



ABSTRACT บทคัดย่อ

การประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2561
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่
“งานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”

5

8-9 มีนาคม 2561

ณ อิมพีเรียล ภูเก็ต วิลล่า รีสอร์ท อ่าเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์	ประธานกรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ	รองประธานกรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา	กรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายภูมิทัศน์	กรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายทรัพย์สินและจัดการรายได้	กรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายประกันคุณภาพการศึกษา	กรรมการ
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	กรรมการและเลขานุการ

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญ์พิจารณ์ (Peer review)

รองศาสตราจารย์ ดร. พยุง มีสีจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. ศจีมาจ ณ วิเชียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. ชไมพร กาญจนกิจสกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรินทร์ สิริสุนทร	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร. ต้องจิต ถิ่นขมนาง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร. สัณญา เคนาภูมิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร. พวงผกา แก้วกรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. สรวงพร กุศลส่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระภัทรา เอกผาชัยสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ธาณี สุขเกษม	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑิยา รัตนศิริวงศ์วุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

สายอากาศบรอดแบนด์แบบกว้างสำหรับระบบการสื่อสารโทรศัพท์มือถือยุค 4G Wide-Band Broadband antenna for 4G Mobile communication Systems

เทพ เกื้อทวีกุล

Tnep Kueotno.weakun

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาสายอากาศช่องเปิดที่ขับเคลื่อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครลิตซ์สำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้ช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมาช่วยในการขยายแบนด์วิดท์ให้มากขึ้น ในการจำลองโครงสร้างสายอากาศได้ของนำวิธีระเบียบวิธีโมเมนต์ด้วยโปรแกรม IE3D มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาราคีเตอร์ของสายอากาศบางตัวเพื่อดูคุณสมบัติของสายอากาศ ประกอบด้วย การสูญเสียย้อนกลับ (S₁₁) แบนด์วิดท์ อิมพีแดนซ์อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) อัตราส่วนแรงดันคืนส่ง (VSWR) และแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกล ตามลำดับ ผลที่ได้จากการจำลองจะได้ความถี่ และแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 1.65-2.84 GHz ครอบคลุมมาตรฐานเองโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลเป็นแบบสองทิศทาง

คำสำคัญ : สายอากาศช่องเปิด การสื่อสารโทรศัพท์มือถือ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

สายอากาศบรอดแบนด์แบบกว้างสำหรับระบบการสื่อสารโทรศัพท์มือถือยุค 4G

Wide-Band Broadband antenna for 4G Mobile communication Systems

เทพ เกื้อทวีกุล

Thep Kueathaweekun

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้ช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมาช่วยในการขยายแบนด์วิดท์ให้มากขึ้น ในการจำลองโครงสร้างสายอากาศได้ของนำวิธีระเบียบวิธีโมเมนต์ด้วยโปรแกรม IE3D มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศบางตัวเพื่อคุณสมบัติของสายอากาศ ประกอบด้วย การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) แบนด์วิดท์ อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) และแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกล ตามลำดับ ผลที่ได้จากการจำลองจะให้ความถี่ และแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 1.65-2.84 GHz ครอบคลุมมาตรฐานของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลเป็นแบบสองทิศทาง

คำสำคัญ : สายอากาศช่องเปิด/การสื่อสารโทรศัพท์มือถือ/โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Abstract

This paper presents a design and development of slot antenna fed by microstrip line for mobile communication systems. By using triangle shaped for increase the impedance bandwidth. This antenna is analyzed by using MoM method of IE3D software. The proposed antenna is analyzed for return loss (S_{11} parameter), input impedance (Z_{in}), VSWR, bandwidth and far field radiation patterns, respectively. Simulated results of the proposed antenna can be obtained the frequency band from 1.65 GHz to 2.84 GHz, coverage the requirement in bandwidths of mobile communication systems and WLAN communication at 2.4 GHz. The far field radiation pattern of resonance frequencies is bi-directional.

