

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาระยะวิเคราะห์ของสเปกตรัมความถี่วิทยุแฉกกว้างยิ่งสำหรับประเทศไทย

A study and Analysis of Frequency Spectrum of Ultra Wideband Radlo for Thailand



นาย วัชร เชื้อนแก้ว  
นาย คณาศักดิ์ จรรย์พัฒน์กุล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **62675**  
วัน,เดือน,ปี..... **21 ส.ค. 2549**

b..... 1-1629248  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A study and Analysis of Frequency Spectrum of Ultra Wideband Radio for  
Thailand**



**Mr. WATCHARA KUNKAEW**  
**Mr. KANASAK JARIYAPATHANAKUL**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญาบัตร** การศึกษาและวิเคราะห์ของสเปคตรัมความถี่วิทยุแถบกว้างยิ่งสำหรับประเทศไทย

**ชื่อนักศึกษา** นายวัชร เวื่อนแก้ว รหัสประจำตัว 46015638  
นาย คณาศักดิ์ จริยพัฒนกุล รหัสประจำตัว 46015660

**อาจารย์ที่ปรึกษา** อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์  
อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย

**ระดับการศึกษา** ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ


**ภาควิชา** วิศวกรรมสารสนเทศ

**ปีการศึกษา** 2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
นับปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อปริญญานิพนธ์</b>	การศึกษาและวิเคราะห์ของสเปกตรัมความถี่วิทยุแถบกว้างยิ่งสำหรับประเทศไทย		
<b>ชื่อนักศึกษา</b>	นายวัชระ	เขื่อนแก้ว	รหัสประจำตัว 46015638
	นาย คณาศักดิ์	จรรย์พัฒนกุล	รหัสประจำตัว 46015660
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย		
<b>ระดับการศึกษา</b>	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
<b>ภาควิชา</b>	วิศวกรรมสารสนเทศ		
<b>ปีการศึกษา</b>	2548		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสเปกตรัมของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งซึ่งในอนาคตจะได้นำมาใช้ในประเทศไทยอย่างมีความเหมาะสม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงสเปกตรัมและมีผลกระทบอื่นๆที่จะเกิดขึ้น โครงการนี้ได้ศึกษาวัดทดสอบและทำการวิเคราะห์ย่านความถี่ของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ~ 10.6 GHz ก่อนที่จะมีการนำเข้ามาใช้ในประเทศไทย สำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้นในสำนักงานและโครงข่ายในบ้าน ผลที่ได้จากการวัด ทดสอบและวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลพื้นฐานและจะไปเป็นประโยชน์ต่อการใช้ระบบไร้สายความถี่แถบกว้างยิ่งกับระบบไร้สายอื่นๆอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** A Study and Analysis of Frequency Spectrum of Ultra Wideband Radio for Thailand

**Student** Mr. Watchara Kuenkaew ID.46015638  
Mr. Kanasak Jariyapathanakul ID.46015660

**Advisor** Mr. Sathaporn Promwong  
Mr. Somphup Kaewmechai

**Graduate Level** Bachelor Degree of Information Engineering

**Department** Information Engineering

**Academic Year** 2005

### ABSTRACT

This project is study and analysis spectrum of UWB radio system that in the future there will be use in Thailand to suitability. So there is necessary to consider spectrum of UWB and about effect of system. This project analyzes and test frequency area of UWB radio system from 3.1 to 10.6 GHz for wireless communication in office and personal area network. The results of spectrum it is basic data and usefulness for UWB wireless communication system and other wireless communication system to efficiency.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่สามารถประสบความสำเร็จลุล่วงในการทำงานไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับคำแนะนำ, ความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ก่อนอื่นจะขอขอบพระคุณเริ่มจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งได้แก่ อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์, อาจารย์ สมภพ แก้วมีชัย และอาจารย์ พิชญ์ สุพรรณกุล ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มโครงการนี้ขึ้น และให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งทำให้โครงการนี้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณคุณคณาจารย์, พี่ๆ และเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศและในคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกคนที่คอยช่วยให้คำติ ชม และขอพระขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ ในห้อง UWBR-S-LAB และ WIS-LAB ที่คอยช่วยให้ความช่วยเหลือตลอดการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศที่เอื้อเพื่อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา บุคคลที่มีความสำคัญที่สุดในชีวิต ที่ทำให้มีทุกวันนี้ คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือ และสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ด
สารบัญตาราง	ถ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 จุดประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	8
2.3 กฏข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	10
2.3.1 กฏข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งใน สหรัฐอเมริกา	10
2.3.2 กฏข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป	11
2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	13
2.4.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	13
2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์	14
2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมนoiseเคลิ	14
2.4.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด	16
2.5.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์	16
2.5.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์	16
2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส	17
2.6 ทฤษฎีสายอากาศไบโคนิคอล (Biconical)	17
2.6.1 สนามการแพร่กระจายคลื่น	17
2.7 พารามิเตอร์ของสายอากาศ (Antenna Parameter)	21
2.7.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)	21
2.7.2 แพทเทอร์นแบบไอโซโทรปิก ไครเรชันเนล และออมนิไครเรชันเนล	22
2.7.3 แพทเทอร์นหลัก	22
2.7.4 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)	23
2.7.5 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)	24
2.7.6 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)	25
2.7.7 บีมวิดท์ (Beamwidth)	25
2.7.8 แบนด์วิดท์ (Bandwidth : BW )	26
2.7.9 บริเวณต่าง ๆ ของสนามจากสายอากาศ	26
2.8 การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ UWB	27
2.8.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับช่องสัญญาณแบบอูลตราไวด์แบนด์	27
2.8.2 Matched filter	31
2.9 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ	33
2.9.1 การสะท้อน (Reflection)	33
2.9.2 การหักเห (Refraction)	33
2.9.3 การเลี้ยวเบน (Diffraction)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.9.4 การกระจาย (Scattering)	33
2.10 การสูญเสียกำลัง (Path Loss)	33
2.10.1 การสูญเสียเชิงวิถีในอากาศว่าง (Free Space Path Loss)	34
2.11 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)	34
บทที่ 3 การเตรียมการของระบบการวัด	36
3.1 โพรซีจัวร์สำหรับขั้นตอนการวัด	36
3.2 การเตรียมการวัด (Experiment Setup)	37
3.3 สายอากาศที่ใช้ในการวัด (Antenna Under Test)	39
3.3.1 การคำนวณหาค่าสนามระยะใกล้และ สนามระยะไกล	39
3.4 พารามิเตอร์ของการวัด (Parameter of Experiment)	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	42
4.1 การวัดคุณสมบัติสายอากาศ	42
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	42
4.2 ผลการทดลอง	43
4.3 การวัดสัญญาณแบบฟูลแบนด์ (Fullband) ที่ระยะ 1 เมตร	48
4.4 การวัดสัญญาณแบบฟูลแบนด์ (Fullband) ที่ระยะ 2 เมตร	50
4.5 การวัดแบบแบ่งช่องสัญญาณหรือซับแบนด์ (Subband) ที่ระยะ 1 เมตร	53
4.6 การวัดแบบแบ่งช่องสัญญาณหรือซับแบนด์ (Subband) ที่ระยะ 2 เมตร	73
4.7 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)	93
4.8 ค่าอัตราขยายของระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุป	116
5.1 สรุป	116
5.2 ปัญหาที่พบ	117
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	119



