันแบบเส้นตรง (Linear polarization) โพลาไรเซชันแบบวงกลม (Circular polarization) และโพลาไรเซชันแบบวงรี (Elliptical polarization) โดยโพลาไรเซชันแต่ละรูปแบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะการหมุนของยอดเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า ถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาชี้เป็นเส้นตรงเสมอ จะเรียกว่า เป็นโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง แต่ถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการหมุนเป็นวงกลม จะเรียกว่า เป็นโพลาไรเซชันแบบวงกลม และถ้าเวกเตอร์สนามไฟฟ้ามีการหมุนเป็นรูปวงรี จะเรียกว่า เป็นโพลาไรเซชันแบบวงรี นอกจากนี้กรณีโพลาไรเซชันแบบวงกลมและวงรี หากมองตามหลังสนามไฟฟ้าที่เดินทางออกไปแล้วสนามไฟฟ้ามีการหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Clockwise : CW) จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันหมุนขวา (Right-hand polarization : RP) แต่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise : CCW) จะเรียกว่า เป็นโพลาไรเซชันหมุนซ้าย (Left-hand polarization : LP)



เงื่อนไขโพลาไรเซชันเชิงเส้น (Linear polarization)

- มีสนามไฟฟ้าเพียงองค์ประกอบเดียวหรือ
- ถ้าสนามไฟฟ้ามีองค์ประกอบเชิงเส้นที่ตั้งฉากกันสองสนาม จะมีเฟสทางเวลาที่เท่ากันหรือ 180 องศา เฟสตรงข้าม

เงื่อนไขโพลาไรเซชันแบบวงกลม (Circular polarization)

- จะต้องมีความถี่ที่ตรงกันสองสนาม
- องค์ประกอบทั้งสองต้องมีขนาดเท่ากัน
- องค์ประกอบทั้งสองต้องมีความแตกต่างทางเฟสเวลาเป็นจำนวนคี่เท่าของ 90 องศา

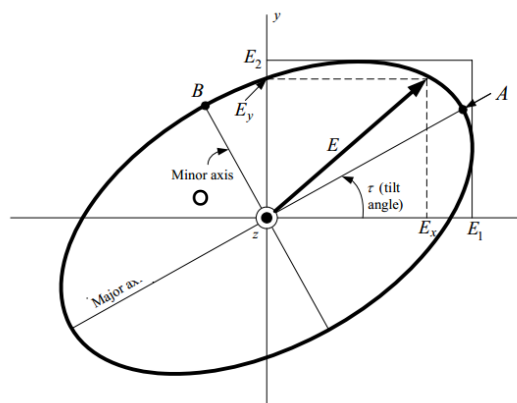
เงื่อนไขโพลาไรเซชันแบบวงรี (Elliptical polarization)

- จะต้องมีความถี่ที่ตรงกันสองสนาม
- องค์ประกอบทั้งสองอาจจะมีขนาดเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้

ถ้าขนาดขององค์ประกอบทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน ผลต่างเฟสของเวลาของสององค์ประกอบต้องมีค่าไม่เท่ากับ 0 องศา หรือเป็นจำนวนเท่าของ 180 องศา (หากเท่ากับ 0° หรือ 180° จะเป็นแบบเชิงเส้น)

ถ้าขนาดขององค์ประกอบทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ผลต่างเฟสของเวลาของสององค์ประกอบต้องไม่เป็นจำนวนคี่เท่าของ 90 องศา (หากเท่ากับ 90° จะกลายเป็นแบบวงกลม)

Axial Ratio (AR) คือ อัตราส่วนระหว่าง E_{\max} และ E_{\min} หรือ อัตราส่วนระหว่างแกนหลัก (Major axis) และแกนรอง (Minor axis)



$$\text{Axial Ratio} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{\text{Major axis}}{\text{Minor axis}} = \frac{OA}{OB} \quad (0 \leq AR \leq \infty)$$



นอกจากนี้ค่า AR ยังสามารถนำมาใช้พิจารณาโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง แบบวงกลม และแบบวงรีได้เช่นกัน นั่นคือ ถ้า $AR = 1$ (0 dB) จะเป็นโพลาไรเซชันแบบวงกลม ในขณะที่ถ้า $AR = \infty$ จะเป็นโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะไม่สามารถสร้างสายอากาศโพลาไรเซชันแบบวงกลมให้มีค่า $AR = 0$ dB ได้ แต่จะยอมรับได้ถ้าค่า $AR \leq 3$ dB

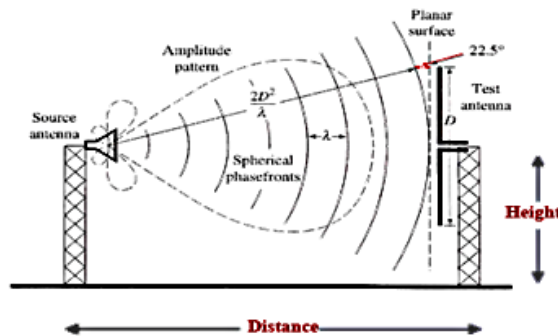
ซึ่งสามารถสรุปเงื่อนไขในการพิจารณาโพลาไรเซชันจากค่า AR ได้คือ

