

รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

การออกแบบสายอากาศช่องเปิดรูปมุมฉากสำหรับใช้งานสามแถบความถี่

Design Right-Angle Slot Antenna for Triple-Frequency Application

ดร. พิทักษ์ ธรรมวาริน
 รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช
 รศ. นภพินท์ อนันตรศิริชัย
 รศ. ดร.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ
 รศ. อรลภา แสงอรุณ
 รศ.ดร.อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล
 รศ. ดร. ปิติเขต สุรักษา
 นางสาววันวิสา ชัชวงษ์

ห้องปฏิบัติการวิจัย ระบบส่งสัญญาณ
 สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 กันยายน พ.ศ. 2550

Signal Transmission System Laboratory

Research Center for Communications and Information Technology
 871.67
 M5
 1529
 November 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

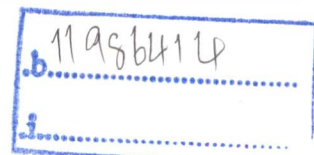
กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology: ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550 วงเงินงบประมาณ 206,090 บาท



RCH
TK
7871.67
.M5
๗๕๒๑

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 83855
วัน,เดือน,ปี..... 19 ก.ย. 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

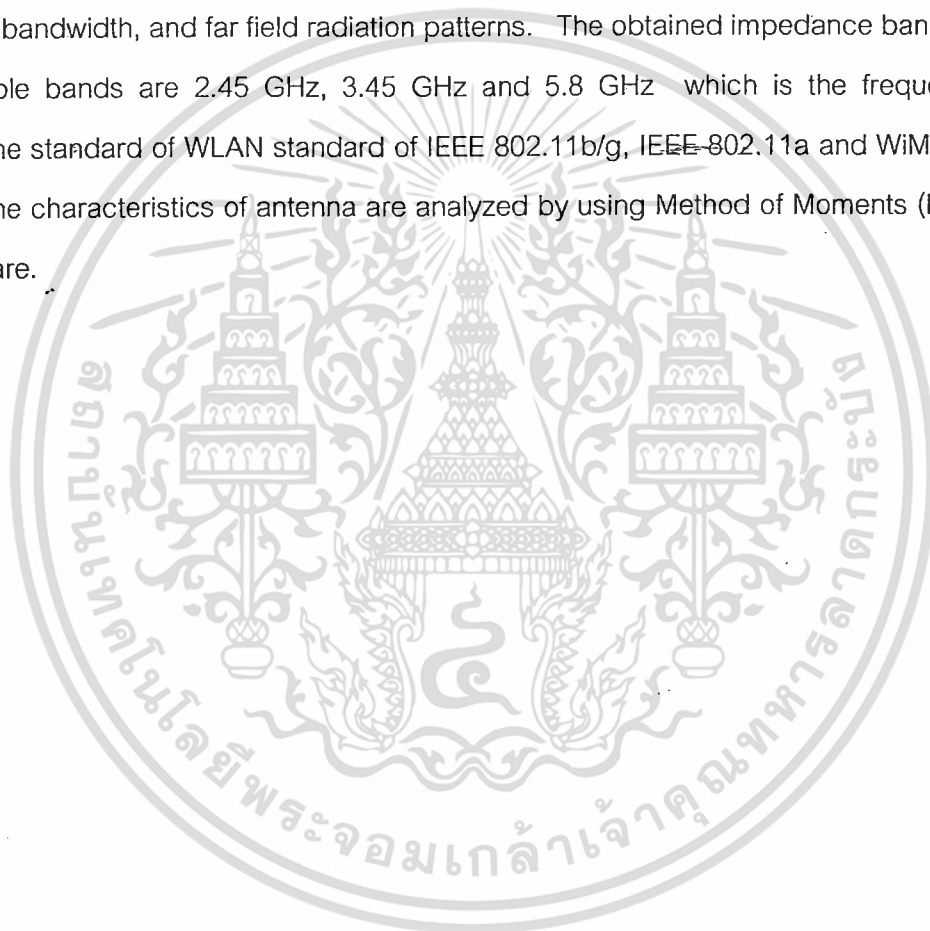
บทสรุปย่อ

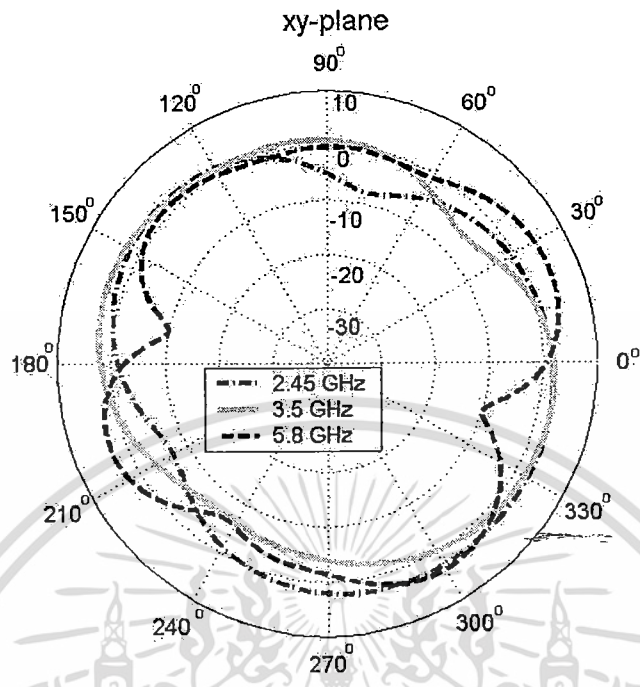
สายอากาศช่องเปิดรูปวงกลมจากป้อนสัญญาณโดยสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป ที่มีการใช้สลับจูนนิ่ง จะสามารถทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์หลายความถี่ได้ ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอสลับจูนนิ่งเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของสายอากาศช่องเปิดให้มีคุณสมบัติดังที่กล่าว และเพื่อนำไปใช้กับระบบการสื่อสารไร้สายในแถบความถี่ 2.45 GHz, 3.45 GHz และ 5.8 GHz โดยที่สายอากาศและสายนำสัญญาณจะถูกสร้างอยู่บนแผ่นตัวนำของวัสดุฐานรอง ดังนั้นจึงมีความง่ายเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการสร้างจริง และในการวิเคราะห์นั้นจะนำเสนอคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศ เป็นต้นว่า ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ แบนด์วิดท์ และรูปแบบการแผ่พลังงานของสนามระยะไกล โดยที่อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์นั้นจะมีความถี่ใช้งานคือ 2.45 GHz, 3.45 GHz, 5.8 GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่มาตรฐานของ WLAN คือ IEEE 802.11b/g IEEE 802.11a และ WiMAX และงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศโดยใช้หลักการของโมเมนต์จาก IE3D Software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

