

สายอากาศขนาดกะทัดรัดที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวสำหรับการสื่อสารไร้สาย

A Compact Unidirectional Pattern Antenna for Wireless Communications

สุธาสินี ละมูลตรี^{1*} และชาลี จันศรี¹
Suthasinee Lamultree^{1*} and Chalee Jansri¹

Received: August 24, 2018; Revised: November 7, 2018; Accepted: December 4, 2018

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปแบบแพตช์สี่เหลี่ยมที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวสำหรับใช้งานในระบบโครงข่ายไร้สายท้องถิ่น สายอากาศนี้ออกแบบที่ความถี่กลาง 2.45 GHz เพื่อคำนวณขนาดของแพตช์รูปสี่เหลี่ยมที่เกิดโหมดเป็นใหญ่ก่อน จากนั้นได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์อื่น ๆ ของสายอากาศเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด พบว่าสายอากาศนี้ให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวตั้งฉากกับระนาบของสายอากาศ มีขนาด S_{11} ต่ำกว่า -10 dB และมีค่าอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2.7 dBi ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.4 - 2.48 GHz นอกจากนี้พบว่าผลจากการจำลองและการทดสอบมีความสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ : สายอากาศขนาดกะทัดรัด; สายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว; การป้อนสัญญาณเส้นคู่; การสื่อสารไร้สาย

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen Campus

* Corresponding Author E - mail Address: suthasinee.la@rmuti.ac.th

Abstract

This paper presents a unidirectional pattern antenna implemented by rectangular microstrip patch for wireless local area network. This rectangular patch is firstly designed to provide a dominant mode propagation at 2.45 GHz. Then, parametric studies are investigated to achieve appropriate parameters. It is found that this antenna provides a unidirectional pattern with maximum gain of 2.7 dBi together with magnitude of S_{11} better than -10 dB covered the WLAN frequency from 2.4 - 2.48 GHz. In addition, both simulated and measured results are in good agreement.

Keywords: Compact Antenna; Unidirectional Antenna; Double-fed Line; Wireless Communications

บทนำ

ในยุคโลกาภิวัตน์โลกไร้พรมแดนนี้ การสื่อสารโทรคมนาคมและการสื่อสารผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและการทำงานของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ปัจจุบันความต้องการใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณในด้านธุรกิจหรือหน่วยงานราชการต่าง ๆ ซึ่งระบบการสื่อสารไร้สายนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และลดเวลาการติดต่อสื่อสารให้รวดเร็วสะดวกสบายยิ่งขึ้น สำหรับความถี่ปฏิบัติการของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.40 - 2.48 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11a/ b/g [1] โดยสายอากาศที่เหมาะสมสำหรับปฏิบัติการได้จะพิจารณาที่โครงสร้างของสายอากาศที่แข็งแรง น้ำหนักเบา มีลักษณะไม่ซับซ้อน ขนาดกะทัดรัด ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ต่ำกว่า -10 dB (ในงานวิจัยนี้จะพิจารณา $|S_{11}|$ แทน) และค่าอัตราการขยาย (Gain) ที่เหมาะสมตลอดย่าน

ปัจจุบันนักวิจัยได้ให้ความสนใจในการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแพตช์สำหรับการสื่อสารไร้สายอย่างแพร่หลาย [2] - [6] ทั้งนี้เพราะโครงสร้างสายอากาศชนิดนี้มีน้ำหนักเบาสะดวกในการออกแบบเพื่อประกอบหรือติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบการป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริปพร้อมกับการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนโครงสร้างของสายอากาศได้ แต่สายอากาศไมโครสตริปมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นที่ค่อนข้างต่ำและครอบคลุมช่วงกว้างความถี่แคบ ทั้งนี้เพราะโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุไดอิเล็กตริก [2] - [3] ข้อจำกัดนี้สามารถปรับปรุงช่วงกว้างความถี่ได้ด้วยการออกแบบรูปทรงสายอากาศเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่แตกต่างกันและเพิ่มเทคนิคการปรับจูนอิมพีแดนซ์ร่วมด้วย [7] - [10] อีกทั้งยังเสนอวิธีการเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศด้วยการเพิ่มตัวเรโซเนเตอร์ (Resonator) ระหว่างแถวลำดับ และการปรับแต่งรูปทรงตัวเรโซเนเตอร์ [9], [11] - [12] เป็นต้น อย่างไรก็ตามสายอากาศแบบดั้งเดิมนี้มีขนาดใหญ่ที่ไม่เหมาะกับการติดตั้งในบางพื้นที่การใช้งาน ดังนั้นจึงมีการนำเสนอเทคนิคที่ช่วยลดขนาดของอากาศลง เช่น การเพิ่มรอยบาก การเจาะช่อง การปรับระนาบกราวน์ และการเชื่อมร่วม (Coupling) เป็นต้น [13] - [16] แต่การได้มาซึ่งขนาดของสายอากาศที่เล็กลงก็ต้องชดเชยด้วยความซับซ้อนของโครงสร้างสายอากาศ ในงานวิจัยนี้ได้เสนอ

