

บทที่ 5

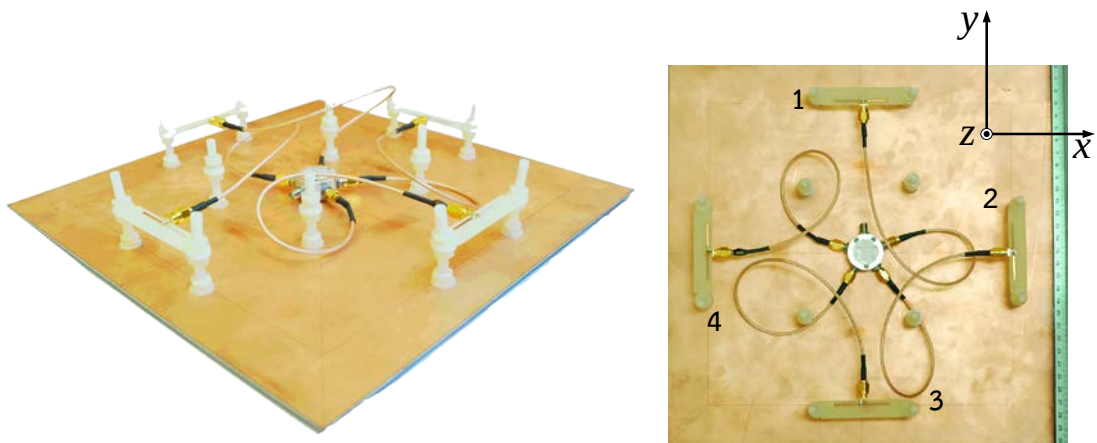
ผลการทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz และวงจรเรียงกระแส ซึ่งจะพิจารณาคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz และ yz อัตราขยายของสายอากาศ และแรงดันทางด้านขาออกของวงจรเรียงกระแส ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างสายอากาศสำหรับนำมาทดสอบได้ถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 ได้นำผลจากการศึกษาพารามิเตอร์นั้นมาสร้างเป็นสายอากาศและวงจรเรียงกระแสต้นแบบและทำการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบดังที่จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

5.2 สายอากาศต้นแบบ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อยืนยันความถูกต้องจากการจำลอง โดยสายอากาศดังกล่าวมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ WLAN โดยสายอากาศชนิดนี้ถูกออกแบบบนวัสดุฐานรองชนิด FR4 (ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3) ของ Taconic ที่มีความหนา 1.6 mm ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมาตรฐานและใช้คอนเนคเตอร์ชนิด SMA ต่อร่วมกับสายนำสัญญาณ โดยโครงสร้างของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างสายอากาศต้นแบบได้กล่าวไว้ในตารางที่ 3.4



รูปที่ 5.1 รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบ

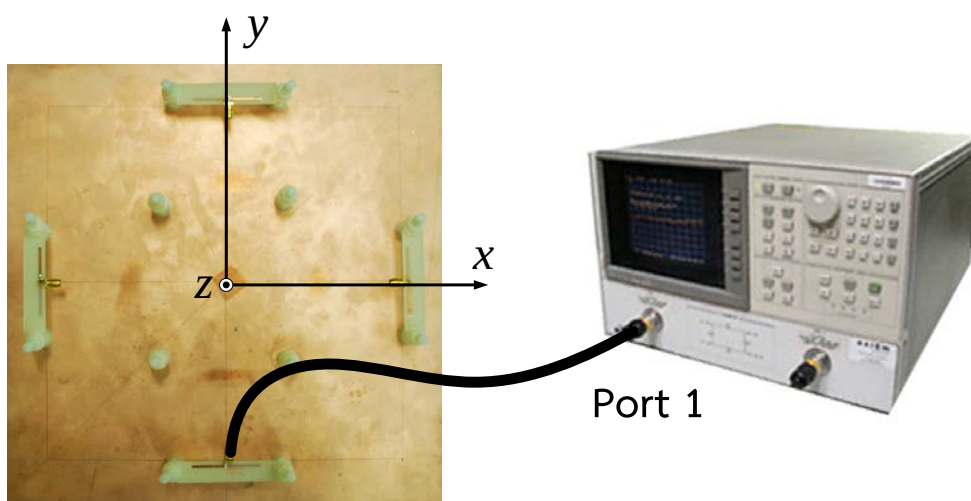
5.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบสายอากาศ

การทดสอบถึงคุณลักษณะต่างๆของสายอากาศจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เพื่อทดสอบสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz มีดังนี้

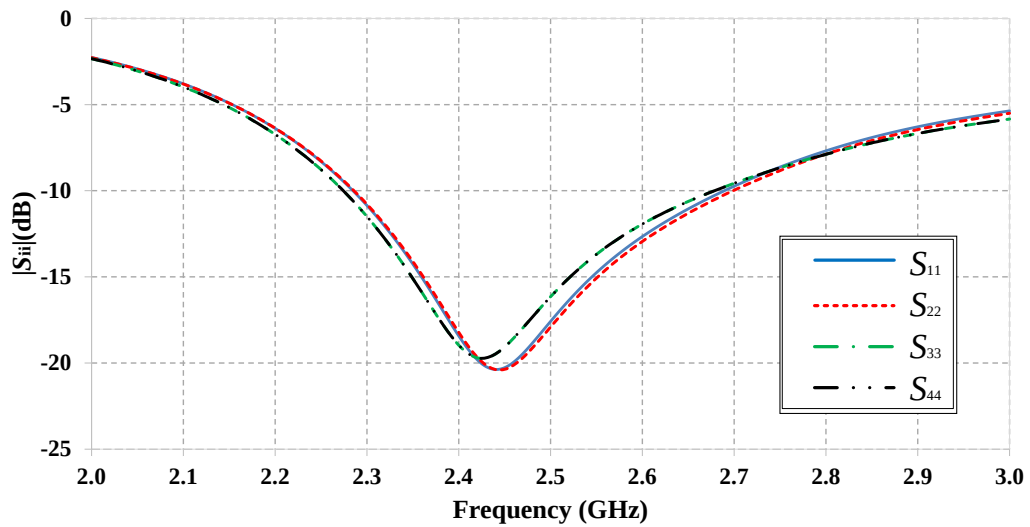
- ห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Microwave anechoic chamber)
- เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer) รุ่น HP-8720C
- สายนำสัญญาณอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