Circular Polarization $\rightarrow 0 \text{ dB} < \text{Axial Ratio} < 3 \text{ dB}$

Elliptical Polarization $\rightarrow 3 \text{ dB} < \text{Axial Ratio} < 20 \text{ dB}$

Linear Polarization $\rightarrow 20 \text{ dB} < \text{Axial Ratio} < \infty$

ระยะที่เหมาะสมในการวัดทดสอบสายอากาศ



รูปที่ 1 ระยะห่างและความสูงระหว่างสายอากาศรับและส่ง

ในการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในทางปฏิบัติจะวัดในย่านสนามระยะไกล (Far-field region) โดยระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ต้องการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานสามารถหาได้คือ

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

โดยที่ D คือ ความกว้างสูงสุดของสายอากาศ (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่นที่ความถี่ที่ต้องการวัดทดสอบ (เมตร)



นอกจากนี้ความสูงของสายอากาศทั้งตัวรับและตัวส่ง ต้องมีความสูงไม่น้อยกว่าระยะ 1^{st} Fresnel zone คือ

$$\text{Height}^3 \geq \frac{3 \times \text{Distance}}{40f} \quad (2)$$

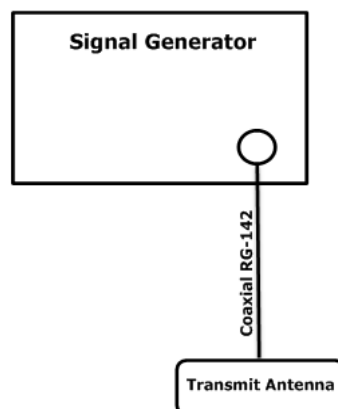
โดยที่ f คือ ความถี่ที่ต้องการวัดทดสอบ (GHz)

อุปกรณ์การทดลอง

1. สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น (Half-Wave Dipole antenna) 2 ตัว
2. สายอากาศไมโครสตริปแพทช์โพลาไรซ์วงกลม (Circularly polarized microstrip patch antenna) 1 ตัว
3. Signal Generator 1 เครื่อง
4. Spectrum Analyzer 1 เครื่อง
5. สาย Coaxial
6. ขาตั้งสายอากาศ และแกนหมุนสายอากาศ

ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง Signal Generator

1. เปิดเครื่อง Signal Generator
2. ต่อสาย Coaxial เข้ากับ Signal Generator และสายอากาศตัวส่ง โดยที่สายอากาศส่งจะถูกติดตั้งกับเสาส่งและหันหน้าเข้าหาสายอากาศรับ

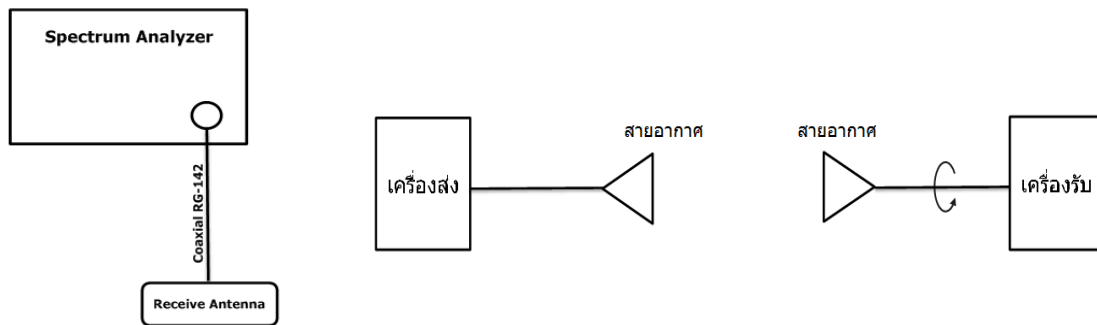


3. เลือกความถี่ใช้งาน โดยกด Center แล้วตามด้วยความถี่ดำเนินงานของสายอากาศ
4. เลือกกำลังงานที่ใช้ส่ง โดยกด Power Level แล้วตามด้วยกำลังงานที่ต้องการส่งให้กับสายอากาศส่ง ซึ่งในการทดลองให้ตั้งไว้ที่ 0 dBm (แต่ถ้าไม่สามารถรับ-ส่งกำลังงานกันได้ให้เพิ่ม Power Level)



ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมเครื่อง Spectrum Analyzer

1. เปิดเครื่อง Spectrum Analyzer
2. ต่อสาย Coaxial เข้ากับ Spectrum Analyzer และสายอากาศรับที่ต้องการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน โดยสายอากาศรับจะติดตั้งกับแกนหมุน

