

การประเมินผลของเสาอากาศช่องสี่เหลี่ยม
สำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

EVALUATION OF RECTANGULAR SLOT ANTENNA
FOR WBAN APPLICATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-010-151

การประเมินผลของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม
สำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

EVALUATION OF RECTANGULAR SLOT ANTENNA
FOR WBAN APPLICATION



อนันต์ กามี
ANAN KAME

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-010-151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF RECTANGULAR SLOT ANTENNA
FOR WBAN APPLICATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-010-151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016






FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินผลของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
Thesis Title Evaluation of Rectangular Slot Antenna for WBAN Application
นักศึกษา นายอนันต์ กามี
รหัสประจำตัว 57601140
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-010-151

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาศ	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกฉालิน	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของการนำใบนี้ไปใช้
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมสำหรับการประยุกต์ใช้ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นายอนันต์ กามี
รหัสนักศึกษา	57601140
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเริ่มมีบทบาทที่สำคัญในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับในส่วน
ของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (WBAN) ที่เริ่มใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพราะในปัจจุบันนี้
อุปกรณ์ระบบสื่อสารโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ส่วนใหญ่จะถูกติดหรือสวมใส่บนร่างกาย
มนุษย์ โดยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากมี
ระยะทางในการสื่อสารที่สั้น ใช้กำลังงานต่ำ และเป็นเทคโนโลยีที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง ซึ่งเป็น
เทคโนโลยีที่เหมาะสม และสามารถรองรับการใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในวิทยานิพนธ์
นี้ได้ออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีท่อนำคลื่นแบบระนาบร่วมที่สามารถใช้งานครอบคลุมตั้งแต่
ช่วงความถี่ 6.23-11.34 GHz ซึ่งสามารถใช้งานตามข้อกำหนดแถบกว้างยิ่งของ MIC และสามารถใ้
งานตามข้อกำหนดร่วมกันที่กำหนดโดย FCC ETSI MIC โดยสายอากาศมีโครงสร้างที่เรียบง่าย
ประกอบด้วย สตับแบบสี่เหลี่ยม และร่อง ที่สร้างจากแผ่นพิมพ์วงจร ชนิด FR-4 ซึ่งมีขนาด 30
มิลลิเมตร × 35 มิลลิเมตร × 1.6 มิลลิเมตร โดยผลการจำลองและการผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า
สายอากาศที่นำเสนอมีค่าอิมพีแดนซ์แมตซ์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีแบบรูปการแผ่กระจายของสายอากาศ
เป็นแบบรอบทิศทาง และมีอัตราขยาย 2dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Evaluation of Rectangular Slot Antenna for WBAN Application
Student	Mr. Anan Kame
Student ID.	57601140
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Wireless ultra-wideband systems are becoming important in daily life. In such of them wireless body area networks (WBAN) are start using around the world because of now a day's communication systems are device may attached WBANs and wearable WBANs. An ultra wideband (UWB) technology are suitable to use in this research due to short range communication scenarios low-power and high data rate technology which accommodates the appropriate technology in WBANs. In this thesis, we design rectangular slot antenna fed by coplanar waveguide (CPW) is operating over bandwidth from 6.23 GHz to 11.34 GHz. Rectangular slot antenna with line slit for using on high band in MIC regulation and common band regulation in UWB, that antenna structure is simple, that include the rectangular stub with line slit, which is use FR4 print circuit board (PCB) with an overall size of 30 mm x 35 mm x 1.6 mm. The simulation and experiment show that the proposed antenna achieves good impedance matching. The radiation pattern of antenna is omni-directional and gain 2dBi.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและคำชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา ตรวจสอบและให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์จากท่านอาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ นอกจากนี้ยังให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาดังๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าก็ขอบอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ ข้อคิดต่างๆ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	5
2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	5
2.1.1 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	6
2.1.2 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.2 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.2.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับ ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.2.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในกลุ่มประเทศยุโรป.....	10
2.2.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น.....	12
2.2.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ร่วมกัน.....	13
2.3 ทฤษฎีและหลักการสายอากาศ.....	14
2.3.1 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป.....	14
2.3.2 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป.....	16
2.3.3 สายส่งสัญญาณที่นำคลื่นระนาบร่วม.....	17
2.3.4 การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลและค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ.....	18
2.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $	20
2.3.6 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น.....	21
2.3.7 อัตราการขยายของสายอากาศ และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง.....	22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.5 สรุป.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

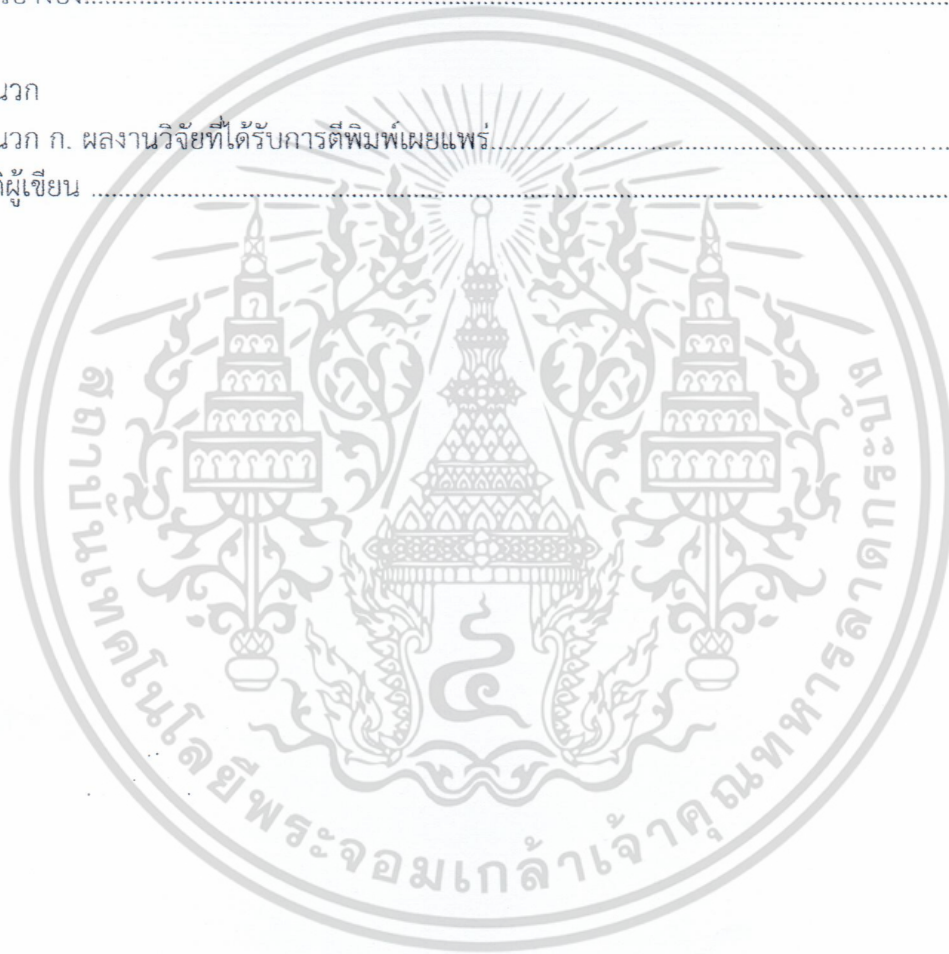
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การวิเคราะห์การส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง.....	26
3.1 กล่าวนำ.....	26
3.2 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบการส่งผ่าน สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Extension of Friis' transmission formula).....	26
3.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	28
3.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	29
3.5 สรุป.....	29
บทที่ 4 การออกแบบสายอากาศแถบกว้างยิ่งและการจำลองวัด.....	30
4.1 กล่าวนำ.....	30
4.2 การออกแบบสายอากาศ.....	30
4.3 แบบแผนการทดลองวัดของระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุ.....	33
4.4 สรุป.....	34
บทที่ 5 ผลการวัดและการวิเคราะห์.....	35
5.1 กล่าวนำ.....	35
5.2 ผลการวัดและการวิเคราะห์สายอากาศ.....	35
5.2.1 ผลการจำลองสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	35
5.2.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $	35
5.2.2 ผลการทดลองวัดสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	40
5.2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $	40
5.2.2.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	40
5.2.2.3 อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	41
5.2.2.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	41
5.2.2.5 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้.....	42
5.2.2.6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	43
5.3 สรุป.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
6.1 กล่าวนำ.....	45
6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย.....	45
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	50
ประวัติผู้เขียน	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	10
2.2	ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	11
2.3	ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคารที่แก้ไขใหม่.....	11
2.4	ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย MIC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น.....	12
2.5	ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น.....	13
2.6	การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศใน 3 บริเวณ.....	22
2.7	ข้อกำหนดในระดับการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC	23
4.1	ขนาดของสายอากาศรองสี่เหลี่ยม.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แนวความคิดการใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์.....	1
1.2	ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร.....	2
2.1	การประยุกต์ใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์ในการรับ-ส่งข้อมูล.....	5
2.2	การเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังงานระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง กับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ.....	7
2.3	ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานตามข้อกำหนด FCC part 15 limit สำหรับการสื่อสารระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร.....	10
2.4	ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานแบบใหม่สำหรับภายในอาคารเท่านั้น ที่กำหนดโดย ETSI.....	12
2.5	ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC	13
2.6	ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดร่วมกัน โดย FCC ETSI และ MIC.....	14
2.7	โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป.....	15
2.8	รูปแบบแผ่นของสายอากาศไมโครสตริปรูปแบบต่าง ๆ.....	16
2.9	การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปในรูปแบบต่าง ๆ.....	17
2.10	โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่าง.....	18
2.11	โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดมีระนาบดินด้านล่าง.....	18
2.12	โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	19
2.13	แบบรูปการแผ่กระจายของคลื่น.....	21
2.14	วงจรมุมูลของสายอากาศ.....	23
2.15	โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมและค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	24
2.16	โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่สูงและค่าการสูญเสียย้อนกลับ.....	24
4.1	บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสายอากาศ.....	31
4.2	โครงสร้างและขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	32
4.3	โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	33
4.4	แบบจำลองการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1	การปรับความสูงของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 36
5.2	ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความสูงของร่องสี่เหลี่ยม..... 36
5.3	การปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 37
5.4	ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม.. 37
5.5	การปรับความกว้างของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 38
5.6	ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของสตัป..... 38
5.7	การปรับความยาวของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 39
5.8	ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความยาวของสตัป..... 39
5.9	การเปรียบเทียบผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศในการวัด เทียบกับการจำลองสายอากาศของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 40
5.10	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 40
5.11	อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม..... 41
5.12	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า..... 41
5.13	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบคลื่นแม่เหล็ก..... 42
5.14	รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบสนามไฟฟ้า..... 42
5.15	รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก..... 43
5.16	รูปคลื่นสหสัมพันธ์ในระนาบสนามไฟฟ้า..... 43
5.17	รูปคลื่นสหสัมพันธ์ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก..... 44

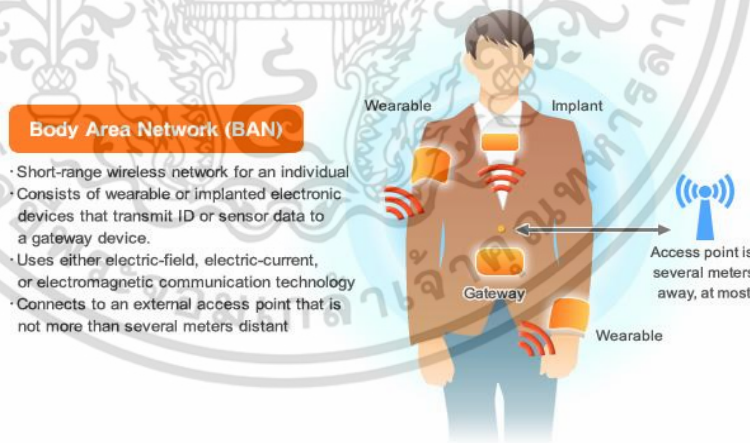
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีที่ปฏิบัติการส่งข้อมูลดิจิทัลจำนวนมากบนคลื่นแถบความถี่กว้างโดยใช้สัญญาณพัลส์ในการส่งข้อมูลในช่วงเวลาสั้น ๆ และสัญญาณมีขนาดกำลังงานที่ต่ำมากในระดับไมโครวัตต์ ซึ่งสามารถลดผลกระทบที่จะเกิดกับร่างกายมนุษย์ และสามารถป้องกันการรบกวนการสื่อสารจากเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้จากคุณสมบัติที่สัญญาณมีกำลังงานต่ำมาก ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสัญญาณรบกวน จึงไม่ก่อให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณกับการสื่อสารในเทคโนโลยีอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายแขนง เช่น การสื่อสาร การระบุตำแหน่ง การติดตาม การแพทย์ และ เรดาร์ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับนักพัฒนานักวิจัยทางด้านการสื่อสารไร้สายทั่วโลก โดยในการรับ-ส่งสัญญาณมีการร่วมมือกันจัดตั้งข้อกำหนดระหว่างประเทศต่าง ๆ นำโดยกลุ่มคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) [1] กลุ่มประเทศในยุโรป (The European Telecommunications Standards Institute; ETSI) [2] และ ประเทศญี่ปุ่น (Ministry of Internal Affairs and Communication; MIC) ที่กำหนดความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ใช้งาน โดยเป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC ETSI และ MIC ร่วมกัน โดยแถบความถี่ 7.25-8.5 GHz กำหนดให้สามารถใช้ภายในอาคารเท่านั้น ที่ช่วงความถี่ต่ำ 7.25 GHz ถูกกำหนดโดย MIC และความถี่สูง 8.5 GHz กำหนดโดย ETSI

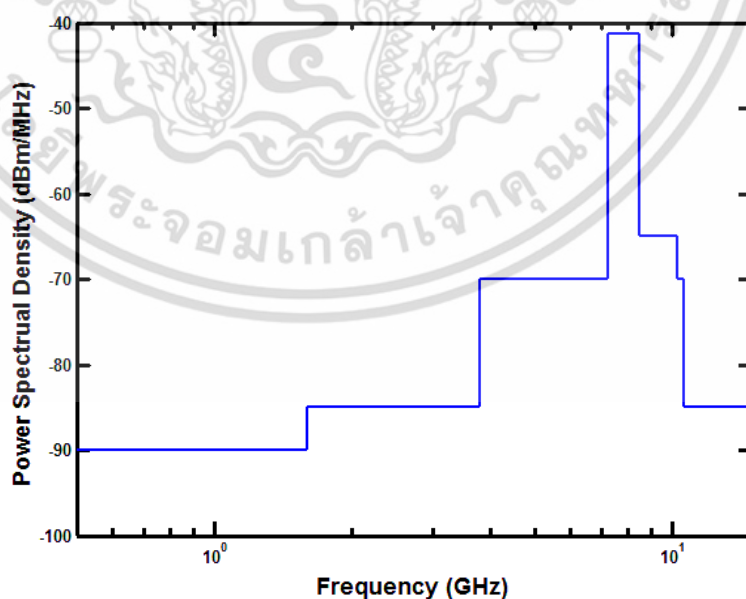


รูปที่ 1.1 แนวคิดการใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [3]

โดยเทคโนโลยีแถบกว้างยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network; WBAN) ตามกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.15.6 [4] ที่กำหนดความหนาแน่นกำลังงานที่ใช้งานต่ำกว่า -10dBm โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเช่น การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การเก็บข้อมูลของผู้ป่วยผ่านระบบไร้สาย ซึ่งมีข้อดีกว่าแบบสายคือสามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในกรณีเร่งด่วนได้ และผู้ป่วยสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระโดยปราศจากอุปสรรคจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายนำสัญญาณของอุปกรณ์ทางการแพทย์ ซึ่งการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่ทำงานบนร่างกาย หรือใกล้กับร่างกายมนุษย์ จึงจำเป็นต้องใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณที่ต่ำมากเพื่อลดผลกระทบและอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อ ร่างกายของมนุษย์ ส่งผลให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านนี้ โดยสายอากาศที่ใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณจะต้องรองรับความถี่ที่กว้างมาก และมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเป็นโหนดบนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นในงานศึกษาวิจัยนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม (Coplanar Wave Guide; CPW) ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เพื่อประเมินผลกระทบคุณลักษณะของช่องสัญญาณร่วมกับร่างกายมนุษย์ และเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสายอากาศที่สร้างขึ้นกับสายอากาศที่จำลองขึ้นมา ในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้มีการเสนอการพัฒนาและออกแบบสายอากาศที่สามารถทำงานครอบคลุมในย่านความถี่รวม และประเมินคุณลักษณะของช่องสัญญาณของสายอากาศ ดังนั้นการศึกษาพิจารณาผลกระทบคุณลักษณะของช่องสัญญาณโดยการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจเพื่อนที่จะนำมาวิเคราะห์พัฒนา และปรับปรุงการนำไปประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบสายอากาศที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในสภาวะอวกาศว่าง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยพิจารณาและศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านที่ย่านความถี่รวม 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz และนำผลที่ได้จากการวัดทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ในการแผ่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนา การศึกษาวิจัยและประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 1.2 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
2. เพื่อออกแบบสายอากาศให้มีความเหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ซึ่งครอบคลุมย่านแถบความถี่รวม 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz ตามข้อกำหนดของ FCC ETSI และ MIC และย่านแถบความถี่สูงตามข้อกำหนดของ MIC 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส และการนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
4. เพื่อประเมินผลประสิทธิภาพของสายอากาศในการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่งภายในสภาวะอวกาศว่าง
5. เพื่อวิเคราะห์ผลช่องสัญญาณการแพร่กระจายแถบกว้างยิ่งภายในสภาวะอวกาศว่าง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในชีวิตประจำวันในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไร้สายเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและรวดเร็วกับการเชื่อมต่อใช้งานในด้านต่าง ๆ รวมทั้งด้านการแพทย์ตามมาตรฐาน IEEE สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์จัดอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.6 ที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งในการสื่อสารระหว่างโหนดทั้งภายใน บนร่างกายมนุษย์ และภายนอกร่างกายมนุษย์ ในงานวิจัยฉบับนี้เราจึงตั้งสมมติฐานโดยการออกแบบสายอากาศขนาดเล็กที่สามารถใช้งานในย่านแถบความถี่สูงตามข้อกำหนดของ MIC ช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz และย่านแถบความถี่รวมในช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของสายอากาศ รวมทั้งประเมินช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร เนื่องจากผลกระทบที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ การลดทอน และการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ดังนั้นประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งของสายอากาศจึงเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งหวังการออกแบบจำลองประเมินผลสายอากาศไมโครสตริปขนาดเล็กที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยใช้จุดป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม โดยทำการปรับขนาดของร่องและขนาดของสตัด์บเพื่อให้อัตราการสูญเสียย้อนกลับอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้น และครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการ โดยได้นำสายอากาศต้นแบบมาทำการทดลองวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศ และหาประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาวิจัยการออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีจุดป้อนสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบสายอากาศให้มีขนาดเล็กมีโครงสร้างอย่างง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถใช้งานครอบคลุมตามย่านความถี่ที่ต้องการ โดยนำสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ได้ออกแบบมาทำการทดลองวัดเพื่อประเมินผลคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม โดยในขั้นตอนการทดลองใช้สายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ใช้ทดสอบเป็นสายอากาศส่ง ที่ติดตั้งอยู่บนแท่นหมุนภายในห้องไร้การสะท้อน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ประเมินผลและนำเสนอผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม คุณสมบัติการส่งผ่านสัญญาณ แถบกว้างยิ่ง ค่าความผิดเพี้ยน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นต้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 ซึ่งกล่าวถึงบทนำจะประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัยขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและหลักการที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงประโยชน์การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งและข้อกำหนดแถบความถี่ร่วม