5.3.1 การทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$

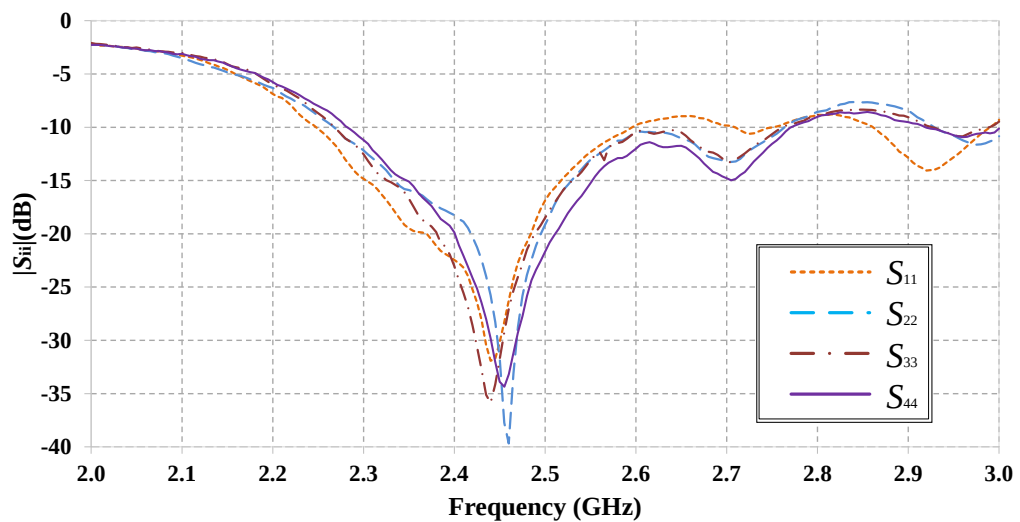
การทดสอบคุณลักษณะของ $|S_{11}|$ ทำได้โดยนำสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายเชื่อมต่อเข้ากับสายนำสัญญาณและพอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายตามลำดับ โดยก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศเพื่อที่จะทดสอบนั้น การปรับเทียบให้กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายถือเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยการปรับเทียบจะอยู่ที่ปลายของสายนำสัญญาณเพื่อลดการสูญเสียระหว่างสายนำสัญญาณที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ $|S_{11}|$ โดยการทดสอบ $|S_{11}|$ จะมีวิธีการติดตั้งสายอากาศร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่แสดงได้ดังรูปที่ 5.2 โดยสายนำสัญญาณจะมีการเชื่อมต่อกับสายอากาศไดโพลแต่ละตัวทั้งสองด้านเพื่อดูแนวโน้ม และผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 การทดสอบคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ของสายอากาศ



(ก) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ได้จากการจำลอง



(ข) $|S_{ii}|$ ของสายอากาศที่ได้จากการทดสอบ

รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $|S_{ii}|$ ของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 5.3 พบว่าผลที่ได้จากการทดสอบและการจำลองมีความสอดคล้องกัน โดยผลการทดสอบของ $|S_{11}| \leq -10$ dB มีช่วงความถี่ที่ตั้งตั้งแต่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz โดยคิดเป็น เปอร์เซ็นต์แบนด์วิดธ์ 12.2% โดย $|S_{11}|$ ต่ำสุดที่ความถี่ 2.46 GHz เท่ากับ 37 dB ซึ่งผล $|S_{11}|$ จากการทดสอบของสายอากาศมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับผลจากการจำลอง

5.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern)

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ทดสอบได้จะเป็นของสายอากาศภาครับ และใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐาน

เป็นสายอากาศภาคส่ง เนื่องจากสายอากาศไดโพลมาตรฐานมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาริซที่แน่นอนใน จึงเหมาะสมกว่าที่จะใช้สายอากาศคู่เหมือนในการทดสอบ เนื่องจากยังไม่ทราบถึงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและโพลาริซ โดยการติดตั้งสายอากาศภาคส่งและภาครับสำหรับทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะต้องมีระยะห่างมากพอที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศจะคงที่ หรือเรียกระยะดังกล่าวนี้ว่าระยะสนามระยะไกล (Far-field : R) ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.1 [17]

$$\text{จาก} \quad D_r + D_t = D$$

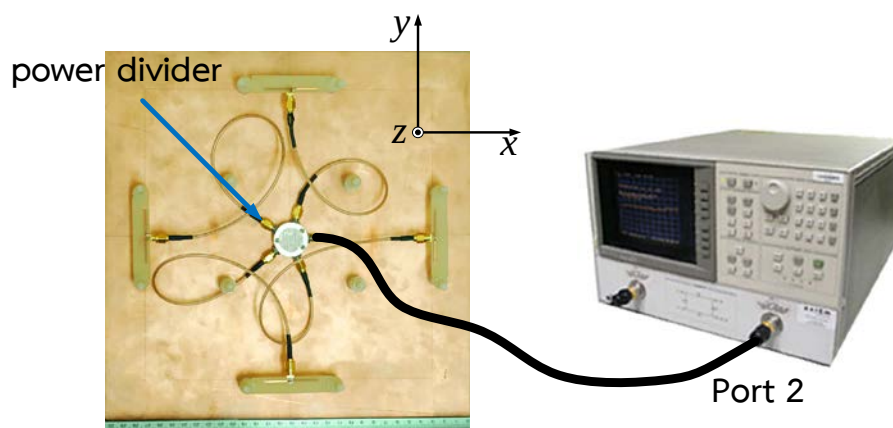
$$R \geq \frac{2(D^2)}{\lambda} \quad (5.1)$$

โดยที่ R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศ
 D คือ มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ
 D_r คือ มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศด้านรับ
 D_t คือ มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศด้านส่ง

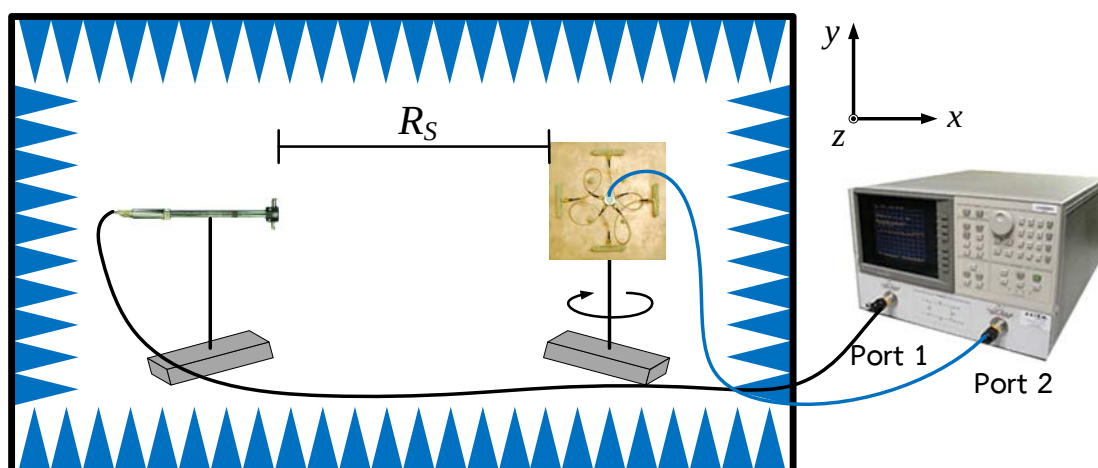
ที่ความถี่ 2.45 GHz ได้ค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 12.24 cm และมีขนาดของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 7 cm มีขนาดของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 6.5 cm นำค่าที่ได้แทนลงสมการที่ 5.1 ได้

