

การออกแบบและสร้างของสายอากาศแถบกว้างร่องสี่เหลี่ยม
สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

A DESIGN AND FABRICATION OF WIDEBAND SLOT-SQUARE ANTENNA
FOR ULTRA WIDEBAND TECHNOLOGY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-027-053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A DESIGN AND FABRICATION OF WIDEBAND SLOT-SQUARE ANTENNA
FOR ULTRA WIDEBAND TECHNOLOGY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-M-027-053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมแถบกว้าง สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายพิทักษ์ เข้มเพ็ชร
รหัสนักศึกษา	64601099
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารไร้สายกลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันอย่าง เช่น โครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (WBAN) ซึ่งมีเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารไร้สายในระยะใกล้ มีกำลังงานต่ำ และมีอัตราการส่งข้อมูลสูง ดังนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ประยุกต์ในโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้าง และสายอากาศก็เป็นส่วนที่มีสำคัญมากสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งเช่นกันซึ่งทำหน้าที่แปลงกลับไปมาระหว่างสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมแถบกว้างที่ถูกป้อนด้วยสายส่งสัญญาณระนาบร่วมซึ่งเป็นสายอากาศแถบกว้างสามารถใช้งานในช่วงย่านความถี่ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz แบบรูปการแผ่กระจายแบบรอบทิศทาง โดยมีโครงสร้างที่ง่ายและมีขนาด $30 \times 35 \times 1.6$ มิลลิเมตร จากนั้นทดสอบและประเมินผลประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีสเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น การสูญเสียย้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่งต่อแรงดัน ฟังก์ชันการถ่ายโอน และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น สายอากาศที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ทำงานที่ช่วงแบนด์วิดท์ครอบคลุมตั้งแต่ 6.23 GHz ถึง 11.34 GHz อัตราขยาย 2 dBi และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางตามที่ได้ออกแบบไว้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งและการนำไปประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

Thesis	A Design and Fabrication of Wideband Slot-Square Antenna for Ultra-Wideband Technology
Student	Mr. Pitak Kempet
Student ID.	64601099
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical and Computer Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Wireless communication systems have become essential to everyday life, including Wireless Body Area Networks (WBANs). Ultra Wideband (UWB) technology, known for its low power consumption and high data rates, is well-suited for short-range wireless communication in WBAN systems. This thesis focuses on designing a wideband slot-square antenna with coplanar waveguide (CPW) feeding for WBAN applications. The antenna features a simple structure, utilizing an FR4 circuit board (PCB) with $30 \times 35 \times 1.6$ mm dimensions. Through simulations and experiments, the antenna demonstrates good impedance matching and stable radiation patterns across its operating bandwidth of 7.25 GHz to 10.25 GHz. Furthermore, the antenna's performance is assessed using the Friis' transmission formula, considering parameters such as return loss, voltage standing wave ratio, channel transfer function, and radiation pattern. The proposed antenna's operate in bandwidth ranging from 6.23 GHz to 11.34 GHz, a gain of 2 dBi, and the desired omnidirectional radiation pattern. This thesis significantly contributes to the advancement of UWB antenna technology and its practical implementation in WBAN applications.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัย ตลอดจนความห่วงใยที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัย ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจต่ออาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ทำให้การสอบวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband Radio System Laboratory : UWBRs) ที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของ บิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้ที่สนับสนุน ข้าพเจ้าจึงขอยกคุณความดีเหล่านั้นมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิทักษ์ เข็มเพ็ชร

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.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 โครงข่ายไร้สายใหม่และวิศวกรรมสายอากาศ.....	6
2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	6
2.1.1 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.1.2 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.2 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.2.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.2.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในกลุ่มประเทศยุโรป.....	12
2.2.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น.....	13
2.2.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ร่วมกัน.....	14
2.3 วิศวกรรมสายอากาศ.....	15
2.3.1 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป.....	16
2.3.2 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป.....	17
2.3.3 สายส่งสัญญาณที่นำคลื่นระนาบรวม.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 การหาค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกและค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ.....	20
2.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ	22
2.3.6 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น.....	22
2.3.7 อัตราการขยายของสายอากาศ และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง.....	24
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.5 สรุป.....	27
บทที่ 3 การวิเคราะห์ฟังก์ชันการถ่ายโอนสายอากาศ.....	28
3.1 กล่าวนำ.....	28
3.2 การวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้าง.....	28
3.3 สัญญาณการส่งผ่าน.....	30
3.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	31
3.5 สรุป.....	31
บทที่ 4 การออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมแถบกว้าง.....	33
4.1 กล่าวนำ.....	33
4.2 การออกแบบสายอากาศ.....	33
4.3 แบบแผนการทดลองวัดของระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุ.....	36
4.4 สรุป.....	37
บทที่ 5 ผลการวัดและประเมินผล.....	38
5.1 กล่าวนำ.....	38
5.2 ผลการวัดและการวิเคราะห์สายอากาศ.....	38
5.2.1 ผลการจำลองสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	38
5.2.2 ผลการทดลองวัดสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	43
5.3 สรุป.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
6.1 กล่าวนำ.....	48
6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย.....	48
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโท.....	52
ประวัติผู้เขียน.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	11
2.2 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในระบบการ สื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	12
2.3 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในระบบการ สื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคารที่แก้ไขใหม่.....	12
2.4 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย MIC สำหรับการใช้งานในระบบการ สื่อสารภายในอาคารเท่านั้น.....	13
2.5 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับ การใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น.....	14
2.6 การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศใน 3 บริเวณ.....	23
2.7 ข้อกำหนดในระดับการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC.....	25
4.1 ขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แนวคิดการใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์.....	1
1.2 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการสื่อสารแบบกว้างยิ่งภายในอาคาร.....	3
2.1 การประยุกต์ใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับทางด้านการแพทย์ในการรับ-ส่งข้อมูล.....	7
2.2 การเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังงานระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ.....	8
2.3 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานตามข้อกำหนด FCC part 15 limit สำหรับการสื่อสารระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร.....	11
2.4 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานแบบใหม่สำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย ETSI.....	13
2.5 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC.....	14
2.6 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC.....	15
2.7 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป.....	17
2.8 รูปแบบแผ่นของสายอากาศไมโครสตริปรูปแบบต่าง ๆ.....	17
2.9 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปในรูปแบบต่าง ๆ.....	18
2.10 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่าง.....	19
2.11 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดมีระนาบดินด้านล่าง.....	19
2.12 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	20
2.13 แบบรูปการแผ่กระจายของคลื่น (ก) การแผ่กระจายคลื่นแบบไอโซโทรปิก (ข) การแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางระนาบเดียว (ค) การแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง.....	23
2.14 วงจรสมมูลของสายอากาศ.....	24
2.15 โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม และการสูญเสียย้อนกลับ.....	26
2.16 โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่สูง และการสูญเสียย้อนกลับ.....	26
4.1 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสายอากาศ.....	34
4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	34
4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ได้สร้างขึ้น.....	35
4.4 แบบจำลองการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 ขนาดความสูงของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศ.....	39
5.2 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความสูงของร่องสี่เหลี่ยม.....	39
5.3 การปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	40
5.4 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม.....	40
5.5 การปรับความกว้างของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	41
5.6 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของสตัป.....	41
5.7 การปรับความยาวของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	42
5.8 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความยาวของสตัป.....	42
5.9 การเปรียบเทียบผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมในการวัดเทียบ กับการจำลองสายอากาศของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	43
5.10 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	43
5.11 อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม.....	44
5.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า.....	44
5.13 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบคลื่นแม่เหล็ก.....	45
5.14 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบสนามไฟฟ้า.....	45
5.15 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก.....	46
5.16 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบสนามไฟฟ้า.....	46
5.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก.....	47
6.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ภายในอาคาร.....	49

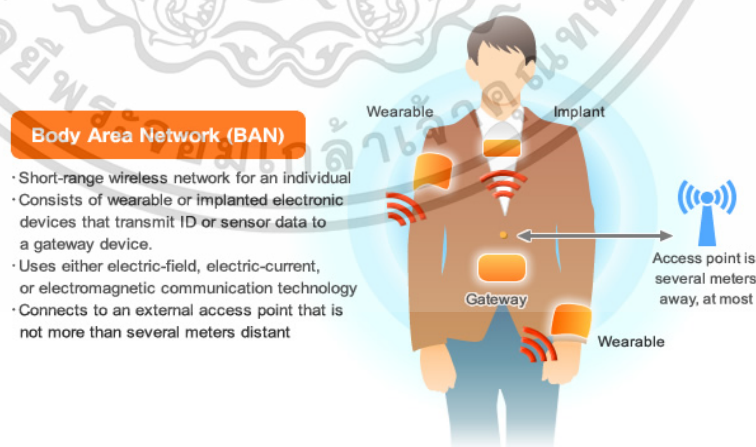
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีที่ปฏิวัติการส่งข้อมูลดิจิทัลจำนวนมากบนคลื่นแถบความถี่กว้างโดยการใช้สัญญาณพัลส์ในการส่งข้อมูลในช่วงเวลาสั้น ๆ และสัญญาณมีขนาดกำลังงานที่ต่ำมากในระดับไมโครวัตต์ ซึ่งสามารถลดผลกระทบที่จะเกิดกับร่างกายมนุษย์ และสามารถป้องกันการรบกวนการสื่อสารจากเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้จากคุณสมบัติที่สัญญาณมีกำลังงานต่ำมาก ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสัญญาณรบกวน จึงไม่ก่อให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณกับการสื่อสารในเทคโนโลยีอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายแขนง เช่น การสื่อสาร การระบุตำแหน่ง การติดตาม การแพทย์ และ เรดาห์ 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

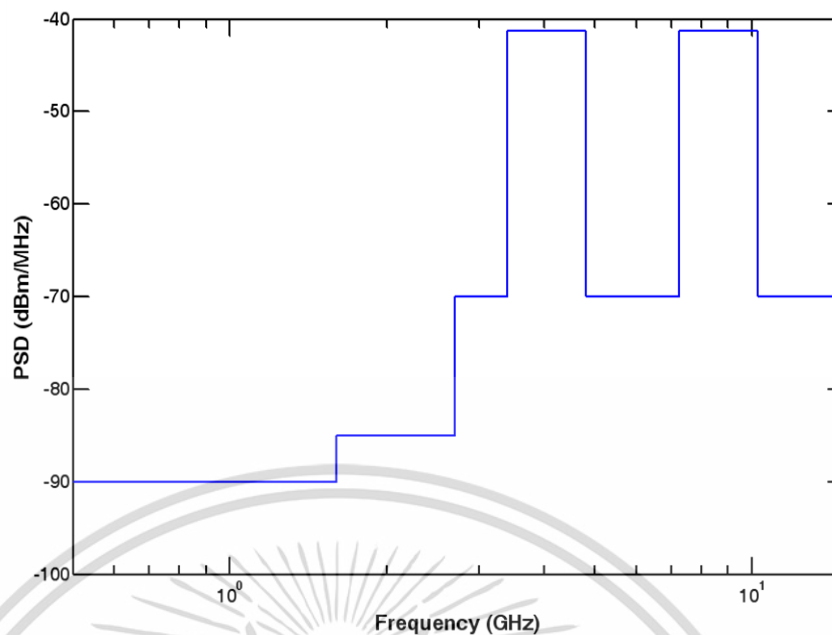


รูปที่ 1.1 แนวคิดการใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเทคโนโลยีแถบกว้างยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network; WBAN) ตามกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.15.6 [4] ที่กำหนดความหนาแน่นกำลังงานที่ใช้งานต่ำกว่า -10dBm โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเช่น การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การเก็บข้อมูลของผู้ป่วยผ่านระบบไร้สาย ซึ่งมีข้อดีกว่าแบบสายคือสามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในกรณีเร่งด่วนได้ และผู้ป่วยสามารถเคลื่อนไหวได้อิสระโดยปราศจากอุปสรรคจากสายนำสัญญาณของอุปกรณ์ทางการแพทย์ ซึ่งการนำเทคโนโลยีแถบกว้างจึงมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่ทำงานบนร่างกาย หรือใกล้กับร่างกายมนุษย์ จึงจำเป็นต้องใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณที่ต่ำมากเพื่อลดผลกระทบและอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อ ร่างกายของมนุษย์ ส่งผลให้เทคโนโลยีแถบกว้างจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านนี้ โดยสายอากาศที่ใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณจะต้องรองรับความถี่ที่กว้างมาก และมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเป็นโหนดบนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นในงานศึกษาวิจัยนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศที่ป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม (Coplanar Wave Guide; CPW) ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เพื่อประเมินผลกระทบคุณลักษณะของช่องสัญญาณร่วมกับร่างกายมนุษย์ และเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสายอากาศที่สร้างขึ้นกับสายอากาศที่จำลองขึ้นมา ในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ได้มีการเสนอการพัฒนาและออกแบบสายอากาศที่สามารถทำงานครอบคลุมในย่านความถี่ร่วม และประเมินคุณลักษณะของช่องสัญญาณของสายอากาศ ดังนั้นการศึกษาพิจารณาผลกระทบคุณลักษณะของช่องสัญญาณโดยการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยังเป็นสิ่งที่น่าสนใจเพื่อนำมาวิเคราะห์พัฒนา และปรับปรุงการนำไปประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบสายอากาศที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในสภาวะอวกาศว่าง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยพิจารณาและศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านที่ย่านความถี่ร่วม 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz และนำผลที่ได้จากการวัดทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ในการแผ่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนา การศึกษาวิจัยและประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 1.2 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [6]

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 ในงานวิจัยฉบับนี้เราจึงตั้งสมมติฐานโดยการออกแบบสายอากาศขนาดเล็กที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้งานในย่านแถบความถี่สูงตามข้อกำหนดของ MIC ช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz และย่านแถบความถี่ร่วมในช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของสายอากาศ รวมทั้งประเมินช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร เนื่องจากผลกระทบที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ การลดทอน และการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ดังนั้นประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งของสายอากาศจึงเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งหวังจำลองการออกแบบ การสร้าง และประเมินผลคุณสมบัติสายอากาศแบบไมโครสตริปขนาดเล็กที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยใช้จุดป้อนด้วยสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม โดยทำการปรับขนาดของร่องและขนาดของสตัปเพื่อให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้น และครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการ โดยได้นำสายอากาศต้นแบบมาทำการทดลองวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศ และหาประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบและสร้างสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีจุดป้อนสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบสายอากาศให้มีขนาดเล็กมีโครงสร้างอย่างง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถใช้งานครอบคลุมตามย่านความถี่ที่ต้องการ โดยนำสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ได้ออกแบบมาทำการทดลองวัดเพื่อประเมินผลคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม โดยในขั้นตอนการทดลองใช้สายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ใช้ทดสอบเป็นสายอากาศส่ง ที่ติดตั้งอยู่บนแท่นหมุนภายในห้องไร้การสะท้อน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ประเมินผลและนำเสนอผลการทดลองที่ได้ในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม คุณสมบัติการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ค่าความผิดเพี้ยน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 ซึ่งกล่าวถึงบทนำจะประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและหลักการที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงประโยชน์การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งและข้อกำหนดแถบความถี่ร่วม

