

การออกแบบสายอากาศวิวลติแอนติโพดอล 2.4GHz สำหรับการประยุกต์ใช้การส่งกำลังงานไร้สาย

โยษิตา เจริญศิริ¹ ชุมพล ปทุมมาเกษร² เฉลิมชนม์ ตั้งวัชรพันธ์^{3*}

Received : August 12, 2020

Revised : April 21, 2021

Accepted : April 23, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลสำหรับการส่งกำลังงานไร้สาย โดยใช้หลักการออกแบบของสายอากาศแบบร่องเรียวยาวไมโครสตริปที่มีความกว้างแถบ มีการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่สมมาตรและง่ายต่อการปรับสมดุลของอิมพีแดนซ์ สายอากาศวิวลติแอนติโพดอลได้ถูกออกแบบโดยใช้โปรแกรมการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการสื่อสารย่าน Wi-Fi โดยสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลนี้ มีขนาด 75x75 มม. ใช้แผ่น PCB ชนิด FR4 ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริก 4.4 ความกว้างแถบความถี่ครอบคลุมย่านความถี่ 2 GHz – 6 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -10 dB มีอัตราขยายระหว่าง 4.5 dBi - 9.48 dBi และมีการแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง เนื่องจากอัตราขยายที่สูงนี้ จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในการส่งกำลังงานไร้สาย เมื่อนำมาต่อร่วมกับวงจรเรกติไฟเออร์โดยทำหน้าที่เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งชุดสายอากาศ 1 ชุดที่มีความถี่ 2.4 GHz จะได้ค่ากำลังงานที่ภาครับ -20dBm แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้ 0.913V กระแส 20mA ทั้งนี้สามารถนำแรงดันจากชุดสายอากาศภาครับหลายชุดมาต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันและกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้

คำสำคัญ: การส่งกำลังแบบไร้สาย สายอากาศวิวลติ สายอากาศวิวลติแอนติโพดอล

¹ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

อีเมล: yosita.cha@vru.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

อีเมล: toy161@hotmail.com

³ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม อีเมล: shalerm123@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: shalerm123@gmail.com

DESIGN OF VIVALDI ANTIPODAL ANTENNA 2.4 GHz FOR WIRELESS POWER TRANSMISSION APPLICATION

Yosita Charoensiri¹ Chumpon Patummakason² Shalermchon Tangwachirapan^{3*}

Abstract

This paper presents the Vivaldi Antipodal antenna 2.4GHz for wireless power transmission application based on the design of tapered slot antenna slender micro-stripe with bandwidth. The proposed antenna had the symmetric dissipated energy plane of electrical and magnetic fields, which was also easy to adjust the equilibrium of impedance. In addition, the antenna was designed using computer simulation so as to obtain the parameters which are suitable for Wi-Fi communication. The simulation results showed that the antenna had the dimension of 75x75 mm. The material was a PCB of the FR4 type with the dielectric constant of 4.4, the operating frequency band with in the range of 2 – 6 GHz, a feedback loss of less than -10 dB, and a gain of 4.5–9.48 dBi. The antenna had the directional energy dissipation and high gains which were good for wireless power transmission application, when connected with a rectifier circuit that acted as a conversion from AC power to DC power. A set of antennas at a frequency of 2.4 GHz would get a power factor of -20 dBm which can be converted converting to DC 0.913V, 20mA. The voltage from multiple receiver antenna units could be connected in series to increase the DC voltage and power.

Keywords: Wireless Power Transmission, Vivaldi antenna, Vivaldi Antipodal antenna

¹ Lecturer, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage, e-mail: yosita.cha@vru.ac.th

² Assistant Professor, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage, e-mail: toy161@hotmail.com

³ Lecturer, Faculty of Science and Technology Nakhon Pathom Rajabhat University, e-mail: shalerm123@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: shalerm123@gmail.com