บทที่ 3 การวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 4 การออกแบบสายอากาศและแบบจำลองการทดลองวัดสายอากาศ และค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ

บทที่ 5 ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้พัฒนาจากระบบตรวจจับหรือเครื่องมือทางการแพทย์ [5] โดยเทคโนโลยีนี้สามารถส่งผ่านทะลุผ่านกำแพงได้ ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์เพื่อรองรับการขยายตัวของระบบสารสนเทศที่ต้องการเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลที่มีจำนวนมากขึ้นทั้ง ภาพ เสียง และข้อมูลต่าง ๆ เช่นการเชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการใช้งานเริ่มมีสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็น การเชื่อมต่อโครงข่ายเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัย (Home networks) โครงข่ายภายในอาคาร และโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network ; WBAN) อาทิเช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอ วิดีโอโปรเจกเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์นั้นได้แก่ การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองแบบไร้สาย การบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และติดตามแนวความคิดดูแลสุขภาพอื่น ๆ ปัจจุบันมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย Wi-Fi Bluetooth และเทคโนโลยีสื่อสารระยะสั้นซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบแคบ (Narrow band) ซึ่งความก้าวหน้าในปัจจุบันนี้ได้ปลุกกระแสความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งซึ่งเข้ามามีบทบาทต่อระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ด้วยความสามารถที่มีอัตราการเชื่อมต่อข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mbps ภายในระยะทาง 10 เมตร และ 480 Mbps ภายในระยะทาง 2 เมตร ราคาต้นทุนในการสร้างต่ำ มีกำลังงานในการส่งต่ำ และสามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมาก จากข้อมูลข้างต้นจึงเห็นได้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth [6] ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีวิทยุอิมพลัสแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานแสดงตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ในการรับ-ส่งข้อมูล [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

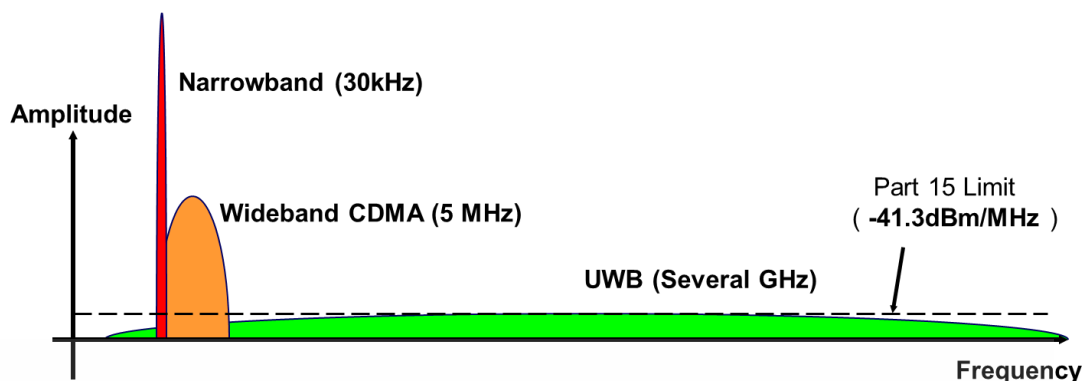
ในส่วนของประวัติการสื่อสารไร้สายสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง [8] โดยเริ่มตั้งแต่ ค.ศ. 1880 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อเฮิร์ตซ์ (Hertz) ได้ทดลองเกี่ยวกับคลื่นวิทยุและต่อมาใน ค.ศ.1900 มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1901-1909 จนกระทั่งนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส อาร์มสตรอง (Armstrong) ได้มีการทดลองนำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ จากนั้นตั้งแต่ ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ 1990 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้นำมาใช้ในการสื่อสารเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูงของกองทัพสหรัฐฯ ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้เชิญชวนให้องค์กรต่าง ๆ ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นและเริ่มตีพิมพ์เอกสารเกี่ยวกับข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นครั้งแรกโดยข้อบังคับนี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา

2.1.1 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยส่วนสำคัญของระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นก็คือ เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องใช้การรวมเข้า หรือการมอดูเลตกับคลื่นพาหะ (Radio frequency; RF) ที่เป็นสัญญาณไซน์นูนขอยดัล (Sinusoidal wave) เหมือนในระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ สัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงาน (Power spectral density; PSD) ที่กว้างมากดังนั้นจึงแพร่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) ส่วนที่สำคัญนั้นคือแบนด์วิดท์ที่กว้างยิ่งทำให้ความจุของสัญญาณมากขึ้นโดยความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราการส่งข้อมูลจะบอกถึงขนาดของข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารซึ่งสามารถที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์กับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนได้โดย พิจารณาจากสูตรของแฮนนอน (Hartley-Shannon) [9] จาก

$$C = Bw \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.1)$$

โดยที่ C คือค่าความจุของสัญญาณสูงสุด (bit/s) Bw คือแบนด์วิดท์ของสัญญาณ (Hz) S คือระดับกำลังงานของสัญญาณ (W) และ N คือระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวน (W) เนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงและใช้กำลังงานในการส่งต่ำประมาณ 1 มิลลิวัตต์ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปแบบที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ (Narrowband)



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังงานระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งก็ระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ [10]

2.1.2 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในปัจจุบันการสื่อสารมีความต้องการส่งข้อมูลในปริมาณมากที่เพิ่มมากขึ้นทุกวัน ซึ่งเป็นจุดสำคัญของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมาก ซึ่งการสื่อสารแบบแถบกว้างเป็นระบบที่มีจุดเด่นและคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารต่าง ๆ

- ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นระบบที่เรียบง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากคุณลักษณะของเบสแบนด์ (Baseband) หรือสัญญาณที่นำมาใช้งานไม่ผ่านการโมดูเลตในการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยเครื่องส่งจะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แคบมาก ๆ ในโดเมนทางเวลา และส่งสัญญาณออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือรวมคลื่นพาห์เข้าไปในสัญญาณเบสแบนด์ ซึ่งในระบบวิทยุอื่น ๆ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแผ่กระจายคลื่นตามที่ต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแผ่กระจายโดยปราศจากความถี่ที่ต้องการในการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังส่งให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวกำเนิดความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดวงจรความซับซ้อนของระบบทำให้ต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำตามข้อกำหนด และลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยาก และยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแผ่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Fading) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากด้วยเช่นกันซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง รวมทั้งความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่แคบมากเป็นผลทำให้มีความละเอียดในการแยกสัญญาณแต่ละวิถีได้มาก และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงน้อยกว่าระบบแถบแคบ

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งใช้สัญญาณพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system; GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแผ่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในโรงงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

2.2 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

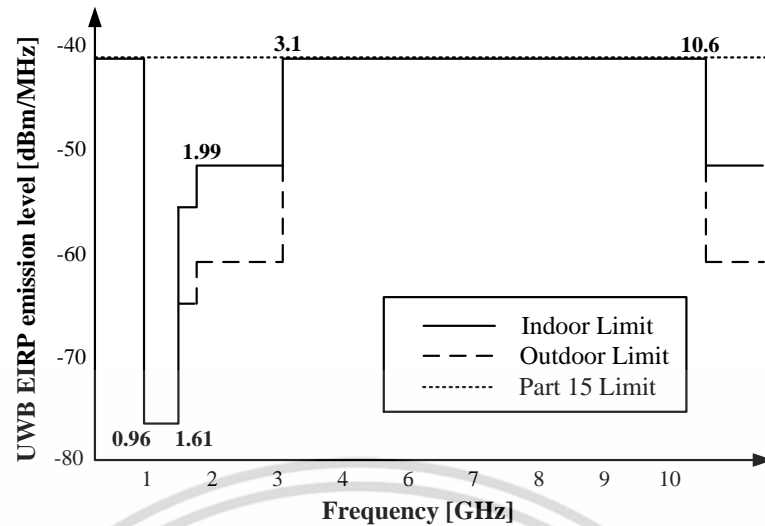
การจัดสรรความถี่ในการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อให้มีการใช้ความถี่อย่างคุ้มค่าปลอดภัยไม่แทรกสอดทับซ้อนการใช้ความถี่ซึ่งกันและกันจึงได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาโดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาพิจารณาข้อตกลงร่วมกับคณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาในส่วนกลุ่มประเทศยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute; ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union; ITU) เช่นเดียวกันกับประเทศญี่ปุ่นมีการกำหนดโดย (Ministry of Internal Affairs and Communication; MIC)

2.2.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry; NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งสำหรับในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแผ่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและการกำหนดขอบเขตการแผ่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการจำกัดค่าแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (B_f) ให้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 ของความถี่กลาง (f_c) เมื่อวัดระดับจากหน้าฉากความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงาน (PSD masks) Part 15 limit ลงมาที่ -10 dB สำหรับข้อจำกัดการสื่อสารภายในอาคาร (Indoor limit) และ -20 dB สำหรับข้อจำกัดการสื่อสารในสภาวะภายนอกอาคาร (Outdoor limit) ตามสมการที่ 2.2 และข้อจำกัดการแผ่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

$$\begin{aligned}
 B_{(0)} &= \frac{BW}{f_c} \\
 &= \frac{f_H - f_L}{(f_H + f_L)/2} \\
 &= 2 \frac{(f_H - f_L)}{f_H + f_L}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุด f_H คือความถี่สูงสุด และ f_c คือความถี่กลางของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานตามข้อกำหนด FCC part 15 limit สำหรับการสื่อสารระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร [1]

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [1]

ความถี่ (MHz)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	PSD (dBm/MHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 960	-41.3	-41.3
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

2.2.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในกลุ่มประเทศยุโรป

ในปัจจุบันนอกจากข้อกำหนดระดับแผ่กระจายกำลังงานที่ได้กำหนดโดย FCC ในระบบแถบกว้างยิ่งยังได้มีข้อกำหนดระดับแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดยสถาบันอื่นอีกนั่นคือที่กำหนดโดย ETSI ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในกลุ่มประเทศที่อยู่ในทวีปยุโรปโดยเริ่มแรกข้อกำหนดระดับแผ่กระจายกำลังงานสำหรับภายในอาคารและภายนอกอาคารมีช่วงแถบความถี่ใช้งานตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz เช่นเดียวกับ FCC แต่ช่วงความถี่อื่นจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นมีความชันลดลงมาตามลึอกความถี่ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [2]

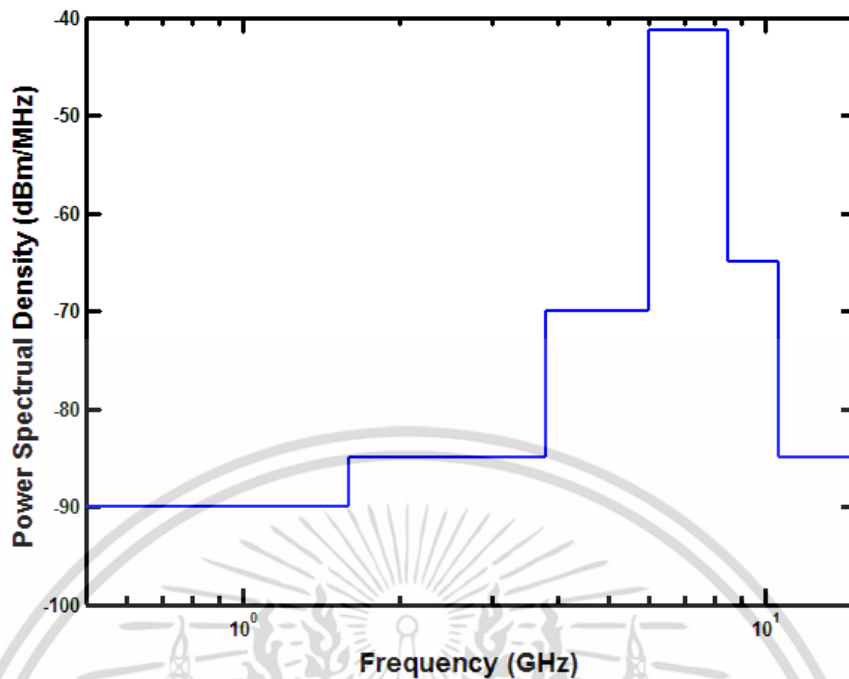
การสื่อสาร	ความถี่ (f) GHz		
	$f < 3.1$ (dBm/MHz)	$3.1 < f < 10.6$ (dBm/MHz)	$f > 10.6$ (dBm/MHz)
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87 \log\left(\frac{f}{3.1}\right)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log\left(\frac{10.6}{f}\right)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87 \log\left(\frac{f}{3.1}\right)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log\left(\frac{10.6}{f}\right)$

ซึ่งปัจจุบัน ETSI ได้ทำการแก้ไขข้อมูลกำหนดระดับการแผ่กระจายกำลังงานขึ้นมาใหม่ให้มีความเข้มงวดที่มากขึ้น โดยที่ข้อกำหนดระดับการแผ่กระจายกำลังงานที่แผ่กระจายออกมาที่ได้แก้ไขมาใหม่กำหนดโดยเปลี่ยนให้ระบบแถบกว้างยิ่งอนุญาติให้ใช้ภายในอาคารเท่านั้น โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานลดลงเป็น 6 GHz ถึง 8.5 GHz ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และระดับการแพร่กระจายกำลังงานที่ได้แก้ไขใหม่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคารที่แก้ไขใหม่ [2]

ช่วงความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-3.8	-85
3.8-6.0	-70
6.0-8.5	-41.3
8.5-10.6	-65
มากกว่า 10.6	-85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานแบบใหม่สำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย ETSI [2]

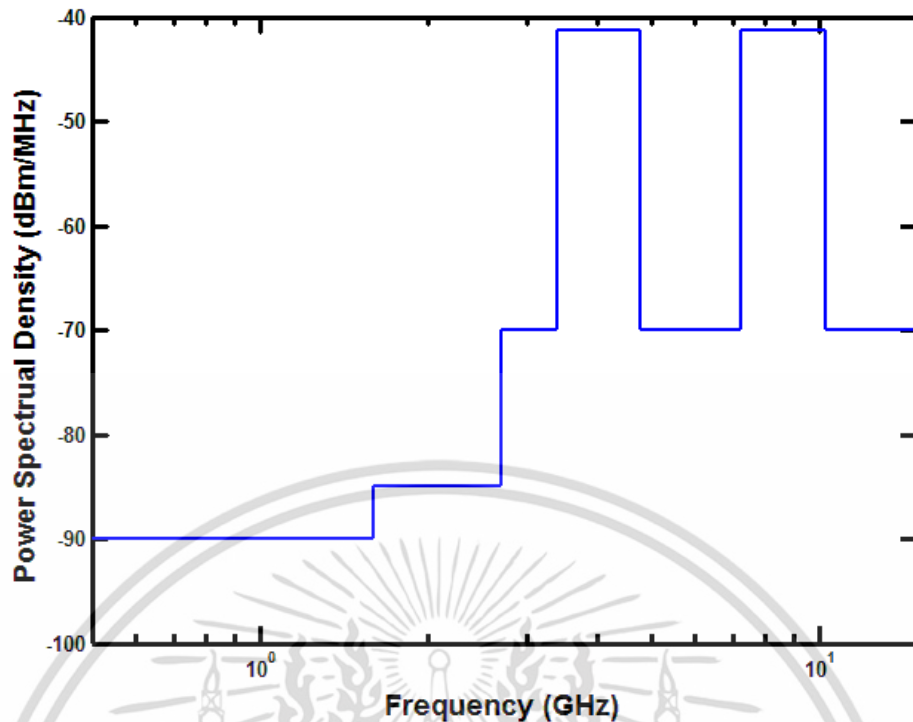
2.2.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศไทย

ในประเทศไทยจะออกข้อกำหนดระดับความหนาแน่นกำลังงานที่แผ่กระจายออกมา เป็นข้อกำหนดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในประเทศไทย โดยเป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารเท่านั้นโดยมีช่วงความถี่ใช้งานสองแถบคือแถบความถี่ต่ำตั้งแต่ 3.4 GHz ถึง 4.8 GHz และแถบความถี่สูงตั้งแต่ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และระดับความหนาแน่นกำลังงานแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย MIC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น [11]

ช่วงความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-2.7	-85
2.7-3.4	-70
3.4-4.8	-41.3
4.8-7.25	-70
7.25-10.25	-41.3
มากกว่า 10.25	-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC [11]

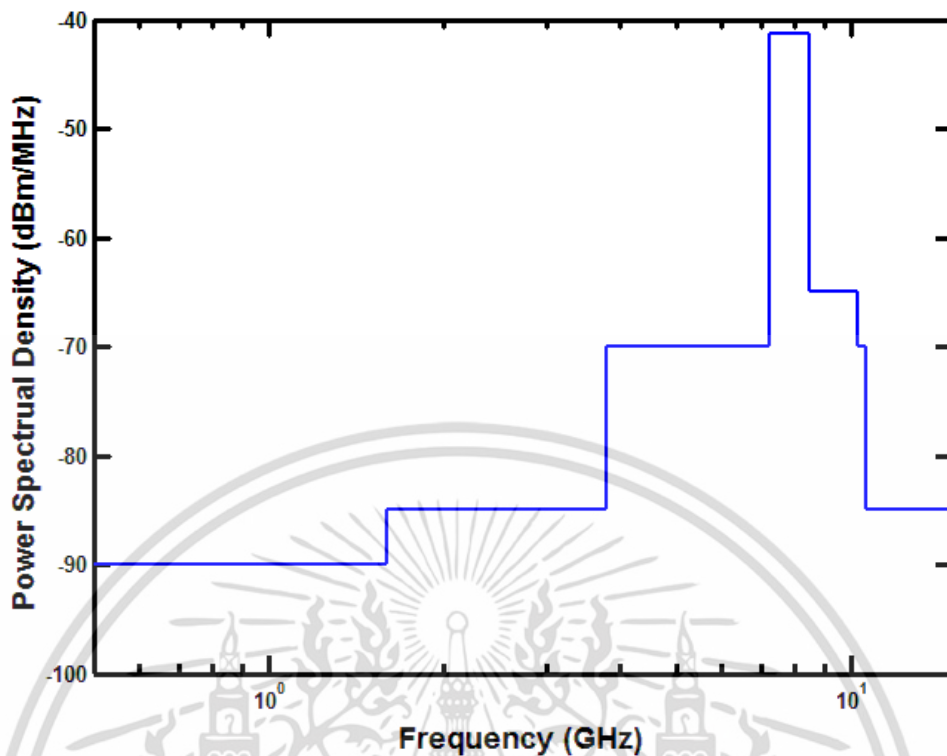
2.2.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ร่วมกัน