Keywords : Slot antenna/Mobile communications/Wireless local area Network

1. บทนำ

การสื่อสารบรอดแบนด์หรือการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างใช้ในการเรียกระบบสื่อสารทั้งในสาขาโทรคมนาคมและสาขาสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถ ในการให้บริการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลด้วยอัตรา การส่งข้อมูลความเร็วสูง หรือข้อมูลที่มีปริมาณมาก มีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลประเภทต่างๆ ได้มากกว่า หนึ่งชนิดเช่น เสียง ภาพ วิดิทัศน์ หรือข้อมูลอักษรในเวลาเดียวกันในลักษณะที่เรียกว่าสื่อประสม ระบบสื่อสารบรอดแบนด์ถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบให้ทราบถึงความแตกต่างจากระบบสื่อสารแถบความถี่แคบ ทั้งในด้านการใช้งาน แถบความถี่ของสัญญาณที่กว้างกว่า อัตราการส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่สูงกว่า หรือ ปริมาณข้อมูลมากกว่า และการนำไปประยุกต์ใช้ สำหรับรองรับในการให้บริการสื่อสารข้อมูลประเภทต่างๆ ได้หลายรูปแบบ เทคโนโลยีการสื่อสารบรอดแบนด์ สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ แบบส่งข้อมูลผ่านสายนำสัญญาณชนิดต่าง ๆ และแบบไร้สายผ่านคลื่นวิทยุของเทคโนโลยีต่างๆ เช่น ไอเอสดีเอ็น เอทีเอ็ม บริการบรอดแบนด์ผ่านสายไฟฟ้า ไซเน็ตและเอสดีเอช ไวแมกซ์ รวมทั้งการนำเทคโนโลยีการสื่อสารบรอดแบนด์ไปประยุกต์ใช้งานเพื่อให้บริการต่างๆ แก่ผู้ใช้งาน

สายอากาศเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในการเชื่อมโยงกับระบบการสื่อสารเพื่อรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารในปัจจุบันที่มีความเป็นมัลติมีเดียมากขึ้น โดยสายอากาศชนิดหนึ่งที่น่าสนใจใช้ในการเชื่อมโยงเพื่อใช้รับ-ส่งข้อมูลข่าวสารในย่านความถี่ไมโครเวฟคือสายอากาศแบบไมโครสตริป ซึ่งมีข้อดีคือ เป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบอื่น ๆ และในหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยด้านการสื่อสารไร้สายหลายๆ ท่านที่การ ออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ทำการศึกษาและพัฒนาในหลากหลายรูปแบบ และรูปแบบการป้อนสัญญาณที่แตกต่างกัน เช่น สายอากาศช่องเปิดแบบวงแหวน [1] สายอากาศแบบไดโพล [2] รูปตัวอักษรเอฟ [3] รูปตัวแอล [4] รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [5] สายอากาศไมโครสตริปแพทช์ รูปตัววี [6] และสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปหกเหลี่ยม [7] เป็นต้น สำหรับสายอากาศที่กล่าวมานั้นค่อนข้างจะมีข้อจำกัดกล่าวคือ แบบตัวทึบค่อนข้างแคบ มีรูปแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน และค่อนข้างทำแมตซ์ซิงได้ยาก ดังนั้น ในการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศแบบช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีโครงสร้างพื้นฐาน และง่ายในการทำแมตซ์ซิงพีแดนซ์เพื่อให้สามารถรองรับกับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) และระบบการสื่อสารโทรศัพท์มือถือยุค 4G

ในงานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอการออกแบบสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปเลทโดยในการออกแบบสายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสายอากาศให้รองรับกับการสื่อสารในโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ และโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) 2.4 GHz โดยนำวิธีระเบียบวิธีโมเมนต์ด้วยโปรแกรม IE3D มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศบางตัวเพื่อหาค่าคุณสมบัติของสายอากาศ ประกอบด้วย การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) แบนด์วิดท์ อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) และแบบรูปการแพร่พลังงานสนามระยะไกล ตามลำดับ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบสายอากาศสายอากาศบรอดแบนด์แบบกว้างสำหรับระบบการสื่อสารโทรศัพท์มือถือยุค 4G

