

สายอากาศแถบกว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกาย
มนุษย์มาตรฐาน IEEE 802.15.6
WIDEBAND ANTENNA FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK
IEEE 802.15.6 STANDARD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สายอากาศแถบกว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

มาตรฐาน IEEE 802.15.6

WIDEBAND ANTENNA FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

IEEE 802.15.6 STANDARD



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศแถบกว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

มาตรฐาน IEEE 802.15.6

WIDEBAND ANTENNA FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

IEEE 802.15.6 STANDARD

ผู้จัดทำ

1. นายคมปกร นิตติภัยธรรม 60010116
2. นายเจนภพ จันทร์พุ่ม 60010164
3. นายชานนท์ เพ็ชรคง 60010231

(ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ช่วยกรุณาให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา อนุญาตให้ใช้งานอุปกรณ์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานรวมถึงประสบการณ์ที่ดี และฝึกฝนให้มีความสามารถในการทำโครงการได้

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอกในห้องปฏิบัติการงานของ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ นักศึกษาปริญญาเอกในห้องปฏิบัติการงานของ รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ตลอดจนพี่ทุกท่านซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และ ความช่วยเหลือต่าง ๆ และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการของภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่เอื้อเอื้อสำหรับการใช้อุปกรณ์ และ เครื่องวัดในการทำการทดลองจนกระทั่งโครงการสำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา และ มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการทำโครงการฉบับนี้ คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำงาน รวมถึงความห่วงใย ความเข้าใจและ แรงบันดาลใจที่ช่วยผลักดันให้เราทำงานได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณคณาจารย์ในภาควิชาทุกท่าน ด้านการศึกษาและให้กำลังใจด้วยดี

นายคมปกร นิตติภัยธรรม
นายเจนภพ จันทร์พุ่ม
นายชานนท์ เพ็ชรคง
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สายอากาศแถบกว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้
สายบนร่างกายมนุษย์มาตรฐาน IEEE 802.15.6
WIDEBAND ANTENNA FOR WIRELESS BODY AREA
NETWORK IEEE 802.15.6 STANDARD

โดย นายคมปกร นิตติภัยธรรม 60010116
นายเจนภพ จันทร์พุ่ม 60010164
นายชานนท์ เพ็ชรคง 60010231

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายกลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันอย่างเช่นโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งมีเทคโนโลยีหนึ่งนั้นคือระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้ใช้ในสถานการณ์การสื่อสารระยะสั้น มีกำลังงานต่ำ แต่อัตราการส่งข้อมูลสูง ทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ประยุกต์ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และสายอากาศก็เป็นส่วนสำคัญของระบบเช่นกันซึ่งทำหน้าที่แปลงกลับไปมาระหว่างสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปริมาณนิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศแบบกรวยคู่ซึ่งเป็นสายอากาศแถบกว้างสามารถใช้งานในย่านความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ แบบรูปการแผ่กระจายเป็นแบบรอบทิศทาง จากนั้นนำสายอากาศที่สร้างขึ้นมาทำการวิเคราะห์บนพื้นฐานของการวัดซึ่งได้แบ่งการวัดออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกได้ทำการวัดคุณลักษณะของสายอากาศ โดยประเมินผลจากค่า $|S_{11}|$ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น ส่วนที่สองนำสายอากาศที่สร้างขึ้นมาทดสอบวัดช่องสัญญาณในสองกรณีนั้นคือ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และได้นำฟังก์ชันการถ่ายโอนมาวิเคราะห์ประเมินสายอากาศ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางประวิงกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อัตราขยายการส่งผ่าน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราความผิดพลาดบิต เพื่อนำค่าพารามิเตอร์จากการวัดมาประเมินผลของสัญญาณทั้งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่ไม่มีย่างกายมนุษย์

ABSTRACT

In present, wireless communication systems have become an integral part of our daily life such as wireless body area network. There is one technology, the ultra wideband system that is used in short-range communication, low power but high data rate. This makes this ultra wideband technology suitable for wireless body area network applications. And antennas are also integral to the system, which converts back and forth between electrical signals to electromagnetic waves. Therefore, this project presents a biconical antenna, a wide band antenna capable of operating in the frequency band from 3.1 GHz to 10.6 GHz with is omni-directional radiation pattern. Then use the for fabricated antenna for analysis based on basic measurements, which divide the measurement into two parts. First, measure the characteristics of the antenna, which evaluated from $|S_{11}|$ voltage standing wave ratio, gain and radiation pattern. The second part is take the fabricated antenna for WBAN transmission measurement without human body and with human body to get the following parameters, transmission coefficient, pathloss, power delay profile, gain, correlation coefficient and bit error rate. then evaluate the results both in without human body and with human body.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1	บทนำ
	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	1
1.2	วัตถุประสงค์
	4
1.3	ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
	4
1.4	ขั้นตอนการศึกษา
	4
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
	7
2.1	โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
	7
2.2	มาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6
	13
2.3	เทคโนโลยีแถบกว้าง
	15
2.4	ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง
	17
2.5	ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง
	20
2.6	การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน
	32
2.7	ทฤษฎีและโครงสร้างสายอากาศแถบกว้าง
	35
2.8	คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ
	40
2.9	พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การทดสอบสายอากาศกับร่างกายมนุษย์
	52
บทที่ 3	การออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้าง
	59
3.1	การออกแบบและจำลองผล
	59
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การสร้างสายอากาศ	71
3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง	75
3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่	76
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	82
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่	82
4.2 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ	89
4.3 เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบ	106
4.4 การทดสอบวัดช่องสัญญาณการส่งผ่าน	108
4.5 ผลการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ	113
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	133
5.1 สรุปผล	133
5.2 ข้อเสนอแนะ	136
บรรณานุกรม	137
ภาคผนวก	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมระหว่างระบบการสื่อสาร แถบกว้างยิ่งและระบบการสื่อสารแถบอื่น ๆ	2
1.2 การเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	3
1.3 บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้าง	5
2.1 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย	8
2.2 ระบบตรวจสอบทางการแพทย์	10
2.3 แอปพลิเคชันโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์	11
2.4 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์	12
2.5 การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการค้นหา	12
2.6 การใช้งานทางด้านสื่อผสมระยะสั้น	13
2.7 แถบความถี่ที่ใช้งานสำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์	15
2.8 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่น และแถบกว้างยิ่ง	19
2.9 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่ง สหรัฐอเมริกา	23
2.10 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดยสหภาพยุโรป	25
2.11 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารโดยคณะกรรมการการสื่อสาร แห่งสหรัฐอเมริกา	27
2.12 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารโดย คณะกรรมการการการ สื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา	28
2.13 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น	30
2.14 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี	30
2.15 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน	31
2.16 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคาร	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สำนักงานให้การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.17	33
2.18	34
2.19	34
2.20	35
2.21	36
2.22	37
2.23	38
2.24	39
2.25	39
2.26	40
2.27	41
2.28	42
2.29	42
2.30	43
2.31	43
2.32	44
2.33	48
2.34	49
2.35	50
2.36	55
2.37	57

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นลักษณะเป็นแบบรอบตัวของสายอากาศกรวยคู่ ประโยชน์ 60 การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.2	โครงสร้างสายอากาศแบบกรวยคู่และสายส่ง	62
3.3	สายอากาศไดโพลเพิ่มความยาวคลื่น	63
3.4	แบบจำลองสายอากาศแบบกรวยคู่	64
3.5	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE	65
3.6	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE	66
3.7	อัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	66
3.8	แบบรูปการแผ่พลังงานบนระนาบ XZ ที่มุม Φ (φ) เท่ากับ 0°	67
3.9	แบบรูปการแผ่พลังงานบนระนาบ XZ ที่มุม Φ (φ) เท่ากับ 90°	68
3.10	แบบรูปการแผ่พลังงานบนระนาบ XZ ที่มุม θ เท่ากับ 90°	68
3.11	แผ่นทองแดงหนา 0.5 มิลลิเมตร	69
3.12	สายส่งสัญญาณเซมิริจิด	69
3.13	สายส่งสัญญาณ RG142	70
3.14	ข้อต่อสายอากาศชนิด SMA	70
3.15	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสายอากาศกรวยคู่	71
3.16	แผ่นทองแดงทรงกรวย	72
3.17	สายส่ง RG142 ที่ปอกเสร็จ	72
3.18	สายส่ง RG142 ที่เชื่อมกับข้อต่อสายอากาศ	73
3.19	การเจาะรูแผ่นทองแดงทรงกรวย	73
3.20	การบัดกรีสายส่ง RG142 เข้ากับแผ่นทองแดงทรงกรวยชั้นที่ 1	74
3.21	การบัดกรีแผ่นทองแดงทรงกรวยชั้นที่สอง	74
3.22	สายอากาศกรวยคู่	75
3.23	บล็อกไดอะแกรมการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.24	แบบจำลองการทดสอบอัตราการขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่	78
3.25	การทดสอบอัตราการขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่	79
3.26	แบบจำลองการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	80
3.27	การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	81
4.1	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่ระหว่างการทดสอบและแบบจำลอง	83
4.2	การเปรียบเทียบอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศกรวยคู่ระหว่างการทดสอบและแบบจำลอง	84
4.3	การเปรียบเทียบอัตราการขยายของสายอากาศกรวยคู่ระหว่างการทดสอบและแบบจำลอง	85
4.4	การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์	86
4.5	การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 7 กิกะเฮิรตซ์	86
4.6	การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 11 กิกะเฮิรตซ์	87
4.7	การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XY ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์	88
4.8	การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XY ที่ความถี่ 7 กิกะเฮิรตซ์	88
4.9	การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XY ที่ความถี่ 11 กิกะเฮิรตซ์	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.10	บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ	89
4.11	บล็อกไดอะแกรมการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์	90
4.12	แบบจำลองการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์	91
4.13	RECEIVED ANTENNA ORIENTATION WITH HUMEN BODY	93
4.14	แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน	94
4.15	แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	95
4.16	แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	97
4.17	แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณที่มุมต่าง ๆ กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์	98
4.18	แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน	100
4.19	แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	101
4.20	แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	103
4.21	รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง	105
4.22	ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง	106
4.23	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA)	107
4.24	สายอากาศกรวยคู่	108
4.25	ตำแหน่งของสายอากาศรับ	109
4.26	การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์	110
4.27	การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน	111
4.28	การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	112
4.29	การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบครอสโพราไรซ์	114
4.31 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบครอสโพราไรซ์	114
4.32 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบครอสโพราไรซ์	115
4.33 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบครอสโพราไรซ์	115
4.34 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์	116
4.35 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบโคโพราไรซ์	116
4.36 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบโคโพราไรซ์	117
4.37 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบโคโพราไรซ์	117
4.38 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน	118
4.39 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	118
4.40 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	119
4.41 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.42	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณบนร่างกายมนุษย์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโครสโพราไรซ์	120
4.43	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่นแบบโครสโพราไรซ์	121
4.44	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบโครสโพราไรซ์	121
4.45	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์	122
4.46	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์	122
4.47	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่นแบบโคโพราไรซ์	123
4.48	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบโคโพราไรซ์	123
4.49	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบโคโพราไรซ์	124
4.50	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่น	125
4.51	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	125
4.52	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	126
4.53	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.54 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่น	127
4.55 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	128
4.56 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	128
4.57 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพรราไรซ์	129
4.58 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่น	130
4.59 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง	131
4.60 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน	131
4.61 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพรลาไรซ์	132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	22
ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสาร แห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอก อาคาร	
2.2	26
ค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ	
2.3	26
วิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูล แบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ 41.3 ดบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์	
2.4	27
ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยมาตรฐานของอุตสาหกรรมการ สื่อสารของกลุ่มประเทศยุโรป สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายใน และภายนอกอาคาร	
3.1	77
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบอัตราการขยายและแบบรูปการแผ่กระจาย คลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่	
3.2	80
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของแรงดัน และการทดสอบอินพุตอิมพีแดนซ์	
4.1	92
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ แบบครอสโพราไรซ์	
4.2	94
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกาย มนุษย์ลักษณะยืนแบบครอสโพราไรซ์	
4.3	96
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกาย มนุษย์ลักษณะนั่งแบบครอสโพราไรซ์	
4.4	97
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกาย มนุษย์ลักษณะนอนแบบครอสโพราไรซ์	
4.5	99
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มี ร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบโคโพรราไรซ์	100
4.7	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบโคโพรราไรซ์	102
4.8	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบโคโพรราไรซ์	103



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

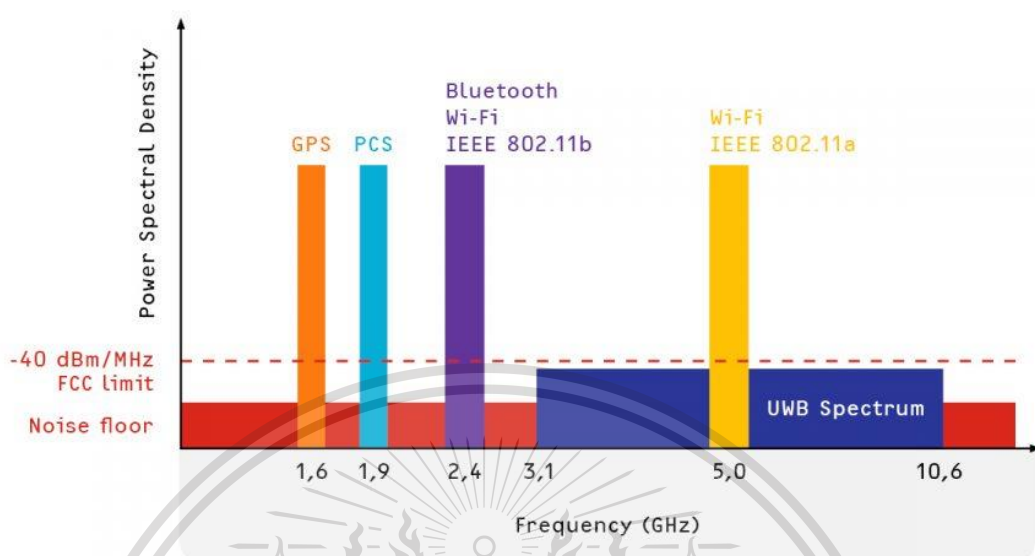
การศึกษาวิจัยทางด้านเทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาอย่างรวดเร็วและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารเช่นการสื่อสารส่วนบุคคล การสื่อสารระยะสั้นระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน บ้านพักอาศัย และทางการแพทย์ ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนี้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่เรียกว่าแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband) เข้ามาใช้ในงานเพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณมาก ซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นและเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมาณมาก รวมถึงยังทนทานต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณ มีการรบกวนต่อสัญญาณระบบอื่นต่ำ และยังมีความสามารถในการวัดความแตกต่างของระยะทางได้อย่างแม่นยำ มีการใช้กำลังงานที่ต่ำ เครื่องรับส่งสัญญาณมีความซับซ้อนต่ำ ทำให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะในระบบการสื่อสารไร้สาย [1]

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้าง โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย โดยใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณเป็นพัลส์ที่แคบมาก [1] อยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano second: ns) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) โดยจะไม่มี การนำสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห้ สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และจากข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) เพื่อไม่ให้รบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ระดับความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมมีค่าไม่เกิน -41 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิร์ตซ์ [2] เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งนี้ มีช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ และมีแบนด์วิดท์กว้างมากที่สุดเท่ากับ 7.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมระหว่างระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และระบบการสื่อสารแถบอื่น ๆ [2]

ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.3a (IEEE 802.15.3a) [3] โดยจะเป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ กล้องถ่ายรูปดิจิทัล และกล้องถ่ายวิดีโอ โดยสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 10 เมตร และจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 2 เมตร [4]

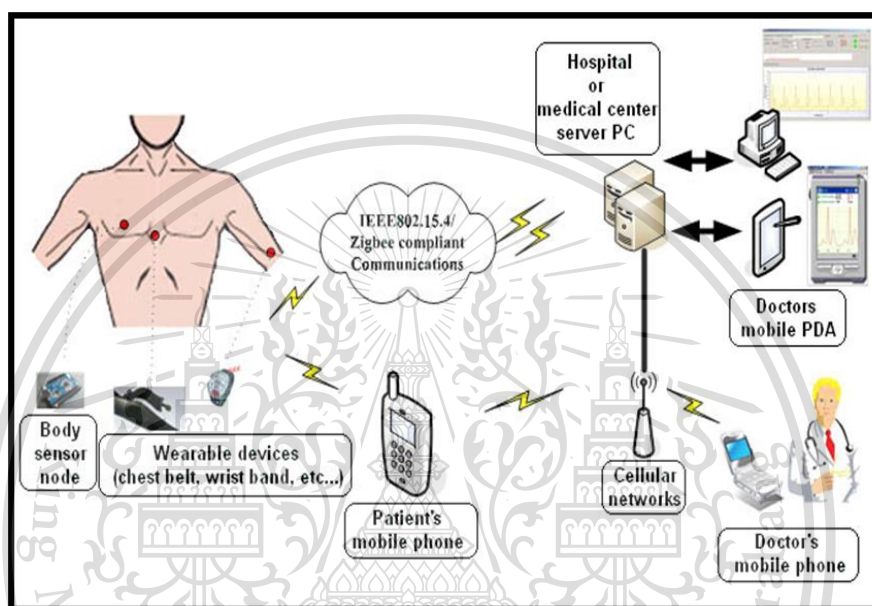
ในการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างและแถบกว้างยิ่งมาใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์นั้น สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากจากสายอากาศ อาจถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) จากผนัง กำแพง หน้าต่าง หรือวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นก็คือ ร่างกายมนุษย์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ด้วยเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ซึ่งประกอบด้วย น้ำ ไขมัน ทำให้การแพร่กระจายคลื่นถูกลดทอนเร็วกว่าในอากาศว่าง ซึ่งส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและเกิดการผิดเพี้ยนของข้อมูลข่าวสารได้ และหากนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไปยังเครื่องมือวัด อาจมีปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม การนำเนื้อหาไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารฉบับนี้ที่เผยแพร่ไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อ เช่นจากสิ่งแวดล้อม หรือร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบว่าร่างกายมนุษย์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณและสายอากาศในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและจะต้องคำนึงถึงเรื่องกำลังงาน สัญญาณที่ใช้ส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ [5]



รูปที่ 1.2 การเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [5]

ในปริณฎานิพนธ์นี้ได้มีการศึกษาแนวคิดจากงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทาง และ แนวคิด สำหรับการออกแบบสายอากาศกรวยคู่ที่มีคุณสมบัติของแถบกว้างอยู่ด้วยคือสามารถประยุกต์ใช้งาน ในระบบสื่อสารได้หลายอย่าง การนำเสนออยู่ในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ และมีรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อน สร้างได้ง่าย สายอากาศกรวยคู่นั้นถือได้ว่าเป็นสายอากาศที่มีย่าน ความถี่ที่ใช้ที่กว้างมาก สำหรับความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) ของสายอากาศกรวยคู่นั้นเกิดขึ้น จากการแปรค่ารัศมีตามแนวแกนหรือการเพิ่มค่าของมุม θ ด้วยโครงสร้างของสายอากาศกรวยคู่จะ ประกอบไปด้วยกรวยสองอันจัดวางอยู่ในแนวแกนเดียวกัน โดยที่จุดยอดของกรวยทั้งสอง บริเวณจุด กึ่งกลางของสายอากาศจะเป็นจุดป้อนสัญญาณเรียกว่า จุดป้อน (Feed point) การแพร่กระจายของ คลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่นั้นจะคล้ายคลึงกับสายอากาศไดโพลโดยที่บริเวณจุดป้อนนี้จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และมีความสำคัญสูงที่สุดและมีแรงดันต่ำสุด บริเวณปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจรจึงมี แรงดันมากที่สุดและมีกระแสไหลน้อยที่สุด และบริเวณที่มีค่าแรงดันสูงจะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ปลายของ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เช่นเดียวกัน สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่จะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีลักษณะเป็นแบบรอบทิศทาง [6] เพื่อที่จะนำสายอากาศกรวยคู่ที่สร้างขึ้นนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง เพื่อนำสายอากาศมาใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้างเพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 2) ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแถบกว้างสำหรับทดลองวัดการถ่ายโอนสัญญาณการส่งผ่านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 3) ประเมินผล วิเคราะห์ และเปรียบเทียบช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาทฤษฎีสายอากาศแถบกว้างและเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 2) ออกแบบสายอากาศแถบกว้างให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 3) สร้างสายอากาศแถบกว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 4) ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่และประเมินประสิทธิภาพสายอากาศแบบกรวยคู่
- 5) ทดสอบและประเมินผลการวัดช่องสัญญาณและการส่งผ่านแถบกว้างที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

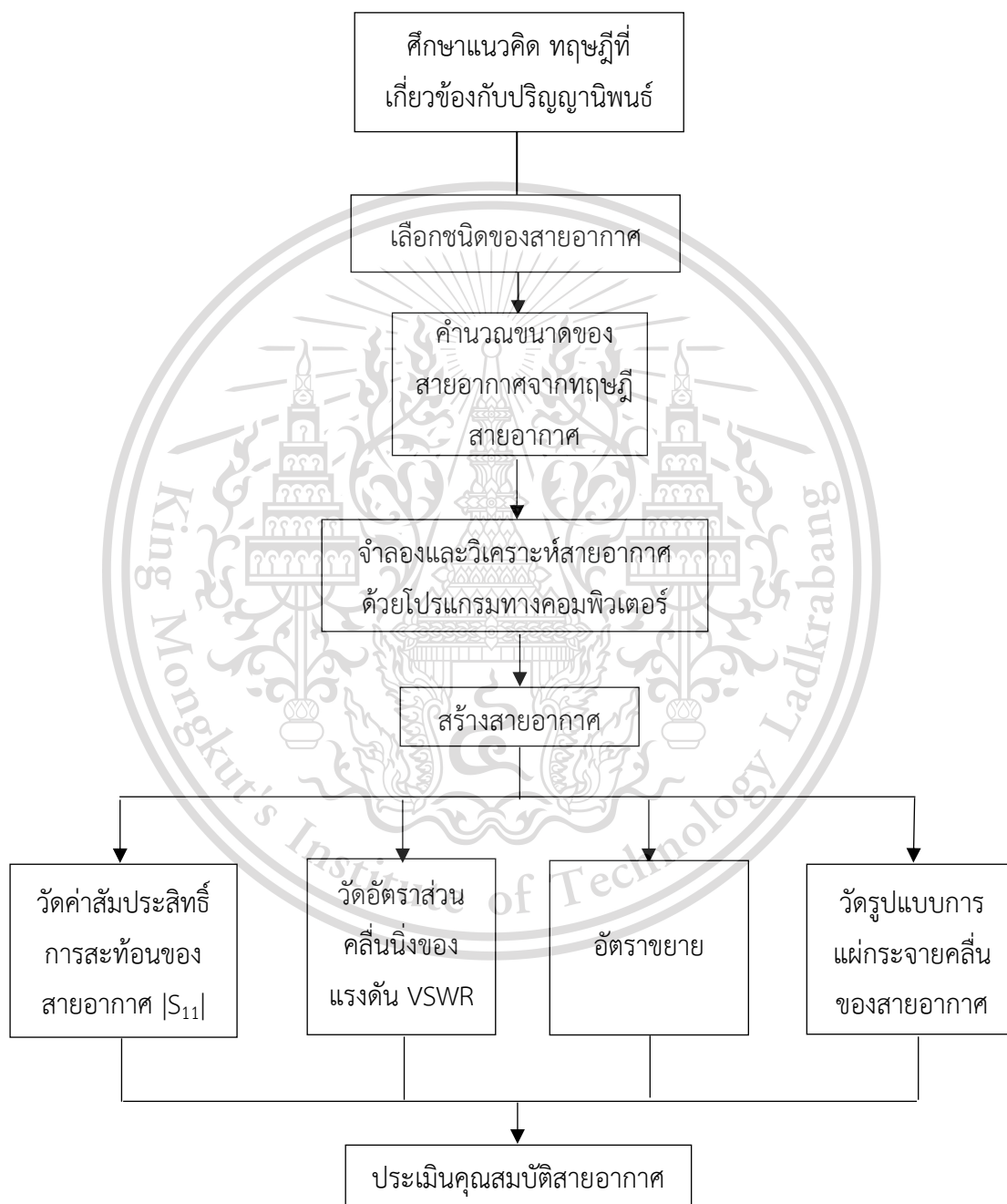
สำหรับขั้นตอนการศึกษาในปริญญานิพนธ์นี้ ในขั้นแรกทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาแนวคิด และทฤษฎีต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ หลังจากได้แนวคิดแล้ว ในขั้นตอนต่อมาจึงได้ทำการเลือกชนิดสายอากาศแถบกว้างให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ จากนั้นทำการออกแบบสายอากาศตามทฤษฎีและจำลองสายอากาศเพื่อศึกษาคุณสมบัติสายอากาศด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ในขั้นถัดมาสร้างสายอากาศตามขนาดที่ออกแบบไว้ แล้วนำสายอากาศที่สร้างเสร็จไปทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ โดยพิจารณาจาก วัดค่าสัมประสิทธิ์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากท่านมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย และรูปแบบการแผ่กระจายคลื่น ในขั้นตอนสุดท้าย ทำการประเมินประสิทธิภาพคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าว ได้ทำการแสดงเป็น บล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีก รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้างที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปฏิญญาฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของปฏิญญาฉบับนี้ และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ มาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE 802.15.6) เทคโนโลยีแถบกว้าง ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ทฤษฎีและโครงสร้างสายอากาศแถบกว้าง คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ และคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้าง ซึ่งได้แก่ การออกแบบและจำลองผล เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ การสร้างสายอากาศ การจัดเก็บผลการทดสอบ และทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดสอบคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ และคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการศึกษาสายอากาศแถบกว้างสำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์มาตรฐาน 802.15.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ในส่วนแรกเป็นเรื่องเกี่ยวกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในส่วนที่สองเป็นเรื่องเกี่ยวกับเทคโนโลยีแถบกว้าง ส่วนที่สามเป็นเรื่องเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของสายอากาศ และส่วนที่สี่เป็นเรื่องเกี่ยวกับคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ

2.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [5]

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network: WBAN) ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area network: PAN) และ Zimmermann ได้รับการยกย่องในการสร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (MIT) และที่ บริษัทไอบีเอ็มเขาได้พูดถึงการรวมกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก และการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระยะสั้น การเชื่อมต่อนั้นถูกสร้างขึ้นผ่านการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ใกล้เคียงระยะน้อยกว่า 2 เมตร ในปี ค.ศ. 2004 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ได้อธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์ [7]

กลุ่มทำงานเฉพาะ 15.6 (TG6) ของคณะกรรมการจากมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (IEEE) ซึ่งมีชื่ออย่างเป็นทางการว่ามาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802 (IEEE 802) ได้กำหนดมาตรฐานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สาย

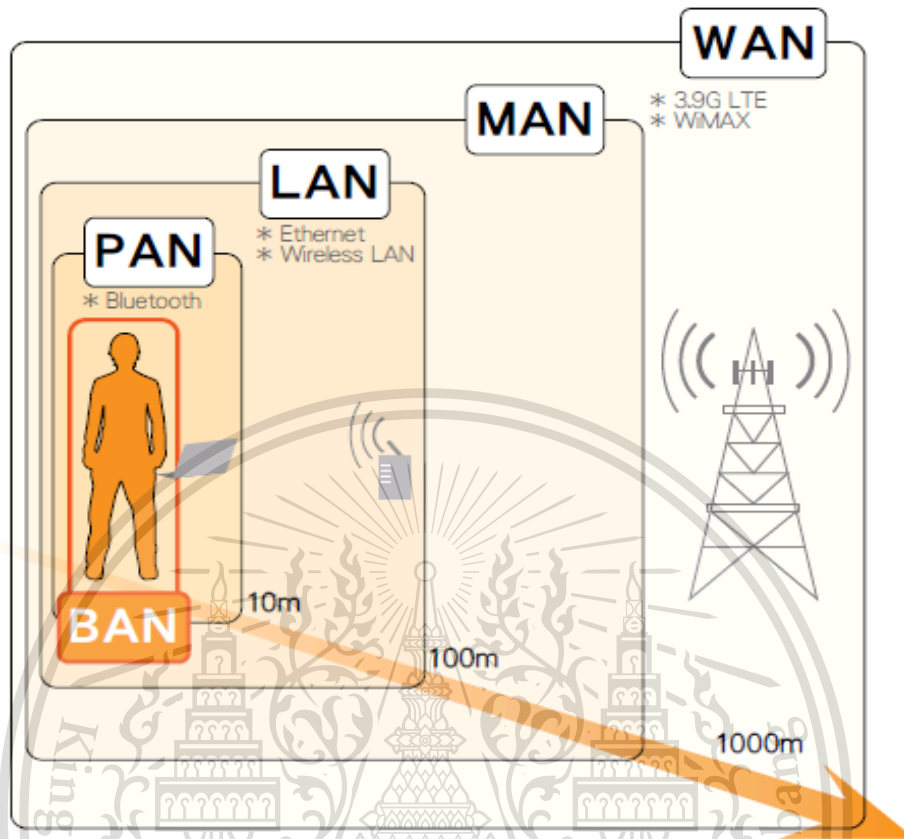
รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายอื่น ๆ โดยจะเห็นว่าโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สายได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่รอบ ๆ ร่างกายมนุษย์โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายด้วย โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายมนุษย์

ระบบการสื่อสารไร้สายแบบบนร่างกายมนุษย์และระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีส่วนที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์ของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้โดยมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย [8]

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีล่าสุดมีการใช้วงจรไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และใช้งานในระบบไร้สายอย่างไรก็ตามวิศวกรหรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับ รูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการตรวจสอบดูแลรักษาสุขภาพทางการแพทย์ [9]

ในการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์จะใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ยังผู้ใช้งาน หรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อากาศ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้ตรวจพบโรคก่อนได้

ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพ ตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์หัวใจคลื่นไฟฟ้าแบบพกพาที่มีการใช้เซนเซอร์ที่มีราคาแพงและซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการยอมรับในวงกว้างในระบบปัจจุบันก็ตาม แต่ยังคงถูกจำกัดด้วยราคาและการใช้งาน

ระบบการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียว ส่วนการประมวลผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซนเซอร์กับระบบตรวจสอบ สายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีผลกระทบกับข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

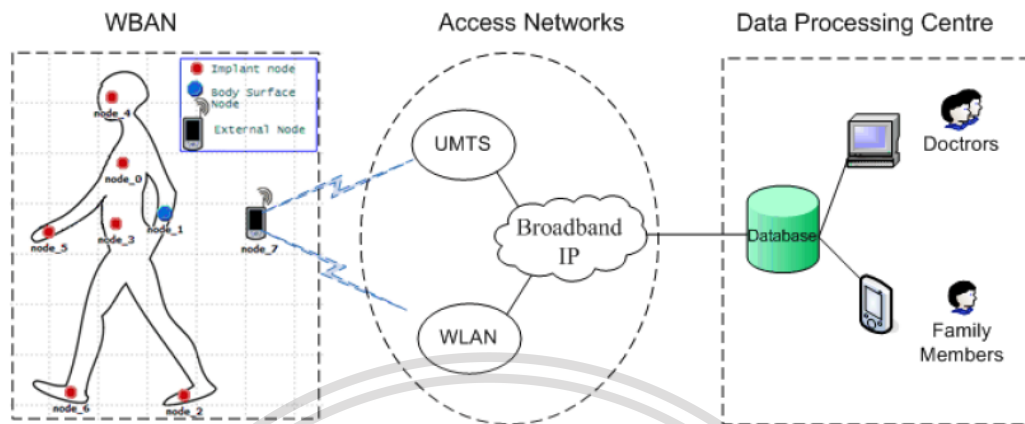
ความก้าวหน้าทางการแพทย์และการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพได้ถูกเสนอในรูปแบบที่ 2.2 จากรูปขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลสุขภาพร่างกายถูกรวบรวมด้วยการใช้เซนเซอร์หลายตัวที่ถูกติดอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของร่างกาย โดยที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยคำสั่งขั้นตอนที่ 2 เมื่อหน่วยคำสั่งได้รับข้อมูลจากส่วนแรกมาแล้ว จะทำการตัดสินใจในการหาวิธีการรักษาหรือการใช้ยาที่เหมาะสม โดยจะส่งคำสั่งไปยังหน่วยดำเนินการ ขั้นตอนที่ 3 หน่วยดำเนินการจะทำการรักษาหรือให้ยาผู้ป่วย เมื่อทำการรักษาหรือให้ยาเสร็จสิ้น เซนเซอร์จะรวบรวมข้อมูลการดูแลสุขภาพที่สำคัญ เพื่อนำไปเข้ากระบวนการอื่นต่อไป

แรงบันดาลใจในทางการแพทย์เป็นการช่วยชีวิต และพัฒนาทางด้านการแพทย์ให้มีการตรวจวินิจฉัยโรคและรักษาได้รวดเร็วขึ้น โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์ จุดประสงค์หลักของการบริการดูแลสุขภาพผู้ป่วยที่บ้าน คือการพัฒนาคุณภาพชีวิตและเพิ่มความเป็นอิสระของผู้ป่วยโดยการรักษาที่บ้าน และการดูแลสุขภาพผู้ป่วยที่บ้านรวมถึงสภาพแวดล้อม จะถูกแทนที่การรักษาที่แพงของโรงพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 ระบบตรวจสอบทางการแพทย์ [9]

2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

แอปพลิเคชันของโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 สามารถแบ่งได้แอปพลิเคชันทางการแพทย์และ ไม่ใช่ทางการแพทย์ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แอปพลิเคชันทางการแพทย์จะเป็นการเก็บค่าสัญญาณที่สำคัญของร่างกายผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง และทำการส่งข้อมูลต่อไป ข้อมูลที่สำคัญนี้สามารถป้องกันการสูญเสียจากโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ได้ เช่น โรคหัวใจ โรคความดัน โรคเบาหวาน โรคทางระบบประสาทเป็นต้น และโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์สามารถยังใช้เพื่อช่วยเหลือผู้พิการได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น สามารถฝังชิปเรตินาในดวงตาของมนุษย์ได้ แอปพลิเคชันที่ไม่ใช่ทางการแพทย์ ได้แก่ การตรวจสอบสิ่งที่ลิ้มการถ่ายโอนไฟล์ข้อมูล การเล่นเกม และแอปพลิเคชันเครือข่ายสังคม [11]

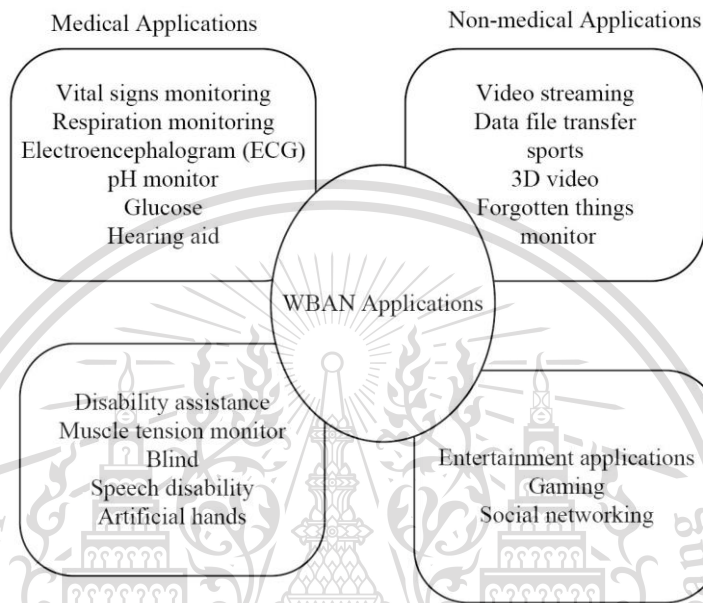
มีการประยุกต์ใช้มากมายและมีการใช้รูปแบบที่ช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยการใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ดังในรูปที่ 2.4 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่าง ๆ ของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาสัมผัสสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากนี้ยังมีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แว่นตา หรือไม้เท้า ภาพวิดีโอจะถูกถ่ายโดยกล้องและถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียง เพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา ดังรูปที่ 2.5 หลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมา



รูปที่ 2.3 แอปพลิเคชันโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [11]

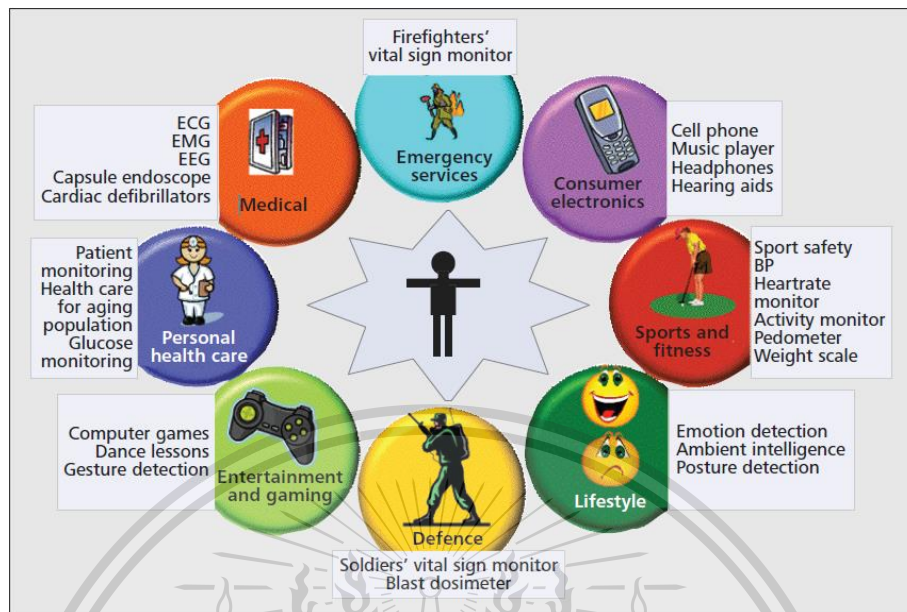
ใช้ช่วยเหลือผู้พิการด้านการพูด โดยใช้เซนเซอร์ที่ติดที่มือ เพื่อหาการเคลื่อนไหวของมือ โดยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเสียงพูด [12]

ตัวอย่างที่ใช้ร่างกายเป็นศูนย์กลาง ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น หูฟังไร้สาย เสียงหรือวิดีโอสตรีมมิ่ง ตัวควบคุมเกมส์ด้วยเซนเซอร์ ข้อมูลบันเทิงต่าง ๆ การประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ไม่เพียงแต่เพิ่มความสะดวกสบายที่ไม่มีการใช้สายเข้ามาเกี่ยวข้องแต่ยังให้วิธีการแบ่งปันข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานสองคนหรือมากกว่าสามารถใช้เครื่องเล่นดนตรี หรือวิดีโอ ได้พร้อมกันดังรูปที่ 2.6 [13]

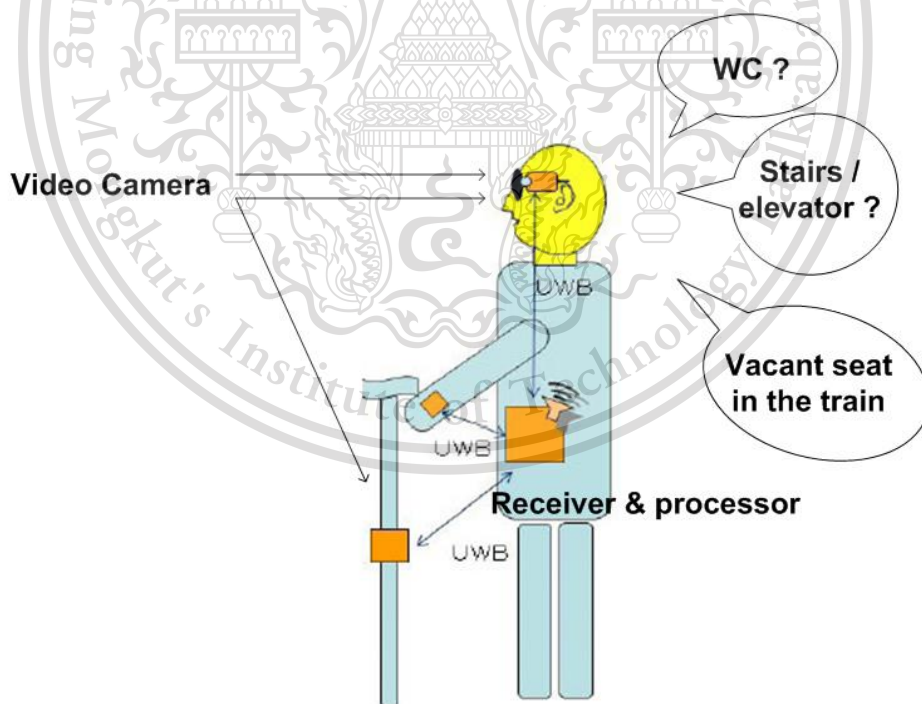
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [12]

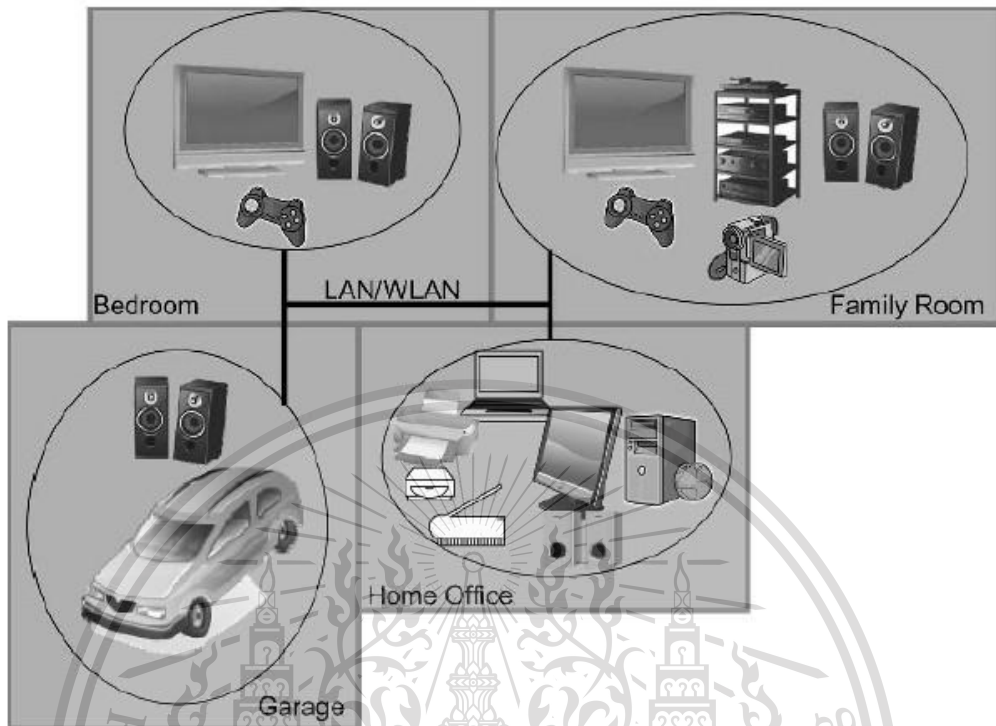


รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการค้นหา [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การใช้งานทางด้านสื่อผสมระยะสั้น [13]

2.2 มาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 [14]

โครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ รองรับการตรวจสอบสุขภาพแบบเรียลไทม์และแอปพลิเคชันอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภคที่หลากหลาย มาตรฐานสากลล่าสุดสำหรับ โครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์คือมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เป็นมาตรฐานสากลสำหรับการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำระยะสั้นและเชื่อถือได้อย่างมากภายในพื้นที่โดยรอบของร่างกายมนุษย์โดยรองรับอัตราข้อมูลที่หลากหลายสำหรับอัตราต่าง ๆ แอปพลิเคชันการสื่อสารระยะสั้นไร้สายในบริเวณใกล้เคียงหรือภายในร่างกายมนุษย์ (แต่ไม่จำกัดเฉพาะมนุษย์) ถูกระบุไว้ในมาตรฐานนี้ โดยใช้แถบความถี่ทางการแพทย์ทางวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial, Scientific and Medical: ISM) ที่มีอยู่ตลอดจนคลื่นความถี่ที่ได้รับการรับรองโดยหน่วยงานทางการแพทย์หรือหน่วยงานกำกับดูแลแห่งชาติต้องมีการรองรับคุณภาพของบริการ (Quality of Service: QoS) พลังงานต่ำมากและอัตราข้อมูลสูงสุด 10 เมกะบิตต่อวินาที ในขณะที่เดียวกันก็ต้องปฏิบัติตามแนวทางการไม่รบกวนที่เอกสารนี้เป็นเชิงมรดกในเวลาเดียวกัน มาตรฐานนี้พิจารณาถึงผลกระทบต่อสายอากาศแบบพกพาอันเนื่องมาจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

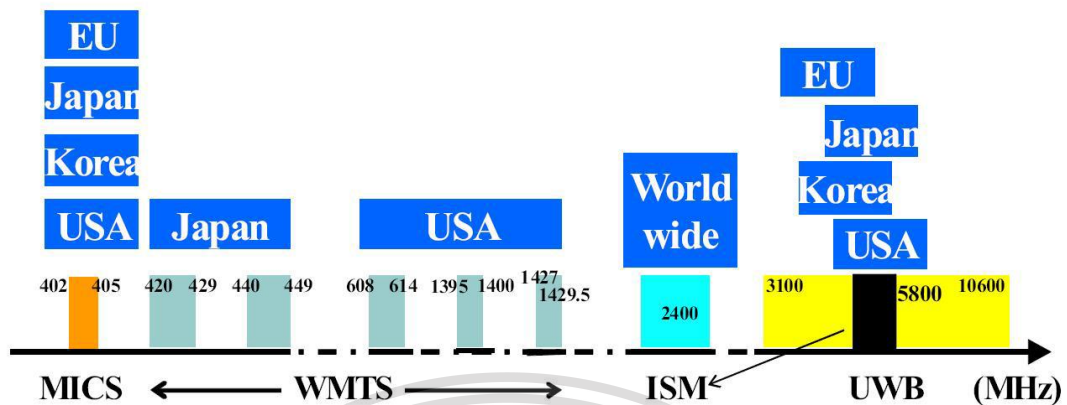
การปรากฏตัวของบุคคล (แตกต่างกันไปตามเพศชาย-หญิง น้ำหนักน้อย-น้ำหนักมาก ฯลฯ) การสร้างรูปแบบของรังสีเพื่อลดอัตราการดูดซึมเฉพาะ (Specific absorption rate: SAR) เข้าสู่ร่างกาย และการเปลี่ยนแปลงลักษณะตาม ผลจากการเคลื่อนไหวของผู้ใช้

โครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ มีความสำคัญกับเทคโนโลยีการดูแลรักษาสุขภาพเป็นอย่างมากโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ดึงดูดนักวิจัยจำนวนมากในไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ส่วนใหญ่จะรองรับแอปพลิเคชันเกี่ยวกับทางการแพทย์ เช่น การตรวจสอบ ฝ้าดู สถานะของผู้ป่วยจากระยะไกล โดยไม่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวร่างกายของผู้ป่วยมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802 (IEEE 802) จัดตั้งกลุ่มงานชื่อมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 สำหรับการกำหนดมาตรฐานของ โครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ก่อนหน้านี้อินstitut สถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802 กำหนดมาตรฐานไว้มากมายสำหรับการสื่อสารไร้สายเช่น มาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.11 (IEEE 802.11) มาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.1 (IEEE 802.15.1) และ มาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.4 (IEEE 802.15.4) วัตถุประสงค์ของมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 คือการกำหนดชั้นกายภาพ (Physical layer: PHY) และ ควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลาง (Medium Access Control: MAC) ใหม่สำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เมื่อพิจารณาถึงชั้นกายภาพประเด็นที่สำคัญที่สุดคือการพิจารณาในเรื่องของแถบความถี่ (Frequency band) โดยทั่วไปความถี่ที่ใช้ได้สำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์อยู่ภายใต้การควบคุมโดยหน่วยงานสื่อสารของแต่ละประเทศ รูปที่ 2.7 แสดงข้อมูลสรุปของแถบความถี่ที่ใช้ได้สำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ บริการสื่อสารทางการแพทย์ (Medical Implant Communications Service: MICS) ใช้งานสำหรับการสื่อสารภายในร่างกายมนุษย์ ใช้งานที่ความถี่ 402 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 406 เมกะเฮิรตซ์ เป็นส่วนใหญ่ในหลายประเทศ บริการเครื่องวัดทางการแพทย์แบบไร้สาย (Wireless Medical Telemetry Services: WMTS) เป็นย่านความถี่ที่ใช้งานสำหรับการสื่อสารทางการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 แถบความถี่ที่ใช้งานสำหรับโครงข่ายการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [14]

แถบความถี่ทางการแพทย์ทางวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรมสนับสนุนแอปพลิเคชันที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง อย่างไรก็ตามมีโอกาสสูงที่จะถูกรบกวนเนื่องจากอุปกรณ์ไร้สายจำนวนมาก รวมถึงมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.11 และมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.4 ที่ทำงานที่แถบความถี่ทางการแพทย์ทางวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 ได้กำหนดชั้นกายภาพแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ แถบแคบ (Narrowband: NB) แถบกว้างยิ่ง และการสื่อสารบนร่างกายมนุษย์ (Human Body Communication: HBC) ซึ่งแต่ละประเภทใช้แถบความถี่แตกต่างกันตามการใช้งาน และยังกำหนดโปรโตคอลที่ใช้ในการควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลางเพื่อใช้สำหรับควบคุมการส่งผ่านข้อมูลในช่องสัญญาณ [15]

2.3 เทคโนโลยีแถบกว้าง [16]

เทคโนโลยีแถบกว้าง คือเทคโนโลยีการส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีแถบกว้างทำให้ประสบการณ์ในการท่องโลกอินเทอร์เน็ตเพิ่มมากขึ้นด้วยประสิทธิภาพในการรับข้อมูลขนาดใหญ่หรือจะเป็นการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลขนาดใหญ่ รูปภาพที่มีความละเอียดสูง เล่นเกมส์ออนไลน์หรือการดูหนังฟังเพลงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เทคโนโลยีแถบกว้างผ่านดาวเทียมเป็นการนำเทคโนโลยีขั้นสูง 2 ด้านมาผสมผสาน

เพื่อการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงอย่างเต็มประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากเทคโนโลยีดาวเทียมทำเอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ให้ข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การให้บริการในลักษณะของบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตหมดไปเนื่องจากเทคโนโลยีดาวเทียมทำให้สามารถให้บริการได้ทั่วประเทศ นอกจากนี้เทคโนโลยีดังกล่าวยังสามารถนำมาประยุกต์ในการถ่ายทอดสดหรือการแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์โดยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตผ่านทางเครือข่ายดาวเทียม (IP Broadcasting via Satellite) ทำให้ผู้ใช้บริการสามารถรับข้อมูลหรือชมสัญญาณภาพและเสียงในลักษณะของมัลติมีเดีย (Multimedia) ได้

เทคโนโลยีแถบกว้างเป็นการส่งข้อมูลความเร็วสูงที่ใช้งานกับอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการนำเอาเทคโนโลยีขั้นสูงมาประยุกต์ใช้งานพร้อมกับผสมผสานให้เข้ากับการสื่อสารที่มีอยู่แล้วให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อลดข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ให้บริการและข้อจำกัดของการรับส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์ ซึ่งการลดข้อจำกัดดังกล่าวนี้เทคโนโลยีแถบกว้างจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้เกิดการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้เต็มประสิทธิภาพ ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงมีด้วยกันหลายประเภท เช่น เทคโนโลยีผู้เช่าสายดิจิทัล (Digital Subscriber Line: DSL) เป็นเทคโนโลยีการใช้สายโทรศัพท์ธรรมดาตามบ้านโดยการเพิ่มโมเด็มผู้เช่าสายดิจิทัล (DSL Modem) เข้าไปก็สามารถที่จะใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้แล้วหรือโคแอกเชียลโมเด็มเป็นเทคโนโลยีที่ใช้สายโคแอกเชียลกับการให้บริการเคเบิลทีวีโดยการเพิ่มโคแอกเชียลโมเด็มเข้าไปก็สามารถใช้อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้และเทคโนโลยีดาวเทียมแถบกว้างเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ดาวเทียมและโมเด็มระบบดาวเทียมในการให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง เช่น บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง เป็นต้น

2.3.1 เทคโนโลยีแถบกว้างไร้สาย [16]

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านวิทยุสื่อสารแถบกว้างได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีการใช้งานที่สูงมากในปัจจุบันและมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการใช้งานที่สูงมากในอนาคตทำให้มีผลกระทบต่อการจัดสรรคลื่นความถี่ของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ประกอบกับการกำหนดนโยบายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดและจัดสรรคลื่นความถี่ในระดับสากลโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) จึงทำให้มีความจำเป็นที่ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกจะต้องจัดการกับทรัพยากรคลื่นความถี่ซึ่งถือว่าเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและมีความสำคัญอย่างยิ่ง

การดำเนินการจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับกิจการการเข้าถึงแถบกว้างไร้สาย (Broadband Wireless Access: BWA) หรือไวแมกซ์ (Worldwide Interoperability for Microwave Access: WiMAX) มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านโทรคมนาคมของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชาติเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการเข้าถึงแถบกว้างไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ให้บริการสื่อสารไร้สาย ความเร็วสูงด้วยความกว้างแถบความถี่มากกว่า 1 เมกะเฮิร์ตซ์ และรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงกว่า 1.544 เมกะบิตต่อวินาทีซึ่งสามารถนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของชาติได้

ปัจจุบันประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้มีการพิจารณากำหนดและจัดสรรคลื่นความถี่ในย่านการเข้าถึงแถบกว้างไร้สายโดยมีเหตุผลหลักคือเพื่อให้สอดคล้องกับข้อเสนอแนะสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศภาคการสื่อสารวิทยุ (ITU-R Recommendation) ที่เกี่ยวข้องกับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศอย่างไรก็ตามหากประเทศใด ๆ ไม่กำหนดความถี่ให้สอดคล้องกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศก็มิได้หมายความว่าถึงการละเมิดกฎหมายระดับสากลแต่จะทำให้ประเทศนั้น ๆ ยากต่อการจัดหาอุปกรณ์เฉพาะที่ต้องสั่งผลิตเป็นพิเศษจากผู้ผลิตให้มีความถี่ตามที่ประเทศนั้น ๆ ต้องการก็อาจจะทำให้อุปกรณ์มีราคาแพงกว่าท้องตลาดทั่วไปจนเป็นผลให้การลงทุนสูงเกินความจำเป็นและอาจจะไม่คุ้มค่าการลงทุน

2.4 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตโดยใช้เครื่องรับ-ส่งเป็นแบบสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุแบบอิมพัลส์ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี ค.ศ. 1901 ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963 ถึง ค.ศ. 1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ $h(t)$ ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจะถูกแทนด้วย $y(t)$ และกำหนดให้สัญญาณ อินพุตที่ป้อนเข้าเป็น $x(t)$ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้ โดยใช้เครื่อง ออสซิลโลสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบเรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลโลสโคป ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1973 ต่อมาในปี ค.ศ.1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้มีการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อไป ค.ศ.1989

ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิค และอุปกรณ์ ตัวอย่าง เช่น ในปี ค.ศ.1989 สเปนอร์รี ได้จดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์การป้องกันกันชนกันของเครื่องบินมือถือ, ระบบบอกพิกัด และ ตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบความถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด [17]

เดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นที่จะนำมาใช้ปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของคณะกรรมการธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา เพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานในเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะเหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) โดยจะมีความกว้างพัลส์ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิรตซ์ และระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทางประมาณ 10 เมตร และเนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงทำให้ระบบมีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [19]

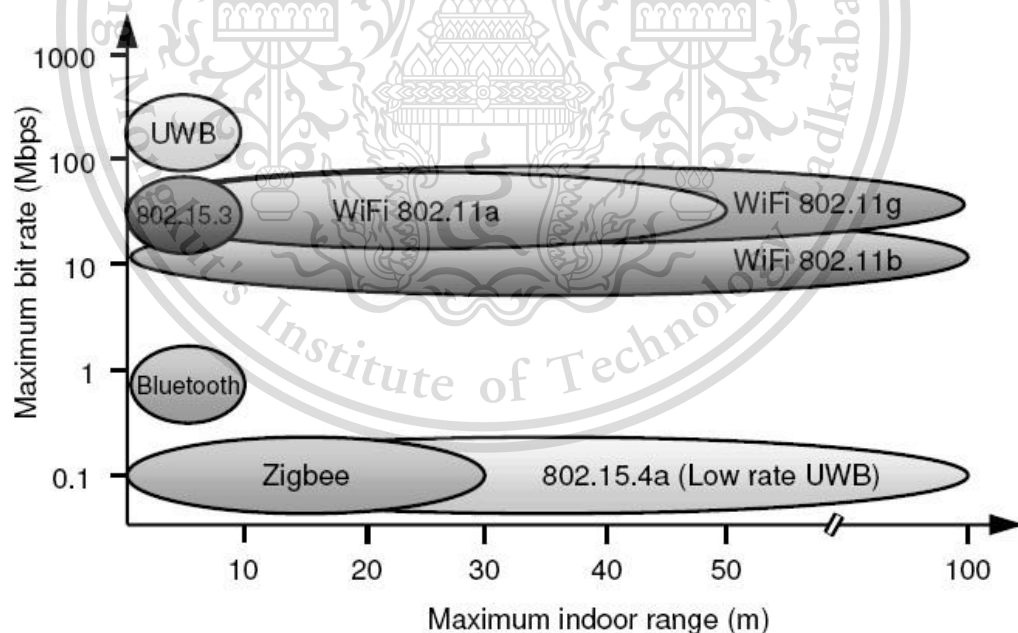
ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบที่มีข้อได้เปรียบที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารหลากหลายประเภทเช่น

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 ดีบีเอ็ม ทำให้มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวน เลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อระบบอื่น ๆ

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นแถบความถี่ที่กว้างมากและมีความถี่สูงจึงทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงประมาณ 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบอัตราบิตสูงสุดระหว่างแถบแคบอื่น ๆ และแถบกว้างยิ่ง [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยังเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมาก ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห์และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่มีวงจรรวมผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับกำหนดตำแหน่ง

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก นั้นหมายถึงระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและค่านวนเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้งานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.5 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้าง [20]

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกกำหนดการใช้งานคลื่นวิทยุ และคลื่นความถี่ ตามกฎข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ที่ดูแลเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ (ITU-R) และในแต่ละประเทศจะมีองค์กรที่จัดการเรื่องกฎข้อบังคับต่าง ๆ เช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission: EC) กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology: MIIT) ของประเทศจีน และกระทรวงการปกครองและการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของประเทศญี่ปุ่น

นอกจากจัดการบริหารคลื่นความถี่วิทยุแล้วยังดูแลด้านความเสี่ยงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ องค์กรที่เรียกว่า The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) มีการกำหนดเกณฑ์ปลอดภัยหรือขีดจำกัด (ค่าสูงสุด) ของการแผ่คลื่นในย่านความถี่ต่าง ๆ โดยใช้ค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ หมายถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อัตราที่พลังงานถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อของร่างกาย มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อกิโลกรัม (W/kg) ซึ่งเป็นหน่วยวัดของจำนวนพลังงานความถี่วิทยุที่ดูดซับโดยร่างกายเมื่อทำการใช้โทรศัพท์มือถือ

เนื่องจากโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ถูกใช้งานในช่วงที่จำกัดคือรอบ ๆ ร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้กำหนดให้มีการสื่อสารระยะสั้น โดยมีการใช้ระดับรังสีที่ต่ำและมีการใช้พลังงานที่ต่ำ และเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานร่วมกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้มีดังนี้ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network: WPAN) ที่ใช้แถบความถี่ทางการแพทย์ทางวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม โดยความถี่ที่สามารถใช้งานร่วมกับ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์โดยได้กำหนดในแถบความถี่บริการสื่อสารทางการแพทย์ และ บริการเครื่องวัดทางการแพทย์แบบไร้สาย

ข้อกำหนดที่สำคัญได้ถูกกำหนดขึ้นมาใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งในแต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎข้อบังคับในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งตามความเหมาะสมของกิจการโทรคมนาคมของประเทศนั้น ๆ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน และอีกหลาย ๆ ประเทศที่กำลังพัฒนาระบบการสื่อสาร ซึ่งในสหรัฐอเมริกา มีกลุ่มทำงานที่ชื่อว่า “Ultra-Wideband Working Group (UWBWG)” ได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาเพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกันเช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

2.5.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry: NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใด ๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง
ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.20 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [21]

ความถี่ (MHz)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP (dBm)	EIRP (dBm)
960 – 1,610	-75.3	-75.3
1,610 – 1,990	-53.3	-63.3
1,990 – 3,100	-51.3	-61.3
3,100 – 10,600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10,600	-51.3	-61.3

กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: EIRP) สำหรับเครื่องส่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการใช้งานภายในอาคารหรือบนมือถือ รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของการใช้งานภายในอาคารและ

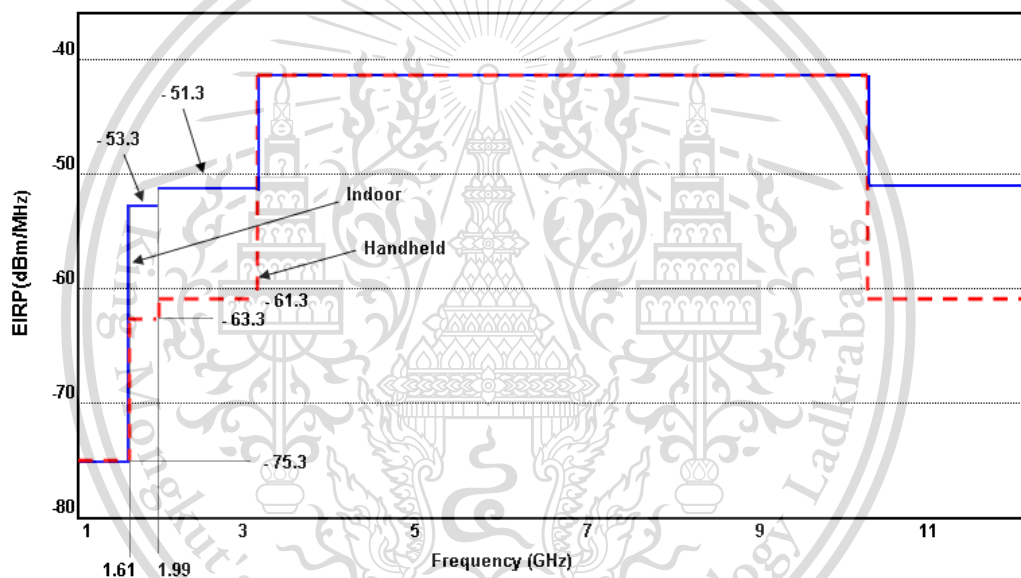
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บนมือถือ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานมีค่าเท่ากันในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานบนมือถือที่มีค่าน้อยกว่าระดับภายในอาคารอยู่ 10 เดซิเบล จะอยู่ในช่วงความถี่ 1.61 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.1 กิกะเฮิรตซ์ และช่วงความถี่มากกว่า 10.6 กิกะเฮิรตซ์

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาได้ถูกรวบรวมอยู่ใน ส่วนย่อยของ ส่วนที่ 15 ของกฎหมายรัฐบาลกลาง (Code of Federal Regulations) และอุปกรณ์ของระบบ แถบกว้างยิ่งอาจไม่สามารถใช้ในของเล่น และเป็นสิ่งที่ต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน เรือ และระบบดาวเทียม



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [22]

2.5.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ในยุโรปมีการกำหนดกฎข้อบังคับของการสื่อสารบนร่างกายอยู่ 3 มาตรฐาน คือของ สหภาพยุโรป (European Union: EU) มาตรฐานการส่งสัญญาณที่ใช้ในยุโรป (Conference of European Posts and Telecommunications Administration: CEPT) และ องค์การสร้าง มาตรฐานของอุตสาหกรรมสื่อสารของกลุ่มประเทศยุโรป (European Telecommunication Standard Institute: ETSI) โดยจะอธิบายเฉพาะในส่วน of ค่าเฉลี่ยกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไอโซทรอปิก เนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปมีการใช้การปล่อยพลังงานสูงสุดเหมือนของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปให้คำนิยามของแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา โดยที่ค่าระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกามีค่าแบนด์วิดท์ต่ำสุดอยู่ที่ 50 เมกะเฮิรตซ์ เช่นเดียวกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาแบนด์วิดท์ที่ใช้ทดสอบ ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 เดซิเบล ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการใช้งานภายในอาคารได้ถูกกำหนดไว้ดังรูป 2.10 และที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่ต่ำ ค่าสูงสุดของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก มีค่า -41.3 ดิบีเอ็มต่อวินาที โดยสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีช่วงการใช้งานต่ำ (Low duty cycle : LDC) หรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง (Detect-and-avoid: DAA) แต่หากไม่ได้ใช้ช่วงการใช้งานต่ำ หรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง แล้วค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกจะอยู่ที่ -70 ดิบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ (-80 ดิบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 3.4 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.8 กิกะเฮิรตซ์) อย่างไรก็ตามค่า -41.3 ดิบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์สามารถใช้งานในช่วงความถี่ 4.2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อไม่มีการใช้ ช่วงการใช้งานต่ำ หรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง จนถึงสิ้นปี 2010 ที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่สูง ค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด คือ -41.3 ดิบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 8.5 กิกะเฮิรตซ์ และในช่วงความถี่ 8.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9 กิกะเฮิรตซ์ จะมีค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด ที่ -65 ดิบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ การทำช่วงการใช้งานต่ำ หรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง เป็นวิธีการลดการรบกวนจากอุปกรณ์ของระบบแถบกว้าง กับระบบไร้สายที่มีอยู่

กลไกในการตรวจสอบและหลีกเลี่ยงเป็นที่รู้จักและถูกใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่มีระดับการแพร่กระจายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรณีดำเนินการในแต่ละภาคส่วน ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ

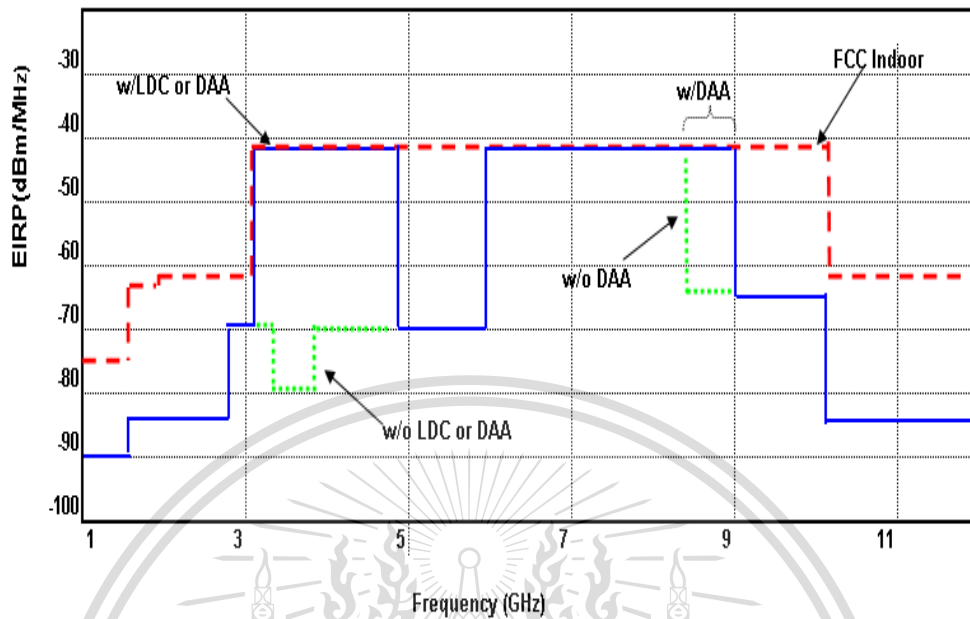
ช่วงใช้งานกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของคาบสัญญาณของอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งในช่วงเวลาที่กำหนด พารามิเตอร์ช่วงการใช้งานต่ำ โดยได้ถูกนิยามครั้งแรกในสหภาพยุโรป ดังนี้

- ค่าสูงสุดของ Tx on น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิวินาที
- ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของ Tx off มากกว่าหรือเท่ากับ 38 มิลลิวินาที (ค่าเฉลี่ยกลางมากกว่า 1 วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดยสหภาพยุโรป [22]

- ค่าต่ำสุดสะสมของ Tx off มากกว่าหรือเท่ากับ 950 มิลลิวินาที ใน 1 วินาที
- ค่าสูงสุดสะสมของ Tx on 18 วินาทีใน 1 ชั่วโมง

การควบคุมกำลังส่ง (Transmit power control: TPC) เป็นวิธีการลดการรบกวนของสหภาพยุโรป สำหรับอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ติดตั้งบนถนนหรือรถไฟสามารถใช้งานกับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิรตซ์ 6 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 8.5 กิกะเฮิรตซ์ และ 8.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9 กิกะเฮิรตซ์ และตารางที่ 2.3 ได้สรุปวิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด ที่ -41.3 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์

ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศภาคการสื่อสารวิทยุ หรือ มาตรฐานของอุตสาหกรรมการสื่อสารของกลุ่มประเทศยุโรป แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 ค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ [22]

ระบบและช่วง ความถี่ (GHz)	Max. EIRP in Zone1 (dBm/MHz)	Threshold 1 (dBm)	Max. EIRP in Zone2 (dBm/MHz)	Threshold 2 (dBm)	Max. EIRP in Zone3 (dBm/MHz)
Radiolocation S-band: 3.1- 3.4	-70	-38	-41.3	-	-
BWA 3.4-3.8	-80	-38	-65	-61	-41.3
Radiolocation X-band: 8.5 - 9	-65	-61	-41.3	-	-

ตารางที่ 2.3 วิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 ดบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ [22]

การประยุกต์ใช้ งาน	ความถี่ (GHz)		
	3.1 – 4.8	6 – 8.5	8.5 - 9
การใช้งาน ภายในอาคาร	ช่วงการใช้งานต่ำหรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง	ไม่จำเป็น	ตรวจจับและหลีกเลี่ยง
การใช้งานบน ถนนหรือรถไฟ	ช่วงการใช้งานต่ำหรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง ร่วมกับ การควบคุม กำลังส่ง	ช่วงการใช้งานต่ำ หรือ การควบคุม กำลังส่ง	ช่วงการใช้งานต่ำ ร่วมกับ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง หรือ ตรวจจับและหลีกเลี่ยง ร่วมกับ การควบคุมกำลังส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

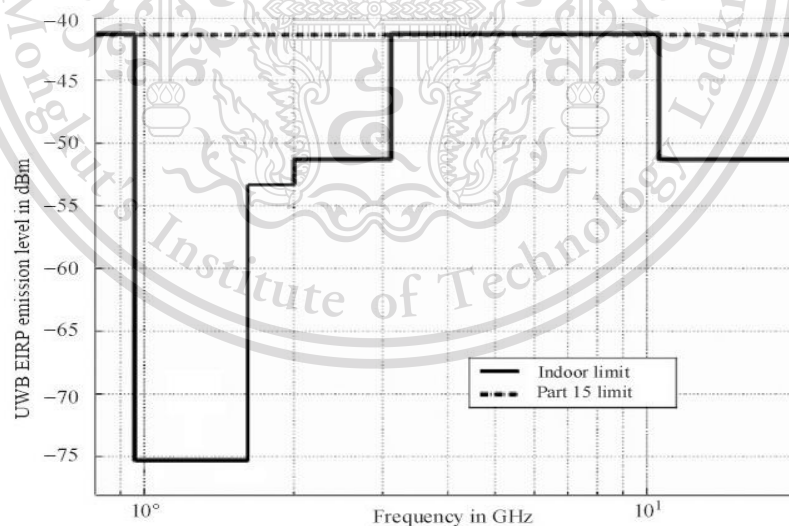
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยมาตรฐานของอุตสาหกรรมการสื่อสารของกลุ่มประเทศยุโรป สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [21]

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

โดยในรูปที่ 2.11 และ 2.12 การเปรียบเทียบข้อกำหนดสเปกตรัมตามของอุปกรณ์การสื่อสารแถบกว้างโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยรูปที่ 2.11 คือสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา และ รูปที่ 2.12 คือสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา

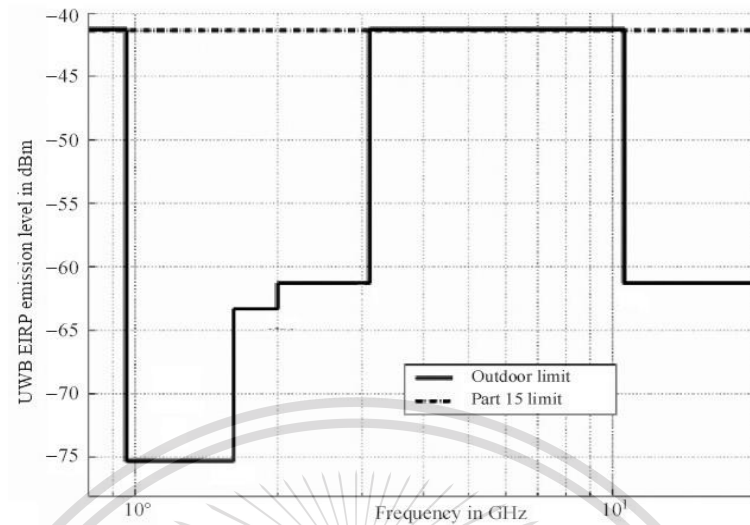


รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารโดย คณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [23]

2.5.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น [22]

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้ในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2006 และในรูปที่ 2.13 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา กับของประเทศญี่ปุ่น ความถี่ที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 3.4 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ต่ำ และ 7.25 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.25 กิกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่สูง ในช่วงความถี่ต่ำวิธีการลดการรบกวนได้ถูกนำมาใช้ ช่วงความถี่ที่ 4.2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิรตซ์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการลดการรบกวนจนถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2010 แต่ประเทศญี่ปุ่นได้พิจารณายืดเวลาออกไปจนถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2013 โดยมีบางข้อกำหนดเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นดังนี้

- ในการดำเนินการภายในอาคารอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งสามารถเชื่อมต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับและอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ไม่ได้ต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องได้รับอนุญาตให้ปล่อยคลื่นวิทยุหลังจากที่ได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับ
- อัตราการส่งข้อมูลมากกว่า 50 เมกะบิตต่อวินาที ยกเว้นกรณีของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 เดซิเบล จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 เมกะเฮิร์ตซ์

2.5.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศเกาหลี [22]

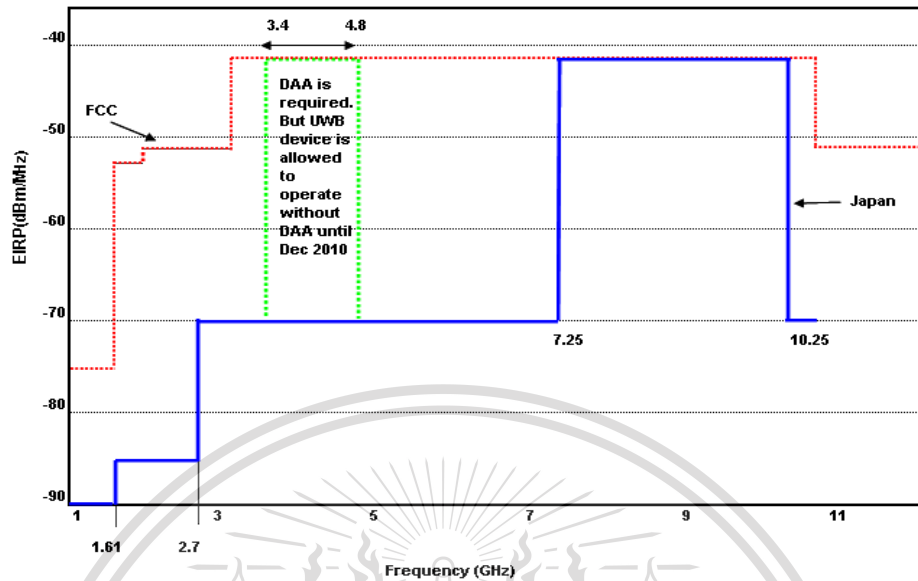
กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งมีผลบังคับใช้ในช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ. 2006 โดยมีค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานคล้ายคลึงกับประเทศญี่ปุ่น แต่มีช่วงความถี่ต่างกันเพียงเล็กน้อย บางพารามิเตอร์เช่น ช่วงการใช้งานต่ำ มีค่าใกล้เคียงกับสหภาพยุโรป ดังแสดงในรูป 2.14 ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานในช่วงความถี่ต่ำได้คือ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิร์ตซ์ และช่วงความถี่สูงคือ 7.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10.2 กิกะเฮิร์ตซ์ อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งถูกห้ามใช้ในส่วนงานบนเครื่องบิน เรือ ดาวเทียม วิทยุควบคุมการบิน ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 เดซิเบล จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 เมกะเฮิร์ตซ์ หนึ่งในวิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิร์ตซ์ วิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ในช่วงความถี่ต่ำ โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้และมีวิธีการดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานไม่เกิน -70 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิร์ตซ์
2. ช่วงเวลาการส่งอย่างต่อเนื่องไม่เกิน 5 มิลลิวินาที และช่วงเวลาในการหยุดควรมากกว่า 1 วินาที
3. พลังงานที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องลดลงไปถึงระดับน้อย -70 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิร์ตซ์ภายใน 2 วินาที เมื่อสัญญาณที่รับได้มีขนาดมากกว่า -80 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิร์ตซ์
4. อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องหลีกเลี่ยงสัญญาณที่รับได้มากกว่า 80 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิร์ตซ์ ภายใน 2 วินาที

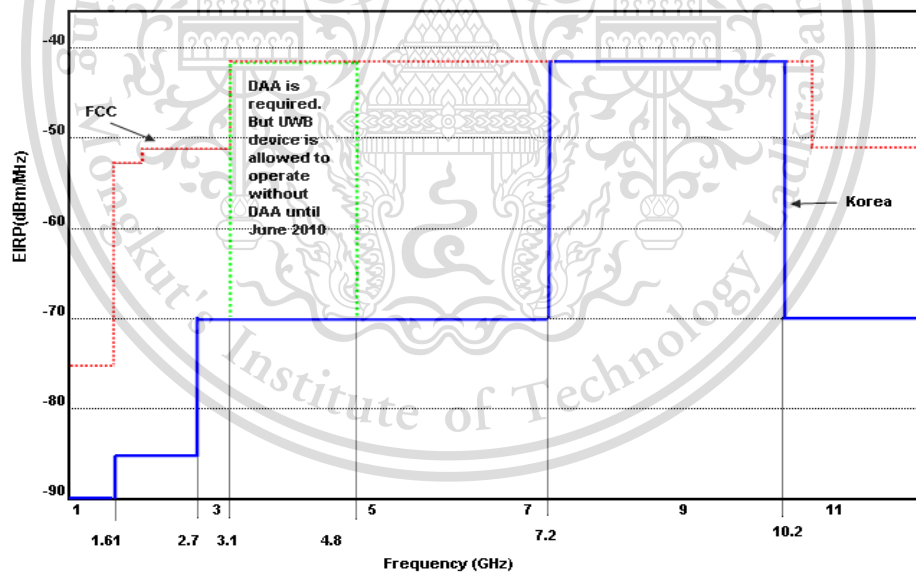
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น [22]



รูปที่ 2.14 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

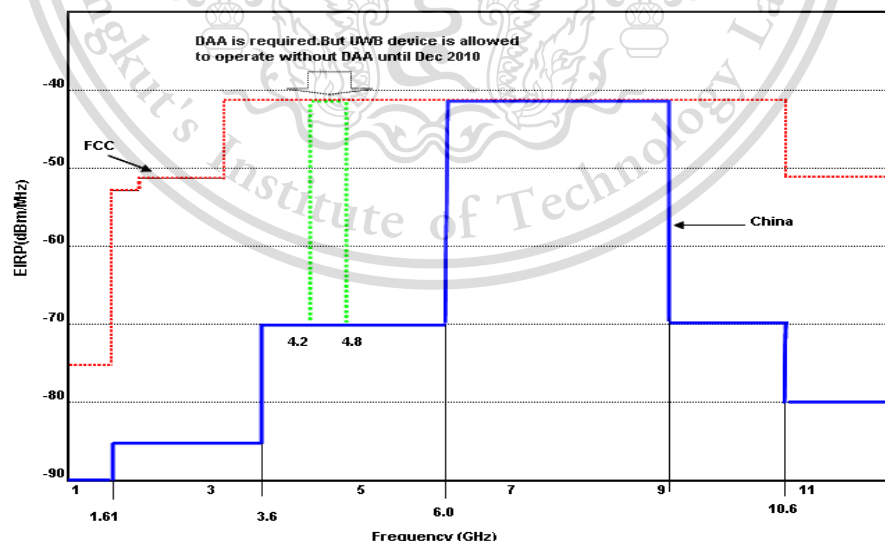
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศจีน [22]

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้เมื่อเดือนธันวาคมปี ค.ศ. 2008 โดยกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ ของประเทศจีน ความถี่แบนด์วิดท์ที่อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 เดซิเบล จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 เมกะเฮิร์ตซ์ ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน -41 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิร์ตซ์ คือที่ 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 9 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 4.2 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้วิธีการลดการรบกวน จนถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2010 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในประเทศจีนแสดงในรูปที่ 2.15 โดยมีกฎข้อบังคับอื่น ๆ อีกดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานในช่วงขอบเขต 1 กิโลเมตรของสถานีวิทยุดาราศาสตร์
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งต้องได้รับการรับรองจากกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศก่อนติดตั้งเพื่อให้บริการ
- อุปกรณ์ภาคส่งของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนกับสถานีวิทยุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังนี้

2.6.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน

การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงานดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน [24]

2.6.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในที่พักอาศัย

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พักอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ทีวี และกล้องดิจิตอล เป็นต้น ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

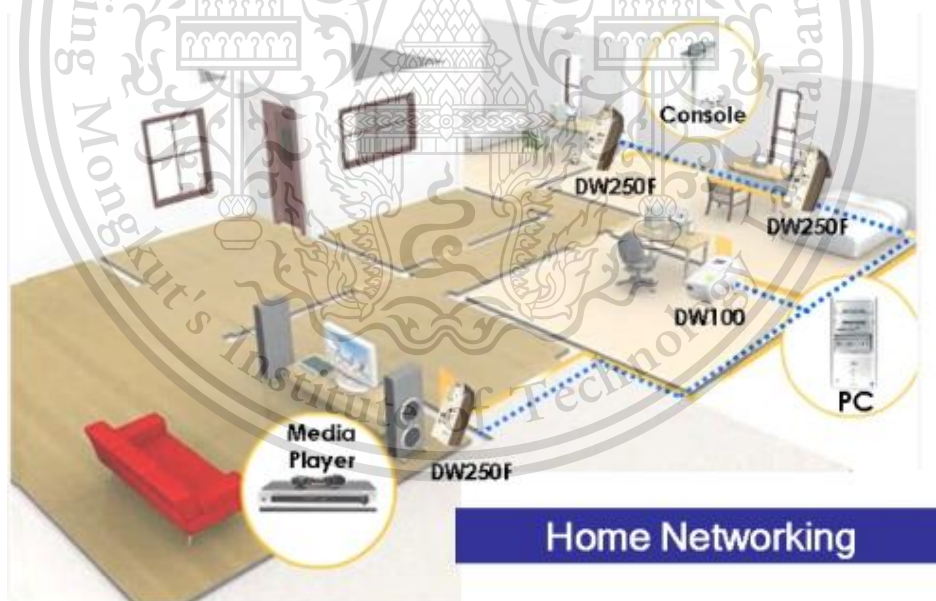
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [25]

เป็นการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกับอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้อวัยวะของร่างกายสามารถสื่อสารกับโลกภายนอกได้ โดยมีประโยชน์โดยตรงต่อวิชาการทางแพทย์สำหรับดูแลสุขภาพ ตรวจวัดสมรรถภาพ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.18

2.6.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง [25]

เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำ เนื่องจากระบบเรดาร์เป็นระบบที่ยังมีความต้องการของตลาดในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน การตรวจจับความเร็วบนถนน ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูง ประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้ อิฐ อิฐบล็อก ไฟเบอร์ และใช้พลาสติกและคอนกรีต ดังรูปที่ 2.19

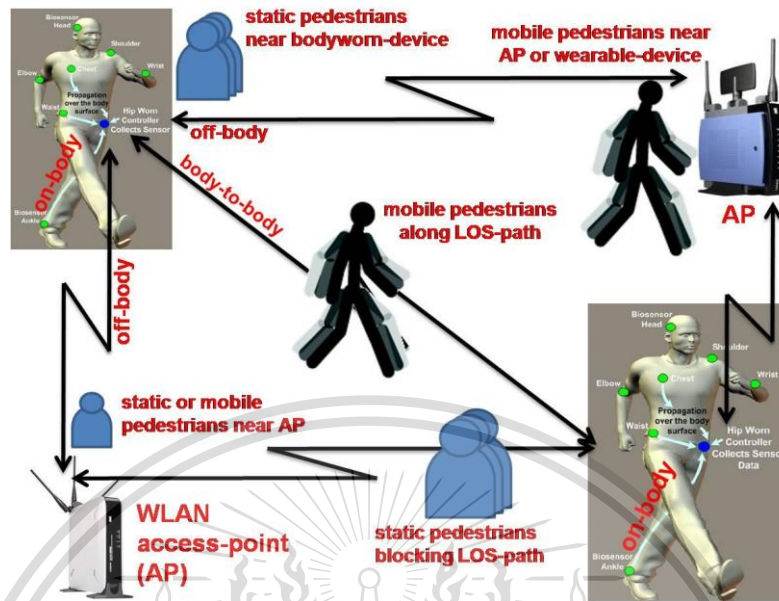


รูปที่ 2.17 การนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย [24]

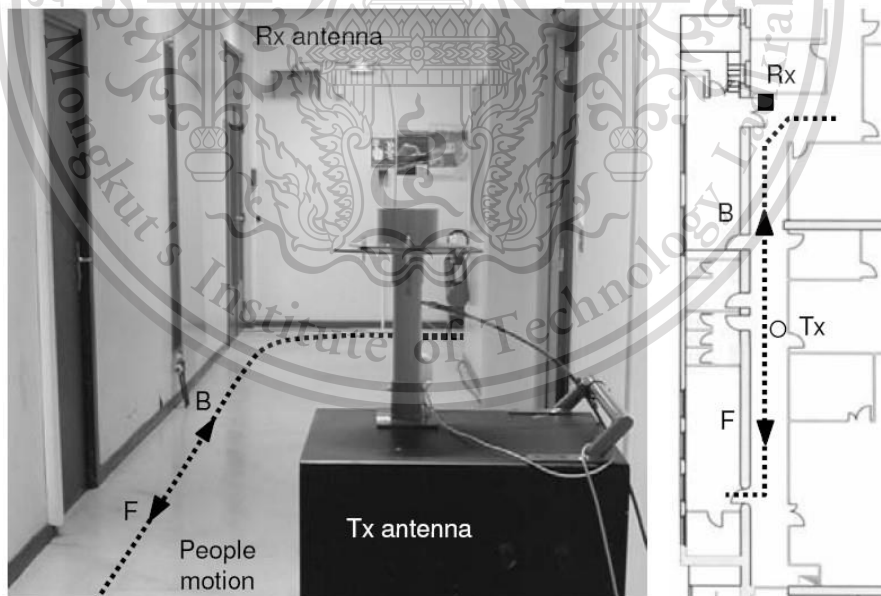
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.18 การนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [25]



รูปที่ 2.19 การนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

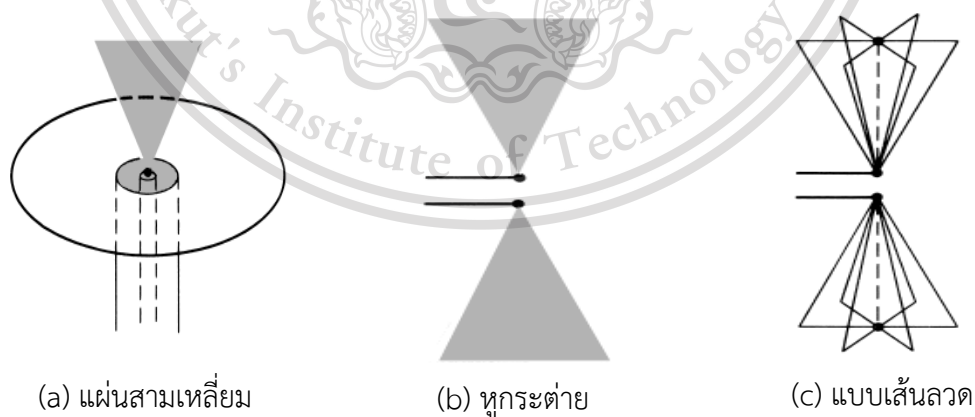
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 ทฤษฎีและโครงสร้างสายอากาศแถบกว้าง

2.7.1 การจำลองแผ่นสามเหลี่ยม, หูกระต่าย และเส้นลวด (Triangular sheet, Bow-Tie and wire simulation) [26]

เนื่องจากลักษณะแถบกว้างจึงมีการใช้เสาอากาศแบบสองขั้วเป็นเวลาหลายปีในช่วงความถี่สูงมาก (Very high frequency: VHF) และ ความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) อย่างไรก็ตามของแข็งหรือซิลด์โครงสร้างสองมิติมีขนาดใหญ่มากสำหรับความถี่ของการทำงานส่วนใหญ่จนไม่สามารถใช้งานได้จริง สายอากาศเดี่ยวรูปแบบที่สมจริงของโครงสร้างเชิงกลได้รับการคิดค้นในขณะที่ยังคงรักษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ต้องการให้ได้มากที่สุด การประมาณทางรูปทรงที่เป็นของแข็งหรือสายอากาศขั้วเดี่ยวทรงกรวยซิลด์หรือสายอากาศสองขั้วคือแผ่นสามเหลี่ยมและสายอากาศแบบหูกระต่ายที่แสดงในรูปที่ 2.20 (a) และ (b) ตามลำดับแต่ละชิ้นประดิษฐ์จากโลหะแผ่นตรวจสอบแผ่นสามเหลี่ยมแล้วทดลองโดยบราวน์และวูดเวิร์ดแต่ละสายอากาศเหล่านี้สามารถจำลองได้ด้วยโดยใช้ลวดตามรอบนอกของพื้นผิวซึ่งจะช่วยลดน้ำหนักและความต้านทานลมของโครงสร้างเพื่อจำลองพื้นผิวที่น่าสนใจของการวิวัฒนาการสายอากาศสองขั้วโดยโครงสร้างที่มีมวลน้อยจะใช้สายหูกระต่ายหลายส่วนที่ตัดกันเป็นแสดงในรูปที่ 2.20 (c) มีการแสดงให้เห็นว่าการสร้างลวดที่ตัดกันตั้งแต่แปดเส้นขึ้นไปการผูกโบว์สามารถประมาณลักษณะการแผ่รังสีของการวิวัฒนาการของสายอากาศทรงกรวย



รูปที่ 2.20 การจำลองของสายอากาศไดโพล [26]

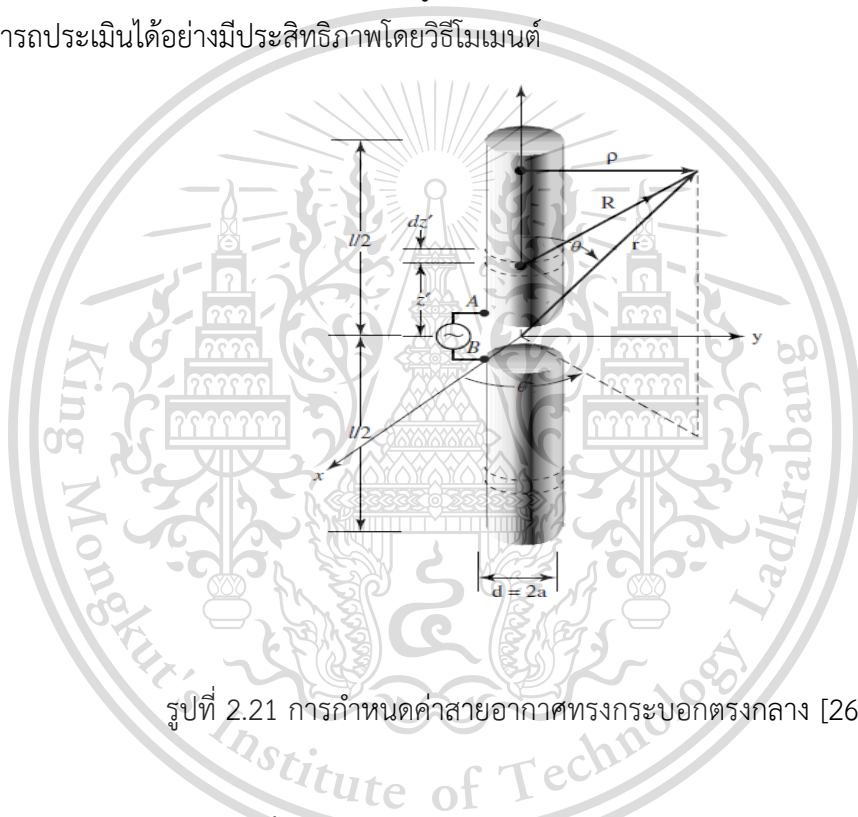
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.2 สายอากาศแบบไดโพลทรงกระบอก (Cylindrical dipole) [26]

