สายอากาศโมโนโพลบากร่องขนาดกะทัดรัดสามแถบความถี่สำหรับประยุกต์ใช้งาน WLAN/WiMAX

A Compact Tri-Band Notched Monopole Antenna for WLAN/WiMAX Applications

สมภพ พิมพล[1,*] และ รังสรรค์ วงศ์สรรค์[2]

[1]สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[2]สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Sompop Pimpol[1,*] and Rangsan Wongsan[2]

[1] Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus.

[2]School of Telecommunication, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.

***Corresponding author E-mail:** sompop.pi@rmuti.ac.th

Received: July 31, 2020 **Revised:** September 24, 2020 **Accepted:** September 24, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศโมโนโพล 3 แถบความถี่ ที่มีขนาดกะทัดรัดโดยการบากร่องสายอากาศรูปแบบสี่เหลี่ยมเพื่อควบคุมแถบความถี่เรโซแนนซ์ ทั้ง 3 แถบความถี่ พร้อมกับการลดขนาดระนาบกราวด์ไม่เต็มแผ่น สายอากาศที่ออกแบบและสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Ɛr) เท่ากับ 4.3 ความหนา (*h*) เท่ากับ 1.6 มม. และสายอากาศมีขนาด 20x30 มม. โดยสายอากาศที่ออกแบบมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ต่ำกว่า -10 dB ทั้งสามแถบความถี่ได้แก่ ช่วงแถบความถี่ที่ 1 ตั้งแต่ 2.36 GHz ถึง 2.62 GHz ช่วงแถบความถี่ที่ 2 ตั้งแต่ 3.29 GHz ถึง 4.15 GHz และช่วงแถบความถี่ที่ 3 ตั้งแต่ 4.92 GHz ถึง 6.22 GHz ที่ความถี่ 2.45 GHz 3.5 GHz และ 5.5 GHz ตามลำดับ ซึ่งแถบความถี่อยู่ในย่านการใช้งานระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) และระบบสื่อสารไวแมกซ์ (WiMAX)

คำสำคัญ: สายอากาศสามแถบความถี่ การบากร่อง โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ระบบสื่อสารไวแมกซ์

Abstract

This paper presents design and prototype of a compact tri-band monopole antenna with notching technique on rectangular patch for controllable the tri-band frequency resonant, while reduced size of ground plane. This antenna are designed and fabricated on the printed circuit board (PCB) FR-4 substrate with dielectric constant (Ɛr)=4.3 and 1.6 mm of the thickness (*h*), and the size is 20x30 mm^2. The proposed antenna is design has three separate resonant frequencies: 2.45 GHz, 3.5 GHz, and 5.5 GHz, so the bandwidth for $|S_{11}| \le -10\,\mathrm{dB}$ are 2.36-2.62 GHz, 3.29-4.15 GHz, and 4.92-6.22 GHz, respectively. Accordingly, this antenna operates the WLAN/WiMAX frequency band.

Keywords: Tri-band antenna, notching technique, WLAN, WiMAX.