$$R \geq \frac{2(49.5)^2}{0.122} = 29.77 \text{ cm}$$

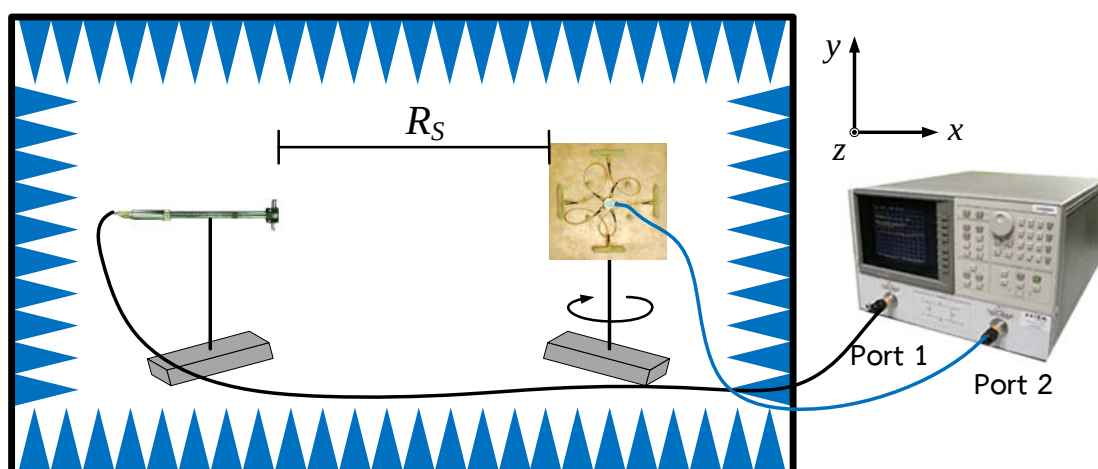
โดยการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายจะทดสอบในห้องไร้การสะท้อนคลื่น ซึ่งเป็นห้องที่มีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงช่องว่างอิสระ (Free space) มากที่สุด ทางสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายนี้ จะใช้ตัวแบ่งกำลังงานเป็นตัวรวมไดโพลแต่ละตัวเข้าด้วยกันเพื่อที่จะสามารถดูภาพรวมของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ดังรูปที่ 5.4 โดยการติดตั้งสายอากาศเพื่อทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะต้องทำการเชื่อมต่อสายอากาศภาคส่งเข้าที่พอร์ต 1 และเชื่อมต่อสายอากาศภาครับเข้าที่พอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 จะเป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซร่วมในระนาบ xz และในกรณีการทดสอบแบบโพลาริซไขว้จะเปลี่ยนการติดตั้งของสายอากาศส่งให้วางในแนวตั้ง และรูปที่ 5.6 จะเป็นการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโพลาริซร่วมในระนาบ yz และในกรณีการทดสอบแบบโพลาริซไขว้จะเปลี่ยนการติดตั้งของสายอากาศส่งให้วางในแนวนอน ซึ่งการวางแผนในการทดสอบสายอากาศสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 5.1 โดยผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเปรียบเทียบกับผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



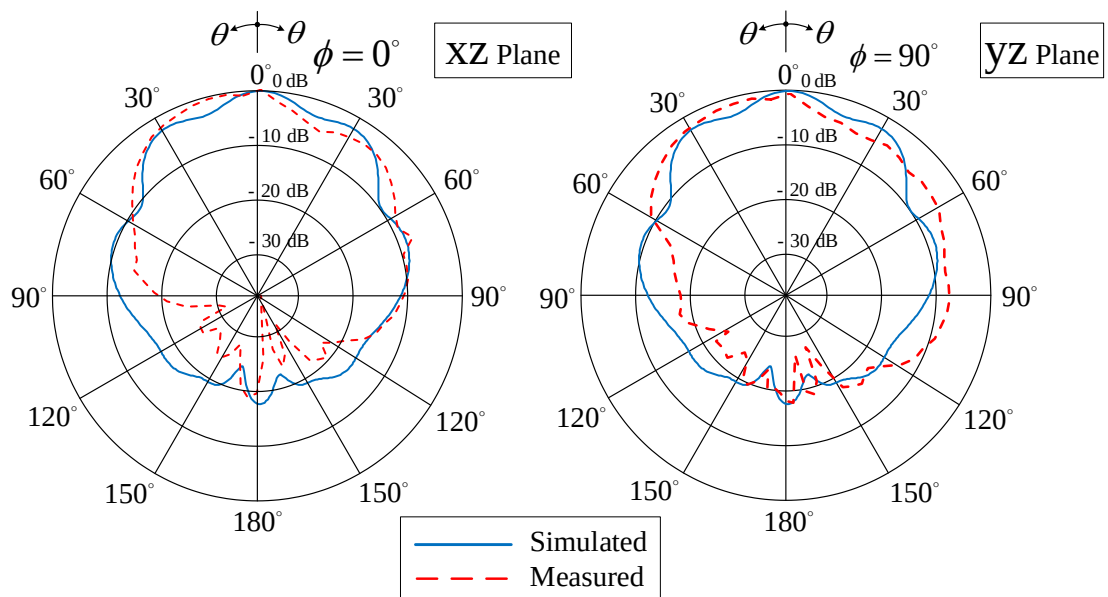
รูปที่ 5.4 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นโดยใช้ตัวแบ่งกำลังงาน



รูปที่ 5.5 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ xz



รูปที่ 5.6 การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ yz



รูปที่ 5.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบที่ได้จากการทดสอบ
เทียบกับผลจากการจำลองที่ความถี่ 2.45 GHz