สายอากาศที่เรียบง่ายและราคาไม่แพงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะการแผ่รังสีเป็นความถี่ขึ้นอยู่กับไดโพลทรงกระบอก (เช่นเส้นลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวจำกัด) ของแบบฟอร์มแสดงในรูปที่ 2.21 ไดโพลแบบหนาดือเป็นแถบกว้างในขณะที่ไดโพลแบบบางเป็นวงแคบมากขึ้นรูปทรงเรขาคณิตนี้ถือได้ว่าเป็นรูปแบบพิเศษของรูปสองขั้วสายอากาศเมื่อ $\alpha = 0^\circ$ การวิเคราะห์กระแสอิมพีแดนซ์รูปแบบและลักษณะการแผ่รังสีอื่น ๆ สามารถทำได้โดยใช้วิธีโมเมนต์ด้วยตนเองเทคนิคการวิเคราะห์สายอากาศในรูปแบบหนึ่งของ Hall'enan d ประเภท Pocklington ซึ่งสามารถประเมินได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยวิธีโมเมนต์



รูปที่ 2.21 การกำหนดค่าสายอากาศทรงกระบอกตรงกลาง [26]

2.7.3 สายอากาศไดโพลแบบพับ (Folded dipole) [27]

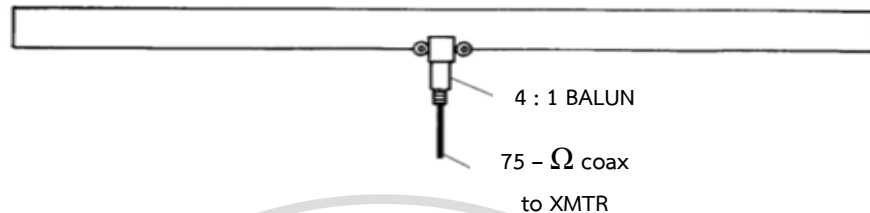
เป็นสายอากาศพื้นฐานที่ประกอบด้วยสายอากาศครึ่งความยาวคลื่นจำนวน 2 ชั้นมาต่อเข้าด้วยกัน (Shorted) และมีการป้อนสัญญาณที่จุดกึ่งกลางของตัวนำ 1 ด้านสายอากาศแบบนี้จะมีค่าอิมพีแดนซ์ ประมาณ 300 โอห์ม ซึ่งจะให้กับสายนำสัญญาณแบบ twin-lead สายอากาศแบบนี้จะมีข้อดีคือแบนด์วิดท์กว้าง (Wide-bandwidth) ข้อเสียของสายอากาศไดโพลแบบพับก็คือมีค่าอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม ซึ่งไม่เหมาะสมกับเครื่องส่งในปัจจุบันที่ได้รับการออกแบบให้ใช้กับสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำสัญญาณแบบสายโคแอกเซียลแต่ที่เราจะสามารถที่จะแก้ปัญหาได้โดยการใช้หม้อแปลง 4:1 บา ลัน ที่จุดป้อนสัญญาณ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 สายอากาศโพลแบบพับที่มีการดัดแปลงโดยการใช้หม้อแปลง 4:1 บา ลัน ที่ จุดป้อน สัญญาณเพื่อออกแบบให้ใช้กับสายนำสัญญาณแบบสายโคแอกเซียล [27]

2.7.4 สายอากาศกรวยคู่ (Biconical antenna) [28]

สายอากาศกรวยคู่ได้มีการคิดค้นมาตั้งแต่ ค.ศ. 1897 โดย เซอร์ โอลีเวอร์ ลอด (Sir Oliver Lodge) แต่ในขณะเดียวกันในตอนนั้นก็ได้มีการใช้งานสายอากาศกรวยเดี่ยวมาก่อนแล้ว ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากในการติดต่อสื่อสาร ผู้คิดค้นสายอากาศกรวยเดี่ยวก็คือ มาโคนิ (Maconi) และ เขายังได้คิดค้นสายอากาศรูปพัดขึ้นมามากด้วย สายอากาศกรวยคู่ที่เกิดจากการวางกรวยสองอันดังที่ แสดงในรูปที่ 2.23 (a) สิ่งนี้สามารถคิดได้ว่าเป็นตัวแทนของสายส่งที่เรียวยสม่ำเสมอการประยุกต์ใช้ แรงดันไฟฟ้า V_i ที่ขั้วอินพุตจะสร้างขาออกเป็นทรงกลมคลื่นดังที่แสดงในรูปที่ 2.23 (b) ซึ่งเกิดขึ้นที่ จุดใด ๆ $(r, \theta = \theta_c, \phi)$ กระแส (I) ตามพื้นผิวของกรวยและแรงดันไฟฟ้า (V) ระหว่างกรวย (รูปที่ 2.24) จากนั้นสามารถใช้สิ่งเหล่านี้เพื่อค้นหาความต้านทานลักษณะเฉพาะของสายส่งซึ่งเท่ากับ เท่ากับอิมพีแดนซ์อินพุตของเรขาคณิตอนันต์ การปรับเปลี่ยนเป็นนิพจน์นี้เพื่อคำนึงถึงความยาว จำกััดของกรวยจะทำการเปรียบเทียบกับสายส่ง

สายอากาศกรวยคู่มีคุณสมบัติของแถบกว้างอยู่ด้วยคือสามารถประยุกต์ใช้งานใน ระบบสื่อสารได้หลายอย่าง และมีรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อน สร้างได้ง่าย สายอากาศกรวยคู่นั้นถือ ได้ว่าเป็นสายอากาศที่มีย่านความถี่ที่ใช้ที่กว้างมาก สำหรับความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) ของสายอากาศกรวยคู่นั้นเกิดขึ้นจากการแปรค่ารัศมีตามแนวแกนหรือการเพิ่มค่าของมุม θ ด้วย โครงสร้างของสายอากาศกรวยคู่จะประกอบไปด้วยกรวยสองอันจัดวางอยู่ในแนวแกนเดียวกัน โดย ที่จุดยอดของกรวยทั้งสองบริเวณจุดกึ่งกลางของสายอากาศจะเป็นจุดป้อนสัญญาณเรียกว่า จุดป้อน

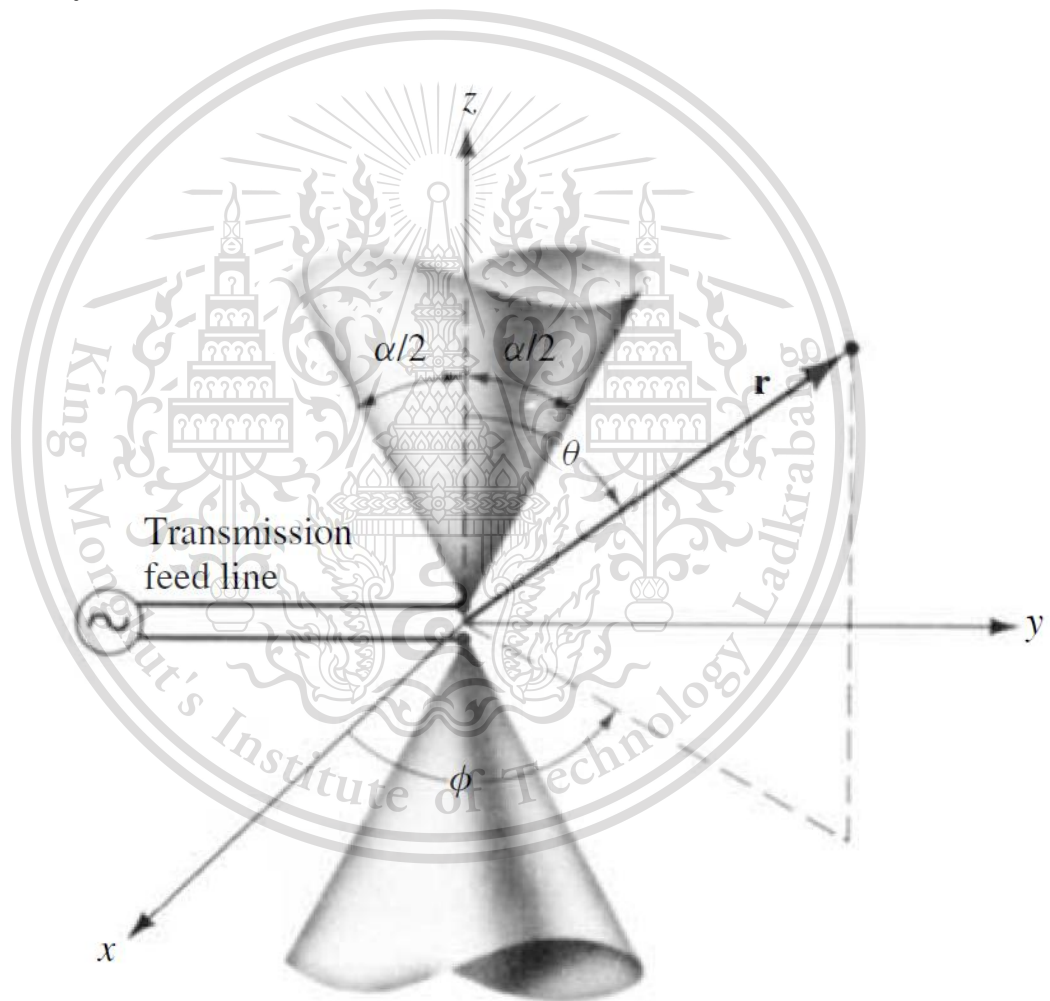
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(Feed point) การแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่ นั้นจะคล้ายคลึงกับสายอากาศไดโพลโดยที่บริเวณจุดป้อนนี้จะมีกระแสไหลมากที่สุดและมีแรงดันต่ำสุด บริเวณปลายทั้งสองของสายอากาศเหมือนเปิดวงจรจึงมีแรงดันมากที่สุดและมีกระแสไหลน้อยสุด และบริเวณที่มีค่าแรงดันสูงจะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ปลายของสายอากาศ และจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นบริเวณที่มีกระแสไหลมากที่สุดนั่นก็คือบริเวณจุดป้อนเช่นเดียวกัน สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่จะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีลักษณะเป็นแบบรอบทิศทาง (Omni directional pattern) ดังรูปที่ 2.25

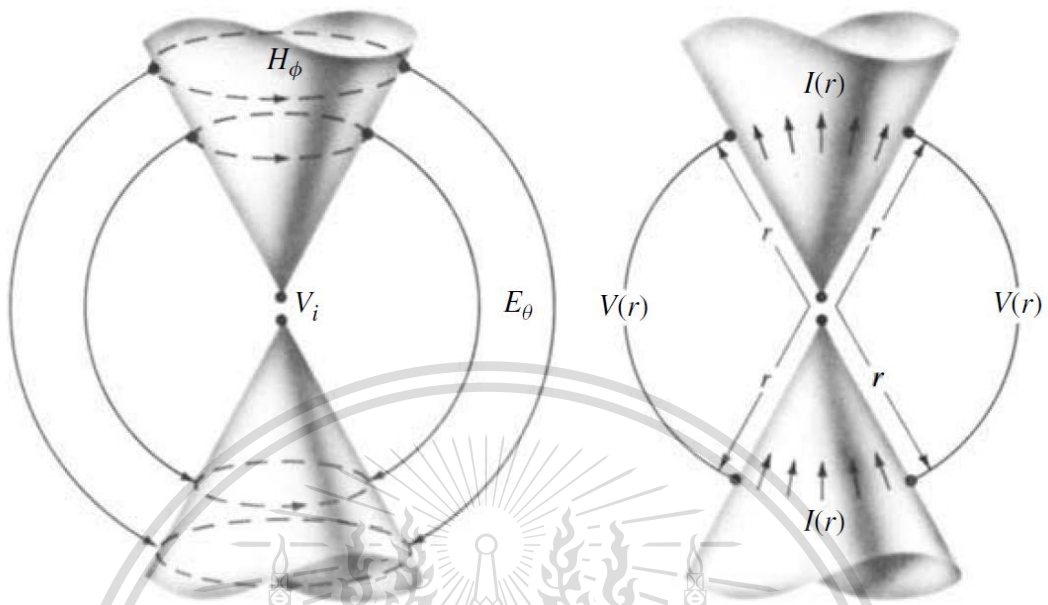


รูปที่ 2.23 รูปทรงสายอากาศกรวยคู่ [26]

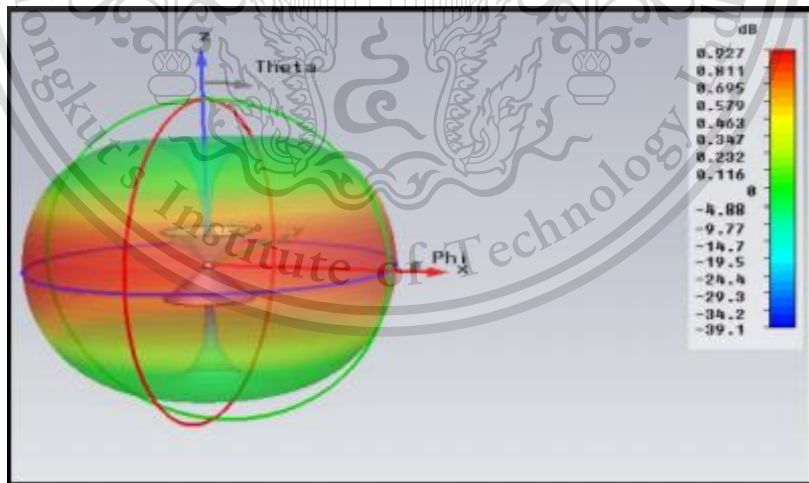
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.24 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กและแรงดันและกระแสที่เกี่ยวข้องสำหรับสายอากาศกรวยคู่ [26]



รูปที่ 2.25 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นลักษณะเป็นแบบรอบตัวของสายอากาศกรวยคู่ [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

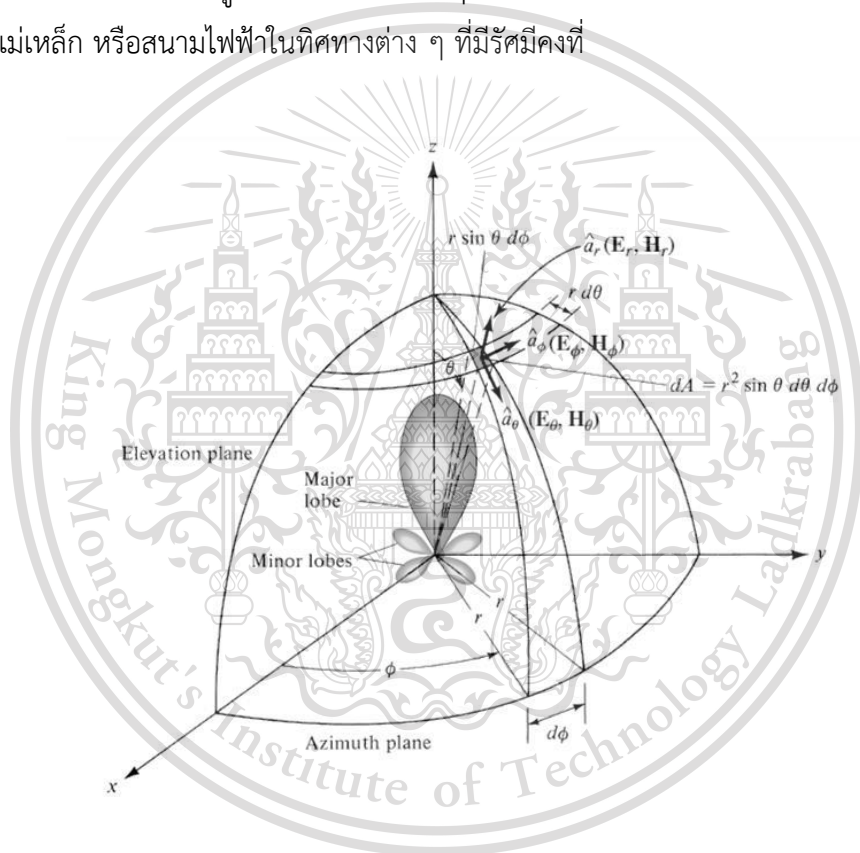
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8 คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ

2.8.1 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern) [26]

รูปภาพแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ส่วนใหญ่มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far field) ดังแสดงในรูปที่ 2.26

จากรูปที่ 2.26 แสดงแบบรูปของกำลัง (Power pattern) ของสายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่คงที่ ส่วนแบบรูปของสนาม (Field pattern) เป็นกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่



รูปที่ 2.26 ระบบพิกัดแสดงคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ [26]

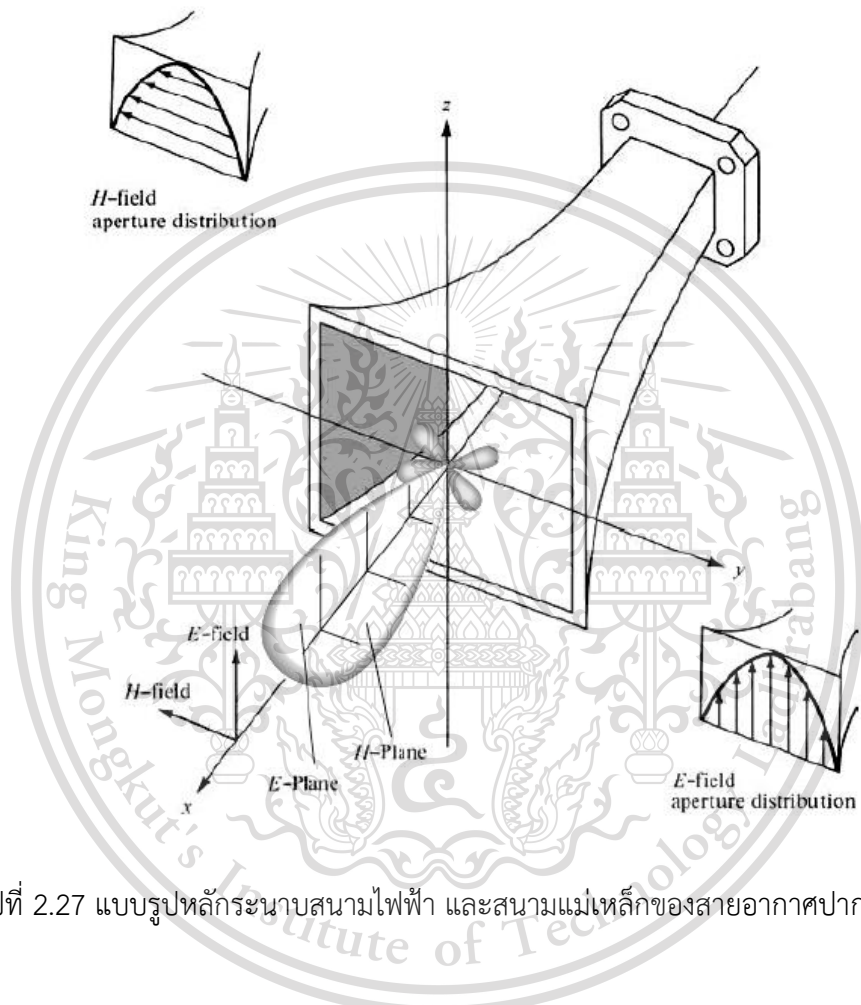
2.8.1.1 แบบรูปหลัก (Principal pattern)

แบบรูปหลักของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก สำหรับสายอากาศที่มี โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น แบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้า จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของการแผ่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบสนามแม่เหล็ก จะเป็นระนาบที่บรรจุ
เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแผ่กระจายคลื่นที่ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แบบรูปหลักระนาบสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร [26]

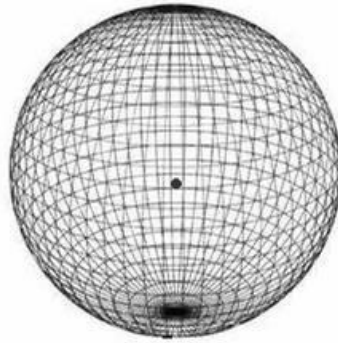
2.8.1.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

1) แบบรูปไอโซทรอปิก (Isotropic pattern) เป็นสายอากาศที่ถูกสมมติขึ้น มีคุณสมบัติแผ่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ใช้ในการเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ และทิศทางของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.28 แบบรูปไอโซทรอปิก [26]

2) แบบรูปชี้ทิศทาง (Directional pattern) เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่น หรือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.29



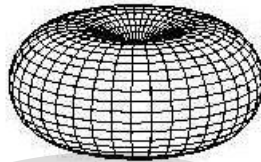
รูปที่ 2.29 แบบรูปชี้ทิศทาง [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

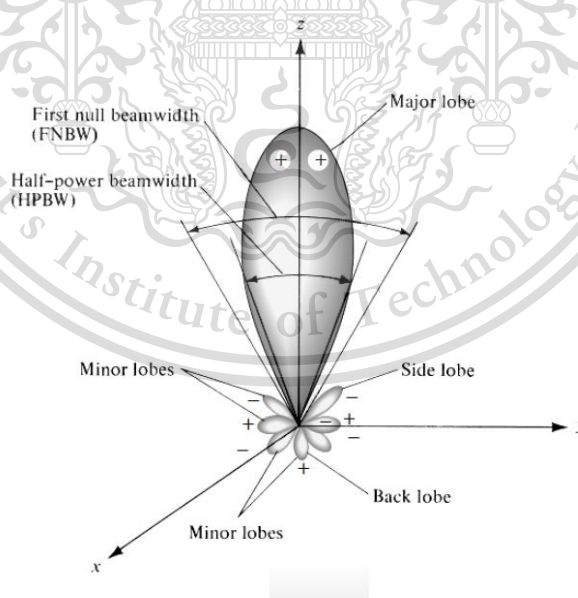
3) แบบรูปรอบทิศทาง เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นรอบทิศทาง หรือไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุท (Azimuth plane) แต่มีทิศทางในระนาบเอเลเวชัน (Elevation pattern) ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แบบรูปรอบทิศทาง [26]

2.8.1.3 ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation pattern lobes)

ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นส่วนที่มีความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 และ 2.32 ตามลำดับ

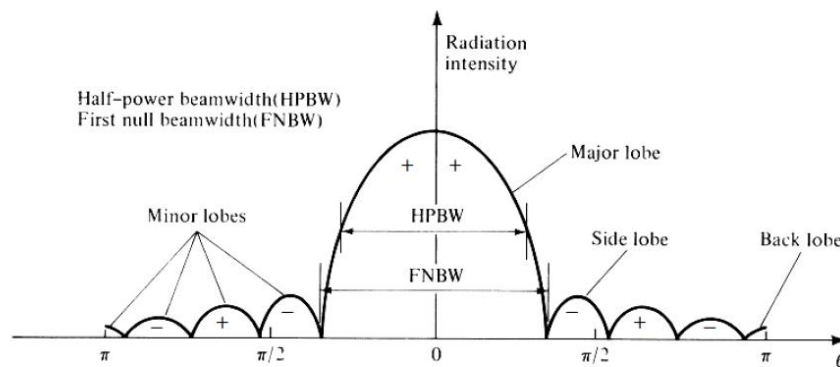


รูปที่ 2.31 ลำคลื่นในรูปแบบเชิงขั้วแบบ 3 มิติ [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.32 ลำคลื่นในรูปแบบเชิงเส้นแบบ 2 มิติ [26]

จากรูปที่ 2.31 และ รูปที่ 2.32 จะประกอบไปด้วยลำคลื่นแบบต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ลำคลื่นหลัก (Major lobe หรือ main lobe) เป็นลำคลื่นที่มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นแรงมากที่สุด
- 2) ลำคลื่นย่อย (Minor lobe) เป็นลำคลื่นที่มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นแรงน้อยกว่าลำคลื่นหลัก
- 3) ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ติดกับลำคลื่นหลัก และอยู่ในระนาบเดียวกับลำคลื่นหลัก
- 4) ลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ตรงข้ามกับระนาบลำคลื่นหลัก

2.8.2 ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation power density) [26]

ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่นต่อพื้นที่ใน 1 ตารางเมตร สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$W_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[E \times H^*] \quad (2.2)$$

เมื่อ W_{av} คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (วัตต์ต่อตารางเมตร)

E คือ สนามไฟฟ้า (โวลต์ต่อเมตร)

H^* คือ สนามแม่เหล็ก (แอมแปร์ต่อเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8.3 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation intensity) [26]

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อมุมตัน สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$U = r^2 W_{av} \quad (2.3)$$

เมื่อ U คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (วัตต์ต่อสเตอเรเดียน)

W_{av} คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (วัตต์ต่อตารางเมตร)

r คือ รัศมีของการแผ่กระจายคลื่น (เมตร)

2.8.4 กำลังงานการแผ่กระจายคลื่น (Radiation power) [26]

กำลังงานการแผ่กระจายคลื่น คือ กำลังงานของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ไหลผ่านพื้นที่ผิวปิด สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.4)$$

เมื่อ P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (วัตต์)

U คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (วัตต์ต่อสเตอเรเดียน)

2.8.5 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) [26]

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางนั้นเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิก ซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้สำหรับการอ้างอิง สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$D_{\max} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.6)$$

เมื่อ D คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

D_{\max} คือ ค่าสูงสุดของสภาพเจาะจงทิศทาง

U_{\max} คือ ค่าสูงสุดของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (วัตต์ต่อสเตอเรเดียน)

โดยทั่วไปจะแสดงค่าสภาพเจาะจงทิศทาง และค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด เป็นหน่วย เดซิเบล สามารถหาได้จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

$$D(\text{dBi}) = 10\log(D) = 10\log\left(\frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}}\right) \quad (2.7)$$

$$D_{\max}(\text{dBi}) = 10\log(D_{\max}) = 10\log\left(\frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}}\right) \quad (2.8)$$

2.8.6 อัตราขยายกำลัง (Power gain) [26]

อัตราขยายกำลังของสายอากาศ เป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง โดยรวมค่าประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางจะอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น สามารถหาได้จากสมการที่ 2.9

$$G = e_r D \quad (2.9)$$

เมื่อ G คือ อัตราขยาย

e_r คือ ประสิทธิภาพของอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแสดงค่าอัตราขยายเป็นหน่วยเดซิเบล สามารถหาได้จากสมการที่

2.10

$$G(\text{dB}) = 10\log(e_r D) \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna efficiency) [26]

ประสิทธิภาพของสายอากาศ จะคำนึงถึงการสูญเสียต่างๆ ที่ขึ้นและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วยสาเหตุมาจาก

2.8.7.1 การสะท้อนกลับเนื่องมาจากความไม่แมตช์ (Mismatch) ระหว่างสายส่ง (Transmission line) กับสายอากาศ

2.8.7.2 การสูญเสียทั้งในตัวนำ และฉนวน โดยทั่วไป ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 2.11

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.11)$$

เมื่อ e_t คือ ประสิทธิภาพทั้งหมด

e_r คือ ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ $= (1 - |\Gamma|^2)$

e_c คือ ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d คือ ประสิทธิภาพของฉนวน

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเชิงซ้อน (Complex reflection coefficient)

2.8.8 โพลาริเซชัน (Polarization) [26]

โพลาริเซชันของคลื่นที่แผ่กระจายนั้น ใช้แสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แผ่กระจายออกไป โดยอธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าแปรผันตามเวลา การโพลาริเซชัน แสดงการกวาดของยอดเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ ณ ตำแหน่งที่คงที่ และ การมองตามหลังคลื่นที่เดินทาง ซึ่งโพลาริเซชันแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

2.8.8.1 โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (Linear polarization)

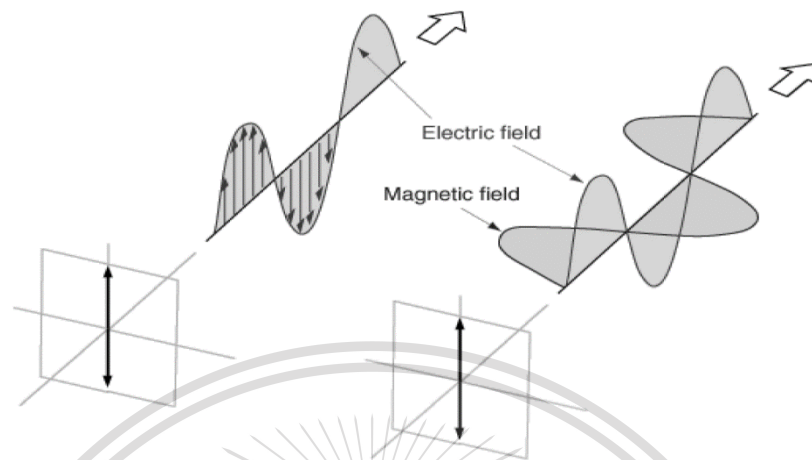
โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น เป็นโพลาริเซชันที่สนามไฟฟ้าไม่เปลี่ยนทิศทางกับการเดินทางของคลื่น โดยสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กตั้งแสดงในรูปที่ 2.33

ซึ่งการโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ การโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical polarization) การโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวนอน (Horizontal polarization) และการโพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแนวเอียง (Slant polarization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.33 โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น [26]

2.8.8.2 โพลาริเซชันแบบวงกลม (Circular polarization)

โพลาริเซชันแบบวงกลม เป็นโพลาริเซชันที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา ด้วยขนาดคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.34

ซึ่งการโพลาริเซชันแบบวงกลมแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การโพลาริเซชันแบบวงกลมหมุนขวา (Right - hand circular polarization) และการโพลาริเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย (Left - hand circular polarization)

2.8.8.3 โพลาริเซชันแบบวงรี (Elliptically polarization)

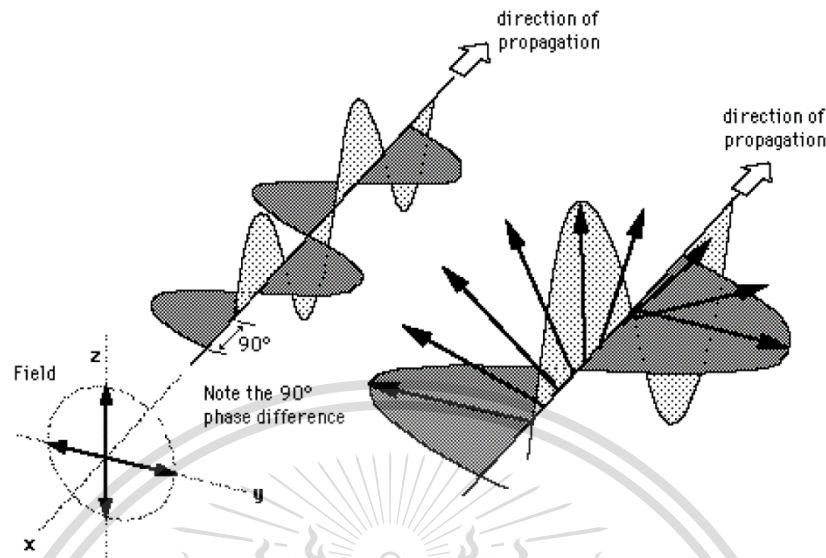
โพลาริเซชันแบบวงรี เป็นโพลาริเซชันที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางและขนาดตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.35

ซึ่งการโพลาริเซชันแบบวงรีแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การโพลาริเซชันแบบวงรีหมุนขวา (Right - hand elliptically polarization) และการโพลาริเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย (Left - hand circular polarization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.34 โพลาริเซชันแบบวงกลม [26]

2.3.8.4 ตัวประกอบการสูญเสียของโพลาริเซชัน (Polarization loss factor: PLF)

โดยทั่วไป การโพลาริเซชันของสายอากาศอาจไม่เหมือนกับโพลาริเซชันของคลื่นที่เดินทางมายังสายอากาศ ซึ่งเรียกว่า การเกิดโพลาริเซชันมิสแมทช์ (Polarization mismatch) ทำให้สายอากาศเกิดการสูญเสียจากโพลาริเซชัน

2.8.9 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage standing wave ratio :VSWR) [29]

อัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด ในระบบสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของแรงดันเท่ากับ 1 สายอากาศไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถือว่าเป็นสายอากาศที่ดี แต่ถ้าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่งของแรงดันเป็นอนันต์ สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.12

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}; 1 \leq VSWR \leq \infty \quad (2.12)$$

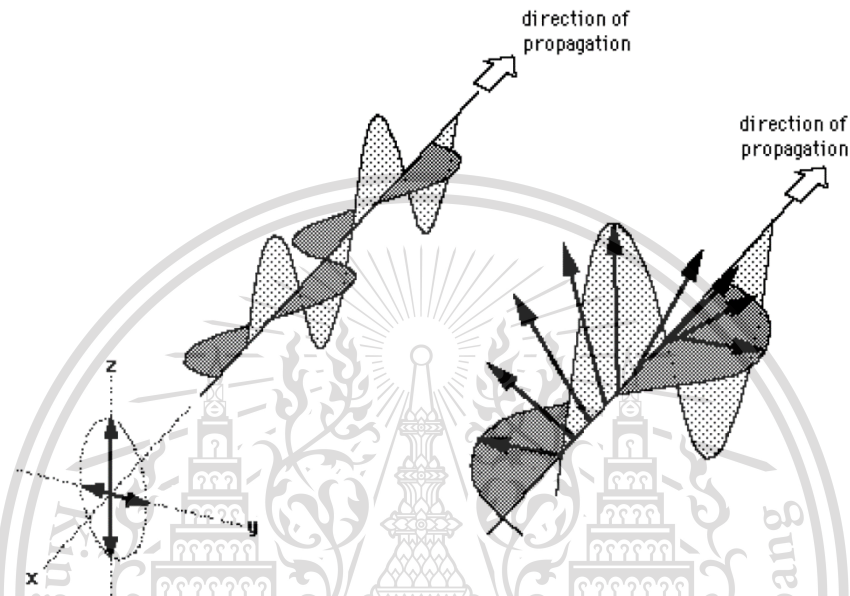
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ V_{\max} คือ แรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุด (โวลต์)

V_{\min} คือ แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าน้อยที่สุด (โวลต์)



รูปที่ 2.35 โพลาริเซชันแบบวงรี [26]

สามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและผลรวมระหว่างอินพุทอิมพีแดนซ์กับคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ถ้าสายอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเชิงซ้อน เป็น 0 นั่นคือสายอากาศจะไม่เกิดการสะท้อนกลับถือว่าเป็นสายอากาศที่ดี แต่ถ้าสายอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเชิงซ้อนเป็น 1 สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับสามารถหาได้จากสมการที่ 2.13

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o}; 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (2.13)$$

เมื่อ Z_{in} คือ อินพุทอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)

Z_o คือ คุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ (โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8.10 การสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) [29]

การย้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่ง และสายอากาศไม่แมตช์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ถ้าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็น 0 สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ แต่ถ้าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์สายอากาศไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถือว่าเป็นสายอากาศที่ดี สามารถหาได้จากสมการที่ 2.14

$$RL(dB) = -20 \log |\Gamma|; 0 \leq RL \leq \infty \quad (2.14)$$

เมื่อ RL คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (เดซิเบล)

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเชิงซ้อน

2.8.11 อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input impedance) [29]

อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ เป็นอิมพีแดนซ์ที่หัวของสายอากาศ ซึ่งจะพิจารณาว่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และคุณลักษณะอิมพีแดนซ์ของสายนาสัญญาณ จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ Z_{in} เท่ากับ Z_0 จะเกิดการแมตช์อย่างสมบูรณ์ จะทำให้ไม่เกิดการสะท้อนกลับ ถ้ากรณีที่ Z_{in} ไม่เท่ากับ Z_0 ไม่เกิดการแมตช์ จะทำให้เกิดการสะท้อน ซึ่งแสดงอัตราส่วนของแรงดันต่อกระแสหัวต่อทั้งสอง หรือ อัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กในจุดที่กำหนด สามารถหาได้จากสมการที่ 2.15

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.15)$$

เมื่อ X_{in} คือ ความต้านทานเชิงจินตภาพ (โอห์ม)

R_{in} คือ ความต้านทาน = $R_r + R_L$ (โอห์ม)

R_r คือ ความต้านทานการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (โอห์ม)

R_L คือ ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ (โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8.12 แบนด์วิดท์ (Bandwidth) [29]

แบนด์วิดท์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี ซึ่งช่วงความถี่ถูกกำหนดโดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ประมาณ 2 หรือพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน คุณสมบัติของสายอากาศที่ระดับ -10 เดซิเบล สามารถหาได้จากสมการที่ 2.16

$$BW(\%) = \frac{f_h}{f_l} \times 100 \quad (2.16)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ

f_h คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่ (เฮิรตซ์)

f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่ (เฮิรตซ์)

2.9 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การทดสอบสายอากาศกับร่างกายมนุษย์

ผลที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปประมวลผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.9.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

การวัดของสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์สิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจก็คือระบบและสัญญาณ จะมีปริมาณทางกายภาพที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณอินพุต (Input Signal) และจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ ผลที่ได้จากการวัดจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency Transfer Function) หรือ $H(\omega)$ ของช่องสัญญาณโดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณ ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ 2.17

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดย $Y(\omega)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่
 $X(\omega)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่

2.9.2 การสูญเสียเชิงวิถี

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือการคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss: PL) เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับสัญญาณที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 2.18

$$PL(d)[dB] = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (2.18)$$

โดย $v_t(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

$v_r(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.18 และ 2.19 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (2.19)$$

โดยในสมการที่ 2.19 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้ ดังแสดงในสมการที่ 2.20

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log [\max |v_r(t,d)|] \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าความผิดพลาดของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross Correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณแบบไอโซทรอปิก และสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่าง ค่าอัตราสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ของสัญญาณไอโซทรอปิกและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นตามสมการที่ (2.21) ถึงสมการที่ (2.24) ตามลำดับ การสหสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นสัญญาณ 2 สัญญาณสามารถนำมาใช้หาความผิดพลาดของสัญญาณทั้งสองได้ โดยจะรู้ว่าสัญญาณทั้งสองมีความผิดพลาดแตกต่างกันมากน้อยแค่ไหน ซึ่งการประเมินผลความผิดพลาดของสัญญาณถูกนำไปใช้สำหรับทดสอบสายอากาศแถบกว้างยิ่ง โดยการสหสัมพันธ์รูปคลื่นส่งและรูปคลื่นที่รับได้

$$C = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}} \quad (2.21)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้ามคือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_{o\text{-iso}}(\tau)v_o(t+\tau)dt \quad (2.22)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตราสหสัมพันธ์คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_{o\text{-iso}}(\tau)v_{o\text{-iso}}(t+\tau)dt \quad (2.23)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_o(\tau)v_o(t+\tau)dt \quad (2.24)$$

โดย $v_{o\text{-iso}}(\tau)$ คือ สัญญาณไอโซทรอปิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$v_o(\tau)$ คือ สัญญาณที่รับได้

2.9.4 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

เป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่า สัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile: PDP) ตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีสมการดังต่อไปนี้ ดังแสดงในสมการที่ 2.25

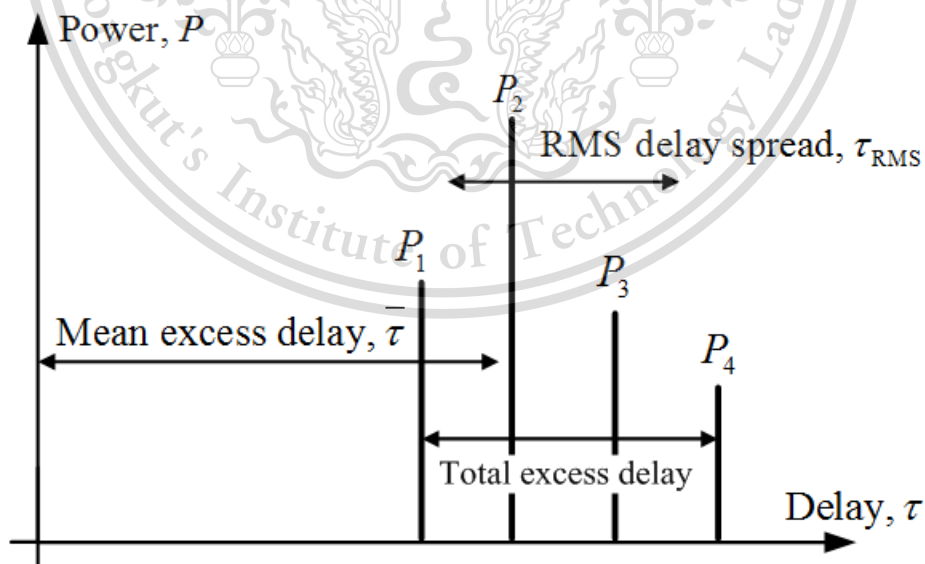
$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (2.25)$$

โดย

a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i

τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i

$P(\tau_i)$ คือ กำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i



รูปที่ 2.36 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [29]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9.5 อัตราขยายช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

อัตราการขยายการส่งผ่านนิยามเป็นแอมพลิจูดสูงสุดของเอาต์พุตเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่พิจารณาสายอากาศที่ใช้งานจริงนอร์มัลไลซ์ด้วยคู่สายอากาศไอโซทรอปิกทั้งคู่ จากการนอร์มัลไลซ์ของสัญญาณแม่แบบ ค่าของอัตราการขยายที่ได้นี้แสดงอัตราการขยายของอัตราส่วน SNR ดังนั้นอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้ G_{wm} ดังแสดงในสมการที่ 2.26

$$G_{wm} = 20 \log \left[\frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wm}(t-\tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r-iso}(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|} \right] \quad (2.26)$$

ในทำนองเดียวกันอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก G_{wc} สามารถเขียนเป็นดังแสดงในสมการที่ 2.27

$$G_{wc} = 20 \log \left[\frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r-iso}(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|} \right] \quad (2.27)$$

ความแตกต่างระหว่างอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการขยายการส่งผ่านที่เหมาะสมที่สุดของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ไม่สามารถเป็นเพียงการคูณกันระหว่างอัตราการขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสแบบดั้งเดิม

2.9.6 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate: BER)

กรณีการสื่อสารระบบแอนะล็อก (Analog) พารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการพิจารณาคืออัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน ส่วนในกรณีการสื่อสารของระบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

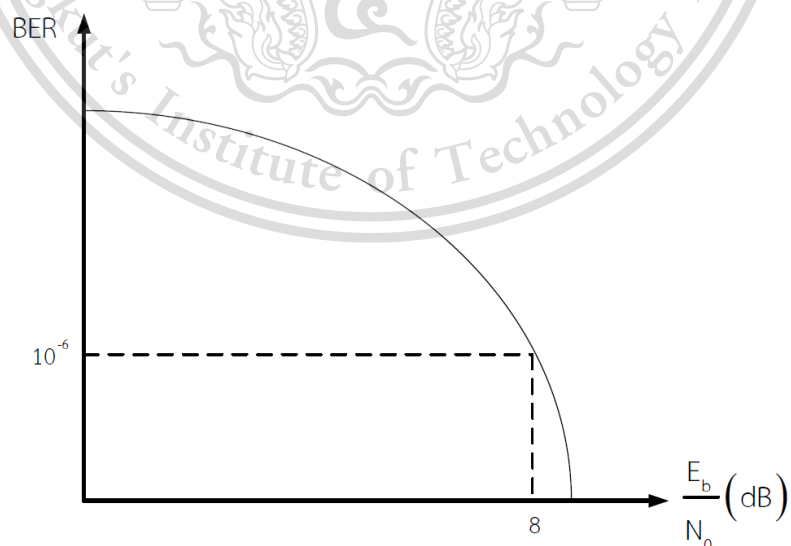
จะพิจารณาอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยบิตต่อความหนาแน่นกำลังสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.28)

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \times \frac{B}{R_b} \quad (2.28)$$

โดย B คือ แบนด์วิดท์ของระบบ

R_b คือ อัตราเร็วบิต

ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารดิจิทัลนั้นขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ ซึ่งระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งก็เป็นการสื่อสารแบบดิจิทัล ดังนั้นการที่จะสามารถรู้ได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดจะต้องมีพารามิเตอร์ที่มาเป็นเครื่องยืนยันว่าระบบนั้นเป็นอย่างไร ซึ่งจะแสดงในรูป BER ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่นิยามมาจากค่าความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้คือเมื่อค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นกำลังสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นจะทำให้ BER ลดลง ดังรูปที่ 2.37 เช่น เครื่องส่งส่งข้อมูล 1000000 บิต ปรากฏว่าข้อมูลที่ได้รับมีข้อมูลที่ผิดเพียง 1 บิต แสดงว่าค่าอัตราความผิดพลาดของบิตมีค่าเท่ากับ $1/1000000$ หรือ 10^{-6} เป็นต้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) และอัตราความผิดพลาดของบิตมีความผกผันซึ่งกันและกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.37 ความน่าจะเป็นและอัตราความผิดพลาดบิตนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริยญาณิพนธ์นี้ได้ใช้แบบแผนการมอดูเลตแบบชั้นต่างกัน ซึ่งเป็นการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของสัญญาณพัลส์ไบนารี (Bi-Phase Pulse Amplitude: BPAM) โดยสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (C) ดังสมการที่ 2.29 ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของสัญญาณทั้งสองได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{BER} = Q \left(\sqrt{2 \left(\frac{E_b}{N_0} \right) C} \right) \quad (2.29)$$

โดย E_b คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิต (J/bit)
 N_0 คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณรบกวน (dBm/MHz)
 $Q(x)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นความผิดพลาดของบิตข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้าง

บทนี้เป็นการนำเสนอการคำนวณและออกแบบสายอากาศแถบกว้างตามมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 โดยสร้างสายอากาศแถบกว้างตามมาตรฐานสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 802.15.6 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศแถบกว้างให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

3.1 การออกแบบและจำลองผล

3.1.1 การออกแบบและสร้างสายอากาศแถบกว้าง

การดำเนินการออกแบบและจำลองสายอากาศมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มต้นจากคำนวณสายอากาศ และจำลองสายอากาศโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการ ถ้าสายอากาศไม่ผ่านคุณสมบัติของสายอากาศตามที่ต้องการให้กลับมาปรับปรุงสายอากาศใหม่ แต่ถ้าสายอากาศผ่านคุณสมบัติตามที่ต้องการต่อมาสร้างสายอากาศที่ได้จำลองไว้ พร้อมวัดผลการทดสอบ 4 ส่วน คือ ส่วนแรกสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ ส่วนที่สองอัตราขยาย ส่วนที่สามวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน และส่วนที่สี่ทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น จากนั้นทำการประเมินคุณสมบัติของอากาศ ดังรูปที่ 1.3

3.1.2 สาเหตุที่เลือกใช้สายอากาศกรวยคู่

สายอากาศกรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีแบนวิทท์กว้างมากสามารถประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารได้หลายอย่าง มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และสร้างได้ง่าย สำหรับแบนวิทท์ ของสายอากาศกรวยคู่นั้นเกิดขึ้นจากการแปรค่ารัศมีตามแนวแกนหรือการเพิ่มค่าของมุม ระหว่างกรวยทั้งสองด้วยโครงสร้างของสายอากาศกรวยคู่จะประกอบไปด้วยกรวยสองอันจัดวางอยู่ในแนวแกนเดียวกัน โดยที่จุดยอดของกรวยทั้งสองบริเวณจุดกึ่งกลางของสายอากาศจะเป็นจุดป้อนสัญญาณเรียกว่า จุดป้อน การแผ่กระจายของคลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่นั้นจะคล้ายคลึงกับสายอากาศไดโพลโดยที่บริเวณจุดป้อนนี้จะมีกระแสไหลมากที่สุดและมีแรงดันต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บริเวณปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจรจึงมีแรงดันมากที่สุดและมีกระแสไหลน้อยสุด และบริเวณที่มีค่าแรงดันสูงจะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ปลายของสายอากาศ และจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นบริเวณที่มีกระแสไหลมากที่สุดนั่นก็คือบริเวณจุดป้อนเช่นเดียวกัน สำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่จะมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่มีลักษณะเป็นแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional pattern) ดังรูปที่ 3.2 [26]



