

สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยี
บรอดแบนด์ไร้สาย

COMPACT THIN-FILM ANTENNA WITH C-SHAPE FOR BWA
TECHNOLOGIES

พรเทพ ทองย้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยี
บรอดแบนด์ไร้สาย

พรเทพ ทองย้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สาย
ชื่อ-นามสกุล	นายพรเทพ ทองย้อย
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ, วศ.ค.
ปีการศึกษา	2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์อำนวยการ เรื่องวาริ, Dr.-Lng.)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กนก เจนจิระพงศ์เวช, D.Eng.)

.....กรรมการ
(อาจารย์ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล, Ph.D.)

.....กรรมการ
(อาจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ, วศ.ค.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)

วันที่ 10 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย
ชื่อ - นามสกุล	นายพรเทพ ทองย่อย
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ, วศ.ค.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศช่องเปิดที่ถูกกระตุ้นด้วยสายส่งสัญญาณระนาบร่วม โดยสายอากาศที่นำเสนอจะถูกสร้างอยู่บนวัสดุฐานรองแบบไม่ถ่วงน้ำหนักสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย (Broadband Wireless Access : BWA)

สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสัณฐานรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ออกแบบโดยการใช้สัณฐานรูปคล้ายอักษรซีขอบโค้ง ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยสายส่งสัญญาณระนาบร่วม โดยมุมของสัณฐานและระนาบกราวด์จะถูกออกแบบให้เป็นขอบโค้ง โดยใช้วัสดุฐานรองที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 3.2 และมีความหนา 0.4 มิลลิเมตร สำหรับสายอากาศที่นำเสนอมีขนาด 53.3×60 ตารางมิลลิเมตร และมีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วงความถี่ 1.8 - 11.6 GHz ซึ่งจะถูกวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IE3D ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี (Method of Moment : MoM)

จากผลการจำลองการทำงานและทดสอบสายอากาศแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอมีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วง 1.9 - 12.5 GHz ซึ่งมีอัตราขยายในช่วงความถี่ใช้งานโดยเฉลี่ยจะมีค่าที่สูงกว่า 2 dBi ซึ่งสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสัณฐานรูปตัวซีในวิทยานิพนธ์นี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

คำสำคัญ : สายอากาศฟิล์มบาง เทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย รูปตัวซี โปรแกรม IE3D

Thesis Title	Compact Thin-Film Antenna with C-Shape for BWA Technology
Name - Surname	Mr. Pornthep Thongyoy
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Paitoon Rakluea, D.Eng.
Academic Year	2012

ABSTRACT

This thesis presents a design of the slot antenna, fed by Coplanar Waveguide (CPW). The proposed antenna is fabricated on a mylar polyester film substrate for the applications of Broadband Wireless Access (BWA) technology.

Compact thin-film antenna with C-Shape for BWA technology designed using C shape stub fed by CPW. The gap between the stub and the ground plane is being designed as a curved edge. The proposed antenna have a dielectric constant 3.2 and a thickness 0.4 mm. The size of the proposed antenna is 53.3 x 60 mm². The antenna was analyzed using the commercial IE3D software, which is based on the Method of Moment (MoM).

Simulated and measured result shows that the proposed antenna has the bandwidth of frequency band from 1.9 - 12.5 GHz. The gain of antenna in operating frequency band average is greater than 2 dBi, which compact thin-film antenna with C-Shape in this thesis suitable for applying to various portable BWA technology.

Keywords : thin-film antenna, broadband wireless access technologies, c-shape, ie3d

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ กรรมการวิชาเอกที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.อำนาจ เรืองวารี ประธานกรรมการ ดร.ถัตรีชัย ศุภพิทักษ์สกุล กรรมการวิชาเอกและ รองศาสตราจารย์ ดร.กนก เจริญพงษ์เวช กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า และให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือ และสถานที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.ศราวุธ ชัยมูล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คุณชวลิต รักเหลือ และ คุณชนันต์ หงส์นรา นักศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือวัด และการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุ Mylar polyester film

ขอขอบคุณ คุณบุญฤทธิ์ คุ่มเขต และ คุณทินวัฒน์ จังจริง นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า สาขา อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ สำหรับข้อมูลการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และแนวคิด ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ฉงน ทองย้อย มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและแนวความคิด ผู้ให้กำลังใจเสมอมา และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรเทพ ทองย้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เทคโนโลยีการเข้าถึงบรอดแบนด์ไร้สาย.....	4
2.2 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์.....	5
2.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์.....	8
2.4 ข้อกำหนดของระบบอัลตราไวด์แบนด์.....	10
2.5 หลักการพื้นฐานของระบบอัลตราไวด์แบนด์.....	11
2.6 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม.....	12
2.7 การวัดและวิเคราะห์สายอากาศ.....	18
2.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป.....	20
2.9 ทฤษฎีพื้นฐานและการนำไปใช้ในการจำลองสายอากาศของโปรแกรม IE3D.....	21
3 การออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.1 การออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สาย ที่กระตุ้นแบบ Coplanar Waveguide (CPW).....	26
3.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซี สำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	31
4 การทดสอบและผลการทดลอง	48
4.1 การทดสอบและผลการทดลองของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษร ซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย	48
5 สรุปผลการวิจัย.....	67
5.1 สรุป.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก ภาพต้นแบบ สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับ เทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สาย	75
ภาคผนวก ข ผลการวัดคุณลักษณะต่างๆ ของไมล้าฟิล์ม และ DATA SHEET.....	77
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	10
2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	12
3.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศไมล่าวีลสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์	31
4.1 ผลเปรียบเทียบการจำลองกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย	51



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่น	6
2.2 เปรียบเทียบอัตราข้อมูลต่อบิตและระยะทางระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่นๆ	8
2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในอาคาร โครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย	9
2.4 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	10
2.5 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคารระหว่าง FCC และ ETSI	11
2.6 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ภายนอกอาคารระหว่าง FCC และ ETSI.....	12
2.7 โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง (Coplanar Waveguide: CPW)	14
2.8 โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดมีกราวด์ด้านล่าง (Conductor-Backed Coplanar Waveguide: CBCPW).....	18
3.1 โครงสร้างของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	27
3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	27
3.3 แบบรูปช่องเปิดของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สาย ที่พารามิเตอร์ L_s , W_s และ R	32
3.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ W_s	32
3.5 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_s	33
3.6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ R	33
3.7 แบบรูปสัณฐานคล้ายสี่เหลี่ยมของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่พารามิเตอร์ L_p , L_c , L_t , W_p , R_c และ R_s	34
3.8 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_p	34
3.9 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_c	35
3.10 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_t	35

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.11 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ Wp	36
3.12 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ Rc	36
3.13 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ Rs	37
3.14 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	38
3.15 ค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	38
3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 1.9 GHz.....	39
3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.1 GHz.....	40
3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.35 GHz.....	40
3.19 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.45 GHz.....	41
3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.6 GHz.....	41
3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 3.5 GHz.....	42
3.22 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 5.2 GHz.....	42
3.23 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 5.5 GHz.....	43
3.24 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 5.8 GHz.....	43
3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 7 GHz.....	44
3.26 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	45
4.1 เครื่องมือวัดวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น E8363B.....	48
4.2 วิธีการวัดและวิเคราะห์สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	49
4.3 ผลการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	49
4.4 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	50

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 การเปรียบเทียบการจำลองของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย	51
4.6 การเปรียบเทียบการจำลองของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย	52
4.7 การทดสอบวัดอัตราขยายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย	53
4.8 เปรียบเทียบผลการวัดและการจำลองแบบของค่าอัตราขยายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย	54
4.9 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ในแนวระนาบ x-z.....	55
4.10 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายในแนวระนาบ y-z.....	55
4.11 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 1.9 GHz.....	56
4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.1 GHz.....	56
4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.35 GHz.....	57
4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz.....	57
4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.6 GHz.....	58
4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz.....	58
4.17 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz.....	59
4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 5.5 GHz.....	59
4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz.....	60
4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 7 GHz.....	60
4.21 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 1.9 GHz.....	61
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 2.1 GHz.....	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

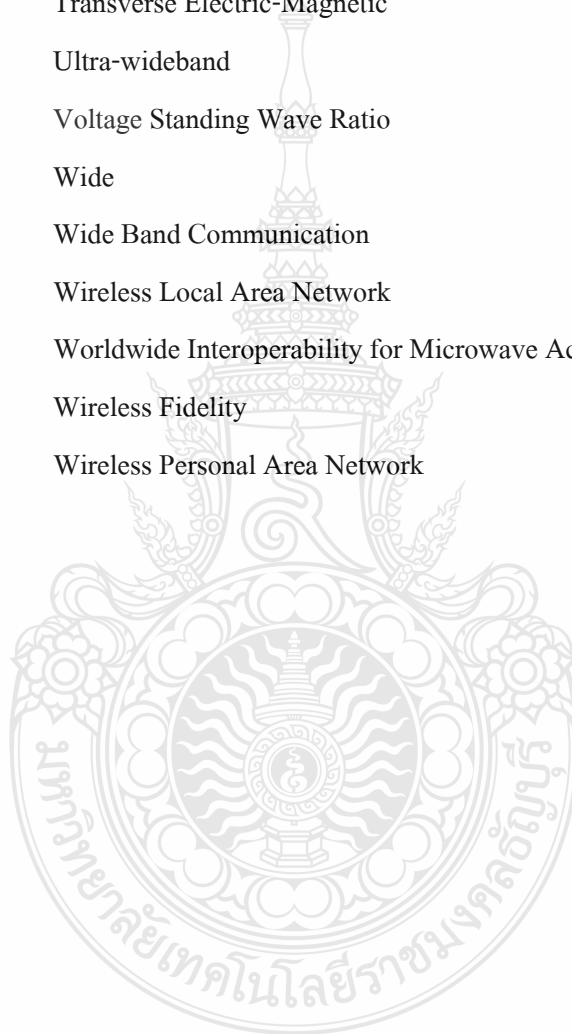
ภาพที่	หน้า
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 2.35 GHz.....	62
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 2.45 GHz.....	62
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 2.6 GHz.....	63
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 3.5 GHz.....	63
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 5.2 GHz.....	64
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 5.5 GHz.....	65
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 5.8 GHz.....	65
4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ ความถี่ 7 GHz.....	66
5.1 การเปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองและการวัดจริงของสายอากาศ ฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	68
5.2 การเปรียบเทียบการจำลองวัดค่าอัตราขยายกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบาง ขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย.....	68

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Δ	Delta
Bf	Band width Factor
BW	Band Width
BWA	Broadband Wireless Access
C	Capacitor
CBCPW	Concoctor-Backed Co-Planar Waveguide
CPW	Coplanar Waveguide
d	Distance
dB	Decibel
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FAA	Federal Aviation Administration
FCC	Federal Communications Commission
FFT	Fast Fourier Transform
f	Frequency
f_c	Frequency Center
f_h	Frequency High
f_l	Frequency Low
f_r	Frequency Resonance
GHz	Giga Hertz
h	High
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU	International Telecommunication Union
L	Long
MOM	Method of Moment
MHz	Mega Hertz
mm	Millimeter

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Q	Quality Factor
RF	Radio Frequency
S_{11}	Return Loss
TEM	Transverse Electric-Magnetic
UWB	Ultra-wideband
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
W	Wide
WBC	Wide Band Communication
WLAN	Wireless Local Area Network
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WiFi	Wireless Fidelity
WPAN	Wireless Personal Area Network



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมได้มีการพัฒนาไปอย่างแพร่หลาย และขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายรวมถึงระบบสื่อสารที่เป็นโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในอาคารสำนักงานสถานที่ต่างๆ หรือในอาคารบ้านเรือน เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ นั้นมีความสะดวกสบาย มีความคล่องตัว โดยไม่จำเป็นที่จะต้องเดินสายนำสัญญาณจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอีกอุปกรณ์หนึ่งให้ยุ่งยาก รวมทั้งยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายได้อีกด้วย ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมต่อดังกล่าวจะใช้เทคโนโลยี Wi-Fi และ Bluetooth แต่เทคโนโลยีเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น แบนด์วิดท์แคบ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลไม่มากนัก ไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียได้ ซึ่งไม่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างไม่หยุดยั้ง และปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับเทคโนโลยี BWA

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีการใช้งานที่สูงมากในปัจจุบันและมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการใช้งานที่สูงมากในอนาคต ทำให้มีผลกระทบต่อการวางมาตรฐานและการจัดสรรคลื่นความถี่ของประเทศต่างๆ ทั่วโลกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ประกอบกับมีการกำหนดนโยบายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารโทรคมนาคม ในระดับสากลโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ International Telecommunication Union (ITU) จึงทำให้มีความจำเป็นที่ประเทศต่างๆ ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย จะต้องให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการการใช้งานเทคโนโลยีดังกล่าว ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ โดยทั่วไป การดำเนินการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับกิจการ BWA หรือที่รู้จักกันในนาม WiMAX มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านโทรคมนาคมของชาติเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจาก BWA เป็นเทคโนโลยีที่ให้บริการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงด้วยความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) มากกว่า 1 MHz และรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงกว่า 1.544 Mbps ซึ่งสามารถนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้

งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาและวิเคราะห์ห่ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับเทคโนโลยี BWA โดยใช้วัสดุฐานรองแบบใหม่ซึ่งมีขนาดที่บางกว่า FR-4 และสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานใน

เทคโนโลยี BWA ได้ ซึ่งการออกแบบสายอากาศมีการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IE3D (Zeland) รวมทั้งทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ โดยสายอากาศที่ออกแบบจะมีขนาดเล็ก โครงสร้างไม่ซับซ้อน มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดีและค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้โดยมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ 1.8-11.6 GHz (Federal Communication Commission: FCC) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไร้สายอัลตรา ไวด์แบนด์ และเทคโนโลยี BWA ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

1.2.2 ศึกษาการออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่กระตุ้นด้วยสายส่งแบบระนาบร่วม Co-Planar Waveguide (CPW)

1.2.3 วิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D (Zeland)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ออกแบบและทดสอบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่มีการกระตุ้นด้วยสายส่งแบบระนาบร่วม

1.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะและพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศเพื่อในการออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

1.3.3 ได้สายอากาศต้นแบบที่มีแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 1.8-11.6 GHz รวมถึงอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain) ไม่ต่ำกว่า 2 dBi ในย่านความถี่ใช้งาน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษางานวิจัยและหนังสือที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.4.2 ออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ตลอดย่านความถี่ 1.8-11.6 GHz สำหรับเทคโนโลยี BWA

1.4.3 ศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ออกแบบเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรของสายอากาศ

1.4.4 ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ตลอดย่านความถี่ 1.8-11.6 GHz

1.4.5 บันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ตลอดย่านความถี่ 1.8-11.6 GHz

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

สำหรับรายละเอียดวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ถูกกระตุ้นด้วยสายส่งแบบ (Co-Planar Waveguide: CPW) จำลองผลการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D (Zeland) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท โดยสรุปดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาของการวิจัย วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษา และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีพื้นฐานของเทคโนโลยี BWA ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศแบบ CPW รวมถึงทฤษฎีพื้นฐานของโปรแกรม IE3D (Zeland)

บทที่ 3 เสนอการออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย โดยการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศจากสมการ ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้วยการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม IE3D (Zeland)

บทที่ 4 ทดสอบการทำงานของสายอากาศฟิล์มบางต้นแบบที่กล่าวในบทที่ 3 โดยเครื่องวัดวิเคราะห์โครงข่าย Agilent PNA Network Analyzers E8363B

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และการเสนอแนะผลการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ทั้งหมดเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบและทดสอบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยี BWA ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย เทคโนโลยีของ BWA และทฤษฎีของสายนำสัญญาณระนาบร่วมรวมถึงโครงสร้างของสายอากาศสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ที่มีการป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วม นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์สายอากาศและโปรแกรมจำลองการทำงานของสายอากาศ IE3D (Zeland)

2.1 เทคโนโลยีการเข้าถึงบรอดแบนด์ไร้สาย [1]

ในปัจจุบัน มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลายแบบสำหรับการเข้าใช้บรอดแบนด์ไร้สายโดยองค์กร มาตรฐานระดับนานาชาติ การพัฒนาเทคโนโลยีมีลักษณะเป็นการปรับปรุงเทคโนโลยีเดิมให้สามารถเข้าใช้ บรอดแบนด์ไร้สายได้ หรือเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่สำหรับบรอดแบนด์ไร้สาย เทคโนโลยีบรอดแบนด์นำมาใช้ตามลักษณะของโครงข่ายการใช้งานแบ่งได้ตามลักษณะ ของการเข้าใช้โครงข่าย (Network) ดังนี้

2.1.1 โครงข่ายรอบตัวบุคคล (Personal Area Network: PAN)

เทคโนโลยี WPAN ถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15 และมีมาตรฐานย่อย IEEE 802.15.1 ที่เป็นมาตรฐานเฉพาะของเทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) ซึ่งในขั้นต้นได้เสนอมาตรฐานนี้ โดยการร่วมกันของผู้ผลิตจากหลายบริษัท โดยการใช้งานในปัจจุบันนั้น การส่งข้อมูลด้วย Bluetooth สามารถใช้งานแทนการส่งผ่านสาย (Cable) และมีระยะการส่งถึง 20 เมตร ต่อมามีการเสนอมาตรฐาน IEEE 802.15.3a เป็นมาตรฐานสำหรับระบบ Ultra Wide Band (UWB) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายที่มีอัตราการรับส่งสูงมาก (11Mbps – 55Mbps) และมีระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ (ไม่เกิน 20 เมตร) ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ยังไม่มีความสมบูรณ์และยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่วนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานระบบ ZigBee ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนน้อย ออกแบบมาเพื่อเป็นโครงข่ายไร้สายสำหรับอุปกรณ์ควบคุม ในโรงงานอุตสาหกรรม

2.1.2 โครงข่ายท้องถิ่น (Local Area Network: LAN)

มาตรฐาน IEEE 802.11 WLAN หรือ แลนไร้สาย เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในนามเทคโนโลยี Wi-Fi และเป็นที่ยอมรับมาก มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วย

สื่ออินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุที่มีความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกการรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่ยอมรับกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i

2.1.3 โครงข่ายครอบคลุมพื้นที่กว้าง (Wide Area Network: WAN)

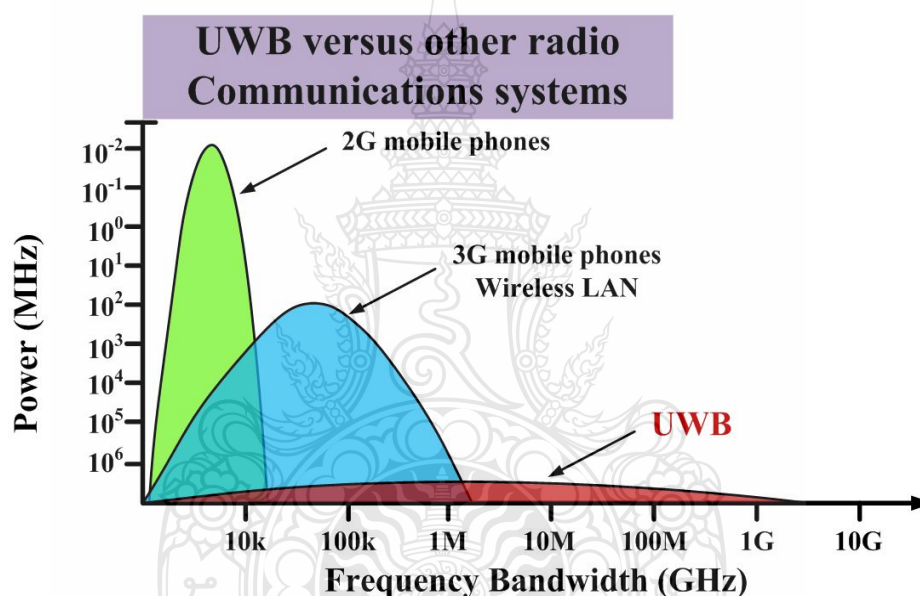
มาตรฐาน IEEE 802.16 เป็นมาตรฐานเทคโนโลยีล่าสุดมาตรฐานหนึ่งที่กำหนดสำหรับ BWA (Broadband Wireless Access) ซึ่งถือว่าเป็นโครงข่ายที่มีพื้นที่ครอบคลุมในการให้บริการที่กว้างขวาง (WAN) พัฒนาขึ้นโดย IEEE ของสหรัฐอเมริกา โดยภาคอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตอุปกรณ์ ผู้พัฒนา chipset และผู้ประกอบการ ได้รวมตัวกันก่อตั้ง WiMAX Forum หรือ Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum เป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร มีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนและพัฒนาอุปกรณ์เครือข่ายให้มาตรฐานในกลุ่ม IEEE 802.16 เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างๆ สามารถใช้งานร่วมกันได้ เกิดความกลมกลืนของมาตรฐานและมีราคาเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น IEEE 802.16 จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า WiMAX

BWA เป็นระบบเครือข่ายที่มีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากกว่า WLAN หรือ Wi-Fi โดยแท้จริงแล้วมาตรฐาน IEEE 802.16 BWA แบ่งได้ 2 แบบ คือ (1) มาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ซึ่งกำหนดใช้ได้ในลักษณะการเข้าถึงแบบอยู่กับที่ (Fixed Wireless Access) เรียกว่า WMAN และ (2) มาตรฐาน IEEE 802.16e ซึ่งเป็นการปรับปรุงพัฒนามาจากมาตรฐาน IEEE 802.16-2004 ที่ได้ประกาศเป็นมาตรฐานในเดือนธันวาคม 2005 โดยวัตถุประสงค์ของมาตรฐาน IEEE 802.16e เพื่อให้ใช้งานในขณะที่มีการเคลื่อนที่ และมีประสิทธิภาพการ Roaming ข้ามเซลล์ที่ดีกว่า

2.2 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ [2-5]

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาประเทศ และชีวิตความเป็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น การติดต่อสื่อสารทางไกลทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ การประชุมผ่านทางไกล การเรียนการสอนผ่านทางไกล การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล การติดต่อสื่อสารระยะสั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น โครงข่ายในสำนักงาน และการโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเหล่านี้ล้วนแล้วมีความ

ต้องการความเร็วสูงมากในการส่งผ่านข้อมูล ดังนั้นเพื่อให้ได้ตามความต้องการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งความกว้างของแถบความถี่ และความจุของช่องสัญญาณ จึงเป็นประเด็นการพัฒนาเข้าไปสู่เทคโนโลยี 3G 4G 5G และ WiMAX ในอนาคตอันใกล้นี้ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก ๆ สำหรับการศึกษาวิจัย มีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมากมายที่ได้รับความสนใจ แต่มีเทคโนโลยีหนึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมาก คือ เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ เพราะมีแบนด์วิดท์กว้างมากถึง 7.5 GHz ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และใช้กำลังงานต่ำ บนมาตรฐาน IEEE802.15.3a หรือ WPAN ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่น

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจึงเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาระบบ ไร้สายแบบแถบกว้าง ทั้งในปัจจุบันและอนาคต สามารถประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารต่างๆ ได้มากมาย ซึ่งเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนามาจากระบบเรดาร์ที่ใช้ในด้านทางการทหาร และได้เล็งเห็นถึงประโยชน์มหาศาลที่สามารถออกแบบมาใช้ในระบบ ไร้สายที่ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง สำหรับพลเรือน จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้มีการรับส่งข้อมูลด้วยสัญญาณพัลส์ที่แคบมาก เป็น ns ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบๆ จะมีสเปกตรัมที่กว้างมาก จึงทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้มีราคาถูกลง เนื่องจากอุปกรณ์ภาครับและภาคการรับส่งสัญญาณแบบอิมพัลส์ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ขนาด

เล็ก ทำให้ใช้กำลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบแคบที่ใช้กันอยู่ อีกประการหนึ่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะเห็นว่ามีสัดส่วนมากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก ซึ่งอยู่บนสัดส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังสมการที่ 2.1

$$\% B_f = \frac{BW}{f_c} \times 100\% = \frac{2(f_h - f_l)}{(f_h + f_l)} \times 100\% \quad (2.1)$$

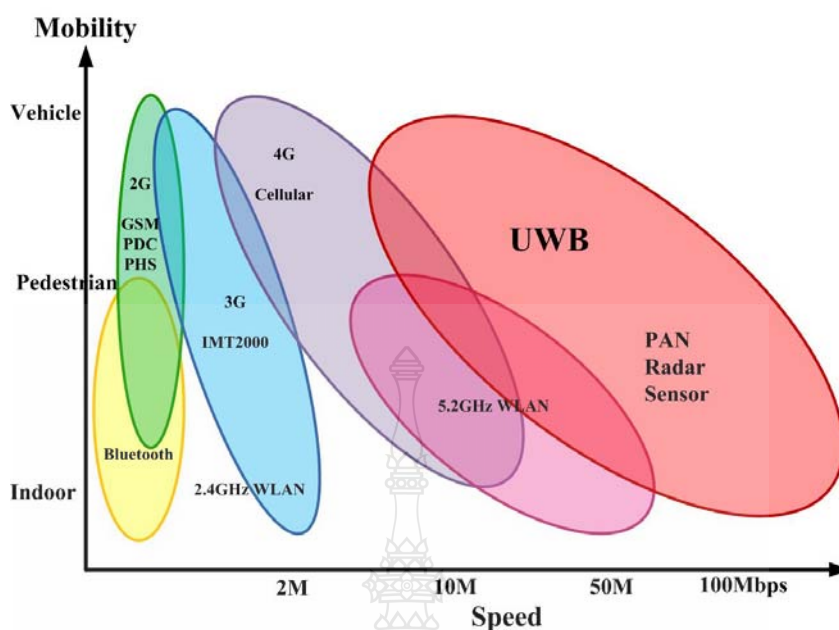
ซึ่ง f_h คือความถี่สูงสุดและ f_l คือความถี่ต่ำสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบอัลตราไวด์แบนด์จากคุณสมบัติต่างๆ ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ที่ได้กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้งานในลักษณะของโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless personal area networks: WPANs) การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในการรับส่งข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดีย ที่มีขนาดของข้อมูลที่ใหญ่ ต้องการความเร็วสูงในการรับส่ง เช่น การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องวิดีโอ กล้องถ่ายรูป เครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งก็มีคุณสมบัติคือ สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงใช้ในระยะทางสั้นที่ระยะทาง 10 เมตร จะมีความเร็ว 110 Mb/s และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีความเร็วสูงถึง 480 Mb/s

ความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราข้อมูลต่อบิตสูง ดังแสดงการเปรียบเทียบไว้ในภาพที่ 2.2 ซึ่งขนาดความจุที่มากของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยังสามารถพิจารณาได้จากทฤษฎีของ Hartley-Shannon ดังสมการที่ 2.2

$$C_c = BW \log_2(1 + SNR) \quad (2.2)$$

เมื่อ

- C_c คือค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุด
- BW คือแบนด์วิดท์
- SNR คืออัตราส่วนสัญญาณกำลังงานต่อสัญญาณรบกวนกำลังงาน



ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบอัตราข้อมูลต่อบิตและระยะทางระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่นๆ

2.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ [2]

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารสำนักงาน และ โครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ที่มีความต้องการความเร็วสูง ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power Attenuation) โดยปัจจัยต่างๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น

2.3.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงานและภายในบ้านพักอาศัย

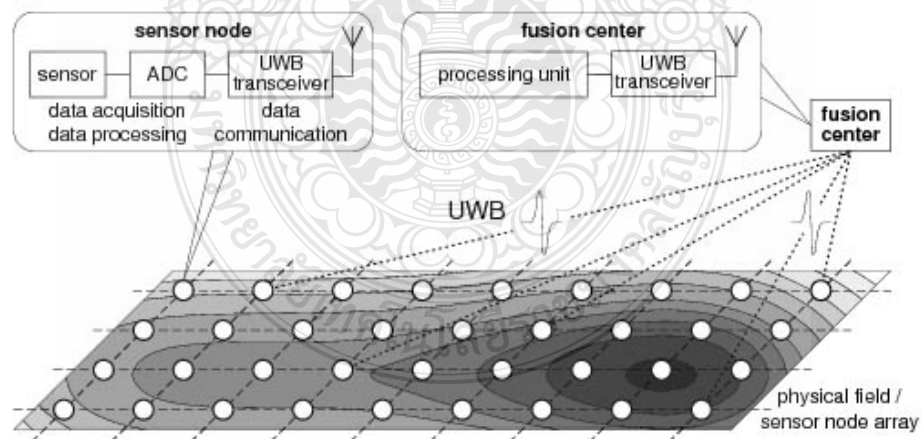
จากภาพที่ 2.3 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ของโครงข่ายสภาวะแวดล้อมภายใน สำนักงานและบ้านพักอาศัย จะมีลักษณะการนำไปใช้ติดต่อสื่อสารภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น กำแพง ประตู อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ผนัง สิ่งกีดขวางต่างๆ ซึ่งสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่ไม่เหมือนกัน คุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลกระทบต่ออย่างสูงทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านมีลักษณะแตกต่างกัน สามารถวิเคราะห์ได้ ซึ่งมีแนวทางการศึกษาวิจัย [6-7]



ภาพที่ 2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในอาคาร โครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย

2.3.2 การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง (UWB localization)

ในภาพที่ 2.4 เป็นลักษณะการใช้งานในการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถีและเวลาประวิง แต่อาจจะมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อสื่อสารในสภาวะแวดล้อมจริงได้ ทำให้เกิดการผิดพลาดในการหาพิจารณาตำแหน่งได้ [8]



ภาพที่ 2.4 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

2.4 ข้อกำหนดของระบบอัลตราไวด์แบนด์ [2-4, 6]

2.4.1 ข้อกำหนดของระบบอัลตราไวด์แบนด์ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ (Notice of inquiry: NOD) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบอัลตราไวด์แบนด์มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ (Federal Aviation Administration: FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบอัลตราไวด์แบนด์ด้วยเช่นกันในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ทาง FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชน เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบอัลตราไวด์แบนด์ทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้น ส่วนข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

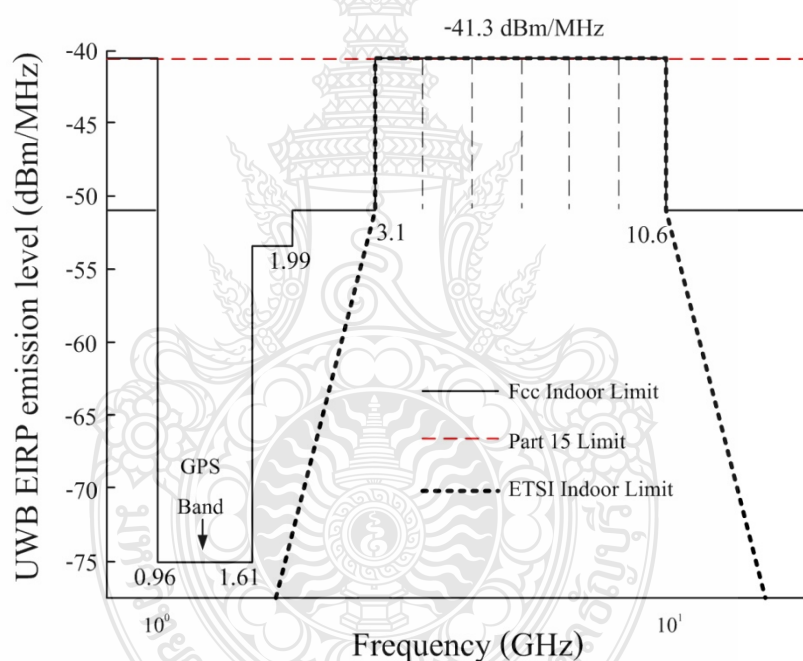
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (MHz)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 - 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

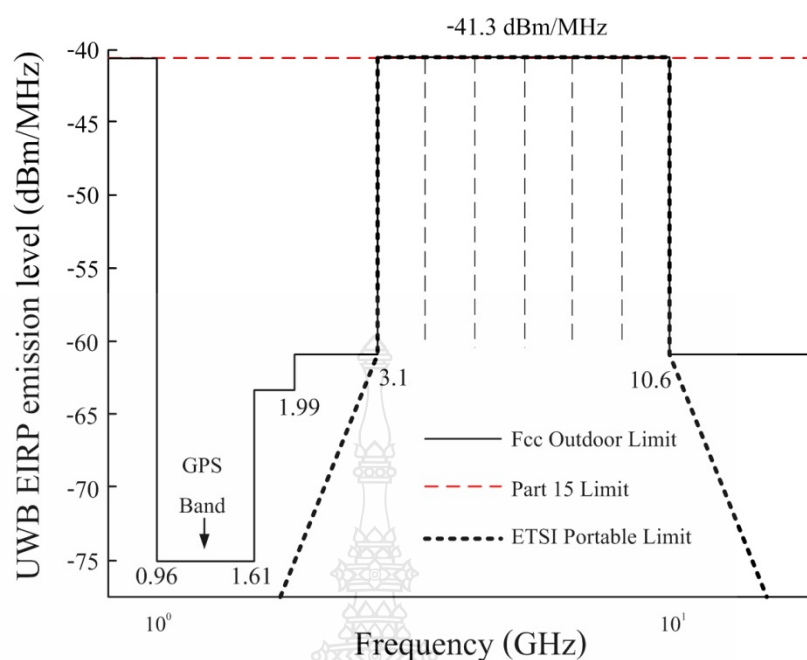
2.4.2 ข้อกำหนดของระบบอัลตราไวด์แบนด์ในยุโรป

ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบอัลตราไวด์แบนด์ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบอัลตราไวด์แบนด์บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ในภาพที่ 2.5 และ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบอัลตราไวด์แบนด์ระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



ภาพที่ 2.5 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคารระหว่าง FCC และ ETSI



ภาพที่ 2.6 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ภายนอกอาคารระหว่าง FCC และ ETSI

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

สถานะ	ช่วงความถี่ (GHz)		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

2.5 หลักการพื้นฐานของระบบอัลตราไวด์แบนด์ [10]

สำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์มีจุดเด่นคือ เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ RF เหมือนกับระบบการสื่อสารระบบอื่น ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง (Wide Band Communication: WBC) นั้นจะใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะหรือเป็นพัลส์ที่มี