ในปัจจุบันได้มีการร่วมมือกันระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่นโดยมีการกำหนดให้ใช้ข้อกำหนดระดับความหนาแน่นกำลังงานที่แผ่กระจายออกมา ร่วมกันโดยยึดให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC ETSI และ MIC ร่วมกัน เป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ ใช้ระบบแถบกว้างยิ่งได้ภายในอาคารเท่านั้นซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานคือตั้งแต่ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz โดยที่ความถี่ต่ำ 7.25 GHz เป็นข้อกำหนดของ MIC และความถี่สูง 8.5 GHz เป็นของข้อกำหนดของ ETSI ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 และกราฟสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 [12]

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น [12]

ช่วงความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-3.8	-85
3.8-7.25	-70
7.25-8.5	-41.3
8.5-10.25	-65
10.25-10.6	-70
มากกว่า 10.6	-85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC [12]

2.3 ทฤษฎีและหลักการสายอากาศ

สายอากาศเป็นสิ่งสำคัญส่วนหนึ่งของระบบแถบกว้างยิ่งทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานกลับไปกลับมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างสายอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งบนร่างกายและมีขนาดเล็ก แต่ก่อนที่จะทำการสร้างสายอากาศสิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความเข้าใจกับทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศก่อน ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึง สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ สายส่งที่นำคลื่นระนาบร่วม และ ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่สำคัญ

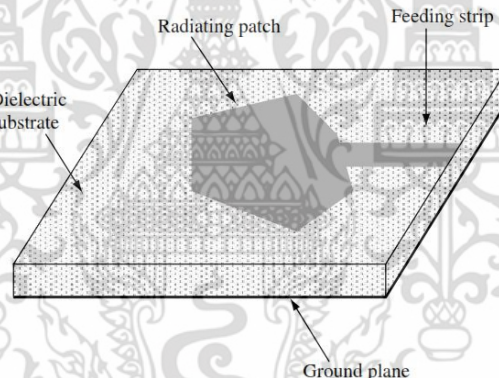
2.3.1 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

สำหรับสายอากาศแบบไมโครสตริป หรือสายอากาศแบบแผ่น (Patch antenna) เป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาจนมีที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีอย่างเช่นมีลักษณะบางเบา ราคาถูก รูปแบบสายอากาศไม่ซับซ้อน แม้ว่าแนวความคิดครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดย G.A. Deschamps ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ.2496 และถูกจดสิทธิบัตรไปตั้งแต่ในปี พ.ศ.2498 สาเหตุที่ในช่วงแรกไม่มีการพัฒนาไปใช้งาน เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำมากและได้เริ่มถูกใช้งานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2515 โดย Munson จากนั้นสองปีต่อมาได้ตีพิมพ์บทความเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศไมโครสตริป Wraparound และ แผ่นสี่เหลี่ยม จากนั้นก็ได้มีการพัฒนารูปแบบลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศเพื่อประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

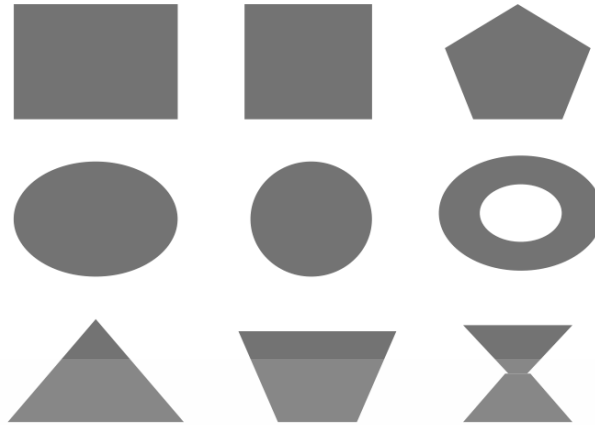
รูปแบบทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วยแผ่นตัวนำที่บางมากวางอยู่บนวัสดุฐานรอง (Substrate) ส่วนอีกด้านของวัสดุฐานรองจะเป็นระนาบสร้างเงา (Ground plane) ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแสดงดังรูปที่ 2.7 ปัจจุบันสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในย่านความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ น้ำหนักเบา ใช้พื้นที่น้อยและมีลักษณะแบนราบ ซึ่งเหมาะกับการติดตั้งที่แบนราบไปกับพื้นผิว สามารถใช้ร่วมกับกับ Microwave Integrated Circuit (MICs)

สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุฐานรองในสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่หลายชนิดในแต่ละชนิดนั้นมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (ϵ_r) โดยปกติมันจะอยู่ในช่วง $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ ในส่วนของความหนาของวัสดุฐานรองนั้นมีผลต่อการออกแบบสายอากาศเช่นกันโดยที่จะมีผลกับการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นการแผ่พลังงานของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นจะกระทบกับความหนาต่อความยาวคลื่นในอวกาศว่างมีค่าประมาณ 0.05 การแผ่พลังงานจะลดลง สำหรับวัสดุฐานรองที่บางและมีสภาพยอมสัมพัทธ์สูงนั้น ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ร่วมกับวงจรความถี่สูง หรือวงจรไมโครเวฟ เนื่องจากต้องการให้ฟริงกิง (Fringing) ของสนามแคบเพื่อทำให้เกิดการคับปลิง (Coupling) การแผ่กระจายคลื่นน้อยที่สุด และยังทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงอีกด้วยดังนั้นสายอากาศไมโครสตริปและวงจรไมโครเวฟจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป [13]

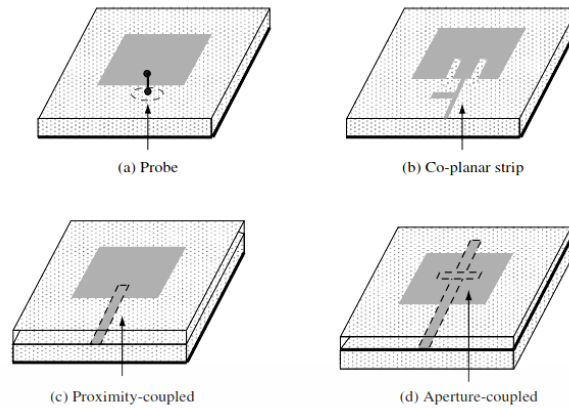
แผ่นตัวนำ (Patch) ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่พลังงานมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะแบนบางและมีค่าความต้านทานต่ำ ทนต่อสภาวะแวดล้อมและปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ดี สามารถยึดติดกับผิวของชั้นวัสดุฐานรองได้ดีโดยทั่วไปทำมาจากทองแดง ทองคำ หรืออลูมิเนียม โดยที่แผ่นตัวนำอาจมีรูปร่างต่าง ๆ เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม วงรี เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแบบแผ่นของสายอากาศไมโครสตริปรูปแบบต่าง ๆ [13]

2.3.2 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถป้อนได้หลายวิธี แต่มี 4 วิธีที่ใช้โดยทั่วไปซึ่งดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ได้แก่การป้อนสัญญาณเข้าไปยังสายอากาศโดยใช้สายส่งไมโครสตริป (Microstrip line feed) เป็นการป้อนสัญญาณที่สามารถสร้างและวิเคราะห์ได้ง่ายโดยการป้อนสัญญาณเข้าไปที่ขอบของแผ่นไมโครสตริปสายส่งที่ใช้ป้อนสัญญาณทำจากแผ่นตัวนำเดียวกับแผ่นไมโครสตริปสายส่งไมโครสตริปจะมีความกว้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นไมโครสตริป การป้อนสัญญาณแบบนี้จะทำให้การสร้างและการแมตช์อิมพีแดนซ์ได้ง่ายโดยการควบคุมการวางตำแหน่งของการป้อนสัญญาณ การป้อนสัญญาณแบบนี้สามารถสร้างพร้อมกับแผ่นไมโครสตริปจึงทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก วิธีต่อมาคือการป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งแกนร่วมส่ง (Coaxial feed) เป็นการป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial) หรือหัวต่อ (Connector) สอดทะลุจากด้านหลังมายังแผ่นไมโครสตริป หรือบางครั้งเรียกว่าการป้อนสัญญาณแบบนี้ว่า การป้อนสัญญาณผ่านโพรบ (Probe feed) ในส่วนวิธีที่ 3 นั้นคือเป็นวิธีการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อผ่านช่องเปิด (Aperture coupling feed) เป็นการป้อนสัญญาณที่ไม่ต้องสัมผัสกับแผ่นไมโครสตริปโดยใช้ช่องเปิดเป็นตัวเชื่อมต่อ ซึ่งมีแผ่นไมโครสตริปอยู่ด้านบนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกและมีระนาบสร้างเงาอยู่ที่ด้านล่าง และที่ระนาบสร้างเงานี้จะมีช่องเปิด (Slot) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ด้วย ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นไมโครสตริปกับสายส่งไมโครสตริป ช่องเปิดดังกล่าวนี้จะวางตัวอยู่กึ่งกลางของแผ่นไมโครสตริป ส่วนสายส่งไมโครสตริปจะอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองอีกอันหนึ่งซึ่งจะไม่มีระนาบสร้างเงา ส่วนขนาดของช่องเปิดนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าแผ่นไมโครสตริปเพื่อไม่ให้ช่องเปิดเลื่อนไปเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ที่ต้องการ และวิธีสุดท้ายคือการป้อนสัญญาณโดยใช้วิธีการการเชื่อมต่อใกล้แผ่นไมโครสตริป (Proximity coupling feed) เป็นการป้อนสัญญาณเข้าสายอากาศโดยใช้สายส่งไมโครสตริปประหวางวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกทั้งสองตัว โดยวัสดุฐานรองส่วนด้านบนจะมีแผ่นไมโครสตริปติดอยู่ และมีระนาบสร้างเงาอยู่ที่ด้านล่าง การป้อนสัญญาณแบบนี้มีข้อดีที่ทำให้ความกว้างของแถบความถี่มากขึ้น ซึ่งการป้อนสัญญาณแบบนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะมีความกว้างของแถบความถี่สูงถึงประมาณร้อยละ 13

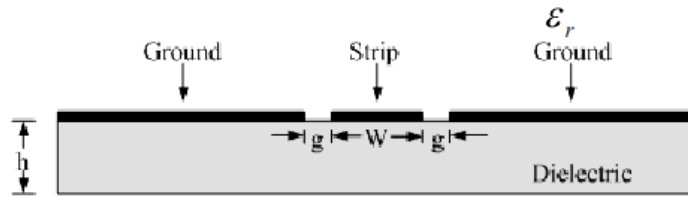


รูปที่ 2.9 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปในรูปแบบต่าง ๆ [13]

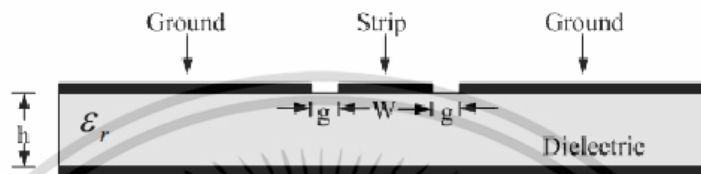
2.3.3 สายส่งสัญญาณท่อนำคลื่นระนาบร่วม

สายส่งสัญญาณท่อนำคลื่นระนาบร่วม (Coplanar waveguide; CPW) เป็นหนึ่งในสายส่งสัญญาณที่ถูกใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการออกแบบและการสร้าง และมีข้อได้เปรียบกว่าสายส่งไมโครสตริปเนื่องจากผลการวิจัยที่ผ่านมา [14] สายส่งไมโครสตริปเป็นโครงสร้างที่เป็นระนาบดินอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองจึงประสบปัญหาทางด้านของ การผิดเพี้ยนของสัญญาณสูง และการสูญเสียสูงเพื่อลดปัญหาข้างต้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศโดยมีโครงสร้างระนาบร่วมที่มีระนาบดินอยู่ด้านบนของวัสดุฐานรอง

โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมแบ่งได้ 2 ชนิดได้แก่ โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่างและชนิดที่มีระนาบดินด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง ซึ่งประกอบไปด้วยสายส่งสัญญาณอยู่ตรงกลางด้านบนของฐานรอง (Substrate) โดยมีความกว้างของสายส่งสัญญาณ คือ W ด้านข้างทั้งสองด้านของสายส่งสัญญาณมีลักษณะเป็นร่อง (slot) และระนาบดินตามลำดับมีความกว้างระหว่างสายส่งสัญญาณถึงระนาบดินคือ g และมีความสูงของฐานรองไดอิเล็กตริกคือ h ส่วนสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดมีระนาบดินด้านล่างแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งต่างกับชนิดแรกตรงที่จะมีระนาบดินทางด้านล่างของฐานรองไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นมาลักษณะการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าบนสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมจะเป็นแบบ Quasi-TEM ข้อดีของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมคือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุได้ง่าย เนื่องจากไม่ต้องการเจาะรูผ่านฐานรองไดอิเล็กตริกเพื่อเชื่อมต่อระนาบดินให้กับอุปกรณ์เหล่านั้น สามารถนำมาต่อรวมในวงจรเดียวกันกับไมโครสตริปได้ง่าย การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ (Dispersion) และค่าความสูญเสีย (Losses) ต่ำกว่าการใช้ไมโครสตริปจากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นทำให้โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม เหมาะกับการทำเป็นวงจรรวมไมโครเวฟ



รูปที่ 2.10 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่าง [14]

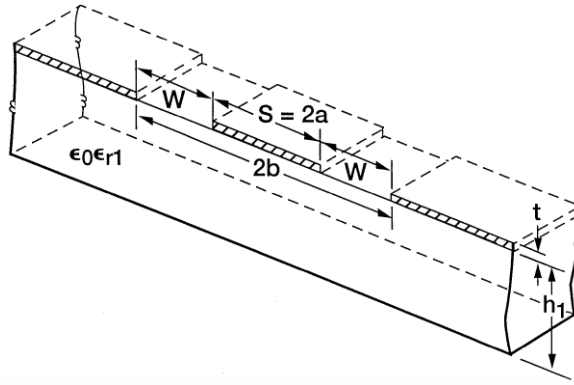


รูปที่ 2.11 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดมีระนาบดินด้านล่าง [14]

ในการวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่างจะใช้การวิเคราะห์แบบ Quasi-static ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการส่งคงรูป (Conformal mapping) โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าความนำทางไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำที่กระจายอยู่บนสายส่งสัญญาณซึ่งการวิเคราะห์แบบนั้นสามารถหาค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมได้

2.3.4 การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (Effective dielectric constant; ϵ_{eff}) และค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic impedance; Z_0) จากค่าความจุไฟฟ้าโดยรวมต่อหน่วยความยาวของสายนำสัญญาณจากผลรวมของค่าความจุไฟฟ้าของครึ่งระนาบด้านบนของชั้นไดอิเล็กตริกโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการส่งคงรูปซึ่งจะอยู่ในเทอมอัตราส่วนของการอินทิกรัลวงรีแบบสมบูรณ์ขั้นแรก (Complete elliptic integral of the first kind) ซึ่งสามารถหาได้ใน [15] สำหรับในบทความวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่างและมีค่าความหนาของวัสดุฐานรองโดยโครงสร้างที่นำมาพิจารณาแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่ใช้ในการวิเคราะห์ [14]

จากรูปที่ 2.12 เป็นโครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่มีค่าความหนาของวัสดุฐานรอง ในกรณีนี้สามารถกำหนดให้ $\epsilon_{r,2} = 1$ และ $h_3 = h_4 = \infty$ จากสมการที่ 2.3 ค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุฐานรองของชั้นไดอิเล็กตริก C_1 จะได้ว่า

$$C_1 = 2\epsilon_0(\epsilon_{r1} - 1) \frac{K(k_1)}{K(k_1')}, \quad (2.3)$$

โดยที่

$$k_1 = \frac{\sinh(\pi S / 4h_1)}{\sinh\{\pi(S + 2W) / 4h_1\}}, \quad (2.4)$$

$$k_1' = \sqrt{1 - k_1^2}. \quad (2.5)$$

ในเมื่อ $\epsilon_{r,2} = 1$ ค่าความจุไฟฟ้าในตัวกลางที่ 2 จะได้ว่า $C_2 = 0$

ในส่วนของ $h_3 = h_4 = \infty$ จะได้ว่า $k_3 = k_4 = k_0 = \frac{S}{S + 2W}$ และ

$$C_{\text{air}} = 4\epsilon_0 \frac{K(k_0)}{K(k_0')}. \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.3 จะได้ว่า

$$C_{\text{CPW}} = 2\epsilon_0(\epsilon_{r1} - 1) \frac{K(k_1)}{K(k_1')} + 4\epsilon_0 \frac{K(k_0)}{K(k_0')} \quad (2.7)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลคือ

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{C_{\text{CPW}}}{C_{\text{air}}} = 1 + \frac{(\epsilon_{r1} - 1)}{2} \frac{K(k_1)}{K(k_1')} \frac{K(k_0')}{K(k_0)}. \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณจาก $Z_0 = \frac{1}{cC_{\text{air}}\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}$,

จะได้

$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \frac{K(k_0')}{K(k_0)} \quad (2.9)$$

โดยที่ $K(k_0)$ และ $K(k_0')$ เป็นการอินทิกรัลวงรีแบบสมบูรณ์ชั้นแรกโดยหาได้จาก incomplete form

$$\text{คือ } K(k) = \int_0^\phi \frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \theta}}, \quad \begin{cases} 0 \leq k^2 < 1 \\ 0 \leq \phi < \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad \text{จากนั้นก็จะได้การอินทิกรัลวงรีแบบสมบูรณ์ชั้นแรก}$$

$$K(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \theta}} = \int_0^1 \frac{dt}{(1-t^2)\sqrt{1-k^2 t^2}} \quad (2.10)$$

$$\lim_{k \rightarrow 0^+} K(k) = \frac{\pi}{2}; \quad \lim_{k \rightarrow 1^-} K(k) = +\infty$$

เมื่อ k คือ modulus of elliptical integral, $0 < k < 1$

ในกรณี complementary modulus; $k', 0 < k' < 1$

$$K(k') = K\sqrt{1-k^2} \quad (2.11)$$

$$\lim_{k \rightarrow 0^+} K(k') = +\infty; \quad \lim_{k \rightarrow 1^-} K(k') = \frac{\pi}{2}$$

และอัตราส่วนของ $K(k)$ และ $K(k')$ สามารถหาค่าโดยประมาณคือ

$$\frac{K(k)}{K(k')} = \frac{\pi}{\ln[2(1+\sqrt{k'})/(1-\sqrt{k'})]} \quad \text{เมื่อ } 0 \leq k \leq 0.707 \quad (2.12)$$

$$\frac{K(k)}{K(k')} = \frac{1}{\pi} \ln[2(1+\sqrt{k})/(1-\sqrt{k})] \quad \text{เมื่อ } 0.707 \leq k \leq 1 \quad (2.13)$$

