

สายอากาศเครือข่ายไร้สายร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมด้วยไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริซและปรับปรุงค่าแยกโดดเดี่ยว

Annular Rectangular Ring Slot WLAN Antenna with Polarization Diversity and Improved Isolation

ยุกติทัศน์ ขวานนท์พิทักษ์¹

¹สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร

yuktitath.ch@muti.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอสายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริซพร้อมด้วยการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซเชิงเส้นคู่ สายอากาศที่ได้นำเสนอได้ถูกปรับปรุงค่าแยกโดดเดี่ยวด้วยร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมฝังบนแผ่นแพร่กระจายคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับใช้กับระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN) ความถี่ 2.45 GHz ผลการทดสอบได้ค่าแยกโดดเดี่ยวมากกว่า 40 dB และมีอัตราขยายสูงสุดมากกว่า 8 dBi พร้อมด้วยการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทาง ระดับกำลังงานการโพลาริซแบบไขว้ของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีระดับกำลังงานน้อยกว่า -20 dB ทั้งสองระนาบ

คำสำคัญ: สายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริซ ค่าแยกโดดเดี่ยว ร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมฝัง

Abstract

This paper presents the polarization diversity antenna with dual linear polarized radiations. The proposed antenna is improved its isolation with an annular rectangular ring slot embedded into the square radiating plate. The antenna is suitable for Wireless Local Area Network (WLAN) system at the frequency of 2.45 GHz. The measured results revealed an isolation of over 40 dB, a peak gain exceeding 8 dBi and highly directional wave propagation. The cross polarization levels of the radiation antenna are lower than -20 dB in for both planes.

Keywords: Polarization diversity antenna, Isolation, Annular rectangular ring slot