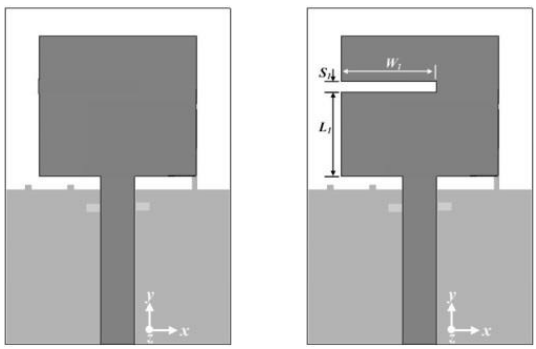
1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการสื่อสารแบบไร้สาย เนื่องจากเป็นการสื่อสารที่ตอบสนองความต้องการใช้งานรับ-ส่ง ข้อมูลได้หลากหลายมากยิ่งขึ้นเพื่อให้สามารถเพิ่มความรวดเร็วในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยสะดวก โดยอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการสื่อสารไร้สายคือสายอากาศ ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศได้แก่ ขนาดเล็กกะทัดรัดเพื่อให้ง่ายต่อการพกพา และออกแบบให้สามารถใช้งานได้หลากหลายช่วงแถบความถี่ตามมาตรฐานการใช้ความถี่ ได้แก่ ความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐาน Institute of Electrical and Electronics Engineer: IEEE ของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g/a ที่ใช้งานในช่วงความถี่ 2.45 GHz (2.4–2.484 GHz) 5.2 GHz (5.15-5.35 GHz) และ 5.8 GHz (5.725–5.825 GHz) ส่วนระบบสื่อสารไวแมกซ์ (Worldwide Interoperability of Microwave Access: WiMAX) ตามมาตรฐาน IEEE802.16e มีช่วงความถี่ใช้งานที่ความถี่ 3.5 GHz (3.3-3.7 GHz) และ 5.5 GHz (5.25-5.85 GHz) [1], [2] สายอากาศที่นำมาใช้งานก็มีความหลากหลายเช่นกัน หนึ่งในนั้นคือสายอากาศโมโนโพลที่สร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ เนื่องจากสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำและสามารถออกแบบให้เกิดการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์หลายแถบความถี่ได้ง่าย สายอากาศโมโนโพล [3] นำเสนอสายอากาศโมโนโพลพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยไมโครสตริปไลน์ (Microstrip line) ร่วมกับการลดขนาดระนาบกราวด์ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศมากขึ้น และได้มีการนำเทคนิคการเซาะร่องบนระนาบกราวด์ (Slotted ground) พร้อมกับเพิ่มสตับสี่เหลี่ยมของระนาบกราวด์ [4] ส่งผลให้ความกว้างแถบของสายอากาศเพิ่มมากขึ้นและการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศดียิ่งขึ้น ต่อมาได้มีการใช้เทคนิคควบคุมช่วงความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศโดยการบากร่อง (Notching) โดยที่ [5] นำเสนอสายอากาศโมโนโพลที่มีการบากร่องเป็นรูปตัวอี (E-slot) และเพิ่มการบากร่องเป็นรูปตัวยู (U-slot) ที่ส่วนของระนาบกราวด์ ส่งผลให้ความกว้างแถบของสายอากาศมีความกว้างเพิ่มขึ้น ต่อมา [6] ได้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมที่ทำการบากร่องให้เป็นรูปตัวยู (U-shape) ร่วมกับการลดขนาดของระนาบกราวด์เพื่อประยุกต์ใช้งาน WLAN ต่อจากนั้น [7], [8] ได้นำเสนอเทคนิครูปแบบการบากร่องแบบเดี่ยว (Single band-notched) และการบากร่องแบบคู่ (Dual band-notched) เพื่อควบคุมช่วงความถี่เรโซแนนซ์ส่งผลให้ความกว้างแถบของสายอากาศเพิ่มมากขึ้น ต่อมา [9], [10] นำเสนอเทคนิคการบากร่องบนแผ่นสายอากาศโมโนโพลแบบพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมเพื่อปรับปรุงเพิ่มความกว้างแถบและการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ได้หลายช่วงแถบความถี่ของสายอากาศและ [11] ได้นำเสนอเทคนิคการบากร่องสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ โดยได้ทำการเพิ่มจำนวนร่องบากเพื่อควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ส่งผลให้ความกว้างแถบของสายอากาศเพิ่มมากขึ้น

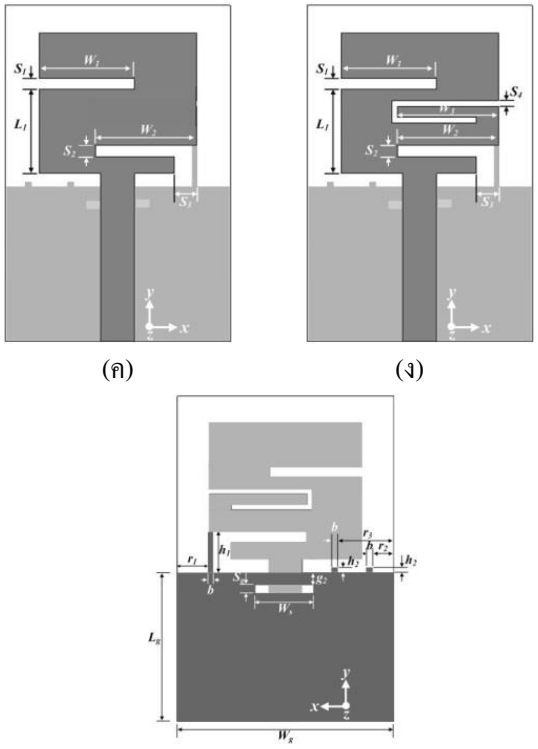
บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมร่วมกับเทคนิคการบากร่องเพื่อควบคุมช่วงแถบความถี่ 3 ย่านความถี่ โดยมีการป้อนแบบไมโครสตริปไลน์พร้อมทั้งมีการเซาะร่องบนระนาบกราวด์และเพิ่มสตับสี่เหลี่ยมบนระนาบกราวด์ ซึ่งส่งผลให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศตลอดทั้ง 3 ย่านความถี่ ดีขึ้น

2. การออกแบบสายอากาศและผลการจำลอง

การออกแบบสายอากาศ ในขั้นต้นนั้นอยู่บนพื้นฐานของสายอากาศโมโนโพลลักษณะรูปสี่เหลี่ยม [3] โดยมีโครงสร้างแสดงขั้นตอนของการออกแบบสายอากาศ ดังรูปที่ 1 (ก)-(จ)



(ก) (ข)

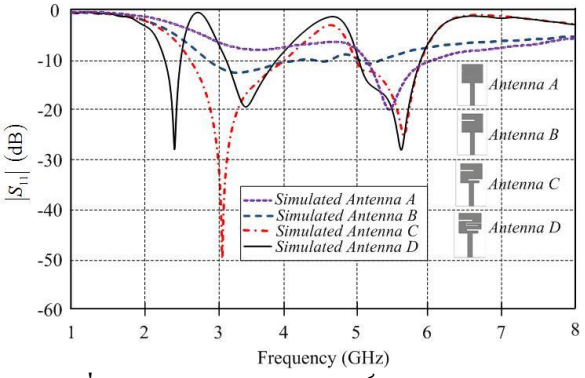


(ค) (ง)

