สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เกณฑ์ของการส่งผ่านวิทยุภายในอาคารของสายอากาศแถบกว้างยิ่ง ที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์

AN INDOOR RADIO TRANSMISSION GAIN OF ULTRA WIDEBAND ANTENNA WITH ROBOTICS

นายพงศ์พิพัฒน์ ศรีวิราช
นายภาณุวัฒน์ พรหมจารี

สพ.
W139n
2548
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...62591...
วัน,เดือน,ปี.....19 ส.ค. 2549
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN INDOOR RADIO TRANSMISSION GAIN OF ULTRA WIDEBAND ANTENNA WITH ROBOTICS

MR.PONGPIPAT SREWIRACH

MR.PANUWUT PROMACHAREE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เกณฑ์ของการส่งผ่านวิทยุภายในอาคารของสายอากาศแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์	
ชื่อนักศึกษา	นายพงศ์พิพัฒน์ ศรีวิราช	รหัสประจำตัว 46015631
	นายภาณุวัฒน์ พรหมจารี	รหัสประจำตัว 46015676
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์	
	ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2548	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	**เกณฑ์ของการส่งผ่านวิทยุภายในอาคารของสายอากาศแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์**
ชื่อนักศึกษา	**นายพงศ์พิพัฒน์ ศรีวิราช** **รหัสประจำตัว 46015631**
	นายภาณุวัฒน์ พรหมจารี **รหัสประจำตัว 46015676**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์**
	ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเกณฑ์ของการส่งผ่านคลื่นวิทยุของสายอากาศแถบกว้างยิ่ง ที่อยู่ในตัวของหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ ในระบบของโรงงานที่มีการนำเอาหุ่นยนต์ มาใช้ ซึ่ง ช่วยแบ่งเบาภาระของคนได้มาก ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของคลื่นวิทยุที่ส่งมาควบคุมตัวหุ่นยนต์นั้นๆ เพื่อที่ตัวหุ่นยนต์นั้นจะไม่ทำงานโดยเกิดความผิดพลาดซึ่งอาจทำให้งานที่ออกมานั้นเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	An Indoor Radio Transmission Gain of Ultra Wideband Antenna with Robotics
Student	Mr. Pongpipat Srewirach ID.46015631
	Mr. Panuwat promajaree ID.46015676
Advisor	Mr. Sathaporn Promwong
	Mr. Prisan Sittiyopaskun
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2005

ABSTRACT

This project , the radio transmission gain of ultra wideband antenna with roboties in an indoor environment.We apply the Friis formula to analysis the transmission gain.In the experiment we use vector network analyzer for measured the transfer function and the biconical antennas are use for the Transmitter(Tx) and the Receiver(Rx) at the receive antenna with a robotic.It is necessary to study and analysis for radio wave that transmit to control the robot in order to not working by errors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ก็เนื่องมาจากทางผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางแนวทางในการดำเนินงานจาก ท่านอาจารย์ สถาพร พรมวงศ์ และรองศาสตราจารย์ ไพศาล สิทธิโยภาสกุล เป็นอย่างสูง และอาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี รวมทั้งพี่ๆเพื่อนๆทุกคน ที่ให้คำปรึกษา จนกระทั่งสำเร็จเป็นโครงงานวิจัยนี้ ทางผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณ ทุกท่าน ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสผู้จัดทำได้เข้ามศึกษาในสถาบันแห่งนี้

สุดท้ายผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเล่าเรียนและ คอยเป็นกำลังใจให้กับทางผู้จัดทำ เสมอมาเป็นอย่างดี จนประสบความสำเร็จได้

พงศ์พิพัฒน์ ศรีวิราช

ภาณุวัฒน์ พรหมจารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	2
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	5
2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	8
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา	8
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป	10
2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	12
2.4.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	12
2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์	12
2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล	13
2.4.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต	14
2.5 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งขึ้น	15
2.5.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์	15
2.5.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์	15
2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)	16
2.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	17
2.7.1 แพทเทอร์นแบบไอโซโทรปิค ไดเรคชันเนล และออมนิไดเรคชันเนล	18
2.7.2 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก	20
2.7.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	21
2.7.4 บริเวณต่าง ๆ ของสายอากาศ	23
2.8 ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น	24
2.9 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	25
2.10 อัตราขยาย	26
2.11 เกน	27
2.12 ประสิทธิภาพของบีม	28
2.13 แบนด์วิดท์	29
2.14 สมการการส่งคลื่นของฟริสและสมการพิสัยเรดาร์	29
2.14.1 สมการการส่งคลื่นของฟริส	30
บทที่ 3 การออกแบบโมเดลและการวัด	33
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	33
3.2 แบบจำลองของสัญญาณแบบ UWB	35
3.3 การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ UWB	36
3.3.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับช่องสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์	36
3.3.1.1 การวิเคราะห์ระบบ UWB โดยใช้สูตรของฟรีส (Friis'Formula)	36
3.3.2การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ (Power delay profile)	40
3.4 รูปแบบโมเดล	41
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	45
4.1 การวัดคุณสมบัติสายอากาศ	45
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	45
4.1.2 ขั้นตอนการวัด	45
4.2 ผลการทดลองของโมเดลที่ 1 และโมเดลที่ 2	46
4.3 ผลการทดลองของโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4	53
4.4 ผลการทดลองของโมเดลที่ 5	70
บทที่ 5 สรุป	79
บรรณานุกรม	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับ การใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในละภายนอกอาคาร	9
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร	10
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 1 และโมเดล 2	49
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 3 และ โมเดล 4 ที่ระยะ 1 เมตร	55
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 3 และ โมเดล 4 ที่ระยะ 2 เมตร	59
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 5 ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงาน 2

รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง 5

รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร 11

รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร 11

รูปที่ 2.4 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ 12

รูปที่ 2.5 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ 13

รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลตทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ 14

รูปที่ 2.7 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ 15

รูปที่ 2.8 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์ 16

รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส 16

รูปที่ 2.10 ระบบโคออดิเนทสำหรับวิเคราะห์สายอากาศ 18

รูปที่ 2.11 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna pattern) 19

รูปที่ 2.12 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศออมนิไดเรคชันแนล (ออมนิไดเรคชันแนล) 19

รูปที่ 2.13 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร 20

รูปที่ 2.14 (ก) โลบต่าง ๆ และบีมวิดท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ 22

(ข) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์ 22

รูปที่ 2.15 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ 23

รูปที่ 3.1. มุมในการหมุนของสายอากาศ 33

รูปที่ 3.2 สายอากาศกรวยคู่ (Biconical) 34

รูปที่ 3.3 คุณลักษณะของสายอากาศไบโคนิคอน 34

รูปที่ 3.4 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่าน (Antenna gain) และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ 35

รูปที่ 3.5 รูปแบบของสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์ที่ใช้วิเคราะห์ 36

รูปที่ 3.6 บล็อกไดอแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการเพิ่มเติมจากสูตรของฟรีส (Friis' transmission) เพื่อนำมาใช้กับระบบอุลตราไวด์แบนด์ 38

รูปที่ 3.7 โมเดลที่ 1 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.8 โมเดลที่ 2 41

รูปที่ 3.9 โมเดลที่ 3 42

รูปที่ 3.10 โมเดลที่ 4 42

รูปที่ 3.11 โมเดลที่ 5 43

รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(Network Analayzer) 46

รูปที่ 4.2 ภาพ การวัดโมเดลที่ 1 47

รูปที่ 4.3 ภาพการวัดโมเดลที่ 2 47

รูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดล 1 48

รูปที่ 4.5 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดล 2 48

รูปที่ 4.6 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 1 50

รูปที่ 4.7 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 2 50

รูปที่ 4.8 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 1 51

รูปที่ 4.9 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 2 51

รูปที่ 4.10 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 1 52

รูปที่ 4.11 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 2 52

รูปที่ 4.12 ภาพการวัดโมเดลที่ 3 53

รูปที่ 4.13 ภาพการวัดโมเดลที่ 4 53

รูปที่ 4.14 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดล 3 ที่ระยะ 1 เมตร 54

รูปที่ 4.15 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 4 ระยะ 1เมตร 54

รูปที่ 4.16 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร 56

รูปที่ 4.17 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 4 ที่ระยะ 1 เมตร 56

รูปที่ 4.18 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร 58

รูปที่ 4.19 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 4 ที่ระยะ 1 เมตร 59

รูปที่ 4.20 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 3 ระยะ 2เมตร 60

รูปที่ 4.21 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 4 ระยะ 2เมตร 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.22 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร	60
รูปที่ 4.23 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร	60
รูปที่ 4.24 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 3 ที่ระยะ 2 เมตร	61
รูปที่ 4.25 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 4 ที่ระยะ 2 เมตร	61
รูปที่ 4.26 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 0,30,60 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	62
รูปที่ 4.27 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 90,120,150 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	63
รูปที่ 4.28 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 180,210,240 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	64
รูปที่ 4.29 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 270,300,330,360 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	65
รูปที่ 4.30 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 0,30,60 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	66
รูปที่ 4.31 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 90,120,150 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	67
รูปที่ 4.32 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 180,210,240 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	68
รูปที่ 4.33 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 270,300,330,360 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ	69
รูปที่ 4.34 ภาพการวัดโมเดลที่ 5	70
รูปที่ 4.35 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 5 ระยะ 1เมตร	71
รูปที่ 4.36 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 5 ระยะ 2เมตร	71
รูปที่ 4.37 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.38 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด 74
โมเดลที่ 5 ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร

รูปที่ 4.39 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 0,30,60 75
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

รูปที่ 4.40 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 0,30,60 76
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

รูปที่ 4.41 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 180,210,240 77
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

รูปที่ 4.42 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 270,300,330,360 78
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันการสื่อสารไร้สายในระยะสั้นนั้น ซึ่งในที่นี้จะเกี่ยวกับระบบสัญญาณของคลื่นอุลตราไวด์แบน (UWB) ได้เข้ามาในประเทศไทย ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาทดลอง และนำมาวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้น แล้วนำมาประยุกต์ใช้ ในชีวิตประจำวันของเรา

การสื่อสารคลื่นอุลตราไวด์แบนด์ซึ่งเป็นคลื่นที่ใช้ความหนาแน่นกำลังในการส่งต่ำแต่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้คลื่นอุลตราไวด์แบด์มีความจุในการรับส่งข้อมูลได้มากซึ่งทำให้เกิดการส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น และระดับสัญญาณของคลื่นอุลตราไวด์แบนด์ยังมีระดับสัญญาณที่ต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวน

เพื่อศึกษาถึงเกณฑ์ของการส่งผ่านวิทยุภายในอาคารของสายอากาศแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์ จึงได้ทำการออกแบบโมเดลในการทดลองนี้ขึ้นมา ซึ่งจะทราบถึงผลกระทบต่างๆตามที่ได้ออกแบบการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุภายนอกอาคาร และระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของหุ่นยนต์ที่มีต่อการแพร่กระจายคลื่นของระบบ Ultra Wideband

1.2.3 ทดลอง และทำการวิเคราะห์ ผลกระทบต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับคลื่นวิทยุ

1.3.2 ทำการออกแบบและจำลองโมเดลหุ่นยนต์ชนิดแขนกลที่เป็นโละ

1.3.3 ทำการวัดค่าความถี่และทดสอบผกระทบจากหุ่นยนต์ของสายอากาศโดยติดตั้งไว้ที่ตัวหุ่นยนต์ ทำการวัดในรูปแบบต่างๆ เมื่อตัวหุ่นยนต์ นั้นอยู่ในระยะ ต่างกัน หรือว่าแขนของหุ่นนั้นหมุนในทิศทางต่างๆกัน

1.3.4 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์

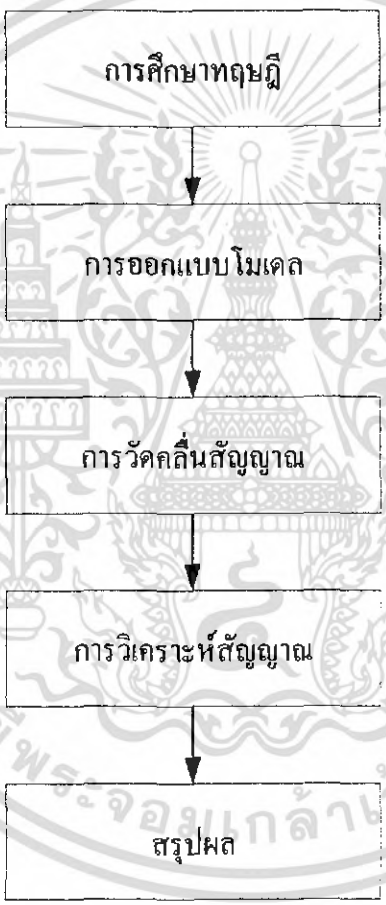
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ถ้าผลที่ออกมาไม่มีค่าความผิดพลาด ไม่มีผลกระทบใดๆ หรือว่ามีผลกระทบที่น้อยมากตัวหุ่นยนต์ ก็สามารถ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษาวางแผนและการทำงานตามขั้นตอนการดังรูป



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงาน

การศึกษาทฤษฎีจะอยู่ในบทที่ 2 ซึ่งกล่าวถึงทฤษฎี และพื้นฐานความรู้ต่างๆที่เกี่ยวกับสายอากาศเพื่อประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ซึ่งและทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโมเดลจะอยู่ในบทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบโมเดลสายอากาศที่จะใช้ในการทดลองวัดคลื่นสัญญาณ

การวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่และผลการทดลองจะอยู่ในบทที่ 4 กล่าวถึงการวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่และผลการทดลองที่ได้จากการวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่

การวิเคราะห์สัญญาณและสรุปผลการทดลองจะอยู่ในบทที่ 5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดและสรุปผลของการวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง
(UWB Communication System)

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra – Wideband; UWB) มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก็ป (spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 จากนั้นเทคโนโลยีอุลตร้าไวด์แบนด์ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯในช่วงระหว่างปี 1960 – 1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและกำจัดกำลังส่งสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์ โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา

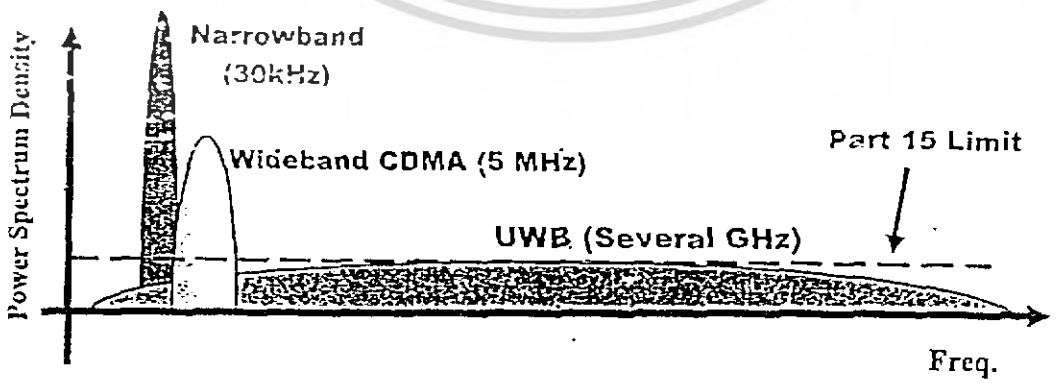
ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิทช์ตัดต่อความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อแบบอุลตร้าไวด์แบนด์ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์นั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์นั้นมีความแตกต่างกับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการ คือ การส่งสัญญาณอุลตร้าไวด์แบนด์นั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์จะใช้แบนวิดท์ในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากว่าแถบความถี่ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยที่ทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนวิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสารแบบอุลตร้าไวด์แบนด์ใช้แถบความถี่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทาง FCC กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์ไม่เกิน - 41.3 dBm/MHz ซึ่งจากการที่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์มีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อความถี่ที่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอผลการวิจัยต่าง ๆ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวในการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (radio frequency, RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (spectral density) ที่กว้างมาก ซึ่งโดยจะแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ดิวตีไซเคิล (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมน เวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง wi – Fi หรือ Bluetooth แล้วก็จะพบว่าระบบแถบกว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำรวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการส่งรับข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตรดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ wi – Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน ระบบแถบกว้างยิ่งมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวระบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทให้ความบันเทิงภายในบ้านเรือน หรือ ภายในสถานที่ทำงาน

2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (impulse) พัลส์แคบ (short – pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซนูซอยด์ (non- sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (mono – pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกกะบิต ต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการบอกต่ใช้ในระบบติดตาม (tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั่นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นคือการจดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra – Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ.1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใด ๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดยที่ f_L คือความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎส่วนรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งและยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค. ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในละภายนอกอาคาร

ความถี่ (เมกกะเฮิร์ท)	ภายใน	ภายนอก
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

FCC คือ กฎข้อบังคับเพื่อควบคุมและกำจัดกำลังส่งสัญญาณของระบบอุลตร้าไวด์แบนด์

Part 15 คือ มาตรฐานการบังคับเพื่อควบคุมและกำจัดกำลังส่งสัญญาณของระบบอุลตร้าไวด์แบนด์ ไม่ให้เกิน -41.3 dBm/MHz

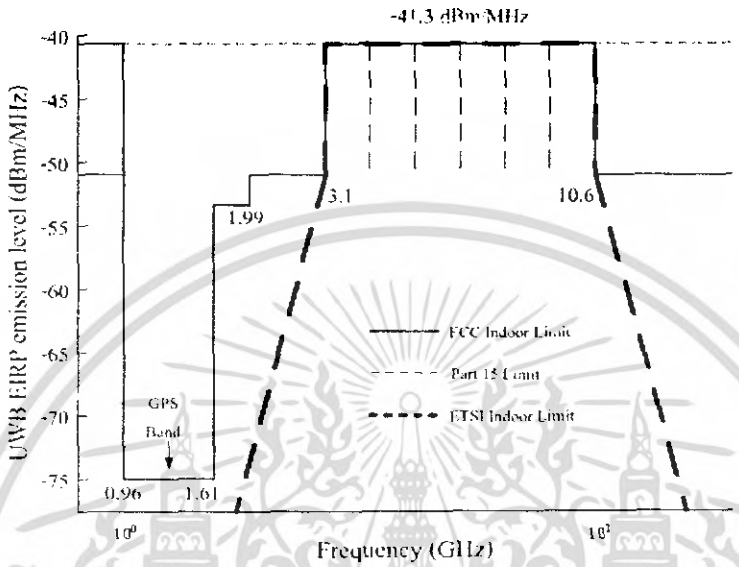
ETSI คือ ข้อกำหนดของมาตรฐานยุโรป

	ย่านความถี่ [จิกกะเฮิร์ท]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
เส้นกำกับภายในอาคาร	$-51.3+87\log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3+87\log(f/10.6)$
เส้นกำกับภายนอกอาคาร	$-61.3+87\log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3+87\log(f/10.6)$

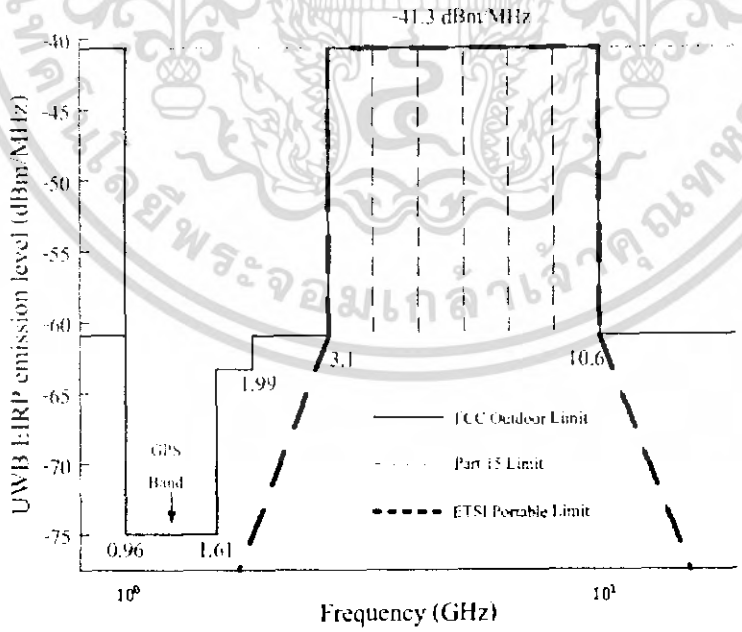
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในรูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

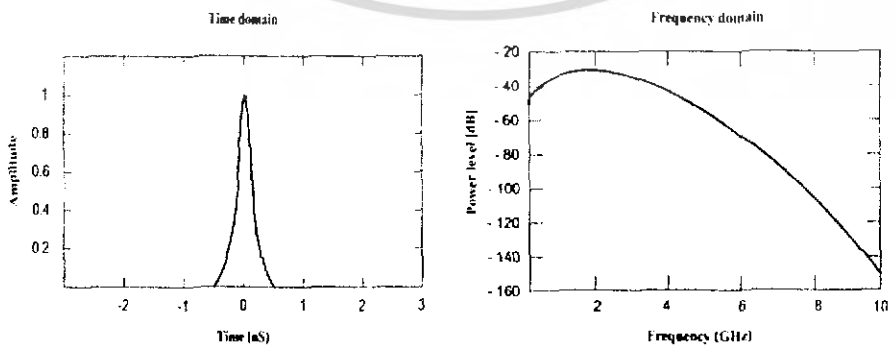
2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.4.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและระบบของสัญญาณแล้วก็น่าจะเกี่ยวกับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและระบบการวัด เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้านหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งอุปกรณ์นั้นจะถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถที่จะทำงานได้ภายในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10dBm หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่ยินยอมให้แพร่กระจายกำลังงาน สำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm /MHz ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดใช้รูปแบบของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง แต่โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสามารถที่จะแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ของสัญญาณได้ดังนี้

2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์

ประเภทของรูปคลื่นที่เรียกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ (Gaussian waveform) นั้นได้มาจากการที่มีนิยามทางคณิตศาสตร์เหมือนกับฟังก์ชันเกาส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำโดยส่วนสำคัญของรูปคลื่นแบบเกาส์นั้นคือพัลส์แบบเกาส์ และแสดงรูปคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 2.4

