

การออกแบบสายอากาศช่องเปิดสองความถี่ที่มีแผ่นสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้วิธี FDTD
สำหรับประยุกต์ใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Design of Dual Frequency Slot Antenna with Rectangular Strip
Using FDTD Method for WLAN Applications

เทพ เกื้อทวีกุล¹ โยธิน ป้อมปราการ¹ และ เพ่ง วศินวงศ์สว่าง²

Thep Kueathaweekun¹, Yothin Pomprakarn¹, and Peng Wasinwongsawang²

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

69 ม.1 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 055-706546 ต่อ 2511E-mail: thesak_e@hotmail.com

²สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

69 ม.1 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 055-706555 ต่อ 1120

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศช่องเปิดสองความถี่ที่มีแผ่นสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) โดยทำการออกแบบที่ส่งย่านความถี่ คือความถี่ 2.4 GHz และ 5.2 GHz สายอากาศที่นำเสนอใช้วิธี FDTD มาช่วยในการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศซึ่งประกอบด้วย ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) อัตราส่วนแรงดัน ลื่นนิ่ง (VSWR) และแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกล เป็นต้น จากผลการจำลอง ได้สองแถบความถี่เรโซแนนซ์ โดยมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมขนาด บนดัดวิธีที่ต้องการตามมาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g โดยมีแบบรูปการแผ่การกระจายสนามระยะไกลเป็นแบบ 2 ทิศทาง

คำสำคัญ: สายอากาศสองความถี่ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย วิธีผลต่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าในโดเมนเวลา

Abstract

This paper presents design of dual frequency slot antenna with rectangular strip at 2.4 GHz and 5.2 GHz for Wireless Local Area Network (WLAN) Applications. This antenna is analyzed by using Finite Difference Time Domain (FDTD) method for study characteristics of the slot antenna, such as: return loss, input impedance, VSWR, and far-field radiation pattern, respectively. The simulated results can be obtained two resonance frequency bands that can cover the required bandwidths of IEEE 802.11 a/b/g WLAN standard. The far-field radiation patterns of two resonance frequencies are bi-directional.

Keyword: Dual Frequency Antenna, Wireless Local Area Network (WLAN), Finite Difference Time Domain (FDTD)

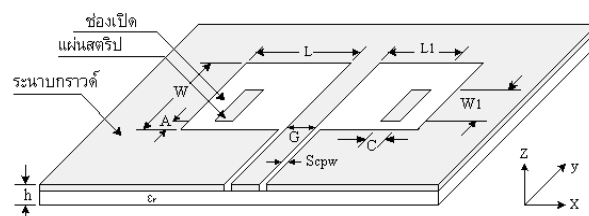
1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น การสื่อสารดาวเทียม ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นต้น ซึ่งระบบการสื่อสารข้อมูลเหล่านี้ล้วนแล้วใช้รับ-ส่งข้อมูลในย่านความถี่ไมโครเวฟทั้งสิ้น โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ปัจจุบันนับได้ว่าการใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากระบบมีความยืดหยุ่นสูง เพราะเป็นระบบที่ใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูล และโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายถูกกำหนดอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11b/g (2.4-2.4835 GHz) และ IEEE 802.11a (5.150-5.350 GHz) ในการรับ-ส่งข้อมูลข่าวสาร สายอากาศนับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการเชื่อมโยงข้อมูล โดยสายอากาศที่ได้รับความนิยมคือสายอากาศแบบไมโครสตริป ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบอื่น ๆ

หลาย ๆ ปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลาย ๆ ท่านได้ทำการออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ซึ่งมีผู้สนใจศึกษาและพัฒนาในหลากหลายรูปแบบและมีรูปแบบการป้อนสัญญาณที่แตกต่าง ๆ กัน เช่น สายอากาศช่องเปิดแบบวงแหวน [1] รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [3] สายอากาศแบบไดโพล [2] สายอากาศแบบแพตช์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [4] รูปตัววี [5] รูปหกเหลี่ยม [6] เป็นต้น โดยสายอากาศที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ออกแบบเฉพาะแถบความถี่เท่านั้น ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดเรื่องแบนด์วิธ มีรูปแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน และทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ค่อนข้างยาก ดังนั้นในการออกแบบสายอากาศจะต้องคำนึงถึงรูปร่างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ง่าย

ในงานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดที่มีแผ่นสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม (CPW) ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนทำให้ง่ายในการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยมีวัตถุประสงค์ ในการออกแบบสายอากาศเพื่อให้สามารถรองรับกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11b/g

