

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปคล้ายยาคีสำหรับประยุกต์ใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Design of Microstrip Patch Quasi-YAGI Antenna for WLAN Applications

ชุมพล ปทุมมาเกษร* และ เทิดศักดิ์ อินทโชติ

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180 โทร. 02-5290674-7

E-mail : toy161@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปแบบใหม่ที่มีคุณลักษณะคล้ายกับสายอากาศยาคี โดยประยุกต์จากสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นและสายอากาศแบบยาคี ซึ่งสายอากาศดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 สายอากาศที่ได้มีขนาดเล็ก โครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีต้นทุนต่ำ สำหรับการออกแบบสายอากาศนั้นมีการวิเคราะห์และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST จากนั้นทำการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลองแบบ ซึ่งในการวัดและทดสอบพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์ 16.32 % ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายประมาณ 4.95 dB ที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดจนสามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สายอากาศไมโครสตริปแพตช์, สายอากาศรูปคล้ายยาคี

Abstract

A novel microstrip patch quasi-YAGI antenna is presented for for WLAN applications. The half wave dipole and YAGI antenna are modified to a microstrip patch quasi-YAGI. The propose antenna is designed on FR4 substrate, since it is small size, easy fabrication and

low cost. In antenna design, we analyze and simulate microstrip quasi YAGI antenna by using CST program. To confirmed simulation results, the purposed antenna will be realized and experimented. In measurement, it found that antenna has bandwidth 16.32 % covered the operating frequency. This antenna has unidirectional radiation patterns and gain is about 4.95 dB with return loss less than -10 dB which covered WLAN spectrum range. The advantage of the proposed antenna is that it can be used in WLAN systems more efficiently.

Keywords: microstrip patch antenna, quasi-YAGI antenna

1. บทนำ

ระบบสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งเป็นระบบเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันหรือเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต โดยอาศัยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF) รับส่งข้อมูลแทนสายเคเบิล ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ได้กำหนดให้ระบบการสื่อสารไร้สายมีย่านความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 2.4 – 2.5 GHz เนื่องจากเป็นย่านความถี่สาธารณะทำให้นักวิจัยมีความสนใจศึกษาระบบเครือข่ายไร้สายนี้อย่างกว้างขวาง จากความสำคัญดังกล่าว ทำให้มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ระบบ WLAN ออกมาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสายอากาศซึ่งนับว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มี

ความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวช่วยให้อุปกรณ์ WLAN สามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปในทิศทางต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถแบ่งสายอากาศออกตามการแพร่กระจายคลื่นได้คือ สายอากาศแบบมีทิศทาง (directional antenna) เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการกระจายคลื่นในแนวทิศทางใดทิศทางหนึ่ง สายอากาศประเภทนี้นิยมใช้ในงานภายนอกอาคาร สำหรับการเชื่อมโยงแบบจุดไปจุด และอีกประเภทหนึ่งคือสายอากาศแบบรอบทิศทาง (omnidirectional antenna) [1] เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการกระจายคลื่นในแนวรอบ ๆ สายอากาศ โดยคลื่นจะถูกแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานโดยเปล่าประโยชน์ไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ เช่น บริเวณที่ไม่มีผู้ใช้งานระบบ WLAN เป็นต้น นอกจากนี้ถ้าต้องการกำหนดพื้นที่ใช้งานระบบ WLAN เช่น ต้องการให้สัญญาณครอบคลุมเฉพาะห้องที่มีขนาดใหญ่ห้องหนึ่งเท่านั้น สายอากาศเหล่านี้ที่ติดตั้งอยู่กับจุดเข้าถึงเครือข่ายจึงไม่สามารถตอบสนองกับความต้องการได้ เนื่องจากเราจำเป็นต้องใช้จุดเข้าถึงเครือข่ายหลายจุดเพื่อให้สัญญาณครอบคลุมผู้ให้บริการ ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น จากข้อจำกัดและปัญหาดังกล่าว สายอากาศแบบมีทิศทางนับว่าเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งสายอากาศที่มีคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทางที่มีนิยมใช้โดยทั่วไปในปัจจุบันนี้ได้แก่สายอากาศยาคิ (Yagi Uda) [1, 2] และสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ (Microstrip patch antenna) แต่สายอากาศดังกล่าวก็ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น สายอากาศแบบยาคินั้นจะมีขนาดใหญ่จึงส่งผลให้การออกแบบสร้างยากและมีต้นทุนสูง นอกจากนี้การติดตั้งสายอากาศกระทำได้ยากและด้วยสายอากาศที่มีขนาดใหญ่อาจไม่เหมาะสมกับการติดตั้งสำหรับภายในอาคาร ส่วนสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์นั้นอาจจะมีการออกแบบสร้างง่าย ขนาดเล็กกะทัดรัด และมีต้นทุนต่ำ แต่ก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกันคือ มีแบนด์วิดท์แคบ มีอัตราขยายต่ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปแบบใหม่ที่มีคุณลักษณะคล้ายกับสายอากาศยาคิ เพื่อใช้เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นของระบบรับส่งสัญญาณไร้สาย โดยประยุกต์จากสายอากาศไดโพล แบบครึ่งคลื่นและสายอากาศแบบยาคิ ซึ่งสายอากาศดังกล่าวถูก

ออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 สำหรับการออกแบบสายอากาศนั้นมีการวิเคราะห์และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST จากนั้นทำการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลองแบบ ซึ่งในการวัดและทดสอบ พบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์ 5.6 % [3, 4] ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบการสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบทิศทางเดียว (unidirectional pattern) และมีอัตราขยายประมาณ 6 dB ที่ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่าน ซึ่งสายอากาศดังกล่าวมีข้อดีคือ มีขนาดเล็กกะทัดรัด โครงสร้างไม่ซับซ้อน สร้างได้ง่าย น้ำหนักเบา และมีต้นทุนต่ำ นอกจากนี้ยังมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่มีเสถียรภาพ โดยแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. พื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์

สายอากาศที่ใช้กับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นจะต้องเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก กะทัดรัด และมีแบนด์วิดท์กว้างพอครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งสายอากาศโดยส่วนมากเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น มีแบนด์วิดท์แคบ มีอัตราการขยายค่อนข้างต่ำ จากปัญหาที่สำคัญของสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ นั่นก็คือมีอัตราขยายต่ำ และมีแบนด์วิดท์แคบ ที่ผ่านมาจึงได้มีการวิจัยเพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการเพิ่มแบนด์วิดท์ให้กับสายอากาศงานวิจัยนี้ก็เป็นการออกแบบสายอากาศโดยยึดแนวคิดที่เป็นแพตช์ชั้นเดียว แต่จะใช้วิธีการออกแบบสายอากาศรูปแบบต่างๆ ที่มีแบนด์วิดท์กว้างอยู่แล้วให้กว้างยิ่งขึ้นเพื่อครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งสายอากาศที่ได้เป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์รูปคล้ายสายอากาศยาคิ โดยสายอากาศดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ทำให้สายอากาศที่ได้มีขนาดเล็ก และมีต้นทุนต่ำ ซึ่งการออกแบบสายอากาศดังกล่าวใช้โปรแกรม CST เพื่อหาขนาดที่

เหมาะสมของตัวสายอากาศ โดยจะพิจารณาที่ค่าความสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเป็นสำคัญ โดยให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านการใช้งานสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (2.4 – 2.5 GHz)

3. การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปคล้ายยาคีด้วยโปรแกรม CST

โปรแกรม CST เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการจำลองปัญหาแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศ และหาคำตอบด้วยการใช้สมการอินทิกรัลในอากาศแบบสามมิติ มีความถูกต้องเที่ยงตรงของการจำลองแบบขึ้นอยู่กับขนาดของกริดเซลล์ ถ้าขนาดของกริดเซลล์เล็กจะทำให้ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น แต่จะใช้หน่วยความจำในการจำลองผลมากและใช้เวลานานมากขึ้นด้วย จากการออกแบบสายอากาศเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ใช้เทคนิควิธีที่หลากหลายในการออกแบบ ทั้งการเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรอง การเจาะร่อง การออกแบบสายอากาศให้มีรูปแบบต่างๆ หรือมีการออกแบบการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเข้าไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้สายอากาศแบบโคโพล กับสายอากาศแบบยาคี ร่วมกับการออกแบบการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และวงจรเลื่อนเฟสเพิ่มเข้าไป เพื่อให้สายอากาศมีความถี่ปฏิบัติการที่ 2.45 GHz และมีแบนด์วิดท์ ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานสำหรับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