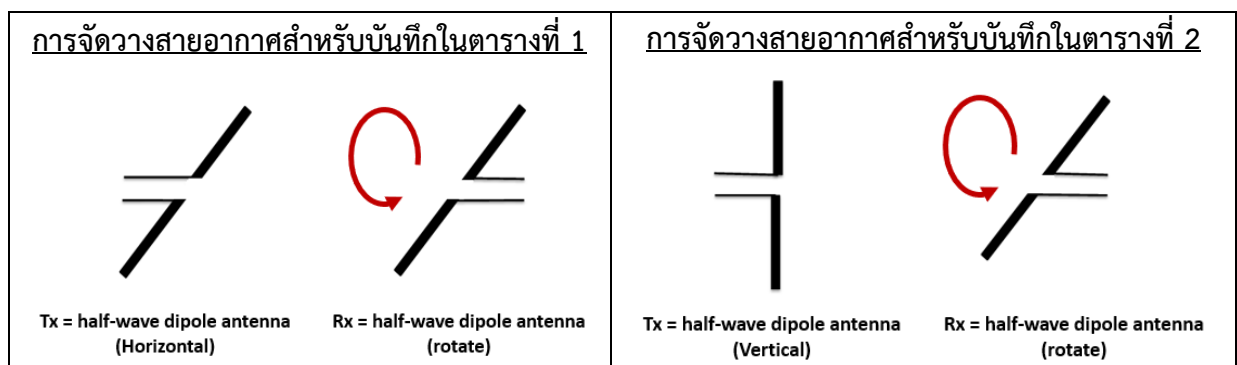


3. เลือกความถี่ใช้งาน โดยกด Center Frequency แล้วตามด้วยความถี่ดำเนินงานของสายอากาศ ทั้งนี้ ความถี่ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับต้องเป็นความถี่เดียวกัน และตั้งค่าการลดทอน (Attenuation) เป็น 0 dB
4. กด Peak Search เพื่อดูระดับกำลังงานที่รับได้โดยสายอากาศรับ

คำสั่ง ให้นักศึกษาวัดลักษณะการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น และสายอากาศโมโครสตริบแพทช์โพลาไรซ์วงกลม เพื่อทดสอบหา Axial Ratio

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการติดตั้งสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นดังรูปด้านล่าง



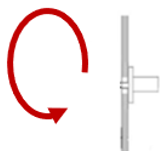


2. หมุนสายอากาศตัวรับไปครั้งละ 10 องศา โดยเริ่มจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา และบันทึกค่า Received Power ที่ได้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2
3. นำค่าที่วัดได้จากตารางที่ 1 มาพล็อตกราฟแบบเชิงขั้ว (Polar plot) โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 3.1) หาค่า Received Power สูงสุดของตาราง 1
 - 3.2) ทำการ Normalize ค่ากำลังงานที่วัดได้ โดยนำค่ากำลังที่วัดได้ในองศาต่าง ๆ ไปด้วยค่า Maximum Received Power ซึ่งจะหาค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB
 - 3.3) ทำการพล็อตกราฟค่าที่ได้จากการ Normalize
4. นำค่าที่วัดได้จากตารางที่ 2 มาพล็อตกราฟแบบเชิงขั้ว (Polar plot) โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 4.1) หาค่า Received Power สูงสุดของตาราง 2
 - 4.2) ทำการ Normalize ค่ากำลังงานที่วัดได้ โดยนำค่ากำลังที่วัดได้ในองศาต่าง ๆ ไปด้วยค่า Maximum Received Power ซึ่งจะหาค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB
 - 4.3) ทำการพล็อตกราฟค่าที่ได้จากการ Normalize
5. ทำการติดตั้งสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นและสายอากาศไมโครสตริบแพทช์โพลาไรซ์วงกลมดังรูปด้านล่าง

การจัดวางสายอากาศสำหรับบันทึกในตารางที่ 3



Tx = half-wave dipole antenna
(Horizontal)

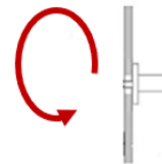


Rx = Circularly polarized
microstrip patch antenna
(rotate)

การจัดวางสายอากาศสำหรับบันทึกในตารางที่ 4



Tx = half-wave dipole antenna
(Vertical)



Rx = Circularly polarized
microstrip patch antenna
(rotate)

6. หมุนสายอากาศตัวรับไปครั้งละ 10 องศา โดยเริ่มจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา และบันทึกค่า Received Power ที่ได้ในตารางที่ 3 และ 4
7. นำค่าที่วัดได้จากตารางที่ 3 มาพล็อตกราฟแบบเชิงขั้ว (Polar plot) โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 7.1) หาค่า Received Power สูงสุดของตาราง 3
 - 7.2) ทำการ Normalize ค่ากำลังงานที่วัดได้ โดยนำค่ากำลังที่วัดได้ในองศาต่าง ๆ ไปด้วยค่า Maximum Received Power ซึ่งจะหาค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB
 - 7.3) ทำการพล็อตกราฟค่าที่ได้จากการ Normalize



8. นำค่าที่วัดได้จากตารางที่ 4 มาพล็อตกราฟแบบเชิงขั้ว (Polar plot) โดยมีขั้นตอนดังนี้

8.1) หาค่า Received Power สูงสุดของตาราง 4

8.2) ทำการ Normalize ค่ากำลังงานที่วัดได้ โดยนำค่ากำลังที่วัดได้ในองศาต่าง ๆ ไปด้วยค่า Maximum Received Power ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB

8.3) ทำการพล็อตกราฟค่าที่ได้จากการ Normalize

บันทึกผลการทดลอง

Signal Generator ที่ใช้ในการทดสอบ	Vector Signal Generator : TRANSCOM G6
Spectrum Analyzer ที่ใช้ในการทดสอบ	SpecMini T8260 Handheld Spectrum Analyzer
ย่านความถี่ดำเนินงานของสายอากาศไดโพลตัวที่ 1	1.9 GHz
ย่านความถี่ดำเนินงานของสายอากาศไดโพลตัวที่ 2	1.9 GHz
ย่านความถี่ดำเนินงานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์โพลาริเซชันวงกลม	1.9 GHz
กำลังงานที่ใช้ในการส่ง (Power level)	15 dBm
ความถี่ที่ใช้ในการวัดทดสอบ	1.9 GHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ	20 cm
ค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณเส้นที่ 1	-5.8 dB
ค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณเส้นที่ 2	-2.63 dB



ตารางที่ 1 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับไดโพลเมื่อสายอากาศส่งไดโพลวางในระนาบแนวนอน

(Tx = Half-wave dipole (horizontal) and Rx = Half-wave dipole (rotate))

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-28.41	-2.68	190	-29.53	-3.80
10	-27.69	-1.96	200	-27.39	-1.66
20	-26.01	-0.28	210	-27.12	-1.39
30	-25.73	0.00	220	-26.03	-0.30
40	-26.79	-1.06	230	-28.12	-2.39
50	-28.04	-2.31	240	-26.03	-0.30
60	-29.03	-3.3	250	-28.12	-2.39
70	-31.97	-6.24	260	-29.52	-3.79
80	-36.71	-10.98	270	-30.11	-4.38
90	-41.72	-15.99	280	-34.72	-8.99
100	-37.20	-11.47	290	-36.10	-10.37
110	-32.73	-7.00	300	-40.97	-15.24
120	-34.30	-8.57	310	-40.12	-14.39
130	-32.73	-7.00	320	-34.67	-8.94
140	-34.30	-8.57	330	-31.72	-5.99
150	-28.72	-2.99	340	-30.82	-5.09
160	-28.72	-2.99	350	-31.92	-6.19
170	-27.21	-1.48	360	-29.28	-3.55
180	-21.53	-3.80			

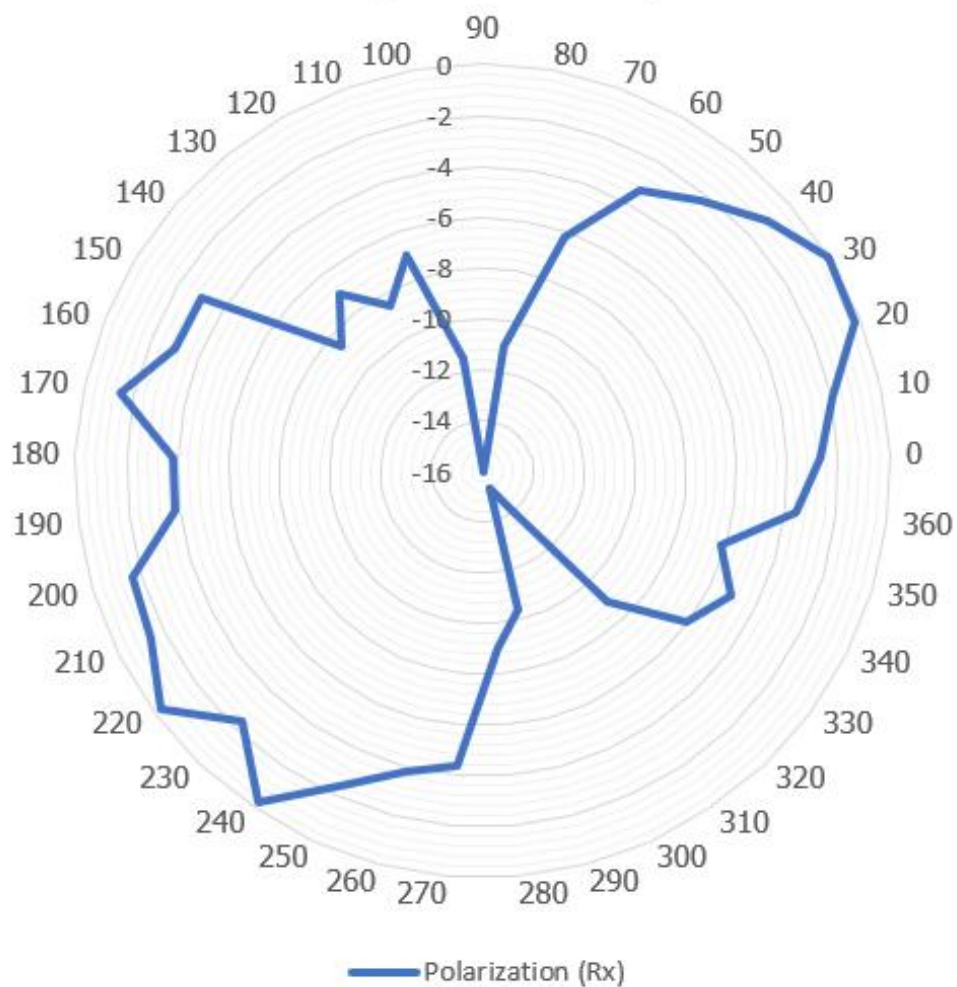
ค่า Maximum Received Power →-25.73 dB.....