บทที่ 3 การวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 4 การออกแบบสายอากาศและแบบจำลองการทดลองวัดสายอากาศ และค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ

บทที่ 5 ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

โครงข่ายไร้สายใหม่และวิศวกรรมสายอากาศ

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้พัฒนามาจากระบบตรวจจับหรือเครื่องมือทางการทหาร [5] โดยเทคโนโลยีนี้สามารถส่งผ่านทะลุผ่านกำแพงได้ ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์เพื่อรองรับการขยายตัวของระบบสารสนเทศที่ต้องการเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลที่มีจำนวนมากขึ้นทั้ง ภาพ เสียง และข้อมูลต่าง ๆ เช่นการเชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการใช้งานเริ่มมีสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัย (Home networks) โครงข่ายภายในอาคาร และโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network ; WBAN) อาทิเช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอ วิดีโอโปรเจคเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์นั้นได้แก่ การบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองแบบไร้สาย การบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ การบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ และติดตามแนวความคิดการดูแลสุขภาพอื่น 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] ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานแสดงตามรูปที่ 2.1

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 ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นและเริ่มตีพิมพ์เอกสารเกี่ยวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับทางการแพทย์ในการรับ-ส่งข้อมูล [7]

ข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นครั้งแรกโดยข้อบังคับนี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา

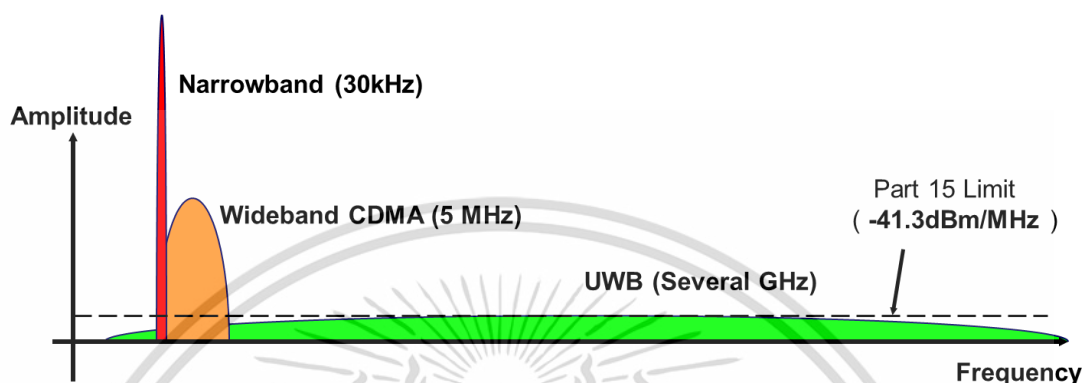
2.1.1 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

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

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

โดยที่ C คือค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุด (bit/s) Bw คือแบนด์วิดท์ของสัญญาณ (Hz) S คือระดับกำลังงานของสัญญาณ (W) และ N คือระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวน (W) เนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงและใช้กำลังงานในการส่งต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 1 มิลลิวัตต์ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ (Narrowband)



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังงานระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ [10]

2.1.2 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในปัจจุบันการสื่อสารมีความต้องการส่งข้อมูลในปริมาณมากที่เพิ่มมากขึ้นทุกวัน ซึ่งเป็นจุดสำคัญของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมาก ซึ่งการสื่อสารแบบแถบกว้างเป็นระบบที่มีจุดเด่นและคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารต่าง ๆ

- ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นระบบที่เรียบง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

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

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Fading) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากด้วยเช่นกันซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง รวมทั้งความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่แคบมากเป็นผลทำให้มีความละเอียดในการแยกสัญญาณแต่ละวิถีได้มาก และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงน้อยกว่าระบบแถบแคบ

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งใช้สัญญาณพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั่นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอวกาศ (Global positioning system; GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแผ่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

2.2 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

การจัดสรรความถี่ในการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อให้มีการใช้ความถี่อย่างคุ้มค่าปลอดภัยไม่แทรกสอดทับซ้อนการใช้ความถี่ซึ่งกันและกันจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.2.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

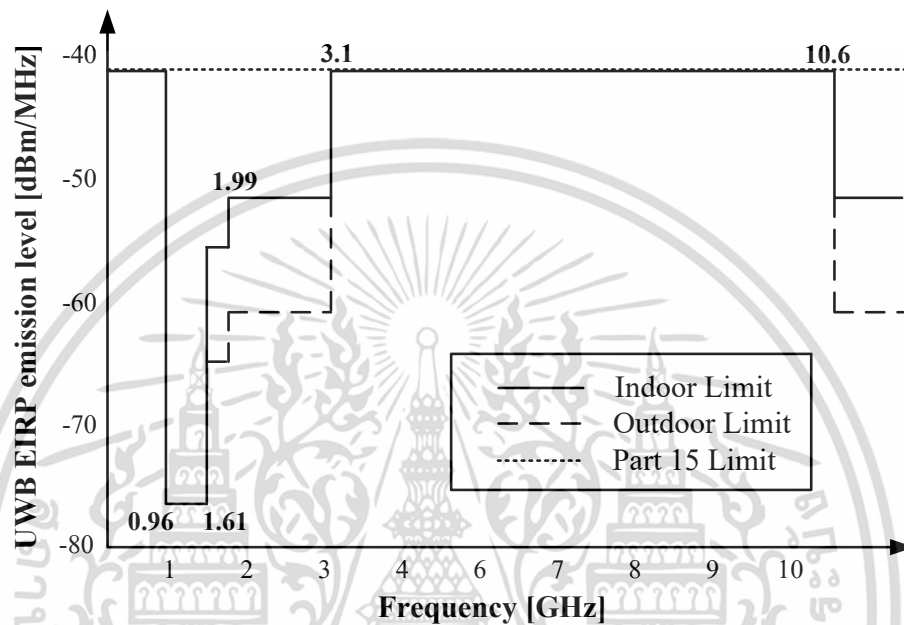
ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry; NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งสำหรับในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแผ่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง 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 และข้อจำกัดการแผ่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

$$B_{(f)} = \frac{BW}{f_c} \\ = \frac{f_H - f_L}{(f_H + f_L)/2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 2 \frac{(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.2)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในกลุ่มประเทศยุโรป

ในปัจจุบันนอกจากข้อกำหนดระดับแผ่กระจายกำลังงานที่ได้กำหนดโดย FCC ในระบบแถบกว้างยิ่งยังได้มีข้อกำหนดระดับแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดยสถาบันอื่นอีกนั้นคือที่กำหนดโดย ETSI ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในกลุ่มประเทศที่อยู่ในทวีปยุโรปโดยเริ่มแรกข้อกำหนดระดับแผ่กระจายกำลังงานสำหรับภายในอาคารและภายนอกอาคารมีช่วงแถบความถี่ใช้งานตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz เช่นเดียวกันกับ FCC แต่ช่วงความถี่อื่นจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นมีความชันลดลงมาตามล๊อคความถี่ดังแสดงในตารางที่ 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	$-61.3 + 87 \log\left(\frac{10.6}{f}\right)$

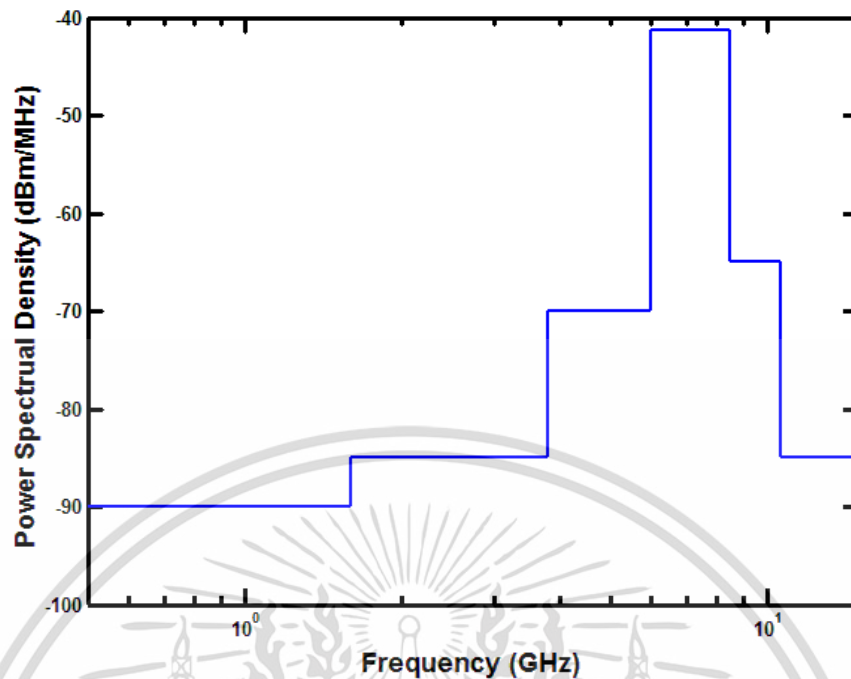
ซึ่งปัจจุบัน ETSI ได้ทำการแก้ไขข้อมูลกำหนดระดับการแผ่กระจายกำลังงานขึ้นมาใหม่ให้ความเข้มงวดที่มากขึ้น โดยที่ข้อกำหนดระดับการแผ่กระจายกำลังงานที่แผ่กระจายออกมาที่ได้แก้ไขใหม่กำหนดโดยเปลี่ยนให้ระบบแถบกว้างยิ่งอนุญาตให้ใช้ภายในอาคารเท่านั้น โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานลดลงเป็น 6 GHz ถึง 8.5 GHz ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และระดับการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้แก้ไขใหม่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำเพื่อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานแบบใหม่สำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย ETSI [2]

2.2.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น

ในประเทศญี่ปุ่นจะออกข้อกำหนดระดับความหนาแน่นกำลังงานที่แผ่กระจายออกมา เป็นข้อกำหนดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น โดยเป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารเท่านั้นโดยมีช่วงความถี่ใช้งานสองแถบคือแถบความถี่ต่ำตั้งแต่ 3.4 GHz ถึง 4.8 GHz และแถบความถี่สูงตั้งแต่ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และระดับความหนาแน่นกำลังงานแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

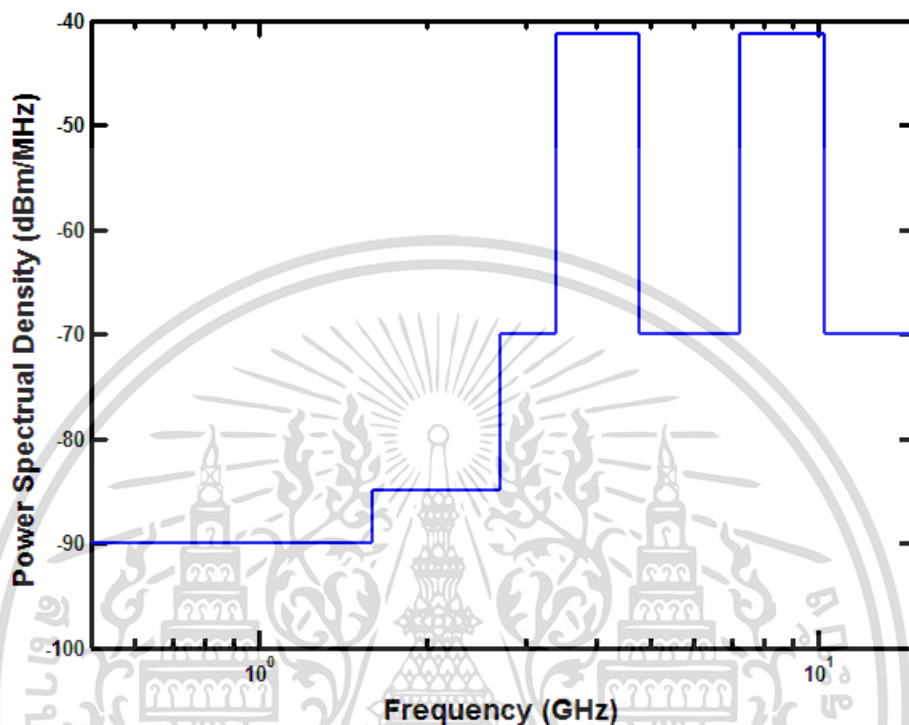
ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดโดย MIC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น [11]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

7.25-10.25	-41.3
มากกว่า 10.25	-70



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC [11]

2.2.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยั้งที่ใช้ร่วมกัน

ในปัจจุบันได้มีการร่วมมือกันระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่นโดยมีการกำหนดให้ใช้ข้อกำหนดระดับความหนาแน่นกำลังงานที่แผ่กระจายออกมา ร่วมกันโดยยึดให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC ETSI และ MIC ร่วมกัน เป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ ใช้ระบบแถบกว้างยั้งได้ภายในอาคารเท่านั้นซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานคือตั้งแต่ 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]

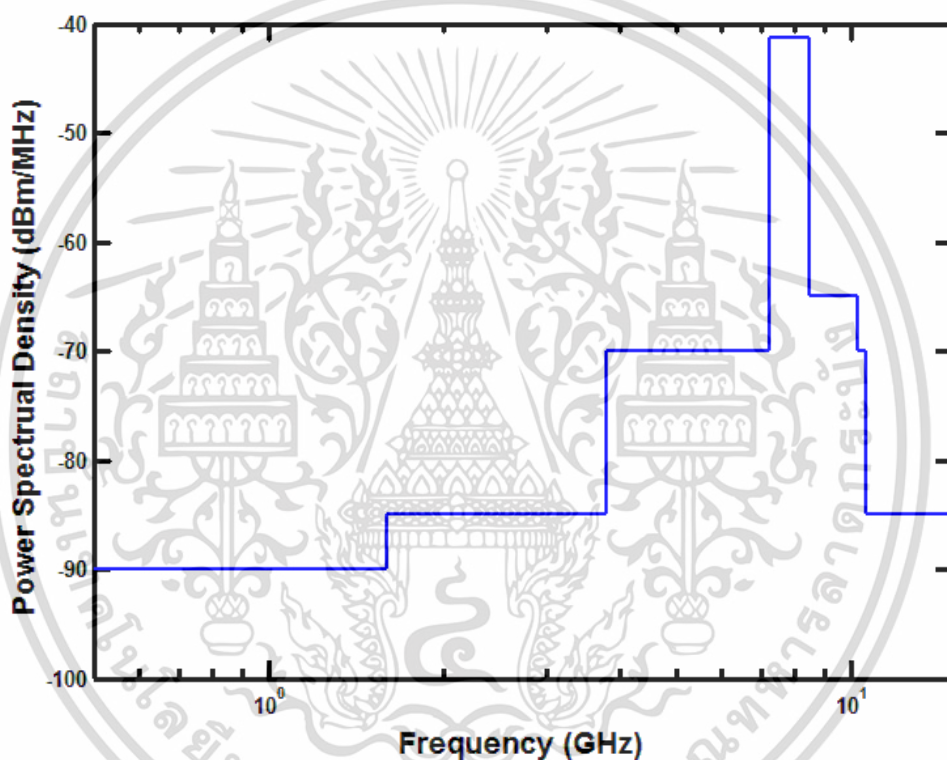
ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดในการแผ่กระจายกำลังงานที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น [12]