โดยการออกแบบสายอากาศได้เลือกใช้แผ่น PCB ชนิด FR-4 ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (ϵ_r) = 4.5 ค่าสูญเสียแทนเจนต์ δ = 0.02 และความสูงของวัสดุฐานรอง (h) = 1.6 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งานกำหนดไว้ที่ความถี่กลาง ซึ่งการออกแบบสายอากาศมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยสายส่งความยาว $\lambda/4$ ของค่าความถี่กลางที่ 2.45 GHz โดยเริ่มต้นออกแบบสายอากาศที่มีรูปปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนด้วยการใช้หลักการของสายอากาศโคโพลแบบครึ่งคลื่น $\lambda/2$ โดยสามารถคำนวณหาความยาวของการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้วยสายส่งความยาว $\lambda/4$ ที่ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะได้ดังสมการที่ (3)

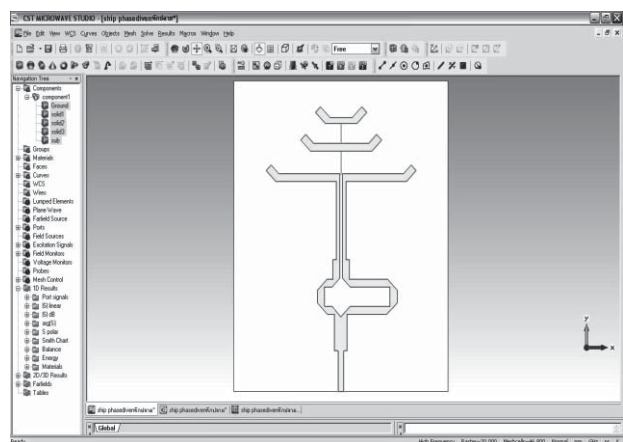
$$Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

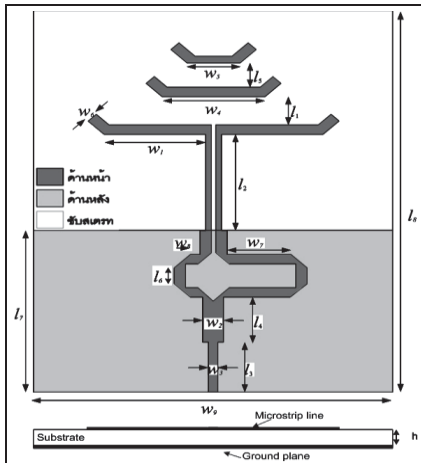
$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

- โดยที่ (ϵ_r) คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง
 (h) คือ ความสูงของวัสดุฐานรอง
 (ϵ_{eff}) คือ ค่าคงตัวของไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล
 (w) คือ ความกว้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป
 (l) คือ ความยาวของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ $w_1 = 25.42$ มม. $w_2 = 5.22$ มม. $w_3 = 2.36$ มม. $w_4 = 25.72$ มม. $w_5 = 13.31$ มม. $w_6 = 2.86$ มม. $w_7 = 16.01$ มม. $w_8 = 2.43$ มม. $w_9 = 90$ มม. $l_1 = 5$ มม. $l_2 = 28.98$ มม. $l_3 = 15.015$ มม. $l_4 = 13.585$ มม. $l_5 = 7.31$ มม. $l_6 = 4.78$ มม. $l_7 = 48.65$ มม. $l_8 = 115$ มม. จำลองผลด้วยโปรแกรม CST โดยสายอากาศที่ได้แสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ซึ่งมีโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ



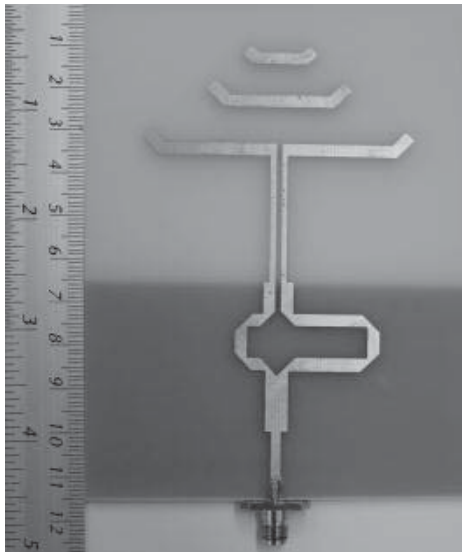
รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปที่จำลองผลด้วยโปรแกรม CST