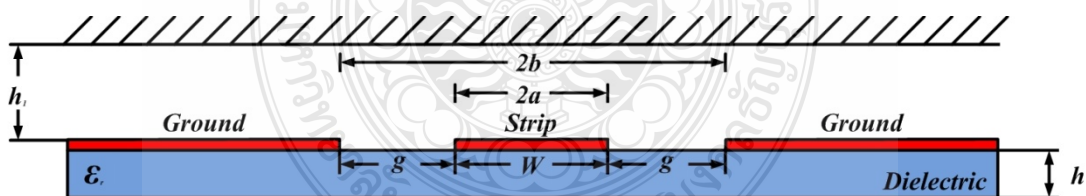
ความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมากขนาดประมาณ 0.5 นาโนวินาที มีลักษณะใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse Signal) สัญญาณพัลส์ที่มอดูเลตแล้วเมื่อผ่านสูตรการแปลงของ FFT (Fast Fourier Transform) จะมีสเปกตรัมที่แผ่ขยายออกกว้างมาก และมีระดับพลังงานของสัญญาณอยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า -30 dB ถึง -60dB) ซึ่งใกล้เคียงกับระดับของสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้ยากที่จะแยกความแตกต่างระหว่างสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์กับสัญญาณรบกวนได้ ดังนั้นระบบอัลตราไวด์แบนด์จึงสามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบที่มีการมอดูเลตกับคลื่นพาหะ RF ได้ และตัดปัญหาเรื่องการขาดแคลนแบนวิดท์ที่นำมาใช้งานไป เนื่องจากอุปกรณ์อัลตราไวด์แบนด์จะทำการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ ดังนั้นถึงแม้ระบบจะมีการส่งสัญญาณออกมาหลายล้านพัลส์ต่อวินาที แต่เนื่องจากขนาดพัลส์ที่แคบมากๆ ทำให้ดิวตีไวกิล (Duty Cycle) ค่อนข้างต่ำ อาจถึงประมาณ 0.5% ทำให้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วย และจากการส่งสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ ทำให้การบิดเบี้ยวเนื่องจากการสะท้อนของสัญญาณ (Multipath Distortion) ได้เกือบหมด ซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณสะท้อนเดินทางมาถึงเครื่องรับแล้วมีเฟสไม่ตรงกับสัญญาณที่เดินทางมาถึงโดยตรง ทำให้มีการหักล้างกันหรือรบกวนกัน การใช้พัลส์แคบๆ จะช่วยให้เห็นความแตกต่างจากสัญญาณที่สะท้อน ทำให้สามารถกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไปได้ และยังสามารถใช้แก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณข้อมูลที่ได้รับ และใช้ในระบบเรดาร์ที่ต้องการความแม่นยำสูงได้อีกด้วย

สิ่งที่ทำให้การสื่อสารระบบอัลตราไวด์แบนด์นั้นมีคุณลักษณะที่โดดเด่นและเป็นหัวใจสำคัญคือ การมีความจุช่องสัญญาณที่มาก ซึ่งจะส่งผลให้สามารถส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากได้ ความจุของช่องสัญญาณสามารถอธิบายได้ด้วย สมการความจุช่องสัญญาณของแชนเนลโดยหากระบบใดมีความจุของช่องสัญญาณมากจะทำให้สามารถส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากตามไปด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความจุของช่องสัญญาณตามสมการของแชนเนลนั้น สามารถทำได้ด้วยการเพิ่มพลังงานของสัญญาณที่ทำการส่งให้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับพลังงานของสัญญาณรบกวน ซึ่งวิธีการนี้จะมีผลต่อการเพิ่มความจุช่องสัญญาณในอัตราที่น้อยในลักษณะของการเพิ่มขึ้นแบบลอการิทึม (Logarithm) สำหรับอีกวิธีการหนึ่งคือ การเพิ่มความกว้างแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์ ซึ่งวิธีนี้จะมีผลต่อการเพิ่มความจุช่องสัญญาณในอัตราที่มากในลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น ซึ่งระบบอัลตราไวด์แบนด์นั้นมีการใช้แถบความถี่หรือแบนด์วิดท์ที่กว้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ ส่งผลให้ความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นมากและทำให้สามารถส่งข้อมูลได้เป็นปริมาณมาก

2.6 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม [11-12]

สายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมถูกคิดค้นโดย Wen ในปี ค.ศ.1969 ในที่นี้จะขอกล่าวถึงสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม 2 ชนิด คือ สายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง CPW และชนิดแบบระนาบร่วมที่มีกราวด์ด้านล่าง Conductor-Backed Co-Planar Waveguide (CBCPW) โครงสร้างของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างซึ่งประกอบด้วย สตริป (Strip) อยู่ตรงกลางด้านบนของฐานรองไดอิเล็กตริก (Substrate) โดยความกว้างของสตริป คือ W ด้านข้างทั้ง 2 ด้านของสตริปมีลักษณะเป็นร่อง (Slot) และระนาบกราวด์ตามลำดับ มีความกว้างระหว่างสตริปถึงระนาบกราวด์ คือ g และมีความหนาของฐานรองไดอิเล็กตริก คือ h ส่วนสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดมีกราวด์ด้านล่าง ซึ่งจะต่างกับชนิดแรกตรงที่มีกราวด์ด้านล่างของฐานรองไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นมา ลักษณะการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าบนสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมจะเป็นลักษณะแบบ Quasi-TEM ข้อดีของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมคือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุได้ง่ายมาก เนื่องจากไม่ต้องมีการเจาะรูผ่านฐานรองไดอิเล็กตริกเพื่อเชื่อมต่อกราวด์ให้กับอุปกรณ์เหล่านั้น สามารถนำมาต่อรวมในวงจรเดียวกันกับไมโครสตริปได้ง่าย การบิดเบี้ยวของรูปสัญญาณ (Dispersion) และค่าความสูญเสีย (Loss) ต่ำกว่าการใช้ไมโครสตริป จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นทำให้โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม เหมาะกับการทำเป็นวงจรรวมไมโครเวฟ

2.5.1 การหาค่าคุณลักษณะของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง (Co-Planar Waveguide)

การวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมจะใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Quasi-Static ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการส่งคงรูป (Conformal Mapping) โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าความจุไฟฟ้า และค่าความเหนี่ยวนำที่กระจายอยู่บนสายนำสัญญาณ ซึ่งการวิเคราะห์แบบนี้จะสามารถหาค่าคุณลักษณะพื้นฐานต่างๆ ของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมได้

ค่าความจุไฟฟ้าโดยรวมต่อหน่วยความยาวของสายนำสัญญาณสามารถหาได้จาก ผลรวมของค่าความจุไฟฟ้าของครึ่งระนาบด้านบนซึ่งอยู่ในอากาศ กับครึ่งระนาบด้านล่างซึ่งอยู่ในชั้นของไดอิเล็กตริก (Dielectric Layer) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการส่งคงรูปเพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (Effective Dielectric Constant) และค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) จะอยู่ในเทอมอัตราส่วนของการอินทิกรัลวงรีแบบสมบูรณ์ชั้นแรก (Complete Elliptic Integral of The First Kind) กำหนดให้

C ค่าความจุไฟฟ้าโดยรวมต่อหน่วยความยาวของสายนำสัญญาณ

C^a ค่าความจุไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันกับ C แต่จะแทนไดอิเล็กตริกทั้งหมดด้วยอากาศ

โดยจะได้ว่า

$$\epsilon_{re} = \frac{C}{C^a} \quad (2.3)$$

$$Vp = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (2.4)$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (2.5)$$

$$Z_0 = \frac{1}{Cvp} = \frac{c}{c\sqrt{\epsilon_{re}}C^a} \quad (2.6)$$

เมื่อ

ϵ_{re}	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผลของวัสดุฐานรอง
Vp	ความเร็วเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสายนำสัญญาณ
λ_g	ความยาวคลื่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสายนำสัญญาณ
c	ความเร็วของสนามไฟฟ้าในอากาศ
Z_0	อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

ในการหาค่าความจุไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ จะใช้วิธีการส่งคงรูปซึ่งในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงวิธีการหาค่าความจุไฟฟ้าของสัญญาณ แต่จะพิจารณาเฉพาะการหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสัญญาณหาได้จาก การ Conformal Mapping ดังนี้

โดยที่ $K'(k_1)$ เป็น Compliment ของ $K(k_1)$

$$Z_0 = \frac{30\pi K(k_1)}{\sqrt{\epsilon_{re}} K(k_1)} \quad (2.7)$$

โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลหาได้จาก

$$\epsilon_{re} = 1 + q(\epsilon_r - 1) \quad (2.8)$$

โดยที่

$$q = \frac{1K(k_2)K(k_1)}{2K(k_2)K(k_1)} \quad (2.9)$$

เมื่อ q คือตัวประกอบการคูณ (Filling Factor) และ

$$k_1 = \frac{a}{b} \quad (2.10)$$

$$k_2 = \frac{\sinh(\pi a/2h)}{\sinh(\pi b/2h)} \quad (2.11)$$

เมื่อ

$$a = \frac{w}{2} \quad (2.12)$$

$$b = \frac{(2g + w)}{2} \quad (2.13)$$

โดยที่

w หมายถึง ความกว้างของสายนำสัญญาณ

g หมายถึง ความกว้างของร่อง

h หมายถึง ความสูงของฐานรองไดโอดีเล็คทริก

การอินทิกรัลวงรีแบบสมบรูณ์ขั้นแรกสามารถหาได้โดย

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \theta}} \quad ; 0 < k < 1 \quad (2.14)$$

เมื่อ θ หมายถึง ตัวแปรเชิงซ้อน $K(k) = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 k^4 + \dots \right\}$

โดย

$$K'(k) = K(k') \quad (2.15)$$

$$k_1' = \sqrt{1-k_1^2} \quad (2.16)$$

และอัตราส่วนของ $\frac{K(k)}{K'(k)}$ สามารถหาได้โดยการประมาณคือ

กรณี $0 \leq k \leq 0.707$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln[2(1+\sqrt{k'})/(1-\sqrt{k'})]} \quad (2.17)$$

กรณี $0.707 \leq k \leq 1$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln[2(1+\sqrt{k'})/(1-\sqrt{k'})] \quad (2.18)$$

2.5.2 การหาคุนลักษณะของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดมีกราวด์ด้านล่าง

การวิเคราะห์หาคุนลักษณะของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดมีกราวด์ด้านล่างหาได้เช่นเดียวกับที่ใช้ในสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างดังสมการ

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{1}{K(k_3)/K'(k_3) + K(k_4)/K'(k_4)} \tag{2.19}$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลหาได้จาก

$$\epsilon_{re} = 1 + q(\epsilon_r - 1) \tag{2.20}$$

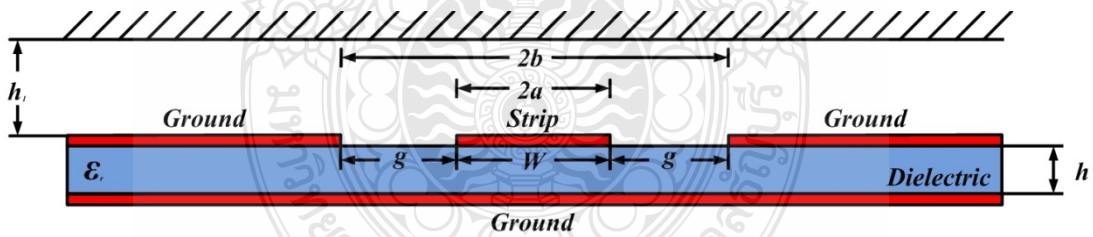
โดยที่

$$q = \frac{K(k_4)/K'(k_4)}{K(k_3)/K'(k_3) + K(k_4)/K'(k_4)} \tag{2.21}$$

เมื่อ q ตัวประกอบการคูณ (Filling Factor) และ

$$k_3 = \frac{\tanh(\pi a/2h_1)}{\tanh(\pi b/2h_1)} \tag{2.22}$$

$$k_4 = \frac{\tanh(\pi a/2h)}{\tanh(\pi b/2h)} \tag{2.23}$$



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดมีกราวด์ด้านล่าง Conductor-Backed Co-Planar Waveguide (CBCPW)

2.7 การวัดและวิเคราะห์สายอากาศ [13-14]

ในระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เป็นสายอากาศที่มีความสำคัญสำหรับตัวกรองความถี่ทรานควิวเซอร์ ใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพัลส์ เช่น เครื่องกำเนิดใหม่ของพัลส์หรือวงจรมอดูเลชัน ดังนั้นกรณีศึกษาใน โดเมนความถี่ผิวนของสัญญาณของสายส่ง สำหรับการ

เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพัลส์ด้วยเหตุผลนี้ การตรวจสอบส่วนประกอบเครื่องรับจะมีความ สลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น การออกแบบสายอากาศสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ที่สัญญาณหนึ่งเป็น หลัก โดยเฉพาะมีขนาดเล็กและราคาต่ำ จะมีผลกระทบต่อ โครงสร้าง คือ ชนิดที่มีความต้องการกับการ ประยุกต์ใช้กับการสื่อสารไร้สาย

ดังนั้นช่องทางระหว่างการมองเห็น (Line of Sight: Los) ที่สายส่งอาจจะไม่ตรงกับ การ นำมาใช้กับระบบอัลตราไวด์แบนด์ที่แบนด์วิธของความกว้างของพัลส์ นอกจากนี้การเปรียบเทียบ เป็นไปได้อย่างมากระหว่างรูปคลื่นของสายส่ง เพราะระหว่างความผิดเพี้ยนของรูปแบบคลื่น ในกรณี จากผลการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ

ในที่นี้จะกล่าวถึงช่องว่างในอากาศจากการวัดสายส่งของสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่ง ตามกฎของ ฟิสิกส์ ทรานสมิตชัน ฟอรัmula จะมีค่าน้อยมาก ในความคิดอาจจะเสมือนสายอากาศใน เกณฑ์สำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ ในสายส่งรูปแบบคลื่นและเหมาะกับการได้รับเป็นสิ่งสำคัญ ที่สุดสำหรับการขยาย

2.6.1 การทดสอบสายอากาศ

ในการทดสอบสายอากาศระบบอัลตราไวด์แบนด์จะคำนึงถึงการทำงานภายในช่องกว้าง ของความถี่ เช่น สำหรับช่องโทรทัศน์ ความถี่สูงมากถึง 12 ช่อง แต่จะเหมาะสมสำหรับการใช้กับ รูปแบบคลื่นพัลส์ ดังนั้นจะเลือกสายอากาศที่มีแกนร่วมกับจุดยอดซึ่งการสร้างสายอากาศพื้นฐานที่มี คุณสมบัติความสัมพันธ์ของเส้นกับรูปทรงและสายอากาศในรูปสามมิติที่สัญญาณความถี่วิทยุจะมี ค่าที่ต่ำมากที่สุดจนถึงกราวด์

2.6.2 รูปแบบสัญญาณ

ผลกระทบของรูปแบบคลื่นจากความผิดเพี้ยน ที่สังเกตเห็นได้ชัดของแบนด์วิธที่ ครอบคลุม ซึ่งคำนึงถึงสัญญาณอิมพัลส์แต่ครอบคลุมเต็มทีของ FCC ที่ 3.1-10.6 GHz ในศูนย์กลาง ความถี่และแบนด์วิธของการตั้งค่า $f_b = 7.5$ GHz ที่รูปแบบคลื่นสายส่งนั้น จะสมมุติว่าสัญญาณที่ ซิมมูลเตชันจะมีการเลี้ยงความถี่ ให้สอดคล้องกับแบนด์วิธ ที่ระยะของพัลส์ แต่สำหรับสัญญาณที่มี จิตจำกัดจากการสูญเสียหรือลดทอนที่เพิ่มขึ้นทีละน้อย ด้วยการเพิ่มหรือลดความถี่ลงไปจากส่วนราบ ของตัวกรองความถี่ที่แฟล็กเตอร์การสูญเสียหรือการลดทอนที่เพิ่มขึ้น $\infty = 0$ และแถบความถี่การ ลดทอนของวงจรกรองต้องมีค่าเป็นศูนย์

2.6.3 ข้อเสนอของ ฟิอิส ทรานมิตชัน พอร์มูล่า

ในระบบวงจรขยายเพิ่มสัญญาณในย่านแถบความถี่ที่มีแบนด์วิดท์แคบเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่เฉลี่ยของแถบความถี่นั้นๆ ในการเชื่อมต่อการแพร่กระจายในช่องว่างอากาศที่มีความสูญเสียแต่อาจจะประยุกต์ถึงการคำนวณของ Loss ดังนี้

$$G_{frus} = \frac{P_r}{P_t} = G_f G_k G_r \quad (2.24)$$

ในการแพร่กระจายในช่องว่างนั้น ที่ช่วงระยะคลื่น c เป็นความเร็วและ f เป็นความถี่ การประยุกต์ของระบบอัตราไวด์แบนด์จะมีสัญญาณรูปแบบคลื่นสายส่งที่มีความผิดเพี้ยนน้อย

2.6.4 กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณ

วิธีการต่างๆ ที่ใช้เป็นระบบวิธีการสื่อสารของการแก้ปัญหา รวมถึงการคิดค้นทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ซึ่งในระบบการรับส่งสัญญาณที่มีการใช้แบนด์วิดท์แคบนั้น โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาปัญหาทางกายภาพเท่านั้น เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างจะทำให้มีปัญหาเกิดขึ้นและทำการแก้ไขที่ยากมากๆ

2.8 ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริป [13-14]

สำหรับองค์ประกอบ (Element) ของสายอากาศไมโครสตริป ประสิทธิภาพจะเป็นตัวกำหนดกำลังของการแผ่พลังงาน โดยกำลังที่ได้รับได้ทางอินพุทขององค์ประกอบส่วนประกอบต่างๆ จะเกิดการลดทอนขึ้นที่ตัวนำ การสูญเสียจากโหนดที่รวมอยู่ในแต่ละองค์ประกอบ สำหรับองค์ประกอบไมโครสตริปที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 80 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ จะมีลักษณะบาง และมักจะพบว่าเมื่อแผ่นวงจรพิมพ์มีความบางมากๆ จะมีการลดทอนน้อย โดยค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) สามารถแมทซ์ที่ 50 โอห์มได้ แต่จะมีแบนด์วิดท์แคบ และการสูญเสียเนื่องจากอุณหภูมิก็มีจำนวนมากหรือไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเปอร์เซ็นต์การสะท้อนก็จะมากขึ้น โดยการสูญเสียที่เกิดจากสารรองรับจะสามารถถูกกำจัดออกไปโดยใช้สารรองรับที่เป็นอากาศ ($\epsilon_r \cong 1$) ด้วย เมื่อส่วนใหญ่ขององค์ประกอบมีการแยกกันระหว่างองค์ประกอบ และกราวด์เพลน สารรองรับจะมีผลต่อคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป จากที่ได้ทราบค่าไดเรกทิวิตี (Directivity) และค่าอัตราการขยายของสายอากาศไมโครสตริปสามารถที่จะกำหนดค่าประสิทธิภาพของสายอากาศหาได้จาก

$$G = \eta D \quad (2.25)$$

โดยที่

- G หมายถึง อัตราขยายของสายอากาศ
 D หมายถึง ไดเรกทิวิตี
 η หมายถึง ประสิทธิภาพของสายอากาศ

การหาอัตราการขยายของสายอากาศไมโครสตริปนั้น การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปจะต้องออกแบบสายอากาศขึ้นมาจำนวนหนึ่งคู่ โดยมีลักษณะเหมือนกัน ในทางทฤษฎีอัตราการขยายของทั้งสองชุดต้องเท่ากัน ดังนั้นสามารถวัดหาอัตราการขยายของสายอากาศได้โดยการต่ออุปกรณ์เพื่อทำการหาค่าต่างๆ ที่ใช้ในการหาค่าอัตราการขยายจากสมการที่ 2.23 และ 2.24

$$P_r = P_t - L_f - L_{line} + G_t + G_r \quad (2.26)$$

$$G_r = P_r - P_t + L_f + L_{line} - G_t \quad (2.27)$$

โดยที่

- P_t หมายถึง กำลังงานทางด้านส่ง (dBm)
 P_r หมายถึง กำลังงานทางด้านรับ
 L_{line} หมายถึง กำลังงานที่สูญเสียในสายส่งทางด้านส่งและด้านรับ
 L_f หมายถึง กำลังงานที่สูญเสียในอากาศ = $20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$
 G_t หมายถึง อัตราการขยายของสายอากาศทางด้านส่ง
 G_r หมายถึง อัตราการขยายของสายอากาศทางด้านรับ

2.9 ทฤษฎีพื้นฐานและการนำไปใช้ในการจำลองสายอากาศของโปรแกรม IE3D [15]

การจำลองทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ทำให้ความแม่นยำของแบบจำลองสูงขึ้น การวิเคราะห์และออกแบบสิ่งที่ยู่ยากซับซ้อน เช่น วงจรไมโครเวฟและวงจรพิมพ์ทางความถี่วิทยุ สายอากาศ วงจรดิจิทัลความเร็วสูง และส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เป็นต้น โปรแกรม IE3D เป็นโปรแกรมจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นสมบูรณ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศไมโครสตริปและวงจรความถี่สูงที่ใช้แผ่นพิมพ์วงจรและวงจรดิจิทัลในรูปแบบ

สามมิติ เช่น วงจรรวมไมโครเวฟและมัลติมิเตอร์เวฟ (MMICs) เป็นต้น โปรแกรม IE3D ได้ถูกนำมาใช้เหมือนเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมในการจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบสามมิติ ซึ่งงานส่วนใหญ่ที่ต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้นจะใช้ IE3D มาช่วย ดังนั้น IE3D จึงกลายเป็นเครื่องมือจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทำได้หลายอย่างและใช้ง่าย มีประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำทฤษฎีพื้นฐานและการนำไปใช้งานของโปรแกรม IE3D นั้น ใช้สมการเบื้องต้นคือ สมการอินทิกรัลที่หาได้จากฟังก์ชันของกรีน ใน IE3D สามารถสร้างแบบรูปร่างได้ทั้งกระแสไฟฟ้าบนโครงสร้างโลหะและกระแสแม่เหล็กที่แทนด้วยสนามที่แพร่กระจายบนช่องโลหะ โดยทั่วไปแล้วปัญหาที่เกิดจากการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถูกสมมติจากโครงสร้างตัวนำในสิ่งแวดล้อมที่เป็นฉนวนที่เกิดขึ้น สนามที่ตกกระทบถูกส่งไปยังโครงสร้างที่เป็นแบบร่างโลหะตัวอย่างทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกระแสให้กระจายไปบนโครงสร้างนี้ กระแสที่เหนี่ยวนำไปสร้างสนามที่สองให้ขึ้นไปตามเงื่อนไขขอบเขตบนโครงสร้างโลหะ สำหรับโครงสร้างตัวนำที่ใช้เป็นตัวอย่างนี้มีกระแสเหนี่ยวนำถูกกระจายไปในผิวตัวนำและทำให้เกิดเงื่อนไขขอบเขต ดังนี้

$$E(r) = Zs(r)J(r), r \in S \quad (2.28)$$

ขณะที่

S	เป็นพื้นผิวตัวนำ
$E(r)$	เป็นสนามสัมผัสทั้งหมดบนพื้นผิว
$J(r)$	คือ กระแสไฟฟ้าที่กระจายอยู่บนพื้นผิว
$Zs(r)$	คือ อิมพีแดนซ์บนพื้นผิวตัวนำ

เมื่อ โครงสร้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นฉนวน สามารถเขียนสนามรวมได้ดังนี้

$$E(r) = Ei(r) + \int SG(r|r') \cdot J(r') ds' \quad (2.29)$$

สำหรับสิ่งแวดล้อมที่เป็นฉนวน $G(r | r')$ เป็นผลรวมเลขคู่ที่เป็นฟังก์ชันของกรีน (Green's function) ซึ่ง $Ei(r)$ คือ สนามที่ตกกระทบบนพื้นผิวตัวนำ โดยที่ $G(r | r')$ เป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตของฉนวนยกเว้นเงื่อนไขขอบเขตบนพื้นผิวตัวนำ S แทนสมการที่ 2.29 ลงใน สมการที่ 2.28 โดยจะได้ผลลัพธ์ในรูปของอินทิกรัลดังนี้

$$Zs(r)J(r) = Ei(r) + \int sg(r|r') \cdot J(r')ds' \quad (2.30)$$

เมื่อรู้สนามที่ตกกระทบและค่าอิมพีแดนซ์บนพื้นผิว ทำให้สามารถหาค่าฟังก์ชันของกรีนได้แต่สิ่งที่ยังไม่รู้คือค่าของกระแสที่กระจาย $J(r)$

โดยการสมมุติว่ากระแสที่กระจายถูกแทนด้วยกลุ่มของฟังก์ชันพื้นฐานที่สมบูรณ์ คือ

$$J(r) = \sum nInBn(r), n = 1, 2, \dots \quad (2.31)$$

เมื่อแทน สมการที่ 2.31 ลงในสมการที่ 2.30 ได้ว่า

$$Zs(r) \sum nInBn(r) = Ei(r) + \sum nIn \int SG(r|r') \cdot Bn(r')ds' \quad (2.32)$$

โดยใช้ ลำดับชั้นตอนของ Galerkin สามารถแปลงสมการที่ 2.32 ให้อยู่ในรูปของสมการเมตริกซ์ดังนี้

$$\int Sds Ei(r) \cdot Bn(r) = \int Sds \int Sds' Zs(r) Bm(r) \cdot Bn(r) - \int Sds \int Sds' Bm(r) \cdot G(r|r') \cdot Bn(r') \quad (2.33)$$

ขั้นตอนข้างต้นที่กล่าวมานี้ ทำให้สมการที่ 2.32 มีความน่าเชื่อถือ พร้อมกับทำให้กลุ่มของฟังก์ชันทดสอบมีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และฟังก์ชันทดสอบนี้จะเหมือนกันกับฟังก์ชันพื้นฐานซึ่งกลุ่มของฟังก์ชันพื้นฐานที่สมบูรณ์แบบประกอบด้วยจำนวนของเทอมที่มีมากไม่สิ้นสุด (Infinite : เป็นอนันต์) ฉะนั้นสมการที่ 2.33 จึงเป็นปัญหาทางมิติที่เป็นอนันต์ และสามารถใช้เพียงคำตอบที่เป็นตัวเลขโดยประมาณได้ การประมาณคือการทำให้อนุกรมที่ต่อกันเป็นอนันต์หดสั้นลงให้อยู่ในเทอมที่จำกัด ในทางคณิตศาสตร์การทำให้หดสั้นลงเป็นกระบวนการที่แสดงให้เห็นค่าโดยประมาณได้ โดยพุ่งประเด็นการแก้ปัญหาก็แท้จริงในมิติที่เป็นอนันต์ไปเป็นมิติจำกัด ถ้าเลือกมิติจำกัดก็เพื่อให้ส่วนประกอบหลักของคำตอบที่แท้จริงอยู่ในมิติจำกัดทั้งหมด ดังนั้นจึงควรที่จะสามารถหาค่าประมาณที่ดีมากออกมา หลังจากที่ได้ยี่ดวิธีการที่กล่าวมาแล้วนี้ สมการที่ 2.33 กลายเป็นสมการเมตริกซ์ ดังนี้

$$[Zmn][Im] = [Vm] \quad (2.34)$$

ซึ่ง

$$Zmn = \int Sds Zs(r) Bm(r) \cdot Bn(r) - \int Sds \int Sds' Bm(r) \cdot G(r|r') \cdot Bn(r') \quad (2.35)$$

และ

$$Vm = \int Sds Ei(r) \cdot Bn(r) \quad (2.36)$$

วิธีการของสมการที่ 2.34 ถึง 2.36 เป็นสัมประสิทธิ์การกระจายกระแส หลังจากแก้สมการการกระจายกระแสได้ สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ S แบบรูปการแผ่พลังงาน วงจรสมมูลRLC ของโครงสร้าง และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องการ

โดยจะได้วิธีการโมเมนต์ (MoM) ที่อยู่ในรูปแบบของสมการที่ 2.34 ถึง 2.36 ไม่ใช่สิ่งที่ย่านักหรือก็คือมีความซับซ้อน ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นอยู่ที่การเลือกใช้ฟังก์ชันพื้นฐานและฟังก์ชันของกรีน

ยังมีทางเลือกอีกมากมายสำหรับนำมาใช้กับฟังก์ชันพื้นฐานและฟังก์ชันของกรีนที่เป็นผลรวมเลขคู่ การพิจารณาบนฟังก์ชันพื้นฐานและบนฟังก์ชันของกรีนที่เป็นผลรวมของเลขคู่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการประเมินประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำของการอินทิกรัลสองชั้นของพื้นผิวดังที่แสดงในสมการที่ 2.36

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J. William and R. Nakkeeran [16] นำเสนอสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วม (CPW) ที่มีการปรับจูนสัณฐานสามเหลี่ยม ซึ่งถูกออกแบบให้มีสายอากาศมีขนาดเล็กโดยใช้วัสดุฐานรองแบบ FR4 และสามารถประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่ของระบบอัลตราไวด์แบนด์ตามมาตรฐาน (Federal Communication Commission: FCC) จากผลการออกแบบสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสัณฐานสามเหลี่ยมทำให้ได้ความถี่แถบกว้างที่มีค่าแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 3.1 – 11.4 GHz ซึ่งมีอัตราส่วนแบนด์วิดท์ 114 % โดยสายอากาศมีขนาด 28 × 21 ตารางมิลลิเมตร สูง 1.6 มิลลิเมตร ทำให้สายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสัณฐานสามเหลี่ยมนี้ มีข้อดีคือ ได้ค่าแบนด์วิดท์ที่กว้างและ

มีขนาดเล็กกว่าแบบอื่นที่นำเสนอ [17-18] แต่มีข้อเสีย ความหนาของสายอากาศยังมีความหนากว่า [17-18]

P. Li, J. Liang and X. Chen [17] นำเสนอสายอากาศช่องเปิดรูปวงรีแบบระนาบร่วม (CPW) ที่มีการปรับจูนสลับรูปคล้ายส้อม สายอากาศถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานกับระบบอัลตราไวด์แบนด์ได้ โดยใช้วัสดุฐานรอง FR4 ที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร และมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 4.7 จากผลการออกแบบสายอากาศช่องเปิดรูปวงรีแบบระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสลับรูปคล้ายส้อม ทำให้ได้แบนด์วิดท์กว้าง 7.3 GHz คือตั้งแต่ 2.9 – 10.2 GHz ในขณะที่การจำลองของสายอากาศได้แบนด์วิดท์ตั้งแต่ 2.77 – 10.84 GHz ซึ่งเกิดจากข้อผิดพลาดจากขั้นตอนการสร้างสายอากาศ โดยสายอากาศมีขนาด 40 x 38 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งสายอากาศช่องเปิดรูปวงรีแบบระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสลับรูปคล้ายส้อม มีข้อดีคือความหนาของสายอากาศบางกว่า [16] แต่มีข้อเสียคือมีแบนด์วิดท์แคบกว่า [16-18]

X. Chen, W. Zhang, R. Ma, J. Zhang and J. Gao [18] นำเสนอสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วม (CPW) ที่มีการปรับจูนสลับรูปวงรี สายอากาศถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานกับระบบอัลตราไวด์แบนด์ได้ โดยใช้วัสดุฐานรอง RO4003C ที่มีความหนา 0.813 มิลลิเมตรและมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 3.38 จากผลการออกแบบสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสลับรูปวงรี ทำให้ได้แบนด์วิดท์กว้าง 15.5 GHz คือตั้งแต่ 2.5 - 18 GHz โดยสายอากาศมีขนาด 52 x 51 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสลับรูปวงรี มีข้อดีคือมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า [16-17] ความหนาของสายอากาศบางกว่า [16] [17] แต่มีข้อเสีย มีขนาดใหญ่กว่าแบบอื่นที่นำเสนอ [16-17]

M. D'Amico, R. Cassetta [19] นำเสนอสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วม (CPW) ที่มีการปรับจูนสลับรูปลูกศร สายอากาศถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้งานกับระบบอัลตราไวด์แบนด์ได้ โดยใช้วัสดุฐานรอง FR4 ที่มีความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 4.4 จากผลการออกแบบสายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสลับรูปลูกศร ทำให้ได้แบนด์วิดท์กว้าง 7.1 GHz คือตั้งแต่ 3.7 - 10.8 GHz โดยสายอากาศมีขนาด 17 × 18 ตารางมิลลิเมตร สูง 1.6 มิลลิเมตร ทำให้สายอากาศช่องเปิดแบบป้อนโดยสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่มีการปรับจูนสลับรูปลูกศร มีข้อดีคือ ได้ค่าแบนด์วิดท์ที่ค่อนข้างกว้างและมีขนาดเล็กกว่าแบบอื่นที่นำเสนอ [16-18] แต่มีข้อเสีย ความหนาของสายอากาศยังมีความหนากว่า [17-18]

บทที่ 3

การออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานและการออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่มีโครงสร้างสายอากาศไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง มีการตอบสนองความถี่ 1.8–11.6 GHz โดยออกแบบให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนั้นใกล้เคียง 50 โอห์ม นั่นคือจะได้ค่าความสูญเสียตามวิถีของคลื่นและอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ดีที่สุด จากนั้นศึกษาสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้าง และสายอากาศสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่ใช้สายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม CPW โดยการจำลองการออกแบบโครงสร้างสายอากาศด้วยซอฟต์แวร์ IE3D Version 11.5