รูปที่ 3.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นลักษณะเป็นแบบรอบทิศทางของสายอากาศกรวยคู่ [26]

3.1.3 การออกแบบสายอากาศแบบกรวยคู่

ออกแบบสายอากาศกรวยคู่ใช้ย่านความถี่แถบกว้างยิ่ง ใช้ความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ [30] และ [31]

จากรูปที่ 3.3 โครงสร้างสายอากาศแบบกรวยคู่จะมีองค์ประกอบดังนี้ B_1 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวย B_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านในสุดของสายนำสัญญาณ L คือความสูงของกรวย H คือความสูงเอียงของกรวย φ คือมุมระหว่างกรวยทั้งสองอัน θ คือมุมของกรวย โดยคำนวณจาก $\theta = \frac{180 - \varphi}{2}$ ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณโครงสร้างสายอากาศดังนี้

3.1.3.1 กำหนดให้ B_2 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านในสุดของสายนำสัญญาณ มีค่าเท่ากับ 0.615 มิลลิเมตร จึงกำหนดค่า B_2 เท่ากับ 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มิลลิเมตร กำหนดให้มีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านในสุดของสายนำสัญญาณเพื่อเพื่อพื้นที่ในการบัดกรี

3.1.3.2 กำหนดให้มุมระหว่างทรงกรวยทั้งสอง φ เท่ากับ 60° ดังนั้น θ จึงมีค่าเท่ากับ 60°

3.1.3.3 กำหนดระยะห่างระหว่างกรวยเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร

3.1.3.4 หาขนาดความสูงของสายอากาศใช้ความรู้เรื่องสายอากาศไดโพลเต็มความยาวคลื่น (Full wave dipole) [30] ในการคำนวณความสูงของกรวยดังสมการ (3.1)

$$\begin{aligned} L &= \frac{\lambda_0}{2} & (3.1) \\ &= \frac{C/f_0}{2} \\ &= \frac{3 \times 10^8 / 6.85 \times 10^9}{2} \\ &= 0.02190 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

เมื่อ λ_0 คือ ความยาวคลื่นความถี่กลาง (เมตร)

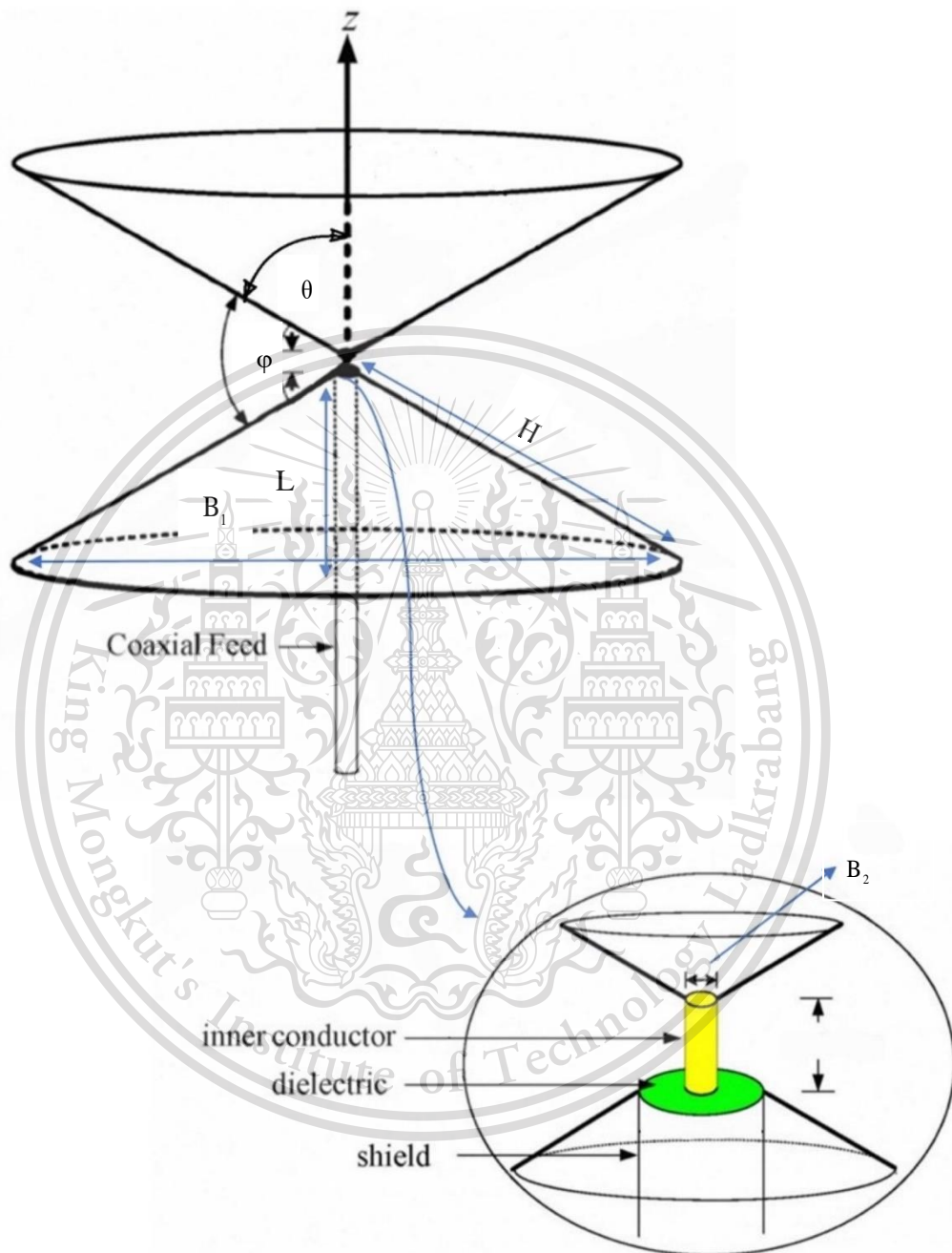
C คือ ความเร็วแสง (เมตรต่อวินาที)

f_0 คือ ความถี่กลาง (เฮิรตซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

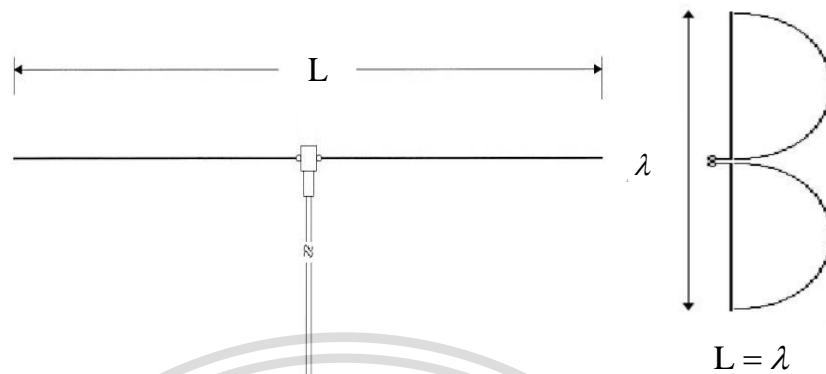


รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศแบบกรวยคู่และสายส่ง [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 สายอากาศไดโพลเต็มความยาวคลื่น [30]

3.1.3.5 หาคความยาวด้าน H ดังสมการ (3.2) โดย θ เท่ากับ 60°

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \frac{L}{H} \\ H &= \frac{L}{\cos\theta} \\ &= \frac{0.021895}{\cos(60^\circ)} \\ &= 0.04379 \text{ เมตร} \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.1.3.6 หาคความยาวรัศมีด้าน B_1 ดังสมการ (3.3) โดย θ เท่ากับ 60°

$$\begin{aligned} \sin\theta &= \frac{B_1/2}{H} \\ \frac{B_1}{2} &= H \times \sin\theta \\ &= 0.04379 \times \sin(60^\circ) \\ &= 0.0379 \text{ เมตร} \end{aligned} \quad (3.3)$$

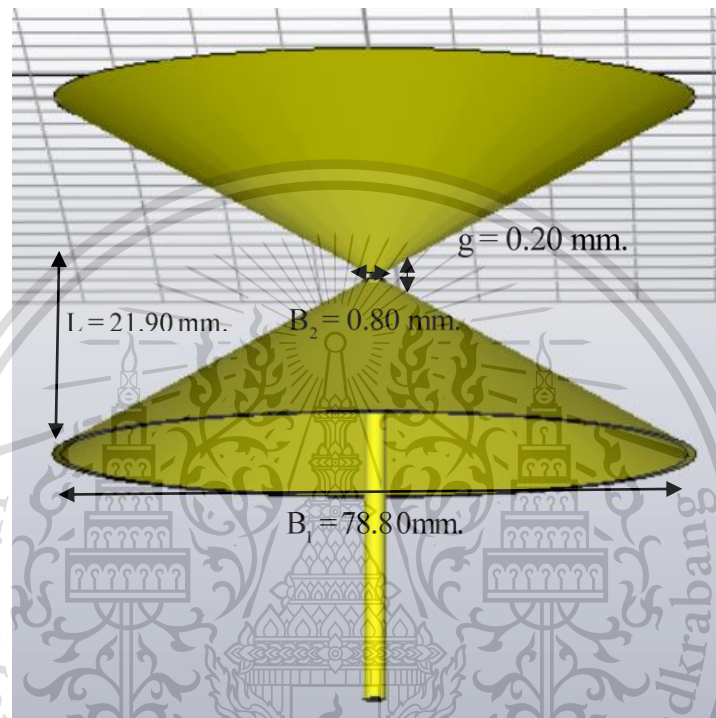
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4 จำลองสายอากาศแบบกรวยคู่ด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE

นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาจำลองโครงสร้างของสายอากาศแบบกรวยคู่ด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบจำลองสายอากาศแบบกรวยคู่

การจำลองเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศโดยมีค่าที่ต้องการศึกษาประกอบด้วยสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน และแบบรูปการแผ่พลังงาน

3.1.2.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$

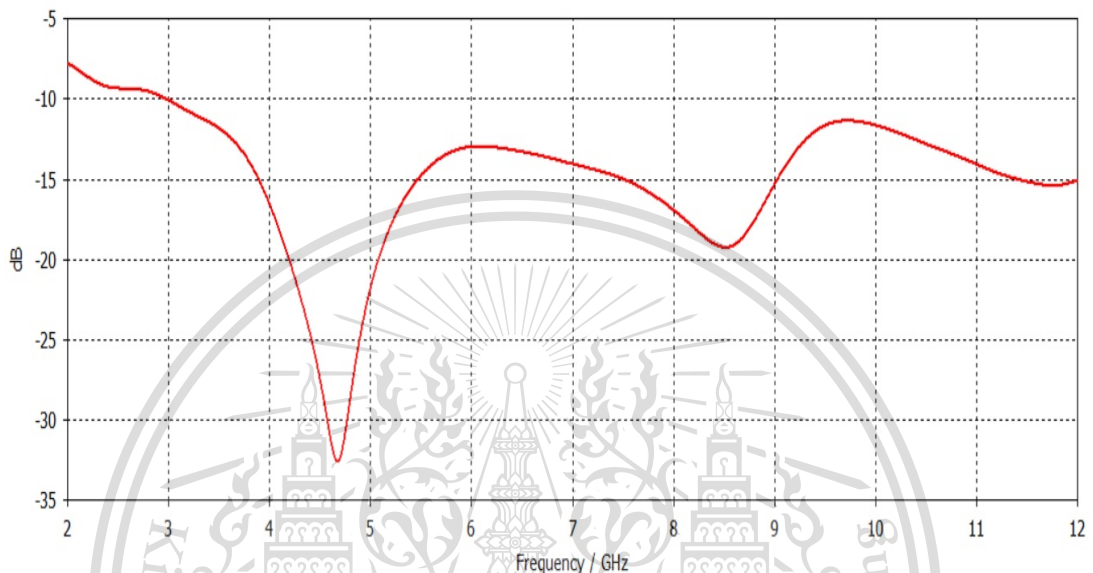
เป็นพารามิเตอร์ของสายอากาศที่จะบอกถึงสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสัญญาณจากโหลด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ยอมรับได้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 เดซิเบล หากมีค่ามากกว่า -10 เดซิเบล พลังงานทั้งหมดจะสะท้อนออกมาจากสายอากาศและไม่มีการแผ่รังสีออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ยอมรับได้จะอยู่ในช่วงความถี่ที่มากกว่า 3 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป ดังนั้นสายอากาศที่จำลองขึ้นจึงสามารถใช้งานได้ตลอดย่านความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.5 สัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE

3.1.2.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

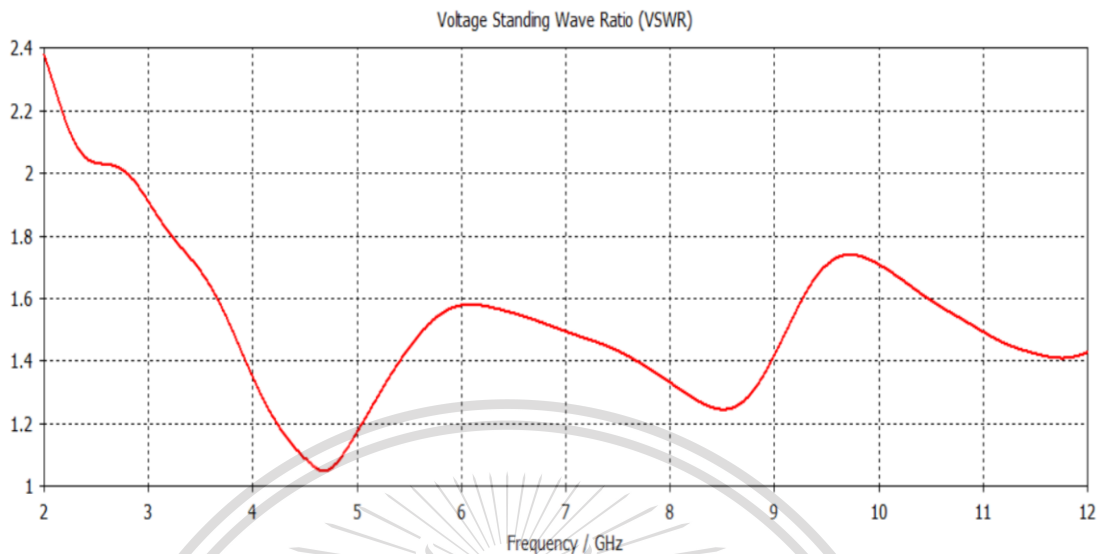
อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน คืออัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งบนสายส่งสัญญาณ อัตราส่วนนี้เป็นค่าวัดปริมาณที่ไหลผิดไปจากสภาวะที่โหลดแมตซ์มากน้อยเท่าไรอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันยิ่งมากขึ้นเท่าไรก็จะทำให้ไม่เกิดการแมตซ์ขึ้นมากตามไปด้วย ซึ่งอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ยอมรับได้ต้องมีค่าน้อยกว่า 2

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ยอมรับได้จะอยู่ในช่วงความถี่ที่มากกว่า 2.8 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป ดังนั้นสายอากาศที่จำลองขึ้นจึงมีความแมตซ์ได้ตลอดย่านความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

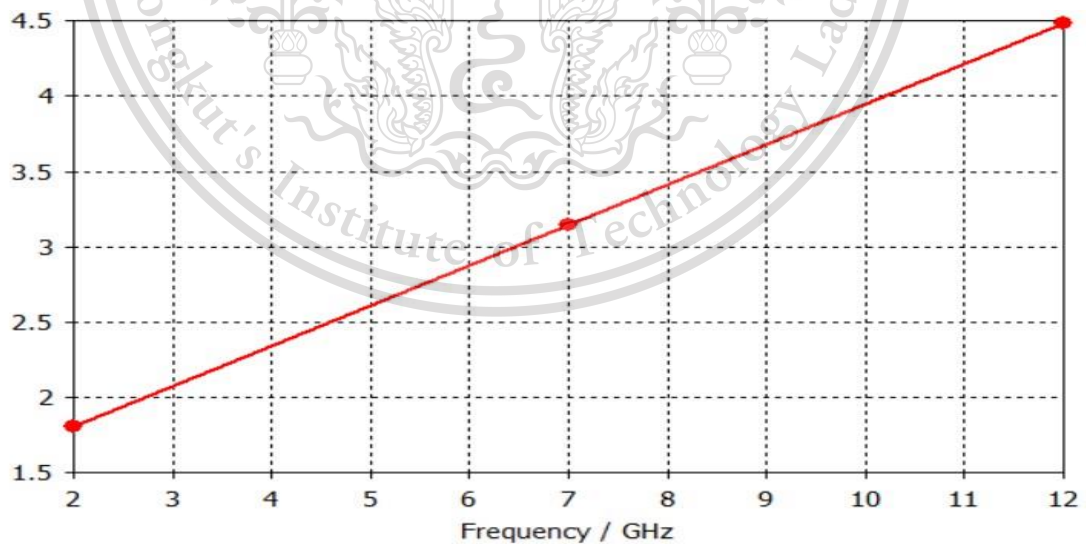
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ได้จากแบบจำลองด้วยด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE

3.1.2.3 อัตราขยาย

อัตราขยาย คือกำลังส่งของสายอากาศเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบไอโซทรอปิกโดยอัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 อัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

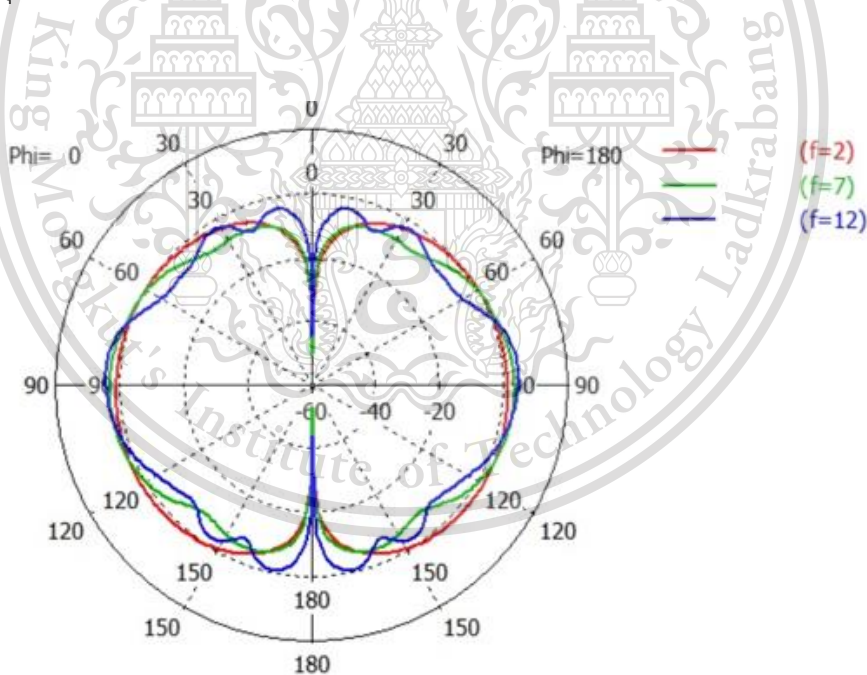
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 3.7 แสดงอัตราขยายที่ความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 12 กิกะเฮิรตซ์ มีอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.81 ดีบีโอ ที่ความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ และอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 4.48 ดีบีโอ ที่ความถี่ 12 กิกะเฮิรตซ์

3.1.2.5 แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปภาพแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ส่วนใหญ่มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล แบบรูปการแผ่พลังงานจะแสดงแบบรูปของกำลังของสายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่คงที่ ส่วนกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่

จากรูปที่ 3.9 3.10 และ 3.11 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 7 กิกะเฮิรตซ์ดีที่สุด เพราะว่าทิศทางการแผ่พลังงานมีความเข้ากันกับรูปทรงของสายอากาศและมีอัตราขยายที่เหมาะสม เมื่อ ความถี่ (f) มีหน่วย กิกะเฮิรตซ์ ความถี่ที่ 3 กิกะเฮิรตซ์ ($f = 2$ GHz) คือความถี่ต่ำสุด ความถี่ที่ 7 กิกะเฮิรตซ์ ($f = 7$ GHz) คือความถี่ตรงกลาง และความถี่ที่ 11 กิกะเฮิรตซ์ ($f = 12$ GHz) คือความถี่สูงสุด

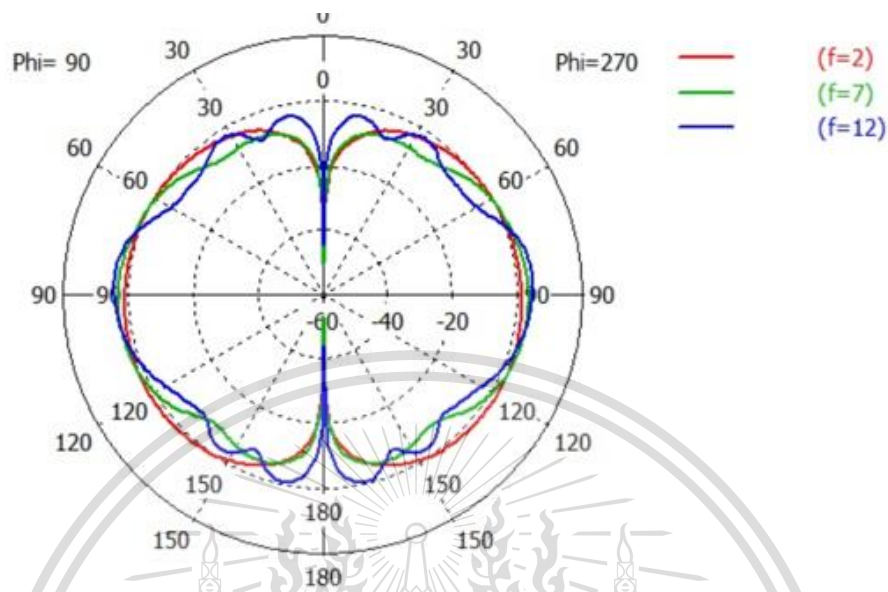


รูปที่ 3.8 แบบรูปการแผ่พลังงานบนระนาบ XZ ที่มุม Φ (φ) เท่ากับ 0°

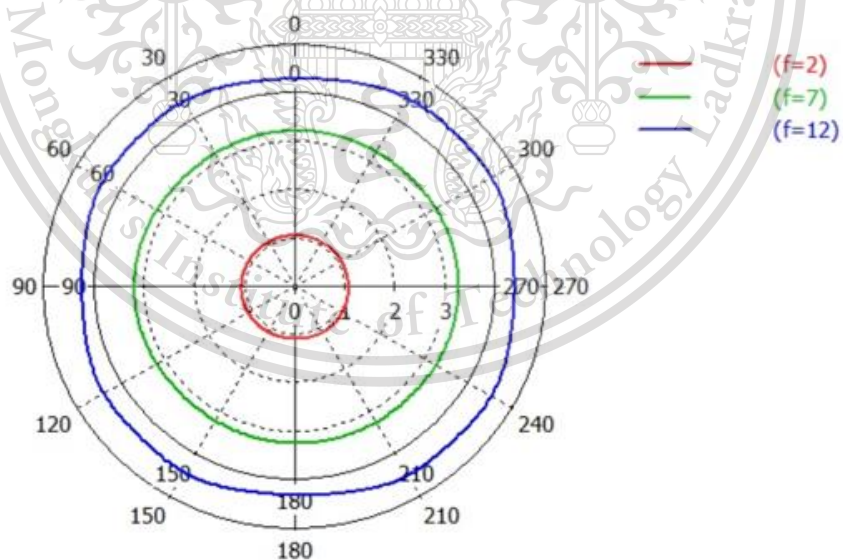
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานบนระนาบ XZ ที่มุม Φ (ϕ) เท่ากับ 90°



รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่พลังงานบนระนาบ XZ ที่มุม θ เท่ากับ 90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 เตรียมวัสดุสร้างสายอากาศแบบกรวยคู่

3.2.1.1 แผ่นทองแดง

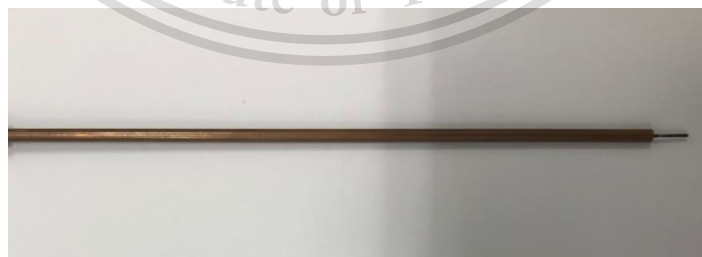
มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรสำหรับการนำมาทำลิ่งให้เป็นทรงกรวยเพื่อนำมาสร้างสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 3.11 แผ่นทองแดงหนา 0.5 มิลลิเมตร

3.2.1.2 สายส่งเซมิริจิด

สายเคเบิลการลดทอนต่ำ มาตรฐานอิมพีแดนซ์ 50 โอห์มมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันครอบคลุมความถี่ย่านไมโครเวฟทั้งหมดและมีการป้องกันสำหรับการสูญเสียสัญญาณและสัญญาณรบกวน โดยสายส่งสัญญาณเซมิริจิดมีส่วนประกอบคือตัวนำด้านนอกเป็นทองแดง ฉนวนเป็นเทฟลอน และตัวนำศูนย์กลางเป็นเส้นทองแดงเคลือบด้วยเงิน [33]



รูปที่ 3.12 สายส่งสัญญาณเซมิริจิด

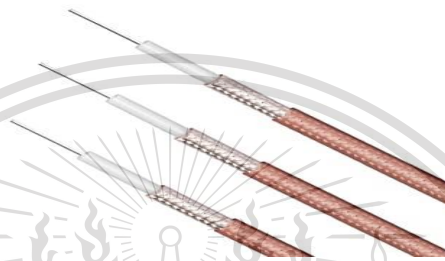
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1.3 สายส่ง RG142

สายส่ง RG142 เป็นสายส่งสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4.95 มิลลิเมตร และฉนวนเป็นเทฟลอน ตัวนำศูนย์กลางเป็นทองแดงเคลือบด้วยเงิน ใช้สำหรับช่วงความถี่สูงจนถึง 12.4 กิกะเฮิรตซ์ และส่วนใหญ่ใช้สายในการทดสอบระบบความถี่วิทยุ [34]



รูปที่ 3.13 สายส่งสัญญาณ RG142 [34]

3.2.1.4 ข้อต่อสายอากาศชนิด SMA

เป็นข้อต่อสำหรับเชื่อมต่อสายส่งสัญญาณเพื่อนำไปเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน หรือเครื่องมือวัดบนย่านความถี่ 0 กิกะเฮิรตซ์ถึง 18 กิกะเฮิรตซ์ และมีข้อต่อที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม [35]



รูปที่ 3.14 ข้อต่อสายอากาศชนิด SMA [35]

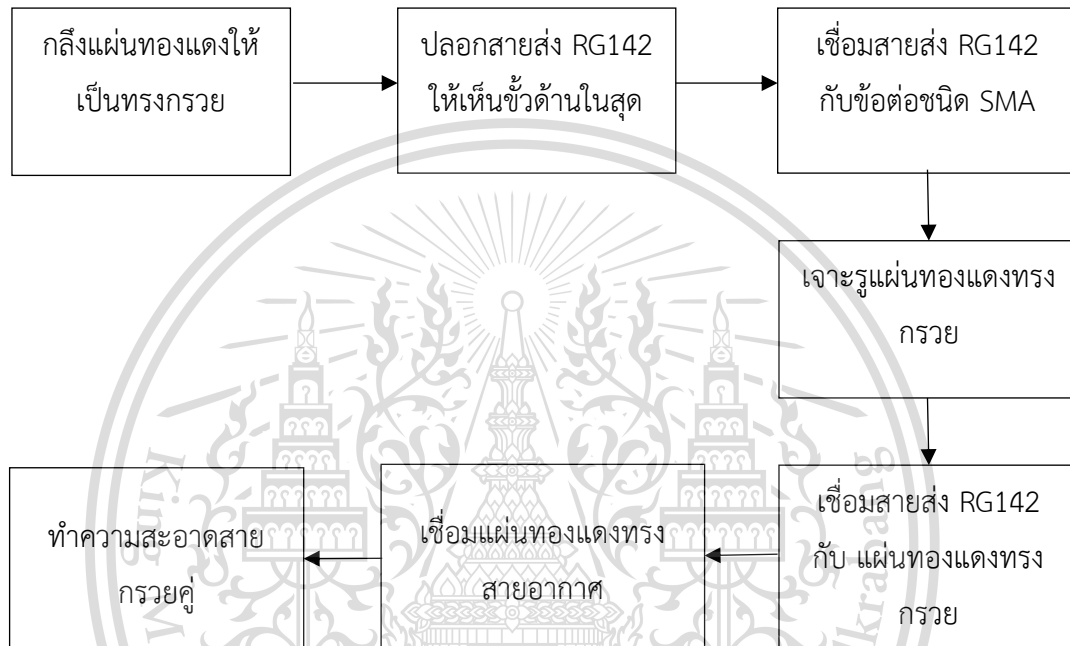
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การสร้างสายอากาศ

สร้างสายอากาศกรวยคู่ใช้ย่านความถี่แถบกว้างยิ่ง ใช้ความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ จนถึง 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้วัสดุที่เตรียมไว้ใน การนำมาสร้างสายอากาศกรวยคู่ตามขนาดที่ คำนวณและออกแบบ [31] และ [32] โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสายอากาศกรวยคู่

3.3.1 นำแผ่นทองแดงมากลึงให้เป็นทรงกรวย

เป็นรูปการนำแผ่นทองแดงที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรมาผ่านกระบวนการกลึงโลหะ ให้แผ่นทองแดงเป็นทรงกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 78 มิลลิเมตร และมีความสูง 22 มิลลิเมตรโดย ทำเป็นจำนวน 2 ชิ้นดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.16 แผ่นทองแดงทรงกรวย

3.3.2 นำสายสายส่ง RG142 มาปอกให้เห็นขั้วด้านในสุด

เป็นรูปการนำสายส่ง RG142 ที่มีความยาว 10 เซนติเมตร มาปอกให้ได้ตั้งรูปทั้งสองด้านเพื่อที่จะนำด้านหนึ่งไปบัดกรีเข้ากับแผ่นทองแดงทรงกรวยและอีกด้านหนึ่งนำไปเชื่อมกับข้อต่อสายอากาศชนิด SMA ตัวผู้ตั้งรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 สายส่ง RG142 ที่ปอกเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3 นำสายส่ง RG142 ไปเชื่อมกับข้อต่อสายอากาศชนิด SMA ตัวผู้

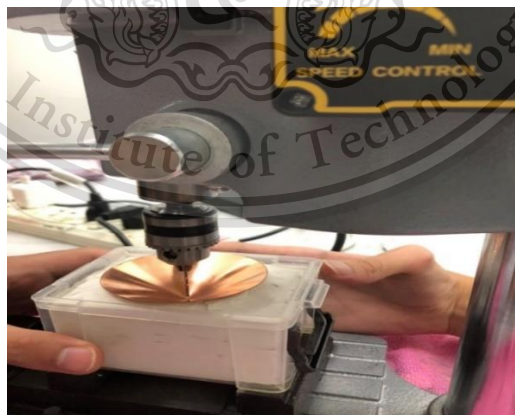
เป็นการเชื่อมสายส่ง RG142 เข้ากับข้อต่อสายอากาศชนิด SMA ตัวผู้โดยจะนำสายส่ง RG142 ที่ปอกมาเชื่อมกับข้อต่อสายอากาศชนิด SMA เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณผ่านข้อต่อสายอากาศชนิด SMA ได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 สายส่ง RG142 ที่เชื่อมกับข้อต่อสายอากาศ

3.3.4 นำแผ่นทองแดงที่กลึงเป็นทรงกรวยแล้วมาเจาะรูตรงกลาง

เป็นการนำแผ่นทองแดงที่กลึงเป็นทรงกรวยแล้วมาเจาะรูตรงกลางโดยให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 การเจาะรูแผ่นทองแดงทรงกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5 นำสายส่ง RG142 มาเชื่อมกับแผ่นทองแดงทรงกรวย

เป็นการนำฉนวนของสายส่ง RG142 ที่ผ่านเชื่อมกับข้อต่อสายอากาศชนิด SMA ตัวผู้ มาเชื่อมกับแผ่นทองแดงทรงกรวยโดยการบัดกรีดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 การบัดกรีสายส่ง RG142 เข้ากับแผ่นทองแดงทรงกรวยชิ้นที่ 1

3.3.6 นำแผ่นทองแดงทรงกรวยอีกแผ่นที่เจาะรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร มาบัดกรีเข้ากับสายส่งสัญญาณ

เป็นการนำแผ่นทองแดงทรงกรวยอีกแผ่นมาบัดกรีเข้ากับแกนด้านในสุดของสายส่ง RG142 ซึ่งจะได้สายอากาศกรวยคู่ที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 การบัดกรีแผ่นทองแดงทรงกรวยชิ้นที่สอง

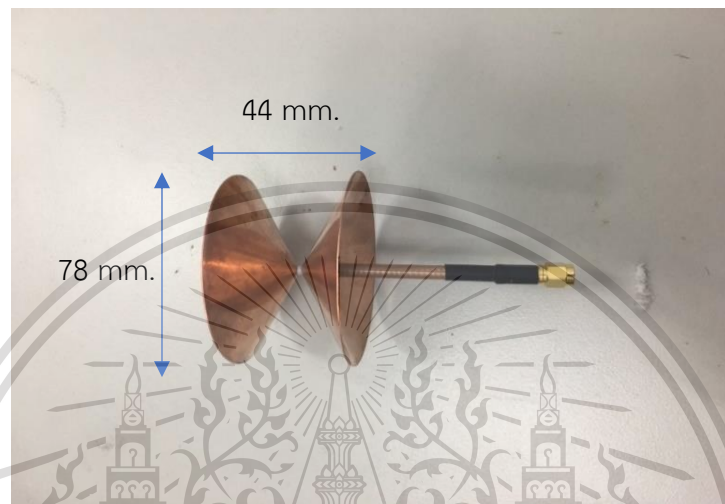
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.7 ทำความสะอาดสายอากาศกรวยคู่

เป็นการนำสายอากาศกรวยคู่ที่เสร็จสมบูรณ์แล้วมาทำความสะอาดด้วยน้ำยาขัดเงาโลหะเพื่อให้พร้อมสำหรับการนำไปทดสอบประสิทธิภาพดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 สายอากาศกรวยคู่

3.4 การจัดเก็บผลการทดสอบ

การจัดเก็บผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

3.4.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน

การทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ของสายอากาศ จะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์แล้วทดสอบวัดคุณสมบัติของสายอากาศว่าในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ของสายอากาศต่ำกว่า -10 เดซิเบล หรือไม่

3.4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

การทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ คุณสมบัติของสายอากาศ จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่าที่สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทดสอบจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์แล้วทดสอบวัดคุณสมบัติของสายอากาศว่าในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันต่ำกว่า 2 หรือไม

3.4.3 อัตราขยาย

อัตราขยาย คือกำลังส่งของสายอากาศเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก กำหนดให้สายอากาศมีอัตราขยายเท่ากับ 3 ดีบีไอ

3.4.4 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น

การทดสอบวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่ โดยใช้สายอากาศปากแตร มีหน้าที่เป็นสายอากาศตัวส่งสัญญาณ และสายอากาศกรวยคู่ที่ต้องการวัดเป็นสายอากาศตัวรับสัญญาณ โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศ 1.4 เมตร และทำการทดสอบวัดทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก โดยให้มีการหมุนทีละ 10° จนครบ 360°

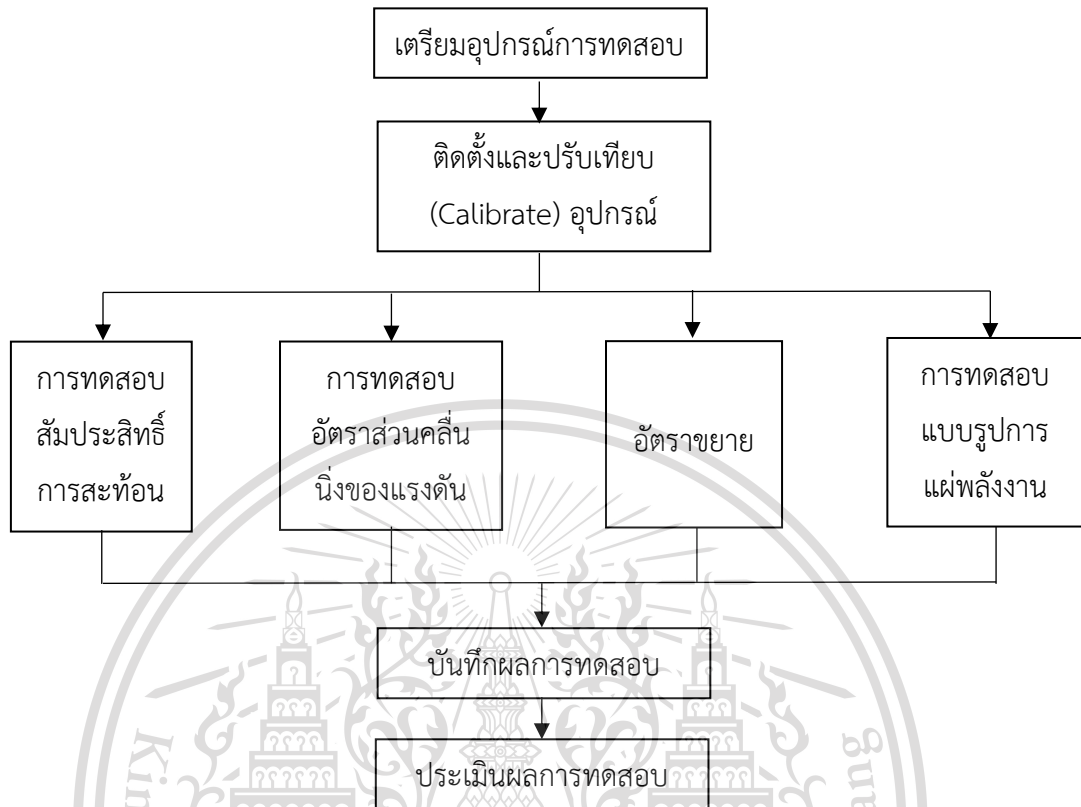
3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่ [36]

นำสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ผ่านขั้นตอนการสำเร็จแล้วมาทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศเพื่อทำให้ทราบว่าสามารถใช้งานในย่านความถี่ที่ออกแบบไว้ได้หรือไม่โดยใช้ขั้นตอนการทดสอบดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบอัตราการขยายและแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 12 กิกะเฮิรตซ์
ความสูงของสายอากาศส่งและรับ	1.50 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ	1.40 เมตร
สายอากาศส่ง	สายอากาศปากแตร
สายอากาศรับ	สายอากาศกรวยคู่
การหมุนสายอากาศ	0° ถึง 360°
การหมุนของสายอากาศ/ครึ่ง	10°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเชิงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

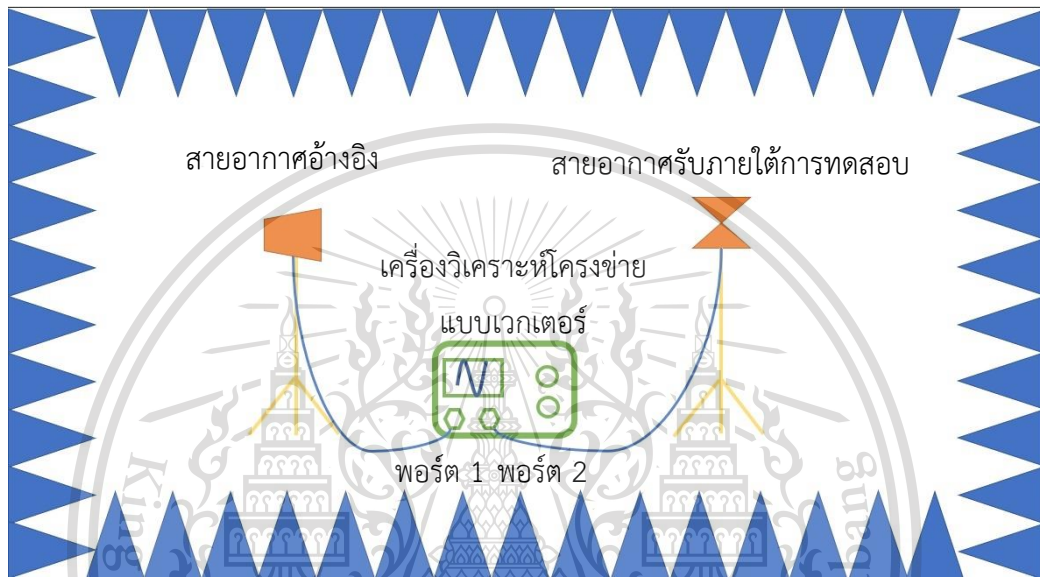
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.1 การทดสอบอัตราการขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่

วิธีที่สามารถทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามแบบจำลองดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 แบบจำลองการทดสอบอัตราการขยายและแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่

วิธีการทดสอบ

1. ปรับเทียบอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศแบบกรวยคู่ก่อนเชื่อมต่อสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์
2. ติดตั้งสายอากาศปากแตรดังรูปภายในห้องปิดกั้นคลื่นไร้การสะท้อนดังรูปที่ 3.26
3. ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่เข้ากับเสาโดยให้อยู่บนแท่นหมุนและทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศรับภายใต้การทดสอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ดังรูปที่ 3.25
4. ปรับทิศทางของสายอากาศรับภายใต้การทดสอบในแนวแกนที่ต้องการทดสอบ
5. ติดตั้งสายอากาศส่งมาตรฐานในแนวแกนที่ต้องการทดสอบและทำการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. ตั้งค่าที่เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์โดยตั้งค่าความถี่ที่ต้องการทดสอบ และทำการส่งสัญญาณที่ระดับความแรงเท่ากับ 0 ดีบีเอ็ม

7. ทำการทดสอบวัดทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก โดยให้มีการหมุนที่ละ 10° จนครบ 360°

8. บันทึกผลการทดสอบ

9. ทำการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศดังสมการที่ (3.4) [36]

10. ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ เพื่อทำการวัดความแรงของระดับสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ โดย

$$G_r = P_r - P_t + G_r + C_L \quad (3.4)$$

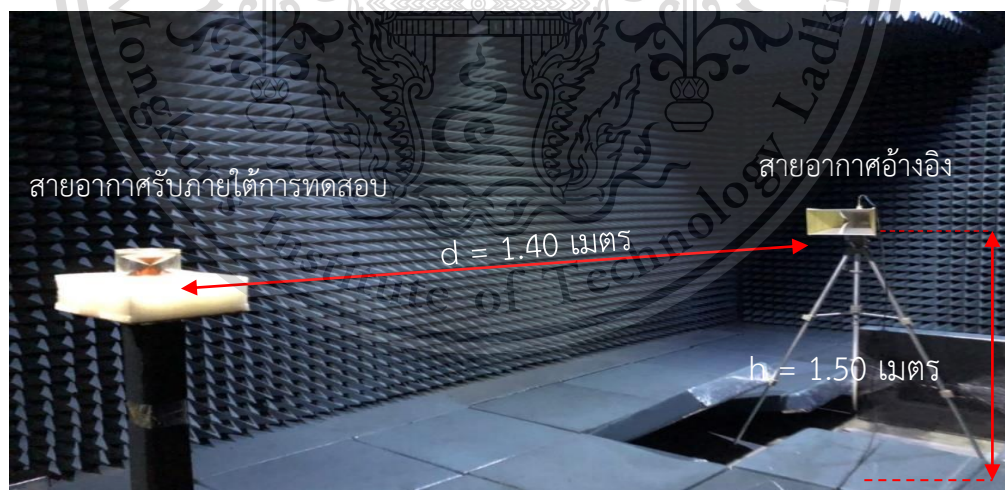
เมื่อ G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับภายใต้การทดสอบหน่วยดีบีไอ

G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานอ้างอิงหน่วยดีบีไอ

P_r คือ กำลังส่งของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศรับภายใต้การทดสอบหน่วยดีบีวัตต์

P_t คือ ค่ากำลังส่งของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศหน่วยดีบีวัตต์

C_L คือ ค่าความสูญเสียของการแมตซ์อิมพีแดนซ์หน่วยเดซิเบล



รูปที่ 3.25 การทดสอบอัตราการขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.2 การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 12 กิกะเฮิรตซ์
ความสูงของสายอากาศรับ	1.5 เมตร
สายอากาศรับ	สายอากาศกรวยคู่



รูปที่ 3.26 แบบจำลองการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.27 การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

วิธีการทดสอบ

1. ปรับเทียบอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศรับภายใต้การทดสอบก่อนเชื่อมต่อสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
2. เชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศรับภายใต้การทดสอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ
3. เลือกฟังก์ชันการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันดังรูปที่ 3.27
4. บันทึกการทดสอบ
5. ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ เพื่อทำการวัดความแรงของระดับสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย และแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น และผลทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่

4.1.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$

การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศ จะบ่งบอกว่าช่วงความถี่ที่จะนำไปใช้งาน ใช้งานได้หรือไม่ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศ ควรมีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล

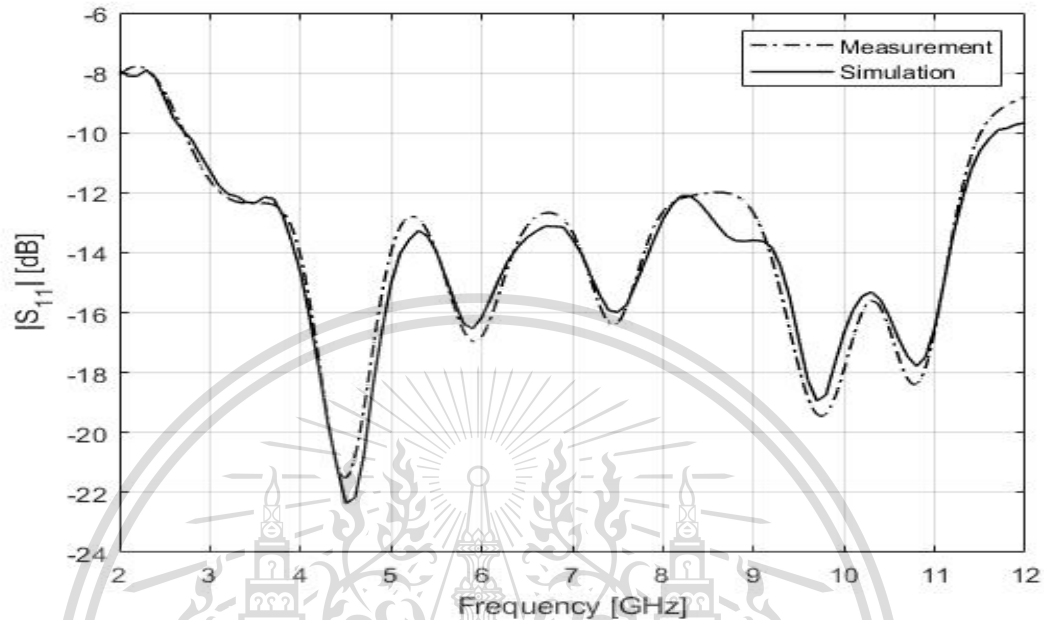
ในการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบกรวยคู่ ระหว่างผลการจำลองจากการออกแบบด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับผลการทดสอบวัดสายอากาศแบบกรวยคู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

จากกรุปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าผลการจำลองและผลการทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล ตั้งแต่ช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 12 กิกะเฮิรตซ์ แสดงว่าสายอากาศนี้สามารถใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่ระหว่างการทดสอบและแบบจำลอง

4.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

การพิจารณาค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน จะบ่งบอกว่าความถี่ที่จะนำไปใช้สามารถใช้งานได้หรือไม่ ซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน จะต้องมิต่ำกว่า 2

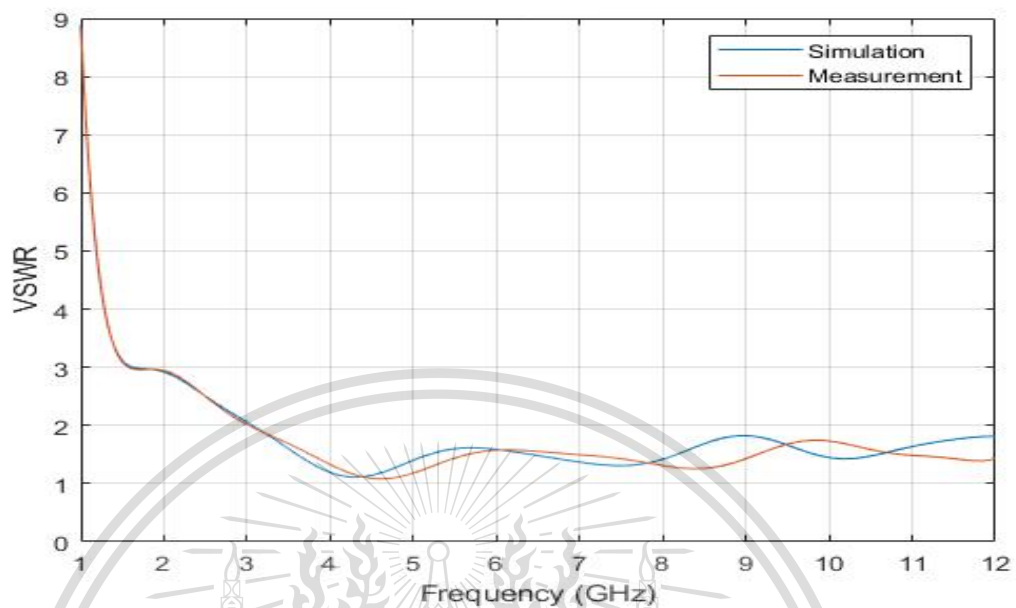
การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศแบบกรวยคู่ระหว่างผลการจำลองจากการออกแบบด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับผลการทดสอบวัดสายอากาศแบบกรวยคู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ยอมรับได้จากการจะอยู่ในช่วงความถี่ที่มากกว่า 3 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป ดังนั้นค่าที่ได้จากแบบจำลองจึงมีความแม่นยำได้ตลอดย่านความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์โดยค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันของสายอากาศกรวยคู่ระหว่างการทดสอบและแบบจำลอง

4.1.3 อัตราขยาย

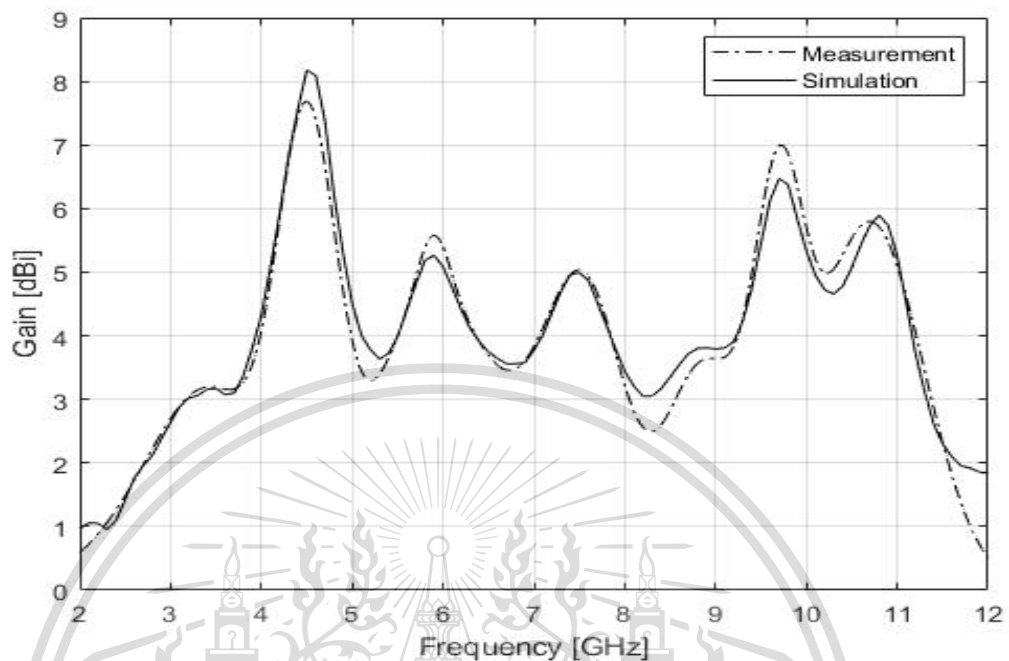
อัตราขยายคือกำลังส่งของสายอากาศเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก โดยอัตราขยายที่ได้จากได้จากการทดสอบและแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบสายอากาศกรวยคู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์กับผลการทดสอบจากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 12 กิกะเฮิรตซ์ มีอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.71 ดีบีโอ ที่ความถี่ 2 เมกะเฮิรตซ์ และอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 4.63 ดีบีโอ ที่ความถี่ 12 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบอัตราขยายของสายอากาศรวยคู่ระหว่างการทดสอบและแบบจำลอง

4.1.5 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern)

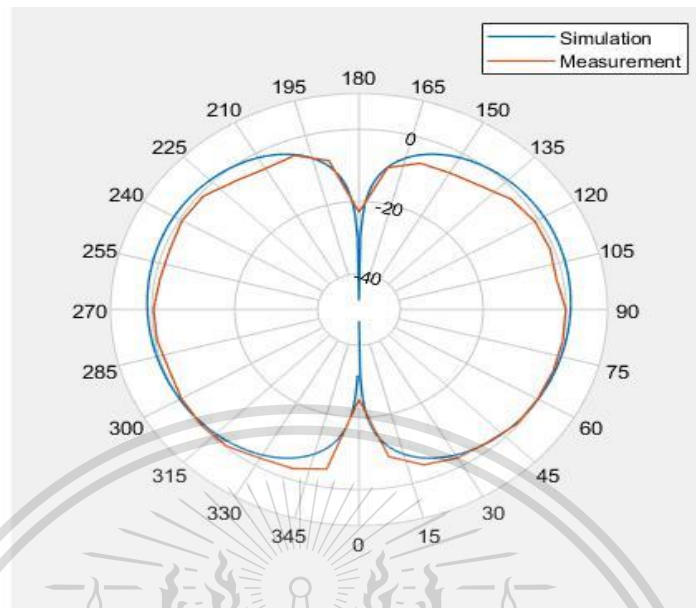
4.1.5.1 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) หรือระนาบ XZ

การทดสอบวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า ทำได้โดยการวางสายอากาศตั้งฉากกับพื้นโลก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7 จะเห็นได้ว่า แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ มีลักษณะเป็นการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีความใกล้เคียงกับแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE แต่ในการทดสอบจริงจะมีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ เครื่องมือวัด และสภาพแวดล้อม โดยที่ความถี่ 7 กิกะเฮิร์ตซ์มีการแผ่กระจายคลื่นดีที่สุดเพราะว่าทิศทางการแผ่พลังงานมีความเข้ากันกับรูปทรงของสายอากาศและมีอัตราขยายที่เหมาะสม

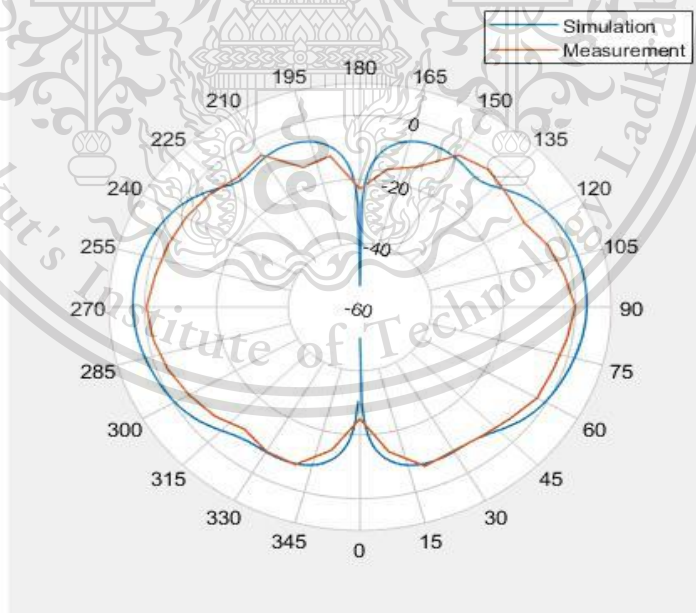
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์

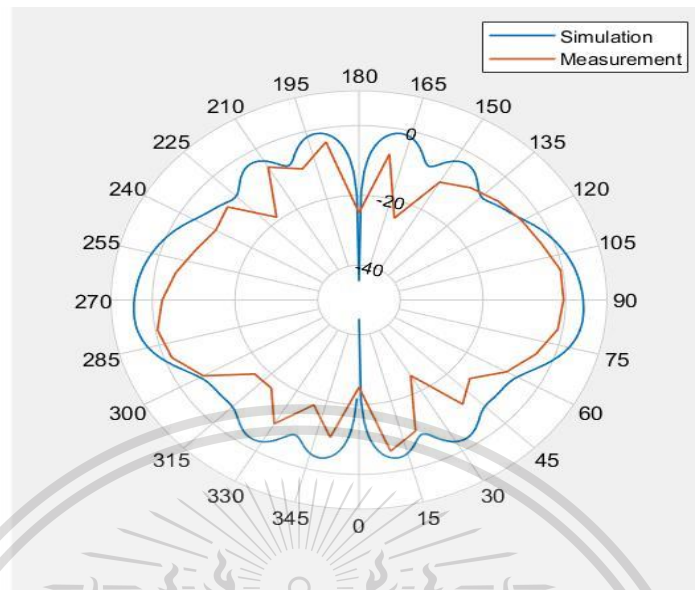


รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 11 กิกะเฮิรตซ์

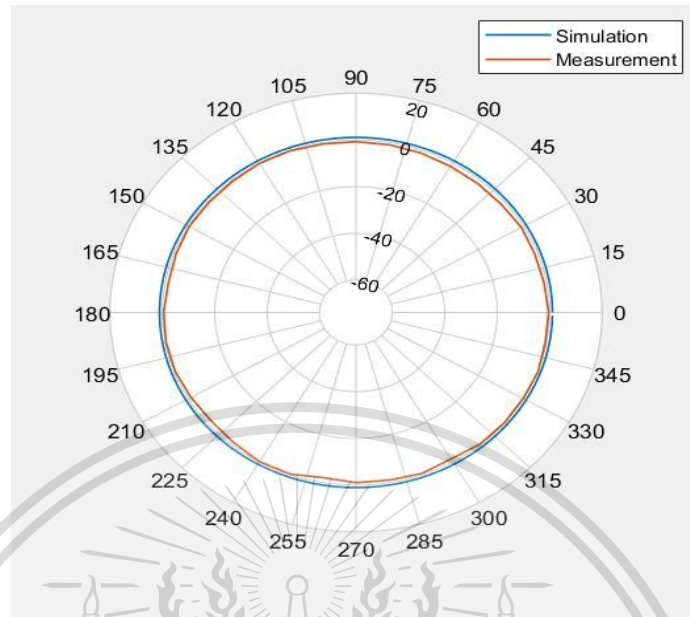
4.1.5.2 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) หรือระนาบ) XY

แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการวางสายอากาศขนานกับพื้นโลก ดังแสดงในรูปที่ 4.8 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า เป็นรูปวงกลม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะเป็นการกระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง มีความใกล้เคียงกับแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE แต่ในการทดสอบจริงจะมีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ เครื่องมือวัด และสภาพแวดล้อม โดยที่ความถี่ 7 กิกะเฮิรตซ์มีการแผ่กระจายคลื่นดีที่สุดเพราะว่าทิศทางการแผ่พลังงานมีความเข้ากันกับรูปทรงของสายอากาศ มีอัตราขยายที่เหมาะสม และมีสัญญาณรบกวนไม่มากเกินไปจนทำให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแตกต่างจากแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

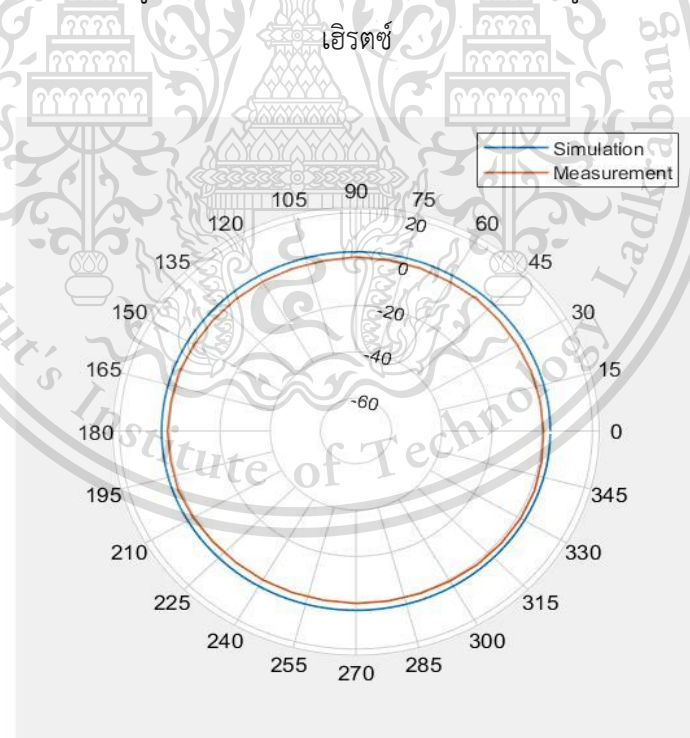
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XY ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์

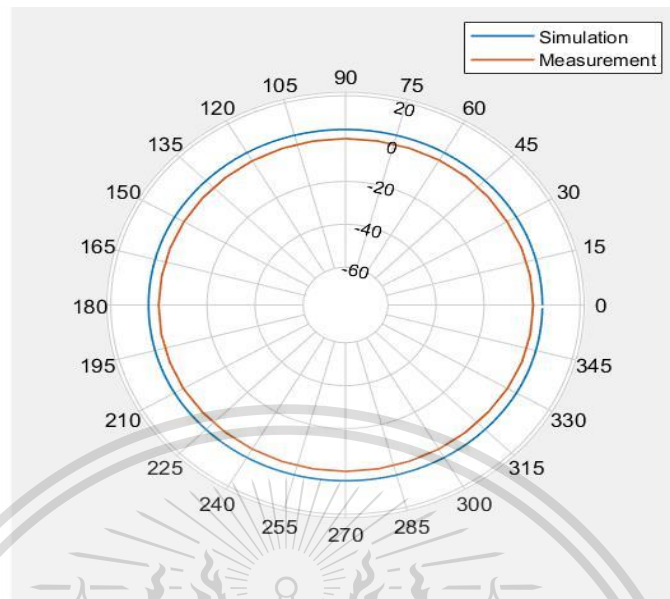


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XY ที่ความถี่ 7 กิกะ

เฮิรตซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

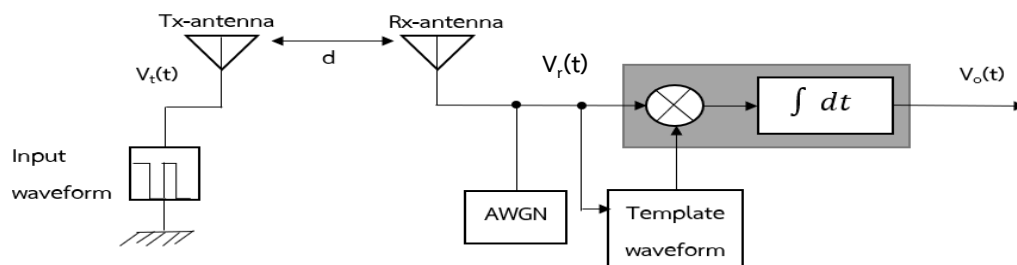
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ XY ที่ความถี่ 11 กิกะเฮิรตซ์

4.2 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

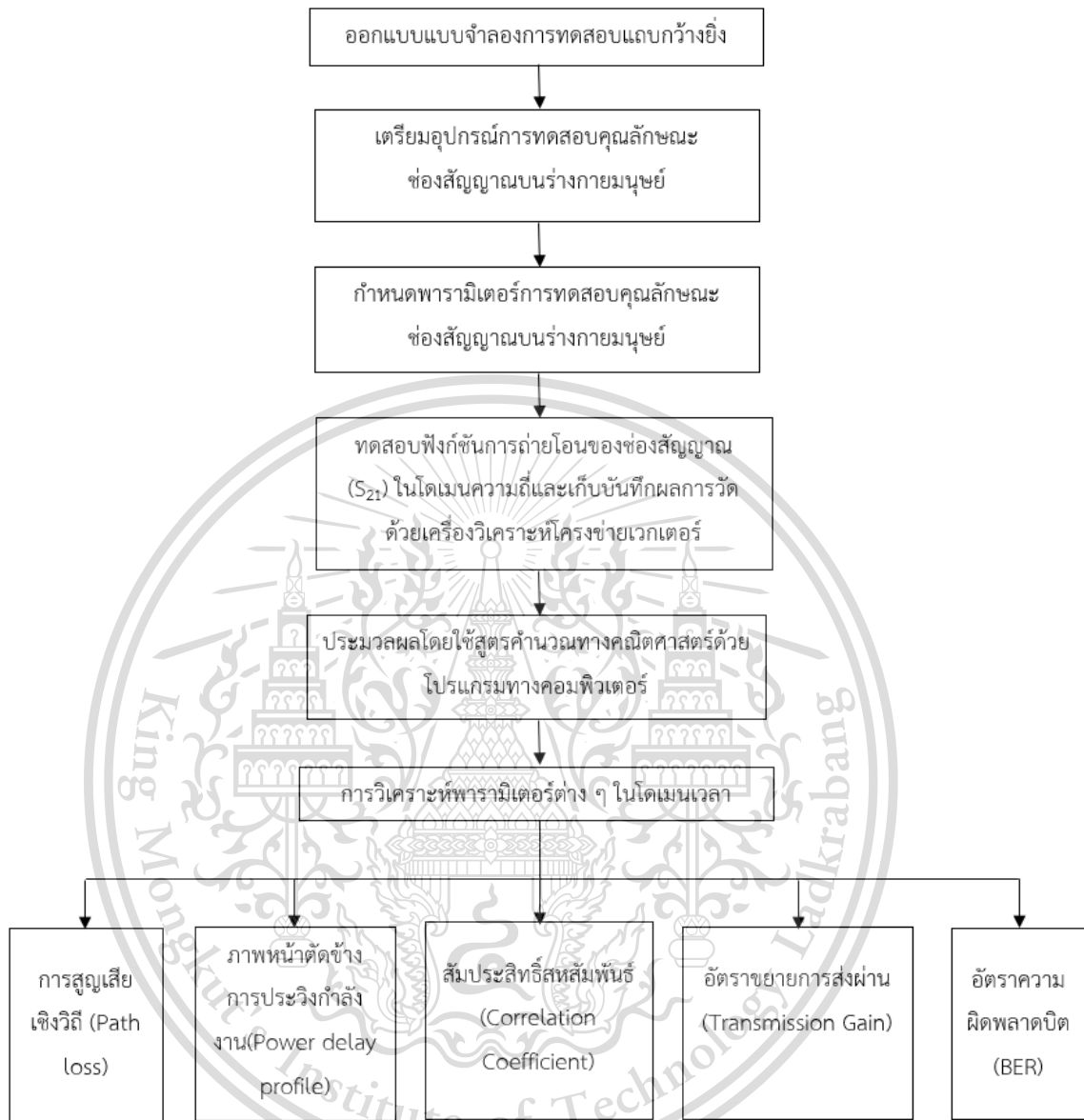
แบบแผนขบวนการและขั้นตอนในการทดสอบวิจัยซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาโดยการตรวจสอบจากการวัดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้ออกแบบจำลองการวัดเป็น 2 แบบคือแบบครอสโพราไรซ์และแบบโคโพราไรซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

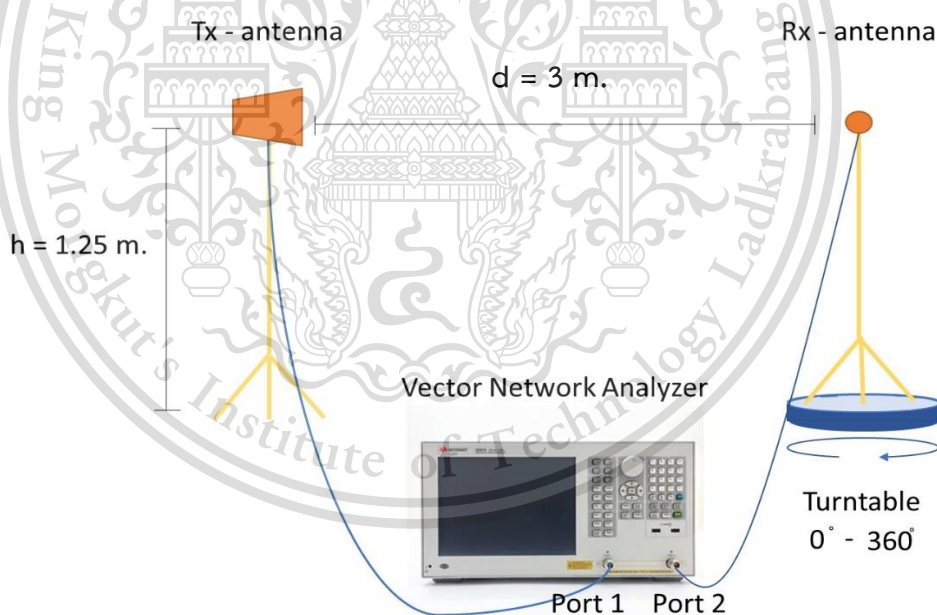
4.2.1 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

แบบจำลองการวัดนี้เป็นการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่มุมต่าง ๆ รอบร่างกายมนุษย์ซึ่งเปรียบเทียบกับใน 2 กรณีคือแบบครอสโพราไรซ์และแบบโคโพราไรซ์ ในกรณีที่มียาร่างกายมนุษย์จะแบ่งเป็นกรณีย่อย ๆ เป็น 3 กรณี คือ กรณีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน ลักษณะนั่ง และลักษณะนอน โดยทดสอบการโพราไรซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแบบครอสโพราไรซ์และโคโพราไรซ์

4.2.1.1 แบบครอสโพราไรซ์

4.2.1.1.1 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากอากาศว่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้ มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศฮอร์นในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.25 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5° ต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0° ถึง 360° ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 แบบจำลองการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการวัดช่องสัญญาณ กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ แบบครอสโพราไรซ์

พารามิเตอร์	ค่า
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ – 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.25 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.25 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0° – 360°
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพราไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพราไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	ไม่มีมนุษย์

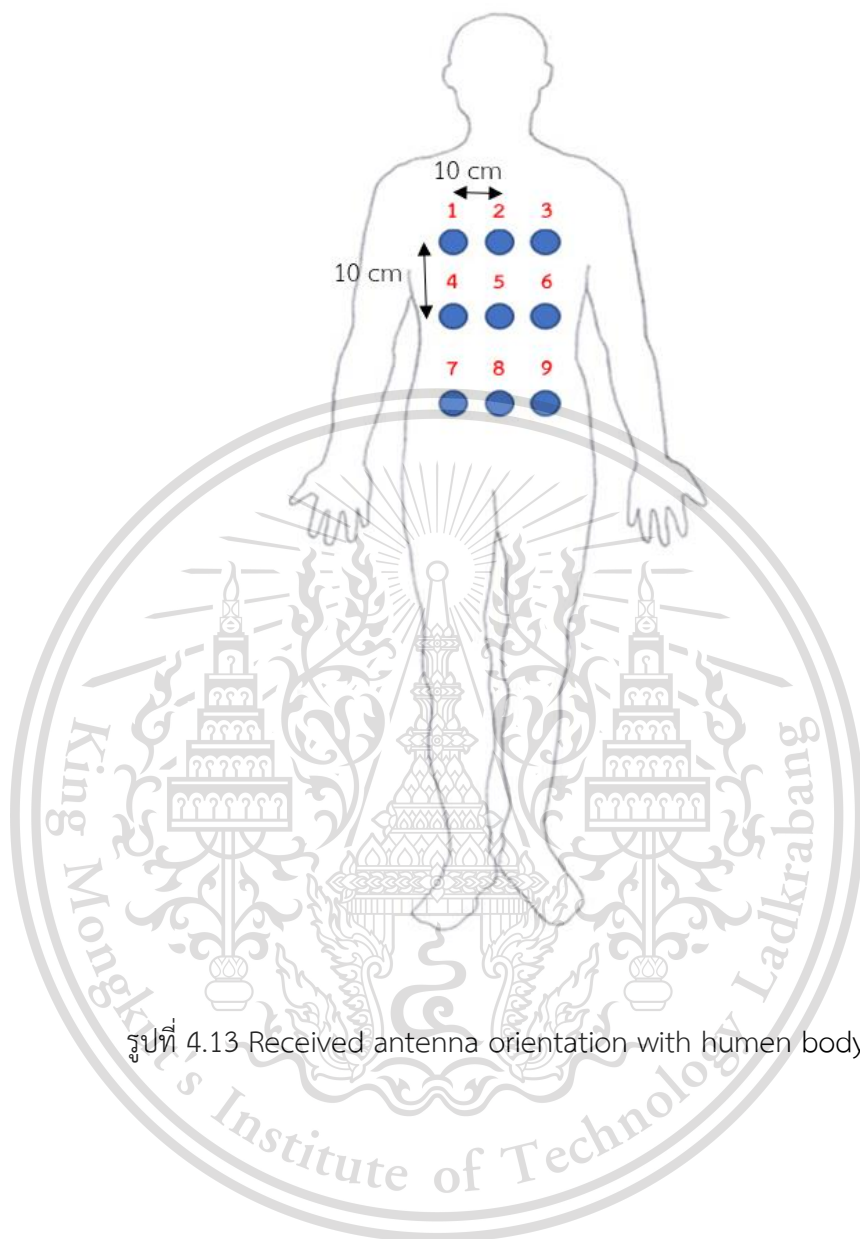
4.2.1.1.2 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ กรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศฮอร์นในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.25 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่ง 1 ถึง 9 ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

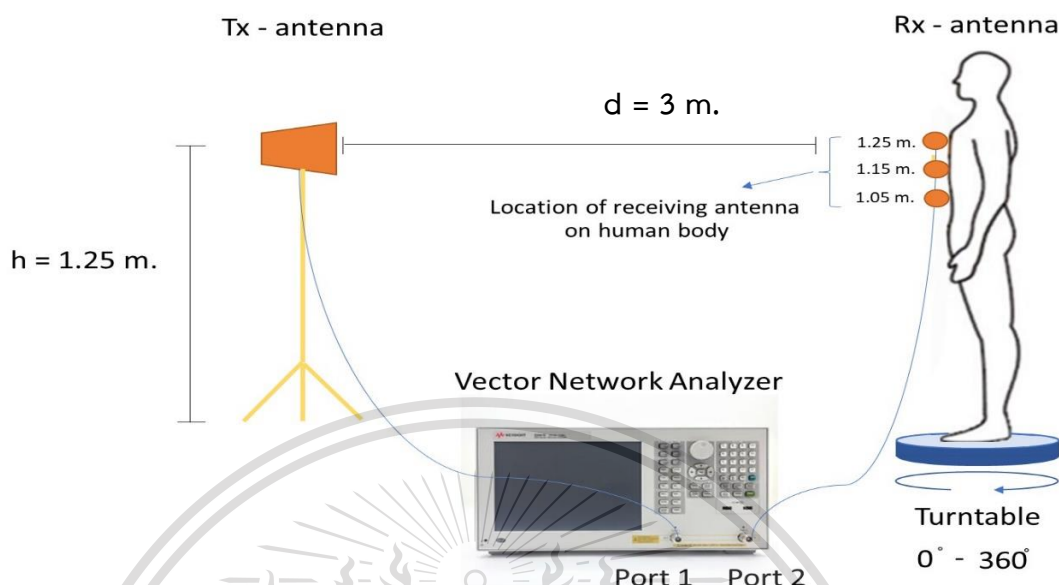


รูปที่ 4.13 Received antenna orientation with human body

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบครอสโพราไรซ์

พารามิเตอร์	ค่า
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.25 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.05 เมตร 1.15 เมตร และ 1.25 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0° – 360°
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพราไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพราไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	ยืน

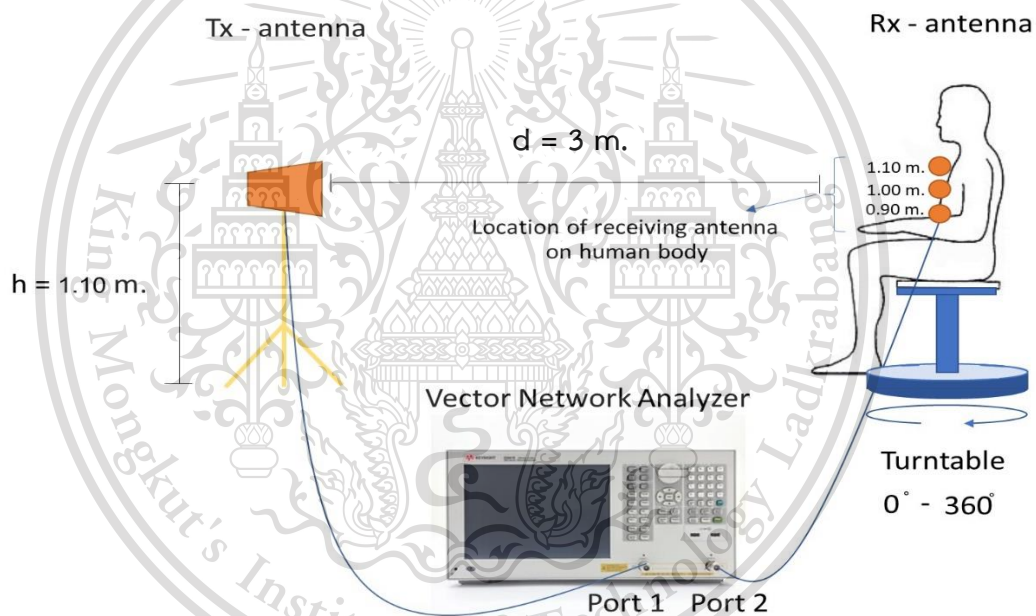
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1.1.3 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.10 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 9 ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบครอสโพราไรซ์

พารามิเตอร์	ค่า
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.10 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.90 เมตร 1.00 เมตร 1.10 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0° – 360°
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพราไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพราไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	นั่ง

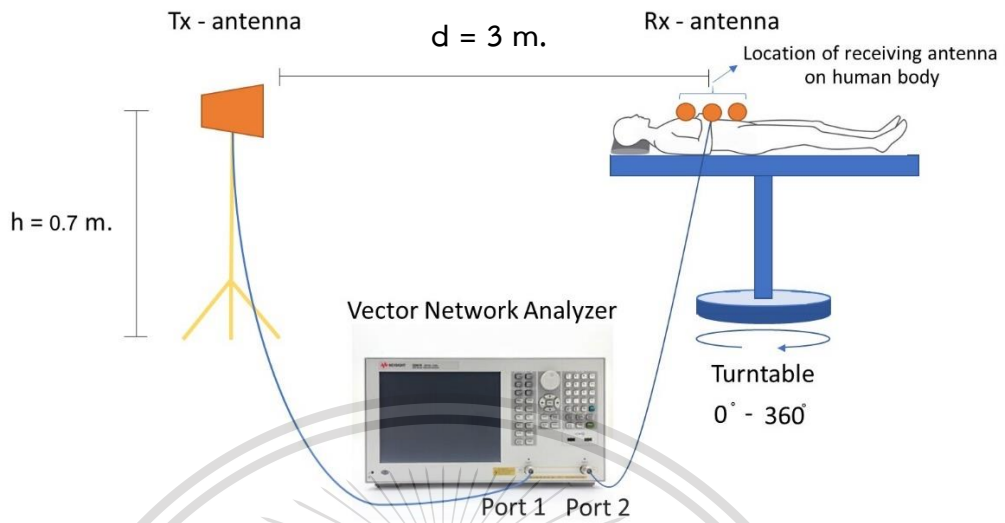
4.2.1.1.4 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 0.7 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 9 ดังรูป 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบครอสโพราไรซ์

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	0.70 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.70 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	$0^\circ - 360^\circ$
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพราไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพราไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

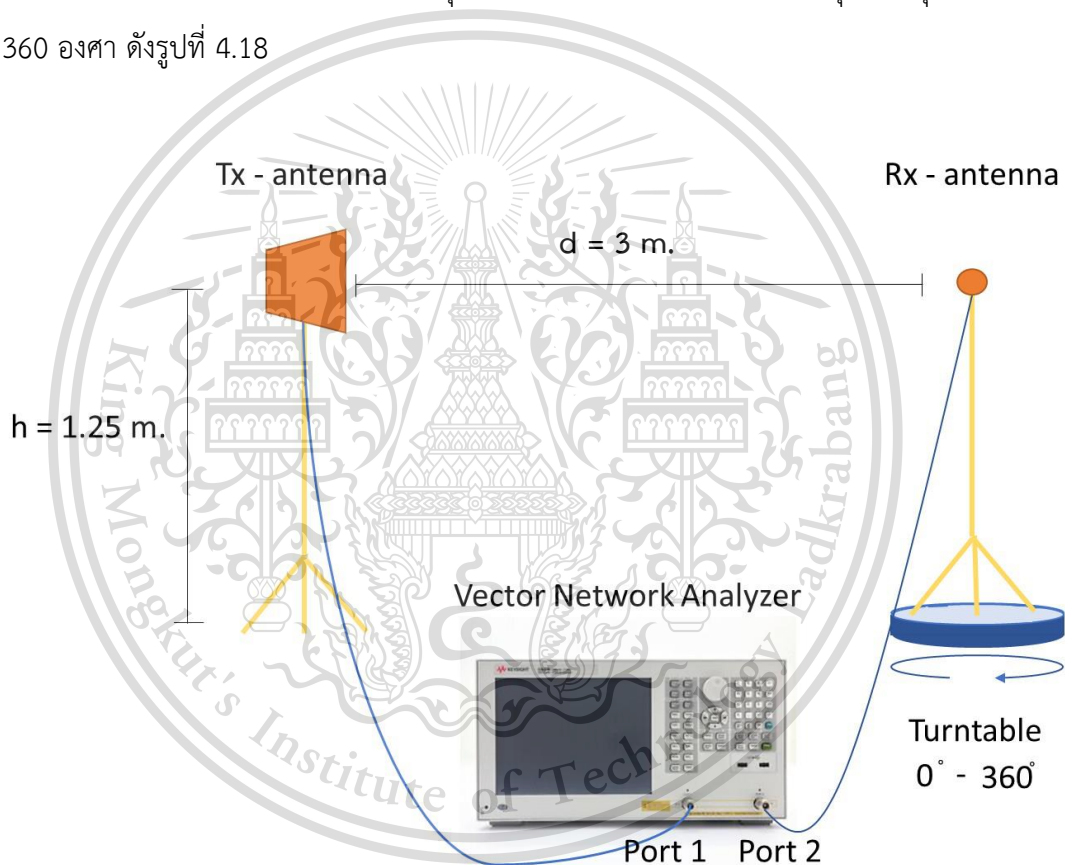
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1.2 แบบโคโพลาไรซ์

4.2.1.2.1 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากอากาศว่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้ มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศฮอร์นในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.25 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณที่มุมต่าง ๆ กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพรไรซ์

พารามิเตอร์	ค่า
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ – 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.25 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.25 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0° – 360°
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพราไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพราไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	ไม่มีมนุษย์

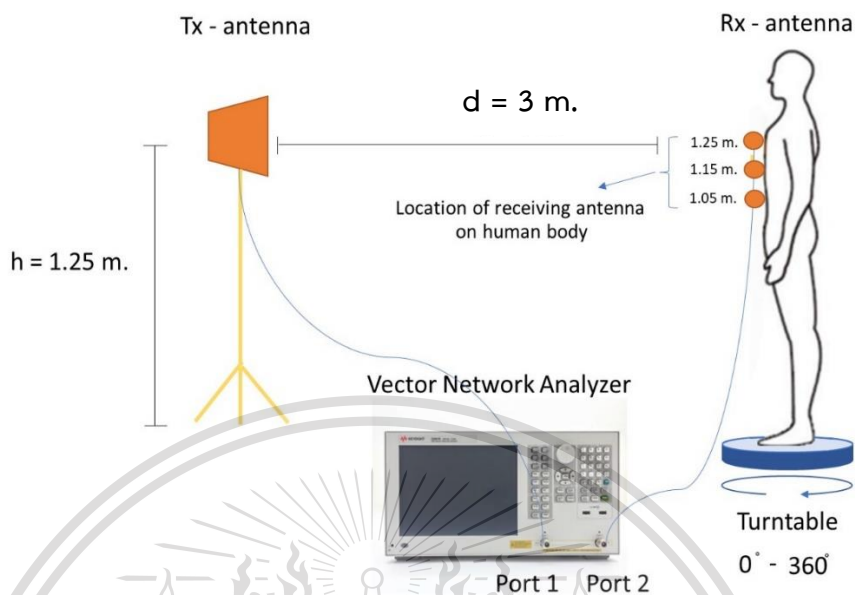
4.2.1.2.2 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่น

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.25 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 1 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตร หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่ง 1 ถึง 9 ดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.18 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

ตารางที่ 4.6 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบโคโคไพร่าไรซ์

พารามิเตอร์	ค่า
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.25 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.05 เมตร 1.15 เมตร และ 1.25 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	$0^\circ - 360^\circ$
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพลาไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพลาไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	ยืน

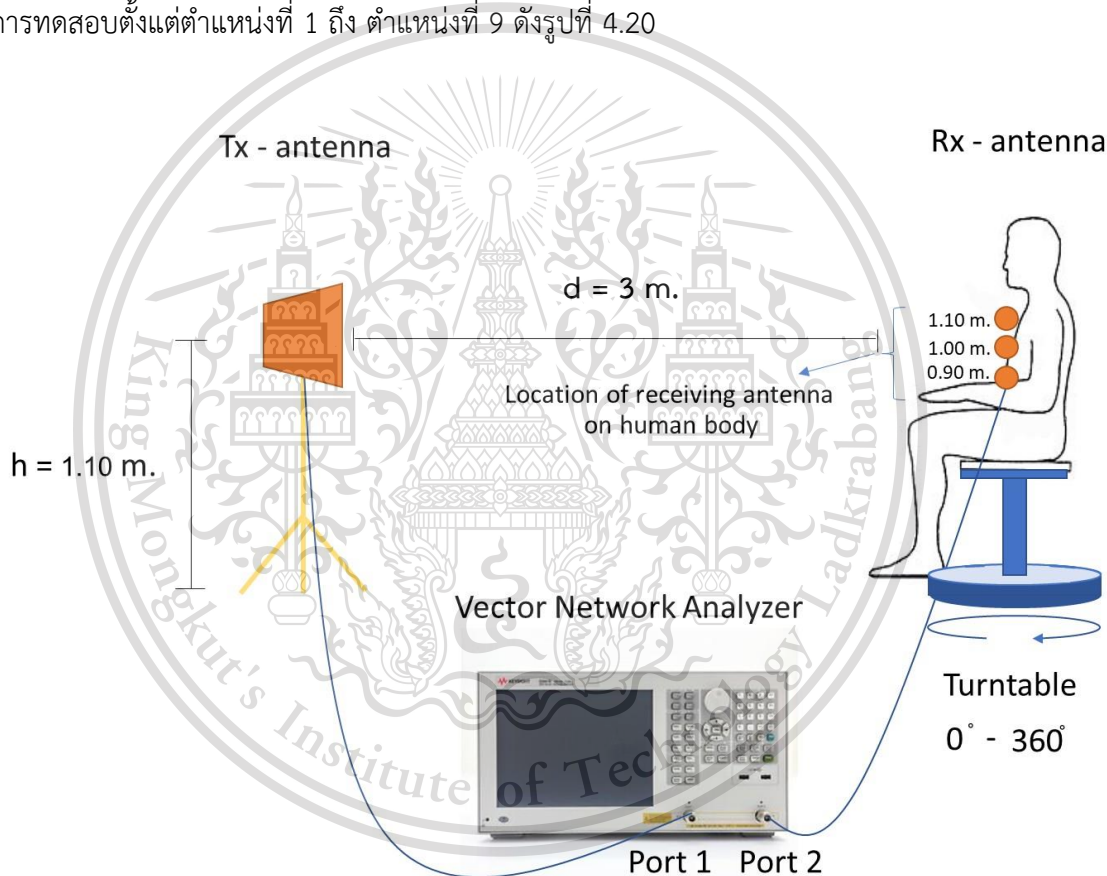
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1.2.3. แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.10 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 9 ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบโคโพรราไรซ์

พารามิเตอร์	ค่า
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.10 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.90 เมตร 1.00 เมตร 1.10 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0° – 360°
การหมุน	5° ต่อครั้ง
การโพราไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพราไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	นั่ง

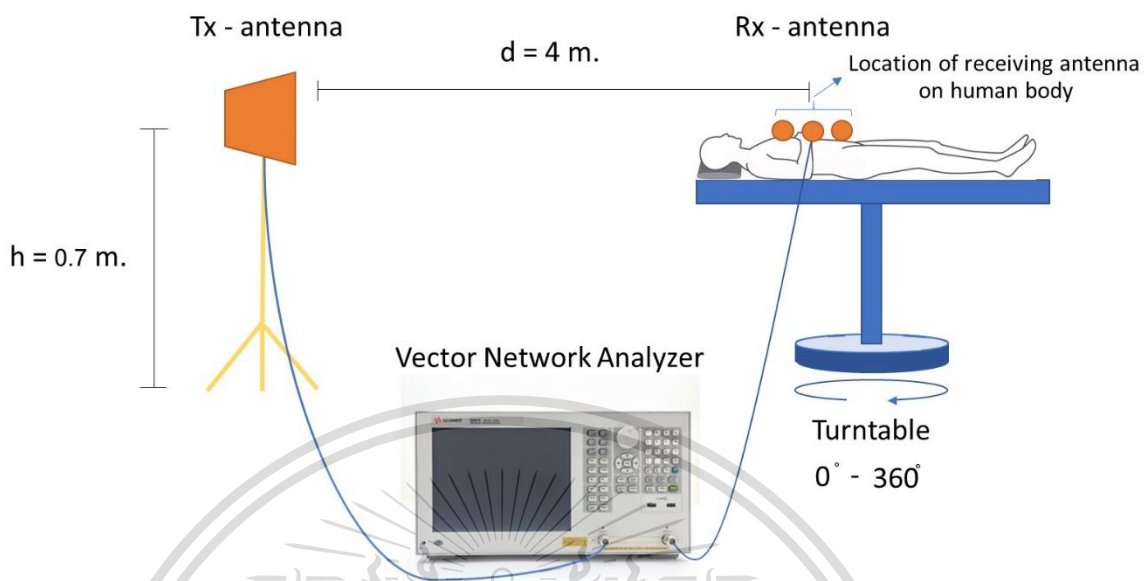
4.2.1.2.4. แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 0.7 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 9 ดังรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.20 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

ตารางที่ 4.8 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบโคโพลาไรซ์

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่องความถี่	7.00 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 9.00 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	0.70 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.70 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	3.00 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0 องศา ถึง 360 องศา
การหมุน	5 องศาต่อครั้ง
การโพลาไรซ์สายอากาศรับ	แนวนอน
การโพลาไรซ์สายอากาศส่ง	แนวตั้ง
ท่าทางของมนุษย์	นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1 แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.1.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband)

การวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้พิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ตั้งแต่ 7.25 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 8.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวมเท่ากับ 7.875 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 1.25 กิกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์การทดสอบนั้นได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่เรียกว่า แถบผ่านสี่เหลี่ยม ในการวิเคราะห์โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{\min}) เท่ากับ 7.25 กิกะเฮิร์ตซ์ ความถี่สูงสุด (f_{\max}) เท่ากับ 8.5 กิกะเฮิร์ตซ์ และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 1.25 กิกะเฮิร์ตซ์ รูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์มีนิยามดังสมการที่ 4.1 และความหนาแน่นสเปกตรัมแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (4.1)$$

$$v_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & f - f_c \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & f - f_c > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (4.2)$$

โดยที่ $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{(\pi x)} \quad (4.3)$

เมื่อ

t คือ ค่าเวลา (Time)

A คือ แอมพลิจูดสูงสุด

f คือ ค่าความถี่ (Frequency)

f_c คือ ค่าความถี่กลาง (Center frequency)

f_b คือ แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

$f_{\min} = (f_c - f_b) / 2$ คือ ค่าความถี่ต่ำสุด (Minimun frequency)

$f_{\max} = (f_c + f_b) / 2$ คือ ค่าความถี่สูงสุด (Maximun frequency)

รูปคลื่นนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ

โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A / (2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_{\max}$ ถึง $-f_{\min}$

และ f_{\min} ถึง f_{\max} และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งในอุดมคติดังนั้นจึงใช้