สายอากาศขนาดเล็กกระทัดรัดที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนรูปสี่เหลี่ยมที่ใช้เทคนิคการเพิ่มช่องเปิดคู่บนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR4 ที่มีระนาบกราวน์แบบเต็มส่วน ป้อนสัญญาณด้วยแรงดันขนาดเท่ากันผ่านเส้นไมโครสตริปคู่ที่มีการดัดงอเพื่อช่วยในการปรับจูนอิมพีแดนซ์ สำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สาย โครงข่ายท้องถิ่น โดยในการออกแบบได้พิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศองค์ประกอบเดียวอย่างละเอียดเพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมก่อน จากนั้นได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงค่าอัตราขยายของสายอากาศ โดยการจัดเรียงแบบแถวลำดับสำหรับรายละเอียดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

การออกแบบและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศ

โครงสร้างของสายอากาศ

ในการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายโครงข่ายท้องถิ่นนี้ ได้เลือกออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแพตช์สี่เหลี่ยมที่ความถี่กลาง 2.45 GHz ทั้งนี้เพราะโครงสร้างไม่ซับซ้อน แข็งแรง และน้ำหนักเบา โดยแพตช์สี่เหลี่ยมมีความกว้าง w ความยาว l ที่ป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริปคู่พิมพ์บนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 ที่มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) ϵ_r เท่ากับ 4.3 วางบนวัสดุรองรับ (Substrate) ที่มีความสูง h เท่ากับ 1.6 มม. และมีค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Tangent) δ เท่ากับ 0.02 ส่วนด้านหลังมีแผ่นระนาบกราวน์แบบเต็มส่วนรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง w_g ความยาว l_g ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งในการศึกษาเบื้องต้นนี้ได้กำหนดให้ระนาบกราวน์มีค่าความกว้าง w_g เท่ากับ 0.61λ และความยาว l_g เท่ากับ 0.48λ และใช้ค่านี้นิยามค่าความยาวสำหรับตัวที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมนี้ได้เพิ่มช่องเปิดคู่ที่มีระยะห่างเท่ากับ d_s มีความยาว l_{s1} l_{s2} ความกว้าง w_{s1} และ w_{s2} ตามลำดับ ในการวิจัยเริ่มต้นด้วยการออกแบบตัวแพร่กระจายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเพื่อให้เกิดโหมดเป็นใหญ่ขึ้นที่ความถี่ปฏิบัติการ 2.45 GHz โดยคำนวณจากสมการที่ (1) - (3) ที่ได้ทำการชดเชยผลที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟริงกิง (Fringing Effect) ด้วย [3] พบว่าค่าความกว้าง w เท่ากับ 0.31λ และความยาว l เท่ากับ 0.23λ

$$w = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

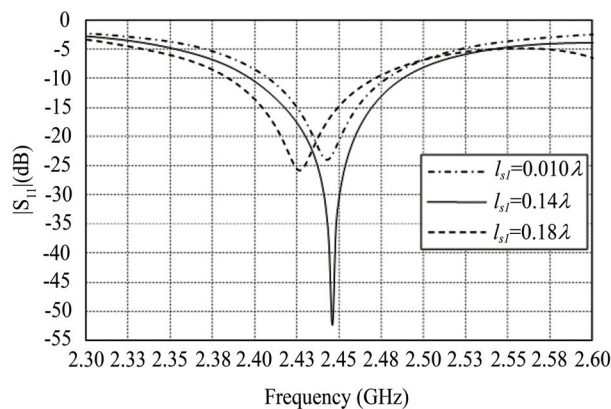
$$l = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

โดยความยาว ΔL คำนวณได้จากสมการที่ (3)

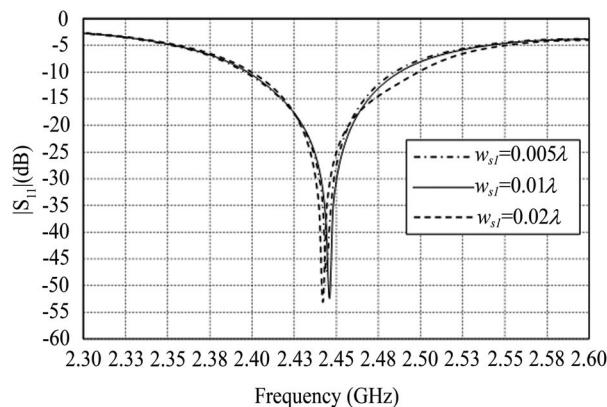
$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

I_{s1} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$ ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 พบว่าค่าความยาว I_{s1} ยิ่งมีขนาดสั้น จะส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามยิ่งความยาวช่องเปิดนี้ยิ่งยาว จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนไปยังความถี่ต่ำลง ดังนั้นจึงเลือกขนาด I_{s1} เท่ากับ 0.14λ ทั้งนี้เพราะส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เข้าใกล้ความถี่กลางที่ออกแบบ และให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ตั้งแต่ 2.39 - 2.49 GHz

ส่วนความกว้างช่องเปิด w_{s1} นั้น พบว่ายิ่ง w_{s1} ยิ่งกว้างจะส่งผลต่อการเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ไปยังความถี่ต่ำลงดังแสดงในรูปที่ 3 และพบว่าความกว้าง w_{s1} ทุกค่าที่แสดงนั้นให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB และครอบคลุมตลอดย่าน WLAN ทั้งหมด แต่ในบทความนี้ได้เลือกค่า w_{s1} เท่ากับ 0.01λ ทั้งนี้เพราะค่านี้ จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เกิดขึ้นใกล้กับความถี่กลาง 2.45 GHz ที่สุดนั่นเอง