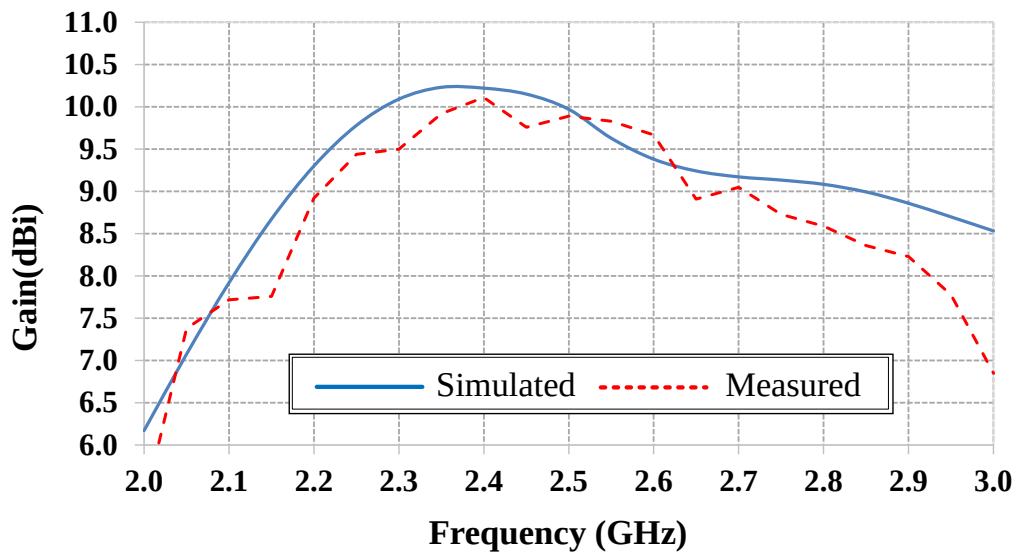
จากรูปที่ 5.7 พบว่าในระนาบ xz และ yz ผลจากการทดสอบและผลจากการจำลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และพบว่าในระนาบ xz และ yz มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเป็น 32 องศาและ 35 องศาตามลำดับ มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังเท่ากับ 24.5 dB มีค่าที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการจำลองและจากการทดสอบในแต่ละแนวแกน ซึ่งได้วิเคราะห์ถึงสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในผลการทดสอบเนื่องจากอาจมีการเชื่อมต่อระหว่างสายนำสัญญาณและคอนเนคเตอร์ ซึ่งอยู่ด้านหลังของสายอากาศภาครับ โดยขณะที่สายอากาศมีการหมุน สายนำสัญญาณที่เชื่อมต่ออยู่ที่ด้านหลังจะเกิดการหมุนตามไปด้วยดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6 ซึ่งมีโอกาสที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสายนำสัญญาณร่วมกับสายอากาศภาครับและภาคส่ง และการส่งสัญญาณที่มาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะต้องผ่านสายนำสัญญาณที่มีความยาวมาสู่สายอากาศ และมีการเชื่อมต่อกันระหว่างคอนเนคเตอร์และสายนำสัญญาณอยู่มาก จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้สัญญาณที่มาจากภาครับและภาคส่งเกิดการสูญเสีย เป็นผลให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในผลการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

5.3.3 อัตราขยาย (Gain)

สำหรับการทดสอบอัตราขยายของสายอากาศสามารถใช้วิธีการติดตั้งดังรูปที่ 5.5 หรือ 5.6 ก็ได้แต่จะไม่มีกรหมุนที่สายอากาศภาครับ โดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นสายอากาศภาคส่ง ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 2 dBi และใช้สายอากาศต้นแบบเป็นสายอากาศภาครับ เพื่อทดสอบหาอัตราขยาย ซึ่งอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้ทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 โดยการติดตั้งสายอากาศเพื่อทดสอบอัตราขยายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 และผลการทดสอบอัตราขยายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8

$$(G_{0t})_{dB} + (G_{0r})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (5.2)$$

- เมื่อ G_{0t} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (dBi)
 G_{0r} คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (dBi)
 R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ (m)
 λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน (m)
 P_t คือ กำลังของภาคส่ง (W)
 P_r คือ กำลังของภาครับ (W)



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ

จากรูปที่ 5.8 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ ที่ความถี่ 2.45 GHz มีอัตราขยายประมาณ 9.7 dBi โดยที่ความถี่ 2 GHz ถึง 3 GHz มีความสอดคล้องกันระหว่างผลจากการจำลองและผลจากการทดสอบ และสังเกตได้ว่าอัตราขยายที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าผลการจำลอง โดยสาเหตุอาจจะเกิดจากสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเกิดการสูญเสียระหว่างคอนเนคเตอร์และสายนำสัญญาณ ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น และเนื่องจากการสร้างสายอากาศลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองที่มีส่วนประกอบนอกเหนือจากทองแดงจึงทำให้สัญญาณที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุดังกล่าวมีการสูญเสียเกิดขึ้น

5.4 ขั้นตอนและผลการทดสอบวงจรเรียงกระแส

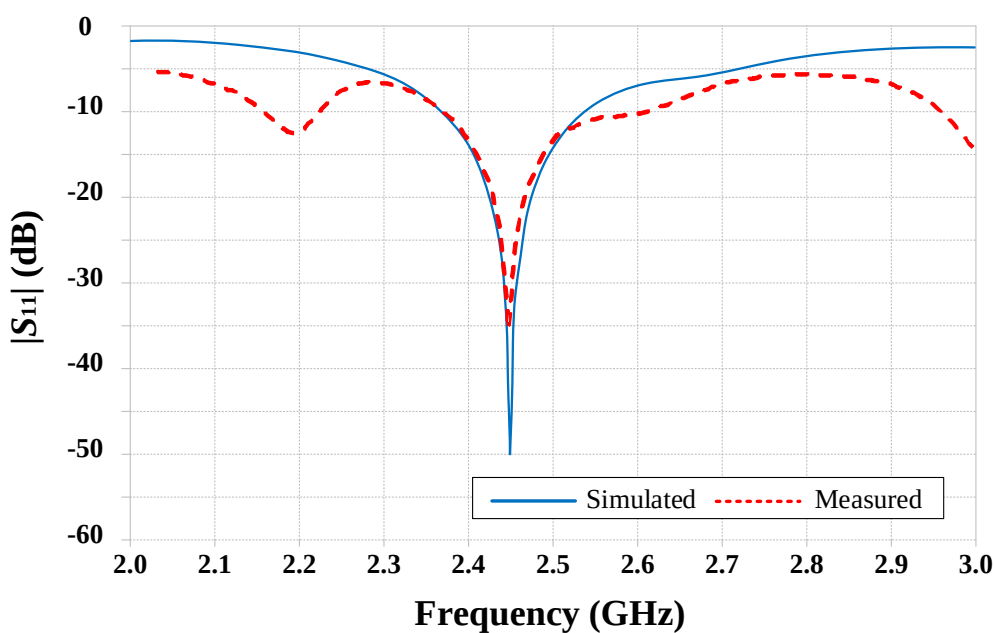
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอวงจรเรียงกระแสต้นแบบ และการทดสอบคุณลักษณะของวงจรเรียงกระแส จึงได้สร้างวงจรเรียงกระแสต้นแบบ และทดสอบคุณสมบัติ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ค่า $|S_{11}|$ การแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและประสิทธิภาพของการส่งผ่านกำลังงาน (η)