(จ)

รูปที่ 1 โครงสร้างขั้นตอนของการออกแบบสายอากาศโมโนโพลและระนาบกราวด์ที่มีการเซาะร่อง

จากรูปที่ 1 สายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมที่มีระนาบกราวด์ไม่เต็มแผ่นหรือมีการลดขนาดระนาบกราวด์ ซึ่งจะทำให้สายอากาศเกิดเรโซแนนซ์ที่สองช่วงความถี่ส่งผลให้มีแถบความถี่กว้างมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 1 (ก) ขั้นตอนต่อมาทำการเพิ่มรอยบาก โดยกำหนดพารามิเตอร์เป็น S_1 W_1 และ L_1 ไว้ที่บริเวณส่วนบนของสายอากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 1 (ข) พบว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตอบสนองการเรโซแนนซ์ที่ช่วงแถบความถี่ต่ำ ต่อมาได้ทำการเพิ่มรอยบากโดยกำหนดพารามิเตอร์เป็น S_2 และ W_2 ไว้ที่บริเวณส่วนล่างของสายอากาศ ดังรูปที่ 1 (ค) จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตอบสนองการเรโซแนนซ์ที่ช่วงความถี่สูง ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้กำหนดพารามิเตอร์ S_3 เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า S_3 ส่งผลให้ความกว้างแถบของช่วงแถบความถี่สูงเพิ่มขึ้น และขั้นตอนสุดท้ายได้ทำการเพิ่มรอยบาก โดยกำหนดพารามิเตอร์เป็น S_4 และ W_3 ไว้ที่บริเวณกึ่งกลาง ดังรูปที่ 1 (ง) พบว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตอบสนองการเรโซแนนซ์ ที่ช่วงความถี่ระหว่างช่วงแถบความถี่ต่ำและแถบความถี่สูงอีกช่วงความถี่หนึ่ง ส่วนของระนาบกราวด์ที่มีการนำเทคนิคการเซาะร่อง พร้อมกับเพิ่มสตับสี่เหลี่ยมของระนาบกราวด์ [4] แสดงได้ดังรูปที่ 1 (จ) ซึ่งจากการออกแบบได้ทำการปรับลดขนาดของระนาบกราวด์ (L_g) ที่เหมาะสมที่สุด คือ L_g=14 มม. โดยผลการจำลองการออกแบบโครงสร้างสายอากาศแสดงได้รูปที่ 2

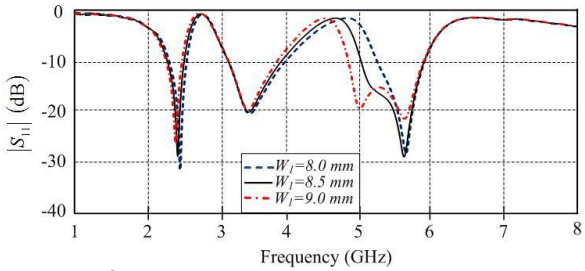


รูปที่ 2 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศทั้ง 4 รูปแบบ

จากรูปที่ 2 เปรียบเทียบผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศทั้ง 4 รูปแบบ โดยเริ่มต้นจากสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมในรูปแบบสายอากาศ *A* (Antenna *A*) ต่อจากนั้นทำการเพิ่มรอยบากในรูปแบบสายอากาศ *B* (Antenna *B*) พบว่ามีการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ที่กว้างมากขึ้นในช่วงความถี่ต่ำ จนได้ทำการเพิ่มรอยบากและตัดส่วนปลายด้านล่างในรูปแบบสายอากาศ *C* (Antenna *C*) จะได้ว่ามีการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ในช่วงสองแถบความถี่ และเมื่อทำการเพิ่มรอยบากตรงกลางในรูปแบบสายอากาศ *D* (Antenna *D*) จะเห็นได้ว่า มีการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์เพิ่มขึ้นในช่วงแถบความถี่ระหว่างช่วงความถี่ต่ำและความถี่สูงเดิมดังกล่าว

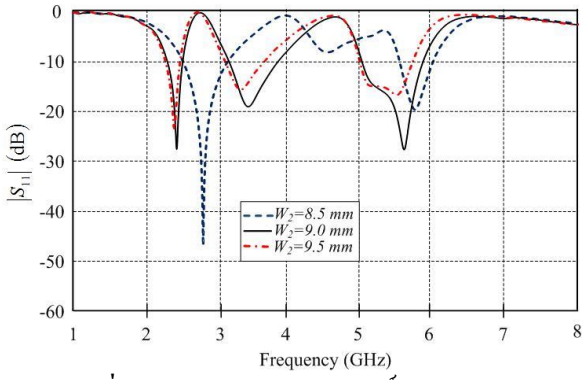
การออกแบบสายอากาศได้เลือกรูปแบบสายอากาศ *D* เพื่อให้มีการตอบสนอง 3 แถบความถี่ โดยมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ ดังต่อไปนี้ L=30 มม. L_p=12.5 มม. W=20 มม. W_p= 14 มม. W_1=8 มม. W_2=8.5 มม. W_3=9 มม. S_3=1 มม. h_1= 3 มม. h_2=1 มม. และได้ทำการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศ โดยปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนแรก โดยใช้เทคนิคการบากร่องที่บริเวณส่วนบนของสายอากาศเพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ W_1 ที่ขนาด 8.0 8.5 และ 9.0 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ W_1 เท่ากับ 8.5 มม. แสดงดังรูปที่ 3