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 สเปกตรัมของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร	1
รูปที่ 1.2 สเปกตรัมที่แบ่งเป็นชั้นแบนด์ของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร	2
รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์	3
รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง	6
รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โคมเมนเวลาและแถบกำลังงาน ของสัญญาณใน โคมเมนความถี่	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียร์ภายในบ้าน	8
รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร	12
รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร	13
รูปที่ 2.6 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งใน โคมเมนเวลาและ โคมเมนความถี่	14
รูปที่ 2.7 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิลทั้งใน โคมเมนเวลาและ โคมเมนความถี่	15
รูปที่ 2.8 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์คัปลิตทั้งใน โคมเมนเวลาและ โคมเมนความถี่	15
รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ	16
รูปที่ 2.10 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์	16
รูปที่ 2.11 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส	17
รูปที่ 2.12 (a) และ (b) สายอากาศรูปเลขาคณิตและการแพร่กระจาย คลื่นแบบทรงกลม	18
รูปที่ 2.13 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและความสัมพันธ์ ของแรงดันและกระแสของสายอากาศไบโคเนคคัล	19
รูปที่ 2.14 แสดงระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	21
รูปที่ 2.15 แพทเทิร์นของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)	22
รูปที่ 2.16 โลกต่างๆและบีมวิคท์ของแบบรูปสายอากาศ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.17 แบบรูปในแบบเชิงเส้น	23
รูปที่ 2.18 ลักษณะการสื่อสารผ่านช่องสัญญาณ	27
รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการเพิ่มเติมจากสูตรของฟรีด	29
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณ	31
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการวัดสัญญาณอุลตราไวต์แบนด์	36
รูปที่ 3.2 การจัดวางสายอากาศในแนวตั้ง ตามที่ต้องการวัด	37
รูปที่ 3.3 ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ระยะ 1 เมตร	38
รูปที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ระยะ 2 เมตร	38
รูปที่ 3.5 สายอากาศที่ใช้ทดลอง	39
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดคุณสมบัติสายอากาศ	42
รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband)	44
รูปที่ 4.3 ค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)	45
รูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)	46
รูปที่ 4.5 ค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)	47
รูปที่ 4.6 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	48
รูปที่ 4.7 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	48
รูปที่ 4.8 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	49
รูปที่ 4.9 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	50
รูปที่ 4.11 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	50
รูปที่ 4.12 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	51
รูปที่ 4.13 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	51
รูปที่ 4.14 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	52
รูปที่ 4.15 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	52
รูปที่ 4.16 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3– 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	53
รูปที่ 4.17 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	53
รูปที่ 4.18 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	54
รูปที่ 4.19 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	54
รูปที่ 4.20 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	55
รูปที่ 4.21 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	55
รูปที่ 4.22 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	56
รูปที่ 4.23 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	56
รูปที่ 4.24 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.25 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	57
รูปที่ 4.26 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	58
รูปที่ 4.27 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	58
รูปที่ 4.28 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	59
รูปที่ 4.25 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	59
รูปที่ 4.30 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	60
รูปที่ 4.31 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	60
รูปที่ 4.32 ค่าเฟสของช่องสัญญาณที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	61
รูปที่ 4.33 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	61
รูปที่ 4.34 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	62
รูปที่ 4.35 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	62
รูปที่ 4.36 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	63
รูปที่ 4.37 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	63
รูปที่ 4.38 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	64
รูปที่ 4.39 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.40 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	65
รูปที่ 4.41 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	65
รูปที่ 4.42 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	66
รูปที่ 4.43 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8– 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	66
รูปที่ 4.44 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	67
รูปที่ 4.45 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	67
รูปที่ 4.46 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	68
รูปที่ 4.47 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	68
รูปที่ 4.48 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	69
รูปที่ 4.49 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	69
รูปที่ 4.50 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	70
รูปที่ 4.51 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	70
รูปที่ 4.52 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	71
รูปที่ 4.53 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	71
รูปที่ 4.54 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.55 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา	72
รูปที่ 4.56 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	73
รูปที่ 4.57 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	73
รูปที่ 4.58 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	74
รูปที่ 4.59 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	74
รูปที่ 4.60 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา	75
รูปที่ 4.61 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	75
รูปที่ 4.62 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	76
รูปที่ 4.63 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	76
รูปที่ 4.64 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	77
รูปที่ 4.65 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา	77
รูปที่ 4.66 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	78
รูปที่ 4.67 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร)	78
รูปที่ 4.68 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	79
รูปที่ 4.69 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.70 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	80
รูปที่ 4.71 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	80
รูปที่ 4.72 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	81
รูปที่ 4.73 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	81
รูปที่ 4.74 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	82
รูปที่ 4.75 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	82
รูปที่ 4.76 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	83
รูปที่ 4.77 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	83
รูปที่ 4.78 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	84
รูปที่ 4.79 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	84
รูปที่ 4.80 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	85
รูปที่ 4.81 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	85
รูปที่ 4.82 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	86
รูปที่ 4.83 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	86
รูปที่ 4.84 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.85 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	87
รูปที่ 4.86 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	88
รูปที่ 4.87 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	88
รูปที่ 4.88 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	89
รูปที่ 4.89 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	89
รูปที่ 4.90 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	90
รูปที่ 4.91 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	90
รูปที่ 4.92 ค่าเฟสของช่องสัญญาณที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	91
รูปที่ 4.93 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	91
รูปที่ 4.94 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	92
รูปที่ 4.95 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา	92
รูปที่ 4.96 เปรียบเทียบค่ากำลังสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband) โดยแบ่งตามกรุปของระบบOFDM	94
รูปที่ 4.97 เปรียบเทียบค่าอัตราการขยายของระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband) โดยแบ่งตามกรุปของระบบOFDM	95
รูปที่ 4.98 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.99 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	96
รูปที่ 4.100 ค่าแอมพลิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	97
รูปที่ 4.101 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	97
รูปที่ 4.102 สัญญาณทางค่านรับในรูปโคเมนเวลา	98
รูปที่ 4.103 ค่าแอมพลิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	98
รูปที่ 4.104 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	99
รูปที่ 4.105 ค่าแอมพลิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	99
รูปที่ 4.106 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	100
รูปที่ 4.107 สัญญาณทางค่านรับในรูปโคเมนเวลา	100
รูปที่ 4.108 ค่าแอมพลิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	101
รูปที่ 4.109 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	101
รูปที่ 4.110 ค่าแอมพลิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	102
รูปที่ 4.111 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	102
รูปที่ 4.112 สัญญาณทางค่านรับในรูปโคเมนเวลา	103
รูปที่ 4.113 ค่าแอมพลิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.114 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	104
รูปที่ 4.115 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1- 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	104
รูปที่ 4.116 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร	105
รูปที่ 4.117 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา	105
รูปที่ 4.118 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	106
รูปที่ 4.119 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	106
รูปที่ 4.120 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	107
รูปที่ 4.121 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	107
รูปที่ 4.122 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา	108
รูปที่ 4.123 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	108
รูปที่ 4.124 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	109
รูปที่ 4.125 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9-6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	109
รูปที่ 4.126 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	110
รูปที่ 4.127 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา	110
รูปที่ 4.128 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.129 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	111
รูปที่ 4.130 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	112
รูปที่ 4.131 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	112
รูปที่ 4.132 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา	113
รูปที่ 4.133 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	113
รูปที่ 4.134 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	114
รูปที่ 4.135 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	114
รูปที่ 4.136 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร	115
รูปที่ 4.137 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับ การใช้งาน ในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับ การใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	12
ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร แบบฟูลแบนด์(Fullband)	44
ตารางที่ 4.2 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร แบบซับแบนด์(Subband)	45
ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร แบบฟูลแบนด์(Fullband)	46
ตารางที่ 4.4 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband)	47
ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร แบบซับแบนด์(Subband)	93
ตารางที่ 4.6 ค่าอัตราขยายของระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband)	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

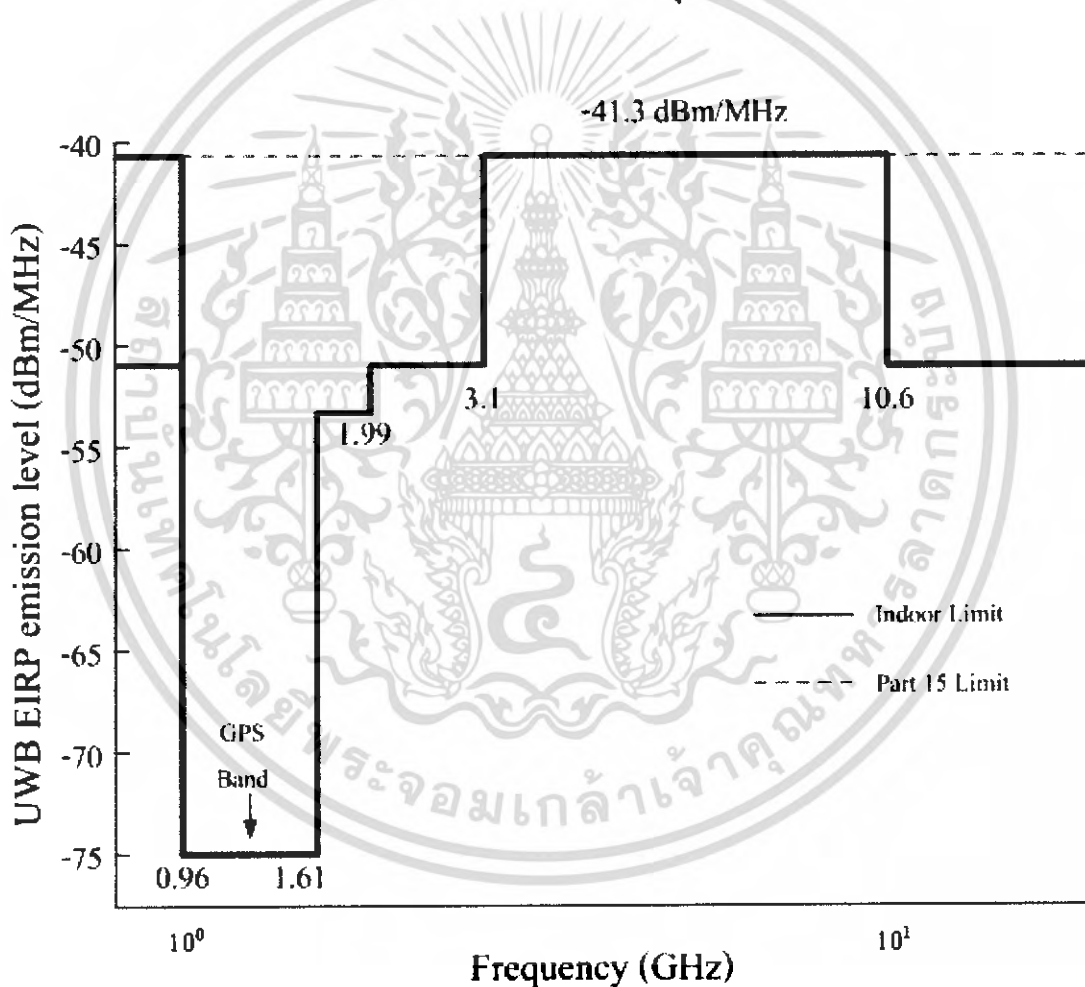
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