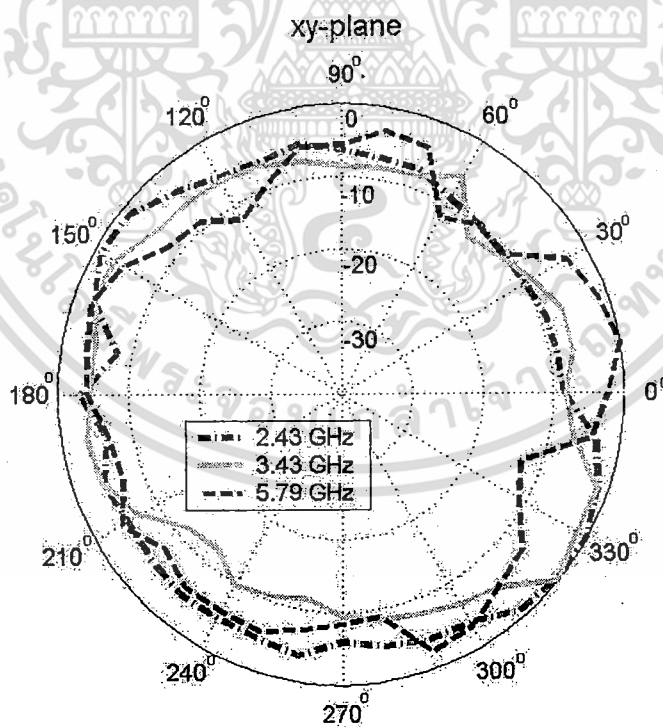
Abstract

A Right-Angle Slot Antenna fed by microstrip line with stub tuning can be obtained wide multi frequency. Therefore, this research proposed the tuning stubs to improve characteristics of slot antenna for wide band which uses in WLAN communication systems 2.45 GHz, 3.45 GHz and 5.8 GHz. The slot antenna and microstrip line are etched on substrate, thus simplifying for fabrication process. The characteristics of antenna are proposed and analyzed for instance return loss, bandwidth, and far field radiation patterns. The obtained impedance bandwidth can achieve triple bands are 2.45 GHz, 3.45 GHz and 5.8 GHz which is the frequency band coverage the standard of WLAN standard of IEEE 802.11b/g, IEEE 802.11a and WiMAX. In this research, the characteristics of antenna are analyzed by using Method of Moments (MOM) from IE3D software.





(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 คุณลักษณะของ Radiation Patterns ที่ระนาบ X-Y

(ก) ผลที่ได้จากการจำลอง (ข) ผลที่ได้จากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทสรุปย่อ	II
บทคัดย่อ.....	III
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
บทที่ 2 การทดสอบและผลการทดสอบ	6
2.1 การทดสอบวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ	7
2.2 การทดสอบวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	8
บทที่ 3 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	13
3.1 สรุปผลการวิจัย	13
3.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	13
บทที่ 4 เอกสารอ้างอิง.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

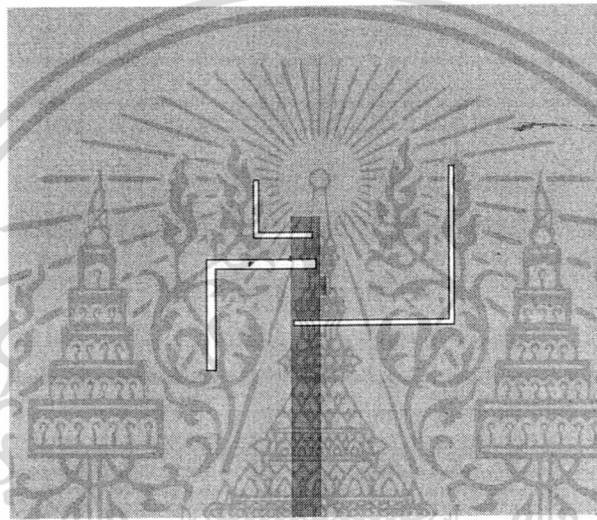