3. วิธีการดำเนินการวิจัยและการออกแบบสายอากาศ

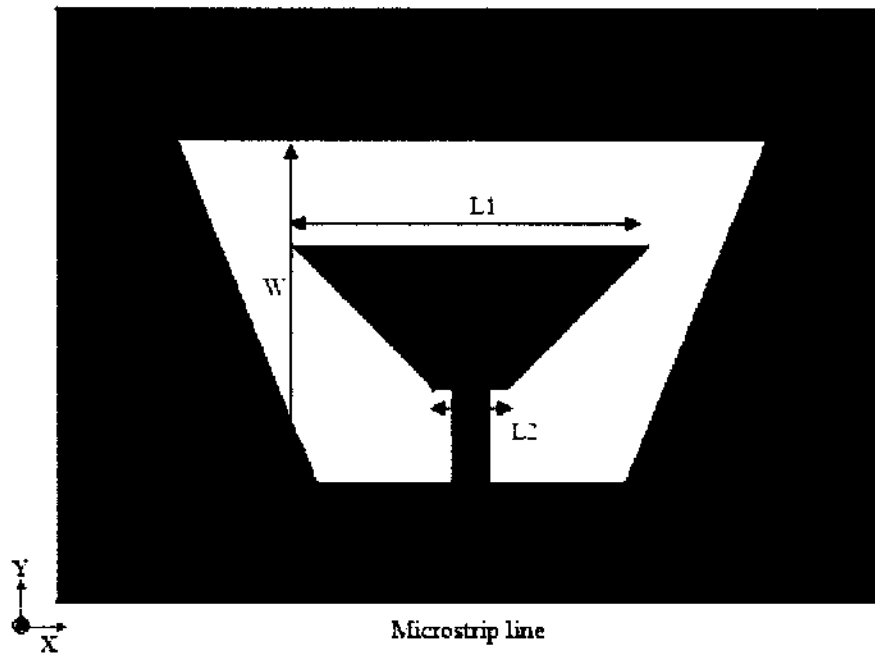
การออกแบบสายอากาศช่องเปิดในงานวิจัยฉบับนี้ลำดับแรกจะต้องการเลือกชนิดของวัสดุฐานรอง (Substrate) และความหนาของวัสดุฐานรอง (h) เพื่อนำคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณหาความกว้างของ W_m และความยาวคลื่นสัมพันธ์ (λ_g) [8-9] เพื่อออกแบบความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ โดยซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้วัสดุฐานรอง (Substrate) FR4 โดยมีค่าคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.5 มีค่า Loss tangent เท่ากับ 0.02 และความหนาของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ การออกแบบสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมที่บิ่้นด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์ ในบทความนี้จะเริ่มทำการออกแบบที่ความถี่แรก คือ ความถี่ 1.80 GHz โดยค่าความยาวที่ทำการคำนวณจาก (1)-(3) ซึ่งจะมีการอ้างอิงกับความยาวคลื่นสัมพันธ์ (λ_g) เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ

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

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

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

เมื่อ λ_g คือ ความยาวคลื่นสัมพันธ์ c คือ ความเร็วของแสง (3×10^8 เมตร/วินาที) f คือ ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการ ϵ_{eff} คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพันธ์ ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง h คือ ความหนา (สูง) ของวัสดุฐานรอง