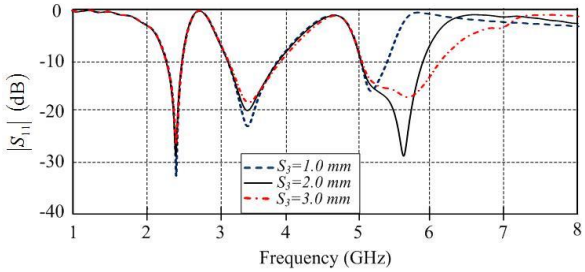


รูปที่ 3 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เมื่อปรับเปลี่ยนค่า W_1

ขั้นตอนต่อมาเพิ่มการบากร่องที่บริเวณส่วนล่างของสายอากาศเพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ W_2 ที่ขนาด 8.5 9.0 และ 9.5 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ W_2 เท่ากับ 9.0 มม. ดังรูปที่ 4



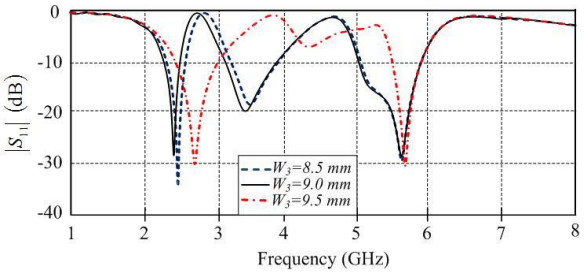
รูปที่ 4 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เมื่อปรับเปลี่ยนค่า W_2



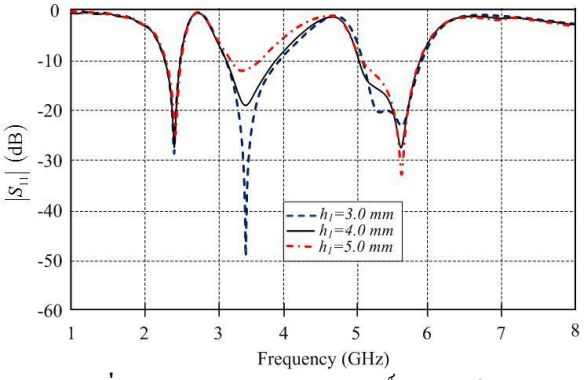
รูปที่ 5 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เมื่อปรับเปลี่ยนค่า S_3

จากขั้นตอนการบากร่องที่บริเวณส่วนล่างของสายอากาศเพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ S_3 ที่ขนาด 1.0 2.0 และ 3.0 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ S_3 เท่ากับ 2.0 มม. ดังรูปที่ 5

รูปที่ 6 ทำการบากร่องที่บริเวณส่วนกลางของสายอากาศเพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ W_3 ที่ขนาด 8.5 9.0 และ 9.5 มม. ซึ่งพบว่าการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ W_3 เท่ากับ 9.0 มม.



รูปที่ 6 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เมื่อปรับเปลี่ยนค่า W_3

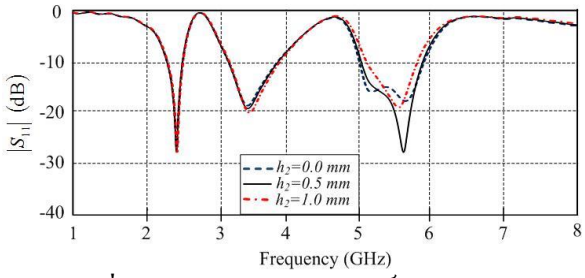


รูปที่ 7 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เมื่อปรับเปลี่ยนค่า h_1

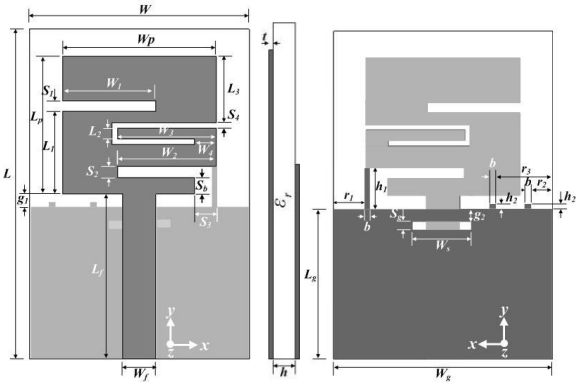
ขั้นตอนต่อมาเป็นการเพิ่มแท่งสี่เหลี่ยมที่แผ่นระนาบกราวด์ด้านหลังของสายอากาศเพื่อช่วยปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ h_1 ที่ขนาด 3.0 4.0 และ 5.0 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ h_1 เท่ากับ 4.0 มม. ดังรูปที่ 7