ช่วงความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

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



รูปที่ 2.6 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานสำหรับภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดร่วมกันโดย FCC ETSI และ MIC [12]

2.3 วิศวกรรมสายอากาศ

สายอากาศเป็นสิ่งสำคัญส่วนหนึ่งของระบบแถบกว้างยิ่งทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานกลับไปกลับมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างสายอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งบนร่างกายและมีขนาดเล็ก แต่ก่อนที่จะทำการสร้างสายอากาศสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือความเข้าใจกับทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศก่อน ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึง สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

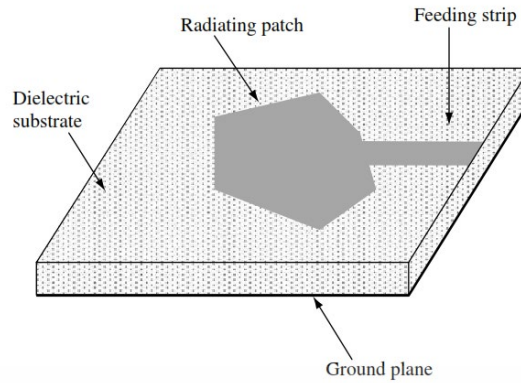
แผ่นแบบไมโครสตริป การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ สายส่งท่อนำคลื่นระนาบร่วม และ ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่สำคัญ

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

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

สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุฐานรองในสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีอยู่หลายชนิดในแต่ละชนิดนั้นมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (ϵ_r) โดยปกติมันจะอยู่ในช่วง $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ ในส่วนของความหนาของวัสดุฐานรองนั้นมีผลต่อการออกแบบสายอากาศเช่นกันโดยที่จะมีผลกับการแผ่พลังงานของสายอากาศเมื่อความหนาของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นการแผ่พลังงานของสายอากาศจะเพิ่มขึ้นจะกระทบถึงความหนาต่อความยาวคลื่นในอวกาศว่างมีค่าประมาณ 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



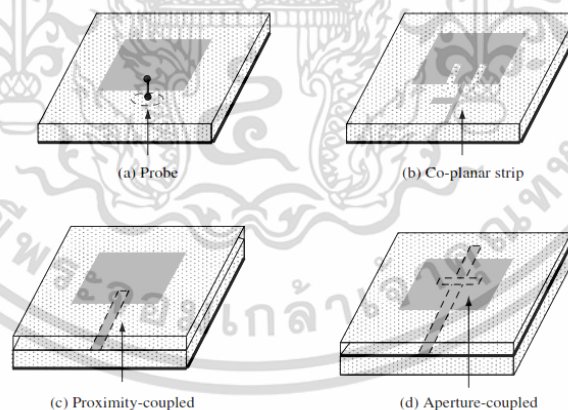
รูปที่ 2.8 รูปแบบแผ่นของสายอากาศไมโครสตริปรูปแบบต่าง ๆ [13]

2.3.2 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป

รูปแบบการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถป้อนได้หลายวิธี แต่มี 4 วิธีที่ใช้โดยทั่วไปซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ได้แก่การป้อนสัญญาณเข้าไปยังสายอากาศโดยใช้สายส่งไมโครสตริป (Microstrip line feed) เป็นการป้อนสัญญาณที่สามารถสร้างและวิเคราะห์ได้ง่ายโดยการป้อนสัญญาณเข้าไปที่ขอบของแผ่นไมโครสตริปสายส่งที่ใช้ป้อนสัญญาณทำจากแผ่นตัวนำเดียวกับแผ่นไมโครสตริปสายส่งไมโครสตริปจะมีความกว้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นไมโครสตริป การป้อนสัญญาณแบบนี้จะทำให้การสร้างและการแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้ง่ายโดยการควบคุมการวางตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการป้อนสัญญาณ การป้อนสัญญาณแบบนี้สามารถสร้างพร้อมกับแผ่นไมโครสตริปจึงทำให้ได้รับความนิยมน้อยอย่างมาก วิธีต่อมาคือการป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งแกนร่วมส่ง (Coaxial feed) เป็นการป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial) หรือหัวต่อ (Connector) สอดทะลุจากด้านหลังมายังแผ่นไมโครสตริป หรือบางครั้งเรียกว่าการป้อนสัญญาณแบบนี้ว่า การป้อนสัญญาณผ่านโพรบ (Probe feed) ในส่วนวิธีที่ 3 นั้นคือเป็นวิธีการป้อนสัญญาณโดยการเชื่อมต่อผ่านช่องเปิด (Aperture coupling feed) เป็นการป้อนสัญญาณที่ไม่ต้องสัมผัสกับแผ่นไมโครสตริปโดยใช้ช่องเปิดเป็นตัวเชื่อมต่อ ซึ่งมีแผ่นไมโครสตริปอยู่ด้านบนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกและมีระนาบสร้างเงาอยู่ที่ด้านล่าง และที่ระนาบสร้างเงานี้จะมีช่องเปิด (Slot) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ด้วย ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นไมโครสตริปกับสายส่งไมโครสตริป ช่องเปิดดังกล่าวนี้จะวางตัวอยู่ที่กึ่งกลางของแผ่นไมโครสตริป ส่วนสายส่งไมโครสตริปจะอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองอีกอันหนึ่งซึ่งจะไม่มีระนาบสร้างเงา ส่วนขนาดของช่องเปิดนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าแผ่นไมโครสตริปเพื่อไม่ให้ช่องเปิดเลื่อนไปเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ที่ต้องการ และวิธีสุดท้ายคือการป้อนสัญญาณโดยใช้วิธีการการเชื่อมต่อใกล้แผ่นไมโครสตริป (Proximity coupling feed) เป็นการป้อนสัญญาณเข้าสายอากาศโดยใช้สายส่งไมโครสตริประหว่างวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกทั้งสองตัว โดยวัสดุฐานรองส่วนด้านบนจะมีแผ่นไมโครสตริปติดอยู่ และมีระนาบสร้างเงาอยู่ที่ด้านล่าง การป้อนสัญญาณแบบนี้มีข้อดีที่ทำให้ความกว้างของแถบความถี่มากขึ้น ซึ่งการป้อนสัญญาณแบบนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะมีความกว้างของแถบความถี่สูงถึงประมาณร้อยละ 13



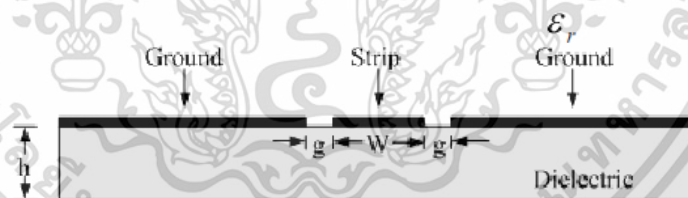
รูปที่ 2.9 การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปในรูปแบบต่าง ๆ [13]

2.3.3 สายส่งสัญญาณท่อนำคลื่นระนาบร่วม

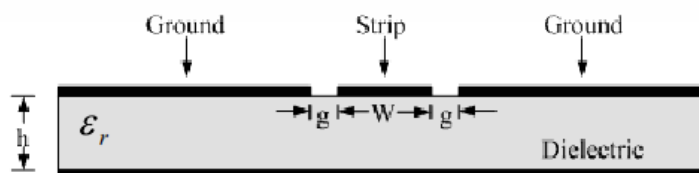
สายส่งสัญญาณท่อนำคลื่นระนาบร่วม (Coplanar waveguide; CPW) เป็นหนึ่งในสายส่งสัญญาณที่ถูกใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการออกแบบและการสร้าง และมีข้อได้เปรียบกว่าสายส่งไมโครสตริปเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัยที่ผ่านมา [14] สายส่งไมโครสตริปเป็นโครงสร้างที่เป็นระนาบดินอยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรองจึงประสบปัญหาทางด้านของ การบิดเบี้ยวของสัญญาณสูง และการสูญเสียสูงเพื่อลดปัญหาข้างต้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศโดยมีโครงสร้างระนาบร่วมที่มีระนาบดินอยู่ด้านบนของวัสดุฐานรอง

โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมแบ่งได้ 2 ชนิดได้แก่ โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่างและชนิดที่มีระนาบดินด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีกราวด์ด้านล่าง ซึ่งประกอบไปด้วยสายส่งสัญญาณอยู่ตรงกลางด้านบนของฐานรอง (Substrate) โดยมีความกว้างของสายส่งสัญญาณ คือ W ด้านข้างทั้งสองด้านของสายส่งสัญญาณมีลักษณะเป็นร่อง (slot) และระนาบดินตามลำดับมีความกว้างระหว่างสายส่งสัญญาณถึงระนาบดินคือ g และมีความสูงของฐานรองไดอิเล็กทริกคือ h ส่วนสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดมีระนาบดินด้านล่างแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งต่างกับชนิดแรกตรงที่จะมีระนาบดินทางด้านล่างของฐานรองไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นมาลักษณะการแผ่กระจายของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าบนสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมจะเป็นแบบ Quasi-TEM ข้อดีของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมคือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุได้ง่าย เนื่องจากไม่ต้องการเจาะรูผ่านฐานรองไดอิเล็กทริกเพื่อเชื่อมต่อระนาบดินให้กับอุปกรณ์เหล่านั้น สามารถนำมาต่อร่วมในวงจรเดียวกันกับไมโครสตริปได้ง่าย การบิดเบี้ยวของรูปสัญญาณ (Dispersion) และค่าความสูญเสีย (Losses) ต่ำกว่าการใช้ไมโครสตริปจากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นทำให้โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม เหมาะกับการทำเป็นวงจรรวมไมโครเวฟ



รูปที่ 2.10 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่าง [14]



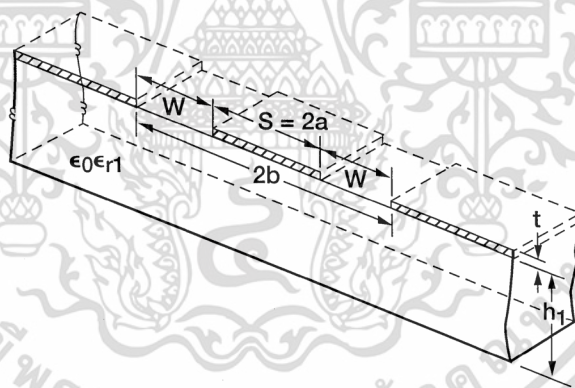
รูปที่ 2.11 โครงสร้างสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดมีระนาบดินด้านล่าง [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสายส่งสัญญาณแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วมชนิดไม่มีระนาบดินด้านล่างจะใช้การวิเคราะห์แบบ Quasi-static ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการส่งคงรูป (Conformal mapping) โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าความนำทางไฟฟ้าและความเหนี่ยวนำที่กระจายอยู่บนสายส่งสัญญาณซึ่งการวิเคราะห์แบบนี้สามารถหาค่าคุณลักษณะต่าง 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 $|S_{11}|$

ค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นค่าที่บอกถึงการสูญเสียที่จะเกิดขึ้นเมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่ง สัมพันธ์กับสายอากาศมีค่าไม่เท่ากันจึงทำให้การส่งกำลังไปยังสายอากาศไม่สามารถส่งได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้มีกำลังบางส่วนสะท้อนกลับเข้าไปในสายส่งแต่หากสายอากาศและสายส่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน นั้นก็แสดงว่าไม่มีกำลังสะท้อนกลับเข้าสายส่ง ค่าความสูญเสียย้อนกลับหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า $|S_{11}|$ ซึ่งโดยปกติจะบอกเป็นหน่วยเดซิเบล (dB) [16] และจะต้องมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งค่านี้เมื่อแปลงเป็น ค่า VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) จะมีค่าประมาณ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในระบบการ สื่อสารระยะสั้น โดยค่า VSWR เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไปยังสายอากาศ ยิ่งมีค่าน้อย ๆ ใกล้เคียงกับ 1 ยิ่งดีถ้ามากขึ้นแสดงว่ามีอัตราการสูญเสียที่สูง ค่าความสูญเสียย้อนกลับ และค่า VSWR มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ 2.14 และสมการที่ 2.15

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

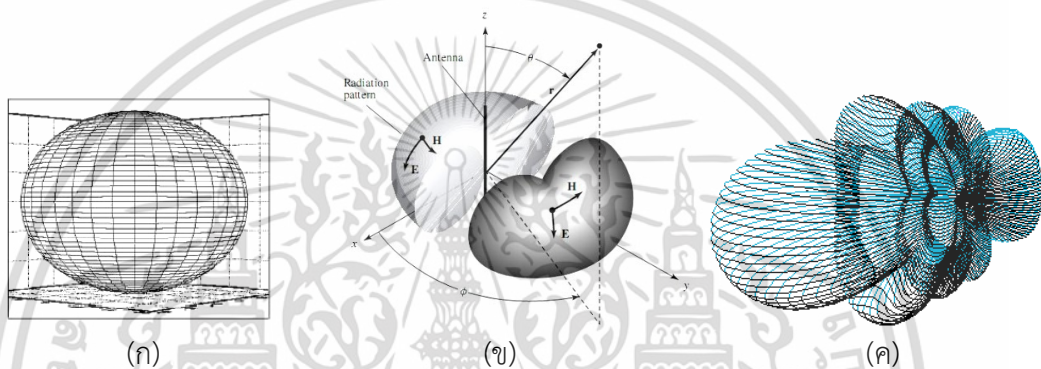
และ

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

2.3.6 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

สำหรับแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศนั้นมีความสำคัญเช่นกันโดยจะอาศัย คุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ตามพิกัดตำแหน่งในการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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

เพื่อใช้วัดเทียบประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศต่าง ๆ ส่วนการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางระนาบเดียวนั้นเป็นลักษณะของการแผ่กระจายคลื่นที่มีกำลังสูงสุดที่เท่ากันแค่ระนาบเดียวและการแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทางซึ่งเป็นการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางเดียวจะคล้ายกับการส่องของไฟฉายและจะมีกำลังสูงสุดในทิศทางเดียวเช่นกัน การพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมี 3 ระบะนั้นคือ 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	$r < \frac{\lambda}{2\pi}$	$r < \frac{\lambda}{2\pi}$	$r < \frac{\lambda}{2\pi}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