รูปที่ 5.9 แสดงวงจรเรียงกระแสต้นแบบโดยวัสดุที่นำมาใช้สร้างสายอากาศต้นแบบเป็นวัสดุที่เป็นแผ่น FR4 โดยมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง $\epsilon_r = 4.3$ น้ำหนักเบาและมีราคาถูกซึ่งหัวที่ใช้ป้อนเป็นหัวป้อน SMA



รูปที่ 5.9 รูปถ่ายของวงจรเรียงกระแสต้นแบบ

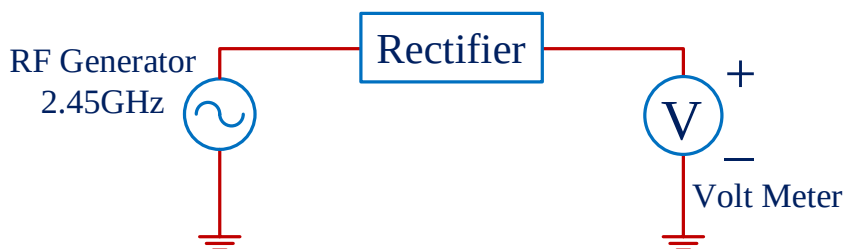
เมื่อสร้างวงจรเรียงกระแสต้นแบบแล้ว จากนั้นนำวงจรดังกล่าวเชื่อมต่อกับสายอากาศต้นแบบมาทดสอบคุณลักษณะต่างๆ เพื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองโดยโปรแกรม advanced design system (ADS) โดยทำการทดสอบ $|S_{11}|$ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 $|S_{11}|$ ของวงจรเรียงกระแสเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดสอบ

จากรูปที่ 5.10 พบว่า $|S_{11}|$ จากการทดสอบของวงจรเรียงกระแสที่ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุม ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.3 ถึง 2.6 GHz โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ 12.2% โดย $|S_{11}|$ ต่ำสุดที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ -35 dB ซึ่งผล $|S_{11}|$ จากการทดสอบของสายอากาศมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลจากการจำลอง

จากนั้นทำการทดสอบเปรียบเทียบแรงดันทางด้านขาออกที่ความถี่ 2.45 GHz โดยที่ต่อวงจรเรียงกระแสเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยตรงดังรูปที่ 5.11(ก) และ (ข) เพื่อดูแนวโน้มเปรียบเทียบกับผลการจำลองได้

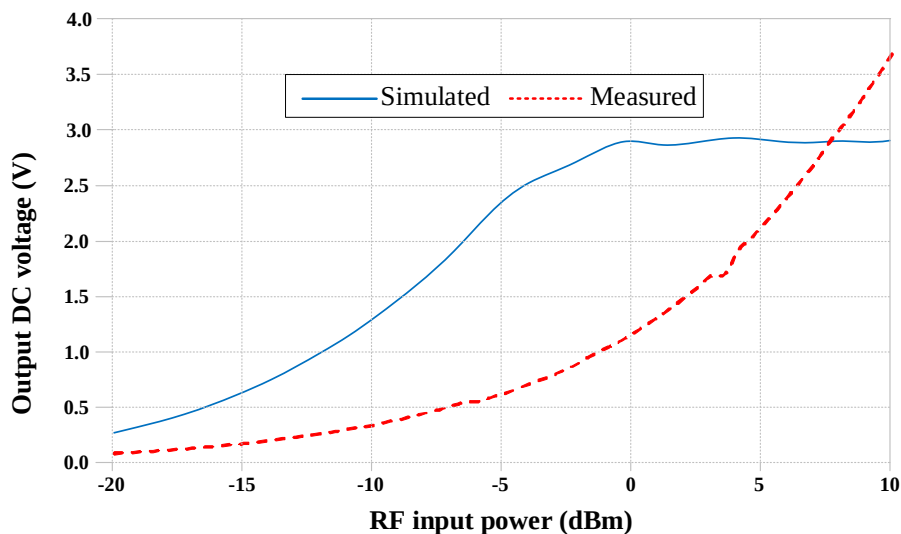


(ก) ผังการต่อทดสอบวงจรเรียงกระแสโดยต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยตรง



(ข) รูปการต่อทดสอบวงจรเรียงกระแสโดยต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยตรง

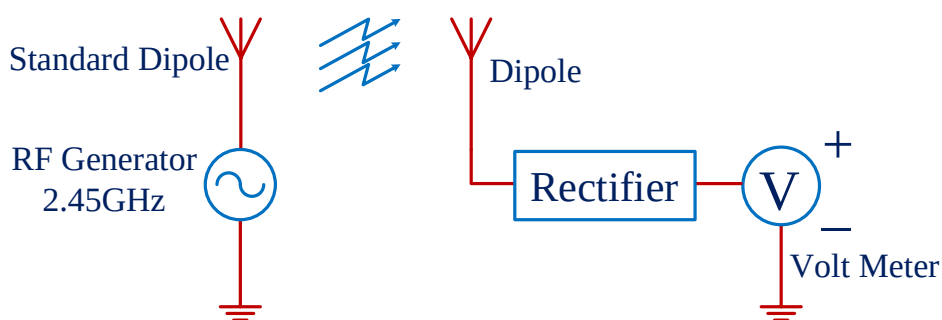
รูปที่ 5.11 การต่อวงจรเรียงกระแสเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยตรง



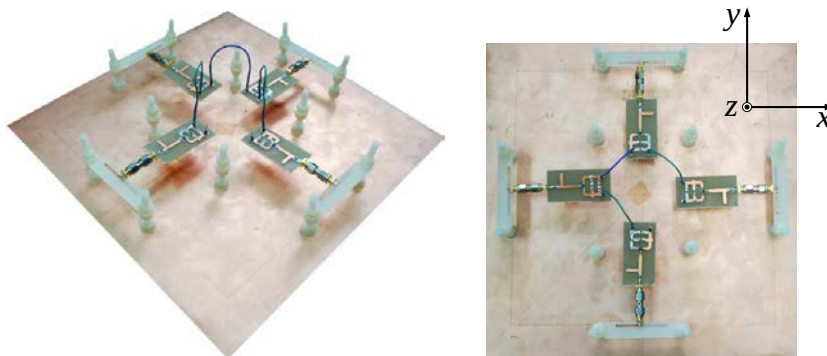
รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบแรงดันทางด้านขาออกที่ความถี่ 2.45 GHz

จากรูปที่ 5.12 พบว่าแรงดันทางด้านขาออกจากการทดสอบของสายอากาศ ได้ทำการตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณตั้งแต่ -20 dBm ไปจนถึง 10 dBm ที่ความถี่ 2.45 GHz จากการทดสอบของวงจรเรียงกระแสมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับผลจากการจำลอง

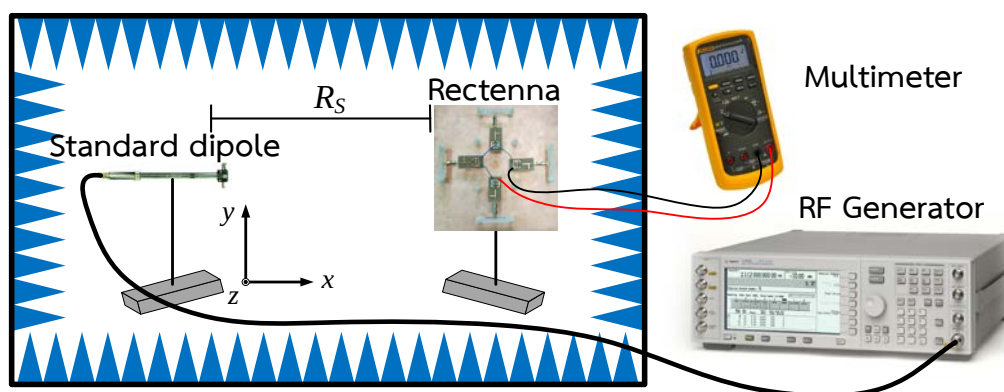
จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณ เป็นตัวส่งสัญญาณที่ความถี่ 2.40 GHz 2.45 GHz และ 2.50 GHz ใช้กำลังในการส่งตั้งแต่ -10 dBm ถึง 14 dBm ต่อจากนั้นใช้สายอากาศไดโพลที่สร้างขึ้นมาในข้างต้นเป็นสายอากาศด้านรับโดยจะทดสอบการรับส่ง 3 ระยะด้วยกันคือ 0.5 m 1 m และ 1.5 m โดยจะทำการทดสอบโดยรวมสายอากาศและวงจรเรียงกระแสเข้าด้วยกันเป็นวงจรอนุกรมทั้งสี่ตัวดังแสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ



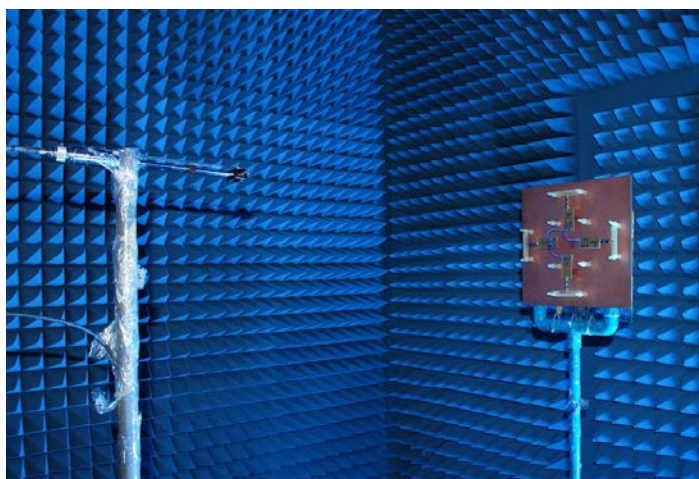
รูปที่ 5.13 การทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังสายอากาศต้นแบบ



(ก) รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบ

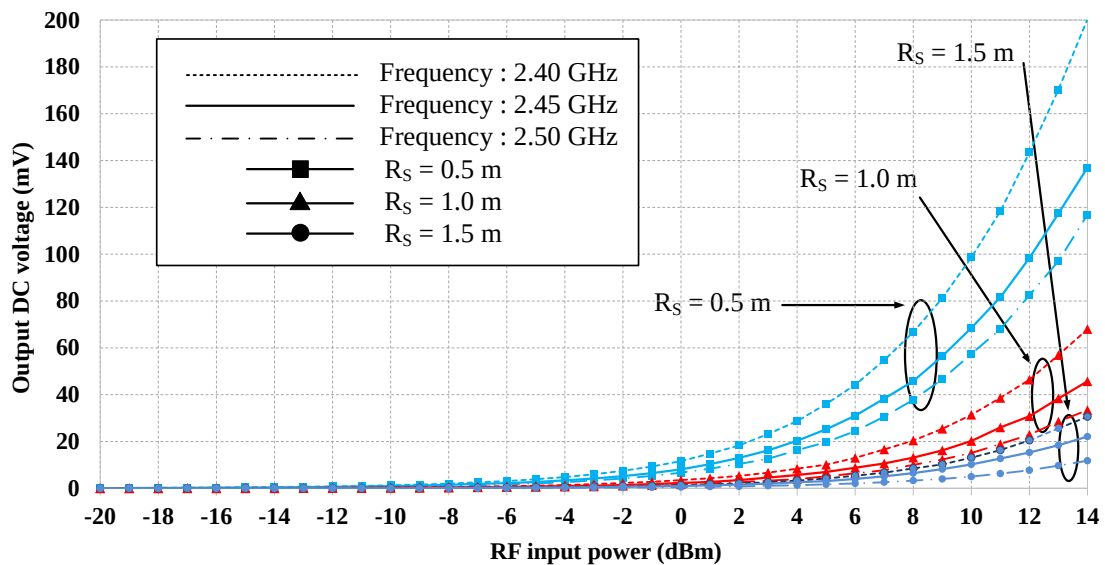


(ข) การจัดวางการทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังสายอากาศต้นแบบ



(ค) รูปถ่ายการทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังสายอากาศต้นแบบ

รูปที่ 5.14 รูปถ่ายสายอากาศต้นแบบและรูปการทดสอบการส่งผ่านกำลังงานไร้สายจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบแรงดันทางด้านขาออกที่ความถี่ 2.40 GHz 2.45 GHz และ 2.50 GHz โดยการส่งผ่านกำลังงานไร้สายในระยะต่างๆ

จากรูปที่ 5.15 พบว่าแรงดันทางด้านขาออกจากการทดสอบของสายอากาศมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามความถี่และระยะทาง โดยให้ค่าระยะทางจากสายอากาศส่งถึงสายอากาศรับคือ R_S ให้ระยะทางเท่ากับ 0.5 m 1 m และ 1.5 m โดยการตั้งค่ากำลังงานเครื่องกำเนิดสัญญาณตั้งแต่ -20 dBm ไปจนถึง 14 dBm ที่ความถี่ 2.40 GHz 2.45 GHz และ 2.50 GHz สามารถแปลงกำลังงานจากเครื่องกำเนิดสัญญาณมาเป็นแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 200 mV

สายอากาศจัดเรียงกระแสนอกจากจะให้ความสนใจในเรื่องกระแสไฟฟ้าทางด้านออกของวงจรที่ได้จากการเรียงกระแสนอกจากนี้ยังต้องคิดถึงประสิทธิภาพของการส่งผ่านกำลังงาน (η) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในการแปลงกำลังงานเป็นกระแสไฟฟ้าตรง โดยหาได้จากสมการที่ 5.1 [28]

$$\eta_{RFtoDC} = \frac{P_{out,DC}}{S_{RF} A_G} = \left(\frac{V_{DC}^2}{R_{Load}} \right) \frac{1}{S_{RF} A_G} \quad (5.1)$$