แบบรูปโพลาริเซชันของสายอากาศรับได้โพลเมื่อสายอากาศส่งได้โพลวางในระนาบแนวนอน

(Tx = Half-wave dipole (horizontal) and Rx = Half-wave dipole (rotate))

Polarization Pattern of Dipole Antenna (Horizontal Rotate Rx)





ตารางที่ 2 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับไดโพลเมื่อสายอากาศส่งไดโพลวางในระนาบแนวตั้ง
(Tx = Half-wave dipole (vertical) and Rx = Half-wave dipole (rotate))

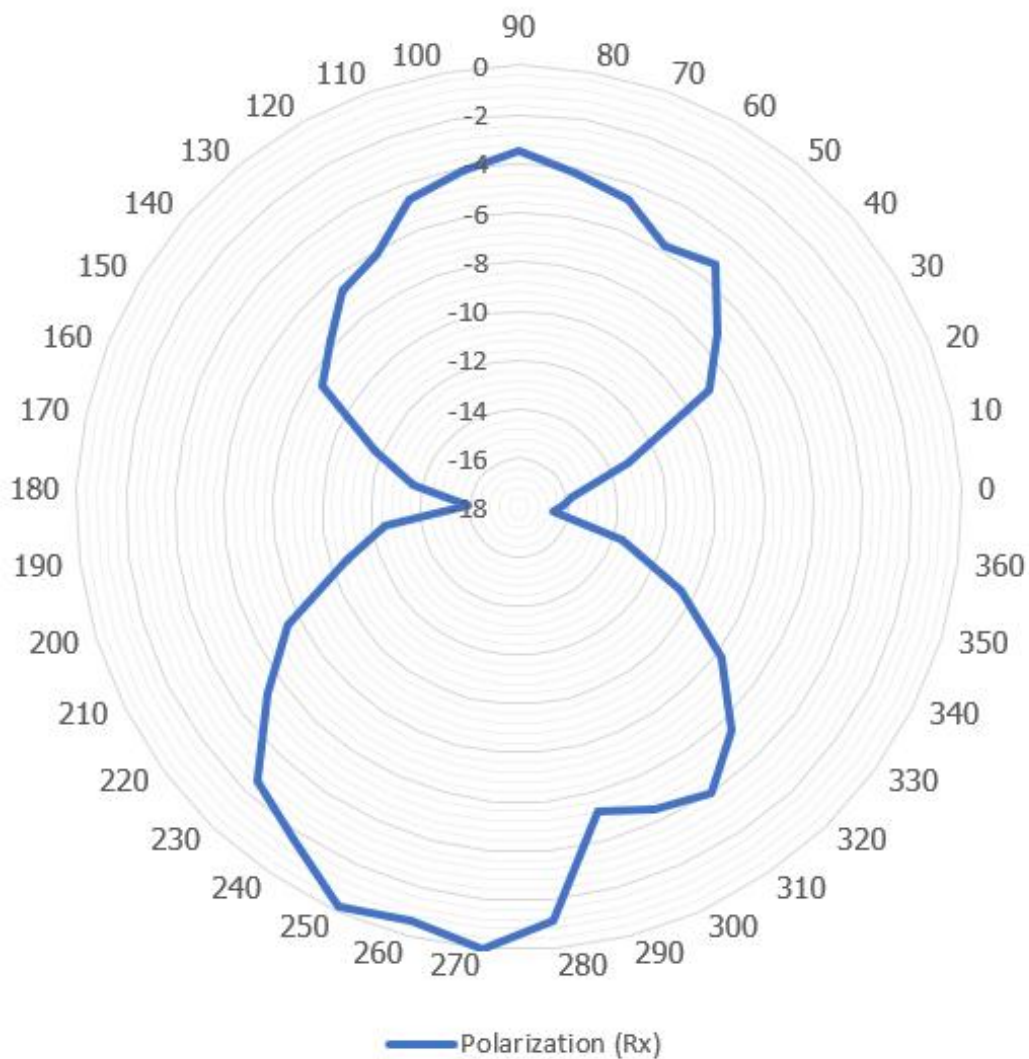
Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-53.22	-16.20	190	-49.52	-12.50
10	-52.81	-15.79	200	-47.69	-10.67
20	-50.21	-13.19	210	-44.51	-7.49
30	-45.91	-8.89	220	-42.27	-5.25
40	-44.23	-7.21	230	-39.62	-2.60
50	-42.31	-5.29	240	-38.72	-1.70
60	-42.81	-5.79	250	-37.21	-0.19
70	-41.72	-4.70	260	-37.61	-0.59
80	-41.21	-4.19	270	-37.02	0.00
90	-40.52	-3.50	280	-38.13	-1.11
100	-41.12	-4.10	290	-42.26	-5.24
110	-41.69	-4.67	300	-41.52	-4.50
120	-43.23	-6.21	310	-41.01	-3.99
130	-43.65	-6.63	320	-42.52	-5.50
140	-44.78	-7.76	330	-44.72	-7.70
150	-45.61	-8.59	340	-47.61	-10.59
160	-48.72	-11.70	350	-50.61	-13.59
170	-50.61	-13.59	360	-53.61	-16.59
180	-52.96	-15.94			

ค่า Maximum Received Power →-37.02 dB.....