รูปที่ 2 ค่าพารามิเตอร์สายอากาศไมโครสตริปคู่คล้ายกับ
สายอากาศยาก็จำลองผลด้วยโปรแกรม CST

4. ผลการทดลอง

การออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST ทำให้ได้สายอากาศต้นแบบที่เหมาะสม สายอากาศต้นแบบจริงนั้นได้เลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้าเป็นวัสดุฐานรองที่สามารถใช้ได้ในช่วงความถี่สูง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีโครงสร้างที่ออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน สามารถแสดงดังรูปที่ 3

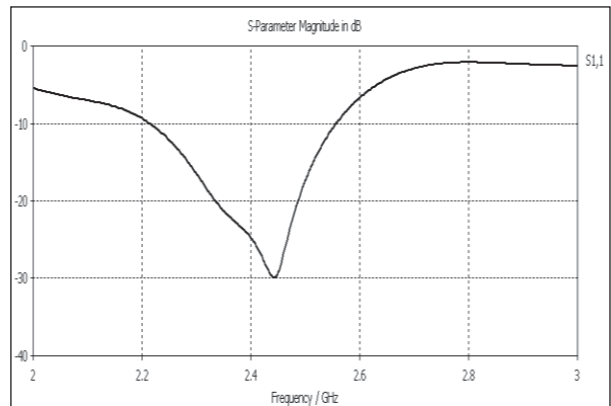


รูปที่ 3 สายอากาศต้นแบบ

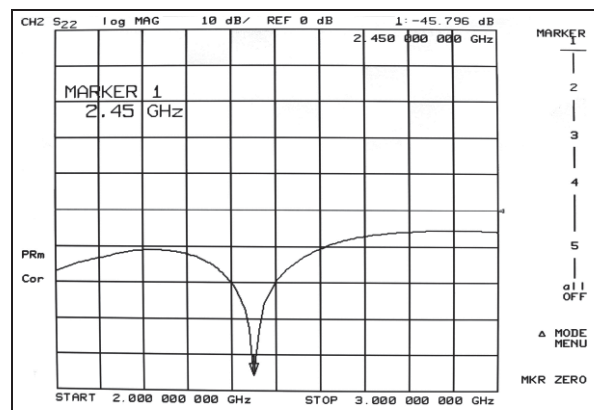
ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความสูญเสียเนื่องจากการ

ย้อนกลับของสายอากาศให้มีค่าน้อยกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งให้มีค่าเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสายอากาศมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ตลอดย่านความถี่ 2.25 GHz ถึง 2.65 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4 และค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่า 2 สำหรับช่วงความถี่ 2.25 GHz ถึง 2.65 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 5

ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบ โดยทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์พบว่าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่กลาง 2.45 GHz เท่ากับ $50.68 + j0.05 \Omega$ แสดงได้ดังรูปที่ 6 โดยจากผลการทดลองสายอากาศมีอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วงที่มีค่าใกล้เคียงกับ 50Ω

