

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้ารัตนโกสินทร์

แบบจำลองและการวัดสัญญาณภายใน – ภายนอกอาคารของระบบวิทยุ
อิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

INDOOR – OUTDOOR MEASUREMENT AND MODELING
OF ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEMS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INDOOR – OUTDOOR MEASUREMENT AND MODELING
OF ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEMS**



**Mr. PATTIPONG SAJUANPAENG
Mr. SUMETH SUKAPHAN**

**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 แบบจำลองและการวัดสัญญาณภายใน — ภายนอกอาคารของระบบวิทยุ
อิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

ชื่อนักศึกษา นายพัธพงษ์ สงวนแพง รหัสนักศึกษา 46015674
 นายสุเมธ สุขพันธุ์ รหัสนักศึกษา 46015690

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
 อาจารย์ สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์

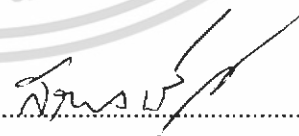
ปีการศึกษา 2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แบบจำลองและการวัดสัญญาณภายใน – ภายนอกอาคารของระบบวิทยุ อิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง
ชื่อนักศึกษา	นายพัทธิพงษ์ สงวนแพง รหัสนักศึกษา 46015674 นายสุเมธ สุขพันธุ์ รหัสนักศึกษา 46015690
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านความถี่แถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) ภายใน - ภายนอกอาคาร โดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA) ทำการวัดในแถบความถี่ 3GHz -11 GHz สายอากาศที่ใช้เป็นแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna) ทั้งด้านส่งและด้านรับ โดยทำการวัดสัญญาณใน 4 รูปแบบ (model) คือ

1. สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายในอาคาร
2. สายอากาศด้านส่งอยู่ภายในอาคารและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร
3. สายอากาศด้านส่งอยู่ภายนอกอาคารและด้านรับอยู่ภายในอาคาร
4. สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab และนำเสนอในรูปแบบของค่าแมกนิจูด (magnitude) และเฟส (phase) ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่, รูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศ (Received Signal), ค่าการหน่วงเวลา (Time Dispersion), ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (path loss) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เมื่อเทียบกับระยะทาง เพื่อดูค่าการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อเทียบกับสัญญาณทางด้านส่ง ในย่านความถี่แถบกว้างยิ่ง

Thesis Title	Indoor – Outdoor Measurement and Modeling of Ultra wideband Impulse Radio Systems	
Student	Mr. Pattipong Sajuanpaeng	ID.46015674
	Mr. Sumeth Sukaphan	ID.46015690
Advisor	Mr. Sathaporn Promwong Mr. Sorapong Wachirattanapornkul	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2005	

Abstract

The purposes of this project are to measure and analyze the propagation of Ultra wideband (UWB) signals in indoor and outdoor environments. The measurements use a vector network analyzer (VNA), and measure a frequency range of 3 GHz to 11 GHz. The Biconical antennas are used for both transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. There are 4 models for measurement. For the first model, both Tx and Rx antennas are indoor. The second model, Tx antenna is indoor and Rx antenna is outdoor. Next model, Tx antenna is outdoor and Rx antenna is indoor. Both Tx and Rx antennas are outdoor for the final model. Measurement data will be analyzed by Matlab program and results show that the received signal, time dispersion, path loss and correlation coefficient in UWB Impulse Radio Systems.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยคำชี้แนะแนวทางการทำงานพร้อมทั้งการแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน และให้ข้อคิดในการดำเนินชีวิต

จากท่าน อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมปริญญาบัตร ทางผู้จัดทำ ปริญญาบัตร ขอขอบพระคุณในความกรุณาทั้งหมดที่มีให้ด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล ที่ช่วยแนะนำแนวทางในการทำปริญญา บัตร ตรวจสอบข้อบกพร่องพร้อมทั้งแนะนำการแก้ไข

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พิชญ สุพรรณกุล ที่สละเวลาให้คำแนะนำเนื้อหาเพิ่มเติมที่มีส่วน เกี่ยวข้องในปริญญาบัตร

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความหวังใยในทุกๆด้าน และสุดท้าย ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้

พัชรีพงษ์ สงวนแพง
สุเมธ สุขพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	3
1.5 โครงประกอบของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	8
2.3 กฎข้อบังคับของ UWB	9
2.3.1 กฎข้อบังคับของ UWB ในสหรัฐอเมริกา	9
2.3.2 กฎข้อบังคับของ UWB ในยุโรป	11
2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	13
2.4.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)	13
2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน โมโนไซเคิล (Gaussian monocycle pulse)	14
2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet pulse)	15
2.5 วิธีการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	16
2.5.1 การมอดูเลตตามขนาด (PAM)	16
2.5.2 การมอดูเลตตามตำแหน่งพัลส์ (PPM)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 การมอดูเลตแบบไบเฟส (Bi-phase)	18
2.6 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ	19
2.6.1 การสูญเสียกำลัง (Path loss)	21
2.6.2 ผลกระทบของชาโดว์อิง (Shadowing)	22
2.6.3 ปัญหาของมัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading)	22
2.7 โปรไฟล์การหน่วงกำลัง (Power Delay Profile)	23
2.8 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น	24
2.8.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF)	24
2.8.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Cumulative Distribution Function: CDF)	25
2.9 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Correlation function)	26
2.9.1 สหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation)	26
2.9.2 สหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation)	26
2.9.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	26
2.10 Linear Least Squares	27
2.11 สรุป	28
บทที่ 3 การวัดและแบบจำลอง	29
3.1 สาเหตุและที่มา	29
3.2 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ	29
3.2.1 Friis' Transmission Formula	29
3.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	30
3.3 แบบจำลองการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ	31
3.3.1 แบบจำลองที่ 1 สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ในอาคาร	31
3.3.2 แบบจำลองที่ 2 สายอากาศด้านส่งอยู่ในอาคาร และด้านรับอยู่นอกอาคาร	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 แบบจำลองที่ 3 สายอากาศด้านส่งอยู่ภายนอกอาคาร และด้านรับอยู่ภายในอาคาร	33
3.3.4 แบบจำลองที่ 4 สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร	33
3.4 คุณลักษณะของสายอากาศไบโคนิคอน (Biconical)	34
3.5 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	37
4.1 การวิเคราะห์สัญญาณ	37
4.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ	37
4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 1	37
4.2.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 2	44
4.2.3 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 3	50
4.2.4 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 4	56
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลจากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	67
ภาคผนวก ข การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด	69
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ผล	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กำลังงานและความถี่ของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน	5
2.2	ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่	6
2.3	ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียภายในบ้าน	7
2.4	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของUWB ภายในอาคาร	12
2.5	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของUWB ภายนอกอาคาร	12
2.6	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	14
2.7	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซคลิกทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	14
2.8	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลตทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	15
2.9	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ	16
2.10	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง	17
2.11	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบสองเฟส	18
2.12	ตัวอย่างแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงลักษณะระดับของสัญญาณที่ได้รับได้เนื่องจากผลกระทบของมัลติพาทเฟดดิ้ง และชาโดว์อิง	20
2.13	ผลกระทบของคลื่นที่สะท้อนกับพื้นผิวเรียบต่อสัญญาณที่ได้รับได้	22
2.14	ตัวอย่างการหน่วงกำลังของคลื่นภายในอาคาร	24
3.1	มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 1	31
3.2	มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 2	32
3.3	มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 3	33
3.4	มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 4	33
3.5	สายอากาศไบโคเน็คอน	34
3.6	คุณสมบัติของสายอากาศไบโคเน็คอน	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	อัตราการส่งผ่านความถี่ของสายอากาศใบโคนิคอน	35
3.8	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ของสายอากาศใบโคนิคอน	35
3.9	สัญญาณและสเปกตรัมที่ใช้ในการส่ง	36
4.1	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 2 เมตร	37
4.2	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 8 เมตร	38
4.3	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 2 เมตร	38
4.4	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 8 เมตร	39
4.5	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร	39
4.6	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 8 เมตร	40
4.7	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	40
4.8	ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	41
4.9	ค่าการแผ่การหน่วง	41
4.10	ค่าการสูญเสียเชิงวิดิเมื่อเทียบกับระยะทาง	42
4.11	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง	43
4.12	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร	44
4.13	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร	44
4.14	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร	45
4.15	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร	45
4.16	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร	46
4.17	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 8 เมตร	46
4.18	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	47
4.19	ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	47
4.20	ค่าการแผ่การหน่วง	48
4.21	ค่าการสูญเสียเชิงวิดิเมื่อเทียบกับระยะทาง	49
4.22	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร	50
4.24	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 4 เมตร	50
4.25	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร	51
4.26	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 4 เมตร	51
4.27	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร	52
4.28	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 4 เมตร	52
4.29	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	53
4.30	ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	53
4.31	ค่าการแผ่การหน่วง	54
4.32	ค่าการสูญเสียเชิงวิดิเมื่อเทียบกับระยะทาง	55
4.33	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง	55
4.34	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร	56
4.35	ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร	56
4.36	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร	57
4.37	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร	57
4.38	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร	58
4.39	สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 8 เมตร	58
4.40	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	59
4.41	ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย	59
4.42	ค่าการแผ่การหน่วง	60
4.43	ค่าการสูญเสียเชิงวิดิเมื่อเทียบกับระยะทาง	61
4.44	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งาน ในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	10
2.2	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งาน ในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
4.1	ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองต่างๆ	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น รวมถึงได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วโดยในการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนั้นมีจุดประสงค์เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ 5 ประการคือ

1. จำนวนข้อมูลที่สามารถส่งได้
2. อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล
3. จำนวนของผู้ใช้ในระบบ
4. ระยะทางที่สามารถส่งได้
5. ความสามารถในการทำงานร่วมกัน

เพื่อรองรับสื่อแบบมัลติมีเดียที่เพิ่มขึ้น ทำให้ระบบการสื่อสารแบบนี้มีความต้องการต่ออัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และความต้องการส่งข้อมูลในปริมาณที่มาก จึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband communication systems ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า UWB)

UWB ได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a มีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission หรือที่เรียกว่า FCC) อยู่ในช่วง 3.1GHz - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม และมีสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังในการส่งให้อยู่ที่ระดับไม่เกิน -41.3 dBm/MHz อันเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวน เพื่อไม่ให้ระบบการสื่อสารนี้ไปกวนกับระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อย่างระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System หรือที่เรียกว่าGPS), ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบการบิน เป็นต้น

UWB เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญและน่าจะนำมาทำการศึกษาค้นคว้า โดยโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบสัญญาณการส่งผ่านUWB ในกรณีที่ส่งผ่านจากภายในอาคารสู่ภายนอกอาคารและภายนอกอาคารสู่ภายในอาคาร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อรูปสัญญาณ เพื่อนำไปอ้างอิงในการออกแบบใช้งานจริงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทดสอบสัญญาณการส่งผ่านUWB ภายในอาคารสู่ภายนอกอาคารและภายนอกอาคารสู่ภายในอาคาร
2. ศึกษาผลที่ได้จากการวัดและนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab
3. สามารถอธิบายถึงรูปสัญญาณการส่งผ่านและผลกระทบที่มีต่อรูปสัญญาณในกรณีต่างๆ ได้
4. ผลที่ได้จากการศึกษาในโครงการนี้จะ เป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัยของระบบโครงข่ายการสื่อสารแบบไร้สายและนำไปอ้างอิงในการออกแบบเพื่อใช้งานจริงได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบแบบจำลองที่ใช้ในการวัดและทดสอบสัญญาณ โดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ
 - ตัวส่งและตัวรับอยู่ภายในอาคาร
 - ตัวส่งอยู่ภายในอาคารและตัวรับอยู่ภายนอกอาคาร
 - ตัวส่งอยู่ภายนอกอาคารและตัวรับอยู่ภายในอาคาร
 - ตัวส่งและตัวรับอยู่ภายนอกอาคาร
2. วัดและทดสอบสัญญาณตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้
3. ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม Matlab
4. นำเสนอผลที่ได้จากการทดลองในรูปแบบของค่าแมกนิจูด (magnitude) และเฟส (phase) ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่, รูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศ, ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (path loss), ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) และค่าการหน่วงเวลา (Time Dispersion) ในระบบการสื่อสาร UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ในการดำเนินโครงการได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วนๆ ดังนี้



1.5 โครงประกอบของปริญญาานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยในบทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการทำปริญญาานิพนธ์ ขอบเขตของโครงการ และขั้นตอนการดำเนินโครงการ ส่วนรายละเอียดของบทต่างๆ อีก 4 บทมีดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีโดยรวมของ UWB ซึ่งจะประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะของ UWB รูปสัญญาณที่ใช้ในการส่ง การเข้าถึงช่องสัญญาณ วิธีในการมอดูเลตสัญญาณ และคุณสมบัติการส่งผ่านคลื่น

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบ แบบจำลองที่ใช้ในการวัตถุประสงค์สัญญาณ, ขั้นตอนการทดสอบสัญญาณ, อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณ และพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณของ UWB ตามแบบจำลองที่ได้ ออกแบบไว้ข้างต้น

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband communication systems ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า UWB) นั้นไม่ได้เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ โดยที่เทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี 1980 ซึ่งเริ่มต้นใช้งานในระบบเรดาร์เป็นหลักอันเนื่องมาจากคุณสมบัติข้อหนึ่งของระบบการสื่อสารประเภทนี้ที่มีการใช้แบนด์วิดท์ในระบบการสื่อสารที่มากทำให้สามารถได้รับข้อมูลที่มีความแม่นยำในด้านตำแหน่งของวัตถุที่เที่ยงตรงมาก จนกระทั่งปัจจุบันได้เริ่มนำเอาเทคโนโลยีนี้มาใช้งานในระบบการสื่อสารมากขึ้น อันเนื่องมาจากการพัฒนาของเทคโนโลยีการตัดต่อความเร็วสูง (High-speed switching) ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย หรือระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง โดยที่เทคโนโลยีนี้มีความแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น การสื่อสารแบบแถบแคบ และการสื่อสารแบบแถบกว้าง อยู่ด้วยกัน 2 ประการ คือ

1. UWB นั้นมีการใช้แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณมากกว่า 25% ของความถี่กลาง โดยที่การหาค่าเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$\%BW = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \times 100 \quad (2.1)$$

โดยที่ f_H คือ ค่าขอบความถี่บนของระบบการสื่อสาร

f_L คือ ค่าขอบความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร

UWB นี้จะกำหนดแบนด์วิดท์ของระบบได้จากช่วงห่างระหว่างความถี่บน และความถี่ล่างของระบบ โดยที่ค่าของความถี่ทั้ง 2 นี้จะกำหนดได้จากความถี่ที่ให้ระดับกำลังงานของสัญญาณต่ำกว่าระดับกำลังงานสูงสุด 10 dB ซึ่งเป็นระดับของกำลังสัญญาณรบกวนพื้น (noise floor) ของระบบการสื่อสารประเภทอื่น

2. UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณพาห์เข้ากับสัญญาณข้อมูลก่อนทำการส่งข่าวสาร ดังนั้นในภาคส่งของUWB จึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์ประเภทการมอดูเลตความถี่ (RF Modulation) และเครื่องส่งที่มีกำลังมาก จึงเป็นการลดต้นทุนของระบบการสื่อสาร

ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารของ UWB ที่ทาง FCC ได้อนุญาตให้ใช้ในระบบการสื่อสารนี้จะอยู่ในช่วง 3.1GHz -10.6 GHz และจากการที่ช่วงความถี่ที่ทาง FCC กำหนดให้ใช้มีขนาดที่กว้างมาก ดังนั้น UWB จึงสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารในระบบการสื่อสารได้เป็นจำนวนมาก โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบการสื่อสารกับแบนด์วิธที่ใช้ในระบบการสื่อสารนี้แสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

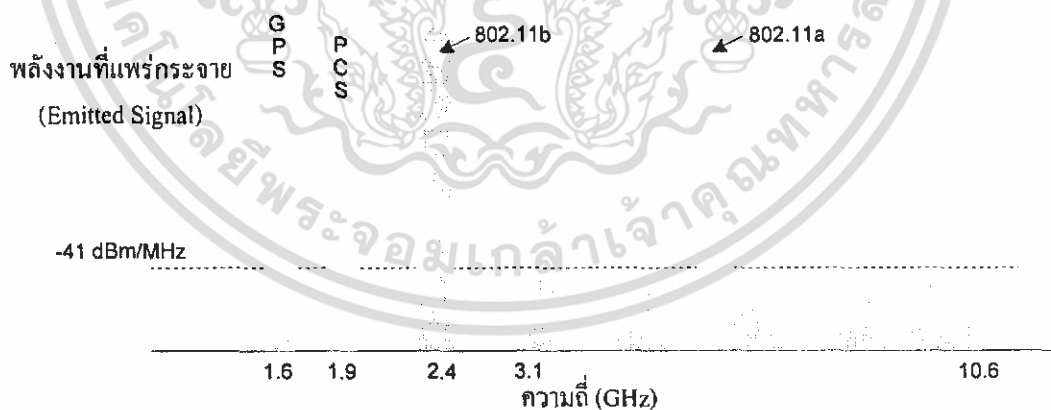
$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.2)$$

โดยที่ C คือ ความจุของช่องสัญญาณ (Channel Capacity) มีหน่วยเป็น bps

B คือ แบนด์วิธของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น Hz

$\frac{S}{N}$ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

UWB เป็นระบบการสื่อสารที่มีแบนด์วิธของระบบที่กว้างมาก และได้ไปทับซ้อนกับระบบการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Networks หรือที่เรียกว่า WLAN) เป็นต้น ดังนั้นทาง FCC จึงได้มีการกำหนดกำลังงานของระบบที่แพร่ออกมาในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารประเภทนี้ไว้ที่ระดับ -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับของกำลังงานของสัญญาณรบกวนโดยในรูปที่ 2.1 แสดงระดับกำลังงานและช่องความถี่ของ UWB เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารอื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

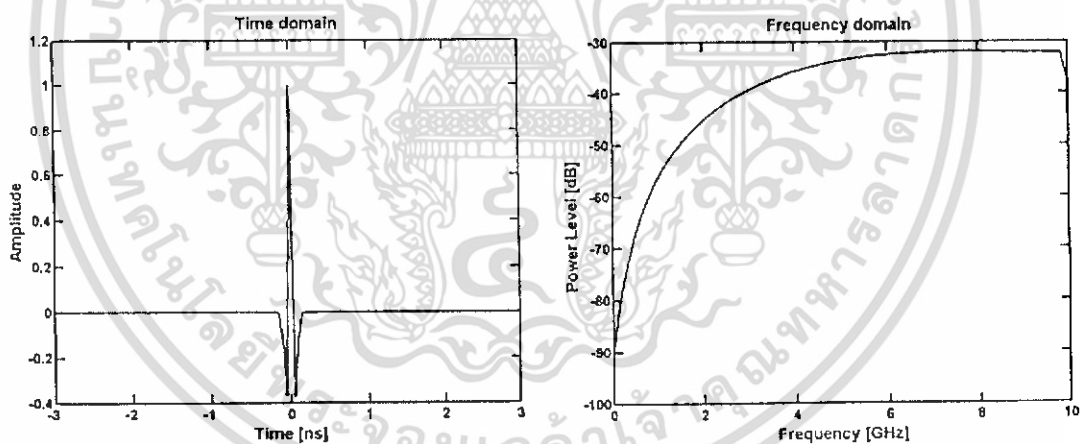


รูปที่ 2.1 กำลังงานและความถี่ของ UWB เมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน

จากรูปที่ 2.1 จะพบว่าระดับกำลังงานของ UWB จะอยู่ในระดับที่ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน ดังนั้นสัญญาณของ UWB จึงไม่ไปรบกวนกับสัญญาณของระบบการสื่อสารเดิม ซึ่งเป็นเหตุให้สามารถนำเอา UWB ไปใช้งานในหลายๆ มีระบบการสื่อสารเดิมให้อยู่ได้

2.2 ลักษณะเฉพาะของ UWB

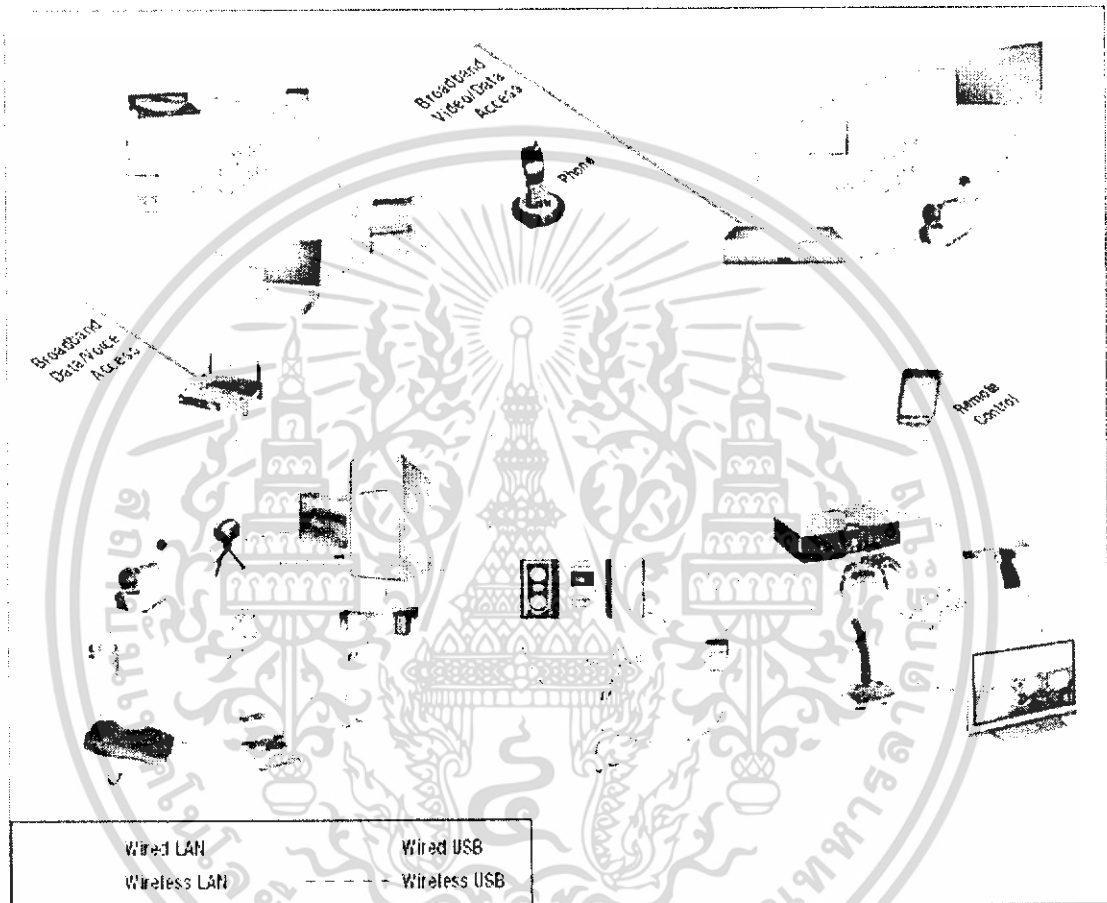
UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของ UWB เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์ (Radio Frequency, RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของ UWB จะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับต่ออัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mbps ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้คิวตี้ไซเคิล(duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่

หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง Wi - Fi หรือ Bluetooth แล้วก็จะพบว่า UWB จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำกว่า รวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ UWB จะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi - Fi

สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน UWB มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่าซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าว UWB จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทให้ความบันเทิงภายในบ้าน (Home Entertainment)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 จุดเด่นของ UWB

ถ้าจะกล่าวถึง UWB หรือรวมถึงพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (short – pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอoidal (non- sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (carrier less) แถบกว้างยิ่ง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเอเฟอเร็มอย่างรวดเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมน (mono pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนที่น้อยและต้นทุนที่ต่ำของ UWB เกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะของสัญญาณดั้งเดิมที่ยังไม่ผ่านการมอดูเลต (base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป และในส่วนของกรรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับ UWB ด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณ UWB นี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยาก และยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณ UWB นั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของ UWB นั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวนพื้น (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณ UWB นี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่าง

มาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้UWB มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียง

- มีความละเอียดสูงใน โดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking) ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุUWB มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและค่านวนเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้ UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.3 กฎข้อบังคับของ UWB

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นใน UWB นั้นคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของ UWB จากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra – Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับเฟซีซีเช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของ UWB ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำUWB มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร้อย โดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งใน UWB ด้วยเช่นกัน

UWB ได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับ UWB ซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิธ (B_r) ของสัญญาณ โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (2.1) ที่แสดงไว้แล้วข้างต้น ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎส่วนรับ UWB ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับ UWB และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานใน UWB ทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_r ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ (2.1) และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย เอฟซีซี (FCC) ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (เมกะเฮิร์ตซ์)	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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

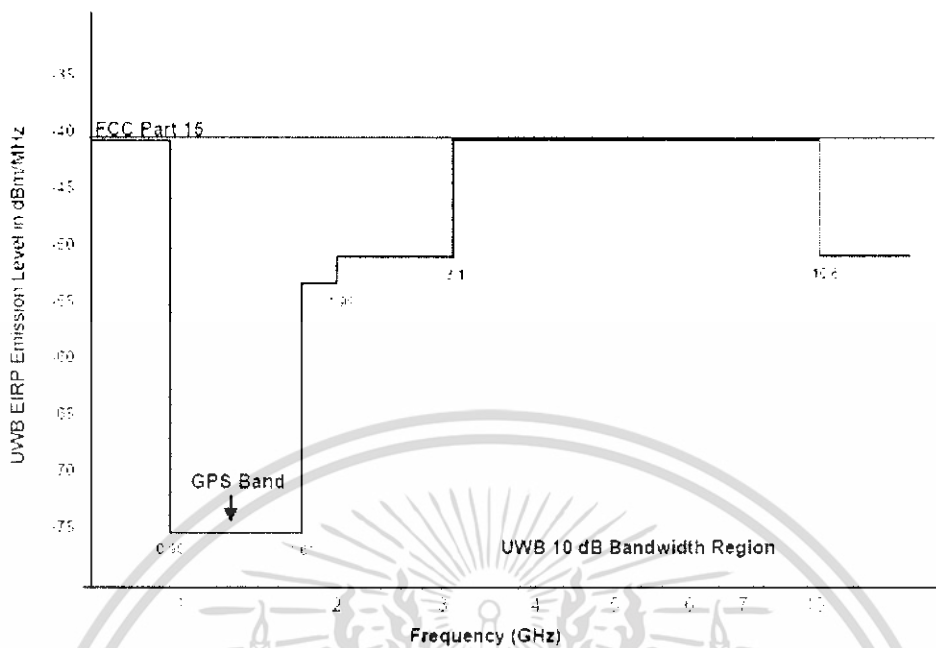
2.3.2 กฎข้อบังคับของ UWB ในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนด UWB ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของ UWB บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ไอทียู (ITU) หรือ อีทีเอสไอ (ETSI) แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

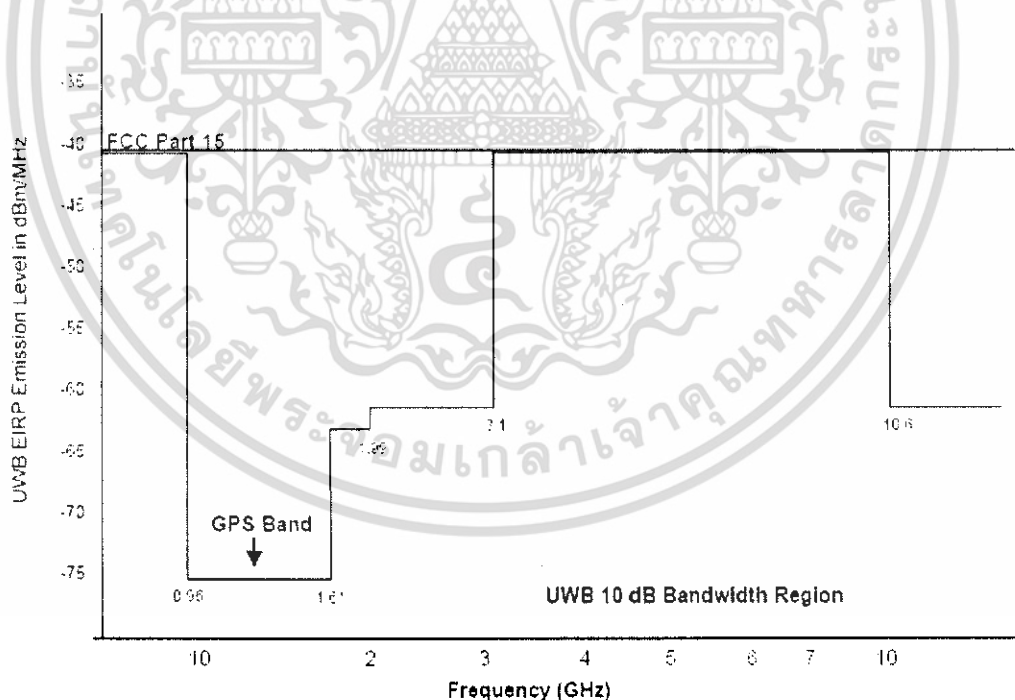
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

	ขอบเขตความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายใน	$-51.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(f/10.6)$
ภายนอก	$-61.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(f/10.6)$

โดยในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของ UWB ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของUWB ภายในอาคาร



รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของUWB ภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสาร UWB

UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ใช้สัญญาณพาห้ในการนำพาเอาสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปสู่ช่องสัญญาณ โดยที่สัญญาณที่ใช้ใน UWB จะใช้สัญญาณที่มีรูปแบบเป็นสัญญาณอิมพัลส์ในการส่งข้อมูล โดยสัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้ในการส่งจะมีคาบของสัญญาณที่สั้นมาก ดังนั้นเมื่อทำการแปลงสัญญาณที่ทำการส่งจะมีแถบความถี่ที่กว้างมาก โดยที่ในการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลามาเป็นโดเมนความถี่นี้จะสัมพันธ์กันดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

โดยที่ $s(t)$ คือ สัญญาณที่ใช้ในการส่งในโดเมนเวลา

$S(f)$ คือ สัญญาณที่ใช้ในการส่งเมื่อถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่

รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลใน UWB นั้นจะมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ (Gaussian waveform) สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian monocycle) และสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเบิล (Gaussian doublet) เป็นต้น โดยที่สัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสารประเภทนี้จะมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกันอยู่หนึ่งข้อคือ สัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้ในการส่งนั้นเมื่อทำการแปลงสัญญาณในโดเมนความถี่แล้ว จะต้องสอดคล้องกับช่วงความถี่ที่ทาง FCC กำหนด

2.4.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)

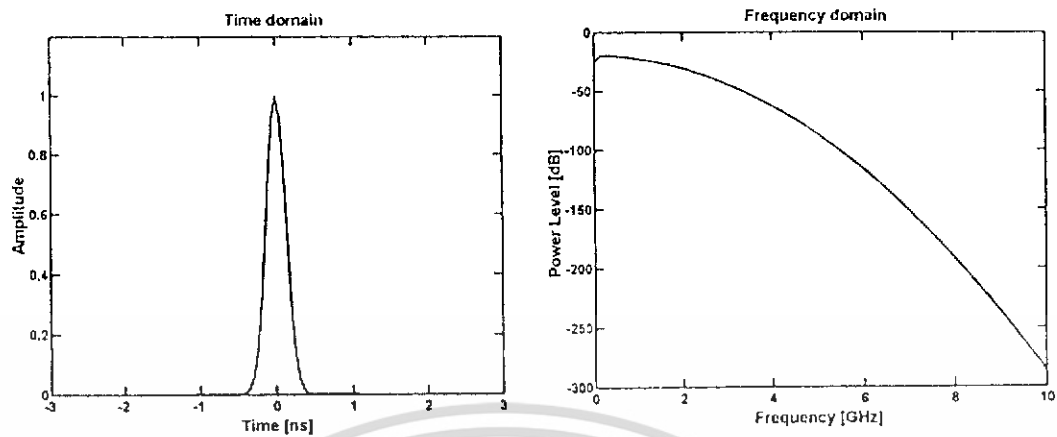
สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นจะแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปร่างของสัญญาณจะมีรูปร่างเหมือนการแจกแจงข้อมูลที่มีลักษณะแบบปกติ (Normal distribution) โดยที่สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$s(t) = Ae^{-\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \quad (2.4)$$

โดยที่ A คือ ขนาดของสัญญาณ

τ คือ ค่าตัวแปรของสัญญาณพัลส์ (Pulse Shape parameter)

T_c คือ ค่าคาบเวลาของสัญญาณชีพ

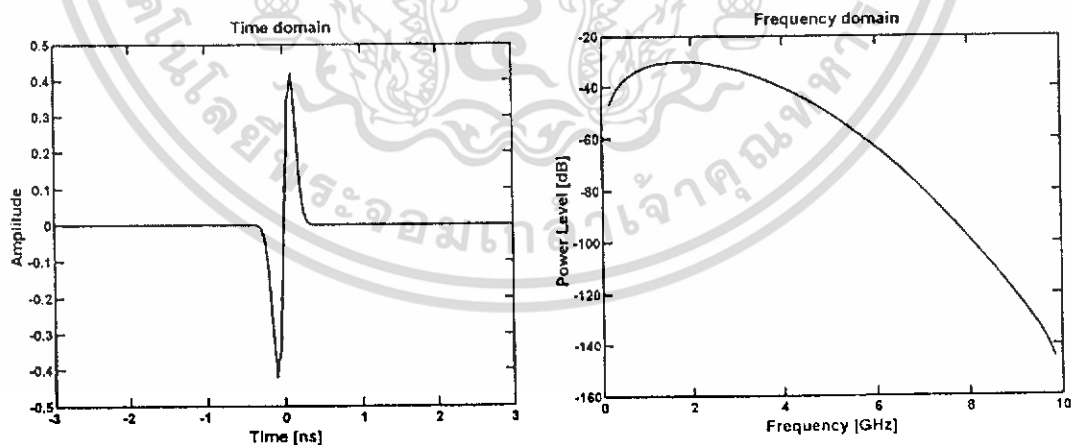


รูปที่ 2.6 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิล (Gaussian monocycle pulse)

สัญญาณพัลส์แบบ โมโนไซเคิลนั้นจะมีรูปร่างของสัญญาณคล้ายกับสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนอันดับที่ 2 โดยที่สัญญาณพัลส์นี้สามารถสร้างได้จากสมการที่ (2.5) โดยที่ตัวแปรต่างๆ ในสมการนี้จะเหมือนกับตัวแปรที่ได้อธิบายมาก่อนแล้วในสมการที่ (2.4) และรูปร่างของสัญญาณพัลส์แบบ โมโนไซเคิลจะแสดงในรูปที่ 2.7

$$s(t) = \frac{2A}{\tau} \sqrt{e^{(t-T_c)}} \times e^{-2\pi \left[\frac{(t-T_c)}{\tau} \right]^2} \quad (2.5)$$



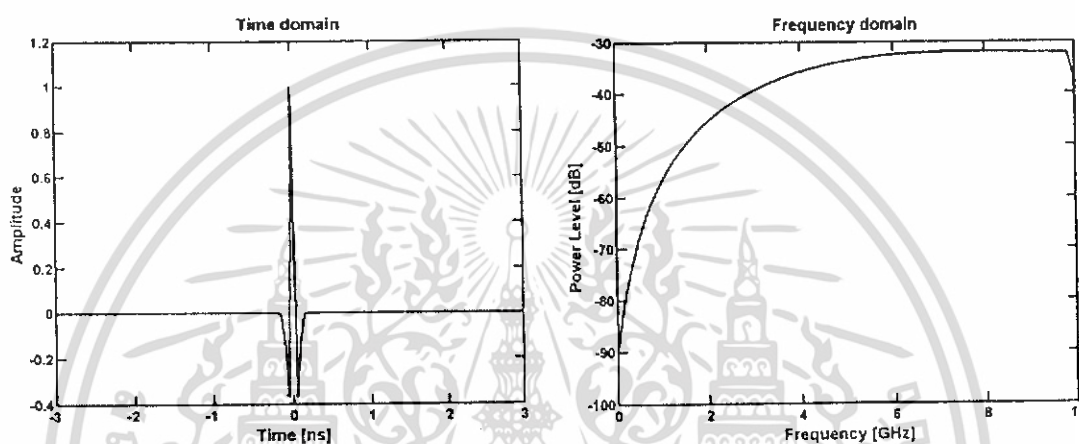
รูปที่ 2.7 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet pulse)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลเป็นสัญญาณที่ได้จากการหาอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน ซึ่งสัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเบิลสามารถสร้างได้จากสมการที่ (2.6)

$$s(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] e^{-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.8 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

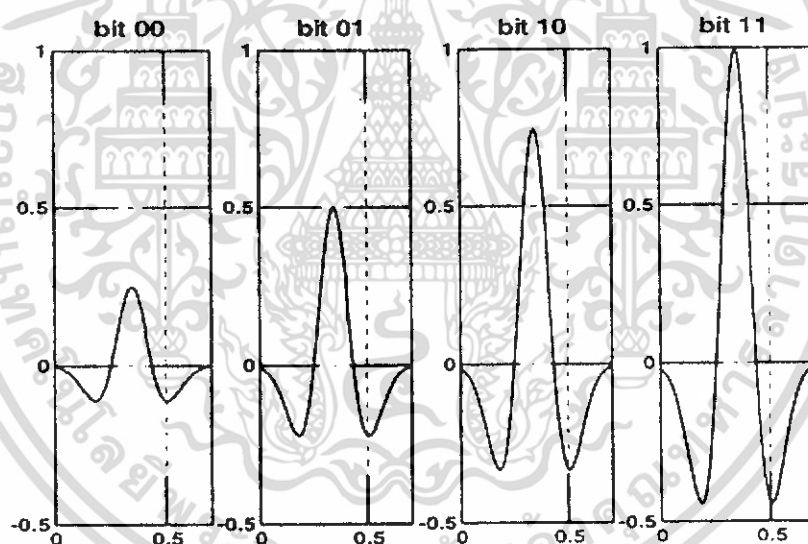
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีารมอดูเลตในระบบการสื่อสารUWB

ในการส่งสัญญาณข่าวสารในระบบการสื่อสาร UWB นั้นสามารถทำการมอดูเลตได้หลายวิธีแต่ที่นิยมนำมาใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi – Phase Modulation) การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (Pulse Position Modulation) และการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาดของสัญญาณ (Pulse Amplitude Modulation) เป็นต้น

2.5.1 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM)

การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM) นั้นจะอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณข้อมูลในระบบการสื่อสารUWB ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาด โดยมีทั้งหมด 4 ระดับ ซึ่งการมอดูเลตตามขนาดนั้นจะมีข้อเสียในด้านอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวน

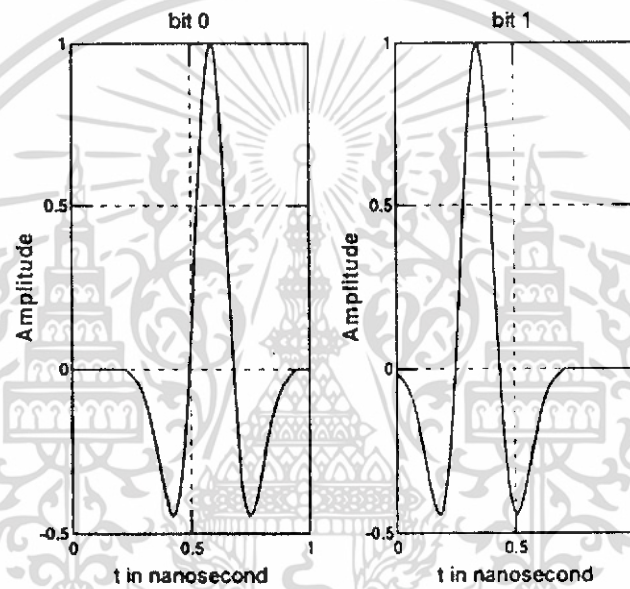


รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM)

การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยที่ในรูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่ง โดยที่ในรูปที่ 2.10 นั้นบิต "0" จะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Nominal-Position) และบิต "1" จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์



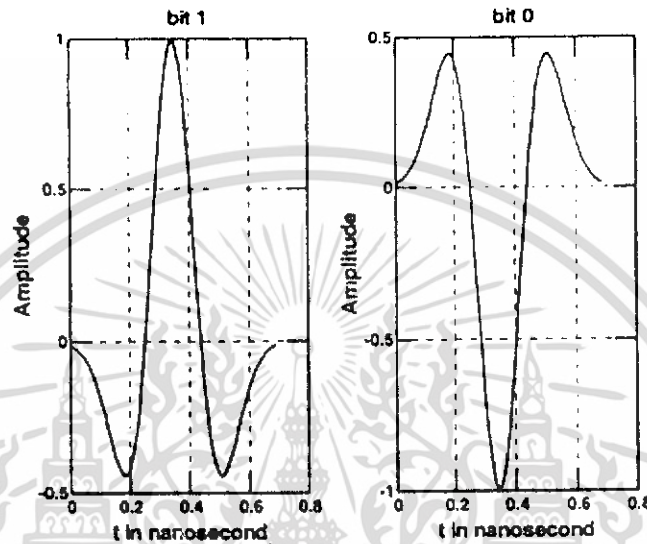
รูปที่ 2.10 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง

62821

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi-phase)

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟสนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์ โดยในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบสองเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ

ผลกระทบการส่งผ่านคลื่นสัญญาณ คือ การสะท้อน (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการแตกกระจาย (Scattering)

- การสะท้อน ของคลื่นสัญญาณเกิดขึ้นเมื่อคลื่นมีการเคลื่อนที่จากสื่อกลางประเภทหนึ่ง ไปสู่อีกสื่อกลางอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สื่อกลางชนิดที่สองจะต้องมีพื้นผิวที่ใหญ่มากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ คลื่นบางส่วนจะมีการสะท้อนออกและส่วนที่เหลือก็เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่สื่อกลางชนิดที่สอง ตัวอย่างของการสะท้อนของคลื่นที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งก็เช่น การที่คลื่นเคลื่อนที่เข้ากระทบกำแพง หรือพื้นผิวของโลก เป็นต้น

- การเลี้ยวเบน ของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบกีดขวางอยู่ระหว่างอุปกรณ์รับและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ทำให้ไม่มีเส้นทางตรง (Line-of-sight) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองที่คลื่นสัญญาณสามารถส่งผ่านได้ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นก็คือ คลื่นสัญญาณจะเลี้ยวอ้อมวัตถุต่างๆ การเลี้ยวเบนของสัญญาณนี้เองที่ทำให้เรายังสามารถรับสัญญาณได้บางส่วน ถึงแม้ว่าเครื่องรับสัญญาณจะถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวาง ด้วยเหตุนี้การเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณจึงมีประโยชน์ต่อการส่งผ่านสัญญาณ

- การแตกกระจาย เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่กระทบวัตถุหรือพื้นผิวขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ ทำให้คลื่นสัญญาณเกิดการกระเจิงของสัญญาณก็เช่น ป้ายจราจร เสาโคมไฟตามถนน ใบไม้ และพื้นผิวที่ขรุขระ เป็นต้น

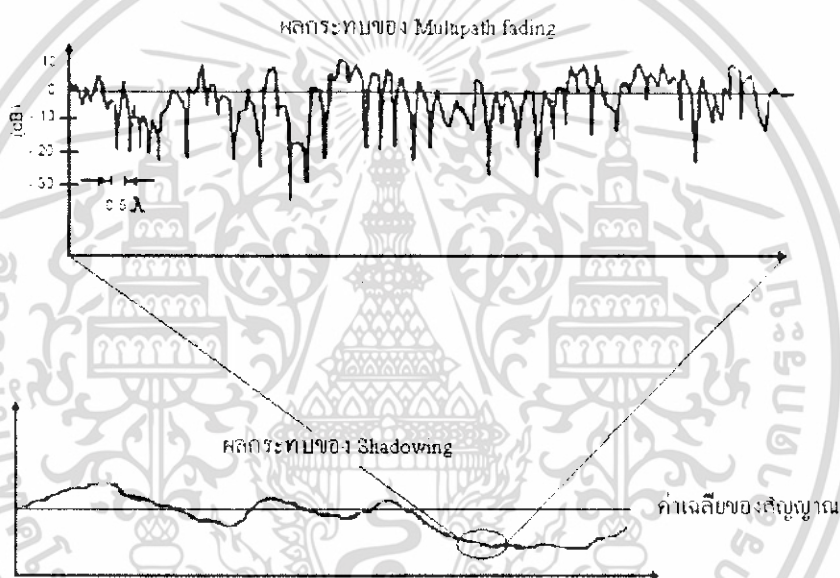
คุณลักษณะการลดทอนของสัญญาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การสูญเสียกำลัง (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^n โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งที่มีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน ดูตัวอย่างของค่า n สำหรับการคำนวณค่า Path loss ในบริเวณต่างๆ สังเกตว่าค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณมีขนาดที่สูงในบริเวณเมืองใหญ่เมื่อเทียบกับบริเวณที่ว่างเปล่า เพราะมีปัญหาการบดบังของสัญญาณเนื่องมาจากตึก อาคาร และสถานที่