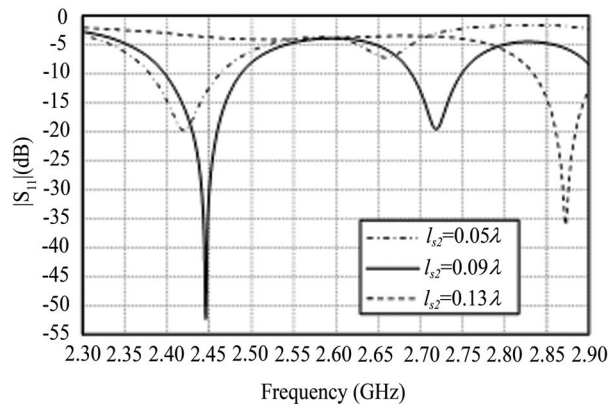
รูปที่ 2 ผลกระทบของความยาวช่องเปิด I_{s1} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$



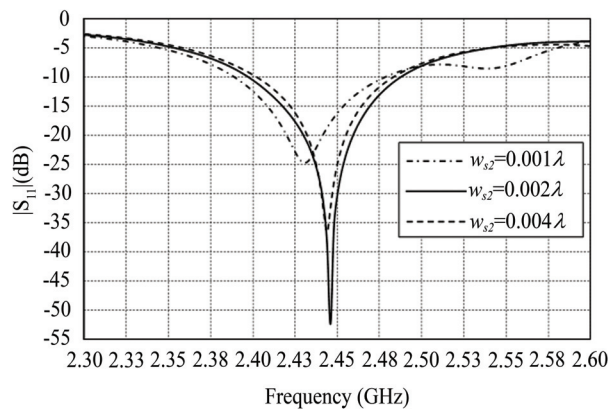
รูปที่ 3 ผลกระทบของความกว้างช่องเปิด w_{s1} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$

รูปที่ 4 แสดงผลกระทบของความยาวช่องเปิด I_{s2} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$ พบว่าค่าความยาว I_{s2} ยิ่งมีขนาดยาวจะยิ่งส่งผลทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนสูงขึ้นและค่า $|S_{11}|$ มีค่าต่ำมาก และพบว่าค่าความยาวช่องเปิด I_{s2} เท่ากับ 0.09λ เท่านั้นที่ส่งผลให้ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB มาก ๆ และเกิดความถี่เรโซแนนซ์เข้าใกล้ความถี่กลางที่ออกแบบ ดังนั้นจึงเลือกที่ความยาวนี้

สำหรับความกว้างช่องเปิดคู่ที่สอง w_{s2} ส่งผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และช่วงกว้างความถี่ ดังนั้นค่าความกว้าง w_{s2} ยิ่งกว้างจะยิ่งทำให้ครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันผลของการแมตซ์อิมพีแดนซ์ก็ต้องพิจารณาร่วมด้วย จากรูปที่ 5 พบว่า w_{s2} เท่ากับ 0.002λ จะให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ดีที่สุด และให้ความถี่เรโซแนนซ์เข้าใกล้ความถี่กลาง อีกทั้งยังครอบคลุมตลอดย่านความถี่ WLAN อีกด้วย

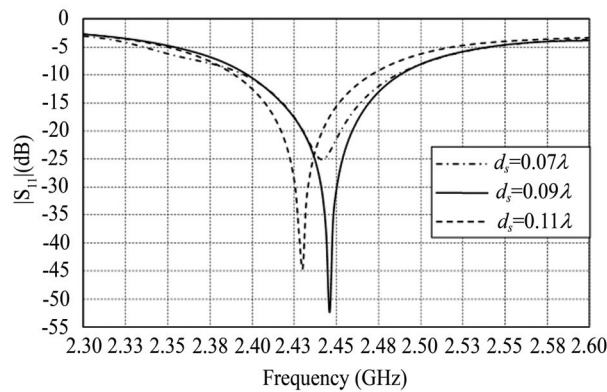


รูปที่ 4 ผลกระทบของความยาวช่องเปิด l_{s2} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$



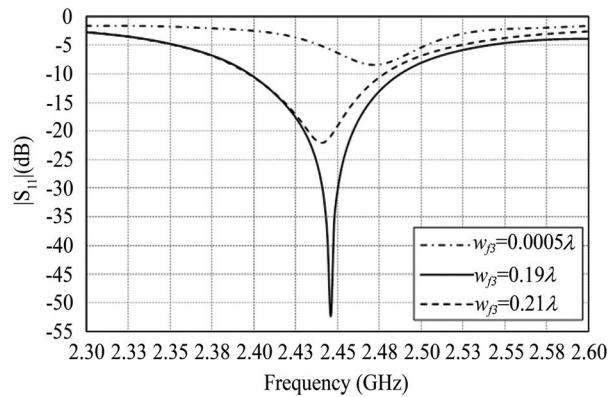
รูปที่ 5 ผลกระทบของความกว้างช่องเปิด w_{s2} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$

นอกจากจะพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากขนาดของช่องเปิดคู่ที่อยู่บนแผ่นตัวนำที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแล้วนั้น รูปที่ 6 ได้แสดงผลกระทบของระยะห่างระหว่างช่องเปิด d_s ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$ พบว่ายิ่งระยะห่างระหว่างช่องเปิดยิ่งมากยิ่งส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เลื่อนต่ำลงยิ่งขึ้น และมีเพียงเฉพาะระยะห่างที่เหมาะสมเท่านั้นที่ให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ดีที่สุด และให้ความถี่เรโซแนนซ์เข้าใกล้ความถี่กลางที่สุด อีกทั้งยังครอบคลุมตลอดย่านความถี่ WLAN นั่นคือ d_s เท่ากับ 0.09λ