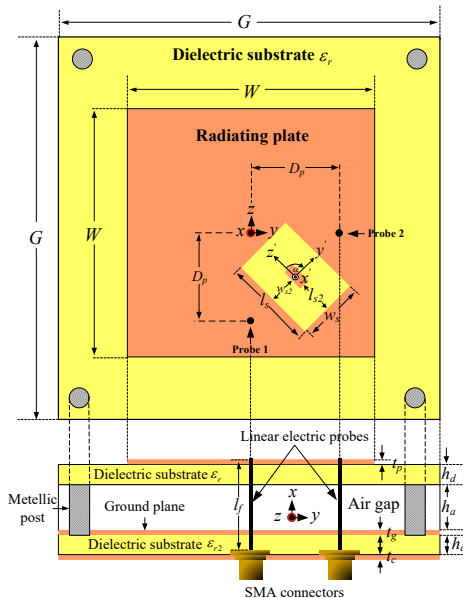
1. บทนำ

ระบบสื่อสารเครือข่ายไร้สาย (Wireless Communication System) ในปัจจุบันมักประสบปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับปัญหาการจางหาย (Fading) ของสัญญาณซึ่งมีผลกระทบเนื่องจากปัญหาการลดทอนตามเส้นทางการเดินทางของคลื่น (Path Loss) เพราะสัญญาณเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ลดลงอย่างคงที่ตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนปัญหาการลดทอนจากสิ่งกีดขวาง (Shadowing Fading) ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติและสิ่งที่มีมนุษย์ก่อสร้างขึ้น เช่น ต้นไม้ เม็ดฝน ฝุ่นละออง ผนังกำแพง ตึกอาคาร ฯลฯ เพราะวัสดุหรือโลหะจะมีผลกระทบต่อสัญญาณเหล่านี้และปัญหาที่เกิดจากการจางหายจากการเดินทางของคลื่นหลายวิถี (Multipath Fading) เป็นต้น ปัญหาต่างๆ ที่ได้กล่าวมานั้น มีเทคนิควิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาย่อยหลายเทคนิควิธีด้วยกัน [1]-[2] อาทิเช่น เทคนิคไดเวอร์ซิตีเชิงตำแหน่ง (Space Diversity Technique) สายอากาศถูกวางห่างกันหลายเท่าของความยาวคลื่นทำให้โครงสร้างสายอากาศมีขนาดใหญ่และสายอากาศมีโพลาริซเชิงเส้นเดียวกัน สำหรับเทคนิคไดเวอร์ซิตีเชิงมุม (Angle Diversity Technique) จะช่วยแก้ปัญหาสัญญาณที่มีเส้นทางเดินและทิศทางแตกต่างกัน เทคนิคไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริซที่ได้นำเสนอในบทความนี้จะมีโครงสร้างสายอากาศขนาดเล็กกว่าเทคนิคไดเวอร์ซิตีเชิงตำแหน่ง สายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริซ ประกอบด้วยสายอากาศโพลาริซเชิงเส้นแนวตั้งและแนวนอนที่ถูกวางในลักษณะรูปกากบาท (Orthogonal Polarization) โดยมีระยะห่างของสายอากาศทั้งสองแต่เมื่อสายอากาศโพลาริซทั้งสองถูกวางใกล้กันจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อยุบรวม (Coupling) ระหว่างโพลาริซกัน และส่งผลทำให้ลดประสิทธิภาพการรับสัญญาณหรือไม่สามารถแยกแยะการโพลาริซที่ส่งมายังสายอากาศรับได้ จากปัญหาดังกล่าวบทความนี้ได้ทำการปรับปรุงค่าแยกโดดเดี่ยวให้กับสายอากาศไดเวอร์ซิตีโพลาริซเชิงเส้นคู่ด้วยการแทรกช่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมฝังระหว่างโพลาริซเชิงเส้นทั้งคู่ สำหรับการใช้งานความหลากหลายของโพลาริซเช่นเพิ่มเติมจำเป็นต้องมีข้อกำหนดอื่นๆ เช่น แบนด์วิดท์กว้าง การแยกพอร์ตสูง และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ดังนั้น [3] จึงได้เสนอสายอากาศแบบแพทช์ที่มีพีดีไฮบริด ซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างและการแยกพอร์ตสูง เมื่อเทียบกับสายอากาศแบบโพลาริซเชิงเส้นคู่แบบอื่นๆ ใน [4]

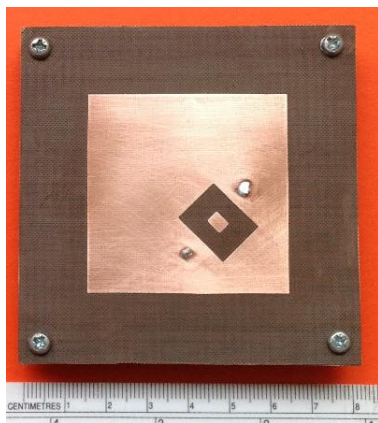
สำหรับบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาริซโดยใช้สายอากาศไมโครสตริปรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีการกระตุ้นสัญญาณด้วยโพรบไฟฟ้าคู่ โดยโพรบไฟฟ้าที่ถูกกระตุ้นตามแนวแกนตั้งของสายอากาศทำให้เกิดโพลาริซเชิงเส้นแนวตั้งและโพรบไฟฟ้าที่ถูกกระตุ้นสัญญาณตามแนวแกนนอนของสายอากาศทำให้เกิดโพลาริซเชิงเส้นแกนนอน ร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมฝังบนแผ่นแพร่กระจายคลื่นเพื่อเพิ่มค่าแยกโดดเดี่ยวให้สูงขึ้น ผลจำลองและผลการทดสอบสายอากาศตัว

ต้นแบบ พบว่าค่าแยกโดดเดี่ยวมากกว่า 40 dB และมีอัตราขยายสูงสุดมากกว่า 8 dBi พร้อมด้วยการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทางระดับกำลังงานการโพลาไรซ์แบบไขว้ของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีระดับกำลังงานน้อยกว่า -20 dB ทั้งสองระนาบ