บทนำ

สายอากาศวิวลติแอนติโพดอล เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะแบบซิกซ์ทิศทางแบนด์วิธกว้าง มีประสิทธิภาพในการแผ่รังสีดี ประกอบด้วยช่องเปิดรูปโค้งระหว่างแถบนำทาง 2 ด้าน (Alhawari et al., 2012) ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างค่าความต้านทานของสายอากาศกับพื้นที่ว่าง อีกทั้งยังมีรูปร่างขนาดเล็ก มีโดเมนความถี่และโดเมนเวลาที่ดี ถึงแม้ว่ารูปทรงเรขาคณิตของการกำหนดค่าสายอากาศนี้จะเปลี่ยนรูปร่างก็ตาม แต่ก็ยังสามารถสร้างรูปแบบการแผ่รังสี แบบสมมาตรใกล้เคียงกับพื้นผิวได้ สายอากาศชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน เช่น Radar-Imaging, Wireless Monitoring, Precision Tracking and Wi-fi Application (Moosazadeh & Kharkovsky, 2015; Bayat & Mirzakhani, 2012) เนื่องจากปัจจัยทางด้านอัตราขยายต้องสูงขึ้นเพื่อตอบสนองความสามารถในการสะท้อน ส่งผ่านหรือดูดกลืน ได้มีงานวิจัย (Siddiqui et al., 2011) เป็นการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศวิวลติแอนติโพดอล โดยใช้เทคนิคการเพิ่มไดอิเล็กตริกเลนส์ ด้วยวัสดุ Arlon AD255 ซึ่งวัสดุที่หาได้ยาก ออกแบบเป็นรูปวงรีในส่วนหน้าของช่องเปิดแบบร่องเรียว (Bang et al., 2018 ; Tangwachirapan et al., 2019) สามารถให้อัตราขยายมากกว่า 5 dBi จากคุณลักษณะเด่นของสายอากาศที่มีให้อัตราขยายสูงและมีช่วงแถบความถี่กว้าง ผู้วิจัยได้นำเสนอ สายอากาศวิวลติแอนติโพดอล โดยมีการปรับขนาดส่วนป้อนสัญญาณและมีสัดเป็นรูปทรงเรขาคณิตแบบโคซายด์สำหรับการแมทซ์ตลอดย่านความถี่ 2-6 GHz ใช้ไดอิเล็กตริกเลนส์ซึ่งจัดหาได้ง่ายเป็นวัสดุชนิด FR4 ออกแบบเป็นรูปสามเหลี่ยมในส่วนหน้าช่องเปิดของร่องเรียว และเป็นเนื้อเดียวกันกับฐานรองของสายอากาศหลัก เพื่อลดความซับซ้อนในการออกแบบและสร้าง อีกทั้งยังให้อัตราขยายที่สูงตลอดย่านความถี่ 2-6 GHz โดยมีขนาด 75x75 มม. เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานการส่งกำลังงานไร้สาย ในระบบสื่อสาร Wi-Fi ที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.7 GHz อีกด้วย

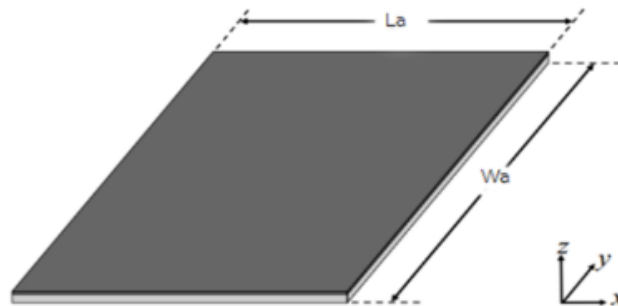
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและออกแบบสายอากาศที่มีคุณสมบัติให้อัตราขยายสูงแต่มีขนาดเล็กสำหรับการส่งกำลังงานไร้สายที่เป็นรูปแบบวิวลติแอนติโพดอล

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบโครงสร้างสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลที่มีความถี่ 2 GHz – 6 GHz จะเริ่มต้นจากพารามิเตอร์พื้นฐานคือ กำหนดให้ส่วนตัวนำที่ความหนา 0.035 mm. ทั้งสองด้านให้มีขนาดใกล้เคียงกัน จัดวางในแต่ละด้านทั้งสองด้านแบบสมมาตรบนวัสดุฐานรองแบบ FR4 ที่ความหนา 1.6 mm โดยต้องการให้สายอากาศนั้นมีการแพร่กระจายคลื่นตามที่ต้องการ จะถูกพิจารณาวัสดุที่ใช้ทำสายอากาศคือ PCB ชนิด FR4 ที่มีค่าคงที่

ไดอิเล็กทริกขนาด 4.4 กำหนดให้ความถี่ต่ำ (f_t) , ความหนาของพื้นผิว (h) , และค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ_r) , ความกว้าง (W_a) และความยาว (L_a) ของสายอากาศดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดของโครงสร้างสายอากาศ

คำนวณหาค่าความกว้าง (W_a) และความยาว (L_a) ของตัวสายอากาศโดย สมการที่ 1

$$L_a = W_a = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

โดยที่ c คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8
 f คือ ความถี่(เริ่มต้น) ที่ต้องการออกแบบมีค่าเท่ากับ 2 GHz
 ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

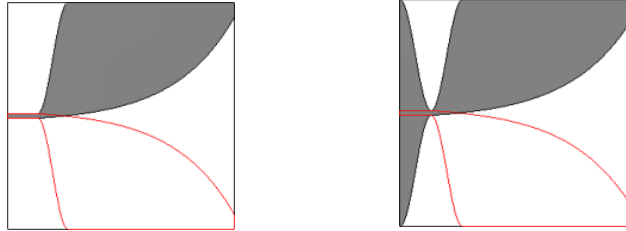
ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความกว้างและความยาวได้ดังต่อไปนี้

$$L_a = W_a = \frac{3 \times 10^8}{2.0 \times 10^9 \times \sqrt{4.4}} = 72 \approx 75 \quad (2)$$