การสื่อสารรับ-ส่งข้อมูลสามารถใช้ตัวกลางในการส่งผ่านได้หลายอย่าง ได้แก่ การใช้สายนำสัญญาณที่เป็นโลหะ (coaxial cable/twin lead) การใช้สายนำสัญญาณที่เป็นฉนวน คือเส้นใยนำแสง (fiber optic) และการใช้สายอากาศในการส่งผ่านออกไปในอากาศ ซึ่งการใช้สายอากาศเป็นตัวส่งสัญญาณที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะได้รับความนิยมมาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และการพัฒนาสายอากาศก็จะขึ้นอยู่กับระบบสื่อสารที่ใช้ สายอากาศจะถูกสร้างเพื่อรองรับการใช้งานรับ-ส่งคลื่นสัญญาณในระบบต่าง ๆ เช่น วิทยุและโทรทัศน์ ระบบดาวเทียม ระบบมือถือ ระบบวิทยุเคลื่อนที่ ระบบคลื่นสัญญาณไร้สายติดต่อระหว่างจุดต่อจุด เป็นต้น นอกจากนี้สายอากาศที่นิยมใช้ในอดีตจะเป็นสายอากาศที่ใช้เฉพาะแต่ละความถี่โดยมักจะเป็นการออกแบบสำหรับการรับสัญญาณเพียงความถี่เดียวที่อาจเป็นแถบความถี่แคบหรือกว้างตามลักษณะงานที่จะนำไปใช้ แต่ปัจจุบันความต้องการในการใช้งานในการส่งผ่านสัญญาณมีมากขึ้น จึงทำให้ต้องมีการขยายแถบความถี่ใช้งานขึ้นไปในย่านความถี่ที่สูงขึ้นจึงได้มีการจัดสรรย่านความถี่แต่ละย่านเพื่อรองรับกับงานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดงานพัฒนาสายอากาศที่จะนำไปใช้ให้ตรงกับความต้องการ ซึ่งสายอากาศที่ได้รับความนิยมจะต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และข้อสำคัญต้องสามารถรองรับกับการใช้งานในย่านความถี่กว้าง หรืออาจใช้ได้สองความถี่ตามมาตรฐานของระบบงานที่กำหนด โดยจะมีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านวัสดุฐานรอง (substrate) ซึ่งเป็นฉนวน หรือเรียกกันว่า เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ (technology print circuit board) มาใช้ในการสร้างสายอากาศ ซึ่งจะทำให้สายอากาศชนิดนี้มีขนาดเล็กลงได้ โดยจะนิยมใช้ในย่านความถี่สูงที่เป็นย่านความถี่ไมโครเวฟ และในปัจจุบันการพัฒนาออกแบบสายอากาศก็มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีแนวโน้มในการออกแบบสายอากาศให้สามารถรองรับงานได้หลาย ๆ ความถี่ (multi resonant frequency) หรือเป็นแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband)