2. โครงสร้างสายอากาศตัวต้นแบบ



รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ

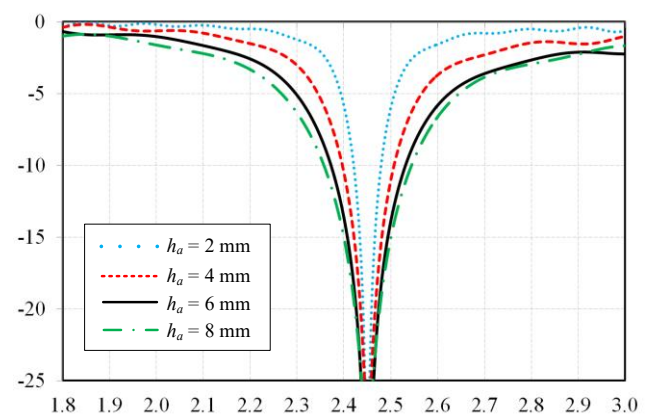


รูปที่ 2 รูปถ่ายโครงสร้างสายอากาศสายอากาศต้นแบบ

โครงสร้างสายอากาศต้นแบบแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยแผ่นแพร่กระจายคลื่นออกแบบให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความกว้าง (W) เท่ากับ 47.20×47.20 mm และมีความหนาแผ่นทองแดง (t_p) ของแผ่นแพร่กระจายคลื่นเท่ากับ 35 μ m สำหรับสายอากาศตัวต้นแบบนี้ได้ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ยี่ห้อ Taconic-RF45 มีค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) การสูญเสียจากแผ่นวงจรพิมพ์ ($\tan\delta$) และความสูงของแผ่นวงจรพิมพ์ (h_o) เท่ากับ 4.50 0.0037 และ 0.51 mm ตามลำดับ

สายอากาศที่ได้นำเสนอนี้ได้ทำการกระตุ้นสัญญาณจำนวน 2 โพรบไฟฟ้าซึ่งตั้งฉากต่อกัน และแต่ละโพรบไฟฟ้าจะมีความยาว (l_p) เท่ากับ 7.32 mm สำหรับโพรบไฟฟ้าที่ 1 (Probe 1) ถูกกระตุ้นสัญญาณด้วยโหมด TM_{100} และโพรบไฟฟ้าที่ 2 (Probe 2) ถูกกระตุ้นสัญญาณด้วยโหมด TM_{010} โดยกำหนดให้โพรบไฟฟ้าที่ 1 เป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical polarization: VP) และโพรบไฟฟ้าที่ 2 เป็นโพลาไรซ์เชิงเส้นแนวนอน (Horizontal polarization: HP) นอกจากนี้แต่ละโพรบไฟฟ้ามีระยะทาง (d_p) จากจุดศูนย์กลางของแผ่นแพร่กระจายคลื่นไปยังตำแหน่งกระตุ้นสัญญาณเท่ากับ 14.00 mm ส่วนรูปที่ 2 แสดงรูปถ่ายโครงสร้างสายอากาศต้นแบบที่ได้จัดสร้างขึ้น

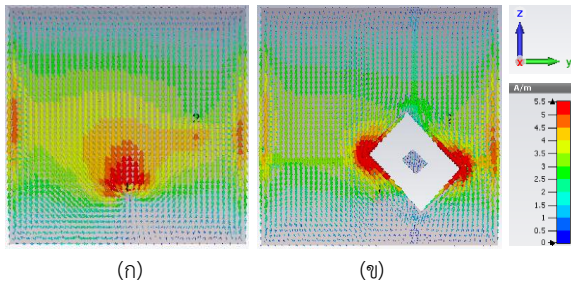
3. การศึกษาและการออกแบบสายอากาศไดเวอร์ซิตีตัวต้นแบบ



รูปที่ 3 ผลจำลองความสูงของช่องว่างอากาศ โดยปรับเปลี่ยน h_o ตั้งแต่ 2 mm ถึง 8 mm

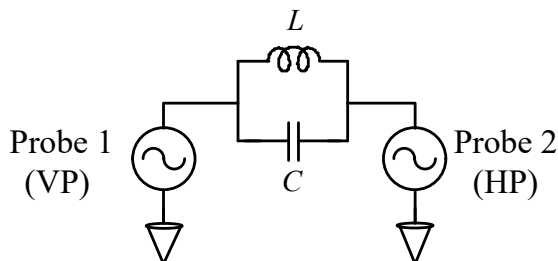
รูปที่ 3 แสดงผลการจำลองความสูง h_o สำหรับช่องว่างอากาศ (Air gap) อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแผ่นแพร่กระจายคลื่นและระนาบกราวด์ โดยอาศัยฐานรองโลหะรูปทรงกระบอกเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างสายอากาศที่ได้นำเสนอ และมีความสูง (h_o) ของช่องว่างอากาศเท่ากับ 6 mm นอกจากนี้ได้ทำการจำลองผล $|S_{11}|$ โดยทำการปรับเปลี่ยนความสูงของช่องว่างอากาศ (h_o) ตั้งแต่ 2 ถึง 8 mm จากผลการจำลองพบว่า ความสูงของช่องว่างอากาศมีผลทำให้สายอากาศมีแถบความกว้าง (Bandwidth) $|S_{11}|$ เพิ่มขึ้น โดยช่องว่างอากาศเท่ากับ 2 mm และ 8 mm จะมีแถบความกว้าง $|S_{11}|$ เท่ากับ 2.45% (2.42-2.48 GHz) และ 7.34% (2.36-2.54 GHz) และที่ความสูงของช่องว่างอากาศเท่ากับ 6 mm ซึ่งเป็นความสูงที่ได้นำเสนอในบทความฉบับนี้มีแถบความกว้าง $|S_{11}|$ เท่ากับ 6.53% (2.37-2.53 GHz) ซึ่งครอบคลุมแถบความกว้าง $|S_{11}|$ ในระบบ WLAN (2.40-2.50 GHz) และได้อัตราขยายสูงสุดมากกว่า 8 dBi จากที่ได้กล่าวมาในบทนำโดยทั่วไปสายอากาศหลายๆ ตัวหรือสายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์เมื่อถูกนำมาจัดวางใกล้กันจะส่งผลต่อการเชื่อมต่อนี้ทางคลื่นความถี่วิทยุ (Radio wave: RF) อิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายอากาศ และมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น (Radiation patterns) ของสายอากาศเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 4 (ก) เมื่อทำการจำลองผลและกระตุ้นสัญญาณโพรบไฟฟ้าที่ 1 และต่อโหลด 50 Ω ไว้ที่