ขั้นตอนสุดท้ายทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ h_2 ที่ขนาด 0.0 0.5 และ 1.0 มม. พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ h_2 เท่ากับ 0.5 มม. ดังรูปที่ 8 จากขั้นตอนการ

ออกแบบทั้งหมด โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลที่นำเสนอ แสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เมื่อปรับเปลี่ยนค่า h_2

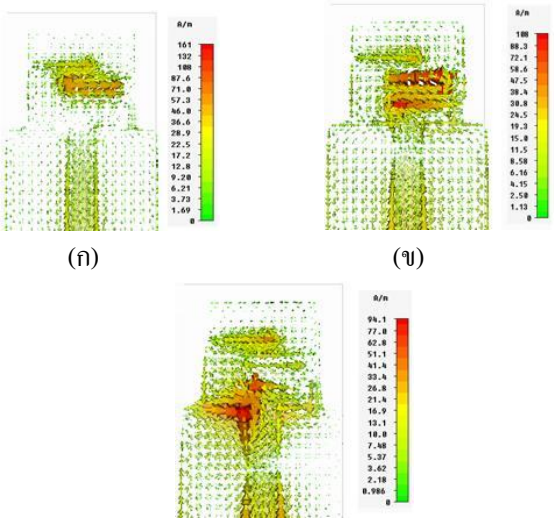


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 9 โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลที่นำเสนอ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง และ (ค) ด้านหลัง

การออกแบบสายอากาศสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST โดยป้อนสัญญาณทางเข้าด้วยไมโครสตริปไลน์ที่มีความกว้าง (W_f)=3 มม. ให้มีอินพุตอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (εr=4.3) ค่าการสูญเสียบนผิว (Loss tangent: $\tan\delta$) เท่ากับ 0.02 ความสูงของวัสดุฐานรอง (h)=1.6 มม. ความหนาของวัสดุตัวนำ (t)=0.035 มม. ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบสายอากาศและปรับขนาดให้เหมาะสมที่สุด ตลอดช่วงแถบความถี่ 3 ย่านความถี่ สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ W=20 มม. W_p=14 มม. W_f=3 มม. W_g=20 มม. W_s=5 มม. W_1=8.5 มม. W_2=W_3=9 มม. W_4=2 มม. L=30 มม. L_p=12.5 มม. L_f=15 มม. L_1=7.5 มม. L_2=1 มม. L_3=6 มม. L_g=14 มม. S_1=S_2=1 มม. S_3=2 มม. S_4=0.5 มม. S_b=1.5 มม. S_g=0.5 มม. g_1=g_2=1 มม. r_1=3 มม. r_2=2 มม. r_3=6 มม. h_1=4 มม. h_2=0.5 มม. และ b=0.5 มม.

จากโครงสร้างและขนาดของสายอากาศ ทำการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน ได้ดังนี้ ช่วงแถบความถี่ที่ 1 ในช่วงความถี่ 2.299-2.52 GHz ช่วงแถบความถี่ที่ 2 ในช่วงความถี่ 3.15-3.84 GHz และช่วงแถบความถี่ที่ 3 ในช่วงความถี่ 4.99-5.85 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.45 GHz 3.5 GHz และ 5.5 GHz ตามลำดับ และผลการจำลองการแจงรูปกระแสที่เกิดขึ้นบริเวณร่องบากของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ทั้ง 3 ช่วงความถี่ พบว่า ที่ช่วงความถี่ 2.45 GHz เกิดการแจงรูปของกระแสที่บริเวณร่องบากส่วนบนมีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 10 (ก) ที่ช่วงความถี่ 3.5 GHz การแจงรูปของกระแสที่บริเวณร่องบากตรงกลางมีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 10 (ข) และที่ช่วงความถี่ 5.5 GHz การแจงรูปของกระแสที่บริเวณร่องบากส่วนล่างมีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 10 (ค) ซึ่งมีความสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบเพื่อให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ทั้ง 3 ช่วงความถี่



(ก) (ข)

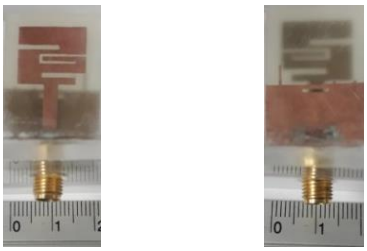
(ค)

รูปที่ 10 การแจงรูปกระแสของสายอากาศที่ช่วงแถบความถี่ต่าง ๆ (ก) 2.45 GHz (ข) 3.5 GHz และ (ค) 5.5 GHz

3. การสร้างและการทดสอบสายอากาศ

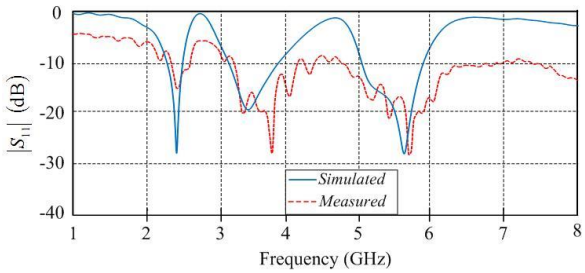
สายอากาศต้นแบบที่ได้จากการจำลองแบบโครงสร้างทำการสร้างลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ตามขนาดโครงสร้างดังรูปที่ 9 ทำการบัดกรีขั้วต่อชนิด SMA 50