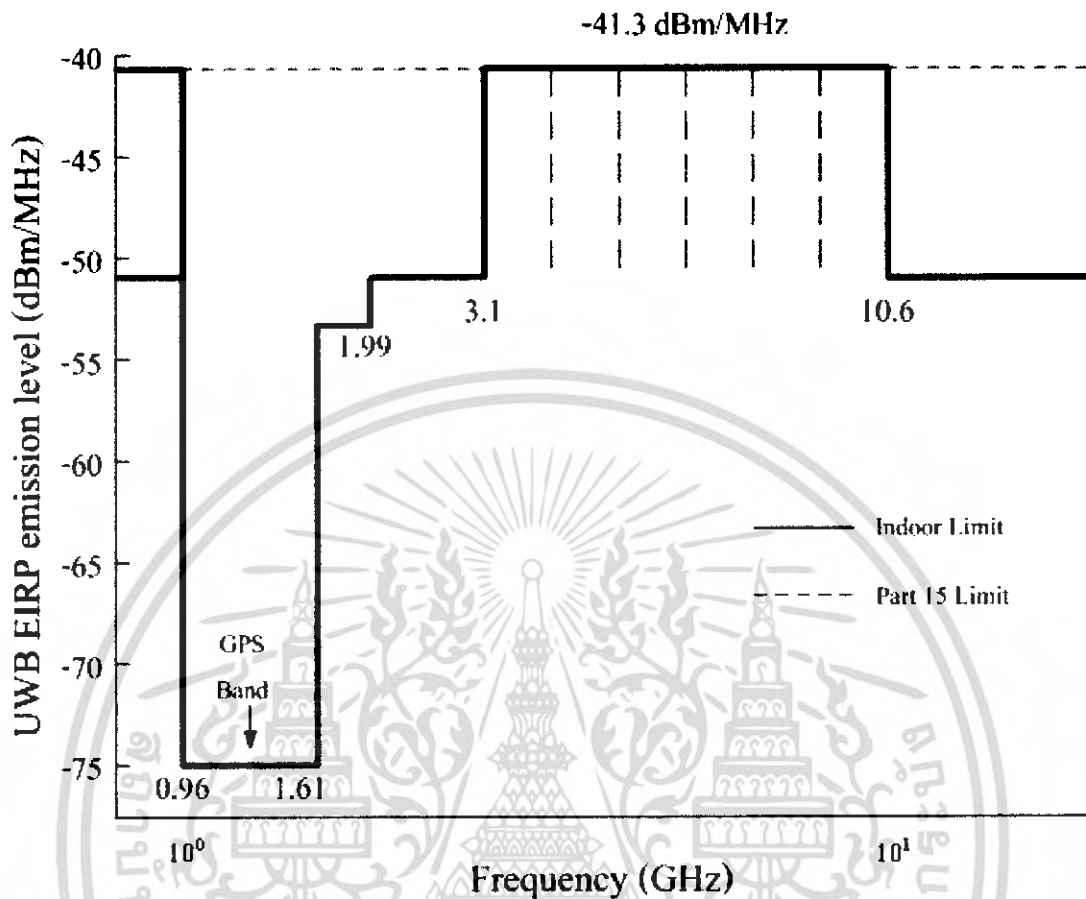
1.1.1 เนื่องจาก UWB มีแบนด์วิธที่กว้างมากดังนั้นก่อนที่จะนำมาใช้ในประเทศไทย ควรจะมีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

1.1.2 มีการจัดสรรความถี่ของโครงข่ายท้องถิ่นส่วนบุคคลแบบไร้สายระยะสั้น



รูปที่ 1.1 สเปกตรัมของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 สเปกตรัมที่แบ่งเป็นขั้นแบนด์ของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

## 1.2 จุดประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาถึงผลกระทบการใช้ย่านความถี่เดียวกันคือ UWB band (3.1 ~ 10.6 GHz)
- 1.2.2 เป็นการวิเคราะห์ย่านความถี่แถบกว้างยิ่งที่จะนำมาใช้ในระบบไร้สายในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาเกี่ยวกับระบบ UWB
- 1.3.2. ทำการออกแบบและวัดช่องแถบความถี่จาก 3.1 ~ 10.6 GHz ทำการวัดเป็น Subband

- 1.3.3 ทำการวัดสัญญาณความถี่แถบกว้างยิ่งที่ใช้ Power เดียวกัน แต่ Frequency ต่างกัน

- 1.3.4 ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของการแพร่กระจายของสัญญาณ UWB

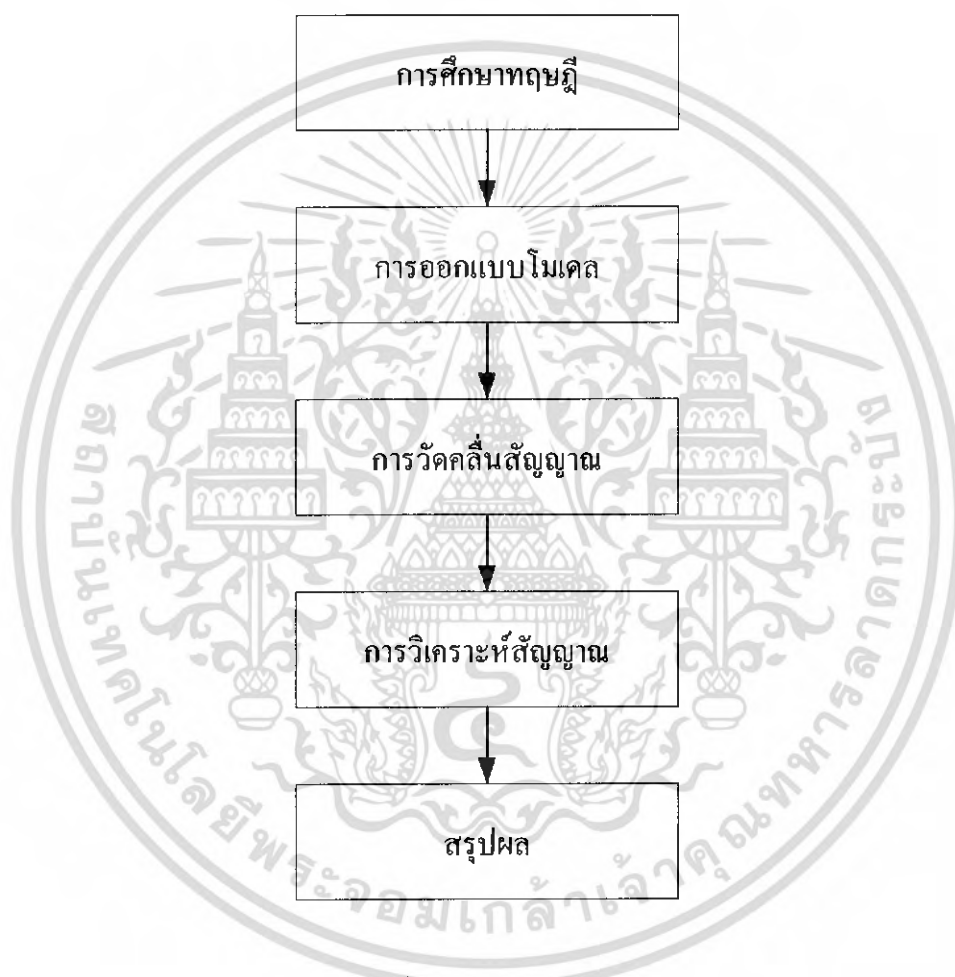
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการจัดระบบไร้สายแถบกว้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้มีการศึกษาวางแผนและการทำงานตามขั้นตอนการดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

การศึกษาทฤษฎีจะอยู่ในบทที่2กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่ควรรู้และใช้ประกอบในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งจะประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมไร้สายแบบเคลื่อนที่ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมไร้สายแบบเคลื่อนที่และทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับสาขาอากาศโบบิคอล

การออกแบบโมเดลจะอยู่ในบทที่3กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบโมเดลสาขาอากาศโบบิคอลในการทดลองวัดคลื่นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศไบโคเนคคัลและผลการทดลองจะอยู่ในบทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศไบโคเนคคัลและผลการทดลองที่ได้จากการวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศไบโคเนคคัล

การวิเคราะห์สัญญาณและสรุปผลการทดลองจะอยู่ในบทที่ 5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดและสรุปผลของการวัดคลื่นสัญญาณที่ใช้สายอากาศไบโคเนคคัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ทฤษฎีและหลักการของระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra – Wideband; UWB) มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์คโคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 จากนั้นเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960 – 1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและกำจัดการส่งสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์ โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา

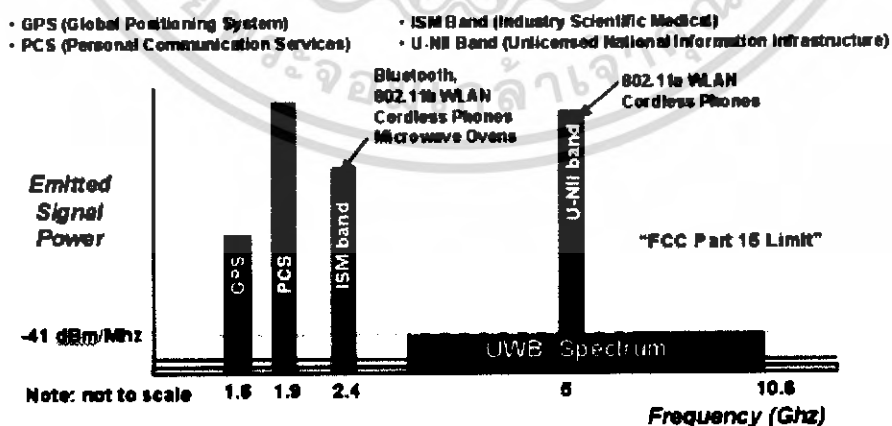
ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิตช์ตัดต่อความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์นั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์นั้นมีความแตกต่างกับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการ คือ การส่งสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์นั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์จะใช้แบนด์วิธในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยที่ทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนด์วิธเท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ใช้แถบความถี่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทาง FCC กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์ไม่เกิน  $-41.3$  dBm/MHz ซึ่งจากการที่ระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์มีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอผลการวิจัยต่าง ๆ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวในการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

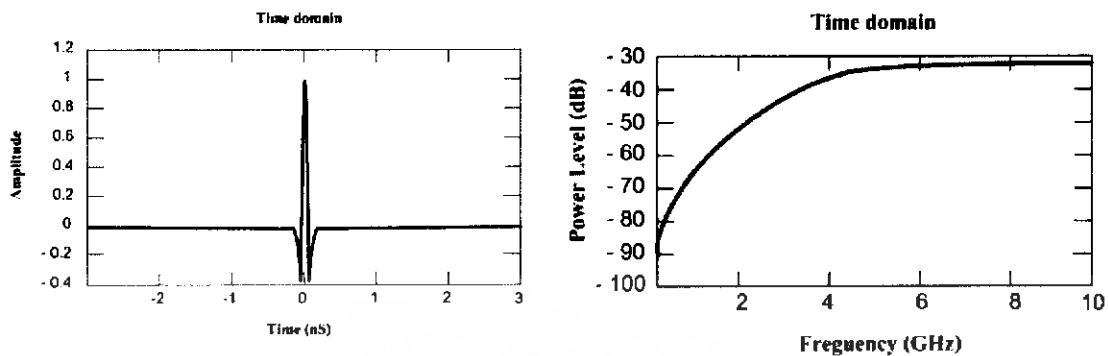
## 2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

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 ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ดีวตีไซเคิล (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมน เวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



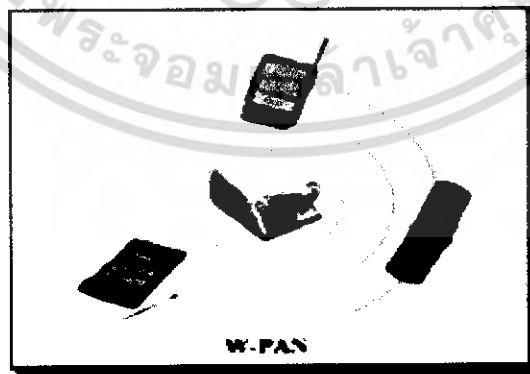
รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในเมนความถี่

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง wi-Fi หรือ Bluetooth แล้วก็จะพบว่าระบบแถบกว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำรวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการส่งรับข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ wi-Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน ระบบแถบกว้างยังมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวระบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภท โสมแอนเตอร์เทนเมนต์ภายในบ้าน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

### รูปที่ 2.3 ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียร์ภายในบ้านทั้ง (ก) และ (ข)

#### 2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (impulse) พัลส์แคบ (short – pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอยด์ (non- sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (carrier less ) แถบกว้างขวดยิ่ง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเฟฟเอ็่มอย่างรวดเร็ว (fast frequency chirp) และ พัลส์แบบโมโน (mono – pulse) [Taylor, 1995] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ในโคเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุขึ้นนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator) จึงไม่จำเป็นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (noise)

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

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิต ต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้งานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

## 2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra – Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (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 ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกรื่อง โดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใด ๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ (B<sub>f</sub>) ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 (Taylor, 1995)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	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

### 2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

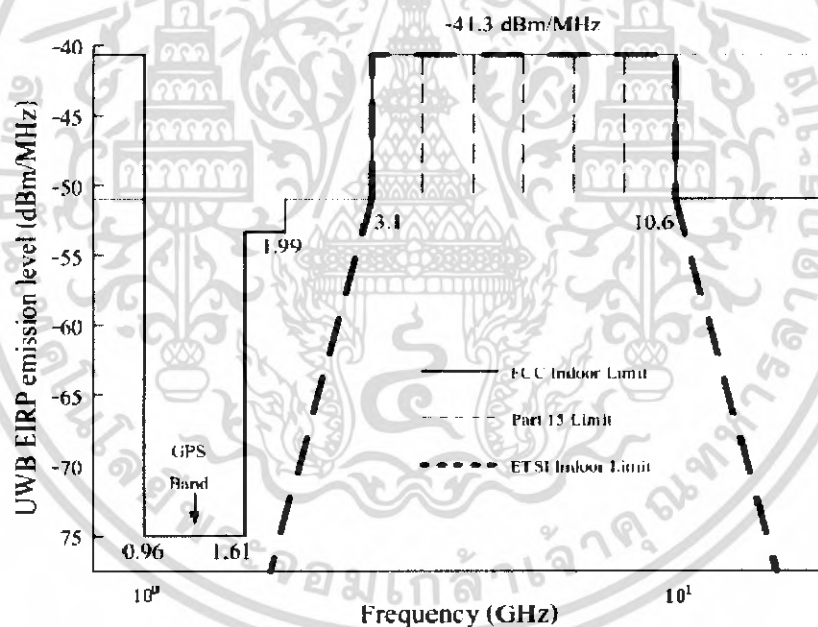
ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

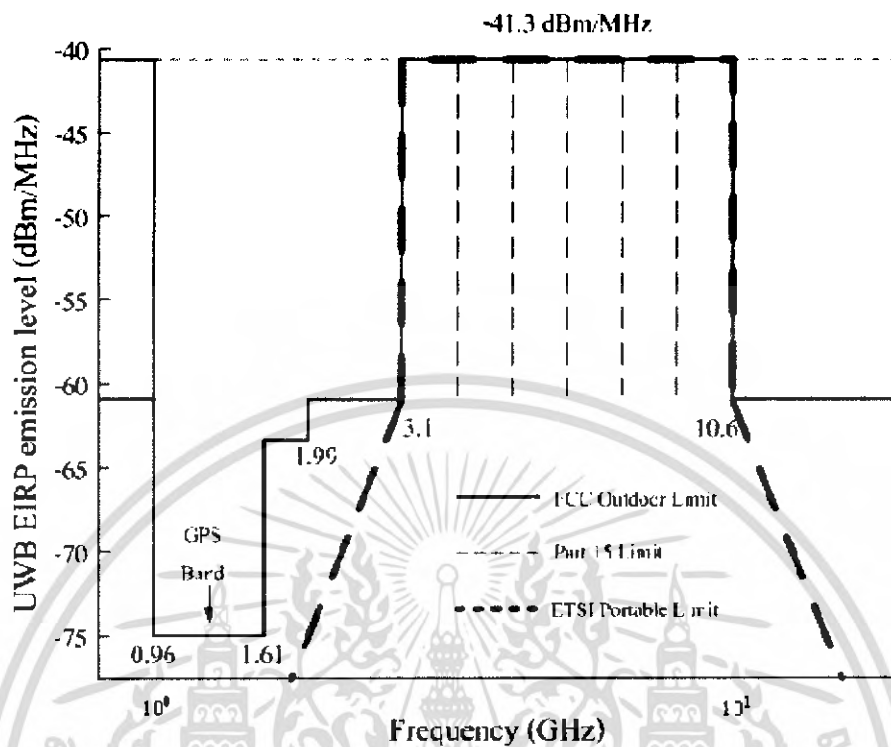
	Frequency range [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
Indoor mask	$-51.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(f / 10.6)$
Outdoor mask	$-61.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(f / 10.6)$

โดยในรูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอก อาคาร

## 2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

### 2.4.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงลักษณะเฉพาะ โดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและระบบของสัญญาณแล้วก็น่าจะเกี่ยวกับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและระบบการวัด เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้านหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งอุปกรณ์นั้นจะถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถที่จะทำงานได้ในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dBm หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่นิยมนยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่  $-41.3 \text{ dBm} / \text{MHz}$  ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดใช้รูปแบบของสัญญาณในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

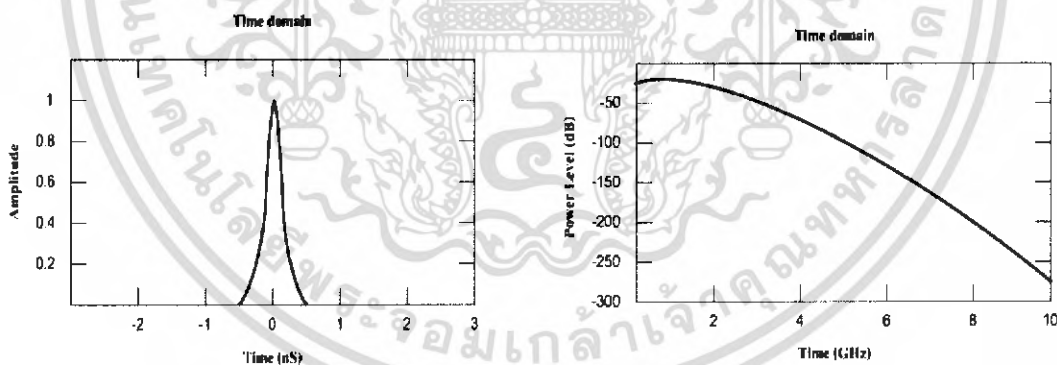
ระบบแถบกว้างยิ่ง แต่โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสามารถที่จะแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ของสัญญาณได้ดังนี้

#### 2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์

ประเภทของรูปคลื่นที่เรียกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ (Gaussian waveform) นั้นได้มาจากการที่มีนิยามทางคณิตศาสตร์เหมือนกับฟังก์ชันเกาส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำโดยส่วนสำคัญของรูปคลื่นแบบเกาส์นั้นคือพัลส์แบบเกาส์ซึ่งมีนิยามเป็นไปตามสมการ 2.2 และแสดงรูปคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 2.6

$$s(t) = A \exp \left[ -\left( \frac{t - T_c}{\tau} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

โดยที่  $A$  คือ ขนาดของสัญญาณ  
 $\tau$  คือ ค่าตัวแปรของสัญญาณพัลส์ (Pulse Shape Parameter)  
 $T_c$  คือ ค่าคาบเวลาของสัญญาณชีพ

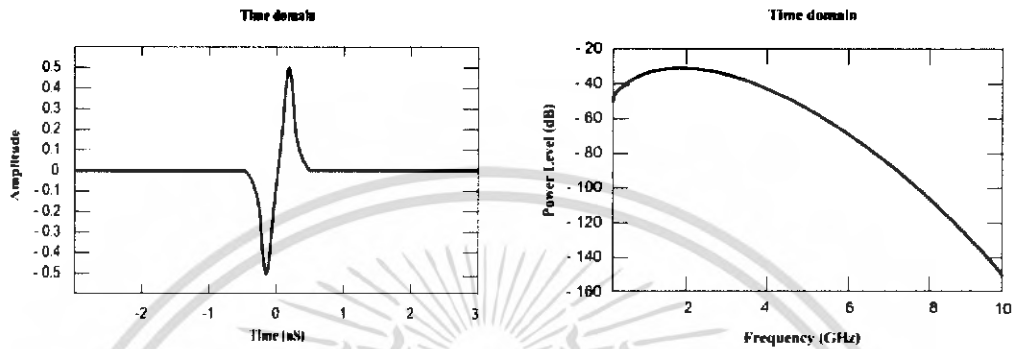


รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งในโดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

#### 2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian monocycle) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของพัลส์แบบเกาส์โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.3 และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.7

$$s(t) = \frac{2A}{\tau} \sqrt{\exp} \times \exp^{-2\pi \left[ \frac{(t-T_c)}{\tau} \right]^2} \quad (2.3)$$

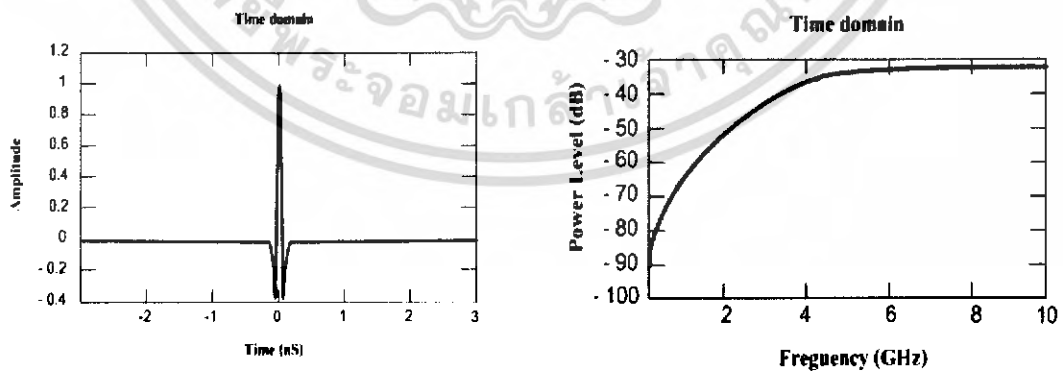


รูปที่ 2.7 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน โมโนไซเคิลทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

#### 2.4.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต (Gaussian doublet) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับสองของพัลส์แบบเกาส์ โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.4 และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.8

$$s(t) = \left[ 1 - 4\pi \left( \frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \exp \left[ -2\pi \left( \frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.8 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลตทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

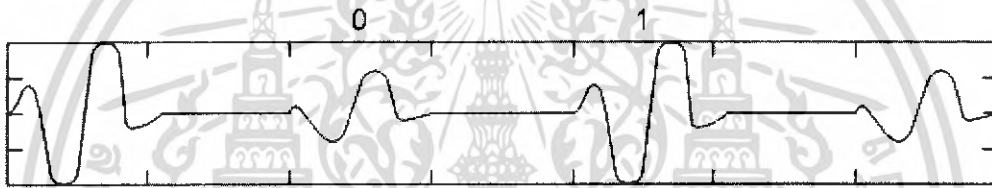
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด

การส่งข้อมูลข่าวสารในระบบแถบกว้างยิ่งยวด มีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มส่วนของข้อมูลข่าวสารที่เป็นดิจิทัลเข้าไปในสัญญาณพัลส์แบบอนาล็อกหรือในความหมายของการมอดูเลต โดยในระบบแถบกว้างยิ่งยวดมีวิธีการมอดูเลตอยู่มากมายที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งในที่นี้จะขอ ยกตัวอย่างถึงวิธีการทั่วไปของการมอดูเลตดังนี้

### 2.5.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์

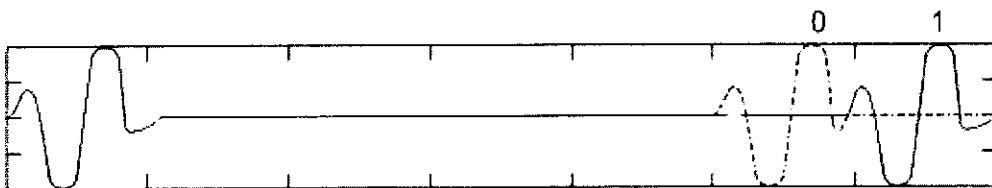
การมอดูเลตสัญญาณทางขนาดของพัลส์(PAM) นั้นจะต้องอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณอูตราไวด์แบนด์ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาดโดยมีทั้งหมด 4 ระดับ



รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

### 2.5.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์

การมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยมีในรูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งปกติ (Nominal – Position) และบิต “1” จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์