2. โครงสร้างของสายอากาศช่องเปิด



รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศช่องเปิด

จากรูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบช่องเปิดโดยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม ประกอบด้วย สายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการแทรกแผ่นสตริปลงในช่องเปิด โดยพารามิเตอร์ของสายอากาศดังกล่าวมีดังนี้ L คือ ความยาวของสายอากาศช่องเปิด, W คือ ความกว้างของสายอากาศช่องเปิด, G คือ ความกว้างของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม, $Scpw$ คือ ความกว้างของช่องเปิดของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม, ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง, h คือ ค่าความหนาของวัสดุฐานรอง, $L1$ คือ ระยะระหว่างแผ่นสตริปกับขอบในของสายอากาศ, $W1$ คือ ความยาวของแผ่นสตริปเส้นตรงแนวนอน, A คือ ระยะระหว่างแผ่นสตริป

กับขอบล่างของสายอากาศ และ C คือ ความกว้างของแผ่นสตริปเส้นตรงแนวตั้ง ตามลำดับ

การออกแบบสายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้วัสดุฐานรอง (Substrate) แบบ RT/duroid 5880 ซึ่งมีค่าคุณสมบัติดังนี้ คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 2.20 Loss tangent ($\tan \delta$) เท่ากับ 0.0009 ความหนาของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1.575 มิลลิเมตร และค่าความนำของวัสดุตัวนำของทองแดงเท่ากับ 4.9×10^7 s/m ตามลำดับ

การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบสายอากาศที่ความถี่ 2.4 GHz โดยค่าความยาวที่ทำการคำนวณนั้นจะมีการอ้างอิงกับความยาวคลื่นสัมพันธ์ (λ_g) [7, 8] ของความถี่แรกคือความถี่ 2.4 GHz เพียงอย่างเดียวเท่านั้น สำหรับสมการในการหาความยาวคลื่นสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ (1)-(3)

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (3)$$

เมื่อ λ_g คือ ความยาวคลื่นสัมพันธ์

C คือ ความเร็วของแสง (3×10^8 เมตร/วินาที)

f คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ

ϵ_{eff} คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพันธ์ประสิทธิผล

ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

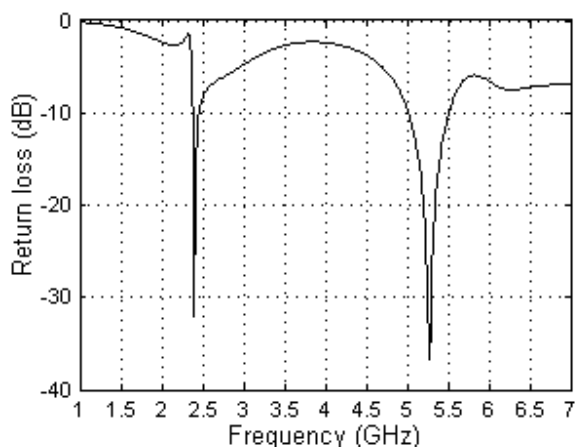
h คือ ความหนา (สูง) ของวัสดุฐานรอง

การจำลองสายอากาศด้วยวิธีผลต่างสลับเนื่องจำกัดในโดเมนเวลา (FDTD) [9] สิ่งที่สำคัญในการคำนวณเชิงตัวเลขของวิธี FDTD คือ เสถียรภาพเชิงตัวเลข การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการคำนวณเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ได้แก่การกำหนดขนาดของช่วงเวลา Δt และ ขนาดของช่วงระยะทาง คือ Δx , Δy , Δz จำนวนช่วงระยะทางที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ของรูปร่างทั้งหมดที่ต้องการได้ และจำนวนเวลาเพียงพอที่จะให้คลื่นสามารถเดินทางผ่านเส้นทางที่ต้องการได้จนเสร็จสิ้นอย่างไรก็ตาม ขนาดของช่วงระยะทาง คือ Δx , Δy , Δz ควรจะมีขนาดต่ำกว่า $1/10$ ถึง $1/20$ ส่วนของความยาวคลื่นที่ใช้งาน และตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อผลการคำนวณก็คือ ช่วงเวลาเนื่องจากการกำหนดช่วงของเวลาที่ไม่เหมาะสมซึ่งอาจมากไปหรือน้อยไปทำให้การคำนวณขาดเสถียรภาพส่งผลให้ในการคำนวณเกิดความผิดพลาด ดังนั้นในการออกแบบจำลองสายอากาศโดยใช้วิธี FDTD ในงานวิจัยนี้กำหนดขนาดหนึ่งหน่วยของยี่เซลล์ (Yee cell) ให้มีขนาดเล็กกว่าหนึ่งส่วนยี่สิบของขนาดความยาวคลื่นสัมพันธ์ที่ต้องการโดยการออกแบบให้มีขนาดหนึ่งหน่วยยี่เซลล์ในทิศทาง x คือ $\Delta_x = 0.1575$ มิลลิเมตร และขนาดหนึ่งหน่วยยี่เซลล์ในทิศทาง y และ z เท่ากันคือ $\Delta_y = \Delta_z = 0.3$ มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถครอบคลุมขนาดสายอากาศทั้งหมดที่ออกแบบและเพื่อให้มีความผิดพลาดในการคำนวณน้อยที่สุด

