

รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

เงินรายได้สถาบันฯ

สายอากาศแถวลำดับที่มีองค์ประกอบสวิตช์ลำคลื่นที่ทำงานสองย่านความถี่

A Dual-Band Phased Array of Switched Beam Elements

ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

Prof.Dr.Monai Krairiksn

ผ.ศ. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ (นักวิจัย)

Asst.Prof.Dr.Chuwong Phongcharoenpanich

น.เชจกรฤกษ์ ตรรกพาณิชย์ (ผู้ช่วยวิจัย)

Mr.Jakkrit Tagapanij

นายภพสุข สุขสำราญ (ผู้ช่วยวิจัย)

Mr.Pobsok Sooks anarn

นายธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์ (ผู้ช่วยวิจัย)

Mr.Tanawut Tantisophaak

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กันยายน 2551

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

September 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 190,175 บาท

บทสรุปย่อ

ระบบ Wireless LAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a และ g ทำงานที่ย่านความถี่ 5.2 GHz และ 2.4 GHz ตามลำดับ พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ขายตามท้องตลาด (ทั่วโลกยกเว้นประเทศไทย) ที่ทำงานพร้อมกันทั้งสองย่านความถี่นี้ การใช้สายอากาศที่ใช้อยู่ทั่วไปตามท้องตลาดไม่สามารถแก้ปัญหาคลื่นหลายวิถี (Multipath) และการแทรกสอดจากสัญญาณความถี่เดียวกัน (Co-channel Interference) ได้

โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาสายอากาศองค์ประกอบของแถวลำดับที่สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ ที่ทำงานในสองย่านความถี่ ซึ่งต่อไปจะใช้เป็นองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ



RCH
TK
7871.67
· A33
ม 931 ล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **120294**
วัน, เดือน, ปี. **13 ก.พ. 2555**

b. **1233571X**
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศสองย่านความถี่ที่สามารถปรับลำคลื่นได้ด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนกำลังที่จุด x และ y เพื่อให้สามารถสวิตช์ลำคลื่นไปตามทิศทาง $\pm y$ และ $\pm x$ ตามลำดับ สายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.45 และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ มีโครงสร้างสายอากาศแบบแพทช์ชั้นเดียว โดยมีสายส่งไมโครสตริปทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างสองความถี่เข้าด้วยกัน ซึ่งสายส่งจะมีความยาวแต่ละเส้นเท่ากับ λ_d ของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรองที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าประมาณ $\lambda_d/2$ ของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่คลื่นในโหมดที่หนึ่งและโหมดที่สองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ตามลำดับ สายอากาศสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ สวิตช์โพลาไรซ์ของคลื่นได้ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยถูกทดสอบประสิทธิภาพด้วยการวัดค่าวิสัยสามารถ ในสภาพแวดล้อมจริงภายในห้องปฏิบัติการวิจัยเพื่อกำหนดตำแหน่งการป้อนกำลังที่เหมาะสม เพื่อให้บริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงในการรับส่งสัญญาณ สายอากาศมีโครงสร้างที่สามารถสร้างได้ง่าย กะทัดรัด และสะดวกในการนำไปใช้งานในที่ต่างๆ

ABSTRACT

This research presents a dual-band antenna. Its pattern can switch to x - axis and y - axis directions by selecting a position of the probe feed of the antenna. The antenna operates at the frequency of 2.45 and 5.5 GHz. It has designed based on the single-layer patch configuration along with the microstrip transmission line used to connect two frequencies together. The lengths of the microstrip transmission line are equal to the wavelength and a half of the wavelength in the dielectric substrate at the frequency of 5.5 and 2.45 GHz, respectively. The antenna has designed for operation in the fundamental and higher modes at the frequency of 2.45 and 5.5 GHz, respectively. The width of microstrip transmission line has appropriately chosen to enable a dual band of the antenna. The pattern and wave polarization of the antenna can switch at the frequency of 5.5 and 2.45 GHz, respectively. The proposed antenna has fabricated and then tested. Moreover, the antenna is also use to evaluate the throughput under a practical environment in order to determine the appropriate position of feeding probe. Thus, the high performance in wireless communication system has achieved. The proposed antenna has a compact configuration and it has easily implemented.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
บทสรุปย่อ	1
บทคัดย่อ	2
บทที่ 1 บทนำ	5
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	5
1.2 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
1.3 ขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน	10
2.1 บทนำ	10
2.2 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	10
2.2.1 แผ่นตัวนำ	10
2.2.2 ชั้นวัสดุฐานรอง	11
2.2.3 แผ่นระนาบดิน	12
2.2.4 ระบบป้อนกำลัง	12
บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ	14
3.1 บทนำ	14
3.2 สายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยม	14
3.3 สายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลาคลิ้นได้ด้วยการป้อนสองจุดเพื่อให้ทำงานในสองย่านความถี่	21
3.3.1 ผลการจำลองสายอากาศ	22
3.4 สายอากาศทำงานสองย่านความถี่ที่สามารถสวิตช์ลาคลิ้นได้	25
3.4.1 สมมติฐานจากแนวความคิด	26

3.4.1.1	พิจารณาที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์	28
3.4.1.2	พิจารณาที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กรณีที่ 1	28
3.4.1.3	พิจารณาที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กรณีที่ 2	29
3.4.2	ผลการจำลองสายอากาศ	29
3.5	สรุป	37
บทที่ 4	การทดสอบสายอากาศ	38
4.1	บทนำ	38
4.2	การสร้างและทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ	38
4.2.1	ความสูญเสียย้อนกลับ	39
4.2.2	อัตราขยาย	41
4.2.3	แบบรูปการแผ่คลื่น	42
4.3	การทดสอบร่วมกับอุปกรณ์ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในสภาพการใช้งานจริง	47
4.4	สรุป	54
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
5.1	สรุปผลการวิจัย	55
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง		57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (wireless communication technology) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญกับชีวิตประจำวันของเราในทุกรูปแบบ เพราะว่าการสื่อสารในปัจจุบันไม่ได้ถูกจำกัดเพียงแค่การพูดคุยด้วยเสียง หรือด้วยภาพเพียงอย่างเดียว แต่สามารถที่จะส่งข้อมูลในปริมาณที่มหาศาลด้วยความรวดเร็ว หรือแม้แต่การประชุมทางไกล (teleconference) ข้ามทวีปในแบบเวลาจริง (real time) เหล่านี้ล้วนมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม

ตัวอย่างของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใกล้ตัวเรามากที่สุดที่พบเห็นได้ คงจะหนีไม่พ้นระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ (mobile communication) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้ขีดความสามารถของระบบมีมากขึ้น สามารถส่งทั้งภาพและเสียงพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน อีกทั้งยังสามารถดาวน์โหลดข้อมูลสื่อผสม (multimedia) ได้อย่างง่ายดาย ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งานมากขึ้น

อีกตัวอย่างหนึ่งได้แก่ระบบการสื่อสารข้อมูล (data communication) ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในอดีตเราใช้วิธีการสื่อสารข้อมูลต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายโดยใช้สาย (lines) เป็นตัวเชื่อมต่อ (link) สัญญาณ หรือที่เรารู้จักในชื่อว่า ระบบโครงข่ายท้องถิ่น (local area network : LAN) ซึ่งมีความรวดเร็วในการส่งข้อมูลอย่างมาก แม้กระทั่งในปัจจุบันก็ยังได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง แต่ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับระบบแบบใช้สายนั้นก็คือ ความยุ่งยากในการติดตั้งระบบ เนื่องจากต้องใช้วิธีการเดินสายสัญญาณไปในพื้นที่ที่ต้องการใช้งาน ทำให้ต้องเสียเวลาและมีต้นทุนในการติดตั้งระบบที่สูงมาก

ด้วยปัญหาดังกล่าว ระบบการสื่อสารแบบไร้สายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เข้ามาแก้ไขปัญหาล่าช้า ด้วยระบบที่ง่ายต่อการติดตั้งเพียงแค่นำเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะใช้งานเข้ามาอยู่ในรัศมีของจุดให้บริการ (service point) เพียงเท่านั้นระบบก็สามารถใช้งานได้โดยใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที

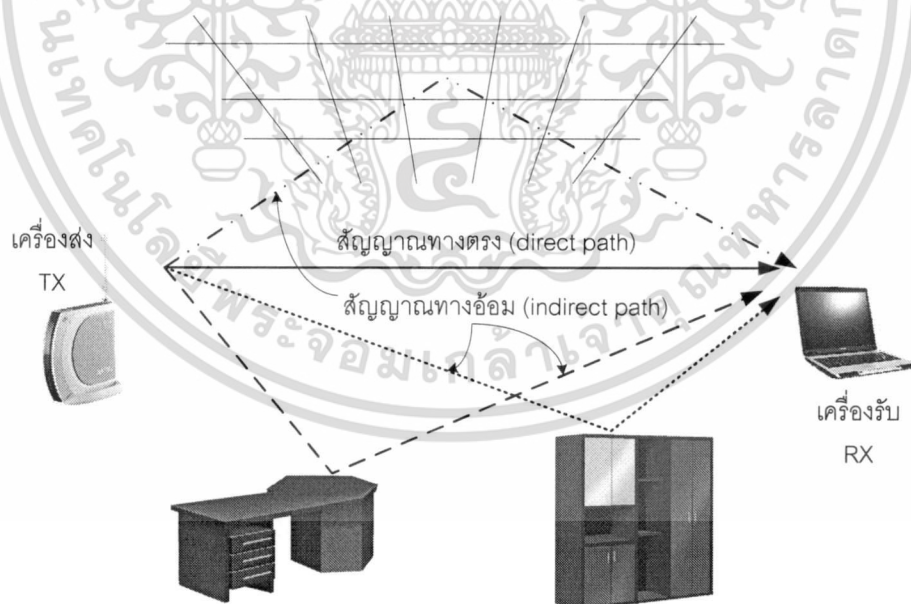
ในระบบการสื่อสารไร้สายทุกประเภทที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ ใช้การส่งข้อมูลผ่านตัวกลาง (medium) ที่เป็นอากาศโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าสายอากาศ (antenna) ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลในรูปของกระแสไฟฟ้าที่ส่งออกจากภาคส่งของอุปกรณ์ในระบบการสื่อสารไร้สาย ให้กลายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปในอากาศ และสายอากาศยังทำหน้าที่รับคลื่นที่อุปกรณ์ในระบบการสื่อสารไร้สายเครื่องอื่นๆ ส่งออกมาแปลงกลับให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าเพื่อส่งให้ภาครับต่อไป ทิศทางและแบบรูปการแผ่คลื่น (pattern) ของอุปกรณ์ในระบบการสื่อสารไร้สายถูกกำหนดโดยชนิดของสายอากาศ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.) การแผ่คลื่นออกไปทุกทิศทางรอบตัวสายอากาศ จะใช้สายอากาศที่เรียกว่า สายอากาศแบบรอบตัว (Omni-directional antenna)
- 2.) การแผ่คลื่นออกไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ผู้ใช้งานสามารถกำหนดทิศทางได้เอง ต้องใช้สายอากาศที่เรียกว่า สายอากาศแบบทิศทาง (Directional antenna)

อุปกรณ์ในระบบการสื่อสารไร้สายชนิดต่างๆ โดยส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้ติดตั้งสายอากาศแบบรอบตัวมาจากโรงงานผู้ผลิต สายอากาศแบบนี้มีคุณสมบัติที่สามารถแผ่และรับคลื่นได้ทุกทิศทางรอบตัวสายอากาศ เนื่องจากผู้ผลิตต้องการให้อุปกรณ์ในระบบสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้จากทิศทางใดก็ได้โดยอิสระ ไม่จำเป็นต้องเป็นแนวเส้นตรงจากทิศทางใดทิศทางหนึ่ง (peer to peer) เหมือนกับการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีอินฟราเรด (infrared)

ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับระบบการสื่อสารไร้สายทุกชนิดนั้นก็คือ การเดินทางของคลื่นวิทยุจะเดินทางมาจากหลายทิศทางทั้งทางตรง (direct path) และเกิดจากการสะท้อนวัตถุต่างๆ (indirect path) ตามรูปที่ 1.1 สัญญาณทางตรงและสัญญาณที่สะท้อนต่างๆ ซึ่งอาจจะมาตกกระทบสายอากาศ โดยมีเฟสที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการหักล้างขนาดของสัญญาณลง หรืออาจมีเฟสที่ตรงกันและทำให้เกิดการเสริมขนาดกัน เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้เสมอ



รูปที่ 1.1 การเดินทางของคลื่นจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับในสภาพแวดล้อมจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ตำแหน่งของการติดตั้งสายอากาศตัวส่งและตัวรับจึงมีความสำคัญอย่างมาก ยิ่งถ้าใช้ความถี่สูงในย่านไมโครเวฟ (microwave) ก็จะมีอัตราการลดทอน (attenuation) ก่อนข้างสูงเมื่อพบกับสิ่งกีดขวาง

ปัญหาต่างๆ เหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการติดตั้งสายอากาศรับและส่งในตำแหน่งที่เหมาะสม หรืออีกวิธีหนึ่งก็คือการลดมุมในการรับและส่งสัญญาณให้แคบลง เพื่อเลือกเฉพาะสัญญาณในทิศทางที่ต้องการเท่านั้น นั่นหมายความว่าสายอากาศที่ใช้ต้องเป็นสายอากาศแบบทิศทางซึ่งสามารถลดสัญญาณในมุมที่แบบรูปการแผ่คลื่นที่ตำแหน่งศูนย์ (null)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพัฒนาสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบมีทิศทาง เพื่อลดปัญหาของสัญญาณหลายวิถี (multipath) โดยเลือกใช้ความถี่ในระบบ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

1.2 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีสายอากาศได้ถูกพัฒนาอย่างกว้างขวางและต่อเนื่อง มีสายอากาศมากมายหลายชนิดที่ถูกใช้งานในด้านต่างๆ ตามความเหมาะสม สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่น่าสนใจพัฒนา เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ขนาดเล็กกะทัดรัด แข็งแรง อีกทั้งต้นทุนในการผลิตต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาสายอากาศชนิดนี้โดยเริ่มจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่ซึ่งมีอยู่มากมาย

เริ่มต้นจากงานของ M. Sanad และคณะได้พัฒนาสายอากาศไมโครสตริปความถี่ 925 เมกกะเฮิรตซ์ [1] สำหรับใช้งานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งติดตั้งระบบ GPS (Global position system) สายอากาศมีโครงสร้างที่เล็ก กะทัดรัด เหมาะสำหรับนำไปใช้งาน ซึ่งต่อมาไม่นาน S. S. Zhong และคณะได้พัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสองความถี่คือ 722 เมกกะเฮิรตซ์และ 2310 เมกกะเฮิรตซ์ [2] เพื่อนำไปใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก โดยใช้หลักการของช่อง (slot) เพื่อให้สายอากาศมีความกว้างแถบ (bandwidth) ที่กว้างพอในย่านความถี่ดังกล่าว สายอากาศไมโครสตริปมีการพัฒนาเรื่อยมา โดย T. Sittironarit ได้นำเสนอการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศไมโครสตริปย่านความถี่ 3.5-4 กิกะเฮิรตซ์สำหรับใช้กับ PDA [3] โดยใช้กลไกการเชื่อมโยงระหว่างตัวแผ่คลื่นและระนาบดิน ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปเพื่อใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ความถี่ 900 เมกกะเฮิรตซ์ซึ่งเป็นงานของ S. V. Hum [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปกับระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีผู้ให้ความสนใจศึกษามากมายตาม [5] - [11] แต่ที่น่าสนใจและเกี่ยวข้องกับงานที่กำลังค้นคว้าวิจัยอยู่นี้ได้แก่งานของ P.Ngamjanyaporn [12], [13] ซึ่งเป็นการพัฒนาสายอากาศที่สามารถปรับลำคลื่นหลักได้ด้วยวิธีการอาศัยการทำงานของไดโอดพิน (PIN Diode) แต่มีความยุ่งยากในการสร้าง เนื่องจากต้องใช้ไดโอดพินถึง 8 ตัว ซึ่งทำให้มีความยากลำบากในการติดตั้ง ต่อมา Tagapanij และคณะ [14] จึงได้นำเสนอสายอากาศซึ่งใช้สวิตช์อาร์เอฟ (RF Switch) ในการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณ (Feeding probe) เพื่อปรับทิศทางของลำคลื่นแทนการใช้ไดโอดพิน

Jung และ Flaviis [8] ได้นำเสนอสายอากาศ Double Rectangular Patch with 4-Bridges ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ (IEEE802.11b/g) และ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ (IEEE802.11a) โดยใช้บริดจ์ (Bridges) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง 2 องค์ประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถใช้จุดป้อนสัญญาณตัวเดียวกันได้ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการแมตช์ (Matching) ค่าความถี่การทำงานของทั้ง 2 องค์ประกอบอีกด้วย โดยสายอากาศตัวนี้ทำงานที่โหมดพื้นฐาน (Fundamental Mode) มีทิศทางการแผ่คลื่นตั้งฉากกับตัวสายอากาศ

งานที่น่าสนใจงานหนึ่งคืองานของ Tagapanij และคณะ [15] ซึ่งได้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปแบบสองความถี่ คือ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 5.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ที่สามารถปรับลำคลื่นได้โดยใช้จุดป้อนสัญญาณ 2 จุดโดยอาศัยตัวรวมกำลังวิลคินสันแบบสองย่านความถี่ (Dual-Band Wilkinson Power Combiner) ในการรวมจุดป้อนสัญญาณเข้าด้วยกัน

จากการศึกษาและค้นคว้าสายอากาศใน [8] นั้นพบว่าลักษณะของแบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบโหมดพื้นฐานที่มีลำคลื่นหลักพุ่งตั้งฉากกับระนาบของสายอากาศ แต่มีหลักการที่น่าสนใจเกี่ยวกับบริดจ์ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำแนวความคิดของ [8] และ [15] มาเสนอวิธีการสร้างสายอากาศ [16] ที่มีแบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบโหมดที่สอง (Second Order Mode) โดยมีลำคลื่นหลักพุ่งออกรอบตัวในทิศทางขนานกับตัวสายอากาศ โดยใช้การปรับตำแหน่งของจุดป้อนกำลังที่เหมาะสมเพื่อให้แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นสองทิศทาง

1.3 ขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศที่สามารถปรับลำคลื่นหลักได้สองทิศทาง ด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมที่สุดในตำแหน่งที่ใช้งานต่างๆ และด้วยแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทางนี้ ทำให้สามารถลดปัญหาเรื่องสัญญาณในทิศทางที่ไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นเป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการได้ สายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมชั้นเดียวสามารถทำงานได้ในสองย่านความถี่คือ 2.45 และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อใช้ติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายคือแอคเซสพอยต์ (access point) เพื่อวัดวิสัยสามารถ (throughput) และประเมินคุณภาพในการใช้งานจากสภาพแวดล้อมจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

2.1 บทนำ

สายอากาศไมโครสตริป เป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่เป็นที่น่าสนใจ และได้รับการพัฒนาจนมีที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ ด้วยเหตุที่มีขนาดเล็ก แบน มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการสร้างในลักษณะที่เป็นสายอากาศแถวลำดับ (array antenna) และสามารถวางแผนกับพื้นผิวต่างๆ ได้ดี มีราคาถูกสามารถสร้างได้ง่ายโดยอาศัยกรรมวิธีการทำแผ่นวงจรพิมพ์ (printed-circuit board) ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นขนาด รูปร่างของแผ่นตัวนำ (patch) ระบบการป้อนกำลัง และค่าการเชื่อมต่อร่วมระหว่างองค์ประกอบ (mutual coupling) ของสายอากาศเมื่อใช้ในลักษณะสายอากาศแถวลำดับ การวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีสมรรถนะสูงและสามารถนำไปใช้งานได้ต่อไป