โพรบไฟฟ้าที่ 2 พบว่ามีกระแสไฟฟ้าบางส่วนและมีขนาดโดยประมาณเท่ากับ 4.5-5.0 A/m ไหลเข้าไปยังโพรบไฟฟ้าที่ 2 ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมต่อร่วมระหว่างโพรบไฟฟ้าที่ 1 และโพรบไฟฟ้าที่ 2



รูปที่ 4 ผลจำลองกระแสไฟฟ้าที่ไหลบนแผ่นแพรกระจายคลื่น
(ก) กรณีไม่มีร่องว่างวงกลมสี่เหลี่ยมผืนผ้า
(ข) กรณีใช้ร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ซึ่งจากปัญหานี้บทความนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงค่าแยกโดดเดี่ยวให้สูงขึ้นเพื่อลดปัญหาการเชื่อมต่อร่วมได้โดยนำร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมจัตุรัสเข้าไปฝังลงไปในแผ่นแพรกระจายคลื่น โดยร่องว่างดังกล่าวจะถูกฝังไว้บนตำแหน่งจุดกึ่งกลางของโพรบไฟฟ้าทั้งสอง และร่องว่างที่ได้แนะนำเสนอนี้จะถูกวางบนเส้นแนวทแยงของแผ่นแพรกระจายคลื่นแสดงดังรูปที่ 1 และทำการกระตุ้นสัญญาณโพรบไฟฟ้าที่ 1 และต่อโหลด 50Ω ไว้ที่โพรบไฟฟ้าที่ 2 จากผลการจำลองพบว่า ร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้นำเสนอ สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังโพรบไฟฟ้าที่ 2 ได้หรือกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลเข้าหาระหว่างพอร์ตกันได้ดังรูปที่ 4 (ข)



รูปที่ 5 วงจรสมมูลของร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้นำเสนอ

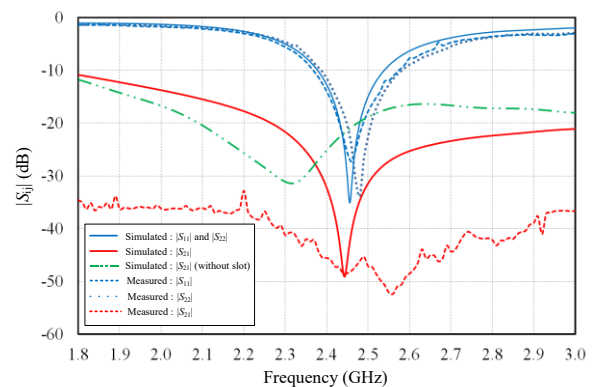
ร่องว่างที่ได้นำเสนอนี้เปรียบเสมือนวงจรกรองผ่านความถี่แบบช่องบากขนานกัน (Parallel band stop filter) ประกอบด้วยค่าเหนี่ยวนำขนานกับค่าเก็บประจุและอนุกรมกับแหล่งจ่าย ดังรูปที่ 5 ร่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นกระแสที่ไหลบนตัวแผ่นแพรกระจายคลื่นจึงไม่สามารถไหลผ่านไปได้ แต่ในทางกลับกันความถี่อื่นที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำจะสามารถผ่านเข้ามาได้