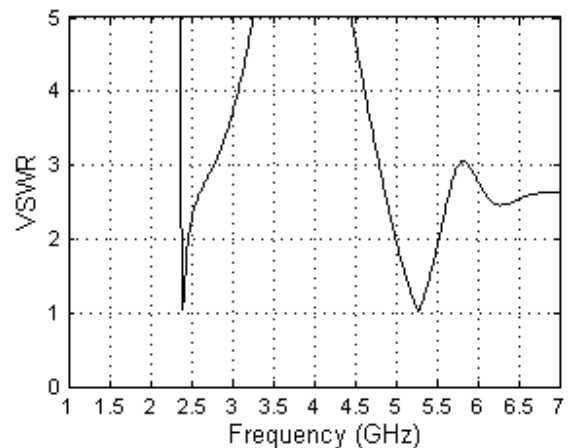
3. ผลการจำลองของสายอากาศช่องเปิด

ในการออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม อันดับแรก ทำการออกแบบสายอากาศช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่

ความถี่ 2.4 GHz ลำดับถัดมา ทำการแทรกแผ่นสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่องเปิด เพื่อทำให้เกิดความถี่ที่สองที่ความถี่ 5.2 GHz และทำการศึกษาผลกระทบดังกล่าว โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ C , A และ $W1$ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลดีที่สุดมีดังนี้คือ L เท่ากับ 31.5 มิลลิเมตร W เท่ากับ 23 มิลลิเมตร $L1$ เท่ากับ 30 มิลลิเมตร $W1$ เท่ากับ 13.8 มิลลิเมตร A เท่ากับ 5 มิลลิเมตร และ C เท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร โดยมีความกว้างระยะระหว่างสายส่งสัญญาณ (G) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร และช่องเปิดที่เป็นสายส่งสัญญาณ ($Scpw$) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยผลการจำลองที่ได้แสดงในรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 4 ตามลำดับ

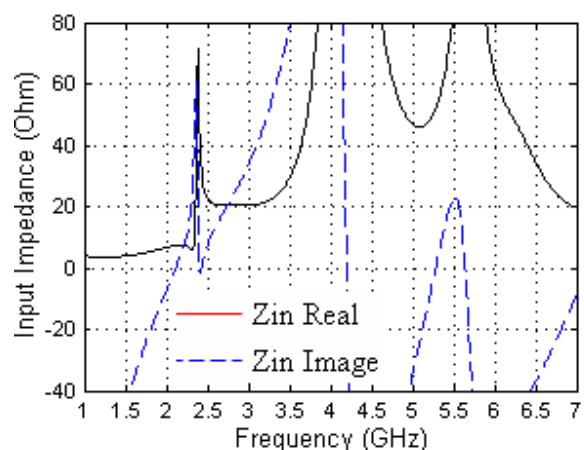


รูปที่ 2 การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศช่องเปิด



รูปที่ 3 VSWR ของสายอากาศแบบช่องเปิด

จากรูปที่ 2 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศช่องเปิดรูปตัวแอลกลับด้าน ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองได้สองความถี่เรโซแนนซ์ คือ 2.40 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ -32 dB และ ที่ความถี่ 5.27 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ -36.71 dB โดยมีค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งทั้งสองความถี่เรโซแนนซ์ใกล้เคียงกับ 1 และอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 2.4 GHz และที่ความถี่ 5.2 GHz จะประมาณใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ โดยคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศช่องเปิดแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบช่องเปิด

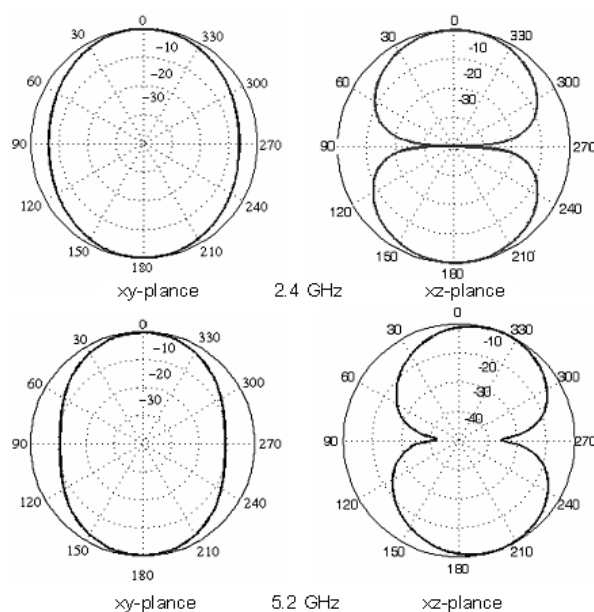
ตารางที่ 1 คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศแบบช่องเปิดที่แทรกแผ่นสตริปสี่เหลี่ยม