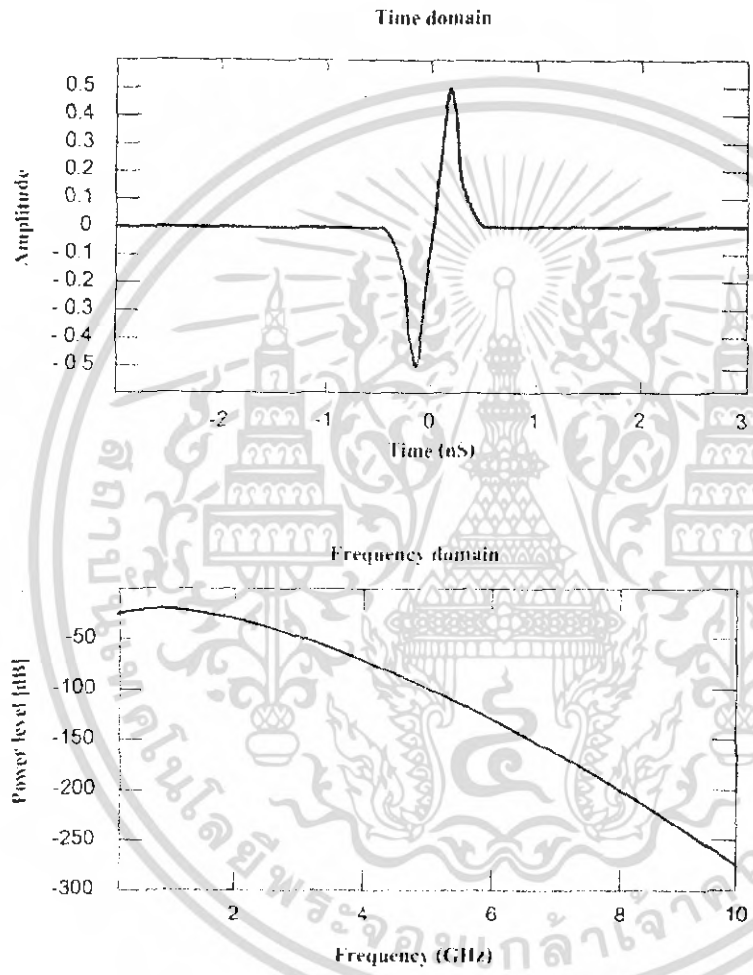


รูปที่ 2.4 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian monocycle) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อนุพันธ์อันดับหนึ่งของพัลส์แบบเกาส์ แสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.5

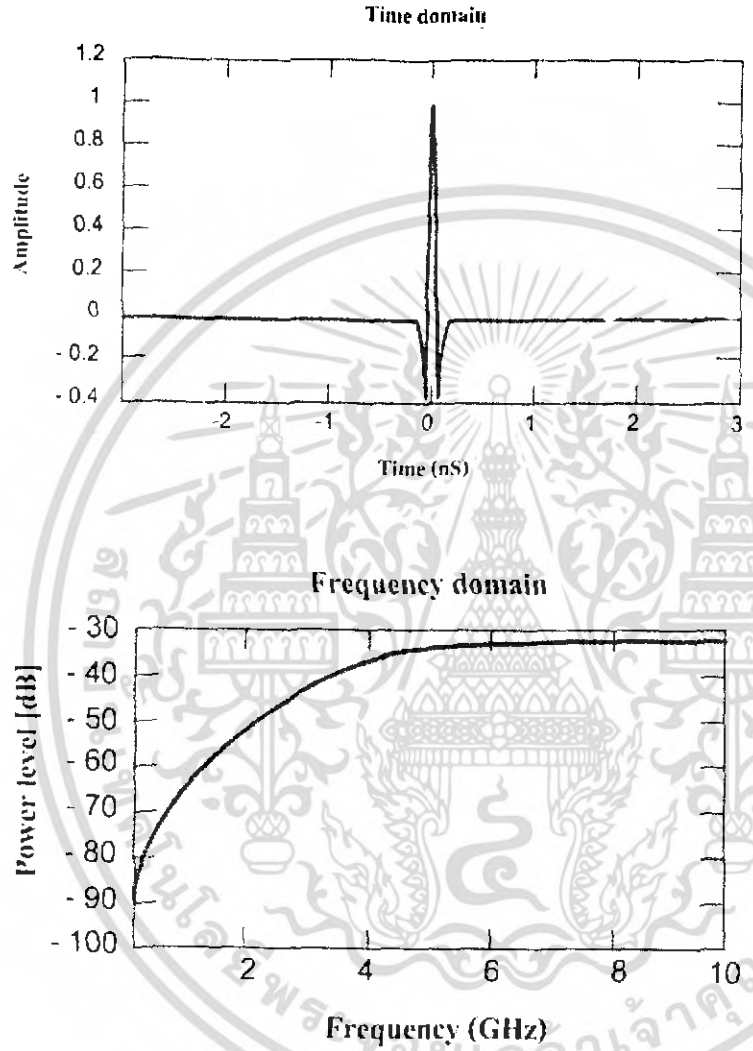


รูปที่ 2.5 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต

สัญญาณพัลแบบเกาส์ดับเลต (Gaussian doublet) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับสองของพัลส์แบบเกาส์โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.4 และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลตทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งขึ้น

การส่งข้อมูลข่างสารในระบบแถบกว้างยิ่งนั้น มีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มส่วนของข้อมูลข่าวสารที่เป็นดิจิตอลเข้าไปในสัญญาณพัลส์แบบอนาล็อกหรือในความหมายของการมอดูเลตโดยในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีวิธีการมอดูเลตอยู่มากมายที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างถึงวิธีการทั่วไปของการมอดูเลตดังนี้

2.5.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์

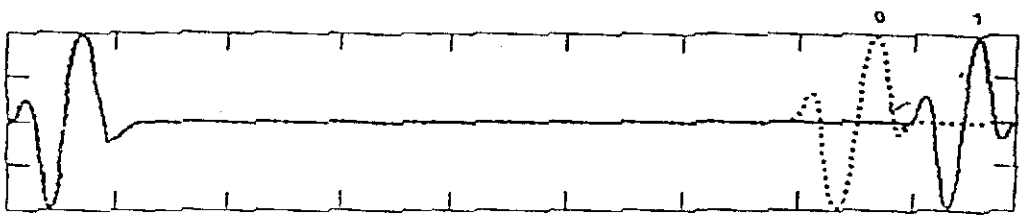
การมอดูเลตสัญญาณทางขนาดของพัลส์ (PAM) นั้นจะต้องอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณอุตราไวด์แบนด์ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาดโดยมีทั้งหมด 4 ระดับ

รูปที่ 2.7 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

2.5.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์

การมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่ง (PAM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยมีในรูปที่ 2.8 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่งโดยที่ในรูปที่ 2.8 นั้นบิต “0”นั้นจะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Nominal – Position) และบิต “1” จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งแกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์

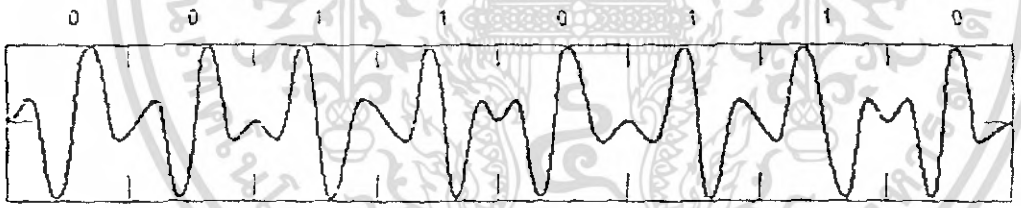
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์

2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟส (Bi –phase) นั้นจะอยู่พื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์โดยที่ในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส

2.6 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลในมาตรฐานใหม่ ๆ ของระบบเครือข่ายไร้สายคือ IEEE 802.11a และ 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการมัลติเพล็กสัญญาณ โดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อย (subcarrier) หลาย ๆ ความถี่ โดยแต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาหะที่ตั้งฉากกันนั้นทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับกันของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OFDM เป็นเทคนิคการมัลติเพล็กโดยการแบ่งความถี่ เมื่อช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นขนาดเล็ก ๆ N ช่องแต่ละช่องมีขนาดเท่ากับขนาดของสัญลักษณ์ (Bit rate) ดิจิตอล ทางด้านสัญญาณดิจิตอลความเร็วสูงที่ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อย ๆ ที่มีความถี่ต่ำกว่าจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย 1 สัญญาณ และนำสัญญาณทั้งหมดส่งขนานกันออกไป รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณพาหะย่อยที่นิยมทั่วไปได้แก่ QAM, 16 QAM หรือ 64 QAM เป็นต้น ในOFDM กลุ่มของข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปขนานกัน โดยการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย ดังนั้นจะกลายมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ซึ่งการแปลงสัญญาณกลับให้อยู่ในบนแกนเวลาอีกครั้งโดยการแปลงกลับฟาสท์ฟูเรียร์ (IFFT) จากนั้นจะสัญลักษณ์บนแกนเวลาจะถูกมัลติเพล็กเข้าด้วยกันได้เป็นอนุกรมของสัญญาณ แล้วจึงส่งสัญญาณออกไปทางเสาอากาศ

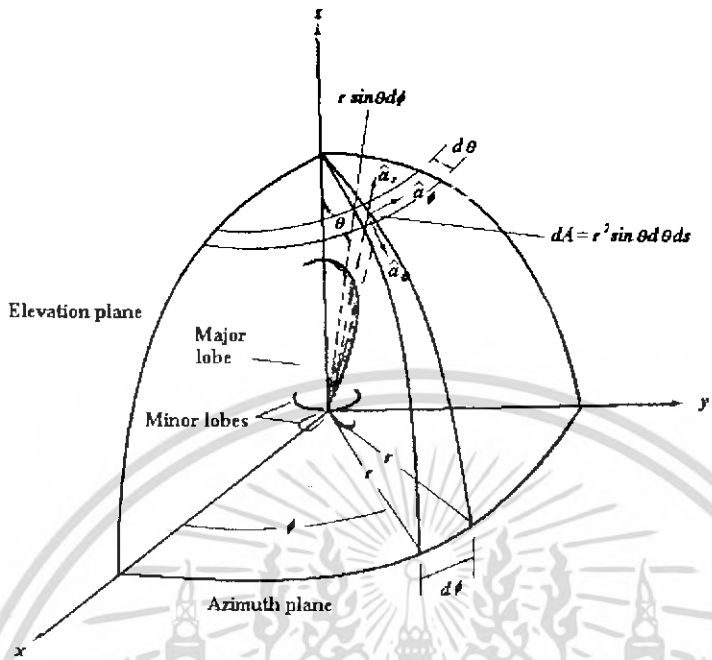
หลังจากการมอดูเลตแบบ OFDM จะมีการสอดแทรกช่วงแถบป้องกันแคบ ๆ เพื่อลดสัญญาณรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (Inter Sysbol Interference: ISI) ที่เกิดจากสัญญาณหลายเส้นทาง (Multi-path) เราเรียกแถบป้องกันแคบ ๆ นี้ว่า การเสริมไซคริก (Cyclic prefix) ส่วนในเครื่องรับจะดำเนินกระบวนการตรงข้ามกับเครื่องส่งและในเครื่องรับจะใช้การแปลงฟาสท์ฟูเรียร์แปลงสัญญาณที่อยู่บนแกนเวลาไปเป็นแถบความถี่สมมูลย์

ข้อดีของ OFDM คือสามารถใช้งานแถบความถี่ในระบบที่เคยใช้สัญญาณพาหะเดี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Spectral Efficiency) สามารถป้องกันผลกระทบจากเคลื่อนที่ของสัญญาณหลายเส้นทาง (Immunity to multi-path) และมีความไวต่ำต่อการเลื่อนหายไปของความถี่ที่เลือก (Less sensitivity to frequency selective fading)

2.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ (Radiation) หรือรูปแบบสายอากาศ สายอากาศมีความหมายอีกนัยหนึ่ง คือ เป็นฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ หรือ แสดงโดยเส้นที่สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแพร่กระจายของสายอากาศตามฟังก์ชั่นของ สเปสโคออดิเนท (Space Coordinates) ส่วนมากในกรณีนี้ของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้จะกำหนดการคิดในบริเวณที่เป็น สนามระยะไกล (Far-Field) และแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับฟังก์ชั่นตามทิศทางของ โคออดิเนท คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นประกอบด้วยกำลังความหนาแน่น ฟลัคซ์แม่เหล็ก (Flux), ความเข้มข้นของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity), ความเข้มข้นของสนาม (Field Strength), เฟส (Phase) หรือโพราไรเซชัน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจงรูปฟังก์ชั่นของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่รัศมีคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62591



รูปที่ 2.10 ระบบโคออดิเนทสำหรับวิเคราะห์สายอากาศ

รูปที่ 2.10 แสดงระบบโคออดิเนทที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า รูปแบบกำลังงาน(Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่มีชื่อเรียกว่า สนามการแพร่กระจาย (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

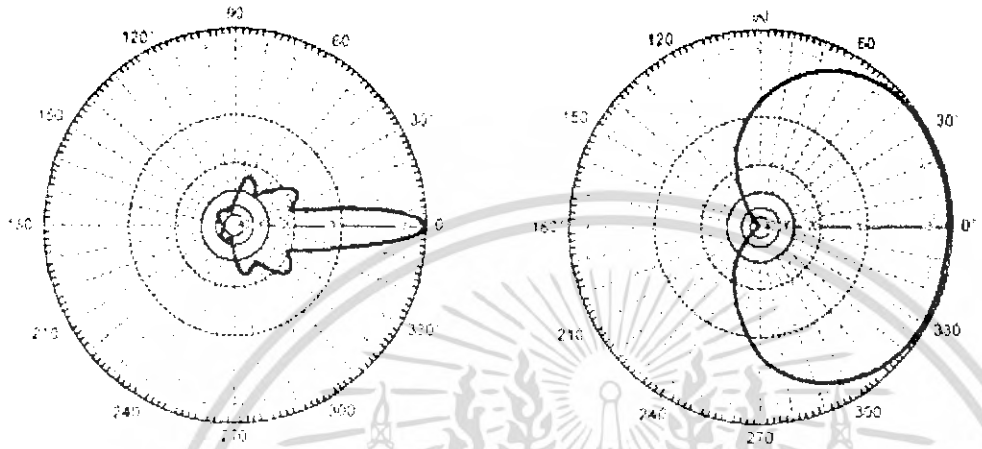
2..7.1แพทเทอร์นแบบไอโซโทรปิค ไดเรคชันเนล และออมนิไดเรคชันเนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิค (Isotripic Radiation) คือสายอากาศที่ถูกสมมติขึ้นให้มีการแพร่กระจายคลื่นเท่าๆกันในทุกทิศทาง แม้ว่ามันจะเป็นแค่แนวคิดและไม่สามารถเป็นจริงได้ในทางกายภาพ แต่ก็มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง(Directional Antenna) คือสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นหรือรองรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้งานในแนวตั้ง (Vertical) จะมีมุมกระจายคลื่นที่แคบมาก แต่ยิ่งจะมีระยะส่งได้ไกลขึ้น และเมื่อถูกจับให้วางในแนวนอน (Horizontal) จะมีมุมการกระจายคลื่นที่กว้างมาก มุมยิ่งกว้างระยะส่งยิ่ง

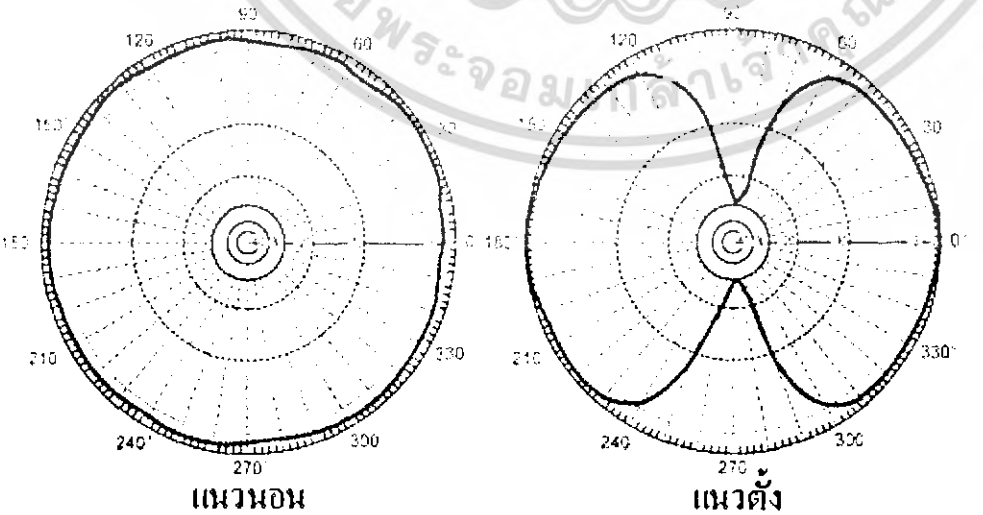
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดแต่ สามารถใช้งานได้ในมุมที่กว้างขึ้น จะสังเกตได้ว่าสายอากาศแบบทิศทางในมุมด้านหลังของสายอากาศหรือ 180 องศา จะไม่มีการกระจายคลื่นไปเลย เราเรียกว่าจุดบอดของสายอากาศ



รูปที่ 2.11 รูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna pattern)

สายอากาศแบบออมนิไดเรคชันแนล (Omni directional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้มีดังแสดงในรูปที่ 2.12 สายอากาศชนิดรอบตัว สังเกตได้จากคลื่นแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง เมื่อถูกวางให้อยู่ในแนวนอน แต่เมื่อถูกวางให้อยู่ตั้ง มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเล็กน้อยแต่ดูแล้วยังมีการกระจายคลื่นไปในทุกทิศ



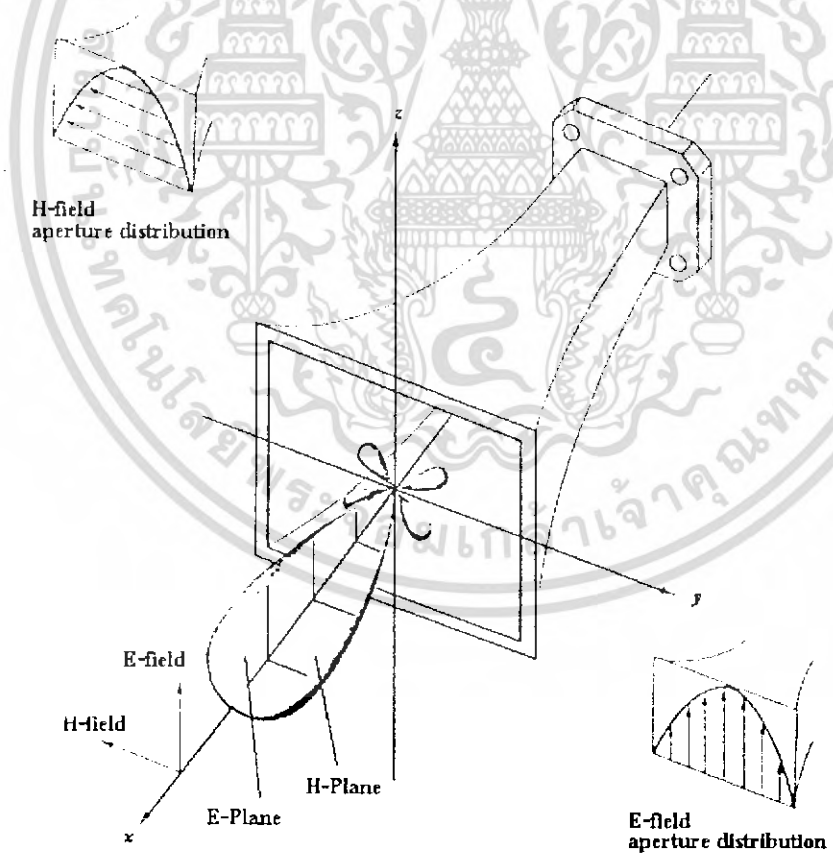
รูปที่ 2.12 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศออมนิไดเรคชันแนล (ออมนิไดเรคชันแนล)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปจะเห็นว่ารูปแบบการกระจายแบบนี้ไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุธ (Azimuth Plane) $[f(\phi),(\theta)=\pi/2]$ แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบเอเลเวชัน (Elevation Plane) $[f(\phi),(\theta)=k]$ รูปแบบการแพร่กระจายชนิดนี้ออกแบบสำหรับออมนิไดเรคชันแนลเป็นกรณีพิเศษของรูปแบบการแพร่กระจายแบบชี้ทิศทาง

2.7.2 รูปแบบการแพร่กระจายหลัก

สำหรับสายอากาศลิเนียร์ลิโพลาไรเซชัน (Linearly Polarized Antenna) จะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของรูปแบบการแพร่กระจายหลัก (Principle Pattern) สนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็ก H แพทเทอร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวคเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุดส่วนรูปแบบการแพร่กระจายในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวคเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด



รูปที่ 2.13 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E และ H ของสายอากาศปากแตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 เป็นการแสดงรูปแบบการแพร่กระจายหลัก โดยมีระนาบ XZ (ระนาบเอเลเวชัน; $\phi = 0$) เป็นระนาบ E หลัก และ มีระนาบ XY (ระนาบ อาซิมุธ , $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบ H หลัก

2.7.3 โลบของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

โลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณโดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มข้นของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโลบแบบต่าง ๆ ดังนี้

โลบหลัก (Major หรือ Main Lobe) เป็นโลบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามรูปที่ 2.10 มีโลบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบ เช่น สายอากาศแบบแยกบีม (Split-beam Antenna)

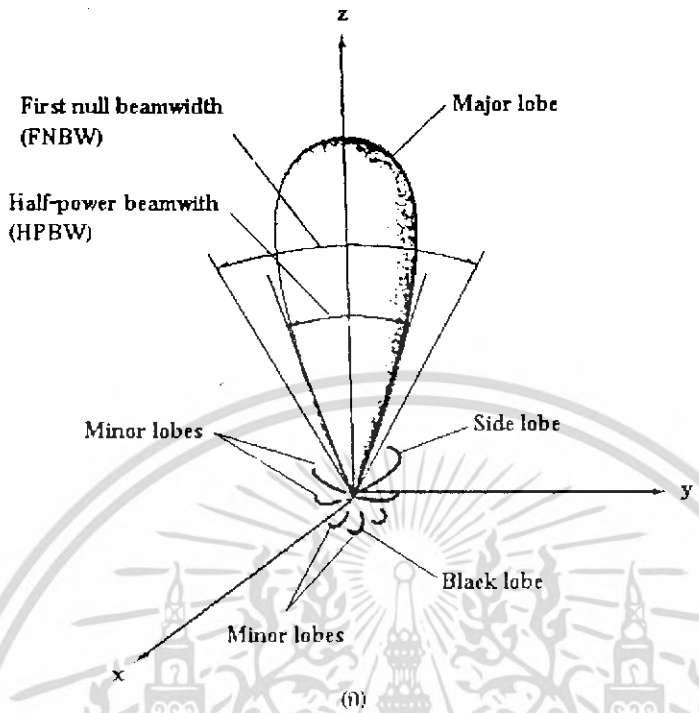
โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ โลบอื่น ๆ นอกเหนือไปจากโลบหลัก