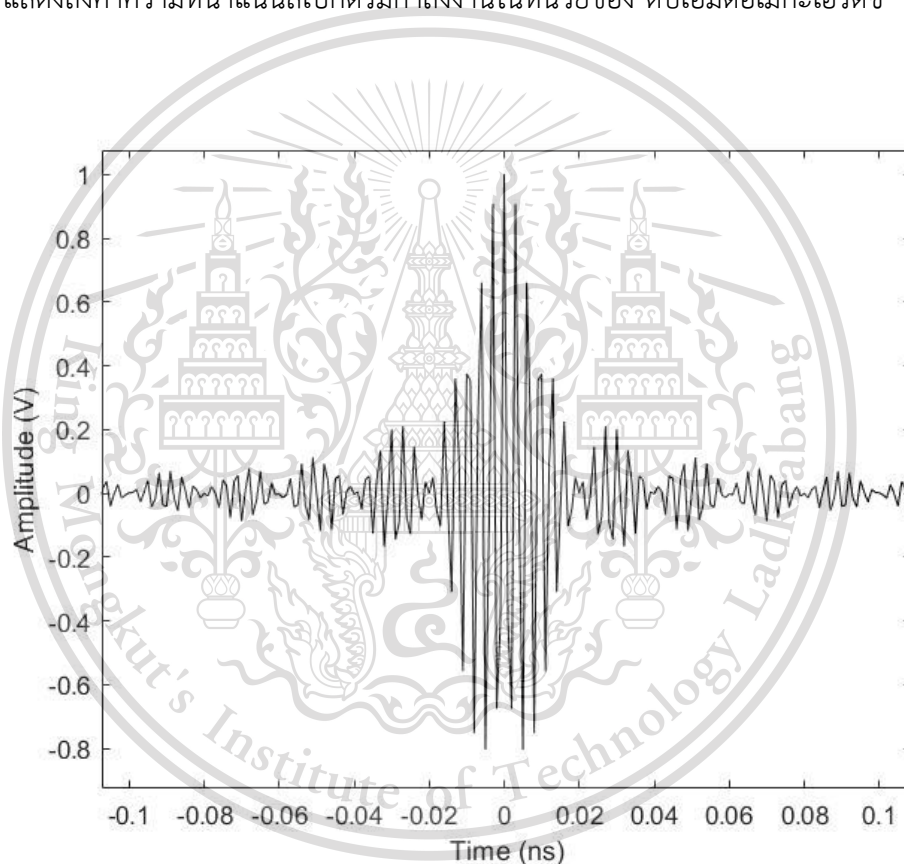
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ข้อมูลเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พิจารณาหาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิดท์มากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของ รูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง รูปคลื่นนี้จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (Direct current; DC) เป็นศูนย์ รูปที่ 4.21 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในโดเมนเวลาโดยแกน X แสดงถึงค่าของเวลาและแกน Y แสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบ แถบกว้างยิ่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ รูปที่ 4.22 แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่ โดยมีแกน X แสดงถึงค่าความถี่และ แกน Y แสดงถึงค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในหน่วยของ ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์

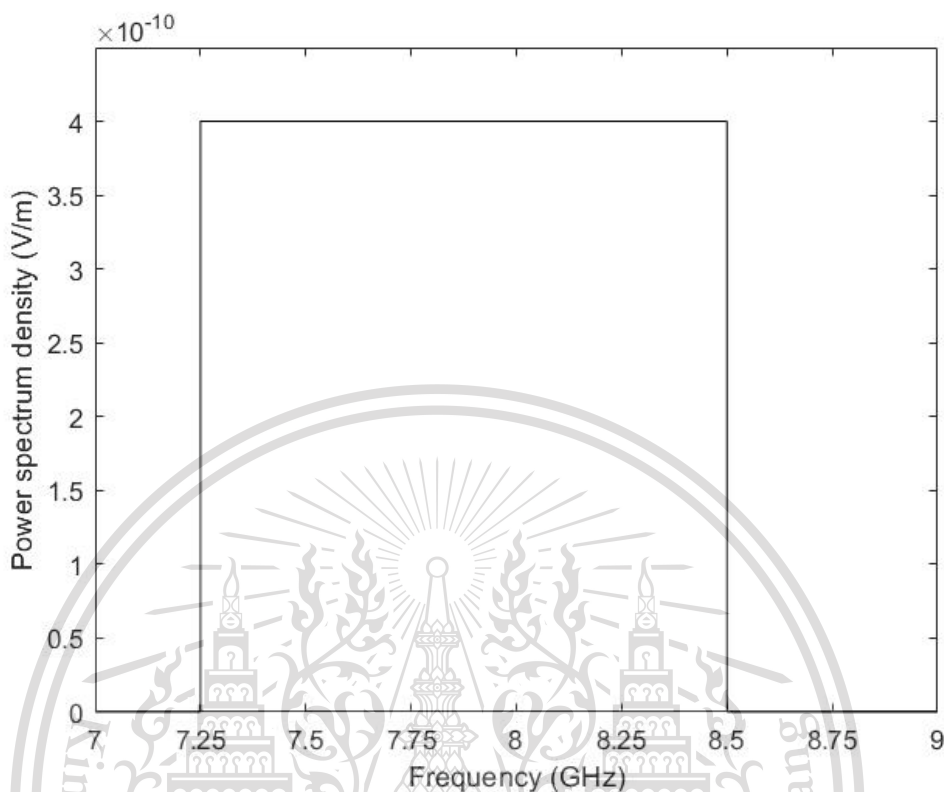


รูปที่ 4.21 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.22 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

4.3 เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการทดสอบวิจัย ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า สายอากาศ (Antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA)

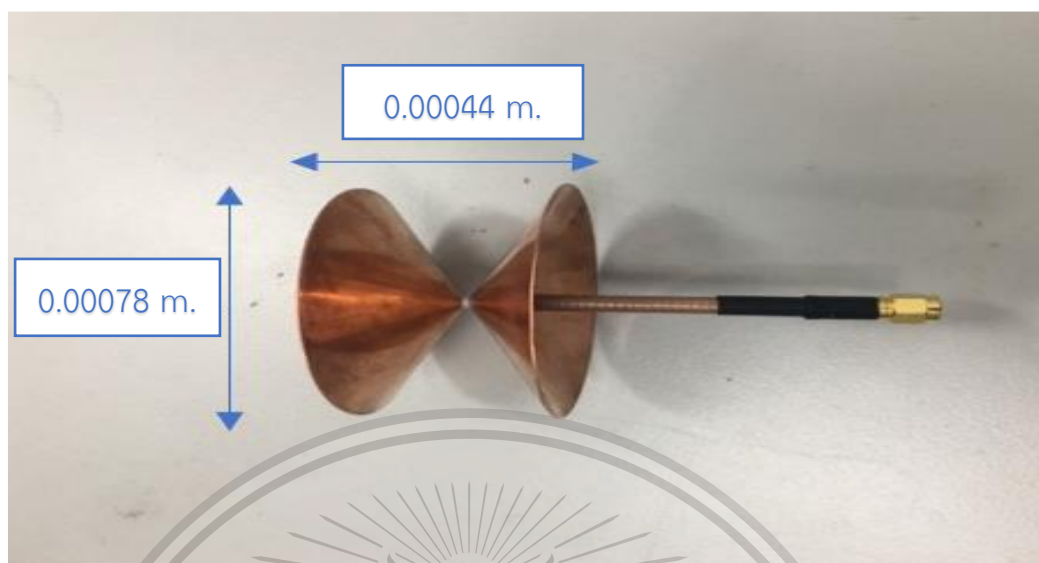
4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่าสายอากาศ ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิมโดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้สายอากาศกรวยคู่คุณสมบัติของสายอากาศเป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้างสามารถรองรับการใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ภาคส่งเป็นสายอากาศส่งตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.24 สายอากาศกรวยคู่

4.4 การทดสอบวัดช่องสัญญาณการส่งผ่าน

เป็นการวัดการแพร่กระจายคลื่นที่มุมต่าง ๆ รอบร่างกายมนุษย์ซึ่งเปรียบเทียบกับใน 2 กรณีคือแบบครอสโพลาไรซ์และแบบโคโพลาไรซ์ ในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์จะแบ่งเป็นกรณีย่อย ๆ เป็น 3 กรณี คือ กรณีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน ลักษณะนั่ง และลักษณะนอน และในสามกรณีก็จะมีกรวัดทั้งหมด 9 ตำแหน่งดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.25 ตำแหน่งของสายอากาศรับ

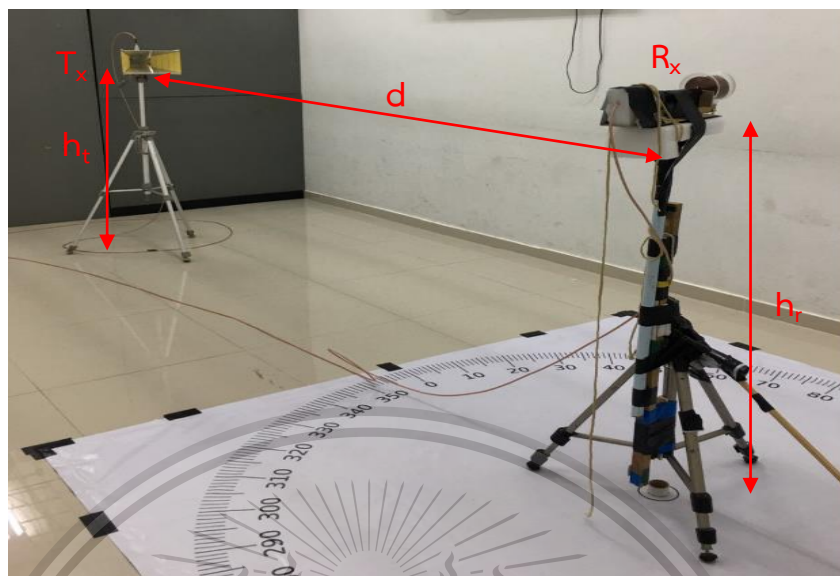
4.4.1 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

ทดสอบการวัดช่องสัญญาณโดยวิเคราะห์ผลกระทบจากอากาศว่างที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และคุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้ มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศฮอร์นในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.25 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 4 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5° ต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0° ถึง 360° ดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.26 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

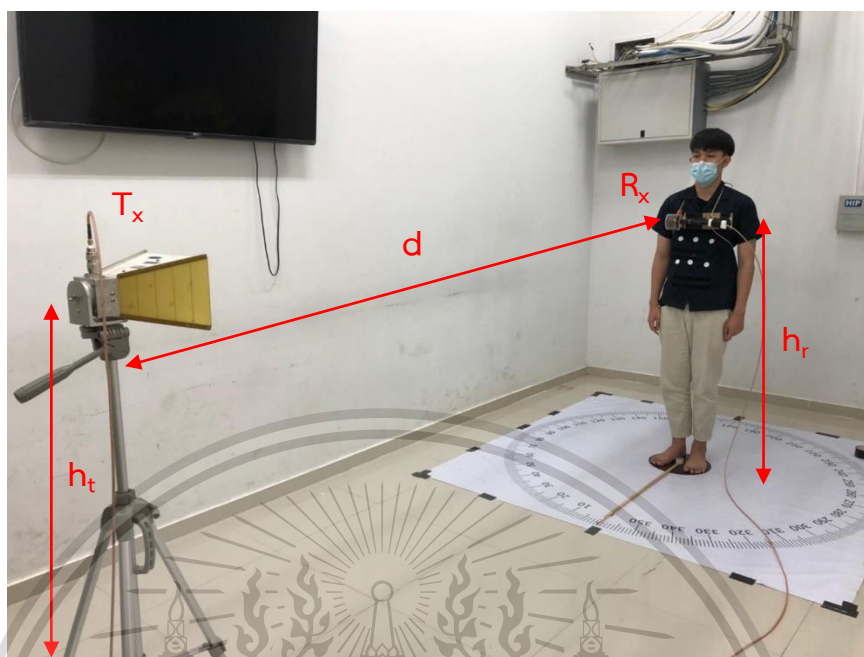
4.4.2 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

ทดสอบการวัดช่องสัญญาณโดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศฮอร์นในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.25 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5° ต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0° ถึง 360° หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่ง 1 ถึง 9 ดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

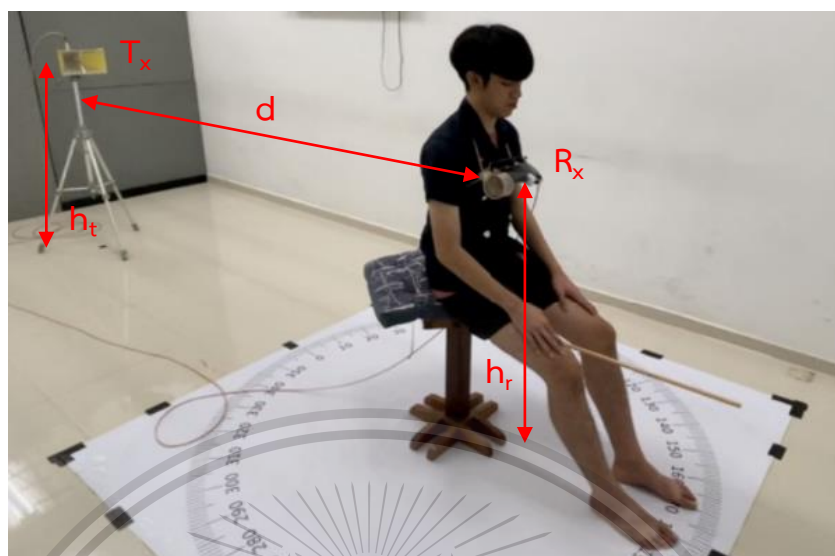
4.4.3 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

ทดสอบการวัดช่องสัญญาณโดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 1.10 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5° ต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0° ถึง 360° หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 9 ดังรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.28 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

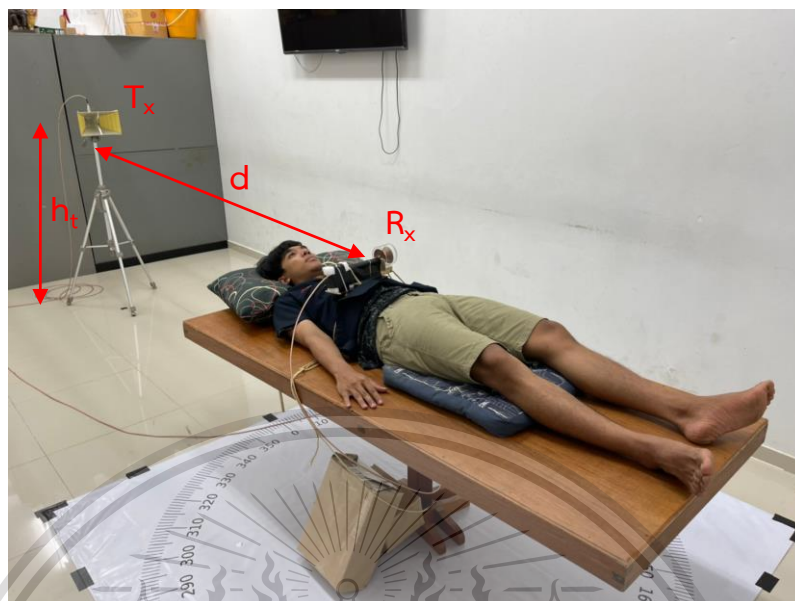
4.4.4 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

ทดสอบการวัดช่องสัญญาณโดยวิเคราะห์ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้จากการสร้างมาก่อนหน้านี้มาติดตั้งในภาครับและใช้สายอากาศปากแตรในภาคส่งโดยถูกยึดติดกับขาตั้งโดยไว้ตำแหน่งส่วนสูงที่ 0.7 เมตร ระยะห่างระหว่างภาครับและภาคส่ง 3 เมตรแล้วจะทำการหมุน 5° ต่อการวัด 1 ครั้ง การหมุนจะหมุนตั้งแต่ 0° ถึง 360° หลังจากนั้นจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศรับบนร่างกายมนุษย์ โดยจะทำการทดสอบตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 9 ดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.29 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

ขั้นตอนการวัดที่ได้กล่าวในข้างต้นเป็นการตรวจสอบถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้น โดยในการทดสอบนี้ต้องการที่จะตรวจสอบถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งสิ่งที่ได้จากการทดสอบนั้นคือฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่รวมผลของสายอากาศเข้าไปด้วย จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

4.5 ผลการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบวัดและการวิเคราะห์โดยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของช่องสัญญาณโดยเปรียบเทียบสายอากาศที่ติดตั้งบนร่างกายดังนี้

4.5.1 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

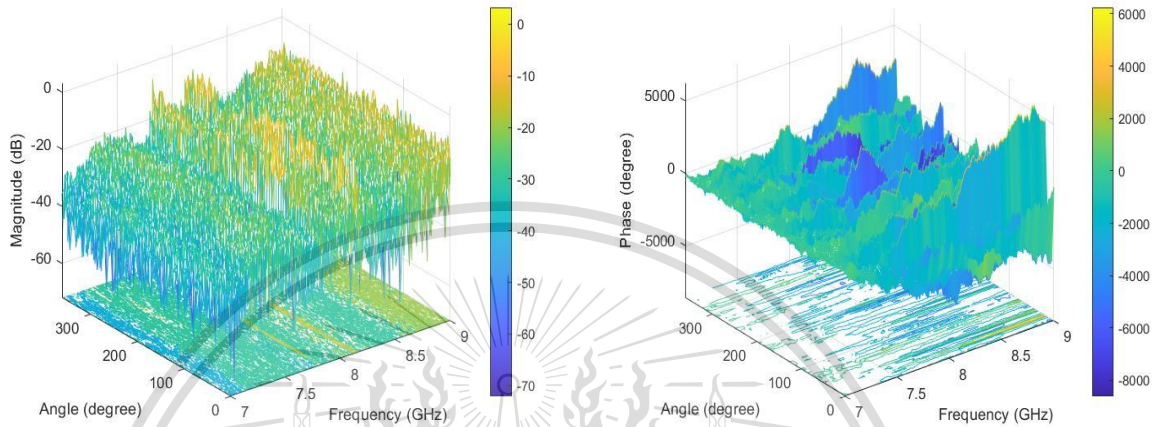
ขนาด เฟส และเวลาประวิงกลุ่มของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณจะแสดงถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยขนาดจะบอกถึงระดับสัญญาณในการถ่ายโอนที่ความถี่ที่เราพิจารณา เฟสจะบอกถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ดีเฟสจะมีความเป็นเชิงเส้น ส่วนการประวิงกลุ่มจะขึ้นอยู่กับเฟส หากเฟสไม่มีความเป็นเชิงเส้นจะเกิดการประวิงกลุ่มมาก ซึ่งฟังก์ชันการถ่ายโอนทั้ง 3 ค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบนี้จะแสดงในรูปแบบของกราฟสามมิติโดยแกน x คือความถี่ แกน y คือมุม และแกน z คือขนาดหรือเฟส

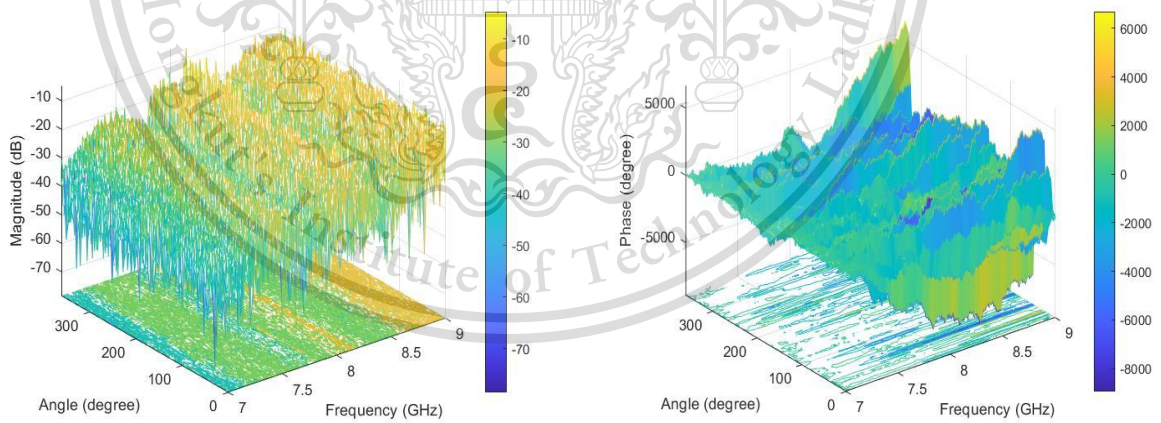
4.5.1.1 แบบครอสโพราไรซ์



(ก) ขนาด

(ข) เฟส

รูปที่ 4.30 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบครอสโพราไรซ์



(ก) ขนาด

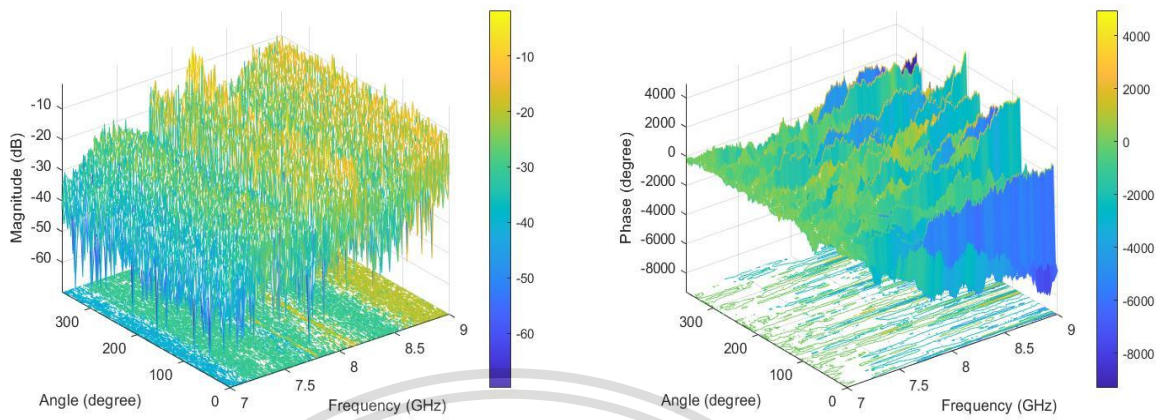
(ข) เฟส

รูปที่ 4.31 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบครอสโพราไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

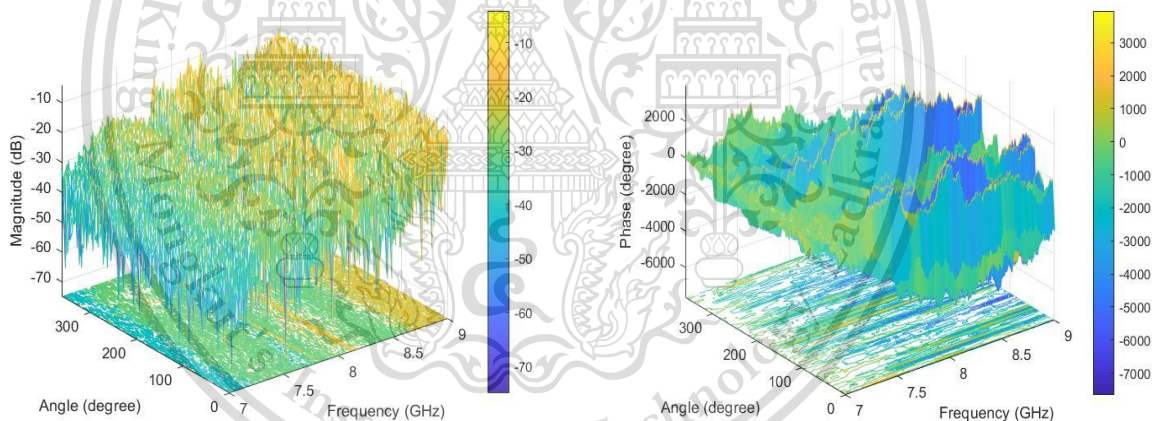
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) ขนาด

(ข) เฟส

รูปที่ 4.32 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบ
ครอสโพราไรซ์



(ก) ขนาด

(ข) เฟส

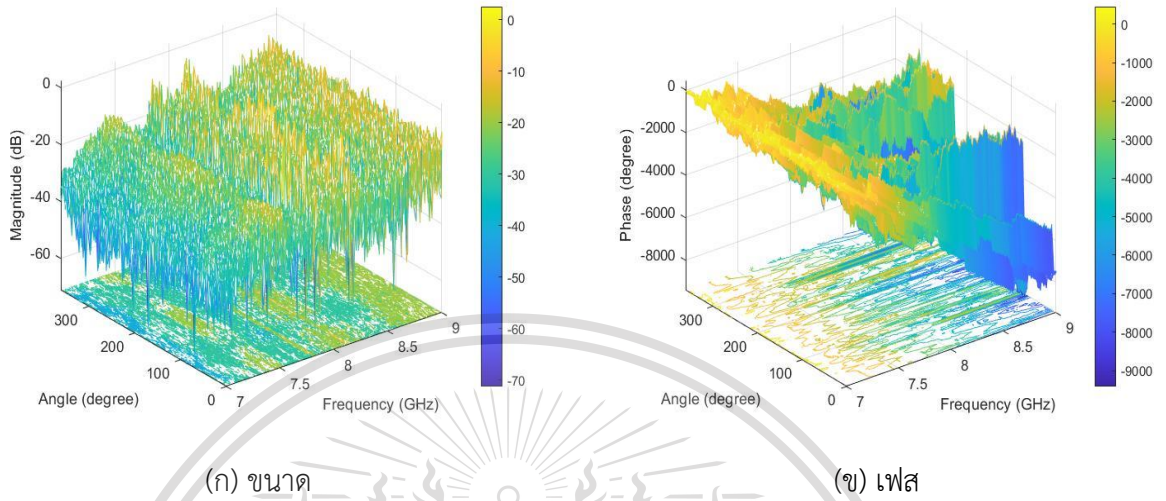
รูปที่ 4.33 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบ
รอสโพราไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

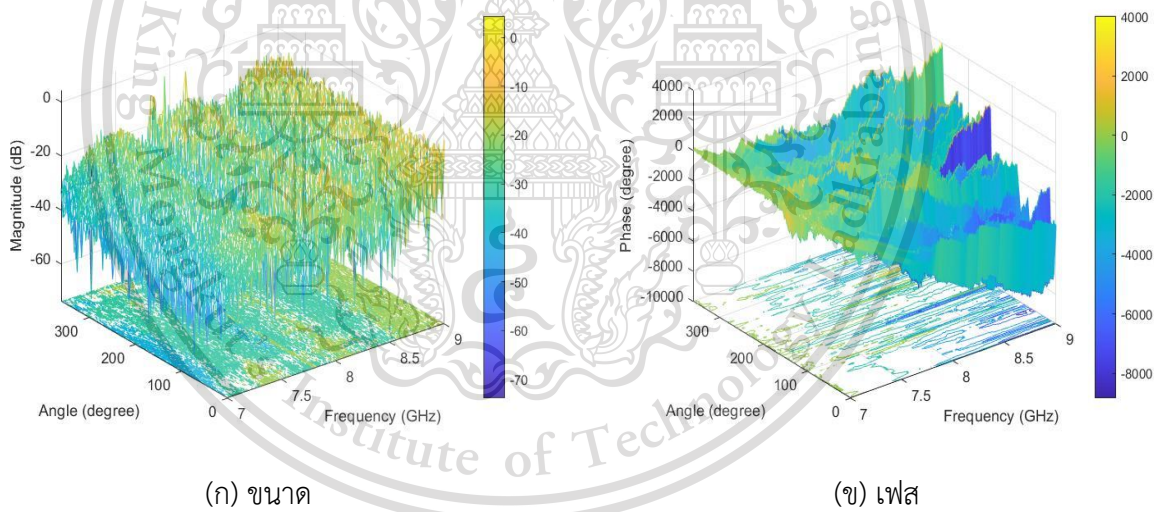
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.1.1 แบบโคโพรไรซ์



รูปที่ 4.34 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพรไรซ์

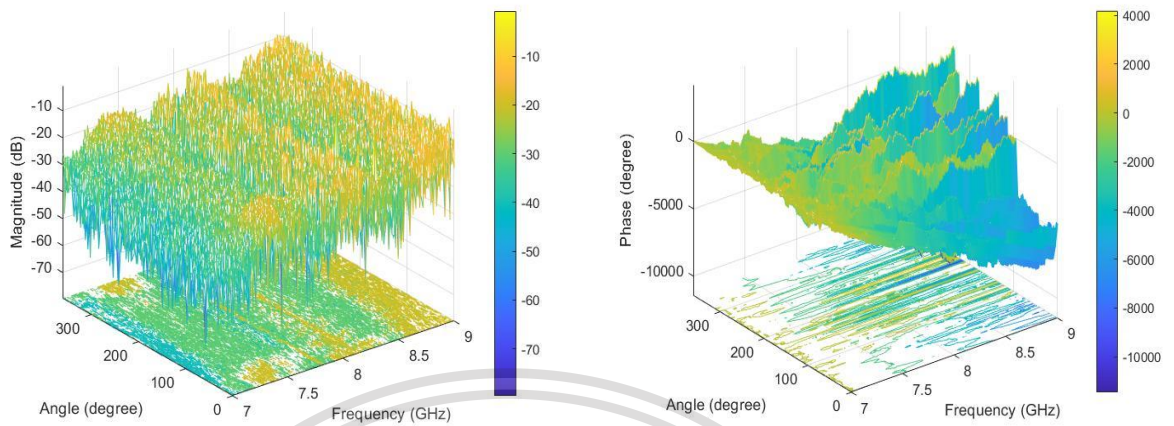


รูปที่ 4.35 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบโคโพรไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

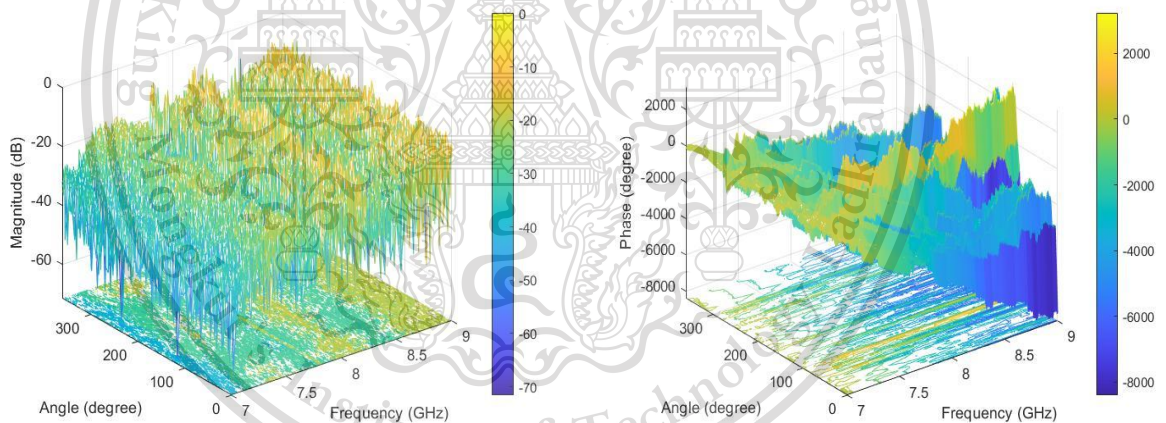
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก) ขนาด

(ข) เฟส

รูปที่ 4.36 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบโคโพรไรซ์



(ก) ขนาด

(ข) เฟส

รูปที่ 4.37 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบโคโพรไรซ์

จากรูปที่ 4.30 ถึง 4.38 แสดงให้เห็นว่าขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแบบโคโพรไรซ์ดีกว่าแบบครอสโพรไรซ์เพราะโคโพรไรซ์เป็นการโพราไรซ์ไปในแนวเดียวกันทำให้เกิดการสูญเสียเชิงวิถีน้อยกว่าแบบครอสโพรไรซ์ และถ้าดูเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

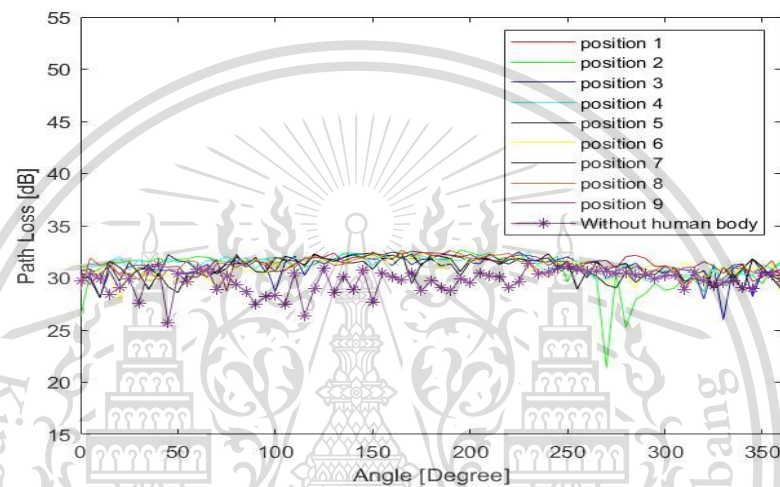
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ดังรูปที่ 4.30 และ รูปที่ 4.34 จะเห็นว่าเฟสมีความเป็นเชิงเส้นทุกมุมยกเว้นที่มุม 90° และ 270° เพราะโครงสร้างของสายอากาศ

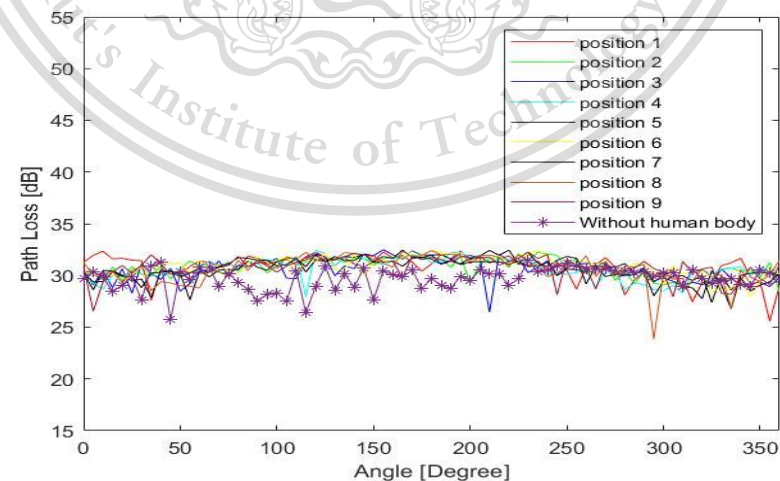
4.5.2 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

การสูญเสียเชิงวิถีนี้จะแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียในหน่วยเดซิเบลและมุมที่ทำการทดสอบ

4.5.2.1 แบบครอสโพราไรซ์



รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะอื่น

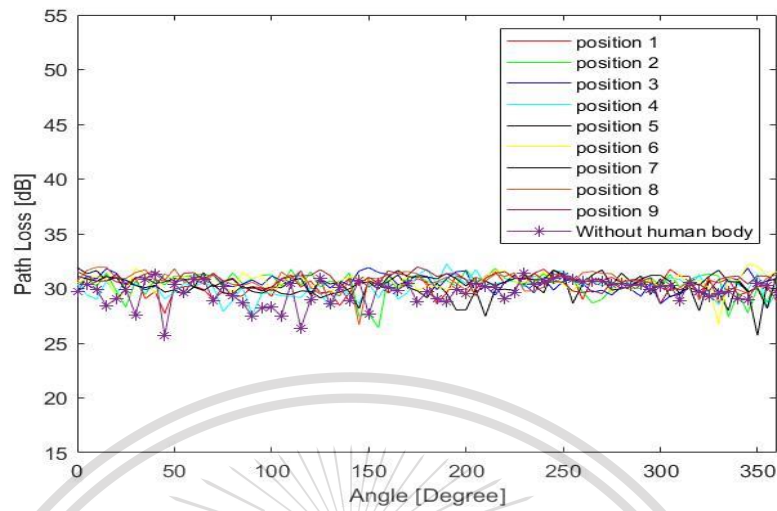


รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

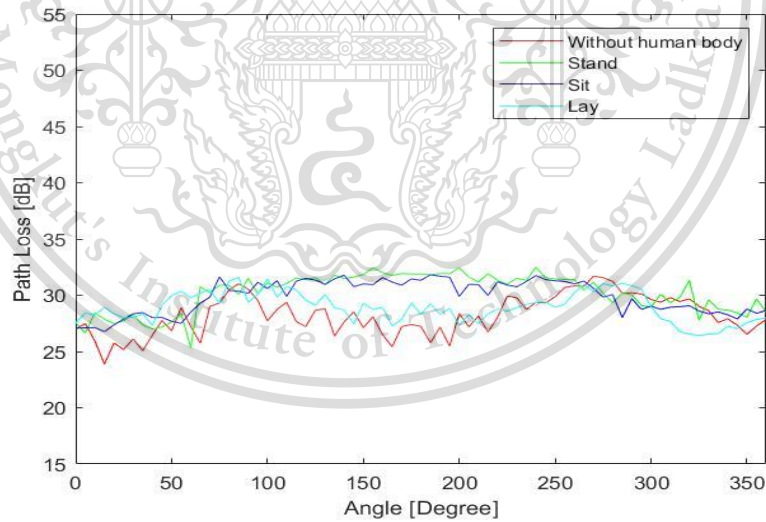
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ ลักษณะนอน

4.5.2.2 แบบโคโพรราไรซ์



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ แบบโคโพรราไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

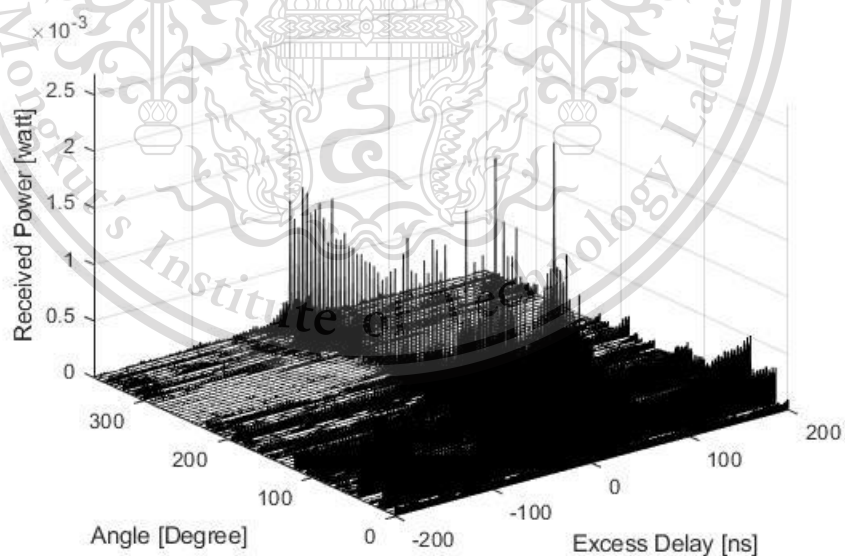
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.38 ถึง 4.41 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่น้อยกว่ากรณีมีร่างกายมนุษย์ทั้ง 3 ลักษณะซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อการสูญเสียเชิงวิถี และจากรูป 4.38 ถึง 4.41 จะเห็นได้ว่าในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุดที่มุม 90° และ 270° เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ และค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่ามากที่สุดที่มุม 90° 180° และ 270° ยกเว้นลักษณะนอน เพราะว่าร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180° ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่ง จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

4.5.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ในการแสดงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำการวัด

4.5.3.1 แบบครอสโพราไรซ์

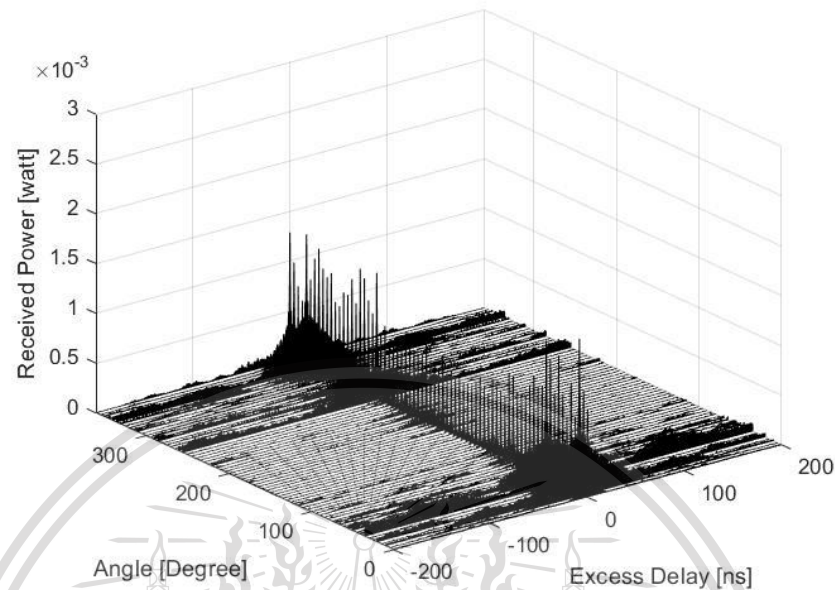


รูปที่ 4.42 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณบนร่างกายมนุษย์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

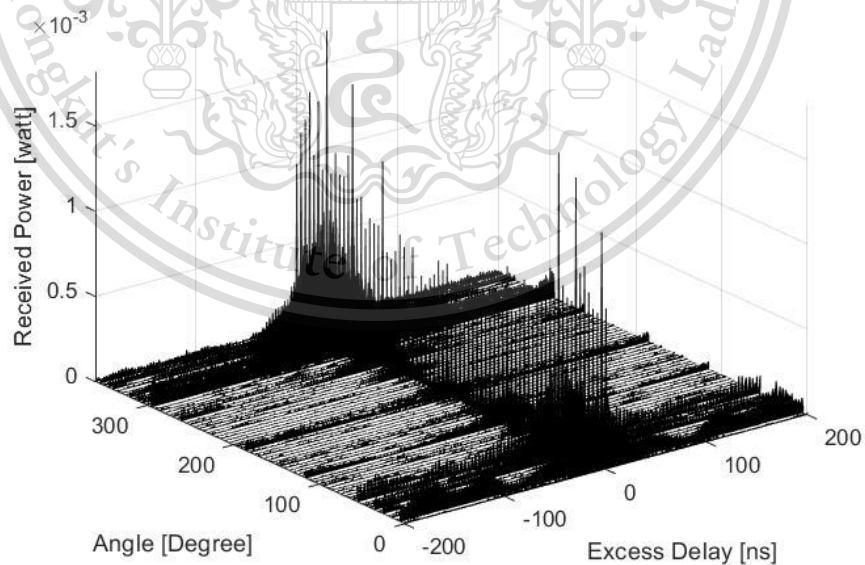
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อแบบครอสโพราไรซ์ ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



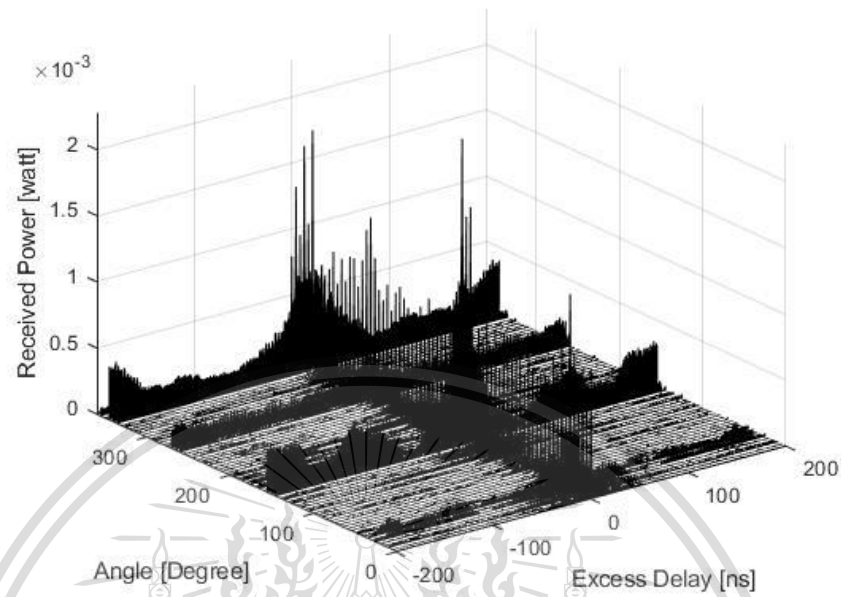
รูปที่ 4.43 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนแบบครอสโพราไรซ์



รูปที่ 4.44 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งแบบครอสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึโพราไรซ์นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

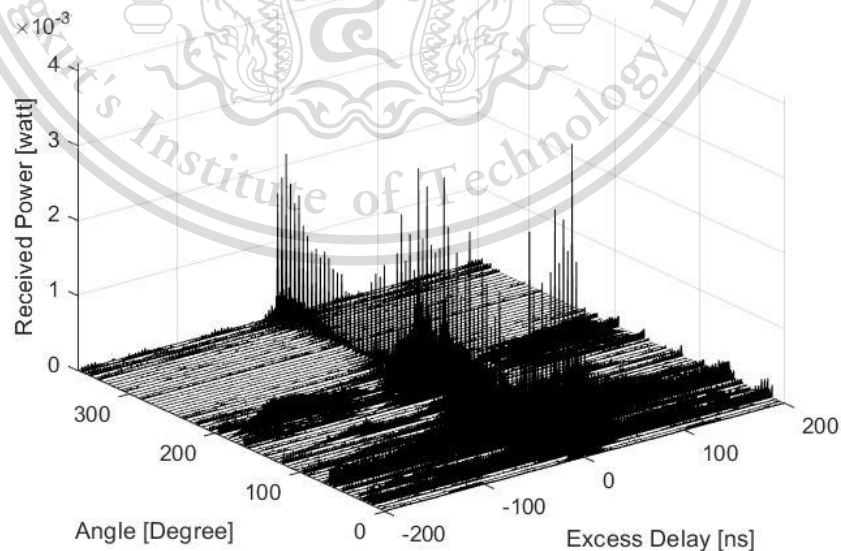
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.45 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบคอโรสโพราไรซ์

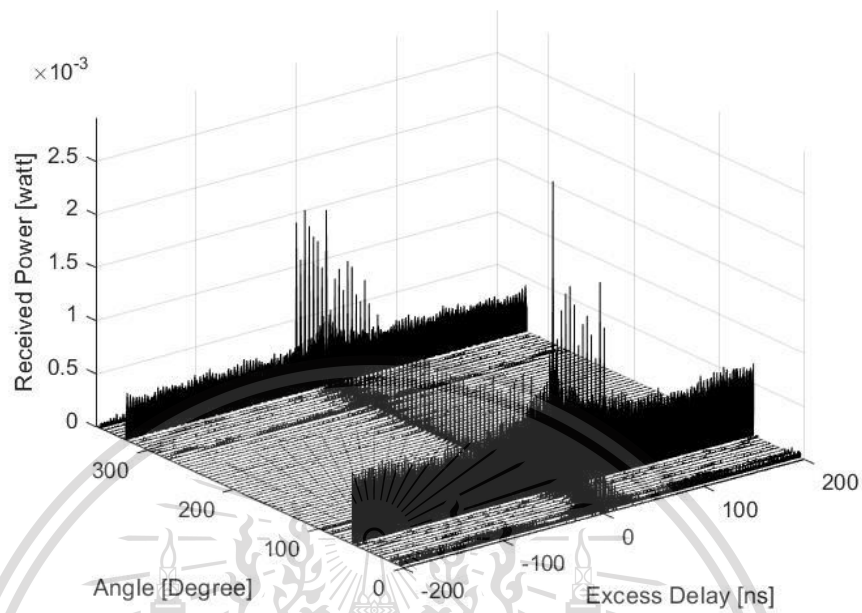
4.5.3.2 แบบโคโพราไรซ์



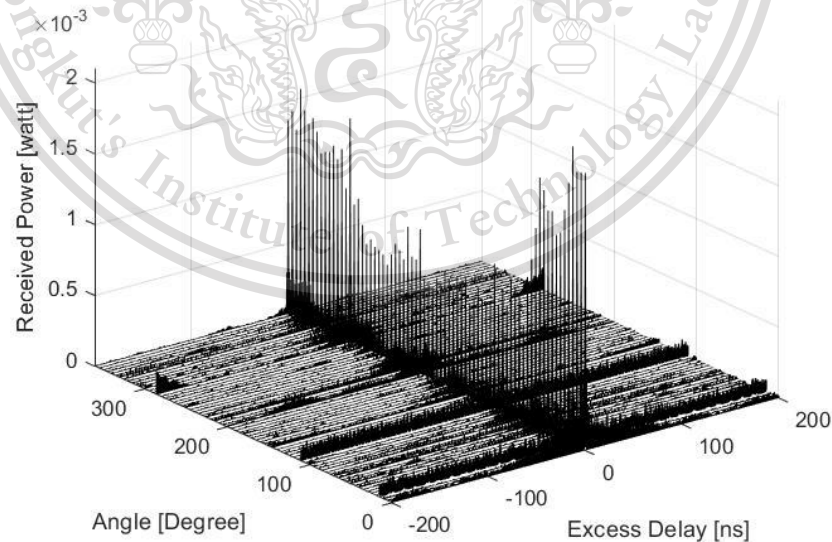
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.46 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพราไรซ์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