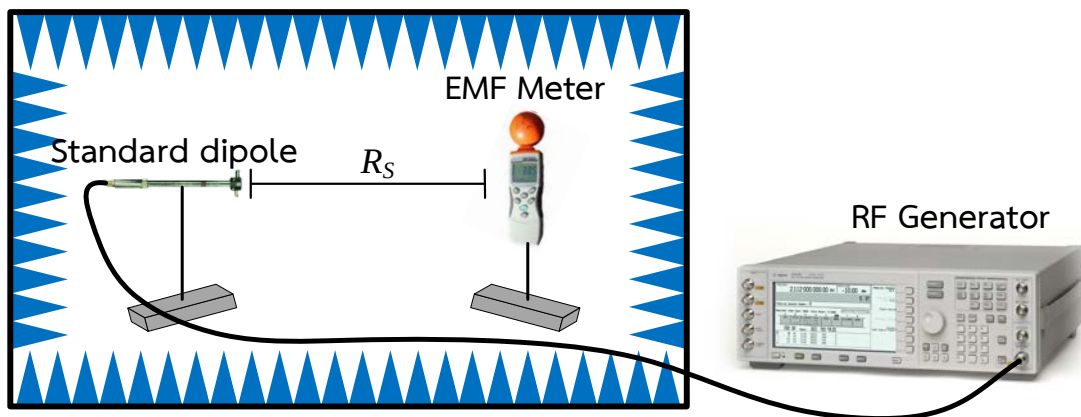
โดยที่

V_{DC} คือ กระแสไฟฟ้าตรง

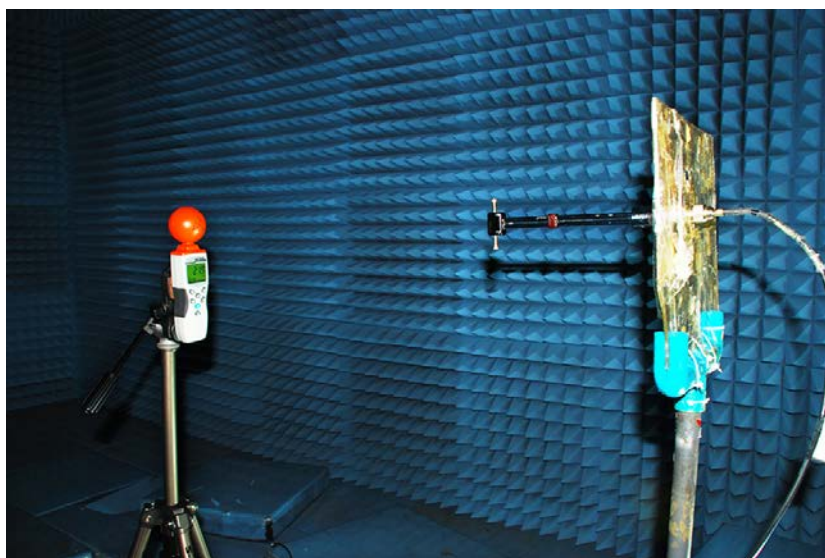
R_{Load} คือ ตัวต้านทานภายในวงจร

S_{RF} คือ ค่าความหนาแน่นกำลังงาน

A_G คือ ขนาดของสายอากาศ



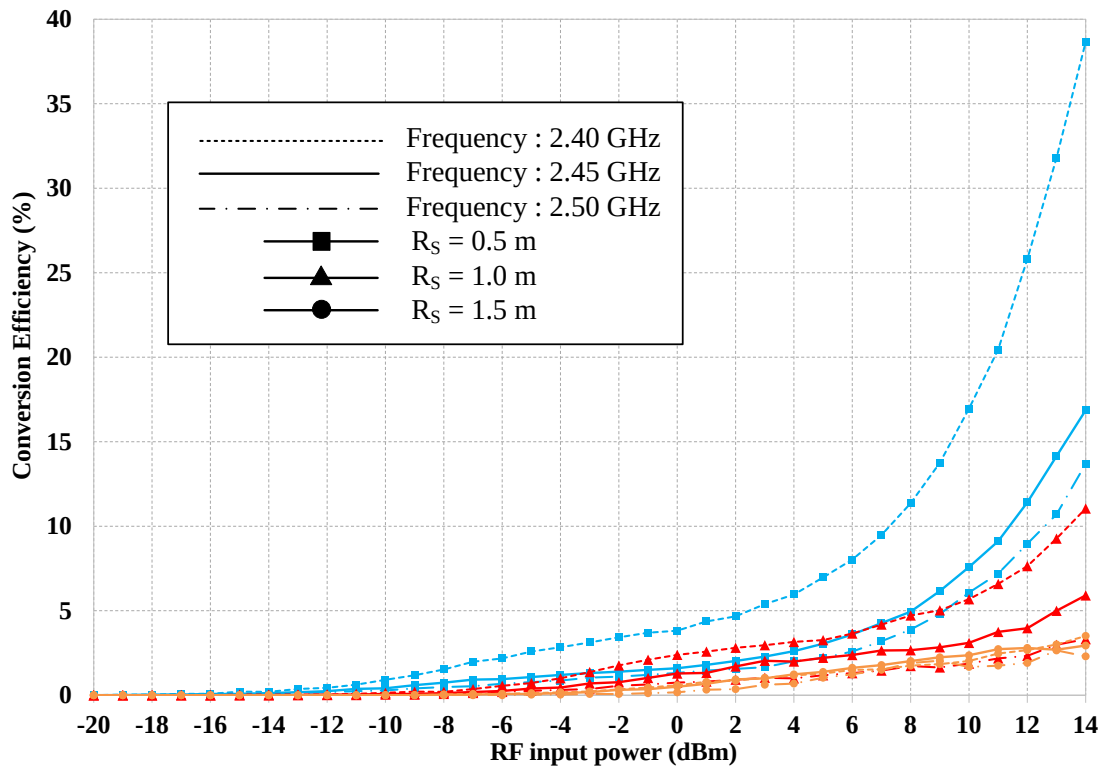
(ก) การหาค่าความหนาแน่นกำลังงาน (S_{RF}) ในแต่ละระยะ (R_s)



(ข) รูปถ่ายการหาค่าความหนาแน่นกำลังงาน (S_{RF}) ในแต่ละระยะ (R_s)

รูปที่ 5.16 การหาค่าความหนาแน่นกำลังงาน (S_{RF}) ในแต่ละระยะ (R_s)