โลบข้าง หรือไซด์โลบ (Side Lobe) เป็น โลบย่อยที่อยู่ติดกับโลบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบหลัก

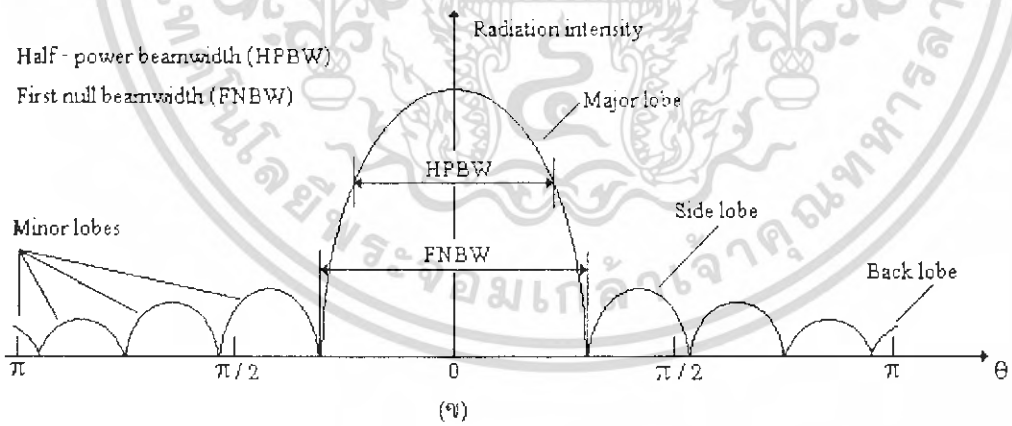
โลบหลัง (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลักปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุด

ระดับของโลบย่อยมักแสดงด้วยอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 (ก) โลบต่าง ๆ และบีมวิดท์ของรูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ

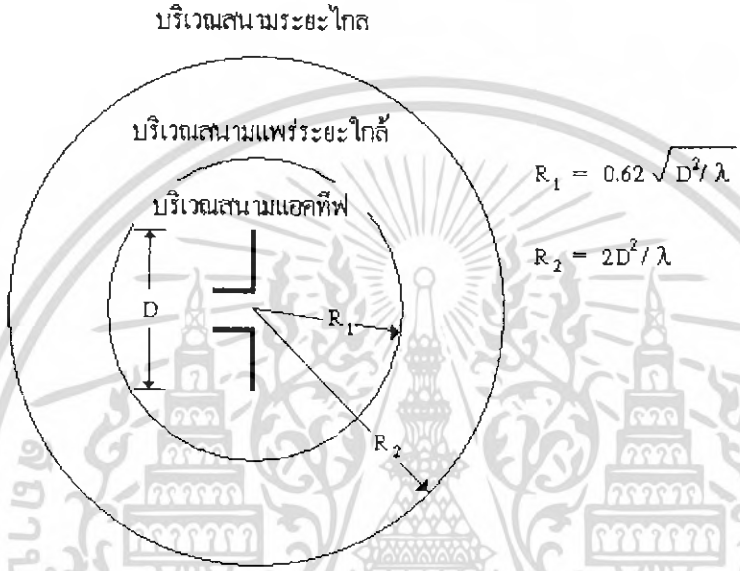


รูปที่ 2.14 (ข) รูปแบบการแพร่กระจายในแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 บริเวณต่าง ๆ ของสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอคทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating-Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.15 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอคทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62 < \sqrt{D^3/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอคทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระกระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศเมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $2D^2/\lambda > R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2 / \lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2 / \lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.8 ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใช้ในการส่งผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังไฟฟ้า โดยใช้ตัวความสัมพันดังกล่าวได้แก่ พอยติงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Instantaneous Pointing Vector) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$W = \xi \times \mathcal{H} \qquad (2.2)$$

เมื่อ W = พอยติงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (W / m^2)

ξ = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วเวลาขณะนั้น (V / m)

$\mathcal{H}$ = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น (A / m)

เนื่องจากพอยติงเวคเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดจะสามารถหาได้โดยอินทิเกรทส่วนของพอยติงเวคเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมดซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการจะได้

$$\mathcal{P} = \oiint_S W \cdot \overline{ds} = \oiint_S W \cdot \bar{n} da \qquad (2.3)$$

เมื่อ $\mathcal{P}$ = กำลังงานทั้งหมดชั่งขณะเวลานั้น (W)

da = พื้นที่จิ๋วบนพื้นที่ปิด (m^2)

ในกรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้โดยการอินทิเกรทค่าพอยติงเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้นตลอด 1 คาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้นสำหรับสนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิคในรูป $e^{j\omega t}$ เมื่อกำหนดสนาม $\bar{E}$ และ $\bar{H}$ เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อนแล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า ξ และ $\mathcal{H}$ ชั่วขณะเวลาใด ๆ ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\xi(x,y,z;t) = \mathrm{Re}\,[\bar{E}(x,y,z)\,e^{j\omega t}] \tag{2.4}$$

$$\mathcal{H}(x,y,z;t) = \mathrm{Re}\,[\bar{H}(x,y,z)e^{j\omega t}] \tag{2.5}$$

จาก (2.3), (2.4) และโดยอาศัย $\mathrm{Re}\,[E e^{j\omega t}] = \frac{1}{2}[E e^{j\omega t} + E^* e^{j\omega t}]$ สมการ (2.1) จะ เขียนได้ใหม่เป็น

$$W = \xi \times \mathcal{H} = \tfrac{1}{2}\mathrm{Re}\,[\bar{E} \times \bar{H}^*] + \frac{1}{2}\mathrm{Re}\,[\bar{E} \times \bar{H}\, e^{j\omega t}] \tag{2.6}$$

เทอมแรกของ (2.5) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลาและเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยติงเวคเตอร์จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

$$W_{av}(x,y,z) = [W(x,y,z;t)]_{AV} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\,[\bar{E} \times \bar{H}^*](W/m^3) \tag{2.7}$$

ตัวประกอบ ½ ใน (2.5) และ (2.6) เกิดขึ้นเพราะสนาม E และ H เป็นค่าสูงสุดไม่ใช่ค่า จาก rms (2.6) กำลังเฉลี่ยที่แพร่กระจายจากสายอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$P_{rad} = P_{av} = \oint\!\!\int_S \bar{W}rad \cdot \bar{ds} = \frac{1}{2}\iint_S \mathrm{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \cdot \bar{ds} \tag{2.8}$$

2.9 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่ออกจากสายอากาศต่อมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามาร-หาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นแผลจากการยกกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{rad} \tag{2.9}$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m^2)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U(\theta,\phi) = \frac{r^2}{2\eta}\left|\bar{E}(r,\theta,\phi)\right|^2$$
$$= \frac{1}{2\eta}\left[\left|E_\theta(\theta,\phi)\right|^2 + \left|E_\phi(\theta,\phi)\right|^2\right] \quad (2.10)$$

เมื่อ $\bar{E}$ = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังทั้งหมดนี้หาได้โดยอินทิเกรทความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (2.8) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \oint\!\!\oint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.11)$$

2.10 อัตราขยาย

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไดเรคติวิตีโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วยในขณะที่ไดเรคติวิตีอธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางนั้น มีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$\text{อัตราขยาย} = 4\pi\frac{U(\theta,\phi)}{P_{in}} \quad (2.12)$$

เมื่อ $U(\theta,\phi)$ = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

P_{in} = กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ

โดยทั่วไปแล้วมักจะพูดถึงอัตราขยายสัมพันธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพลหรือสายอากาศปากแตร แต่โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสียดังนั้น

$$G_g = 4\pi U(\theta,\phi) / P_{in} \text{ (ไอโซโทรปิคที่ไม่มีการสูญเสีย)} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ P_{in} ดังนี้

$$P_{rad} = e_t P_{in} \tag{2.14}$$

เมื่อ e_t เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) จะได้

$$G_g(\theta,\phi) = e_t[4\pi U(\theta,\phi) / P_{rad}] \tag{2.15}$$

ซึ่งสัมพันธ์กับไดเรคทิฟเกนดังนี้

$$G_g(\theta,\phi) = e_t D_g(\theta,\phi) \tag{2.16}$$

ในทำนองเดียวกันค่าสูงสุดของเกนจะสัมพันธ์กับไดเรคติวิตีโดย

$$G_0 = G_g(\theta,\phi)_{max} = e_t D_g(\theta,\phi) \tag{2.17}$$

ดังนั้นค่าประมาณของเกนจะได้

$$G_0 = 30000 / \Theta_{1r}\Theta_{2r} \tag{2.18}$$

2.11 เกน

สิ่งที่แสดงคุณสมบัติของสายอากาศอีกอย่างหนึ่งก็คือเกน (Gain) เกนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไดเรคติวิตีโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ได้เรคตวิตีอธิบายคุณสมบัติ ในการชี้ทางของสายอากาสเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้นั้นมีค่าเท่ากับ4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะโดยทั่วไปแล้วเราจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนั้น

$$\text{เกน} = 4\pi \frac{\text{ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น}}{\text{กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 4\pi \frac{U(\phi,\theta)}{Pin} \qquad \text{(ไม่มีหน่วย)} \tag{2.19}$$

โดยทั่วไปแล้วเรามักจะพูดถึงเกนสัมพันธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณเกนได้ง่าย หรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสียดังนั้น

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta,\phi}{\text{Pin (ไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย)}} \tag{2.20}$$

2.12 ประสิทธิภาพของบีม

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่จะใช้ในการตัดสินว่าสายอากาศมีคุณภาพของการส่งหรือรับคลื่นดีเพียงใดนั้น ได้แก่ประสิทธิภาพของบีม (Beam Efficiency :BE) สำหรับสายอากาศซึ่งมีโลบหลักอยู่ในทิศทางแกน Z (= 0) ประสิทธิภาพของบีมจะกำหนดได้ดังนี้คือ

$$BE = \frac{\text{กำลังที่ส่ง (หรือรับ) ภายในรวยซึ่งทำมุม } \theta_1}{\text{กำลังที่ส่ง (หรือรับ) ทั้งหมดด้วยสายอากาศนั้น}} \tag{2.21}$$

เมื่อให้ θ_1 เป็นมุมที่เกิดมีนัล (Null) คือจุดตำแหน่งที่กำลังมีค่าเป็นศูนย์เป็นคู่แรก ดังนั้นประสิทธิภาพของบีมจะเป็นปริมาณที่แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานในโลบหลักต่อกำลังงานที่มีทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ อินพุท, อิมพีแดนซ์, แพทเทอร์น, บีมวิดท์, โพลาไรเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, เกน, ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบบด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ ยกตัวอย่างเช่น แบนด์วิดท์ 10:1 แสดงว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูง มีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำอยู่ 10 เท่าสำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนด์วิดท์ที่จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น เช่น แบนด์วิดท์ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศ เป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศ (ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์, แพทเทอร์น เกน, โพลาไรเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไป ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทอร์นกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศนอกจากนี้แบนด์วิดท์ของเกน,ระดับของไซด์โลบ, บีมวิดท์, โพลาไรเซชัน จะมีแบนด์วิดท์ค่าเดียวกับแพทเทอร์นแบนด์วิดท์ ในขณะที่แบนด์วิดท์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

2.14 สมการการส่งคลื่นของฟริสและสมการพิสัยเรดาร์

มักจะพบอยู่เสมอว่าเราใช้สมการการส่งคลื่นของฟริสในการวิเคราะห์และออกแบบระบบเรดาร์และระบบสื่อสาร (Friis Transmission Equation) และสมการพิสัยเรดาร์(Radar Range Equation) ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบเรดาร์และระบบสื่อสารดังนั้นต่อไปนี้ เราจะมาศึกษาว่าสมการดังกล่าวมีลักษณะอย่างไร และจะหาสมการดังกล่าวได้อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.1 สมการการส่งคลื่นของฟริส

สมการการส่งคลื่นของฟริส แสดงความสัมพันธ์กของกำลังงานระหว่างสายอากาศ 2 ตัว ที่สายอากาศรับได้ต่อกำลังงานที่สายอากาศส่งออกไป เมื่อสายอากาศทั้งสองวางอยู่ห่างกันด้วยระยะทาง R ซึ่งมีค่ามากกว่า $2D^2/\lambda$ สมมุติว่าสายอากาศส่งเป็นแบบไอโซโทรปิดก่อน ถ้ากำลังงานที่ขั้วอิมพุทของสายอากาศส่งเป็น P_t จะได้ความหนาแน่นของกำลังงาน ที่ระยะทาง R จากสายอากาศเป็น $W_.$ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$W_. = \frac{e_{tt}\ p_t}{4\P R^2} \qquad (2.22)$$

เมื่อ e_{tt} เป็นประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศส่ง คราวนี้ถ้าสายอากาศส่งไม่เป็นแบบไอโซโทรปิดกำลังงานใน (2.30) ในทิศทาง $\theta_t, \Ø_t$ เขียนได้ดังนี้

$$W_t = \frac{P_t G_{.t}(\theta_t, \Ø_t)}{4\pi R^2} = \frac{e_{tt}\ P_t D_{gt}(\theta_t, \Ø_t)}{4\pi R^2} \qquad (2.23)$$

เมื่อ $G_{.t}(\theta_t, \Ø_t)$ เป็นแกน และ $D_{gt}(\theta_t, \Ø_t)$ เป็นไดเรคทีฟเกนของสายอากาศในทิศทาง $\theta_t, \Ø_t$ เนื่องจากเอฟเฟคทีฟอะเพอร์เจอร์ A_r ของสายอากาศสัมพันธ์กับประสิทธิภาพ e_{tr} และไดเรคทีฟเกน D_{gr}

$$A_r = e_{tr} D_{gr}(\theta_t, \Ø_t) \frac{(\lambda^2)}{4\pi} \qquad (2.24)$$

ดังนั้นจำนวนกำลังงาน P_r ที่ถูกรับโดยสายอากาศรับ สามารถเขียนได้โดยใช้ (2.22), (2.23) และโพลาไรเซชันลอสแฟคเดอร์ว่ามีค่าดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r = e_{tr} D_{gr}(\theta_t, \phi_t)\lambda^2 \frac{W_t}{4\pi}$$

$$= e_{tr} \lambda^2 D_{gr}(\theta_t, \phi_t) D_{gr}(\theta_t, \phi_t) P \left| \hat{P}_t \cdot \hat{P}_r^* \right|^2 \frac{}{(4\pi R)^2} \quad (2.24)$$

หรือ

$$\frac{P_r}{P_t} = e_{cdt} e_{cdr} (1-|\Gamma_t|^2)(1-|\Gamma_t|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 D_{gt}(\theta_t, \phi_t) D_{gt}(\theta_t, \phi_t) \left| \hat{P}_t \cdot \hat{P}_r^* \right|^2 \quad (2.25)$$

ในกรณีที่เป็นสายอากาศที่โพลาไรเซชันแมทช์ และหันสายอากาศให้ส่งและรับได้แรงที่สุด (2.25) จะลดลงเป็นดังนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 G_t G_r \quad (2.26)$$

เรียก (2.25) และ (2.26) ว่าสมการการส่งคลื่นของฟริส และเทอม $(\lambda/4\pi r)^2$ เป็นแฟคเตอร์ที่แสดงการสูญเสียของฟรีสเปส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทนี้ก็ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband ตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ , ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา(FFC) , Ultra – Wideband Working Group (UWBWG) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU)เป็นต้น รวมทั้งรูปแบบของสัญญาณที่จะนำมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้แบ่งตามประเภทต่างๆ เช่นพัลส์แบบเกาส์ พัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิลและพัลส์แบบเกาส์ดับเลต เป็นต้นอีกทั้งเทคนิควิธีการมอดูเลตข้อมูลข่าวสารอันประกอบด้วย PAM,PPM และ Bi-phase ซึ่งเป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของเทคโนโลยี อย่างไรก็ดีในบทนี้ยังมิได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศแต่อย่างใดจึงต้องศึกษากันต่อไปว่าจะทำการวิเคราะห์สายอากาศได้อย่างไร ซึ่งจะเริ่มกล่าวถึงตั้งแต่บทที่ 3 เป็นต้นไป

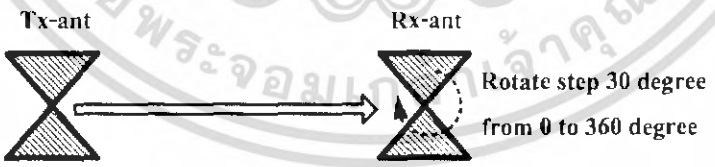
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบโมเดลและการวัด

ในขั้นตอนของการออกแบบการวัดนั้น จะมีโมเดลในการวัดอยู่ 5 โมเดลด้วยกันและมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

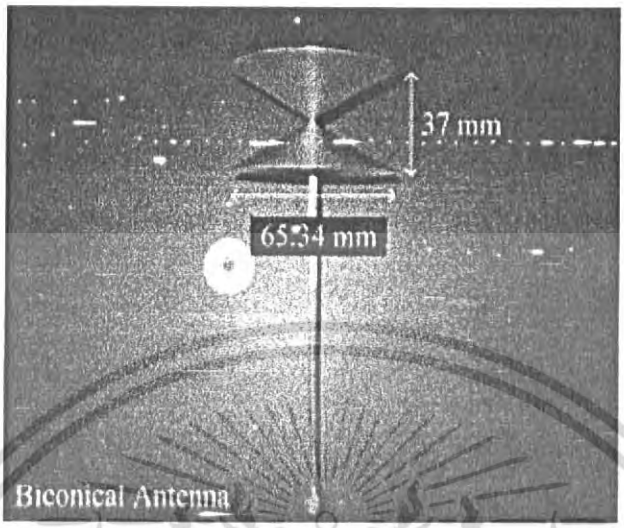
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Frequency range	3-11 GHz
2. Number of frequency points	801
3. ความสูงของเสาอากาศทางด้านส่ง	0.75 เมตร
4. ความสูงของเสาอากาศทางด้านรับ	0.75 เมตร
5. ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ	0.5-10 เมตร
6. Rx rotate range	0-360 องศา
7. Rx rotate step	30 องศา
8. Antenna type	Biconical

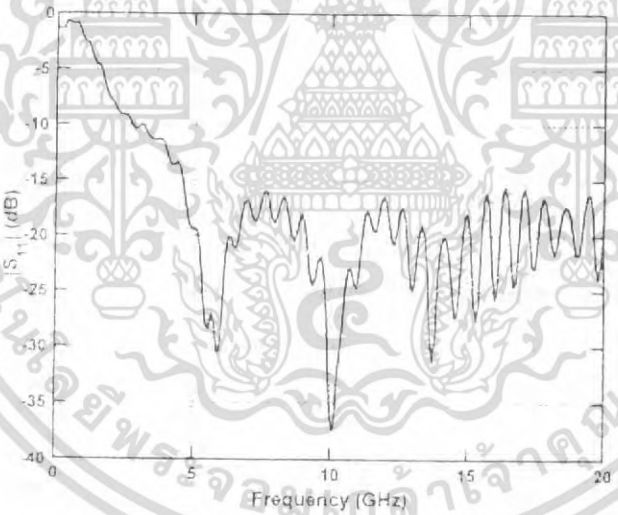


รูปที่ 3.1. มุมในการหมุนของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สายอากาศกรวยคู่ (Biconical)



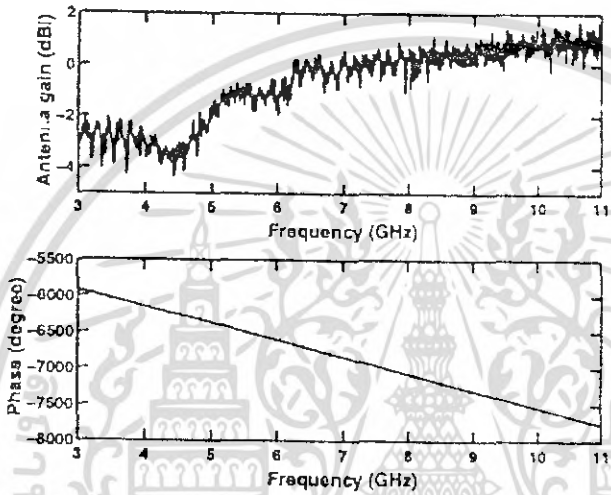
รูปที่ 3.3 คุณลักษณะของสายอากาศไบโคนิคอน

สายอากาศไบโคนิคอนเป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว การพิจารณาสายอากาศไบโคนิคอนนี้ ได้พิจารณาจากการกระจายของสายอากาศ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับกับรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์ โดยกรวยด้านบนของสายอากาศใช้ติดต่อกับสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุขณะที่กรวยด้านล่างใช้ติดต่อกับกราวด์ รูปที่ 3.3 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับ (reflection coefficient) $|S_{11}|$ ของสายอากาศไบโคนิคอน ให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz และ 10.6 GHz

ในส่วนของการแสดงถึงขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านและเฟสที่ใช้ในการส่งผ่านของสายอากาศซึ่งเป็นคุณลักษณะของสายอากาศ ไบโคนิคอน(Biconical)ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้โดยแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