2.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$

ค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นค่าที่บอกถึงการสูญเสียที่จะเกิดขึ้นเมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณกับสายอากาศมีค่าไม่เท่ากันจึงทำให้การส่งกำลังไปยังสายอากาศไม่สามารถส่งได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้มีกำลังบางส่วนสะท้อนกลับเข้าไปในสายส่งแต่หากสายอากาศและสายส่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน นั่นก็แสดงว่าไม่มีกำลังสะท้อนกลับเข้าสายส่ง ค่าความสูญเสียย้อนกลับหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า $|S_{11}|$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโดยปกติจะบอกเป็นหน่วยเดซิเบล (dB) [16] และจะต้องมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งค่านี้เมื่อแปลงเป็นค่า VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) จะมีค่าประมาณ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในระบบการสื่อสารระยะสั้น โดยค่า VSWR เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไปยังสายอากาศ ยิ่งมีค่าน้อย ๆ ใกล้เคียงกับ 1 ยิ่งดีถ้ามากขึ้นแสดงว่ามีอัตราการสูญเสียที่สูง ค่าความสูญเสียย้อนกลับและค่า VSWR มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ 2.14 และสมการที่ 2.15

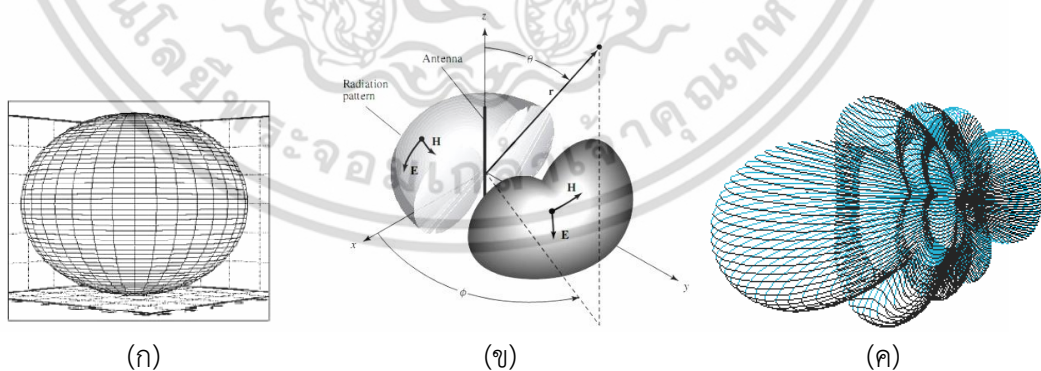
$$RL = -20\log(S_{11}) \quad (2.14)$$

และ

$$VSWR = \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (2.15)$$

2.3.6 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

สำหรับแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นมีความสำคัญเช่นกันโดยจะอาศัยคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ตามพิกัดตำแหน่งในการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นสามารถแสดงได้ทั้งแบบสองมิติและสามมิติซึ่งโดยปกติแล้วนิยมใช้สองมิติแต่บางครั้งแบบสามมิติยังใช้ดูภาพรวมการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศได้อีกด้วยสำหรับการแสดงผลของสายอากาศที่มีโพลาริซเซชันเส้นสามารถที่จะอธิบายในพื้นฐานของรูปแบบระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ซึ่งเป็นระนาบของสนามไฟฟ้า และระนาบแม่เหล็กไฟฟ้า (H-plane) โดยปกติแล้วแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นมีอยู่ 3 แบบด้วยกันดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ได้แก่ การแผ่กระจายคลื่นแบบไอโซโทรปิกจะมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบทรงกลมหมายความว่าจุดบริเวณที่มีรัศมีจากจุดศูนย์กลางเท่ากันจะมีกำลังของสัญญาณเท่ากันทุกจุดโดยการแผ่กระจายคลื่นแบบไอโซโทรปิกนั้นเป็นการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไอโซโทรปิกซึ่งเป็นสายอากาศในทางทฤษฎี



รูปที่ 2.13 แบบรูปการแผ่กระจายของคลื่น (ก) การแผ่กระจายคลื่นแบบไอโซโทรปิก (ข) การแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางระนาบเดียว (ค) การแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้วัดเทียบประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศต่าง ๆ ส่วนการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางระนาบเดียวนั้นเป็นลักษณะของการแผ่กระจายคลื่นที่มีกำลังสูงสุดที่เท่ากันแคระนาบเดียวและการแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทางซึ่งเป็นการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางเดียวจะคล้ายกับการส่องของไฟฉายและจะมีกำลังสูงสุดในทิศทางเดียวเช่นกัน การพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมี 3 ระยะนั้นคือ บริเวณสนามใกล้ชนิดรีแอกทีฟ (Reactive near field) บริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้ (Radiating near field region) และบริเวณแผ่พลังงานสนามไกล (Radiating far field region) โดยแต่ละบริเวณนั้นสามารถที่จะพิจารณาจากระยะห่างจากสายอากาศออกไปโดยรอบ ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศใน 3 บริเวณ [13]

ขนาดสายอากาศ (D)	$D \ll \lambda$	$D \approx \lambda$	$D \gg \lambda$
บริเวณสนามใกล้ชนิดรีแอกทีฟ	$r < \frac{\lambda}{2\pi}$	$r < \frac{\lambda}{2\pi}$	$r < \frac{\lambda}{2\pi}$
บริเวณแผ่พลังงานสนามใกล้	$\frac{\lambda}{2\pi} < r < 3\lambda$	$\frac{\lambda}{2\pi} < r < 3\lambda$ และ $\frac{2D^2}{\lambda}$	$\frac{\lambda}{2\pi} < r < \frac{2D^2}{\lambda}$
บริเวณแผ่พลังงานสนามไกล	$r < 3\lambda$	$r < 3\lambda$ และ $\frac{2D^2}{\lambda}$	$r > \frac{2D^2}{\lambda}$

2.3.7 อัตราการขยายของสายอากาศ และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

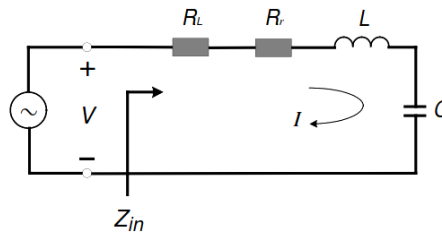
อัตราการขยายของสายอากาศ (G) พิจารณาจากสายอากาศแบบมีทิศทาง จากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (D) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่พิจารณาต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในอุดมคติซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางแสดงดังแต่ถ้าเป็นสายอากาศที่มีการแผ่กระจายแบบอื่นให้นำความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่มีค่าสูงสุดของสายอากาศนั้น และจะได้ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (D_0) ดังสมการที่ 2.16

$$D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.16)$$

ในส่วนของอัตราการขยายของสายอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสภาพเจาะจงทิศทางและประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน (e_{rad}) ของสายอากาศซึ่งค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานหาได้จากวงจรสมมูลของสายอากาศดังแสดงดังรูปที่ 2.14 เนื่องจากค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกำลังงานความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไปกับกำลังงานความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไปและกำลังงานความต้านทานที่ไหลจะได้สมการที่ 2.17 โดย R_r คือความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไปและ R_L คือความต้านทานที่ไหล

$$e_{\text{rad}} = \frac{\frac{1}{2}|I|^2 R_r}{\frac{1}{2}|I|^2 R_r + \frac{1}{2}|I|^2 R_L} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลของสายอากาศ

อัตราการขยายของสายอากาศที่มีความสัมพันธ์กับค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดและประสิทธิภาพการแผ่พลังงานแสดงดังสมการที่ 2.18

$$G = e_{rad} D_0 \quad (2.18)$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายบทความได้เสนอแนวคิดเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการสร้างสายอากาศที่เหมาะสมในการเอาไปใช้งานให้ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ต้องการ และตรวจสอบการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุแถบความถี่กว้างสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์รวมทั้งร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อสายอากาศดังนี้

ได้มีการรวบรวมผลกระทบและรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนดรอบของระบบแถบกว้างยั้งที่ใช้งานทั่วโลก โดยบทความนี้ได้เสนอโดย Walter Hirt และ Martin Weisenhorn [12] เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ใช้กำลังงานต่ำมาก และได้รับการยกเว้นใบอนุญาต ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าข้อกำหนดระดับความหนาแน่นกำลังงานที่แผ่กระจายออกมารวมกันโดยยึดให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC ETSI และ MIC ร่วมกัน เป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแถบกว้างยั้งได้ภายในอาคารเท่านั้นซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานคือตั้งแต่ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz ดังแสดงในตารางที่ 2.7 โดยมีแบนด์วิดท์ 1.25 GHz และเป็นช่วงความถี่ที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

ตารางที่ 2.7 ข้อกำหนดในระดับการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC

SPECTRUM RANGE FOR SIMPLE SINGLE-MODE UWB RADIO DEVICES
CAPABLE OF BEING OPERATED GLOBALLY[†] BEYOND 2008 AND WITHOUT
REQUIREMENT FOR SPECIFIC INTERFERENCE MITIGATION TECHNIQUES

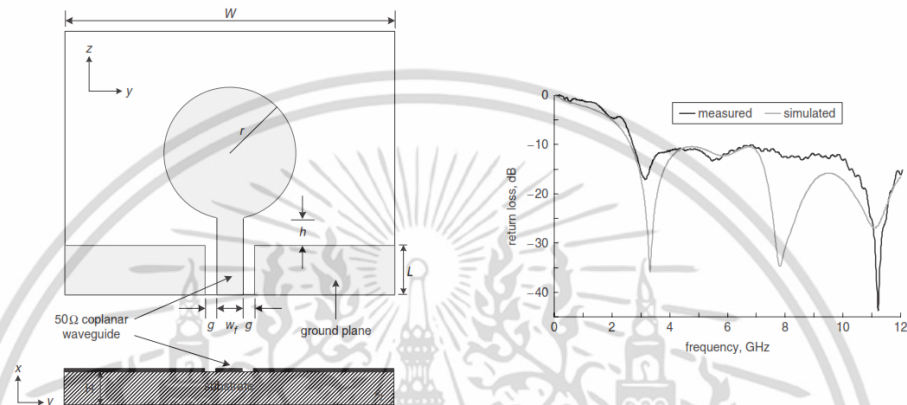
[†] USA, EUROPE & JAPAN (BASED IN PART ON DRAFT INFORMATION)

Frequency Range*	Maximum Mean EIRP Density	Maximum Peak EIRP Density
7.25 – 8.5 GHz	-41.3 dBm/MHz	0 dBm/50 MHz

* The lower limit (7.25 GHz) is given by Japan's proposal [8]; the upper limit (8.5 GHz) by Europe's ECC decision [7].

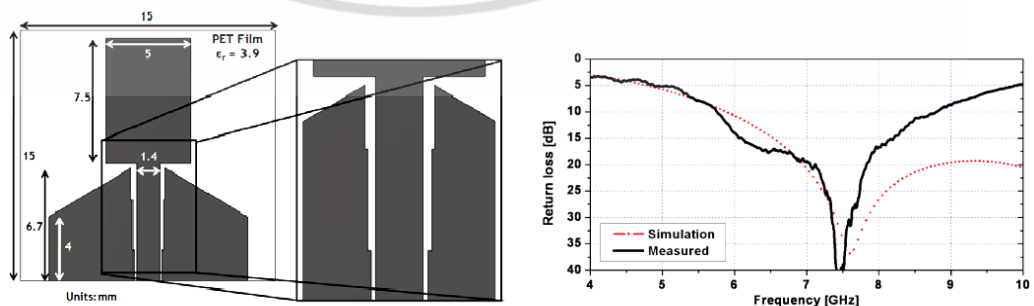
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ J. Liang และคณะ ได้มีการนำเสนอการศึกษาสายอากาศแบบโมโนโพลรูปแบบวงกลมป้อนโดยท่อนำคลื่นระนาบร่วม [17] สำหรับใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยสายอากาศมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 47 มิลลิเมตร มีความหนา 1.6 มิลลิเมตร ขนาดรัศมีของวงกลม 12.5 มิลลิเมตร และมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 3 และได้กำหนดให้ความกว้างของจุดป้อนมีขนาด 4 มิลลิเมตร และร่องจุดป้อนกับกราวด์กว้างเท่ากับ 0.33 มิลลิเมตร เพื่อให้ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ในส่วนของการแผ่กระจายของคลื่นของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมนั้นมีลักษณะคล้ายรอบทิศทาง ส่วนโครงสร้างของสายอากาศและค่าการสูญเสียย้อนกลับของบทความนี้แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมและค่าการสูญเสียย้อนกลับ

อีกบทความหนึ่งเป็นการเสนอบทความโดย Ki-Joon Kim Jaesik Kim และ Chul-Min Shin จากประเทศเกาหลี ในหัวข้อ Flexible antenna for UWB high-band in sensor network [18] เป็นการออกแบบสายอากาศให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้เป็นโครงข่ายเซ็นเซอร์สำหรับแถบความถี่สูง (7.2 GHz ถึง 10.2 GHz) โดยมีข้อจำกัดการปล่อยระดับกำลังงาน มีข้อดีกว่าแถบความถี่ต่ำ (3.1 GHz ถึง 4.8 GHz) สายอากาศถูกสร้างบนแผ่นฟิล์มชนิด PET หนา 0.5 มม. มีความหนาของทองแดง 0.05 มิลลิเมตร มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 3.9 และช่วงความถี่ของการใช้งานตั้งแต่ 5.8 GHz ถึง 8.8 GHz มีแบนด์วิดท์ 3 GHz มีอัตราขยาย 0.7 dBi ที่ความถี่ 7.5 GHz โดยโครงสร้างของสายอากาศและค่าการสูญเสียย้อนกลับแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่สูงและค่าการสูญเสียย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความเรื่องความก้าวหน้าในปัจจุบันของการศึกษาการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุแถบความถี่กว้าง สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Recent Progress of Ultra Wideband Radio Propagation Studies for Body Area Network) [19] ได้เสนอโดย Takehiko Kobayashi บทความนี้เสนอความก้าวหน้าการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุแถบความถี่กว้าง (Ultra wideband : UWB) ในการวัดคลื่นวิทยุ และการสร้างแบบจำลอง สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ภายใต้โครงการวิจัยระหว่าง มหาวิทยาลัย โตเกียว เดนกิ และ สถาบันเทคโนโลยีการสื่อสาร สาธารณชนแห่งชาติประเทศญี่ปุ่น โดยการวัด และการสร้างแบบจำลองได้ดำเนินการทั้งในห้องที่ไร้การสะท้อนคลื่นวิทยุ หรือภายในอาคาร อย่างไรก็ตามการศึกษา การแผ่กระจายของคลื่นวิทยุยังไม่ได้ศึกษาในสภาพแวดล้อมโดยรอบ คลื่นหลายวิถี (หมายถึง คลื่นสะท้อนจากพื้น เพดาน และผนัง) ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก การวัดการแผ่กระจายของคลื่น (รวมถึงส่วนล่างของลำตัว) ได้ดำเนินการในสามสถานะแวดล้อม ประกอบด้วย ห้องที่ไร้การสะท้อนคลื่นวิทยุ ห้องเรียน และห้องขนาดเล็ก การสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายคลื่นต่อเนื่อง (6.85 GHz) UWB แถบความถี่ต่ำที่ (3.4 GHz ถึง 4.8 GHz) และ UWB แถบความถี่สูง (7.25 GHz ถึง 10.25 GHz) ได้นำมาประเมินผลเปรียบเทียบกับ UWB เต็มช่วงแถบความถี่ (3.1 GHz ถึง 10.6 GHz) พารามิเตอร์ในรูปแบบการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายคลื่นเดิมนั้นได้มาจากข้อมูลการวัด ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และขึ้นอยู่กับ ขนาดห้อง และส่วนของร่างกาย การพิจารณาปรับแต่งรูปแบบผลกระทบจากขนาดห้องที่ได้นำเสนอสำหรับในแต่ละส่วนของร่างกาย กลไกการแผ่กระจายที่ต่างกัน ได้อธิบายที่มาพร้อมกับพารามิเตอร์ และการแผ่ประวิงอีกด้วย

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งจะประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งรวมถึงข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในกลุ่มประเทศต่าง ๆ ได้แก่ คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) กลุ่มประเทศในยุโรป (The European Telecommunications Standards Institute; ETSI) และประเทศญี่ปุ่น (Ministry of Internal Affairs and Communication; MIC) ในส่วนถัดมาจะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการสายอากาศไมโครสตริป และค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมในวิทยานิพนธ์นี้ส่วนสุดท้ายเป็นการแสดงตัวอย่างบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3

การวิเคราะห์การส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคารตามข้อกำหนดแถบความถี่รวมเพื่อนำมาประเมินหาผลกระทบของร่างกายต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านโดยนำทฤษฎีและหลักการการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส (Friis' transmission formula) มาพิจารณาเป็นหลักรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง อย่างเช่น ผลการกระจายทางเวลา ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ และ เวลาการมาถึงของสัญญาณซึ่งหลักการและทฤษฎีพื้นฐานทั้งหมดนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาและประเมินช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง

การสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารไร้สายที่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบในปัจจุบันต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างไปจากเดิม ระดับของกำลังงาน แม้กระทั่งเวลาประวิงที่เกิดขึ้นซึ่งค่าเหล่านี้มีความสำคัญที่ต้องนำมาวิเคราะห์ช่องสัญญาณของระบบการสื่อสาร โดยที่เมื่อระบบทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือช่องสัญญาณจะส่งผลกระทบดังที่กล่าวไว้จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดนั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองวัดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังนี้

3.2 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับระบบการส่งผ่าน สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Extension of Friis' transmission formula) [20]

ในระบบสื่อสารไร้สายสัญญาณที่ต้องการจะส่งจะถูกป้อนไปยังสายอากาศเพื่อที่จะแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กเมื่อคลื่นสัญญาณผ่านอากาศมาถึงภาครับสายอากาศก็จะทำหน้าที่แปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกด้วยในที่นี้การส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้นมักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) ซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกกันโดยทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission equation) [21] ได้แสดงตามสมการที่ 3.1 สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสนี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางและสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา (Line of sight) อีกด้วย

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_r(f)G_f(f) \quad (3.1)$$

โดย

- $G_{\text{Friis}}(f)$ คือ อัตราการขยายของฟรีส
- $P_r(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านรับในรูปของกำลังงาน
- $P_t(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านส่งในรูปของกำลังงาน
- $G_f(f)$ คือ อัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่างแสดงดังสมการที่ 3.2
- $G_r(f)$ คือ อัตราการขยายของสัญญาณด้านรับ ในหน่วยเดซิเบล
- $G_t(f)$ คือ อัตราการขยายของสัญญาณด้านส่ง ในหน่วยของเดซิเบล

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = \left(\frac{c}{4\pi d f} \right)^2 \quad (3.2)$$

โดยที่ $G_f(f)$ คืออัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่างหรือทิศทางที่มองเห็น (Line of sight : LOS) หรือสามารถคำนวณหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของอวกาศว่างได้เป็นสมการที่ 3.3 เป็นการเขียนในรูปแบบของฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณ

$$H_{\text{Friis}}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (3.3)$$

โดยที่

- H_f คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่าง
- H_r คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศด้านรับ
- H_t คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศด้านส่ง
- V_r คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับ
- V_t คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านส่ง
- f คือ ความถี่
- d คือ ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก (Isotropic)

$$H_{\text{Friis, Iso}}(f) = H_f H_i \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณหาฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างได้จากสมการที่ 3.5

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi df} \exp(-jkd) \quad (3.5)$$