2.2 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

โดยทั่วไปสายอากาศชนิดนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ส่วนคือ แผ่นตัวนำ แผ่นระนาบดิน (ground plane) ชั้นวัสดุฐานรอง (substrate) และระบบป้อนกำลัง (รูปที่ 2.1) องค์ประกอบทั้งสี่นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดลักษณะคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

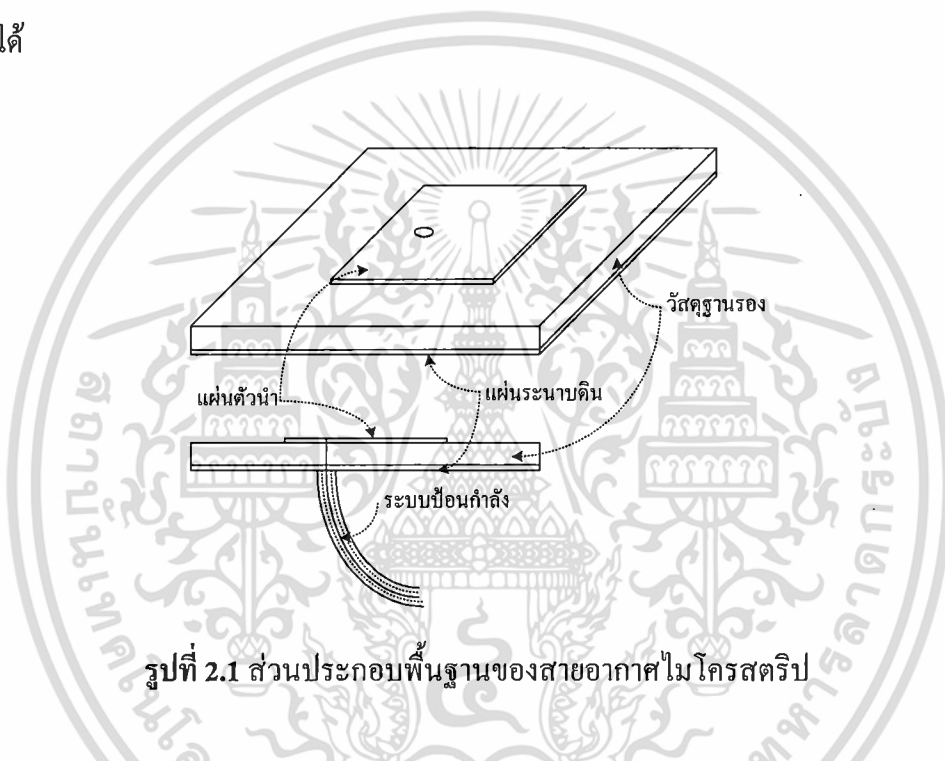
2.2.1 แผ่นตัวนำ

แผ่นตัวนำทำหน้าที่เป็นตัวแผ่คลื่น มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะแบนบาง และมีค่าความต้านทานต่ำ ทนต่อสภาวะแวดล้อมและการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดี สามารถยึดติดกับผิวของชั้นวัสดุฐานรองได้ดี โดยทั่วไปทำจากทองแดง ทองคำ หรืออลูมิเนียม แผ่นตัวนำอาจมีรูปร่างต่างๆ เช่น สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส วงกลม วงรี ฯลฯ วัสดุที่ใช้ทำแผ่นตัวนำนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศและความยากง่ายในการผลิต นอกจากนี้ขนาดและรูปร่างของแผ่นตัวนำยังเป็นปัจจัยที่กำหนดความถี่ใช้งานและส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่คลื่นและอิมพีแดนซ์ด้านเข้า (input impedance) ปัจจุบันแผ่นตัวนำที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแผ่นตัวนำรูปวงกลมและสี่เหลี่ยม เนื่องจากการผลิตและปรับแต่งสามารถทำได้ง่ายและลักษณะคุณสมบัติไม่ต่างจากแผ่นตัวนำรูปอื่นมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ชั้นวัสดุฐานรอง

ชนิดและขนาดของชั้นวัสดุฐานรอง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบ และเป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลของสายอากาศแถบบาง การแผ่คลื่นของสายอากาศจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (dielectric constant) ของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาของชั้นวัสดุฐานรองมีขนาดคงที่ และการแผ่คลื่นของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความหนาต่อความยาวคลื่นในอวกาศว่างมีค่าประมาณ 0.05 พลังงานที่สะสมในชั้นวัสดุฐานรองจะมีค่าเกือบคงที่ (ประมาณ 0.02 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสามารถละเลยได้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป

การเลือกวัสดุเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุฐานรองนอกจากต้องคำนึงถึงสมบัติทางกล สมบัติทางเคมี ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ความสามารถในการยึดติดกับผิวโลหะได้ดี ความเรียบและแบนของผิวซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดกับโลหะและสามารถผลิตเป็นชั้นวัสดุฐานรองขนาดใหญ่สำหรับสายอากาศแถวลำดับได้ นอกจากนี้สมบัติทางไฟฟ้ายังเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเลือกวัสดุ โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงดังต่อไปนี้

- ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ_r) วัสดุที่ใช้ควรเป็นสารเนื้อเดียว (homogeneous) เพื่อให้ค่าสภาพยอมไฟฟ้าของสารไดอิเล็กตริก (permittivity) มีค่าคงที่ในเนื้อสาร ขนาดของแผ่นตัวนำจะมีค่าแปรผกผันกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเป็นปัจจัยที่กำหนดลักษณะสมบัติของสายอากาศเช่นเดียวกับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ซึ่งควรจะมีค่าต่ำ เนื่องจากวัสดุที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้สายอากาศที่มีสมรรถนะสูง

- แทนเจนต์การสูญเสีย (loss tangent : $\tan \delta$) ควรจะมีค่าต่ำกว่า 0.001 เพื่อลดพลังงานสูญเสียเนื่องจากการสูญเสียของไดอิเล็กตริก ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศสูงขึ้น
- ความสามารถในการดูดซับน้ำและความชื้นต่ำ เพราะน้ำและความชื้นจะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียในวัสดุฐานรองสูงขึ้น และค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์มีค่าเปลี่ยนไป

ชั้นวัสดุฐานรองที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ FR-4 ซึ่งมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประมาณ 4.3-4.4 และมีการฉาบด้วยโลหะทั้งสองด้าน ซึ่งง่ายต่อการผลิตโดยใช้กรรมวิธีการทำแผ่นวงจรพิมพ์

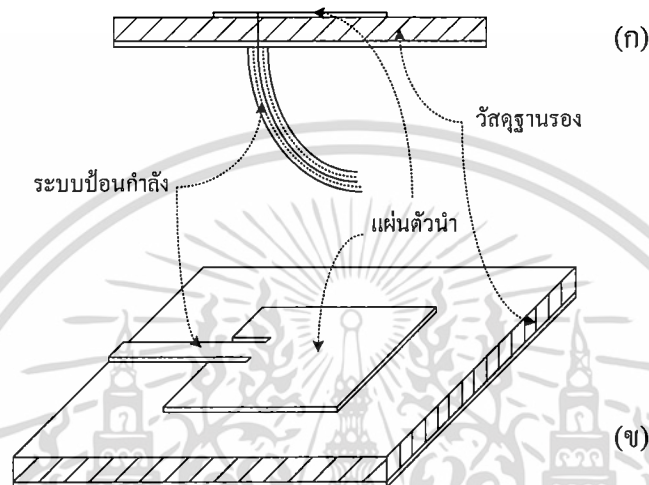
2.2.3 แผ่นระนาบกราวด์ (ground plane)

เป็นแผ่น โลหะขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับแผ่นตัวนำ ซึ่งส่วนใหญ่จะทำด้วยโลหะชนิดเดียวกัน ขนาดของแผ่นระนาบดินนี้จะส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่คลื่น (pattern) เนื่องจากคลื่นเดี่ยวเบนที่บริเวณขอบของระนาบดิน นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศอีกด้วย เนื่องจากในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศส่วนใหญ่มีข้อสมมุติว่าแผ่นระนาบดินมีขนาดใหญ่กว่าแผ่นตัวนำมาก จนสามารถประมาณได้ว่าเป็นอนันต์ ขนาดที่จำกัดของระนาบดินจะมีผลกระทบต่อพู่คลื่นหลัก (main lobe) น้อยมากแต่จะทำให้เกิดพู่หลัง (back lobe) ของแบบรูปการแผ่คลื่น การรวมผลของแผ่นระนาบดินจะมีความจำเป็นก็ต่อเมื่อผู้ออกแบบสนใจพู่หลังของแบบรูปการแผ่คลื่นเท่านั้น

2.2.4 ระบบป้อนกำลัง (feed)

ทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังความถี่คลื่นวิทยุ (RF power) ให้แก่สายอากาศไมโครสตริป ระบบป้อนกำลังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความยากง่ายในการสร้าง และคุณสมบัติของสายอากาศโดยเฉพาะในสายอากาศไมโครสตริปแฉวลำดับ เนื่องจากการจัดวางตัวของระบบป้อนกำลัง พลังงานที่สูญเสียในระบบป้อนกำลัง การผิผิวเชิงขนาดยอดและวัสดุภาของกระแสกระตุ้น และปรากฏการณ์การเชื่อมต่อร่วมระหว่างระบบป้อนกำลังกับแผ่นตัวนำ จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศไม่ว่าจะเป็นแบบรูปการแผ่คลื่น โพลาริเซชัน (polarization) และประสิทธิภาพของสายอากาศ (antenna efficiency) ระบบป้อนกำลังนี้สามารถทำได้หลายลักษณะ

เช่น การป้อนกระแสผ่านสายป้อน (feed line) ที่ต่อจากแผ่นตัวนำโดยใช้วิธีการทำแผ่นวงจรพิมพ์ ระบบการป้อนกระแสผ่านทางด้านหลังทะลุแผ่นระนาบดินผ่านสายชนิดแกนร่วม (probe feed via hole) เป็นต้น โดยรูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างวิธีป้อนกำลังบางลักษณะ



รูปที่ 2.2 วิธีการป้อนกำลัง (ก) การป้อนกำลังแบบการใช้สายแกนร่วม
(ข) การป้อนกำลังด้วยการใช้สายนำสัญญาณแถบบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอการออกแบบ วิเคราะห์และจำลองผลสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยม ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio [16] สายอากาศทำงานที่ส่งย่านความถี่คือ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีแบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบโหมดที่ 2 โดยใช้จุดป้อนสัญญาณคู่สองจุด เพื่อให้สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ สายอากาศอาศัยสายส่งไมโครสตริปเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างความถี่ต่ำและความถี่สูงให้ทำงาน เพื่อให้สายอากาศทั้งสองความถี่สามารถวางอยู่บนชั้นเดียวกันได้ โดยวิธีการออกแบบและหลักการจะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

3.2 สายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยม

สายอากาศที่วิเคราะห์และออกแบบในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ มีพื้นฐานมาจากโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีความยาวของแต่ละด้านเท่ากับความยาวคลื่นในไดอิเล็กทริกของวัสดุฐานรอง ซึ่งจากขนาดดังกล่าว ทำให้สนามไฟฟ้า E_z บนช่องเปิดตามแนวแกน x และ y จะมีเฟสเท่ากัน การกระจายของสนามไฟฟ้าจะเป็นโหมด TM_{020} หรือ TM_{200} ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณ โดยสามารถคำนวณหาความยาวคลื่นในวัสดุต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จาก } \lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

เมื่อ	λ_0	คือความยาวคลื่นในอากาศ มีหน่วยเป็นเมตร
	c	คือความเร็วในการเดินทางของคลื่นในอวกาศว่าง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที
	f	คือความถี่ของคลื่น มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

$$\text{โดยที่ } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ เมตรต่อวินาที} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0\epsilon_r\mu_r}} \quad (3.3)$$

- เมื่อ ϵ_0 คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าในอวกาศว่างมีค่า $8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
 ϵ_r คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์
 μ_0 คือค่าความซึมซาบแม่เหล็กในอวกาศว่างมีค่า $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$
 μ_r คือค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์

ดังนั้น
$$\lambda_d = \frac{1}{f\sqrt{\epsilon_0\mu_0\epsilon_r\mu_r}} = \frac{1}{f\sqrt{\mu_0\epsilon_0}\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \quad (3.4)$$

จะได้
$$\lambda_d = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \quad (3.5)$$

สำหรับในเนื้อวัสดุ ค่าความซึมซาบได้สัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสมการ (3.5) จึงกลายเป็น

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.6)$$

เมื่อใช้สมการ (3.6) ในการคำนวณหาความยาวแต่ละด้านของสายอากาศโดยใช้วัสดุฐานรอง FR-4 ที่มีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เท่ากับ 4.36 ได้ดังนี้

ที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{5.8 \cdot 10^9} = 51.72 \text{ มม}$$

ดังนั้น
$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{51.72}{\sqrt{4.36}} = 24.769 \text{ มม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

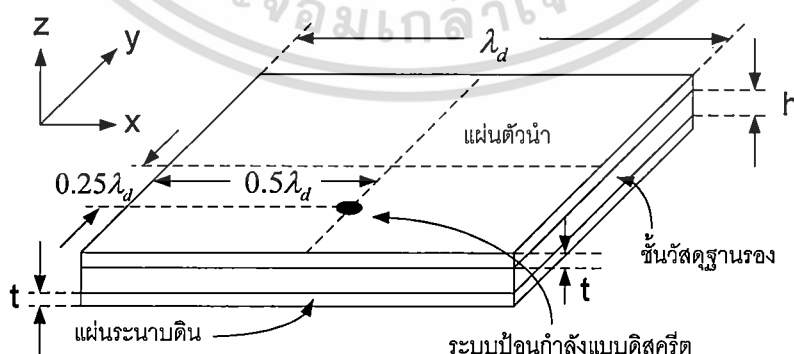
$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.45 \cdot 10^9} = 122.448 \text{ มม}$$

และ

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{122.448}{\sqrt{4.36}} = 58.642 \text{ มม}$$

จะได้ค่าความกว้างของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์เท่ากับ 24.769 มม และ 58.642 มม ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio โดยใช้โครงสร้างตามรูปที่ 3.1 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองดังต่อไปนี้

- สายอากาศเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- ความหนาของชั้นวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 0.6522 มม
- ความหนาของทองแดง (t) เท่ากับ 0.0795 มม
- ค่าแทนเจนต์ความสูญเสียเท่ากับ 0.012
- ใช้ระบบป้อนกำลังแบบดิสครีต (discrete) มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม
- จุดป้อนกำลังอยู่ที่ระยะ $0.25\lambda_d$ จากจุดศูนย์กลางของสายอากาศ

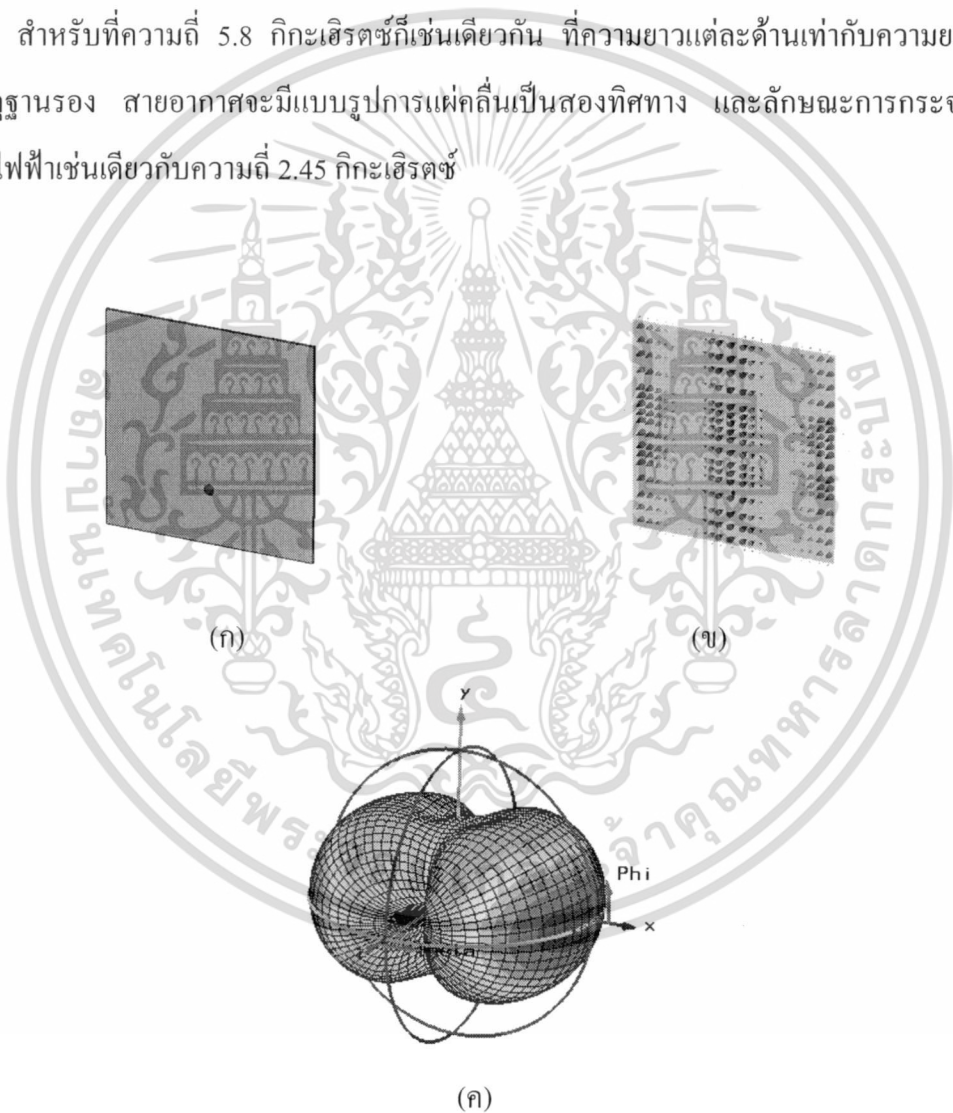


รูปที่ 3.1 โครงสร้างสายอากาศที่ใช้ในการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2(ก) แสดงรูปสายอากาศที่ใช้ในการจำลองที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ซึ่งมีความยาวแต่ละด้านเท่ากับความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง จากทฤษฎีในบทที่ 2 ทำให้ทราบว่าสายอากาศที่มีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นดังกล่าวมีการทำงานในโหมดที่สอง โดยมีลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าตามรูปที่ 3.2(ข) โดยสนามไฟฟ้าบริเวณกลาง และขอบของแพทช์จะมีค่าสูงสุด ส่วนแบบรูปการแผ่คลื่นเป็นไปตามรูปที่ 3.2(ค) ซึ่งเป็นแบบสองทิศทาง และมีการแผ่คลื่นบริเวณขอบ ซึ่งมีสนามไฟฟ้าสูงสุดตามแนวแกน $\pm x$ ในขณะที่สนามไฟฟ้าบริเวณขอบตามแนวแกน $\pm y$ จะมีเฟสที่ต่างกัน ทำให้เกิดการหักล้างของเฟส จึงไม่มีการแผ่คลื่นออกไป