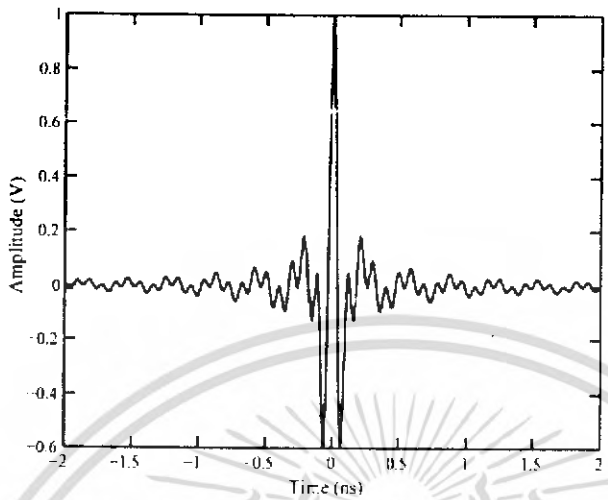


รูปที่ 3.4 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่าน (Antenna gain) และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน สายอากาศ

3.2 แบบจำลองของสัญญาณแบบ UWB

ในขั้นตอนของการตรวจสอบการสูญเสียกำลังของสัญญาณนั้นรูปแบบสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์ที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ~ 10.6 GHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม เท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รูปแบบของสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์ที่ใช้วิเคราะห์

ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น เราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่มอดูเลตแบบ passband rectangular pulse [8] ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด ($f_{\min}$) เท่ากับ 3.1 GHz, ความถี่สูงสุด ($f_{\max}$) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz ซึ่งในรูปที่ 8 แสดงรูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์ และมีนิยามดังสมการที่ (3.1)

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b}\left[f_{\max}\sin c(2f_{\max}t) - f_{\min}\sin c(2f_{\min}t)\right] \tag{3.1}$$

เมื่อ $\sin c(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$

3.3 การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ UWB

3.3.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับช่องสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์

3.1.1.1 การวิเคราะห์ระบบ UWB โดยใช้สูตรของฟรีส (Friis'Formula)

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์ โดยในระบบ แนโรแบนด์ (narrowband) โดยปรกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้ Friis' transmission formula แต่ว่ามันไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์ โดยในสูตรนั้นนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้นอาจจะผิดเพี้ยนไปเนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศโดยได้มีการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของฟรีต (Friis') เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีต (Friis') สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_r(f)G_t(f) \quad , \tag{3.2}$$

ซึ่งเมื่อ G_r และ G_t คือ อัตราการขยายสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่ง

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad , \tag{3.3}$$

ซึ่งเขียนในรูปแบบของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสัญญาณคือ

$$H_{Friis}(f) = Hf \cdot \mathrm{Hr} \cdot \mathrm{Ht} \quad , \tag{3.4}$$

การปรับปรุง Friis' formula เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลเป็น จะได้เป็นดังนี้

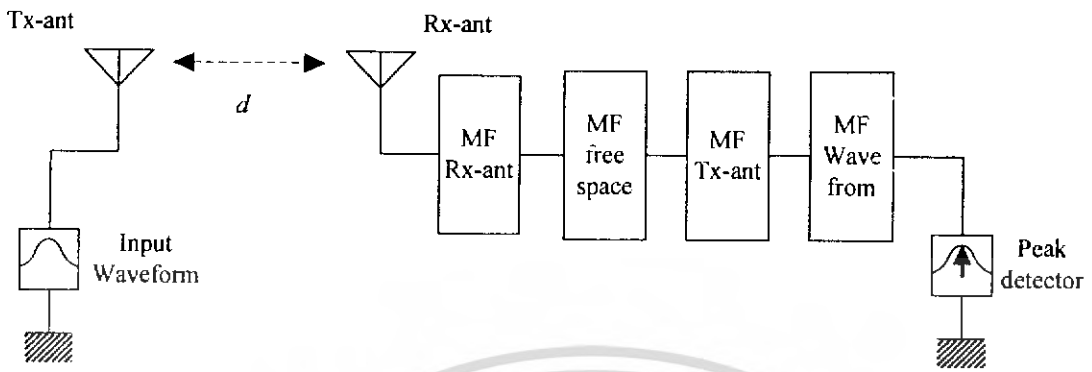
$$H_{e-Friis}(f) = Hf\,Hi \cdot \mathrm{Hr} \cdot \mathrm{Ht} \quad , \tag{3.5}$$

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิค(isotropic)

$$H_{e-Friis',Iso}(f) = H_f \cdot H_i \quad , \tag{3.6}$$

ซึ่ง H_f นั้นเป็นฟังก์ชั่นการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ Hr และ Ht เป็นเป็นฟังก์ชั่นการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับและตัวส่งตามลำดับ โดยที่สายอากาศด้านรับนั้นได้ใช้ Matched filter ในการกรองความถี่ $H_{Friis}(f)$ และถูกนำมาหาค่าสูงสุดของสัญญาณเอาท์พุตทางด้านรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการเพิ่มเติมจากสูตรของฟรีส (Friis' transmission) เพื่อนำมาใช้กับระบบอุลตราไวด์แบนด์

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H^{*}_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}(f)\right|^{2}df}}, \tag{3.7}$$

และสำหรับสมการไอโซโทรปิค(isotropic)

$$H_{MF,Iso}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H^{*}_{e-Friis,Iso}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis,Iso}(f)\right|^{2}df}}, \tag{3.8}$$

ซึ่งจาก สมการที่ได้ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดัง สมการดังนี้

$$\int_{\nabla\infty}\left|H_{MF}(f)\right|^{2}df = 2fb \ , \tag{3.9}$$

โดยในกรณีนี้ รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุต E_i และสเป็กต์ตรัมทางด้านรับจะได้เป็น $h_{e-Friis}(t)$ และ $H_{e-Friis}(f)$ ตามลำดับ รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้มาจาก แมตช์ฟิลเตอร์ $v_{MF}(t)$ จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{\sqrt{2fb}h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}h^{2}_{e-Friis}(t)dt}}, \end{aligned} \tag{3.10}$$

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิค(Isotropic)

$$v_{MF,Iso}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF,Iso}(t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sqrt{2fb}h_{e-Friis,Iso}(t) * h_{e-Friis,Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis,Iso}^2(t)dt}}, \quad (3.11)$$

สำหรับสเป็กตรัมของเอาท์พุตที่มาจากแมต์ฟิลเตอร์ $V_{MF}(f)$

$$V_{MF}(f) = H_{e-Friis}(f)H_{MF}(f)$$
$$= \frac{\sqrt{2fb}H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df}}, \quad (3.12)$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\max_t v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f)df$$
$$= \sqrt{\sqrt{2fb}\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df}, \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.13) เป็นการปรับปรุงสมการของฟรีสโดยการเพิ่มเติมไป 3 ค่า ซึ่งถูกเรียกโดยรวมว่า คุณสมบัติของความถี่เมื่อมีการแพร่กระจายในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร และสเป็กตรัมของสัญญาณที่ใช้ในการส่งซึ่งนำมาปรับปรุงอัตราการขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 3.13 สำหรับกรณี โดยทั่วไปที่มีการใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค (isotropic) นั้นจะประกอบด้วย $H_{Iso}(f) = 1$

อัตราการขยายในการส่งในย่านอุลตราไวด์แบนด์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \max_t v_{MF}(t) \Big/ \max_t v_{MF,Iso}(t), \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ (Power delay profile)

เส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ (line of sight : LOS) สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ (Power delay profile) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน และถูกลดทอนกำลังงานลงในบางมุมของการหมุนของหุ่นยนต์และสายอากาศ ซึ่งในบทความนี้ เสนอส่วนขั้นตอนของการตรวจสอบผลกระทบจากหุ่นยนต์นั้น เราได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกเลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ และกำลังงานที่ถูกลดทอนลง ซึ่งในส่วนของ การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า Power delay profile ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงผลจากการหมุนสายอากาศและหุ่นยนต์ โดยค่า การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ ได้นิยามไว้ดังนี้

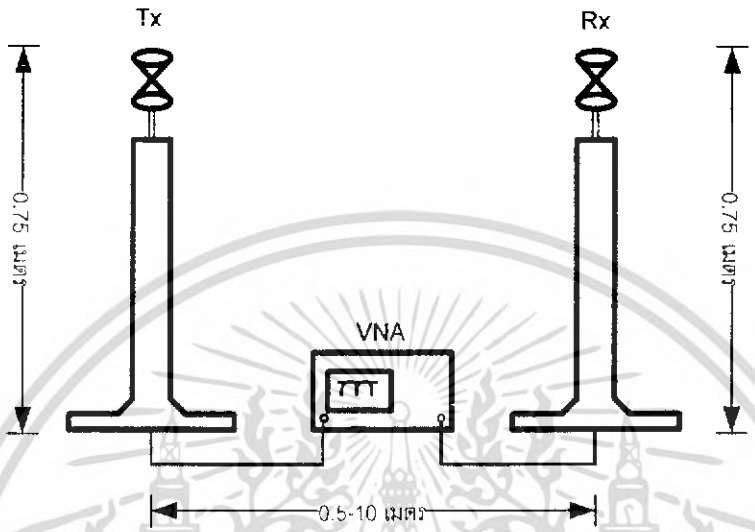
$$P_{(\tau)} = \frac{E\left|h(\tau)^2\right|}{2} \tag{3.15}$$

เมื่อ E คือ การประมาณ (Expectation)

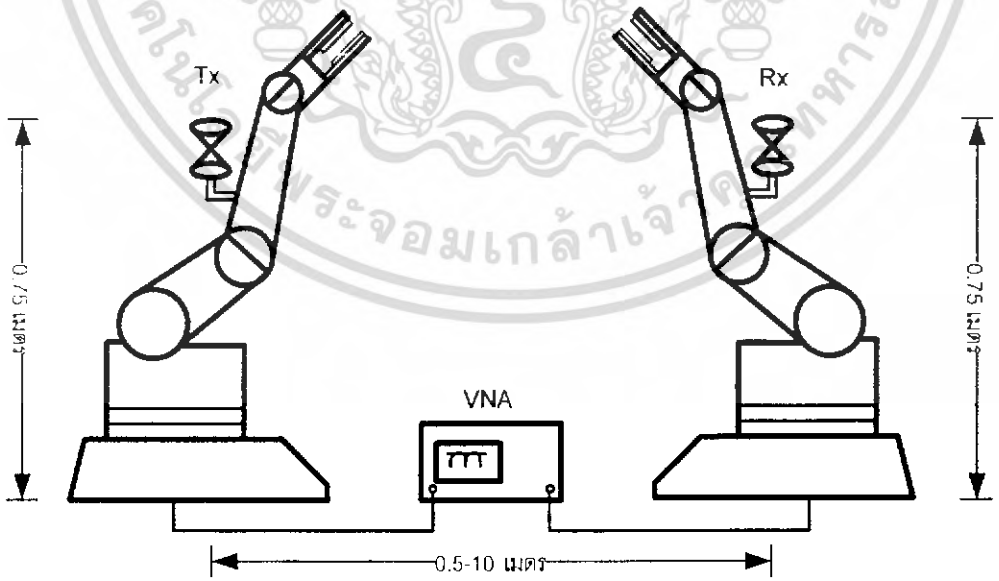
$h(\tau)$ คือ ผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ (Channel impulse response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 รูปแบบโมเดล

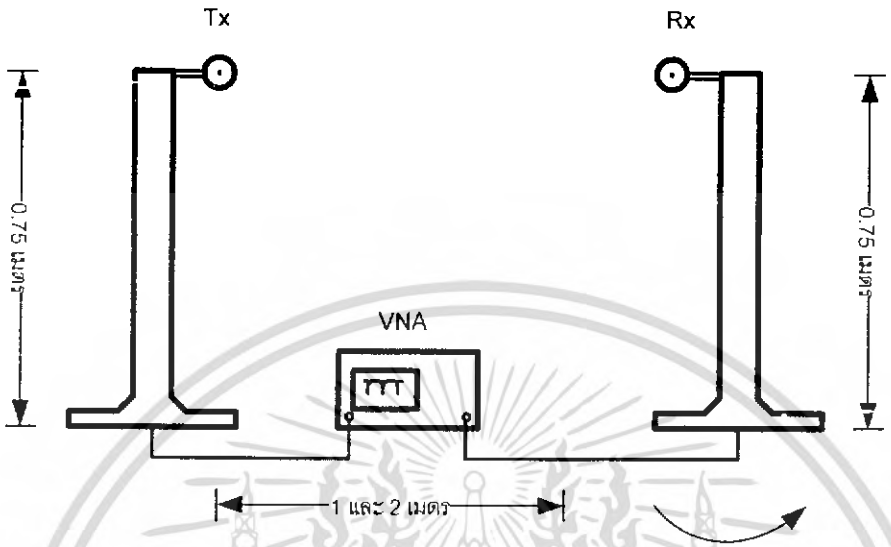


รูปที่ 3.7 โมเดลที่1

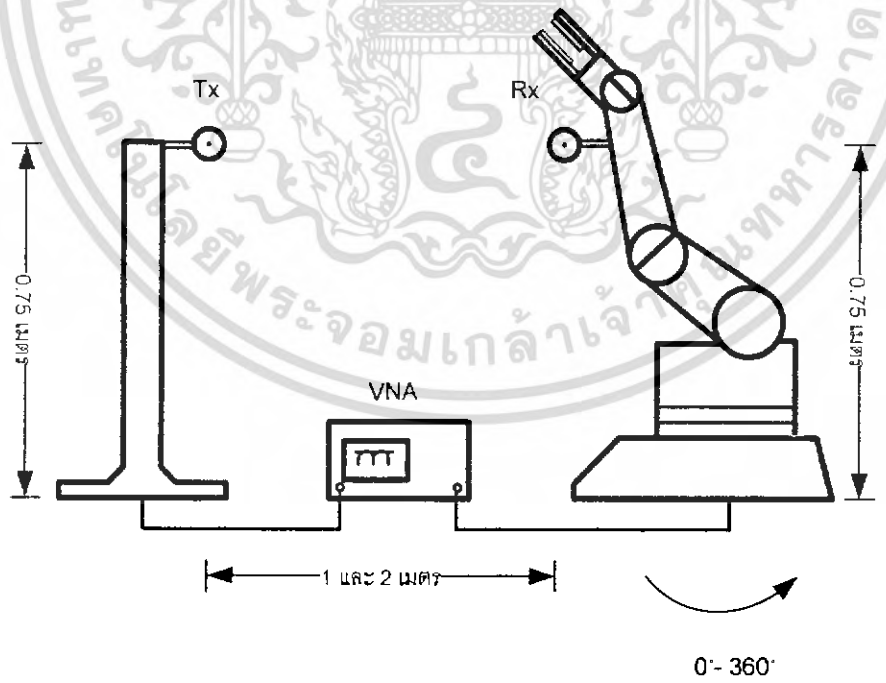


รูปที่ 3.8 โมเดลที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

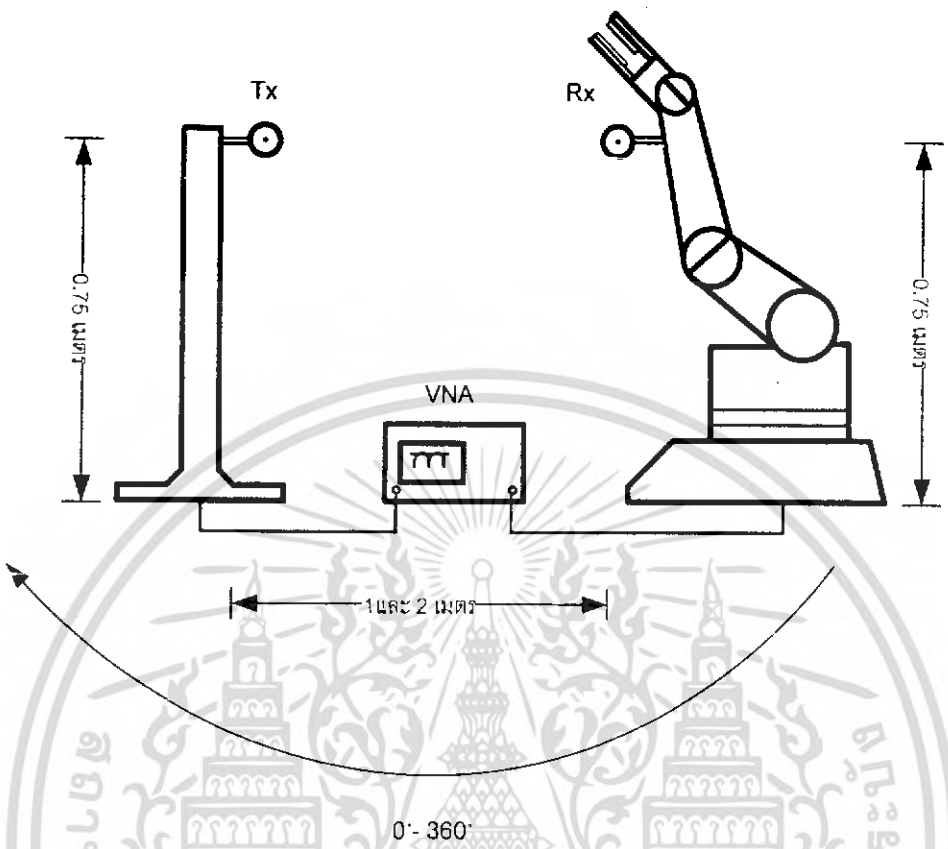


รูปที่ 3.9 โมเดลที่3



รูปที่ 3.10 โมเดลที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 โมเดลที่ 5

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการจัดตั้งอุปกรณ์ตามแบบที่กำหนดไว้ในโมเดล

2. ทำการ warm up เครื่อง Vector Network Analyzer ประมาณ 60 นาที และ Calibrate แบบ Full-Two Port ร่วมกับสารเคเบิล

3. ทำการเชื่อมต่อสายอากาศทั้งสองข้างเข้ากับ Port 1 และ Port 2 ของเครื่อง VNA โดยที่ power เดียวกัน และ ความถี่เดียวกัน

4. ทำการวัดสัญญาณตามโมเดลที่วางไว้

4.1 ทำการวัดตามโมเดลที่ 1 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 0.5 เมตร,1 เมตร, 1.5 เมตร ไปเรื่อยๆจนครบ 10 เมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกผล

4.2 ทำการวัดตามโมเดลที่ 2 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 0.5 เมตร,1 เมตร, 1.5 เมตร ไปเรื่อยๆจนครบ 10 เมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกผล

4.3 ทำการวัดตามโมเดลที่ 3 จะทำการวัดเป็นสองระยะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 1เมตร แล้วทำการหมุนสายอากาศ ทางด้านรับ หมุนรอบตัวเองทีละ 30 องศา แล้วบันทึกผล ทำอย่างนี้ ไปจนครบ 0-360 องศา

4.3.2 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 2 เมตร แล้วทำการหมุน สายอากาศ ทางด้านรับ หมุนรอบตัวเองทีละ 30 องศา แล้วบันทึกผล ทำอย่างนี้ ไปจนครบ 0-360 องศา

4.4 ทำการวัดตามโมเดลที่ 4 จะทำการวัดเป็นสองระยะคือ

4.4.1 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 1เมตร แล้วทำการหมุนตัวโรบอททางด้านรับ หมุนรอบตัวเองทีละ 30 องศา แล้วบันทึกผล ทำอย่างนี้ ไปจนครบ 0-360 องศา

4.4.2 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 2 เมตร แล้วทำการหมุนตัวโรบอททางด้านรับ สาย หมุนรอบตัวเองทีละ 30 องศา แล้วบันทึกผล ทำอย่างนี้ ไปจนครบ 0-360 องศา

4.5 ทำการวัดตามโมเดลที่ 5 จะทำการวัดเป็นสี่ระยะคือ

4.5.1 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 1 เมตร แล้วทำการหมุนตัวโรบอท โดยทำการหมุนรอบ สายอากาศทางด้านส่ง หมุนเป็นวงกลมรัศมี 1 เมตร ทำการวัดทีละ 30 องศา โดยหมุนตัวหุ่นไปเรื่อยๆจนครบ 360 องศาแล้วทำการบันทึกผล

4.5.2 ทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 2 เมตร แล้วทำการหมุนตัวโรบอท โดยทำการหมุนรอบ สายอากาศทางด้านส่ง หมุนเป็นวงกลมรัศมี 2 เมตร ทำการวัดทีละ 30 องศา โดยหมุนตัวหุ่นไปเรื่อยๆจนครบ 360 องศาแล้วทำการบันทึกผล

5. นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เป็นกราฟออกมา โดยใช้โปรแกรมแมทแลป

6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดคุณสมบัติสายอากาศ

ชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศสามารถวัดค่า เอส – พารามิเตอร์ เพื่อหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ [Retrun loss : S_{11} (dB)] วัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่อแรงดัน (VSWR) ของสายอากาศว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยกว่า 2 และวัดค่าเฟส (Phase) ของสายอากาศ

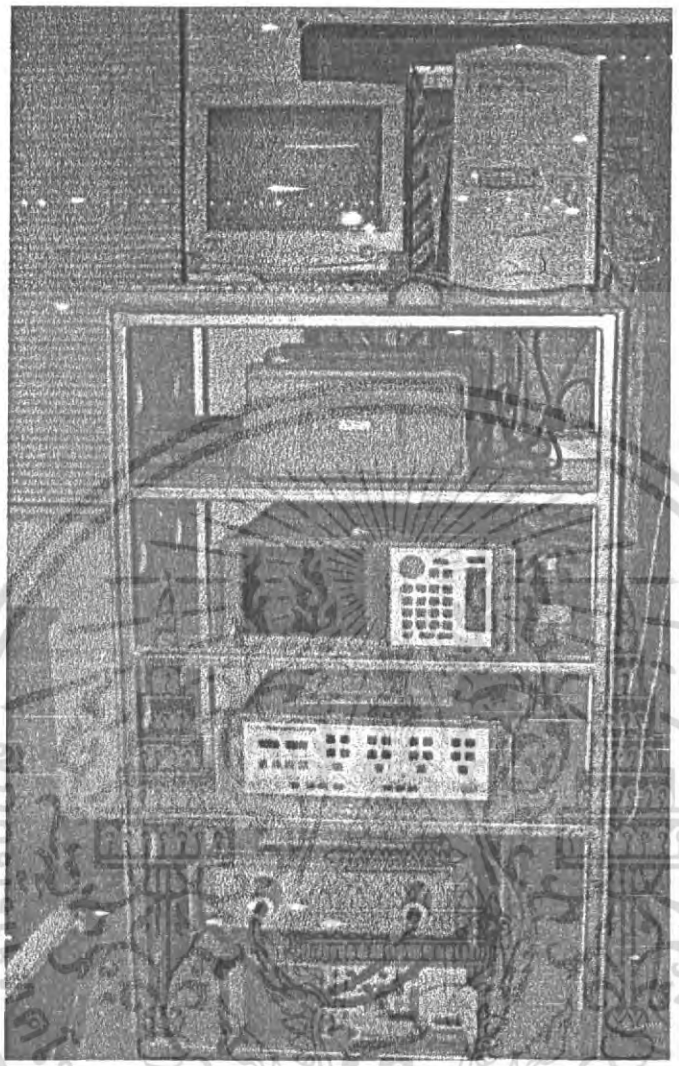
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศ
   - 1.1 เครื่อง 8150C Network Analyzer
   - 1.2 เครื่อง 8514B S-Parameter Test Set (45 MHz – 20 GHz)
   - 1.3 เครื่อง8360 Series Synthesized Sweeper (10 MHz – 20 GHz)
2. ชุดปรับเทียบค่า85052B (Calibation kit 85052B 3.5 mm)
3. สายอากาศที่ใช้ในการวัด