โดยที่ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

3.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

สัญญาณที่ใช้ส่งรูปคลื่นสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา และค่าความหนาแน่นกำลังงานแสดงดังนิยามตามสมการที่ 3.10

$$v_t(t) = \frac{A}{f_B} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (3.6)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_B} & \|f - f_c\| \leq \frac{f_B}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_B}{2} \end{cases} \quad (3.7)$$

โดยที่

A	คือแอมพลิจูดสูงสุด
f	คือ ค่าความถี่ (Frequency)
f_c	คือ ความถี่กลาง (Center frequency)
f_B	คือ แบนด์วิดท์ (Bandwidth)
$f_L = (f_c - f_B)/2$	คือ ค่าความถี่ต่ำสุด (Minimum frequency)
$f_H = (f_c + f_B)/2$	คือ ค่าความถี่สูงสุด (Maximum frequency)

เมื่อทราบฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณและสัญญาณที่ใช้ส่ง สัญญาณด้านรับสามารถเขียนได้เป็น

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) V_t(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (3.8)$$

และในกรณีที่ใช้งานสายอากาศไอโซโทรปิกทั้งภาคส่งและภาครับ

$$v_{r\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_f(f) V_t(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การตรวจสอบหาความผิดพลาดของรูปสัญญาณที่รับได้โดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงดังนิยามตามสมการที่ 3.18 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ตัวเองของผลคูณระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้แสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.14 และสมการที่ 3.15 ตามลำดับ

$$C_c = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\sqrt{\max |r_a(\tau)| \max |r_b(\tau)|}} \quad (3.10)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้ามคือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau) v_r(t+\tau) dt \quad (3.11)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau) v_t(t+\tau) dt \quad (3.12)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau) v_r(t+\tau) dt \quad (3.13)$$

โดยที่

$v_t(\tau)$ คือ สัญญาณส่ง

$v_r(\tau)$ คือ สัญญาณที่รับได้

3.5 สรุป

ในการวิเคราะห์การส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับระบบการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ในส่วนของค่าความผิดพลาดของสัญญาณในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

บทที่ 4

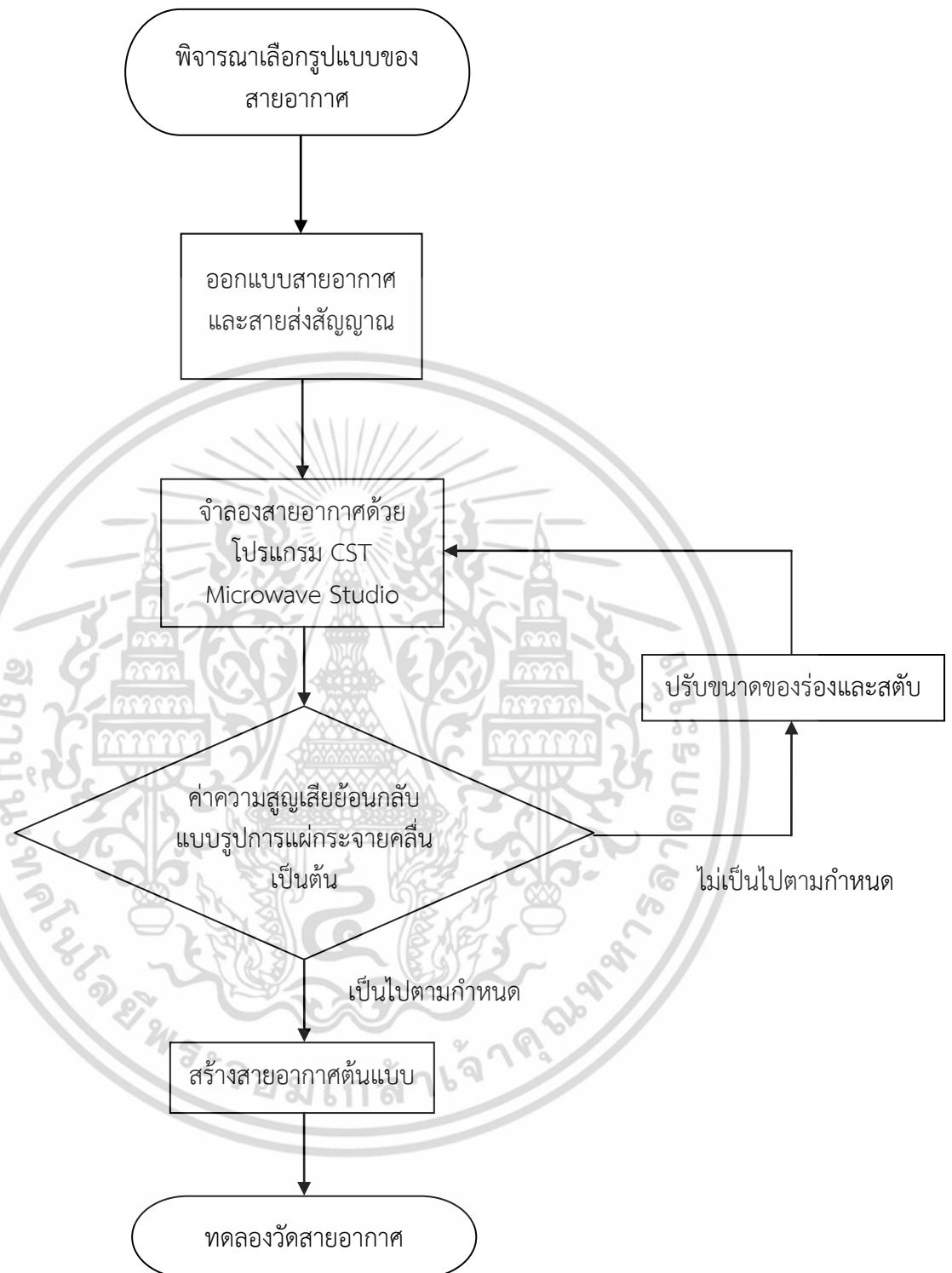
การออกแบบสายอากาศแถบกว้างยิ่งและการจำลองวัด

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในย่านความถี่สูงตามข้อกำหนดของ MIC และในย่านความถี่ร่วมที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC และทำการทดลองวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยการทดลองวัดได้ทำการทดลองวัดภายในห้องไร้การสะท้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการออกแบบสายอากาศที่ความเหมาะสมสำหรับติดตั้งบนร่างกายมนุษย์ และทำการทดลองวัดเพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารตามข้อกำหนดของความถี่ร่วม

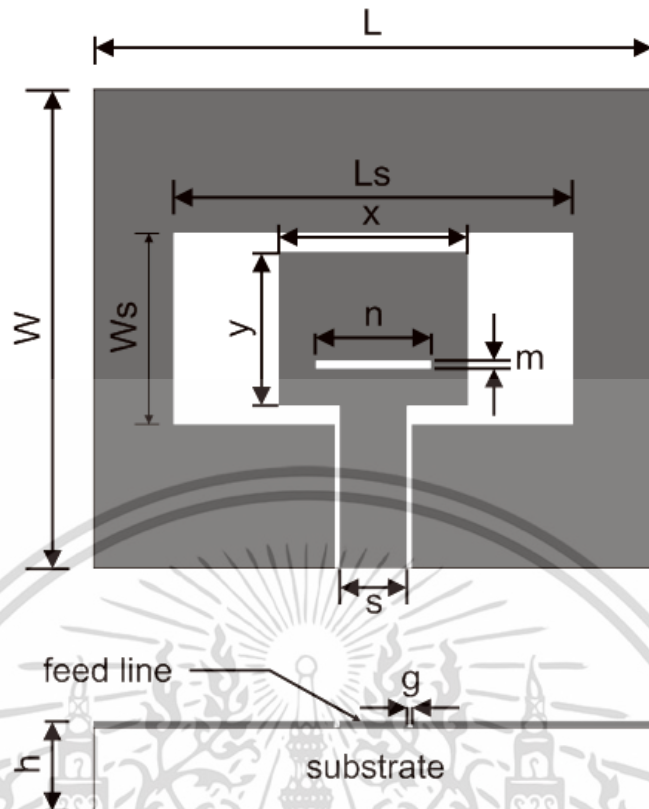
4.2 การออกแบบสายอากาศ

การออกแบบสายอากาศให้มีความเหมาะสมสำหรับติดตั้งและใช้งานบนร่างกายต้องคำนึงถึงขนาดทางกายภาพของสายอากาศที่สามารถติดตั้งบนร่างกายมนุษย์และมีคุณลักษณะของสายอากาศอย่างเช่นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า -10 dB ให้สามารถครอบคลุมในย่านความถี่ที่กำหนดใช้งานและคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศให้เป็นตามจุดประสงค์ของการนำไปใช้งานเป็นต้น โดยขั้นตอนการออกแบบจะพิจารณาจากรูปแบบโครงสร้างของสายอากาศเนื่องจากสายอากาศจะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานบนร่างกาย โดยที่สายอากาศมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป และทำการออกแบบโดยกำหนดขนาดของสายอากาศและคำนวณสายส่งสัญญาณรวมที่มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม จากนั้นเลือกแผ่นตัวนำรูปสี่เหลี่ยมเนื่องจากมีโครงสร้างที่เรียบง่าย หลังจากออกแบบสายอากาศที่เหมาะสมแล้ว ทำการจำลองเพื่อหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรมการจำลอง CST Microwave Studio [24] โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศที่ได้ออกแบบสร้างสายอากาศในโปรแกรมจำลองสายอากาศอีกครั้ง เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศให้เหมาะสมในการจำลองเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น ก่อนที่จะนำไปสร้างสายอากาศ โดยกระบวนการการออกแบบสายอากาศแสดงดังรูปบล็อกไดอะแกรมการออกแบบสายอากาศในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



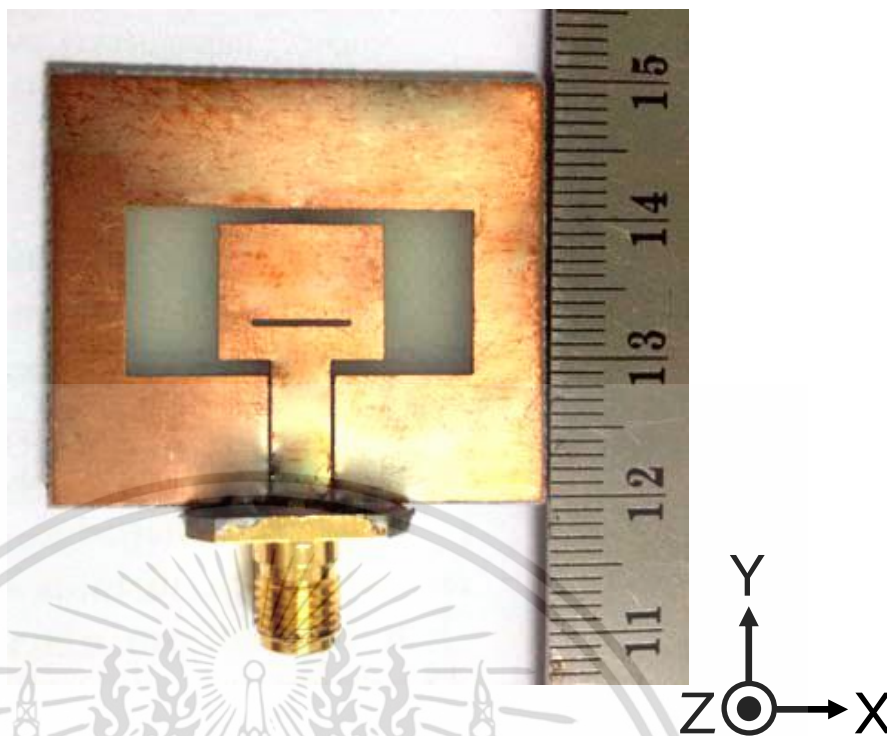
รูปที่ 4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 4.1 ขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ (มิลลิเมตร)	พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ (มิลลิเมตร)
W	30	g	0.3
L	35	x	9.64
Ws	12	y	11.86
Ls	25	m	0.5
S	4.2	n	7.2
h	1.6		

หลังจากทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศแล้วจึงนำมาสร้างสายอากาศต้นแบบสำหรับ โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศที่มีโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน ราคาถูก และสามารถหาวัสดุในการสร้างสายอากาศได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป โดยใช้แผ่นพิมพ์วงจรชนิด FR-4 ซึ่งมีค่าคงตัวของวัสดุ (ϵ_r) เท่ากับ 4.3 โดยจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ที่ใช้งาน ความหนาของแผ่น (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และมีค่าความสูญเสียแทนเจนต์ ($\tan \delta$) 0.002 ส่วนโครงสร้างของสายอากาศที่ได้สร้างจริงแสดงดังรูปที่ 4.3 สำหรับผลการจำลองและทดสอบสายอากาศจะกล่าวในบทถัดไป

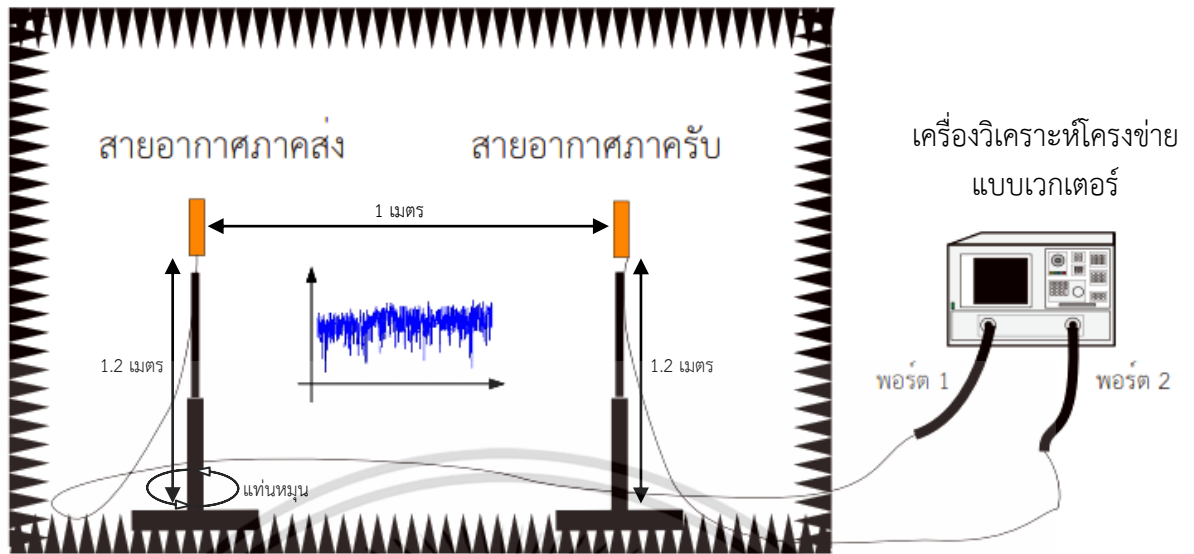
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

4.3 แบบแผนการทดลองวัดของระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุ

โดยการทดลองวัดหาคณสมบัติของสายอากาศสำหรับงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรโครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer; VNA) รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ดังได้แสดงในรูปที่ 4.4 โดยจะถูกบันทึกและเก็บรวบรวมข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer; PC) ที่ถูกเชื่อมต่อผ่านการ์ด General purpose interface bus (GPIB) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต โดยในการทดลองได้ทำการวัดหาคณสมบัติของสายอากาศแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) และพอร์ตสองใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) ที่ถูกส่งมาจากพอร์ตที่หนึ่ง โดยที่ปลายสายนำสัญญาณของพอร์ตทั้งสองจะถูกเชื่อมต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดเพื่อหาคณสมบัติของสายอากาศในช่วงความถี่ก่อนที่จะนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

แสดงแบบจำลองการวัดหาคณลักษณะของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม เพื่อนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่สนใจในปัจจุบันนี้ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ ปรับปรุงและพัฒนาาระบบแบบแถบกว้างยิ่งให้ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไร้สายและเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้ในอนาคต

4.4 สรุป

การออกแบบสายอากาศที่มีโครงสร้างที่เรียบง่าย มีขนาดเหมาะสมในการที่จะนำไปประยุกต์ติดตั้งใช้งานบนร่างกายควรคำนึงถึงขนาดที่สามารถติดตั้งบนร่างกายมนุษย์และมีคุณลักษณะของสายอากาศที่ดี โดยขั้นตอนการออกแบบขั้นแรกให้พิจารณาจากลักษณะรูปร่างของสายอากาศ เนื่องจากสายอากาศจะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานบนร่างกายมนุษย์ โดยได้พิจารณาเลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปเนื่องจากมีคุณลักษณะเป็นแผ่นบางและติดตั้งได้ง่าย ในการทดลองวัดหาคณสมบัติของสายอากาศสำหรับงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์วงจรโครงข่ายแบบเวกเตอร์ ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย และเครื่องส่งเคราะห์ความถี่

บทที่ 5

ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการจำลองของสายอากาศจากโปรแกรมจำลอง CST Microwave Studio และผลการทดลองวัดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีท่อนำคลื่นแบบบรรณาบร่วมโดยแสดงผลที่ได้จากการตัดแปลงขนาดของสตัปและขนาดของร่องสี่เหลี่ยมที่มีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดของสตัปและขนาดของร่องสี่เหลี่ยม ในส่วนถัดไปจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองวัดสายอากาศช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งตามแบบจำลองการวัดที่ได้กล่าวจากบทที่ผ่านมา โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างเช่น ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีการปรับขนาดความกว้างและความยาวของร่องสี่เหลี่ยมและการปรับขนาดความกว้างและความยาวของสตัป ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับจากการปรับขนาดของร่องสี่เหลี่ยม ค่าอัตราขยายของสายอากาศ การส่งผ่านสัญญาณ และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