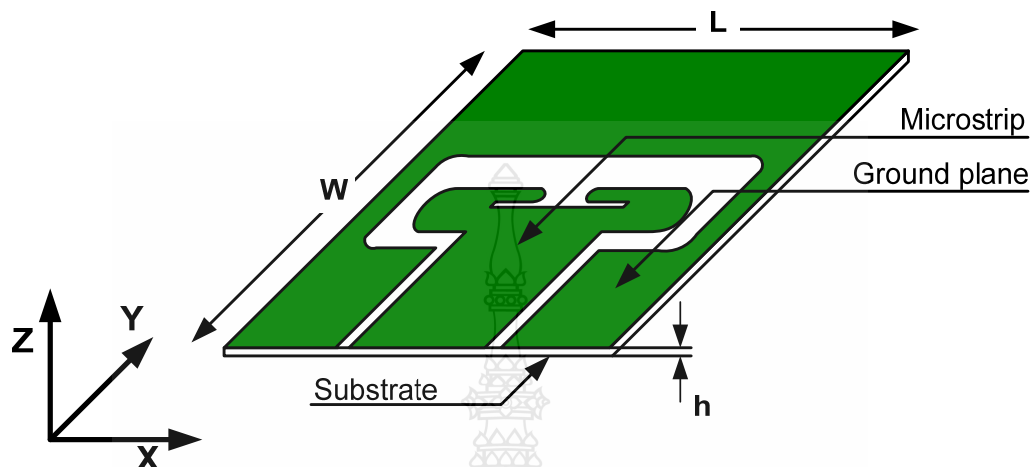
3.1 การออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายที่กระตุ้นแบบ CPW

ในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่มีสายส่งสัญญาณแบบระนาบร่วม CPW โดยเริ่มต้นจากแนวความคิดที่จะออกแบบสายอากาศที่รองรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งมีสายนำสัญญาณแบบ CPW และมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนก่อน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด และนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปวางไว้ในสายอากาศเดียวกัน ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วัสดุฐานรองชนิด Mylar Polyester Film ที่มีคุณสมบัติดังนี้

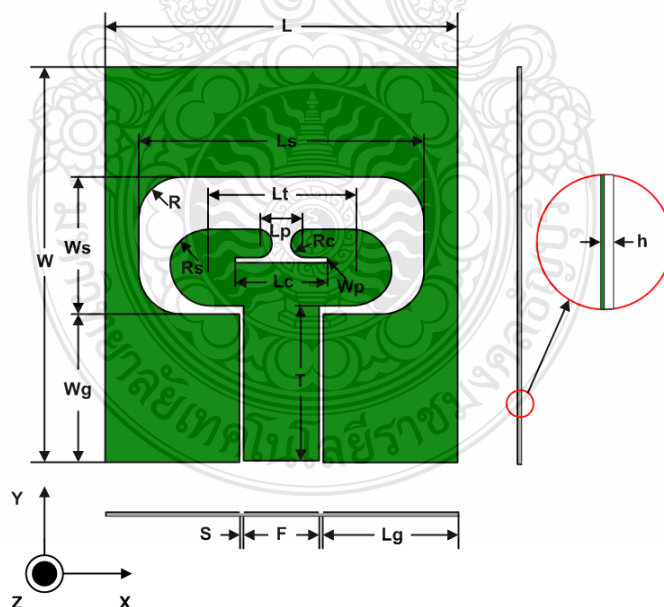
ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก	ϵ_r	=	3.2
ความหนาของวัสดุฐานรอง	h	=	0.3 มิลลิเมตร
ค่าความนำของทองแดง	σ	=	5.8×10^7 S/m
ค่าความหนาของทองแดง	t	=	0.1 มิลลิเมตร
ค่าตัวประกอบการกระจาย	$\tan \delta$	=	0.009

การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย จะประกอบด้วยสายส่งสัญญาณแบบ CPW ที่มีสัณฐานคล้ายสี่เหลี่ยมที่อยู่

ระหว่างกราวด์ทั้งสองด้าน สำหรับกราวด์มีความกว้าง W และ ความยาว L รวมทั้งสายอากาศมีความหนาของวัสดุฐานรอง (Substrate) h ตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย



ภาพที่ 3.2 พารามิเตอร์ของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

การออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่มีสายส่งสัญญาณแบบ CPW ที่มีแบนด์วิดธ์ตั้ง 3.1-10.6 GHz ในการออกแบบจะมีช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ตรงกลางแผ่น โดยมีสายนำสัญญาณที่มีสัณฐานคล้ายส้อมอยู่ตรงกลางโดยแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆและลักษณะของสายอากาศที่ได้ตามภาพที่ 3.2

- W คือ ความกว้างของกราวด์ทั้งหมดของสายอากาศ
- W_s คือ ความกว้างของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- W_g คือ ความกว้างของกราวด์ด้านล่างของสายอากาศ
- W_p คือ ความกว้างของขาต้านในสัณฐานคล้ายส้อม
- R คือ รัศมีขอบโค้งของกราวด์ด้านใน
- R_s คือ รัศมีของขาสัณฐานคล้ายส้อม
- R_c คือ รัศมีของขาต้านบนสัณฐานคล้ายส้อม
- L คือ ความยาวของกราวด์ทั้งหมดของสายอากาศ
- L_s คือ ความยาวของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- L_g คือ ความยาวของกราวด์ด้านล่างของสายอากาศ
- L_t คือ ความยาวของขาสัณฐานคล้ายส้อม
- L_c คือ ความยาวของขาต้านในสัณฐานคล้ายส้อม
- L_p คือ ระยะห่างของขาต้านบนสัณฐานคล้ายส้อม
- T คือ ความยาวของสายส่งสัญญาณไมโครสตริป
- F คือ ความกว้างของสายส่งสัญญาณ ไมโครสตริป
- S คือ ระยะห่างระหว่างสายส่งสัญญาณกับกราวด์ของสายอากาศ

ในการออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่กระตุ้นด้วยสายส่งแบบ Co-Planar Waveguide (CPW) สิ่งสำคัญ คือ การหาความกว้าง (W) และความยาว (L) ของสายอากาศซึ่งเป็นการกำหนดขนาดของสายอากาศและขนาดของกราวด์ของสายอากาศโดยมีความสัมพันธ์กับความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 3.1-3.4

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (3.2)$$

เมื่อ

c คือ ความเร็วแสงในอากาศมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

f_r คือ ความถี่ที่ต้องการออกแบบมีค่าเท่ากับ 3.0 GHz

ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง

ϵ_{eff} คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประสิทธิผล

และ

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-1/2} \quad (3.3)$$

$$\Delta L = h(0.412) \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (3.4)$$

โดยที่

$f_r = 3.0$ GHz (ความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดของสายอากาศ)

$\epsilon_r = 3.2$

$h = 0.3$ มิลลิเมตร

ดังนั้น

$$1) \quad w = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1.75 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{3.2 + 1}} = 60 \text{ มิลลิเมตร}$$

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

$$= \frac{3.2 + 1}{2} + \frac{3.2 - 1}{2} \left(1 + \frac{12(0.3)}{60}\right)^{-1/2}$$

$$= 2.1 + 1.1(0.972)$$

$$= 2.1 + 1.07$$

$$\epsilon_{eff} = 3.17$$

โดยที่ค่า

$$\epsilon_{eff} \leq \epsilon_r$$

$$3) \quad \Delta L = h(0.412) \frac{(\epsilon_r + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad ; \frac{w}{h} = \frac{60}{0.3} = 200$$

$$= (0.3 \times 0.412) \frac{(3.2 + 0.3)(200 + 0.264)}{(3.17 - 0.258)(200 + 0.8)}$$

$$= 0.148 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$4) \quad L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1.75 \times 10^9 \sqrt{3.147}} - 2(0.148)$$

$$= 27.6 - 0.3$$

$$= 48 \text{ มิลลิเมตร}$$

ดังนั้นจากการคำนวณจะได้ความกว้างของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA (W) = 60 มิลลิเมตร และความยาวของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA (L) = 48 มิลลิเมตร แต่เมื่อนำค่า L ที่ได้ไปลองจำลองผลในโปรแกรมแล้วไม่ได้ผลตามต้องการจึงทำการปรับขนาดของ L ไปที่ 53.3 มิลลิเมตร ผลที่ออกมาจึงได้ตามที่ต้องการ ในการ

ออกแบบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่กระตุ้นแบบ CPW นั้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แปรผกผันกับค่าความยาวคลื่นของความถี่เรโซแนนซ์คือ เมื่อพารามิเตอร์ใด ๆ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดจะทำให้ช่วงแบนด์วิดท์และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเรานำค่าของพารามิเตอร์นั้นๆ มาทำการเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นสัมพันธ์ (λ_g) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม โดยค่าความยาวคลื่นสัมพันธ์ (λ_g) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5

$$\lambda_g = \frac{c}{f_c \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.5)$$

เมื่อ

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (3.6)$$

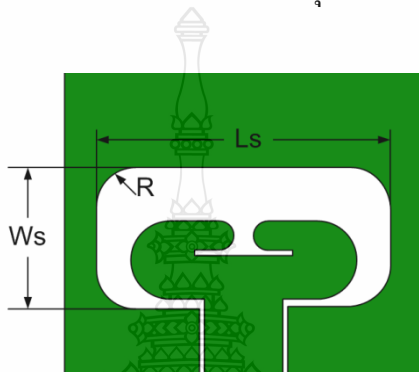
$$f_c = \frac{11.6 + 1.8}{2} \quad f_c = 6.70 \text{ GHz}$$

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA

พารามิเตอร์	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความกว้าง ($\lambda_{g,6.70}$)	พารามิเตอร์	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความยาว ($\lambda_{g,6.70}$)
W_s	20.8	0.894	L_s	43.3	1.860
W_p	0.8	0.034	L_t	7.25	0.312
W_g	22.5	0.967	L_p	7.1	0.305
F	11.7	0.503	L_c	13.8	0.593
S	0.5	0.022	L_g	20.3	0.872
R	6.5	0.279	T	23.7	1.018
R_s	11.5	0.494			
R_c	4.2	0.18			

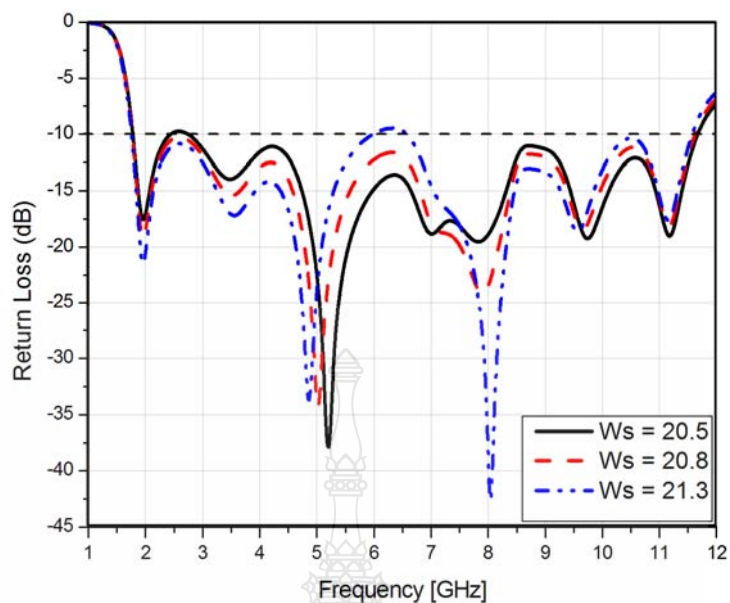
3.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA

เมื่อได้โครงสร้างของสายอากาศและขนาดต่างๆ โดยการคำนวณแล้ว เราสามารถจำลองและหาผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยี BWA ได้โดยการจำลองสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA โดยใช้โปรแกรม IE3D (Zeland) โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดขึ้นมา แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้ได้รูปแบบของการแพร่กระจายที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยี BWA มากที่สุด



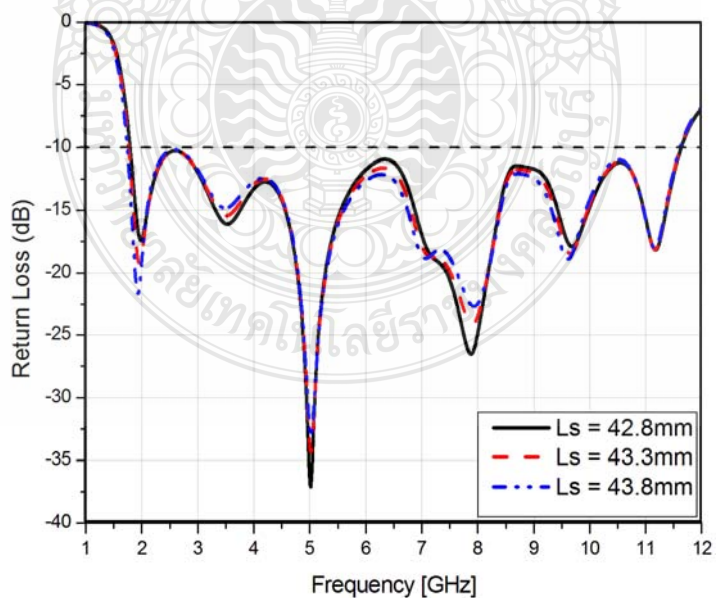
ภาพที่ 3.3 แบบรูปช่องเปิดของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่พารามิเตอร์ L_s , W_s และ R

โดยการออกแบบและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของช่องเปิดสำหรับสายอากาศที่มีช่วงความถี่ใช้งานในเทคโนโลยี BWA ซึ่งได้ค่าจากการออกแบบ ดังนี้คือ $W_s = 20.8$ มิลลิเมตร, $L_s = 43.3$ มิลลิเมตร และ $R = 6.5$ มิลลิเมตร ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 3.3 และในการออกแบบสายอากาศเพื่อต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่อคุณสมบัติของสายอากาศ จึงทำการปรับเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

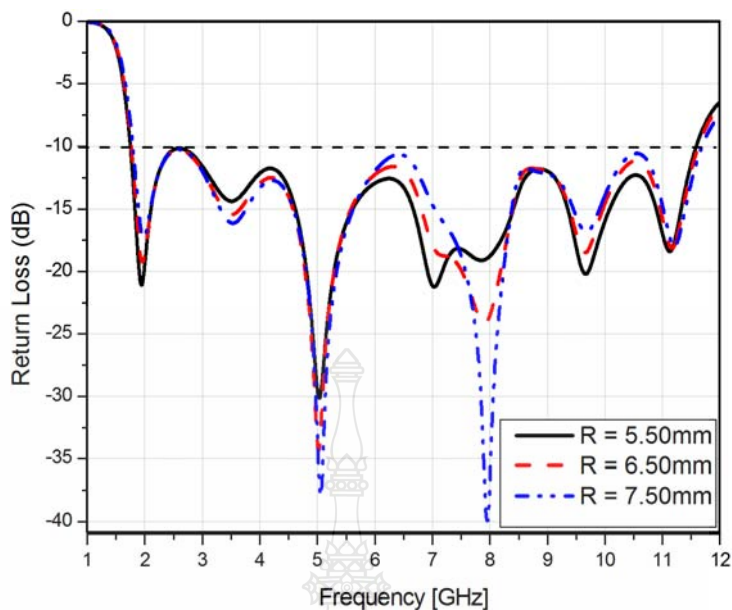


ภาพที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ W_s

จากภาพที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าค่าของพารามิเตอร์ W_s มีผลต่อความกว้างของแบนด์วิดท์ทางความถี่สูงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มค่าของ W_s เข้าไปแล้วก็จะทำให้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับทางด้านความถี่สูงเพิ่มมากขึ้น แต่ทางด้านความถี่ต่ำลดลง

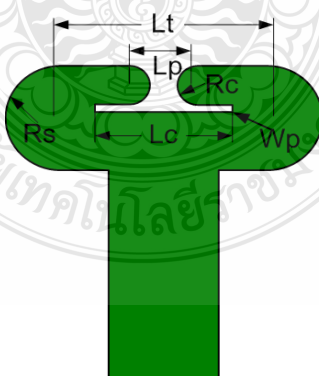


ภาพที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_s

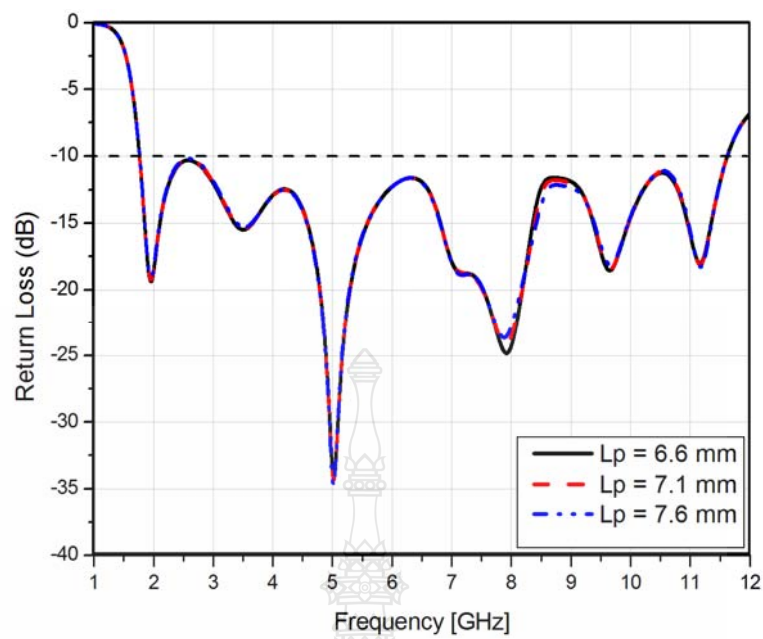


ภาพที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ R

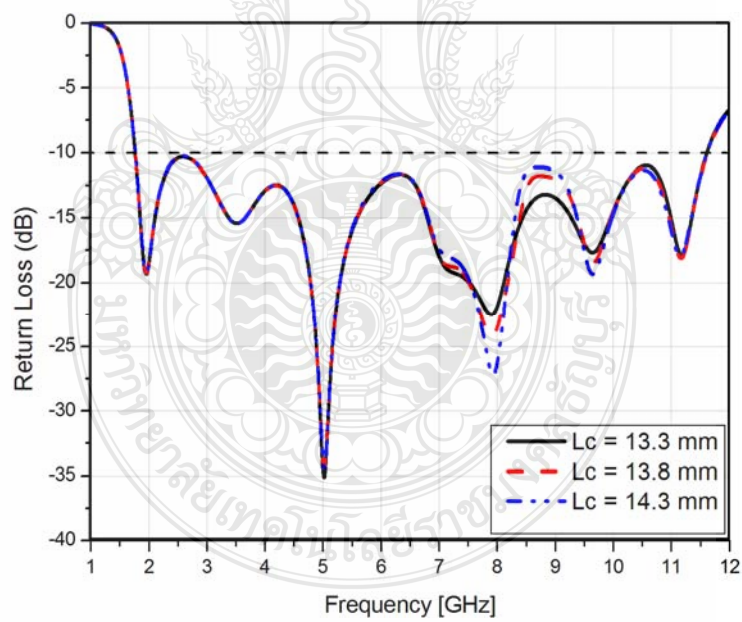
จากภาพที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าค่าของพารามิเตอร์ L_s มีผลต่อความกว้างของแบนด์วิดท์ เมื่อ L_s มีค่ามากขึ้นจะทำให้แบนด์วิดท์ทางด้านความถี่ต่ำเพิ่มมากขึ้นด้วย และจากภาพที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าค่าของพารามิเตอร์ R มีผลต่อความกว้างของแบนด์วิดท์ เมื่อ R มีค่ามากขึ้นจะทำให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นทางด้านความถี่สูง แต่ทำให้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับทางด้านความถี่สูงเพิ่มมากขึ้น



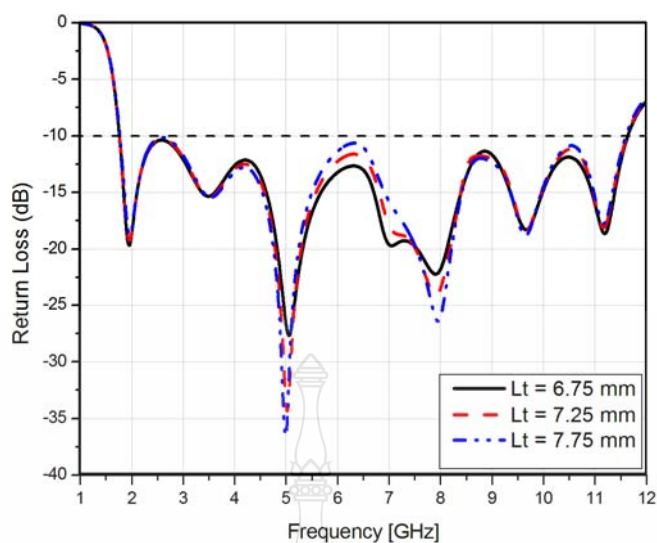
ภาพที่ 3.7 แบบรูปสตัปรูปคล้ายส้อม ของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่พารามิเตอร์ L_p , L_c , L_t , W_p , R_c และ R_s



ภาพที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_p

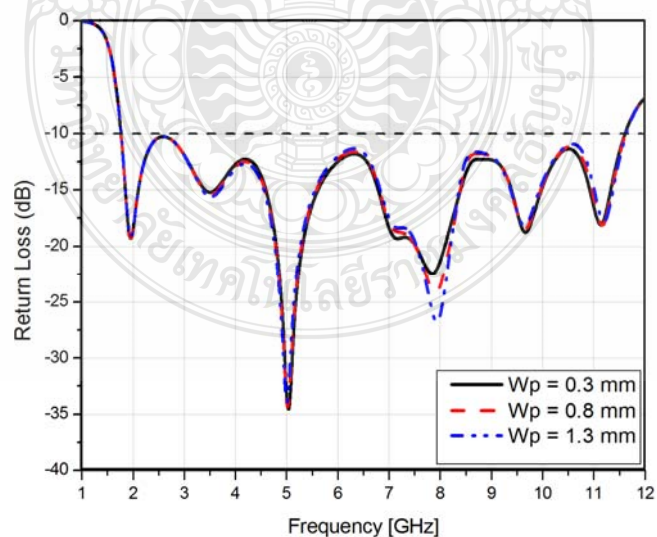


ภาพที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_c

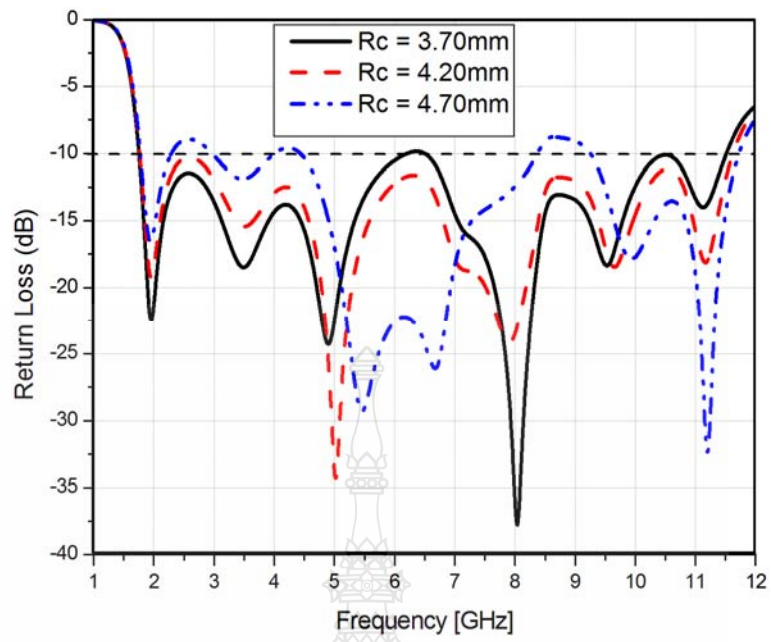


ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ L_t

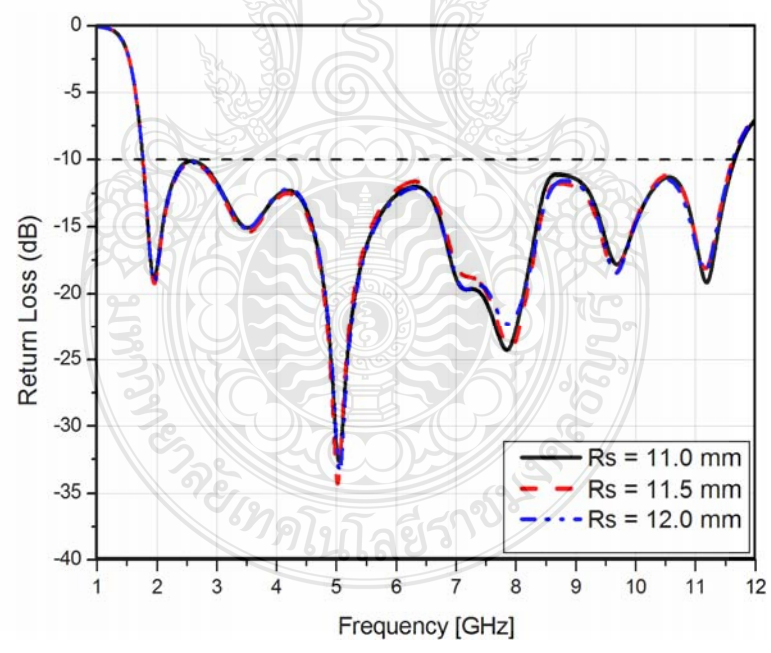
จากภาพที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 แสดงให้เห็นว่าระยะของพารามิเตอร์ที่ L_c และ L_t มีผลกระทบต่อความถี่เรโซแนนซ์ที่คล้ายกัน โดยเมื่อลดระยะของพารามิเตอร์จะทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับน้อยลง แต่ถ้าเพิ่มระยะของพารามิเตอร์จะทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมากขึ้น ส่วนค่าพารามิเตอร์ L_p ผลกระทบต่างจาก L_c และ L_t โดยหากเพิ่มระยะพารามิเตอร์หรือลดระยะพารามิเตอร์ ก็มีผลกระทบต่อค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ W_p

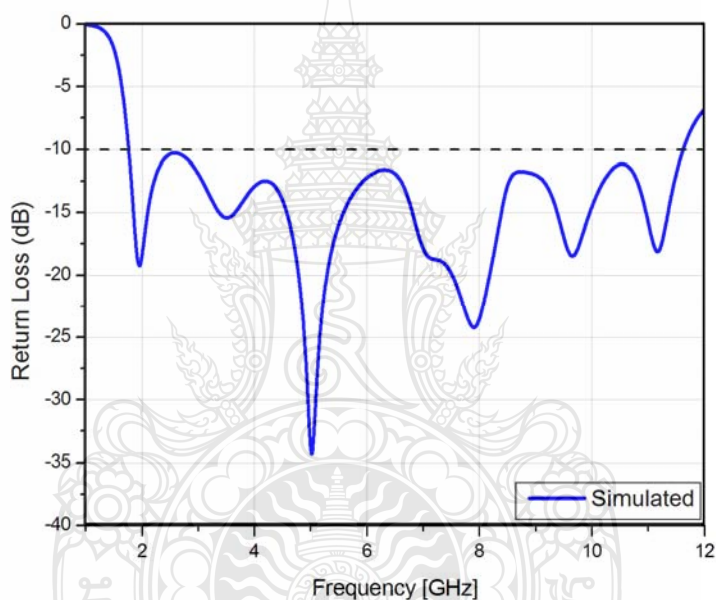


ภาพที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ R_c

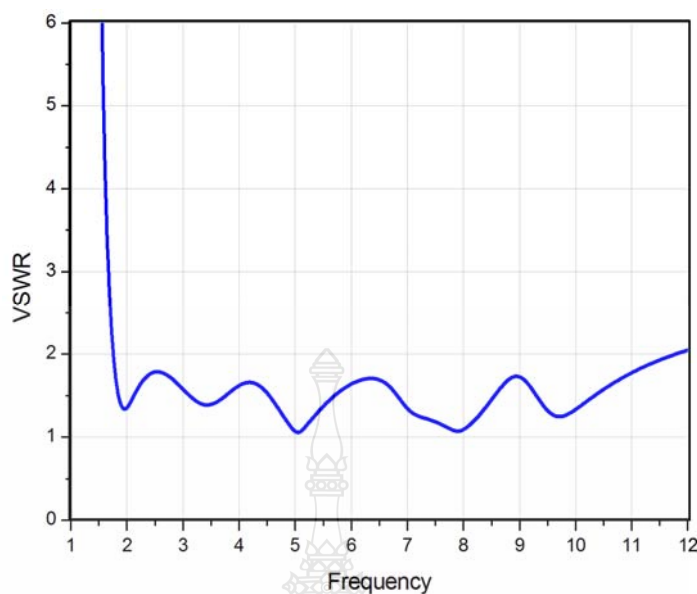


ภาพที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ R_s

จากภาพที่ 3.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ Wp ที่มีการเปลี่ยนแปลงระยะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก็ทำให้แบนด์วิดท์กว้างขึ้นเล็กน้อยและมีความถี่เรโซแนนซ์ต่ำลงในช่วง และถ้าลดระยะของพารามิเตอร์ลงก็จะทำให้แบนด์วิดท์กว้างขึ้นและมีความถี่เรโซแนนซ์สูงขึ้นในช่วง และจากภาพที่ 3.12 พารามิเตอร์ Rc จะมีผลต่อความกว้างของแบนด์วิดท์ เมื่อ Rc มีค่ามากขึ้นจะทำให้แบนด์วิดท์ทางซ้ายความถี่สูงเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ทำให้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ทางด้านความถี่ต่ำลงมามีค่าเพิ่มมากขึ้น จากภาพที่ 3.13 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระยะของ R_s ที่มีต่อความถี่เรโซแนนซ์โดยหากพารามิเตอร์มีระยะเพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำเคลื่อนมาทางความถี่สูงเล็กน้อยส่งผลให้แบนด์วิดท์แคบลงเล็กน้อย

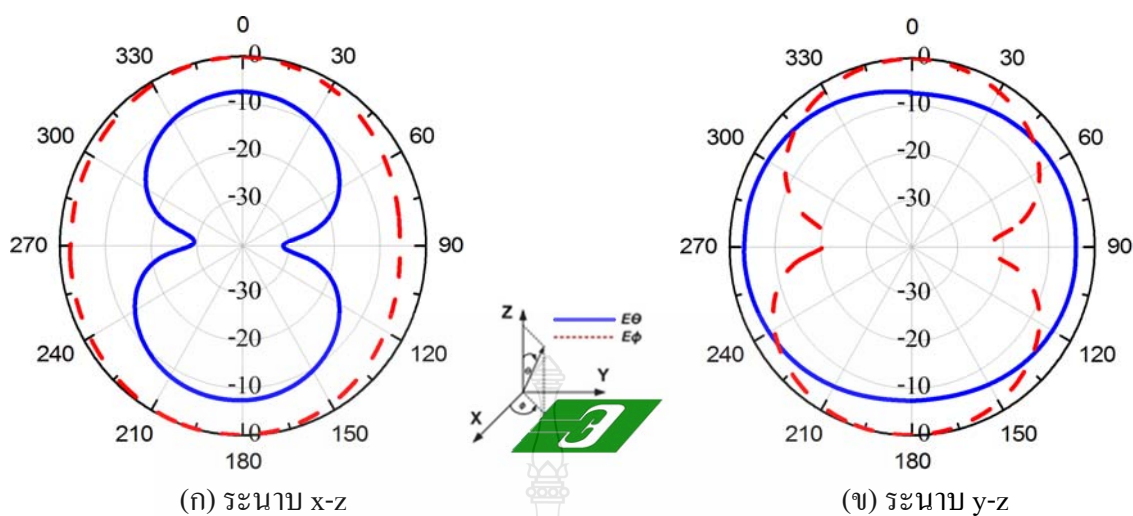


ภาพที่ 3.14 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

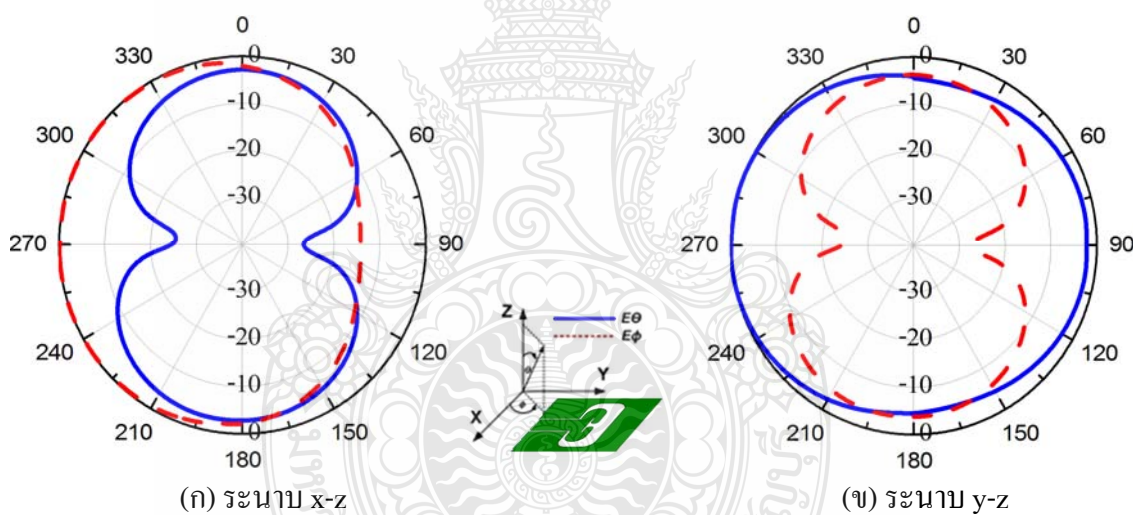


ภาพที่ 3.15 ค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซี สำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

จากภาพที่ 3.14 แสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสัญญาณของสายอากาศไมลาร์ฟิล์มสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ โดยการหาค่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศ จะคิดจากช่วงความถี่ที่มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสัญญาณต่ำกว่า -10 dB จะได้ค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.8 – 11.6 GHz ซึ่งครอบคลุมช่วงแบนด์วิดท์ของระบบอัลตราไวด์แบนด์ตามมาตรฐาน Federal Communication Commission: FCC และหากค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสัญญาณน้อยจะยิ่งดี และจากภาพที่ 3.15 แสดงค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ซึ่งสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบแมตซ์ที่ได้นั้น ในการหาค่าแบนด์วิดท์โดยคิดจากช่วงความถี่ที่มีอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งต่ำกว่า 2 โดยดูได้จากกราฟจะได้ค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.8 – 11.6 GHz หากค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งนี้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 จะดีมาก