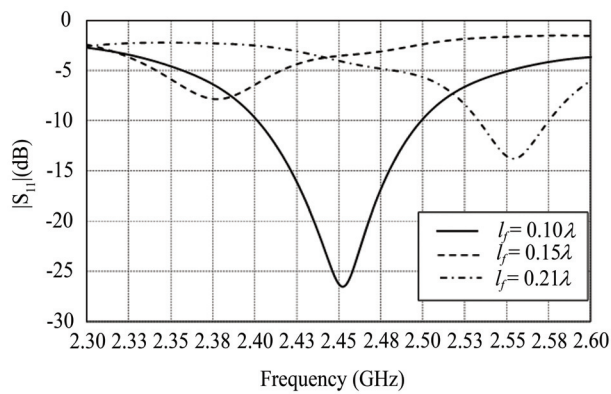


รูปที่ 6 ผลกระทบของระยะห่างระหว่างช่องเปิด d_s ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$

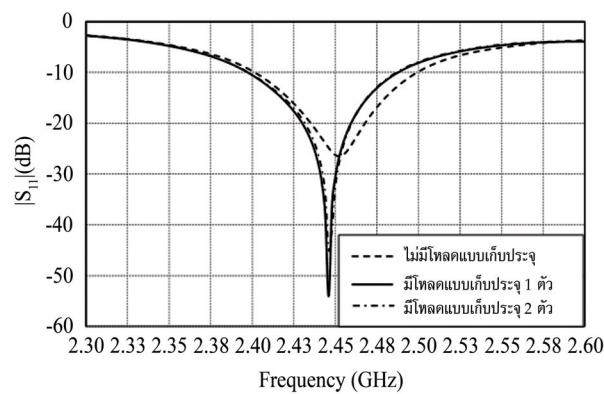
จากรูปที่ 2 - 6 ได้แสดงผลกระทบของพารามิเตอร์สายอากาศที่อยู่บนตัวแพร่กระจายคลื่นแล้วต่อไปจะพิจารณาพารามิเตอร์ของตัวป้อนสัญญาณแบบเส้นคู่ที่มีผลต่อการปรับจูนการแมตช์อิมพีแดนซ์ โดยจะพิจารณาค่าความกว้าง w_{f3} ที่เส้นป้อนสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าค่า w_{f3} แคบ ๆ หรือตำแหน่งป้อนสัญญาณเข้าใกล้จุดกึ่งกลางของสายอากาศนั้น การแมตช์อิมพีแดนซ์แย่ง แต่เมื่อเลื่อนตำแหน่งป้อนสัญญาณห่างจากจุดกึ่งกลางออกไป พบว่าการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศดียิ่งขึ้น แต่เมื่อเลื่อนตำแหน่งป้อนสัญญาณห่างออกไปมากยิ่งขึ้นกลับทำให้การแมตช์อิมพีแดนซ์แย่งอีกครั้ง ในการออกแบบได้เลือก w_{f3} เท่ากับ 0.19λ เพราะให้ค่าการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ยอมรับได้ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10 dB มาก ๆ ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ตั้งแต่ 2.39 - 2.49 GHz คิดเป็นช่วงกว้างความถี่ 4 % สำหรับการพิจารณาค่าตำแหน่งการป้อนสัญญาณเส้นที่สองที่ตำแหน่งด้านข้างของแพตช์สี่เหลี่ยมมุมฉาก กรณีที่ยังไม่ตัดงอเส้นสตริป (ไม่มีโหลดแบบตัวเก็บประจุ) ได้แสดงดังรูปที่ 8 พบว่า เมื่อเลื่อนตำแหน่งการป้อนเส้นที่สองสูงขึ้นจากขอบล่างทำให้การแมตช์อิมพีแดนซ์แย่ง ตำแหน่งที่ช่วยให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ได้ดีที่สุดคือ ความยาว l_f สั้น ๆ หรืออยู่ใกล้ขอบล่างของแพตช์สี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังนั้นจึงเลือกการป้อนสัญญาณที่ตำแหน่ง $l_f = 0.1\lambda$ ก่อน แล้วทำการปรับจูนเพิ่มเติมด้วยวิธีตัดงอเส้นสตริปให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้น เปรียบเสมือนการเพิ่มโหลดแบบตัวเก็บประจุ ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนโหลดแบบตัวเก็บประจุเข้าไปจะช่วยให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มโหลดจำนวนหนึ่งตัวและสองตัวมีค่า $|S_{11}|$ เท่ากับ -45 dB และ -54 dB ดังแสดงในรูปที่ 9 แต่การเพิ่มจำนวนโหลดมากขึ้นนั้นไม่มีผลที่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มจำนวนโหลดแบบตัวเก็บประจุจะทำให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ดีขึ้นแต่จะครอบคลุมช่วงกว้างความถี่ที่แคบลง ดังนั้นในการออกแบบจึงเลือกการเพิ่มโหลดเพียงหนึ่งตัวเท่านั้น อย่างไรก็ตามสายอากาศที่ออกแบบนี้มีคุณสมบัติที่ครอบคลุมความถี่ WLAN ตั้งแต่ 2.4 - 2.48 GHz ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ ของเส้นป้อนนั้นได้ทำการปรับจูนละเอียดอีกครั้งทั้งหมด และได้สรุปการออกแบบสายอากาศดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 7 ผลกระทบของความกว้างเส้นป้อนสัญญาณ w_{f3} ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$