จากรูปที่ 5.16 การหาค่าความหนาแน่นกำลังงาน (S_{RF}) ในแต่ละระยะ (R_s) ตั้งแต่ระยะ 0.5 m 1 m และ 1.5 m โดยใช้ 3 ความถี่ตั้งแต่ 2.40 GHz 2.45 GHz และ 2.50 GHz เพื่อหาค่าความหนาแน่นกำลังงานในแต่ละจุด โดยใช้เครื่องวัด Electromagnetic Field - EMF Meter เป็นเครื่องมือมาตรฐาน เพื่ออ้างอิงความหนาแน่นกำลังงานที่จุด จุดที่เราต้องการอ้างอิง และหาค่า S_{RF} เพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับสายอากาศได้



รูปที่ 5.17 ประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศจัดเรียงกระแสไฟฟ้าต้นแบบ

จากรูปที่ 5.17 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศหรือ efficiency ค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 40% ที่ความถี่ 2.40 GHz และมีระยะทางเท่ากับ 0.5 m ค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายๆอย่างเช่น ระยะทางของตัวรับ ตัวส่ง สายอากาศ ความถี่แต่ละความถี่ ขนาดของตัวรับกำลังงาน รวมถึงตัวต้านทานภายในวงจรเรียงกระแสด้วยเพราะว่าค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศจะแปรผกผันกับตัวต้านทานภายในวงจรเรียงกระแสสามารถดูได้จากสมการที่ 5.1

สายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายที่ได้นำเสนอได้เลือกใช้ตัวต้านทานเท่ากับ $1 \text{ M}\Omega$ เพื่อใช้ในการเพิ่มกระแสไฟฟ้าตรงให้กับวงจร และได้ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดสอบสายอากาศดังกล่าว โดยได้ใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานในการส่งกำลังงานมายังใช้อากาศโดยมีอัตราขยาย (G_t) เท่ากับ 1.2 dBi และส่งเป็นโพลาริซเซชันแนวตั้ง สำหรับสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายมีอัตราขยายเท่ากับ 9.7 dBi นอกจากนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนระยะทางเป็น R_s เปลี่ยนกำลังงานส่งเป็น P_t และความถี่ f_r ตามลำดับ จากรูปที่ 5.15 ผลการทดสอบพบว่าระยะทางเท่ากับ 0.5 m สายอากาศจัดเรียงกระแสไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้ามากที่สุดทั้ง 3 ความถี่และถ้าระยะทางไกลขึ้นสายอากาศมีการจัดเรียงกระแสไฟฟ้าตรงจำนวนน้อยหรือไม่มีประสิทธิภาพในการเรียงกระแสไฟฟ้า และจากรูปที่ 5.17 คือประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศจัดเรียงกระแสไฟฟ้าที่ระยะทางเท่ากับ 0.5 m 1 m และ 1.5 m โดยคำนวณจากสมการที่ 5.1 พบว่า สายอากาศจัดเรียงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมีการส่งกำลังงานที่ 14 dBm หรืออยู่ที่ประมาณ 2.51 mW จะให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานเท่ากับ 40%, ที่ความถี่ 2.40 GHz

5.5 สรุป

จากการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศแถวลำดับสำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สายและวงจรเรียงกระแส ที่ประยุกต์ใช้งานในช่วงความถี่ WLAN 2.4 GHz ที่ประกอบไปด้วย $|S_{11}|$ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โพลาริซ์ อัตราขยายของสายอากาศ และแรงดันทางด้านขาออกของวงจรเรียงกระแส โดยนำผลที่ได้จากการจำลองที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และ 4 มาทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 นี้ พบว่าผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลการจำลอง และเมื่อพิจารณาคุณลักษณะ $|S_{11}|$ ที่ได้จากผลการทดสอบยังมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการจำลองของสายอากาศไม่ได้มีการออกแบบอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างขั้นตอนการสร้างสายอากาศ แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศต้นแบบสามารถนำไปใช้งานในช่วงความถี่ WLAN ได้ โดยมีช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz การพิจารณาถึงคุณลักษณะของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่พิจารณาที่ความถี่ 2.45 GHz ตามลำดับ พบว่าที่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังกล่าวมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างผลการทดสอบและผลการจำลอง โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียว และผลการทดสอบยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ที่มีสาเหตุมาจากการเชื่อมต่อของสายนำสัญญาณที่ด้านหน้าของสายอากาศ ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสายนำสัญญาณร่วมกับสายอากาศภาครับและภาคส่ง และการส่งสัญญาณที่มาจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะต้องผ่านสายนำสัญญาณมาสู่สายอากาศ ที่มีจุดเชื่อมต่อกันระหว่างคอนเนคเตอร์อยู่มาก โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz และ yz เป็น 32 องศา และ 35 องศาตามลำดับ มีอัตราส่วนลำคลื่นด้านหน้าต่อด้านหลังเท่ากับ 24.5 dB และมีอัตราขยายในช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 2.4 GHz ถึง 2.5 GHz อยู่ประมาณ 9.7 dBi ส่วนทางด้านของการทดสอบวงจรเรียงกระแสพบว่า $|S_{11}|$ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการจำลองคือมี $|S_{11}|$ อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการ จากการทดสอบวงจรเรียงกระแสโดยต่อวงจรเรียงกระแสเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยตรงวงจรสามารถแปลงความถี่มาเป็นแรงดันได้ประมาณ 3.5 V ที่ความถี่ 2.45 GHz โดยให้กำลังจากเครื่องส่งสัญญาณที่ -20 dBm ถึง 10 dBm

จากนั้นทำการรวมสายอากาศไดโพลต้นแบบและวงจรเรียงกระแสเข้าด้วยกันเพื่อหาค่าและทดสอบโดยวัดแรงดันทางด้านขาออกด้วยมัลติมิเตอร์ โดยใช้ระยะทางในการทดสอบ 3 ระยะด้วยกัน คือ 0.5 m 1 m และ 1.5 m ที่ความถี่ 2.40 GHz 2.45 GHz และ 2.50 GHz สามารถวัดค่าแรงดันทางด้านขาออกสูงสุดได้ถึง 200 mV ที่ระยะ 0.5 m ความถี่ 2.40 GHz จากนั้นทำงานหาค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศ โดยใช้ระยะและความเดียวกันกับการวัดหาแรงดันทางด้านขาออก แต่จะทำการวัดเทียบกับเครื่อง Electromagnetic Field - EMF Meter ซึ่งเป็นเครื่องวัดมาตรฐานในการหาค่าความหนาแน่นกำลังงานที่จุดนั้นๆ สามารถหาค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานของสายอากาศ อยู่ที่ประมาณ 40% ที่ระยะ 0.5 m และความถี่ 2.40 GHz