4.1.2 ขั้นตอนการวัด

1. เปิดเครื่องวัดคุณสมบัติสายอากาศทุกตัว
2. ทำการปรับเทียบค่าเครื่องด้วยชุดเปรียบเทียบค่าซึ่งประกอบไปด้วยตัวรัดวงจร(Shot circuit), ตัวเปิดวงจร (Open circuit) และโหลดบอร์ดแบนด์ (Load Boradband)
3. ต่อสายอากาศที่ต้องการวัดเข้ากับชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศ
4. เลือกเมนู (Manu) วัดค่า เอส – พารามิเตอร์, ค่าอัตราคลื่นนิ่งต่อแรงดันและค่าเฟส
5. บันทึกค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

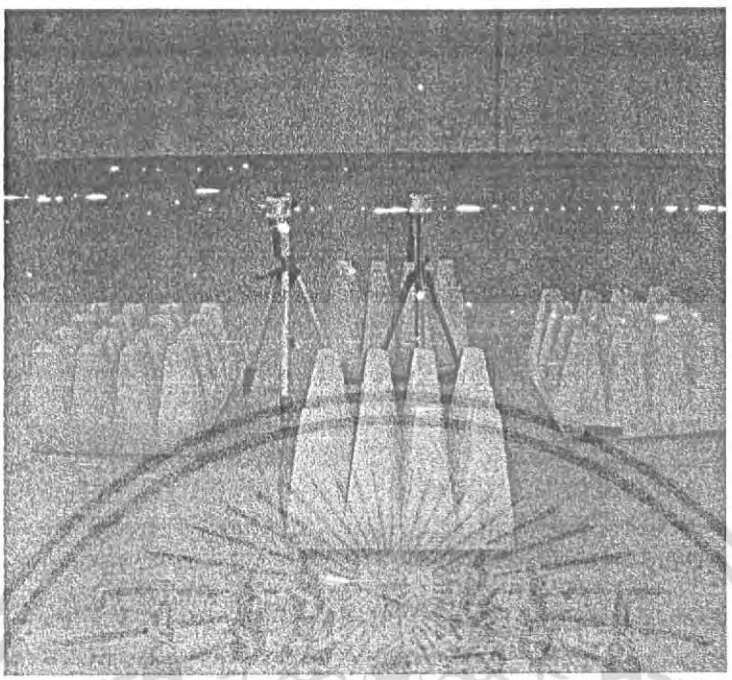


รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(Network Analayzer)

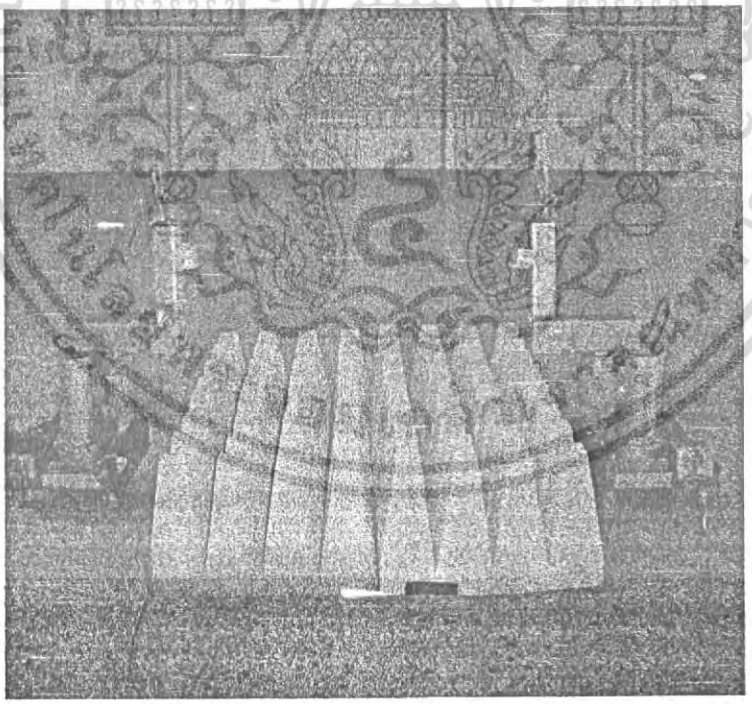
4.2 ผลการทดลองของโมเดลที่ 1 และโมเดลที่ 2

เมื่อทำการทดลองตามโมเดลที่ได้กำหนดไว้ คือ โมเดล 1 และโมเดล 2 แล้วนำผลที่จากการทดลองนั้นมาวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียเชิงวิถี หรือค่า (Path loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

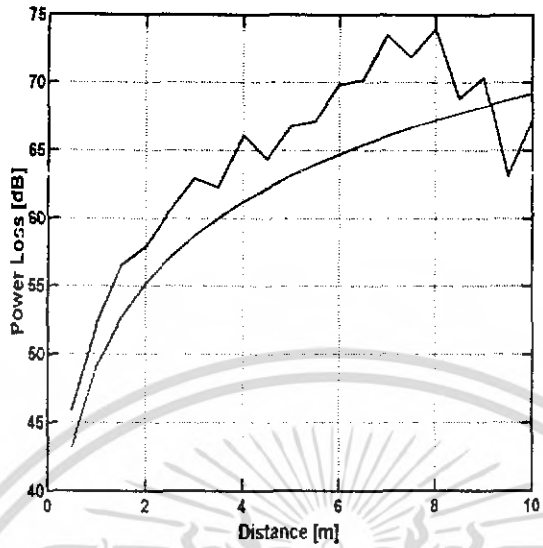


รูปที่ 4.2 ภาพ การวัดโมเดลที่ 1

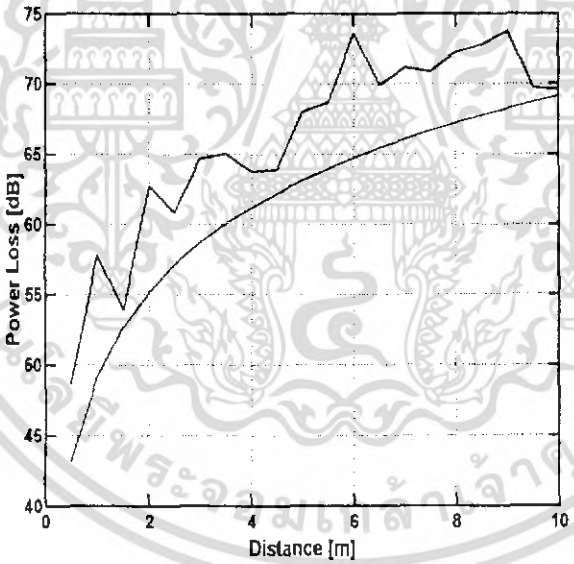


รูปที่ 4.3 ภาพการวัดโมเดลที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 1



รูปที่ 4.5 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 2

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี ของโมเดลที่1 และโมเดลที่ 2 ในรูปของกราฟ ที่ระยะ 0.5 เมตร ถึง 10 เมตร

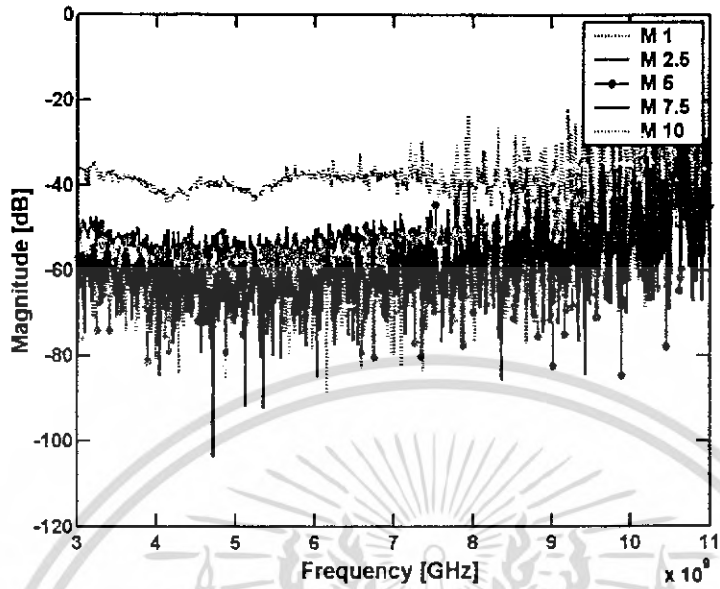
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 1 และโมเดล 2

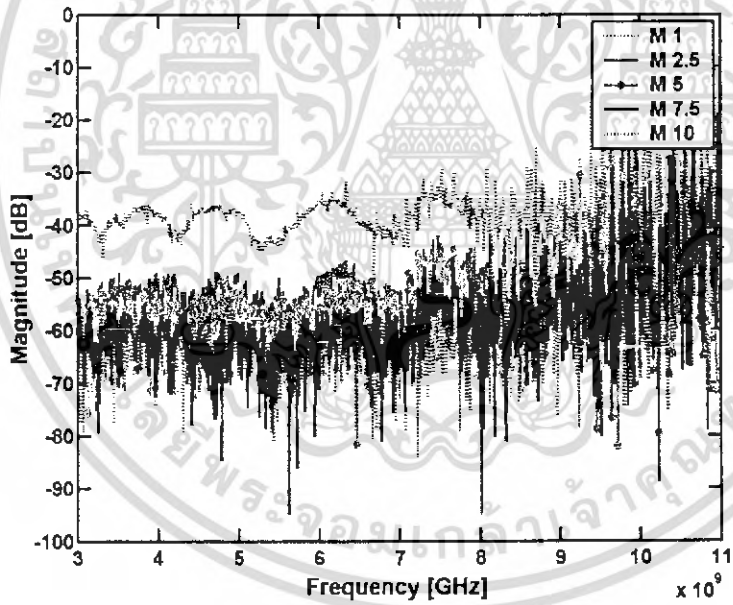
ระยะทางระหว่างภาคส่ง – ภาครับ (เมตร)	Phath loss(dB)	
	โมเดลที่ 1	โมเดลที่ 2
0.5	45.863	48.69
1	52.226	57.834
1.5	56.566	53.92
2	57.921	62.743
2.5	60.535	60.844
3	62.956	64.69
3.5	62.287	65.065
4	66.131	63.763
4.5	64.383	63.91
5	66.801	68.011
5.5	67.191	68.694
6	69.859	73.613
6.5	70.204	69.936
7	73.494	71.165
7.5	71.866	70.877
8	73.989	72.249
8.5	68.836	72.767
9	70.356	73.771
9.5	63.131	69.736
10	67.315	69.624

จากตารางที่ 4.1 นั้นเป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 1 และ โมเดล 2 ที่ระยะ 0.5 เมตร ถึง 10 เมตร ซึ่งจากผลการทดลองนั้น จะเห็นว่า ค่าการสูญเสียของโมเดลที่ 2 นั่นมีค่าการสูญเสียกำลังในการส่งมากกว่าโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



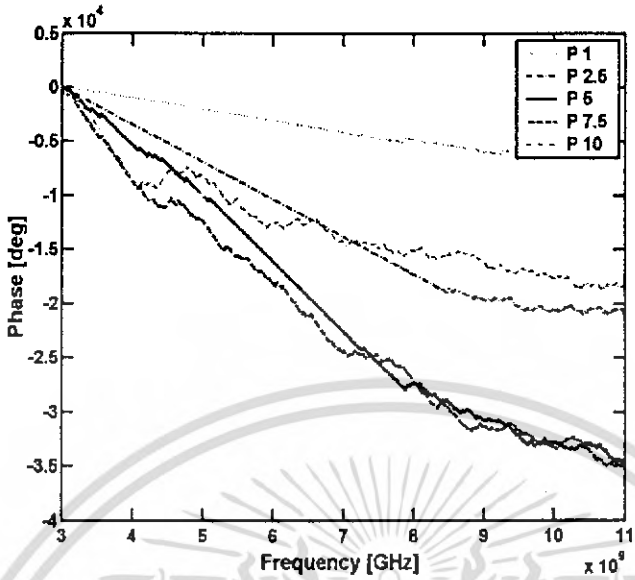
รูปที่ 4.6 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 1



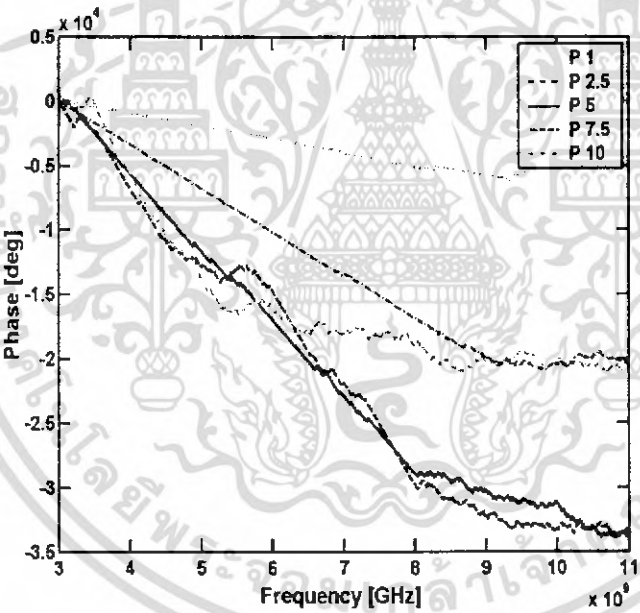
รูปที่ 4.7 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 2

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 นั้น ผลที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณ ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งโดยเริ่มตั้งแต่ 0.5 – 10 เมตร โดยเพิ่มระยะทางขึ้นครั้งละ 0.5 เมตร เมื่อระยะทางของทางด้านรับ และทางด้านส่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่า Magnitude นั้นมีค่าลดลง แล้วเมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่สองนั้น ค่าของ Magnitude นั้น จะมีค่าน้อยกว่า สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



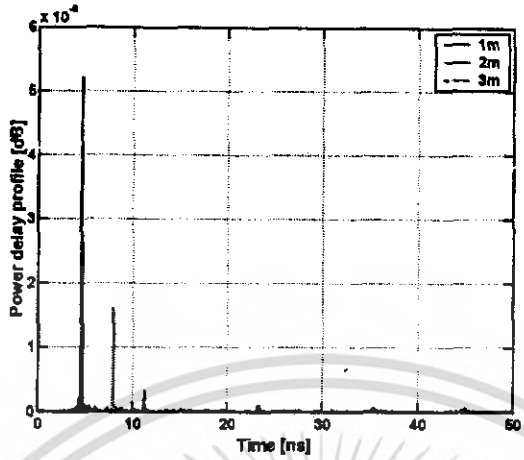
รูปที่ 4.8 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 1



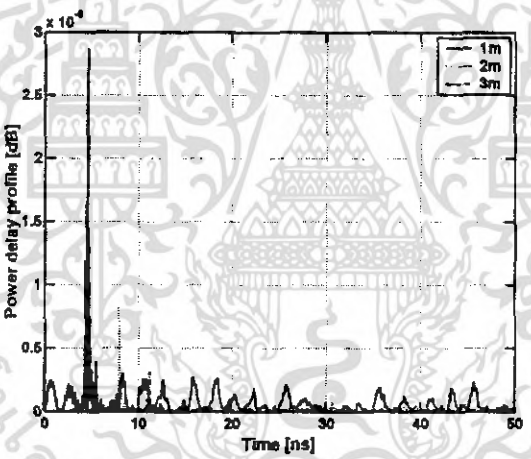
รูปที่ 4.9 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 2

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 นั้น ผลที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณ ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งโดยเริ่มตั้งแต่ 0.5 – 10 เมตร โดยเพิ่มระยะทางขึ้นครั้งละ 0.5 เมตร เมื่อระยะทางของทางด้านรับ และทางด้านส่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่าเฟสนั้น ไม่เรียบ ซึ่งทำให้การรับสัญญาณทางด้านรับนั้นรับได้ไม่ดี แล้วเมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่สองนั้น ค่าของ เฟส นั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 1

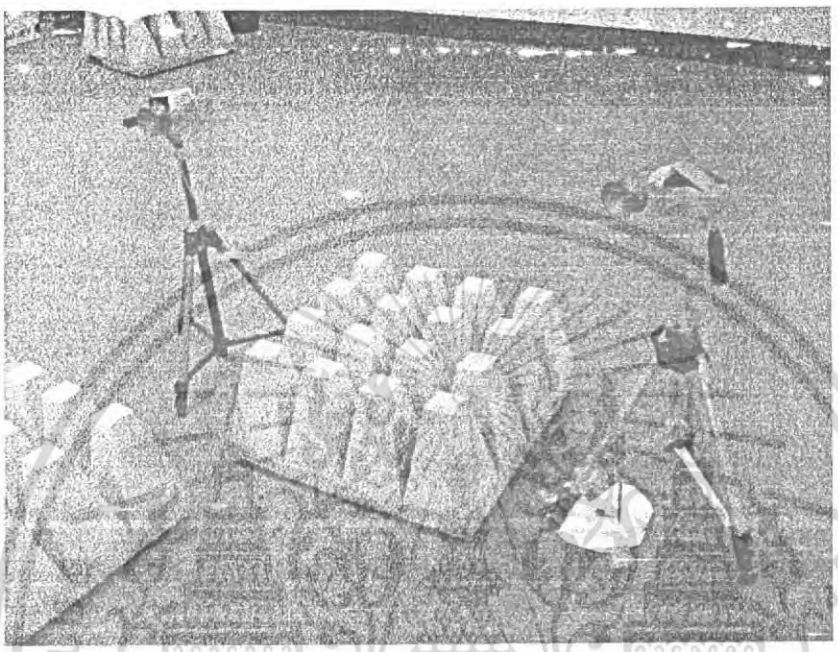


รูปที่ 4.11 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 2

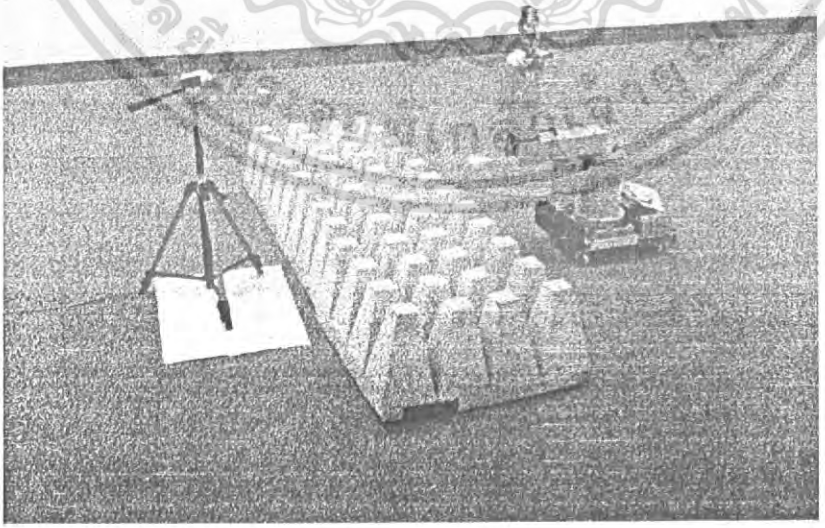
จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 นั้น ผลที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณ ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งโดยเริ่มตั้งแต่ 0.5 – 10 เมตร โดยเพิ่มระยะทางขึ้นครั้งละ 0.5 เมตร เมื่อระยะทางของทางด้านรับ และทางด้านส่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่ากำลังงานที่ได้รับนั้นมีค่าน้อยลงไป และระยะเวลา ที่ได้รับนั้น ก็จะช้าลงไปด้วย แล้วเมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่สองนั้น ค่าของกำลังงานที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าและค่าระยะเวลานั้นจะใช้มากกว่า สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองของโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4

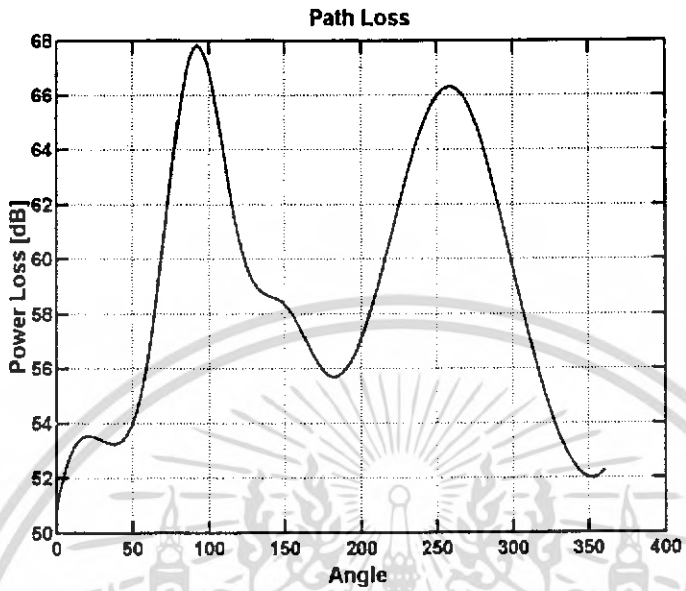


รูปที่ 4.12 ภาพการวัดโมเดลที่ 3

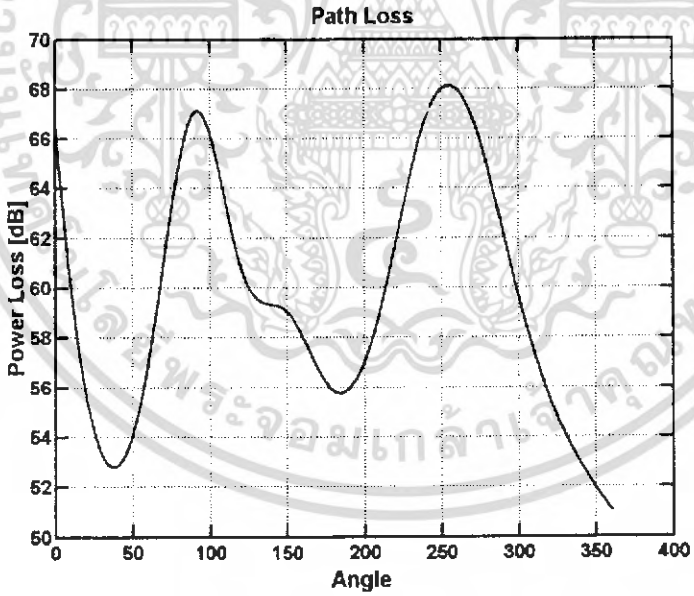


รูปที่ 4.13 ภาพการวัดโมเดลที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดล 3 ที่ระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.15 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 4 ระยะ 1เมตร