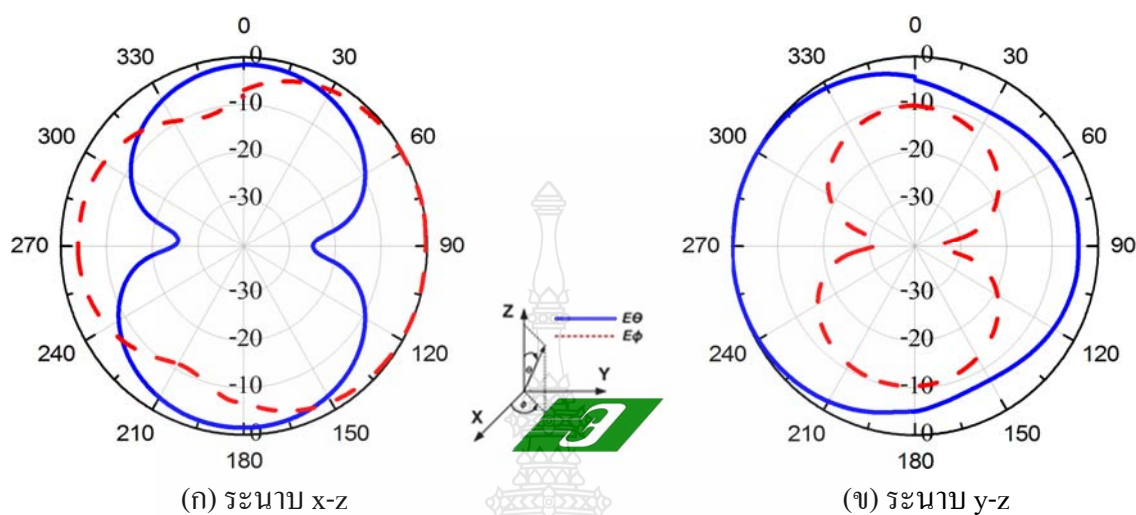
ภาพที่ 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 1.9 GHz



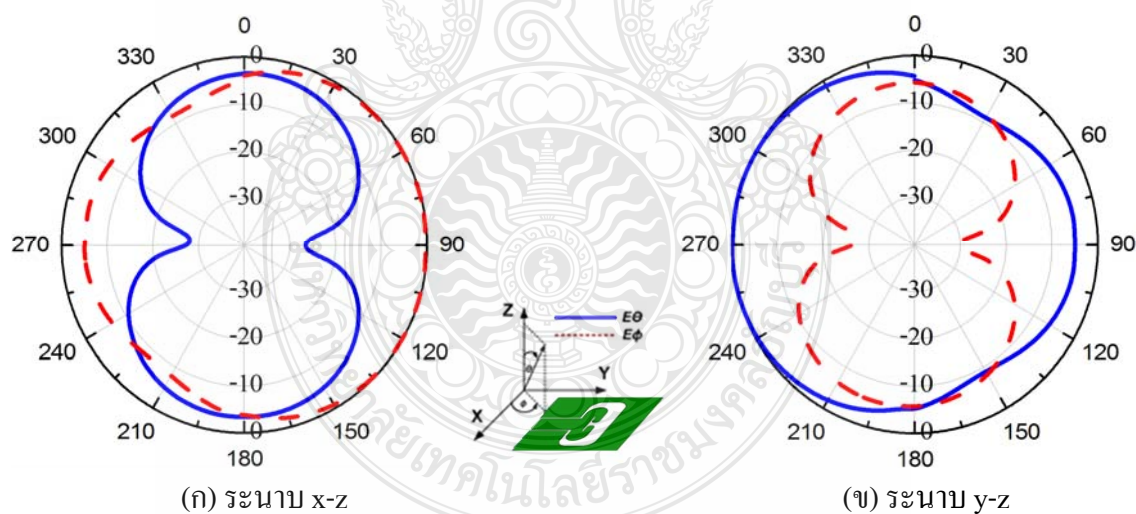
ภาพที่ 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.1 GHz

จากภาพที่ 3.16 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติ ที่ความถี่ 1.9 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง (Bi-Directional) ทั้งในระนาบ x-z และระนาบ y-z และจากภาพที่ 3.17 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบ 2 มิติที่ความถี่ 2.1 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานก็จะคล้ายๆ กับแบบรูปการแผ่

พลังงานที่ความถี่ 1.9 GHz เนื่องจากความถี่ที่วัดนั้นมีความใกล้เคียงกัน แต่ผลก็จะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

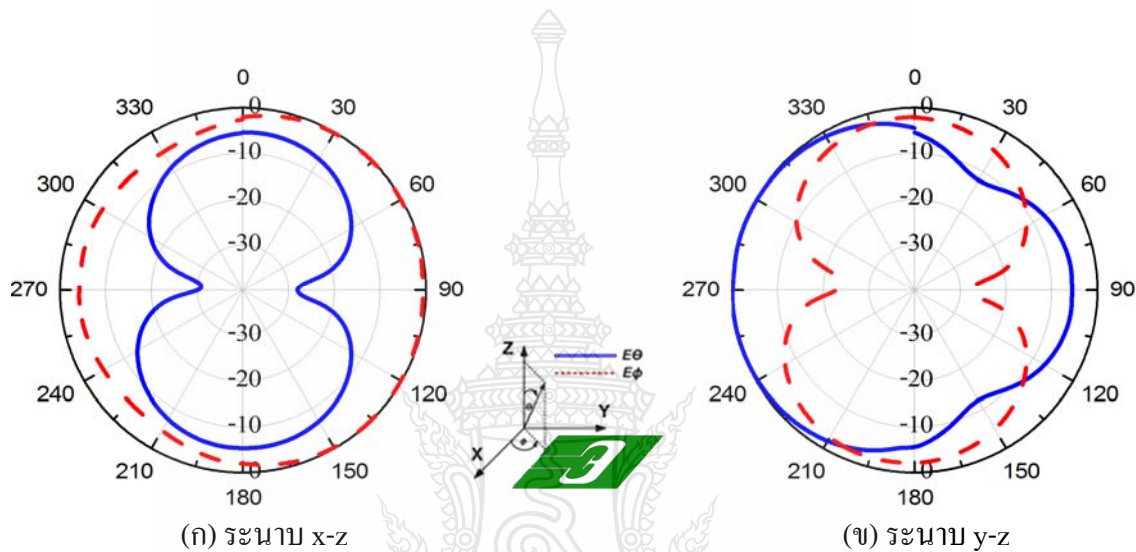


ภาพที่ 3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.35 GHz

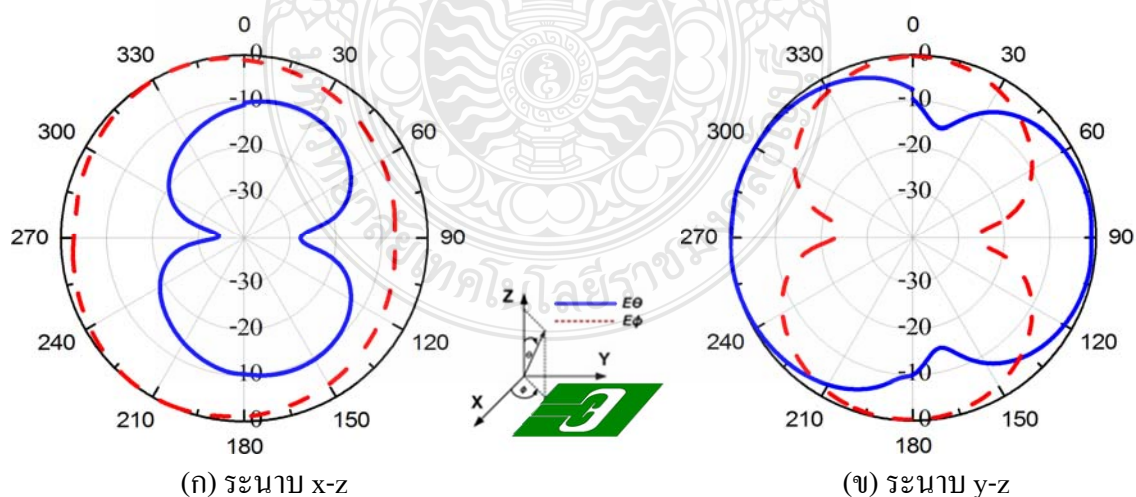


ภาพที่ 3.19 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.45 GHz

จากภาพที่ 3.18 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติที่ความถี่ 2.35 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ทั้งในระนาบ x-z และในระนาบ y-z และจากภาพที่ 3.19 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานก็จะคล้ายๆ กับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 2.45 GHz เนื่องจากความถี่ที่วัดนั้นมีความใกล้เคียงกัน

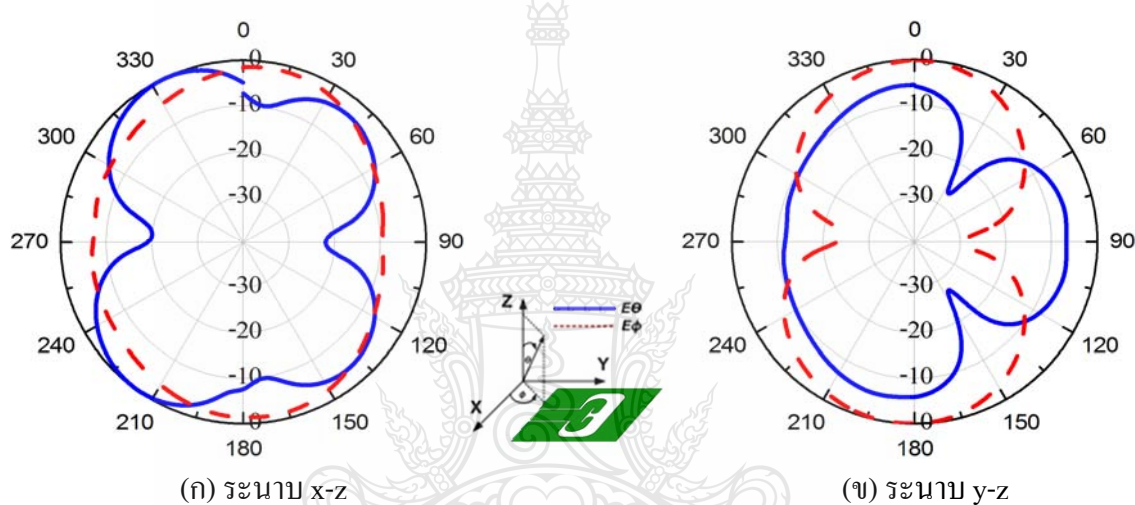


ภาพที่ 3.20 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.6 GHz

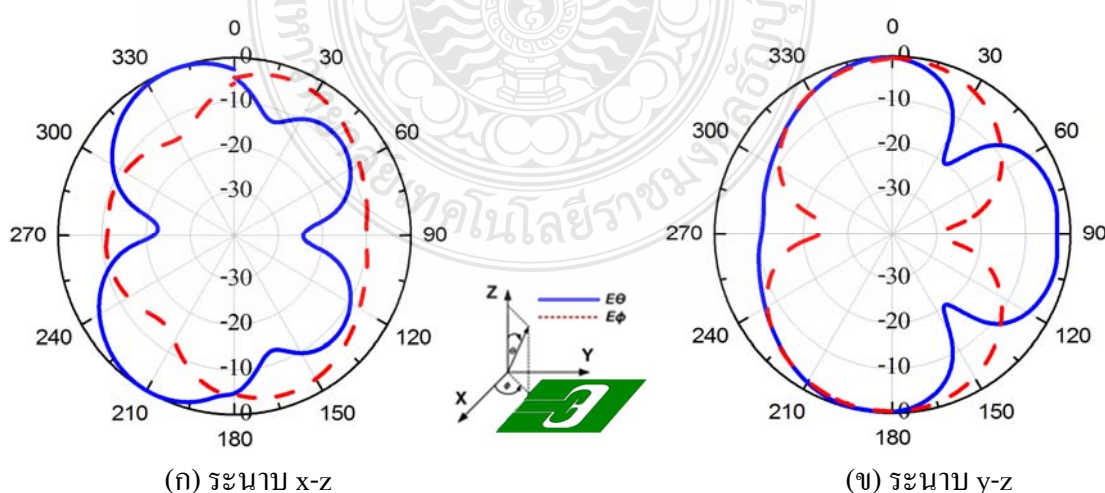


ภาพที่ 3.21 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 3.5 GHz

จากภาพที่ 3.20 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติที่ความถี่ 2.6 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ทั้งในระนาบ x-z และในระนาบ y-z โดยที่ในระนาบ y-z นั้นจะแผ่พลังงานต่างจาก x-z ไป 90 องศา และจากภาพที่ 3.21 ก และ ข แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติของสายอากาศไมล่าฟิล์มสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่ความถี่ 3.5 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ทั้งในระนาบ x-z และในระนาบ y-z โดยการแผ่พลังงานต่างจาก x-z ไป 90 องศาดังรูป

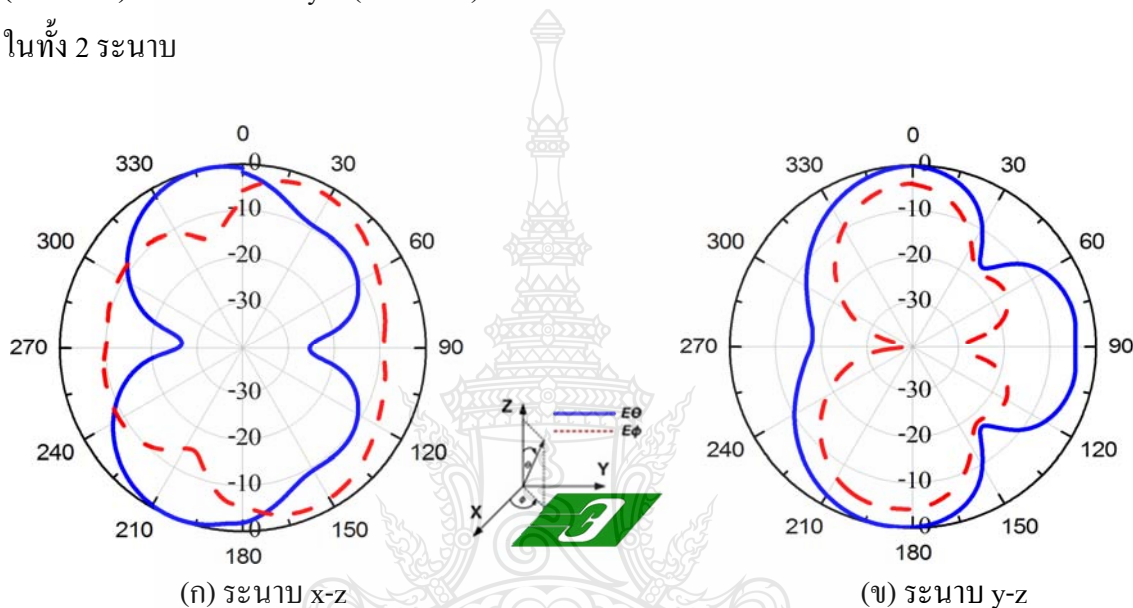


ภาพที่ 3.22 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 5.2 GHz

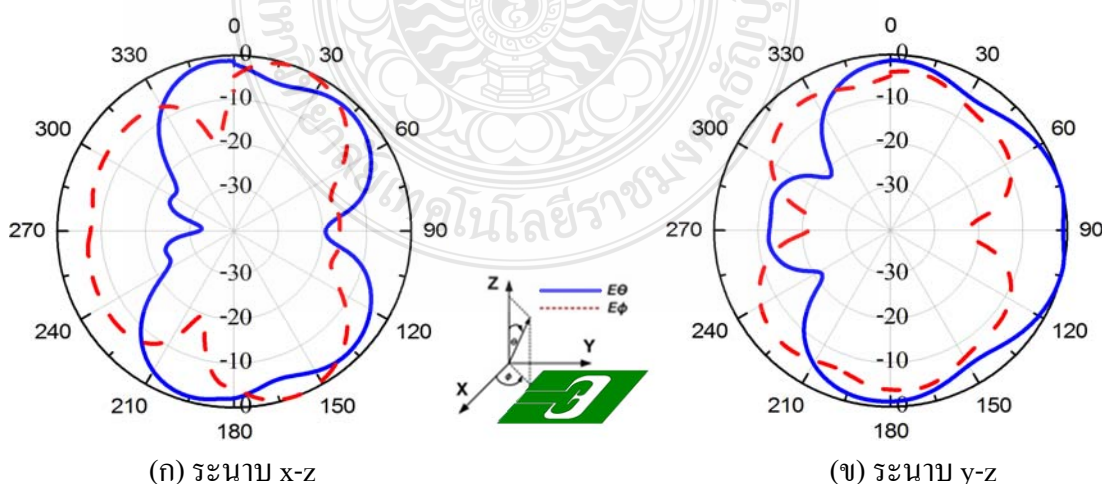


ภาพที่ 3.23 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 5.5 GHz

จากภาพที่ 3.22 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ความถี่ 5.2 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ในทั้ง 2 ระนาบ และจากภาพที่ 3.23 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่ความถี่ 5.5 GHz ทั้งในระนาบ x-z (ระนาบ E) และในระนาบ y-z (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ในทั้ง 2 ระนาบ

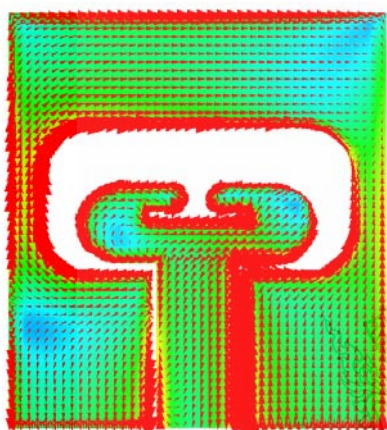


ภาพที่ 3.24 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 5.8 GHz

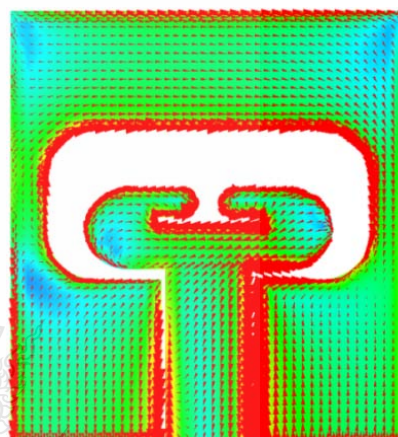


ภาพที่ 3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานสนามระยะไกลของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์ 7 GHz

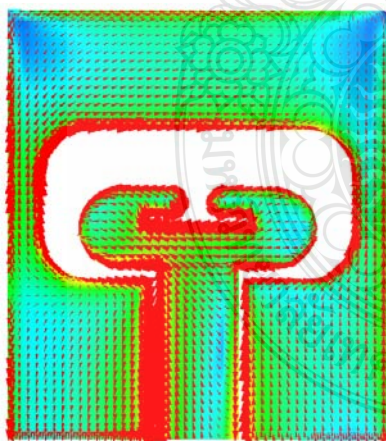
จากภาพที่ 3.24 (ก) และ (ข) แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติที่ความถี่ 5.8 GHz ทั้งในระนาบ $x-z$ (ระนาบ E) และในระนาบ $y-z$ (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ในทั้ง 2 ระนาบ และจากภาพที่ 3.25 ก และ ข แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบ 2 มิติของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกระทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ที่ความถี่ 7 GHz ทั้งในระนาบ $x-z$ (ระนาบ E) และในระนาบ $y-z$ (ระนาบ H) ตามลำดับ ลักษณะการแผ่พลังงานจะเป็นแบบสองทิศทาง ในทั้ง 2 ระนาบ



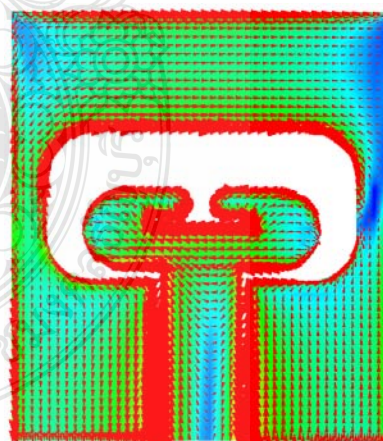
(ก) ความถี่ 1.9 GHz



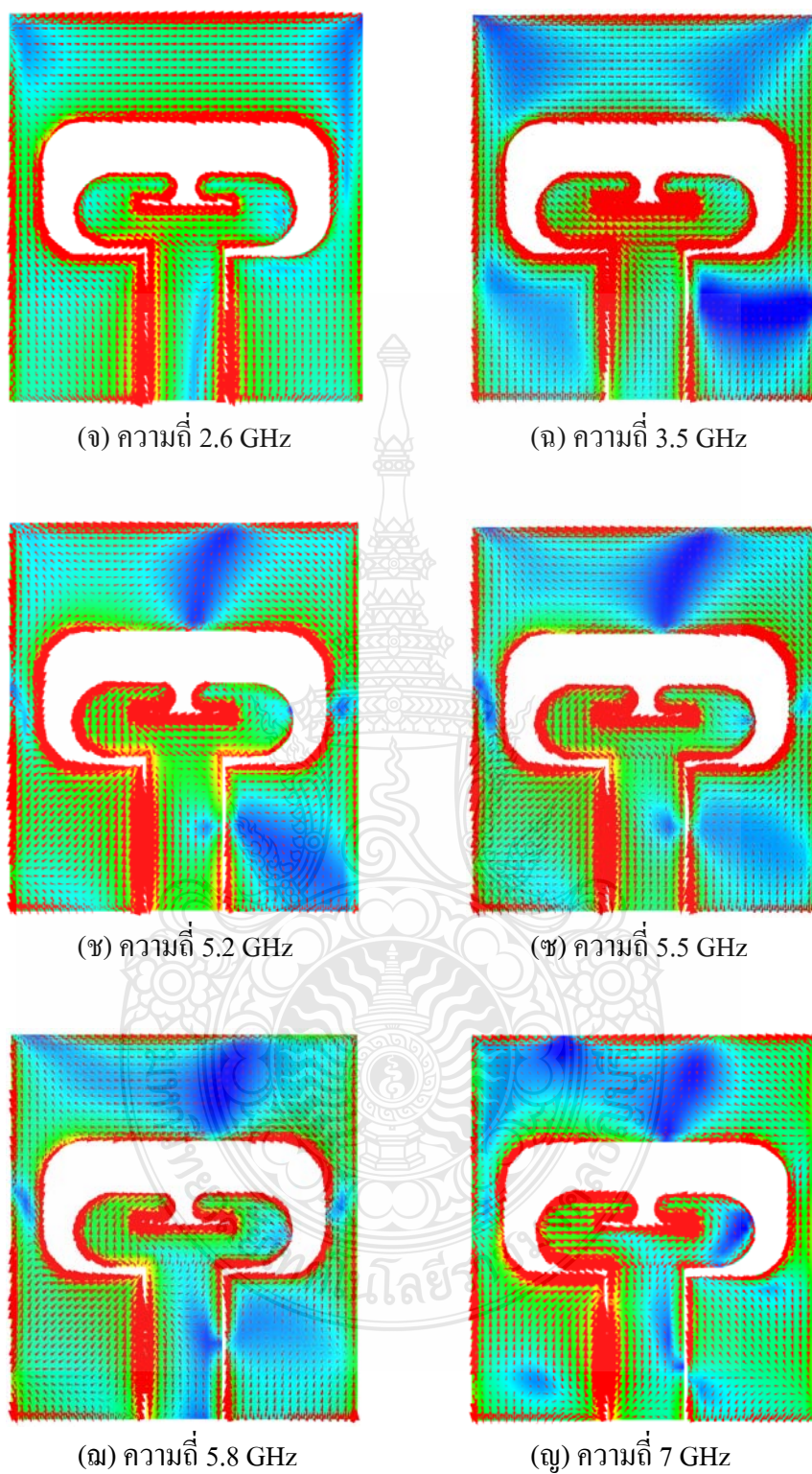
(ข) ความถี่ 2.1 GHz



(ค) ความถี่ 2.35 GHz

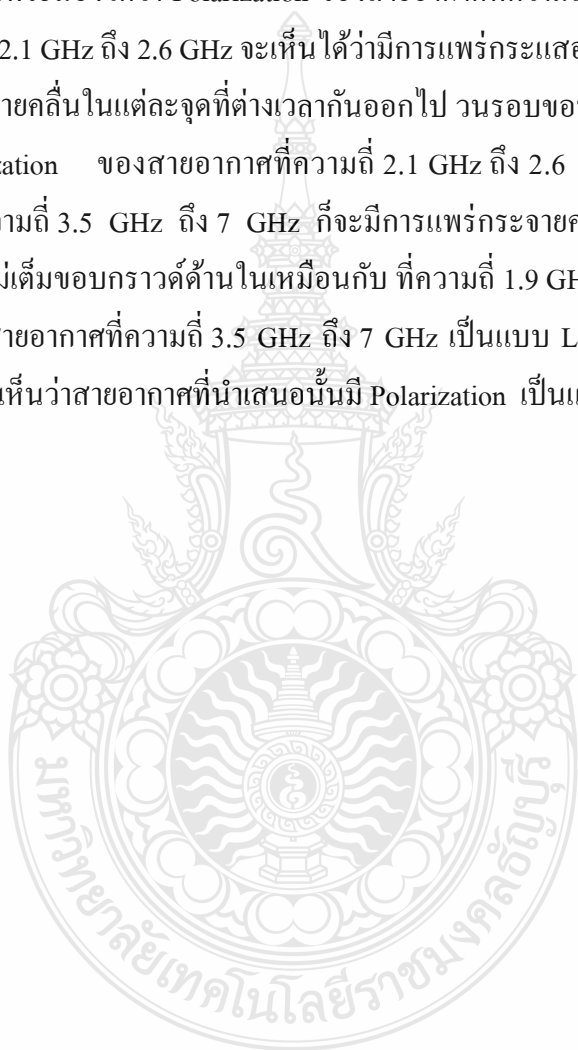


(ง) ความถี่ 2.45 GHz



ภาพที่ 3.26 การแพร่กระจายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

จากภาพที่ 3.26 แสดงการแพร่กระจายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซี สำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย จะแสดงให้เห็นว่าขอบกราวด์ตรงด้านในของสายอากาศจะมีผลกระทบ ต่อทุกๆความถี่ เนื่องจากตรงช่วงนั้นจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่แพร่กระจายสัญญาณออกไป แต่ ก็มีความเข้มที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละความถี่ โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการแพร่กระจาย คลื่นในแต่ละช่วงความถี่ที่เกิดขึ้น ที่ความถี่ 1.9 GHz จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายคลื่นออกไป พร้อมๆกัน จึงสามารถที่จะมองได้ว่า Polarization ของสายอากาศที่ความถี่ 1.9 GHz เป็นแบบ Linear Polarization ที่ความถี่ 2.1 GHz ถึง 2.6 GHz จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายออกไปเกือบจะไม่พร้อมกัน โดยจะมีการแพร่กระจายคลื่นในแต่ละจุดที่ต่างเวลากันออกไป วนรอบขอบกราวด์ด้านใน จึงสามารถ ที่จะมองได้ว่า Polarization ของสายอากาศที่ความถี่ 2.1 GHz ถึง 2.6 GHz เป็นแบบ Linear Polarization และที่ความถี่ 3.5 GHz ถึง 7 GHz ก็จะมีการแพร่กระจายคลื่นออกไปพร้อมๆกัน การ แพร่กระจายคลื่นจะไม่เต็มขอบกราวด์ด้านในเหมือนกับ ที่ความถี่ 1.9 GHz แต่ก็สามารถที่จะมองได้ ว่า Polarization ของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz ถึง 7 GHz เป็นแบบ Linear Polarization จากภาพ ข้างต้นนั้นจะแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอขึ้นนี้มี Polarization เป็นแบบ Linear Polarization



บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดลอง

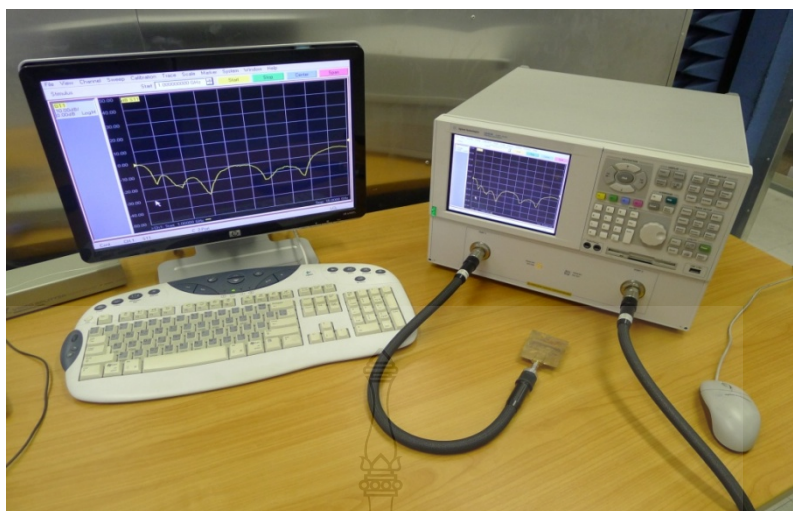
สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซี สำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมานั้นจะมีการทดสอบประสิทธิภาพต่างๆ ของสายอากาศ คือ การทดสอบวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ อิมพีแดนซ์และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง และ การทดสอบวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

4.1 การทดสอบและผลการทดลองของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

ในการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะและประสิทธิภาพของสายอากาศนั้น ต้องใช้เครื่องมือในการทดสอบคือเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent PNA Network Analyzers รุ่น E8363B แสดงดังภาพที่ 4.1 ในการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ซึ่งการทดลองการต่อสายอากาศเข้ากับ เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) เพื่อวัดผลการทดสอบของสายอากาศที่สร้างขึ้นได้แสดงดังภาพที่ 4.2

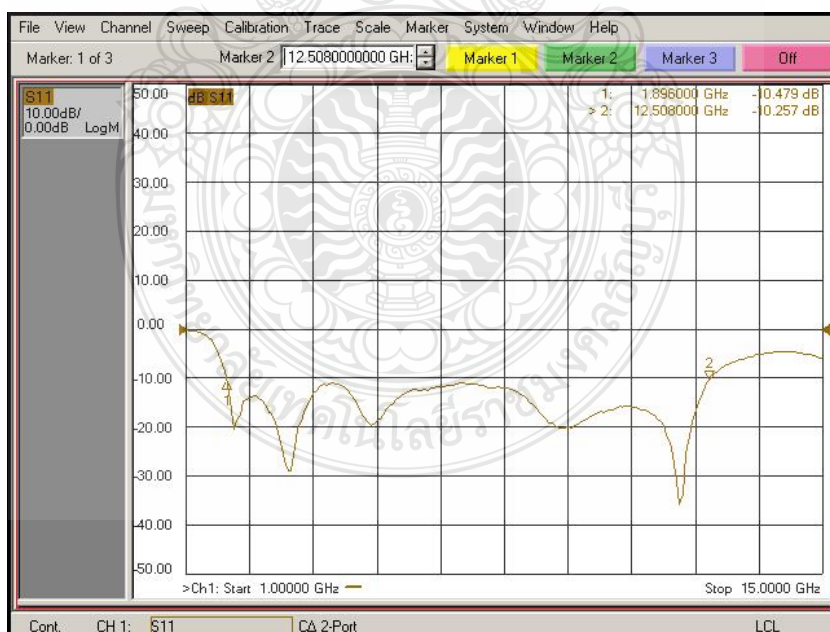


ภาพที่ 4.1 เครื่องมือวัดวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น E8363B



ภาพที่ 4.2 วิธีการวัดและวิเคราะห์สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

4.2.1 ผลทดสอบวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ อิมพีแดนซ์และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย



ภาพที่ 4.3 ผลการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

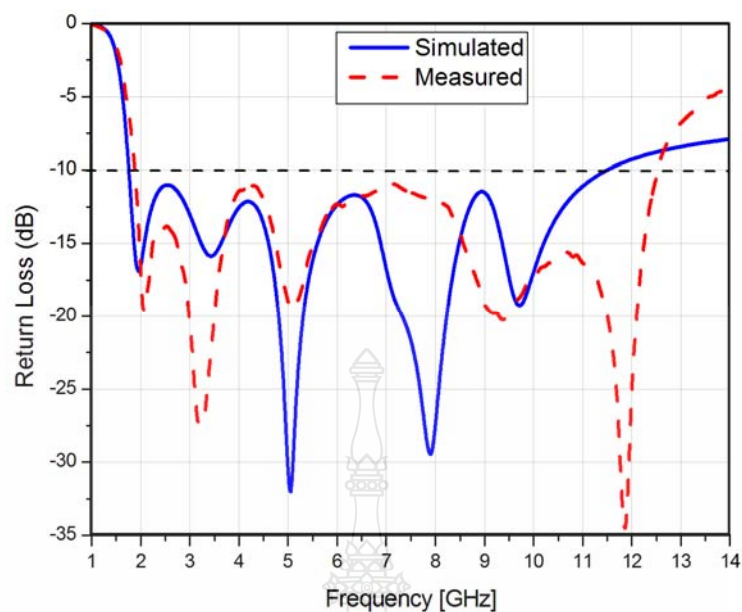


ภาพที่ 4.4 ผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงผลการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 1.0 – 15.0 GHz ซึ่งมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับตั้งแต่ 1.9 – 12.5 GHz และมีความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดที่ความถี่ 11.85 GHz และจากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 1.0 – 15.0 GHz ซึ่งมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับตั้งแต่ 1.9 – 12.5 GHz และมีความถี่เรโซแนนซ์ต่ำสุดที่ความถี่ 11.85 GHz

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบการจำลองการทำงานกับการวัดชิ้นงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA

เมื่อนำผลที่ได้จากการวัดชิ้นงานจริงมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน ที่ได้แสดงในภาพที่ 4.5 เห็นได้ชัดว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งผลจากการวัดชิ้นงานจริงจะเลื่อนขึ้นไปทางด้านความถี่สูง และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าทางด้านความถี่สูง