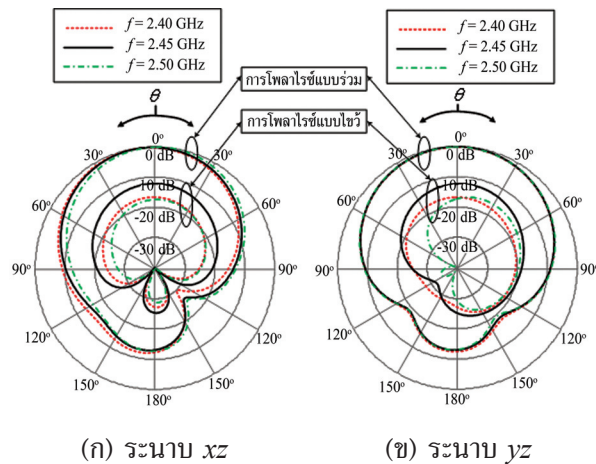
รูปที่ 8 ผลกระทบของความยาว l_f (ยังไม่มีโหลดแบบตัวเก็บประจุ) ที่มีผลต่อ $|S_{11}|$



รูปที่ 9 ผลกระทบของจำนวนโหลดแบบตัวเก็บประจุที่มีผลต่อ $|S_{11}|$

ตารางที่ 1 สรุปพารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ

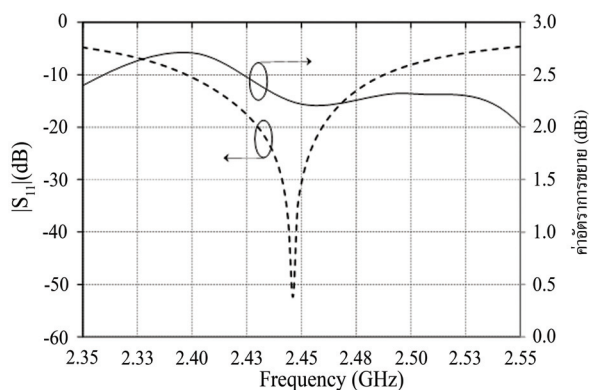
พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)	ขนาดทางไฟฟ้า	พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)	ขนาดทางไฟฟ้า
w_g	74.76	0.61λ	d_s	10.63	0.09λ
l_g	58.28	0.48λ	l_c	4.44	0.04λ
w	37.58	0.31λ	w_c	3.72	0.03λ
l	28.55	0.23λ	l_f	11.88	0.10λ
h	1.6	0.01λ	l_{f1}	10.47	0.09λ
t	0.03	0.0003λ	w_{f0}	3.13	0.03λ
l_{s1}	17	0.14λ	w_{f1}	0.72	0.001λ
l_{s2}	11	0.09λ	w_{f2}	28.43	0.23λ
w_{s1}	1.5	0.01λ	w_{f3}	22.74	0.19λ
w_{s2}	0.3	0.002λ	w_{f4}	4	0.033λ
w_e	3.72	0.003λ	w_{f5}	10.72	0.09λ



รูปที่ 10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการจำลองผล

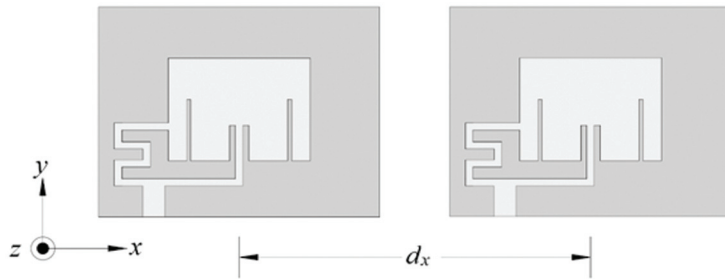
รูปที่ 10 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานด้วยการโพลาริซ์แบบร่วมและแบบไขว้ของสายอากาศที่ได้จากการจำลองผลในระนาบ xz และ yz พบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแผ่พลังงานความเข้มสนามไฟฟ้าในทิศตั้งฉากกับระนาบสายอากาศ ($\theta = \theta^\circ$) ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.4 - 2.5 GHz โดยมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth) ในระนาบ xz เท่ากับ 79 องศา ที่ความถี่ 2.4 และ 2.45 GHz และเท่ากับ 77 องศา ที่ความถี่ 2.5 GHz ส่วนความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ yz มีค่าเท่ากันทั้งสามความถี่ คือ 93 องศา นอกจากนี้พบว่าระดับพหุหลัง (Back Lobe Level) ที่ความถี่ต่ำ ๆ มีค่าระดับพหุหลังค่อนข้างสูงกว่าที่ความถี่สูงที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าระดับพหุหลังสูงที่สุดเท่ากับ -13.84 dB แต่ค่านี้ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เมื่อพิจารณาระดับความแรงของการโพลาริซ์แบบร่วมและแบบไขว้ พบว่าระดับความแรงของการโพลาริซ์แบบไขว้มีค่าต่ำกว่าการโพลาริซ์แบบร่วม

มากกว่า 12 dB และเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนแกน (Axial Ratio) ของสายอากาศที่ความถี่ 2.4, 2.45 และ 2.5 GHz มีค่าอัตราส่วนแกนเท่ากับ 19.72 15.74 และ 22.2 dB ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าสายอากาศนี้ให้การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น