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าการศูนย์เสียเชิงวิถี ของโมเดลที่3 และโมเดลที่ 4 ในรูปของกราฟ ที่ระยะทาง 1 เมตร และมุมในการหมุนรอบตัวเองทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา

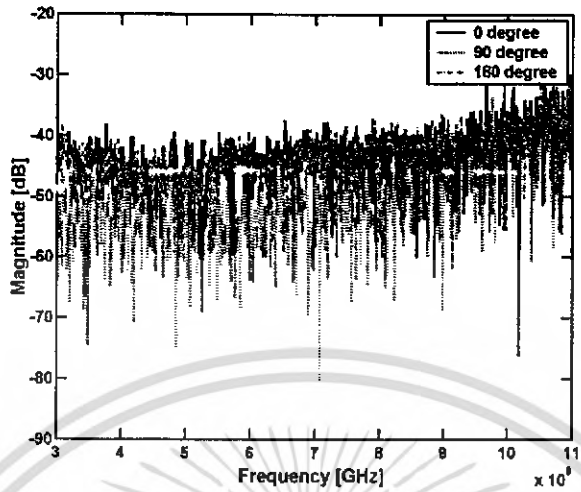
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 3 และ โมเดล 4 ที่ระยะ 1 เมตร

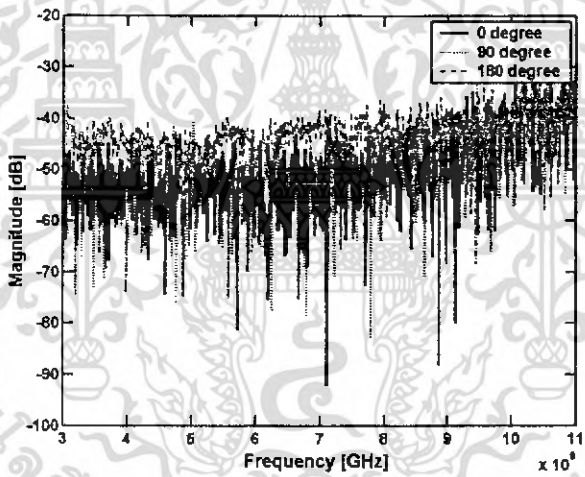
มุม (องศา)	Phath loss (dB) ที่ระยะ 1 เมตร	
	โมเดลที่ 3	โมเดลที่ 4
0	50.794	66.601
30	53.376	53.358
60	56.375	56.951
90	67.729	67.082
120	60.63	60.773
150	58.336	59.035
180	55.718	55.854
210	58.795	59.021
240	64.817	66.805
270	65.711	66.891
300	59.609	59.599
330	53.644	54.127
360	52.261	51.040

จากตารางที่ 4.2 นั้นเป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 3 และ โมเดล 4 ที่ระยะ 1 เมตร ซึ่งจากผลการทดลองนั้น จะเห็นว่า ค่าการสูญเสียของโมเดลที่ 4 นั่นมีค่าการสูญเสียมากกว่าโดยเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมที่หมุนตัวเองทางด้านรับ ซึ่งที่มุม 0 องศา และ 180 องศา นั้นมีค่าการสูญเสีย น้อย กว่า มุมอื่นๆ ส่วนที่มุม 90 และ 270 นั้น ค่าการสูญเสียของกำลังงานที่ส่งจะมีค่ามาก กว่ามุมอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



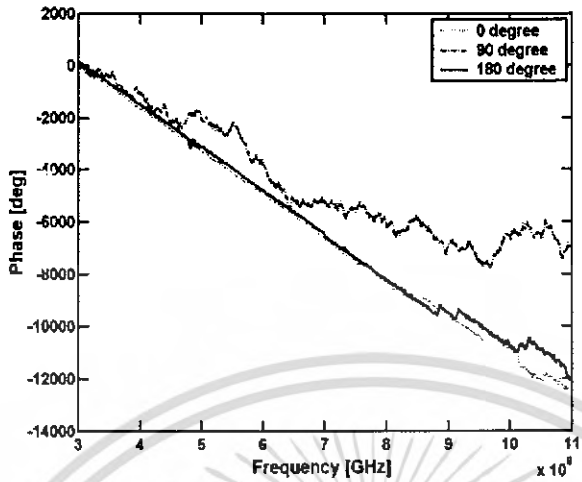
รูปที่ 4.16 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร



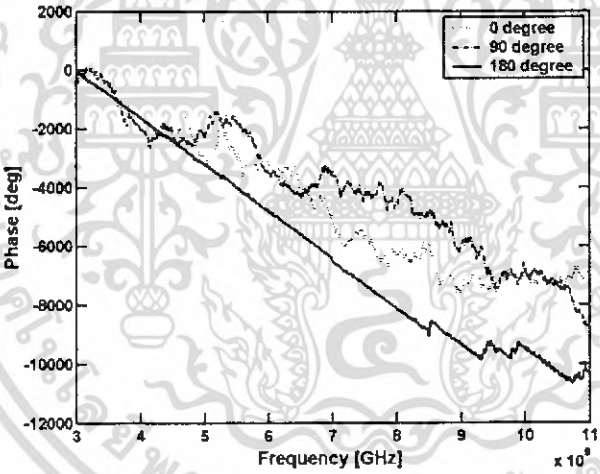
รูปที่ 4.17 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัดโมเดลที่ 4 ที่ระยะ 1 เมตร

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 นั้น เป็นผลการเปรียบเทียบขนาดฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด ระหว่างโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4 ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งที่ระยะ 1 เมตร โดยวัดโดยหมุนสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา โดยหมุนทีละ 30 องศา ค่า Magnitude นั้นมีค่าลดลง เมื่อหมุน ในมุมที่ 90 องศา และ 270 องศา แล้วเมื่อและมีค่าที่ดี เมื่ออยู่ในมุมที่ 0 องศา 180 องศา และ 360 องศา เมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่ 2 นั้น ค่าของ Magnitude นั้น จะมีค่าน้อยกว่า สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น เมื่อเทียบกับระยะทาง และ มุมที่หมุน

ลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



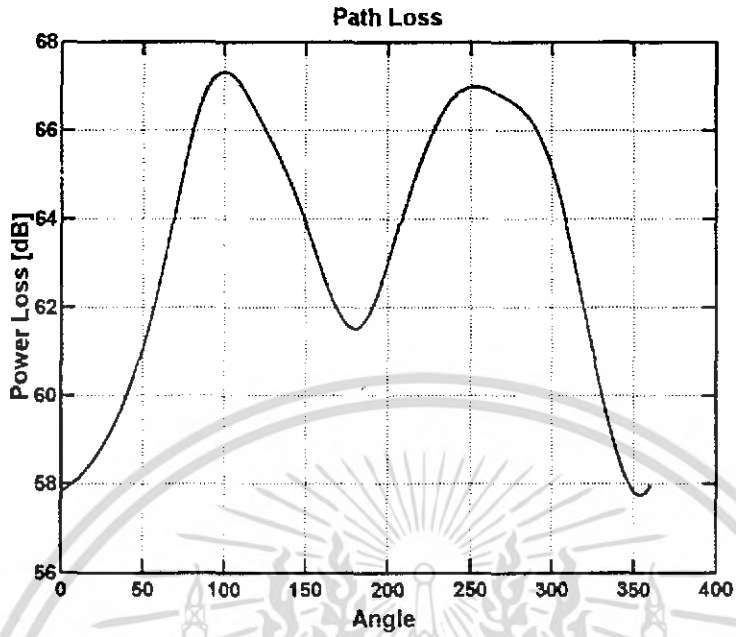
รูปที่ 4.18 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร



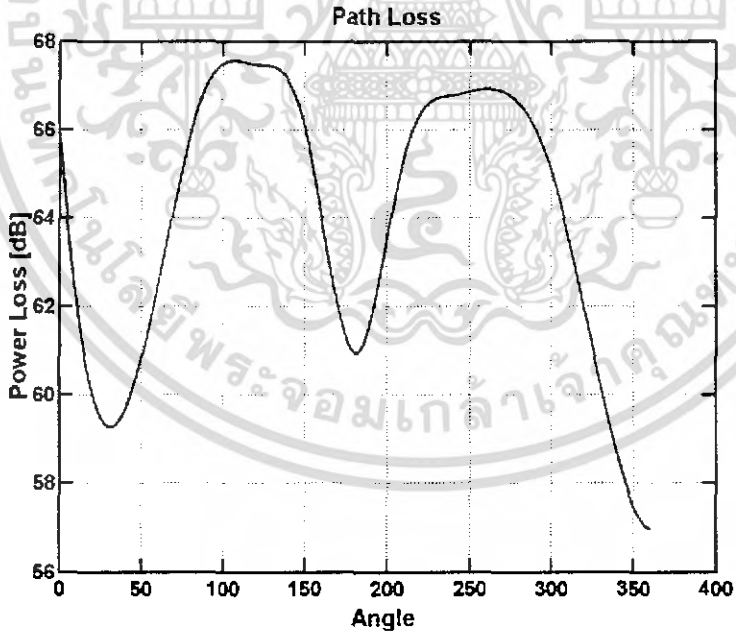
รูปที่ 4.19 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 4 ที่ระยะ 1 เมตร

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 ผลการเปรียบเทียบเฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด ระหว่างโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4 ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งที่ระยะ 1 เมตร โดยวัดโดยหมุนสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา โดยหมุนทีละ 30 องศา ค่าเฟสนั้น โดยค่า เฟสจะสามารถรับสัญญาณได้ดี ที่มุม 0 องศา 180 องศา และ 360 องศาและรับสัญญาณได้ไม่ดี ที่มุม 90 องศา และ 270 องศา ซึ่งค่าเฟสจะไม่เรียบแล้ว เมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่สองนั้น ค่าของ เฟส นั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 3 ระยะ 2เมตร



รูปที่ 4.21 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 4 ระยะ 2เมตร

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าการศูนย์เสียเชิงวิถี ของโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4 ในรูปของกราฟ ที่ระยะ 2 เมตร และมุมในการหมุนรอบตัวเองทางด้านรับ ตั้งแต่ 0องศา ถึง 360 องศา

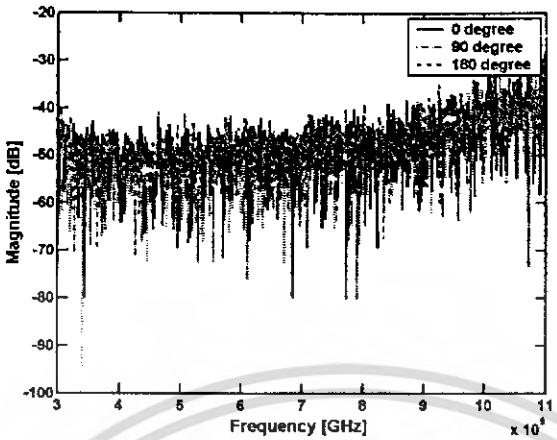
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 3 และ โมเดล 4 ที่ระยะ 2 เมตร

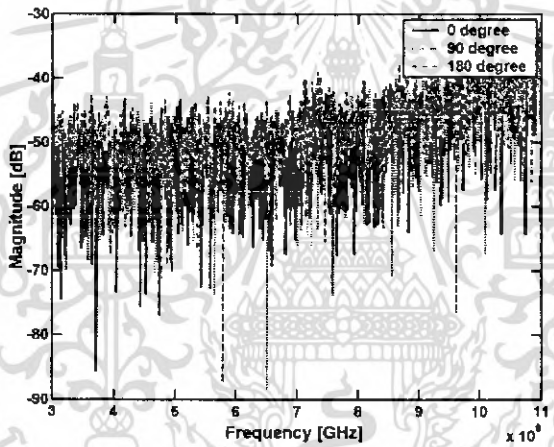
มุม (องศา)	Phath loss (dB) ที่ระยะ 2 เมตร	
	โมเดลที่ 3	โมเดลที่ 4
0	57.817	66.045
30	59.168	59.278
60	62.503	62.44
90	66.982	66.997
120	66.401	67.47
150	63.903	66.056
180	61.517	60.949
210	64.178	65.304
240	66.739	66.776
270	66.755	66.873
300	65.124	65.054
330	60.090	60.182
360	57.982	56.969

จากตารางที่ 4.3 นั้นเป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 3 และ โมเดล 4 ที่ระยะ 2 เมตร ซึ่งจากผลการทดลองนั้น จะเห็นว่า ค่าการสูญเสียของโมเดลที่ 4 นั่นมีค่าการสูญเสียมากกว่าโดยเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมที่หมุนตัวเองทางด้านรับ ซึ่งที่มุม 0 องศา และ 180 องศา นั้นมีค่าการสูญเสีย น้อย กว่า มุมอื่นๆ ส่วนที่มุม 90 และ 270 นั้น ค่าการสูญเสียของกำลังงานที่ส่งจะมีค่ามาก กว่ามุมอื่นๆ และที่ระยะทาง 2 เมตรนี้ ก้จะมีค่าค่าการสูญเสียของกำลังงานที่ส่งจะมีค่ามาก ที่ระยะทาง 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



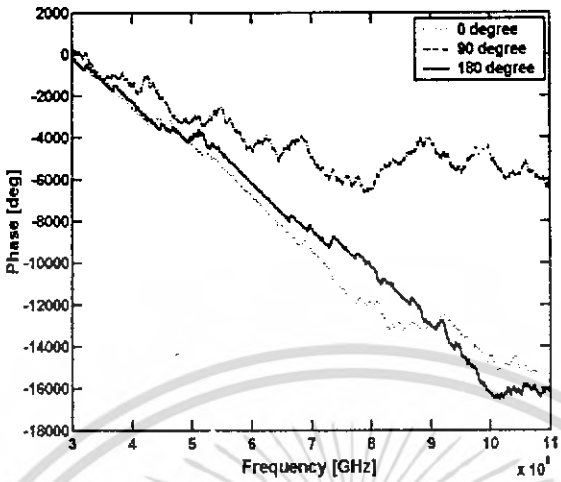
รูปที่ 4.22 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร



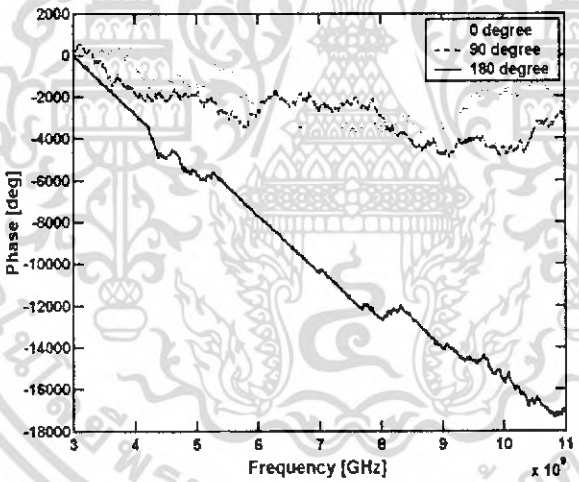
รูปที่ 4.23 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 นั้น เป็นผลการเปรียบเทียบขนาดฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด ระหว่างโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4 ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งที่ระยะ 2 เมตร โดยวัดโดยหมุนสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา โดยหมุนทีละ 30 องศา ค่า Magnitude นั้นมีค่าลดลง เมื่อหมุน ในมุมที่ 90 องศา และ 270 องศา แล้วเมื่อและมีค่าที่ดี เมื่ออยู่ในมุมที่ 0 องศา 180 องศา และ 360 องศา เมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่ 2 นั้น ค่าของ Magnitude นั้น จะมีค่าน้อยกว่า สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น เมื่อเทียบกับระยะทาง และ มุมที่หมุน แต่ที่ระยะ 2 เมตร นี้ ค่า Magnitude จะน้อยกว่า ที่ระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



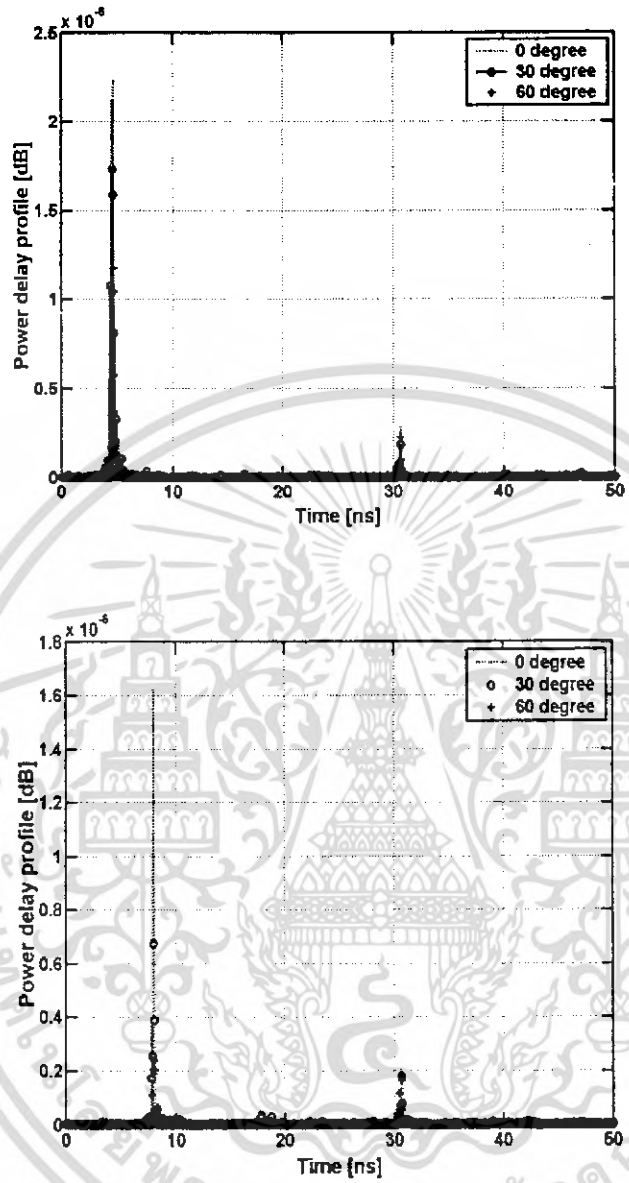
รูปที่ 4.24 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 2 เมตร



รูปที่ 4.25 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด โมเดลที่ 4 ที่ระยะ 2 เมตร

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 ผลการเปรียบเทียบเฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จาก การวัด ระหว่างโมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4 ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดยมีระยะ ห่างกันของทาง ด้านรับและด้านส่งที่ระยะ 2 เมตร โดยวัดโดยหมุนสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา โดยหมุนทีละ 30 องศา ค่าเฟสนั้น โดยค่า เฟสจะสามารถรับสัญญาณได้ดี ที่มุม 0 องศา 180 องศา และ 360 องศาและรับสัญญาณได้ไม่ดี ที่มุม 90 องศา และ 270 องศา ซึ่งค่าเฟสจะไม่เรียบ แล้ว เมื่อนำเอาสองโมเดลนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ สายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น และติดกับตัวหุ่นนั้น เมื่อนำสายมาติดเข้ากับตัวหุ่นตามโมเดลที่สองนั้น ค่าของ เฟส นั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

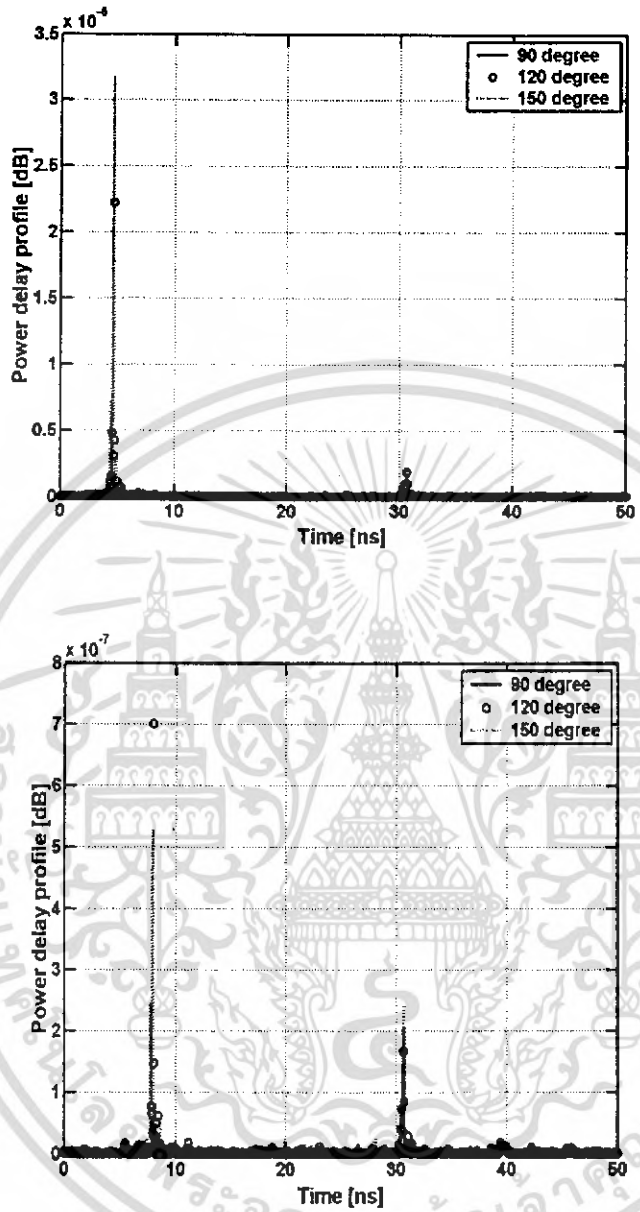
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 0,30,60 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.26 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 0 องศา 30 องศา และ 30 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