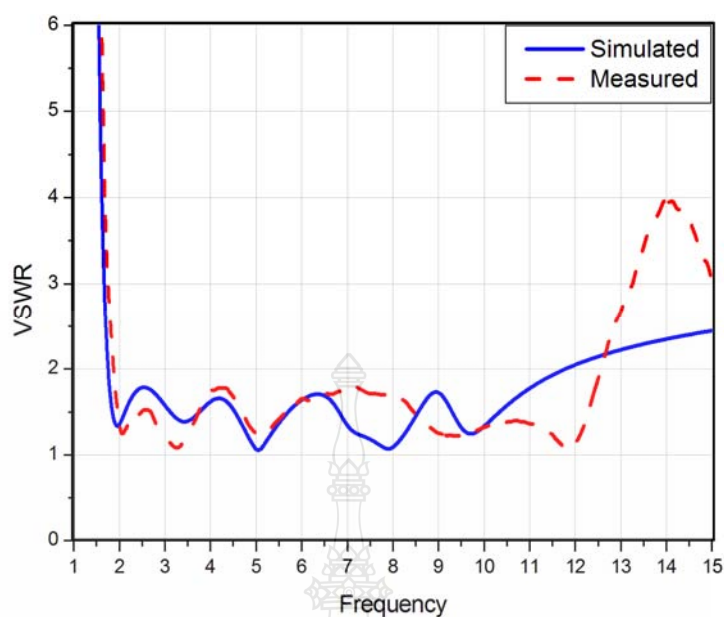


ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบการจำลองของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

ตารางที่ 4.1 ผลเปรียบเทียบการจำลองกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

สายอากาศไมล่ำฟิล์ม	$f_l - f_h$ (GHz)	f_c (GHz)	BW ที่ต่ำกว่า -10 dB (%)
ผลการจำลองการทำงาน	1.80 – 11.60 (9.80)	6.70	146.27
ผลจากการวัดชิ้นงานจริง	1.90 – 12.50 (10.60)	7.20	147.22

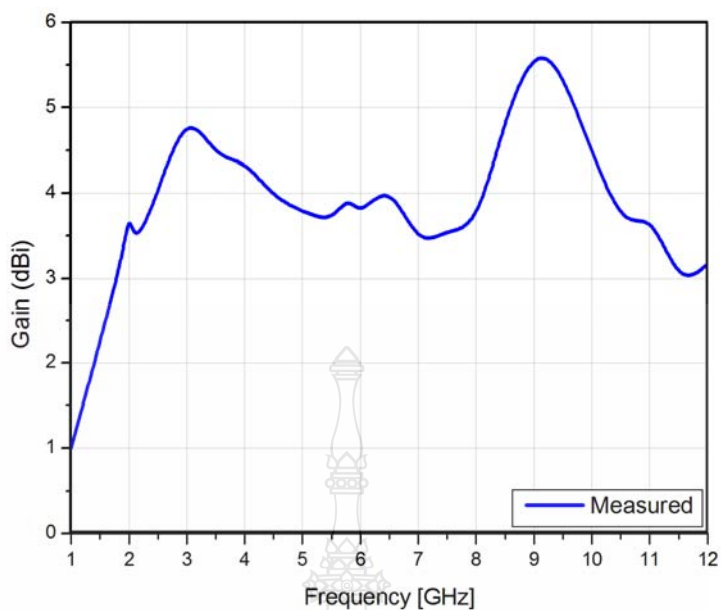
จากภาพที่ 4.5 ผลที่ได้จากการวัดชิ้นงานจริงและผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีความสอดคล้องกัน เช่นเดียวกับผลของการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ซึ่งได้ค่าในการวัดชิ้นงานจะเลื่อนขึ้นไปทางด้านความถี่สูงและมีแบนด์วิดท์กว้างขึ้น อาจเป็นเพราะมีการคลาดเคลื่อนของค่าตัวเลขทศนิยมในการสร้างชิ้นงานของสายอากาศจริงที่ไม่ละเอียดเหมือนในการจำลองการทำงานหรืออาจจะเป็นเพราะค่าคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาสร้างที่ไม่คงที่เท่าที่ควร จึงมีผลให้ค่าจากการวัดทดสอบคลาดเคลื่อนไป แต่แถบความถี่ก็ยังอยู่ในช่วงของการใช้งานได้



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบการจำลองของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

4.2.3 ผลทดสอบวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

การทดสอบวัดอัตราขยายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ได้ดังภาพที่ 4.7 เป็นวิธีการวัดวิเคราะห์คุณลักษณะและประสิทธิภาพของสายอากาศโดยที่มีสายอากาศสองตัวต่อเข้ากับเครื่องมือวัดวิเคราะห์ โดยที่สายอากาศรูปฮอร์นทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ โดยที่สามารถคำนวณหาอัตราขยายได้จากสมการที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.7 การทดสอบวัดอัตราขยายของสายอากาศสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

$$P_r = P_t - L_f - L_{line} + G_t + G_r \quad (4.1)$$

หรือ

$$G_r = P_r - P_t + L_f + L_{line} - G_t \quad (4.2)$$

โดยที่

P_t หมายถึงกำลังงานทางด้านส่ง (dBm)

P_r หมายถึงกำลังงานทางด้านรับ

L_{line} หมายถึงกำลังงานที่สูญเสียในสายส่งทางด้านส่งและด้านรับ

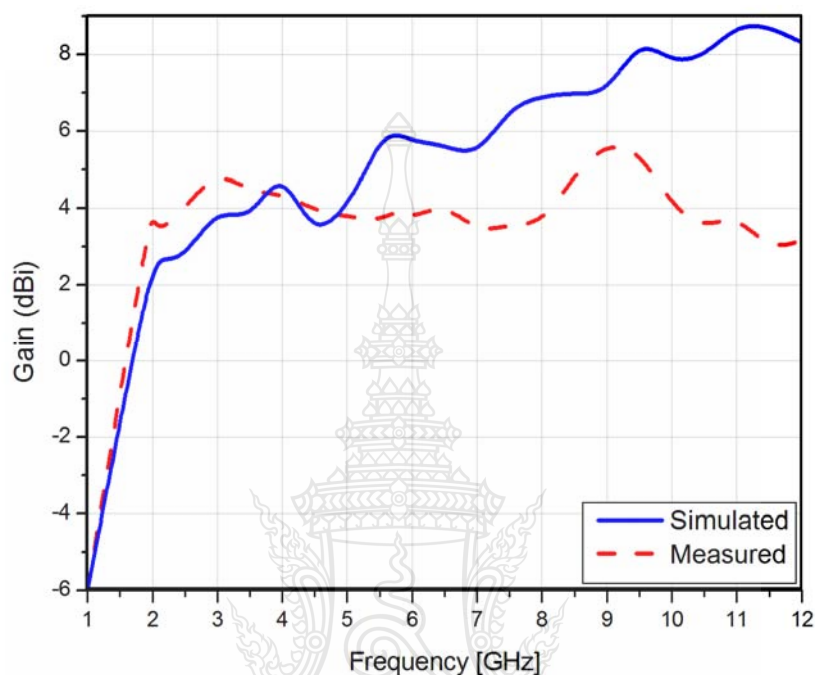
L_f หมายถึงกำลังงานที่สูญเสียในอากาศ = $20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$

d หมายถึงระยะห่างระหว่างสายส่งทางด้านส่งและด้านรับ 2 เมตร

G_t หมายถึงอัตราขยายของสายอากาศทางด้านส่ง

G_r หมายถึงอัตราขยายของสายอากาศทางด้านรับ

ในส่วนของการเปรียบเทียบของค่าอัตราขยายจากการจำลองกับผลการวัดของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่ความถี่ 1.0 GHz ถึง 12 GHz มีค่าอัตราขยายในย่านความถี่ใช้งานเฉลี่ยมากกว่า 2 dBi แสดงดังภาพที่ 4.8

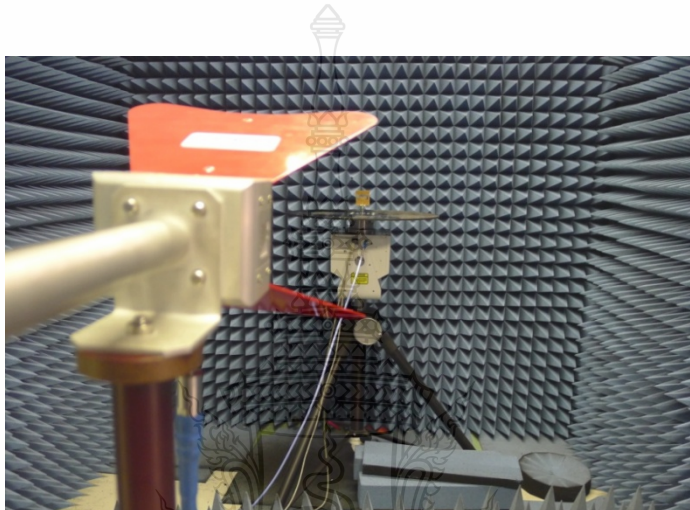


ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการวัดและการจำลองแบบของค่าอัตราขยายของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

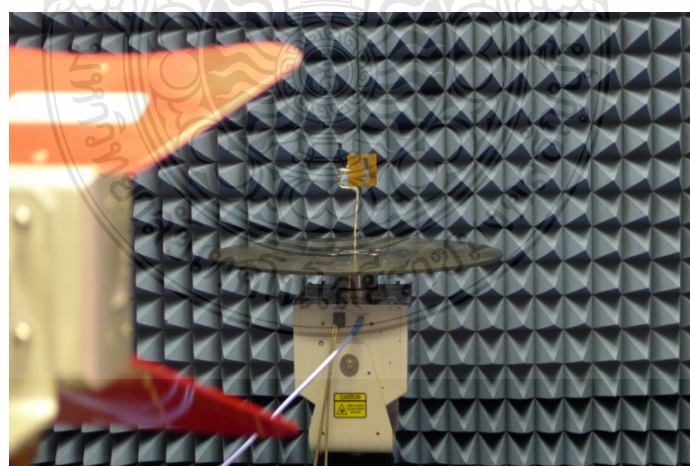
4.2.4 การทดสอบวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการใช้งานย่านความถี่สำหรับเทคโนโลยี BWA โดยความถี่ที่ใช้งานในการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานซึ่งได้แก่ ความถี่ที่ 1.9 GHz, 2.1 GHz, 2.35 GHz, 2.45 GHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz, 5.2 GHz, 5.5 GHz, 5.8 GHz และ 7 GHz ตามลำดับ ส่วนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดจะประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น E8363B ร่วมกับโปรแกรมแสดงค่าการแผ่พลังงานสามารถวัดได้ทั้งกำลังและความถี่ในย่านแถบความถี่ที่ออกแบบโดยปรับความถี่รับที่ความถี่ 1.9 GHz, 2.1 GHz, 2.35 GHz, 2.45 GHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz, 5.2 GHz, 5.5 GHz, 5.8 GHz และ 7 GHz โดยการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสนามไฟฟ้า

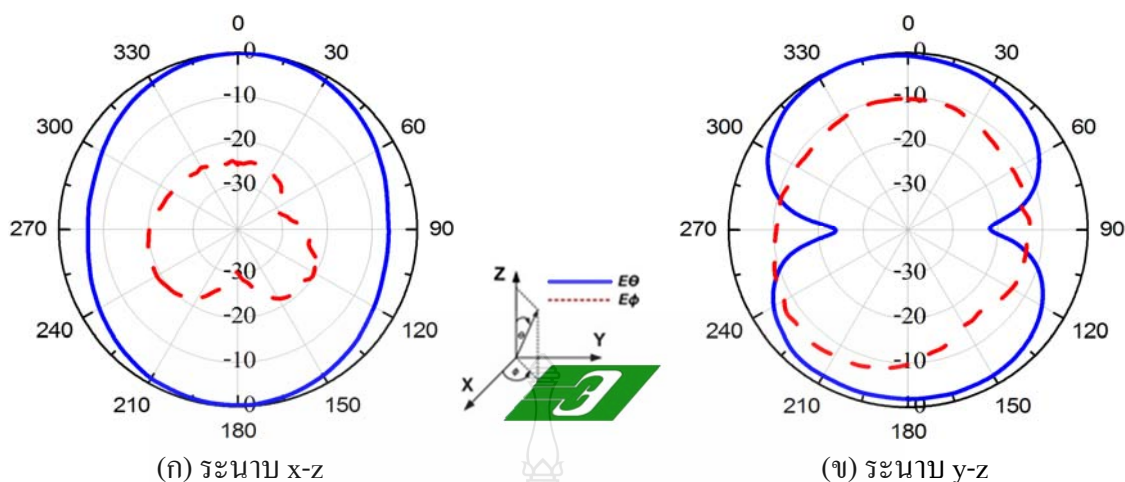
ระยะไกลของสายอากาศแบบระนาบร่วมแบบบนพื้นที่โล่ง โดยที่สายอากาศส่งและรับอยู่ในระนาบเดียวกันและระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ 2 เมตร สายนำสัญญาณทั้งด้านส่งและรับยาวด้านละ 5 เมตร โดยจะทำการหมุนสายอากาศทดสอบตั้งแต่ 0 องศา จนครบรอบ 360 องศา ดังที่แสดงในภาพที่ 4.9 และ 4.10 โดยใช้การปรับระนาบที่ด้านรับครั้งละ 5 องศาเพื่อดูค่าความแตกต่างของสัญญาณที่สายอากาศสามารถรับได้ในแต่ละระนาบ โดยจะทำการทดสอบสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายทั้งระนาบ x-z และระนาบ y-z



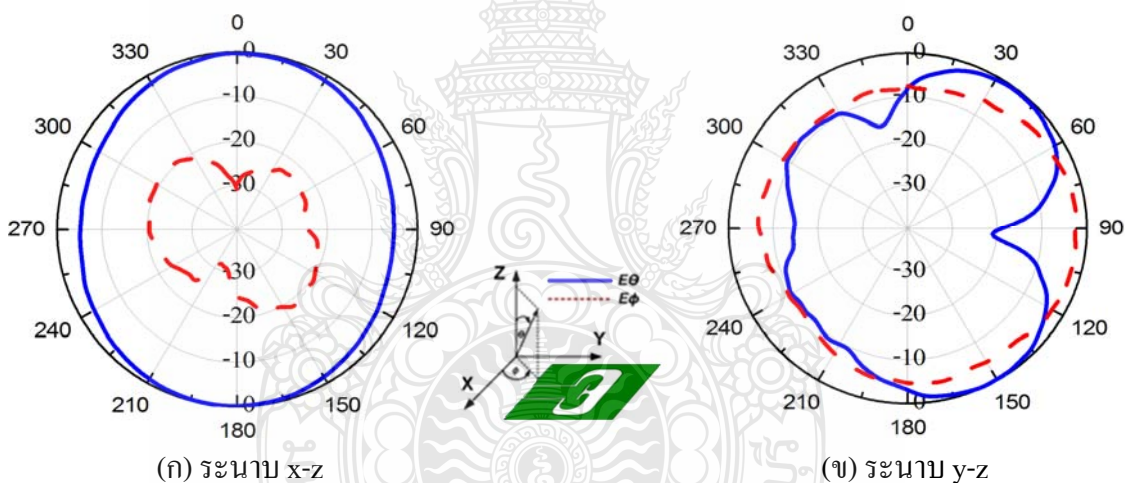
ภาพที่ 4.9 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ในแนวระนาบ x-z



ภาพที่ 4.10 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ในระนาบ y-z

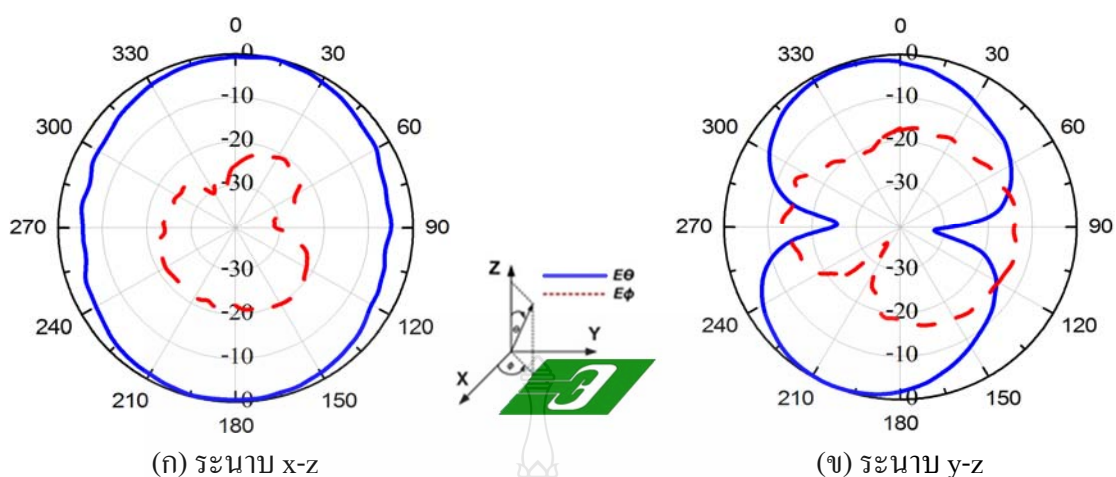


ภาพที่ 4.11 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 1.9 GHz

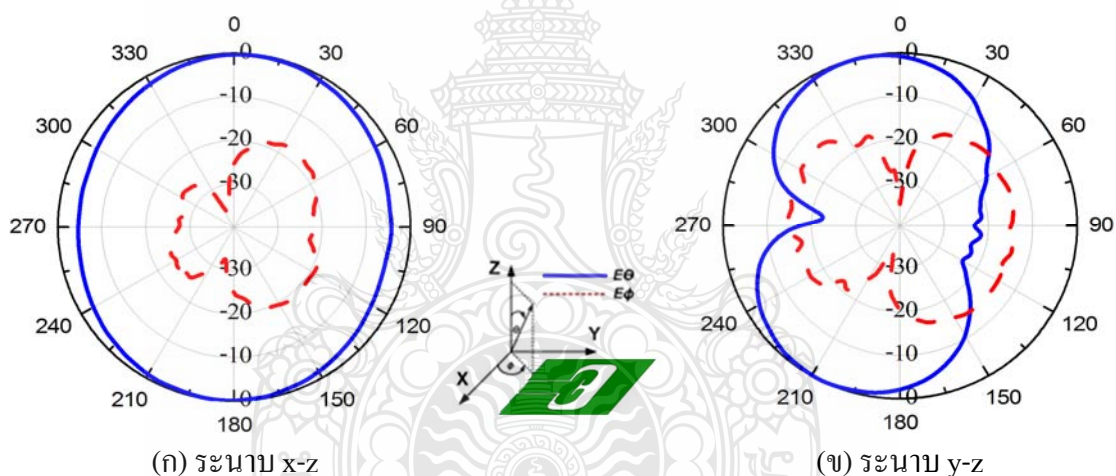


ภาพที่ 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.1 GHz

จากภาพที่ 4.11 และ 4.12 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงที่ความถี่ 1.9 GHz และ 2.1 GHz ซึ่งแสดงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ x-z และ y-z ที่ความถี่ 1.9 GHz และ 2.1 GHz นั้นมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง

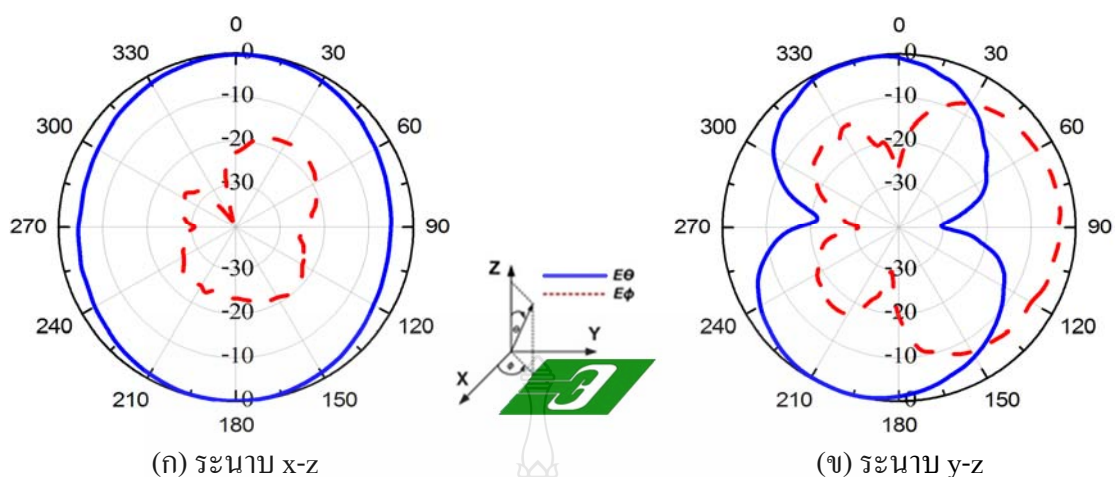


ภาพที่ 4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.35 GHz

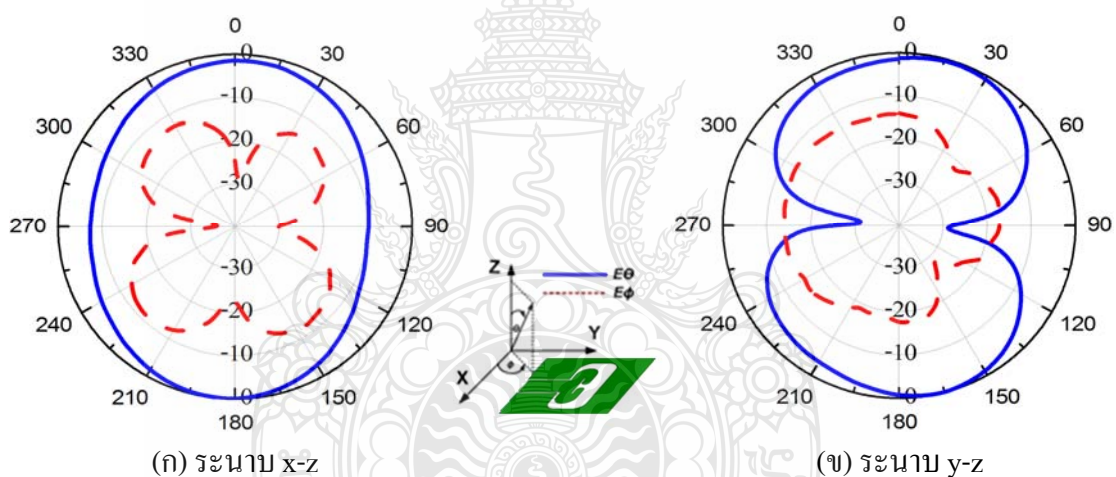


ภาพที่ 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz

จากภาพที่ 4.13 และ 4.14 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงที่ความถี่ 2.35 GHz และ 2.45 GHz ซึ่งแสดงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ x-z และ y-z ที่ความถี่ 2.35 GHz และ 2.45 GHz นั้นมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง

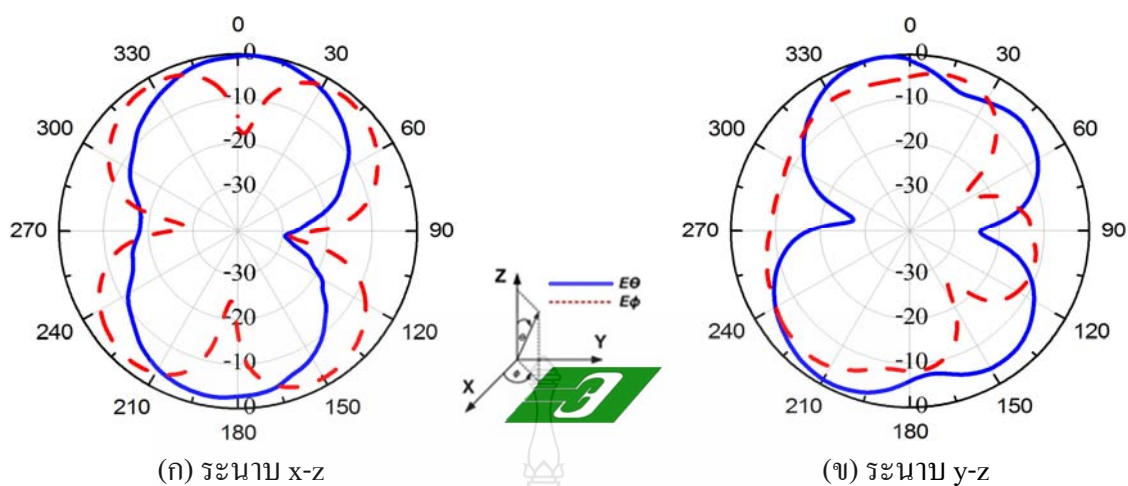


ภาพที่ 4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 2.6 GHz

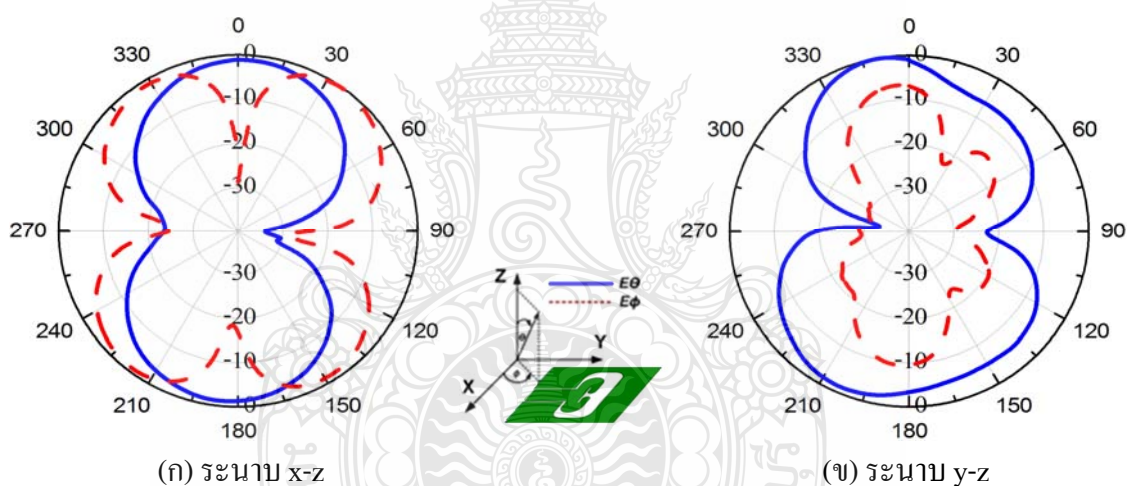


ภาพที่ 4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz

จากภาพที่ 4.15 และ 4.16 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงที่ความถี่ 2.6 GHz และ 3.5 GHz ซึ่งแสดงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ x-z และ y-z ที่ความถี่ 2.6 GHz และ 3.5 GHz นั้นมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง

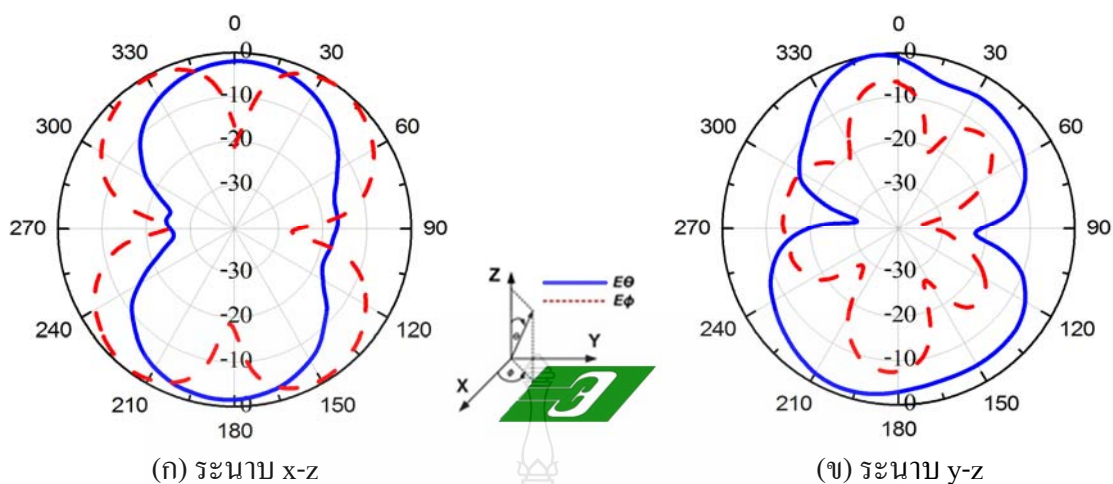


ภาพที่ 4.17 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz

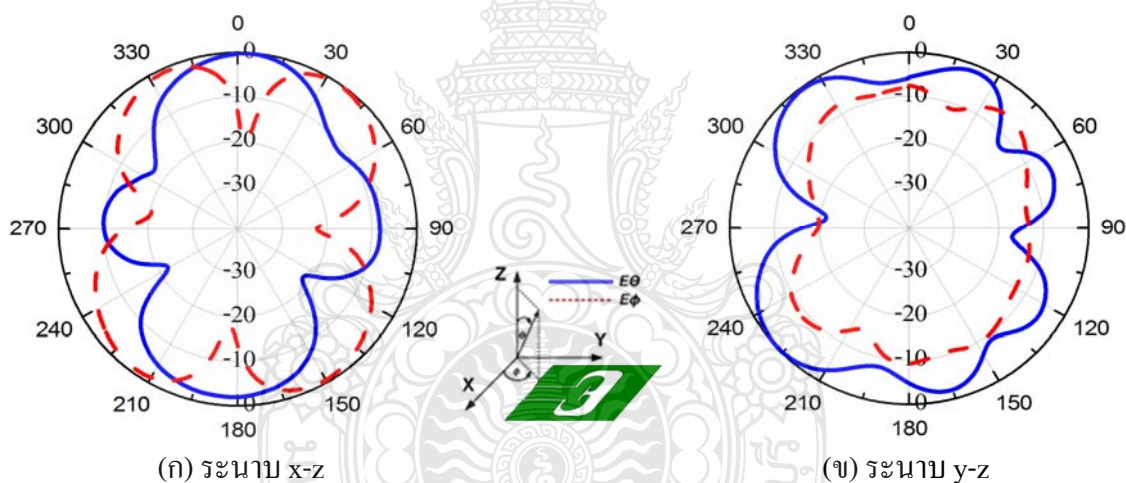


ภาพที่ 4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 5.5 GHz

จากภาพที่ 4.17 และ 4.18 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงที่ความถี่ 5.2 GHz และ 5.5 GHz ซึ่งแสดงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ x-z และ y-z ที่ความถี่ 5.2 GHz และ 5.5 GHz นั้นมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง

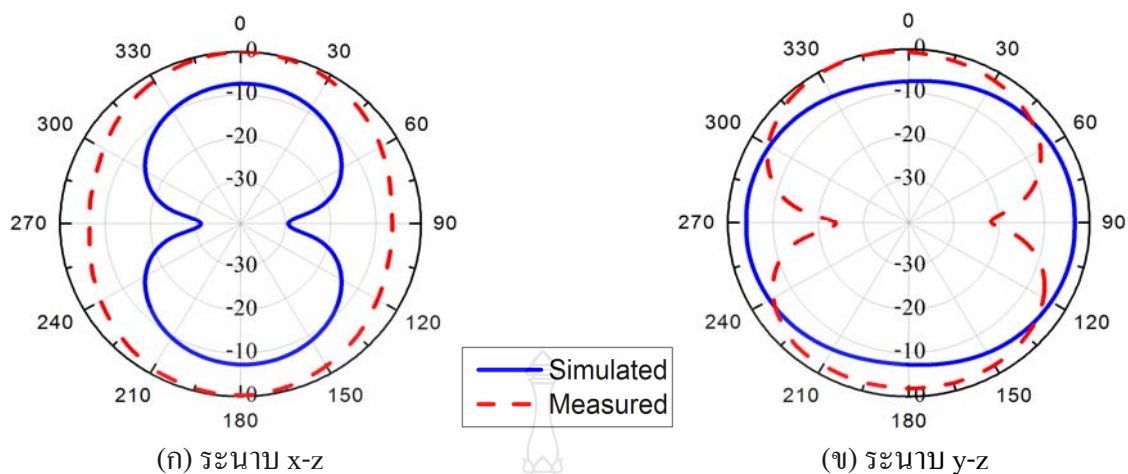


ภาพที่ 4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz

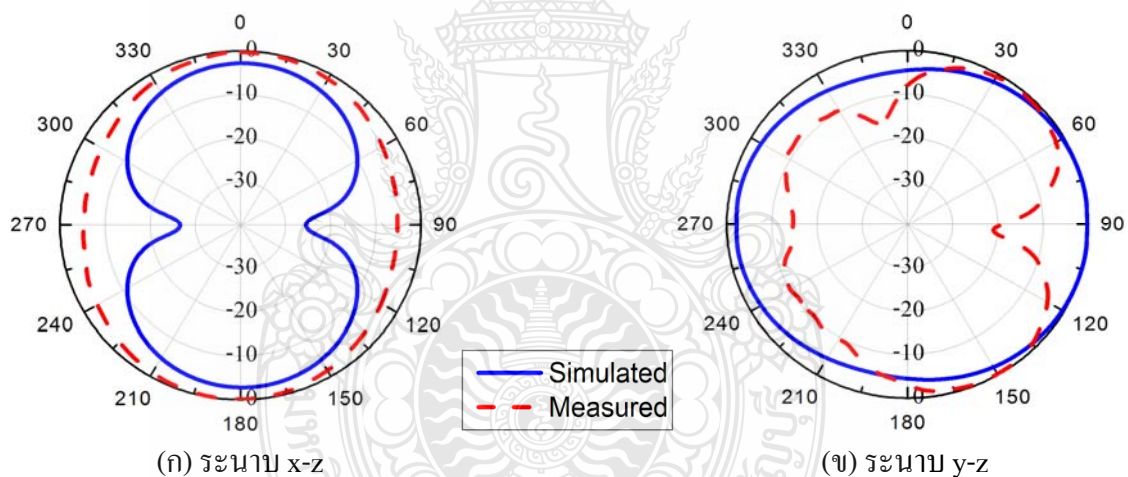


ภาพที่ 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงของสายอากาศที่ความถี่ 7 GHz

จากภาพที่ 4.19 และ 4.20 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดจริงที่ความถี่ 5.8 GHz และ 7 GHz ซึ่งแสดงลักษณะการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ x-z และ y-z ที่ความถี่ 5.8 GHz และ 7 GHz นั้นมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบสองทิศทาง



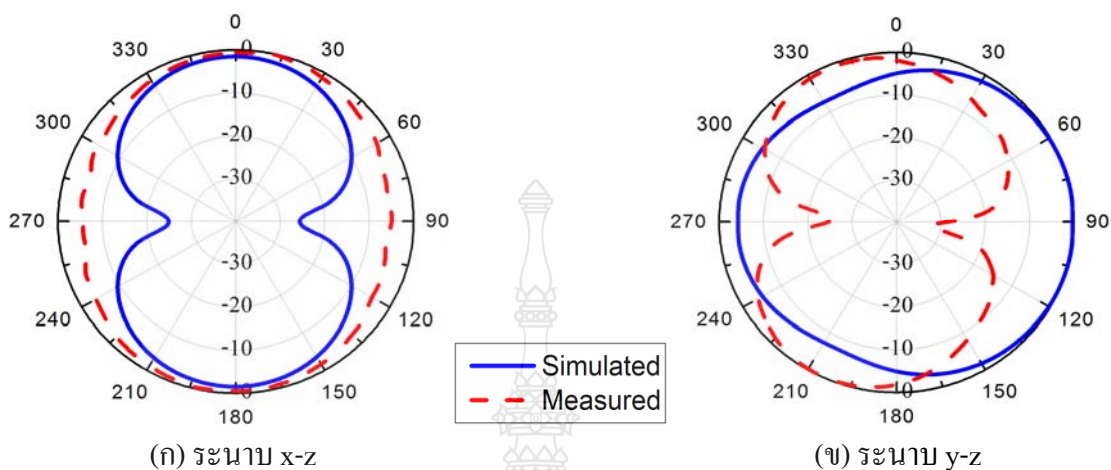
ภาพที่ 4.21 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 1.9 GHz



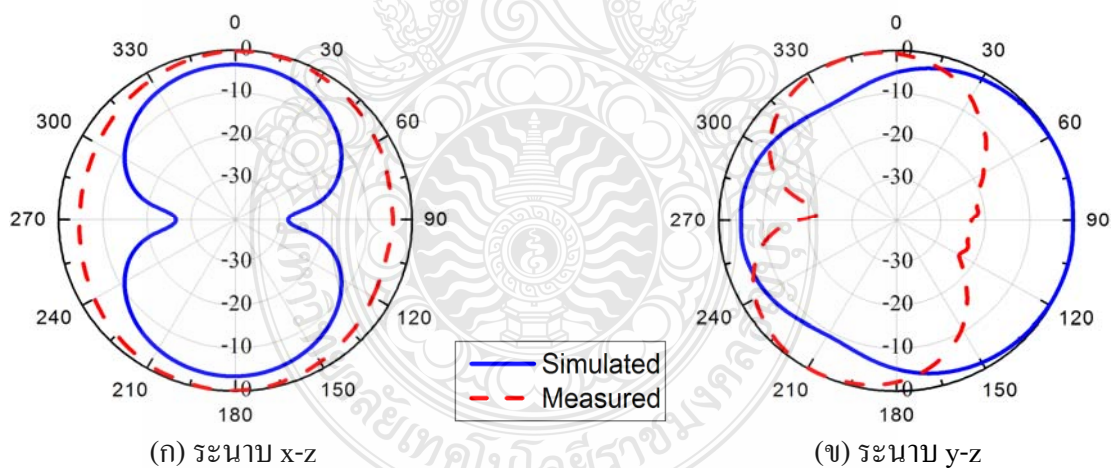
ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 2.1 GHz

จากภาพที่ 4.21 และ 4.22 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงาน(Radiation Pattern) ของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงและนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยจะทำการวัดที่ความถี่ 1.9 GHz และ 2.1 GHz พบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในแบบรูปสนามไฟฟ้า (E-Plane) ระนาบ x-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และในแบบรูปสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบ y-z มีแบบ

รูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดและการจำลองแบบที่ความถี่ 1.9 GHz และ 2.1 GHz พบว่ามีแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะสอดคล้องใกล้เคียงกัน



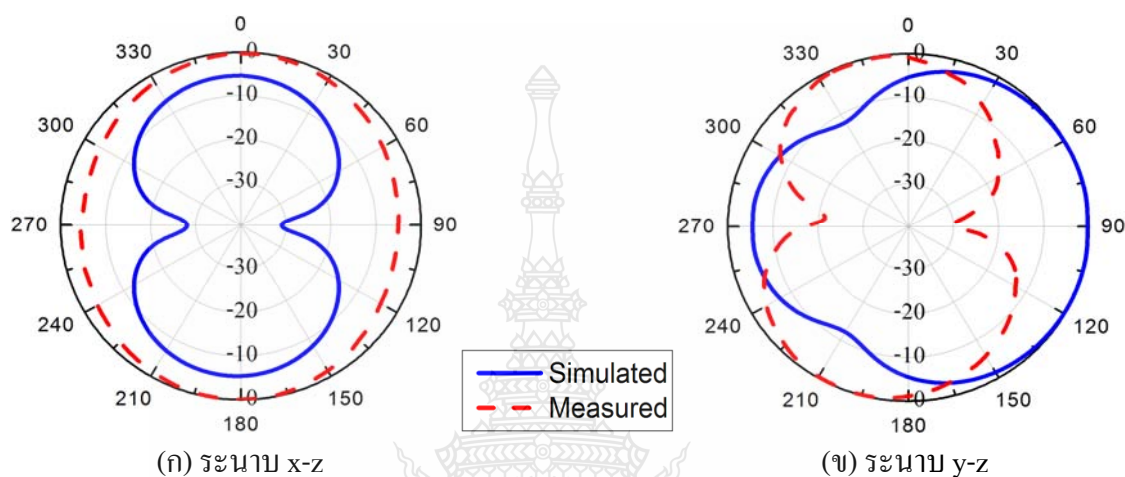
ภาพที่ 4.23 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 2.35 GHz



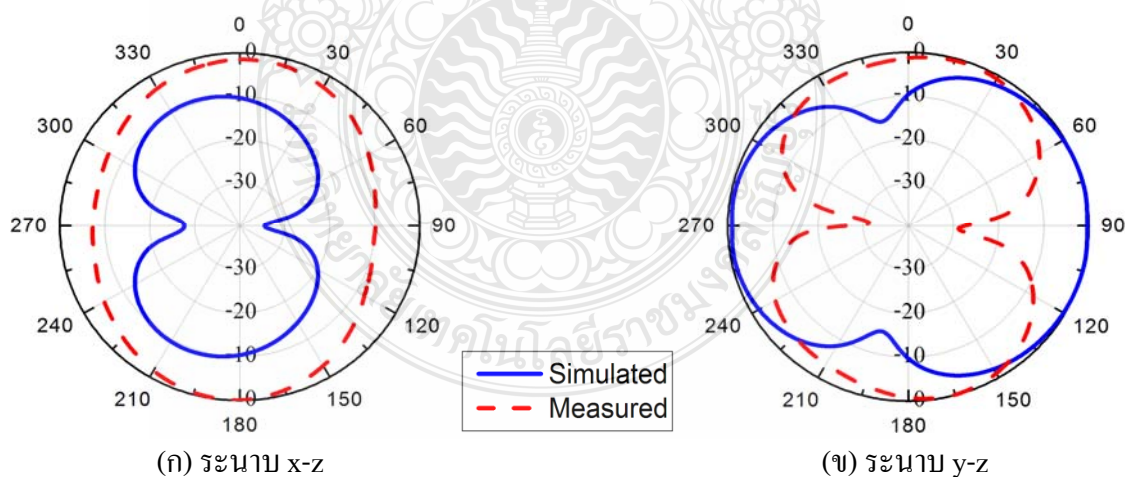
ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz

จากภาพที่ 4.23 และ 4.24 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงและนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยจะทำการวัดที่ความถี่ 2.35 GHz และ 2.45 GHz

พบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในแบบรูปสนามไฟฟ้า (E-Plane) ระนาบ $x-z$ มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และในแบบรูปสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบ $y-z$ มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดและการจำลองแบบที่ความถี่ 2.35 GHz และ 2.45 GHz พบว่ามีแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะสอดคล้องใกล้เคียงกัน

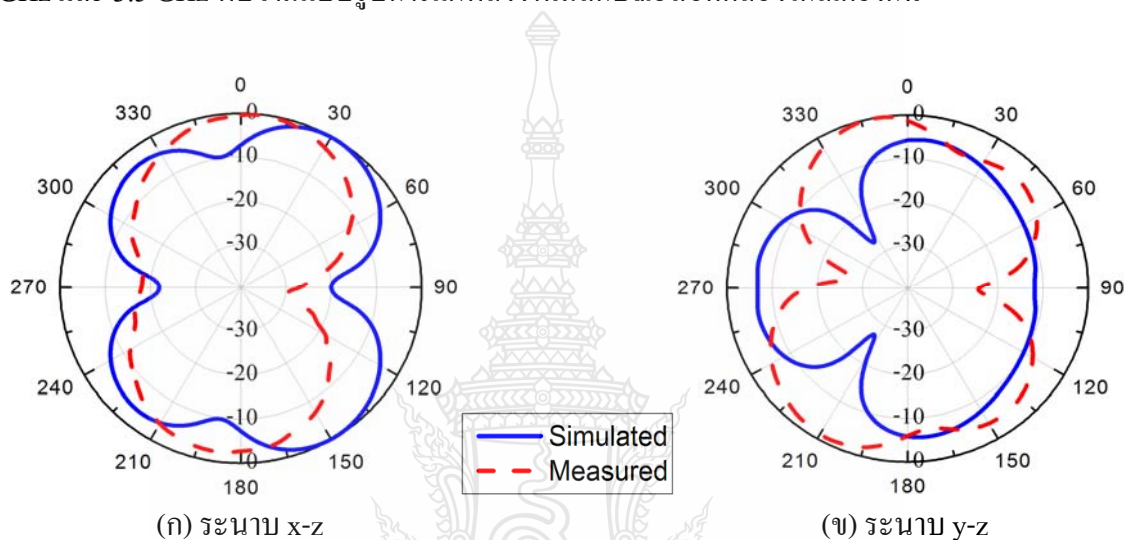


ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 2.6 GHz



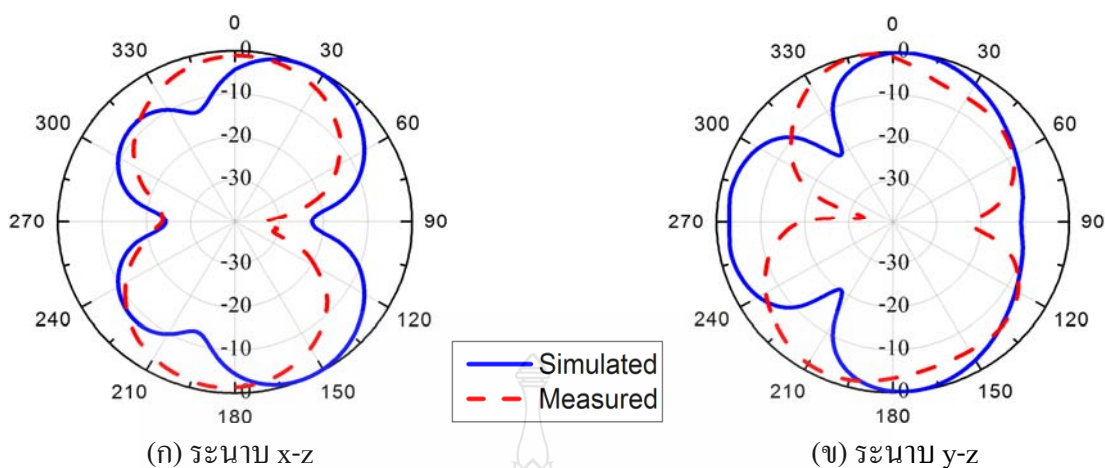
ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 3.5 GHz

จากภาพที่ 4.25 และ 4.26 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงและนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง โดยจะทำการวัดที่ความถี่ 2.6 GHz และ 3.5 GHz พบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในแบบรูปสนามไฟฟ้า (E-Plane) ระนาบ x-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และในแบบรูปสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบ y-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดและการจำลองแบบที่ความถี่ 2.6 GHz และ 3.5 GHz พบว่ามีแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะสอดคล้องใกล้เคียงกัน



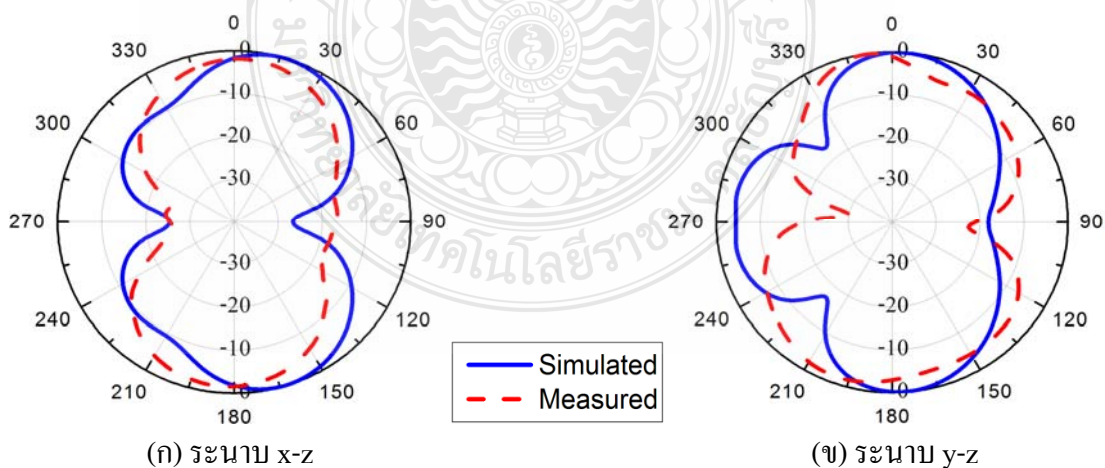
ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz

จากภาพที่ 4.27 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงและนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง โดยจะทำการวัดที่ความถี่ 5.2 GHz พบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในแบบรูปสนามไฟฟ้า (E-Plane) ระนาบ x-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และในแบบรูปสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบ y-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดและการจำลองแบบที่ความถี่ 5.2 GHz พบว่ามีแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะสอดคล้องใกล้เคียงกัน

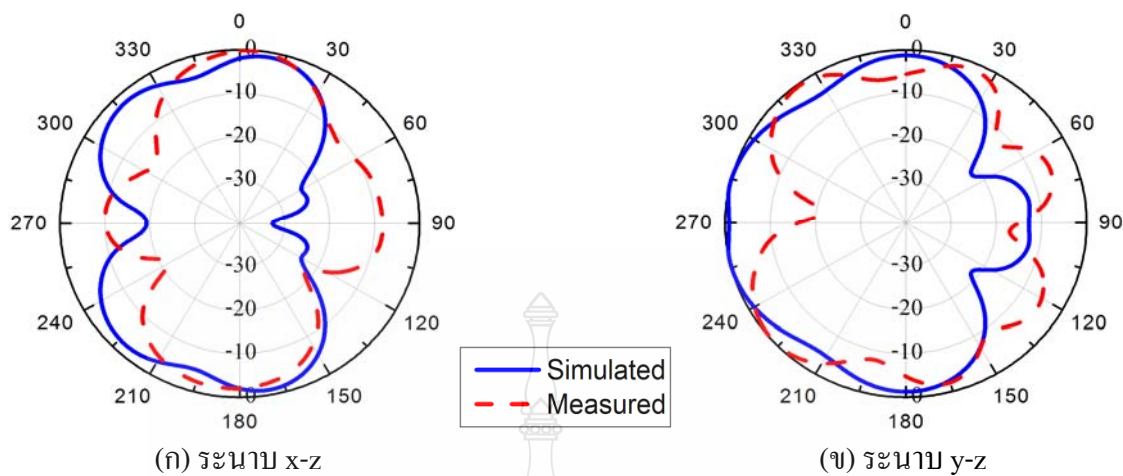


ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 5.5 GHz

จากภาพที่ 4.28 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงและนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง โดยจะทำการวัดที่ความถี่ 5.5 GHz พบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในแบบรูปสนามไฟฟ้า (E-Plane) ระนาบ x-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และในแบบรูปสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบ y-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดและการจำลองแบบที่ความถี่ 5.5 GHz พบว่ามีแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะสอดคล้องใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz



ภาพที่ 4.30 การเปรียบเทียบระหว่างการวัดจริงกับการจำลองของแบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศที่ความถี่ 7 GHz

จากภาพที่ 4.29 และ 4.30 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงและนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง โดยจะทำการวัดที่ความถี่ 5.8 GHz และ 7 GHz พบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในแบบรูปสนามไฟฟ้า (E-Plane) ระนาบ x-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และในแบบรูปสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ระนาบ y-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดและการจำลองแบบที่ความถี่ 5.8 GHz และ 7 GHz พบว่ามีแบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะสอดคล้องใกล้เคียงกัน

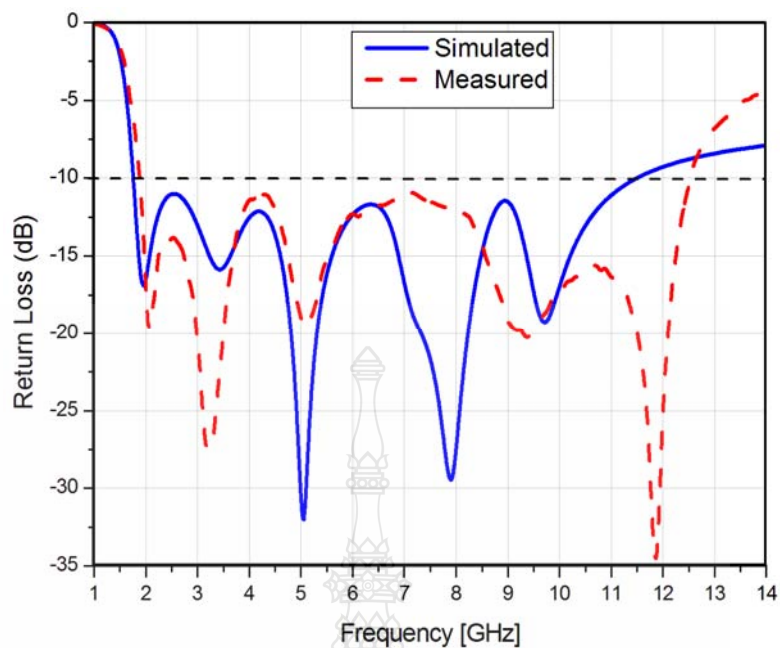
บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

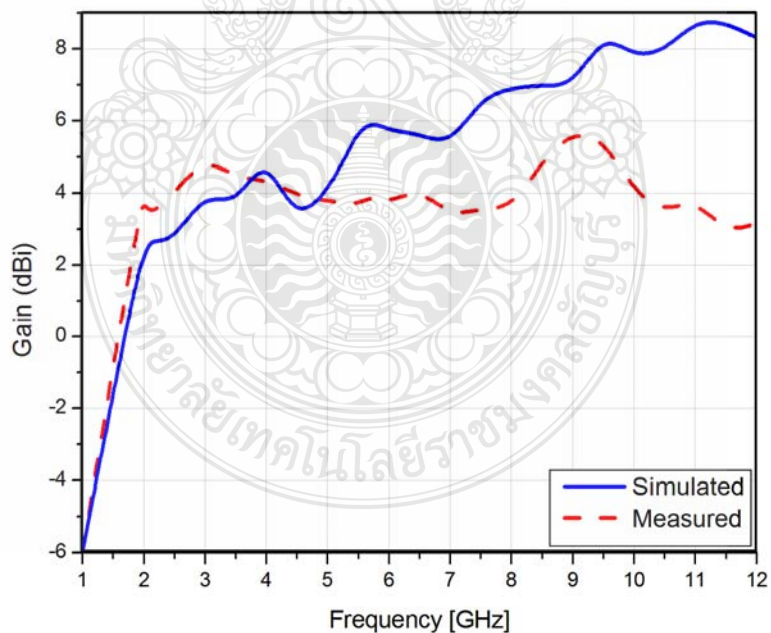
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปการวิจัยของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซี สำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ที่กระตุ้นด้วยสายส่งแบบ (Coplanar Waveguide: CPW) กับรูปแบบการแผ่พลังงานระยะไกล ตามที่ได้ศึกษาออกแบบและวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติทางพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศได้ผลการทดสอบออกมาดังบทที่ 4 ซึ่งในบทนี้จะทำการสรุปคุณสมบัติของสายอากาศ ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมจำลองเครือข่าย IE3D (Zeland) และการสร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อทำการวัดวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว

5.1 สรุป

การศึกษาและออกแบบสายอากาศสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซี สำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอโครงสร้างของสายอากาศการที่ง่ายต่อการออกแบบ ไม่ซับซ้อน รวมทั้งสายอากาศจะถูกออกแบบให้มีช่องเปิดที่มีขนาดและตำแหน่งในการจัดวางที่ต่างกันวางอยู่บนระนาบกราวด์เดียวกันกับวัสดุฐานรอง Mylar film ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 3.2 และมีความหนา 0.4 มิลลิเมตร โดยหลักในการออกแบบสายอากาศนี้มีข้อดีคือสายอากาศที่ได้มีขนาดเล็ก มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง ทั้งยังได้คุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศที่ดี เช่น แมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดี มีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ดี รวมทั้งมีอัตราขยายที่ยอมรับได้ (≥ 2 dBi) เป็นต้น นอกจากนี้สายอากาศที่นำเสนออื่น ยังได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการและมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมกับย่านความถี่ใช้งานได้ครอบคลุมตามที่ได้กำหนดไว้ สำหรับเทคโนโลยี BWA ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศพบว่า สายอากาศที่ได้ทำการออกแบบจะให้ความกว้างแบนด์วิดท์อยู่ที่ 9.80 GHz (1.80 – 11.60 GHz) ซึ่งมีอัตราส่วนแบนด์วิดท์ 146.27 % จากการจำลองการทำงานของสายอากาศ ในขณะที่ผลจากการวัดจริงของสายอากาศจะให้ความกว้างแบนด์วิดท์อยู่ที่ 10.60 GHz (1.90 – 12.50 GHz) ซึ่งมีอัตราส่วนแบนด์วิดท์ 147.22 % ซึ่งทั้งการจำลองและการวัดจริงจะทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในแบบสองทิศทาง โดยจะมีเกณฑ์ของสายอากาศประมาณ 4 dBi ในย่านความถี่ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 5.1 และ 5.2



ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองและการวัดจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย



ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบการจำลองวัดค่าอัตราขยายกับการวัดชิ้นงานจริงของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย

จากโครงสร้างของสายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดรูปคล้ายอักษรซีสำหรับเทคโนโลยี Broadband ไร้สาย จะเห็นว่าโครงสร้างของสายอากาศที่ออกแบบสามารถสร้างได้ง่าย มีราคาถูก และมีขนาดที่บางกว่าสายอากาศที่ใช้วัสดุฐานรองแบบ FR4 จึงเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยี BWA ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อาศัยการจำลองการทำงานและการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศนอกจากนี้ยังมี ค่าการสูญเสียย้อนกลับ อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง ค่าเกณฑ์ของสายอากาศ รูปแบบการแผ่กระจายของสายอากาศ และ การแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยโปรแกรม IE3D 11.5 (Zeland) และ อาศัยเครื่องวัดวิเคราะห์โครงข่าย Agilent PNA Network Analyzers E8363B เพื่อทำการวัดวิเคราะห์และทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศที่สร้างขึ้น ซึ่งผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะให้ผลที่น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การพัฒนาโครงสร้างสายอากาศในอนาคต ควรศึกษาโครงสร้างสายอากาศลักษณะอื่นๆ เพื่อเพิ่มความกว้างของแบนด์วิดท์ของสายอากาศให้ครอบคลุมย่านความถี่อื่นๆอีก เช่น GSM

5.2.2 ควรศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบจากการโค้งงอของสายอากาศต่อความถี่เรโซแนนซ์

5.2.3 ควรศึกษาและวิเคราะห์ Group Delay ในการรับส่งของสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ที่ใช้ไมลาร์ฟิล์มเป็นวัสดุฐานรอง

5.2.4 ควรศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบติดตั้งสายอากาศเพื่อประยุกต์ใช้งานจริงกับอุปกรณ์ที่รองรับเทคโนโลยี BWA

5.2.5 ควรศึกษา Received การ Normalization Waveforms โดยใช้ Gaussian Pulse

รายการอ้างอิง

- [1] พ.อ.รศ.ดร.เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ. **บรอดแบนด์ไร้สาย BWA (Broadband Wireless Access)**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.vcharkarn.com/varticle/40704>
- [2] สถาพร พรหมวงศ์. **เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง(Ultra Wideband Technology)**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/92>
- [3] FCC NEWS (FCC 02-48), **FCC News release**, Feb. 14, 2002.
- [4] Marilyn P. Wylie-Green, Pekka A. Ranta and Juha Salokannel. "Multi-band OFDM UWB Solution for IEEE 802.15.3a WPANs," **Nokia Research Center**, Finland.
- [5] P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, B. Uguen, "Ultra WideBand Radio Propagation Channels," **John Wiley & Sons, Ltd**, 2008.
- [6] C. Heidari, "WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth," **John Wiley & Sons, Ltd**, 2008.
- [7] S. Promwong, J. Takada, "Link Budget Evaluation Scheme for UWB Impulse Radio," **IWUWBT 2005 International Workshop on UWB Technologies Yokosuka Research Park (YRP)**, Yokosuka, Japan December 8-10, 2005.
- [8] S. Promwong, P. Supanakoon, M. Chamchoy, S. Keawmechai and J. Takada, "**Comparison of Near - Field and Far-Field Free Space Channels for UWB Impulse Radio**," 2005 International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC 2005), July 2005, pp. 5C-3.
- [9] J. Sangthong , P. Supanakoon and S. Promwong, "Study on Indoor Localization Using UWB Fingerprinting," **TISD 2010, The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development**, Royal Mekong Nongkhai Hotel, Nong Khai, Thailand March 4-6, 2010.
- [10] ชัยนันท์ กัณฑ์วงศ์, เอกพงษ์ พันธุ์ด้วง, และชนกร ดวงมณี "การพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปชนิดโพลีเอทิลีนสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2550
- [11] ไกรสร สาริชา "สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549

- [12] วัชรพล นาคทอง “การเพิ่มแบนด์วิดท์และลดขนาดของสายอากาศโมโนโพลแบบระนาบด้วยเทคนิคการเจาะร่อง,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554
- [13] อุเทน มูลสันเทียะ, เอกชัย พิริยะ ประภาส และทวีศักดิ์ แก่สันเทียะ “สายอากาศแบบแผ่นระนาบสำหรับการประยุกต์ใช้งานย่านความถี่กว้างยิ่งยวด,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, 2552.
- [14] เอกรัฐ หล่อพิเชียร “สายอากาศช่องเปิดระนาบร่วมแถบความถี่กว้างสำหรับระบบเครือข่ายไร้สาย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณลาดกระบัง, 2548.
- [15] เตือนใจ อาชีวะพนิช “การศึกษารูปแบบของสายอากาศแบบช่องเปิดรูปอักษรอี สำหรับการใช้งานในเครือข่ายไร้สาย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552
- [16] William, J. and Nakkeeran, R. “CPW-Fed UWB Slot Antenna with Triangular Tuning Stub,” **International Journal of Computer and Electrical Engineering**, Vol. 2, No. 4, August, 2010.
- [17] Li, P., Liang, J., and Chen, X. “CPW-Fed Printed Elliptical Slot Antenna with Fork-Like Tuning Stub,” **Microwave Conference**, European, 2005
- [18] X. Chen, W. Zhang, R. Ma, J. Zhang and J. Gao, "Ultra-wideband CPW-fed antenna with round corner rectangular slot and partial circular patch," **IET Microw. Antennas Propag**, Vol. 1, No. 4, August 2007.
- [19] M. D'Amico, R. Cassetta, "A Novel CPW-Fed Rectangular Wide Slot Antenna for UWB Applications," **IEEE APWC**, pp.19 - 22, Sept. 12-16, 2011.

- [20] Akkala Subbarao and S. Raghavan., “A Compact CPW-fed Arrow Shaped Monopole Antenna for UWB applications,” **Second International conference on Computing, Communication and Networking Technologies**, 2010.
- [21] ประกาศิต ตันตือลงการ และ จีระศักดิ์ ช่วงชัย, “สายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบสองความถี่โดยใช้ร่องคู่รูปตัวแอล,”วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม - ธันวาคม 2553.
- [22] William, J. and Nakkeeran, R. “A Compact CPW-fed UWB Slot Antenna With Cross Tuning Stub,” **Progress In Electromagnetics Research C (PIER)**, Vol. 13, 159-170, 2010.
- [23] ระพีพันธ์ แก้วอ่อน, ไกรสร สาริษา, และ ประยุทธ์ อัครเอกดาลิน, “การพัฒนาสายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง,” **ECTI-CARD 2009**, Bangkok, Thailand, May 2009.
- [24] Seok H. Choi, Jong K. Park, Sun K. Kim, and Jae Y. Park. “A New Ultra-Wideband Antenna For UWB Application,” **Microwave And Optical Technology Letters**, Vol. 40, No. 5, March 5 2004.
- [25] Wen-Shan Chen and Kai-Cheng Yang. “CPW-fed Planar Ultra-wideband Antenna having a frequency Band-Rejected function,” **IEEE**, 2007.
- [26] J. William and R. Nakkeeran. “CPW-Fed UWB Slot Antenna with Reconfigurable Rejection Bands,” **Proc. of Int. Conf. on Control, Communication and Power Engineering (ACEEE)**, 2010.
- [27] Raha Eshtiaghi, RezaZaker, JavadNouronia and ChangizGhobadi. “UWBsemi-elliptical printed monopole antenna with subband rejection filter,” **Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)** **64**, (2010), pp 133–141.
- [28] M. A. Habib, A. Bostani and A. Djaiz, M. Nedil, M. C. E. Yagoub and T. A. Denidni. “Ultra Wideband CPW-fed Aperture Antenna With Wlan Band Rejection,” **Progress In Electromagnetics Research**, Vol. 106, 2010.
- [29] X. Qing and Z.N. Chen. “Compact coplanar waveguide-fed ultra-wideband monopole-like slot antenna,” **IET Microwaves, Antennas & Propagation**, Vol. 3, Iss. 5, 2009, pp 889-898.

- [30] Vivekananda Lanka Subrahmanya. "Pattern Analysis of The Rectangular Microstrip Patch Antenna," **Final Master Degree Thesis 30 ECTS**, Thesis No 4, 2009.
- [31] Horng Dean Chen. "Broadband CPW-Fed Square Slot Antennas With a Widened Tuning Stub," **IEEE Transactions On Antennas And Propagation**, Vol. 51, No. 8, August 2003.
- [32] Mohammed Al-Husseini, Ali Ramadan, Youssef Tawk, Ali El-Hajj, and Karim Y. Kabalan, "Design and Ground Plane Consideration of a CPW-Fed UWB Antenna," **ELECO**, Nov. 5-8, 2009.





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพต้นแบบ สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA,





ภาพที่ ก.1 สายอากาศฟิล์มบางขนาดกะทัดรัดสำหรับเทคโนโลยี BWA



ภาคผนวก ข

ผลการวัดคุณลักษณะต่างๆ ของไมถ้ำฟิล์ม และ DATA CHEET

FEATURES

- Good dimensional stability.
- Soldering reliability has been bettered
- Good electrical properties
- High density automatic mounting can be carried out

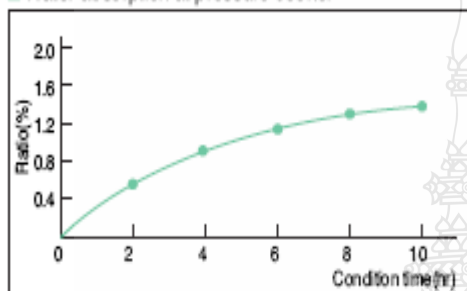
APPLICATIONS

Computer, Instrumentation, VCR, Television, Electronic Toy, etc.,

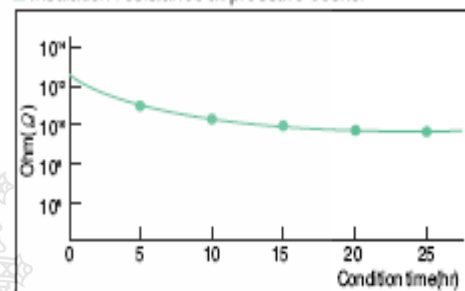
INTERNATIONAL STANDARD RECOGNITION

- UL : E103670
- CSA : LS-93237
- BSI : 6741
- VDE : VDE-Reg-Nr. 4945

Water absorption at pressure cooker

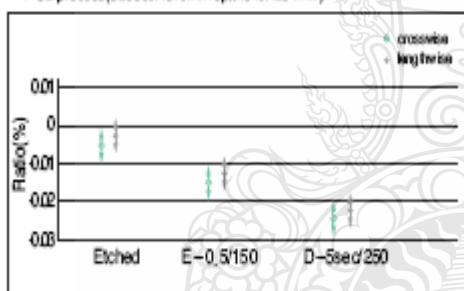


Insulation resistance at pressure cooker



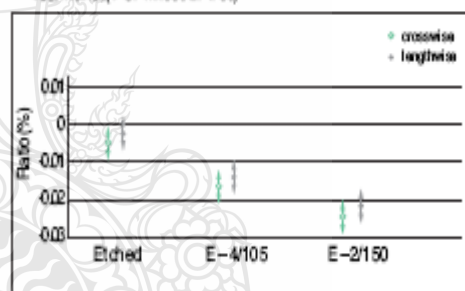
Dimensional stability

PCB process (size 360X310mm span 310X254mm)

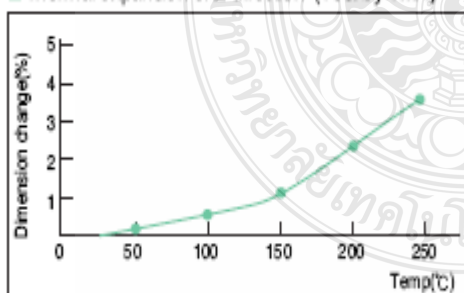


Dimensional stability

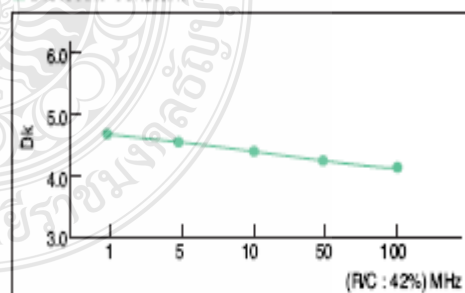
Test method (PC-TM6502-4-38)



Thermal expansion of Z-direction (Test by TMA)



Dielectric constant



GENERAL PROPERTIES

Test Item	Unit	Treatment Condition	Designation	DS-7405
			ANSI Grade	FR-4
			Property Data	
			Standard Value	Guaranteed Value
Tg	°C	DSC	135	above 130
		TMA	135	above 130
		DMA	165	above 160
CTE x-axis y-axis z-axis	ppm/°C	Ambient to Tg	18	less than 20
			13	less than 15
			55	less than 60
Flammability	-	UL-94	V-0	V-0
Insulation Resistance	ohm	C-96/20/65	1 x 10 ⁹ - 1 x 10 ⁹	above 5 x 10 ⁹
		C-96/20/65+D-2/100	1 x 10 ⁹ - 1 x 10 ⁹	above 1 x 10 ⁹
Volume Resistivity	ohm-cm	C-96/20/65	1 x 10 ¹⁴ - 1 x 10 ¹⁴	above 1 x 10 ¹⁴
		C-96/20/65+C-96/40/90	5 x 10 ¹⁴ - 5 x 10 ¹⁴	above 5 x 10 ¹⁴
Surface Resistance	ohm	C-96/20/65	5 x 10 ⁹ - 5 x 10 ⁹	above 1 x 10 ⁹
		C-96/20/65+C-96/40/90	1 x 10 ⁹ - 1 x 10 ⁹	above 1 x 10 ⁹
Arc Resistance	min.seconds		110	above 60
Dielectric Constant (1 MHz)	-	C-96/20/65	4.5 - 4.8	less than 5.5
		C-96/20/65+D-48/50	4.6 - 5.2	less than 5.8
Dissipation Factor (1 MHz)	-	C-96/20/65	0.015 - 0.020	less than 0.035
		C-96/20/65+D-48/50	0.018 - 0.023	less than 0.045
Comparative Tracking Index	volt	IEC Method	-	-
Solder Float(260°C)	sec	A	above 180	above 120
Peel Strength Cu.foil 1oz (0.035mm)	kgf/cm	A	1.8 - 2.2	above 1.43
Flexural Strength	kgf/mm ²	A	40 - 60	above 32.7
Water Absorption	%	E-24/50+D-24/23	0.10 - 0.15	less than 0.25

Specimen Thickness : 1.6mm

PURCHASING INFORMATION

- Copper foil : 0.5 oz/ft²(0.018 mm), 1 oz/ft²(0.035 mm), 2 oz/ft²(0.070 mm) available.
- Thickness : 0.4mm to 3.2mm

Standard Size	Tolerance(mm)
1,020 X 1,220mm (40" X 48")	+3
1,070 X 1,220mm (42" X 48")	-0
1,020 X 1,020mm (40" X 40")	

※ Other sheet size and thickness could be available upon request.