สำหรับร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้นำเสนอถูกฝังตัวบนเส้นแนวทแยงกับแผ่นแพรกระจายคลื่นด้วยมุม (α) เท่ากับ 315 องศา โดยกำหนดให้ภายในของร่องว่างที่ได้นำเสนอมีขนาดความกว้าง (w_{s2}) และความยาว (L_s) เท่ากับ 3.00 mm และ 4.00 mm ตามลำดับ และได้ทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ภายนอกของร่องว่างที่ คือความกว้าง (w_s)

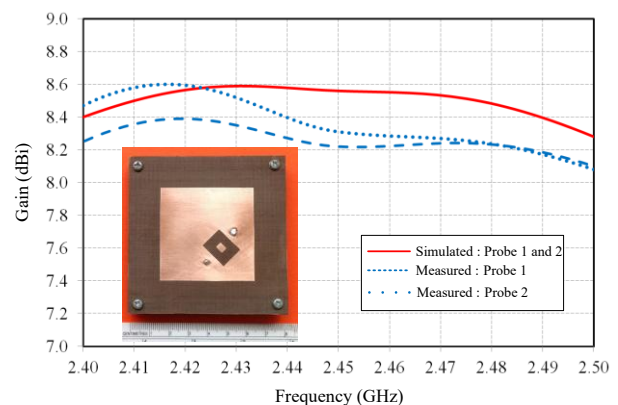
และความยาว (L_s) โดยความกว้าง (w_s) ปรับความกว้างตั้งแต่ 3.00 mm ถึง 17.00 mm และความยาว (L_s) ปรับความยาวตั้งแต่ 12 mm ถึง 16.00 mm แสดงดังรูปที่ 6 โดยความยาวของร่องว่างวงแหวนสี่เหลี่ยมผืนผ้า (L_s) มีความยาวประมาณความยาวคลื่นส่วนสี่ ($\lambda/4$) เปิดปลายสายส่งผลทำให้เกิดอิมพีแดนซ์สูง ณ ความถี่ที่ออกแบบ กระแสที่ไหลบนแผ่นแพรกระจายคลื่นจะถูกป้องกันการเชื่อมต่อระหว่างโพรบไฟฟ้าดังแสดงรูปที่ 4 (ข)

4. ผลจำลองและผลทดสอบของสายอากาศไดเวอร์ซิตีตัวต้นแบบ

ผลจำลองและผลทดสอบสายอากาศไดเวอร์ซิตีตัวต้นแบบที่ความถี่กลาง 2.45 GHz ผลการทดสอบพบว่า ค่า $|S_{11}|$ ของโพรบไฟฟ้าที่ 1 และค่า $|S_{22}|$ ของโพรบไฟฟ้าที่ 2 เท่ากับ -27.80 dB และ -25.70 dB ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองค่าแยกโดดเดี่ยว ($|S_{21}|$) เท่ากับ 48.25 dB และค่าการสะท้อนกลับ ($|S_{11}|$ และ $|S_{22}|$) ครอบคลุมย่านความถี่ WLAN ตามที่ต้องการดังรูปที่ 6

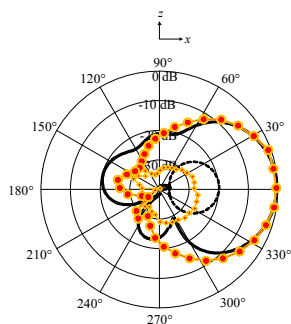


รูปที่ 6 ผลจำลองและผลการทดสอบ $|S_{ij}|$ ของสายอากาศที่ได้นำเสนอ

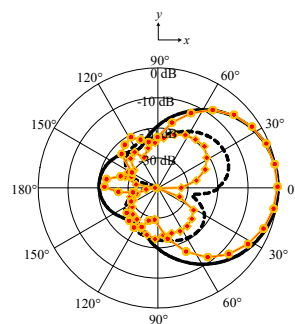


รูปที่ 7 ผลจำลองและผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศที่ได้นำเสนอ