แบบรูปโพลาไรเซชันของสายอากาศรับได้โพลเมื่อสายอากาศส่งได้โพลวางในระนาบแนวตั้ง
(Tx = Half-wave dipole (vertical) and Rx = Half-wave dipole (rotate))

Polarization Pattern of Dipole Antenna (Vertical Rotate Rx)





ตารางที่ 3 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับไมโครสตริปแพทช์โพลาไรซ์วงกลมเมื่อสายอากาศส่งไดโพลวางในระนาบแนวนอน

(Tx = Half-wave dipole (horizontal), Rx = Circularly polarized microstrip patch antenna (rotate))

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-52.53	-13.32	190	-60.21	-21.00
10	-59.21	-20.00	200	-51.96	-12.75
20	-55.36	-16.15	210	-47.12	-7.91
30	-50.62	-11.41	220	-44.97	-5.76
40	-45.77	-6.56	230	-43.77	-4.56
50	-43.98	-4.77	240	-42.96	-3.75
60	-41.67	-2.46	250	-41.73	-2.52
70	-40.27	-1.06	260	-40.12	-0.91
80	-39.71	-0.50	270	-39.97	-0.76
90	-39.88	-0.67	280	-39.64	-0.43
100	-39.21	0.00	290	-39.99	-0.78
110	-39.96	-0.75	300	-40.12	-0.91
120	-40.86	-1.65	310	-40.96	-1.75
130	-41.57	-2.36	320	-41.67	-2.46
140	-42.86	-3.65	330	-43.21	-4.00
150	-43.63	-4.42	340	-45.12	-5.91
160	-45.12	-5.91	350	-46.12	-6.91
170	-49.32	-10.11	360	-50.76	-11.55
180	-51.66	-12.45			

ค่า Maximum Received Power ➡-39.21 dB.....

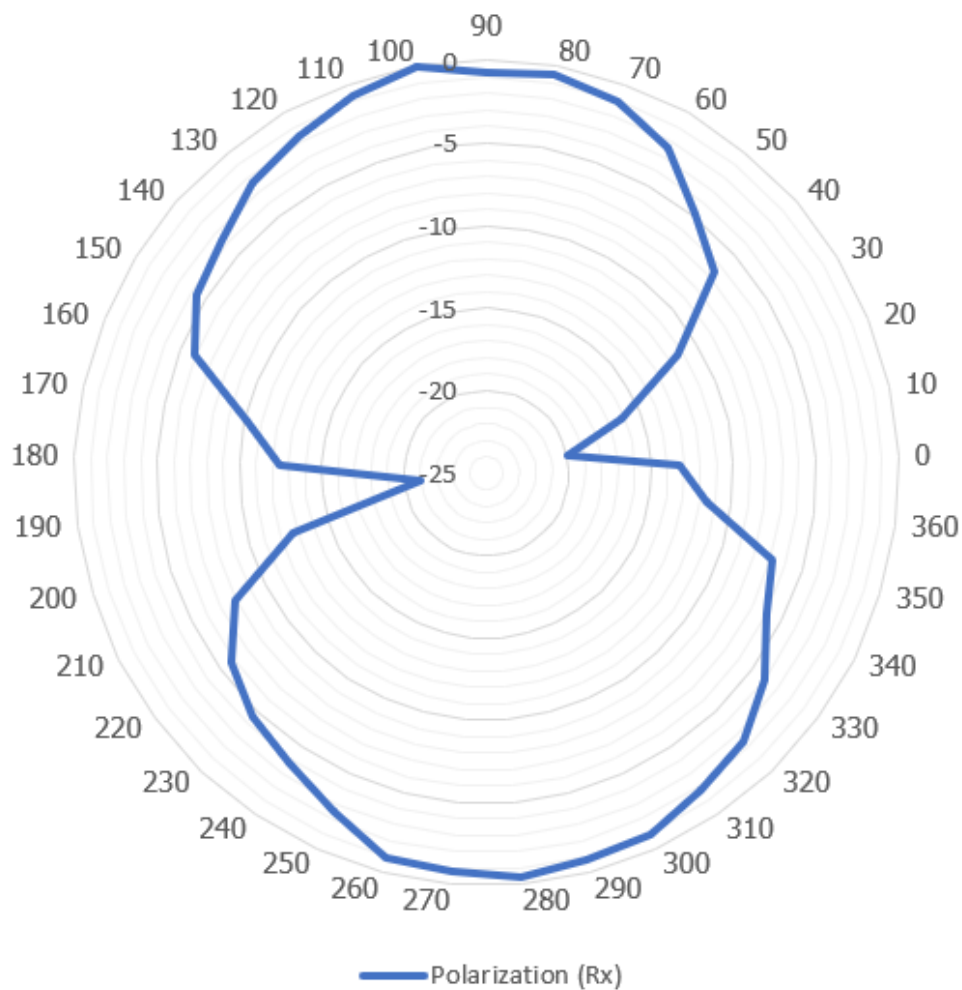


แบบรูปโพลาไรเซชันของสายอากาศรับไมโครสตริปแพทช์โพลาไรซ์วงกลมเมื่อสายอากาศส่งไดโพลวางใน
ระนาบแนวนอน