ภาพที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์

การออกแบบสายอากาศเมื่อคำนวณค่าความยาวคลื่นกับความกว้างของสายส่งสัญญาณได้แล้ว โดยความถี่ที่นำมาทำออกแบบคือ 1.8 GHz ลำดับแรกเป็นการออกแบบสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์ เพื่อศึกษาวิธีการขยายแบนด์วิดท์ให้มากขึ้น ลำดับที่สองทำการปรับปรุงรูปร่างของสายอากาศเป็นรูปสามเหลี่ยม และวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศดังกล่าวที่ 1 การออกแบบและพัฒนาสายอากาศในงานวิจัยฉบับนี้มีพารามิเตอร์สำคัญแสดงในภาพที่ 1 และค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองผลมีค่าดังต่อไปนี้

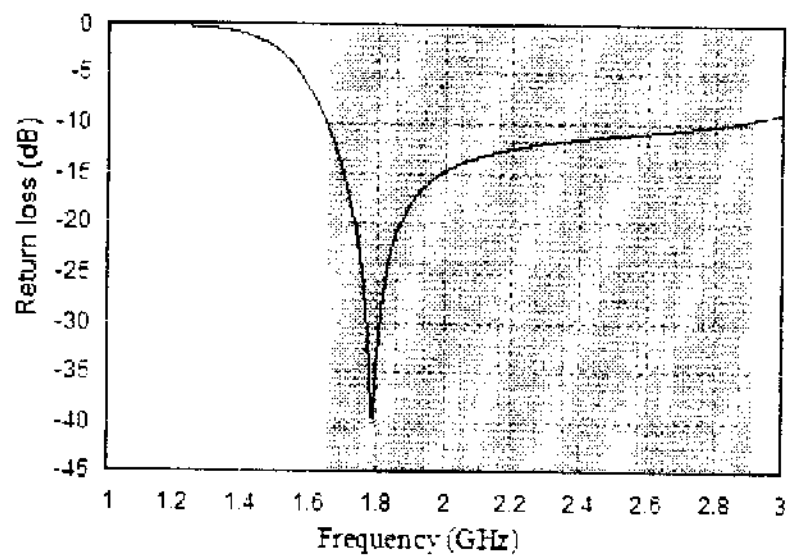
- L คือ ความยาวของสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมด้านบน มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร
- L1 คือ ความยาวของแผ่นสตริปรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านบน มีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตร
- L2 คือ ความยาวของแผ่นสตริปรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านล่าง มีค่าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร
- L3 คือ ความยาวของสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมด้านล่าง มีค่าเท่ากับ 26 มิลลิเมตร
- W คือ ความกว้างของสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยม มีค่าเท่ากับ 29 มิลลิเมตร
- W1 คือ ความกว้างของแผ่นสตริปรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านบน มีค่าเท่ากับ 12 มิลลิเมตร
- Wm คือ ความกว้างของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปไลน์ มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตร

จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้สายอากาศที่ออกแบบในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานในย่านการสื่อสารโทรศัพท์มือถือและย่านโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) โดยคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศนั้นจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

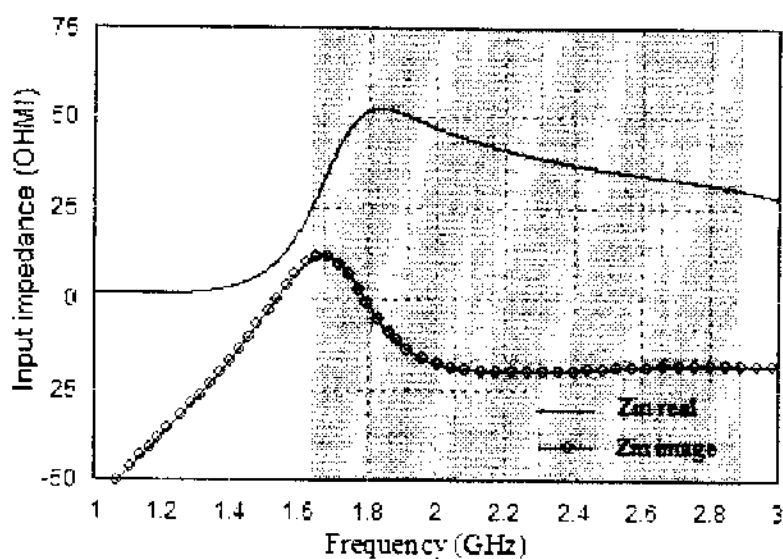
4. ผลการจำลองของสายอากาศช่องเปิดแบบแถบกว้างที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสทริปไลน์