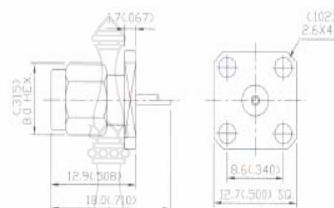
SMA

Panel Mount Receptacle (Solder Pot Contact)

Square Flange Plug Receptacle (Solder Pot Contact)

PART NO:19-12-1-TGG

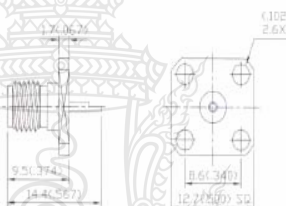
- Finish: gold plated center contact & body (see Notes 1)
- Insulation: Teflon



Square Flange Jack Receptacle (Solder Pot Contact)

PART NO:19-13-1-TGG

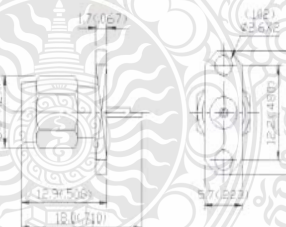
- Finish: gold plated center contact & body (see Notes 1)
- Insulation: Teflon



2 Hole Flange Plug Receptacle (Solder Pot Contact)

PART NO:19-14-1-TGG

- Finish: gold plated center contact & body (see Notes 1)
- Insulation: Teflon

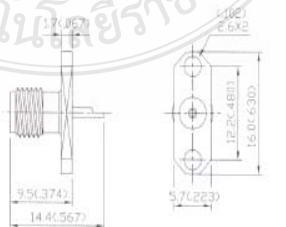


2 Hole Flange Jack Receptacle (Solder Pot Contact)

PART NO:19-17-2-TGG

- Finish: gold plated center contact & body (see Notes 1)
- Insulation: Teflon

4108050



Notes: 1. Nickel plated body available, change the part no. suffix from TGG to TGN ;
Passivated for stainless steel body available, change the part no. suffix from TGG to TGX

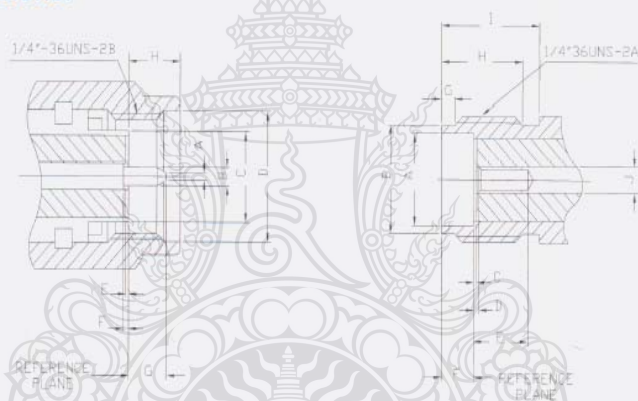
SMA

50 ohm 0-18 GHz

SMA connectors are semi-precision, subminiature devices that provide repeatable electrical performance from DC to 12.4 GHz with flexible cable. Semi-rigid cabling extends the frequency range of the device to 18 GHz. These devices offer broadband performance with low reflection and constant 50 ohm impedance. These properties, along with minimum attenuation and low VSWR have made the SMA extremely popular in the microwave community.

The SMA design has been broadened to accommodate many interconnect requirements and is available in pressure crimp, clamp and solder terminal attachments. SMA design parameters have incorporated the considerations of balancing cost, size, weight and performance to yield the best value in your microwave system. Among typical applications are components, such as dividers, mixers, amplifiers, trimmers and attenuators. SMA connectors are also used to provide interconnections from printed circuit board striplines to coaxial cable.

Interface Dimensions:



PLUG

Letter	Millimeters (Inches)	
	Minimum	Maximum
A	0.00 (.000)	0.38 (.015)
B	0.90 (.0355)	0.94 (.037)
C	—	4.59 (.1808)
D	6.35 (.250)	—
E	0.00 (.000)	0.18 (.007)
F	0.00 (.000)	0.25 (.010)
G	—	2.54 (.100)
H	—	3.43 (.135)

JACK

Letter	Millimeters (Inches)	
	Minimum	Maximum
A	4.60 (.1810)	4.67 (.1837)
B	5.28 (.208)	5.49 (.216)
C	0.00 (.000)	0.18 (.007)
D	0.00 (.000)	0.25 (.010)
E	2.92 (.115)	—
F	1.88 (.074)	1.98 (.078)
G	0.38 (.015)	1.14 (.045)
H	4.32 (.170)	—
I	5.54 (.218)	—
J	1.24 (.049)	1.30 (.051)



EMC Antennas
**Double-Ridged
 Waveguide Horn**
 Model 3117

Features:

- **Maintains Single Lobe Radiation Pattern Over Frequency**
- **Ultra Broadband: 1 GHz - 18 GHz**
- **300 W Power Input Capacity**
- **Optimized High Frequency Gain**
- **Low VSWR**



ETS-Lindgren's Model 3117 Double-Ridged Waveguide Horn
 PATENT PENDING

The **Model 3117 Double-Ridged Waveguide** is the latest addition to a family of double-ridged waveguide horn antennas for microwave and EMC measurement from ETS-Lindgren. Users of this antenna benefit from uniform illumination of target surfaces and accurate gain measurement. In addition, the Model 3117 exhibits high gain and low VSWR across its frequency band, accepting moderate power input of 300 watts.

The electrical characteristics of this antenna were designed and modeled using powerful workstations running electromagnetic simulation software. Equally important, experienced RF

engineers worked with our manufacturing team to produce a practical and affordable realization of the modeling process. On completion, the antenna was tested and calibrated at our A2LA accredited lab facility. All production units are individually calibrated at this facility.

Features

Single Lobe Radiation Pattern

The Model 3117 maintains a single main lobe pattern in the direction of the horn axis over its frequency range. This characteristic is essential for even distribution of electromagnetic energy on a target surface, and accurate

measurement of gain and vector information. The Model 3117's unique design suppresses the propagation of high order modes. The result is an antenna with a well-defined single lobe radiation pattern that outperforms other antennas in its class.

Ultra Broadband

The Model 3117 sweeps from 1 GHz to 18 GHz without stopping for band breaks, making it ideal for automated testing. It has the widest usable frequency range of any antenna in its class, with no performance degradation from high order modes.



EMC Antennas Double-Ridged Waveguide Horn Model 3117

Power Input

The Model 3117 uses a Type N connector and accepts up to 300 watts of continuing input power with up to 400 watts of peak power. The antenna's high gain and low VSWR over its operating frequency translates into efficient amplifier use and high field strengths.

Uniform Gain, Low VSWR

The Model 3117 has a more uniform gain and antenna factor because of the better behavior of its radiation pattern. Since the pattern is stable over frequency, the gain and the AF also remain stable. Similar antennas of this class exhibit large variations of the gain and the AF as the frequency increases.

Construction

An antenna constructed to maximize structural integrity is better able to maintain its electrical properties. The benefits are better measurement repeatability, lower uncertainty values and longer calibration validity. The Model 3117 is constructed to be a rugged antenna that thrives in an environment of constant use. This antenna includes both tripod and rear "stinger" mounts. The stinger mount permits on-axis rotation/polarization.

Standard Configuration

- Antenna Assembly
- Mounting bracket drilled to accept ETS-Lindgren or other tripod mounts with 1/4 in x 20 threads
- Rear "stinger" for use with on-axis mount positioners
- Individually calibrated at 1 m per SAE ARP 958 at our A2LA accredited lab. 3 m calibration per ANSI C63.5 available at additional cost. Actual antenna factors and a signed Certificate of Calibration Conformance included with manual

Options

- Antenna Mast
- Antenna Tripod

Applications

FCC-16	FCC-18	IEC/CISPR/EN	SAE J1113	SAE J661	MIL-STD-461E	MIL-STD 285	NACSIM
RE	RE	RE, RI	RE, RI	RE, RI	RE, RI	TX, RX	RE

Electrical Specifications

MODEL	FREQUENCY RANGE	VSWR RATIO (AVG)	MAXIMUM CONTINUOUS POWER	PEAK POWER	IMPEDANCE (NOMINAL)	CONNECTORS
3117	1 GHz - 18 GHz	3.5:1 max <2:1 above 1.5 GHz	300 W	400 W	50 Ω	Type N

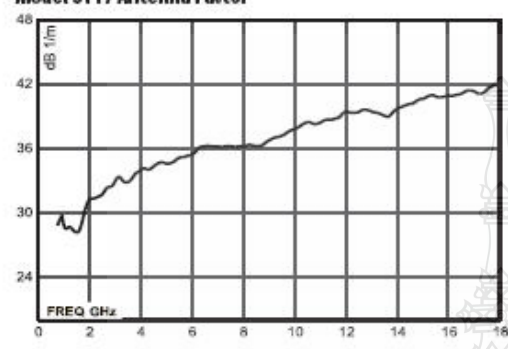
Physical Specifications

MODEL	WIDTH	DEPTH	HEIGHT	WEIGHT
3117	17.1 cm 6.0 in	17.3 cm + 10.1 cm mount 6.8 in + 4.0 in mount	15.5 cm 6.1 in	1.13 kg 2.5 lb

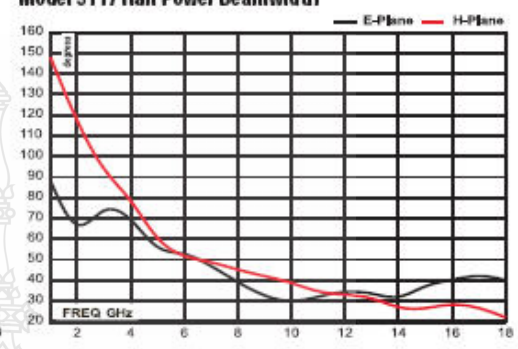


EMC Antennas Double-Ridged Waveguide Horn Model 3117

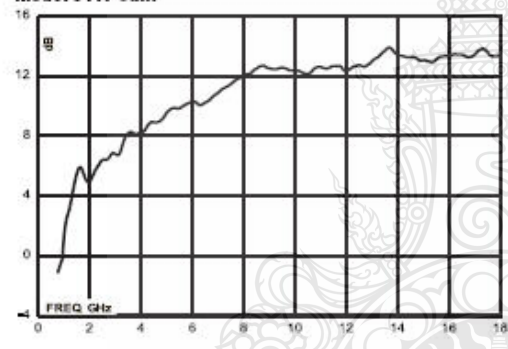
Model 3117 Antenna Factor



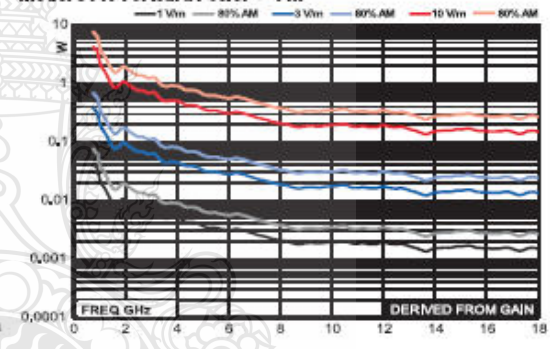
Model 3117 Half Power Beamwidth



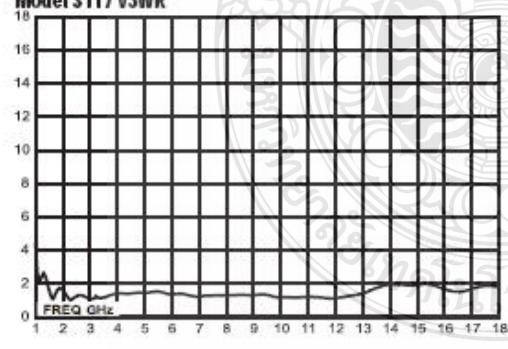
Model 3117 Gain



Model 3117 Forward Power @ 1 m



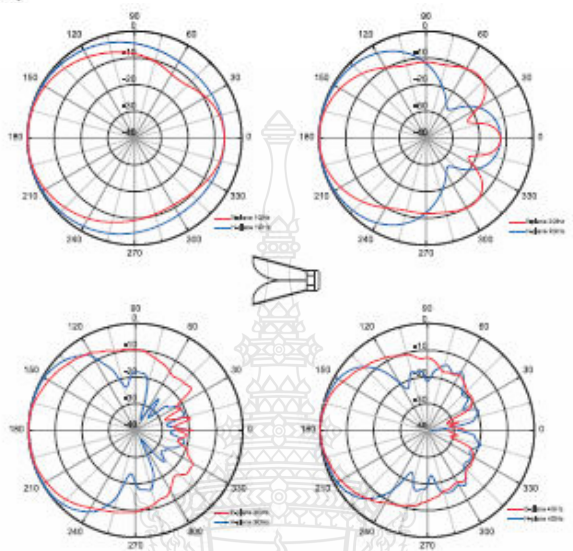
Model 3117 VSWR



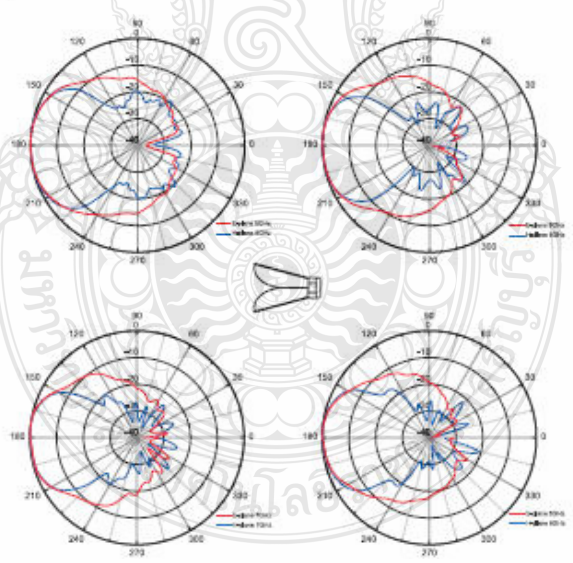


EMC Antennas
Double-Ridged Waveguide Horn
Model 3117

Model 3117 (1 GHz - 4 GHz)



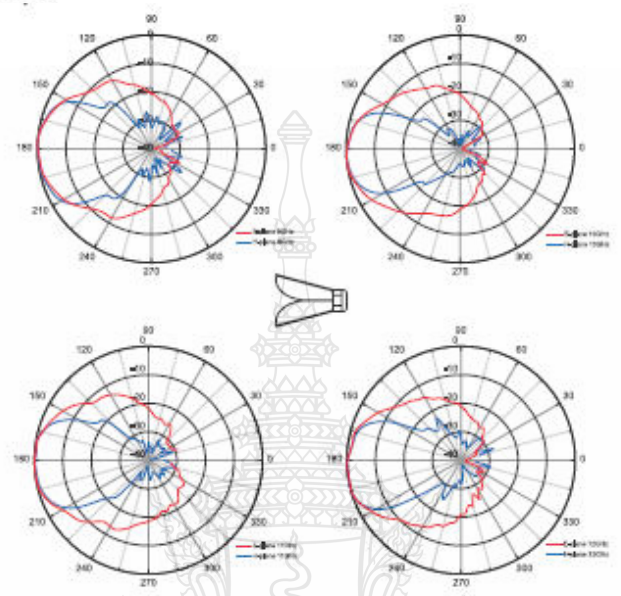
Model 3117 (5 GHz - 8 GHz)



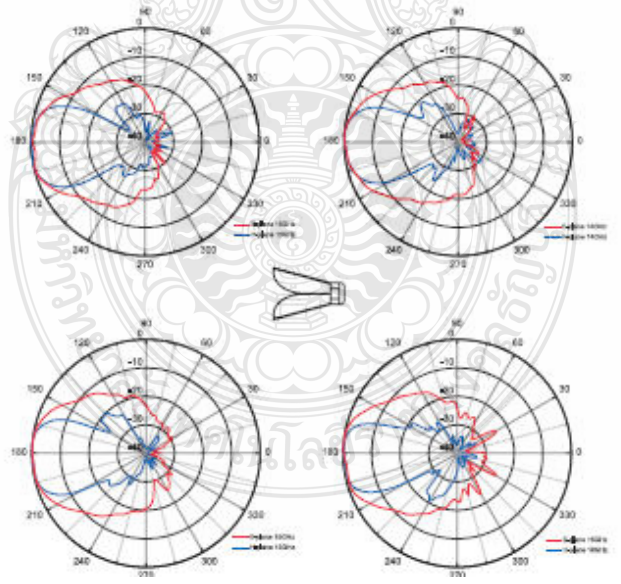


EMC Antennas
Double-Ridged Waveguide Horn
Model 3117

Model 3117 (9 GHz - 12 GHz)



Model 3117 (13 GHz - 16 GHz)





ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] Pornthep Thongyoy, Paitoon Raklua, Tanapong Nopavong na Ayudthaya. “**Compact Thin-Film UWB Antenna with Round Corner Rectangular Slot and Partial Circular Patch.**”, ECTI-CON 2012, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, May 16-18, 2012.
- [2] พรเทพ ทองย้อย, ธนพงศ์ นพวงศ์ ณ อุทธยา, ไพฑูรย์ รักเหลือ และวิโรจน์ ภิราจเนนชัย. “**สายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ล่่าฟิล์มช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์.**”, ECTI-CARD 2012, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanya Buri, Thailand, June 21-22, 2012.







Main Menu

[Home](#)

[Call For Paper](#)

[Committees](#)

[Important Dates](#)

[Paper Submission](#)

[Schedule](#)

[Registration](#)

[Keynote Speakers](#)

[Venue and Accommodation](#)

[Contact Us](#)

Travel

[About Hua Hin](#)

[Conference Tours](#)

[Travel Information](#)

Committee

Advisory Committee

Monai Krairiksh

Booncharoen Sirinaovakul

Kosin Chamnongthai

Anawach Sangswang

Pakom Kaewtrakulpong

General Chair

Prabhas Chongstitvatana (CU)

Monai Krairiksh (KMUTL)

General Co-Chair

Tiranee Achalaku (KMUTT)

General Secretary

Nuttanat Facundes (KMUTT)

Marong Phadoongsidhi (KMUTT)

Local Arrangement Chairs

Jumpol Polichal (KMUTT)

Jaturon Harnsomburana (KMUTT)

Registration & Finance Chairs

Peerapon Siripongwutikorn (KMUTT)

Songrit Maneewongvatana (KMUTT)

Rujipat Sampanna (BU)

Pairin Kaewkuay (ECTI)

Publicity Chairs

Suthop Madarasmi (KMUTT)

Publication Chairs

Natasha Dejdumrong (KMUTT)

Naruemon Wattanapongsakorn (KMUTT)

Steering Committee

Banlue Srisuchinwong (12) (SIIT)

Prayoot Akkaraekthalin (12) (KMUTNB)

Technical Program Committees

Prayoot Akkaraekthalin (KMUTNB) : TPC Chair

Kosin Chamnongthai (KMUTT) : TPC Co-chair

Area: Circuits and Systems

Apinunt Thanachayanont (KMUTL) : Area Chair

Songphol Kanjanachuchai (CU)

Pasin Isarasena (NECTEC)

Jirayuth Mahattanakul (MUT)

Area: Computers and Information Technology

Anan Phonphoem (KU) : Area Chair

Sansanee Auephanwiryakul (CMU)

Chotipat Pomavalai (KMUTL)

Chalermek Intanagonwiwat (CU)

Area: Communication Systems

Chuwong Phongcharoenpanich (KMUTL) : Area Chair

Kamol Kaemarungsi (NECTEC)

Titipong Lertwiryaprapa (KMUTNB)

Phumin Kirawanich (MU)

Area: Controls

David Banjerpongchai (CU) : Area Chair

Diew Koolpinuck (KMUTT)

Kasemsak Uthairachana (CMU)

Itthisek Nikkhamhang (SIIT)

Area: Electrical Power Systems

Issarachai Ngamroo (KMUTL) : Area Chair

Komsan Hongesombut (KU)

Surapong Suwankawin (CU)

Panida Jirutijaroen (NUS)

Area: Signal Processing

Matthew Dailey (AIT) : Area Chair

Sanparith Marukatat (NECTEC)

Wuttipong Kumwilaisak (KMUTT)

Website & Information System Chair

Rajchawit Sarochawikasit (KMUTT)

Jitkasame Ngarmnil (12) (MUT)
Vara Varavthya (12) (KMUTNB)
Vutipong Areekul (12) (KU)
Wanlop Surakampontom (12) (KMITL)
Tuplim Angkaew (13) (CU)
Chaiwut Chat-uthai (13) (KMITL)
Monai Krainksh (13) (KMITL)
Tiranee Achalakul (13) (KMUTT)
Nipon Theera-Umpoi (13) (CMU)
Sansanee Auephanwiryakul (13) (CMU)
Anan Phonphoem (13) (KU)
Putchong Uthayopas (13) (KU)
Werachet Khan-ngen (13) (KMITL)
Thumrongrat Amomraksa (13) (KMUTT)
Kanda Runapongsasaikaew (14) (KKU)

Last Updated on Tuesday, 01 May 2012 10:18

Contact Address: ecticon2012@cpe.kmutt.ac.th, <http://www.ecticon2012.cpe.kmutt.ac.th>, <http://www.ecti-thailand.org>
Computer Engineering Department, KMUTT
126 Pracha-Utidi Road, Thung-Kru, Bangkok, 10140 Thailand

Copyright©2011 All Reserved. Design by P.PoL.Y.Sam.NIX





BACK  ECTI-CON 2012 CONTENT

Knowledge and IT	Antennas & Propagation
MEMS and nanotechnology	1069 A New Method for Prediction 3G Path loss Propagation in Suburban of
Modern Antennas & RF Technology	1072 Modified Quarter Wavelength Combiner with Wilkinson Resistance
Antennas & Propagation	1074 Performance Evaluation of Ultra Wideband Printed Antenna by System
Printed Antennas	1114 A Compact Ultrawideband Monopole Antenna with V-shaped Slit for 5.5 GHz
Microwave Devices	1217 Compact Thin-Film UWB Antenna with Round Corner Rectangular Slot and Partial Circular Patch
Wireless Sensor and Biomed	1251 On an Accuracy of the Modified UTD Solution for a Convex Impedance Cylinder Surface
Optical Communications	
Communications 1: Cellular & Cooperative	
Communications 2:	

Computer Engineering Department
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Tel: (+66) 0-2470-9083, 0-2470-9085, and 0-2470-9382
 Fax: (+66) 0-2872-5050
 Admin@sce.kmutt.ac.th

Compact Thin-Film UWB Antenna with Round Corner Rectangular Slot and Partial Circular Patch

Pornthep Thongyoy, Paitoon Raklua, Tanapong Nopavong na Ayudthaya

Department of Electronic and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pratumthani, Thailand

E-Mail: boy_el@hotmail.com

Abstract—In this paper, we present a compact thin-film ultrawideband (UWB) antenna with round corner rectangular slot and partial circular patch. A CPW-fed rectangular slot with a fork-like tuning stub radiates through a rectangular aperture, which ensures UWB impedance matching from 2 GHz to 11.6 GHz for $S_{11} < -10$ dB. This antenna is printed on Mylar® Polyester Film substrate with size of 60×53.3 mm² and thickness of 0.3 mm. The return loss, current distributions, and radiation patterns of the fabricated antennas are presented. The antenna is determined using design equation, and simulated the commercial IE3D software, which is based on the method of moments, and is verified experimentally. The results show that proposed antenna is very suitable for various portable UWB applications.

Keywords— *thin-film; uwb antenna; rectangular slot; circular patch*

I. INTRODUCTION

The Federal Communications Commission (FCC) first approved rules for the commercial use of UWB in February 2002. Has been allocation of frequency band from 3.1 to 10.6 GHz for ultrawideband (UWB) approved rules for the commercial use. Antenna design for UWB system has become a challenging topic. Compared with other antenna technologies, certain good characteristics, such as small size are required in the UWB antenna. Commercial UWB systems require small low-cost antennas with omnidirectional radiation patterns and large bandwidth. It is a well known fact that planar coplanar waveguide antennas present really appealing physical features, such as simple structure, small size and low cost. Due to all these interesting characteristics, coplanar waveguide are extremely attractive to be used in emerging UWB applications, and growing research activity is being focused on them. The advantages of slot antennas include wide bandwidth performance and a fork-like stub for excitation such that a broad bandwidth can be achieved [1]. Another type of wideband antenna designs in the recent literature is rectangular slot antenna (CPW)-fed [2]-[3]. The latter approach has significant progress on the bandwidth enhancement curve and partial circular patch around affect a wide bandwidth [4]-[5].

In this paper, a coplanar waveguide (CPW)-fed with round corner rectangular slot and partial circular patch are proposed. The simulation is conducted using the commercially available Zeland IE3D simulation software. The measured results show the proposed UWB antenna can achieve a return loss greater than 10dB from 1.9GHz to 12.5GHz. A compact antenna area of 53.3 by 60 mm² is achieved.

II. ANTENNA DESIGN

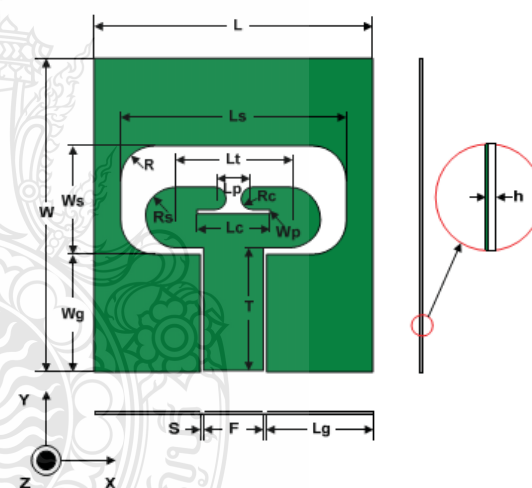


Figure 1. Geometry of the proposed antenna

Fig.1 show the geometry of the compact thin-film ultrawideband (UWB) antenna with round corner rectangular slot and partial circular patch has dimensions 53.3×60 mm² with substrate is Mylar® Polyester Film with a dielectric constant of 3.2 and substrate thickness 0.4 mm. The radiating element fed by coplanar waveguide (CPW). The wide rectangular slot with four round corners of

dimensions $W_s \times L_s$ is etched in the ground plane. The radius of round corner is R . A partial circular patch of radius R_s and width L are also chosen. A near 50Ω CPW-fed line, having a metal strip of width 0.5 mm and a gap of distance S , is used to excite the proposed antenna. Both wide slot and patch employ circular arc structures, which can control the coupling between the CPW-fed line and introduce more resonant modes.

Finally, based on the design rules, an improved UWB antenna with round corner rectangular slot and partial circular patch is successfully designed. The design parameters are $W_s = 20.8$ mm, $L_s = 43.3$ mm, $R = 6.5$ mm, $R_s = 11.5$ mm, $L_t = 7.25$ mm, $R_c = 4.2$ mm, $L_c = 13.8$ mm, $W_p = 0.8$ mm, $L_p = 7.1$ mm, $W_g = 22.5$ mm, $L_g = 20.3$ mm, $T = 23.7$ mm, $F = 11.7$ mm, $S = 0.5$ mm.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

The parametric study is important because it provides some understanding of the antenna characteristics to the antenna designer since this is a new design of this antenna. The various design parameters were constructed and the return loss and current distributions and radiation characteristics are presented and discussed. The parameters of this proposed antenna are studied by changing one parameter at a time and fixing the others.

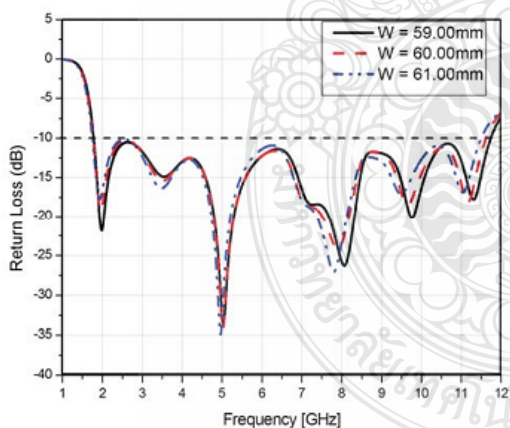


Figure2. Simulated Return Loss < -10 dB for the proposed antenna with various distance W . Other geometric parameters are the same as given in Fig. 1.

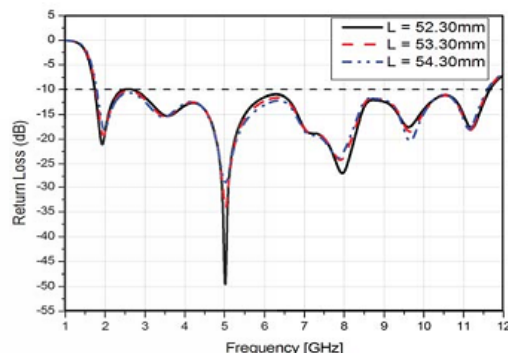


Figure 3. Simulated Return Loss < -10 dB for the proposed antenna with various distance L . Other geometric parameters are the same as given in Fig. 1.

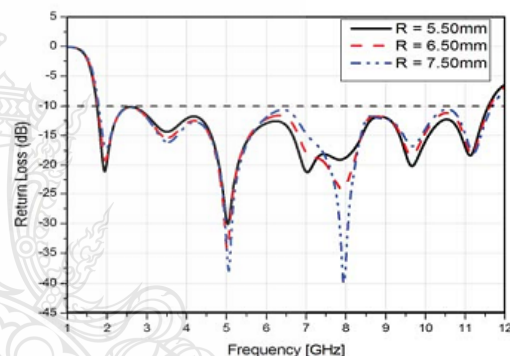


Figure4. Simulated Return Loss < -10 dB for the proposed antenna with various distance R . Other geometric parameters are the same as given in Fig. 1.

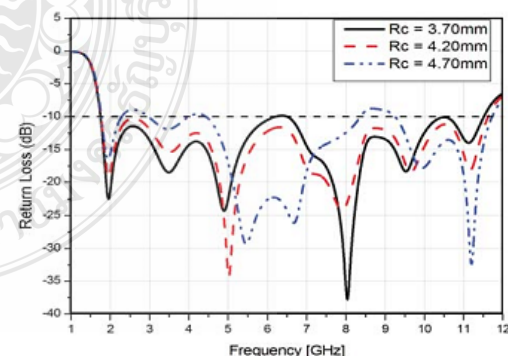


Figure5. Simulated Return Loss < -10 dB for the proposed antenna with various distance R_c . Other geometric parameters are the same as given in Fig. 1.

Fig. 2. If the value of 'W' is increased. The width of the bandwidth is reduced at high frequency, but in the 10.5GHz-11GHz. Will be return loss more. Fig. 3. If the value of 'L' is increased. The width of the bandwidth is reduced, the two sides. However, the low and middle frequencies with less return loss. Fig. 4. If the value of 'R' is increased. The bandwidth is slightly wider in the higher frequencies. Not affect the return loss at center and high frequency. Fig. 5. If the value of 'Rc' is increased. The bandwidth is slightly wider and with less return loss of high frequencies. Not affect the return loss at low frequency increased.

Thus, the sizes of the parameter structures have a serious and simulated return loss for the proposed antenna. Impact on the position and bandwidth of the above. Arising out of the parameters a little distorted. Therefore, we have designed and built to meet the requirements. The result came out exactly as desired.