Tx = Half-wave dipole (horizontal),

Rx = Circularly polarized microstrip patch antenna (rotate)

Circularly polarization Microstrip patch Antenna (Horizontal Tx ; Rotate Rx)





ตารางที่ 4 กำลังงานที่ถูกรับได้โดยสายอากาศรับไมโครสตริปแพทช์โพลาไรซ์วงกลมเมื่อสายอากาศส่งไดโพลวางในระนาบแนวตั้ง

(Tx = Half-wave dipole (vertical), Rx = Circularly polarized microstrip patch antenna (rotate))

Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)	Angle (degree)	Received Power (dB)	Normalize (dB)
0	-38.87	-1.75	190	-38.76	-1.64
10	-37.61	-0.49	200	-37.12	0.00
20	-38.29	-1.17	210	-38.72	-1.60
30	-39.67	-2.55	220	-39.12	-2.00
40	-40.18	-3.06	230	-40.13	-3.01
50	-41.21	-4.09	240	-41.52	-4.4
60	-42.63	-5.51	250	-42.07	-4.95
70	-44.52	-7.40	260	-43.27	-6.15
80	-45.76	-8.64	270	-44.78	-7.66
90	-47.07	-9.95	280	-46.24	-9.12
100	-46.62	-9.50	290	-47.56	-10.44
110	-45.12	-8.00	300	-46.21	-9.09
120	-43.57	-6.45	310	-44.32	-7.20
130	-42.52	-5.40	320	-42.69	-5.57
140	-40.72	-3.60	330	-41.12	-4.00
150	-39.73	-2.61	340	-40.37	-3.25
160	-38.07	-0.95	350	-40.12	-3.00
170	-38.92	-1.80	360	-39.69	-2.57
180	-37.12	0.00			

ค่า Maximum Received Power →-37.12 dB.....

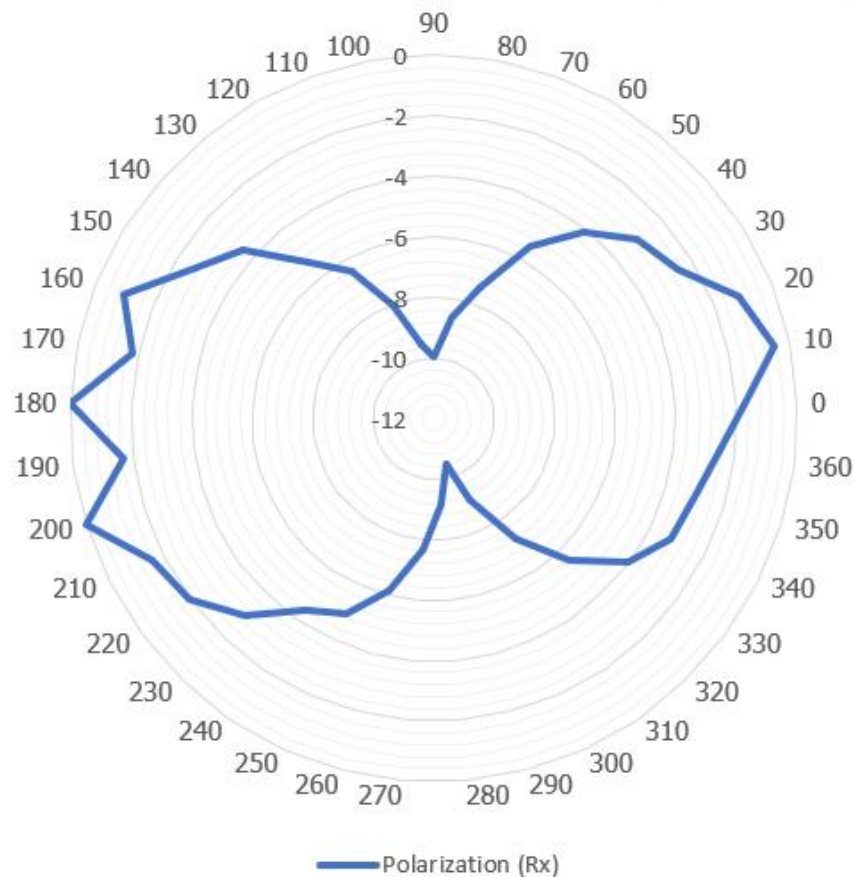


แบบรูปโพลาไรเซชันของสายอากาศรับไมโครสตริปแพทช์โพลาไรซ์วงกลมเมื่อสายอากาศส่งได้โพลวางใน
ระนาบแนวตั้ง

Tx = Half-wave dipole (vertical),

Rx = Circularly polarized microstrip patch antenna (rotate)

Circularly Polarization Microstrip Patch Antenna (Vertical Tx ; Rotate Rx)





ตารางที่ 5 ค่า Axial ratio (AR) ที่ได้จากผลการวัดแบบรูปโพลาไรเซชัน

ข้อมูล	AR (dimensionless)	AR (dB)
แบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 1	1548.82	31.9
แบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 2	660.693	28.2
แบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 3	38018.9	45.8
แบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 4	229.086	23.6