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบแถบกว้างช่องเปิดเพื่อขยายแบนด์วิดท์ให้สามารถใช้งานด้านการสื่อสารไร้สาย ซึ่งในการจำลองเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศ ได้นำระเบียบวิธีโมเมนต์ด้วยโปรแกรม IE3D [10] มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศ และทำการศึกษาพารามิเตอร์ของสายอากาศบางตัวเพื่อดูคุณสมบัติของสายอากาศ ประกอบด้วย การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) แบนด์วิดท์ อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) และแบบรูปการแพร่พลังงานสนามระยะไกล ตามลำดับ

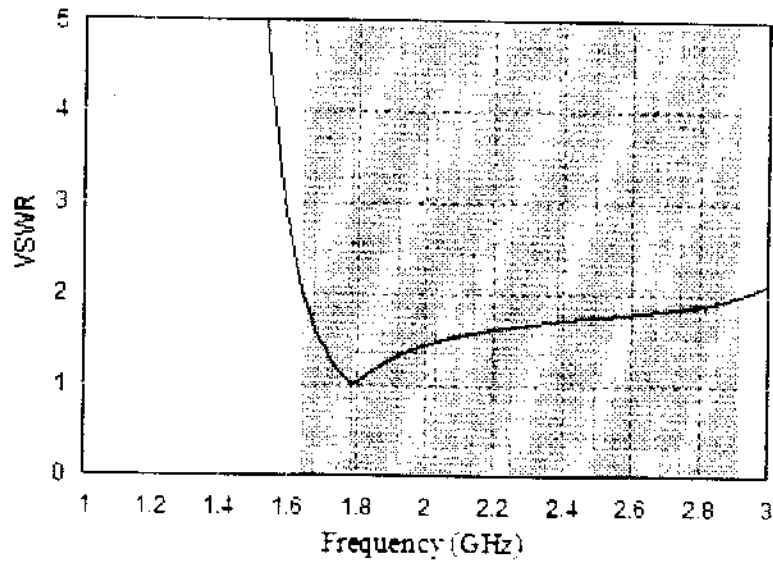
ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ต่ำกว่า -10 dB อยู่ในช่วง -10 dB ถึง -39 dB ครอบคลุมแถบความถี่ตั้งแต่ 1.65-2.84 GHz ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศแบบช่องเปิด



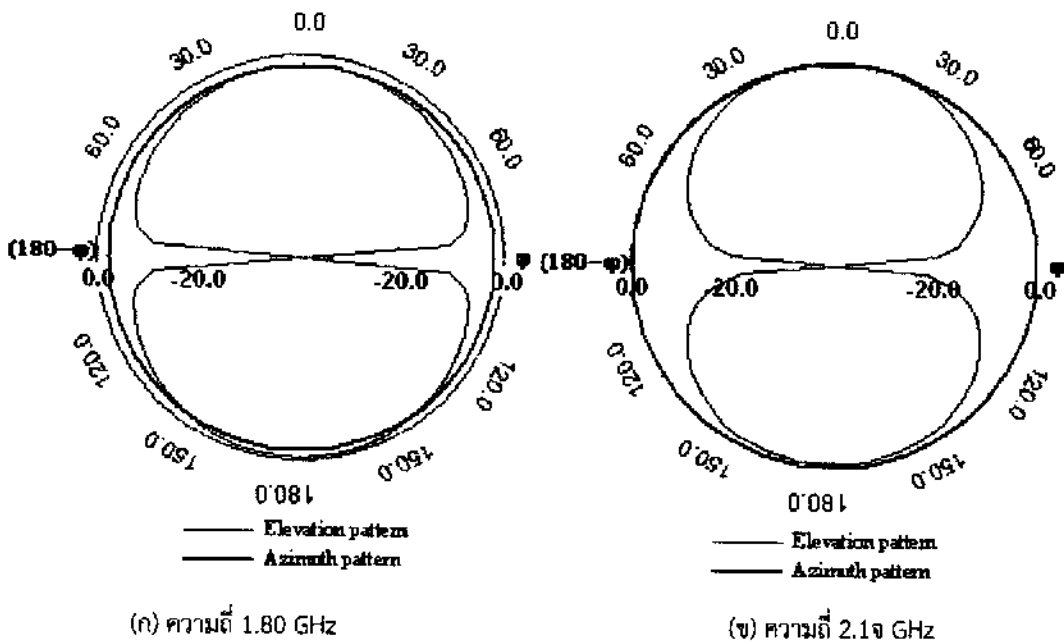
ภาพที่ 3 อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) ของสายอากาศแบบช่องเปิด