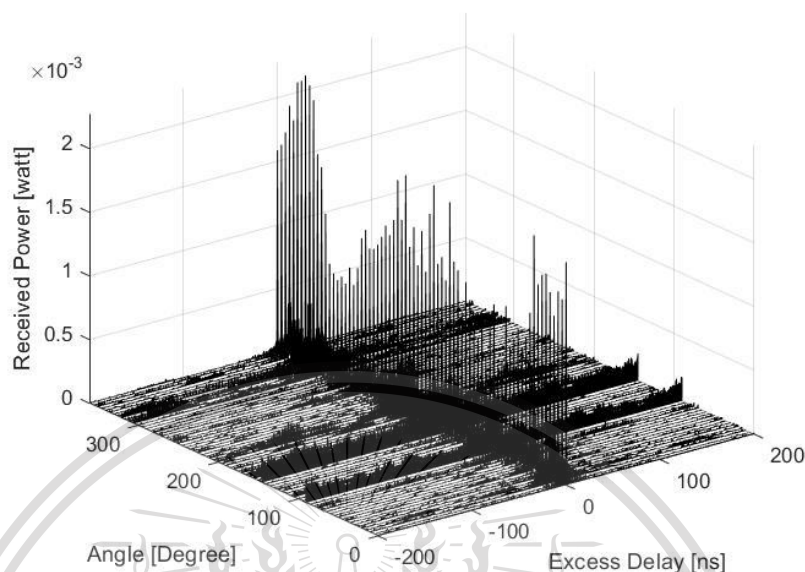
รูปที่ 4.47 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยื่นแบบโคโพ
ราไรซ์



รูปที่ 4.48 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั้งแบบโคโพ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.49 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนแบบโคโพรไรซ์

จากรูปที่ 4.42 ถึง 4.49 แสดงให้เห็นว่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบโคโพรไรซ์มีรูปแบบที่ชัดเจนกว่าแบบครอสโพราไรซ์เพราะโคโพรไรซ์มีการโพราไรซ์ที่ไปในแนวเดียวกันกับสัญญาณ ซึ่งจะเห็นว่าค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าน้อยที่มุม 90° และ 270° เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่าน้อยที่มุม 90° , 180° และ 270° ยกเว้นลักษณะนอนเพราะว่าร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180° ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่ง จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

4.5.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

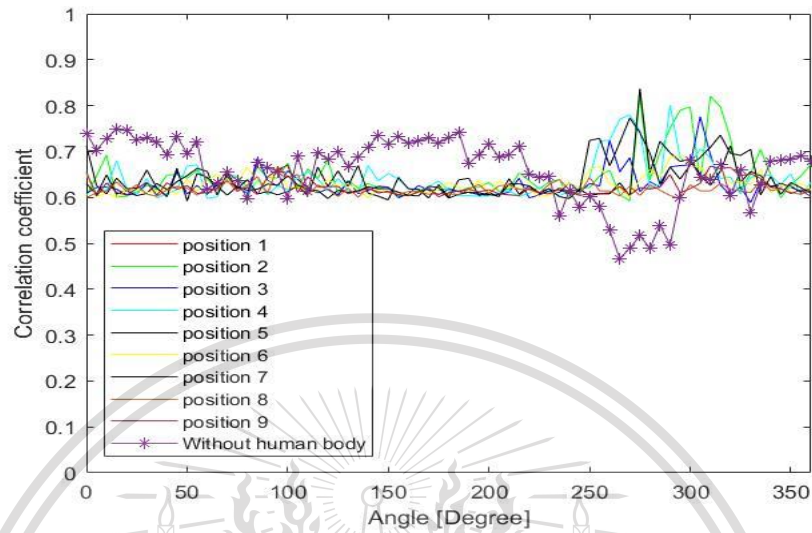
การสื่อสารระบบแถบกว้างยิ่งนั้นรูปร่างของสัญญาณมีความสำคัญ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการวิเคราะห์ถึงค่าความเพี้ยนของสัญญาณที่ได้รับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 กล่าวคือถ้าค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 1 นั้นหมายความว่าสัญญาณที่ได้รับได้เหมือนกับสัญญาณแบบไอโซโทรปิกทุกประการคือไม่เกิดความเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

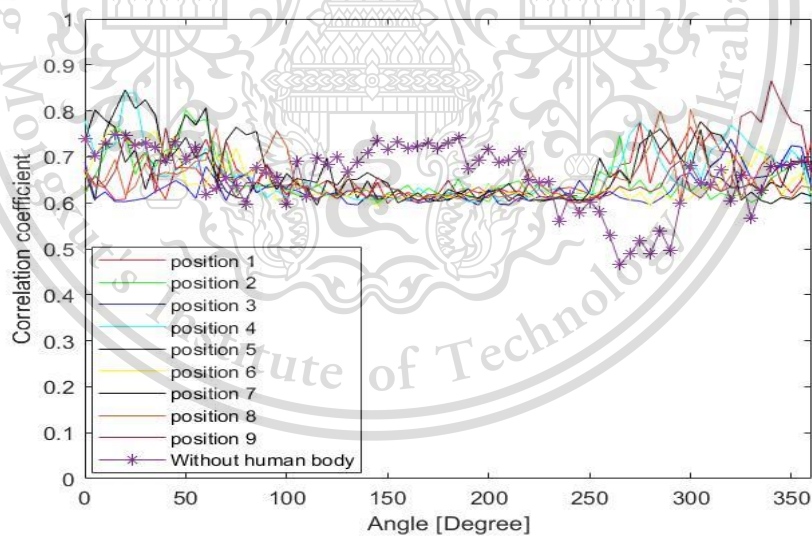
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.4.1 แบบครอสโพราไรซ์



รูปที่ 4.50 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

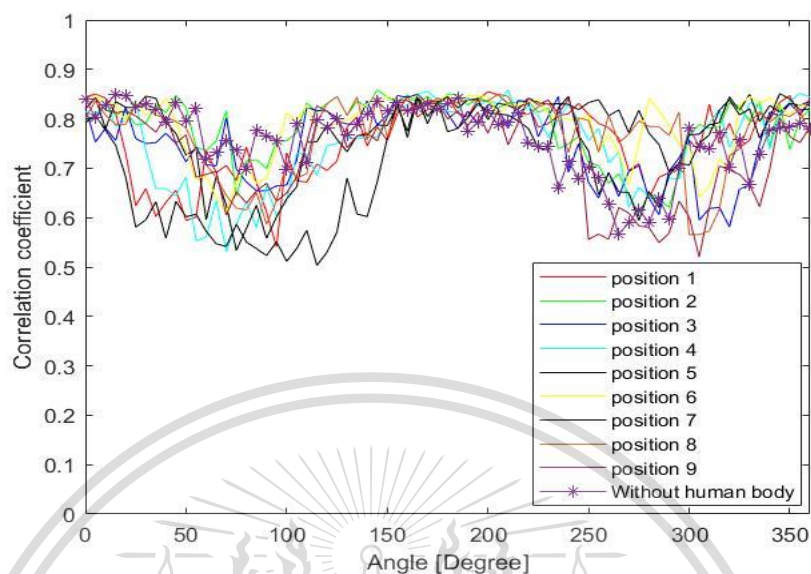


รูปที่ 4.51 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

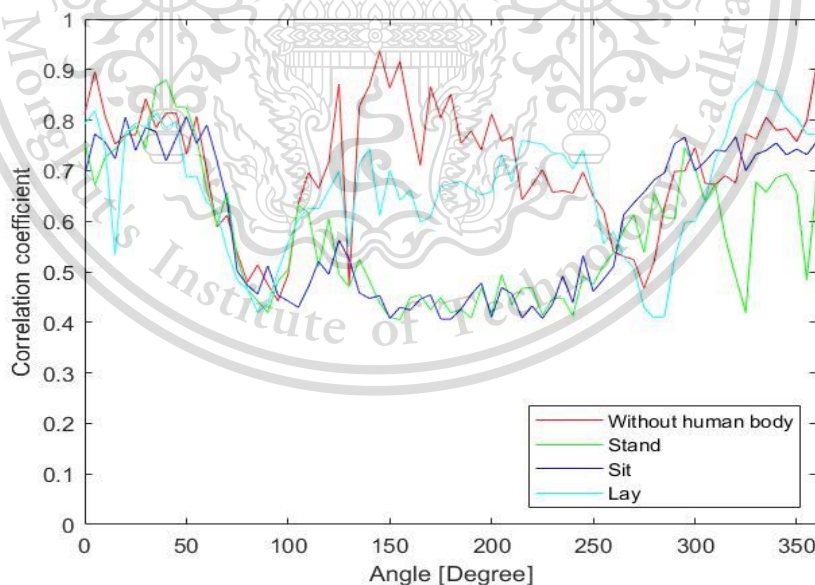
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.52 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะ

นอน

4.5.4.2 แบบโคโพรราไรซ์



รูปที่ 4.53 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโค

โพรราไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

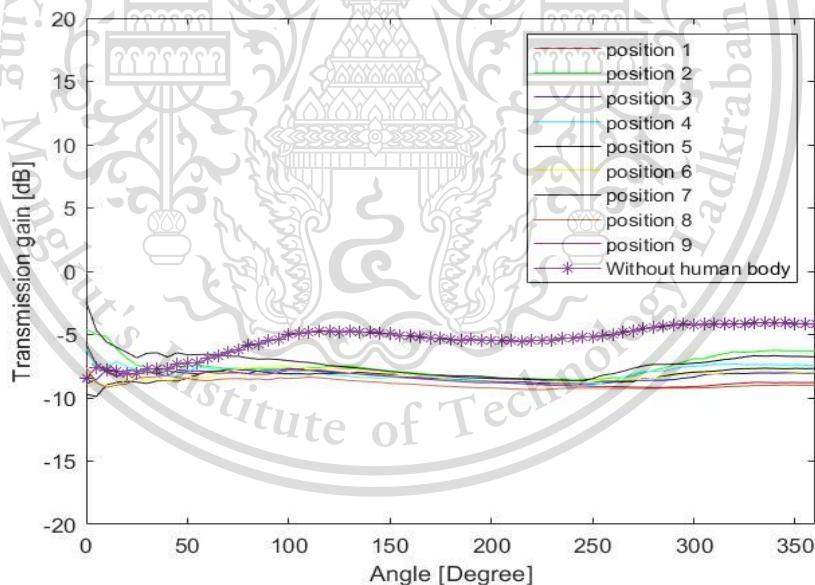
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.50 ถึง 4.53 จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าน้อยที่มุม 90° และ 270° เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่มุม 90° 180° และ 270° ยกเว้นในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่มุม 90° และ 270° เพราะว่าร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180° ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่ง จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณ

4.5.5 อัตราการขยายการส่งผ่าน

อัตราการขยายการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในแต่ละมุมของสายอากาศที่ทำการวัดโดยเปรียบเทียบกับค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบไอโซโทรปิก

4.5.5.1 แบบครอสโพราไรซ์

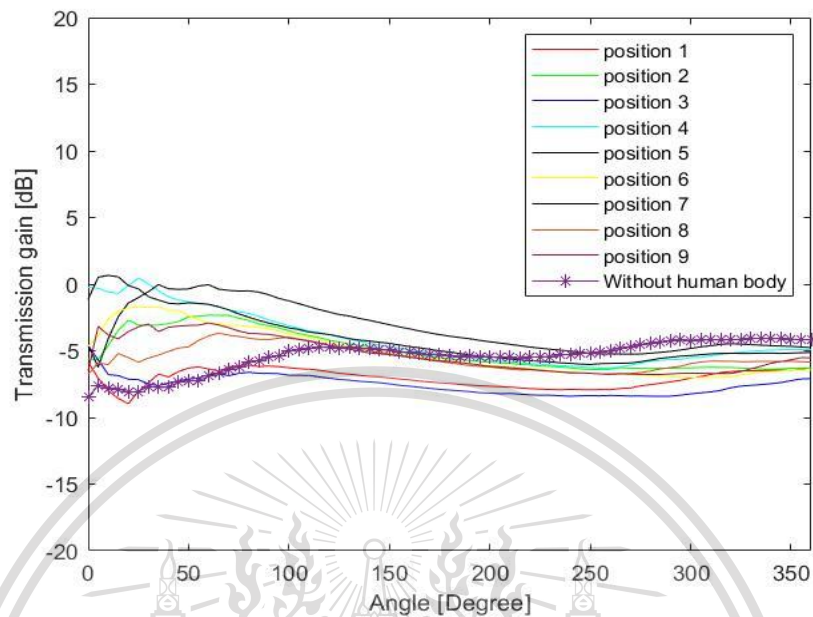


รูปที่ 4.54 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

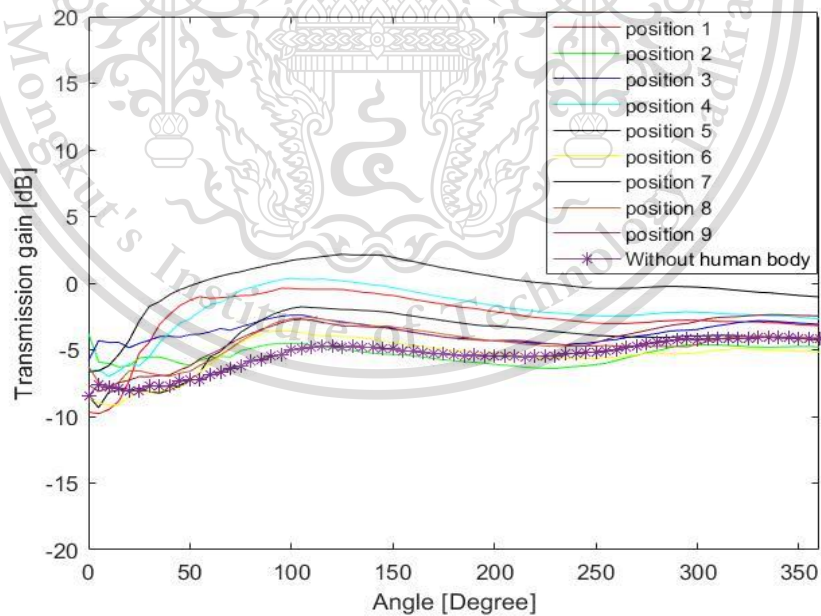
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.55 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์
ลักษณะนั่ง

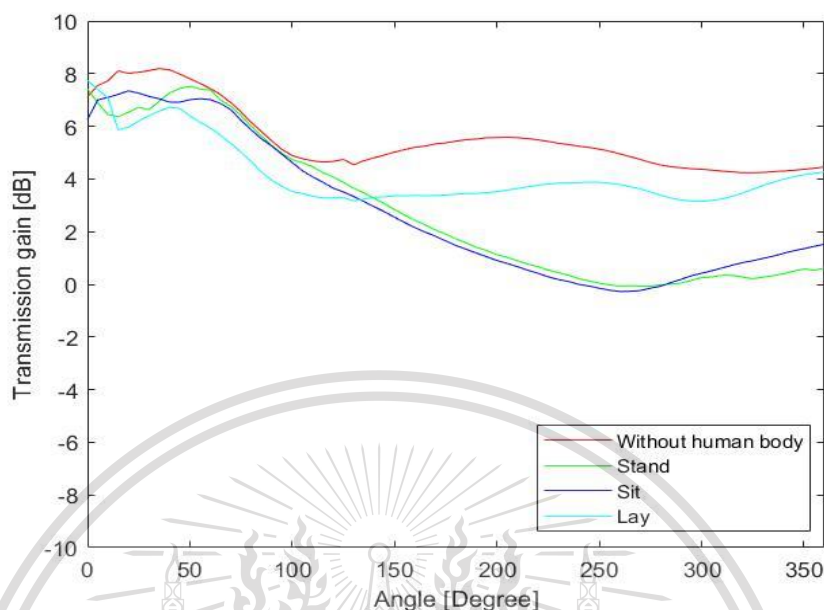


รูปที่ 4.56 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์
ลักษณะนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.57 เปรียบเทียบอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีมีร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพรไรซ์

จากรูปที่ 4.54 ถึง 4.57 แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มีค่าที่มากกว่ากรณีมีร่างกายมนุษย์เพราะร่างกายมนุษย์มีผลต่ออัตราการขยายการส่งผ่านของสายอากาศและจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีมีร่างกายมนุษย์มีค่าน้อยที่มุม 90° และ 270° เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณ และค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่าอัตราการขยายการส่งผ่านน้อยที่มุม 90° ถึง 270° องศา ยกเว้นในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนจะมีค่าอัตราการขยายการส่งผ่านน้อยที่มุม 90° และ 270° เพราะร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180° ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่ง จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณ

4.5.6 อัตราความผิดพลาดบิต

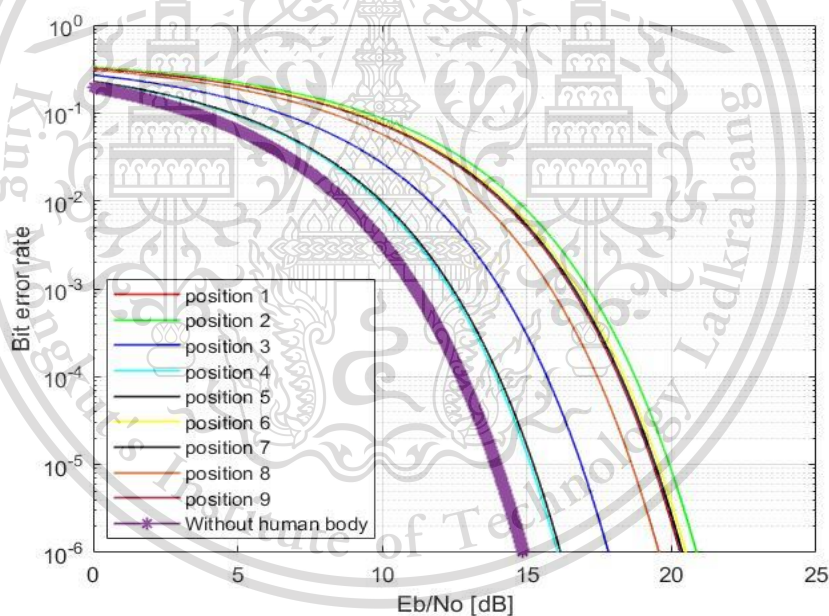
จากรูปที่ 4.58 ถึง 4.61 อัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มีค่าอัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณที่น้อยกว่ากรณีมีร่างกายมนุษย์ทั้ง 3 ลักษณะซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่ออัตราความผิดพลาดบิตมากกว่าโครงสร้างของสายอากาศ และจากรูปที่ 4.58 ถึง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.60 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งในการวางสายอากาศรับมีผลต่ออัตราความผิดพลาดบิต รูปที่ 4.58 เป็นการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งในการวางสายอากาศรับจะมีอัตราความผิดพลาดบิตไม่เท่ากัน โดยที่ตำแหน่งที่ 2 จะมีอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน จากรูป 4.59 เป็นการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งในการวางสายอากาศรับจะมีอัตราความผิดพลาดบิตไม่เท่ากัน โดยที่ตำแหน่งที่ 6 จะมีอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง จากรูป 4.60 เป็นการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งในการวางสายอากาศรับจะมีอัตราความผิดพลาดบิตไม่เท่ากัน โดยที่ตำแหน่งที่ 5 จะมีอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

4.5.6.1 แบบครอสโพลลาไลซ์

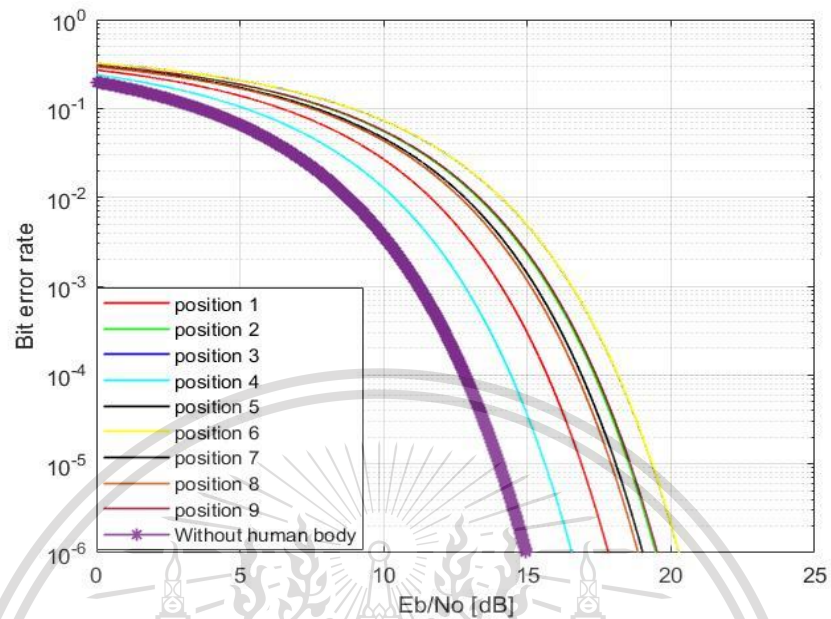


รูปที่ 4.58 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน

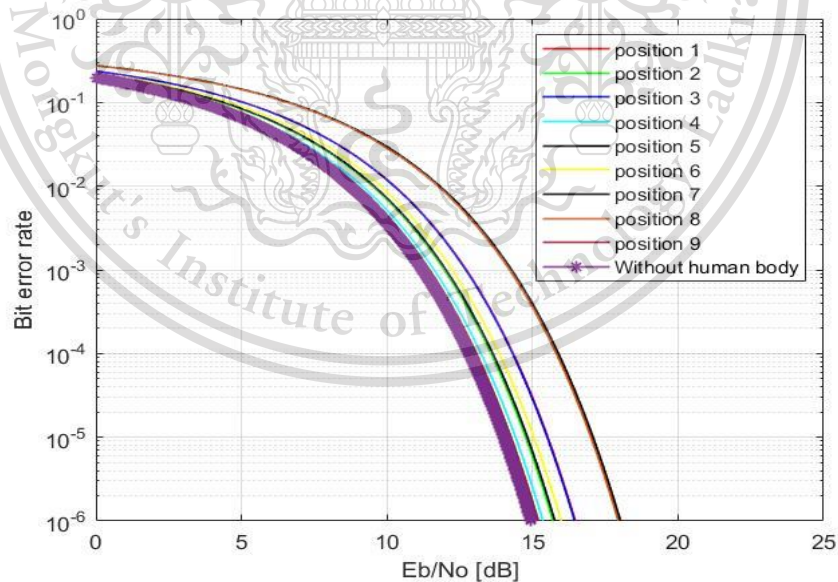
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.59 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะ



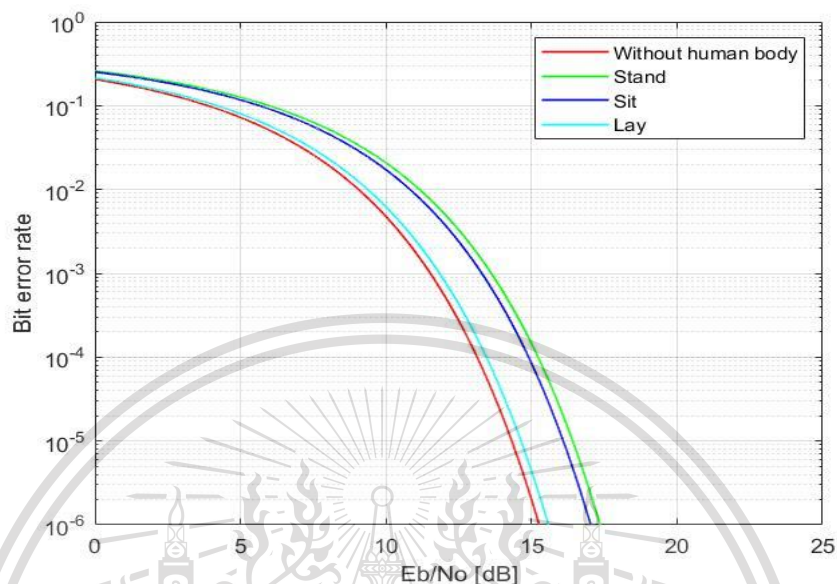
รูปที่ 4.60 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.6.2 แบบโคโพลาลายซ์



รูปที่ 4.61 เปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีมีร่างกายมนุษย์และไม่มีกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แบบโคโพลาลายซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้สร้างสายอากาศแถบกว้างเพื่อประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.6 ซึ่งระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับ ความไว้วางใจในเรื่องของกำลังส่งต่ำ จึงได้มีการประยุกต์ใช้ในการแพทย์โดยการสร้างสายอากาศในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ใช้บนร่างกายมนุษย์จึงจำเป็นต้องมีน้ำหนักเบา มีขนาดที่เหมาะสมกับร่างกายและส่งผลกระทบบต่อร่างกายให้น้อยที่สุดปริญญานิพนธ์นี้จึงเลือกสร้างสายอากาศกรวยคู่ให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิรตซ์ แบนด์วิดท์มีขนาด 8 กิกะเฮิรตซ์ และสามารถนำสายอากาศที่สร้างไปใช้งานจริงโดยการนำสายอากาศที่สร้างมาใช้ในการทดสอบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จากการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่โดยอาศัยทดลองคุณสมบัติของสายอากาศขั้นพื้นฐานและการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศกรวยคู่

เนื่องจากสายอากาศกรวยคู่ที่ได้ทำการสร้างตามการจำลองการออกแบบจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มีอัตราขยายของสายอากาศที่มากเกินไปทางปริญญานิพนธ์จึงได้มีแก้ไขปรับปรุงโดยปรับขนาดของสายอากาศกรวยคู่ให้มีความยาวมากขึ้นเล็กน้อย ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณดีขึ้นสามารถสรุปผลการทดสอบ ดังนี้

การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ พบว่าคุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ยอมรับได้ จากแบบจำลองจะอยู่ในช่วงความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิรตซ์ โดยค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

การทดสอบอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบกับผลจากการจำลอง พบว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ยอมรับได้จะอยู่ในช่วงความถี่ที่มากกว่า 3.0 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบจึงมีความแม่นยำได้ตลอดย่านความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์โดยค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดสอบอัตรายายเมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดสอบกับผลจากการจำลองพบว่า ผลการทดสอบสายอากาศกรวยคู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์กับผลการทดสอบจากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่ความถี่ 3 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิร์ตซ์ มีอัตรายายต่ำสุดเท่ากับ 1.71 ดีบีโอ ที่ความถี่ 3 เมกะเฮิร์ตซ์ และอัตรายายสูงสุดเท่ากับ 4.63 ดีบีโอที่ความถี่ 11 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยค่าที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

การทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 3 ความถี่ประกอบไปด้วย 3 กิกะเฮิร์ตซ์ความถี่ 7 กิกะเฮิร์ตซ์และ 11 กิกะเฮิร์ตซ์ พบว่า ผลการทดสอบประสิทธิภาพมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

ผลการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศกรวยคู่ที่สร้างขึ้นมีความใกล้เคียงกันกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

5.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์

ได้นำสายอากาศที่สร้างมาใช้งานจริงโดยนำไปทดสอบวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ได้ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน $|S_{21}|$ ซึ่งนำผลการทดสอบดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดในลักษณะต่าง ๆ และได้นำผลต่าง ๆ ในตำแหน่งที่ 1 ถึง 9 บนร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มาเปรียบเทียบกันจะได้ผลดังนี้

ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่น้อยกว่ากรณีมีร่างกายมนุษย์ทั้ง 3 ลักษณะซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อการสูญเสียเชิงวิถี และจากผลการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุดที่มุม 90 องศา และ 270 องศา เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ และค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่ามากที่สุดที่มุม 90 องศา และ 270 องศา ยกเว้นลักษณะนอน เพราะว่าร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180 องศาไม่ได้บังการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่ง จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบโคโพร่าไรซ์มีรูปแบบที่ชัดเจนกว่าแบบครอสโพร่าไรซ์เพราะโคโพร่าไรซ์มีการโพร่าไรซ์ที่ไปในแนวเดียวกันกับสัญญาณ ซึ่งจะเห็นว่าค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าน้อยที่มุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนกฎหมาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

90 องศา และ 270 องศา เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่าน้อยที่มุม 90 180 และ 270 องศา ยกเว้นลักษณะนอนเพราะว่าร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180 ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืน และนั่น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าน้อยที่มุม 90 องศา และ 270 องศา เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่มุม 90 180 และ 270 องศา ยกเว้นในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยที่มุม 90 และ 270 องศา เพราะร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180 ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณ

ค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มีค่าที่มากกว่ากรณีมีร่างกายมนุษย์เพราะร่างกายมนุษย์มีผลต่ออัตราการขยายการส่งผ่านของสายอากาศ และจากผลการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการขยายการส่งผ่านกรณีมีร่างกายมนุษย์มีค่าน้อยที่มุม 90 องศา และ 270 องศา เนื่องจากโครงสร้างสายอากาศมีผลต่อค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณ และค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณในกรณีมีร่างกายมนุษย์จะมีค่าอัตราการขยายการส่งผ่านน้อยที่มุม 90 ถึง 270 องศา ยกเว้นในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนจะมีค่าอัตราการขยายการส่งผ่านน้อยที่มุม 90 และ 270 องศา เพราะร่างกายของมนุษย์ในลักษณะนอนที่มุม 180 ไม่ได้บดบังการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมากเท่ากรณีลักษณะยืนและนั่น จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณ

อัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มีค่าอัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณที่น้อยกว่ากรณีมีร่างกายมนุษย์ทั้ง 3 ลักษณะซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่ออัตราความผิดพลาดบิตมากกว่าโครงสร้างของสายอากาศ และจะเห็นได้อีกว่าตำแหน่งในการวางสายอากาศรับมีผลต่ออัตราความผิดพลาดบิต จะเห็นได้จากรูปการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งในการวางสายอากาศรับจะมีอัตราความผิดพลาดบิตไม่เท่ากัน โดยที่ตำแหน่งที่ 2 จะมีอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุด

ในกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืน ในรูปการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ห้ามมิให้นำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งในการวางสายอากาศรับจะมีอัตราความผิดพลาดบิตไม่เท่ากัน โดยที่ตำแหน่งที่ 6 จะมีอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดในการมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่ง และรูปการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งในการวางสายอากาศรับจะมีอัตราความผิดพลาดบิตไม่เท่ากัน โดยที่ตำแหน่งที่ 5 จะมีอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดในการมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอน

การทดสอบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์มีประโยชน์ต่อการนำไปประเมินผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์นั้นมีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งทำให้สามารถออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพระบบสื่อสารให้มีความเหมาะสมและเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการสรุปผลการทดสอบข้างต้น พบว่า ยังมีข้อผิดพลาดเนื่องจากผู้ทดสอบขาดประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือและการวัดผลการทดสอบ อุปกรณ์ต่าง ๆ อาจทำให้สัญญาณที่ส่งมาสะท้อนไปหักล้างกันทำให้เกิดการสูญหายของสัญญาณ เนื่องจากสายอากาศรบกวนมีการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางซึ่งมีข้อดีคือสามารถรับสัญญาณได้ทุกทิศทาง แต่ข้อเสียของการแผ่กระจายคลื่นชนิดนี้คือมีอัตราการขยายที่ต่ำสาเหตุเป็นเพราะขนาดของสายอากาศรบกวนมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Mehmet, R. Yuce, and Jamil, Y. Khan. *Wireless Body Area Networks Technology, Implementation, and Applications*. FL. : Taylor & Francis Group, LLC, 2012.
- [2] P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, and B. Uguen. *Ultra WideBand Radio Propagation Channels*. John Wiley & Sons, 2008.
- [3] C. Heidari. *WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth*. John Wiley & Sons, 2008.
- [4] Federal Communications Commission. "FCC Part 15–Radio Frequency Devices." *Code of Federal Regulation 47*. (2009).
- [5] K. Siwiak. "Ultra-wideband radio: A new pan and positioning technology." *IEEE Vehicular Technology Society News*. (February 2002) : 4–9.
- [6] R. Cicchetti, E. Miozzi, and O. Testa. "Wideband and UWB Antennas for Wireless Applications: A Comprehensive Review." *Journal of Antennas and Propagation, Department of Information Engineering, Electronics and Telecommunications, University of Rome "La Sapienza"*, 2017.
- [7] M. H. Ali, and F. Haque. "Wireless Body Area Network: An Overview and Various Applications." *Journal of Computer and Communications, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Daffodil International University*, 2017.
- [8] H. G. Schantz. "Dispersion and UWB antennas." *Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst./Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (joint UWBST & IWUWBS 2004)*, Kyoto, Japan, May 2004.
- [9] G. Fang, E. Dutkiewicz, M. A. Hud, and R. Vesilo. "Medical Body Area Networks: Opportunities, Challenges and Practices." *The 11th International Symposium on Communications & Information Technologies*. (2011) : 562-567
- [11] K. S. Kwak, S. Ullah, and N. Ullah. "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard.",

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2010 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] M. Asam, T. Jamal, and A. Ajaz. “Challenges in Wireless Body Area Network.” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Department of Software Engineering, The University of Lahore, 2019.
- [13] K. Siwiak, P. Withington, and S. Phelan. “Ultra-wideband radio: The emergency of an important new technology.” *IEEE Vehicular Technology Conference*. (2001) : 1169–1172.
- [14] ISO/IEC/IEEE International Standard - Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- Local and metropolitan area networks -- Specific requirements -- Part 15-6: Wireless body area network in ISO/IEC/IEEE 8802-15-6:2017(E). Vol.5. Piscataway, New Jersey. : IEEE, 2018.
- [15] S. E. Pradha, and K. Selvaradjou. *Performance Evaluation of Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Body Area Network*. India : Proceeding of International Conference on Systems Computation Automotion and Networking, 2019.
- [16] F. Nekoogar. *Ultra-Wideband Communication: Fundamentals and Application*. NJ. : Prentice Hall, 2010.
- [17] Z. Thomas, W. Werner, T. Jens, and A. Grzegorz. *Ultra-wideband RF System Engineering*. UK. : Cambridge University Press, 2013.
- [18] Federal Communications Commission. “Revision of Part 15 the Commission’s Rules Regarding Ultra-wideband Transmis-sion Systems.” *ET Docket*. (2002).
- [19] L. Oppermann, H. Matti, and J. Linatti. *UWB Theory and Applications*. NJ. : John Wiley & Sons Inc., 2004
- [20] K. M. S. Thotahewa, J. M. Redouté, and M. R. Yuce. *Ultra Wideband Wireless Body Area Networks*. Switzerland. : Springer International Publishing, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] J. H. Reed et. al. *An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems*. NJ. : Prentice Hall, 2005.
- [22] S. Promwong and J. Takada. “Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas.” *IEICE Electronics Express*. (2004) : 188-192.
- [23] S. Hongson et. al. “On the spectral and power requirements for UWB transmission.” *ICC 2003*. (2003) : 738–742.
- [24] ETSI. “Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Applications.” *Standardisation Mandate: DG ENTR/G/3M/329*. (2003).
- [25] United States of America. “Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments.” *ITU-R Document 3K/30-E*. (2003) : 1-14.
- [26] C. A. Balanis. *Antenna Theory Analysis and Design*. NJ. : John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [27] D. G. Fang. *Antenna theory and Microstrip Antennas*. FL. : Taylor & Francis Group, 2010.
- [28] G. M. Galvan, M. A. Peyrot, and H. Jardon. *Ultra Wideband Antennas Design, Methodologies, And Performance*. NY. : Taylor & Francis Group, 2016.
- [29] S. R. SAUNDERS. *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*. NJ. : John Wiley & Sons Inc., 2007.
- [30] Warren, L. Stutzman, A. Gary. *Antenna Theory and Design. 2nd ed*. NJ. : John Wiley and Sons, 1997.
- [31] Joshua, S. LaPlant. *Design of Broadband Discone Antenna*. University of North Carolina, 2017.
- [32] K. Rapin, S. Nipapon, M. Komsak, and K. Sompol. *Design of a Compact Biconical Antenna for UWB Applications*. : International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 2011.
- [33] Micro Coax. “semi rigid.” <https://www.rf-microwave.com/en/micro-coax/ut-047c/semi-rigid-non-magnetic-coaxial-cable/ut047-cu>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [34] RFCT. “rg 142 datasheet.” <http://www.rf-ct.com/support/rf-cables/RG142-cable-why>.
- [35] Wikipedia. “sma connector wiki.” https://en.wikipedia.org/wiki/SMA_connector.
- [36] John, A. Richards. *Radio wave propagation an introduction for the non-specialist*. : Springer Science & Business Media, 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

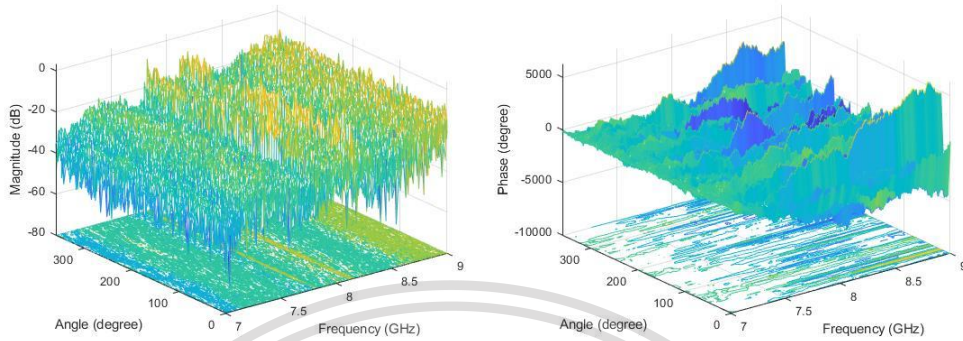


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

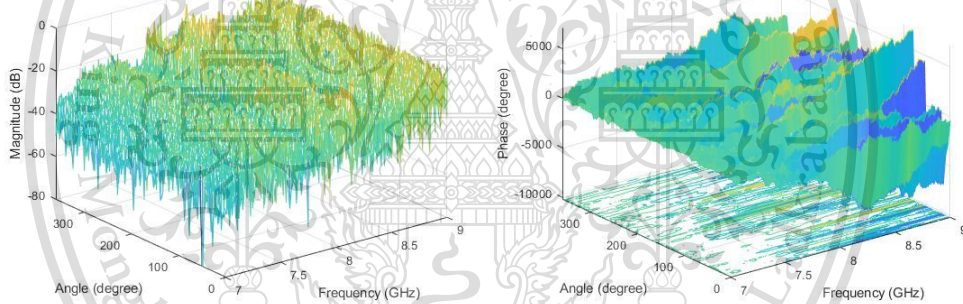
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

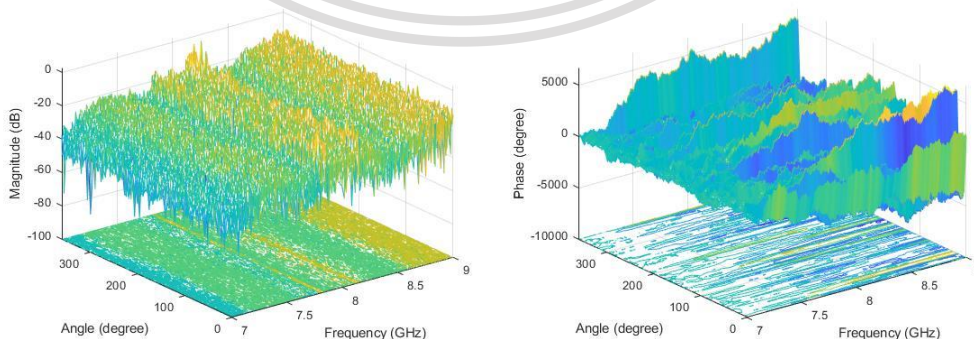
ขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของสัญญาณ



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 1



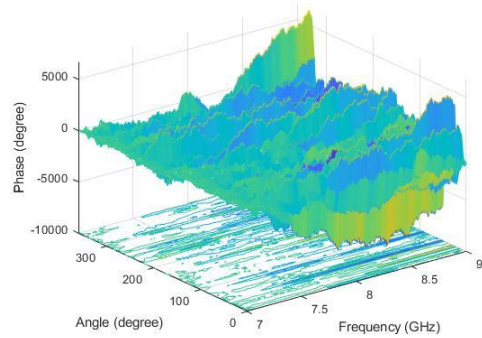
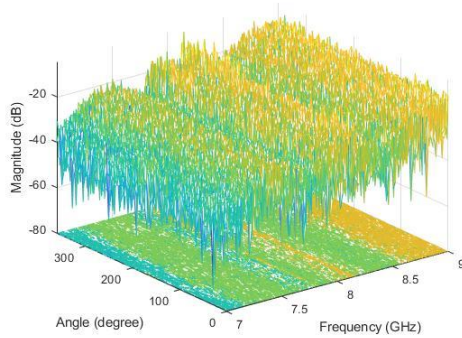
ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 2



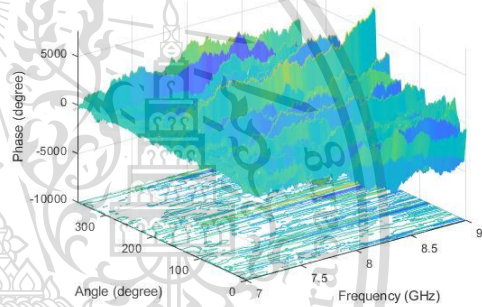
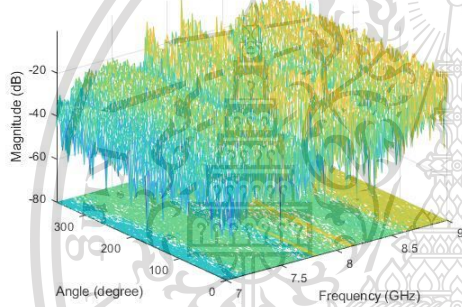
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

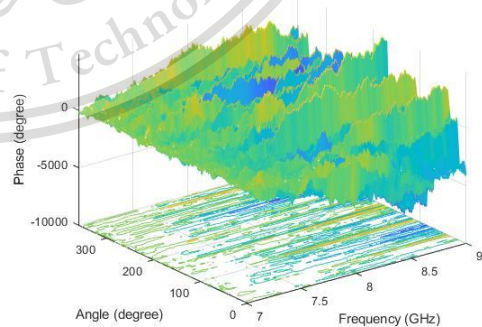
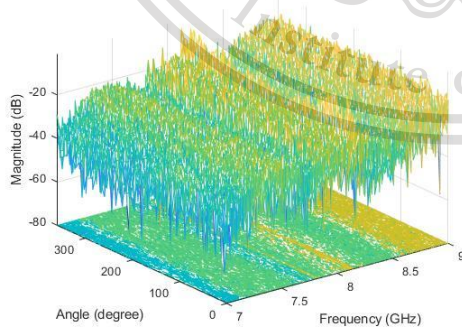
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 4



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 6

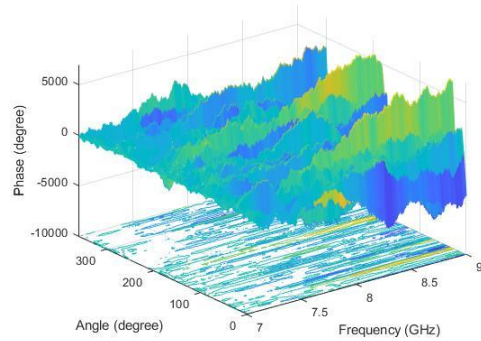
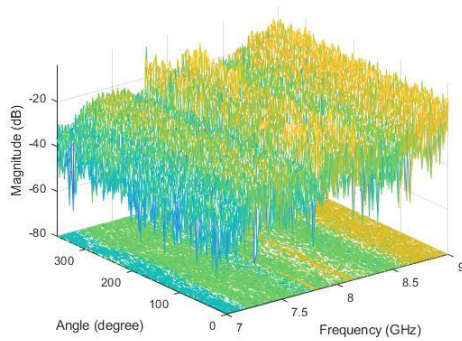


ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 7

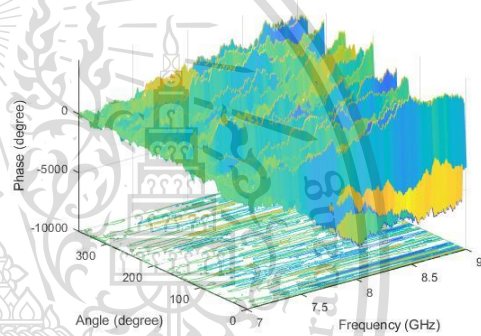
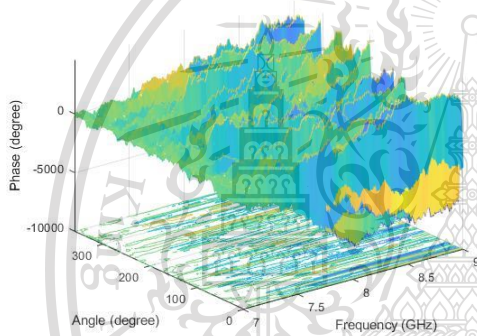
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

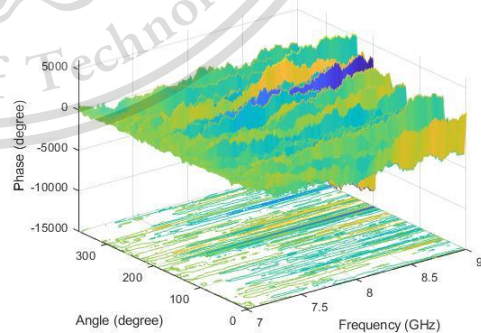
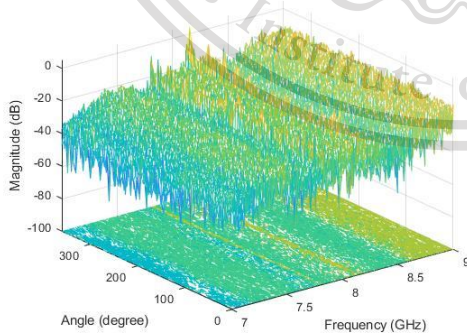
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 8