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 $\frac{2D^2}{\lambda}$	$r > \frac{2D^2}{\lambda}$

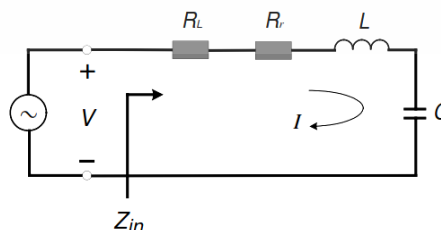
2.3.7 อัตราการขยายของสายอากาศ และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

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

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

ในส่วนของอัตราการขยายของสายอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสภาพเจาะจงทิศทางและประสิทธิภาพการแผ่พลังงาน (e_{rad}) ของสายอากาศซึ่งค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานหาได้จากวงจรสมมูลของสายอากาศดังแสดงดังรูปที่ 2.14 เนื่องจากค่าประสิทธิภาพการแผ่พลังงานจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกำลังงานความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไปกับกำลังงานความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไปและกำลังงานความต้านทานที่โหลดจะได้สมการที่ 2.17 โดย R_r คือความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไปและ R_L คือความต้านทานที่โหลด

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



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการขยายของสายอากาศที่มีความสัมพันธ์กับค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดและประสิทธิภาพการแผ่พลังงานแสดงดังสมการที่ 2.18

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

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายบทความได้เสนอแนวคิดเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการสร้างสายอากาศที่เหมาะสมในการเอาไปใช้งานให้ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ต้องการ และตรวจสอบการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุแถบความถี่กว้างสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ที่มีต่อสายอากาศดังนี้

ได้มีการรวบรวมผลกระทบและรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนดกรอบของระบบแถบกว้างยั้งที่ใช้งานทั่วโลก 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 [12]

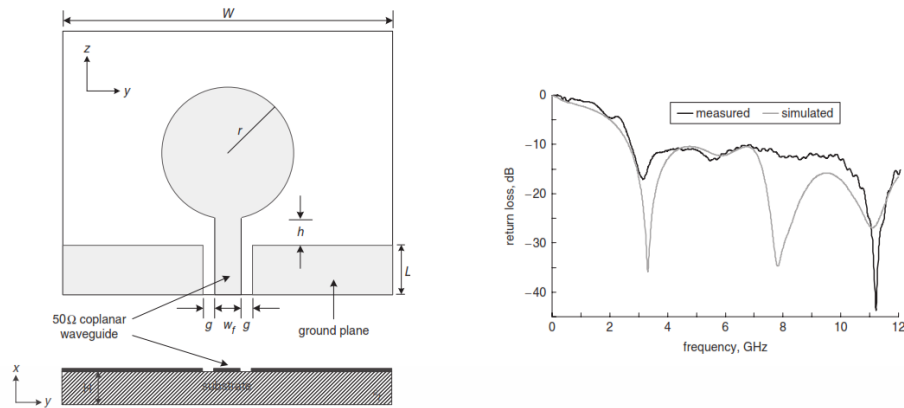
Frequency Range	Maximum Mean EIRP Density	Maximum Peak EIRP Density
7.25 – 8.5 GHz	-41.3 dBm/MHz	0 dBm/50 MHz
*The lower limit (7.25 GHz) is given by Japan's proposal; the upper limit (8.5 GHz) by Europe's ECC decision.		

สำหรับ J. Liang และคณะ ได้มีการนำเสนอการศึกษาสายอากาศแบบโมโนโพลรูปแบบวงกลมป้อนโดยท่อนำคลื่นระนาบร่วม [17] สำหรับใช้ในระบบแถบกว้างยั้ง 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

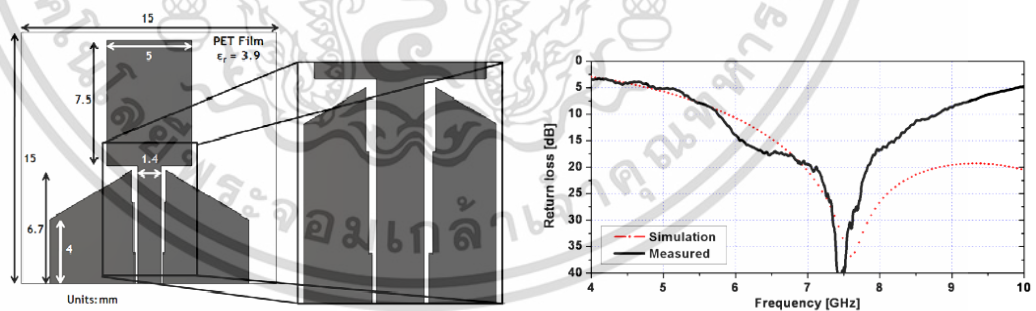
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม และการสูญเสียย้อนกลับ [17]

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 โดยโครงสร้างของสายอากาศ และการสูญเสียย้อนกลับแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของสายอากาศแถบความถี่สูง และการสูญเสียย้อนกลับ [17]

บทความเรื่องความก้าวหน้าในปัจจุบันของการศึกษาการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุแถบความถี่กว้าง สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Recent Progress of Ultra Wideband Radio Propagation Studies for Body Area Network) [19] ได้เสนอโดย Takehiko Kobayashi บทความนี้เสนอความก้าวหน้าการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุแถบความถี่กว้าง (Ultra wideband :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นต่อเนื่อง (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) พารามิเตอร์ในรูปแบบการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายคลื่นเดิมนี้ได้ออกมาจากข้อมูลการวัด ค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และขึ้นอยู่กับ ขนาดห้อง และส่วนของร่างกาย การพิจารณาปรับแต่งรูปแบบผลกระทบจากขนาดห้องที่ได้นำเสนอสำหรับในแต่ละส่วนของร่างกาย กลไกการแพร่กระจายที่ต่างกัน ได้อธิบายที่มาพร้อมกับพารามิเตอร์ และการแผ่ประวิงอีกด้วย

2.5 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งจะประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งรวมถึงข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในกลุ่มประเทศต่าง ๆ ได้แก่ คณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) สถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมของกลุ่มประเทศในยุโรป (The European Telecommunications Standards Institute; ETSI) และมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (Ministry of Internal Affairs and Communication; MIC) ในส่วนถัดมาจะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการสายอากาศ ไมโครสตริป และค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และในส่วนสุดท้ายเป็นการกล่าวตัวอย่างบทความงานวิจัยด้านวิศวกรรมสายอากาศที่ผ่านมา

บทที่ 3

การวิเคราะห์ฟังก์ชันการถ่ายโอนสายอากาศ

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ได้อธิบายถึงหลักการ และทฤษฎีพื้นฐานของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบ แลกกว้างยิ่งสำหรับระบบสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคารตามข้อกำหนดแถบความถี่รวมเพื่อนำมา ประเมินหาผลกระทบของสายอากาศที่มีต่อช่องสัญญาณส่งผ่าน โดยใช้หลักการสูตรส่งผ่านของ ฟรีส (Friis' transmission formula) มาพิจารณาเป็นหลักรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุแบบแลกเปลี่ยนยิ่ง อย่างเช่น ผลการ กระจายทางเวลา ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ และ เวลาการมาถึงของสัญญาณซึ่งหลักการและทฤษฎี พื้นฐานทั้งหมดนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาและประเมินช่องสัญญาณการแผ่กระจาย วิทยุแบบแลกเปลี่ยนยิ่ง

การสื่อสารวิทยุแบบแลกเปลี่ยนยิ่งเป็นการสื่อสารไร้สายที่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบใน ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างไป จากเดิม ระดับของกำลังงาน แม้กระทั่งเวลาประวิงที่เกิดขึ้นซึ่งค่าเหล่านี้มีความสำคัญที่ต้องนำมา วิเคราะห์ช่องสัญญาณของระบบการสื่อสาร โดยที่เมื่อระบบทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยัง ภาครับสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือช่องสัญญาณจะส่งผลกระทบดังที่กล่าวไว้จึงจำเป็นต้องทำการ ตรวจสอบทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดนั้นจำเป็นต้องนำมา วิเคราะห์ตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ที่ นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองวัดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังนี้

3.2 การวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแบบแลกเปลี่ยน

ในระบบสื่อสารไร้สายโดยทั่วไปสัญญาณที่ต้องการส่งจะถูกป้อนไปยังสายอากาศเพื่อที่จะ แปลงจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อคลื่นสัญญาณผ่านอากาศมาถึงภาครับ สายอากาศก็จะทำหน้าที่แปลงจากสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกด้วยในการส่ง คลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้นมักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) ซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูก ส่งออกมา โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกกันโดยทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission equation) [21] ได้แสดงตามสมการที่ 3.1 สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสนี้ได้ถูก นำมาใช้อย่างกว้างขวางและสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา (Line of sight) อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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 อัตราขยายของสัญญาณด้านส่ง ในหน่วยเดซิเบล

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

โดยที่ $G_f(f)$ คืออัตราขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่างหรือทิศทางที่มองเห็น (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

และสำหรับกรณีไอโซทรอปิก (Isotropic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สามารถคำนวณหาฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างได้จากสมการที่ 3.5

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

โดยเมื่อ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

3.3 สัญญาณการส่งผ่าน

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)

เมื่อทราบฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณและสัญญาณที่ใส่ส่ง สัญญาณด้านรับสามารถเขียนได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีที่ใช้งานสายอากาศไอโซโทรปิกทั้งภาคส่งและภาครับ

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

3.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่ได้รับได้โดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงดังนิยามตามสมการที่ 3.18 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่ได้รับ ด้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่างอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่ได้รับได้แสดงให้เห็นตามสมการที่ 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 สัญญาณที่ได้รับ

3.5 สรุป

หลักการวิเคราะห์และประเมินผลของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ และการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ทฤษฎีสู่การส่งผ่านสัญญาณของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟรีสเพื่อพิจารณาในโดเมนของเวลา สำหรับการประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้าง
ยิ่ง ในแบบรูปโพลาร์พล็อตของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

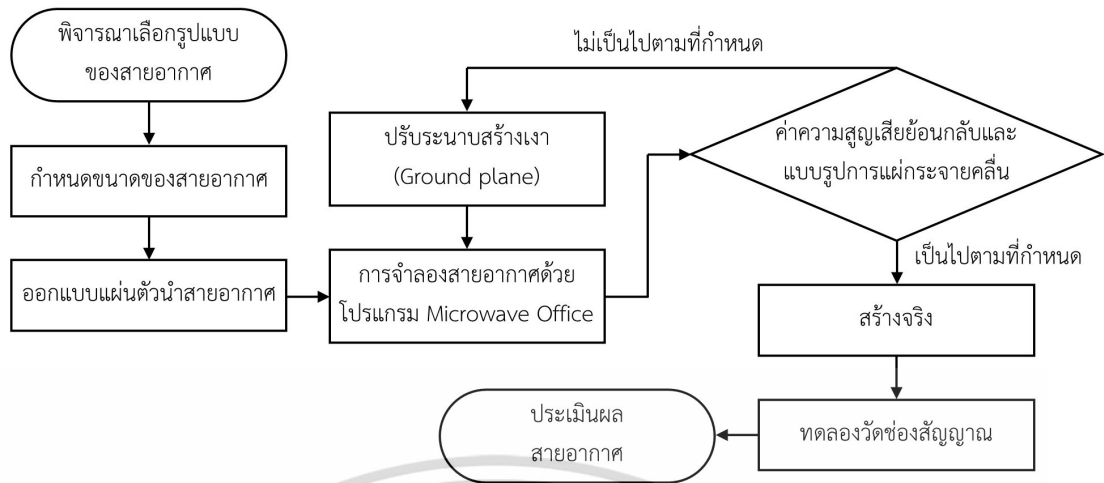
การออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมแถบกว้าง

4.1 กล่าวนำ

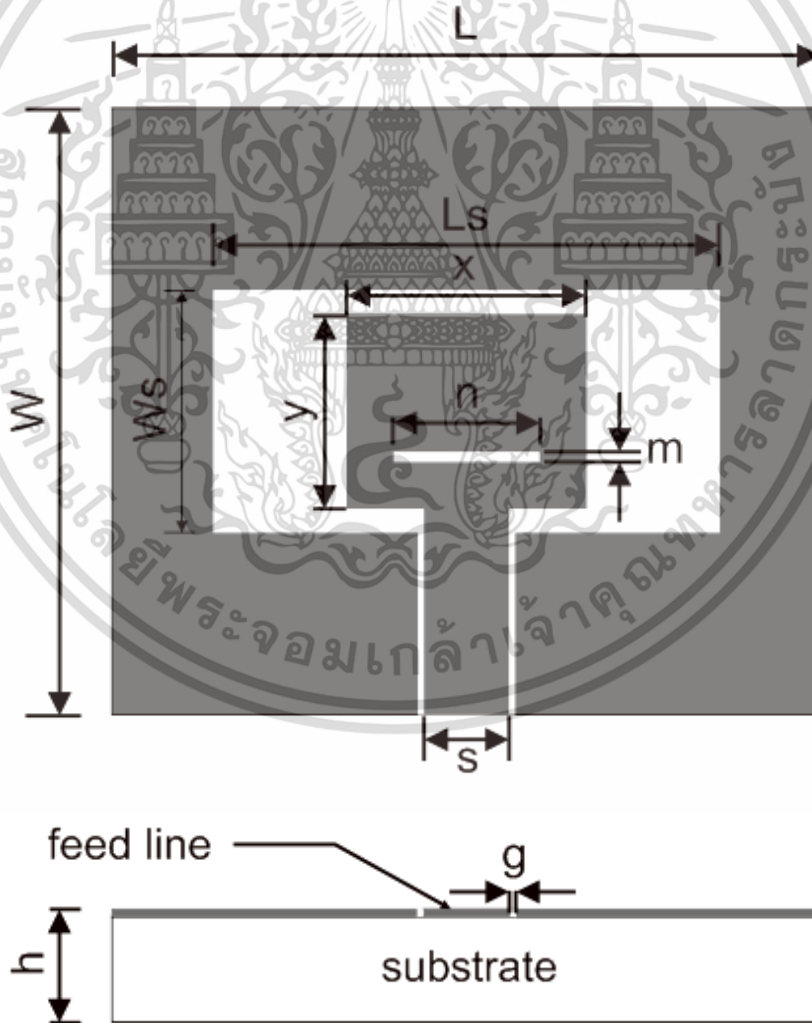
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในย่านความถี่สูงตามข้อกำหนดของ MIC และในย่านความถี่ร่วมที่กำหนดโดย FCC ETSI และ MIC และทดลองวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยวัดภายในห้องไร้การสะท้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบสายอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับติดตั้งบนร่างกายมนุษย์ และทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารตามข้อกำหนดของความถี่ร่วม