ภาพที่ 4 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศแบบช่องเปิด

จากภาพที่ 3 แสดงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สายอากาศแบบช่องเปิดทั้งเทอมจริง และเทอมจินตภาพ ตั้งแต่ช่วงความถี่ 1.65-2.84 GHz ซึ่งทั้งสองเทอมนี้เมื่อนำมารวมกันจะได้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ประมาณเท่ากับ 50 โอห์ม ตามสายส่งสัญญาณ และอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ที่แสดงในภาพที่ 4 จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.2 ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ตั้งแต่ 1.65-2.84 GHz โดยทั่วไปแล้วค่าที่ยอมรับได้คือ VSWR ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 2 และ แบบรูปการแผ่พลังงานนามระยะไกลจะแสดงในภาพที่

5



ภาพที่ 5 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศช่องเปิด

จากภาพที่ 5 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศช่องเปิดที่ความถี่ 1.80 GHz และ ความถี่ 2.10 GHz จากผลการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลในระนาบ azimuth (xy-plane) เป็นแบบรอบทิศทาง (Omni-directional) และระนาบ elevation (xz-plane) เป็นแบบสองทิศทาง (bi-directional)

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปสำหรับระบบโทรศัพท์มือถือยุค 4 GHz โดยใช้สายอากาศที่มีโครงสร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อช่วยขยายแบนด์วิดท์ให้รองรับกับความถี่ที่ต้องการ และทำวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์ด้วยโปรแกรม IE3D จากผลการจำลองได้แถบความถี่และแบนด์วิดท์ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 1.65-2.84 GHz ครอบคลุมมาตรฐานของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลเป็นแบบสองทิศทาง ดังนั้นสายอากาศที่ทำการพัฒนานี้สามารถนำไปใช้ในระบบโทรศัพท์มือถือยุค 4 GHz และโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz ได้ โดยมีแบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลในระนาบ azimuth (xy-plane) เป็นแบบรอบทิศทาง (Omni-directional) และระนาบ elevation (xz-plane) เป็นแบบสองทิศทาง (bi-directional) ดังนั้นสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบนี้สามารถนำไปใช้งานสำหรับระบบโทรศัพท์มือถือ 4 GHz ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. 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] Y. Shih-Huang and W. Kin-Lu, "Dual-band F-shaped monopole antenna for 2.4/5.2 GHz WLAN Application", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, USA, vol. 4, June 2002, pp. 72-75, 2002.
- [4] C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, T. Wakabayashi, "Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency", PIERS, China, 2007.
- [5] 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.
- [6] 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), 2013.

- [7] B. Sanchita, S. Ashish, G. Abhishek, "Dual Frequency Hexagonal Microstrip Patch Antenna", International Journal of Scientific and Research Publications, 2013.
- [8] G. Ramesh, B. Prakash, B. Inder, I. Apisak, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, 2001.
- [9] A. B. Constantine, "Antenna Theory Analysis and Design", John Wiley & Sons., 2005.
- [10] Zeland Software, Inc., IE3D, New York.