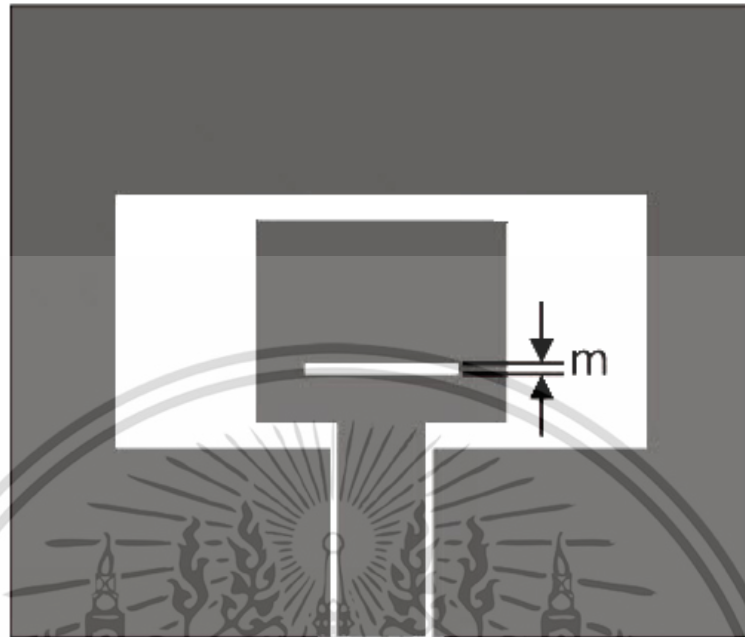
5.2 ผลการวัดและการวิเคราะห์สายอากาศ

5.2.1 ผลการจำลองสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

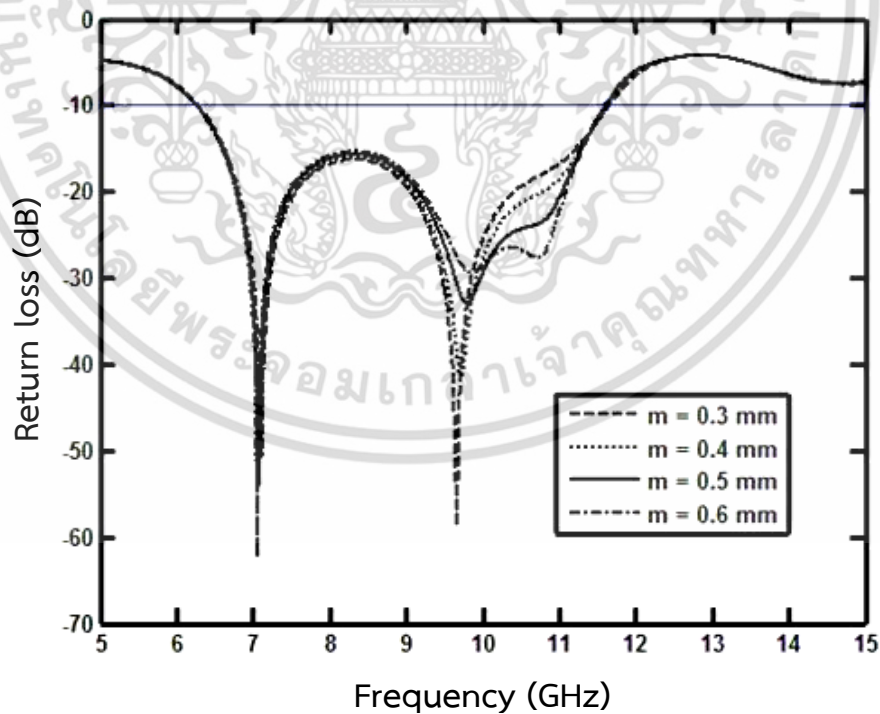
ในการออกแบบจำลองสายอากาศจะถูกออกแบบและจำลองการสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ซึ่งสามารถที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนโดยสายนำสัญญาณแบบบรรณาบร่วม จากการคำนวณและหาค่าที่เหมาะสมเพื่อนำมาสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยในโปรแกรมจำลองสายอากาศสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศได้เช่น ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ อัตราขยายของสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นต้น ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถแสดงถึงผลที่เกิดขึ้น ดังนี้

5.2.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองปรับขนาดของสตัปจำนวนแปดครั้งและขนาดของร่องสี่เหลี่ยมอีกแปดครั้ง โดยครั้งแรกปรับขนาดความสูงของร่องสี่เหลี่ยม และตามด้วยการปรับขนาดความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นทำการปรับขนาดความกว้างของสตัป ตามด้วยความยาวของสตัป ตามลำดับ จากการปรับขนาดของร่องสี่เหลี่ยมและสตัปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้นดังการแสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดังนี้

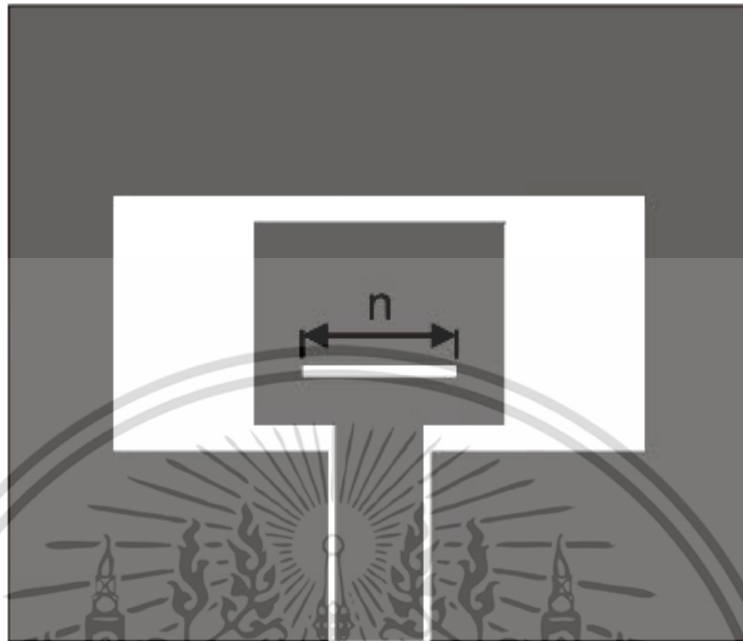


รูปที่ 5.1 การปรับความสูงของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

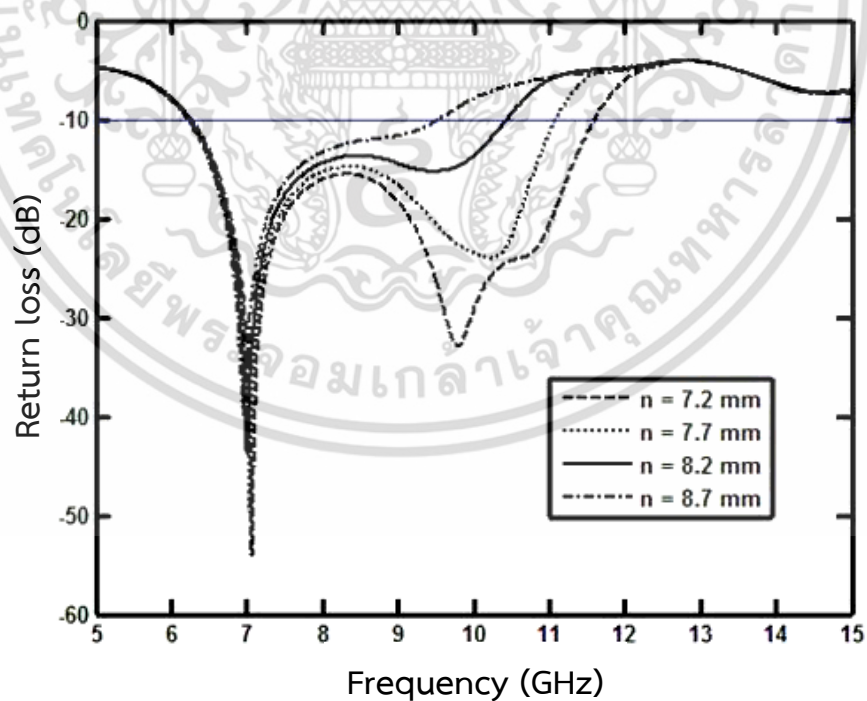


รูปที่ 5.2 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความสูงของร่องสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

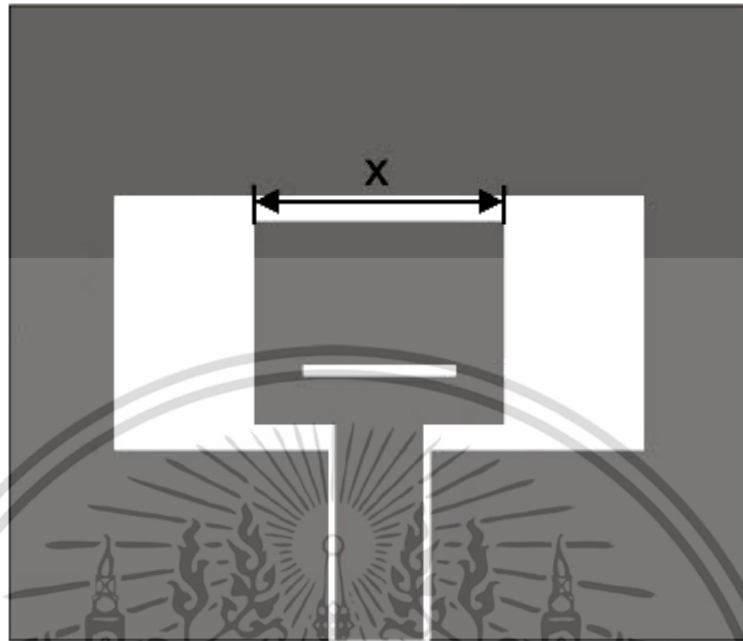


รูปที่ 5.3 การปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

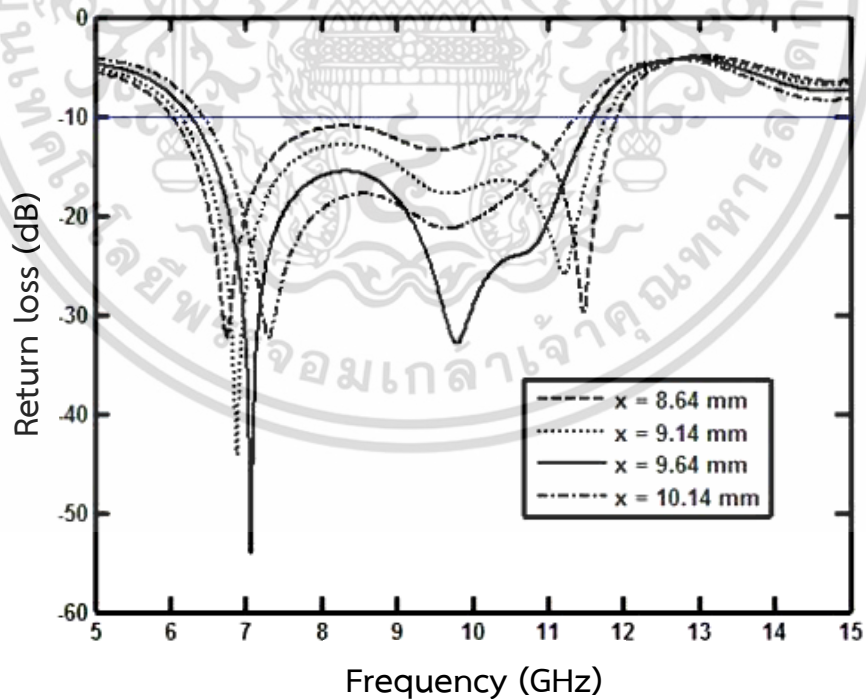


รูปที่ 5.4 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

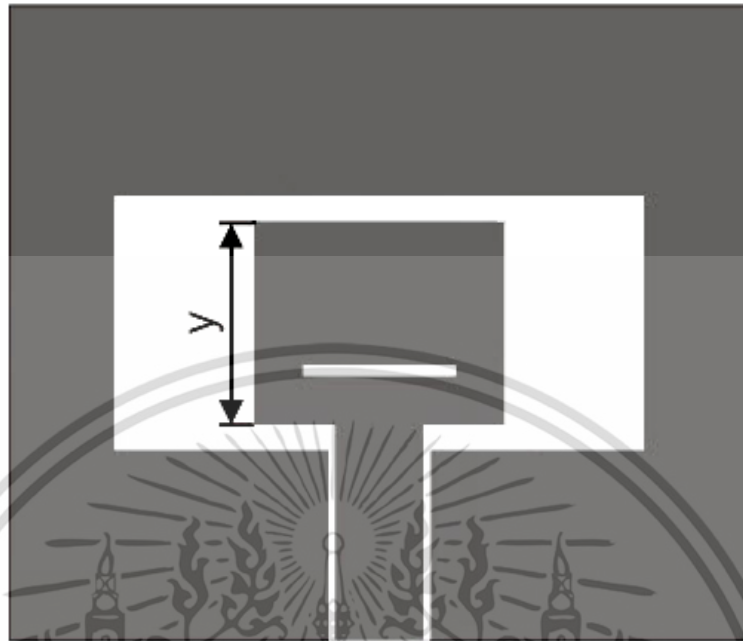


รูปที่ 5.5 การปรับความกว้างของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

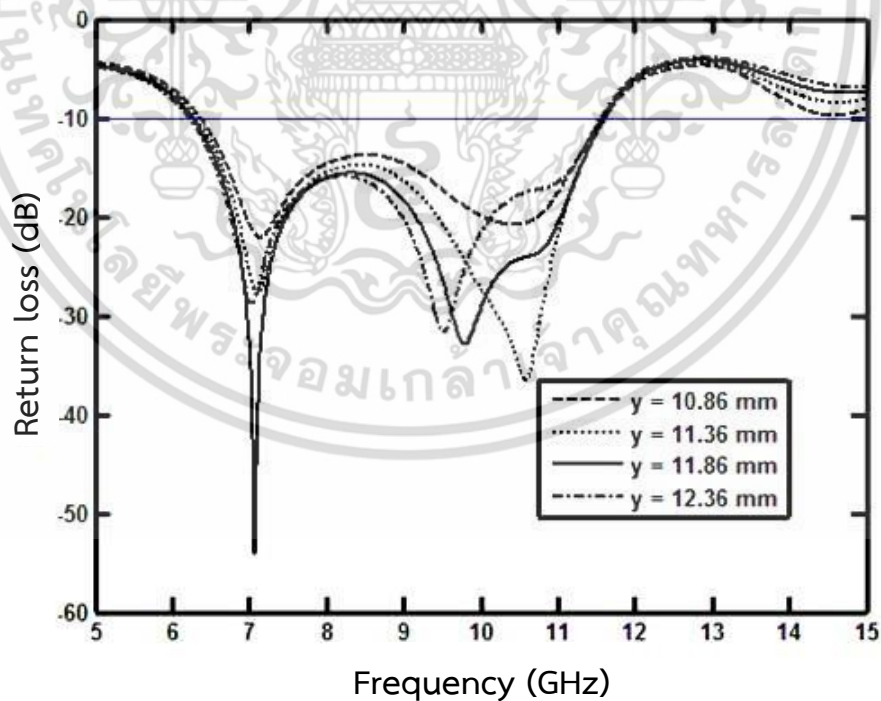


รูปที่ 5.6 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของสตัป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 การปรับความยาวของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

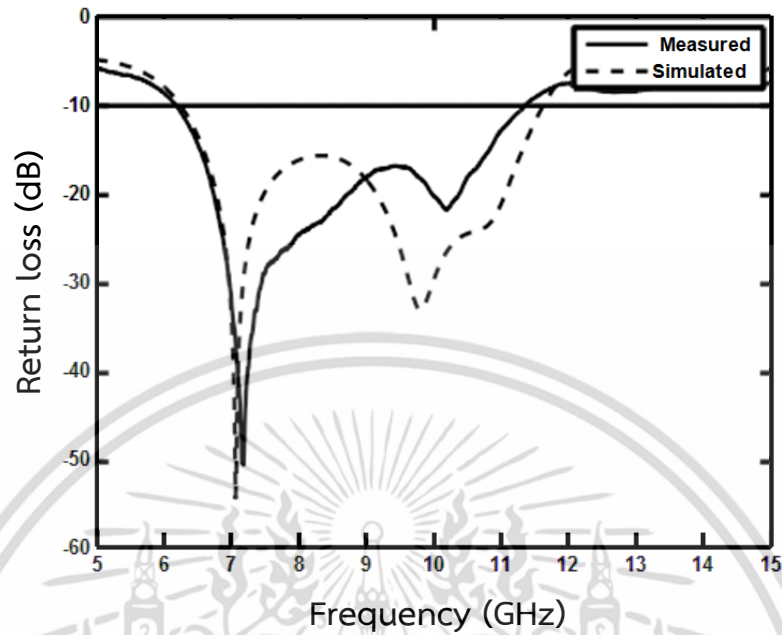


รูปที่ 5.8 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความยาวของสตัป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

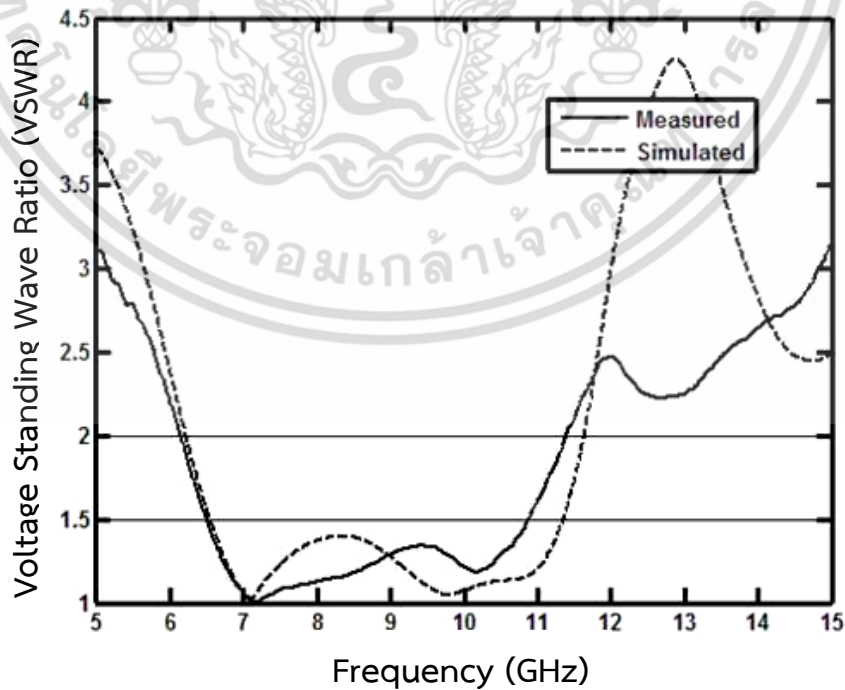
5.2.2 ผลการทดลองวัดสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

5.2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ($|S_{11}|$)



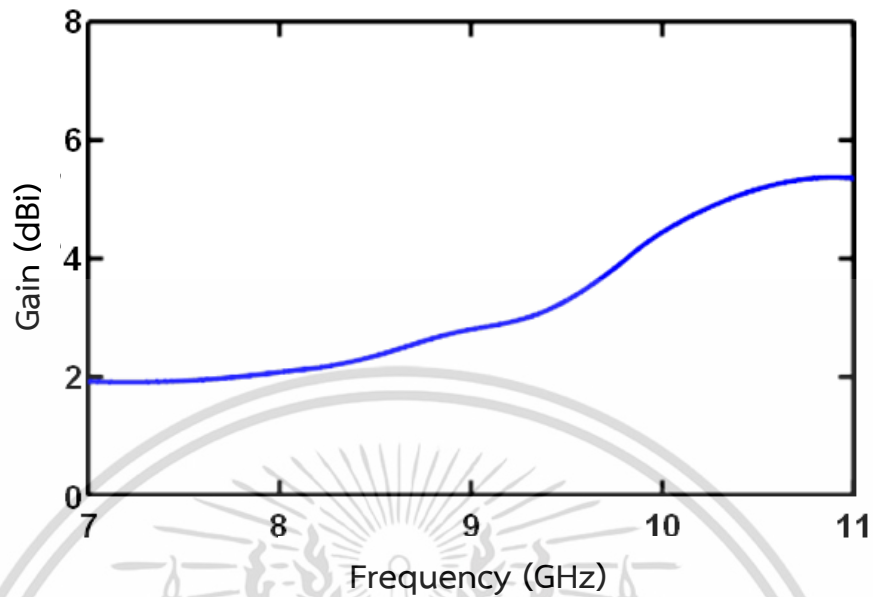
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม ในการวัดเทียบกับการจำลองสายอากาศของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

5.2.2.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 5.10 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