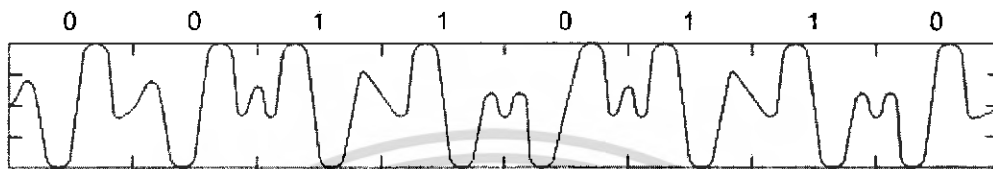


รูปที่ 2.10 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 การมอดูเลตแบบเฟส

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟส (Bi-phase) นั้นจะอยู่พื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส

## 2.6 ทฤษฎีสายอากาศไบโคนิกอล (Biconical)

เป็นรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อนที่สามารถใช้กับคุณสมบัติของบรอดแบนด์ได้ รูปร่างของสายอากาศไบโคนิกอลนั้นเป็นรูปทรงกรวยที่มีขนาดไม่จำกัดวางเข้าด้วยกันไว้ดังในรูปที่ 2.12(a) นั้นแสดงในรูปของสายส่งเมื่อใช้ค่าแรงดันอินพุต ( $V_i$ ) ที่เข้าจะมีผลออกมาเป็นคลื่นทรงกลมดังในรูปที่ 2.12 (b) ซึ่งในผลสะท้อนในจุดใด ๆ ( $r, \theta = \theta_c = \phi$ ) จะมีกระแส ( $I$ ) ตามพื้นผิวของรูปทรงกรวยและแรงดัน ( $V$ ) ระหว่างทรงกรวยทั้งสอง (รูปที่ 2.13) สามารถหาคุณลักษณะพิเศษของอิมพีแดนซ์ (impedance) ของทรงเรขาคณิตนั้น ดังแสดงการหาค่าตัวแปรระยะของทรงกรวยที่จะทำให้ใช้เป็นสายส่งได้

### 2.6.1 สนามการแพร่กระจายคลื่น

เริ่มต้นโดยการวิเคราะห์เป็นครั้งแรกหาการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้า (E) และการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (H) ระหว่างทรงกรวยซึ่งอยู่ในสภาวะกระดุนแบบโหมด TEM (สนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H) มีการแพร่แบบเส้นตรงโดยทิศทางตัดขวางกัน ถ้ากำหนดจุดหลายๆจุด ( $r, \theta, \phi$ ) ค่าแรงดันและกระแสที่อยู่ในจุดต่างๆบนพื้นผิวทรงกรวย ( $r, \theta = \theta_c = \phi$ ) จากกฎของฟาราเดย์เราสามารถเขียนได้ดังนี้

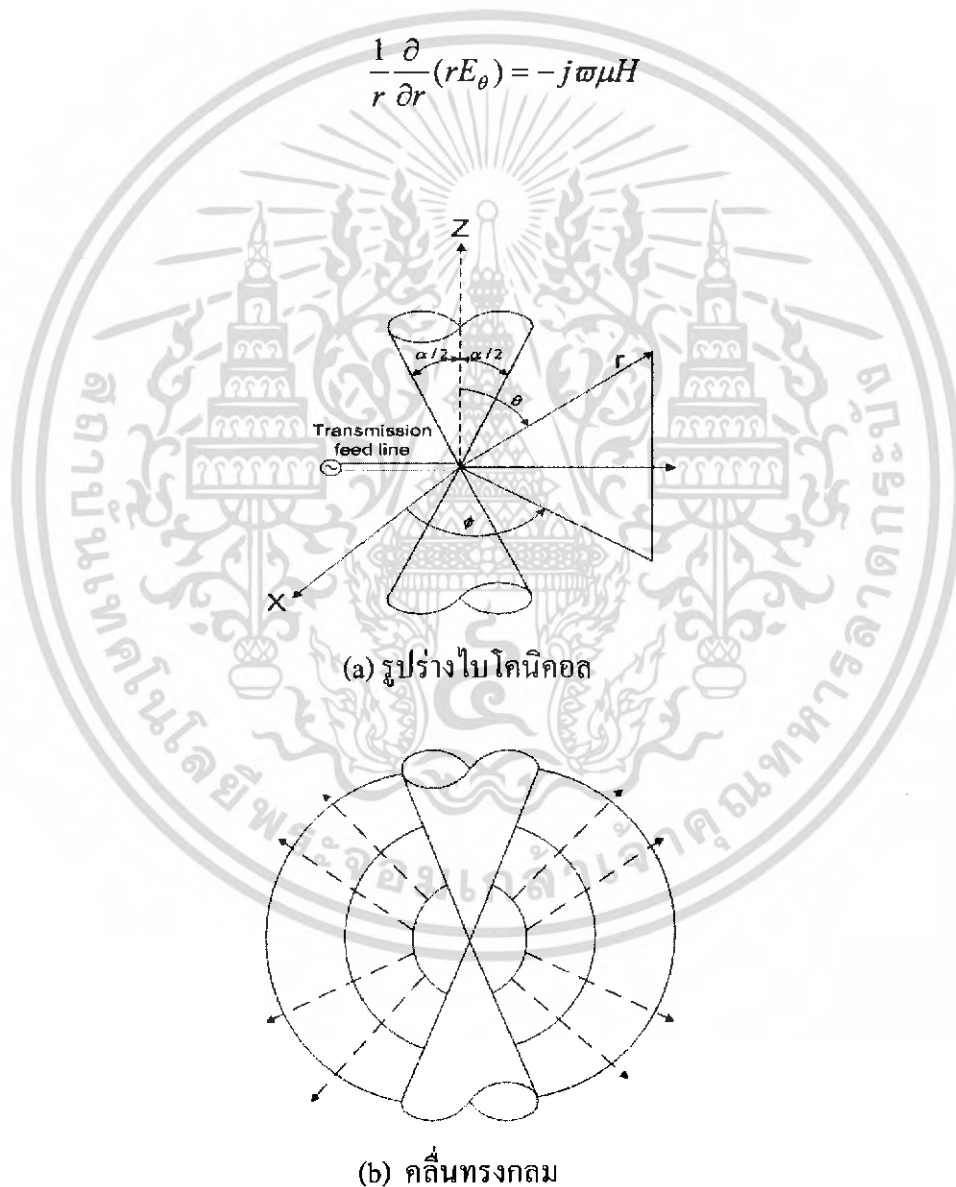
$$\nabla \times E = -j\omega\mu H \tag{2.5}$$

ซึ่งถ้าหากแสดงให้อยู่ในพิกัดทรงกลมและซึ่งในสนามไฟฟ้า (E) อย่างเดียวมี  $E_\theta$  เป็นตัวประกอบอิสระคือ  $\phi$  จะได้

$$\nabla \times E = \hat{a}_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE_\theta) = -j\omega\mu(\hat{a}_r H_r + \hat{a}_\theta H_\theta + \hat{a}_\phi H_\phi) \quad (2.6)$$

โดยที่สนามแม่เหล็ก(H) มีส่วนประกอบในทิศทาง  $H_\phi$  อย่างเดียวจำเป็นสำหรับโหมด TEM  $E_\phi$  ในสมการที่ (2.6) สามารถเขียนได้

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE_\theta) = -j\omega\mu H \quad (2.6a)$$



รูปที่ 2.12 (a) และ (b) สายอากาศรูปเลขาคณิตและการแพร่กระจายคลื่นแบบทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกฎของแอมแปร์ (Ampere) มีดังนี้

$$\nabla \times \mathbf{H} = +j\omega \in \mathbf{E} \quad (2.7)$$

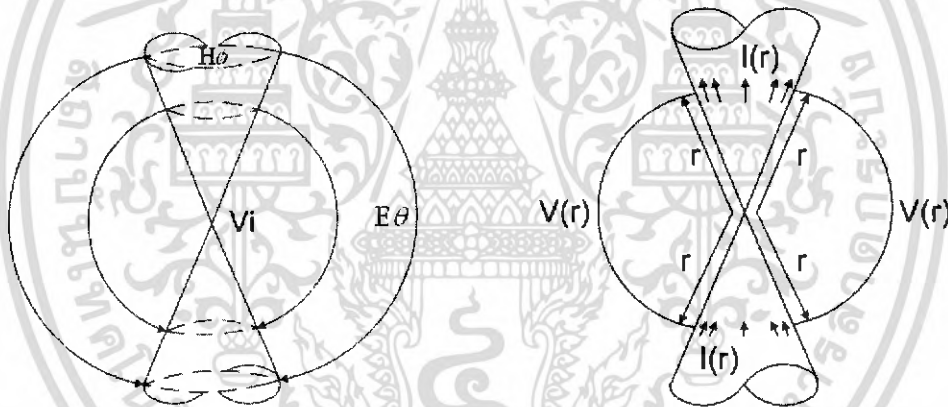
ซึ่งแสดงในพิกัดทรงกลมและมีส่วนประกอบในทิศทางของสนามไฟฟ้า  $E_\theta$  อย่างเดียวและส่วนในทิศทางของสนามแม่เหล็ก  $H_\phi$  เป็นตัวประกอบอิสระสำหรับ  $\phi$  ก็จะได้

$$\hat{a}_r = \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[ \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta H_\phi) \right] - \hat{a}_\theta \frac{1}{r \sin \theta} \left[ \frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta H_\phi) \right] = +j\omega \in (\hat{a}_\theta E_\theta) \quad (2.8)$$