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาสายอากาศที่สามารถใช้งานได้สามความถี่ เพื่อนำไปใช้กับระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g/a โดยสายอากาศที่ออกแบบและทดลองสร้างจริงนี้จะเป็นสายอากาศแบบช่องเปิดรูปมุมฉากจำนวนตั้งแต่หนึ่งตัวถึงสามตัวเพื่อให้ใช้งานได้ความถี่เดียว สองความถี่ และสามความถี่ ซึ่งสายอากาศสามตัวที่สร้างรวมอยู่ด้วยกันเพื่อให้ได้สามความถี่นี้จะมีข้อดี คือทุกตัวถูกออกแบบมาเพื่อใช้เฉพาะความถี่ที่ไม่ซ้ำกัน ทำให้ในภาพรวมแล้วสายอากาศทั้งหมดนี้มีอัตราขยายเพิ่มขึ้นและสามารถควบคุมความถี่ให้ได้ตามที่ต้องการ

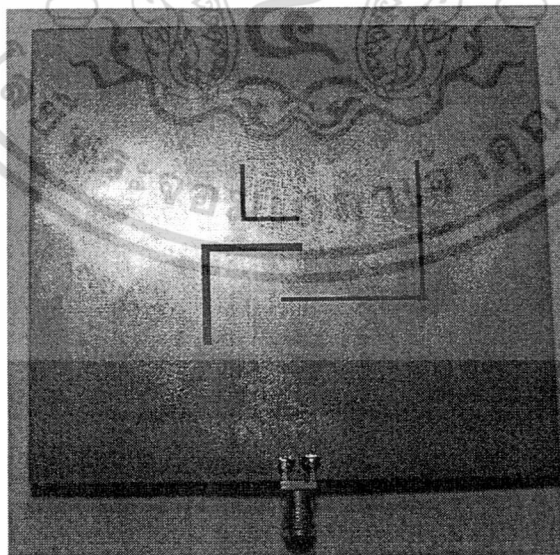
บทที่ 2

การทดสอบและผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างสายอากาศจริง ซึ่งได้วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศเพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผลที่ได้จากการคำนวณว่ามีความแม่นยำถูกต้องเพียงใด โดยได้เลือกรูปแบบสายอากาศที่ให้คุณลักษณะที่ดีที่สุดจากการจำลองในขั้นตอนสุดท้ายมาทำการสร้างและทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 (ก) โครงสร้างสายอากาศที่ให้คุณลักษณะที่ดีที่สุดจากการจำลอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