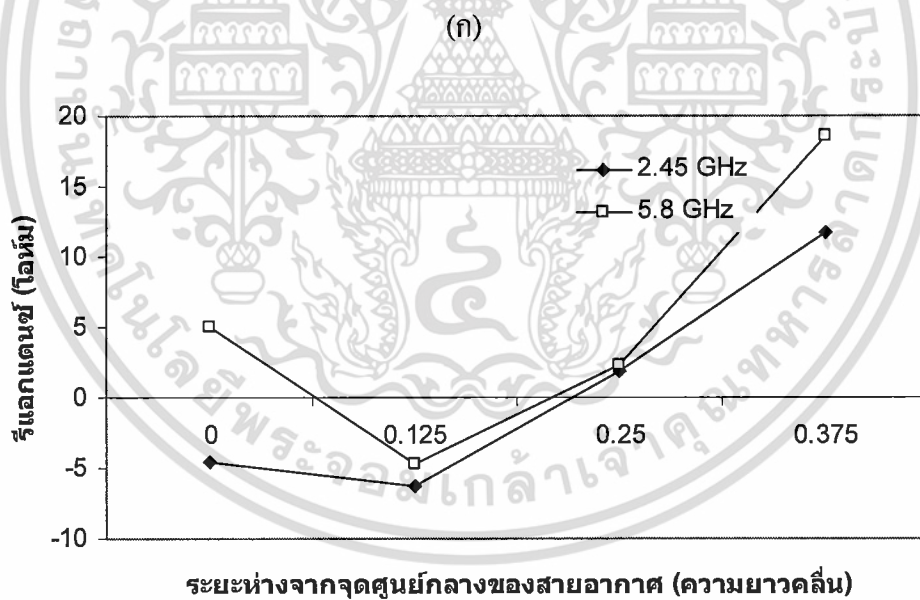
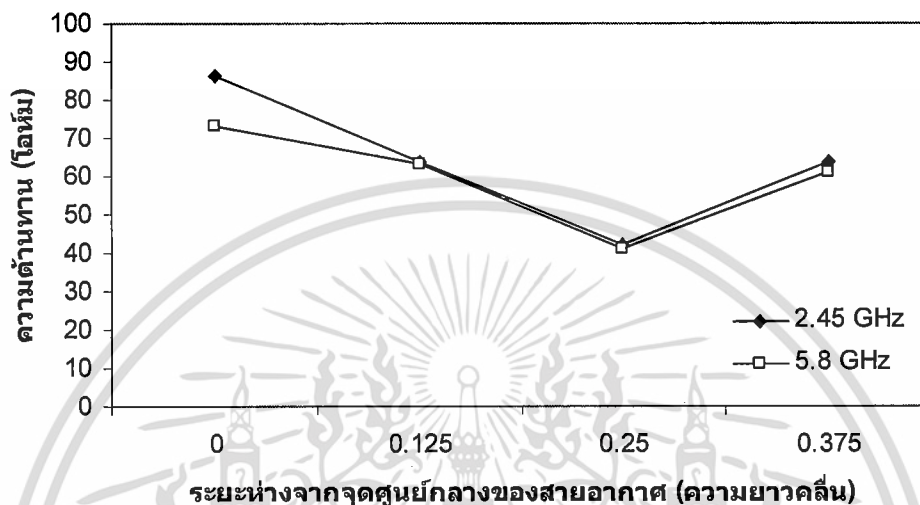
สำหรับที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ก็เช่นเดียวกัน ที่ความยาวแต่ละด้านเท่ากับความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง สายอากาศจะมีแบบรูปการแผ่คลื่นเป็นสองทิศทาง และลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าเช่นเดียวกับความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 3.2 คุณสมบัติของสายอากาศจากการจำลองด้วย โปรแกรม CST Microwave Studio ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์

(ก) ตัวสายอากาศ (ข) การกระจายของสนามไฟฟ้า (ค) แบบรูปการแผ่คลื่น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์กับตำแหน่งของจุดป้อนกำลังที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางต่างๆ กันของสายอากาศ รูปที่ 3.3(ก) และ (ข) แสดงความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ตามลำดับ



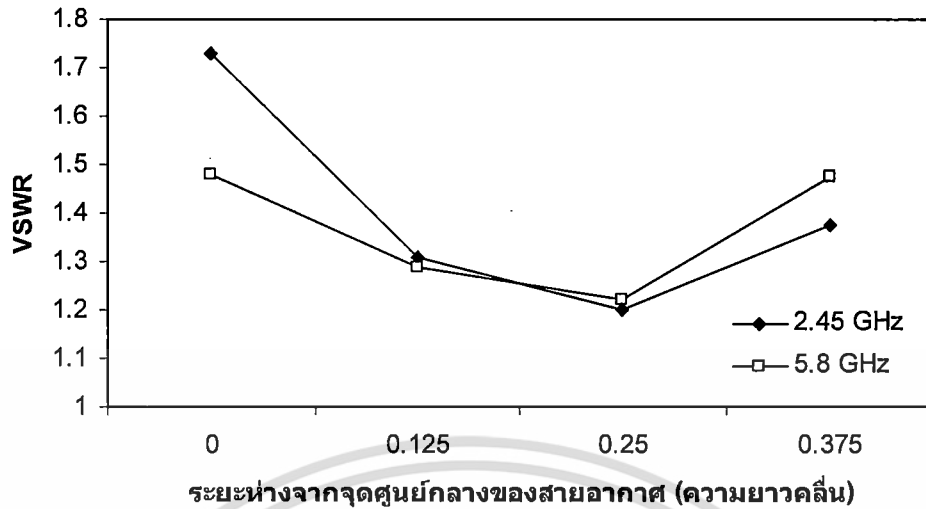
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์กับจุดป้อนกำลังที่ระยะต่างๆ

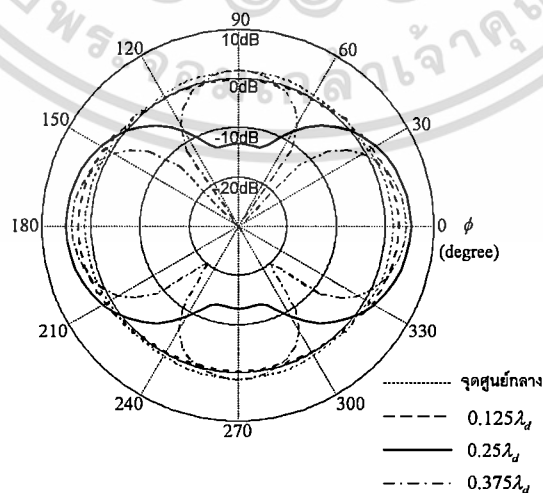
(ก) ความต้านทาน (ข) รีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



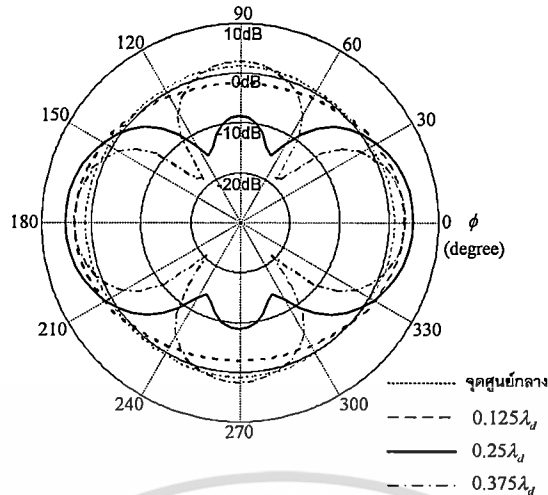
รูปที่ 3.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

จากทฤษฎีที่ว่าในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ารีแอกแตนซ์จะเท่ากับศูนย์เพราะฉะนั้นในระบบที่เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ จะมีเพียงค่าความต้านทานเท่านั้น จากรูปที่ 3.3(ข) พบว่าจุดป้อนกำลังที่ระยะ $0.25\lambda_d$ ค่ารีแอกแตนซ์มีค่า 1.893 โอห์มและ 2.229 โอห์มที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ตามลำดับ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานที่ตำแหน่งเดียวกันในรูปที่ 3.3(ก) ซึ่งมีค่า 41.93 โอห์มและ 41.15 โอห์มที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ตามลำดับ โดยรูปที่ 3.4 แสดงค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันซึ่งต่ำที่สุดที่ระยะ $0.25\lambda_d$ มีค่า 1.198 และ 1.222 ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ตามลำดับ



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่คลื่นที่จุดป้อนกำลังระยะต่างๆ ที่มุม $\theta=90^\circ$

(ก) ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (ข) ที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

ที่ระยะจุดป้อนกำลังเดียวกันนี้เราพบอีกว่า ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังนั้นมีผลกระทบโดยตรงต่อแบบรูปการแผ่คลื่น โดยรูปที่ 3.5 แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นที่จุดป้อนกำลังที่ระยะต่างๆ ของทั้งสองความถี่ สังเกตได้ว่าที่ระยะ $0.25\lambda_d$ นั้นมีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทาง

ในรูปที่ 3.5(ก) แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และในรูปที่ 3.5(ข) แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยตารางที่ 3.1 แสดงค่าสภาพเงาเงงทิศทางและระดับพูข้าง (side lobe level) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของจุดป้อนกำลัง

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพเงาเงงทิศทางที่ตำแหน่งต่างๆ ของจุดป้อนกำลัง

ตำแหน่งการ ป้อนกำลัง	ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์		ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์	
	ค่าสภาพเงาเงง ทิศทาง (dBi)	ระดับพูข้าง (dB)	ค่าสภาพเงาเงง ทิศทาง (dBi)	ระดับพูข้าง (dB)
จุดศูนย์กลาง	1.1	-	1.0	-
$0.125\lambda_d$	2.6	-	3.1	-
$0.25\lambda_d$	4.8	-15.3	4.9	-13.6
$0.375\lambda_d$	3.9	-3.1	3.2	-1.2

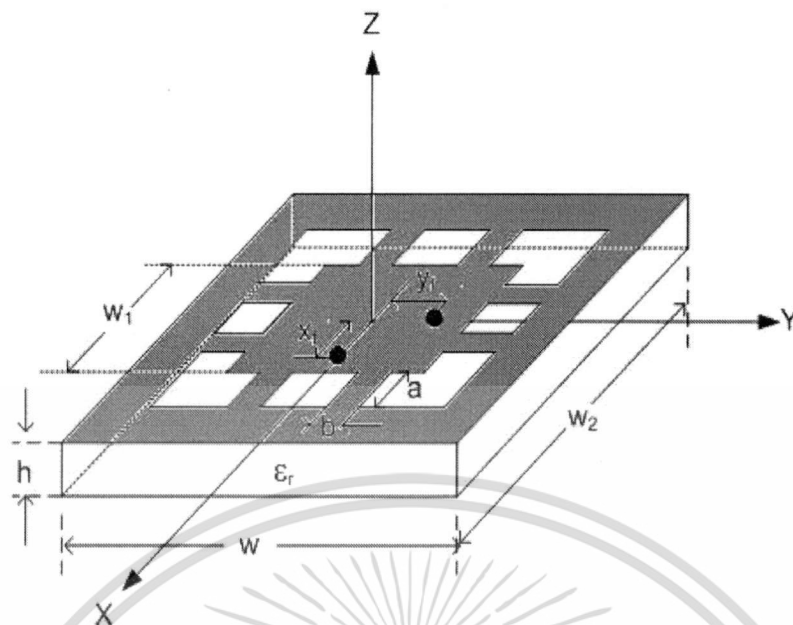
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 ทำให้ทราบอีกว่า ที่ระยะ $0.25\lambda_d$ ของทั้งสองความถี่มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูง และระดับพูข้างที่ต่ำ ซึ่งเป็นอีกเหตุผลที่ยืนยันว่าตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดใน การออกแบบให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทาง ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่สูง และมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

3.3 สายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลาคลิ้นได้ด้วยการป้อนสองจุดเพื่อให้งานในสองย่านความถี่

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราพบว่าจุดป้อนกำลังที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากับ $0.25\lambda_d$ นั้นสายอากาศมีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทาง ค่ารีแอกแตนซ์ และระดับพูข้างที่ต่ำ เราจึงนำเอาวิธีการนี้มาใช้เพื่อออกแบบสายอากาศที่สามารถสวิตช์ลาคลิ้นได้ด้วยการวางจุดป้อนกำลังสองจุดสายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์และ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยทั้งสองความถี่วางอยู่ในโครงสร้างที่เป็นแผ่นเดียวกันตามรูปที่ 3.6 สายอากาศมีโครงสร้างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีความยาวของแต่ละด้านเท่ากับ w_1 และ w_2 มีความสูงเท่ากับ h ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในวัสดุฐานรองเท่ากับ ϵ_r สายอากาศวางอยู่บนระนาบ xy โดยมีจุดป้อนกำลังที่ตำแหน่ง $(x_f, 0, 0)$ และ $(0, y_f, 0)$ ความกว้างของ w_1 และ w_2 มีค่าเท่ากับความยาวคลื่นในไดอิเล็กตริก (λ_d) ของความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์และ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ตามลำดับ ดังนั้นสนามไฟฟ้า E_z บนช่องเปิดตามแนวแกน x และ y จะมีเฟสเท่ากัน การกระจายของสนามไฟฟ้าจะเป็นโหมด TM_{020} หรือ TM_{200} ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณ

สายส่งไมโครสตริป ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างองค์ประกอบความถี่ต่ำและความถี่สูงเข้าด้วยกัน โดยสายส่งนี้จะทำหน้าที่เปิดวงจรที่ความถี่สูง และปิดวงจรที่ความถี่ต่ำ เพื่อให้สายอากาศทำงานที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์และ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ตามลำดับ โดยใช้วิธีการปรับขนาดของ a และ b อย่างเหมาะสม ตำแหน่ง x_f และ y_f คือตำแหน่งของจุดป้อนกำลังที่จะทำให้สายอากาศทำงานที่โหมด TM_{020} และ TM_{200} ตามลำดับ



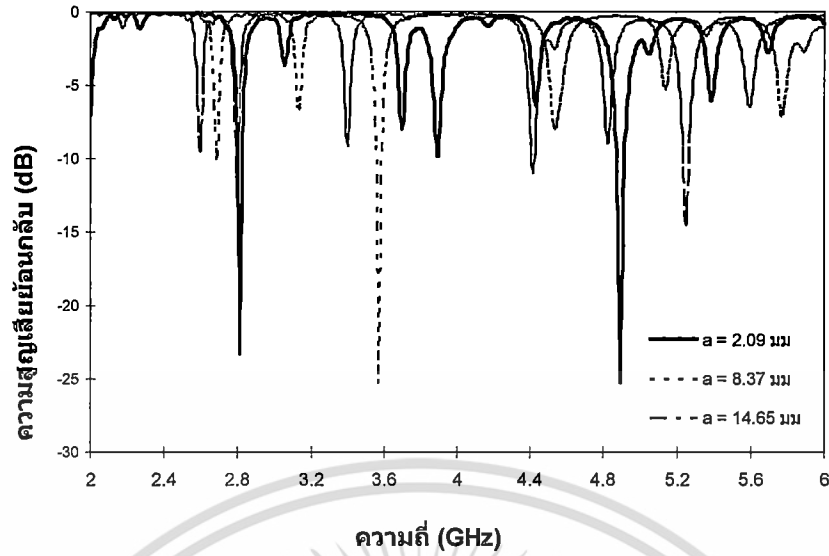
รูปที่ 3.6 โครงสร้างของสายอากาศ

3.3.1 ผลการจำลองสายอากาศ

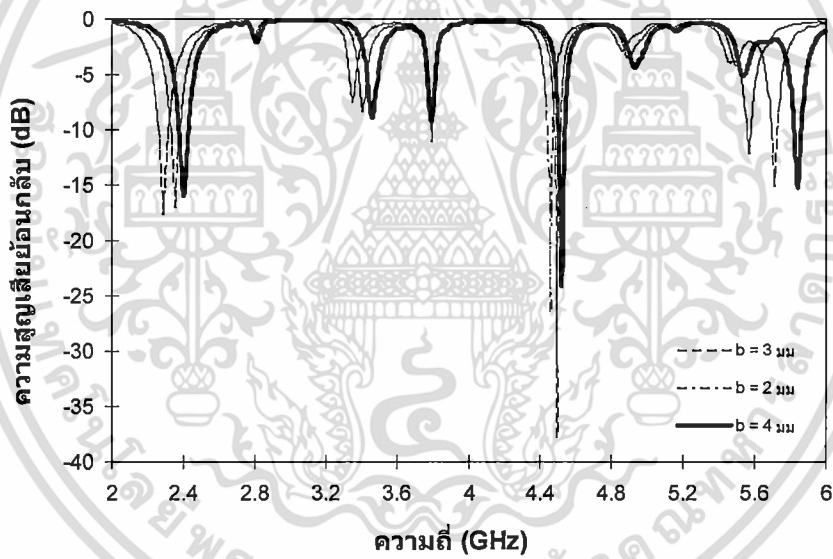
สายอากาศทำงานที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์โดยมีความกว้างของแต่ละความถี่ w_1 และ w_2 ที่ขนาด 20.92 มม และ 57.34 มม ตามลำดับ โดยใช้วัสดุฐานรอง FR-4 ที่มีความหนา $h = 0.6522$ มม ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r เท่ากับ 4.36 และแทนเจนต์ความสูญเสียเท่ากับ 0.012 โดยที่ค่าอิมพีแดนซ์และแบบรูปการแผ่คลื่นสามารถหาได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

จากรูปที่ 3.7 แสดงผลการจำลองค่าของความสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ต่างๆ เมื่อความกว้างของสายส่งไมโครสตริป b มีค่าคงที่โดยเปลี่ยนความยาวของสายส่งไมโครสตริป a จาก 2.09 มม ถึง 18.8 มม เราพบว่าที่ค่า $a = 2.09$ มม มีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 2.8 กิกะเฮิรตซ์และ 4.9 กิกะเฮิรตซ์เท่ากับ -23dB และ -25dB ตามลำดับ จากนั้นจำลองผลโดยการคงที่ค่า a เท่ากับ 2.09 มม แล้วปรับเปลี่ยนค่า b จนได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับในความถี่ที่ต้องการ จากรูปที่ 3.8 แสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ตำแหน่งค่า a คงที่โดยเปลี่ยนค่า b พบว่าที่ตำแหน่งของ b เท่ากับ 4 มม ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่า -15dB ที่ความถี่ 2.42 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