2. การบดบังสัญญาณ (Shadowing หรือ Large-scale fading) เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะจากสิ่งแวดลอมรอบข้าง เช่น อาคาร เนินเขา เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ออกจากบริเวณนั้น สัญญาณที่รับได้ก็จะมีกำลังแรงคั้งเดิม ดังนั้นระดับของสัญญาณที่รับได้มักจะเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะต่างๆ กับขนาดของสิ่งกีดขวาง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ประมาณหลายสิบลเมตร ดูตัวอย่างลักษณะของสัญญาณที่ได้รับผลกระทบจากซาโดว์อิงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การจางหายของสัญญาณต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath fading หรือ Small-scale fading) เกิดจากการที่สายอากาศของเครื่องรับสัญญาณอยู่ใกล้กับพื้นผิวมาก ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ รอบข้างจึงส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลทำให้สัญญาณที่รับได้ ประกอบด้วย จำนวนสัญญาณหลายๆ สัญญาณที่เดินทางมาจากทิศทางที่แตกต่างกัน โดยมีทั้งขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน ผลกระทบของมัลติพาทเฟดดิ้ง ทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างบ่อยครั้งมากและการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณ โดยทั่วไปจะอยู่ในระดับเดียวกันกับขนาดของความยาวคลื่น การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอาจจะเกิดขึ้นได้มากถึง 30-40 dB เพียงผู้ใช้โทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยระยะเพียงเศษส่วนของความยาวคลื่น



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงลักษณะระดับของสัญญาณที่รับได้เนื่องจากผลกระทบของมัลติพาทเฟดดิ้ง และชาโดว์อิ้ง

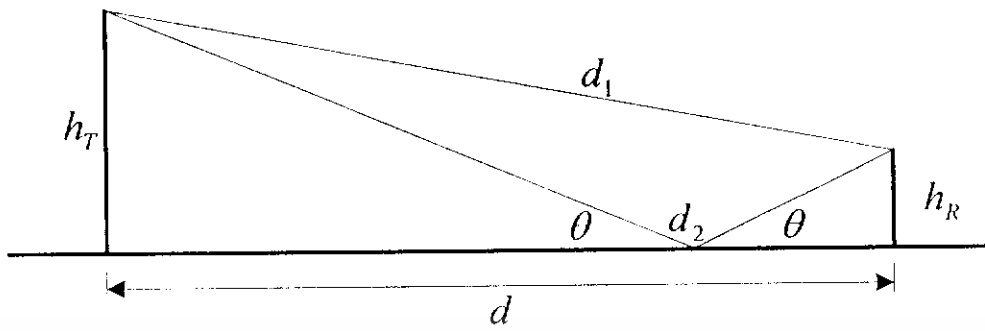
2.6.1 การสูญเสียกำลัง (Path loss)

1. การสูญเสียกำลังในอากาศว่าง (Free Space Path Loss) ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นแพร่กระจายออกไปด้วยมุมที่กว้าง ทำให้ความเข้มของกำลังคลื่นสัญญาณอ่อนตัวลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบยกกำลังสอง คำว่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณในอากาศว่างนี้ ได้นิยามให้เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา โดยที่คลื่นมีการแพร่กระจายในบริเวณที่ว่างเปล่า (free space propagation) อัตราส่วนนี้มีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (2.7)$$

โดยที่ P_R คือ กำลังของสัญญาณที่รับได้
 P_T คือ กำลังของสัญญาณที่ส่งออก
 G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
 G_T คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
 λ คือ ค่าความยาวคลื่น
 d คือ ระยะระหว่างภาครับและภาคส่ง (m)

2. การสูญเสียกำลังเนื่องจากพื้นผิวเรียบ (Plane Path Loss) จะกล่าวถึงผลกระทบของพื้นผิวต่อการส่งผ่านสัญญาณ โดยเปรียบเทียบกับ การส่งผ่านสัญญาณในอากาศว่าง ทั้งนี้สมมติให้ การส่งผ่านสัญญาณนี้เกิดขึ้นในบริเวณที่มีพื้นผิวที่ราบเรียบ ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ หรือเนินเขาในบริเวณนั้นเลย ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จะประกอบด้วยสัญญาณเพียง 2 ส่วน คือ ส่วนที่แพร่มาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยตรงและส่วนที่สะท้อนจากพื้นผิวดังที่แสดงไว้ในรูป 2.13 ซึ่งจะเห็นว่ามี ความแตกต่างจากในกรณีของการส่งสัญญาณ ในอากาศว่างที่ได้รับสัญญาณเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งสัญญาณจากส่วนสะท้อนกับพื้นผิว



รูปที่ 2.13 ผลกระทบของคลื่นที่สะท้อนกับพื้นผิวเรียบต่อสัญญาณที่รับได้

2.6.2 ผลกระทบของการบดบังสัญญาณ (Shadowing)

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจาก path loss ที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นเป็นการคำนวณหาค่าของสัญญาณที่คาดว่าจะได้รับตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า ณ ตำแหน่งที่ห่างจากภาคส่งสัญญาณเท่าๆ กัน ก็จะได้รับสัญญาณที่มีกำลังเท่ากันด้วย แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณที่รับได้ในแต่ละบริเวณอาจจะมีกำลังที่ไม่เท่ากันก็ได้ ถึงแม้ว่าจะอยู่ห่างจากสถานีส่งเท่ากัน ทั้งนี้เพราะกำลังของสัญญาณที่รับได้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในบริเวณที่สัญญาณส่งผ่านด้วย ดังนั้นในสภาพความเป็นจริง สัญญาณเหล่านี้จะมีการกระเพื่อมขึ้นและลงอยู่บนค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จาก path loss ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในลักษณะนี้ เราพบว่าสามารถจำลองได้ด้วยการใช้ตัวแปรแรนดอมที่มีการแจกแจงแบบ log-normal distribution

2.6.3 ปัญหาการจางหายของสัญญาณต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath Fading)

การสะท้อนของคลื่นสัญญาณกับพื้นผิว หรือสิ่งต่างๆ รอบข้าง ส่งผลให้สัญญาณที่รับได้ประกอบด้วย สัญญาณที่แพร่มามากกว่าหนึ่งทิศทาง และโดยทั่วไปแล้วสัญญาณเหล่านี้มักจะเดินทางมาถึงภาครับด้วยเวลาที่แตกต่างกัน และมีขนาดที่แตกต่างกันด้วย เมื่อสัญญาณเหล่านี้มารวมเข้าด้วยกัน จะได้สัญญาณที่มีแอมพลิจูดแปรเปลี่ยนได้อย่างมาก ปัญหานี้มีชื่อเรียกว่า “มัลติพาทเฟดดิ้ง” (Multipath Fading) ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในสภาวะดังกล่าวสามารถจำลองได้ด้วยตัวแปรแรนดอมที่มีการกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution)

2.7 โพรไฟล์การหน่วงกำลัง (Power Delay Profile)

เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของช่องสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง และทำการพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบระบบสื่อสารไร้สาย โดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาโพรไฟล์การหน่วงกำลังประกอบด้วย การหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย (mean excess delay), การแผ่การหน่วง rms(rms delay spread) และการแผ่การหน่วงเฉลี่ย(excess delay spread)

โดยค่าการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย ($\bar{\tau}$) หาได้จาก

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.8)$$

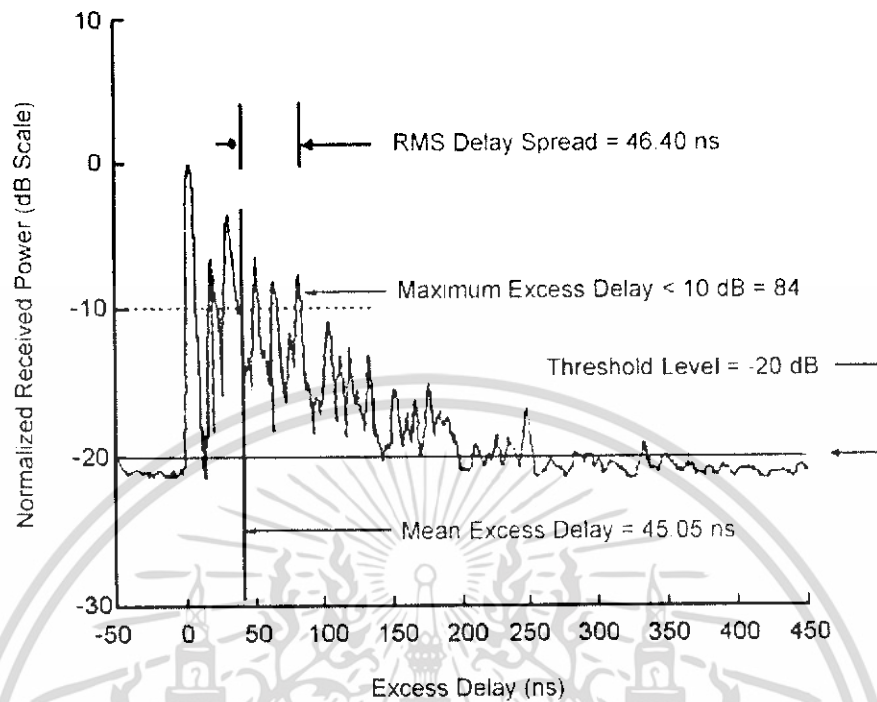
และค่าการแผ่การหน่วง rms หาได้จาก

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (2.9)$$

โดยที่

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการหน่วงกำลังของคลื่นภายในอาคาร

2.8 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น

สัญญาณที่เราไม่สามารถรู้ค่าได้แน่นอน หรือไม่สามารถรู้ค่าล่วงหน้าได้ สัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นในระบบสื่อสารทั้งในลักษณะที่เป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการ คือเป็นสัญญาณรบกวน และเป็นสัญญาณที่ต้องการคือมีข่าวสารอยู่ เนื่องจากสัญญาณแรงคั้นเป็นสัญญาณที่เราไม่สามารถรู้การเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนได้ การจัดการกับสัญญาณประเภทนี้จึงต้องใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วย ประมาณคุณสมบัติของสัญญาณ โดยหาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ฟังก์ชันความหนาแน่น และการแจกแจงความน่าจะเป็น เพื่อทำแบบจำลองทางสถิติ

2.8.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF)

กำหนดให้ความน่าจะเป็น $P\{X \leq x\}$ เป็นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ $\{X \leq x\}$ และจะกำหนดให้ $f_x(x)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น ซึ่งนิยามเป็น

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

1. $f_x(x) \geq 0$

2. $\int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx = 1$

3. $F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(\xi) d\xi$

4. $P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f_x(x) dx$

2.8.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Cumulative Distribution Function: CDF)

กำหนดให้ ความน่าจะเป็น $P\{X \leq x\}$ เป็นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ $\{X \leq x\}$ และจะกำหนดให้ $F_x(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งนิยามเป็น

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} \quad (2.12)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

1. $F_x(-\infty) = 0$

2. $F_x(\infty) = 1$

3. $0 \leq F_x(x) \leq 1$

4. $F_x(x_1) \leq F_x(x_2)$ เมื่อ $x_1 < x_2$

5. $P\{x_1 < x \leq x_2\} = F_x(x_2) - F_x(x_1)$

6. $F_x(x^+) = F_x(x)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Correlation function)

2.9.1 สหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation)

นิยามให้ $R_f(\tau)$ เป็น Autocorrelation ของ $f(t)$ และ $S_f(f)$ คือ Power section Diversity เมื่อ

$$R_f(\tau) = F^{-1}\{S_f(f)\} \quad (2.13)$$

$$R_f(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^*(t) f(t + \tau) dt \quad (2.14)$$

2.9.2 สหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation)

นิยามให้ $R_{fk}(\tau)$ เป็น Cross - Correlation ระหว่าง $f(t)$ กับ $g(t)$ เมื่อ

$$R_{fk}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^*(t) g(t + \tau) dt \quad (2.15)$$

2.9.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

C เป็น Correlation Coefficient ระหว่าง $f(t)$ กับ $g(t)$ เมื่อ

$$C = \frac{\max |r_{fk}(\tau)|}{\sqrt{\max |r_f(\tau)| \cdot \max |r_k(\tau)|}} = \frac{\max |r_{fk}(\tau)|}{\sqrt{E_f \cdot E_g}} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 Linear Least Squares

แบบจำลองการถอยหลังแบบเส้นตรงคือ

$$y = a + bx \pm e \quad (2.17)$$

โดยมีค่า

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

ผลรวมของค่าผิดพลาด

$$q = \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j)^2 \quad (2.18)$$

เงื่อนไขของผลรวมค่าผิดพลาดที่มีค่าต่ำสุดคือ

$$\frac{\partial q}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j)^2 = -2 \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j) = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = \frac{\partial}{\partial b} \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j)^2 = -2 \sum_{j=1}^n x_j (y_j - a - bx_j) = 0 \quad (2.20)$$

สมการทั่วไปคือ

$$an + b \sum_{j=1}^n x_j = \sum_{j=1}^n y_j \quad (2.21)$$

$$a \sum_{j=1}^n x_j + b \sum_{j=1}^n x_j^2 = \sum_{j=1}^n x_j y_j \quad (2.22)$$

โดยที่ค่า root mean square error คือ

$$e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j)^2} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 สรุป

UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ได้รับความนิยมที่จะใช้ในระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตรา
รับส่งข้อมูลที่สูง เนื่องจากระบบการสื่อสารประเภทนี้ใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลที่มีขนาดที่
กว้างมาก และทำให้สามารถรองรับผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมาก โดยระบบการสื่อสารประเภทนี้จะไม่
มีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณพาห์ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องส่งกำลังสูง
ซึ่งส่งผลทำให้เครื่องส่งและเครื่องรับในระบบการสื่อสารนี้ใช้ต้นทุนที่ต่ำ สัญญาณที่ใช้ในการส่ง
ในระบบการสื่อสารประเภทนี้จะใช้สัญญาณพัลส์ที่มีคาบสัญญาณที่สั้นมากในการส่งข้อมูล ใน
ส่วนของการมอดูเลตสัญญาณในระบบการสื่อสารนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ การ
มอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง และการมอดูเลตแบบสอง
เฟส จากการที่ระบบการสื่อสารนี้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง ดังนั้นระบบการ
สื่อสารประเภทนี้จึงถูกนำเสนอให้ใช้ในระบบเครือข่ายส่วนบุคคลไร้สาย ระบบเครือข่ายเฉพาะที่
แบบไร้สาย และระบบการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย เป็นต้น

บทที่ 3

การการวัดและแบบจำลอง

3.1 สาเหตุและที่มา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่จะอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานได้มากขึ้น และเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญและน่าจะนำมาทำการศึกษา โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและทดสอบสัญญาณการส่งผ่าน UWB ในกรณีส่งผ่านจากภายในอาคารสู่ภายนอกอาคารและภายนอกอาคารสู่ภายในอาคาร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อรูปสัญญาณ เพื่อนำไปอ้างอิงในการออกแบบใช้งานจริงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

3.2 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

3.2.1 Friis' Transmission Formula

เป็นสมการเพื่อใช้หาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง (Free space) ในการหา รูปแบบของสัญญาณการส่งผ่านได้พิจารณาจากฟังก์ชันการส่งผ่าน H_{Friis}

$$H_{Friis}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_r(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (3.1)$$

โดยที่

H_t	คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง
H_r	คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านรับ
H_r	คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านส่ง
V_r	คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับ
V_t	คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านส่ง
f	คือ ความถี่
d	คือ ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Transfer function ใน Free space สามารถเขียนได้ดังนี้

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\pi df/c} \quad (3.2)$$

รูปแบบสัญญาณทางด้านรับ $v_r(t, d)$ หาได้จากสมการ

$$v_r(t, d) = v_t(t) \otimes h_{Friis}(t, d) \quad (3.3)$$

โดยที่

$v_t(t)$ คือ รูปแบบสัญญาณทางด้านส่ง

\otimes คือ คอนโวลูชัน

$h_{Friis}(t, d)$ คือ Impulse response of the extension of Friis' formula หาได้จาก

$$h_{Friis}(t, d) = F^{-1}\{H_{Friis}(f, d)\} \quad (3.4)$$

3.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของคลื่นสัญญาณจะลดลงตามค่า d^n โดย d คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน ซึ่งสามารถนิยามได้ตามสมการดังนี้

$$PL_{LWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t, d)|} \right] \quad (3.5)$$

โดยที่

$v_t(t)$ คือ ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณทางด้านส่ง

$v_r(t, d)$ คือ ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณทางด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แบบจำลองการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

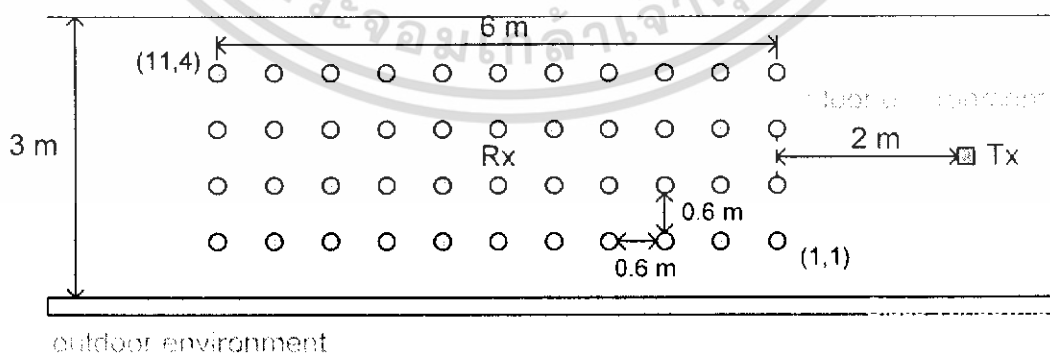
โครงการนี้เป็นารวัดและวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านความถี่ในระบบการสื่อสาร UWB โดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA) ทำการวัดในแถบความถี่ 3GHz ถึง 11 GHz ความสูงของสายอากาศทางด้านรับและด้านส่งกำหนดไว้ที่ 1.65 เมตร สายอากาศที่ใช้เป็นแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna) ทั้งด้านส่งและด้านรับ

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ได้ทำการวัดบริเวณทางเดินบนชั้น 1 ของอาคาร E12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยให้สายอากาศด้านส่งอยู่กับที่และสายอากาศด้านรับเคลื่อนที่ภายในระยะทาง 8 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.4 โดยทำการวัดใน 4 แบบจำลอง (model) คือ

1. สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายในอาคาร
2. สายอากาศด้านส่งอยู่ภายในอาคารและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร
3. สายอากาศด้านส่งอยู่ภายนอกอาคารและด้านรับอยู่ภายในอาคาร
4. สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Matlab และนำเสนอในรูปแบบของค่าแอมพลิจูด (magnititude) และเฟส (phase) ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่, รูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศ, ค่าการหน่วงเวลา (Time Dispersion), ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (path loss) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ในย่าน UWB โดยลักษณะการวางสายอากาศในแบบจำลองต่างๆ จะเป็นไปตามรูปดังนี้

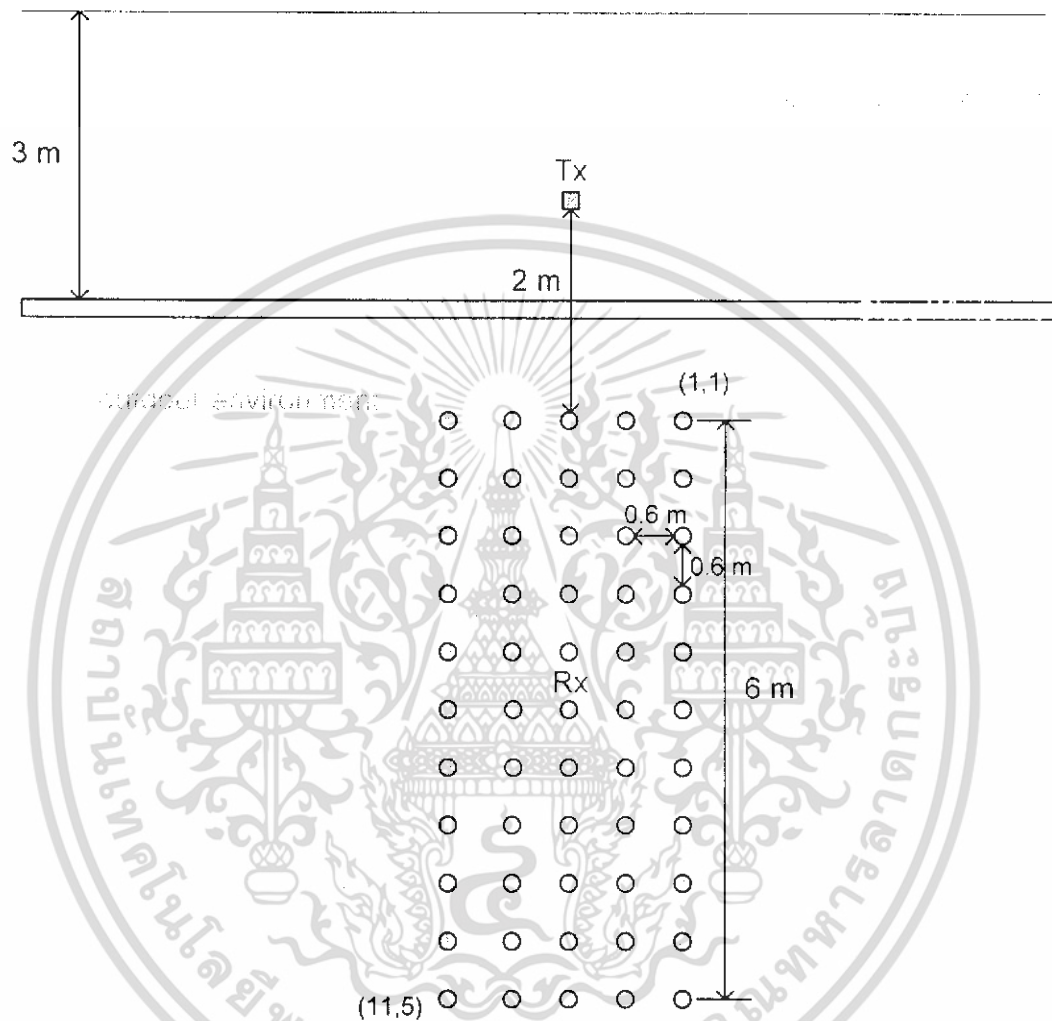
3.3.1 สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายในอาคาร



รูปที่ 3.1 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

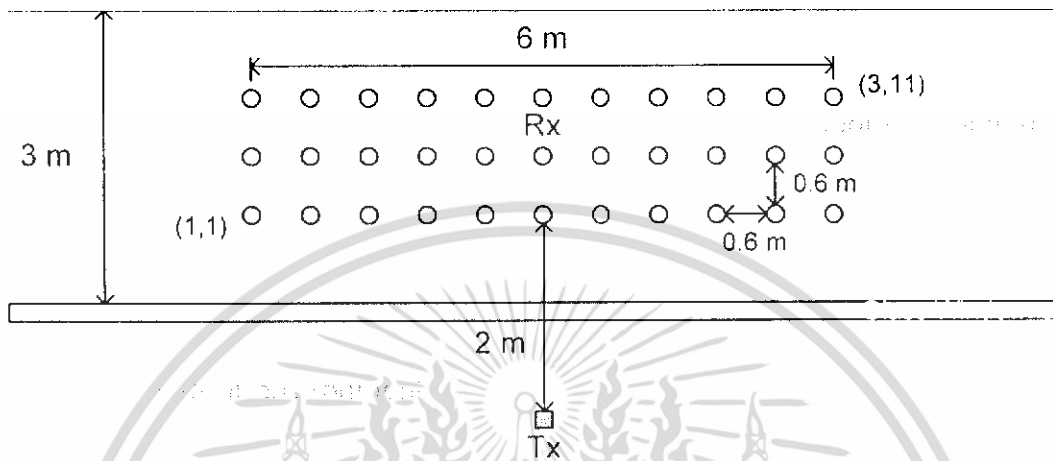
3.3.2 สายอากาศด้านส่งอยู่ภายในอาคารและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร



รูปที่ 3.2 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 2

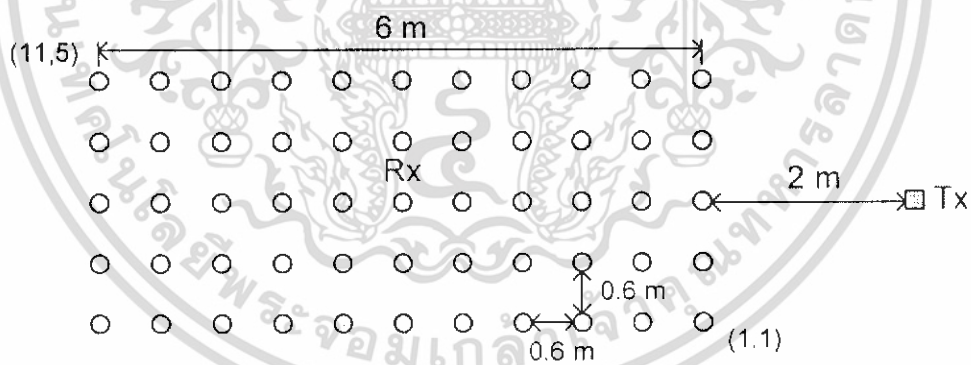
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 สายอากาศด้านส่งอยู่ภายนอกอาคารและด้านรับอยู่ภายในอาคาร



รูปที่ 3.3 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 3

3.3.4 สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร

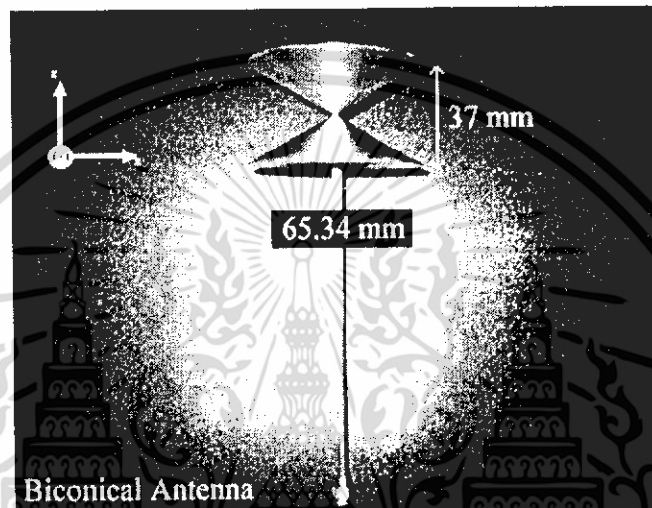


รูปที่ 3.4 มุมมองด้านบนของตำแหน่งการวางสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแบบจำลองที่ 4

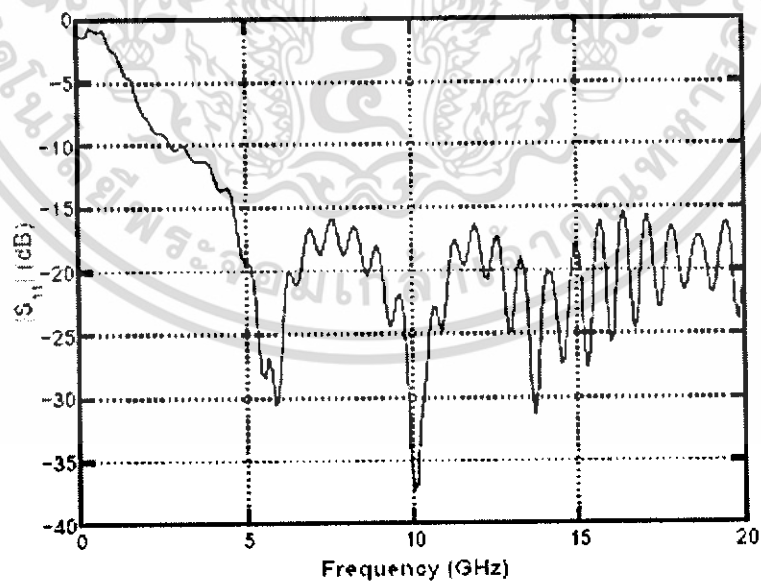
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 คุณลักษณะของสายอากาศไบโคนิกอน (Biconical)

สายอากาศไบโคนิกอน เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ลักษณะของเฟสจะเป็นแบบ Linear phase และเหมาะสำหรับใช้กับรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์ โดยที่กรวยด้านบนของสายอากาศต่อกับสายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ขณะที่กรวยด้านล่างต่อกับกราวด์

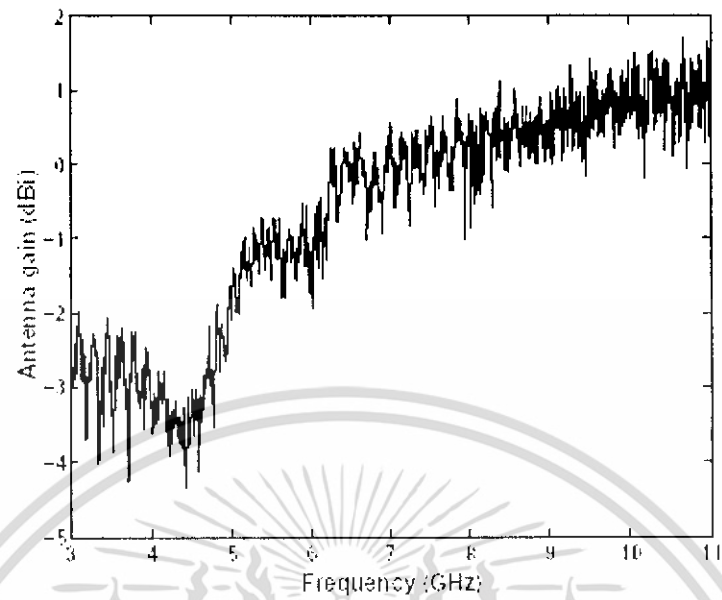


รูปที่ 3.5 สายอากาศไบโคนิกอน

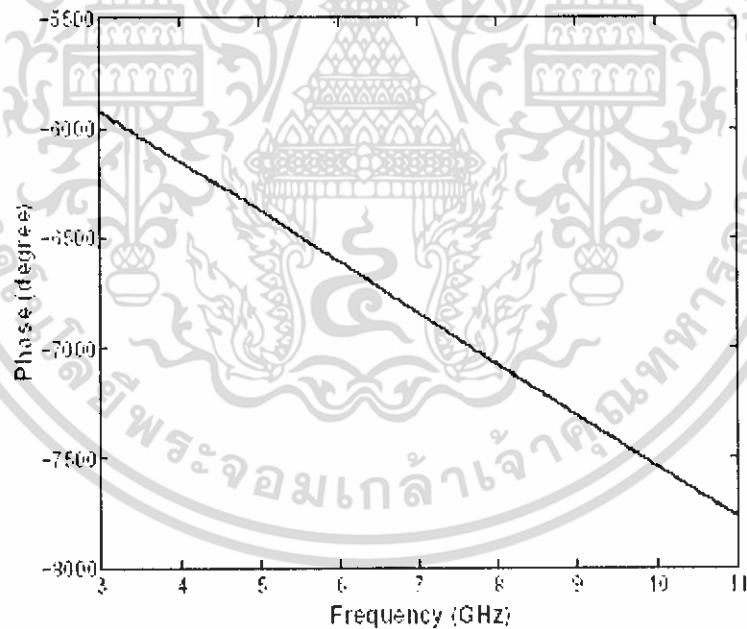


รูปที่ 3.6 คุณสมบัติของสายอากาศไบโคนิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 อัตราการส่งผ่านความถี่ของสายอากาศโบริคคอน



รูปที่ 3.8 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ของสายอากาศโบริคคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสาร UWB

รูปสัญญาณในระบบการสื่อสาร UWB มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ รูปสัญญาณในโดเมนเวลานั้นจะแสดงโดยค่า $v_i(t)$

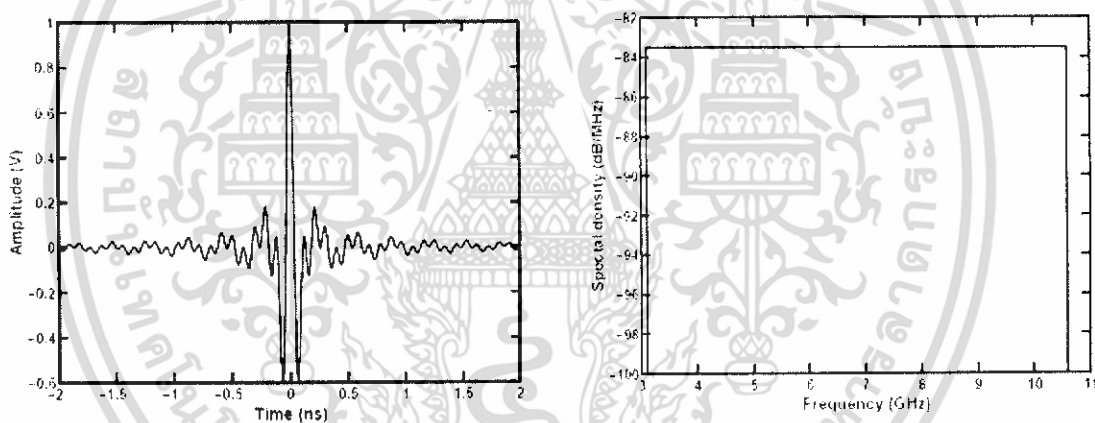
$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \sin c(2f_{\max}t) - f_{\min} \sin c(2f_{\min}t)] \quad (3.6)$$

โดยที่

f_{\max} คือ ค่าสูงสุดของความถี่ กำหนดให้เท่ากับ 10.6 GHz

f_{\min} คือ ค่าต่ำสุดของความถี่ กำหนดให้เท่ากับ 3.1 GHz

f_b คือ ความหนาแน่นของช่วงความถี่ เท่ากับ 7.5 GHz



รูปที่ 3.9 สัญญาณและสเปกตรัมที่ใช้ในการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

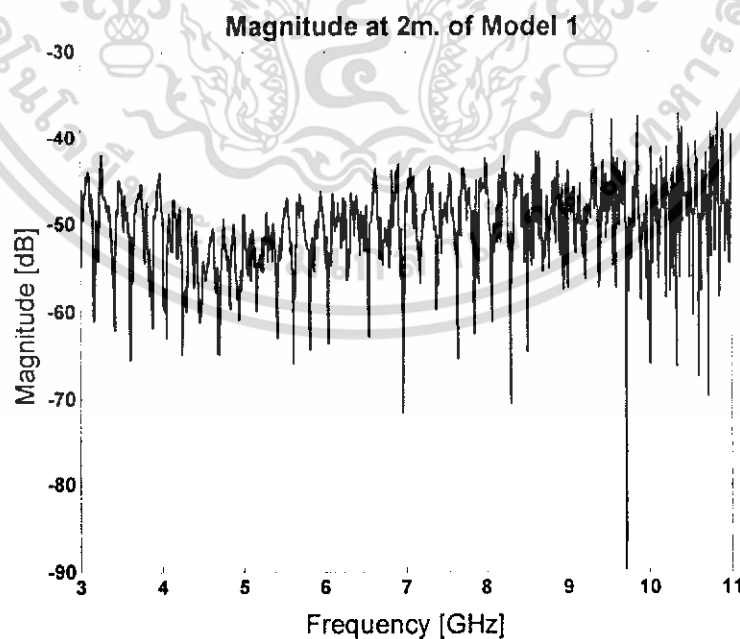
4.1 การวิเคราะห์สัญญาณ

สิ่งที่ได้จากการวัดทดสอบสัญญาณ คือ ค่าของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ที่ 3 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งเราได้นำผลนี้ไปทำการวิเคราะห์โดยประยุกต์ร่วมกับรูปสัญญาณที่ได้สร้างขึ้น ผลการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปแบบของค่าแมกนิจูด (Magnitude) และเฟส (Phase) ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่, รูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศ (Received Signal), ค่าการหน่วงเวลา (Time Dispersion), ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (path loss) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เมื่อเทียบกับระยะทาง เพื่อดูค่าการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อเทียบกับสัญญาณทางด้านส่ง

4.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ

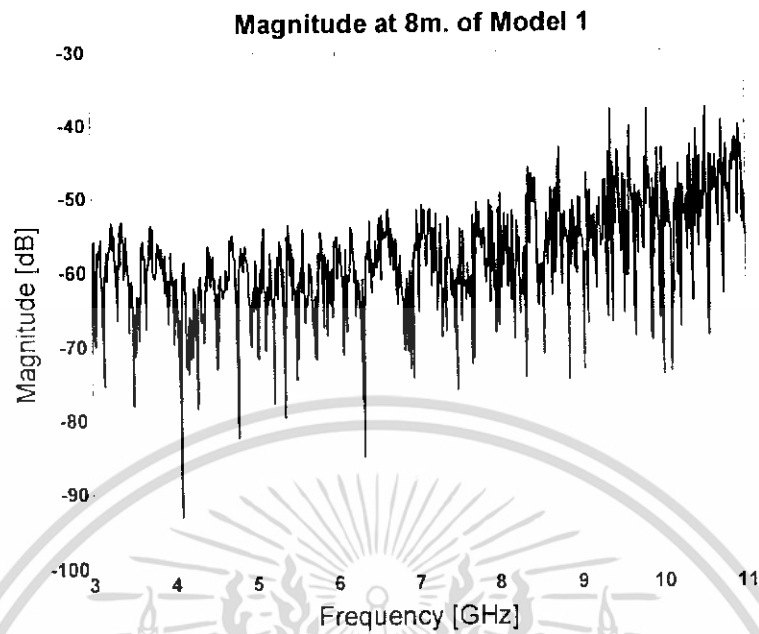
4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 1

ในแบบจำลองที่ 1 กำหนดให้สายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับอยู่ภายในอาคาร ผลจากการวัดและวิเคราะห์ที่ได้แสดงตามรูปดังนี้



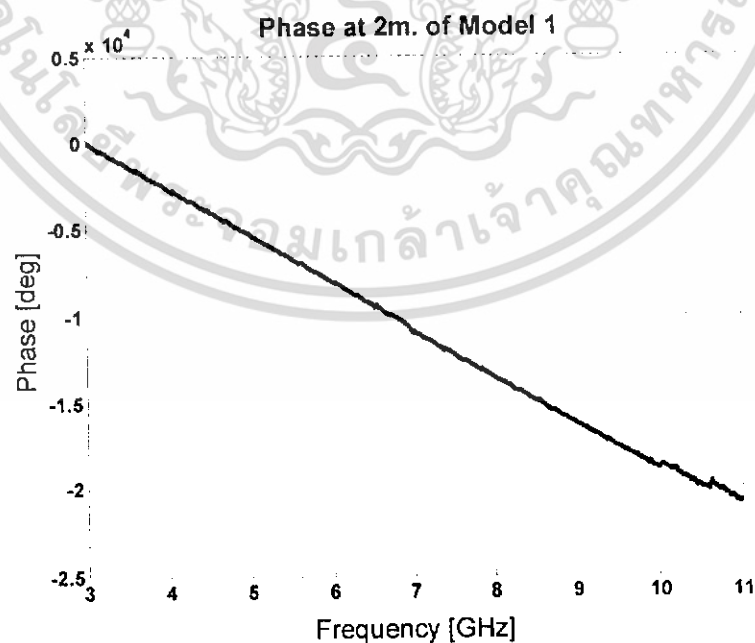
รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



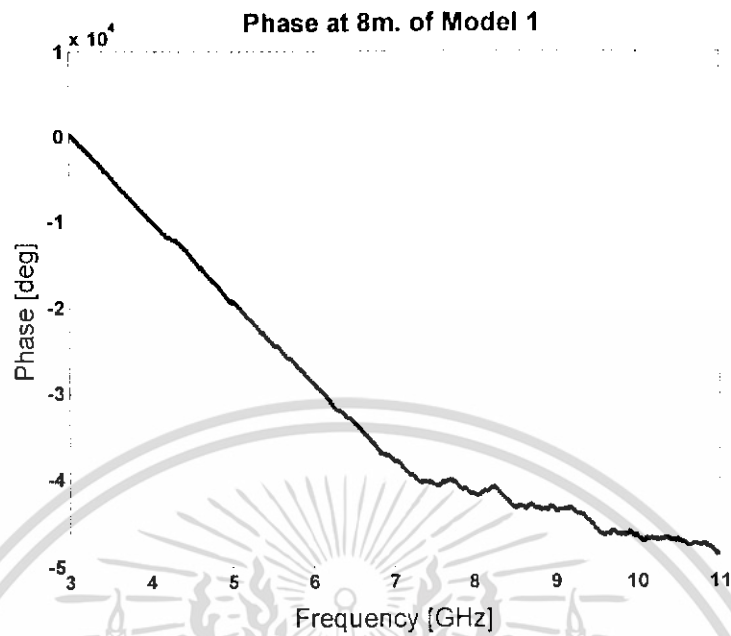
รูปที่ 4.2 พิกัดชั้นการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 8 เมตร

รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงพิกัดชั้นการส่งผ่านที่ได้จากการวัดโดยมีค่าแมกนิจูดประมาณ -45 dB ถึง -65 dB ที่ระยะทาง 2 เมตร และที่ระยะทาง 8 เมตร จะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ -50 dB ถึง -75 dB จากรูปจะสังเกตเห็นว่าแมกนิจูดจะมีค่าต่ำลงที่ความถี่ประมาณ 4.5 GHz และมีค่าสูงขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง



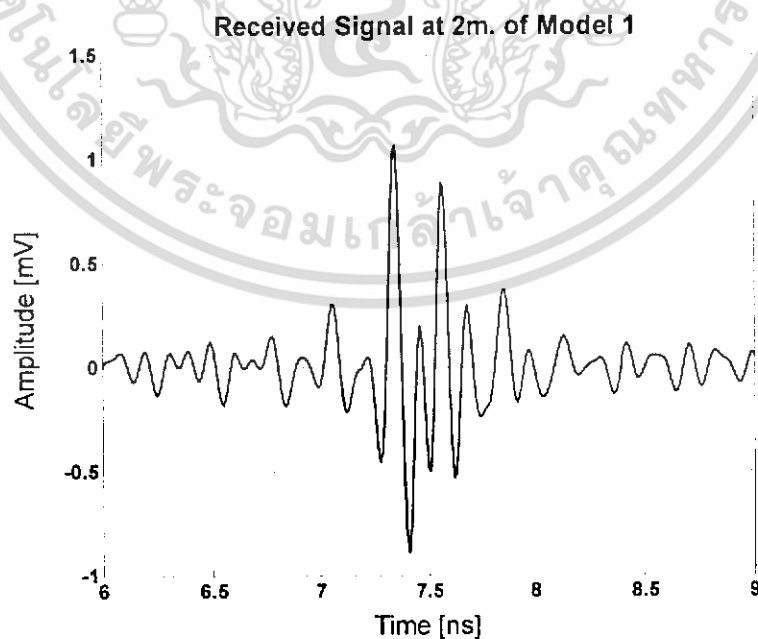
รูปที่ 4.3 เฟสของพิกัดชั้นการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



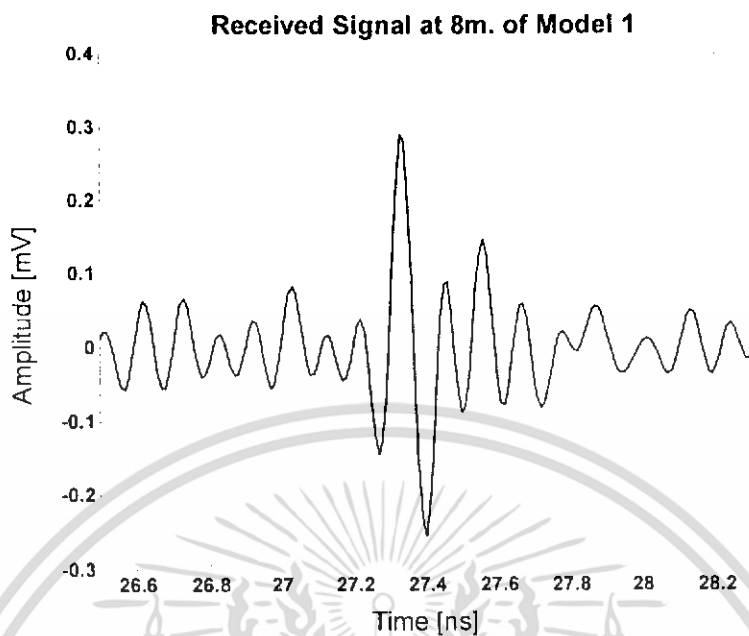
รูปที่ 4.4 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะทาง 8 เมตร

รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดโดยที่ใน ระยะทาง 2 เมตร ลักษณะของเฟสจะเรียบ และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงความถี่ประมาณ 10 GHz ถึง 11 GHz ที่ระยะทาง 8 เมตร ลักษณะของเฟสจะค่อนข้างเรียบ จนถึงในช่วงความถี่ ประมาณ 7 GHz ถึง 11 GHz เฟสเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นจนเห็นได้ชัด



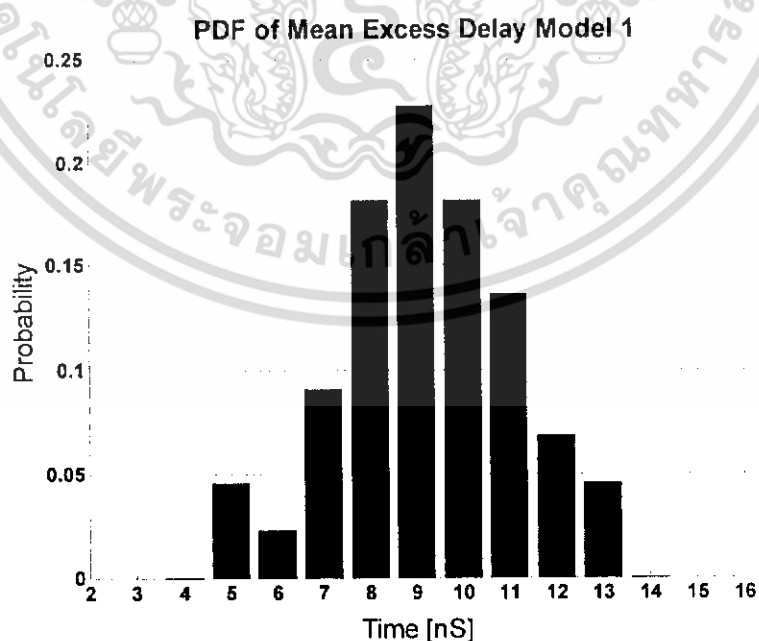
รูปที่ 4.5 สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



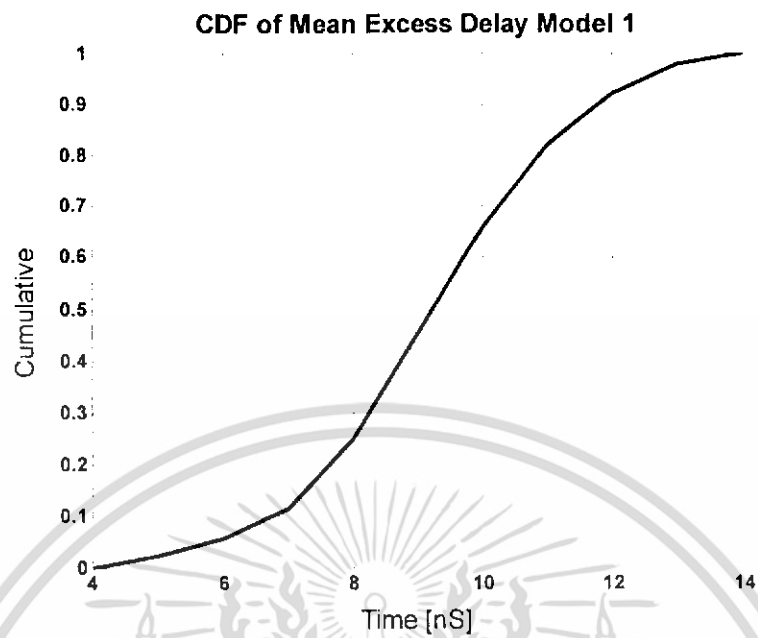
รูปที่ 4.6 สัญญาณทางด้วนรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 8 เมตร

รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณทางด้วนรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร และ 8 เมตร โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 1.1 mV และเวลาในการมาถึงอยู่ที่ประมาณ 7.5 nS ที่ระยะทาง 8 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูด ลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 0.29 mV และเวลาในการมาถึงเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 27.3 nS



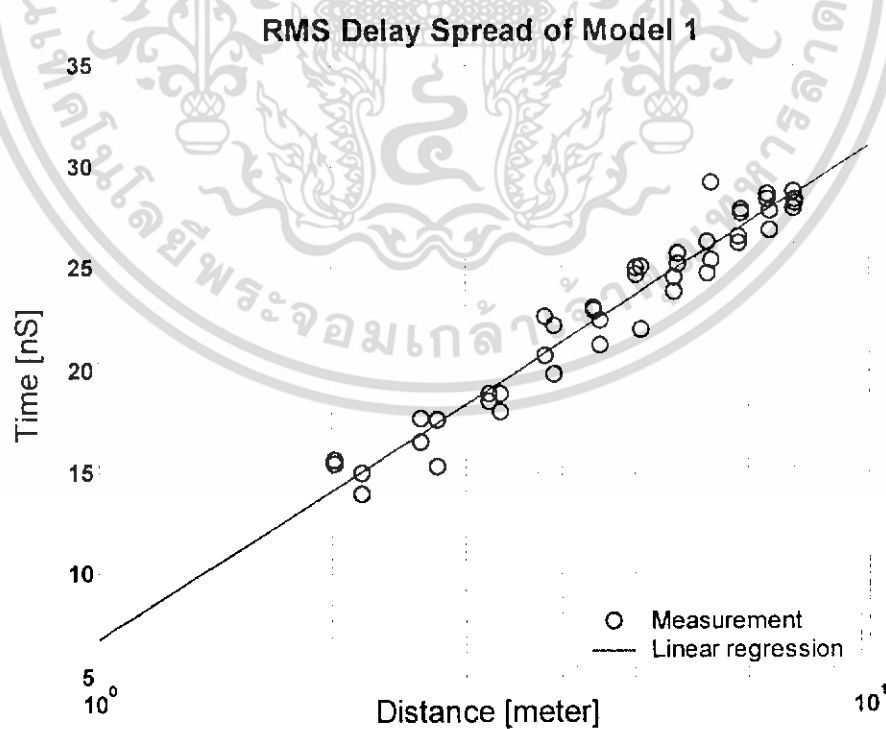
รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย

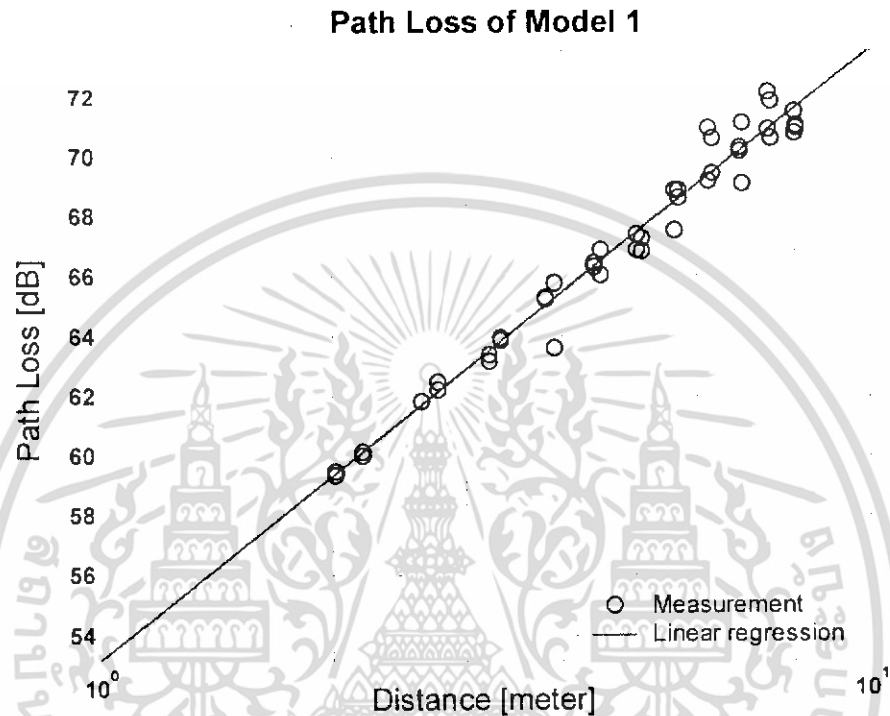
รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย โดยที่เวลา 9 nS จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงที่สุด คืออยู่ที่ประมาณ 0.23



รูปที่ 4.9 ค่าการแผ่การหน่วง

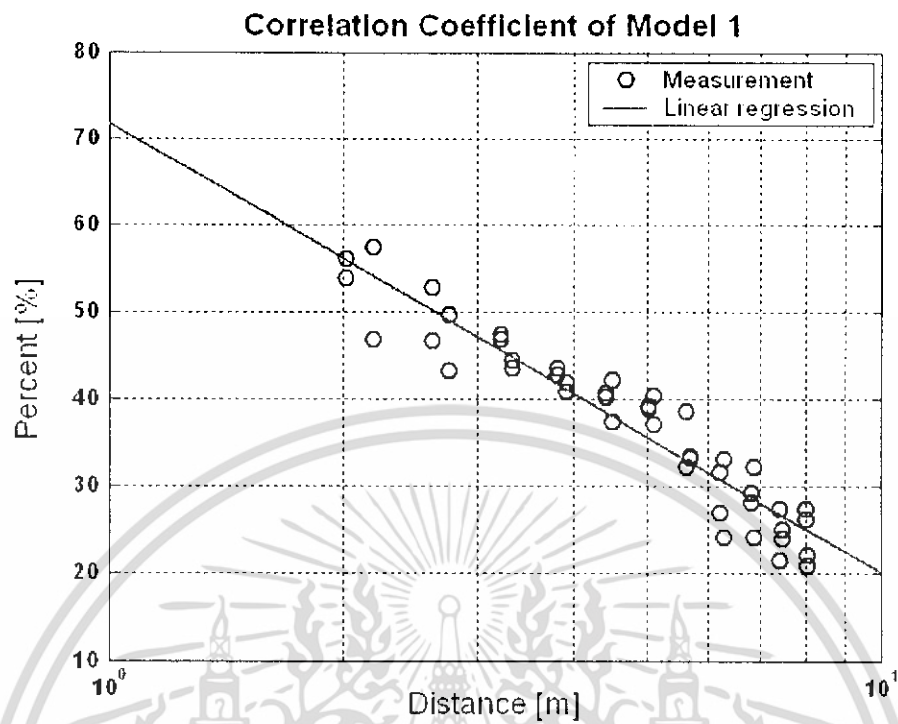
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงค่าการแผ่การหน่วงเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการค่าการแผ่การหน่วงเท่ากับ 16 nS และที่ระยะทาง 8 เมตรจะมีค่าการหน่วงมากขึ้นอยู่ที่ประมาณ 28 nS จากรูปจะสังเกตเห็นว่าค่าการแผ่การหน่วงจะมากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง

รูปที่ 4.10 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 59 dB และมีค่าเท่ากับ 71.5 dB ที่ระยะทาง 8 เมตร จากรูปจะสังเกตเห็นว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าการแผ่การหน่วง

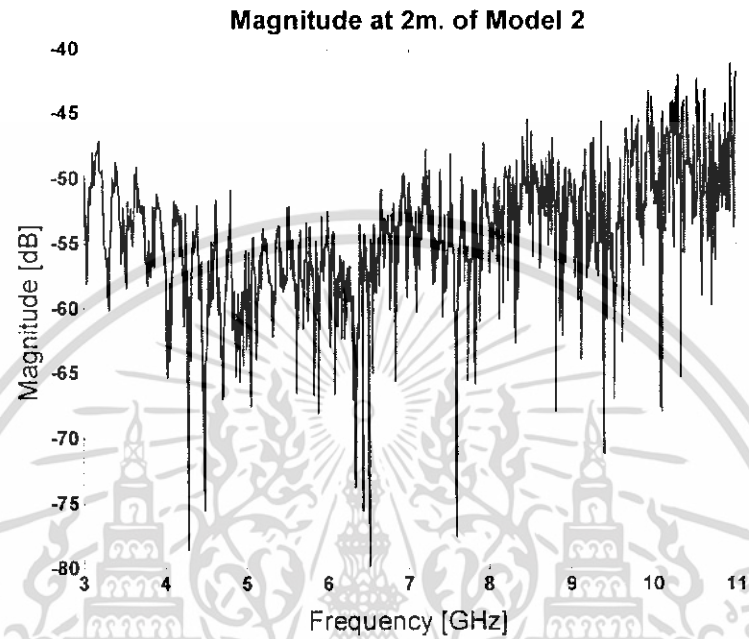


รูปที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง

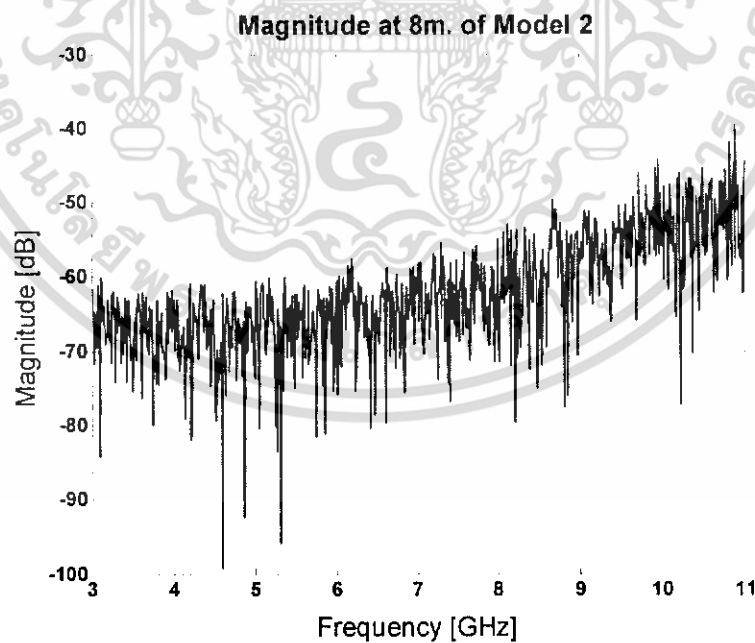
รูปที่ 4.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตร จะมีค่าประมาณ 55% และที่ระยะทาง 8 เมตร มีค่าประมาณ 25% จากรูปจะสังเกตเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 2

ในแบบจำลองที่ 2 กำหนดให้สายอากาศด้านส่งอยู่ภายในอาคารและด้านรับอยู่ภายนอกอาคารผลจากการวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



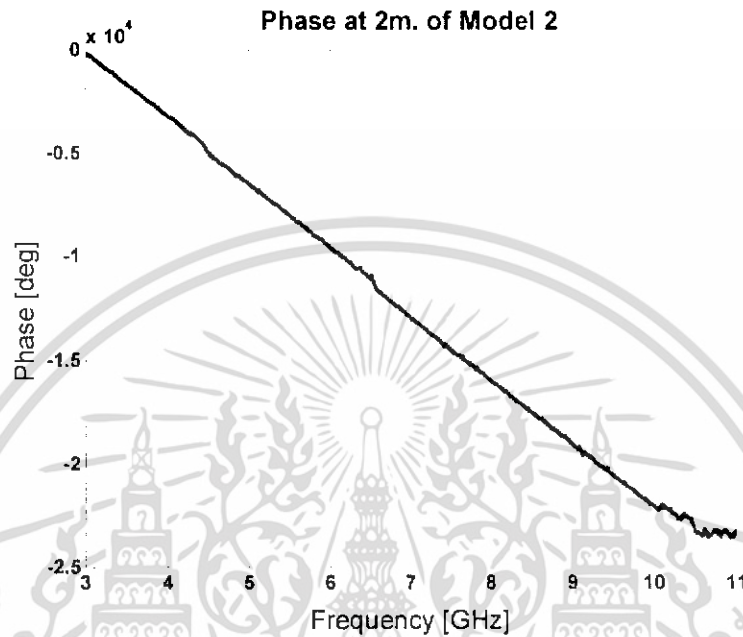
รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร



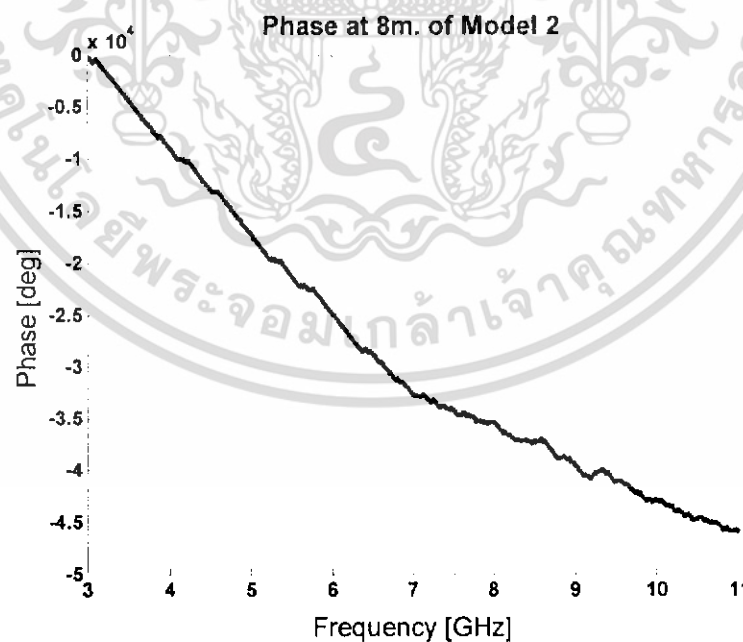
รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 แสดงฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดโดยมีค่าแมกนิจูดประมาณ -50 dB ถึง -65 dB ที่ระยะทาง 2 เมตร และที่ระยะทาง 8 เมตร จะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ -60 dB ถึง -75 dB



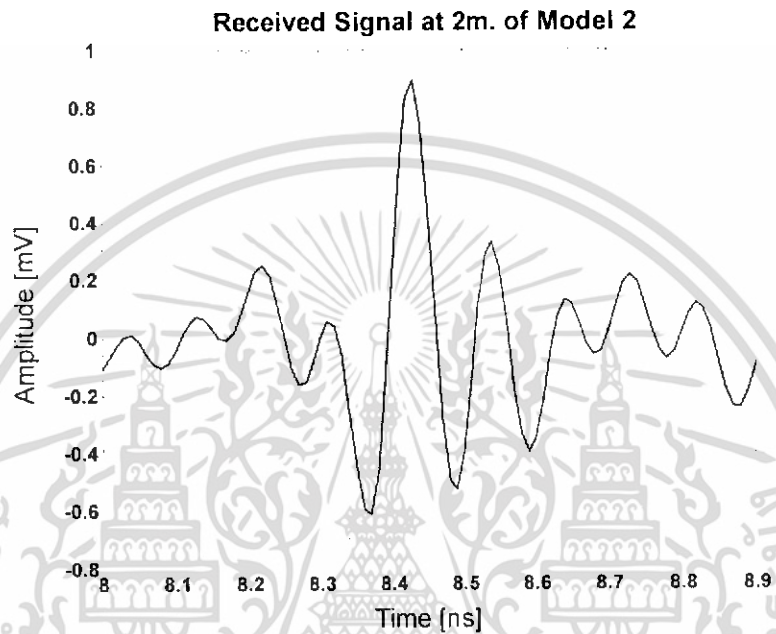
รูปที่ 4.14 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร



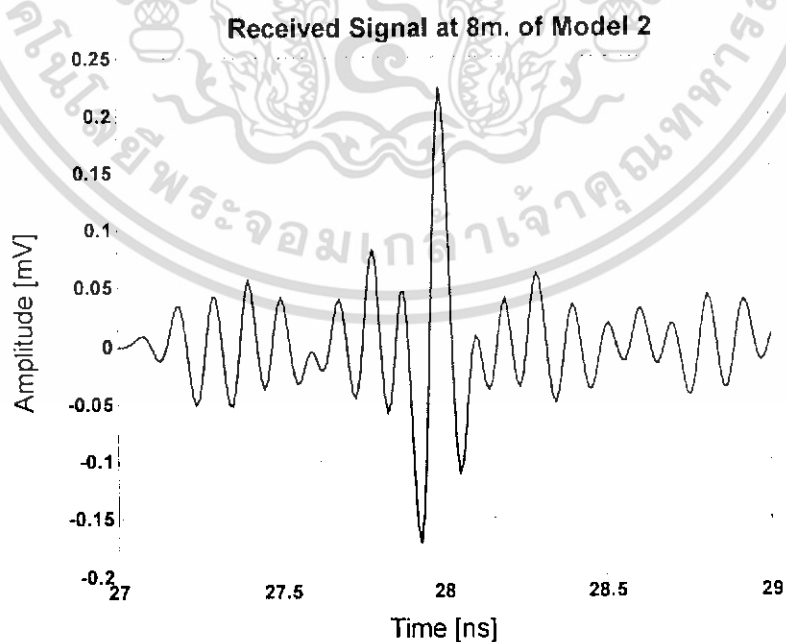
รูปที่ 4.15 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 แสดงลักษณะเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัด โดยที่ใน ระยะทาง 2 เมตร ลักษณะของเฟสจะเรียบ และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ช่วงความถี่ประมาณ 10 GHz ถึง 11 GHz ที่ระยะทาง 8 เมตร ลักษณะของเฟสจะค่อนข้างเรียบ จนถึงที่ช่วงความถี่ ประมาณ 7 GHz ถึง 11 GHz เฟสเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



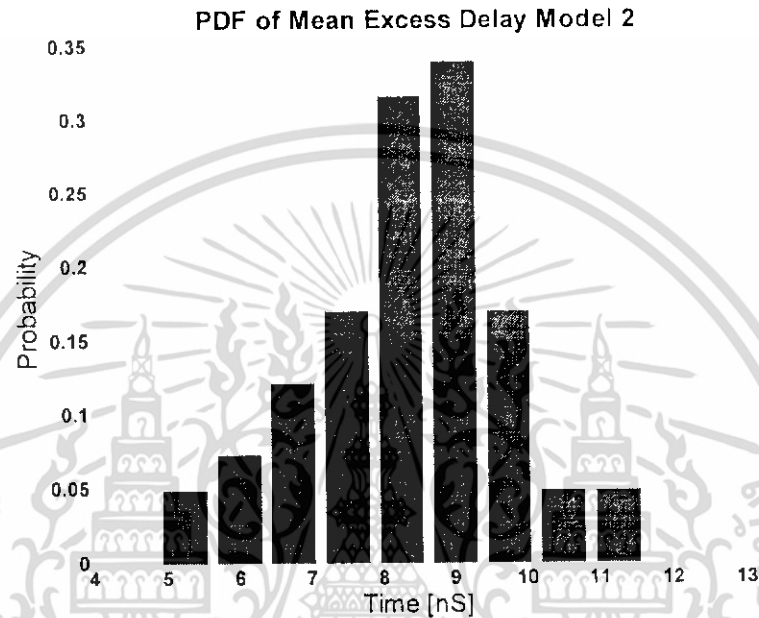
รูปที่ 4.16 สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร



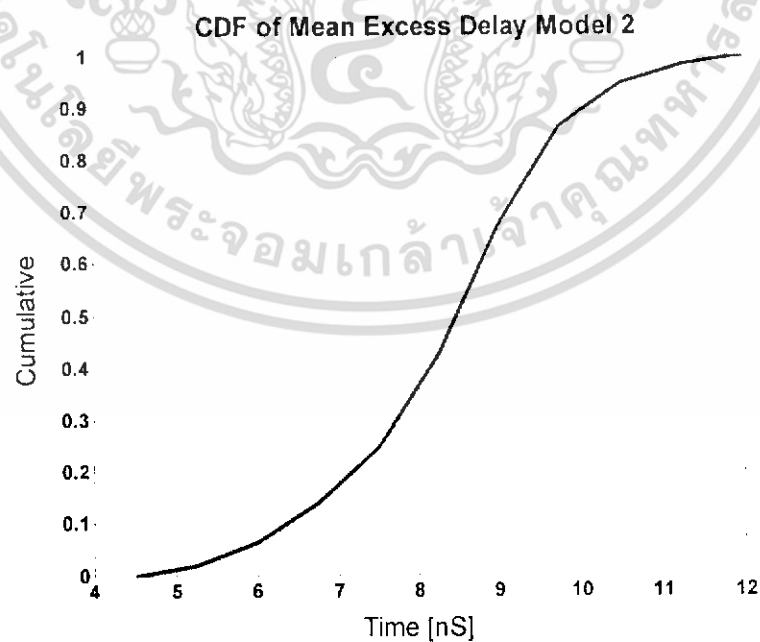
รูปที่ 4.17 สัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณทางด้วนรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร และ 8 เมตร โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 0.9 mV และเวลาในการมาถึงอยู่ที่ประมาณ 8.4 nS ที่ระยะทาง 8 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูด ลดลงอยู่ที่ประมาณ 0.225 mV และเวลาในการมาถึงเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 28 nS



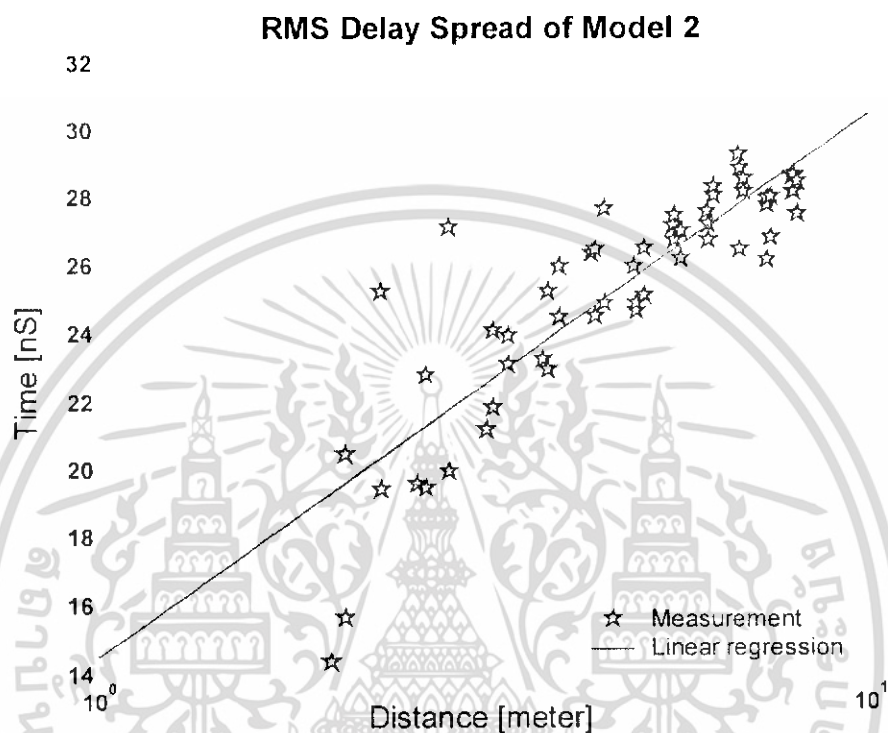
รูปที่ 4.18 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย



รูปที่ 4.19 ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย

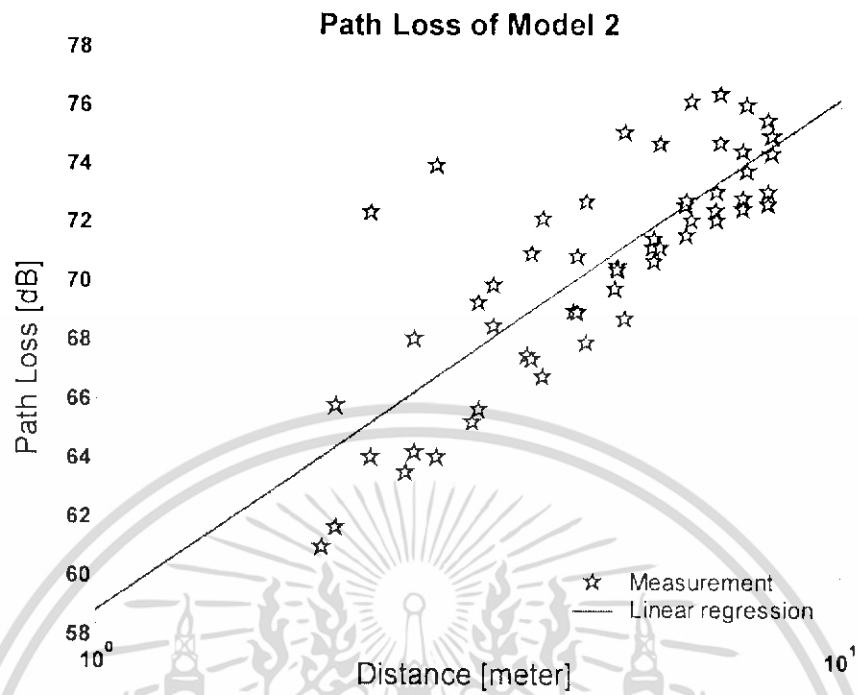
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย โดยที่เวลา 8 nS และ 9 nS จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุดใกล้เคียงกัน คืออยู่ที่ประมาณ 0.32 และ 0.34 ตามลำดับ



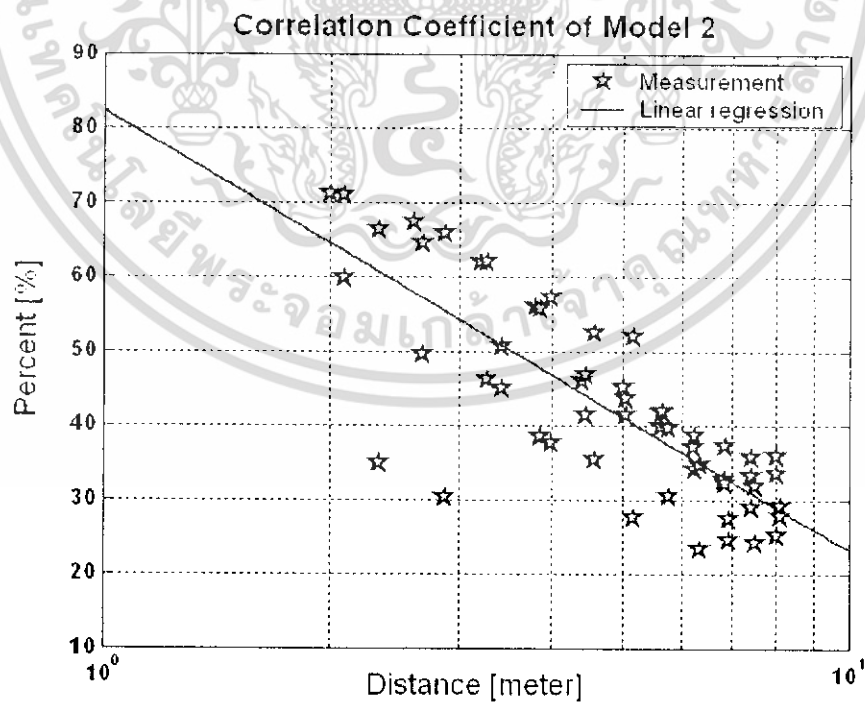
รูปที่ 4.20 ค่าการแผ่การหน่วง

รูปที่ 4.20 แสดงค่าการแผ่การหน่วงเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการค่าการแผ่การหน่วงอยู่ที่ประมาณ 19 nS และที่ระยะทาง 8 เมตรจะมีค่าการหน่วงมากขึ้นอยู่ที่ประมาณ 29 nS



รูปที่ 4.21 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง

รูปที่ 4.21 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีต่ำที่สุดประมาณ 64 dB และมีค่าสูงสุดประมาณ 75 dB ที่ระยะทาง 8 เมตร



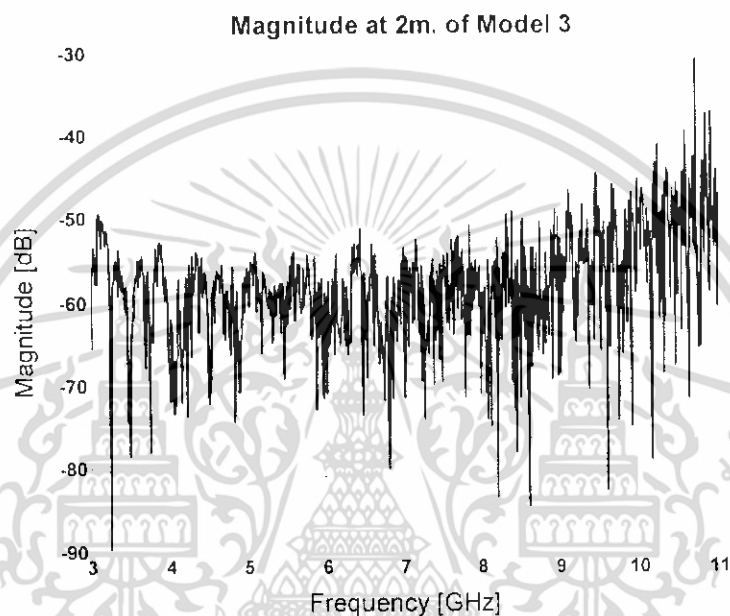
รูปที่ 4.22 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

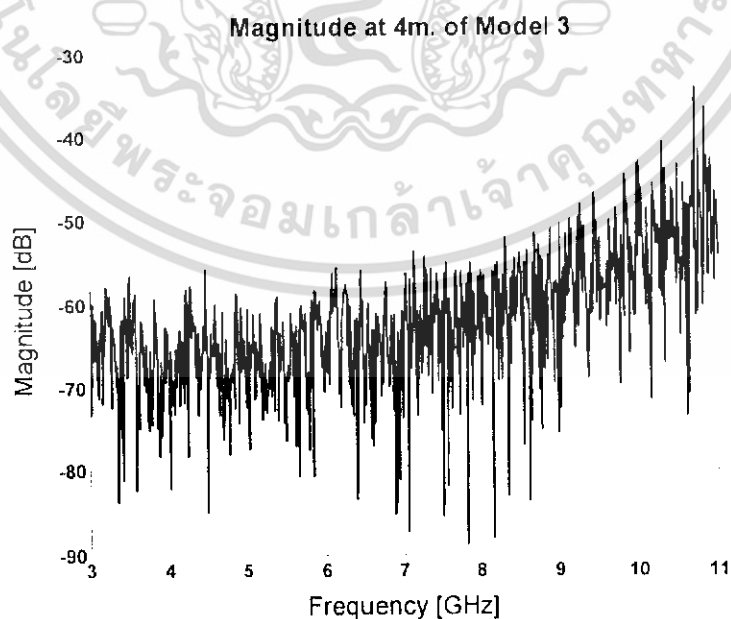
รูปที่ 4.22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตร จะมามีค่าประมาณ 65% และที่ระยะทาง 8 เมตร มีค่าประมาณ 30%

4.2.3 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 3

ในแบบจำลองที่ 3 กำหนดให้สายอากาศด้านส่งอยู่ภายนอกอาคารและด้านรับอยู่ภายในอาคารผลจากการวิเคราะห์ที่ได้แสดงตามรูปดังนี้



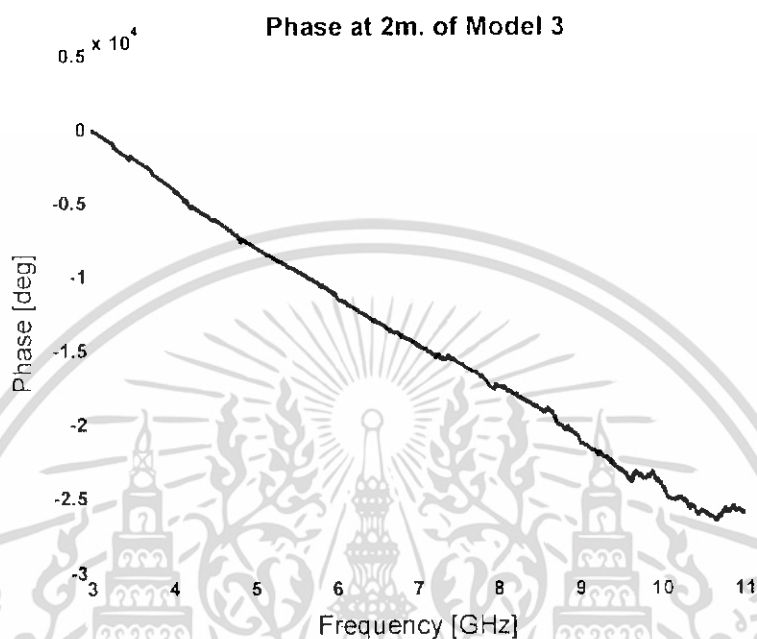
รูปที่ 4.23 พิงก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร



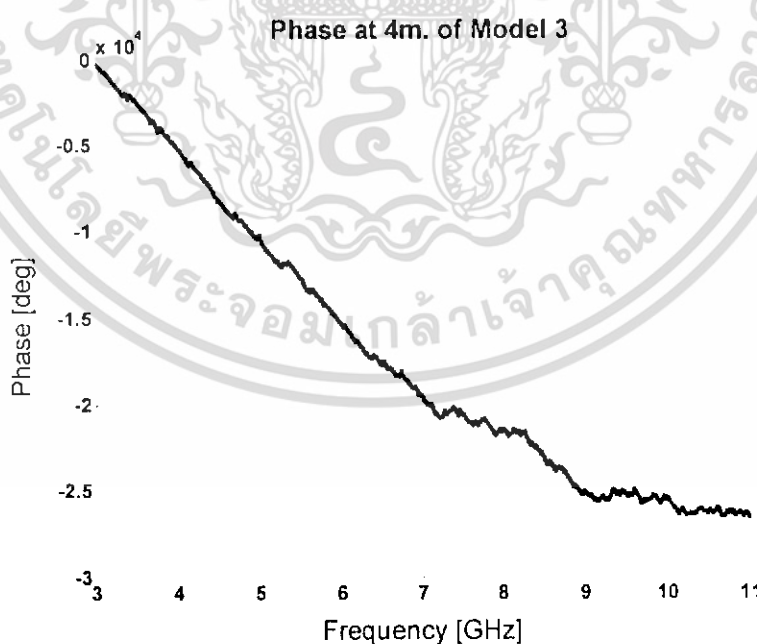
รูปที่ 4.24 พิงก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 แสดงฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดโดยมีค่าแมกนิจูดประมาณ -50 dB ถึง -70 dB ที่ระยะทาง 2 เมตร และที่ระยะทาง 4 เมตร จะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ -60 dB ถึง -75 dB



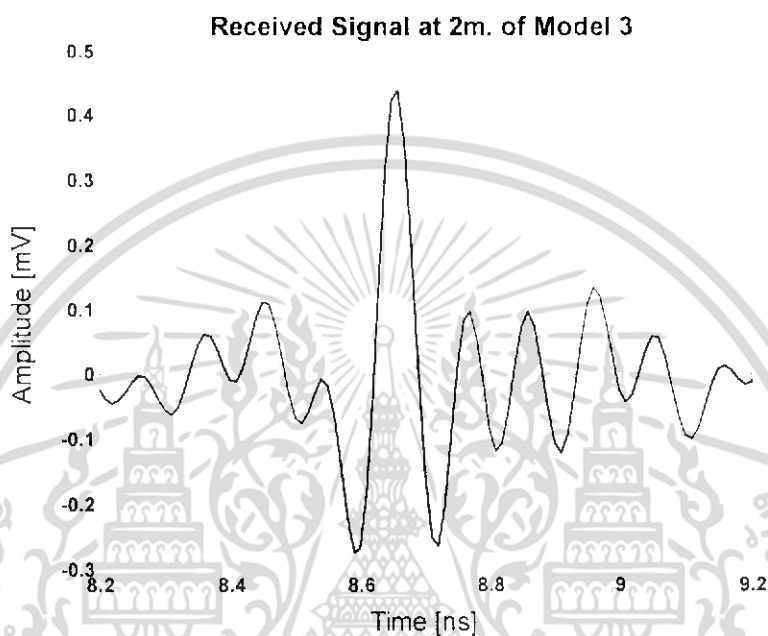
รูปที่ 4.25 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร



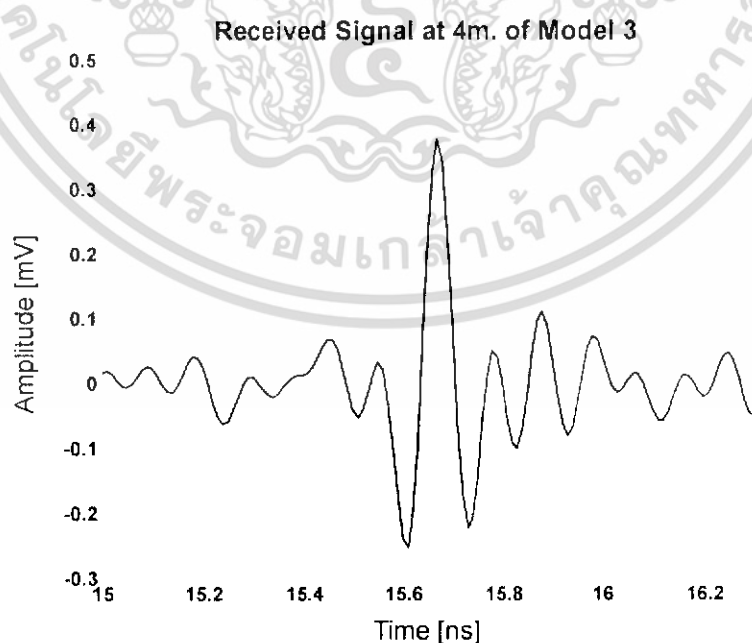
รูปที่ 4.26 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 แสดงลักษณะเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดโดยที่ในระยะทาง 2 เมตร ลักษณะของเฟสจะค่อนข้างเรียบ และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่ช่วงความถี่ประมาณ 9.5 GHz ถึง 11 GHz ที่ระยะทาง 4 เมตร ลักษณะของเฟสจะค่อนข้างเรียบ จนถึงที่ช่วงความถี่ประมาณ 7 GHz ถึง 11 GHz เฟสเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



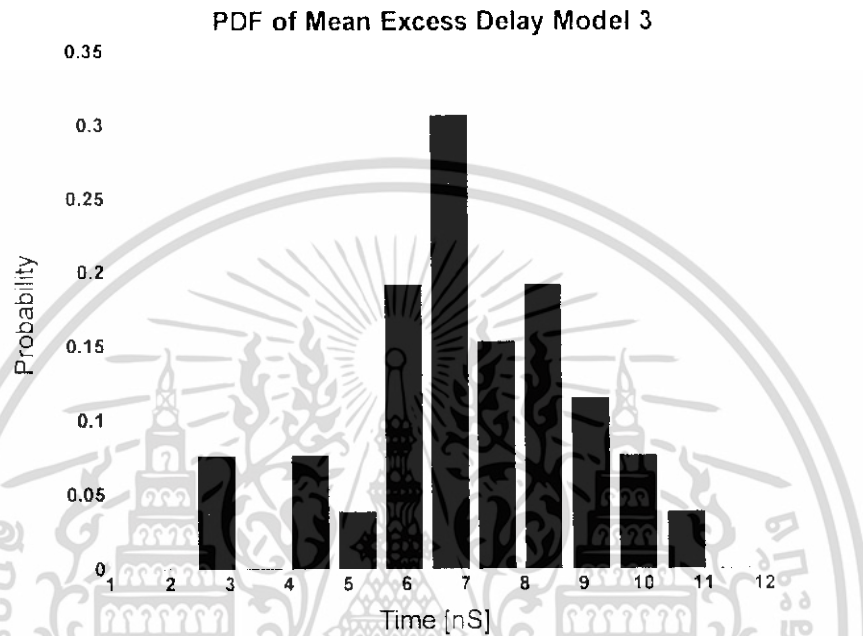
รูปที่ 4.27 สัญญาณทางค่านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร



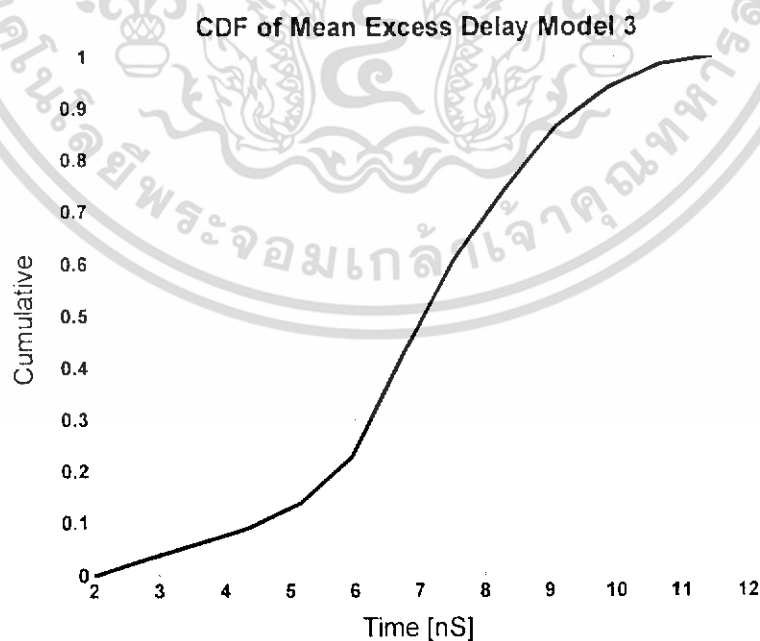
รูปที่ 4.28 สัญญาณทางค่านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร และ 4 เมตร โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 0.45 mV และเวลาในการมาถึงอยู่ที่ประมาณ 8.67 nS ที่ระยะทาง 4 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูด ลดลงอยู่ที่ประมาณ 0.38 mV และเวลาในการมาถึงเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 15.7 nS