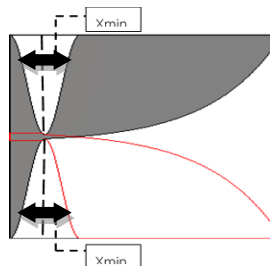
การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลป้อนด้วยสายนำสัญญาณ ระบายร่วมตามได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมแล้ว ทำการสร้างส่วนโค้งตามสมการ (2) เพื่อออกแบบส่วนหน้าช่องเปิดร่องเรียวของสายอากาศ ขึ้นต่อไปทำการปรับระนาบกราวด์ตามสมการ (3) บนโปรแกรมจำลองแบบ CST (Computer simulation software) ดังภาพที่ 2

$$y = C_1 e^{BX} + C_2 \quad (3)$$

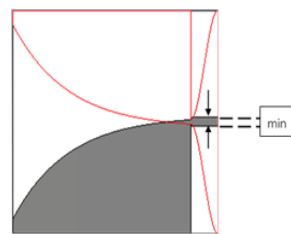
$$y_A = A_1 \cos(2\pi x/k) + A_2 \quad (4)$$



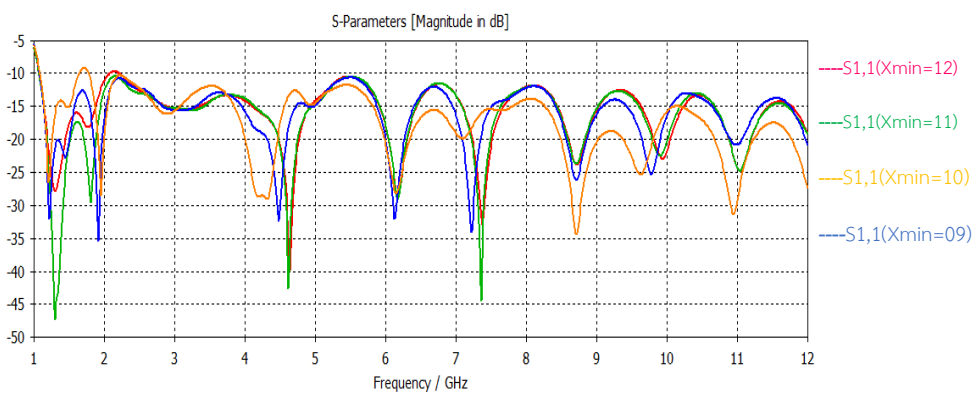
ภาพที่ 2 การสร้างสายอากาศวิโอลดิแอนติโพดอลในช่วงเริ่มต้น



ภาพที่ 3 การปรับระนาบกรวดสายอากาศ



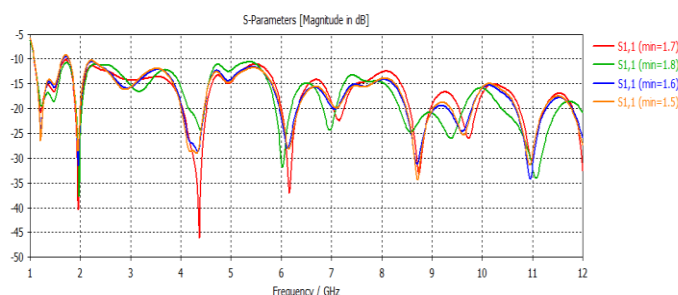
ภาพที่ 4 การปรับความกว้างสตรีป



ภาพที่ 5 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ เมื่อปรับระนาบกรวดของสายอากาศ

เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ระนาบกรวดของสายอากาศที่เหมาะสมและดีที่สุดแล้วและพิจารณากราฟดังภาพที่ 5 พบว่าที่ค่า $X_{min} = 10$ เป็นค่าที่สนใจโดยให้ผลตอบแทนของค่าการสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ในช่วงความถี่สื่อสาร 2 GHz – 3 GHz และ 5 GHz – 6 GHz ซึ่งเป็นช่วง Wi-Fi ดีที่สุดสำหรับช่วงอื่นคือ 3 GHz – 5 GHz

นั้นไม่ได้ถูกใช้งานแต่ยังคงให้ผลตอบแทนตลอดย่านให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB และพบว่าค่าความสูญเสียย้อนกลับ มีแนวโน้มในช่วงความถี่ที่ต้องการ 2 GHz – 6 GHz แต่ความสูญเสียย้อนกลับในช่วงความถี่ 2 GHz – 3 GHz และ 5 GHz – 6 GHz ยังไม่เพียงพอจึงทำการปรับความกว้างของส่วนสตริปในลำดับต่อไป

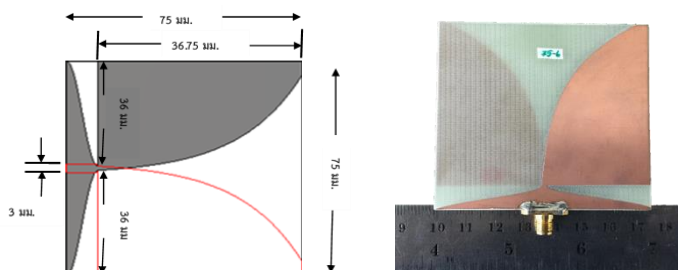


ภาพที่ 6 ค่าความสูญเสียย้อนกลับจากการปรับความกว้างสตริป

เมื่อทำการปรับความกว้างในส่วนสตริปพิจารณาจากภาพที่ 6 พบว่าที่ค่าความกว้างส่วนสตริป 1.5 mm. และ 1.6 mm. ให้ผลตอบแทนความถี่จากค่าสูญเสียย้อนกลับตลอดย่าน 2 GHz – 3 GHz และ 5 GHz – 6 GHz มีค่าต่ำที่สุด