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณียืนตำแหน่งที่ 9

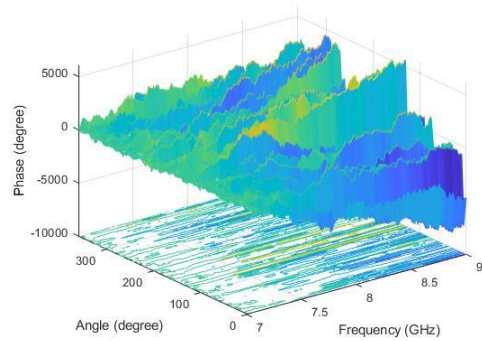
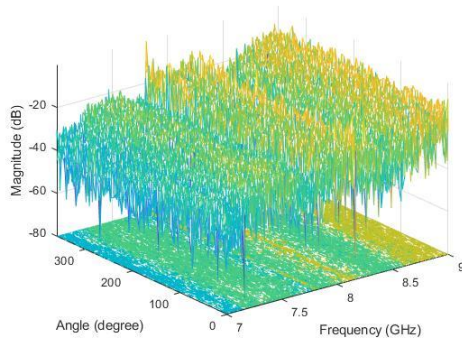


ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 1

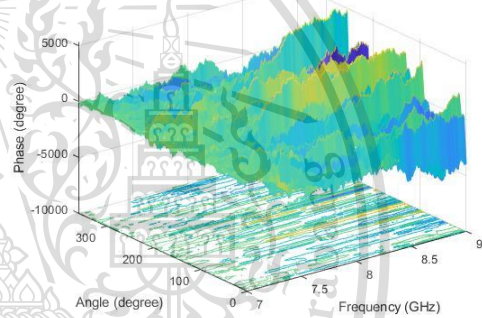
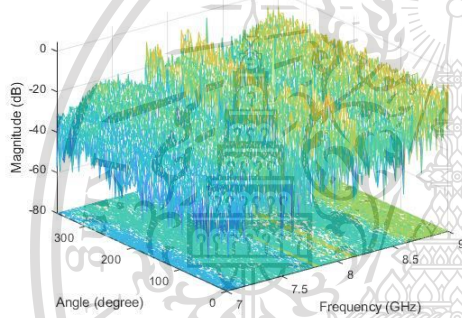
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

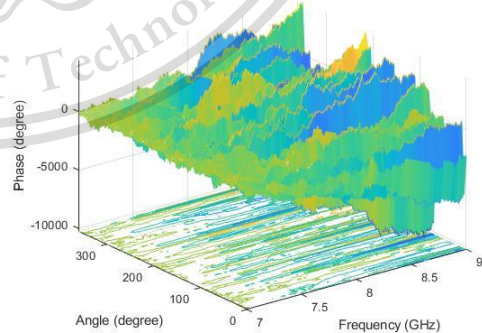
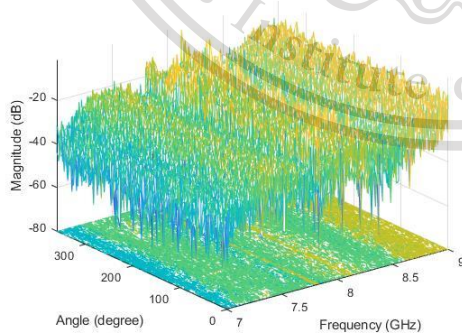
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 2



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 3

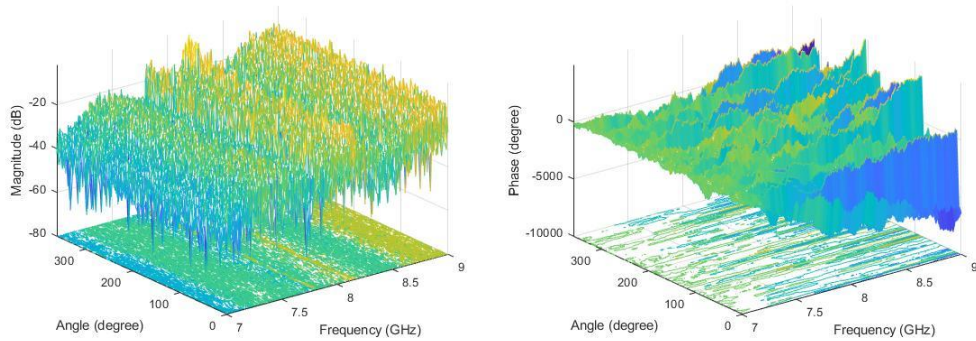


ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 4

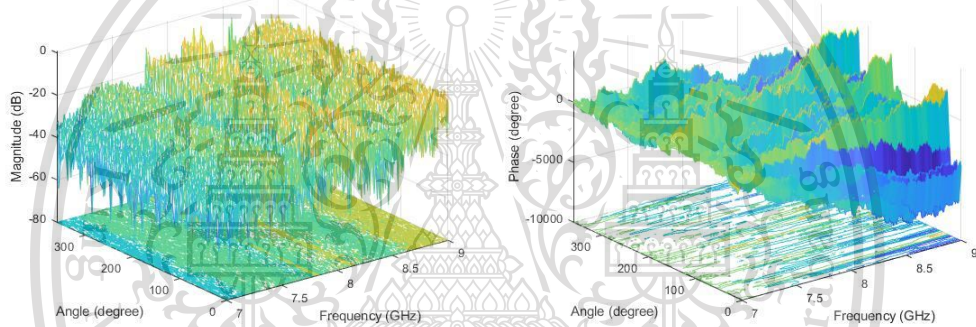
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

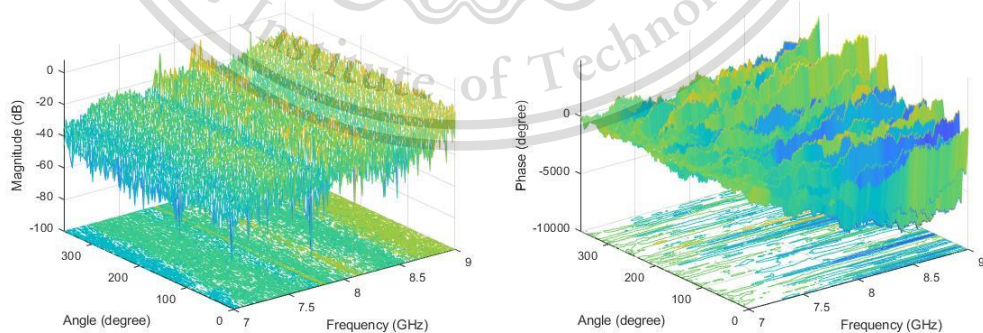
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 6



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 7

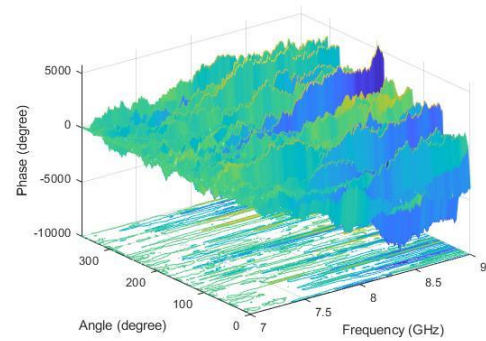
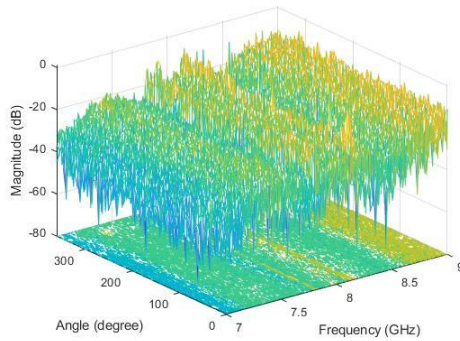


ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 8

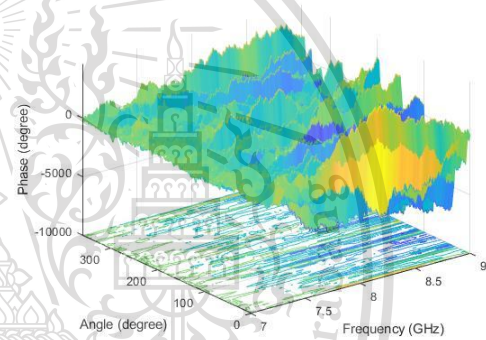
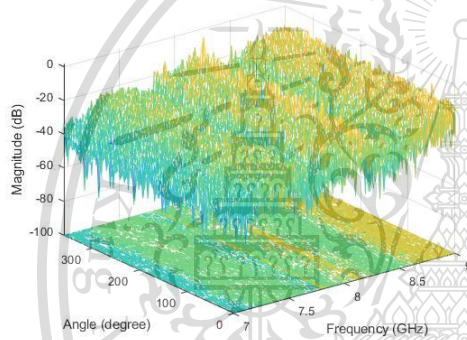
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

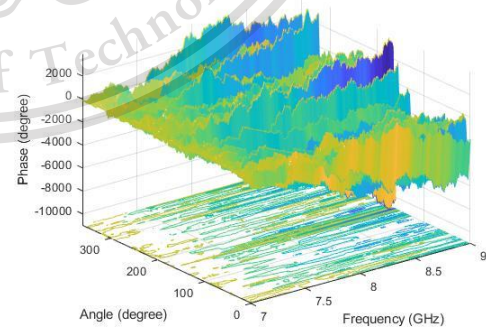
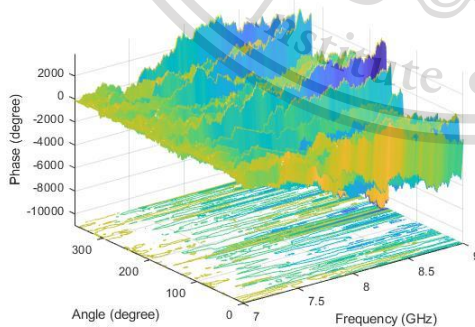
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนั่งตำแหน่งที่ 9



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 1

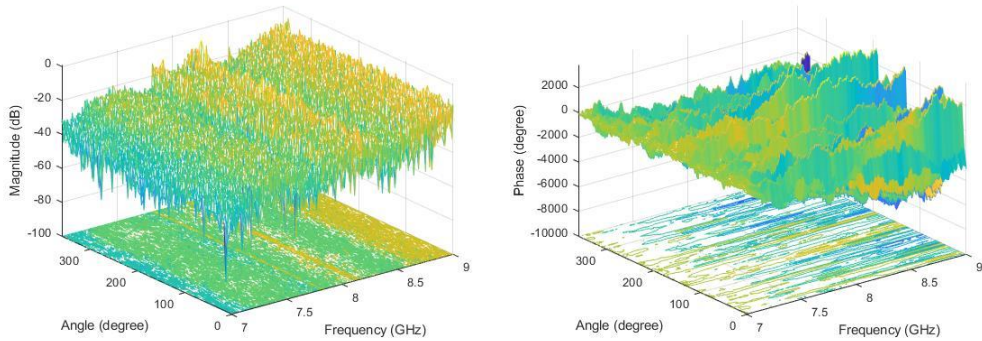


ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 2

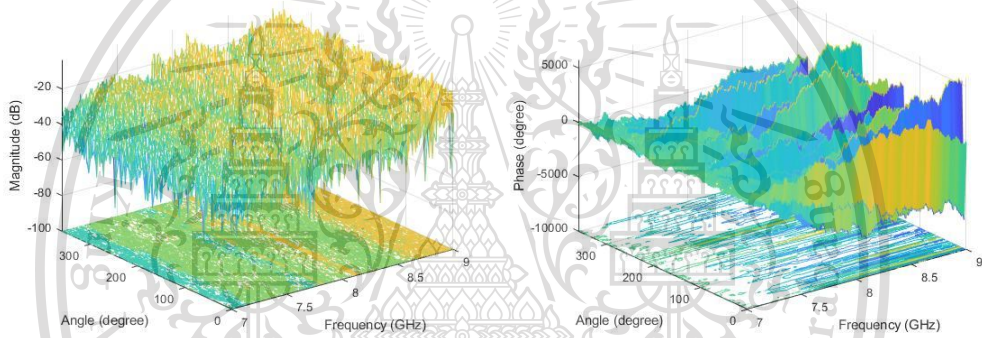
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

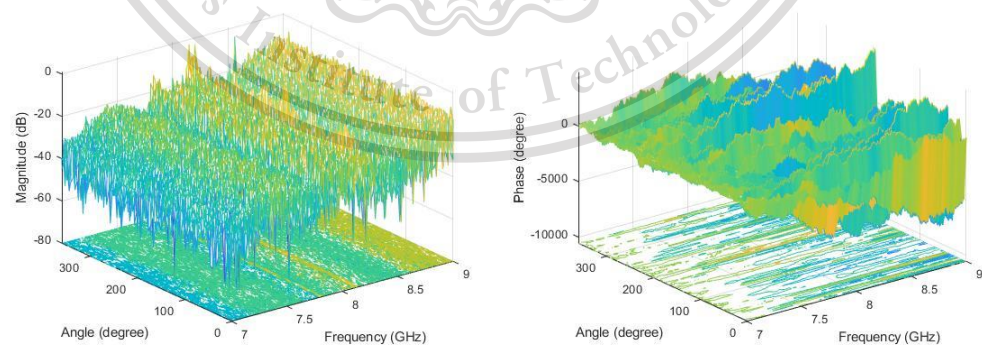
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 3



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 4

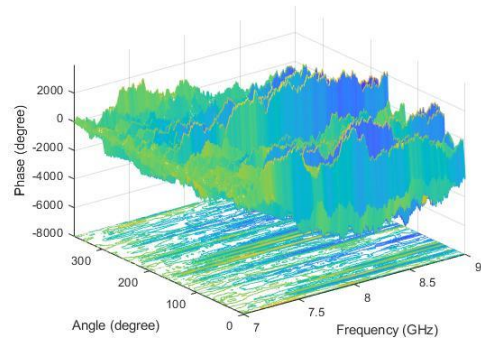
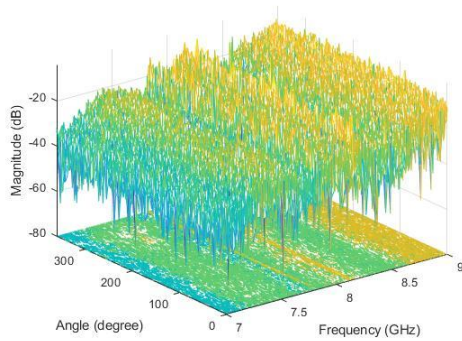


ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 6

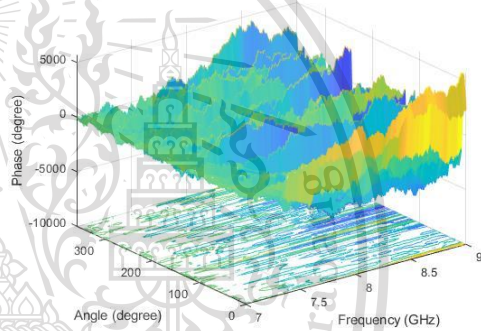
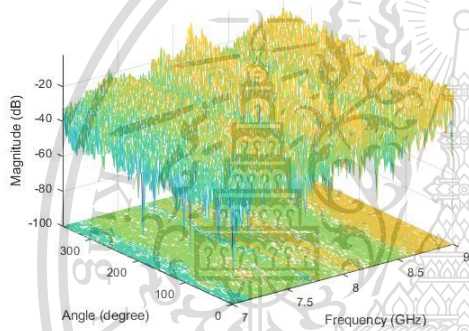
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

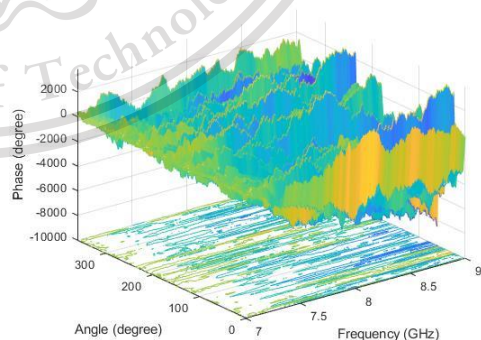
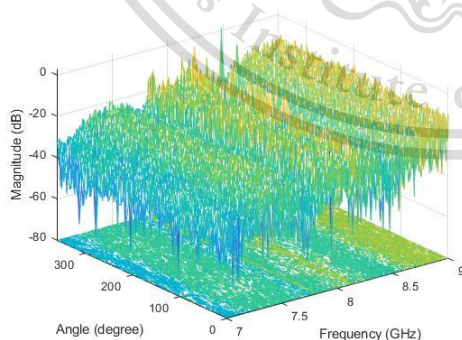
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 7



ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 8



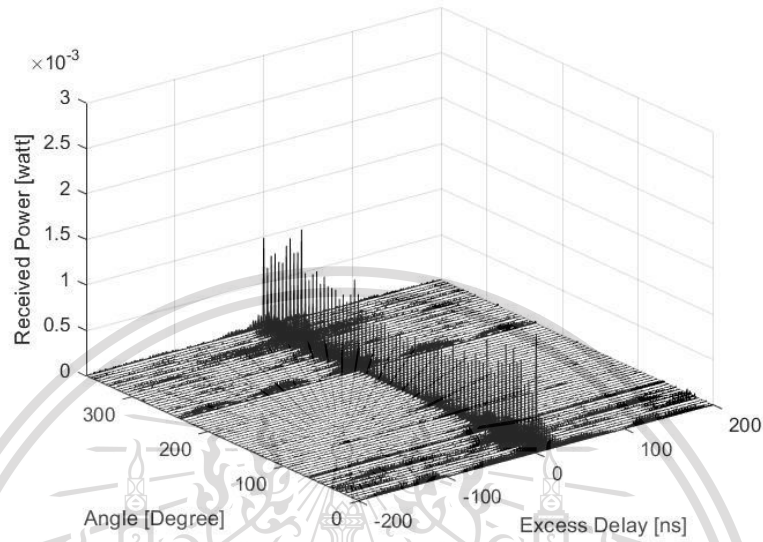
ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีนอนตำแหน่งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

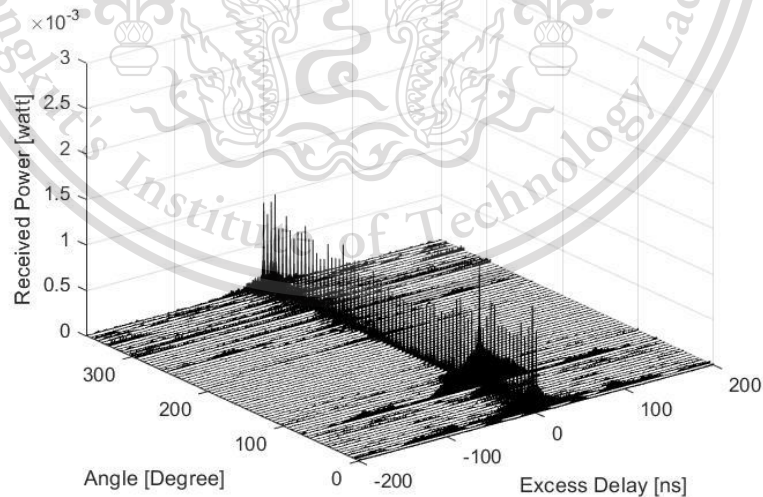
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 1

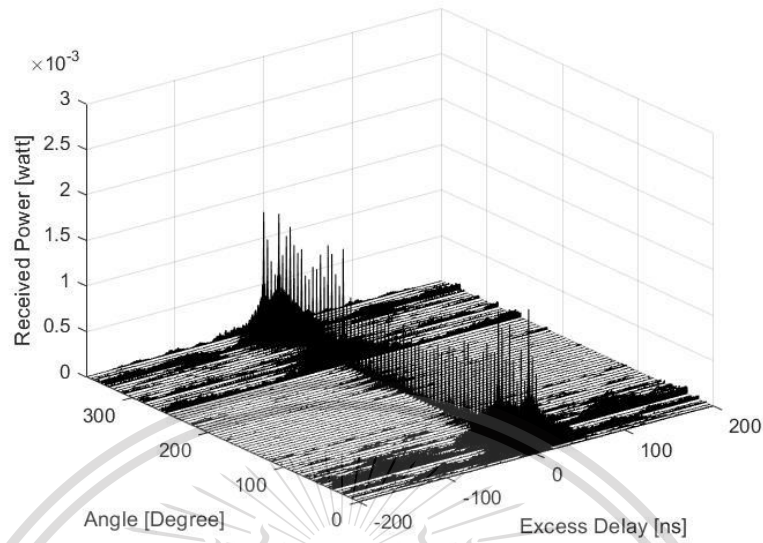


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 2

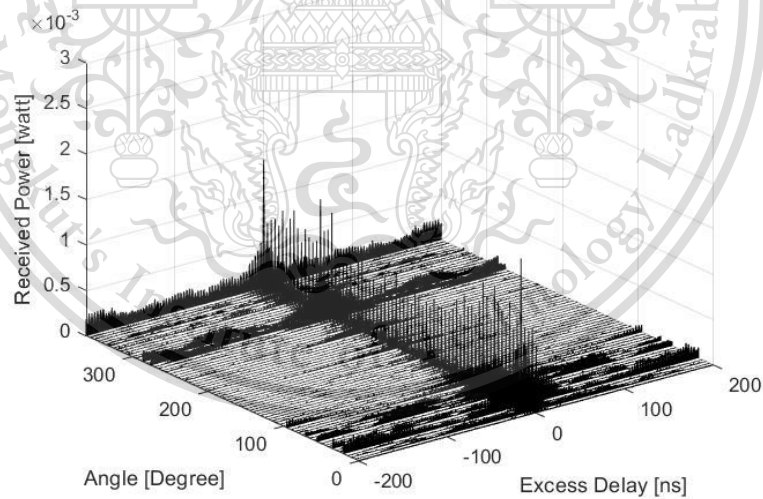
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 3

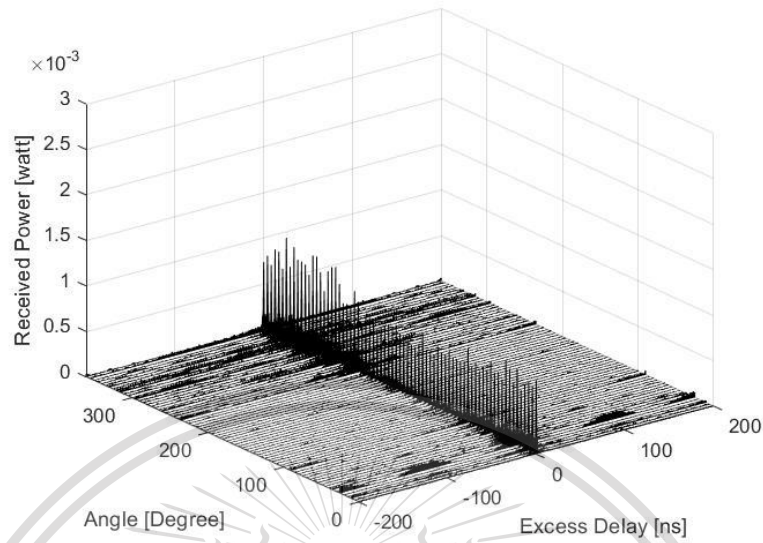


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 4

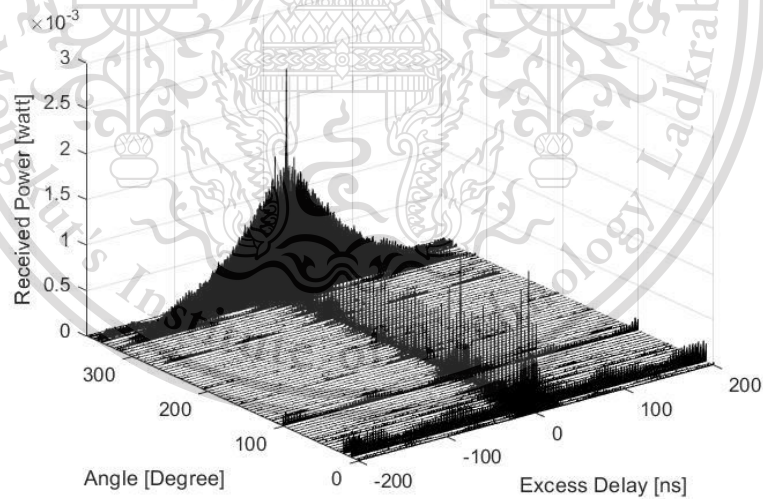
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 6

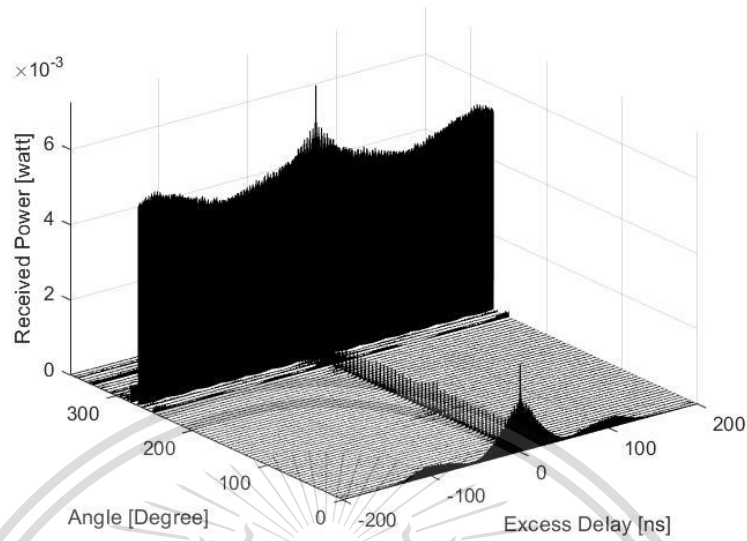


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 7

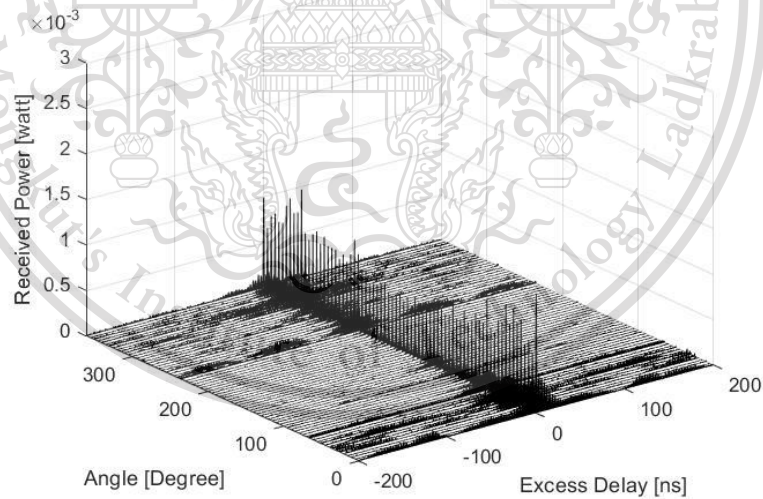
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 8

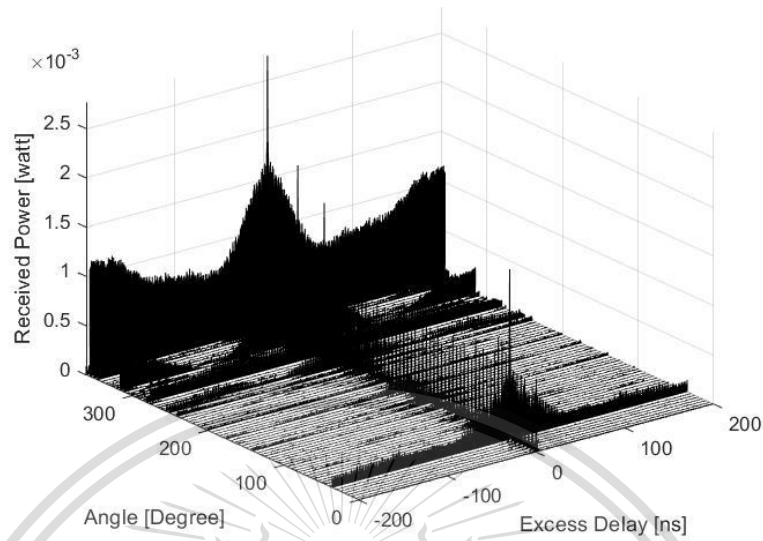


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะยืนตำแหน่งที่ 9

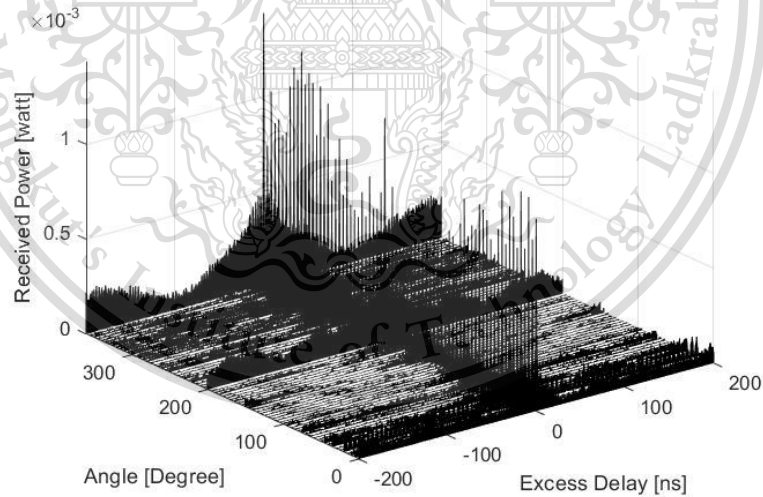
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 1

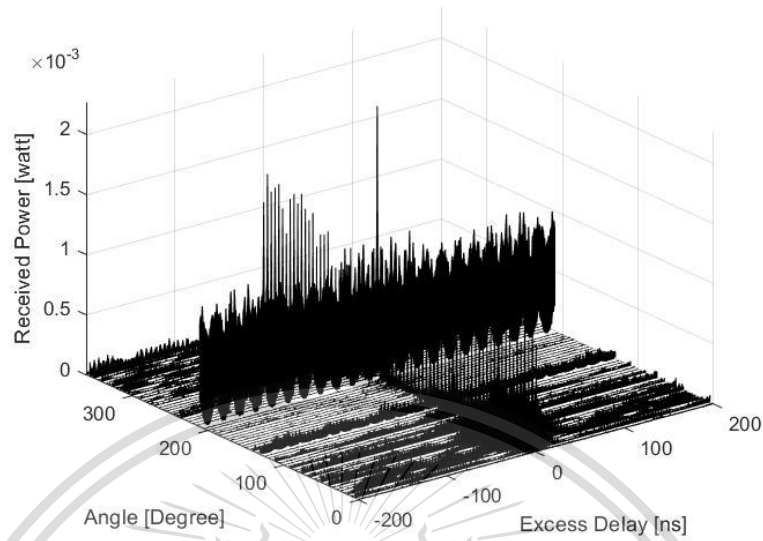


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 2

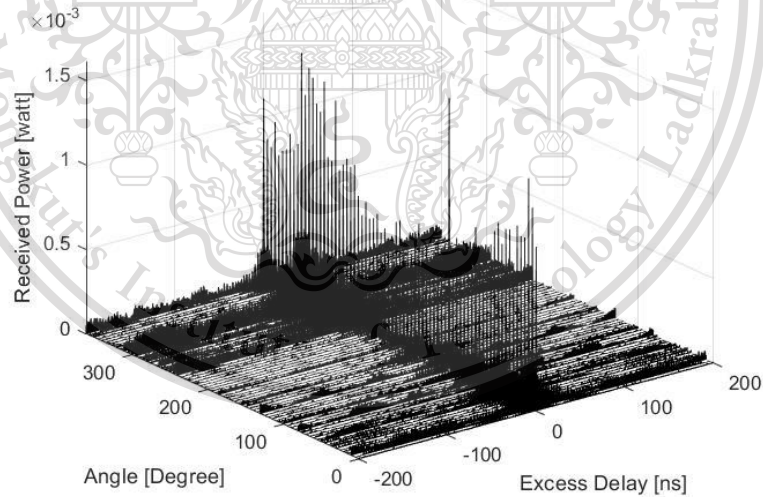
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 3

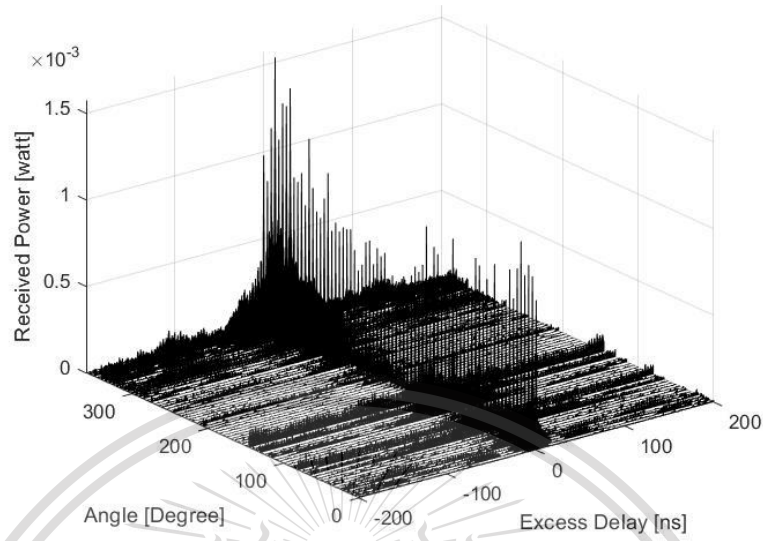


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 4

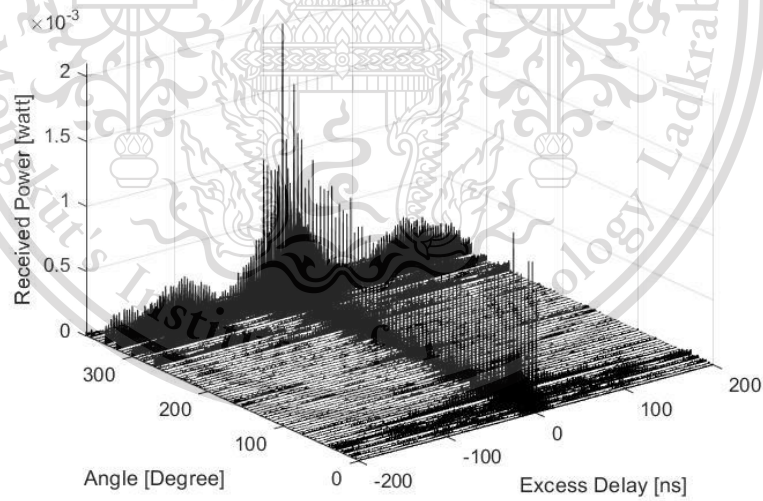
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 6

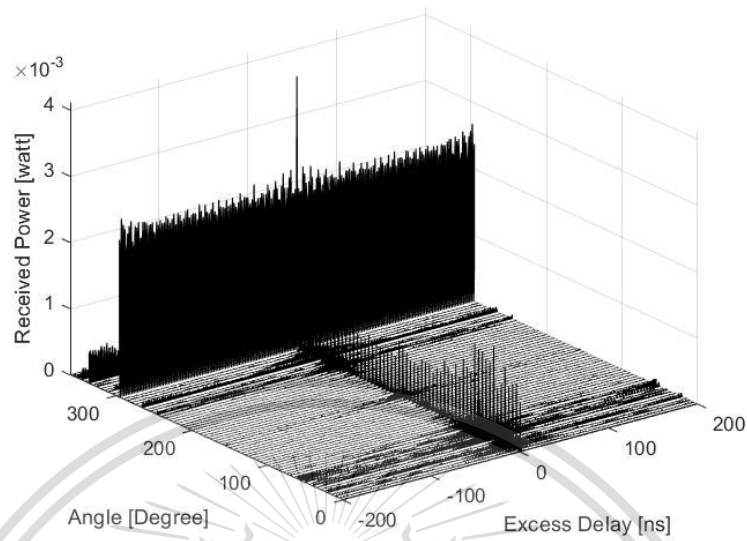


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 7

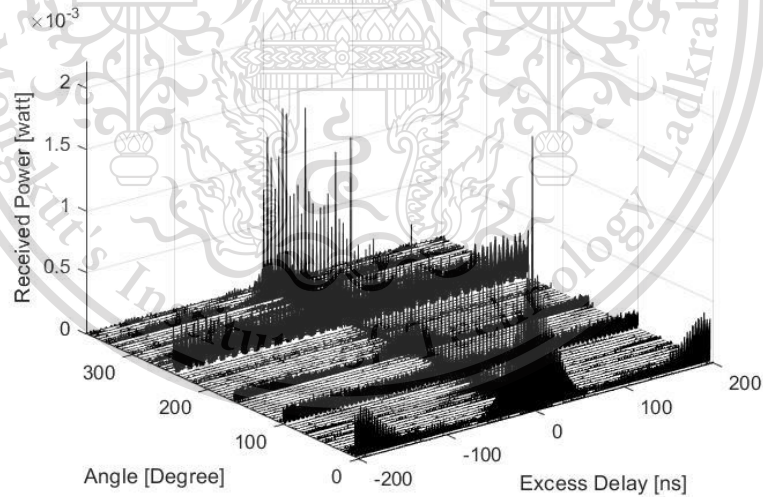
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 8

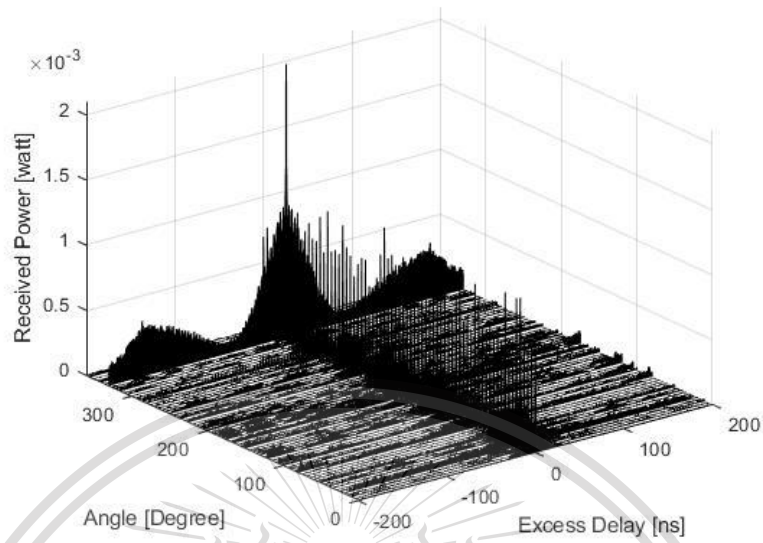


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนั่งตำแหน่งที่ 9

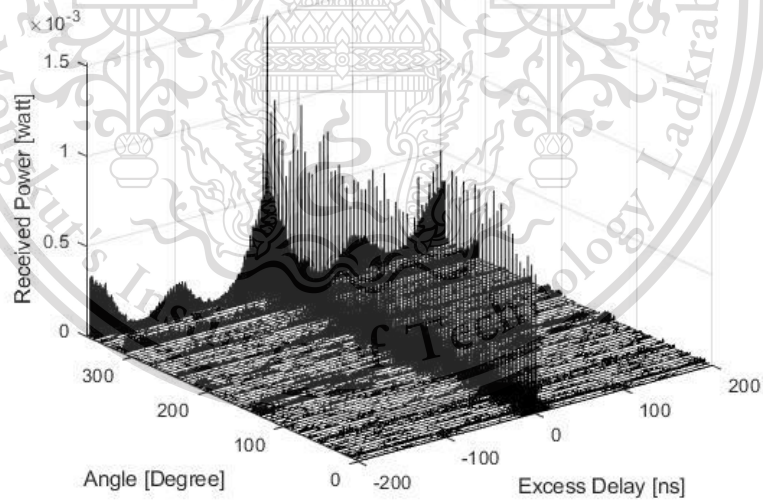
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 1

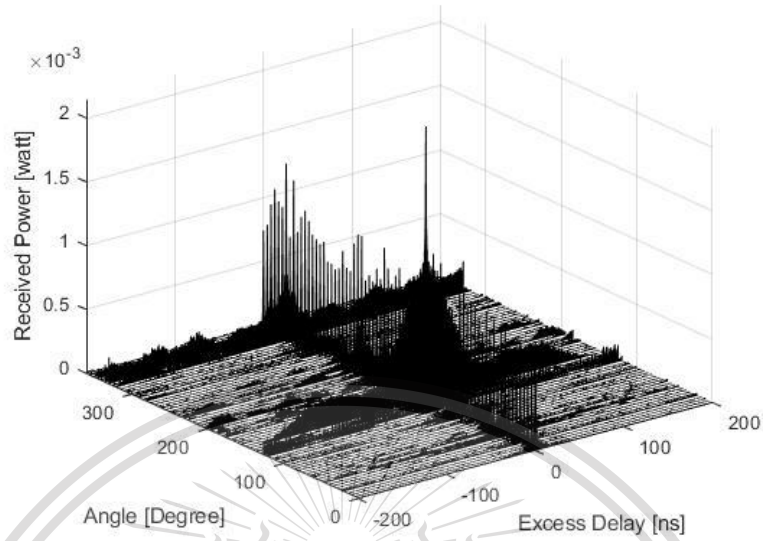


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 2

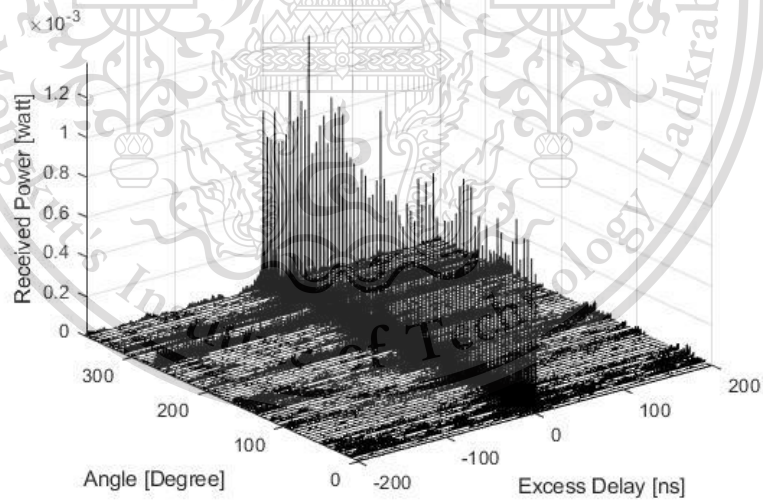
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 3

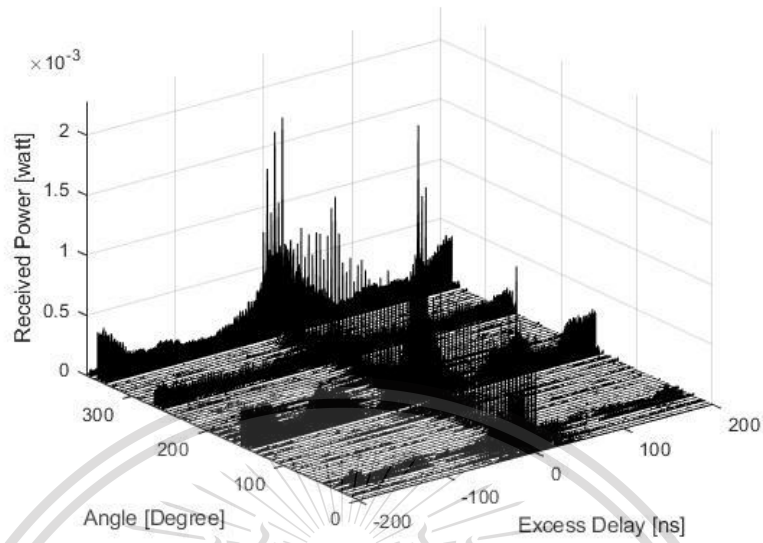


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 4

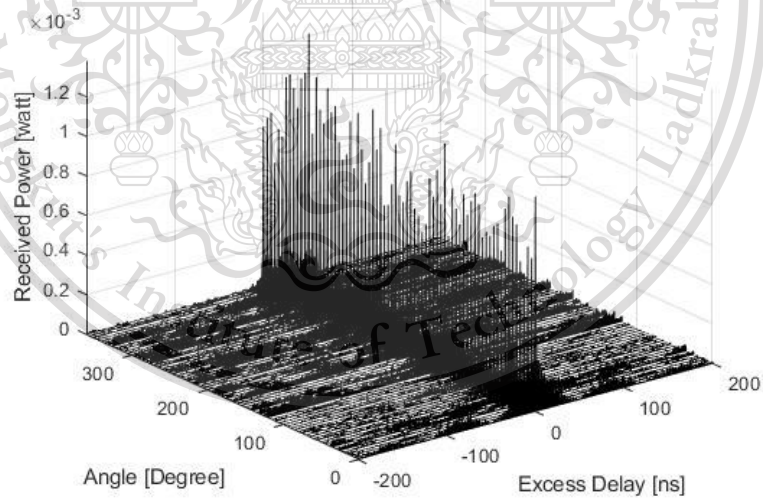
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 6

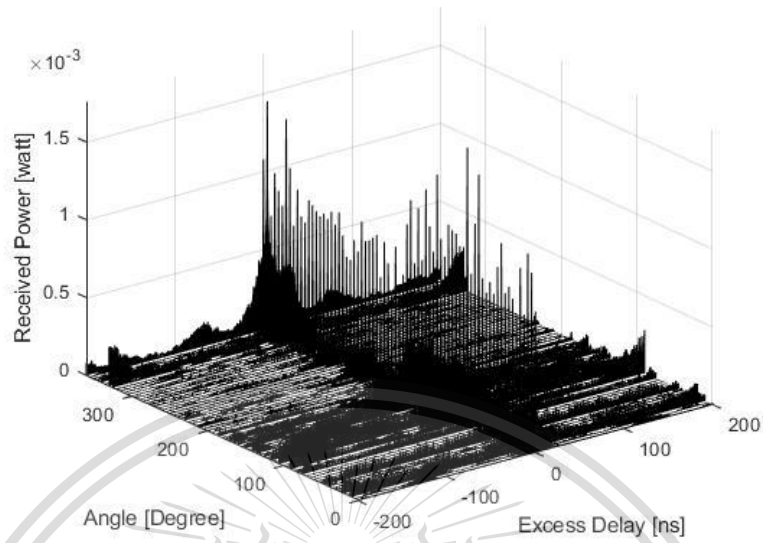


ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 7

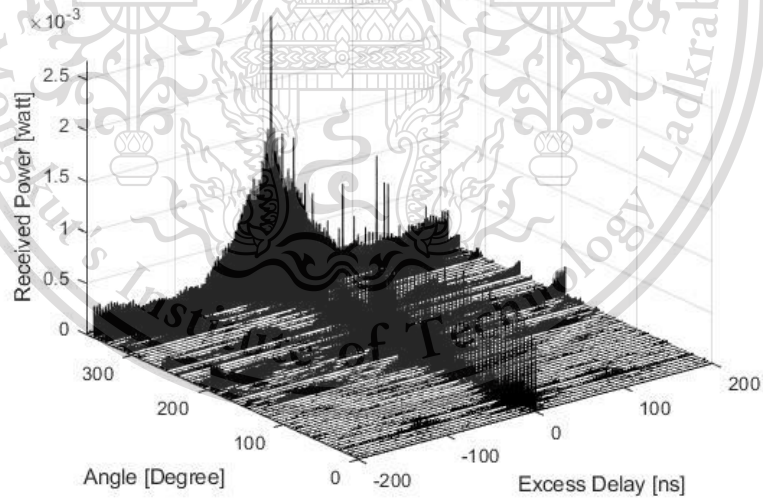
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 8



ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์ลักษณะนอนตำแหน่งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.