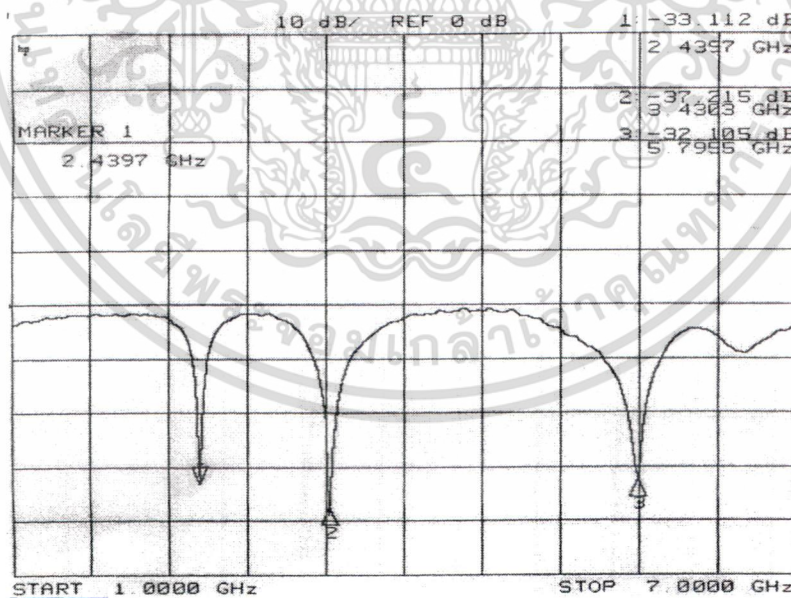
สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นจะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ การทดสอบวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และการทดสอบวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะของสายอากาศจากการจำลอง

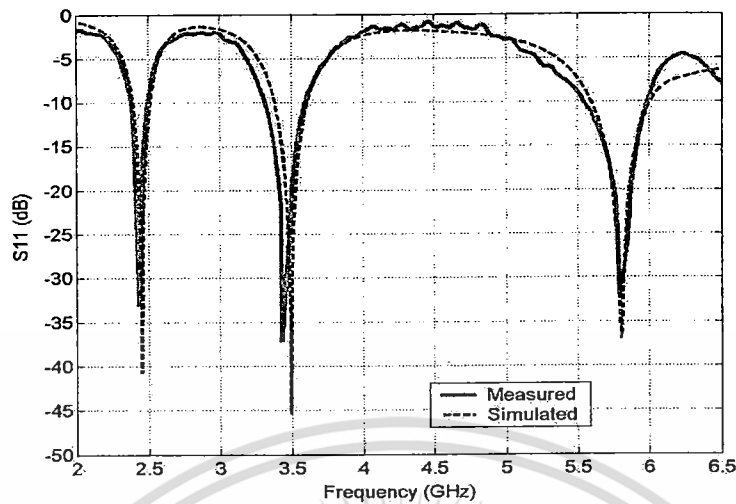
Frequency(GHz)	S11 (dB)	Zin (ohm)	vswr	BW (GHz)	Gain (dBi)
2.45	-40.78	50.5-0.7742	1.018:1	2.387-2.52	2.939
3.45	-45.38	49.99+0.5383j	1.011:1	3.37-3.62	3.574
5.8	-37.01	50.82+1.164j	1.029:1	5.58-6.022	5.596

2.1 การทดสอบวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

สำหรับวิธีการทดสอบทำการต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้า (Network Analyzer) โดยทำการป้อนสัญญาณ Sine Wave อยู่ในช่วงความถี่ 1 ถึง 7 GHz ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 2.2 และทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลองดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายผลการวัดจริงของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศ



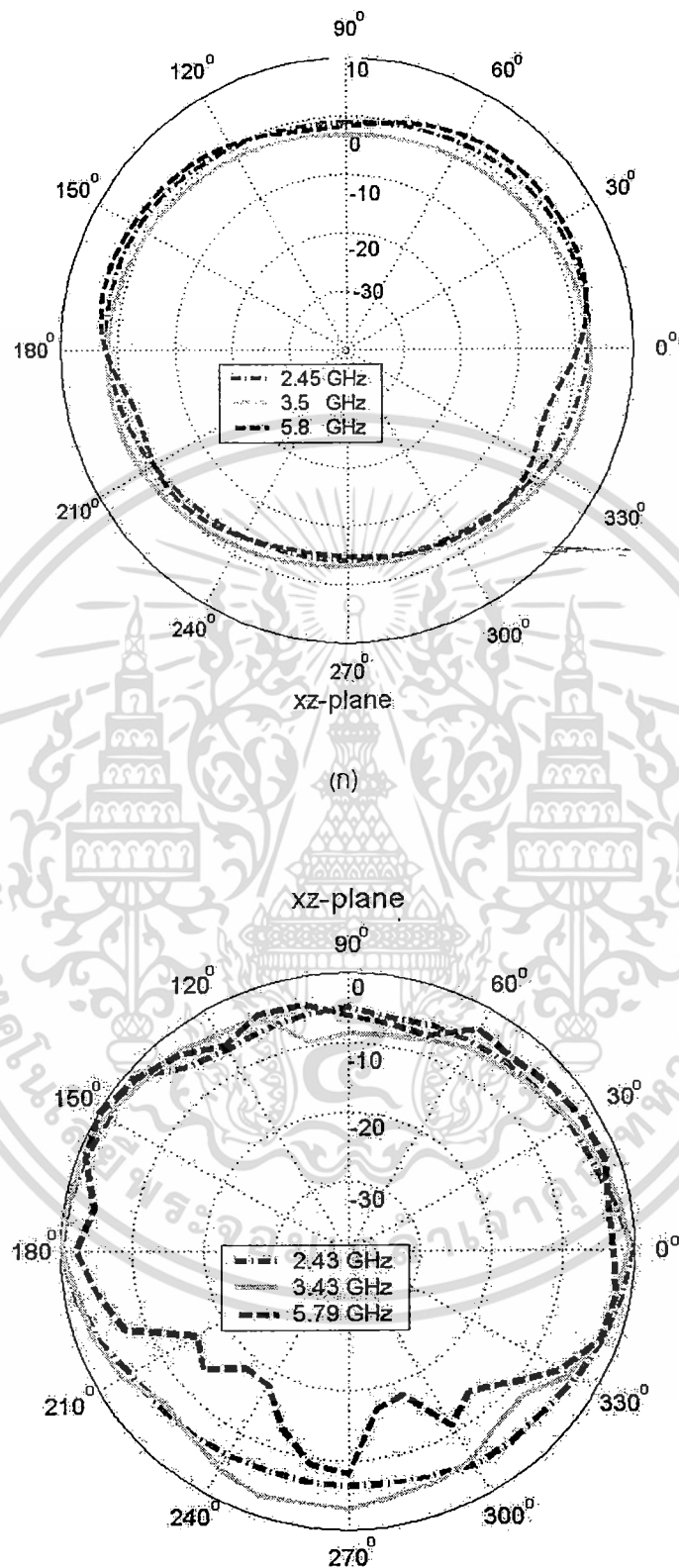
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับระหว่างสายอากาศจำลองด้วยโปรแกรมกับสายอากาศที่วัดได้

เมื่อนำผลที่ได้จากการวัดชิ้นงานจริงมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งการวัดชิ้นงานจริงจะมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า แต่ในช่วงความถี่กลางที่ประมาณ 3 – 5 GHz นั้น ค่าการสูญเสียย้อนกลับไม่ดีเท่ากับการจำลอง

2.2 การทดสอบวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

ในการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ จะใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator) เป็นตัวป้อนสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz, 3.45 GHz และ 5.8 GHz ส่งกำลังคลื่นออกไป 10 dBm โดยผ่านสายโคแอกเซียล (Coaxial cable) ชนิด RG-142 ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 Ω ไปยังสายอากาศ (Horn Antenna) ที่เป็นตัวส่งสัญญาณแผ่ไปยังสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่เป็นตัวรับสัญญาณ ซึ่งเป็นสายอากาศที่จะทำการทดสอบโดยผ่านสายโคแอกเซียลเข้าเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) ยี่ห้อ Hewlett Packard ซึ่งจะแสดงค่าความแรงของสัญญาณความถี่สูงที่รับได้ สำหรับตำแหน่งความสูงของสายอากาศทั้งสองมีค่าเท่ากับ 120 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองมีค่าเท่ากับ 60 เซนติเมตร โดยจะทำการหมุนสายอากาศทดสอบตั้งแต่ 0 องศา ไปที่ละ 10 องศา จนครบรอบ 360 องศา การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจะทำการวัดทั้งสองระนาบ คือ ระนาบ x-z (E – plane) และ ระนาบ y-z (H – plane) ซึ่งในแต่ละระนาบจะทำการวัดระดับของสายอากาศที่เป็นโพลาไรซ์เซชันเดียวกัน (Co-Polarization)