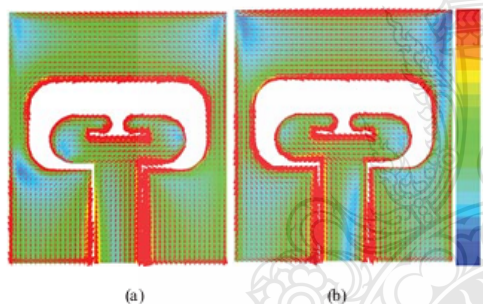


Figure 6. Simulated current distributions of the antenna
(a) $f_c = 2.1$ GHz and (b) $f_c = 2.45$ GHz

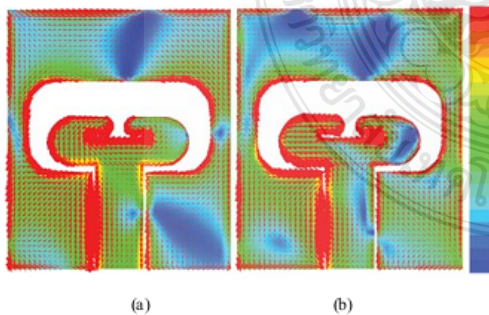


Figure 7. Simulated current distributions of the antenna
(a) $f_c = 5.2$ GHz and (b) $f_c = 7$ GHz

The above Figures shows the simulated surface current distributions by using IE3D zeland software. The simulated surface current distributions of antenna proposed for fourth different frequencies 2.1 GHz, 2.45 GHz, 5.2 GHz, 7 GHz are shown in fig. 6. and fig. 7., respectively.

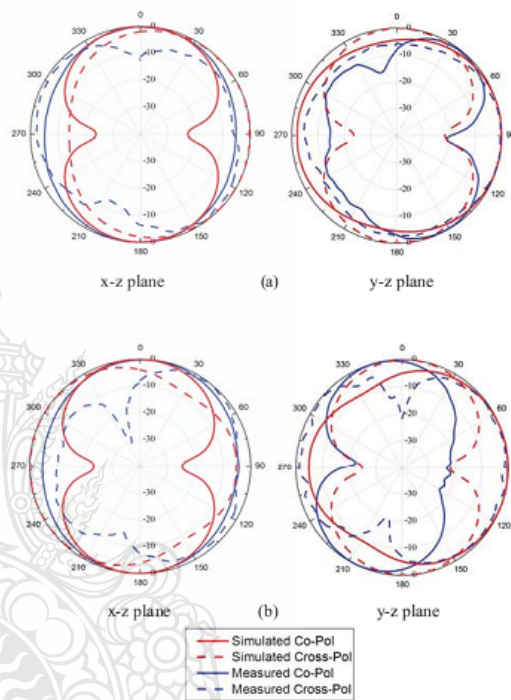


Figure 8. Measured and simulated radiation patterns of the proposed antenna. (a) First resonance frequency (2.1 GHz), (b) second resonance frequency (2.45 GHz).

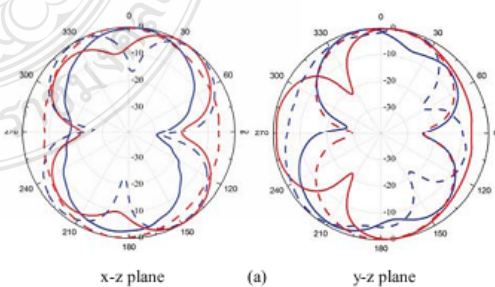


Figure 9. Measured and simulated radiation patterns of the proposed antenna. (a) First resonance frequency (2.1 GHz), (b) second resonance frequency (2.45 GHz).

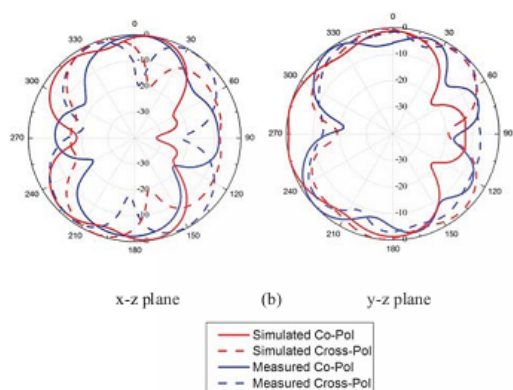


Figure 9. Measured and simulated radiation patterns of the proposed antenna. (a) Third resonance frequency (5.2 GHz), (b) fourth resonance frequency (7 GHz).

The above Figures shows the simulated radiation patterns with elevation and azimuth at different frequencies by using IE3D zeland software. The simulated radiation patterns of antenna proposed in the E-plane (X-Z plane) and H-plane (Y-Z plane) for fourth different center frequencies 2.1 GHz, 2.45 GHz, 5.2 GHz, and 7 GHz are shown in fig. 8. and fig. 9., respectively. Radiation pattern results do not cover the high-band of UWB (7-10.6GHz) the antenna is specific to the WLAN, 3G and 4G.

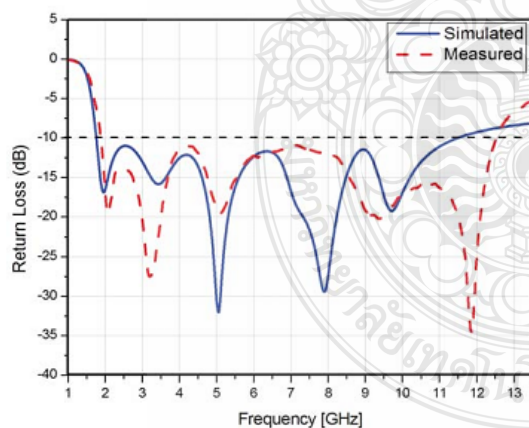


Figure10. Comparison Between Simulated And Measured Return Loss < -10 dB for the proposed antenna

In Fig. 10. Shows comparison between simulated and measured return loss for the proposed antenna. The

simulated and measured show that the proposed antenna achieved UWB with round corner rectangular slot and partial circular patch successfully.



Figure 11. Photograph of the proposed antenna

IV. CONCLUSIONS

We proposed CPW-fed thin-film UWB antenna with wide round corner rectangular slot. The fabricated antenna satisfies the -10 dB return loss requirement from 1.9 to 12.5 GHz. By increasing the curvature of the round corner rectangular slot and circular patch, expansion of the antenna, for additional resonance are excited and hence much wider impedance bandwidth can be produced. Finally, a thin-film UWB antennas are successfully designed, simulated, and measured, which shown good impedance. It is has been designed suitable for applications in the mobile phone, tablet, UWB wireless communication and wireless local-area network (WLAN). Because the device has a thickness of 0.4mm and large size is not too much.

REFERENCES

- [1] Paitoon Raklhea and Jintana Nakasuwan "Planar UWB Antenna with Single Band-Notched Characteristic," ICCAS Oct. 27-30, 2010.
- [2] M. D'Amico, R. Cassetta, "A Novel CPW-Fed Rectangular Wide Slot Antenna for UWB Applications," IEEE APWC, pp.19 - 22, Sept. 12-16, 2011
- [3] R.Chair, A. Kishk, and K. F. Lee, "Ultra-wideband coplanar waveguide-fed rectangular slot antenna," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp. 227-229, 2004.
- [4] X. Chen, W. Zhang, R. Ma, J. Zhang and J. Gao, "Ultra-wideband CPW-fed antenna with round corner rectangular slot and partial circular patch," *IET Microw. Antennas Propag.*, Vol. 1, No. 4, August 2007
- [5] Mohammed Al-Husseini, Ali Ramadan, Youssef Tawk, Ali El-Hajj, and Karim Y. Kaban, "Design and Ground Plane Consideration of a CPW-Fed UWB Antenna," *ELECO* Nov. 5-8, 2009



ECTI
Association

ECTI-CARD 2012

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 4

21 – 22 มิถุนายน 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปทุมธานี

Committee

Steering Committee

รศ.ดร.ประยูทธ อัครเอกผาลิน (KMUTNB)
 รศ.ดร.โกสินทร์ จ่านงไทย (KMUTT)
 รศ.ดร.วุฒิพงษ์ อารีกุล (KU)

General Chair

ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ (KMITL)
 ศ.ดร.ประกาศ จงสถิตวัฒนา (CU)

General Co-Chairs

รศ.ดร.นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์ (RMUTT)
 ผศ.ดร.สมหมาย ศิวสอาด (RMUTT)

Technical Program Chair

รศ.ดร.ชาลี เจริญลาภนพรัตน์ (SIIT)

Technical Program Co-Chair

ผศ.จินตนา นาคะสุวรรณ (RMUTT)

Local Arrangement Chair

ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ (RMUTT)

Publication Chair

ผศ.ชนะพงศ์ นพวงศ์ณ ออยุธยา (RMUTT)

Publicity Chair

มาโนช ประชา (RMUTT)

Finance Chairs

วิโรจน์ พิราจเนนชัย (RMUTT)
 รุจิพรรณ สัมปันณา (BU)
 ไพริน แก้วกวย (ECTI)

Exhibition Chair

สมชาย เมียนสูงเนิน (RMUTT)

Workshop Chair

ดร.ฉัตรชัย สุภพิทักษ์สกุล (RMUTT)

General Secretary

ดร.วิสิทธิ์ ล้อธรรมจักร (RMUTT)

General Assistant Secretary

ผศ.วัฒนา พันธุ์ลำเจียก (RMUTT)

Technical Program Committee

ผศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์ (NPRU)
 ดร.จิรนุช เสี่ยงมศักดิ์ (KKU)
 รศ.ดร.อภิรักษ์ ธนชยานนท์ (KMITL)
 ดร.กสิน วิเชียรชม (KMITL)
 ดร.นิธิโรจน์ พงสุวรรณเจริญ (RMUTI)
 ดร.ก้องภพ อยู่เย็น (NASA)
 รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช (KMITL)
 ดร.วันวิสา ช้างวงษ์ (KMITL)
 รศ.ดร.ธำรงค์รัตน์ อมรรักษา (KMUTT)
 รศ.ดร.จันทนา จันทราพรชัย (SU)
 ดร.สุภาภรณ์ เกียรติสิน (MU)
 ดร.กิติวัฒน์ นิ่มเกิดผล (RMUTT)
 รศ.ณรงค์ บวบทอง (TU)
 ดร.วินัย วิชัยพาณิชย์ (RMUTT)
 ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ ทิรติวินทกร (KMUTNB)
 ดร.กมล เขมะรังษี (NECTEC)
 ดร.มัชฌิภา อ่องแดง (DPU)
 ดร.คามพ์เมษ บุญยะเวศ (TU)

รศ.ดร.ชวลิต เบนจางคประเสริฐ (KMITL)

ดร.ณัฐพงษ์ ศรีรัตน์ (Skyworks)

ผศ.ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล (RSU)

รศ.เวก วิเวก (KMUTNB)

ดร.สมมาตร แสงเงิน (MUT)

ดร.ศราวุธ ชัยมูล (KMUTNB)

ผศ.ดร.เบญจมาศ พนมรัตนรักษ์ (KMUTT)

ดร.อิทธิเสก นิลกำแหง (SIIT)

รศ.ดร.เดวิด บรรรเจ็ดพงษ์ชัย (CU)

ดร.พีระยศ แสนโกชน์ (KU)

ผศ.ดร.จิรวัดน์ กชสาร (RMUTT)

ผศ.ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์ (RMUTT)

ผศ.ดร.ณัฐภพ นุ่มปีติวัน (BU)

ผศ.ดร.ธวัชชัย เตชะชอนันต์ (CU)

ผศ.ดร.ปานจิต คำรงกุลกำจร (KU)

ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง (RMUTT)

ผศ.ดร.สมชัย หิรัญวโรดม (RMUTT)

ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม (RMUTT)

รศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ (KMITL)

ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์ (RMUTI)

ผศ.ดร.สมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ (KMITL)

ผศ.ดร.ยุพิน สรรพคุณ (KMUTNB)

ดร.สมเกียรติ อุดมบรรณากุล (RMUTSB)

ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร (RMUTT)

Mr.Lin M.M. Myint (SIU)

ดร.วิสิทธิ์ สือธรรมจักร (RMUTT)

สารบัญ

Game and Living

1075	Virtual treasures collection game on Android for marketing and tourism support	180
1034	ระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยอุปกรณ์เคลื่อนที่	184
1014	ยุทธการพระพิรุณ: เกมฝึกสมองบนระบบปฏิบัติการไอโอเอส	190
1039	การประยุกต์ใช้สัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อลายเพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าระยะไกล	196
1041	โป้เงาะ : เกมค้นหาแบบหลายผู้เล่น	201

Antenna design

1079	สายอากาศไมโครสตริปแบบไมลุ่มีลิมช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้ง สำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์	208
1074	สายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับแบบช่องเปิดมุมฉากสำหรับความถี่แถบกว้าง	214
1069	สายอากาศช่องเปิดแบบมุมฉากที่มีการแผ่พลังงานสองทิศทาง	220
1065	An Improved Method for DOA Estimation	226
1016	สายอากาศต้นท่อนต่ำอัตราขยาย 10.5 dBi ที่แผ่คลื่นแบบชี้ทิศทาง ในย่าน 1.7 – 2.7 GHz	231

Healthcare Technology

1029	ซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์การให้บริการของโรงพยาบาล ทางจิตเวชโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย	238
1047	สเตปโคส โคปไรส์สาย	244
1049	ระบบวัดอัตราการเต้นของหัวใจผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ	250
1003	โปรแกรมบนโทรศัพท์เคลื่อนที่อัจฉริยะ สำหรับกิจกรรมประจำวันของผู้สูงอายุ	256

Software and Algorithm

1048	การปรับเพิ่มส่วนประสานกับผู้ใช้สำหรับโปรแกรมมูเคิล	264
1050	ระบบรายงานการเข้าใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้	270
1038	การตรวจจับ Malware สำหรับระบบตรวจสอบสถานะเว็บไซต์	276
1092	เทคนิคการปรับปรุงอัลกอริทึมอาณานิคมมดเพื่อการหา ระยะทางการเจาะแผ่นวงจรที่เหมาะสมที่สุด	282

สายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ล้าฟิล์มของสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์

พรเทพ ทองย้อย ณะพงษ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา ไพฑูรย์ รักเหลือ วิโรจน์ พิราจเนนชัย
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
E-mail : boy_el@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ที่กระตุ้นด้วยสายส่งสัญญาณระนาบร่วม โดยสายอากาศที่นำเสนอจะถูกสร้างอยู่บนวัสดุฐานรองแบบไม่ล้าฟิล์มที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 3.2 และมีความหนา 0.4 มม. ขนาดของสายอากาศ คือ 53.3×60 มม.² มีแบนด์วิดท์ในช่วงความถี่ 2-11.6 GHz สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์นี้จะถูกออกแบบโดยใช้สตริปคล้ายลิ่มขอบโค้งที่ถูกกระตุ้นด้วยสายส่งสัญญาณระนาบร่วม ช่องว่างระหว่างสตริปและกราวด์จะถูกออกแบบให้มุมทั้ง 4 เป็นมุมโค้ง โดยในบทความนี้จะนำเสนอ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (S_{11}) แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR) ที่ได้จากการวัดจริง

Abstract

This article presents design and analysis the microstrip antenna for ultra-wideband (UWB), fed by coplanar waveguide (CPW). The proposed antenna is printed on a mylar polyester film substrate, dielectric constant of 3.2, and thickness of 0.4 mm. The size of the antenna is 53.3×60 mm². The first antenna was designed with bandwidth of frequency band from 2-12.6 GHz. The UWB antenna was designed by using fork-like curved edges stub fed by CPW. Gap between the stub and the ground is being designed as a curved edge. This article is presented return loss, radiation patterns and VSWR, obtained from the actual measurement.

คำสำคัญ

สายอากาศแบบไม่ล้าฟิล์ม, ระบบอัลตราไวด์แบนด์, สตริปคล้ายลิ่ม, มุมโค้ง

1. บทนำ

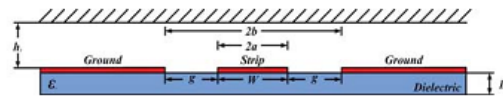
ที่ผ่านมาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมได้มีการพัฒนาและขยายตัวอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายรวมถึงระบบสื่อสารที่เป็นโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในสำนักงานหรืออาคารบ้านเรือน เนื่องจากทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีความสะดวกสบายและคล่องตัว โดยไม่จำเป็นต้องมีการเดินสายนำสัญญาณไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ทำให้การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ปลายทางเป็นไปอย่างอิสระรวมทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่าย ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมต่อดังกล่าวจะใช้เทคโนโลยี Wi-Fi และ Bluetooth แต่เทคโนโลยีเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น แบนด์วิดท์แคบ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลไม่มากนัก ไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียได้ ซึ่งไม่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างไม่หยุดยั้ง และปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra Wideband: UWB)

งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาและวิเคราะห์ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์สตริปคล้ายลิ่ม [1] มีลักษณะเป็นสายอากาศแบบช่องสี่เหลี่ยม [2]-[3] โดยทำการออกแบบให้สตริปคล้ายลิ่มและช่องสี่เหลี่ยมนั้นมีขอบโค้งบางส่วน [4]-[5] ใช้วัสดุฐานรองแบบใหม่ซึ่งมีขนาดที่บางกว่า FR-4 และสามารถที่จะประยุกต์ใช้งานในระบบอัลตราไวด์แบนด์ได้ [6] ซึ่งการออกแบบ

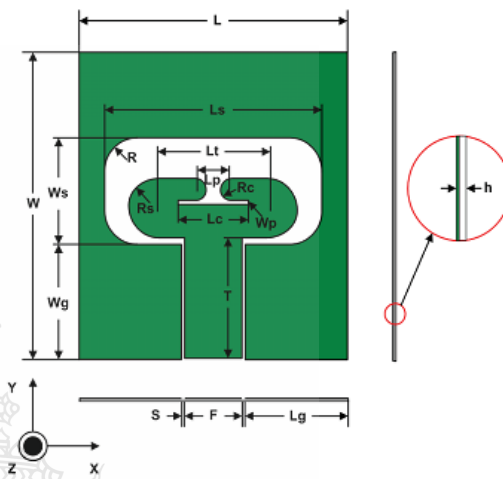
สายอากาศมีการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IE3D (Zeland) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี Method of Moment (MoM) รวมทั้งทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ โดยสายอากาศที่ออกแบบจะมีขนาดเล็ก โครงสร้างไม่ซับซ้อน มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดีและค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้โดยมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz (Federal Communication Commission: FCC) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวต์แบนด์ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

2. โครงสร้างสายอากาศและการออกแบบ

สายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมที่ได้ทำการออกแบบคือ สายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง (Co-Planar Waveguide: CPW) โครงสร้างของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างซึ่งประกอบด้วยสตริป (Strip) อยู่ตรงกลางด้านบนของฐานไดอิเล็กตริก (Substrate) โดยมีความกว้างของสตริป คือ g ด้านข้างทั้ง 2 ด้านของสตริปมีลักษณะเป็นร่อง (Slot) และระนาบกราวด์ตามลำดับ มีความกว้างระหว่างสตริปถึงระนาบกราวด์ คือ W และมีความหนาของฐานรองไดอิเล็กตริก คือ h ลักษณะการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าบนสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมจะเป็นลักษณะแบบ Quasi-TEM ข้อดีของสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุได้ง่ายมาก เนื่องจากไม่ต้องมีการเจาะรูผ่านฐานรองไดอิเล็กตริกเพื่อเชื่อมต่อกราวด์ให้กับอุปกรณ์เหล่านั้น สามารถนำมาต่อรวมในวงจรเดียวกันกับไมโครสตริปได้ง่าย การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ (Dispersion) และค่าความสูญเสีย (Loss) ต่ำกว่าการใช้ไมโครสตริป จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นทำให้โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วมเหมาะกับการทำเป็นวงจรรวมไมโครเวฟ รูปโครงสร้างของสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่างแสดงให้เห็นในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง



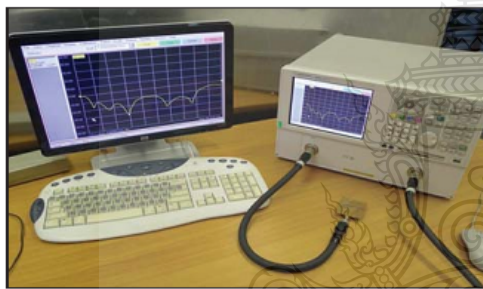
รูปที่ 2 โครงสร้างสายอากาศ

ในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศไม่ลำโพงสำหรับระบบอัลตราไวต์แบนด์ที่มีสายส่งสัญญาณแบบระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง โดยเริ่มต้นจากแนวความคิดที่จะออกแบบสายอากาศที่รองรับระบบอัลตราไวต์แบนด์ ซึ่งมีสายนำสัญญาณแบบ CPW และมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนก่อน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ในขั้นนี้ใช้วัสดุฐานรองชนิด Mylar® Polyester Film ที่มีความบางเพียง 0.3 มม. เป็นวัสดุฐานรอง แล้วใช้ทองแดงที่หนา 0.1 มม. เป็นตัวนำไฟฟ้า และในการออกแบบกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ 50 โอห์ม สายอากาศมีขนาด 53.3×60 มม.² ช่องสี่เหลี่ยมระหว่างสตริปและกราวด์มีความกว้างเท่ากับ $W_s \times L_s$ โดยทำมุมของช่องให้เป็นมุมโค้งมีรัศมีเป็น R ส่วนสตริปรูปคล้ายสี่เหลี่ยมออกมาให้มีมุมที่โค้งโดยมีรัศมีเป็น R_s และ R_c ดังรูปที่ 2

สุดท้ายนี้ก็ได้ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการสร้างสายอากาศ ที่มีแบนด์วิดท์การใช้งานตั้งแต่ 2-12.6 GHz มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่แสดงในรูปที่ 2 ดังนี้ $W_s = 20.8$ มม., $L_s = 43.3$ มม., $R = 6.5$ มม., $R_s = 11.5$ มม., $L_t = 7.25$ มม., $R_c = 4.2$ มม., $L_c = 13.8$ มม., $W_p = 0.8$ มม., $L_p = 7.1$ มม., $W_g = 22.5$ มม., $L_g = 20.3$ มม., $T = 23.7$ มม., $F = 11.7$ มม. และ $S = 0.5$ มม.

3. ผลการทดสอบสายอากาศ

ผลการทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ลำพืดมีช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ ได้แบ่งการทดสอบเป็น 3 ส่วน คือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ, แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน



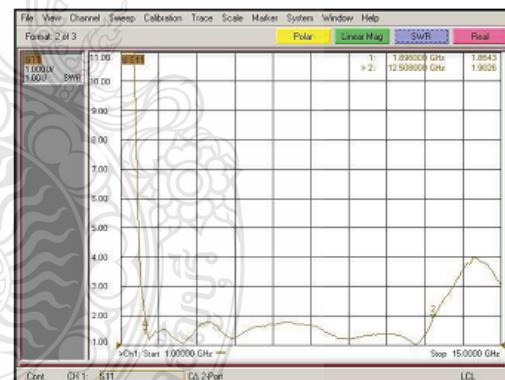
รูปที่ 3 วิธีการวัดและวิเคราะห์สายอากาศไม่ลำพืดมีช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงวิธีการวัดและวิเคราะห์สายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ลำพืดมีช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Network Analyzer รุ่น E8363B เพื่อวัดหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศที่สร้างขึ้น ซึ่งการทดลองการต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย แสดงให้เห็นดังรูป



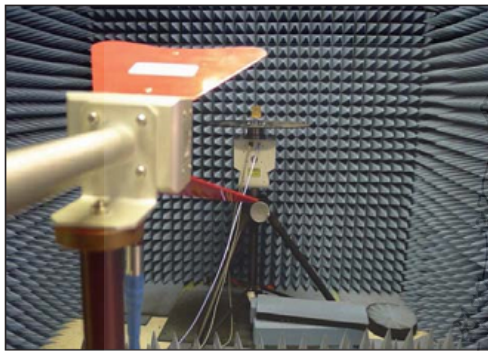
รูปที่ 4 ผลการวัดจริงของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ลำพืดมีช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงผลการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ลำพืดมีช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 1.0 – 15.0 GHz ซึ่งมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับตั้งแต่ 1.9 – 12.5 GHz



รูปที่ 5 ผลการวัดจริงของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริปแบบไม่ลำพืดมีช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์

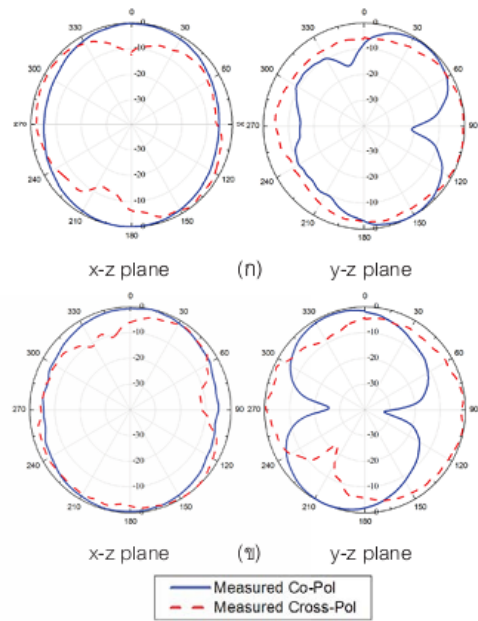
จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงผลการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศไมโครสตริบแบบไม่ล่ำพิลล์มช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 1.0 – 15.0 GHz ซึ่งมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ต่ำกว่า 2 ตั้งแต่ 1.9 – 12.5 GHz



รูปที่ 6 การต่ออุปกรณ์วัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไม่ล่ำพิลล์มสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์

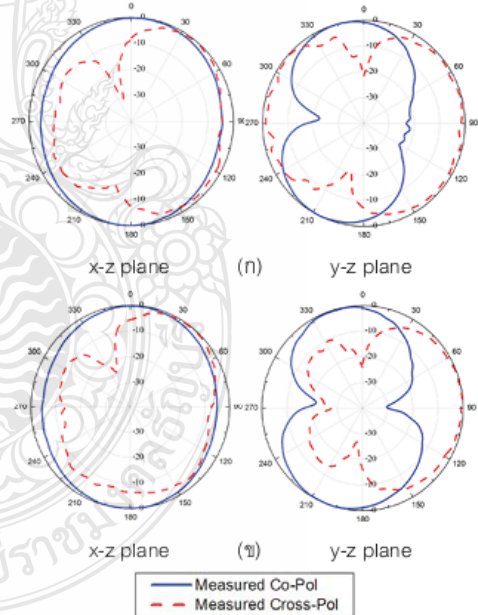
จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงวิธีการวัดวิเคราะห์คุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศโดยที่มีสายอากาศสองตัวต่อเข้ากับเครื่องมือวัดวิเคราะห์ โดยที่สายอากาศปากแตรทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศไมโครสตริบแบบไม่ล่ำพิลล์มช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งสำหรับระบบอัลตราไวด์แบนด์ ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับเพื่อวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ซึ่งการทดลองการต่อสายอากาศเข้ากับอุปกรณ์

จากรูปที่ 7 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) ของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงที่ความถี่ 2.1 GHz และ 2.35 GHz ในการวัดจริงพบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ x-z (Co-Pol) มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง และแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ y-z (Cross-Pol) มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และจากรูปที่ 8 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงที่ความถี่ 2.45 GHz และ 2.6 GHz



รูปที่ 7 การวัดจริงแบบรูปการแผ่พลังงาน

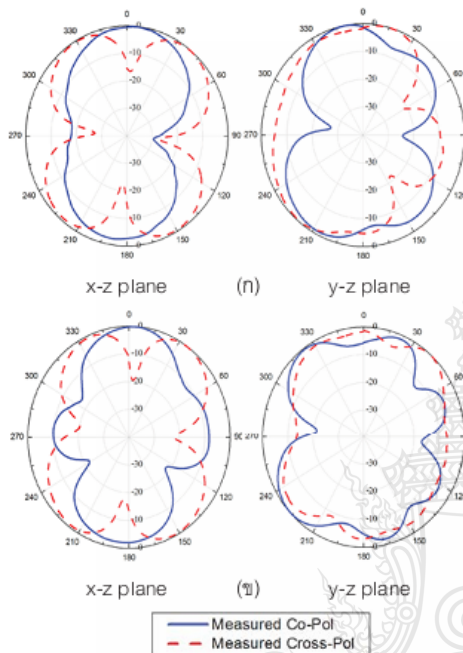
(ก) ที่ความถี่ 2.1GHz (ข) ที่ความถี่ 2.35GHz



รูปที่ 8 การวัดจริงแบบรูปการแผ่พลังงาน

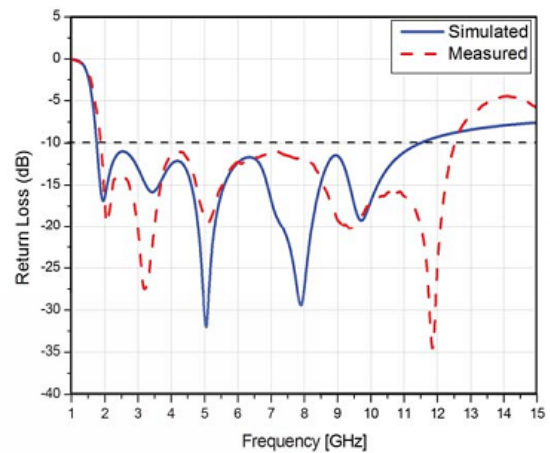
(ก) ที่ความถี่ 2.45GHz (ข) ที่ความถี่ 2.6GHz

ในการวัดจริงพบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในระนาบ x-z (Co-Pol) มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง และการแผ่พลังงานในระนาบ y-z (Cross-Pol) มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง



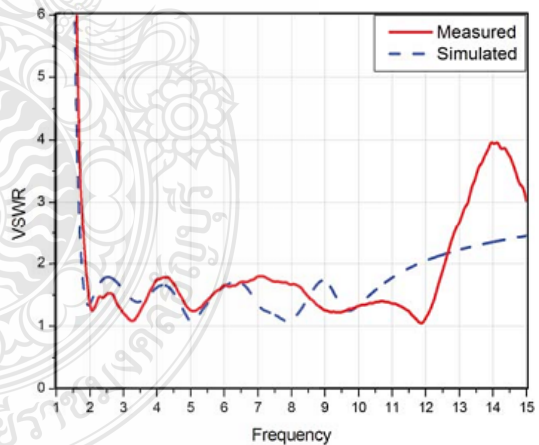
รูปที่ 9 การวัดจริงของแบบรูปการแผ่พลังงาน (ก) ที่ความถี่ 5.2GHz (ข) ที่ความถี่ 7GHz

จากรูปที่ 9 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของการวัดวิเคราะห์สายอากาศที่สร้างจริงที่ความถี่ 5.2 GHz และ 7 GHz ในการวัดจริงพบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานในระนาบ x-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง และการแผ่พลังงานในระนาบ y-z มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง



รูปที่ 10 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการวัดจริง

จากรูปที่ 10 เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะและประสิทธิภาพของสายอากาศนั้น ต้องใช้เครื่องมือในการทดสอบคือเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent PNA Network Analyzers ในการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) จากรูปจะเห็นว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งผลจากการวัดจริงจะมีการเลื่อนขึ้นไปทางด้านความถี่สูง



รูปที่ 11 ค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของสายอากาศเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการวัดจริง

จากรูปที่ 11 ผลที่ได้จากการวัดชิ้นงานจริงและผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีความสอดคล้องกัน เช่นเดียวกับผลของการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ซึ่งได้ค่าในการวัดชิ้นงานจะเลื่อนขึ้นไปทางด้านความถี่สูงและมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น อาจเป็นเพราะมีการคลาดเคลื่อนของค่าตัวเลขทศนิยมในการสร้างชิ้นงานของสายอากาศจริงที่ไม่ละเอียด เหมือนในการจำลองการทำงานหรืออาจจะเป็นเพราะค่าคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาสร้างที่ไม่คงที่เท่าที่ควร จึงมีผลให้ค่าจากการวัดทดสอบคลาดเคลื่อนไป แต่แถบความถี่ก็ยังอยู่ในช่วงของการใช้งานได้



รูปที่ 12 สายอากาศที่นำเสนอบน

4. สรุปผลการวิจัย

ในบทความนี้เราได้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปสำหรับระบบอัตราไวด์แบนด์ที่กระตุ้นด้วยสายส่งสัญญาณระนาบร่วมรูปคล้ายลิ่มช่องสี่เหลี่ยมมุมโค้งบางส่วนแบบฟิล์ม ที่มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับย้อนกลับ น้อยกว่า -10 dB, อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันมีค่าที่ต่ำกว่า 2 ที่ความถี่ตั้งแต่ 2-11.6 GHz และยังคงสามารถแผ่กระจายคลื่นในแนวโน้มรอบทิศทาง สุดท้ายนี้เราสามารถสร้างสายอากาศระบบอัตราไวด์แบนด์แบบฟิล์มได้สำเร็จ มีค่าการจำลองและการวัดจริงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สายอากาศนี้ถูกออกแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในโทรศัพท์มือถือ, แท็บเล็ต, UWB Wireless communication และ Wireless local-area network (WLAN) เนื่องจากสายอากาศที่มีความบางเพียง 0.4 มม.

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายบุญฤทธิ์ คุ้มเขต และภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในให้คำปรึกษา การสร้างและทดสอบสายอากาศในบทความนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Paitoon Rakluea and Jintana Nakasuwan "Planar UWB Antenna with Single Band-Notched Characteristic," ICCAS Oct. 27-30, 2010.
- [2] M. D'Amico, R. Cassetta, "A Novel CPW-Fed Rectangular Wide Slot Antenna for UWB Applications," IEEE APWC, pp.19- 22, Sept. 12-16, 2011
- [3] R.Chair, A. Kishk and K. F. Lee, "Ultra-wideband coplanar waveguide-fed rectangular slot antenna," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp.227-229, 2004.
- [4] X. Chen, W. Zhang, R. Ma, J. Zhang and J. Gao, "Ultra-wideband CPW-fed antenna with round corner rectangular slot and partial circular patch," *IET Microw. Antennas Propag.*, Vol. 1, No. 4, August 2007
- [5] Mohammed Al-Husseini, Ali Ramadan, Youssef Tawk, Ali El-Hajj, and Karim Y. Kabalan, "Design and Ground Plane Consideration of a CPW-Fed UWB Antenna," *ELECO* Nov. 5-8, 2009
- [6] Maleeya Tangitjetsada, Boonyarit Kumkhet and Paitoon Rakluea, "A Novel Thin-Film UWB Antennas with Single or Dual Band-Notched Performances," *ISAP* October. 25-28, 2011

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

นายพรเทพ ทองย่อย

วัน เดือน ปีเกิด

31 ธันวาคม 2529

ที่อยู่

4 ถ.ลำปาง-เชียงใหม่ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง

การศึกษา

พ.ศ. 2553

สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