คุณลักษณะของสายอากาศ	ความถี่ 2.40 GHz	ความถี่ 5.27 GHz
S_{11} พารามิเตอร์ (dB)	-32	-36.71
อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR)	1.05	1.03
จำนวนจริงของอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in} real)	47.65 โอห์ม	51.43 โอห์ม
จำนวนจินตภาพของอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in} Imag)	-0.68 โอห์ม	-0.38 โอห์ม
อัตราขยาย (Gain)	2.61 dBi	5.17 dBi
แบนด์วิดท์	0.07 GHz	0.50 GHz

จากตารางที่ 1 ได้สองความถี่เรโซแนนซ์ คือ 2.40 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ -32 dB และความถี่ 5.27 GHz มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ เท่ากับ -36.71 dB โดยผลที่ได้จากการจำลองสามารถครอบคลุมแถบความถี่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g (2.4-2.4835 GHz) และ IEEE 802.11a (5.150-5.350 GHz) ตามวัตถุประสงค์ โดยมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) ของสายอากาศที่ 2.40 GHz และที่ความถี่ 5.27 GHz เท่ากับ 47.65 โอห์ม และ 51.43 โอห์ม และ อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง เท่ากับ 1.05 และ 1.03 ตามลำดับ และมีอัตราขยาย เท่ากับ 2.61 dBi และ 5.17 dBi ที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.27 GHz

แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (xy-plane) และระนาบสนามไฟฟ้า (xz-plane) แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลในระนาบสนามแม่เหล็กของทั้งสองความถี่เรโซแนนซ์เป็นแบบรอบทิศทาง และแบบรูปการแผ่

พลังงานสนามระยะไกลในระนาบสนามไฟฟ้าของทั้งสองความถี่เรโซแนนซ์เป็นแบบสองทิศทาง (bi-directional)



รูปที่ 5 แบบรูปการพลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศแบบช่องเปิด

จากผลการจำลองของสายอากาศได้ทั้งสองแถบความถี่สามารถครอบคลุมแถบความถี่ที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g ดังนั้นการออกแบบสายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้สามารถรองรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่มีแผ่นสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย จากการศึกษาการปรับค่าแผ่นสตริปจะทำให้เกิดแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ที่สองคือ 5.2 GHz โดยการปรับค่าของพารามิเตอร์ L1 และ C ดังนั้นสายอากาศรูปแบบนี้จึงได้สองความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้คือ 2.4 GHz และ 5.27 GHz โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -35 dB

และ -36.71 dB และแบนด์วิธที่ได้ครอบคลุมแถบความถี่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g มีอัตราขยายของสายอากาศ เท่ากับ 2.61 dBi ที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.17 dBi ที่ความถี่ 5.2 GHz โดยมีแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลในระนาบสนามไฟฟ้าเป็นแบบสองทิศทาง ดังนั้น การออกแบบสายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้จึงสามารถนำไปใช้งานในย่านโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Q.Xianming and Y.W.C. Michael, "Broadband Annular Dual-slot Antenna for WLAN Applications", Antennas and Propagation Society International Symposium, USA, 16-21 June 2002, pp. 452-455, 2002.
- [2] C. Hua-Ming, C. Jia-Mao, C Ping-Shou, and L Yi-Fang, "Microstrip-fed Printed Dipole Antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN Operation", Antennas and Propagation Society Symposium, USA, 20-25 June 2004. pp. 2584-2587, 2004.
- [3] C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi, "Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency", PIERS, China, 2007.
- [4] S. C. Apeksha, N.S. Pragnesh, M. Seema, "Analysis of Dual Frequency Microstrip Antenna Using Shorting Wall", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, India, 2013.
- [5] K. Amit, K. Sachin, P.R.C. Prof., "Design of a Dual- Band Microstrip Patch Antenna for GPS, WiMAX and WLAN", IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), Australia, 2013.
- [6] B. Sanchita, S. Ashish, G. Abhishek, "Dual Frequency Hexagonal Microstrip Patch Antenna", International Journal of Scientific and Research Publications, India, 2013.
- [7] G. Ramesh, B. Prakash, B. Inder, I. Apisak, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, 2001.
- [8] A .B. Constantine, "Antenna Theory Analysis and Design", John Wiley & Sons, 2005.
- [9] Q. Yongxi, I. Tatsuo, "FDTD Analysis and Design of Microwave Circuits and antennas Software and Applications", Realize Inc (Tokyo), 1999.