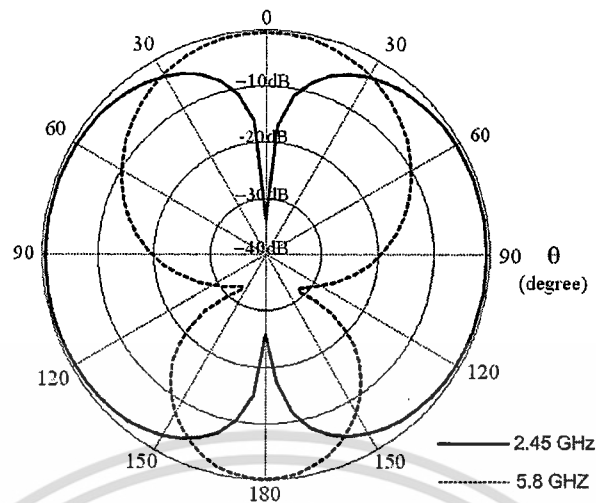


รูปที่ 3.7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า a



รูปที่ 3.8 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



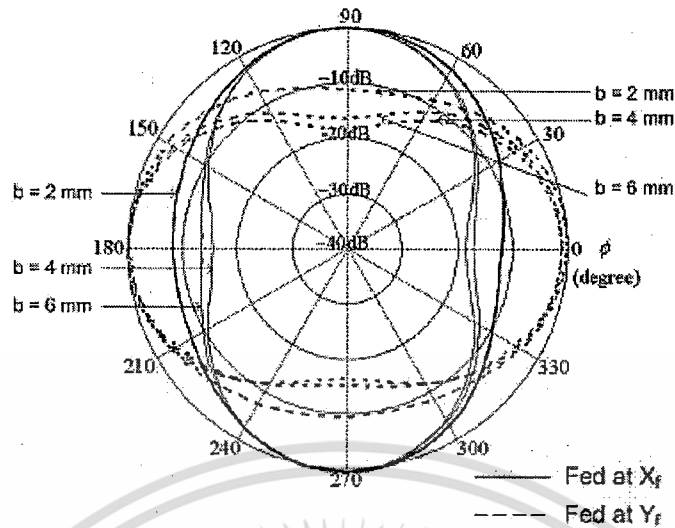
รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบ yz

จะเห็นได้ว่าสามารถเลือกค่า a แบบหยาบๆ ก่อนเพื่อปรับค่า b ให้มีค่าความสูญเสียย้อนกลับในตำแหน่งที่ต้องการได้ จากนั้นปรับค่า a อย่างละเอียดอีกครั้ง

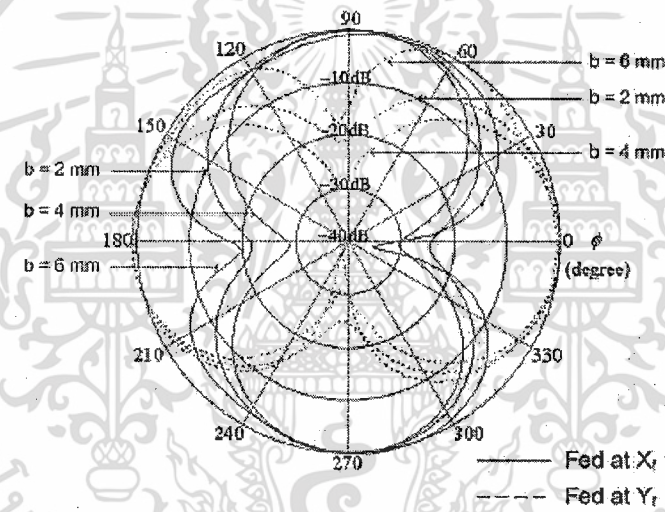
รูปที่ 3.9 แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบ yz ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ พบว่าที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นไปตามที่ต้องการคือมีลักษณะเป็นแบบสองทิศทางแต่ที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ แบบรูปการแผ่คลื่นตั้งฉากกับระนาบสายอากาศ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าที่มุม θ เท่ากับ 35° แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบ xy ตามรูปที่ 3.10 ยังคงมีลักษณะเป็นแบบสองทิศทางทั้งสองความถี่

จากรูปที่ 3.10 สังเกตได้ว่าค่า b มีความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงแบบรูปการแผ่คลื่นซึ่งจะมีนัล (null) ที่ลึกที่สุดที่ตำแหน่ง b เท่ากับ 4 มม

จากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศแล้วพบว่า สายอากาศทำงานที่ความถี่ประมาณ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าความสูญเสียย้อนกลับประมาณ -15dB ทั้งสองความถี่ แต่ที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบตั้งฉากกับสายอากาศ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาที่มุม θ เท่ากับ 35° ซึ่งเป็นมุมที่ใช้งานจะพบว่าแบบรูปการแผ่คลื่นทั้งสองความถี่เป็นแบบสองทิศทาง และสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ตามที่ต้องการ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบ xy โดยเปลี่ยนค่า b
 (ก) ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (ข) ที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

3.4 สายอากาศทำงานสองย่านความถี่ที่สามารถสวิตช์ค่าคลื่นได้

ตามมาตรฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย IEEE802.11b/g ใช้งานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์และ IEEE802.11a ใช้งานในย่านความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน สำหรับในประเทศไทยนั้นอนุญาตให้ใช้มาตรฐาน IEEE802.11b/g 2.4 กิกะเฮิรตซ์เท่านั้น สำหรับมาตรฐาน IEEE802.11a 5.5 กิกะเฮิรตซ์มีใช้กันในประเทศซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งสองมาตรฐาน สายอากาศที่ศึกษาวิจัยในหัวข้อที่ 3.3 นั้นใช้ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอิร์ตซ์ ทำให้ไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติในการใช้งานจริงของสายอากาศได้ ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงทำการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้งานจาก 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์เป็น 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ เพื่อให้สามารถทดสอบร่วมกับแอกเซสพอยท์สองความถี่ได้

เมื่อใช้สมการ (3.6) ในการคำนวณค่าความกว้างของแต่ละด้านของสายอากาศ โดยใช้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เท่ากับ 4.36 จะได้ขนาดความกว้างของสายอากาศที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์เท่ากับ 26.122 มม. และที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์มีขนาดเท่าเดิมคือ 58.642 มม. โดยใช้โครงสร้างในรูปแบบที่ 3.6 ในการศึกษา

สำหรับสมมติฐานเรื่องการทำงานของตัวเชื่อม หรือที่เรียกว่าสายส่งไมโครสตริปนั้น ไม่ได้บ่งชี้แน่ชัดว่าทำหน้าที่ปิดและเปิดวงจรที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์และ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ตามที่คาดไว้ ซึ่งจะพิจารณาเกี่ยวกับเรื่องนี้อีกครั้ง โดยศึกษารูปแบบการกระจายของสนามไฟฟ้าและกระแสแม่เหล็กที่อยู่บริเวณขอบและผิวของสายอากาศเพิ่มเติมว่ามีผลอย่างไร เมื่อขนาดและความยาวของสายส่งไมโครสตริปเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงผลที่เกิดขึ้นกับอิมพีแดนซ์ด้านเข้า และแบบรูปการแผ่คลื่นด้วย

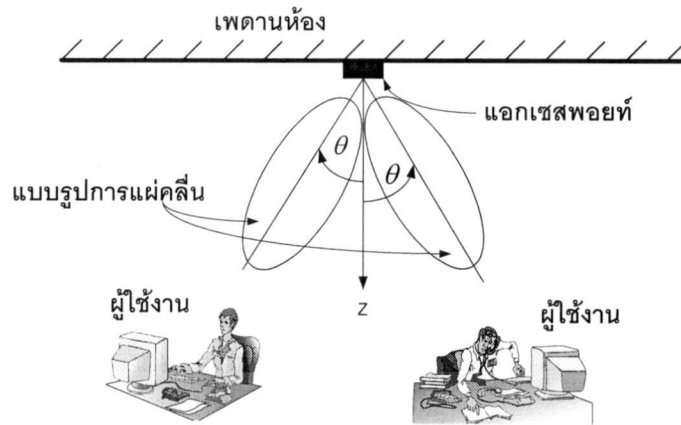
เนื่องจากต้องออกแบบให้สายอากาศทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในระบบ โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย นั่นก็คือแอกเซสพอยท์ ซึ่งติดตั้งไว้ที่เพดานห้องตามรูปที่ 3.11 สายอากาศจำเป็นต้องมีมุม θ ที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้ลำคลื่นหลักชี้ลงมายังบริเวณที่ใช้งาน วิธีการที่จะทำให้ลำคลื่นชี้ทำมุมดังกล่าว นั่นก็คือต้องเพิ่มขนาดของระนาบดินให้ใหญ่กว่าตัวสายอากาศ ซึ่งการเพิ่มขนาดนี้เองจะส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ และแบบรูปการแผ่คลื่นซึ่งแตกต่างจากหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งขนาดของแผ่นระนาบดินเท่ากับขนาดของตัวสายอากาศ ลำคลื่นหลักจะอยู่ที่มุม θ เท่ากับ 90° เพราะฉะนั้นการเพิ่มขนาดของระนาบดินจะต้องมีความเหมาะสมเพื่อให้ได้มุม θ ตามที่ต้องการ

3.4.1 สมมติฐานจากแนวความคิด

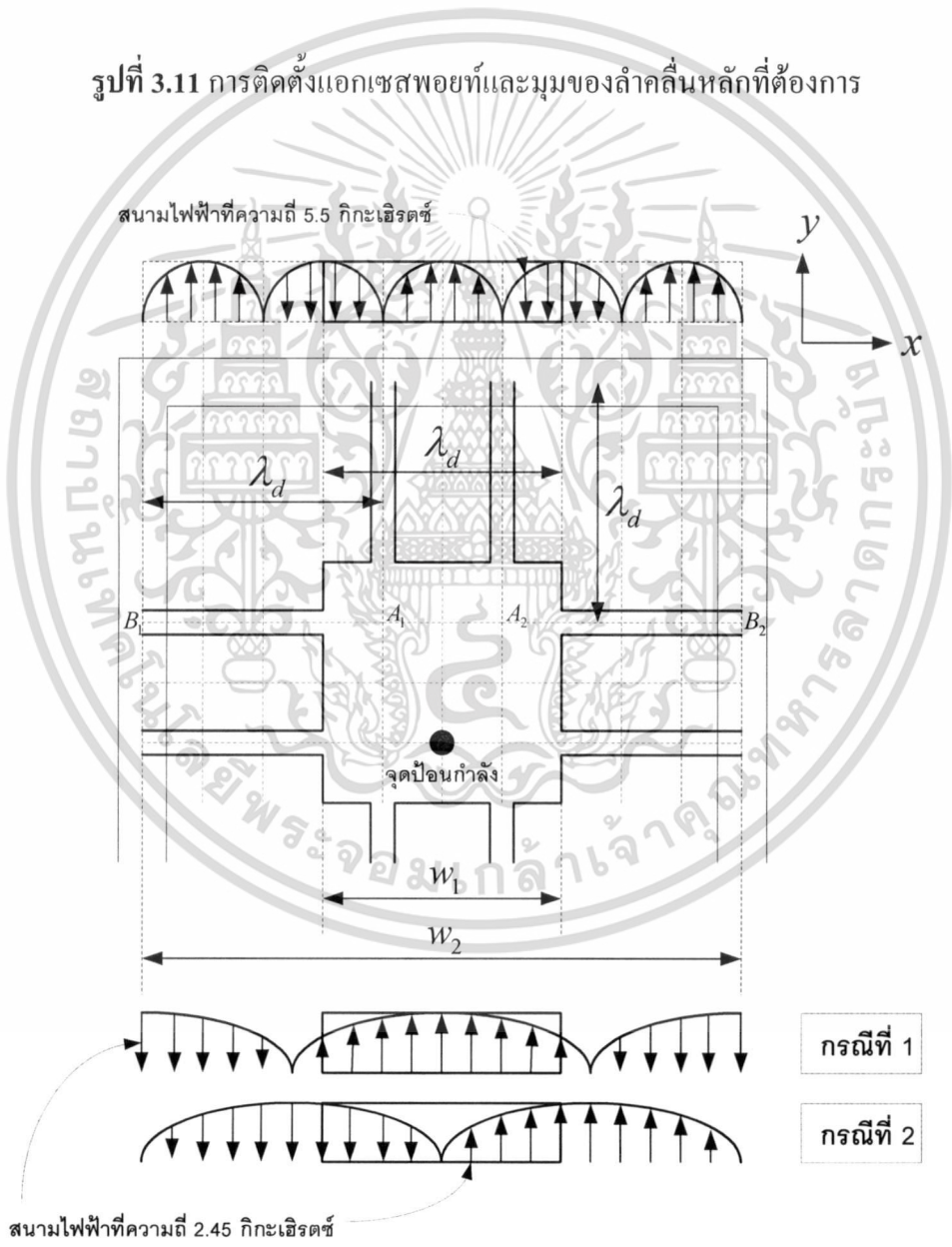
จากแนวความคิดในหัวข้อที่ 3.3 ว่าสายส่งไมโครสตริปจะทำหน้าที่ในการเปิดและปิดวงจรที่ความถี่สูงและความถี่ต่ำตามลำดับ จากผลการจำลองที่ผ่านมาซึ่งไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าสายส่งไมโครสตริปจะทำงานตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แต่สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนก็คือความยาวของ a สั้นมาก ในขณะที่ความกว้างของ b นั้นกว้างเกินไปอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่สายส่งไมโครสตริปไม่ทำงานตามที่คาดไว้ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ตั้งสมมติฐานอีกครั้งเกี่ยวกับกลไกการทำงานดังกล่าวตามรูป

ที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การติดตั้งแอกเซสพอยท์และมุมของลำคลื่นหลักที่ต้องการ



รูปที่ 3.12 สมมติฐานการทำงานของสายส่งไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์สายอากาศมีความกว้าง w_1 และ w_2 ตามลำดับ ระยะจาก A_1 ไปยัง B_1 และจาก A_2 ไปยัง B_2 มีค่าเท่ากับ λ_d ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ เราจะแยกสมมติฐานออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆ คือ

- 1) พิจารณาที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์
- 2) พิจารณาที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กรณีที่ 1
- 3) พิจารณาที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กรณีที่ 2

เนื่องจากกำหนดจุดป้อนกำลังไว้ที่ระยะ $0.25\lambda_d$ ของความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์จากจุดศูนย์กลางของสายอากาศ และจากรูปที่ 3.3 พบว่าที่จุดนี้สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียง 50 โอห์มซึ่งเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการจำลองสายส่งกำลัง ด้วยเหตุนี้จึงต้องออกแบบสายส่งไมโครสตริปให้มีความถี่เท่ากับ 50 โอห์มเช่นกัน เพื่อให้เกิดการแมตช์ที่ดีที่สุดในระหว่างองค์ประกอบของความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยสามารถคำนวณหาความกว้างของสายส่งไมโครสตริปที่ความถี่ 50 โอห์มได้จากสมการ (2.77) ซึ่งจะได้ค่าความกว้างประมาณ 2 มม

3.4.1.1. พิจารณาที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

พบว่าที่จุด A_1 และ A_2 เป็นจุดที่มีสนามไฟฟ้าต่ำที่สุดในโพรงของสายอากาศไมโครสตริป ที่จุดนี้เราสามารถประมาณได้ว่ามีกระแสแม่เหล็กไหลอยู่บริเวณผิวของแผ่นตัวนำด้านบนสูงสุด และที่ตำแหน่งห่างออกไปทางแกน $\pm x$ เป็นระยะ $0.5\lambda_d$ และ λ_d ก็มีค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดเช่นกัน ที่ตำแหน่ง B_1 และ B_2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีกระแสแม่เหล็กที่ผิวสูงสุด และมีสนามไฟฟ้าที่โพรงสายอากาศต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นที่บริเวณนี้จึงไม่มีการแผ่คลื่นออกไป ในขณะที่บริเวณขอบขององค์ประกอบความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์จะมีสนามไฟฟ้าสูงสุด และมีกระแสแม่เหล็กต่ำที่สุดบริเวณขอบ ทำให้เกิดการแผ่คลื่นที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

3.4.1.2. พิจารณาที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในกรณีที่ 1 สังเกตได้ว่าที่จุด B_1 และ B_2 ซึ่งเป็นขอบขององค์ประกอบความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ จากรูปพบว่า ที่บริเวณนี้มีสนามไฟฟ้าสูงที่สุด และมีกระแสแม่เหล็กต่ำที่สุดที่ผิวบริเวณขอบเช่นกัน ด้วยกลไกนี้จะทำให้เกิดการแผ่คลื่นที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์

3.4.1.3. พิจารณาที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ กรณีที่ 2

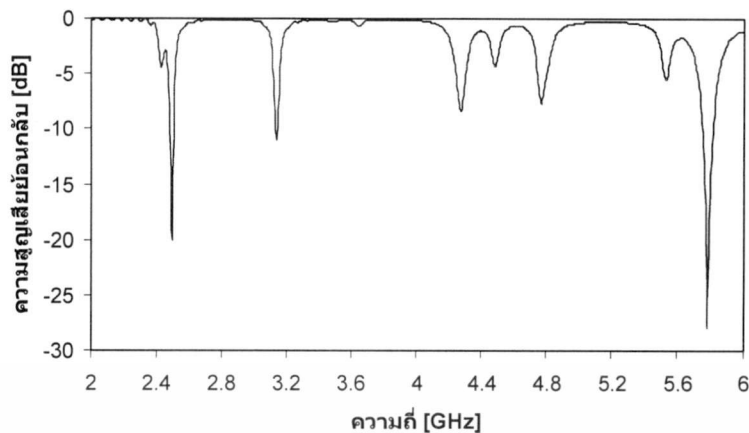
กรณีที่ 2 ถ้าหากว่าที่ขอบเกิดค่าสนามไฟฟ้าต่ำที่สุด และมีกระแสแม่เหล็กสูงที่สุดที่จุดนี้ จะไม่เกิดการแผ่คลื่นออกที่บริเวณขอบของสายอากาศ แต่หากพิจารณาให้ดีจะพบว่าที่บริเวณโพรงที่มีความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ขนาดของ w_1 นี้จะมีค่าใกล้เคียงประมาณ $0.5\lambda_d$ ของความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งด้วยกลไกนี้เอง ทำให้เกิดการแผ่คลื่นในโหมดที่หนึ่งของความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ถ้าคลื่นหลักจะตั้งฉากกับสายอากาศ ซึ่งเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนกำลังเพื่อที่จะสวิตช์ลำคลื่นหลัก จะพบว่าสายอากาศไม่สามารถสวิตช์ลำคลื่นที่ความถี่นี้ได้ แต่จะเป็นเพียงการสวิตช์โพลาริซชันของคลื่นเท่านั้น

3.4.2 ผลการจำลองสายอากาศ

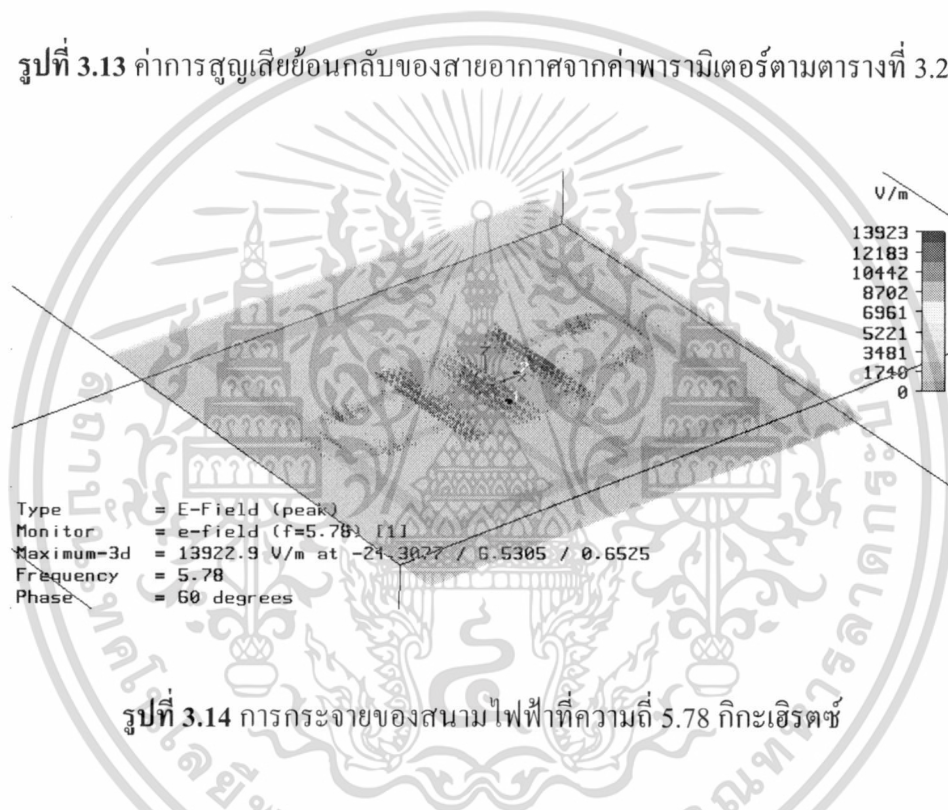
จากสมมติฐานทั้งสามข้อ เราสามารถออกแบบ โครงสร้างของสายอากาศเพื่อทำการจำลอง และทดสอบสมมติฐานดังกล่าว โดยยึดโครงสร้างตามรูปที่ 3.6 เป็นหลักซึ่งมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองตามตารางที่ 3.2 โดยให้แผ่นระนาบกราวด์ใหญ่กว่าตัวสายอากาศ 10 มม