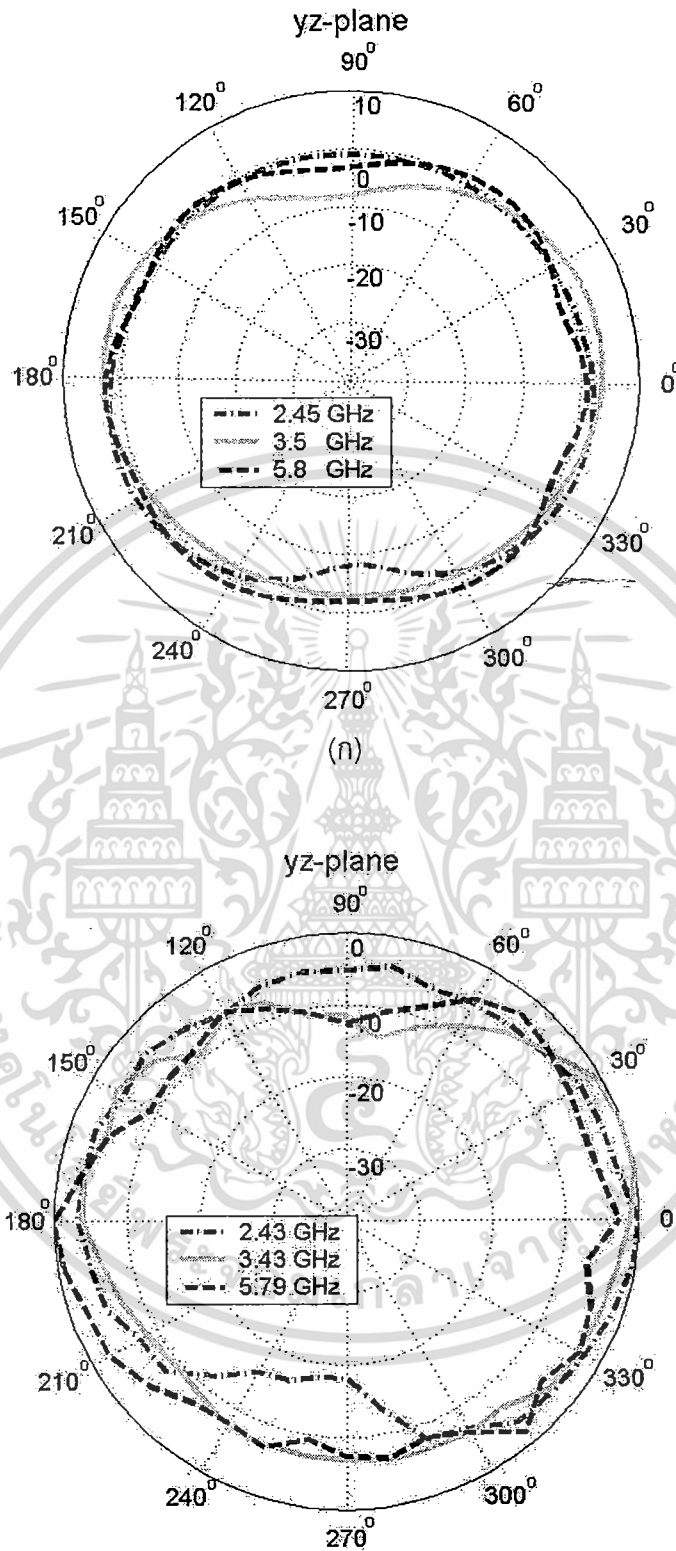
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.5 คุณลักษณะของ Radiation Patterns ที่ ระนาบ X-Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ก) ผลที่ได้จากการจำลอง (ข) ผลที่ได้จากการวัดจริง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.6 คุณลักษณะของ Radiation Patterns ที่ ระนาบ Y-Z

(ก) ผลที่ได้จากการจำลอง (ข) ผลที่ได้จากการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม IE3D มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามระนาบ สายอากาศมีลักษณะการโพลารไรซ์เซชันเป็นแบบวงกลม (Omni-Directional) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากผลการทดสอบกับการจำลองนั้น อาจเกิดจากมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง และความยาวของสายนำสัญญาณจะมีผลทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณภายในสายนำสัญญาณ