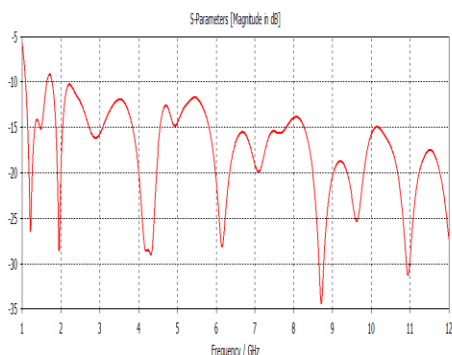
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่ได้ทำการจำลองออกแบบด้วยโปรแกรมจำลองแบบสายอากาศ CST ที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ขั้นตอนต่อไปคือนำมาทำการสร้างสายอากาศต้นแบบสำหรับการใช้งานจริง พบว่า สายอากาศที่ถูกสร้างมาเพื่อใช้งานได้จริงต้องทำการปรับขนาดของโครงสร้างให้มีความสมดุล เนื่องจากปัจจัยของวัสดุที่ใช้ในการทำสายอากาศต้นแบบมีผลต่อค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่เหมาะสม โดยหลังจากจากปรับขนาดสายอากาศต้นแบบให้มีความเหมาะสมแล้วจะได้ขนาดของสายอากาศต้นแบบแสดงดังภาพที่ 7 และสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลที่สร้างขึ้นจริงโดยสร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีความหนา 1.6 มม.

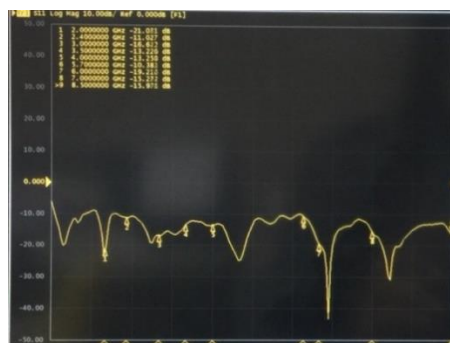


ภาพที่ 7 โครงสร้างสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลจากการจำลองและสายสายอากาศวิวอลดิแอนติโพดอลสร้างขึ้นจริง

เมื่อได้ทำการออกแบบจำลองสายอากาศต้นแบบและสร้างขึ้นมาจริง ขั้นตอนต่อมาได้ทำการวัดและทดสอบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบนด์วิดท์และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลที่ถูกสร้างขึ้นมา



(ก) ผลจำลองค่าความสูญเสียย้อนกลับ



(ข) ผลการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับ

ภาพที่ 8 ผลจำลองและผลการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับของสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอล

ภาพที่ 8 พบว่าผลการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับของสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลที่สร้างขึ้นมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับค่อนข้างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผลการจำลอง โดยที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าเท่ากับ -11.02 dB ที่ความถี่ 4 GHz มีค่าเท่ากับ -13.608 dB และที่ความถี่ 5.7 GHz มีค่าเท่ากับ -10.14 dB โดยสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลที่สร้างขึ้นจริงมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่ความถี่ 2.4 GHz / 5 GHz



ภาพที่ 9 การทดสอบวัดอัตราขยายของสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอล

การวัดอัตราขยายของสายอากาศ โดยทำการต่ออุปกรณ์ตามภาพที่ 9 อุปกรณ์ถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณ (RF Signal generator) เป็นตัวป้อนสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 2 – 6 GHz ส่งกำลังคลื่นออกไปที่ 0 dBm โดยผ่านสายโคแอกเซียล (Coaxial cable) ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์มไปยังสายอากาศด้านส่ง

(Transmission antenna) ที่เป็นตัวส่งสัญญาณแผ่ไปยังสายอากาศด้าน รับ (Receiver antenna) กำหนดแถบความถี่ (Spectrum analyzer) ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาอัตราขยายของสายอากาศ เนื่องจาก สายอากาศที่สร้างขึ้นมาจริงสามารถนำมาทดสอบ และคำนวณหาอัตราขยายทั้งด้านรับและด้านส่งของสายอากาศจากสมการ