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้เริ่มต้นในการจำลอง

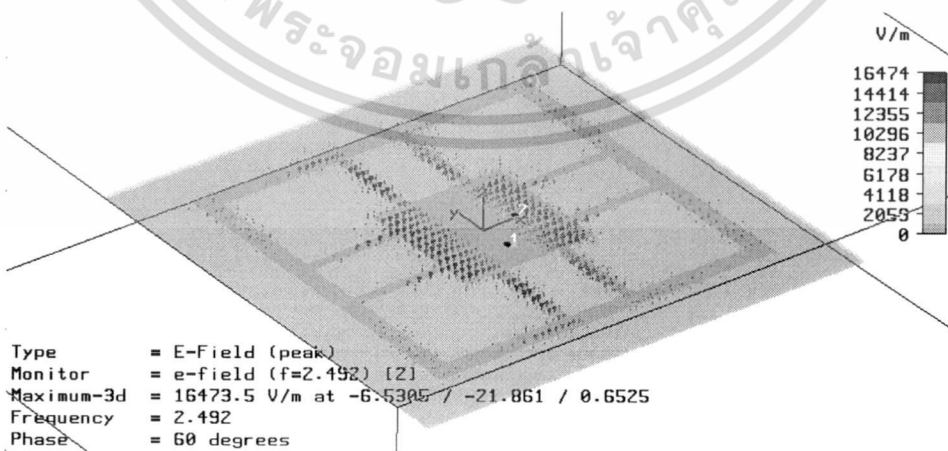
พารามิเตอร์	มิติ (มม)
w_1	26.122
w_2	68.642
a	17.6
b	2



รูปที่ 3.13 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศจากค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.14 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.78 กิกะเฮิรตซ์

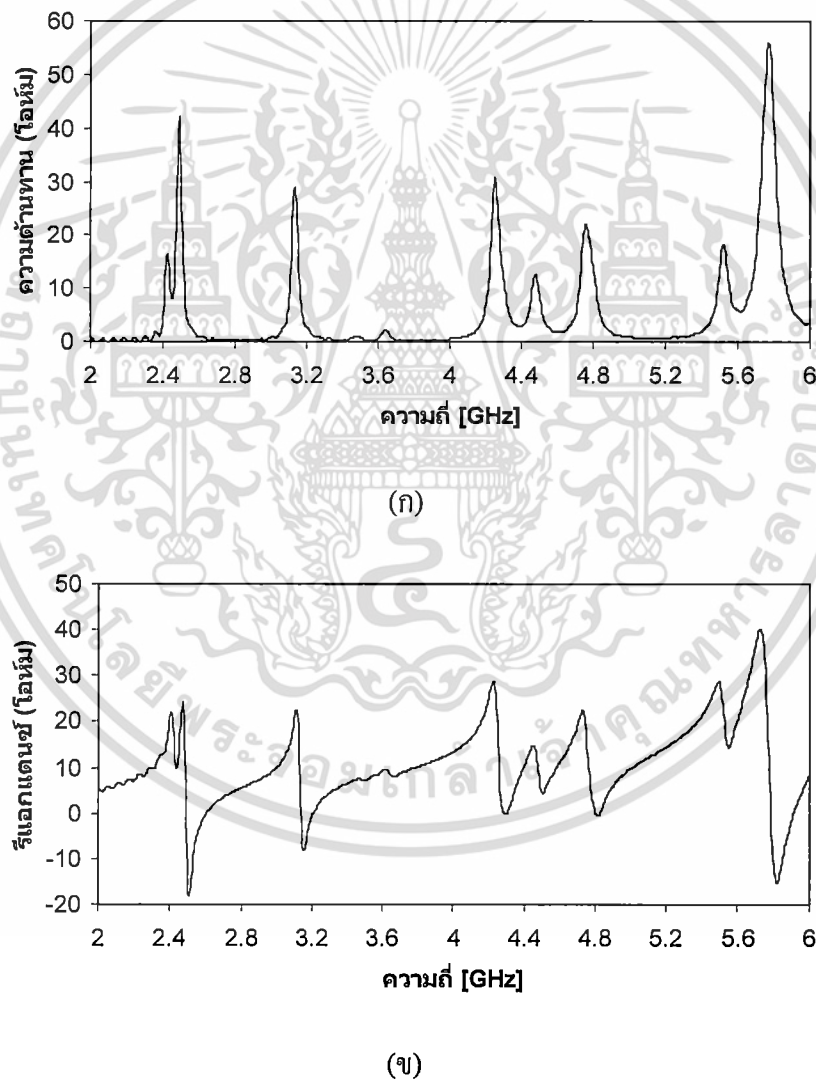


รูปที่ 3.15 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.492 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 แสดงค่าความสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองผลด้วยพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.2 พบว่าสายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.492 กิกะเฮิรตซ์และ 5.78 กิกะเฮิรตซ์โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -20dB และ -27.9dB ตามลำดับ

ถึงแม้ว่าสายอากาศยังไม่ทำงานที่ความถี่ที่ต้องการคือ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากรูปที่ 3.14 และ 3.15 ได้แสดงให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่นั้นเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือที่ความถี่ต่ำเป็นไปตามกรณีที่ 2 นั้นแสดงว่าสายอากาศตัวนี้มีการแผ่คลื่นในโหมดที่หนึ่งที่มีความถี่ 2.492 กิกะเฮิรตซ์ ลำคลื่นหลักที่ตั้งฉากกับสายอากาศ และแผ่คลื่นในโหมดที่สองที่มีความถี่ 5.78 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.16 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศตามพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.2

(ก) ความต้านทาน (ข) รีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

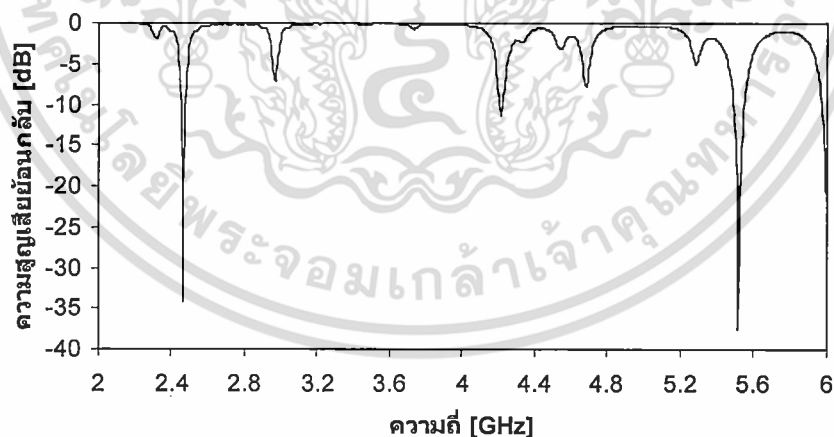
รูปที่ 3.16 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ตามพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.2 เห็นได้ว่าที่ความถี่ 2.492 กิกะเฮิรตซ์และ 5.78 กิกะเฮิรตซ์มีค่ารีแอกแตนซ์เท่ากับ -2.849 โอห์มและ 3.579 โอห์ม โดยที่ค่าความต้านทานมีค่า 41.28 โอห์มและ 54.46 โอห์มตามลำดับ

จากรูปที่ 3.14, 3.15 และ 3.16 แสดงให้เห็นว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้ตั้งแต่ต้นเป็นจริง สายส่งไมโครสตริปทำหน้าที่แมตซ์ระหว่างองค์ประกอบที่ความถี่สูงและความถี่ต่ำให้ทำงานร่วมกันได้บนแผ่นตัวนำชั้นเดียวกัน

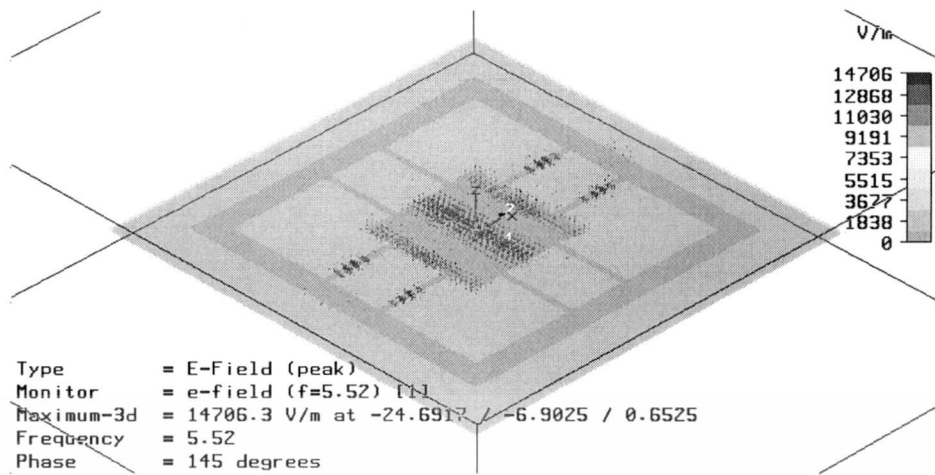
ในขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบ สายอากาศจำเป็นต้องปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการปรับเพื่อให้แมตซ์ที่ความถี่ดังกล่าวตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของสายอากาศความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

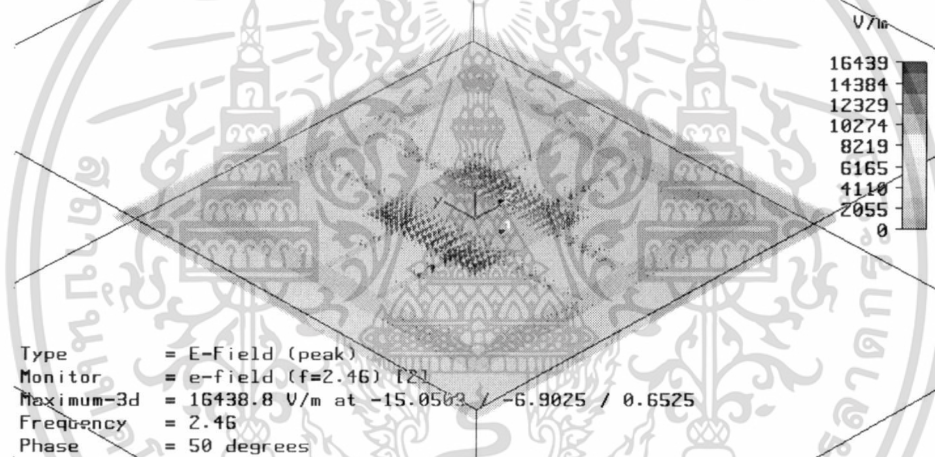
พารามิเตอร์	มิติ (มม)
w_1	27.61
w_2	72.6
a	17
b	1.5



รูปที่ 3.17 ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศจากพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.3



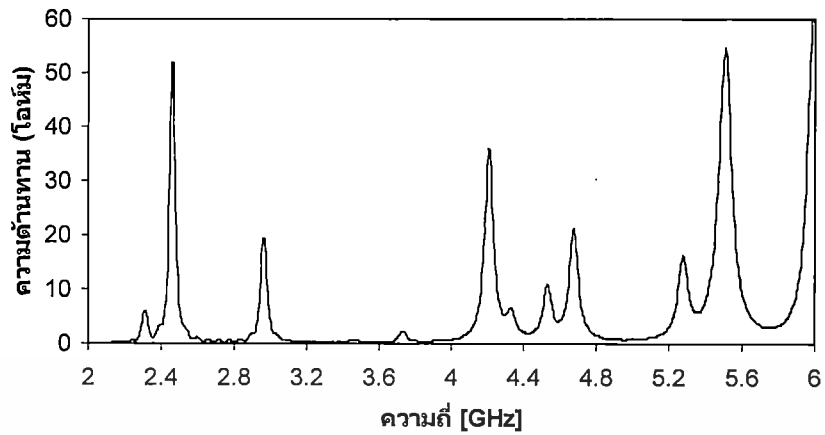
รูปที่ 3.18 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5.52 กิกะเฮิรตซ์



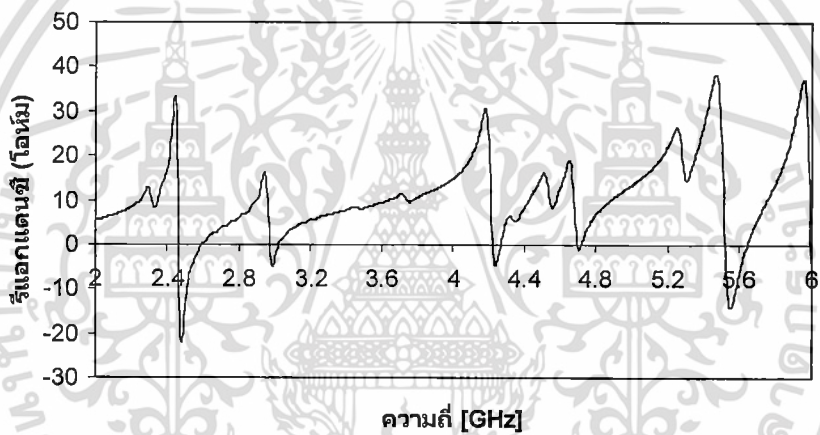
รูปที่ 3.19 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.46 กิกะเฮิรตซ์

รูปที่ 3.17 แสดงค่าความสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองผลด้วยพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.3 พบว่าสายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.46 กิกะเฮิรตซ์และ 5.52 กิกะเฮิรตซ์โดยมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -34.1dB และ -37.49dB ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.20 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศตามพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.3

(ก) ความต้านทาน (ข) รีแอกแตนซ์

รูปที่ 3.18 และ 3.19 สายส่งไมโครสตริปทำหน้าที่แมตช์ระหว่างองค์ประกอบที่ความถี่สูงและความถี่ต่ำให้ทำงานร่วมกันได้บนแผ่นตัวนำชั้นเดียวกัน ซึ่งตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ทุกประการ และในรูปที่ 3.20 แสดงค่ารีแอกแตนซ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1262 โอห์มและ -1.555 โอห์ม โดยที่ค่าความต้านทานมีค่า 51.95 โอห์มและ 51.06 โอห์มตามลำดับ ซึ่งแบบรูปการแผ่คลื่นทั้งสองความถี่แสดงไว้ในรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่คลื่น

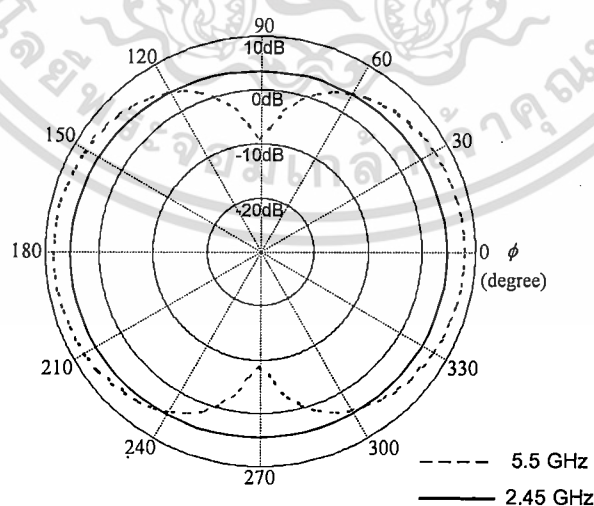
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มุม θ เท่ากับ 35° เป็นแบบวงกลม และมีอัตราขยายประมาณ 5 dBi การสวิตช์ตำแหน่งของตัวป้อนกำลังที่ความถี่นี้สามารถเปลี่ยนโพลาไรซ์ของคลื่นได้

ในรูปที่ 3.21 ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์มีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทาง มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มุม ϕ เท่ากับ 0° และ 180° เท่ากับ 8.1 dBi และค่าความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 107° ส่วนรูปที่ 3.22 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์จะมีแบบรูปที่ต่างออกไปก็ตาม แต่ถ้าสังเกตให้ดีจะพบว่ามุมที่สนใจคือมุม θ เท่ากับ 35° ซึ่งเป็นมุมที่นำไปใช้ทดสอบ มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางประมาณ 4-5 dBi ความกว้างครึ่งคลื่นเท่ากับ 120° และระดับพู่ข้างเท่ากับ -11.7 dB ในขณะที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์จะมีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทางที่มุม θ เท่ากับ 35° ซึ่งเป็นมุมที่ใช้ทดสอบ ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่า 8.1 dBi ความกว้างลำครึ่งคลื่นเท่ากับ 46.3° และระดับพู่ข้างเท่ากับ -15 dB โดยที่ค่าคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

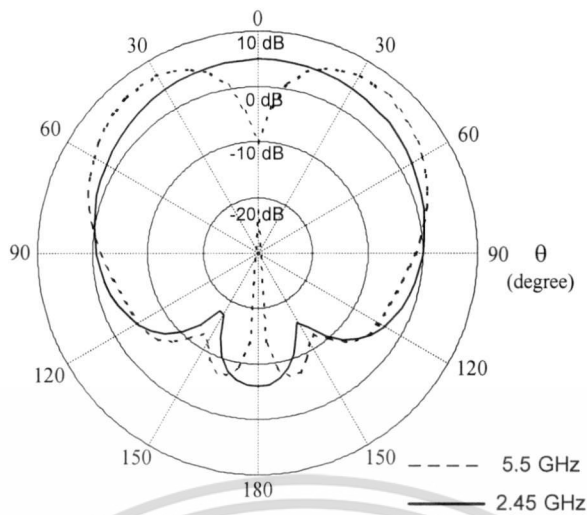
ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของสายอากาศในรูปที่ 3.22

ความถี่ (GHz)	ทิศทางพู่หลัก (องศา)	ค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (dBi)	ความกว้างลำครึ่งคลื่น (องศา)	ระดับพู่ข้าง (dB)
2.45	0	6	120	-11.7
5.5	± 35	8.1	46.3	-15