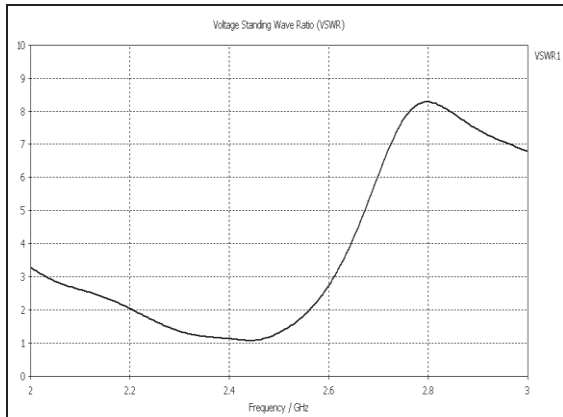


ก) จำลองผลด้วยโปรแกรม CST

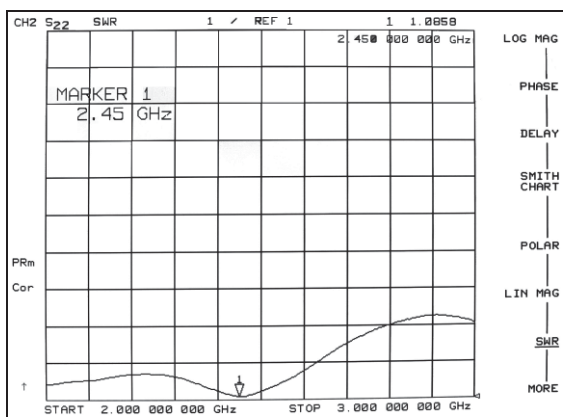


ข) ทดสอบสายอากาศต้นแบบ

รูปที่ 4 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

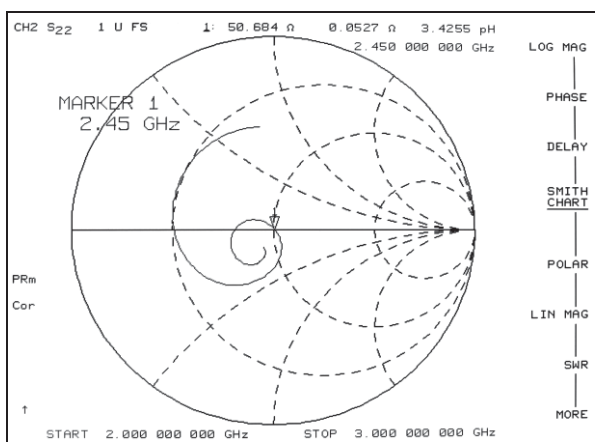


ก) จำลองผลด้วยโปรแกรม CST



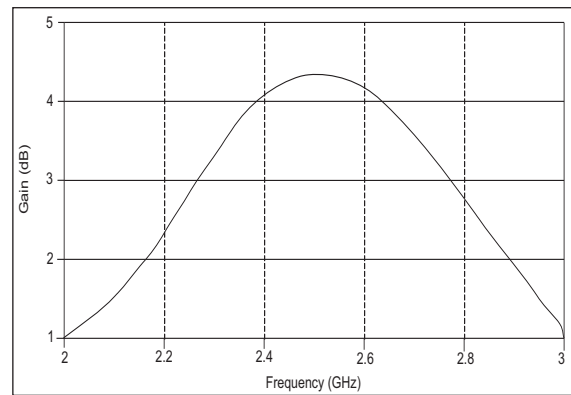
ข) ทดสอบสายอากาศต้นแบบ

รูปที่ 5 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งจากทดสอบสายอากาศต้นแบบ

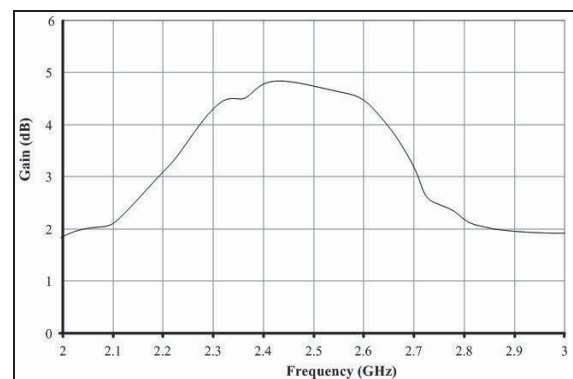


รูปที่ 6 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบที่ความถี่ 2.45 GHz

ผลการทดลองวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศได้ใช้เทคนิควิธีการวัดด้วยสายอากาศสองตัว (two-antenna method) โดยสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ซึ่งมีสายอากาศตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ โดยในการทดลองนั้นพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศตัวส่งเท่ากับ -10 dB ตลอดย่านความถี่ 2 GHz ถึง 3 GHz และนำค่าที่รับได้ของสายอากาศคิดเป็นพลังงาน P_r [5] ดังรูปที่ 7