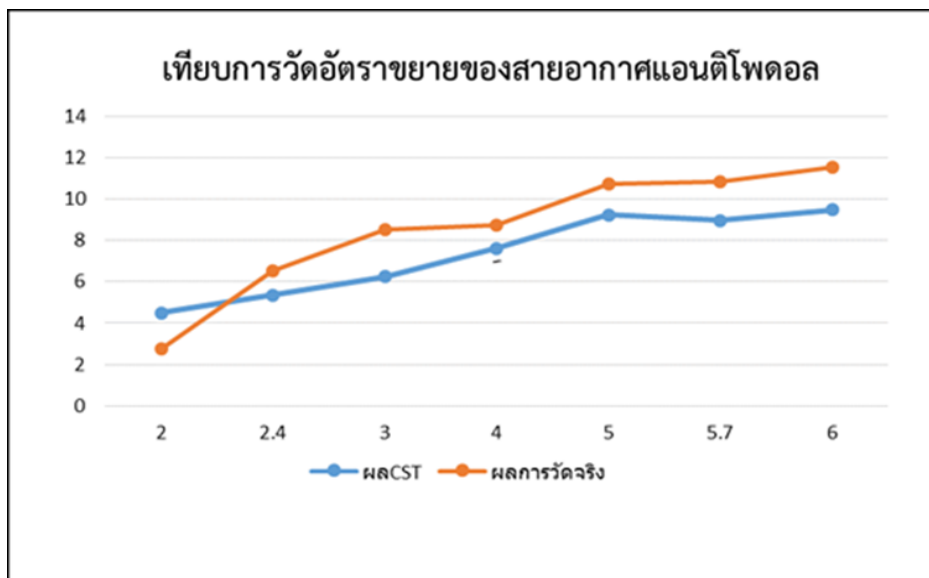
$$2G = P_r - P_t + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (5)$$

โดยที่

P_r คือ กำลังงานที่รับ (dBm)

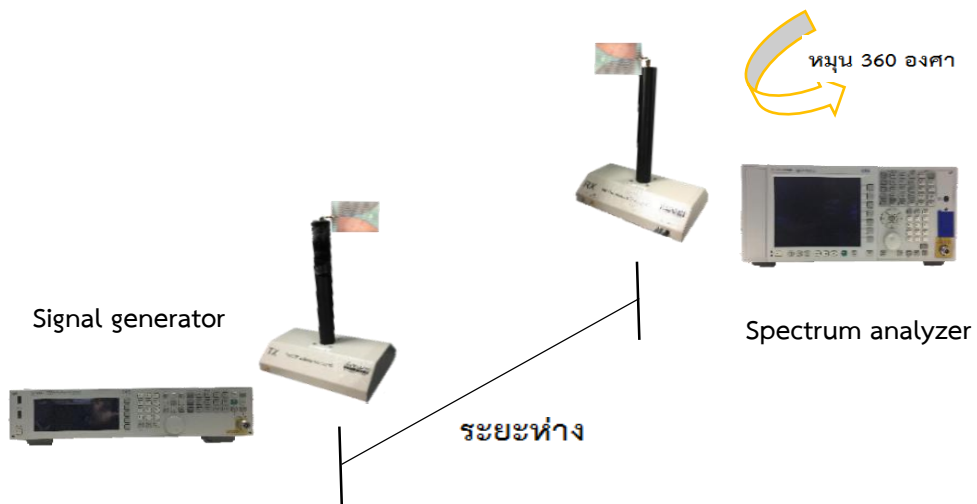
P_t คือ กำลังงานที่ส่ง (dBm)

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับ และ ตัวส่ง (m)



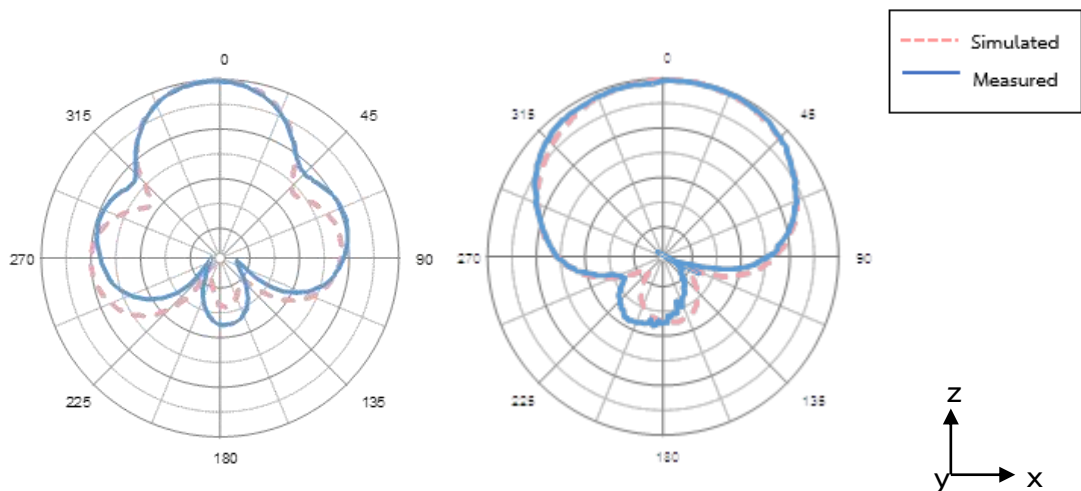
ภาพที่ 10 ค่าอัตราการขยายของสายอากาศวิวลติแอนติโพดอล

อัตราขยายของสายสายอากาศวิวลติแอนติโพดอลระหว่างผลการจำลองและผลการวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่า ที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าอัตราการขยาย 5.8 dBi และ 6.54 dBi ที่ความถี่ 4 GHz มีค่าอัตราการขยาย 7.9 dBi และ 8.76 dBi สำหรับที่ความถี่ 5.7 GHz มีค่าอัตราการขยาย 9.1 dBi และ 10.8 dBi ตามลำดับ