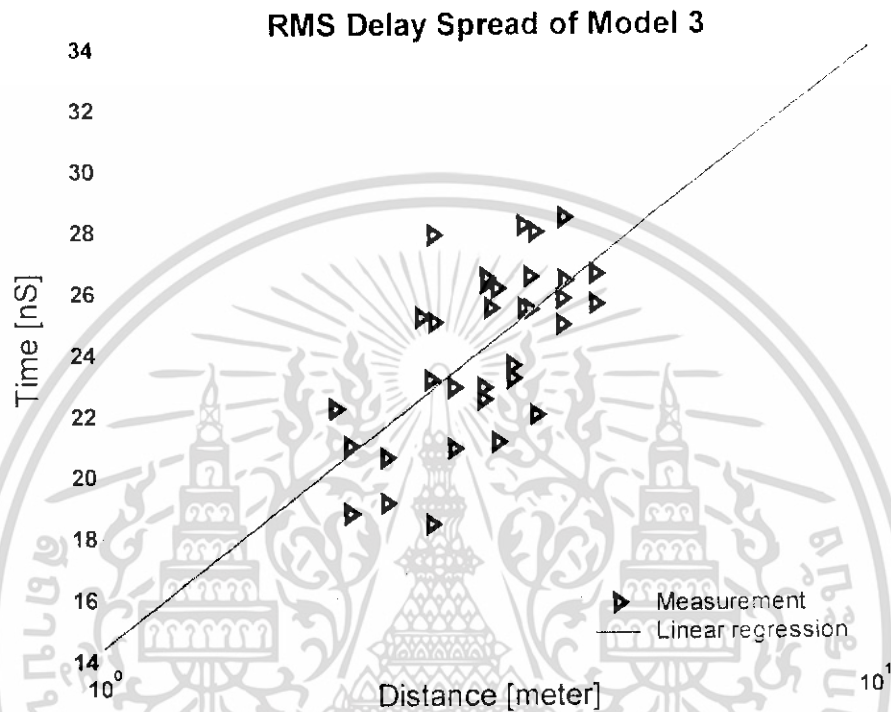
รูปที่ 4.29 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย



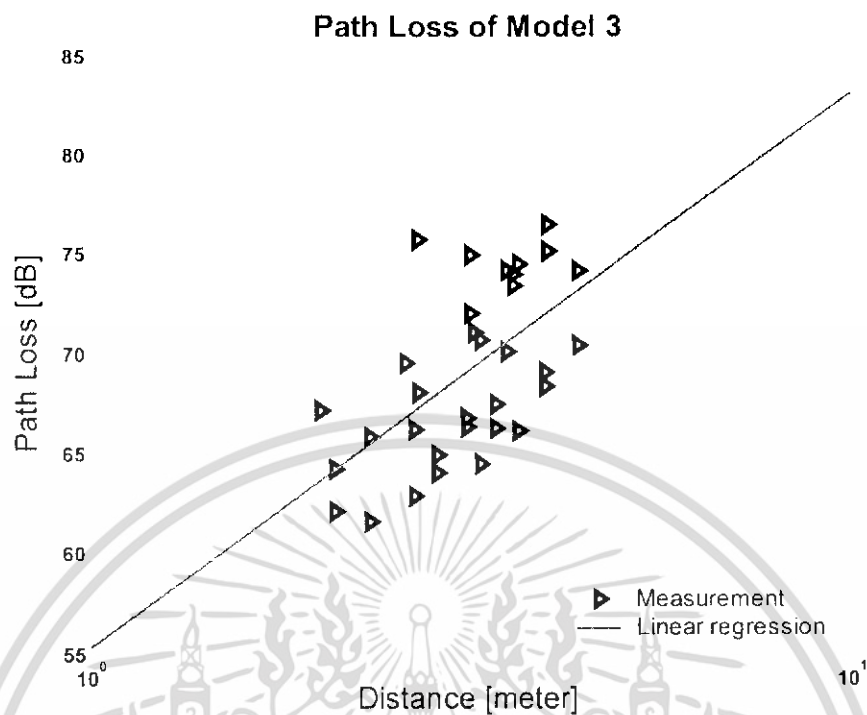
รูปที่ 4.30 ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย โดยที่เวลา 7 nS จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 0.32

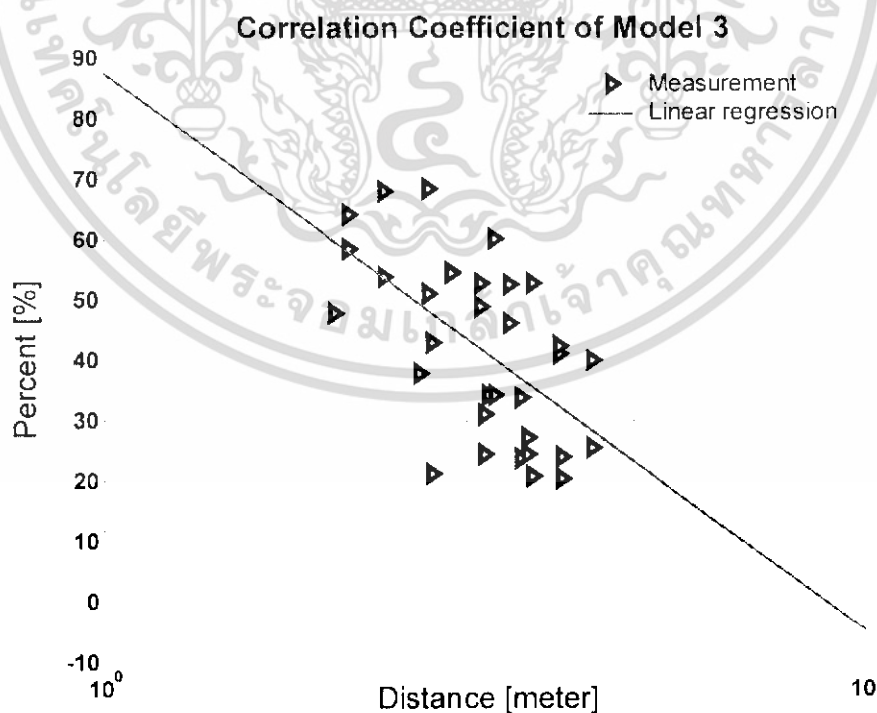


รูปที่ 4.31 แสดงค่าการแผ่การหน่วงเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการค่าการแผ่การหน่วงอยู่ที่ประมาณ 20 nS และที่ระยะทาง 8 เมตรจะมีค่าการหน่วงมากขึ้นอยู่ที่ประมาณ 32 nS



รูปที่ 4.32 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง

รูปที่ 4.32 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีต่ำที่สุดประมาณ 64 dB และมีค่าสูงสุดประมาณ 80 dB ที่ระยะทาง 8 เมตร



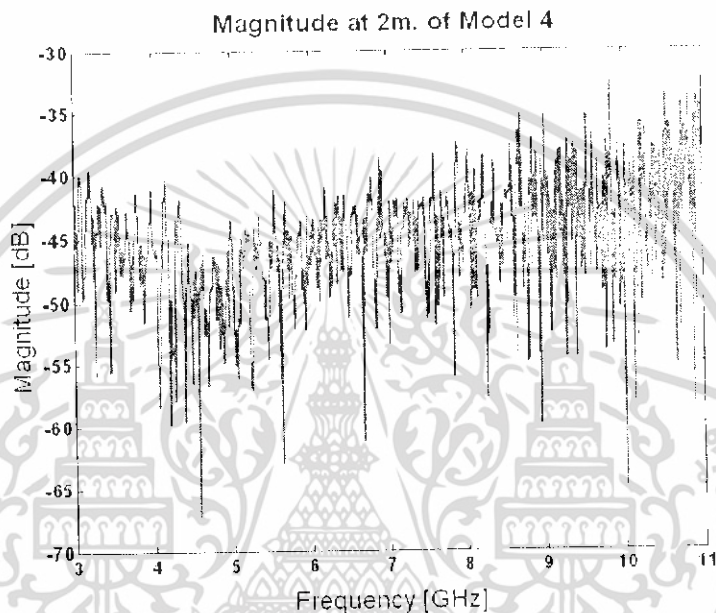
รูปที่ 4.33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

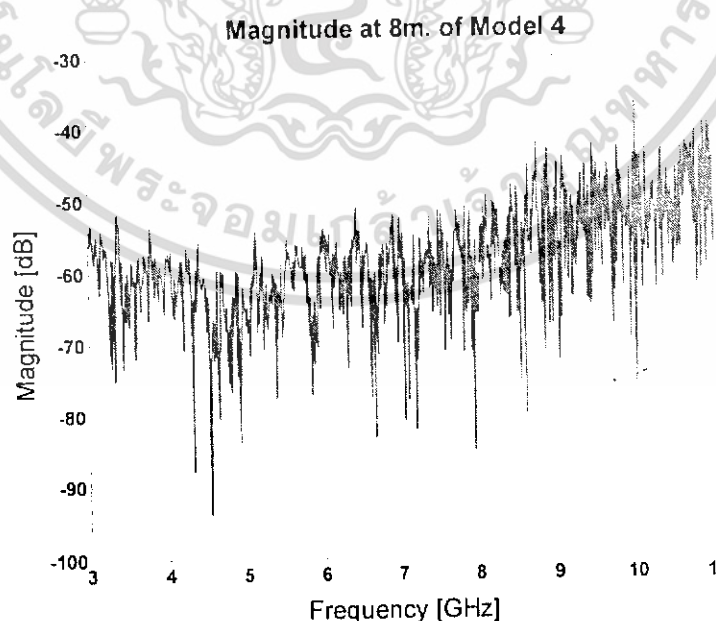
รูปที่ 4.33 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทางโดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าประมาณ 60% และที่ระยะทาง 8 เมตร จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยมีค่าประมาณ 5%

4.2.4 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 4

ในแบบจำลองที่ 4 กำหนดให้สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายนอกอาคารผลจากการวิเคราะห์ได้แสดงตามรูปดังนี้



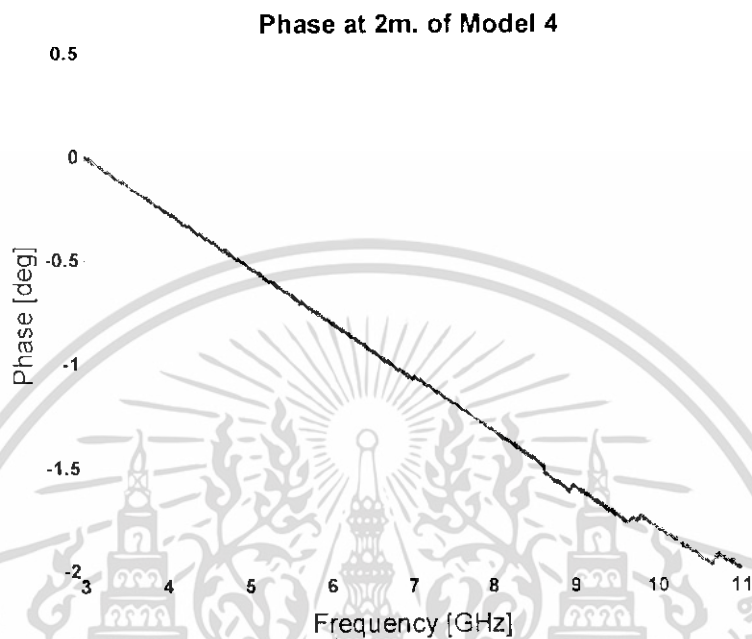
รูปที่ 4.34 พังค์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร



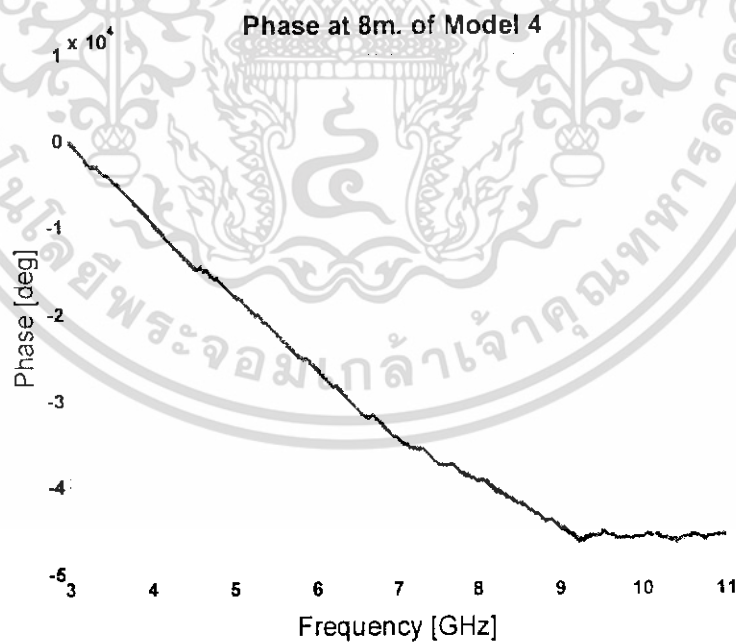
รูปที่ 4.35 พังค์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.34 และรูปที่ 35 แสดงฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัด โดยมีค่าแมกนิจูดประมาณ -45 dB ถึง -60 dB ที่ระยะทาง 2 เมตร และที่ระยะทาง 8 เมตร จะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ -50 dB ถึง -75 dB



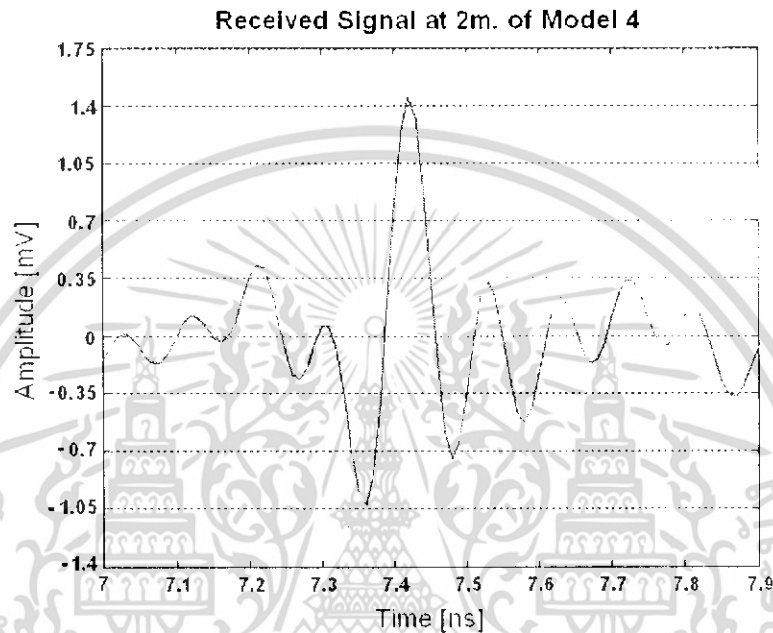
รูปที่ 4.36 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 2 เมตร



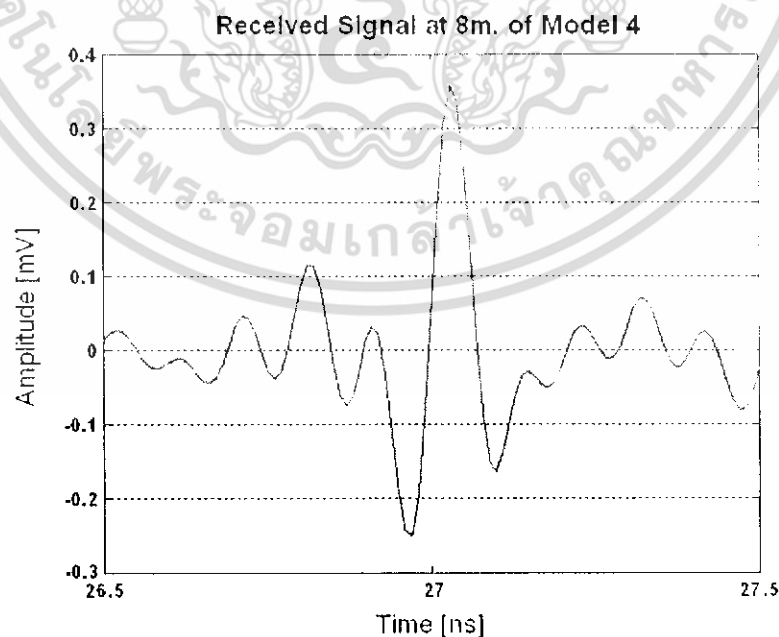
รูปที่ 4.37 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดที่ระยะ 8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.36 และรูปที่ 4.37 แสดงลักษณะเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดโดยที่ในระยะทาง 2 เมตร ลักษณะของเฟสจะเรียบ และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ช่วงความถี่ประมาณ 10 GHz ถึง 11 GHz ที่ระยะทาง 8 เมตร ลักษณะของเฟสจะค่อนข้างเรียบ จนถึงที่ช่วงความถี่ประมาณ 7 GHz ถึง 11 GHz เฟสเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นจนเห็นได้ชัด



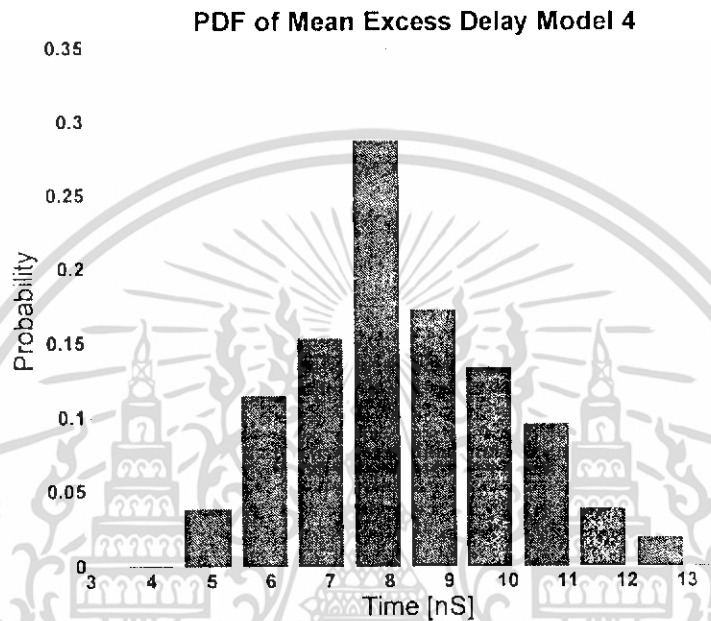
รูปที่ 4.38 สัญญาณทางด้่านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร



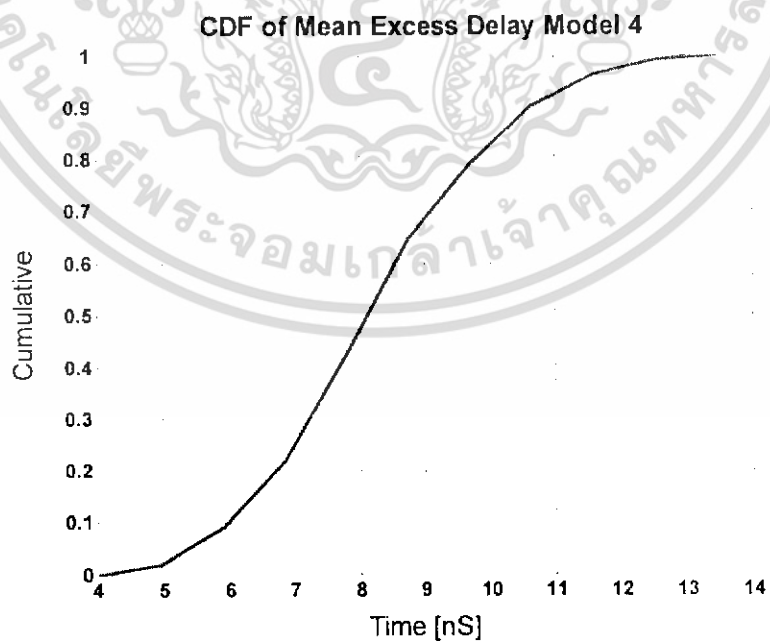
รูปที่ 4.39 สัญญาณทางด้่านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 8 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.38 และรูปที่ 4.39 แสดงสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศที่ระยะทาง 2 เมตร และ 8 เมตร โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 1.41 mV และเวลาในการมาถึง อยู่ที่ประมาณ 7.4 nS ที่ระยะทาง 8 เมตร จะมีค่าแอมพลิจูด ลดลงอยู่ที่ประมาณ 0.35 mV และเวลาในการมาถึงเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 27 nS



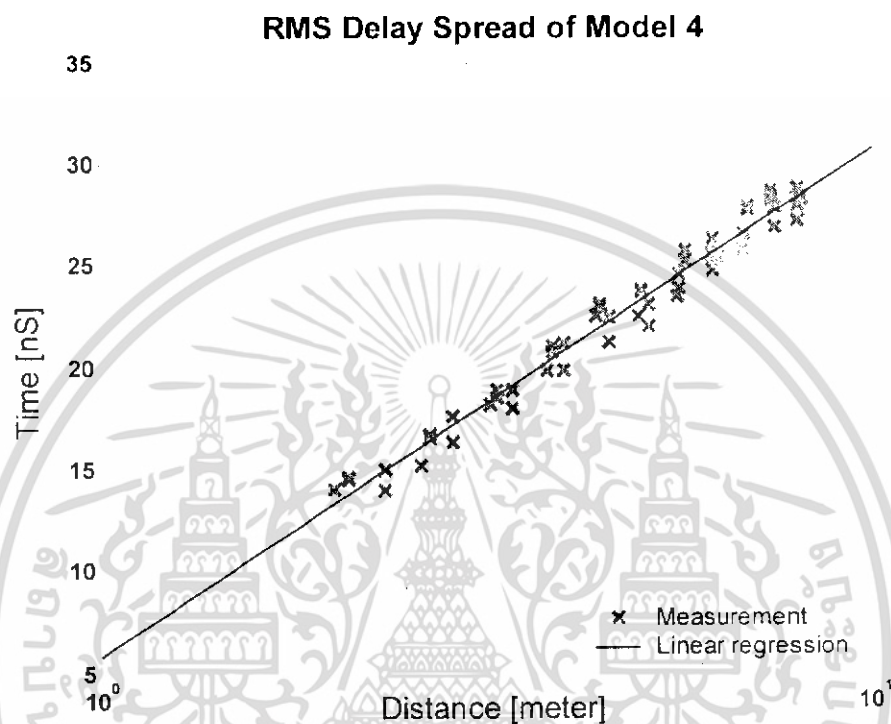
รูปที่ 4.40 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย