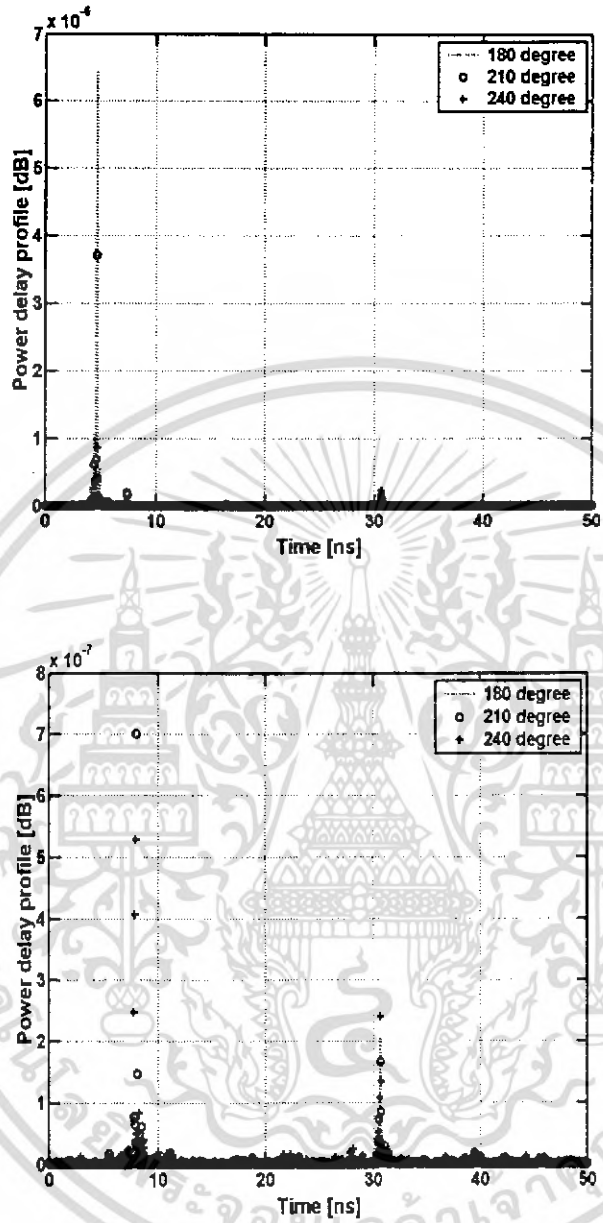
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 90,120,150
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.27 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 90 องศา 120 องศา และ 150 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

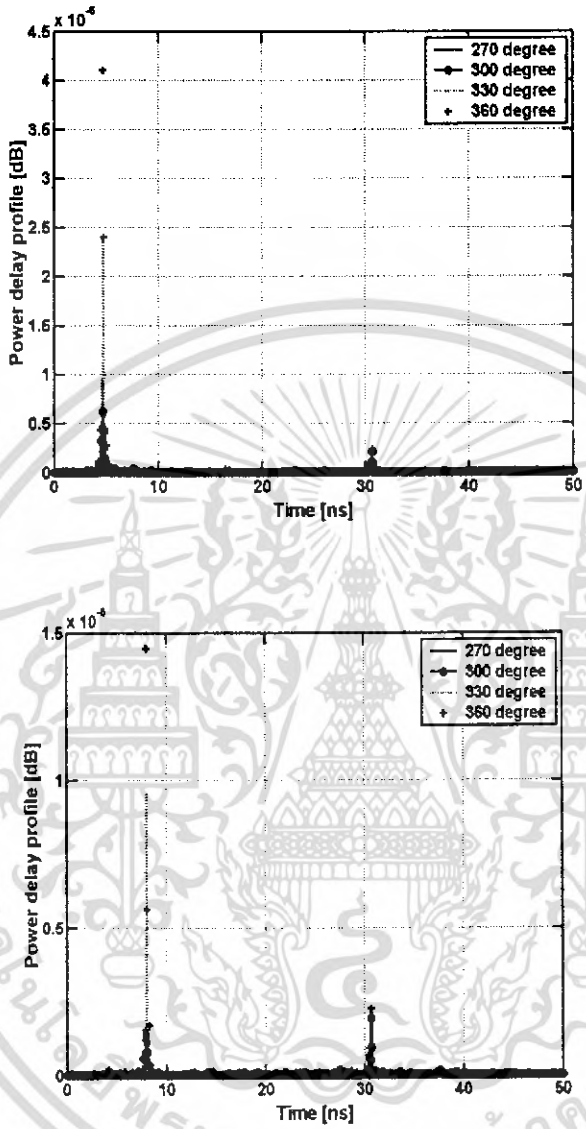
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 180,210,240 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.28 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 180 องศา 210 องศา และ 240 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

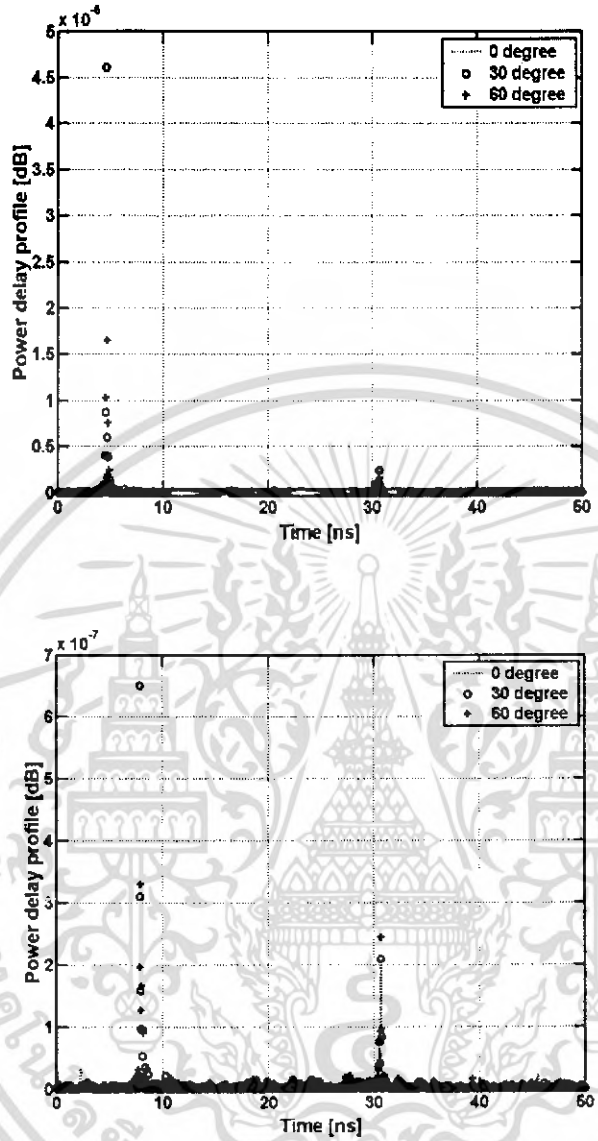
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ที่มุม 270,300,330,360 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.29 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 3 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 270 องศา 300 องศา 330 องศา และ 360 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

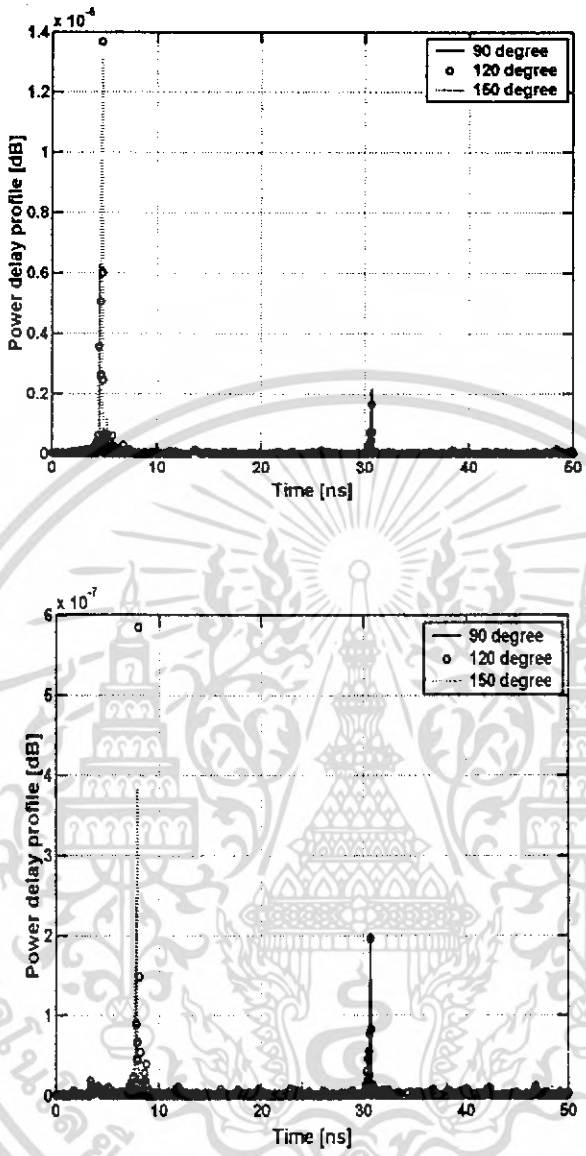
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 0,30,60
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.30 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ดิดกับตัวหุ่น ที่มุม 0 องศา 60 องศา และ 90 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

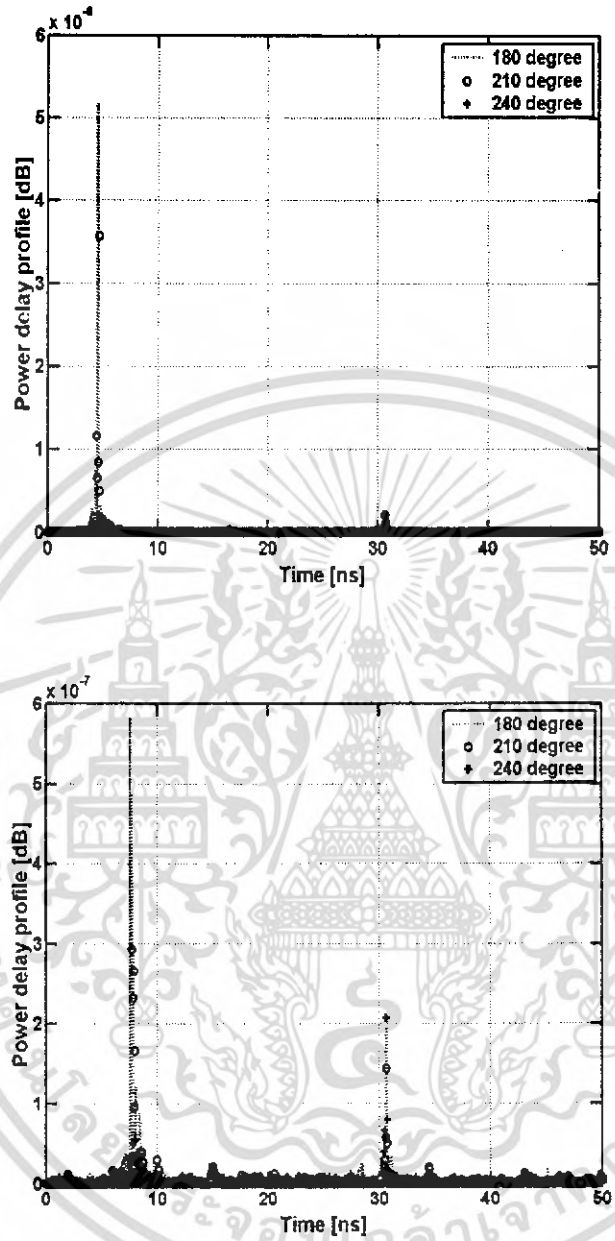
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 90,120,150 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.31 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 90 องศา 120 องศา และ 150 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

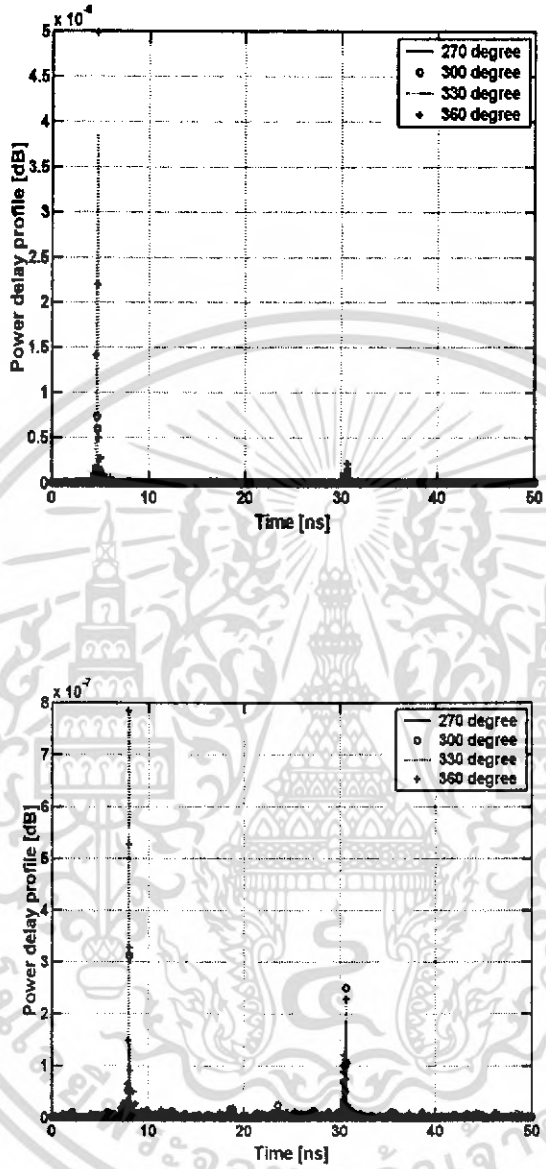
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 180,210,240
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.32 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 180 องศา 210 องศา และ 240 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

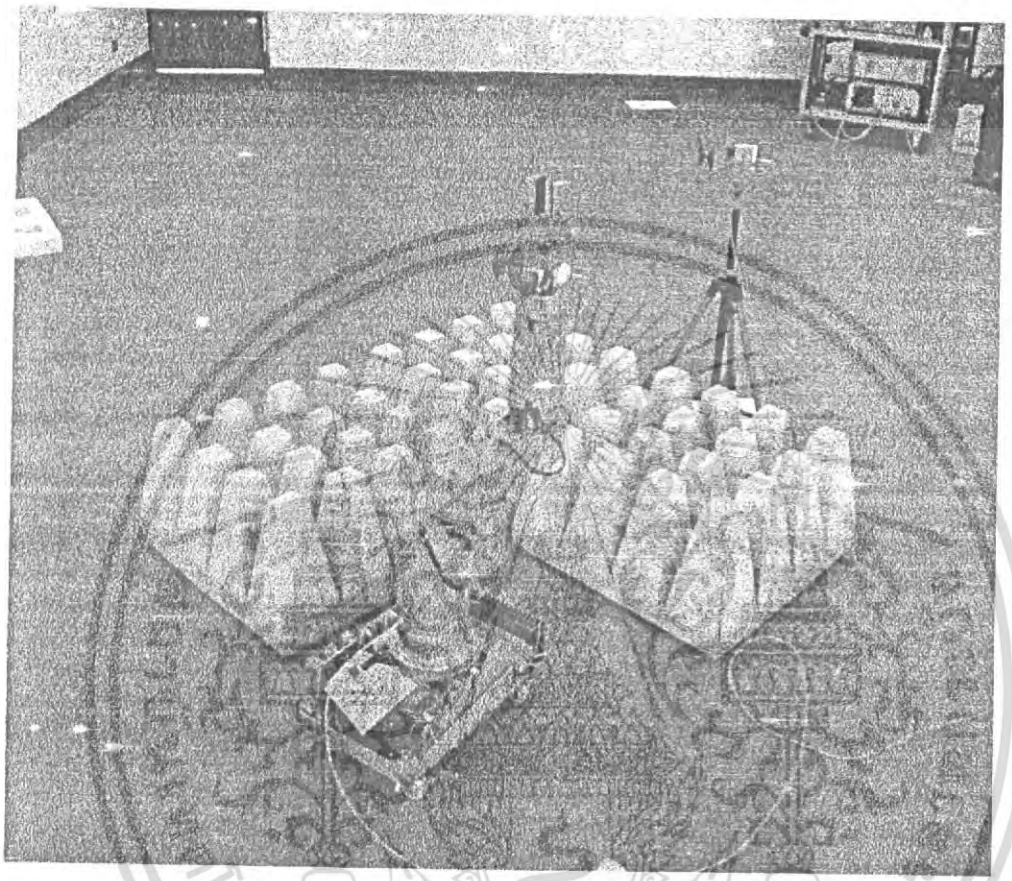


รูปที่ 4.33 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ที่มุม 270,300,330,360 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.33 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 4 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 270 องศา 300 องศา 330 องศา และ 360 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

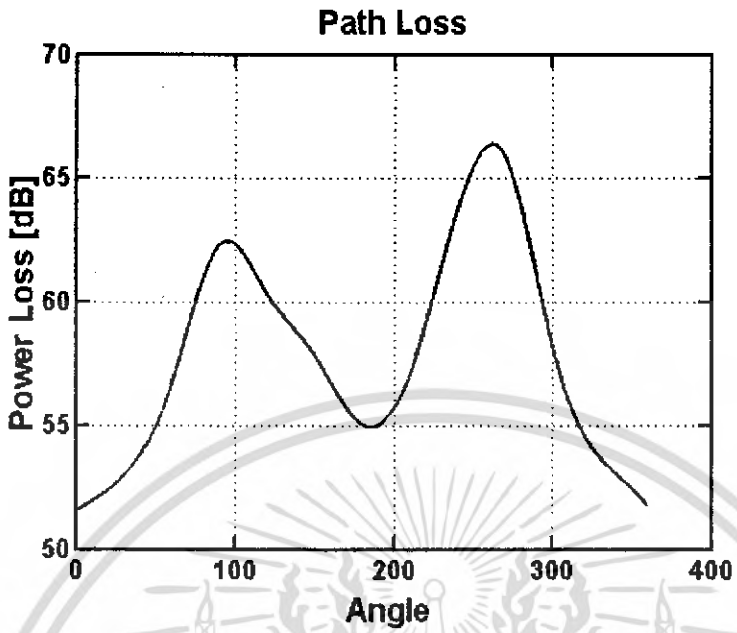
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองของโมเดลที่ 5

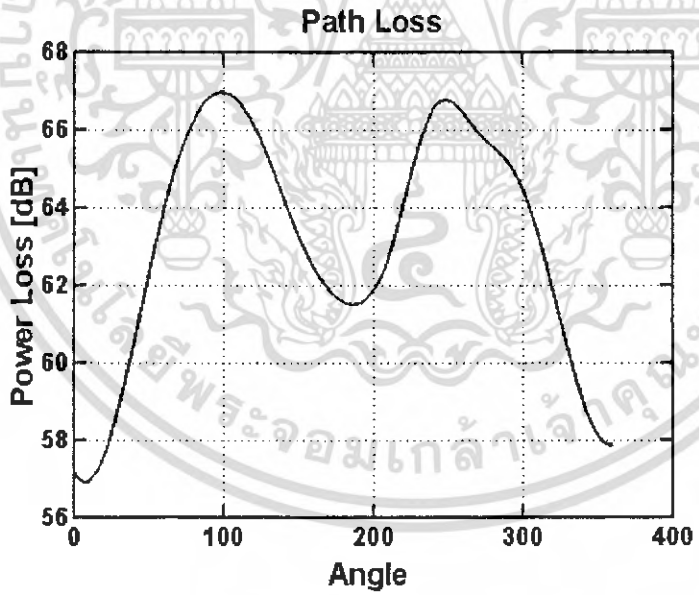


รูปที่ 4.34 ภาพการวัดโมเดลที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 5 ระยะ 1เมตร



รูปที่ 4.36 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) โมเดลที่ 5 ระยะ 2เมตร

จากรูปที่ 4.35 และ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบค่าการศูนย์เสียเชิงวิถี ของโมเดลที่ 5 ในรูปของกราฟ ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร และมุมในการหมุนรอบตัวเองทางด้านรับ ตั้งแต่ 0องศา ถึง 360 องศา

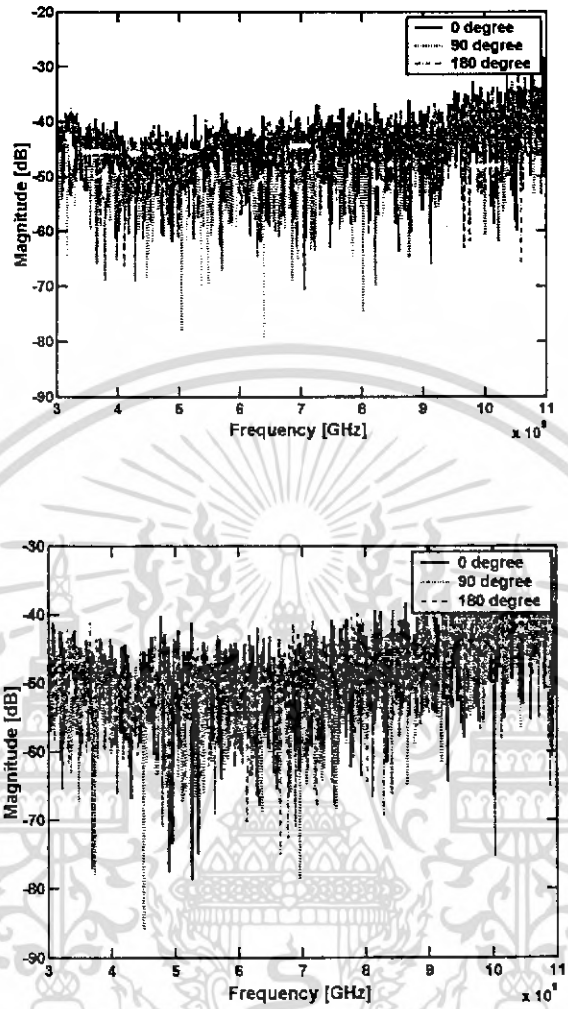
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ระหว่างโมเดล 5 ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร

มุม (องศา)	โมเดล 5 Phath loss(dB)	
	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
0	51.539	57.164
30	52.964	58.85
60	56.731	63.942
90	62.301	66.811
120	60.302	66.11
150	57.825	63.255
180	55.039	61.555
210	57.079	62.692
240	63.628	66.511
270	65.908	65.923
300	58.218	64.458
330	53.718	60.363
360	51.766	57.876

จากตารางที่ 4.4 นั้นเป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ของโมเดล 5 ที่ระยะ 1 เมตร และ 2เมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ซึ่งจากผลการทดลองนั้น จะเห็นว่า ค่าการสูญเสียของระยะที่ 2 เมตร นั้นมีค่าการสูญเสียมากกว่า ที่ระยะ 1 เมตร โดยเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมที่หมุนตัวเองทางด้านรับ ซึ่งที่มุม 0 องศา และ 180 องศา นั้นมีค่าการสูญเสีย น้อย กว่า มุมอื่นๆ ส่วนที่มุม 90 และ 270 นั้น ค่าการสูญเสียของกำลังงานที่ส่งจะมีค่ามาก กว่ามุมอื่นๆ

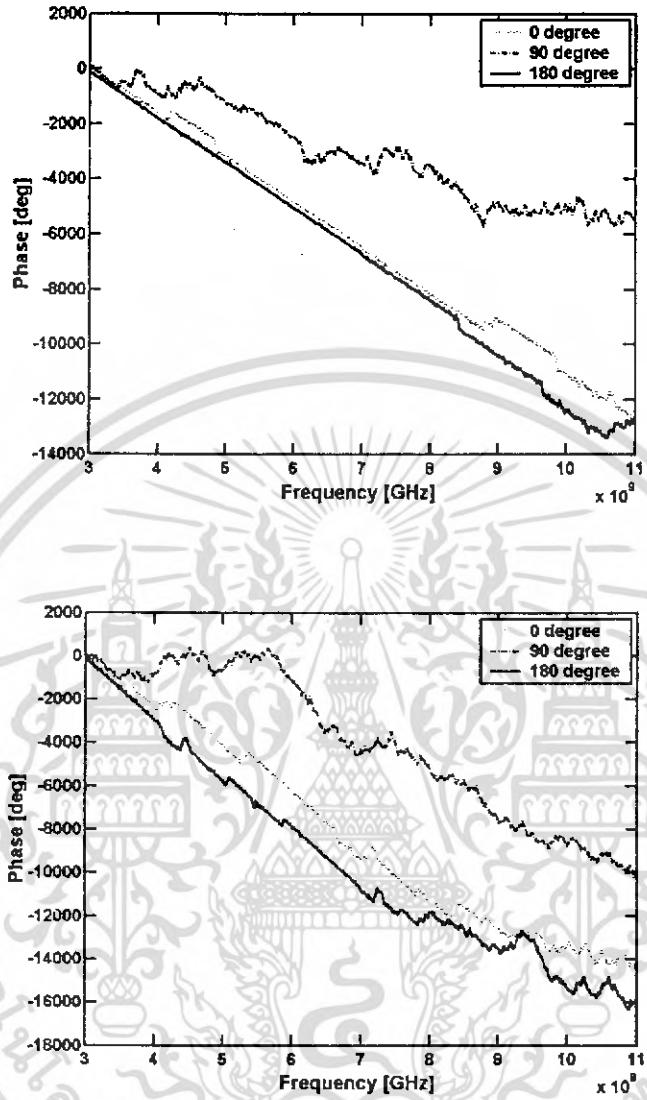
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด
โมเดลที่ 3 ที่ระยะ 1 เมตร

จากรูปที่ 4.37 นั้น เป็นผลการเปรียบเทียบขนาดฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด ที่มีระยะ ห่างกันของทางด้านรับและด้านส่งที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตรของโมเดลที่ 5 ซึ่งทำการวัดสายอากาศโดย โดยวัดโดยหมุนสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา โดยหมุนทีละ 30 องศา ค่า Magnitude นั้นมีค่าลดลง เมื่อหมุน ในมุมที่ 90 องศา และ 270 องศา แล้วเมื่อและมีค่าที่ดี เมื่ออยู่ในมุมที่ 0 องศา 180 องศา และ 360 องศา เมื่อนำเอาระยะทาง ทั้งสองนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ ระยะทางที่ 2เมตร ค่าของ Magnitude นั้น จะมีค่าน้อยกว่า ที่ระยะ เมื่อเทียบกับระยะทาง และ มุมที่หมุน

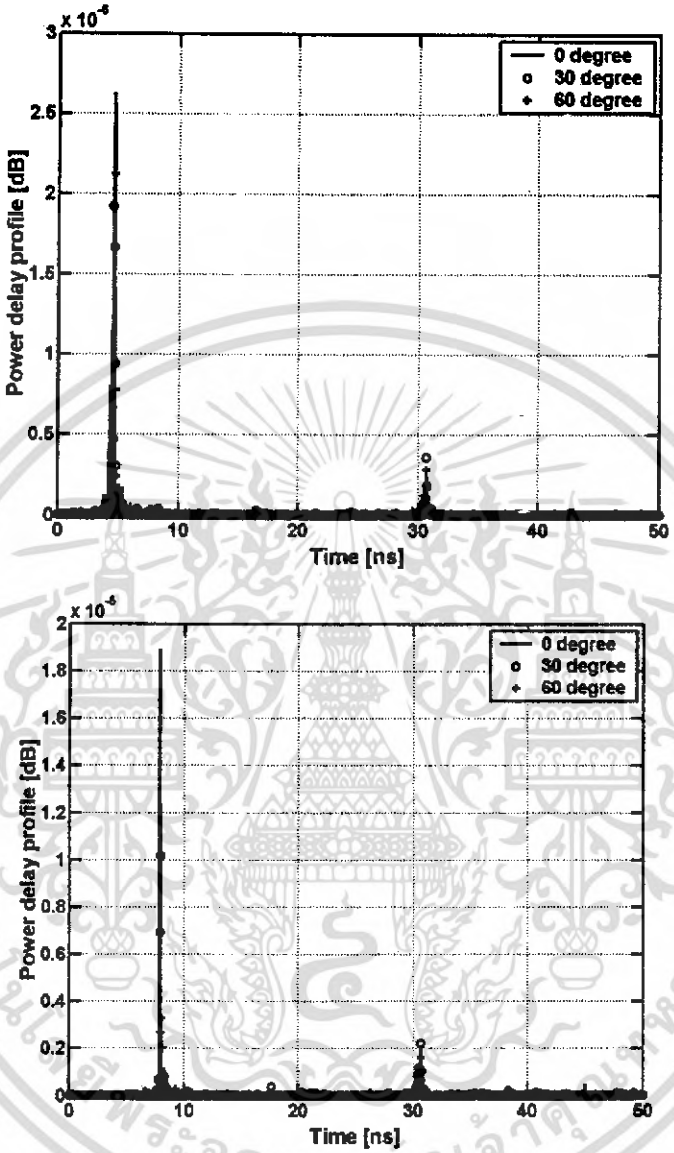
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด
โมเดลที่ 5 ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร

จากรูปที่ 4.38 ผลการเปรียบเทียบเฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศที่ได้จากการวัด ที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของโมเดลที่ 5 โดยวัดโดยหมุนสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา โดยหมุนทีละ 30 องศา ค่าเฟสนั้น โดยค่า เฟสจะสามารถรับสัญญาณได้ดี ที่มุม 0 องศา 180 องศา และ 360 องศาและรับสัญญาณได้ไม่ดี ที่มุม 90 องศา และ 270 องศา ซึ่งค่าเฟสจะไม่เรียบ แล้ว เมื่อนำเอาสองระยะนี้มาเปรียบเทียบกัน คือ ระยะที่ 1 เมตร นั้นจะสามารถรับสัญญาณได้ดีกว่า ที่ระยะ 2 เมตร เมื่อเปรียบเทียบทั้งมุมที่สายอากาศทางด้านรับหมุนรอบสายอากาศทางด้านส่ง แล้วก็ระยะทาง

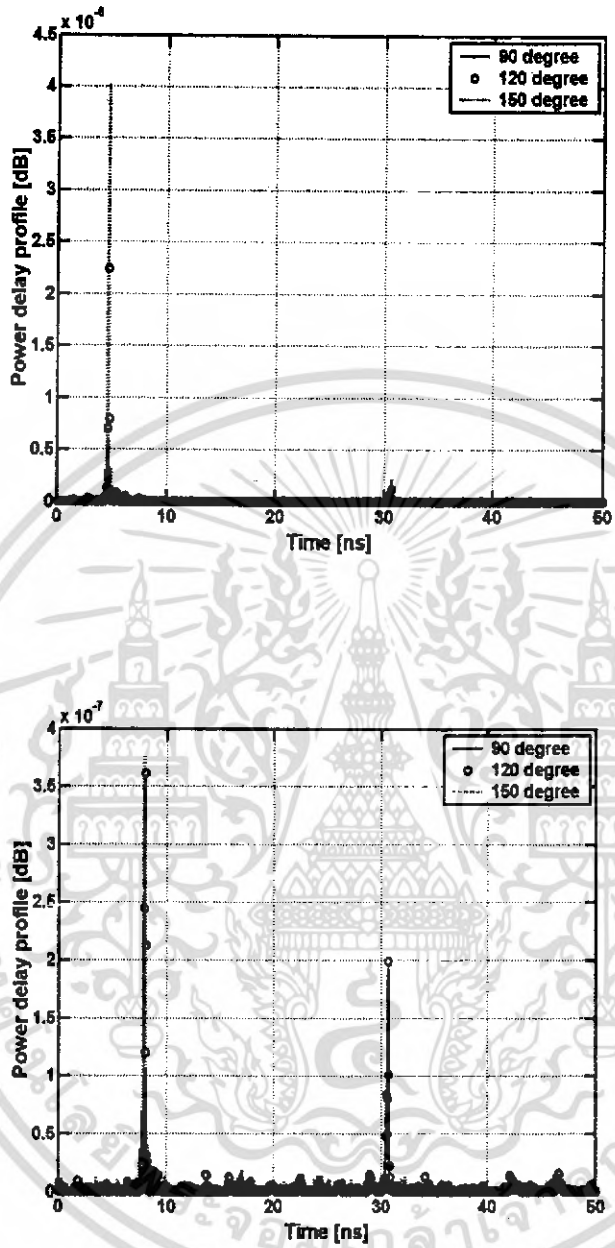
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 0,30,60
ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.39 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 0 องศา 30 องศา และ 60 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

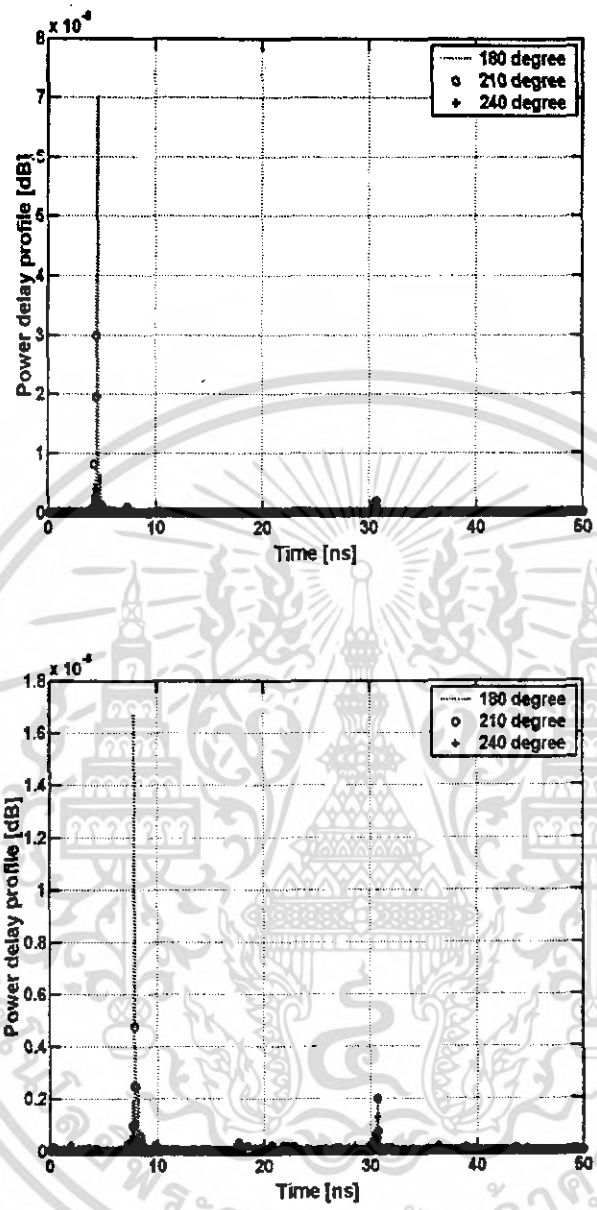
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 90,120,150 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.40 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 90 องศา 120 องศา และ 150 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

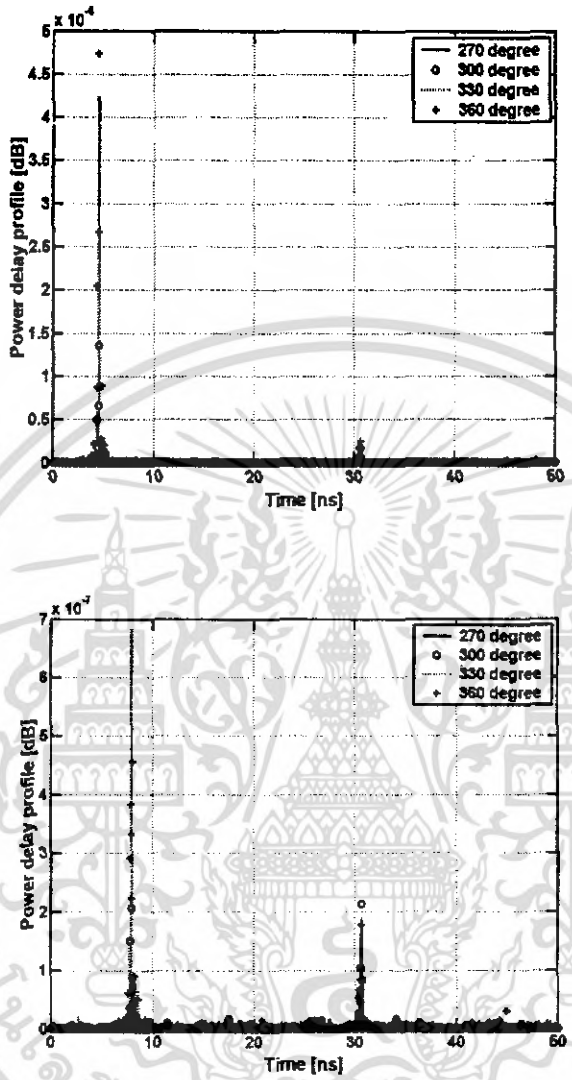
นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 180,210,240 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.41 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ไม่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 180 องศา 210 องศา และ 240 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 ค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ที่มุม 270,300,330,360 ที่ระยะ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.42 เป็นการเปรียบค่ากำลังงานที่รับสัญญาณของโมเดลที่ 5 ซึ่งเป็นสายอากาศที่ติดกับตัวหุ่น ที่มุม 270 องศา 300 องศา 330 องศา และ 360 องศา ที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ของสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่ง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ระยะทางนั้นมีผลกับค่ากำลังงานที่ได้รับ เมื่อระยะทางไกลออกไปจะทำให้ ค่ากำลังงานนั้นได้รับน้อยลงและ เวลาที่ได้รับนั้นก็มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุป

ในโครงงานนี้ที่ทำการศึกษาถึงเกณฑ์ของการส่งผ่านวิทยุภายในอาคารของสายอากาศแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์และศึกษาถึงระบบและแนวทางในการพัฒนาตลอดจนถึงผลกระทบในการนำระบบการสื่อสารไร้สายอุลตราไวด์แบนด์ จึงได้ทำการออกแบบโมเดลในการทดลองนี้ขึ้นมา ซึ่งจะทราบถึงผลกระทบต่างๆตามที่ได้ออกแบบการทดลอง ตามโมเดลต่างๆทั้งห้าแบบ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบโรงงานอุตสาหกรรมให้พัฒนามากยิ่งขึ้น โดยการนำเอาระบบควบคุมที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์นั้นมาประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไร้สายอุลตราไวด์แบนด์ จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงผลกระทบต่างที่อาจเกิดขึ้น

ดังผลการทดลองนั้น จะเห็นได้ว่า เมื่อนำผลการทดลองของโมเดลที่1 และโมเดลที่ 2 นั้นปรากฏว่า โมเดลทั้งสองนั้นต่างมีผลกระทบ ไม่ว่าจะเป็น ค่าการสูญเสียเชิงวิถี(Path loss) ค่า Magnitude นั้นมีค่าลดลง ตามระยะทางที่ไกลออกไป เมื่อระยะทางของทางด้านรับ และทางด้านส่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ ค่าเฟสนั้น ไม่เรียบ ซึ่งทำให้การรับสัญญาณทางด้านรับนั้นรับได้ไม่ดี ส่วน ค่ากำลังงานที่ได้รับนั้นมีค่าน้อยลงไป และระยะเวลา ที่ได้รับนั้น ก็จะช้าลงไปด้วย ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ห่างออกไป เมื่อนำมาวิเคราะห์ผล สายอากาศที่ติดกับตัวหุ่นยนต์นั้นจะเกิดผลกระทบมากกว่าสายอากาสที่ไม่ได้ติดกบตัวหุ่นยนต์ อันเนื่องมาจากตัวหุ่นนั้นเป็นโลหะ ซึ่งเกิดการสะท้อนของสัญญาณ ซึ่งจะมีผลกระทบ ต่อคลื่นอุลตราไวด์แบรน โมเดลที่ 3 โมเดลที่ 4 นั้น ผลกระทบจะเหมือนกันกับโมเดลที่ 1 และ2 แต่จะแตกต่างกันตรงที่มุมในการวัด ซึ่งการวัดจะเป็นการวัดโดยวางสายอากาศแบบแนวนอนแล้วหมุนสายอากาศ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ซึ่งผลที่ออกมาก็คือ มุม 0 , 180 , 360 นั้นจะมีประสิทธิภาพในการรับกำลังงานได้ดี ส่วนมุม 90 และ 270 นั้นจะมีค่าอัตราการลดทอนสัญญาณสูงที่สุด โมเดลที่ 5 นั้น การทดลองจะคล้ายกับ โมเดลที่ 3 และโมเดลที่ 4 แต่จะแตกต่างกันที่กันตรงที่ สายอากาศทางด้านรับนั้นจะหมุนรอบตัวของสายอากาศทางด้านส่ง ซึ่งผลที่ออกมานั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันกับ โมเดลที่ 4 มาก

ซึ่งจากผลการทดลองทั้งห้าโมเดลนั้นทำให้ได้ทราบได้ว่าผลกระทบของตัวหุ่นที่เป็นโลหะนั้นมีผลต่อการแพร่กระจายของสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์ คือ เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าการประวิงของสัญญาณเพิ่มขึ้นในมุมที่เกิดอันเนื่องมาจากการหมุนของหุ่นยนต์ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณอันเนื่องมาจากการถูกลดทอนโดยมุมในการหมุนของหุ่นยนต์ทำให้คลื่นสัญญาณอุลตราไวด์แบรนนั้นเกิด การส่งสัญญาณที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ทั้งระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้รับของสัญญาณ และกำลังงานที่ได้รับ แล้วก็ขึ้นอยู่กับระยะทางของทางด้านส่งและทางด้านรับ รวมทั้งมุมของสายอากาศที่ทางด้านรับ ที่ติดตั้งแบบแนวนอนนั้น มีผลต่อความผิดพลาดต่างๆ ทั้งมีการสะท้อนของคลื่นหรือมีสัญญาณรบกวน นอกจากนั้นเมื่อผลกระทบที่เกิดจากตัวหุ่นยนต์นั้น จะทำให้เกิดผลกระทบกับระบบช่องสัญญาณแต่โดยรวมของการทดลองทั้งหมดแล้วค่าความผิดพลาดต่างๆนั้น ที่มีผลกระทบนั้นยังสามารถที่จะนำมา ประยุกต์ใช้งานจริงได้ ดังนั้น จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นว่าในการออกแบบระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ ในสภาวะการนำมาใช้งานจริงนั้นจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นของการนำมาใช้งานร่วมกับหุ่นยนต์เพราะ ผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลถึงการลดลงของอัตราการส่งข้อมูลด้วย

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงงาน

5.1.1 การวัดและการทดลองอาจเกิดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากตัวอุปกรณ์ต่างๆ และตัวของ ผู้ทำการทดลองเอง

5.1.2 การวัดและการทดลองอาจมีผลผิดพลาด อันเนื่องมาจาก สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

5.3 แนวทางในการพัฒนา

เป้าหมายเกี่ยวกับการนำระบบการแพร่กระจายของสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์ มาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์หรือสื่อสารร่วมกับหุ่นยนต์นี้คือ เพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์ให้มีขีดความสามารถที่สูงขึ้น สามารถทำงานในระบบไร้สายได้รวมไปถึงสามารถรับส่งข้อมูลในระบบสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์ ให้มีความถูกต้องรวดเร็วและดีมากยิ่งขึ้นอีกทั้งสามารถใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งศึกษาหาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจริงในการที่จะนำหุ่นยนต์มาใช้งานร่วมกับระบบการส่งสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์ เพื่อศึกษาหาข้อดีข้อเสียของระบบการส่งสัญญาณแบบอุลตราไวด์แบนด์กับหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถนำผลการวิจัยของโครงงานนี้ไปศึกษาหาความรู้ รึว่านำไปประยุกต์ในการทำวิจัยต่อได้ ซึ่งคาดว่าในอนาคตนั้นระบบอุลตราไวด์แบรนนั้น น่าจะเข้ามามีบทบาทกับการดำรงชีวิตในสังคมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. T.S.Rappaport. Wireless Communication :Principles and Practice. Prentice-Hall, Inc. 1996.
2. Simon R. Saunders. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems. John Wiley & Sons, Ltd.
3. M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering. John Wiley & Sons, Ltd. 2004
4. Kazimierz Siviak and Debra McKeown. Ultra-wideband Radio Technology. John Wiley & Sons, Ltd, 2004
5. Ian Oppermann, Matti Hamnalainen and Jari Iinatti. UWB Theory and Application. John Wiley & Sons, Ltd, 2004
6. www.technologymedia.com
7. www.google.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้