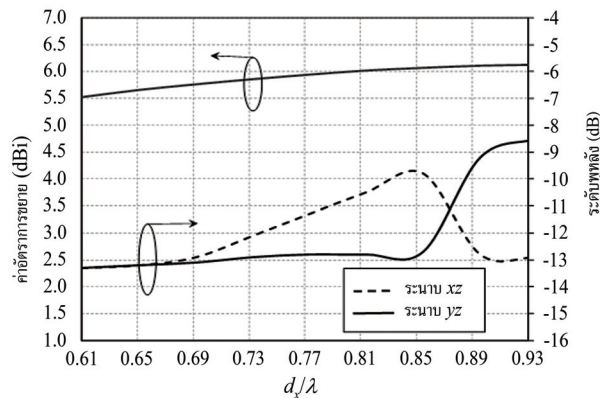


รูปที่ 11 ค่าอัตราการขยายและค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ

ข้อสังเกตในการออกแบบสายอากาศแพตช์สี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดคู่และป้อนสัญญาณด้วยเส้นไมโครสตริปคู่นี้ การเพิ่มช่องเปิดคู่บนตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมนี้มีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์และการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่เพิ่มขึ้นโดยที่ไม่มีผลเสียต่อประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ แต่ด้วยสายอากาศไมโครสตริปแบบแพตช์มีข้อด้อยคือ ค่าอัตราการขยายจะค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ สายอากาศที่นำเสนอองค์ประกอบเดียวนี้มีค่าอัตราการขยายต่ำที่สุดเท่ากับ 2.2 dBi และค่าอัตราการขยายสูงที่สุดเท่ากับ 2.71 dBi ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.4 - 2.5 GHz ดังแสดงในรูปที่ 11 อย่างไรก็ตามข้อด้อยนี้สามารถปรับปรุงได้โดยการจัดเรียงองค์ประกอบของสายอากาศแบบแถวลำดับด้านข้าง (Side by Side) ดังแสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งพบว่า เมื่อพิจารณาแถวลำดับที่มีสององค์ประกอบจัดเรียงห่างกันด้วยระยะ d_x สายอากาศแถวลำดับนี้ยังคงมีแบบรูปการแผ่พลังงานทิศทางเดียวที่มีความเข้มข้นแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศตั้งฉากกับระนาบของสายอากาศ และมีค่าอัตราการขยายที่สูงขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศห่างกันมากขึ้น แต่ระดับพูล้าง (Back Lobe Level: BLL) ก็มีขนาดที่สูงขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 13 อย่างไรก็ตามพบว่า ที่ระยะห่าง d_x ตั้งแต่ $0.61\lambda - 0.93\lambda$ จะให้ค่าอัตราการขยายที่สูงขึ้นมากกว่า 50 % ของสายอากาศองค์ประกอบเดียว โดยค่าระดับความแตกต่างระหว่างพูล้างเทียบกับลำคลื่นหลักมีค่าต่างกันมากกว่า 15 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามการเลือกระยะที่ห่างกันมาก ๆ จะทำให้โครงสร้างรวมของสายอากาศแถวลำดับขนาดใหญ่ ดังนั้นการเลือกระยะห่างในการจัดเรียงสายอากาศจึงขึ้นอยู่กับการใช้งานและการติดตั้งตามความเหมาะสมของงานนั้น ๆ



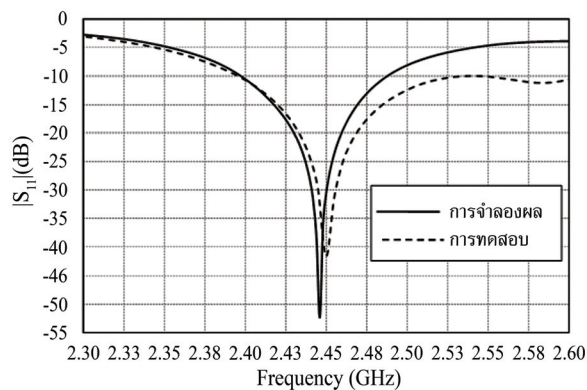
รูปที่ 12 การจัดเรียงองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับแบบด้านข้าง



รูปที่ 13 ค่าอัตราการขยายของสายอากาศแถวลำดับ

การทดสอบสายอากาศ

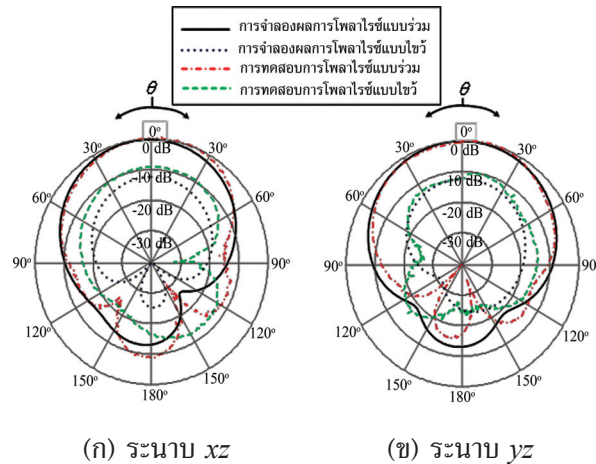
เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการจำลองที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อน สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างและการทดสอบสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบผล ด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzer) รุ่น E5071C สำหรับคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการทดสอบ ได้แก่ คุณลักษณะเชิงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในการสร้างสายอากาศต้นแบบ (ดังแสดงในรูปที่ 1(ข)) ได้สร้างตามขนาดที่สรุปไว้ในตารางที่ 1 โดยส่วนที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นทำจากตัวนำทองแดงหนา 0.03 มม. เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง 37.58 มม. ความยาว 28.55 มม. วางบนวัสดุรองรับที่มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เท่ากับ 4.3 สูง 1.6 มม. ส่วนด้านหลัง (ด้านล่าง) มีระนาบกราวด์แบบเต็มที่มีค่าความกว้าง 74.76 มม. และความยาว 58.28 มม. ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นให้เดินทางเพียงด้านหน้าทิศทางเดียว สำหรับการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศได้ทำการเชื่อมต่อด้วยตัวเชื่อมต่อแบบ SMA ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบผล $|S_{11}|$ ที่ได้จากการจำลองและการทดสอบ