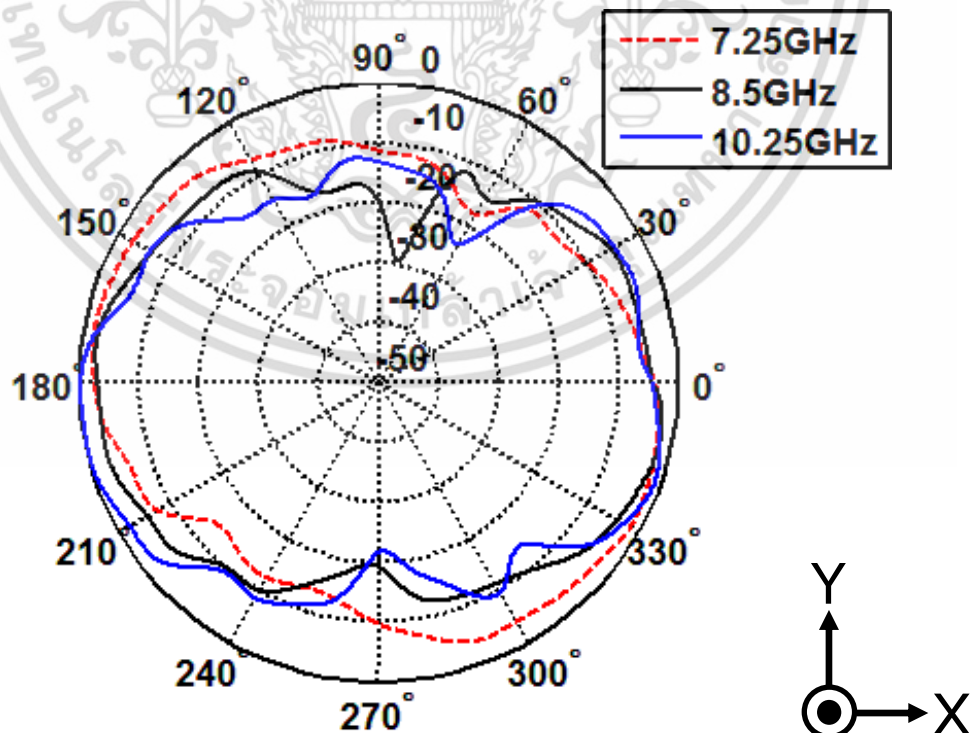
5.2.2.3 อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม



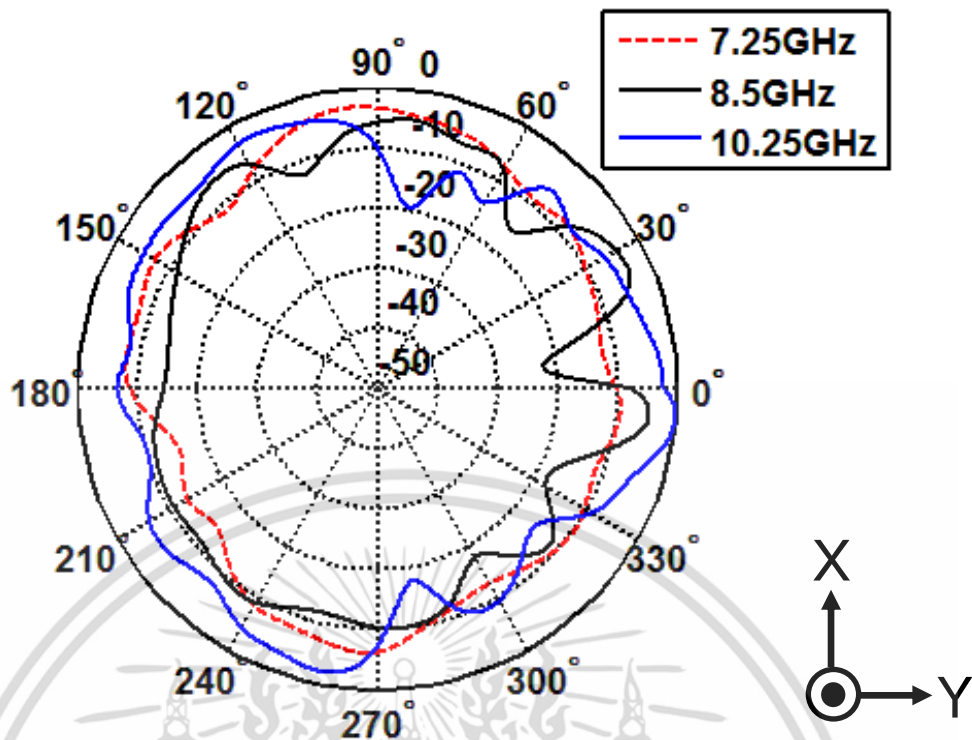
รูปที่ 5.11 อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

5.2.2.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีท่อนำคลื่นแบบระนาบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรโคจรข่ายแบบเวกเตอร์



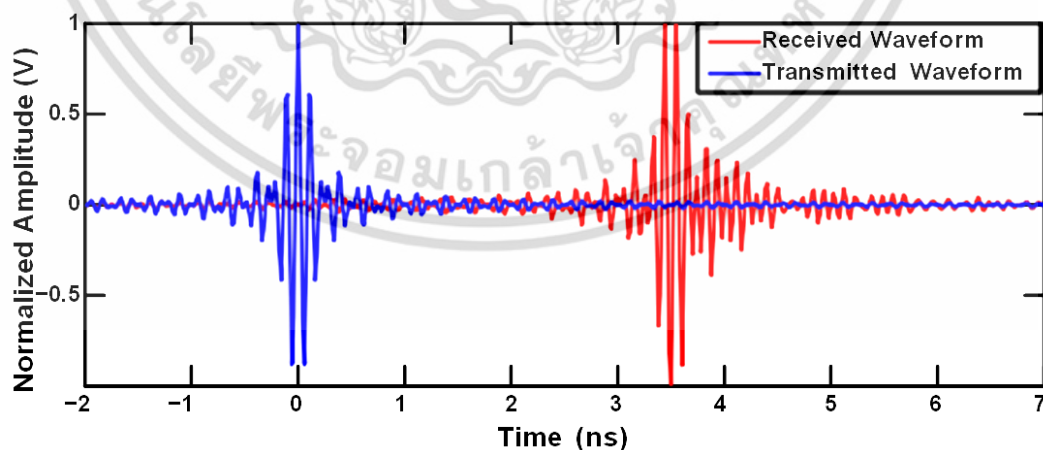
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบสนามไฟฟ้าในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบคลื่นแม่เหล็ก

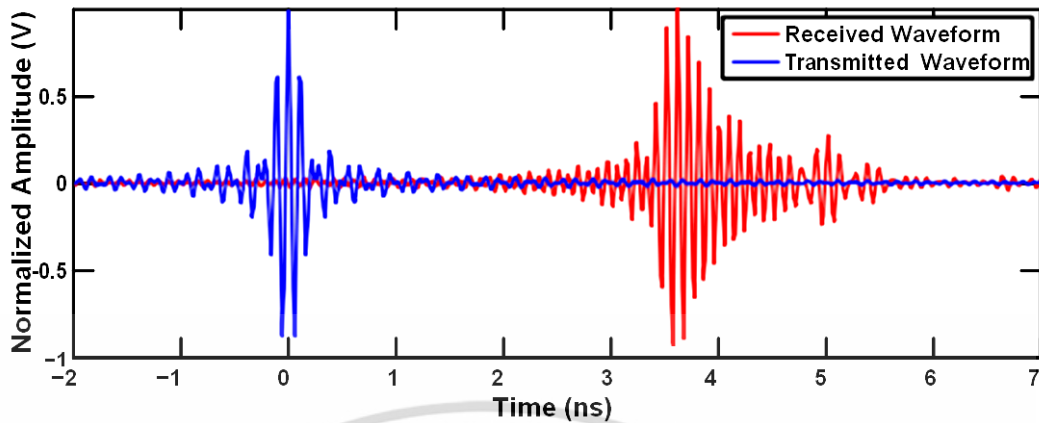
5.2.2.5 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้

การส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่งของสายอากาศที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 5.10 และ 5.11 แสดงให้เห็นการรับของสัญญาณทางด้านรับในช่วงเวลา 3.5 ns หลังจากที่รูปคลื่นถูกส่งออกจากสายอากาศส่ง



รูปที่ 5.14 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบสนามไฟฟ้า

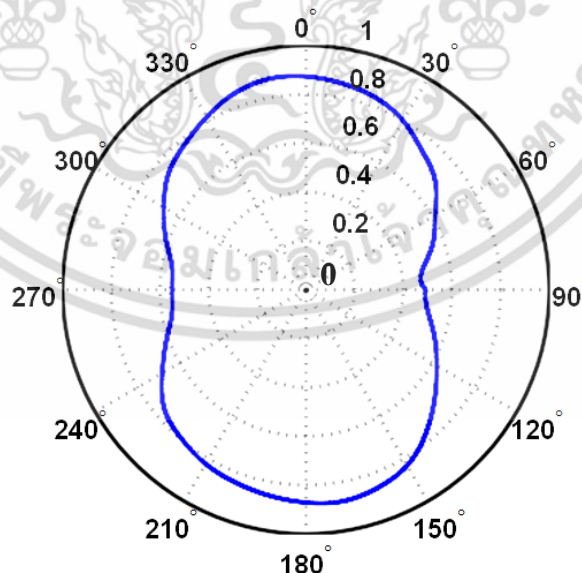
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก

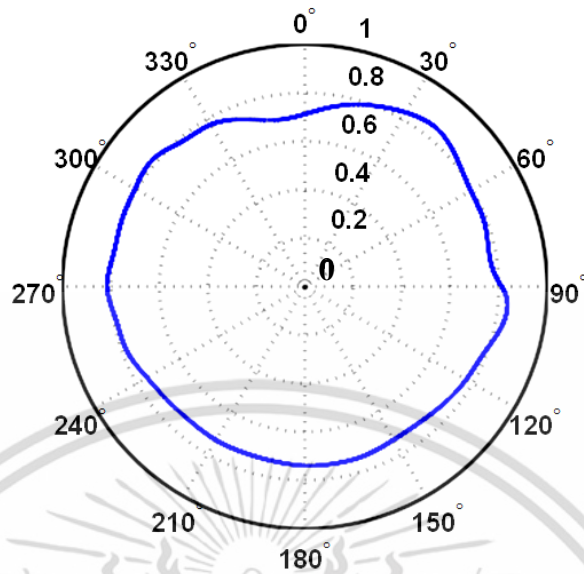
5.2.2.6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเที่ยงของสัญญาณแสดงในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 5.12 และ รูปที่ 5.13 โดยรูปคลื่นสหสัมพันธ์ในรูปที่ 5.12 มีค่ามากกว่า 0.7 ในช่วงมุม -60 องศาถึง 60 องศา และ ในช่วง 135 องศา ถึง 240 องศา และมีค่าน้อยสุดที่มุม 90 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้า รูปที่ 5.13 แสดงรูปคลื่นสหสัมพันธ์ในระนาบสนามแม่เหล็ก มีค่ามากกว่า 0.7 ในทุกองศา แสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่ออกแบบมีความผิดเพี้ยนน้อย



รูปที่ 5.16 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก

5.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการจำลองและผลการทดลองวัดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม โดยแสดงผลของการจำลองเทียบกับผลที่ได้จากการวัดสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นเมื่อทำการปรับขนาดความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม ตามด้วยการปรับขนาดความกว้างของสตัป ในส่วนการทดลองวัดเห็นได้ว่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการจำลองเนื่องจากขนาดสัดส่วนต่าง ๆ ของสายอากาศที่สร้างขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ และทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 7.25 GHz 8.5 GHz และ 10.25 GHz หลังจากนั้นทดลองส่งสัญญาณสี่เหลี่ยมแบบแถบกว้างยิ่ง และหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศเพื่อประเมินสัญญาณที่รับได้ว่ามีค่าผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ส่งมาน้อยเพียงใด

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ประยุกต์ใช้ในการสื่อสารระยะสั้นหรือภายในอาคารนั้นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งที่กำหนดไว้เพื่อป้องกันการเกิดการทับซ้อนกันและเกิดการรบกวนกันกับการสื่อสารในเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้งานในปัจจุบัน โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานแถบความถี่ร่วมของ FCC ที่ใช้ภายในอาคารเท่านั้น โดยมีค่าความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานต่ำกว่า -43 dBm/MHz และมีแถบความถี่ครอบคลุมในช่วง 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz โดยที่ความถี่ต่ำ 7.25 GHz เป็นข้อกำหนดของ MIC และความถี่สูง 8.5 GHz เป็นของข้อกำหนดของ ETSI และได้ทำการประเมินและออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่สามารถใช้งานช่วงแถบความถี่ร่วมสำหรับประยุกต์ใช้ในด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ตามข้อกำหนดข้างต้น โดยนำมาทดลองวัดหาค่าคุณสมบัติของสายอากาศ โดยที่ทดลองวัดภายในห้องไร้การสะท้อนที่มีรูปแบบการทดลองวัดดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 และนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในบทที่ 5 ในบทนี้จะทำการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งและออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีจุดบอดแบบบูรณาการ สำหรับประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง โดยมีการปรับขนาดความยาวของร่องสี่เหลี่ยม ตามด้วยขนาดความกว้างของสตัป เพื่อให้สายอากาศร่องสี่เหลี่ยมมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น โดยสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ทำการออกแบบมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงความถี่ 6.23 GHz- 11.34 GHz ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานตามข้อกำหนดแถบกว้างยิ่งของ MIC ในช่วงความถี่สูง ที่ช่วงความถี่ 7.25 GHz- 10.25 GHz และครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานตามข้อกำหนดของแถบกว้างยิ่งที่ร่วมกันกำหนดโดย FCC ETSI และ MIC ที่อยู่ในช่วง 7.25 GHz- 8.5 GHz และได้ทำการทดสอบคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 7.25 GHz 8.5 GHz และ 10.25 GHz จากการทดลองวัดสายอากาศมีคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีอัตราขยาย 2 dBi และทำการวัดคุณสมบัติการส่งของสายอากาศทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบคลื่นแม่เหล็ก โดยสัญญาณที่รับได้มาถึงในช่วงเวลาประมาณ 3.5 นาโนวินาที และวัดหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศเพื่อหาความเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบคลื่นแม่เหล็ก โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบสนามไฟฟ้ามีค่า 0.7 ช่วง -60 องศา ถึง 60 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็กสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 0.7 ทุกๆ องศา โดยสายอากาศที่ออกแบบมีขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพดีในการใช้งานแถบกว้างยิ่งทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายด้านในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

การออกแบบสายอากาศสิ่งที่จะต้องคำนึงเป็นอันดับแรกคือการออกแบบสายอากาศให้มีขนาดและประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ที่ต้องการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษามาตรฐาน ข้อกำหนดต่างๆ ของเทคโนโลยีที่นำสายอากาศไปประยุกต์ใช้ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์ศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีจุดบ่อนแบบระนาบร่วม สำหรับสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้ทดลองการส่งผ่านและพิจารณาวัฏจักรในท้องไร่การสะท้อนจะเห็นว่าสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งไปยังสายอากาศด้านรับเกิดการสูญเสียและเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้น ซึ่งเกิดจากสาเหตุสภาวะแวดล้อมในขณะที่ทำการทดลอง

ในงานวิจัยในอนาคตจะได้ประยุกต์เอางานวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่นๆ เช่น ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้บนโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และระบบไร้สายในทางการแพทย์ ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และสิ่งที่ควรพิจารณาเพิ่มการวิเคราะห์ถึงเวลาที่มาถึงยังภาครับแต่ละเส้นทางด้วยวิธี Time of arrival (TOA), การพิจารณาถึงทิศทางของสัญญาณที่มาถึงด้วยวิธี Angle of arrival (AOA) ซึ่งวิธีเหล่านี้จำเป็นมากสำหรับการพิจารณาภายในอาคารได้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [2] ETSI, "Harmonised standards covering ultrawide band (UWB) applications," Standardisation Mandate: DG ENTR/G/3M/329, Brussels, Feb. 2003.
- [3] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), pp. 1-6, 2010
- [4] C. John, Rogers Corp., Chandler, AZ Brian Rautio, "Comparing Microstrip and CPW Performance," MICROWAVE JOURNAL., vol. 55, no. 7, pp. 74-82, July. 2012.
- [5] I. Oppermann, M. Hamalainen and J. Iinatti, "UWB Theory and Applications," 2004.
- [6] M. Ghavami, L. B. Michael and R. Kohno, "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering," 2004.
- [7] H.B. Li and K. Hamaguchi, "A Prototype BAN For Medical and Healthcare Monitoring Based on High Band UWB," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 14th International Symposium on, 3-7 Oct. 2011.
- [8] A. Goldsmith "WIRELESS COMMUNICATIONS," 2005.
- [9] H. Nikookar and R. Prasad, "Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications," Springer 2009.
- [10] D. Valderas, J. Ignacio Sancho, D. Puente Cong Ling and X. Chen, "ULTRAWIDEBAND ANTENNAS Design and Applications," 2011.
- [11] MIC, "Japan's UWB emission policy advances," EE Times.Washington, 26 Aug. 2005.
- [12] W. Hirt and M. Weisenhorn, "Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory framework," 2006 IEEE International Conference on Ultra Wideband, pp. 581-586, Sept. 2006.
- [13] Z. Ning Chen and Michael Y. W. Chia, "Broadband Planar Antennas Design and Applications," 2006.
- [14] N. Rainee Simons, "Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems," 2001.
- [15] H. Shin, Jeongpyo Kim and J. Choi, "A Stair-shaped CPW-fed Printed UWB Antenna for Wireless Body Area Network," IEEE Trans. pp. 1965-1968, 2009.
- [16] W. Pam Siriwongpairat and K. J. Ray Liu, "Ultra-Wideband Communications Systems," 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [17] J. Liang, "Study of CPW-fed circular disc monopole antenna for ultra wideband applications," Journals & Magazines, pp. 520-526, 9 Dec. 2005.
- [18] Ki. Joon Kim "Flexible antenna for UWB high-band in sensor network," ICTC 2010 pp. 164-165
- [19] T. Kobayashi, "Recent Progress of Ultra Wideband Radio Propagation Studies for Body Area Network," Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, 2009. ISABEL 2009. 2nd International Symposium on, 24-27 Nov. 2009.
- [20] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [21] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra Wideband Systems," IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.
- [22] S. Promwong, W. Hachitani, Gilbert S. Ching, J. Takada. ; "Characterization of Ultra-Wideband Antenna with Human Body,". ISCIT 2004, Sapporo, Japan, October 26-29, 2004.
- [23] ณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย, "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยั้งที่มีแลปทอปคอมพิวเตอร์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล,"วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [24] Computer Simulation Technology (CST); CST STUDIO SUITE™ 2010.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] A. Kame, S. Promwong and C. Deepunya, "A Study of Rectangular Slot Antenna for Body Area Network-Ultra Wideband," ISMAC 2015 : 2015 International Symposium on Multimedia and Communication Technology, pp. 186-189, September 23 – 25, 2015.
- [2] A. Kame, S. Promwong and C. Deepunya, "Investigation of Body Area Network Antenna for Wireless Medical System," ICDAMT International Conference on Digital Arts, Media and Technology, pp. 36, February 17 - 20, 2016.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Abstract of ISMAC 2015





A Study of Rectangular Slot Antenna for Body Area Network-Ultra Wideband

Anan Kame, Sathaporn Promwong

Department of Telecommunication Engineering,
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand
E-mail: keng_anan@hotmail.com

Chairak Deepunya

Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand
E-mail: kpsathap@kmitl.ac.th

Abstract— Ultra wireless system are becoming an important in daily life. In such of them body area networks (BANs) are conducted the researcher around the world because of nowadays communication systems are device may implanted BANs and wearable BANs. An ultra wideband (UWB) technology is a first choice to use in this paper due to short-range communication scenarios and low-power high data rate technology which accommodates the appropriate technology in BANs. In this paper, we design new high-band antenna from 6.23 GHz to 11.34 GHz fed by coplanar waveguide (CPW). Rectangular slot antenna with line slit for high band UWB, that antenna structure is simple, that include the Rectangular stub with line slit, which is use FR4 circuit board (PCB) with an overall size of 30 mm × 35 mm × 1.6 mm. The comparison between simulation and experimental are shows that the propose antenna achieves good a characteristics.