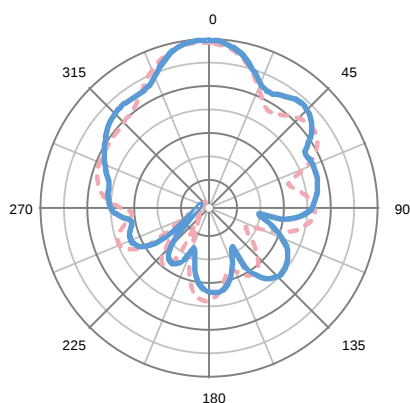
ภาพที่ 11 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศในแนวระนาบ xz

การทดสอบวัดรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศทำการต่ออุปกรณ์ตามภาพที่ 4.11 โดยต่ออุปกรณ์เข้ากับเครื่องสร้างสัญญาณ (Signal generator) เป็นตัวป้อนสัญญาณที่มีความถี่ 2.4 GHz , 4 GHz และที่ความถี่ 5.7 GHz ส่งคลื่นที่ส่งออกไปมีค่าเท่ากับ 5 dBm โดยผ่านสายโคแอกเซียล ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ไปยังสายอากาศด้านส่ง (Transmission antenna) ที่เป็นตัวส่งสัญญาณการแผ่พลังงานไปยังสายอากาศด้านรับที่เป็นตัวรับสัญญาณ ซึ่งเป็นสายอากาศที่จะทำการทดสอบโดยส่งผ่านสายโคแอกเซียล เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analyzer)

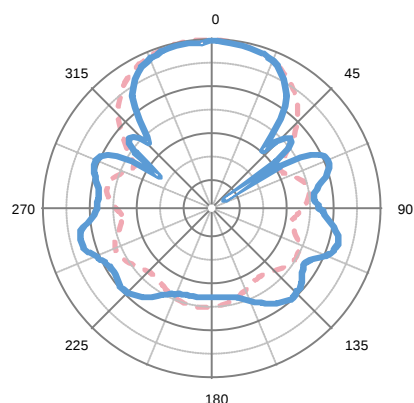


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้าความถี่ 2.4 GHz

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็กความถี่ 2.4 GHz



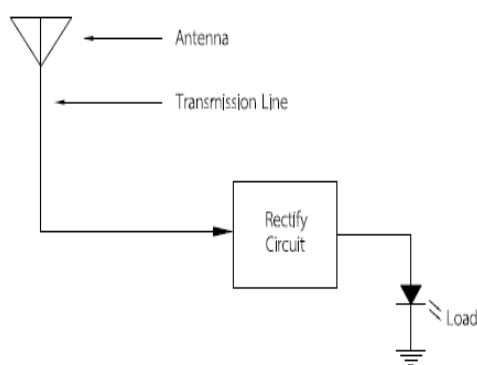
(ค) ระบายสนามไฟฟ้าความถี่ 5.7 GHz



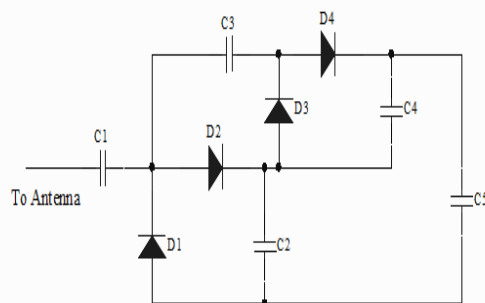
(ง) ระบายสนามแม่เหล็กความถี่ 5.7 GHz

ภาพที่ 12 การแผ่พลังงานของสายอากาศจากผลการวัดและผลการจำลองในระบายสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ความถี่ 2.4 GHz และ ความถี่ 5.7 GHz

จากภาพที่ 12 การแผ่พลังงานจะพบว่าในช่วงความถี่ทดสอบความถี่ 2.4 GHz และ 5.7 GHz พบว่ามีลักษณะเจาะจงทิศทาง และมีการแผ่พลังงานที่สอดคล้องกับผลการจำลองและการวัดจริง



ภาพที่ 13 การต่อสายอากาศกับชุดเรกติไฟเออร์ไปยัง Load LED ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Two-stage



ภาพที่ 14 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Two-stage

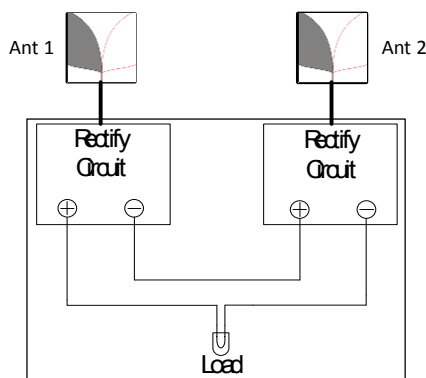
จากภาพที่ 13 แสดงรูปแบบในการต่อสายอากาศกับชุดเรกติไฟเออร์ไปยัง Load LED ที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งในการออกแบบจะต้องทำการแมตช์ซึ่งระหว่างสายอากาศกับวงจรเรกติไฟเออร์เพื่อให้เกิดการส่งผ่านที่ดี ส่วนภาพที่ 14 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Two-stage โดยที่วงจรแบบ Two-stage

ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ 5 ตัว และไดโอด 4 ตัว ต่อแบบอนุกรมจากด้านอินพุต กระแสไหลผ่าน C1 กับ D2 โดย C1 จะทำการเก็บประจุ จนได้เท่ากับแรงดันที่จ่ายเข้ามา เมื่อคลื่นในครึ่งหลังเข้ามา กระแสจะไหลผ่าน C1, D1 และ C2 โดยในจังหวะนี้ C2 จะทำการเก็บประจุไปในทิศทางเดียวกับการไหลกระแส ทำให้ประจุที่ C2 เท่ากับแรงดันอินพุตบวกกับแรงดันที่ประจุไว้ที่ C1 จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าออกมาเท่ากับสองเท่าของแรงดันอินพุตที่เข้ามา ทั้งนี้จะทำให้แรงดันที่จุดต่อระหว่าง D2 กับ C2 และ C3, D3, D4, C4 เกิดแรงดันไฟฟ้าสองเท่าเช่นเดียวกัน ซึ่งนั่นจะทำให้แรงดันระหว่างจุดต่อ D2 กับ C2 และจุดต่อ D4 กับ C4 เมื่อรวมกันแล้วจะได้แรงดันที่เอาต์พุตสี่เท่าระหว่างจุดต่อ D4 กับ C4

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดสอบวงจรเรกติไฟเออร์ที่ภาครับแบบ Two-Stage

Frequency	Amplitude (dBm)	Voltage (V)	LED
2.4GHz	-25	0.29	ดับ
	-24	0.363	ดับ
	-23	0.485	ดับ
	-22	0.622	ดับ
	-21	0.792	ดับ
	-20	0.913	ดับ
	-19	1.11	ดับ
	-18	1.288	ดับ
	-17	1.37	ดับ
	-16	1.474	ดับ
	-15	1.532	สว่าง
	-14	1.572	สว่าง

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าแรงดันที่วงจรเรกติไฟเออร์แบบ Two-stage ได้รับนั้น สามารถขับหลอด LED ให้สว่างได้ ตั้งแต่กำลังส่งที่ -15 dBm จะทำให้ได้รับแรงดันที่ 1.532 V ทำการต่อวัตต์กระแสได้ 20mA ซึ่งจะส่งผลทำให้หลอด LED เริ่มสว่างโดยสามารถเพิ่มจำนวนสายอากาศหากต้องการ Amplitude (dBm) จากสายอากาศให้มากยิ่งขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนสายอากาศในภาครับจำเป็นจะต้องเพิ่มชุดเรกติไฟเออร์ตามจำนวนชุดสายอากาศด้วย



ภาพที่ 15 รูปแบบการต่ออนุกรมจากชุดเรกติไฟเออร์มายัง Load ทางวงจรภาครับ

จากภาพที่ 15 แสดงรูปแบบการต่ออนุกรมจากชุดเรกติไฟเออร์มายัง Load โดยชุดเรกติไฟแต่ละชุดจะถูกต่อจากสายอากาศ และเมื่อสัญญาณจากสายอากาศที่เป็น AC ผ่านชุดเรกติไฟเออร์จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นสามารถนำไฟฟ้ากระแสตรงนี้มาต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดัน สายอากาศตัวที่ 1 สามารถรับกำลังงานในรูปแบบ dBm ได้โดยประมาณที่ -20dBm โดยเมื่อผ่านชุดเรกติไฟเออร์จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงและเทียบกับตารางที่ 3.2 ทำให้ได้แรงดันที่ 0.913 V กระแส 20mA สำหรับส่วนอากาศตัวที่ 2 รับกำลังงานในรูปแบบ dBm ได้โดยประมาณที่ -21dBm ซึ่งใกล้เคียงกับตัวที่ 1 และเมื่อผ่านชุดเรกติไฟเออร์จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงและเทียบกับตารางที่ 3.2 ทำให้ได้แรงดันที่ 0.792 V กระแส 20mA เมื่อนำแรงดันจากทั้งสองชุดมาอนุกรมกันจะได้แรงดันรวมที่ 1.705 V ทำให้ LED สว่างโดย LED สว่างนั้นจะมีกระแสไหลผ่านที่ 20mA นั่นเอง



ภาพที่ 16 หลอด LED สว่างที่นำมาต่อร่วมกับวงจรภาครับ

จากภาพที่ 16 หลอด LED สว่างเมื่อนำมาต่อร่วมกับวงจรภาครับที่มีชุดเรกติไฟเออร์และสายอากาศจำนวน 2 ชุด