สำหรับการเข้ากันได้ทางอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายส่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเท่ากับ 50 โอห์ม นั้น สามารถพิจารณาด้วยค่า $|S_{11}|$ โดยจะใช้เกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ $|S_{11}| < -10$ dB จากรูปที่ 14 พบว่าผลการจำลองและการทดสอบสายอากาศที่ออกแบบนี้มีความสอดคล้องกัน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ความถี่เรโซแนนซ์เกิดขึ้นที่ความถี่เข้าใกล้ความถี่กลาง 2.45 GHz แต่ผลที่ได้จากการจำลองให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีกว่าและให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ต่ำกว่าสายอากาศต้นแบบ ทั้งนี้เพราะสายอากาศที่สร้างจริงจะมีผลที่เกิดจากตัวเชื่อมต่อแบบ SMA ร่วมด้วย ในขณะที่การจำลองไม่ได้พิจารณาผลจากตัวเชื่อมต่อร่วมด้วย แต่อย่างไรก็ดีผลที่เกิดขึ้นก็ไม่ได้ทำให้เกิดความเสียหายแต่อย่างใดกับการทำงานของสายอากาศ และสายอากาศต้นแบบนี้ให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีตลอดช่วงความถี่ 2.39 - 2.53 GHz ครอบคลุมช่วงกว้างแถบความถี่ 5 % ซึ่งกว้างกว่าผลที่ได้จากการจำลอง กล่าวคือ ผลจากการจำลองให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ค่า -10 dB ครอบคลุมความถี่ 2.39 - 2.49 GHz มีค่าช่วงกว้างแถบความถี่ 4 %

เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 15 พบว่าผลจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบให้แบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว มีค่าความแรงของสนามไฟฟ้าแรงที่สุด ในทิศต้องฉากกับระนาบของสายอากาศสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลอง จากการจำลองผลที่ความถี่ 2.45 GHz พบว่าค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz เท่ากับ 79 องศา และในระนาบ yz มีค่าเท่ากับ 93 องศา ส่วนผลจากการทดสอบพบว่า ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบ xz และระนาบ yz มีค่าเท่ากับ 76 องศา และ 81 องศา เมื่อพิจารณาค่าความแรงของสนามที่มีการโพลาไรซ์แบบไขว้ทั้งในระนาบ xz และระนาบ yz พบว่าจากการจำลองผลมีค่าสูงสุดประมาณ -12 dB ในขณะที่ผลที่ได้จากการทดสอบมีค่าสูงสุดประมาณ -8 dB อนึ่งสายอากาศนี้ให้ค่าการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น และเมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่าอัตราการขยายโดยใช้สมการฟรีส (Friis Transmission Equation) [3] โดยใช้สายอากาศสององค์ประกอบที่เหมือนกัน (สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศภาครับและภาคส่ง) โดยไม่นำค่าการสูญเสียจากสายนำสัญญาณในภาครับและภาคส่งมาคำนวณร่วมด้วย เพราะในขั้นตอนการทดสอบนี้ได้ทำการปรับเทียบ (Calibration) ที่ปลายสายก่อนการทดสอบแล้ว ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งเท่ากับ 70 เซนติเมตร ดังนั้นค่าการสูญเสียในช่องว่างอิสระ (Free Space Loss) เท่ากับ -37.13 dB ค่าอัตราส่วนกำลังงานสายอากาศรับต่อกำลังงานสายอากาศส่งเท่ากับ -34.37 dB ดังนั้นค่าอัตราการขยายของสายอากาศต้นแบบมีค่าเท่ากับ 2.76 dBi



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการจำลองผลและการทดสอบ ที่ความถี่ 2.45 GHz

สรุปและวิจารณ์

บทความนำเสนอสายอากาศไมโครสตริปลแบบแพตช์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย ช่องเปิดคู่และเส้นป้อนสัญญาณ ด้วยเส้นไมโครสตริปลแบบคู่ที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวสำหรับระบบโครงข่ายไร้สายท้องถิ่น โดยโครงสร้างสายอากาศมีลักษณะไม่ซับซ้อน ขนาดกะทัดรัด ในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขนาดของไมโครสตริปลแบบแพตช์สี่เหลี่ยมเพื่อให้ได้เงื่อนไขการเกิดโหมดเป็นใหญ่ก่อน จากนั้นได้พิจารณาพารามิเตอร์ของช่องเปิดคู่บนตัวแพร่กระจายคลื่นสี่เหลี่ยมและเส้นป้อนสัญญาณแบบคู่ที่ติดตั้งเหมือนการเพิ่มโหลดแบบตัวเก็บประจุ เพื่อช่วยให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ให้ดียิ่งขึ้น พบว่าสายอากาศที่นำเสนอให้แบบรูปการแผ่พลังงานคลื่นทิศทางเดียวที่ให้การโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น มีขนาด S_{11} ต่ำกว่า -10 dB และมีค่าอัตราการขยายสูงสุดเท่ากับ 2.7 dBi ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.4 - 2.48 GHz เพื่อปรับปรุงค่าอัตราขยายของสายอากาศให้ดียิ่งขึ้น สามารถทำได้โดยนำสายอากาศสององค์ประกอบมาจัดเรียงแบบแถวลำดับด้านข้าง พบว่าที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่เหมาะสม สายอากาศนี้มีค่าอัตราการขยายเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 % ของสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว นอกจากนี้ได้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบขึ้นเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผลจากการจำลองพบว่า ผลการทดสอบและการจำลองมีความสอดคล้องกันเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบ WLAN ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีตามสัญญาเลขที่ ENG 16/62