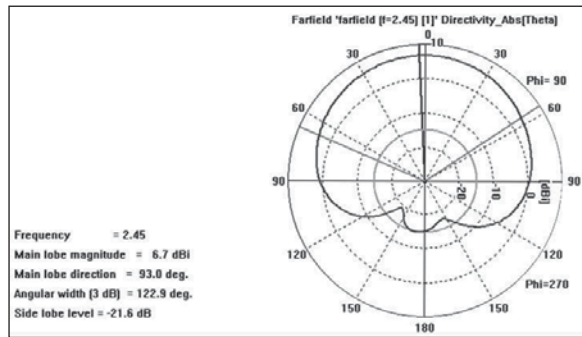
ก) จำลองผลด้วยโปรแกรม CST



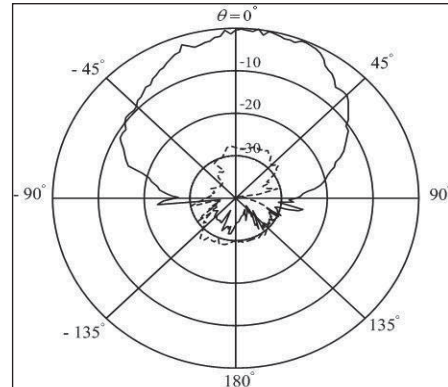
ข) ทดสอบด้วยสายอากาศต้นแบบ

รูปที่ 7 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศ

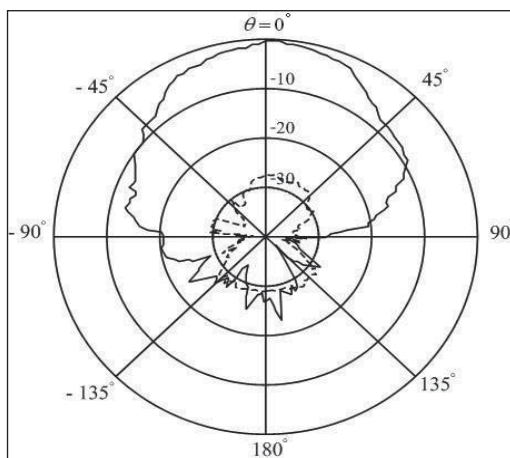
ผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (HP 8722D vector network analyzer) ที่ความถี่ 2.45 GHz สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9



ก) ผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST

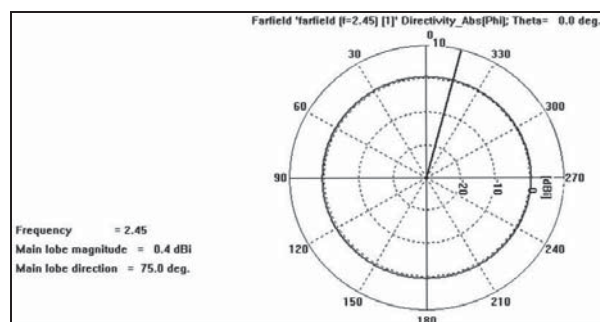


ข) ผลการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบ



ข) ผลการวัดทดสอบสายอากาศต้นแบบ

รูปที่ 8 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใน
ระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz



ก) ผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST

รูปที่ 9 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบ
สนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 9 (ต่อ) แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใน
ระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

5. สรุป

การสร้างและวัดทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปคล้ายยาคิ การพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST และการวัดทดสอบผล โดยพบว่าจากการทดสอบและการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความแตกต่างกันบ้าง แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยจากการทดสอบพบว่าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.45 GHz เท่ากับ $50.68 + j0.05 \Omega$ มีแบนด์วิดท์ประมาณ 16.32 % ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ท้องถิ่นไร้สาย มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งประมาณ 1.08 ที่ความถี่ 2.45 GHz มีอัตราการใช้สูญเสียอยู่ที่ประมาณ 4.95 dB สายอากาศนี้สามารถนำไปพัฒนาใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย และพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. วิศวกรรมสายอากาศ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 2537.
- [2] D. Gray, J. Wei Lu, and V. T. David. "Electronically Steerable Yagi-Uda Microstrip Patch Antenna Array".

- IEEE. TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATIO*, vol. 46, no.5, pp. 605 - 608, MAY 1998.
- [3] C.A. Balanis. Antenna Theory Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [4] H. Shao-En, L. Wen-Jiao, L. Wei-Han, and C. Shih-Hsiung. "A Beam Switching Planar Yagi-patch Array for Automotive Applications". *Progress in Electromagnetic Research. PIER online*. vol.6, no.4, pp.350 - 354, 2010.
- [5] D. Pozar, "Microstrip antennas," *Proc. IEEE*, vol. 80, no. 1, pp. 79 - 91, Jan. 1992.

ประวัติผู้เขียนบทความ

อาจารย์ ดร.ชุมพล ปทุมมาเกษร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันทำงานตำแหน่ง อาจารย์สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์

งานวิจัยที่สนใจ Antenna & Electronic Communication

อาจารย์ ดร.เทิดศักดิ์ อินทโชติ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานตำแหน่ง อาจารย์สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์

งานวิจัยที่สนใจ Electronic simulation Conducted EMI & Control Systems