สรุป

จากการศึกษาและออกแบบสายอากาศวิทยวลติแอนด์โพตอล ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบด้วยกัน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับส่วนโค้งในส่วนด้านหน้าได้ผลการตอบสนอง ความถี่ในย่านกว้างครอบคลุมความถี่ใช้งานคือ 4 GHz - 5 GHz แต่ค่าความสูญเสียย้อนกลับมีค่าต่ำไม่เพียงพอ จึงได้ทำการปรับโครงสร้างในขั้นตอนที่สองคือการปรับความกว้างฐานส่วนกรวดรูปโคซายด์ พบว่าการตอบสนองของสายอากาศดีขึ้นมากคือ มีค่าความสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ แต่ย่านความถี่ที่ตอบสนองกลับแคบลง จึงได้ทำการปรับโครงสร้างสายอากาศในขั้นตอนที่สาม คือ ปรับความกว้างของสตริปซึ่งทำให้สายอากาศมีค่าความสูญเสียย้อนกลับต่ำลงไปอีก และมีค่าแบนด์วิดธ์อิมพีแดนซ์กว้างขึ้นคือ 2 GHz - 6 GHz จากการวัดและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานให้ค่าใกล้เคียงกับผลการจำลองทำการประยุกต์ใช้ในการส่งกำลังไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz โดยต่อสายอากาศ 1 ชุด กับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ที่ระยะห่าง 0.5 เมตร ผลที่ได้รับก็คือกำลังงานที่ได้จากสายอากาศมีค่าเท่ากับ -20dBm และเมื่อต่อผ่านวงจรเรกติไฟเออร์แปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คือ 0.913 V แรงดันนี้ไม่สามารถที่จะขับหลอด LED ให้สว่างได้ เมื่อนำสายอากาศมาต่อร่วมกับวงจรเรกติไฟเออร์เป็นจำนวน 2 ชุดค่าแรงดันที่ได้คือ 0.913 V ในชุดที่ 1 และ 0.792 V ในชุดที่ 2 นำแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากทั้งสองชุดที่ได้มาต่ออนุกรมได้แรงดัน 1.705 V กระแส 20mA และต่อไปยังหลอด LED ส่งผลทำให้หลอด LED สว่าง ทั้งนี้สามารถทดสอบที่ความถี่อื่น ๆ ได้ตามคุณสมบัติของสายอากาศ โดยแรงดันที่ได้จากชุดสายอากาศที่จ่ายให้กับโหลดนั้น ขึ้นอยู่จำนวนชุดของสายอากาศภาครับ หากกำลังที่รับได้มีค่าน้อยเกินไปจนไม่สามารถขับแสงสว่างได้ แก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนสายอากาศ ซึ่งการเพิ่มจำนวนสายอากาศนี้ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าวรวมเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่ากำลังงานที่ได้รับจะมีค่าไม่สูงแต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสว่างหรืองานอื่น ๆ ได้ตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน แทนจุดอ่อนของแผ่นโซลาร์เซลล์ที่ให้กำลังงานได้ในเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

อัตราขยายของสายอากาศที่สูงจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลังงานไร้สาย ทั้งนี้สามารถทดสอบที่ความถี่อื่น ๆ ได้ตามคุณสมบัติของสายอากาศ โดยแรงดันที่ได้จากชุดสายอากาศที่จ่ายให้กับโหลดนั้น ขึ้นอยู่จำนวนชุดของสายอากาศภาครับ หากกำลังที่รับได้มีค่าน้อยเกินไปจนไม่สามารถขับแสงสว่างได้ แก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนสายอากาศ ซึ่งการเพิ่มจำนวนสายอากาศนี้ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าวรวมเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่ากำลังงานที่ได้รับจะมีค่าไม่สูงแต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสว่างหรืองานอื่น ๆ ได้ตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน แทนจุดอ่อนของแผ่นโซลาร์เซลล์ที่ให้กำลังงานได้ในเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกผาลิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลอง CST และ ผศ.ดร.วันวิสา ไทยวิโรจน์ ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบสายอากาศนี้ รวมถึง ศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์ ให้คำปรึกษา อีกทั้ง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้งานห้องทดสอบสายอากาศสำหรับการส่งกำลังไร้สาย

เอกสารอ้างอิง

- Alhawari, A. R. H., Ismail, A., Mahdi, M. A., & Raja Abdullah, R.S.A. (2012). Antipodal Vivaldi antenna performance booster exploiting snug-in negative index metamaterial. **Progress in Electromagnetics Research**, 5(27), 265–279.
- Bang, J., Lee, J., & Choi, J. (2018). Design of a Wideband Antipodal Vivaldi Antenna with an Asymmetric Parasitic Patch. **Journal of Electromagnetic Engineering and Science**, 18(1), 29-34.
- Bayat, A., & Mirzakhani, R. (2012). **A Parametric Study and Design of the Balanced Antipodal Vivaldi Antenna (BAVA)**, PIERS Proceedings, (pp. 782).
- Moosazadeh, M., & Kharkovsky S., (2015). **Design of Ultra-Wideband Antipodal Vivaldi Antenna for Microwave Imaging Application**, IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband, 4-7 October 2015 Montreal Canada. (pp. 130).
- Siddiqui, J. Y., Antar, Y. M. M., Freundorfer, A. P., Smith, E. C., Morin, G. A., & Thayaparan, T. (2011). Design of an Ultrawideband Antipodal Tapered Slot Antenna Using Elliptical Strip Conductors. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter**, 9(10), 251-254.
- Tangwachirapan, S., Thaiwirot, W., & Akkaraekthalin, P. (2019). **Design of Ultra-Wideband Antipodal Vivaldi Antenna with Square Dielectric Lens for Microwave Imaging Applications**, 7th International Electrical Engineering Congress (iEECON), Hua Hin