4.2 การออกแบบสายอากาศ

การออกแบบสายอากาศให้มีความเหมาะสมสำหรับติดตั้งและใช้งานบนร่างกายต้องคำนึงถึงขนาดทางกายภาพของสายอากาศที่สามารถติดตั้งบนร่างกายมนุษย์และมีคุณลักษณะของสายอากาศอย่างเช่นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า -10 dB ให้สามารถครอบคลุมในย่านความถี่ที่กำหนดใช้งานและคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศให้เป็นตามจุดประสงค์ของการนำไปใช้งานเป็นต้น โดยขั้นตอนการออกแบบจะพิจารณาจากรูปแบบโครงสร้างของสายอากาศเนื่องจากสายอากาศจะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานบนร่างกาย โดยที่สายอากาศมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป และทำการออกแบบโดยกำหนดขนาดของสายอากาศและคำนวณสายส่งสัญญาณรวมที่มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม จากนั้นเลือกแผ่นตัวนำรูปสี่เหลี่ยมเนื่องจากมีโครงสร้างที่เรียบง่าย หลังจากออกแบบสายอากาศที่เหมาะสมแล้ว ทำการจำลองเพื่อหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรมการจำลองไมโครเวฟออฟฟิศ [24] โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศที่ได้ออกแบบสร้างสายอากาศในโปรแกรมจำลองสายอากาศอีกครั้ง เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศให้เหมาะสมในการจำลองเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น ก่อนที่จะนำไปสร้างสายอากาศ โดยกระบวนการการออกแบบสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบสายอากาศ



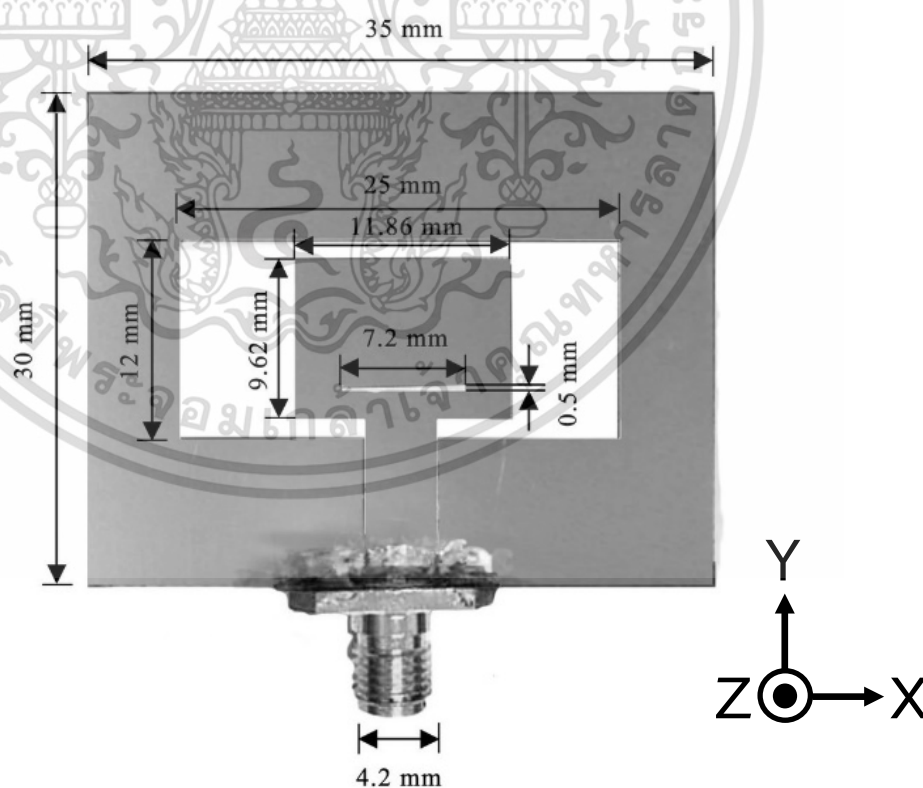
รูปที่ 4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 สำหรับผลการจำลองและทดสอบสายอากาศจะกล่าวไว้ในบทถัดไป

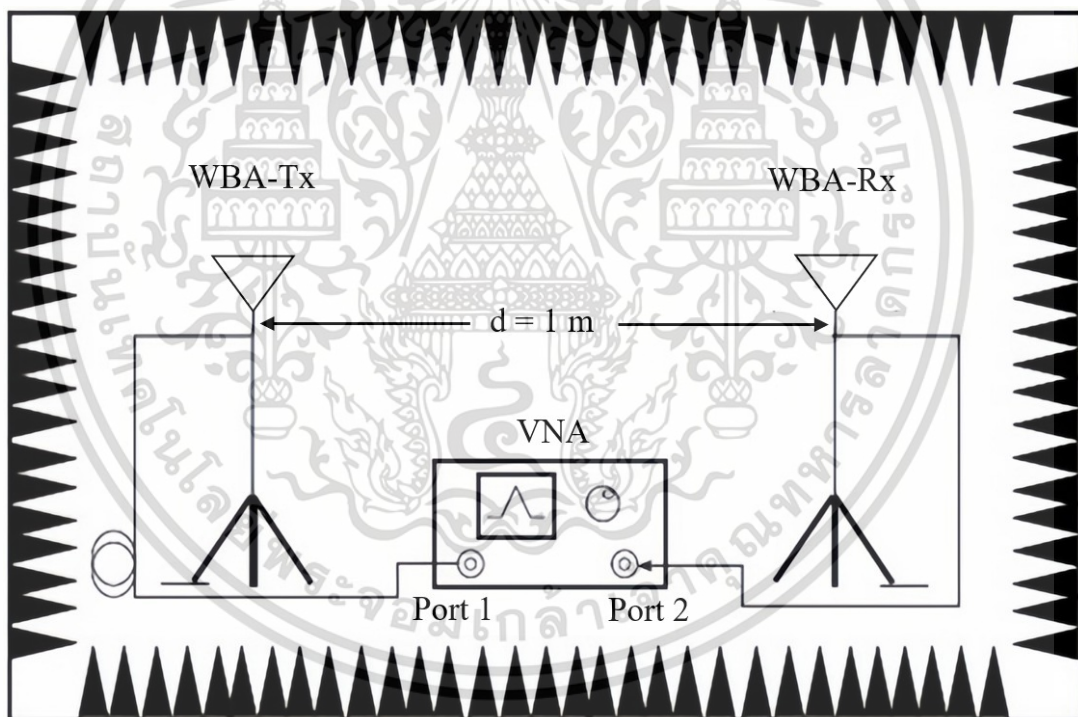


รูปที่ 4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ได้สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แบบแผนการทดลองวัดของระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุ

โดยการทดลองวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศสำหรับงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย 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 โดยในการทดลองได้ทำการวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) และพอร์ตสองใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) ที่ถูกส่งมาจากพอร์ตที่หนึ่ง โดยที่ปลายสายนำสัญญาณของพอร์ตทั้งสองจะถูกเชื่อมต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดเพื่อหาคุณสมบัติของสายอากาศในช่วงความถี่ก่อนที่จะนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

แสดงแบบจำลองการวัดหาคุณลักษณะของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม เพื่อนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่เป็นที่สนใจในปัจจุบันนี้ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ ปรับปรุงและพัฒนาาระบบแบบแถบกว้างยิ่งให้ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไร้สายและเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้ออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมแถบกว้างด้วยโครงสร้างไมโครสตริปที่เรียบง่าย และมีขนาดเหมาะสมในการที่จะนำไปประยุกต์เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ติดตั้งใช้งานบนร่างกายควรมีค่าถึงขนาดที่สามารถติดตั้งบนร่างกายมนุษย์และมีคุณลักษณะของสายอากาศที่ดี โดยขั้นตอนการออกแบบขั้นแรกให้พิจารณาจากลักษณะรูปร่างของสายอากาศเนื่องจากสายอากาศจะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานบนร่างกายมนุษย์ โดยได้พิจารณาเลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปเนื่องจากมีคุณลักษณะเป็นแผ่นบางและติดตั้งได้ง่าย ในการทดลองวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศสำหรับงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรโครงข่ายแบบเวกเตอร์ ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย และเครื่องวิเคราะห์ความถี่แบบเวกเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการวัดและประเมินผล

5.1 กล่าวนำ

สำหรับบทนี้ได้แสดงผลการจำลองของสายอากาศด้วยการเลียนแบบโปรแกรมไมโครเวฟ และผลการทดลองวัดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีท่อนำคลื่นแบบระนาบร่วมโดยแสดงผลที่ได้จากการตัดแปลงขนาดของสตัปและขนาดของร่องสี่เหลี่ยมที่มีผลต่อค่าการสูญเสียย้อนกลับเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดของสตัปและขนาดของร่องสี่เหลี่ยม ในส่วนถัดไปจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองวัดสายอากาศช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งตามแบบจำลองการวัดที่ได้กล่าวจากบทที่ผ่านมา โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างเช่น พารามิเตอร์ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่มีการปรับขนาดความกว้างและความยาวของร่องสี่เหลี่ยมและการปรับขนาดความกว้างและความยาวของสตัป ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับจากการปรับขนาดของร่องสี่เหลี่ยม ค่าอัตราขยายของสายอากาศ การส่งผ่านสัญญาณ และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

5.2 ผลการวัดและการวิเคราะห์สายอากาศ

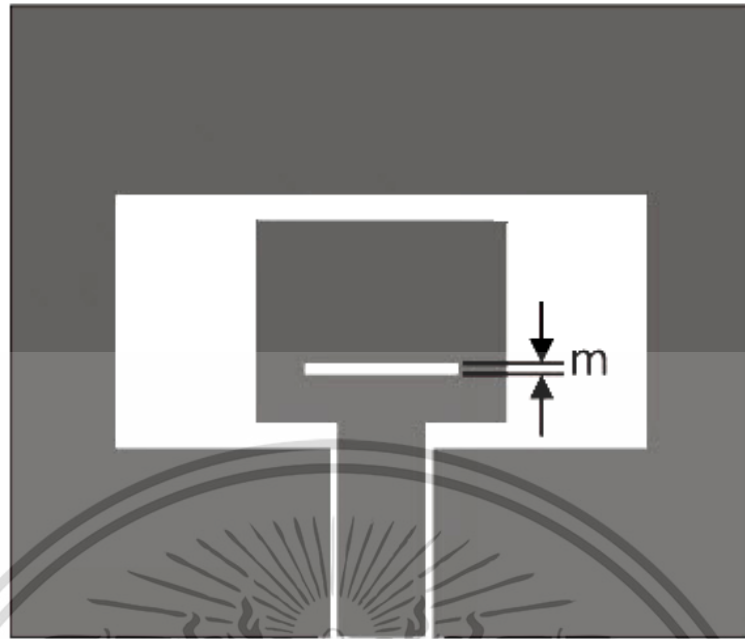
5.2.1 ผลการจำลองสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

ในการออกแบบจำลองสายอากาศจะถูกออกแบบและจำลองการสร้างสายอากาศด้วยการเลียนแบบโปรแกรมไมโครเวฟซึ่งสามารถที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ป้อนโดยสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม จากการคำนวณและหาค่าที่เหมาะสมเพื่อนำมาสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยในโปรแกรมจำลองสายอากาศสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศได้เช่น ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ อัตราขยายของสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นต้น ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถแสดงถึงผลที่เกิดขึ้น ดังนี้

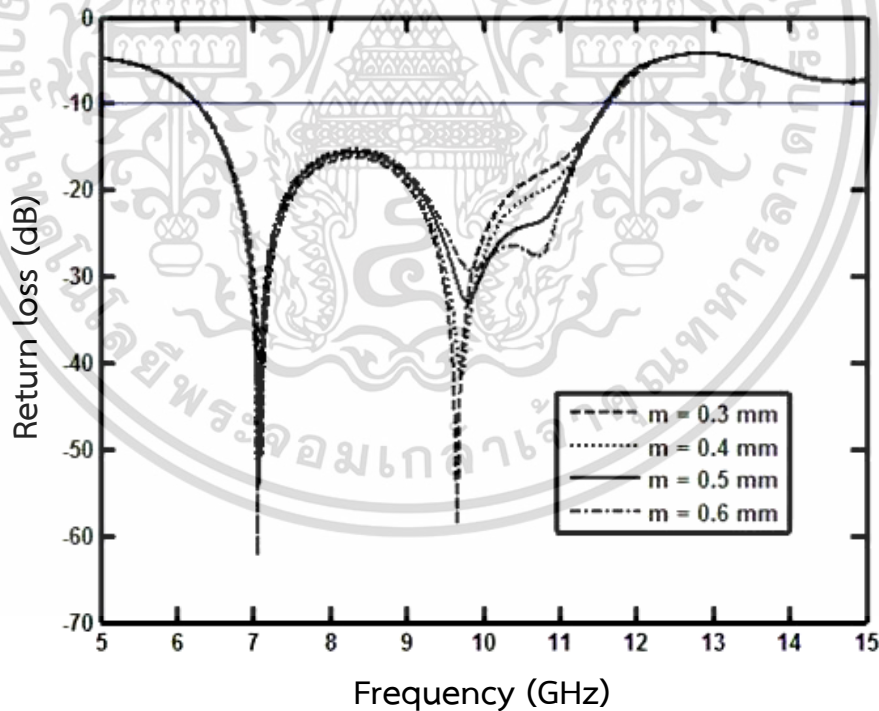
5.2.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองปรับขนาดของสตัปจำนวนแปดครั้งและขนาดของร่องสี่เหลี่ยมอีกแปดครั้ง โดยครั้งแรกปรับขนาดความสูงของร่องสี่เหลี่ยม และตามด้วยการปรับขนาดความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นปรับขนาดความกว้างของสตัป ตามด้วยความยาวของสตัปตามลำดับ จากการปรับขนาดของร่องสี่เหลี่ยมและสตัปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้นดังการแสดงผลในรูปที่ 5.1 ถึง 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