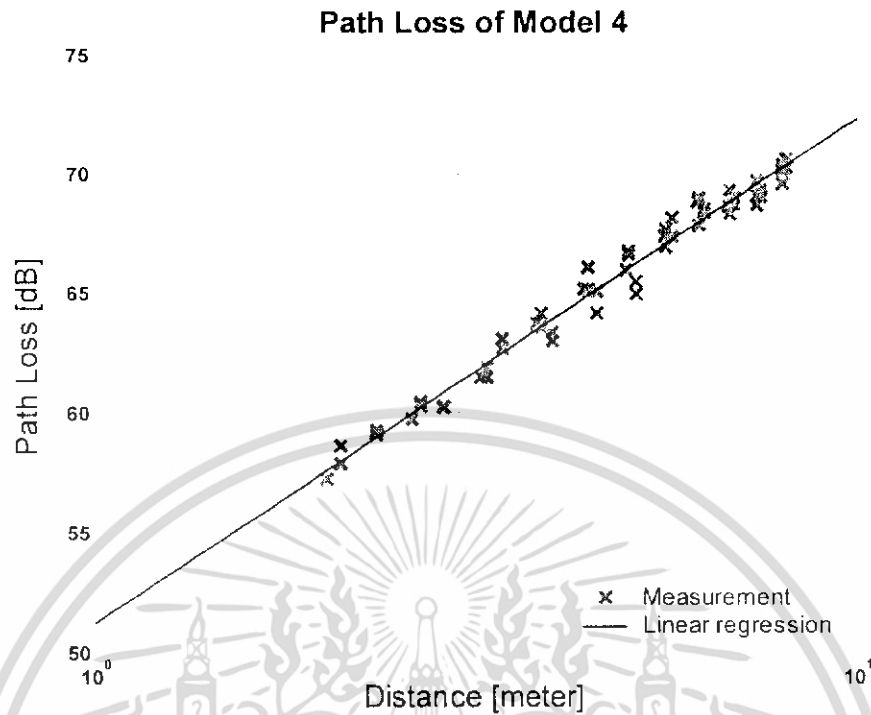
รูปที่ 4.41 ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย โดยที่เวลา 8 nS จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 0.28

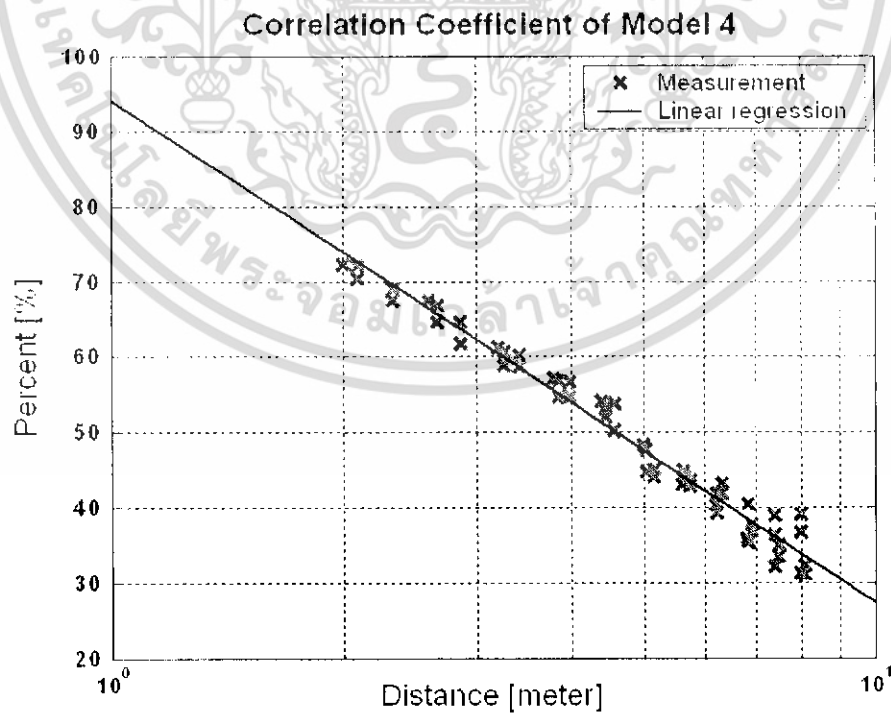


รูปที่ 4.42 แสดงค่าการแผ่การหน่วงเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการค่าการแผ่การหน่วงอยู่ที่ประมาณ 13 nS และที่ระยะทาง 8 เมตรจะมีค่าการหน่วงมากขึ้นอยู่ที่ประมาณ 28 nS



รูปที่ 4.43 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง

รูปที่ 4.43 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีต่ำที่สุดประมาณ 57 dB และมีค่าสูงสุดประมาณ 70 dB ที่ระยะทาง 8 เมตร



รูปที่ 4.44 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.44 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเทียบกับระยะทาง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าประมาณ 74% และที่ระยะทาง 8 เมตร มีค่าประมาณ 34%

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองต่างๆ

	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4	
	2 เมตร	8 เมตร	2 เมตร	8 เมตร	2 เมตร	8 เมตร	2 เมตร	8 เมตร
แรงดันสัญญาณทางด้านรับ (mV)	1.1	0.29	0.65	0.225	0.6	0.1	1.41	0.35
ค่าการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย (ns)	9		9		7		8	
ค่าการแผ่การหน่วง (ns)	14	28	19	29	20	32	13	28
ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB)	59	71.5	64	75	64.5	80	57	70
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (%)	56	25	65	30	60	5	74	34

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองต่างๆ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากสมการ Linear regression เพื่อให้ง่ายในการดูค่า เพราะผลที่ได้เป็นกลุ่มของข้อมูลที่มีการกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลจากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ

โครงการนี้ได้นำเสนอการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านความถี่ในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยแบ่งแบบจำลองการวัดและวิเคราะห์สัญญาณให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันออกไป เพื่อศึกษาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณสามารถสรุปได้ว่า คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศด้านส่งไปยังตำแหน่งของสายอากาศด้านรับที่กำหนดไว้โดยผ่านสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ระดับแรงดันและลักษณะของสัญญาณที่รับได้ก็จะมีความแตกต่างกันไปด้วย ถึงแม้ว่าระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับจะมีระยะทางที่เท่ากันก็ตาม ทั้งนี้เป็นผลมาจากคุณลักษณะการลดทอนของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่น อันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นที่มาจากทิศทางต่างๆ โดยมีทั้งขนาดและเฟสที่ต่างกันทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลง และอาจเกิดการหักล้างกันเองของสัญญาณได้ หรือเกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างทำให้สัญญาณที่รับได้มีขนาดที่ลดลง

จากผลที่ได้ในตารางที่ 4.1 การแพร่กระจายคลื่นในแบบจำลองที่ 4 (สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร) จะมีผลที่ดีที่สุด โดยระดับแรงดันของสัญญาณทางด้านรับที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าเท่ากับ 1.4 mV และรูปสัญญาณมีความใกล้เคียงกับสัญญาณที่ใช้ส่งทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ค่าการสูญเสียเชิงวิถีต่ำ และมีค่าการแผ่การหน่วงน้อย เมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ

การแพร่กระจายคลื่นในแบบจำลองที่ 1 (สายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ในอาคาร) เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 4 ระดับแรงดันของสัญญาณทางด้านรับจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่รูปของสัญญาณที่รับได้ในแบบจำลองที่ 1 จะมีการผิดเพี้ยนมากกว่าทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ โดยที่ค่าการแผ่การหน่วง และค่าการสูญเสียเชิงวิถีมีค่าใกล้เคียงกัน

การแพร่กระจายคลื่นในแบบจำลองที่ 2 (สายอากาศด้านส่งอยู่ในอาคารและด้านรับอยู่ภายนอกอาคาร) ระดับแรงดันของสัญญาณทางด้านรับจะมีค่าลดลง การแผ่การหน่วงจะมีค่ามากขึ้น และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงขึ้น

การแพร่กระจายคลื่นในแบบจำลองที่ 3 (สายอากาศด้านส่งอยู่ภายนอกอาคารและด้านรับอยู่ภายในอาคาร) ระดับแรงดันของสัญญาณทางด้านรับจะมีค่าลดลงมาก มีค่าแผ่การหน่วง และค่าการสูญเสียเชิงวิธีมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวัดและทดสอบสัญญาณในแบบจำลองต่างๆ ควรจะมีจำนวนจุดของการเลื่อนระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านส่ง และด้านรับ ในจำนวนที่เท่าๆ กัน และถ้าเป็นไปได้ ควรมีจุดในการวัดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อความละเอียดและถูกต้องของข้อมูลในการนำไปอ้างอิงเพื่อใช้งานจริงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

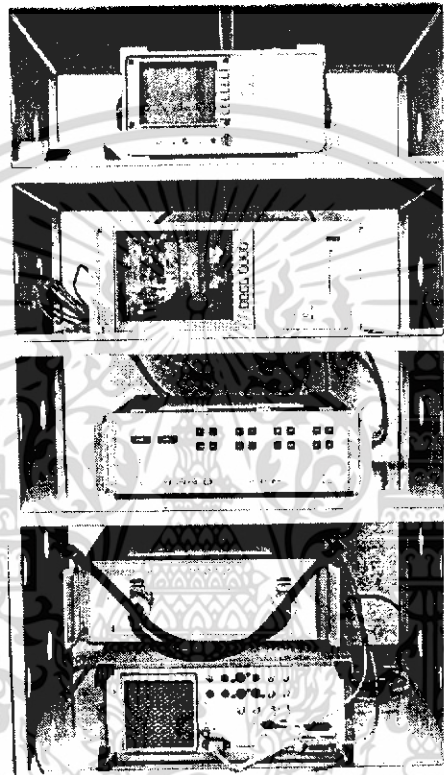
- S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Measurement and Analysis of UWB-IR Antenna Performance For WPANs", *Thammasat IntJ. Sc.,Tech* Vol.8,No.4,Oct-Dec.2003.
- S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB System", *Proc. ISAP'04, Sendai, Japan*, pp. 97-100, Aug. 2004.
- S. Promwong, J. Takada, N. Lertsirisopon, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Multi Rays UWB Channel Modeling Based on Friis' Formula", *EECON 26*,pp.1483-1488 Sep.2003.
- M. Sanchez, I. de Haro, A. Pino, and M. Calvo, "Human Operator Effect on Wide-band Radio Channel Characteristic", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, Vol. 45 No. 8, pp. 1318-1320, Aug.1997.
- K. Siwaik, "Ultra-wide Radio: The Emergence of Important RF Technology", *Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. VTC*, Vol.2, pp.1169-1172, May.2001.
- K. Siwiak, D. McKeown, "Ultra wideband radio technology", John Wiled-Sons., Ltd, 2004.
- M. Ghavami, L.B.Michael, R.Kohno, "Ultra wideband signals and systems in communication engineering," John Wiley-Sons, Ltd, 2004.
- บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, "หลักการไฟฟ้าสื่อสาร, Principles of Communication System" สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2541



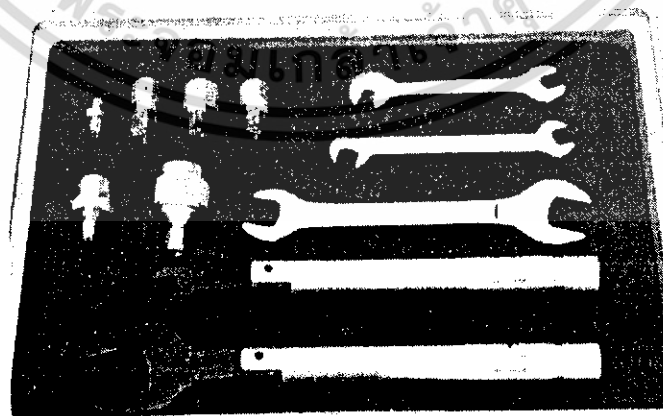
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 รูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก.1 เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA)

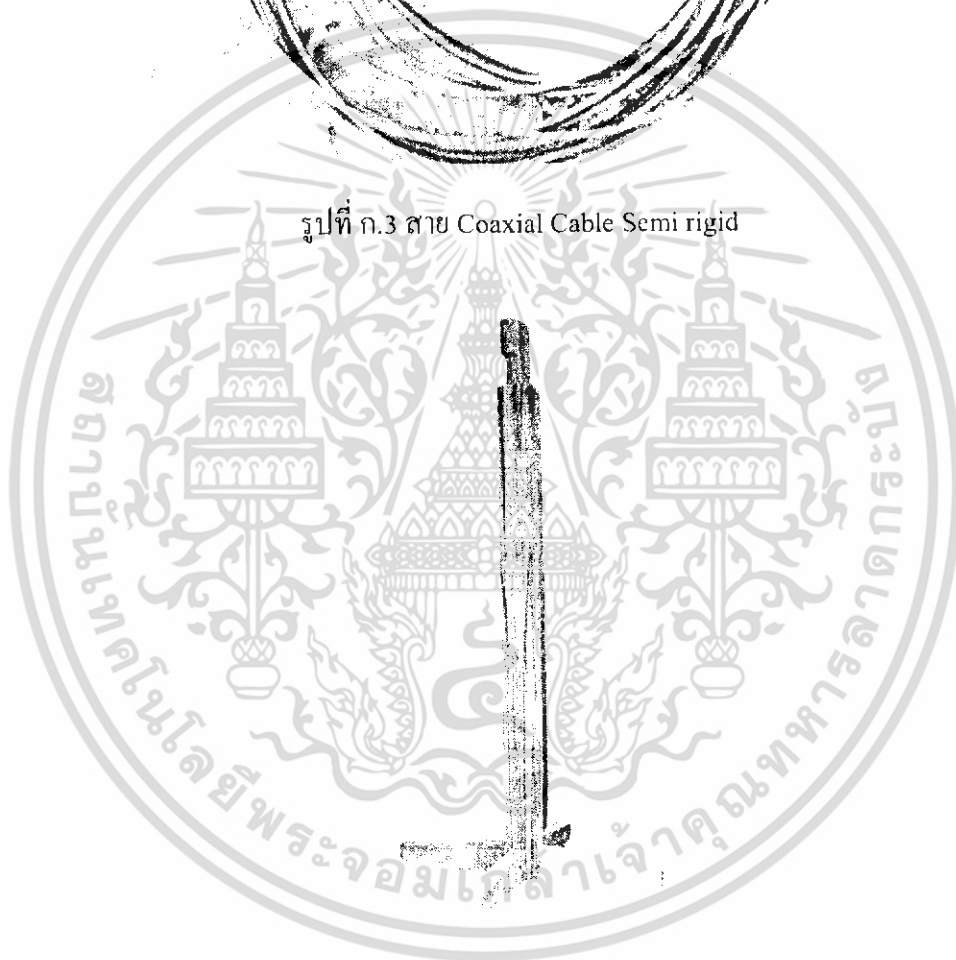


รูปที่ ก.2 ชุดเครื่องมือที่ใช้ร่วมกับ VNA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 สาย Coaxial Cable Semi rigid



รูปที่ ก.4 เสาที่ใช้ในการติดตั้งสายอากาศ

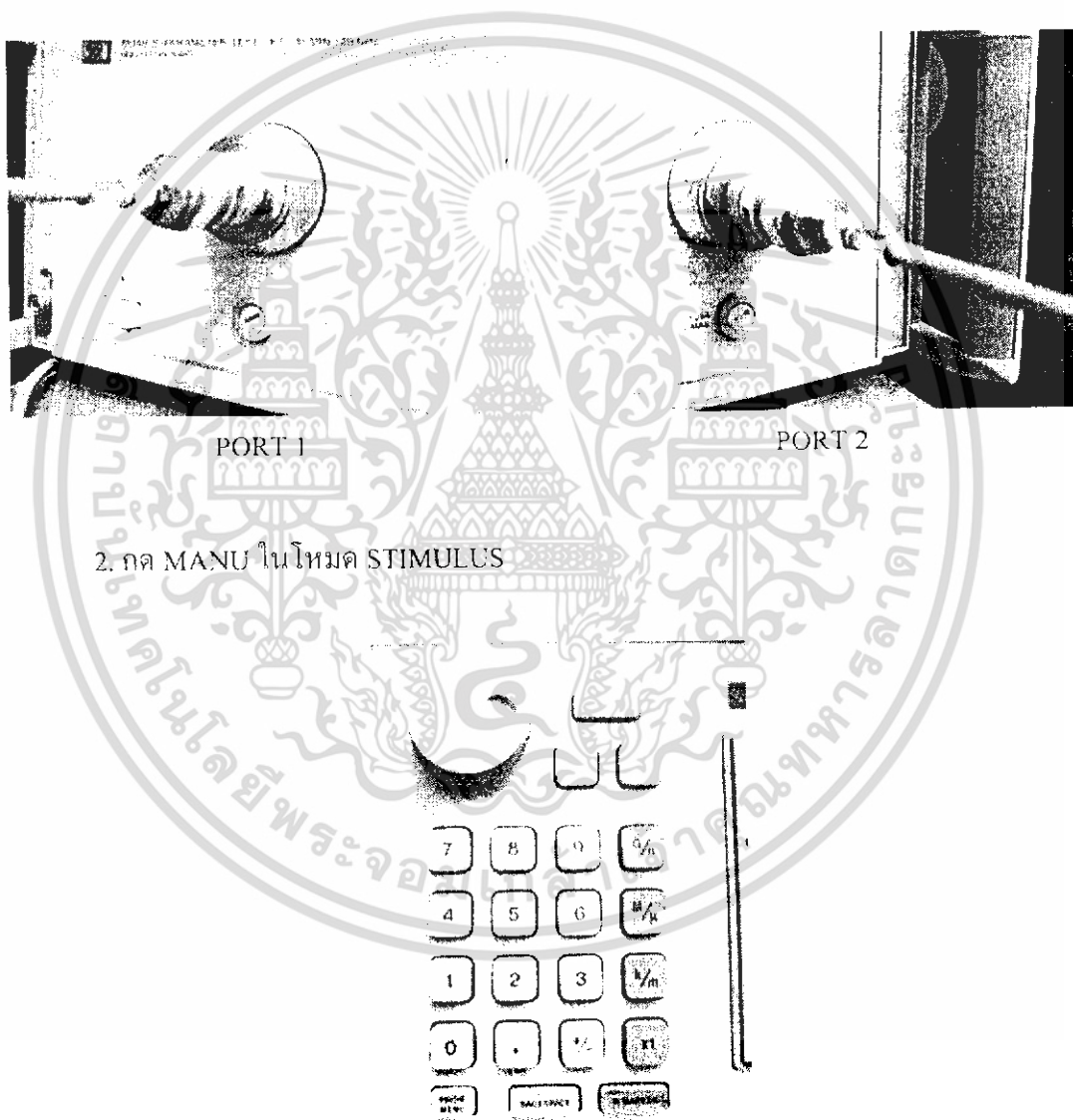
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semi rigid

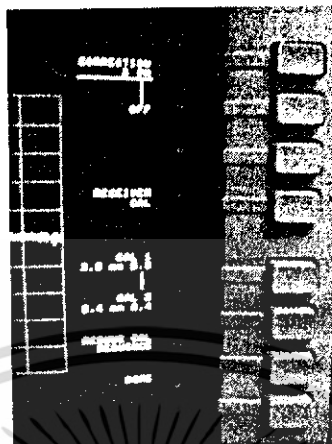


- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

- กด STOP ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENUS



- เลือกกดที่ CAL 1 (3.5 mm, B.3)
- เลือกกดที่ FULL (2-PORT)
- เลือกกดที่ REFLECT'N

4. ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำชุด CAL มาใช้ในการ CAL ทำดังนี้

ที่หัวต่อ PORT 1 (S11)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT
- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD

ที่หัวต่อ PORT 2 (S22)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD
- เลือกกดที่ REFLECT'N DONE

5. ทำการต่อหัวต่อ ISOLATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ

- กด FWD.TRANS.THUR
- กด FWD.MATCH.THUR
- กด REV.TRANS.THUR
- กด REV.MATCH.THUR

6. กด TRANS DONE

7. กด ISOLATION

- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION

8. กด ISOLATION DONE

9. กด SAVE (2-PORT CAL)

10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET โดยมีตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง 8 เพื่อใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการ CAL ไปแล้วข้างต้น

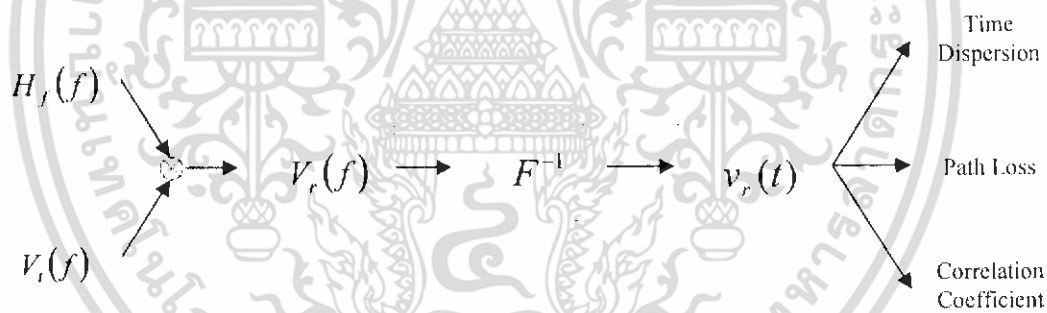
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนในการทดลอง

ในการทดลองหาผลตอบสนองของช่องสัญญาณนั้นจะนำเอาค่าฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ (Frequency Transfer function) ที่ได้จากการวัดมาคูณกับสัญญาณทางด้านส่งที่เราได้ทำการสร้างขึ้น ก็จะได้สัญญาณทางด้านรับที่อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ต่อไปนำสัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverts Fourier) ก็จะได้สัญญาณทางด้านรับที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลาเพื่อนำไปหาค่าต่างๆ ต่อไป ดังรูปที่ ค.1 โดยที่การวัดหาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่นั้นจะได้จากการวัดค่า S_{21} ในโดเมนความถี่ที่เครื่อง Vector Network Analyzer ซึ่งสถานะแวดล้อมในการวัดจะเป็นไปตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ข้างต้นทั้ง 4 รูปแบบ โดยที่จะใช้สายอากาศส่งและรับเป็นแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna) และระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับอยู่ที่ 2 เมตร ถึง 8 เมตร โดยแต่ละจุดห่างกัน 60 เซนติเมตร ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 1.65 เมตร โดยที่ตารางที่ ค.1 จะแสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ผล

ตาราง ค.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ช่วงความถี่	3 GHz - 11GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	1.65 เมตร
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.65 เมตร
ชนิดสายอากาศ	Biconical Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้