ซึ่งจะเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta H_\phi) = 0 \quad (2.9a)$$

$$\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta H_\phi) = -j\omega \in E_\theta \quad (2.9b)$$



รูปที่ 2.13 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของสายอากาศไบโคเนคัล

ซึ่งจะเขียนใหม่จากสมการ(2.9b)ได้เป็น

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\phi) = -j\omega \in E_\theta \quad (2.10)$$

และเมื่อนำไปแทนในสมการ (2.6a) จะได้สมการในทิศทาง  $H_\phi$  ดังนี้

$$-\frac{1}{j\omega \in r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} (r H_\phi) \right] = -j\omega \mu H_\phi \quad (2.11)$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2}(rH_\phi) = -\omega^2 \mu \epsilon (rH_\phi) = -k^2 (rH_\phi) \quad (2.11a)$$

หรือ การแก้สมการของ (2.11a) ได้โดยแทนสมการที่ (2.9a) ที่เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับสมการ (2.11a) เมื่อ  $\theta$  แปรผันของสนามแม่เหล็กในทิศทาง  $H_\phi$  จะได้รูปสมการคือ

$$H_\phi = \frac{f(r)}{\sin \theta} \quad (2.12)$$

สำหรับการแก้สมการของ(2.11a) ซึ่งต้องกำหนดให้เหมาะสมเหมือนกับสมการที่ 2.12) และแสดงการแพร่กระจายคลื่นคือ

$$H_\phi = \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.13)$$

ซึ่ง

$$f(r) = H_0 \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.13a)$$

เหมือนการแสดงการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่เหมาะสมกับโครงสร้างที่ยาวมากเมื่อสนามในโหมด TEM จากสนามไฟฟ้าที่มีสนามแม่เหล็กที่เป็นอิสระกันและเขียนได้ดังนี้

$$E_\theta = \eta H_\phi = \eta \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.14)$$

ในรูปที่ 2.13 เราสามารถเห็นเส้นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในอากาศ (free space) ระหว่างโครงสร้างทรงกรวยทั้งสองเมื่อจ่ายแรงดันให้จุดที่ตรงกันของทรงกรวยที่มีระยะรัศมี (r) จากจุดศูนย์กลางพิสัยงันโดย

$$V(r) = \int_{\pi/2}^{\pi-a/2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_{\pi/2}^{\pi-a/2} (\hat{a}_\theta E_\theta) \cdot (\hat{a}_r r d\theta) = \int_{\pi/2}^{\pi-a/2} E_\theta r d\theta \quad (2.15)$$

หรือโดยใช้สมการที่ (2.6)

$$V(r) = \eta H_0 e^{-jkr} \int_{\pi/2}^{\pi-a/2} \frac{d\theta}{\sin \theta} = \eta H_0 e^{-jkr} \ln \left[ \frac{\cot(\alpha/4)}{\tan(\alpha/4)} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V(r) = 2\eta H_0 e^{-jkr} \ln \left[ \cot \left( \frac{\alpha}{4} \right) \right] \quad (2.16a)$$

เมื่อกระแสที่ไหลผ่านพื้นผิวทรงกรวยที่มีระยะห่างรัศมี ( $r$ ) จากจุดศูนย์กลางพิวจน์โดยใช้สมการที่ (2.13) ดังนี้

$$I(r) = \int_0^\pi H_0 r \sin \theta d\phi = H_0 e^{-jkr} \int_0^\pi d\phi = 2\pi H_0 e^{-jkr} \quad (2.17)$$

ในรูปที่ 2.13 (b) เราสามารถเห็นแรงดันและกระแสไหลในรัศมีสั้นจากจุดศูนย์กลาง

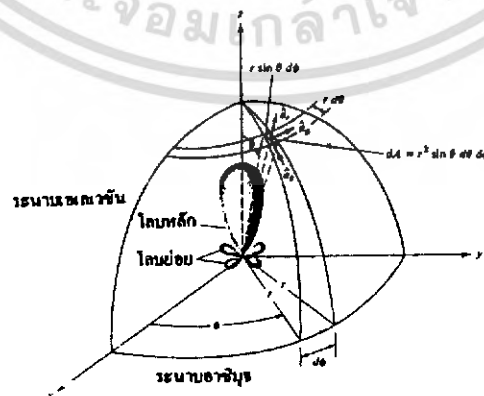
## 2.7 พารามิเตอร์ของสายอากาศ (Antenna Parameter)

### 2.7.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้ มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงาน เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

รูปที่ 2.14 แสดงระบบ โคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น เพื่อแสดง กำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น



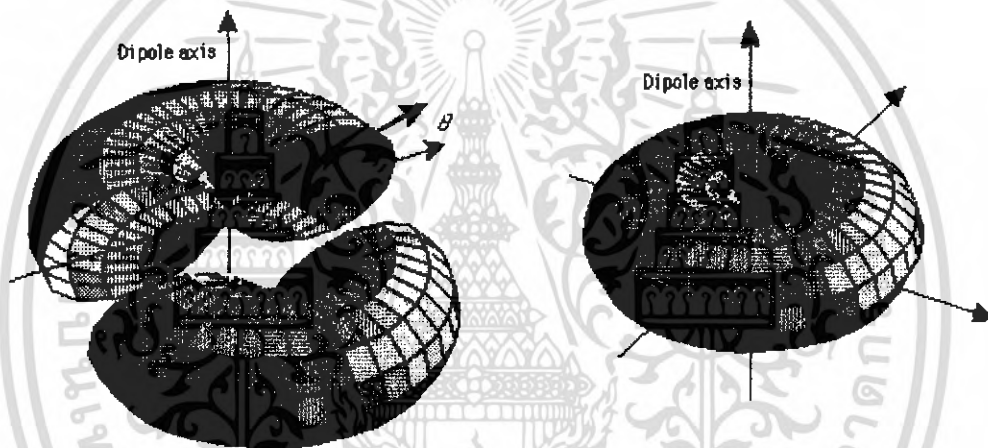
รูปที่ 2.14 แสดงระบบ โคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2 แพทเทิร์นแบบไอโซทรอปิก ไคเรชันแนล และออมนิไคเรชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบออมนิไคเรชันแนล (Omni directional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้มีดังแสดงในรูป 2.15



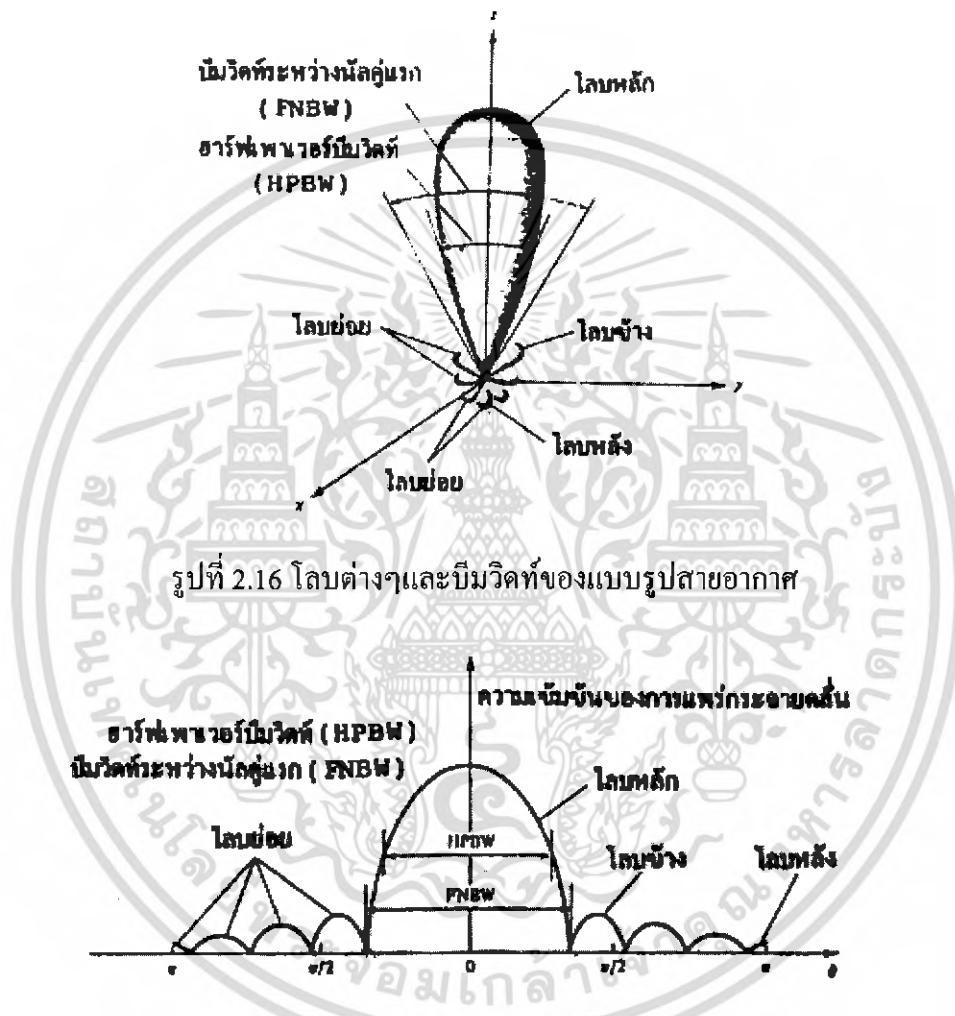
รูปที่ 2.15 แพทเทิร์นของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไคเรชันแนล)