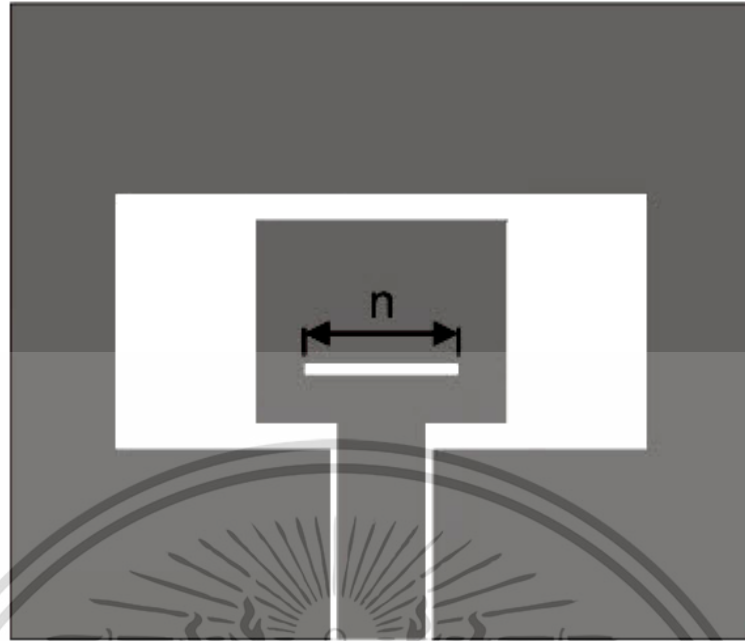


รูปที่ 5.1 ขนาดความสูงของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศ

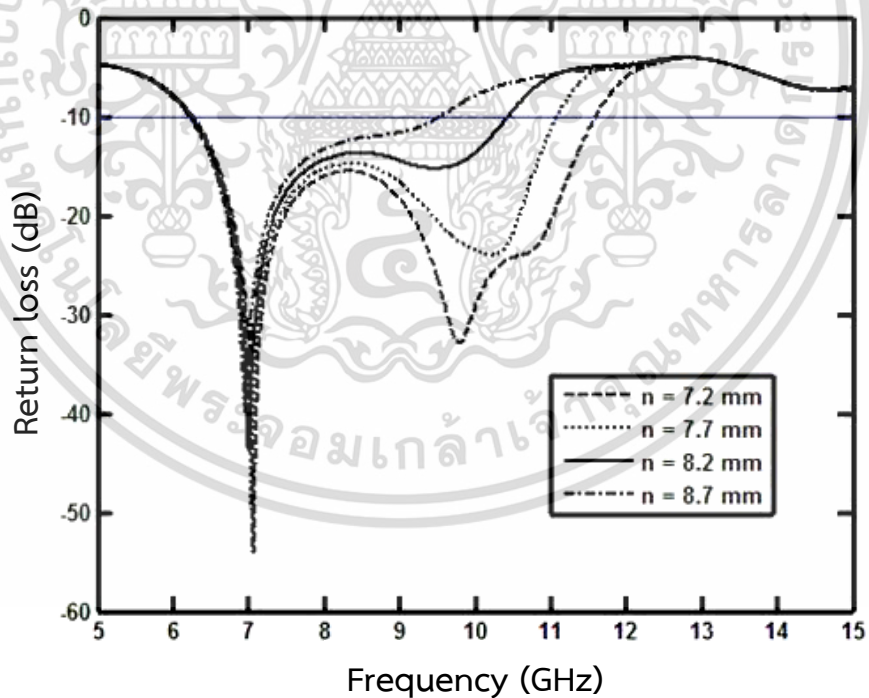


รูปที่ 5.2 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความสูงของร่องสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

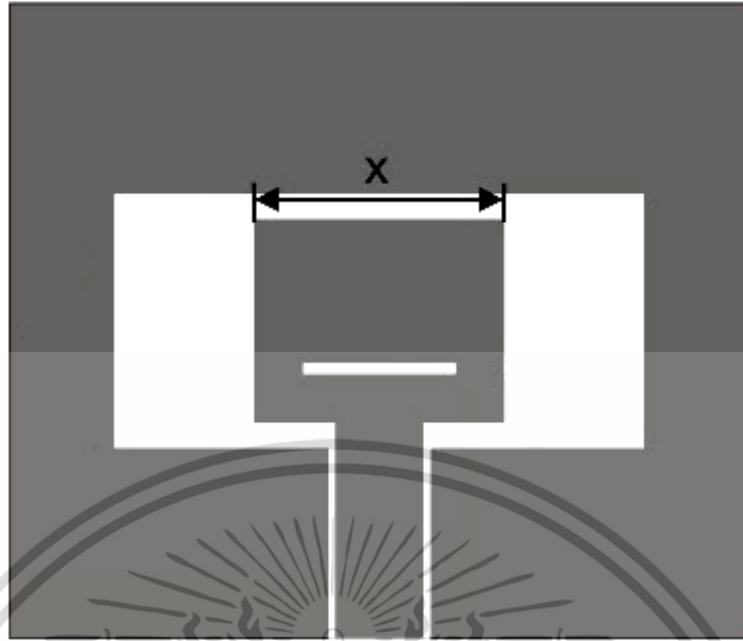


รูปที่ 5.3 การปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยมของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

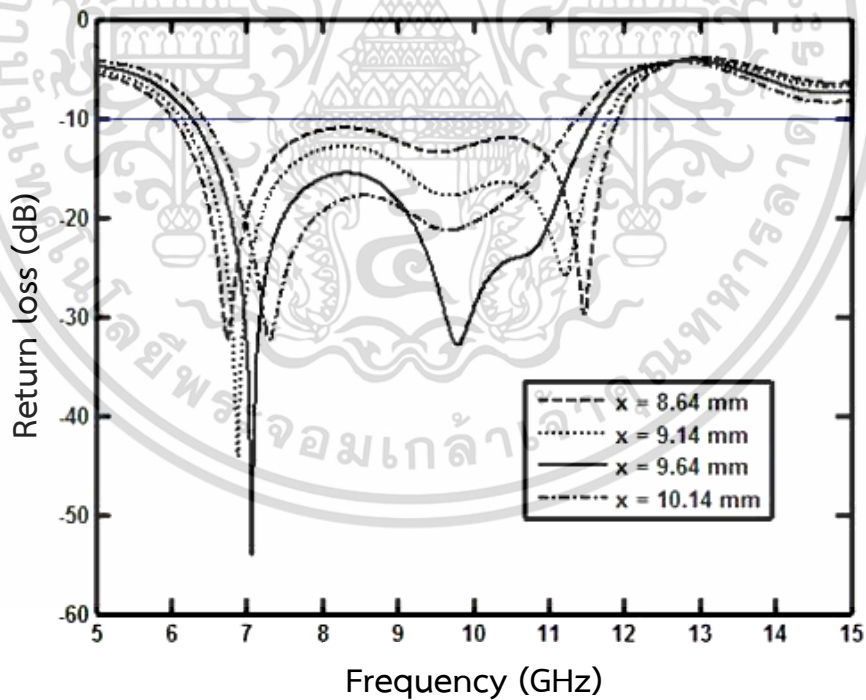


รูปที่ 5.4 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

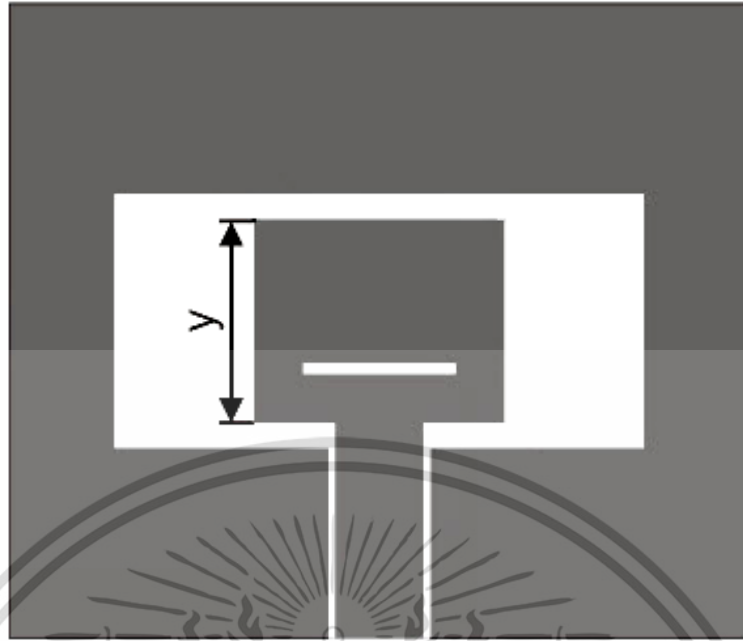


รูปที่ 5.5 การปรับความกว้างของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

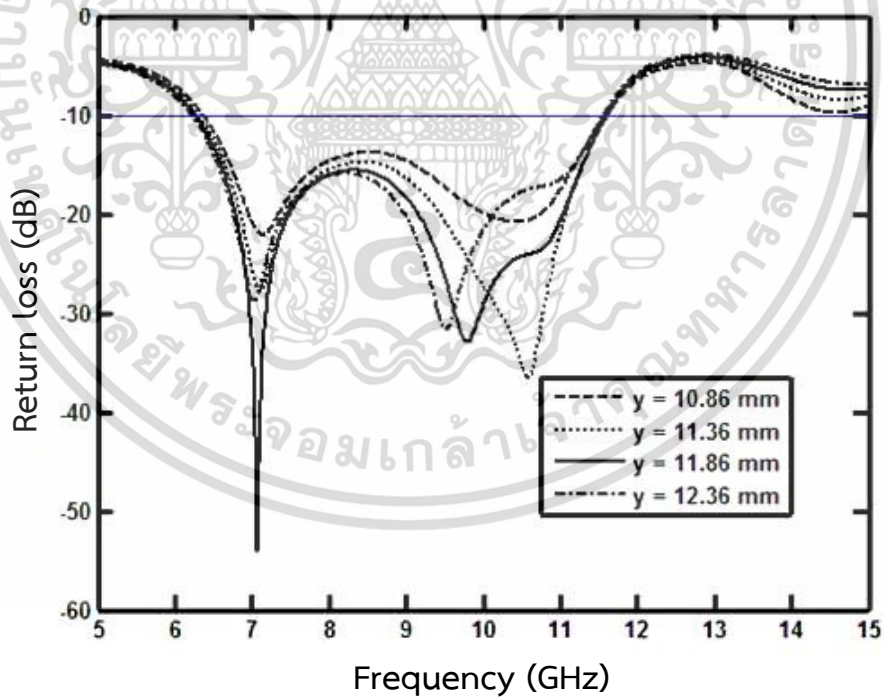


รูปที่ 5.6 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความกว้างของสตัป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 การปรับความยาวของสตัปของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

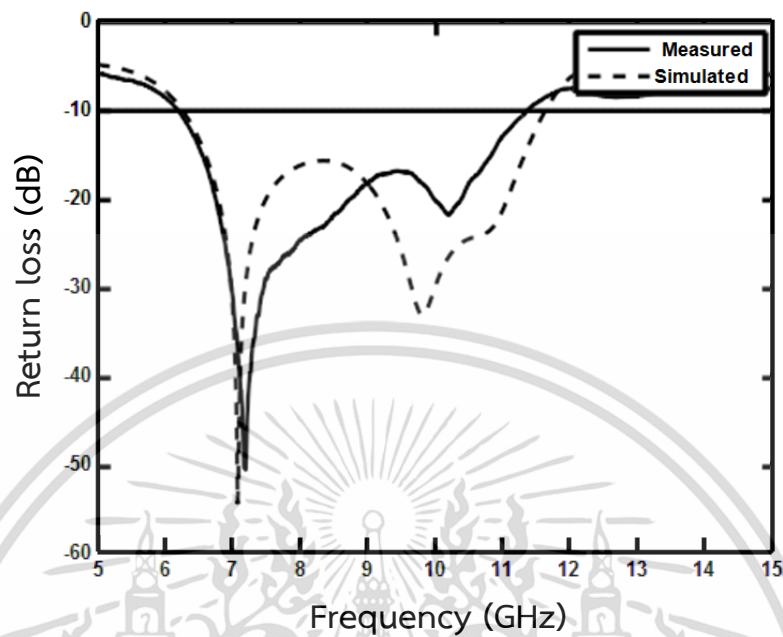


รูปที่ 5.8 ผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของการปรับความยาวของสตัป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

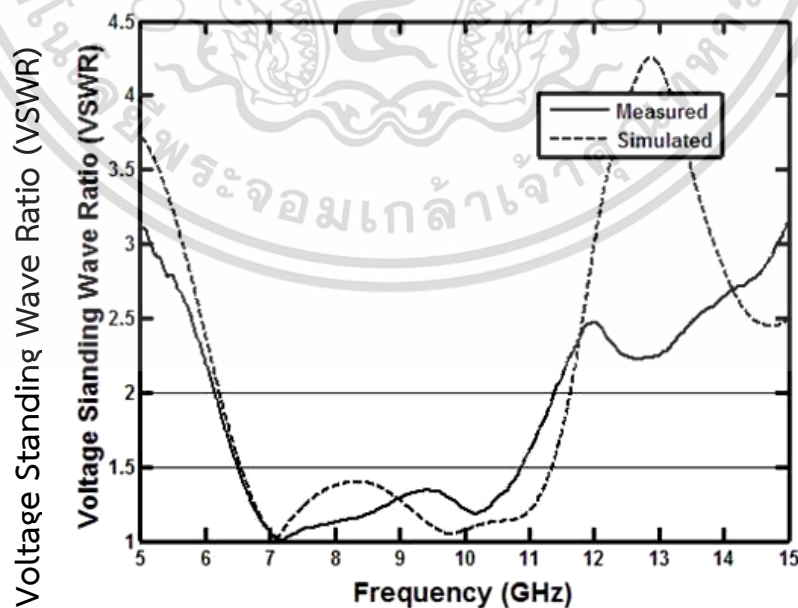
5.2.2 ผลการทดลองวัดสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

5.2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11})



รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบผลค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมในการวัด เทียบกับการจำลองสายอากาศของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

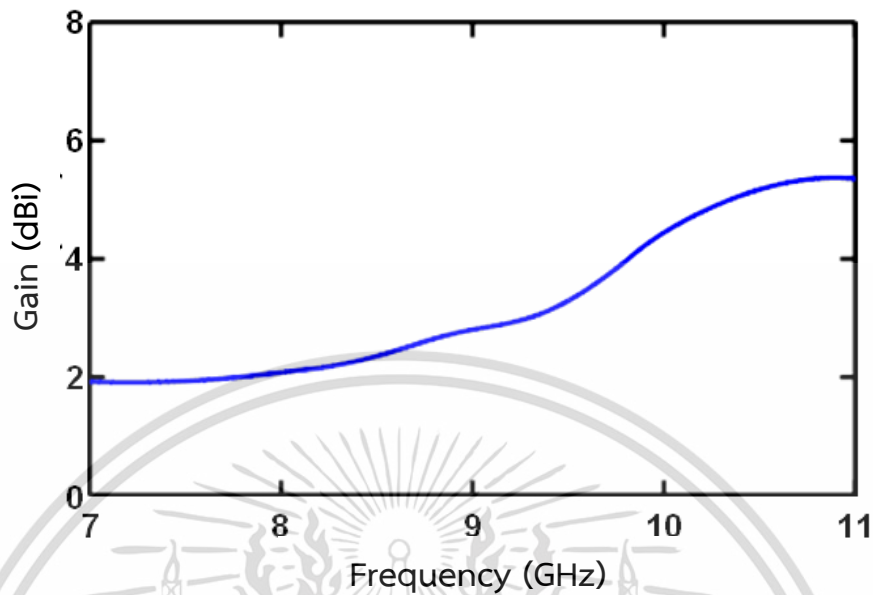
5.2.2.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.10 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