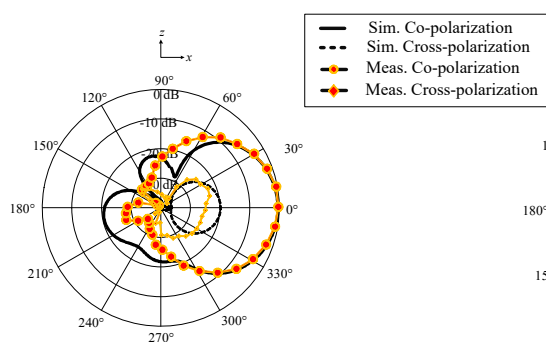
จากรูปที่ 7 ผลจำลองและผลทดสอบอัตราขยายสายอากาศที่ได้นำเสนอผลการทดสอบอัตราขยายสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz ที่โพรบไฟฟ้า 1 และ 2 มีอัตราขยาย 8.22 dBi และ 8.31 dBi ตามลำดับในส่วนอัตราขยายสายอากาศเฉลี่ยมากกว่า 8.00 dBi (2.40-2.50 GHz)



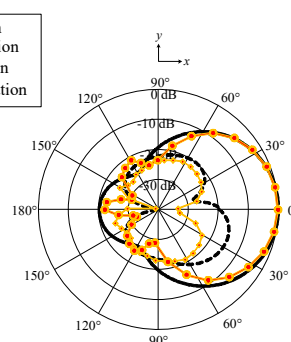
(ก) ระบาย xz โพรไฟล์ไฟฟ้าที่ 1



(ข) ระบาย xy โพรไฟล์ไฟฟ้าที่ 1



(ค) ระบาย xz โพรไฟล์ไฟฟ้าที่ 2



(ง) ระบาย xy โพรไฟล์ไฟฟ้าที่ 2

รูปที่ 8 ผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้นำเสนอ

รูปที่ 8 แสดงผลจำลองและผลทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบที่ได้นำเสนอ ผลการทดสอบรูปที่ 8 (ก) และ (ข) พบว่ามีความกว้างครึ่งหนึ่งของกำลังงานคลื่น (Half power beamwidth : HPBW) เท่ากับ 64 องศาและ 72 องศา และผลทดสอบระดับกำลังงานโพลาไรซ์ไขว้ (Cross polarization level: XPL) พบว่ามีระดับกำลังงาน -28.6 dB และ -40 dB และในรูปที่ 8 (ค) และ (ง) ผลการทดสอบพบว่ามีค่าความกว้างครึ่งหนึ่งของกำลังงานคลื่นเท่ากับ 62.4 องศาและ 73.10 องศา ในส่วนผลทดสอบระดับกำลังงานโพลาไรซ์ไขว้เท่ากับ -25.2 dB และ -33.6 dB

5. สรุป

สายอากาศไดเวอร์ซิตีเชิงโพลาไรซ์ที่ได้นำเสนอนี้มีค่าแวกโดดเดียมมากกว่า 40 dB และมีอัตราขยายสูงสุดมากกว่า 8 dBi พร้อมด้วยการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทาง ระดับกำลังงานการโพลาไรซ์แบบไขว้ของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีระดับกำลังงานน้อยกว่า -20 dB ทั้งสองระนาบ

ส่วนในการพัฒนาสายอากาศในอนาคตเพื่อการประยุกต์ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายได้หลายความถี่ สายอากาศต้องพัฒนาเป็นสายอากาศความถี่คู่ครอบคลุมความถี่ ทั้ง 2.4 GHz และความถี่ 5.2 GHz พร้อมทั้งการส่งสัญญาณและรับสัญญาณที่มีทิศทางการโพลาไรซ์ได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอนได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] U. Wahlberg, S. Widell and C. Beckham, "The performance of polarization diversity antennas at 1800 MHz" *Antenna and Propagation Society International Symposium Digest*, Vol. 2, 1997, pp. 1046-1057
- [2] D. Popovic and Z. Popovic, "Multibeam antennas with polarization and angle diversity," *IEEE Transaction Antennas and Propagation*, Vol. 50, 2002, pp. 651-657
- [3] Peng Wei, Zhijun Zhang, Wenhua Chen, Zhenghe Feng, "A Novel Hybrid Fed Patch Antenna With Pattern Diversity," *IEEE Antennas Wire. Propag. Lett.*, Vol. 9, 2010, pp 562-565
- [4] S. Gao and A. Sambell, "Dual-polarized broad-band patch antennas fed by proximity coupling," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol.53, No.1 2005, pp.526-531



ประวัติผู้เขียนบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุกติทัศน์ ขวานนท์พิทักษ์
ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา Antenna Design
และ Wireless Communication System