โอห์ม ซึ่งชิ้นงานสายอากาศโมโนโพลที่ได้สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว แสดงดังรูปที่ 11



(ก) (ข)

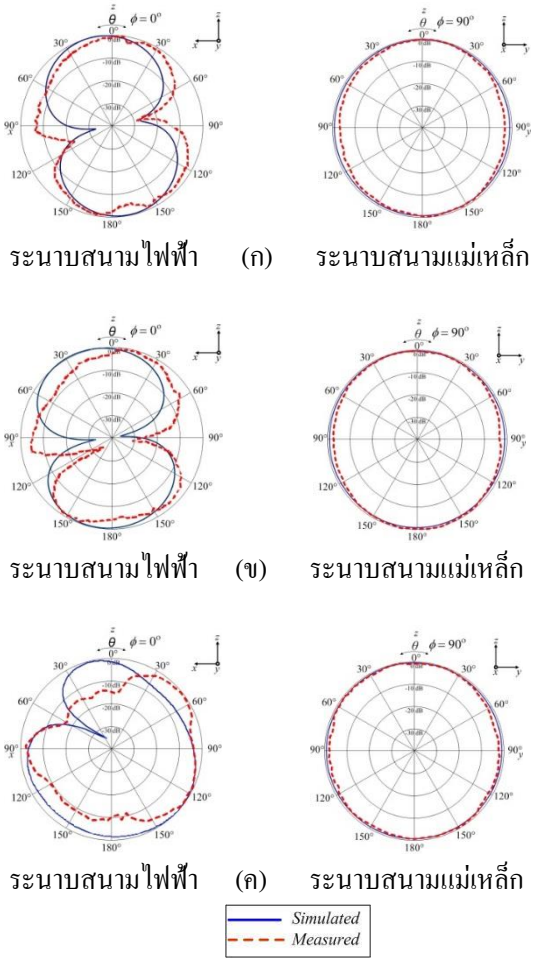
รูปที่ 11 สายอากาศต้นแบบ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



รูปที่ 12 เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศต้นแบบ

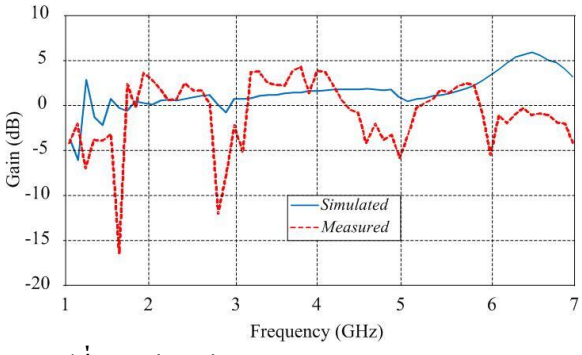
จากรูปที่ 12 ผลการวัดทดสอบเพื่อหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศโมโนโพลต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent รุ่น E501C แล้วนำผลที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับผลการจำลอง พบว่าผลการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ทั้ง 3 แถบความถี่ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากความผิดพลาดในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ แต่ก็มีความสอดคล้องและครอบคลุมในช่วงความถี่ของการออกแบบใช้งาน ได้แก่ ช่วงแถบความถี่ที่ 1 ครอบคลุมช่วงความถี่ 2.36-2.62 GHz ช่วงแถบความถี่ที่ 2 ครอบคลุมช่วงความถี่ 3.29-4.15 GHz และ ช่วงแถบความถี่ที่ 3 ครอบคลุมช่วงความถี่ 4.92-6.22 GHz ซึ่งครอบคลุมที่ความถี่ 2.45 GHz 3.5 GHz และ 5.5 GHz ตามลำดับ

การวัดแบบรูปการณ์แผ่กำลังจะใช้สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น (Half-wave dipole antenna) ในแต่ละความถี่ใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและหมุนสายอากาศโมโนโพลต้นแบบ (สายอากาศภาครับ) โดยมีการหมุนรอบแกนหมุนในแต่ละระนาบเพื่อรับคลื่นจากสายอากาศภาคส่ง ตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยมีระยะห่างสายอากาศทั้งสองตัว เท่ากับ 0.3 เมตร ซึ่งเป็นสนามระยะไกล (Far-Field) ผลจากการวัดแบบรูปการแผ่กำลังแบบโพลาไรซ์เดียวกัน (Co-polarization) ของสายอากาศโมโนโพลต้นแบบ ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลองที่ความถี่ 2.45 GHz 3.5 GHz และ 5.5 GHz ตามลำดับ พบว่าสายอากาศโมโนโพลต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้ มีแบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบตัวในระนาบสนามแม่เหล็ก ส่วนในระนาบสนามไฟฟ้า มีแบบรูปการแผ่กำลังแบบ 2 ทิศทาง (Bi-directional) ในทิศทางด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ที่ความถี่ต่าง ๆ (ก) 2.45 GHz (ข) 3.5 GHz และ (ค) 5.5 GHz