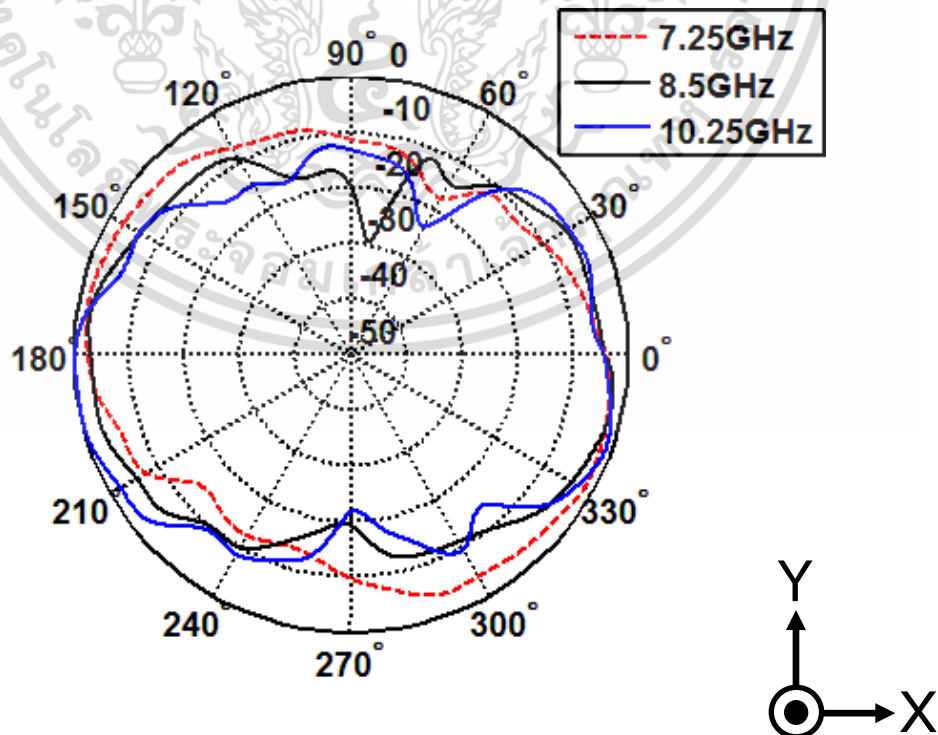
5.2.2.3 อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.11 อัตราขยายของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

5.2.2.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม

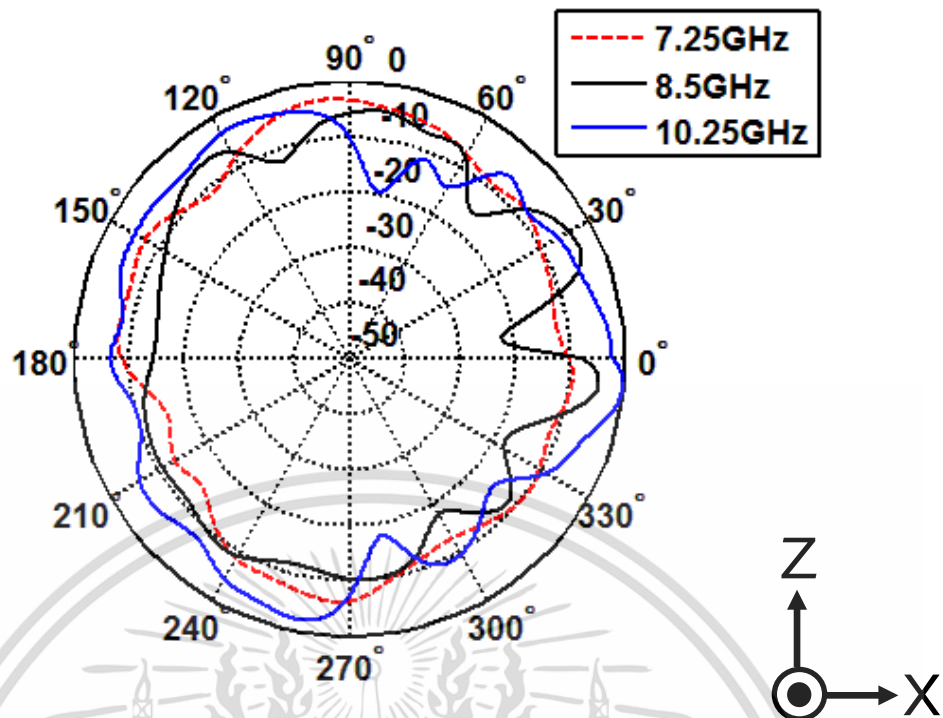
ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีท่อนำคลื่นแบบระนาบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรโครงข่ายแบบเวกเตอร์



รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ทำเป็นเว็บไซต์เป็นการค้า

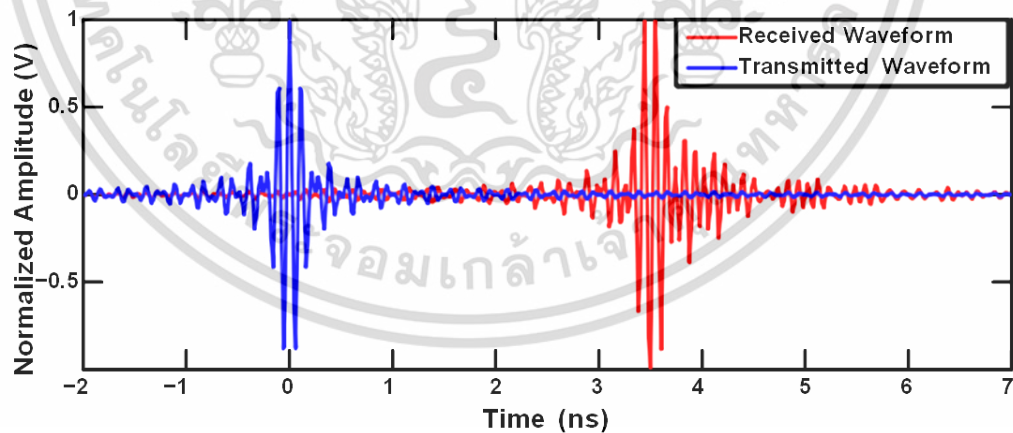
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดในระนาบคลื่นแม่เหล็ก

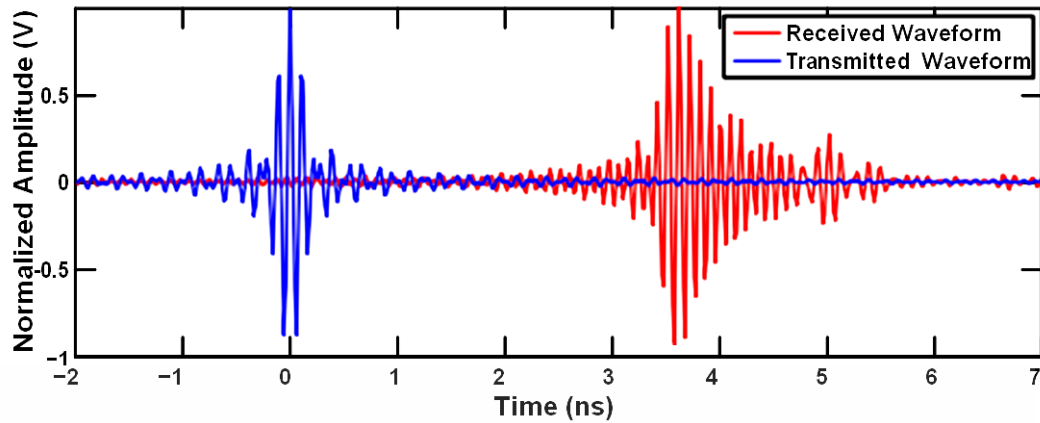
5.2.2.5 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้

การส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่งของสายอากาศที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 5.14 และ 5.15 แสดงให้เห็นสัญญาณทางด้านรับที่ช่วงเวลา 3.5 ns หลังจากทีรูปคลื่นถูกส่งออกจากสายอากาศส่ง



รูปที่ 5.14 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบสนามไฟฟ้า

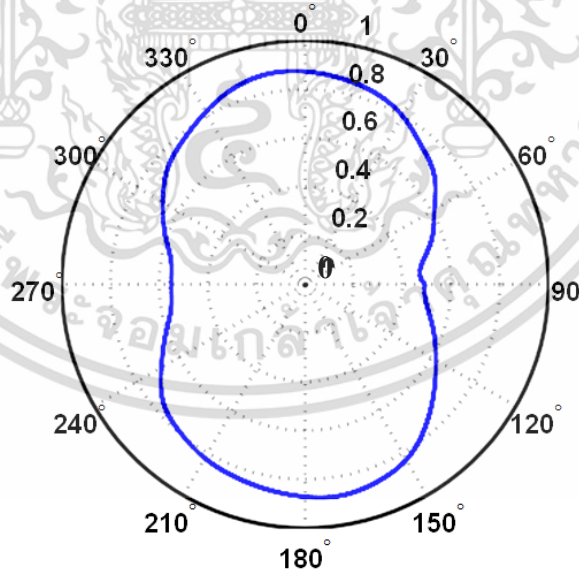
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก

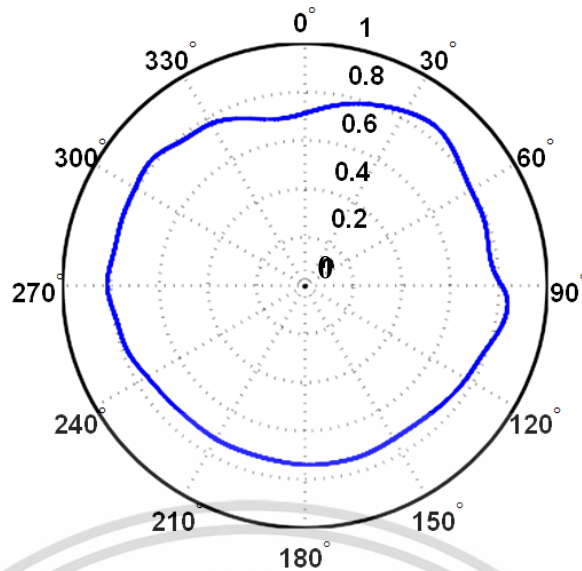
5.2.2.6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเที่ยงของสัญญาณแสดงในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 5.16 และ รูปที่ 5.17 โดยรูปคลื่นสหสัมพันธ์ในรูปที่ 5.16 มีค่ามากกว่า 0.7 ในช่วงมุม -60 องศาถึง 60 องศา และ ในช่วง 135 องศา ถึง 240 องศา และมีค่าน้อยสุดที่มุม 90 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้า รูปที่ 5.17 แสดงรูปคลื่นสหสัมพันธ์ในระนาบสนามแม่เหล็ก มีค่ามากกว่า 0.7 ในทุกองศา แสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่ออกแบบมีความเที่ยงน้อย



รูปที่ 5.16 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบคลื่นแม่เหล็ก

5.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการจำลองและการทดลองวัดของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยม โดยแสดงผลของการจำลองเทียบกับผลที่ได้จากการวัดสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นเมื่อทำการปรับขนาดความกว้างของร่องสี่เหลี่ยม ตามด้วยการปรับขนาดความกว้างของสตัป ในส่วนการทดลองวัดเห็นได้ว่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการจำลองเนื่องจากขนาดสัดส่วนต่าง ๆ ของสายอากาศที่สร้างขึ้นมามีขนาดเล็กลงกับขนาดของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ 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 ในบทนี้จะทำการสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งและออกแบบสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีจุดบ่อนแบบระนาบร่วม สำหรับประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง โดยปรับขนาดความยาวของร่องสี่เหลี่ยม ตามด้วยขนาดความกว้างของสตัป เพื่อให้สายอากาศร่องสี่เหลี่ยมมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น โดยสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่ออกแบบมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงความถี่ 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 และได้ทดสอบคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 7.25 GHz 8.5 GHz และ 10.25 GHz จากการทดลองวัดสายอากาศมีคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีอัตราขยาย 2 dBi และทำการวัดคุณสมบัติการส่งของสายอากาศทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบคลื่นแม่เหล็ก โดยสัญญาณที่รับได้ ณ เวลา 3.5 นาโนวินาที และวัดสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศเพื่อหาความเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบคลื่นแม่เหล็ก โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในระนาบสนามไฟฟ้ามีค่า 0.7

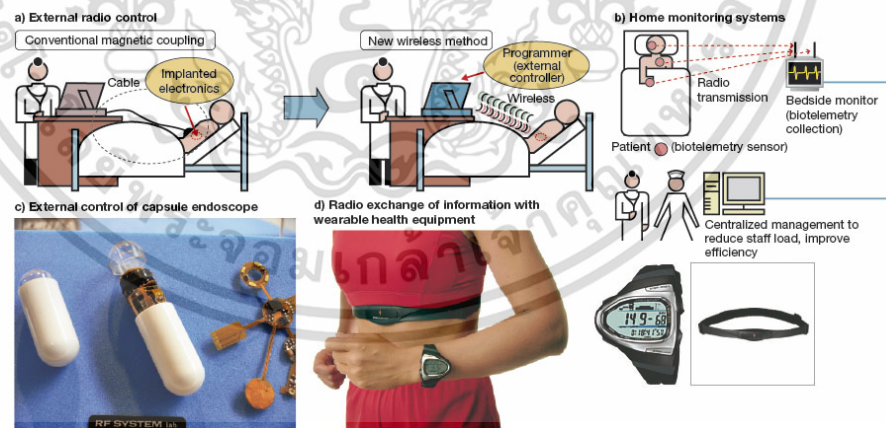
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วง -60 องศา ถึง 60 องศา และในระนาบสนามแม่เหล็ก สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากกว่า 0.7 ทุกๆ องศา โดยสายอากาศที่ออกแบบมีขนาดเล็ก (30 × 35 mm) มีประสิทธิภาพดีในการใช้งานแถบกว้างยิ่งทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายด้านในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

การออกแบบสายอากาศสิ่งที่จะต้องคำนึงเป็นอันดับแรกคือการออกแบบขนาดและประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ที่ต้องการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ และจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษามาตรฐาน ข้อกำหนดต่างๆ ของเทคโนโลยีที่นำสายอากาศไปประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์ศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมที่มีจุดป้อนแบบระนาบร่วม สำหรับสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้ทดลองการส่งผ่านและพิจารณาวัฏจักรในท้องไร่การสะท้อนจะเห็นว่าสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งไปยังสายอากาศด้านรับเกิดการสูญเสียและเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้น ซึ่งเกิดจากสาเหตุสภาวะแวดล้อมในขณะทดลอง

งานวิจัยในอนาคตจะได้ประยุกต์เอางานวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่นๆ เช่น ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้บนโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และระบบไร้สายในทางการแพทย์ ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ดังรูป 6.1 และสิ่งที่ควรพิจารณาเพิ่มคือการวิเคราะห์ถึงเวลาที่มาถึงยังภาครับแต่ละเส้นทางด้วยวิธี Time of arrival (TOA), การพิจารณาถึงทิศทางของสัญญาณที่มาถึงด้วยวิธี Angle of arrival (AOA) ซึ่งวิธีเหล่านี้จำเป็นมากสำหรับการพิจารณาภายในอาคาร



รูปที่ 6.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ภายในอาคาร [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [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," Standisation 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] P. S. Sharma, S. Vijay, and M. Shuka, "Ultra-Wideband Technology: Standards, Characteristics, Applications," in Helix, vol. 10, no. 4, pp.59 – 65, 2020
- [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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [15] C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, 4th edition. Hoboken, USA: Wiley, 2016.
- [16] V. Niemelä, J. Haapola, M. Hämäläinen, and J. Linatti, "An Ultra Wideband Survey: Global Regulations and Impulse Radio Research Based on Standards," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 874-890, Secondquarter 2017.
- [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] D. H. Werner and Z. H. Jiang, Electromagnetics of Body Area Networks: Antennas, Propagation, and RF Systems, IEEE, 2016
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] O. El-Aassar and G. M. Rebeiz, "A 120-GHz Bandwidth CMOS Distributed Power Amplifier With Multi-Drive Intra-Stack Coupling," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 30, no. 8, pp. 782-785, Aug. 2020, doi: 10.1109/LMWC.2020.3001261.