References

- [1] Chen, Z. N., Qing, X., See, T. S. P., and Toh, W. K. (2012). Antennas for WiFi Connectivity. **Proceedings of the IEEE**. Vol. 100, Issue 7, pp. 2322-2329. DOI: DOI: 10.1109/JPROC.2012.2183830
- [2] Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. J., and Ittipiboon, A. (2001). **Microstrip Antenna Design Handbook**. 1st Edition, Artech House, Norwood.
- [3] Balanis, C. A. (2007). **Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition**. New York: John Wiley & Sons.
- [4] Jothi Chitra, R. and Nagarajan, V. (2013). Double L-slot Microstrip Patch Antenna Array for WiMAX and WLAN Applications. **Computers and Electrical Engineering**. Vol. 39, Issue 3, pp. 1026-1041. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2012.11.024
- [5] Hoang, T. V. and Park, H. C. (2014). Very Simple 2.45/3.5/5.8 GHz Triple-Band Circularly Polarised Printed Monopole Antenna with Bandwidth Enhancement. **Electronics Letters**. Vol. 50, Issue 24, pp. 1792-1793. DOI: 10.1049/el.2014.2935
- [6] Chakraborty, U., Kundu, A., Chowdhury, S. K., and Bhattacharjee, A. K. (2014). Compact Dual-Band Microstrip Antenna for IEEE 802.11a WLAN Application. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**. Vol. 13, pp. 407-410. DOI: 10.1109/LAWP.2014.2307005
- [7] Munir, A., Petrus, G., and Nusantara, H. (2013). Multiple Slots Technique for Bandwidth Enhancement of Microstrip Rectangular Patch Antenna. In **2013 International Conference on QiR (Quality in Research), At Yogyakarta, Indonesia**. pp. 150-154. DOI: 10.1109/QiR.2013.6632555
- [8] Hsiao, C., Huang, H., and Hwang, R. (2014). An Impedance Matching Technique for Bandwidth Enhancement of Terminal Antennas. **IEEE International Workshop on Electromagnetics**. pp. 113-114
- [9] Nesbitt, P. B., Tsang, H., Ketterl, T. P., Church, K., and Weller, T. M. (2016). 4 GHz 3D-printed Balun-Fed Bowtie Antenna with Finite Ground Plane for Gain and Impedance Matching Enhancement. In **2016 IEEE 17th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)**. pp. 1-3. DOI: 10.1109/WAMICON.2016.7483854
- [10] Xu, K. D., Xu, H., Liu, Y., Li, J., and Liu, Q. H. (2018). Microstrip Patch Antennas with Multiple Parasitic Patches and Shorting Vias for Bandwidth Enhancement. **IEEE Access**. Vol. 6, pp. 11624-11633. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2794962
- [11] Elumalai, L. G. N., Kanagasabai, M., and Balasubramanian, B. (2013). Implementation of Slotted Meander-Line Resonators for Isolation Enhancement in Microstrip Patch Antenna Arrays. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 2013**. Vol. 12, pp. 15-18. DOI: 10.1109/LAWP.2012.2237156

- [12] Wang, H., Liu, S., Chen, L., Li, W., and Shi, X. (2014). Gain Enhancement for Broadband Vertical Planar Printed Antenna with H-Shaped Resonator Structures. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. Vol. 62, Issue 8, pp. 4411-4415. DOI: 10.1109/TAP.2014.2325955
- [13] Sun, C., Zheng, H., Zhang, L., and Liu, Y. (2014). Analysis and Design of a Novel Coupled Shorting Strip for Compact Patch Antenna with Bandwidth Enhancement. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**. Vol. 13, pp. 1477-1481. DOI: 10.1109/LAWP.2014.2341596
- [14] He, M., Ye, X., Zhou, P., Zhao, G., Zhang, C., and Sun, H. (2015). A Small-Size Dual-Feed Broadband Circularly Polarized U-Slot Patch Antenna. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**. Vol. 14, pp. 898-901. DOI: 10.1109/LAWP.2014.2384496
- [15] Wu, T. L., Pan, Y. M., Hu, P. F., and Zheng, S. Y. (2017). Design of a Low Profile and Compact Omnidirectional Filtering Patch Antenna. **IEEE Access**. Vol. 5, pp. 1083-1089. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2651143
- [16] Jansri, C., Phongcharoenpanich, C., and Lamultree, S. (2018). Double-Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna for WLAN Applications. **Proceedings of the 2018 International Electrical Engineering Congress**. Krabi, Thailand, 7-9 March 2018, pp. 104-107