จากกราฟที่ได้จากการวัดแบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 1 จะได้ว่า

สายอากาศ Half-Wave Dipole มีโพลาไรเซชันแบบ

- ☒ Linear Polarization → ☐ Vertical ☒ Horizontal
☐ Circular Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand
☐ Elliptical Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand

จากกราฟที่ได้จากการวัดแบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 2 จะได้ว่า

สายอากาศ Half-Wave Dipole มีโพลาไรเซชันแบบ

- ☒ Linear Polarization → ☒ Vertical ☐ Horizontal
☐ Circular Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand
☐ Elliptical Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand

จากกราฟที่ได้จากการวัดแบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 3 จะได้ว่า

สายอากาศ Circularly polarized microstrip patch มีโพลาไรเซชันแบบ

- ☒ Linear Polarization → ☐ Vertical ☒ Horizontal
☐ Circular Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand
☐ Elliptical Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand

จากกราฟที่ได้จากการวัดแบบรูปโพลาไรเซชันในตารางที่ 4 จะได้ว่า

สายอากาศ Circularly polarized microstrip patch มีโพลาไรเซชันแบบ

- ☒ Linear Polarization → ☒ Vertical ☐ Horizontal
☐ Circular Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand
☐ Elliptical Polarization → ☐ Left Hand ☐ Right Hand



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

- กรณีที่ 1 กำหนดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับวางให้แนวนอนทั้งคู่ และสายอากาศรับทำหน้าที่หมุนเพื่อทำการบันทึกค่า (สายอากาศทั้งสองเป็น Microstrip Patch Antenna)
- กรณีที่ 2 กำหนดให้สายอากาศส่งวางในแนวตั้ง และ สายอากาศรับวางให้แนวนอน โดยสายอากาศรับทำหน้าที่หมุนเพื่อทำการบันทึกค่า (สายอากาศทั้งสองเป็น Microstrip Patch Antenna)
- กรณีที่ 3 กำหนดให้สายอากาศส่งวางในแนวนอน และ สายอากาศรับทำหน้าที่หมุนเพื่อบันทึกค่า (สายอากาศส่งเป็น Microstrip Patch Antenna และ สายอากาศรับเป็น Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna)
- กรณีที่ 4 กำหนดให้สายอากาศส่งวางในแนวตั้ง และ สายอากาศรับทำหน้าที่หมุนเพื่อบันทึกค่า (สายอากาศส่งเป็น Microstrip Patch Antenna และ สายอากาศรับเป็น Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna)

โดยจะทำการอธิบายแต่ละส่วน

- ในกรณีที่ 1 เราพบว่าเมื่อติดตั้งสายอากาศรับและส่งตามการทดลอง สายอากาศจะมีการโพลาไรเซชันแบบเส้นตรงในแนวนอน โดยเราสามารถพิจารณาได้จากทิศทางที่พล็อตลงบน MS Excel จะเห็นว่าทิศทางของการโพลาไรเซชันมีค่าสูงสุดเมื่อวางสายอากาศรับทำมุม 20 และ 220 องศาตามลำดับ ทั้งนี้หากเป็นไปตามทฤษฎีควรทำมุมที่ 0 และ 180 องศาตามลำดับ แต่เนื่องจากหลาย ๆ ปัจจัยทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถพิจารณาได้
- ในกรณีที่ 2 สายอากาศมีการโพลาไรเซชันแบบเส้นตรงในแนวตั้ง จะสังเกตได้ว่าทิศทางของการโพลาไรเซชันมีค่าสูงสุดเมื่อวางสายอากาศรับทำมุม 90 และ 270 องศาตามลำดับ เป็นผลมาจากการที่เราเปลี่ยนสายอากาศส่งจากแนวนอนเป็นแนวตั้งนั่นเอง
- ในกรณีที่ 3 สายอากาศมีการโพลาไรเซชันแบบเส้นตรงในแนวตั้ง แม้ว่าเราจะตั้งสายอากาศส่งให้อยู่ในแนวนอนก็ตาม ทั้งนี้เป็นเพราะสายอากาศรับเป็นสายอากาศชนิด Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna ทำให้เมื่อต้องการส่งคลื่นไปยังสายอากาศรับ สายอากาศส่งหรือสายอากาศรับจำเป็นต้องวางสายอากาศในรูปแบบของ Co-Polarization เพื่อให้สามารถรับคลื่นได้ดีที่สุดในระยะ Far-Field
- ในกรณีที่ 4 เราลองเปลี่ยนให้สายอากาศส่งวางในแนวตั้ง และให้สายอากาศรับหมุน พบว่าเมื่อวางในระนาบเดียวกัน (มุม 0 และ 180 องศา) จะทำให้มีการโพลาไรเซชันสูงสุด ซึ่งสายอากาศทั้งสองต้องวางสายอากาศในรูปแบบของ Co-Polarization เพื่อให้สามารถรับคลื่นได้ดีที่สุดในระยะ Far-Field ทั้งนี้เราสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศ Microstrip Patch Antenna มีการโพลาไรเซชันแบบ Linear Polarization และหากต้องการรับคลื่นให้มีกำลังการสูญเสียต่ำที่สุดควรวางสายอากาศเพื่อให้เกิดการ Polarization แบบ Co-Polarization