ภาคผนวก
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษาในระดับ
ปริญญาโท

บทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] P. Kempet, A. Watcharapupong and S. Promwong, "A Design and Fabrication of Rectangular Slot Antenna for UWB-BAN Applications," 2022 8th International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST), Chiang Mai, Thailand, 2022, pp. 61-63, doi: 10.1109/ICEAST55249.2022.9826313.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2022 8th International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST) | 978-1-6654-5919-8/22/\$31.00 © 2022 IEEE | DOI: 10.1109/ICEAST55249.2022.9826328

iceast 2022

Chiang Mai, Thailand

8-10 JUNE 2022

<http://iceast2022.iceast.info/>

Conference Proceeding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลซึ่งระบุชื่อไว้ในเอกสารฉบับนี้ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Design and Fabrication of Rectangular Slot Antenna for UWB-BAN Applications

Pitak Kempet

Department of Telecommunications
Engineering, School of Engineering,
King's Institute of Technology
Ladkrabang,
Bangkok, Thailand
64601099@kmitl.ac.th

Akkradach Watcharapong

Department of Computer Engineering,
School of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand

Sathaporn Promwong

Department of Telecommunications
Engineering, School of Engineering,
King's Institute of Technology
Ladkrabang,
Bangkok, Thailand
sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—Body area network becoming a promising technology for a rapidly growth of a wireless medical applications. The ultra-wideband technology takes a vast attention by many developers due to an impulse radio transmission system. Therefore, the ultra-wideband gain big advantage to use for a wireless body area network application. This paper aims to design and fabricate a novel wideband antenna that can operate in the high-band of the ultra-wideband technology regarding to the Japan's regulation for the ultra-wideband technology, i.e., 6.5 GHz – 11.5 GHz. A rectangular slot antenna with line slit fed by a coplanar waveguide is proposed in this paper. The antenna structure is simply made on a FR-4 Epoxy substrate with a dimension of 30 mm × 35 mm × 1.6 mm (W × L × H). The results are show as a comparison between a simulation and measurement, which clearly seen a good characteristic of the proposed antenna. Hence, the proposed antenna is good to use for the body area network applications with the ultra-wideband technology.

Keywords— slot antenna, UWB, BAN, high band, coplanar waveguide

I. INTRODUCTION

Ultra-wideband (UWB) technology is a potential technology to use in short-range wireless communication applications. It has an upper hand compare to other wireless technology with an impulse radio transmission system, low power consumption, low transmitted power, low cost, and low complex device [1]. The merits of the UWB technology, make it perfectly paring technology with body area network (BAN) applications [2]. The ultra-wideband body area network (UWB-BAN) applications can be use in different scenarios, e.g., wireless localization, wireless healthcare monitoring, short-range communication, and so on [3]. The regulation for frequency band of the UWB has been regulated by many organizations in various countries. However, this paper will focus on the UWB regulation in the Japan. Which is divide into two frequency band, i.e., low-band (3.4 GHz to 4.8 GHz) and high-band (7.25 GHz to 10.25 GHz) [4]. To fulfill the UWB-BAN application requirements, the UWB-BAN antenna is necessary to study with the optimum design and fabrication to improve the performance of the UWB-BAN applications.

The antenna is a basic component in the UWB-BAN communication systems [5]. A small antenna with coplanar waveguide (CPW) fed line was proposed to used in the UWB technology [6]. In [7], a microstrip patch antenna was designed and proposed for the BAN applications. The microstrip patch antenna is majority used in an integrate with monolithic microwave integrated circuit (MMIC) for

wideband antenna [8]. The reflection coefficient $|S_{11}|$ and voltage standing wave ratio (VSWR) are frequently use to evaluate antenna impedance matching [9].

In this paper, a coplanar waveguide fed rectangular slot antenna with line slit for the high-band UWB is proposed. The shape of the proposed antenna is suitable for the UWB-BAN applications, which required small size and simple antenna parameters. The details of this paper will be arranged as follows. Section II is describing the antenna geometry and antenna parameters. The antenna simulation and measurement are provided in section III. The results and discussion of the proposed antenna is discussed in section IV. Finally, a brief information of this paper is concluded in section V.

II. ANTENNA GEOMETRY

The proposed antenna is design to operate in the high-band of the UWB band. The antenna is fabricated into a one-side FR-4 Epoxy substrate. The geometry and the configuration parameters are shown in Fig. 1 and Table 1, respectively. The coplanar waveguide fed rectangular slot antenna is proposed in this paper. Due to its wide bandwidth, omnidirectional radiation pattern, and good antenna impedance matching.

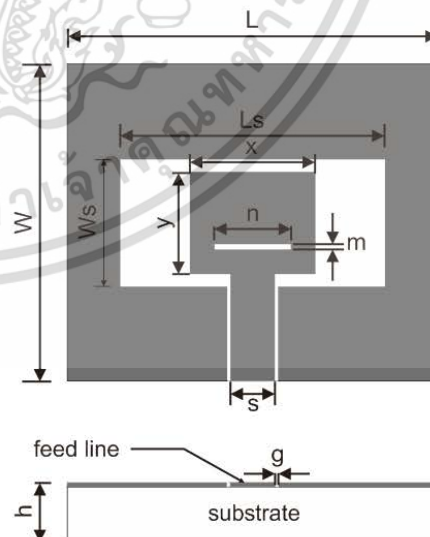


Fig. 1. Geometry of rectangular slot antenna.

Table 1 MEASUREMENT SETUP PARAMETER

Parameter	Value	Parameter	Value
W	30 mm	g	0.3 mm
L	35 mm	y	9.62 mm
Ws	12 mm	x	11.86 mm
Ls	25 mm	m	0.5 mm
S	4.2 mm	n	7.2 mm
h	1.5 mm	impedance	50 Ω
ϵ_r	4.3	Loss tangent	0.025

III. SIMULATION AND MEASUREMENT

After calculate the antenna parameters, ADS program is use to carry out a simulation results of the proposed antenna. Subsequently, the fabricated antenna in Fig. 2 is measure by a vector network analyzer (VNA) in order to evaluate the antenna characteristics. The proposed antenna under test is analyzes by consider a reflection coefficient, voltage standing wave ratio, and radiation pattern. The optimized parameters of the proposed antenna are listed in Table 1. In comparing of the simulated results of the proposed antenna. It can conclude that the antenna with line slit get wider resonance bandwidth, i.e., under -10 dB from 6.5 GHz to 11.5 GHz. The measurement of the antenna under test is shown in Fig. 4. The measurement results give a good compliant with the simulation results.

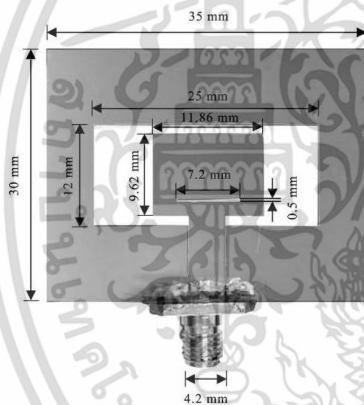


Fig. 2. Prototype of rectangular slot antenna

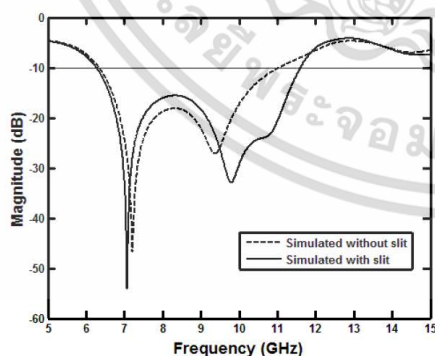


Fig. 3. The comparison between with slit and without slit.

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 5 show the radiation pattern of rectangular slot for UWB-BAN applications with different frequency characteristics, i.e., 7 GHz, 9 GHz, and 10 GHz. The results are given as a comparison of frequency characteristics between three different resonance frequency and the structure of the rectangular slot antenna.

V. CONCLUSIONS

The novel UWB-BAN antenna application is proposed in this paper. The proposed antenna is design as the rectangular slot antenna with line slit for use in high band of the UWB technology, i.e., covering from 6.5 GHz to 11.5 GHz. The antenna structure is fabricated on the FR-4 Epoxy substrate. In the designing process, the comparison between the antenna with line slit and without line slit are show. It confirms the reflection coefficient of the antenna line slit is better than the antenna without line slit. Moreover, the proposed antenna measurement results, i.e., impedance matching and radiation pattern, shown a good compliant with the simulation. The reflection coefficient and VSWR proof the resonance frequency of the proposed antenna is able to operate in the high-band of the UWB band and can use for the UWB-BAN applications.

REFERENCES

- [1] S. R. Wood and R. G. Aiello, *Essentials of UWB*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, (2008).
- [2] C. Otto, A. Milenković, C. Sanders, and E. Jovanov, "System Architecture of A Wireless Body Area Sensor Network for Ubiquitous Health Monitoring," in *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 1, no. 4, pp. 307-326, 2006.
- [3] P. S. Sharma, S. Vijay, and M. Shuka, "Ultra-Wideband Technology: Standards, Characteristics, Applications," in *Helix*, vol. 10, no. 4, pp. 59 - 65, 2020.
- [4] V. Niemelä, J. Haapola, M. Hämäläinen, and J. Linatti, "An Ultra Wideband Survey: Global Regulations and Impulse Radio Research Based on Standards," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 874-890, Secondquarter 2017.
- [5] Z. N. Chen, "Antennas for UWB Applications," in *Antennas for Portable Devices*, Chichester, England: Wiley, pp.231-286, 2007.
- [6] O. El-Aassar and G. M. Rebeiz, "A 120-GHz Bandwidth CMOS Distributed Power Amplifier With Multi-Drive Intra-Stack Coupling," in *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 30, no. 8, pp. 782-785, Aug. 2020, doi: 10.1109/LMWC.2020.3001261..
- [7] D. H. Werner and Z. H. Jiang, *Electromagnetics of Body Area Networks: Antennas, Propagation, and RF Systems*, IEEE, 2016.
- [8] S. Promwong and A. Pinsakul, "A Monolithic Patch Antenna on a Semi-insulated Alumina (Al₂O₃) Substrate for Active Integrated Antenna," *Wireless Personal Communications*, vol. 115, no. 4, pp. 2755-2765, Dec. 2020.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 4th edition. Hoboken, USA: Wiley, 2016.

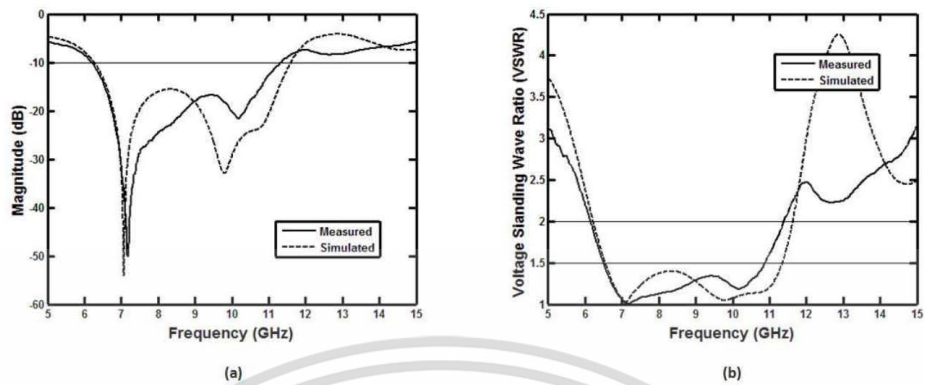


Fig. 4. Simulated and measured (a) Reflection coefficient and (b) VSWR respectively.

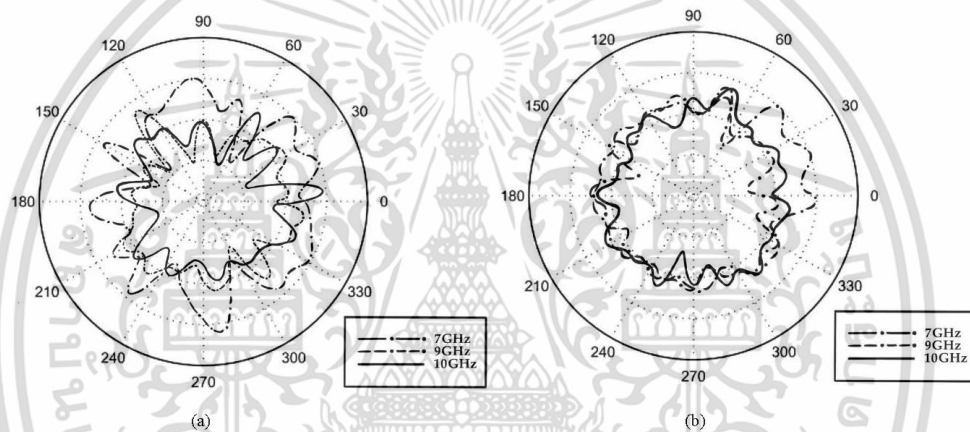


Fig. 5. The radiation patterns of rectangular slot antenna (a) the H-plane and (b) E-plane are obtained at 7 GHz, 9 GHz, and 10 GHz.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพิทักษ์ เข็มเพชร
 ประวัติการศึกษา 2564 - ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและ
 คอมพิวเตอร์ (หลักสูตรสหวิทยาการ)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) สายอากาศแถบกว้าง
 2.) โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
 3.) เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้