Keywords— Antenna, BAN, UWB, High Band, Coplanar Waveguide

I. INTRODUCTION

Ultra wide band (UWB) is a wireless technology with high data rate, anti multi-path interference and simple transceiver structures that are possible make this a potentially powerful technology for low-complexity, low-cost, communications. This technology can be used for any applications such as video streaming, wireless body area network (WBAN), wireless communications, networking, radar, localization and so on. The Federal Communications Commission (FCC) in the United States allocated the fractional bandwidth greater than or equal to 0.2 and having bandwidth greater than or equal to 500 MHz for UWB. The Japanese UWB regulation for indoor device defined the frequency separate two band low-band (3.4 GHz to 4.8 GHz) and high-band (7.25 GHz to 10.25 GHz) [2]. The UWB antenna is interesting for research to establish for optimize small size including the ultra wideband performance of the impedance matching.

The antenna is an important component for ultra wide band system, and feasible UWB antenna design that include the performances of the impedance matching, the antenna size and the antenna fed line propose The coplanar waveguide (CPW), this is very suited to a microstrip patch antenna design, and has been widely used, also have wide bandwidth and easy

integration with microwave monolithic integrated circuits (MMICs) [3]-[4]. This scheme is used in design Circular and Elliptical CPW-Fed Slot and Microstrip-Fed Antennas for Ultra wideband Applications, A Compact Slot UWB Antenna with CPW-fed and CPW-fed octagon shape slot antenna for UWB application [4]-[6]. The voltage standing wave ratio (VSWR) is a well-known indication of how good the impedance match is. The VSWR is often abbreviated as SWR. A high VSWR is an indication that the signal is reflected prior to being radiated by the antenna. VSWR and reflected power are different ways of measuring and expressing the same thing. A VSWR of 2:1 or less is considered good. Most commercial antennas, however, are specified to be 1.5:1 or less over some bandwidth. Based on a 100-watt radio, a 1.5:1 VSWR equates to a forward power of 96 watts and a reflected power of 4 watts, or the reflected power is 4.2 percent of the forward power [10].

In this paper, CPW Fed Rectangular slot antenna with line slit for high band UWB considering the high band ultra wide band is proposed. The shape of antenna has simple structure and less number of parameters. The return loss (S_{11}) under -10 dB from 6.23 GHz to 11.34 GHz. Moreover showing

the result from simulation antenna with and without slit, and varies a long of slit in rectangular stub also. The rest of this paper is follows. In section 2 describes the structure of the proposed CPW Fed Rectangular Slot Antenna for High Band UWB Applications. The simulations and measurement result in section 3 and effect of each parameter can found in section 4. Finally the conclusion is given in section 5.

II. ANTENNA GEOMETRY

The geometry and configuration of the CPW-Fed rectangular slot antenna with line slit for high band UWB antenna is shown in Fig. 1. The antenna design was printed on one side of a FR4-Epoxy (PCB) substrate with the thickness $h = 1.6$ mm and the relative dielectric constant $\epsilon_r = 4.3$, loss tangent $\tan \delta = 0.025$, the proposed antenna has small size of 35×30 mm² is achieved shown in Fig.2. The width of the CPW- fed line S is fixed at 4.2 mm and the distance of the gap (g) between symmetric ground planes and fed line is fixed at

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



0.3 mm to get 50 Ω characteristic impedance and SMA Connector is soldered to the 50 Ω CPW feeder. The rectangular slot size of $12 \times 25 \text{ mm}^2$ ($W_s \times L_s$) is inner the CPW Fed Rectangular Slot Antenna for High Band UWB Applications. The proposed of antenna has wide bandwidth with omni-directional radiation pattern and good impedance matching in high band frequency with reduced size of antenna, that specific frequency of interest cover high band UWB 7.25 GHz to 10.25 GHz.

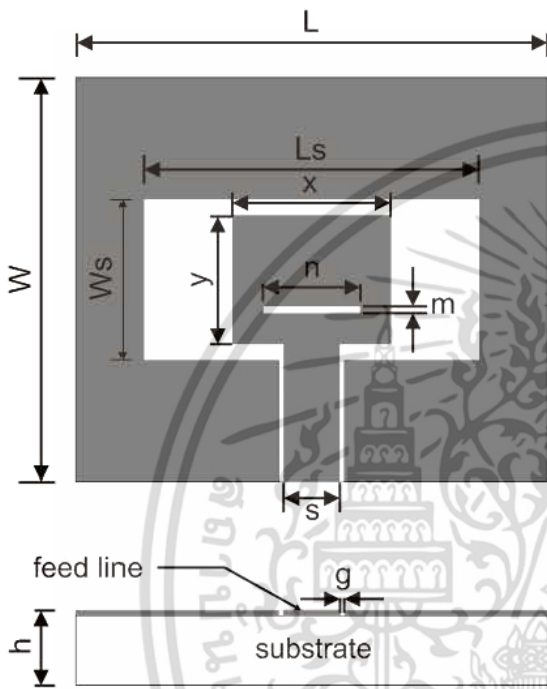


Fig. 1. Geometry of rectangular slot antenna.

Table I: Measurement Parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
W	30 mm	g	0.3 mm
L	35 mm	y	9.62 mm
W_s	12 mm	x	11.86 mm
L_s	25 mm	m	0.5 mm
S	4.2 mm	n	7.2 mm
h	1.6 mm		

III. SIMULATED AND MEASURED RESULTS

All the simulations were carried out with CST Microwave Studio [11]. The measurement of the proposed antenna was conducted using Vector Network Analyzer (VNA), to analysis return loss for different parameter values has been done by varying one of them and fixed others as constant, and consider Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) and radiation pattern of the antenna also. The proposed antenna optimal parameter values are listed in the table 1. The parameter vary is m, n, x and y, which is long

of slit, width of the stub, length of the stub respectively. The return loss of the antenna compare between with slit and without slit show in Fig. 3, that the simulate results is the antenna with slit give more bandwidth and the return loss under -10 dB are from 6.3 GHz to 11.6 GHz.

The measurement of return loss is carried out with an HP8510 Vector Network Analyzer. Fig. 4a shows results from measured return loss of the proposed antenna with a comparison with simulation results, that is good agreement between simulation and measurement. The return loss from measured less than -10 dB is from 6.23 GHz to 11.34 GHz, bandwidth cover the entire high-band UWB (7.25 GHz to



Fig. 2. Prototype of rectangular slot antenna

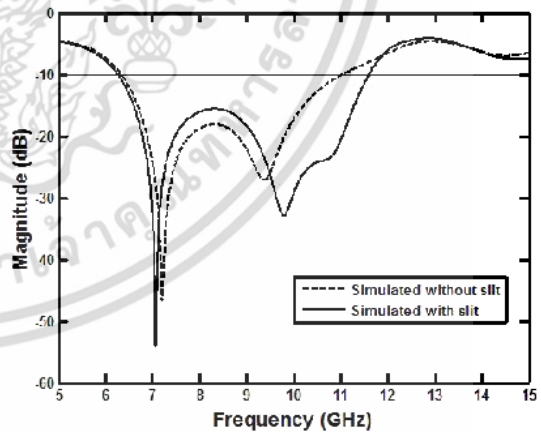


Fig. 3. The comparison between with slit and without slit.

10.25 GHz) and The VSWR shown in Fig. 4b, from measured the VSWR is lower than 1.5 in the frequency range of 6.55 GHz to 10.75 GHz, and lower than 2 in the frequency range of 6.23 GHz to 11.34 GHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

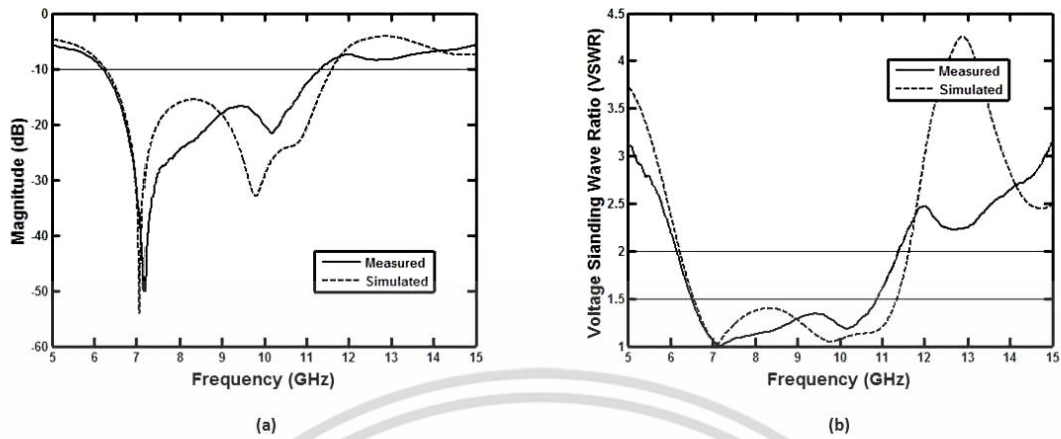


Fig. 4. Simulated and Measured (a) Return loss (S11), (b) VSWR respectively

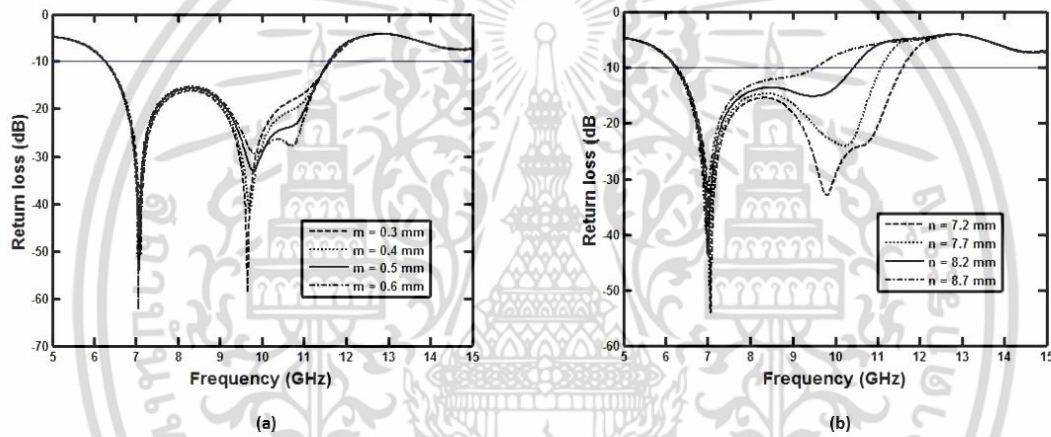


Fig. 5. Simulate return loss for different high of slit : m (a) and width of slit : n (b)

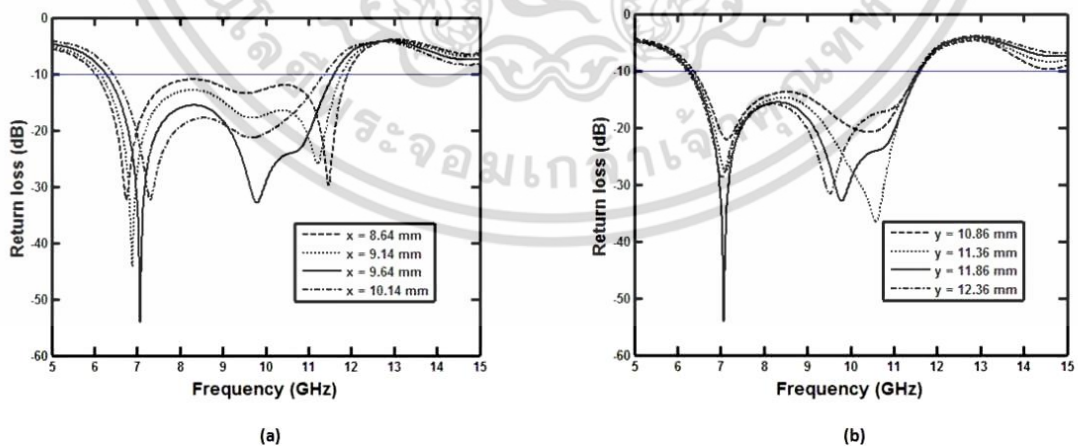


Fig. 6. Simulate return loss for different width of the stub : x (a) and length of the stub : y (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

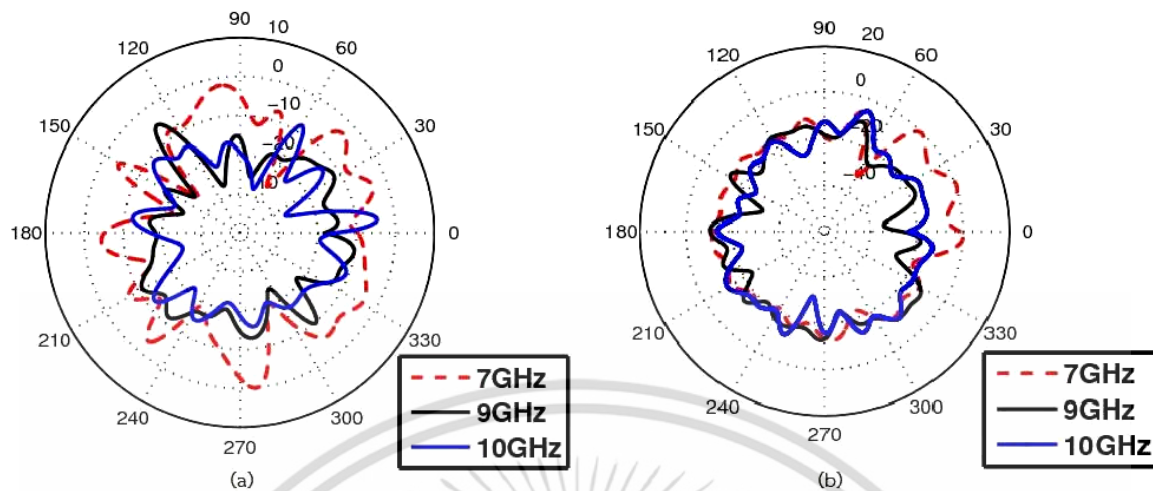


Fig. 7. The radiation patterns (a) the H-plane and (b) E-plane are obtained at 7 GHz, 9 GHz and 10 GHz

IV. EFFECT OF ANTENNA PARAMETERS

The proposed of the antenna was fabricated using the best parameters shown in Table. I. The simulation tool CST Microwave Studio is employed in this paper to perform the design. Consider the parameter when varied parameter m is high of slit, n is width of slit shown in Fig.5 and, x is width of the stub, y is length of the stub, the results from simulations shown in Fig.6. The bandwidth and return loss of the propose antenna can be controlled by adjusting the parameter width of slit (n) and width of the stub (x) follow by high of slit and length of the stub for return loss less than -10 dB. The radiation patterns of the and E-plane and H-plane obtained at 7 GHz, 9 GHz and 10 GHz are shown in Fig. 7.

V. CONCLUSIONS

CPW Fed Rectangular slot antenna with line slit for high band UWB, that antenna structure is simple and bandwidth cover 6.23 GHz to 11.34 GHz. The result from simulations show the antenna with line slit good return loss more than without line slit. The result from measurement shows that the proposed antenna has achieved good impedance matching and voltage standing wave ratio (VSWR) less than 1.5 for high-Ultra wideband (7.25 GHz to 10.25 GHz) applications. So, the propose antenna promising applications for WBANs. The bandwidth and return loss of the propose antenna can be controlled by adjusting the parameter width of slit follow by length of the stub for return loss less than -10 dB.

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [2] H. Nikookar, "Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications," 2009 TU Delft, The Netherlands and Ramjee Prasad Aalborg University, Denmark CTIF, Center for TeleInfrastruktur.
- [3] Zhi Ning Chen and Michael Y. W. Chia, "Broadband Planar Antennas Design and Applications," 2006.
- [4] Daniel Valderas, Juan Ignacio Sancho, David Puente, Cong Ling and Xiaodong Chen, "ULTRA WIDEBAND ANTENNAS Design and Applications," 2011.
- [5] S. Natarajamani, "CPW-FED OCTAGON SHAPE SLOT ANTENNA FOR UWB APPLICATION," International conference on MI-CROWAVES. antenna propagation, remote sensing, 2009, Jodhpur.
- [6] N. Gunavathi, R. Pandeewari and S. Raghavan, "A CPW-Fed Octagon-Shaped Aperture Antenna for Lower Band UWB Applications," India Conference (INDICON), 2009 Annual IEEE' 18-20 Dec 2009.
- [7] Tseng Tang, Ding-Bing Lin, Geng-Hong Liou, Jui-Hong Horng and Chi-Min Li, "A Compact Slot UWB Antenna with CPW-fed," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007 IEEE, pp. 5143 - 5146, 9-15 June 2007.
- [8] Evangelos S. Angelopoulos, "Circular and Elliptical CPW-Fed Slot and Microstrip-Fed Antennas for Ultrawideband Applications," IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 5, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



iCDAMT
International Conference on Digital Arts, Media and Technology

"Digital Economy for Sustainable Growth"

17-20 February, 2016
@ The Mantrini Chiang Rai



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งท่านมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-3B.3 Investigation of Body Area Network Antenna for Wireless Medical System

Anan Kame, Sathaporn Promwong, Chairak Deepunya

Abstract

Antennas is one important in wireless body area network communication. The antennas are used to transmit and receive signal for collect data is close to patient. While the frequency transmitted from the antenna can be getting harmful effect to human body. Therefore, ultra-wide band technology is good choice due to low power, high data rate and short range, which are suitable and support in BANs. In measurements the impedance bandwidth of the antenna has been measured.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายอนันต์ กามี
 วัน เดือน ปีเกิด 19 เมษายน 2534
 ที่อยู่ 21/2 ม. 5 ต. บวกค้าง อ. สันกำแพง จ. เชียงใหม่ 50130
 ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลงานวิจัย

- พ.ศ.2557 A. Kame, S. Promwong and C. Deepunya, "A Study of Rectangular Slot Antenna for Body Area Network-Ultra Wideband," ISMAC 2015 : 2015 International Symposium on Multimedia and Communication Technology, pp. 186-189, September 23 – 25, 2015.
- พ.ศ.2558 A. Kame, S. Promwong and C. Deepunya, "Investigation of Body Area Network Antenna for Wireless Medical System," ICDAMT International Conference on Digital Arts, Media and Technology, pp. 36, February 17 - 20, 2016.