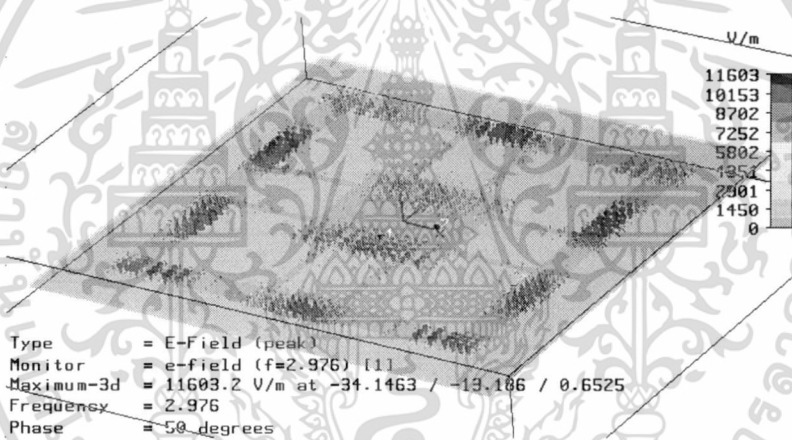


รูปที่ 3.21 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศที่มุม θ เท่ากับ 35°

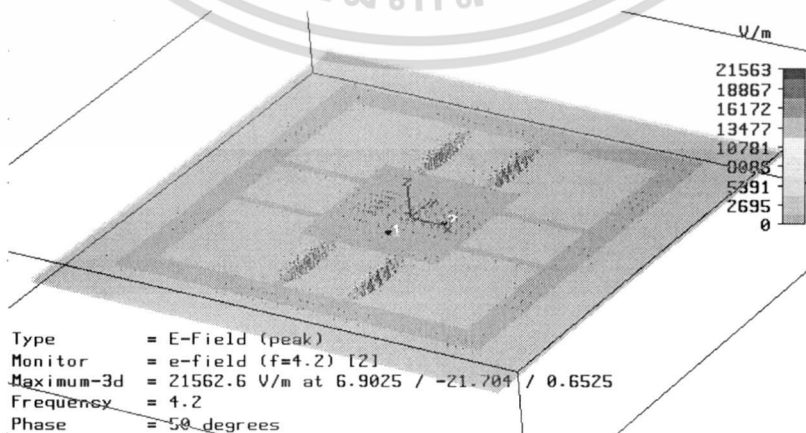
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศที่มุม θ เท่ากับ 0°

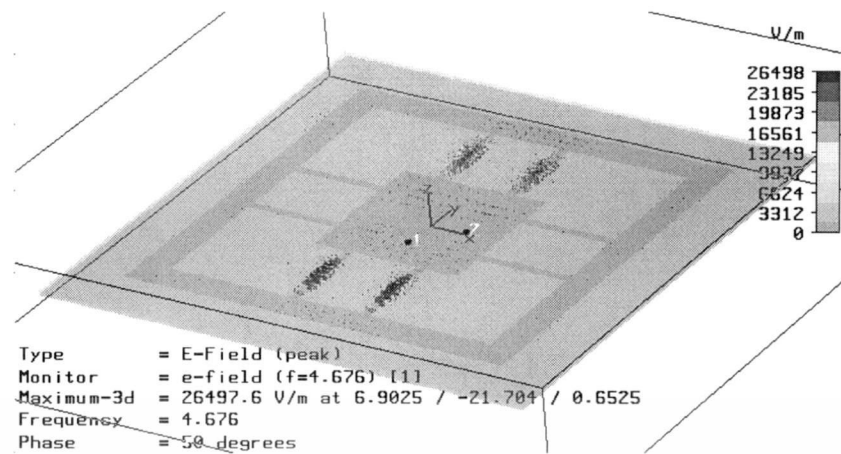


รูปที่ 3.23 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.976 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.24 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 4.2 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 การกระจายของสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 4.676 กิกะเฮิรตซ์

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่าม็อดประกอบของความถี่ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นนั่นคือความถี่ 2.976, 4.2 และ 4.676 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยอาศัยรูปที่ 3.23 ถึง 3.25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดโหมดที่สามของความถี่ 2.976 กิกะเฮิรตซ์บริเวณขอบนอกของสายอากาศ เกิดโหมดที่หนึ่งของความถี่ 2.976 กิกะเฮิรตซ์บริเวณใจกลางของสายอากาศ และเกิดสนามไฟฟ้ากระจายอยู่บริเวณสายส่งไมโครสตริปที่ความถี่ 4.2 และ 4.276 กิกะเฮิรตซ์ แต่องค์ประกอบที่เกิดขึ้นนั้นมีการสูญเสียกำลังงานค่อนข้างต่ำ

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอแนวความคิด และสมมติฐานเกี่ยวกับการทำงานของสายส่งไมโครสตริปซึ่งเป็นหัวใจหลักในการทำงานของสายอากาศตัวนี้ รวมถึงการออกแบบ และการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้สายอากาศตามที่ต้องการ โดยอาศัยโปรแกรม CST Microwave Studio ช่วยในการพิสูจน์ จากผลการจำลองคุณสมบัติต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นไปตามที่ต้องการคือแบบสองทิศทางที่มุม θ เท่ากับ 35° และสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งจุดป้อนกำลัง

ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวซึ่งตั้งฉากกับสายอากาศ การใช้วิธีการสวิตช์ลำคลื่นโดยการเปลี่ยนตำแหน่งจุดป้อนกำลังไม่สามารถทำได้ แต่การสวิตช์นี้สามารถสวิตช์โพลาไรซ์ของคลื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

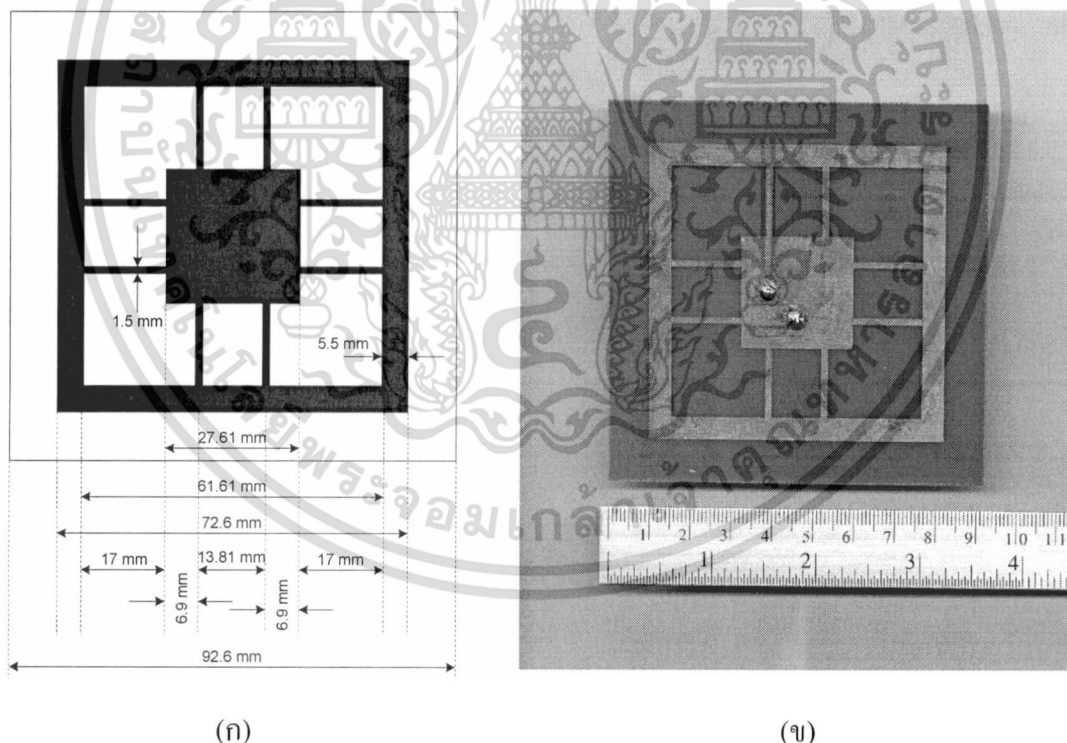
บทที่ 4

การทดสอบสายอากาศ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการสร้าง ทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองและสมมติฐานที่ตั้งขึ้นว่ามีความถูกต้องเพียงใด โดยเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่คลื่น ค่าการแยกโคดเดี่ยว (Isolation) อัตราขยาย และความสูญเสียย้อนกลับ โดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย เพื่อทดสอบวิสัยความสามารถในสภาพแวดล้อมจริง ภายในห้องปฏิบัติการวิจัย เพื่อประเมินคุณภาพในการใช้งาน

4.2 การสร้างและทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างสายอากาศที่ใช้ทดสอบ

(ก) มิติของสายอากาศ (ข) รูปถ่ายสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศที่สร้างเพื่อทดสอบมีขนาด และโครงสร้างตามรูปที่ 4.1 ซึ่งจะทำการทดสอบคุณสมบัติประจำตัวของสายอากาศคือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแผ่คลื่นในระนาบ ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35° และระนาบ θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°

สายอากาศมีความกว้าง w_2 เท่ากับ 76.2 มม และ w_1 เท่ากับ 27.61 มม ความยาว a และความกว้าง b ของสายส่งไมโครสตริปมีค่าเท่ากับ 17 มม และ 1.5 มม ตามลำดับ แผ่นระนาบดินมีขนาดกว้างกว่าสายอากาศด้านละ 10 มม โดยใช้วัสดุฐานรองแบบ FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r เท่ากับ 4.36 ค่าแทนเจนต์ความสูญเสีย 0.012 ความหนา h เท่ากับ 0.6522

4.2.1 ความสูญเสียย้อนกลับ

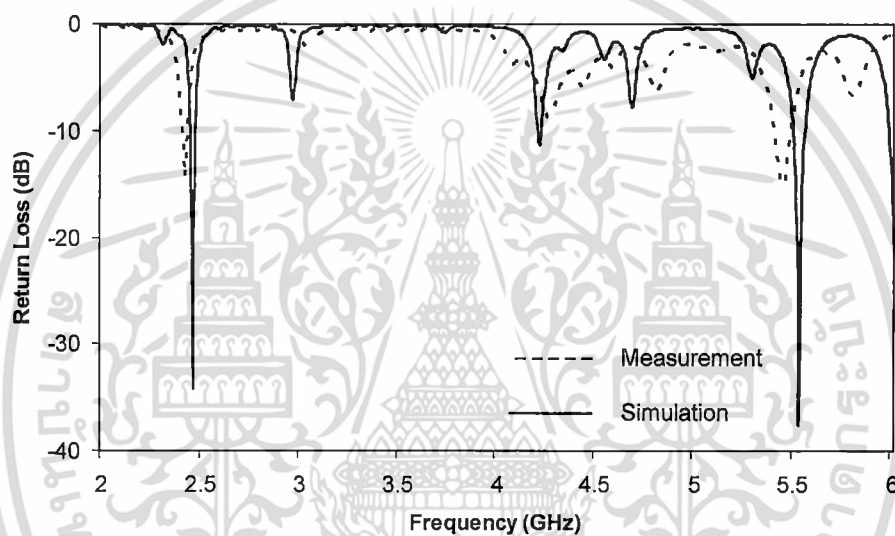
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสูญเสียย้อนกลับระหว่างการจำลองกับผลที่ได้จากการวัด โดยค่าความสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการวัดมีค่า -14.43 dB และ -15.07 dB ที่ความถี่ 2.42 กิกะเฮิรตซ์และ 5.44 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงมาก โดยความถี่ที่อุปกรณ์ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถให้ได้คือช่วง 2.40-2.497 กิกะเฮิรตซ์และ 5.15-5.825 กิกะเฮิรตซ์ โดยที่สายอากาศที่ทดสอบก็มีความถี่ใช้งานอยู่ในช่วงดังกล่าว

สังเกตได้ว่าสิ่งที่แตกต่างกันคือระดับของค่าการสูญเสียย้อนกลับ ซึ่งค่าจากการจำลองและการวัดอยู่ที่ -34.1 dB และ -14.43 dB ที่ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ส่วนย่านความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์มีค่า -37.49 dB และ -15.07 dB ตามลำดับ ซึ่งผลจากการจำลองและการวัดในแต่ละย่านแตกต่างกันถึง 20 dB ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศและความไม่เที่ยงตรงของอิมพีแดนซ์ประจำตัวของตัวเชื่อมแบบ SMA (SMA Connector) ที่ใช้งานจริง เนื่องจากในการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ใช้ตัวป้อนกลับแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete port) เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการสร้างแบบจำลอง ขณะที่การทดสอบนั้นใช้ตัวป้อนกำลังแบบแกนร่วม อีกประการหนึ่งก็คือ เป็นผลมาจากค่าการเชื่อมต่อยุ่ร่วม (mutual coupling) ระหว่างจุดป้อนกำลังที่ตำแหน่ง x และ y อย่างไรก็ตามค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้นี้สามารถยอมรับได้เนื่องจากมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งค่านี้เองจะทำให้อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศมีค่าไม่เกิน 2 แต่ความกว้างแถบ (bandwidth) แคบเมื่อเทียบกับมาตรฐานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรองและใช้วัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ ก็จะสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

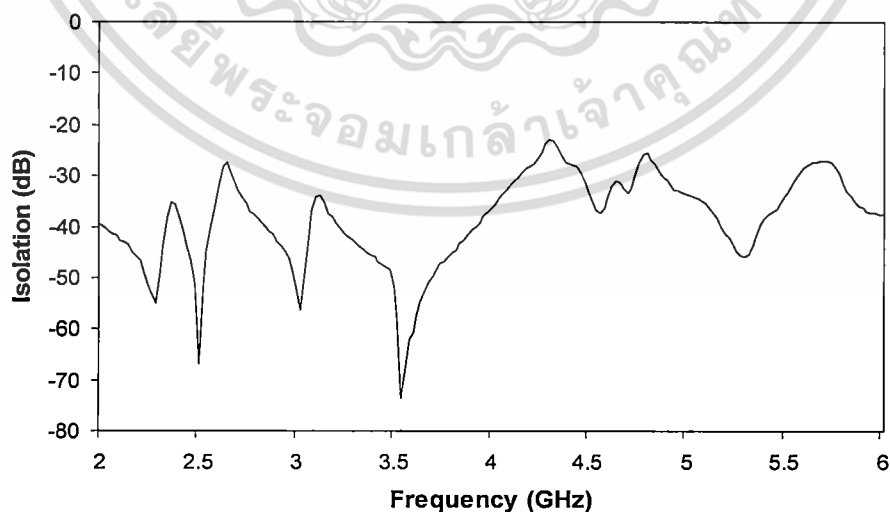
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสายอากาศใช้งานได้ไม่ครอบคลุมย่านความถี่ตามมาตรฐานที่กำหนด แต่ยังสามารถใช้งานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ เนื่องจากตามมาตรฐานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีการแบ่งช่องสัญญาณในการใช้งานไว้หลายช่องในแต่ละย่านความถี่ และจากค่าความสูญเสียย้อนกลับในรูปที่ 4.2 พบว่าสายอากาศสามารถใช้งานได้หลายช่องทั้งสองย่านความถี่ สามารถดูรายละเอียดเกี่ยวกับมาตรฐานของระบบได้จากภาคผนวก (ก)

เพราะฉะนั้นในการวัดแบบรูปการแผ่คลื่น จะวัดที่ความถี่ 2.42 กิกะเฮิรตซ์และ 5.44 กิกะเฮิรตซ์ โดยยังอยู่ในย่านความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับระหว่างการจำลองกับการวัด



รูปที่ 4.3 ค่าการแยกโดดเดี่ยวระหว่างจุดป้อนกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 อัตราขยาย

$$(G_t)_{dB} = (G_r)_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad \text{เมื่อ } G_t = G_r \quad (4.1)$$

โดยที่ G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง

G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ

R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ มีหน่วยเป็นเมตร

λ คือ ความยาวคลื่นในอวกาศว่างที่ความถี่ใช้งาน มีหน่วยเป็นเมตร

P_t คือ กำลังงานที่ส่งออกที่สายอากาศส่ง มีหน่วยเป็นวัตต์

P_r คือ กำลังงานที่รับได้ที่สายอากาศรับ มีหน่วยเป็นวัตต์

จากสมการ (4.1) เราสามารถนำมาคำนวณอัตราขยายได้โดยวัดค่ากำลังงานที่รับได้จากสายอากาศรับ ค่ากำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง และระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและส่ง จากนั้นแทนลงในสมการ จะสามารถหาคำตอบได้ดังต่อไปนี้

ที่ความถี่ 2.45 และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์มีความยาวคลื่นในอวกาศว่าง คำนวณได้จากสมการ (3.1) จะได้ความยาวคลื่นที่ความถี่ 2.45 และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์คือ 122.448 มม และ 54.55 มม ตามลำดับ โดยมีกำลังด้านส่ง 10 dBm (10 มิลลิวัตต์) และกำลังงานที่รับได้ที่สายอากาศรับที่ความถี่ 2.45 และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์มีค่าเท่ากับ -37dB (200 ไมโครวัตต์) และ -40dB (100 ไมโครวัตต์) ตามลำดับ โดยวางสายอากาศส่งและรับห่างกัน 20 เซนติเมตร จากข้อมูลทั้งหมดสามารถคำนวณอัตราขยายของทั้งสองความถี่ได้ดังนี้

$$G_{2.45} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(0.2)}{0.122448} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{0.0002}{0.01} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{2} (26.24 - 16.99) = \frac{1}{2} (9.25) = 4.63 \text{ dB}$$

$$G_{5.5} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi(0.2)}{0.05455} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{0.0002}{0.01} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{2} (33.27 - 20) = \frac{1}{2} (13.27) = 6.64 \text{ dB}$$

เราจะได้อัตราขยายที่ความถี่ 2.45 และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์เท่ากับ 4.63dB และ 6.64dB

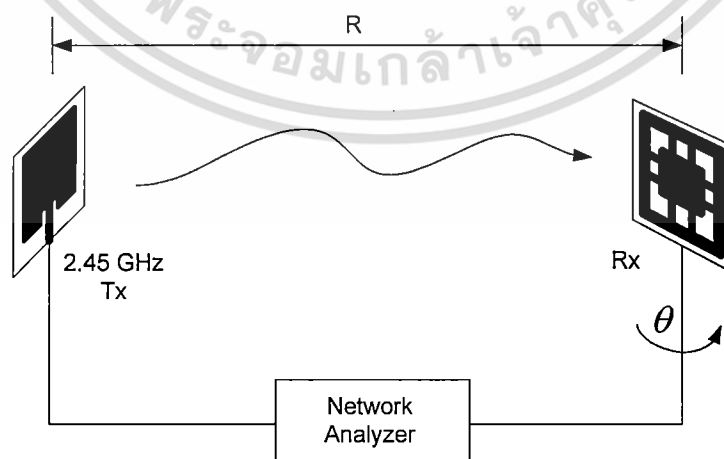
ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ

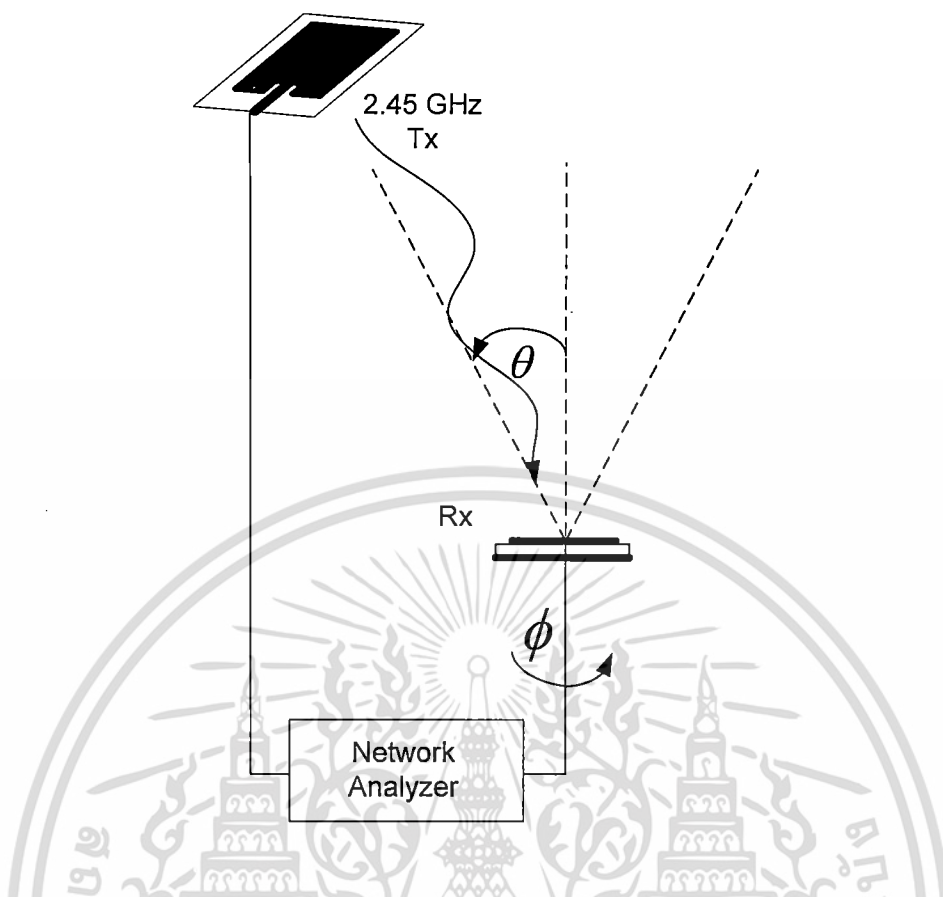
การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ กระทำในห้องป้องกันการสะท้อนคลื่น (anechoic chamber) แบ่งการทดสอบเป็น 4 แบบคือ

- 1) การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์เมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0° ตามรูปที่ 4.4 โดยหมุมสายอากาศรับซึ่งคือสายอากาศที่ทำการทดสอบด้วยมุม θ ตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ โดยใช้สายอากาศไมโครสตริปความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์เป็นตัวส่งคลื่น ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและรับอย่างน้อย (R) เท่ากับ $2D^2/\lambda_0$ เมื่อ D คือมิติที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศ λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศที่ความถี่ใช้งาน โดยเครื่องมือที่ช่วยในการทดสอบคือ เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8530A
- 2) การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์เมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35° ตามรูปที่ 4.5 โดยหมุมสายอากาศรับซึ่งคือสายอากาศที่ทำการทดสอบด้วยมุม ϕ ตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ โดยใช้สายอากาศตัวเดียวกับแบบที่ 1
- 3) การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์เมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0° ตามรูปที่ 4.6 โดยหมุมสายอากาศรับซึ่งคือสายอากาศที่ทำการทดสอบด้วยมุม θ ตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ โดยใช้สายอากาศช่องเปิด (Aperture Antenna) เป็นตัวส่งคลื่น
- 4) การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์เมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35° ตามรูปที่ 4.7 โดยหมุมสายอากาศรับซึ่งคือสายอากาศที่ทำการทดสอบด้วยมุม ϕ ตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ โดยใช้สายอากาศตัวเดียวกับแบบที่ 3

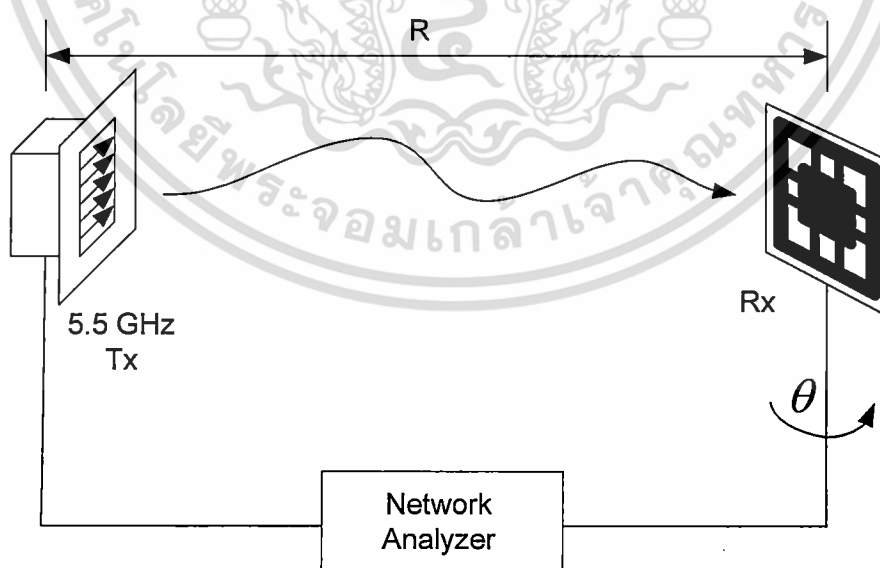


รูปที่ 4.4 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0° อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

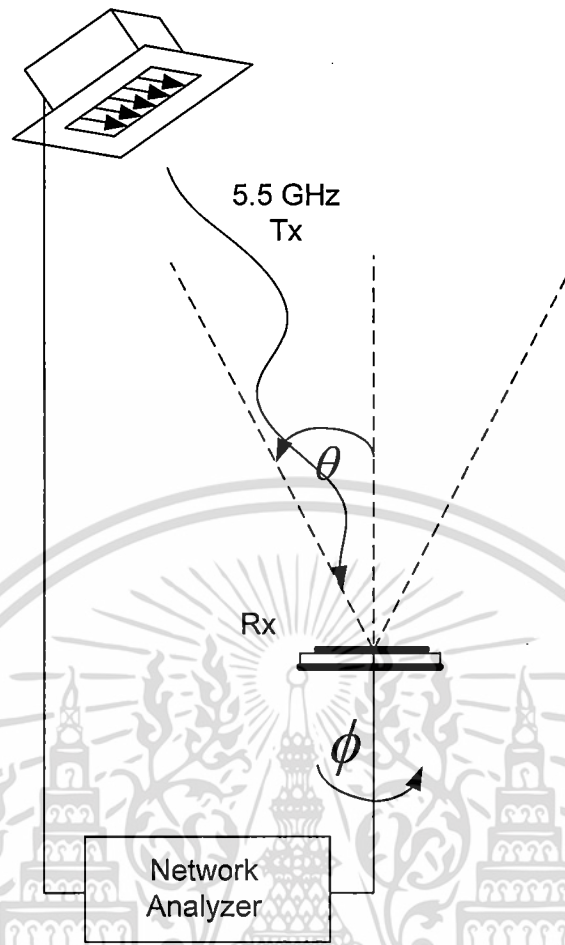


รูปที่ 4.5 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์
เมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35°



รูปที่ 4.6 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์
เมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

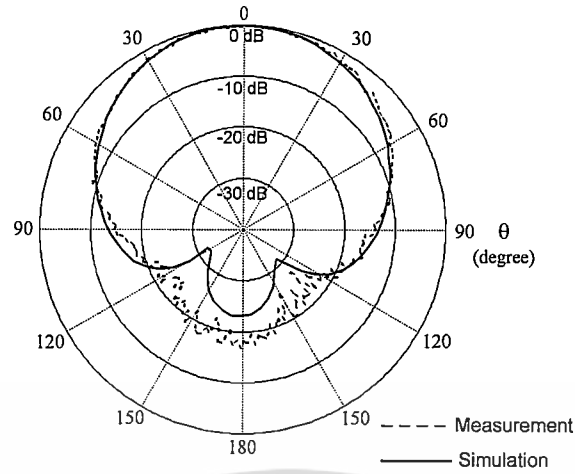


รูปที่ 4.7 การทดสอบแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์
เมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35°

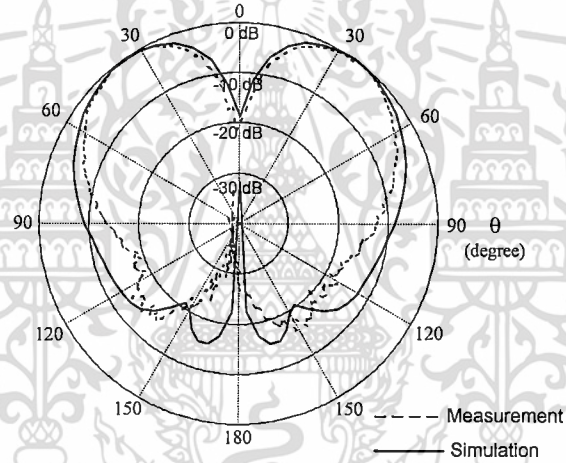
รูปที่ 4.8 แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0° โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการวัด สังเกตได้ว่าแบบรูปที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ตั้งแต่มุม θ เท่ากับ 0° ถึงประมาณ 90° มีค่าใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่มุม θ เท่ากับ 120° ถึงประมาณ 180° มีความแตกต่างกันชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณมุม θ เท่ากับ 180° ซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดป้อนกำลังซึ่งต่ออยู่กับตัวเชื่อมแบบ SMA ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงในขณะทำการวัดที่จุดนี้

รูปที่ 4.9 แสดงแบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35° โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับผลการวัด สังเกตได้ว่าทั้งสองความถี่มีผลการจำลองและการวัดที่ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวัดตามรูปที่ 4.5 และ 4.7 จะวัดเฉพาะบริเวณด้านที่เป็นตัวแผ่คลื่นเท่านั้น จึงทำให้ตัวป้อนกำลังที่อยู่หลังระนาบดินนั้นไม่ส่งผลต่อแบบรูปการแผ่คลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

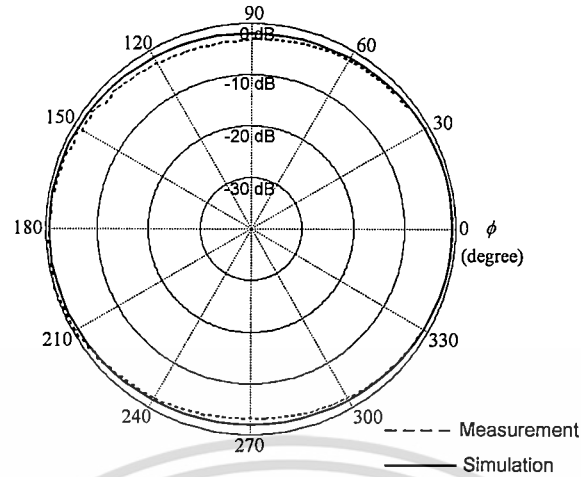


(ข)

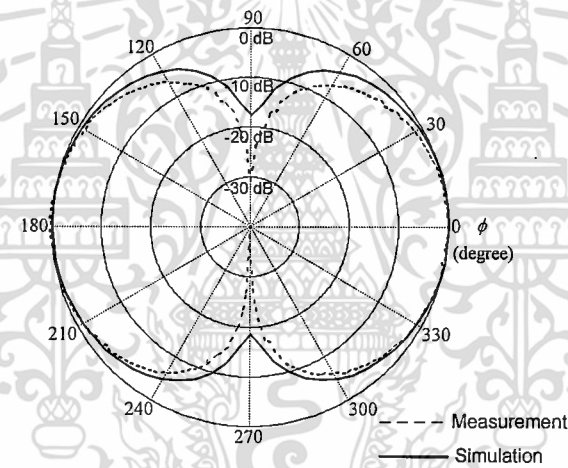
รูปที่ 4.8 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม θ ที่มุม ϕ เท่ากับ 0°

(ก) ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (ข) ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่คลื่นเมื่อเปลี่ยนมุม ϕ ที่มุม θ เท่ากับ 35°

(ก) ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (ข) ความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

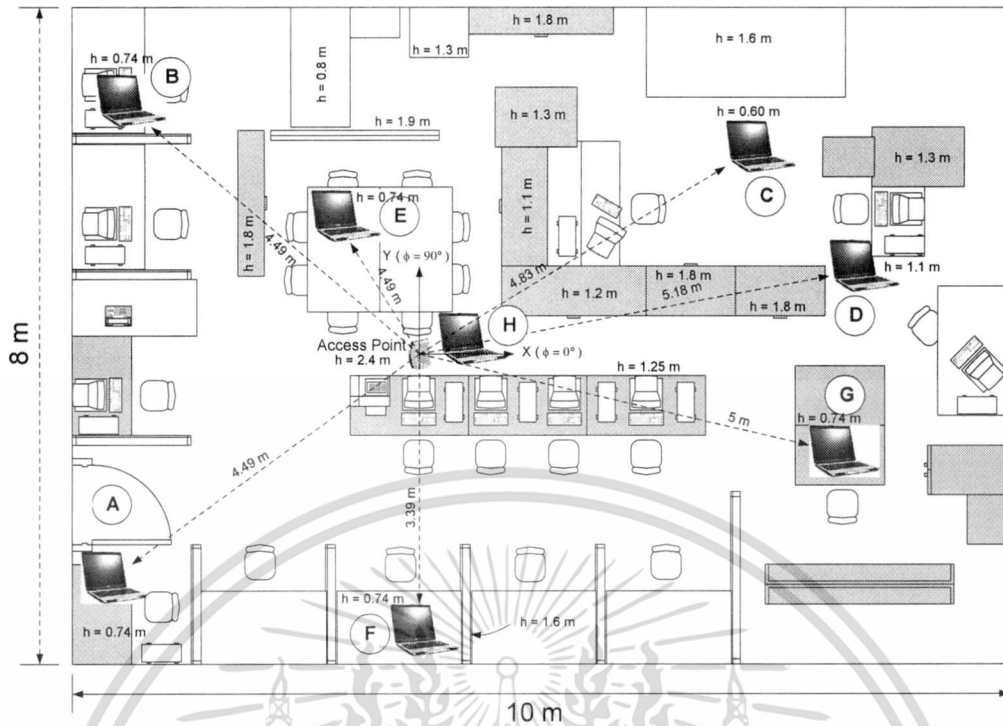
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบร่วมกับอุปกรณ์ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในสภาพการใช้งานจริง

ในหัวข้อที่ผ่านมา สายอากาศถูกทดสอบคุณสมบัติเกี่ยวกับความสูญเสียย้อนกลับ และแบบรูปการแผ่คลื่น สำหรับหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศอีกวิธีหนึ่ง นั่นคือการวัดค่าวิสัยสามารถ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ อาศัยเอกเซสพอยต์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่งและรับคลื่นในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งค่าวิสัยสามารถเป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัล เมื่อระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่งเพิ่มมากขึ้น หรือว่ามีสิ่งกีดขวางในระหว่างเส้นทางของสัญญาณ ก็จะทำให้ค่าวิสัยสามารถลดลง เนื่องจากค่าวิสัยสามารถนี้สัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio) เมื่อมีสิ่งกีดขวางดังกล่าวในระหว่างเส้นทาง สัญญาณที่เดินทางมาถึงตัวรับจะน้อยลง ทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนน้อยลง เพราะฉะนั้นค่าวิสัยสามารถก็น้อยลงด้วย ซึ่งประสิทธิภาพของระบบย่อมลดลงตามสัดส่วน

รูปที่ 4.10 คือสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้วัดค่าวิสัยสามารถ ภายในห้องปฏิบัติการวิจัย โดยทำการวัดค่าวิสัยสามารถควบคู่กับการวัดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน โดยในแต่ละจุดตั้งแต่จุด A ถึงจุด H คือจุดที่ทำการวัดสัญญาณดังกล่าวโดยใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook computer) ที่ติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณสองความถี่ไว้ในช่องต่ออุปกรณ์ภายนอกแบบ PCMCIA ที่มาพร้อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (รูปที่ 4.11) โดยควบคุมการรับส่งข้อมูลในการทดสอบผ่านทางโปรแกรมเฉพาะทางสำหรับวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประเมินคุณภาพในระบบการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัล โดยสายอากาศที่ทดสอบติดตั้งไว้กับเอกเซสพอยต์ โดยมีการติดตั้งเพื่อทดสอบระบบตามรูปที่ 4.12 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปให้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะซึ่งก็จะส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กอีกครั้งหนึ่งโดยผ่านทางเอกเซสพอยต์สองความถี่ ซึ่งติดตั้งสายอากาศที่ใช้ทดสอบไว้ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมีหน้าที่ในการคำนวณปริมาณข้อมูลที่ส่งและรับเทียบกับเวลาเพื่อแปลงออกมาเป็นค่าวิสัยสามารถ



รูปที่ 4.10 สภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบค่าวิสัยสามารถ



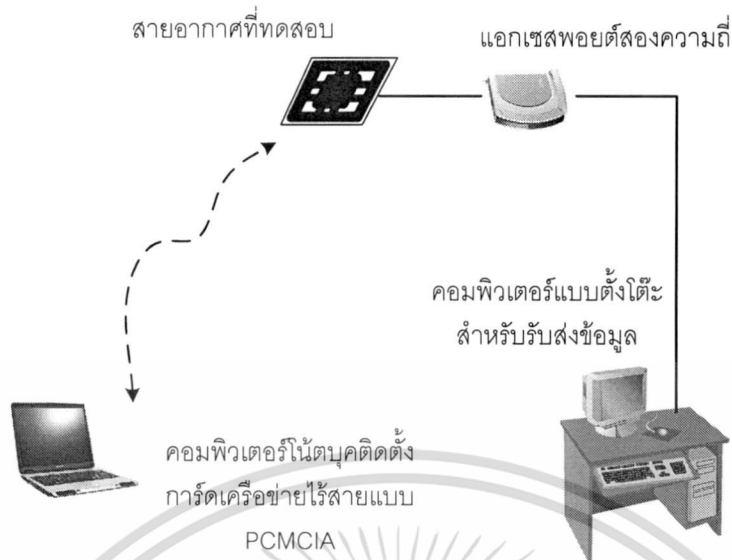
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.11 รูปถ่ายอุปกรณ์ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ทดสอบร่วม

(ก) แอ็กเซสพอยต์สองความถี่ (ข) การ์ดระบบเครือข่ายไร้สายแบบ PCMCIA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การติดตั้งระบบเพื่อทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ค่าวิสัยสามารถและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่วัดได้ตามตำแหน่งต่างๆ

ความถี่ (GHz)	พารามิเตอร์ ที่ทำการวัด	ตำแหน่งที่ทำการวัด							
		A	B	C	D	E	F	G	H
2.45 ○ ±x	SNR	45	36	47	35	53	52	48	67
	Throughput (Mbps)	21.54	21.30	21.64	20.76	21.31	21.72	21.4	22.24
5.5 ∞ ±x	SNR	35	22	37	26	50	43	36	48
	Throughput (Mbps)	21.43	17.81	22.54	21.12	22.64	22.22	22.15	22.39
2.45 ○ ±y	SNR	51	44	50	39	47	54	42	63
	Throughput (Mbps)	21.77	21.31	21.61	19.78	21.54	21.81	20.07	22.12
5.5 ∞ ±y	SNR	39	23	35	31	51	41	33	49
	Throughput (Mbps)	22.37	20.71	22.34	22.27	22.62	21.81	22.35	22.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าวิสัยสามารถและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่วัดได้ตามตำแหน่งต่างๆ ของสายอากาศโมโนโพลที่ติดตั้งมากับแอกเซสพอยต์