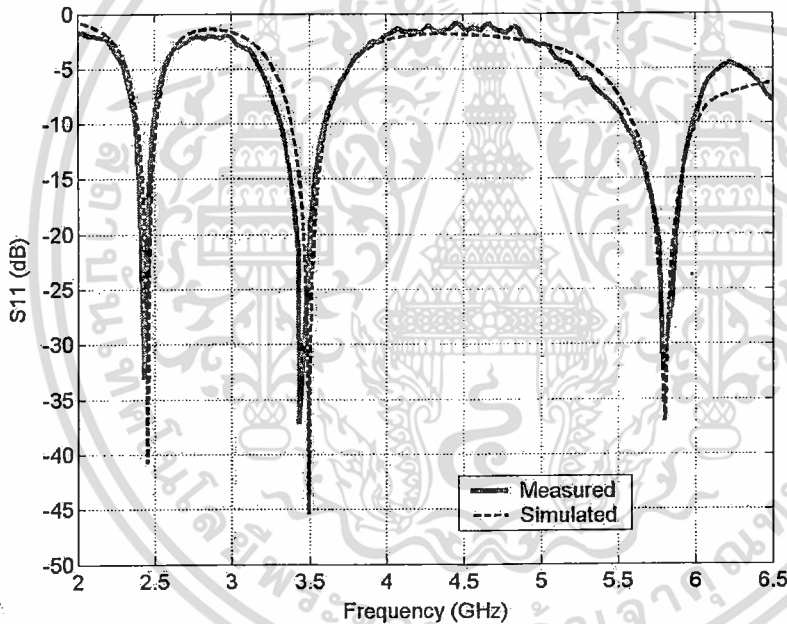
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

3.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบสายอากาศให้ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของระบบสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN) คือ IEEE 802.11b/g IEEE 802.11a และครอบคลุมโครงข่าย Wimax (3.5 GHz) โดยออกแบบเป็นสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดมุมฉากป้อนด้วยสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป ในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างสายอากาศโดยใช้วิธี MoM ของโปรแกรม IE3D ซึ่งจากการวิเคราะห์และออกแบบนี้ทำให้สายอากาศสามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 2.45 GHz, 3.45 GHz และ 5.8 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้สลับจูนนิ่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาคุณลักษณะของสายอากาศโดยเทคนิคการเปลี่ยนรูปร่างสลับจูนนิ่ง อาจเป็นพื้นฐานที่จะนำไปออกแบบสายอากาศให้มีการตอบสนองในช่วงความถี่อื่น ๆ ได้ เช่น Ultra wideband แต่ถ้าจะใช้โครงสร้างจากงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการออกแบบในช่วงความถี่ดังกล่าวจะต้องลดขนาดของสายอากาศลงก่อน สำหรับการออกแบบสร้างชิ้นงาน ในการบัดกรีหัวต่อ (Connector: SMA Port) เข้ากับชิ้นงานสายอากาศ ต้องระวังไม่ให้สายนำสัญญาณและกราวด์ต่อกันและจะต้องบัดกรีให้แกนกลางตั้งฉากกับสายอากาศ เพราะมีผลกับการวัดสนามไฟฟ้าของสายอากาศ

บทที่ 4

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, Singapore: John Wiley & Son, 1997.
- [2] J. Yeo, Y. Lee and R. Mittra, "Design of a wideband planar volcano-smoke slot antenna (PVSA) for wireless communications," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 2, pp. 655-658, June. 2003.
- [3] K. C. Gupta, I. J. Bahl and P. Bhartia, *Microstrip line and slotlines*, Norwood, MA: Artech House, 2000.
- [4] David C. Chang, Jian X. Zheng, "Electromagnetic modeling of passive circuit elements in MMIC," *IEEE Trans., Microwave Theory and Techniques*, vol. 40, Issue 9, pp. 1741-1747, Sept. 1992.
- [5] *IE3D User's Manual 10*, Zeland Software, Inc., U.S.A., 2002.
- [6] Juan R. Mosig, "Arbitrarily shaped microstrip structures and their analysis with a mixed potential integral equation," *IEEE Trans. Microwave theory and techniques*, vol. 36, no. 2, pp. 314-323, Feb. 1988.