การวัดอัตราขยายของสายอากาศทำได้โดยใช้สายอากาศโมโนโพลต้นแบบที่มีคุณสมบัติเหมือนกันสองตัว โดยสายอากาศต้นแบบตัวที่ 1 (ภาคส่ง) ต่อเข้าที่พอร์ต 1 และสายอากาศต้นแบบตัวที่ 2 (ภาครับ) ต่อเข้าที่พอร์ต 2 ระยะห่างของสายอากาศทั้งสองตัว เท่ากับ 0.3 เมตร ทำการวัดค่า S_{21} ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent รุ่น E501C แล้วนำผลที่ได้จากการวัดมาคำนวณเปรียบเทียบกับผลการจำลอง แสดงดังรูปที่ 14



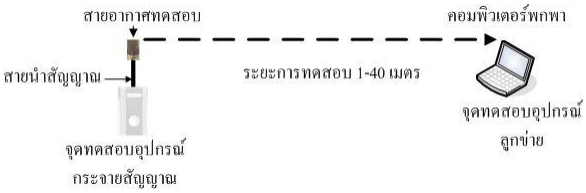
รูปที่ 14 เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 14 เปรียบเทียบผลการวัดค่าอัตราขยายกับผลการจำลองของสายอากาศที่สร้าง พบว่าที่ความถี่ 2.45 GHz 3.5 GHz และ 5.5 GHz มีค่าอัตราขยาย เท่ากับ 1.43 dB 2.029 dB และ 1.178 dB ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราขยายของสายอากาศโมโนโพลต้นแบบ

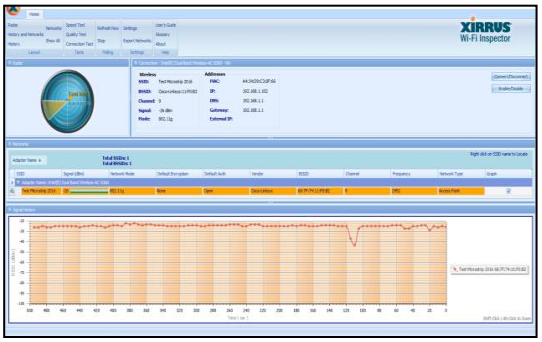
ความถี่	อัตราขยาย (dB)	
	ผลการจำลอง	ผลการวัด
2.45 GHz	0.752	1.430
3.5 GHz	1.158	2.029
5.5 GHz	1.138	1.178

การทดสอบใช้งานจริงเพื่อประเมินสายอากาศที่สร้างขึ้นโดยการพิจารณาระยะทางการติดต่อแบบจุดต่อจุดระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access point) ที่ติดตั้งสายอากาศต้นแบบและอุปกรณ์ลูกข่าย ซึ่งในที่นี้ใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพา เพื่อหาระยะที่ยังสามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ ในการทดสอบนั้นใช้อุปกรณ์แพร่กระจายสัญญาณ ยี่ห้อ WAVLINK AC-1200 ตามมาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g/n/ac ที่ความถี่ทดสอบ 2.45 GHz และ 5.5 GHz การทดสอบนี้มีอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ อุปกรณ์แพร่กระจายสัญญาณ ยี่ห้อ WAVLINK AC-1200 สายอากาศทดสอบและสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม



รูปที่ 15 การต่อสายอากาศทดสอบเข้ากับอุปกรณ์กระจายสัญญาณเพื่อทดสอบการใช้งาน

การติดตั้งโดยการถอดสายอากาศเดิมที่มากับอุปกรณ์แพร่กระจายสัญญาณเปลี่ยนเป็นสายอากาศทดสอบที่สร้างขึ้น หลังจากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 15 ขั้นตอนต่อไปทำการตรวจสอบความแรงของสัญญาณด้วยโปรแกรม Xirrus Wi-Fi Inspector [12] โดยทำการเชื่อมต่อเข้ากับ IP ของโครงข่าย (Network) คือ IP 192.168.1.1 ที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์แพร่กระจายสัญญาณ ซึ่งสามารถติดต่อกันได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้สายอากาศทดสอบ มีระยะทางการติดต่อในที่โล่ง โดยเพิ่มระยะห่างแต่ละครั้ง 20 เมตร ระหว่าง 1-40 เมตร โดยตัวอย่างผลการวัดทดสอบความแรงของสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ระดับความแรงของสัญญาณจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณโดยมีความต่อเนื่องในการต่อสายอากาศทดสอบ (ระยะห่างระหว่าง 1 ถึง 40 เมตร)

จากผลการทดสอบจากการใช้โปรแกรมทดสอบความแรงของสัญญาณที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่ระยะห่างที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ว่าการใช้งานจริง

ในช่วงระยะห่างแต่ละช่วงสามารถใช้งานได้และมีความแรงของสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความแรงของสัญญาณสายอากาศโมโนโพล

ระยะทาง (เมตร)	ความแรงของสัญญาณ (dBm)			
	สายอากาศเดิม		สายอากาศโมโนโพล	
	2.45 GHz	5.5 GHz	2.45 GHz	5.5 GHz
1	-38	-45	-26	-45
20	-50	-66	-58	-67
40	-60	-79	-70	-78

จากผลการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณ ดังตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเปลี่ยนระยะห่างของอุปกรณ์ลูกข่ายห่างออกไปจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ ความแรงของสัญญาณจะมีขนาดลดลงเรื่อย ๆ และจากการทดสอบให้ระยะทางไกลที่สุด เท่ากับ 40 เมตร อ่านค่าความแรงของสัญญาณได้ เท่ากับ -70 dBm และ -78 dBm ที่ความถี่ 2.45 GHz และ 5.5 GHz ตามลำดับ ซึ่งยังคงสามารถติดต่อ รับ-ส่ง ข้อมูลได้อย่างปรกติ ดังนั้นจากการออกแบบสายอากาศได้ทำการสร้างและทดสอบค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโดยทดสอบต่อใช้งานจริงที่ช่วงความถี่ 2.45 GHz และ 5.5 GHz นั้น สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี ดังนั้น จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมจำลองพร้อมทั้งได้ทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ ได้แก่ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ อัตราขยาย สัมประสิทธิ์การสะท้อนและแบบรูปการแผ่กำลัง ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการวัดทดสอบมีความสอดคล้องกับการใช้โปรแกรมจำลองเป็นอย่างดีและจากผลการทดสอบนำไปต่อใช้งานจริงนั้นพบว่า สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมตลอดทั้ง 3 แถบความถี่ ได้แก่ ช่วงความถี่ 2.45 GHz 3.50 GHz และ 5.50 GHz ได้เป็นอย่างดี

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมร่วมกับเทคนิคการบากร่องให้มีสภาวะการเกิดความถี่เรโซแนนซ์เพื่อควบคุมช่วงแถบความถี่ 3 ย่านความถี่ โดยมีการป้อนแบบไมโครสตริปไลน์ พร้อมทั้งมีการเซาะร่องบนระนาบกราวด์และเพิ่มสตับสี่เหลี่ยมบนระนาบกราวด์ ซึ่งส่งผลให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศตลอดทั้ง 3 ย่านความถี่ ได้ดียิ่งขึ้น การออกแบบสายอากาศเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน WLAN/WiMAX ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศให้มีโครงสร้างที่กะทัดรัด โดยมีขนาดเท่ากับ 20x30 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์สื่อสารทั้งแบบเคลื่อนที่และแบบประจำที่

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Moeikham, C. Mahatthanajatuphat and P. Akkaraekthalin, “A Triple Band Printed Monopole Antenna for WLAN/WiMAX Applications,” International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP), pp.295-298, 2012.

[2] P. Moeikham and P. Akkaraekthalin, “Printed Slot Antenna for WLAN/WiMAX and UWB Applications,” International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP), pp.88-91, 2013.

[3] W. T. Alshammari, “UWB Square Microstrip Patch Antenna for C-Band Applications,” International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 5, No. 11, pp.191-193, 2014.

[4] S. M. Naveen, R. M. Vani and P. V. Hunagund, “Compact Wideband Rectangular Monopole Antenna for Wireless Applications,” Wireless Engineering and Technology, Vol. 3, pp.240-243, 2012.

[5] L. Luo, Z. Cui, J.-P. Xiong, X.-M. Zhang and Y.-C. Jiao, “Compact printed ultra-wideband monopole antenna with dual band-notch characteristic,” Institution of Engineering and Technology (IET), pp.1106-1107, 2008.

[6] K. S. Ryu and A. A. Kishk, “UWB Antenna With Single or Dual Band-Notches for Lower WLAN Band and Upper WLAN Band,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 57, No. 12, pp.3942-3950, 2009.

[7] Y. F. Weng, W. J. Lu, S. W. Cheung and T. I. Yuk, "UWB Antenna with Single or Dual Band-Notched Characteristic for WLAN Band using Meandered Ground Stubs," Loughborough Antenna & Propagation Conference, pp.757-760, 2009.

[8] P. Rakluea and J. Nakasuwan, "Planar UWB Antenna with Single Band-Notched Characteristic," International Conference on Control, Automation and System, pp.1978-1981, 2010.

[9] M. Mehranpour, J. Nourinia, Ch. Ghobadi and M. Ojaroudi, "Dual Band-Notched Square Monopole Antenna for Ultrawideband Applications," IEEE Transactions and Wireless Propagation Letters, Vol. 11, pp.172-175, 2012.

[10] N. Ojaroudi, M. Ojaroudi and N. Ghadimi, "Dual band-notched small monopole antenna with novel W-shaped conductor backed-plane and novel T-shaped slot for UWB applications," IET Microwaves, Antennas & Propagation, pp.8-14, 2013.

[11] S. Pimpol and R. Wongsan, "Bandwidth Improvement of Band-Notched Printed Dipole Antenna for DTV Signal Reception," International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), pp. 138-142, 2013.

[12] Xirrus Wi-Fi Inspector Manual [Online], Available: https://csperson.kku.ac.th/chakchai/Tools/322766_Fall2014/3_xirrus.pdf.