ความถี่ (GHz)	พารามิเตอร์ ที่ทำการวัด	ตำแหน่งที่ทำการวัด							
		A	B	C	D	E	F	G	H
2.45	SNR	58	56	60	50	67	69	52	69
	Throughput (Mbps)	20.49	21.04	21.43	20.70	20.57	20.87	20.75	20.33
5.5	SNR	52	42	54	48	60	56	46	52
	Throughput (Mbps)	22.32	21.51	22.05	21.66	21.88	22.03	21.82	22.02

รูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และค่าวิสัยสามารถ ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ตามลำดับ ทุกตำแหน่งของการวัดสังเกตได้ว่าเมื่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถก็มากขึ้นตามไปด้วย โดยที่ตำแหน่ง H เป็นจุดที่มีค่าสูงสุดซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.9 ตำแหน่งของ H เป็นตำแหน่งที่ใกล้กับสายอากาศมากที่สุดและเป็นตำแหน่งคลื่นมีค่าสูงสุดด้วยเนื่องจากที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบตั้งฉากกับสายอากาศ ผลการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนกำลังพบว่า ค่าที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากสายอากาศไม่สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ที่ความถี่นี้ แต่สายอากาศสามารถสวิตช์โพลาริซชันของคลื่นได้ ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงอาจมาจากสาเหตุของการเปลี่ยนโพลาริซชัน แต่ด้วยระยะของสายอากาศกับจุดที่วัดอยู่ใกล้กันมาก การเปลี่ยนโพลาริซชันอาจส่งผลกระทบต่อผลกระทบน้อยมาก

สังเกตที่ตำแหน่ง D พบว่าเส้นทางของสัญญาณถูกบดบังด้วยตู้ซึ่งทำจากเหล็กซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้ตำแหน่งนี้สัญญาณทางตรงที่ไปถึงน้อยมาก จึงทำให้ที่ตำแหน่งนี้มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและค่าวิสัยสามารถต่ำกว่าตำแหน่งอื่นๆ

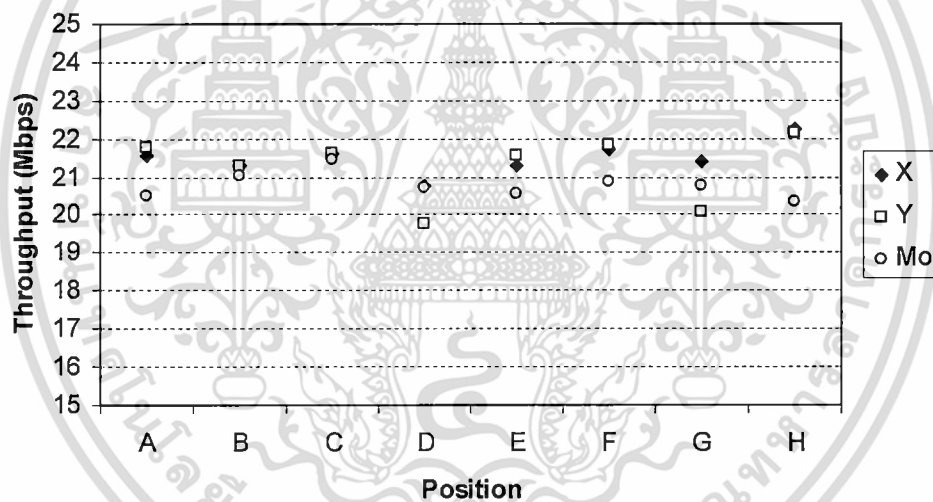
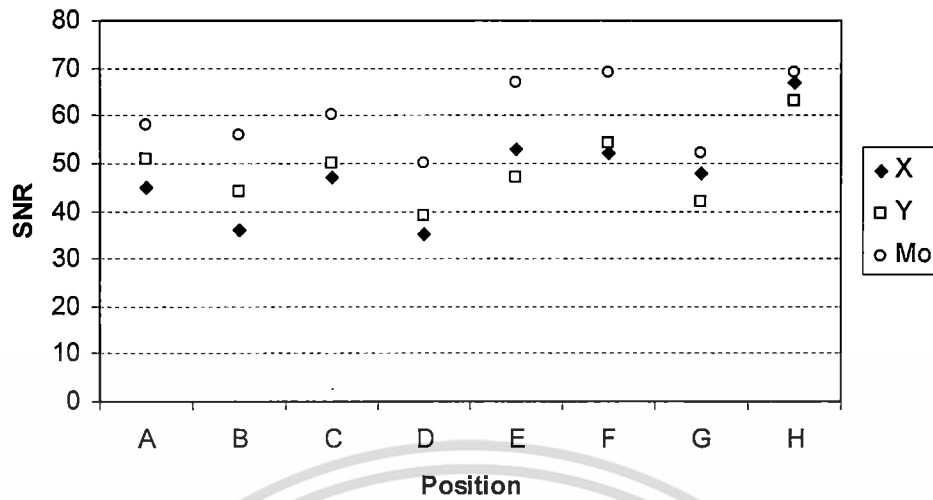
จากรูปที่ 4.13 (ก) พบว่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของแบบรูปที่มีลำคลื่นหลักตามแนวแกน Y มีค่ามากกว่าตามแนวแกน X ที่ตำแหน่ง A, B, C, D และ F และในรูปที่ 4.13(ข) ค่าวิสัยสามารถของแบบรูปที่มีลำคลื่นหลักตามแนวแกน Y มีค่ามากกว่าตามแนวแกน X ที่ตำแหน่ง A, B, C, E และ F จากเหตุผลดังกล่าวพอสรุปได้ว่าที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ การสวิตช์ลำคลื่นหลักตามแนวแกน Y ให้ค่าวิสัยสามารถ และค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าตามแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 (ก) และ (ข) แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และค่าวิสัยสามารถ ที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ตามลำดับ พบว่าที่ความถี่นี้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและค่าวิสัยสามารถค่อนข้างมีความแตกต่างกันเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของการวัด ที่ตำแหน่ง B เป็นจุดที่มีค่าสัญญาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับจุดอื่น จากรูปที่ 4.10 พบว่าระหว่างเส้นทางเดินของคลื่นมีตู้ขนาดใหญ่มีความสูง 1.8 เมตรบดบังอยู่โดยมีค่าต่ำที่สุดเมื่อสวิตซ์ลำคลื่นหลักตามแนวแกน X แต่สังเกตได้ว่าการสวิตซ์ลำคลื่นหลักไปยังแนวแกน Y ช่วยให้สัญญาณที่จุดนี้แรงขึ้นอย่างชัดเจน

อีกประการหนึ่ง เมื่อสวิตซ์ลำคลื่นหลักไปตามแนวแกน Y ทำให้ที่ตำแหน่ง A, B, D, E และ G มีค่าวิสัยสามารถสูงกว่าการสวิตซ์ตามแนวแกน X ซึ่งผลที่ได้นี้ตรงกับที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและค่าวิสัยสามารถที่สูงตามแนวแกน Y เช่นเดียวกัน

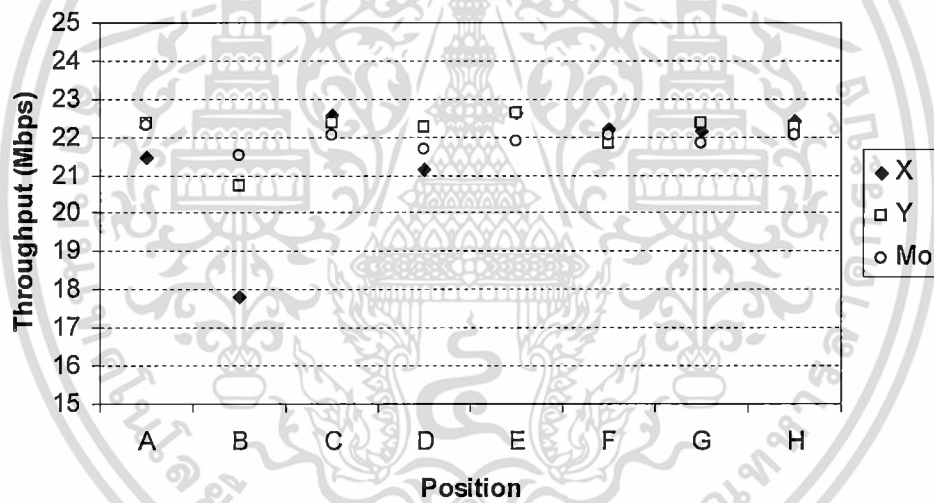
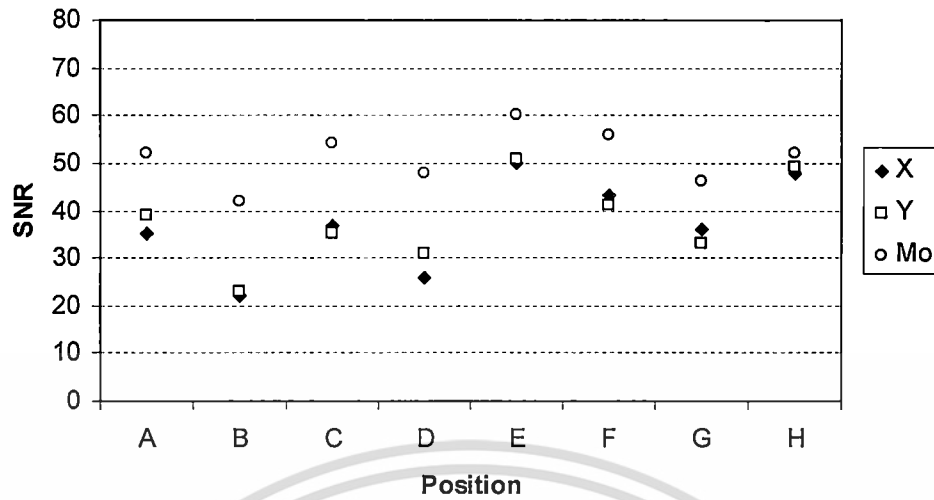
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 สังเกตได้ว่าค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ได้จากสายอากาศโมนิโพลนั้น มีค่าสูงกว่าการสวิตซ์ลำคลื่นตามแนวแกน x และ y แต่สำหรับค่าวิสัยสามารถนั้นพบว่าค่าจากสายอากาศโมนิโพลส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าทั้ง x และ y จะมีก็เพียงบางจุดเท่านั้นที่สัญญาณที่ได้จาก โมนิโพลมีระดับที่แรงกว่า แต่ด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดที่ทำการวัดแสดงให้เห็นว่าสายอากาศในวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความเหมาะสมในการใช้งานกับสภาพแวดล้อมที่ทดสอบมากกว่าสายอากาศโมนิโพลที่ติดตั้งมากับแอกเซสพอยด์



รูปที่ 4.13 ค่าที่วัดได้ในตำแหน่งต่างๆ ของความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

(ก) อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (ข) วัสดุสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่าที่วัดได้ในตำแหน่งต่างๆ ของความถี่ 5.5 กิกะเฮิรตซ์

(ก) อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (ข) วิสัยสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ การวัดและประเมินผลจากการใช้งานจริงร่วมกับอุปกรณ์ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย เริ่มต้นด้วยการวัดค่าความสูญเสียย้อนกลับและแบบรูปการแผ่คลื่น พบว่าสายอากาศมีค่าความสูญเสียย้อนกลับ -14.43 dB และ -15.07 dB ที่ความถี่ 2.42 กิกะเฮิรตซ์และ 5.44 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นความถี่ที่สามารถทำงานในย่านของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ โดยแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 2.42 กิกะเฮิรตซ์สามารถสวิตช์โพลาไรซ์ของคลื่นด้วยการเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนกำลังที่ตำแหน่ง X และ Y และแบบรูปการแผ่คลื่นที่ความถี่ 5.44 กิกะเฮิรตซ์สามารถสวิตช์ลำคลื่นหลักได้ด้วยการเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนกำลังที่ตำแหน่ง X และ Y โดยมีความแรงของสัญญาณสูงสุดที่มุม θ เท่ากับ 35°

ผลจากการวัดค่าวิสัยสามารถและค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องปฏิบัติการพบว่า ส่วนใหญ่ตำแหน่งต่างๆ เมื่อสวิตช์ลำคลื่นให้อยู่ในแนวแกน Y จะมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและค่าวิสัยสามารถสูงกว่าการสวิตช์ลำคลื่นในแนวแกน X

เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่า สายอากาศสามารถทำงานได้ในสองความถี่คือ 2.42 กิกะเฮิรตซ์และ 5.44 กิกะเฮิรตซ์ โดยสามารถสวิตช์โพลาไรซ์ของคลื่นได้ที่ความถี่ 2.42 กิกะเฮิรตซ์และสวิตช์ลำคลื่นหลักได้ที่ความถี่ 5.44 กิกะเฮิรตซ์ โดยเลือกสวิตช์ให้สายอากาศแผ่คลื่นตามแนวแกน Y ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดภายในห้องปฏิบัติการที่ทำการทดสอบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมชั้นเดียวทำงานสองความถี่คือ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้สายส่งไมโครสตริปทำหน้าที่เชื่อมต่อทั้งสองความถี่เพื่อให้สามารถทำงานอยู่บนแผ่นตัวนำชั้นเดียวกันได้ ซึ่งสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้สองทิศทางด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนกำลัง ทำให้ลดความยุ่งยากจากวิธีการเดิม และด้วยการวางตำแหน่งจุดป้อนกำลังที่เหมาะสมจะทำให้สายอากาศทำงานในโหมดที่ต้องการ

จากงานวิจัยนี้พบว่า ที่ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศเท่ากับ $0.25\lambda_d$ สายอากาศมีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบสองทิศทาง ค่าอัตราส่วนส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเท่ากับ 1.198 และ 1.222 ค่าความต้านทานเท่ากับ 41.93 โอห์มและ 41.15 ค่ารีแอกแตนซ์เท่ากับ 1.893 โอห์มและ 2.229 โอห์ม ค่าสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากับ 4.8 dBi และ 4.9 dBi และระดับพู่ข้างเท่ากับ -15.3 dB และ -13.6 dB ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ตามลำดับ จากข้อมูลต่างๆ จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งนี้เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นจุดป้อนกำลังให้สายอากาศ

สายอากาศมีความกว้างแต่ละด้านเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่นในชั้นวัสดุฐานรอง ทำให้เกิดการแผ่คลื่นในโหมดที่สอง ซึ่งลำคลื่นหลักจะแผ่ออกรอบตัวสายอากาศ โดยการเปลี่ยนตำแหน่งการกระตุ้นในแนวแกน x และ y จะทำให้สายอากาศมีลำคลื่นหลักในทิศทาง $\pm y$ และ $\pm x$ ตามลำดับ

สายอากาศทำงานที่สองความถี่บนแผ่นตัวนำชั้นเดียวกัน โดยใช้สายส่งไมโครสตริปที่มีความกว้างและความยาวที่เหมาะสม โดยสายส่งจะมีความยาวแต่ละเส้นเท่ากับ λ_d ของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรองที่ความถี่สูง และเท่ากับ $\lambda_d/2$ ของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรองที่ความถี่ต่ำ โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งจะต้องเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ด้วยหลักการนี้ ทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่คลื่นในโหมดที่ 1 ที่ความถี่ต่ำ และโหมดที่ 2 ที่ความถี่สูง โดยมีค่าความสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำ ซึ่งที่ความถี่ต่ำเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนกำลัง จะสามารถสวิตช์โพลาไรซ์ของคลื่นได้ ในขณะที่ความถี่สูงจะสามารถสวิตช์ลำคลื่นหลักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศถูกประเมินประสิทธิภาพด้วยการวัดค่าวิสัยสามารถในสภาพแวดล้อมจริง ภายในห้องปฏิบัติการวิจัย โดยการกำหนดจุดที่ทำกรให้วัดแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของห้อง และทำการวัดค่าวิสัยสามารถในแต่ละจุดโดยเปรียบเทียบกันระหว่างการป้อนกำลังที่ตำแหน่ง x และ y ซึ่งพบว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดคือการป้อนกำลังที่ตำแหน่งแกน x ซึ่งให้แบบรูปการแผ่คลื่นตามแนวแกน $\pm y$ ค่าวิสัยสามารถจะสูงที่สุดโดยเฉลี่ยในแต่ละจุดที่ทำกรวัด

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากสายอากาศในงานวิจัยนี้พัฒนาให้ใช้งานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์และ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ซึ่งตามมาตรฐานของระบบ ได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับความกว้างแถบ ซึ่งสายอากาศที่ทดสอบนี้เป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปที่มีความกว้างแถบแคบอยู่แล้ว จึงทำให้ไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมการใช้งานทั้งหมดได้ แต่จากการทดสอบพบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ตามปกติและไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ นอกจากนี้มีช่องการใช้งานที่น้อยลงเท่านั้น

วิธีการแก้ไขสามารถทำได้โดยการใช้วัสดุที่มีความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้น และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในเนื้อวัสดุต่างๆ ซึ่งสามารถเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศได้

สังเกตว่าที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นแบบโหมดที่หนึ่งซึ่งทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งการป้อนกำลังในแนวแกน x และ y ไม่มีผลกับทิศทางของลำคลื่นเนื่องจากเราพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่ให้แบบรูปการแผ่คลื่นเป็นโหมดที่สองที่ความถี่ใดๆ นั้น ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังต้องอยู่ในตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศ $0.25\lambda_u$ แต่จากโครงสร้างของสายอากาศในงานวิจัยนี้พบว่า จุดป้อนกำลังทั้งสองตำแหน่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของสายอากาศ $0.25\lambda_u$ ของความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเมื่อเทียบกับระยะที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์พบว่าจุดป้อนกำลังอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้สายอากาศมีแบบรูปการแผ่คลื่นแบบโหมดที่สองที่ความถี่ 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนกำลังพบว่า สายอากาศสามารถสวิตช์โพลาไรซ์ของคลื่นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.Sanad and N.Hassan, "A Compact Dual-band Microstrip Antenna for Portable GPS/Cellular Phones," *Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation.*, vol.1, pp. 116-119, July 1999.
- [2] S. S. Zhong and J. H. Cui, "Compact Dual-Frequency Microstrip Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.4, pp.2196-2199, July 2000.
- [3] T. Sittironnarit and M. Ali, "Analysis and Design of a Dual-Band Folded Microstrip Patch Antenna for Handheld Device Applications," *Proceedings of IEEE Southeast Conference.*, 2002.
- [4] S. V. Hum and M. Okoniewski, "Compact Microstrip Dual-band Antenna for Operation at 900 MHz," *Electron. Lett.*, vol.39, no.1, January 2003.
- [5] Y. L. Kuo and K. L. Wong, "Printed Double-T Monopole Antenna for 2.4/5.2 GHz Dual-Band WLAN Operations," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.51, no.9, pp.2187-2192, September 2003.
- [6] J. Anguera, E. Martinez, C. Puente, C. Borja and J. Soler, "Broad-Band Dual-Frequency Microstrip Patch Antenna With Modified Sierpiniski Fractal Geometry," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.52, no.1, pp.66-73, January 2004.
- [7] C.W.Jung and F.D.Flaviis, "A Dual-Band Antenna for WLAN Application by Double Rectangular Patch with 4-Bridges," *IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium.*, vol.4, pp.4280-4283, June, 2004.
- [8] N.Behdad and K.Sarabanbi, "A Compact Dual-/Multi-band Wireless LAN Antenna," *Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation.*, vol.2B, pp.527-530, July 2005.
- [9] A.Asrokin, M. K. A. Rahim and M. Z. A. Abd. Aziz, "Dual Band Microstrip Antenna for Wireless LAN Application," *Proceeding of 2005 Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetic.*, December 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้