### 2.7.3 แพทเทิร์นหลัก

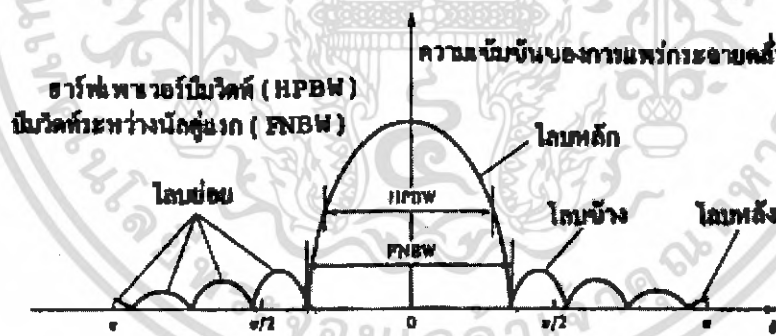
เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของแพทเทิร์นหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศลิเนียร์โพลาริเซชัน (Linearly Polarization) แพทเทิร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแพทเทิร์นในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรง

### 2.7.4 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

โอบของการแพร่กระจายคลื่น ( Radiation Lobe ) เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น คำ รูป 2.16 แสดงแบบรูปแบบโพลาร์ (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโอบต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.16 โอบต่างๆและบีมไวด์ของแบบรูปสายอากาศ



รูปที่ 2.17 แบบรูปในแบบเชิงเส้น

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูป 2.17 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง  $\theta=0$  สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split Beam Antenna)

โอบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โอบอื่นๆนอกเหนือไปจากโอบหลัก

โอบข้างหรือไซด์โอบ (Side Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลบหลัง (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลัก ปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่จำเป็นต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโลบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า  $-20$  dB

### 2.7.5 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น และผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $U$  = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W / หน่วยมุมตัน)

$W_{rad}$  = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W / m<sup>2</sup>)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลได้คือ

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2 \cdot \eta} \cdot [ |E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 ] \quad (2.19)$$

เมื่อ  $E_\theta, E_\phi$  = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

$N$  = อินทริเนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

ดังนั้นแบบรูปของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึง ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังงานทั้งหมดนี้ หาได้โดยอินทิเกรตความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตาม (2.18) และ (2.19) ตลอดมุมตัน  $4\pi$  ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.6 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางต่างๆ เทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิก ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_0 \text{ (dBi)} = 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \right) \approx 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi (180/\pi)^2}{\theta_E \theta_H} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{41253}{\theta_E \theta_H} \right) \quad (2.21)$$

เมื่อ  $U_{\max}$  = ค่าสูงสุดของความเข้มการแพร่กระจายคลื่น  
 $P_{\text{rad}}$  = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด

$$P_{\text{rad}} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin(\theta) d\theta d\phi \quad (2.22)$$

### 2.7.7 บีมวิทท์ (Beamwidth)

บีมวิทท์ คือ จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงโคเรลิตีวิตี้ของสายอากาศได้ดี โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้

- ที่จุดซึ่งกำลังงานในการแพร่คลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุด
- หรือจุดที่ค่าความเข้มสนามเหลือ  $1/\sqrt{2}$  หรือ 0.707 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
- หรือจุด 3 dB บนรูปแบบการแพร่คลื่นจะได้สมการดังนี้

$$\theta_{BH} = 2 \cos^{-1} \left( \frac{1}{2 \left( 1 + \frac{k_0 w}{2} \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

$$\theta_{BE} = 2 \cos^{-1} \left( \frac{7.03}{(3k_0^2 L^2 + k_0 h^2)} \right)^{-1} \quad (2.24)$$

เมื่อ

$\theta_{BH}$  คือ มุมที่ก้ำกึ่งลดลงครึ่งหนึ่งของบีมหลักในแนวระนาบของสนามแม่เหล็ก

$\theta_{BE}$  คือ มุมที่ก้ำกึ่งลดลงครึ่งหนึ่งของบีมหลักในแนวระนาบของสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.8 แบนด์วิดท์ (Bandwidth : BW)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศในมาตรฐานที่กำหนดให้อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพของการแพร่พลังงาน อัตราการขยาย อิมพีแดนซ์ รูปแบบการแพร่พลังงาน ความกว้างลำ (Beamwidth) การโพลาไรซ์เซชัน และระดับพลู้อย (Side Lobe) เป็นต้น ให้อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติที่ความถี่ที่ออกแบบไว้ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านั้นผิดไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้าง มักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ใช้งานได้ทางด้านสูง ต่อความถี่ที่ใช้งานทางด้านต่ำ แบนด์วิดท์มักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้นดังสมการ

$$\%BW = \left( \frac{f_H - f_L}{f_r} \right) \times 100 \quad (2.25)$$

เมื่อ  $BW$  คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ  
 $f_H$  คือ ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านสูง  
 $f_L$  คือ ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านต่ำ  
 $f_r$  คือ ความถี่กลางของแบนด์วิดท์

### 2.7.9 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศเป็น 3 ส่วน คือสนามรีแอคทีฟ ระยะใกล้ (Reactive – Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating – Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field)

บริเวณสนามรีแอคทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอคทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง  $R < 0.62 D^2/\lambda$  จากผิวของสายอากาศเมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น และ  $D$  เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอคทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้น แปรผันตามระยะทางจากสายอากาศเมื่อสายอากาศมี

บริเวณสนามกระจายระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศเมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง  $0.62 \sqrt{D^3 / \lambda} \leq R \leq 2D^2 / \lambda$

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

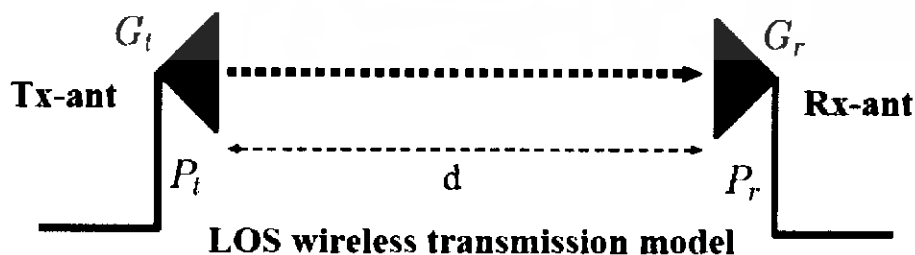
ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า  $R$  เท่ากับ  $2D^2 / \lambda$  และขอบนอกเป็นอนันต์

## 2.8 การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ UWB

### 2.8.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับช่องสัญญาณแบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์

การวิเคราะห์ระบบ UWB โดยใช้สูตรของฟรีด (Friis' Formula)

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์ โดยในระบบ แนนโรวแบนด์ (narrowband) โดยปรกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้ Friis' transmission formula แต่ว่านั้นไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์ โดยในสูตรนั้นมันมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้น อาจจะผิดเพี้ยนไปเนื่องจาก คุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศโดยได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีด (Friis') เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีด (Friis') สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ



รูปที่ 2.18 ลักษณะการสื่อสารผ่านช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $P_f(f)$  และ  $P_r(f)$  คือกำลังของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของกำลังงาน และ  $G_f(f)$  และ  $G_r(f)$  เป็นอัตราขยายของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของเดซิเบล

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = \left(\frac{c}{4\pi d f}\right)^2 \quad (2.27)$$

โดยที่  $G_f(f)$  คืออัตราขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง(Free Space) หรือทิศทางที่มองเห็น (Line of sight, LOS) หรือเขียนอยู่ในรูปของทราเน็พอร์ฟังก์ชันดังสมการ

$$H_{e-friis}(f, d) = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (2.28)$$

โดย  $H_f$  คือทราเน็พอร์ฟังก์ชันของอวกาศว่างและ  $H_r$  และ  $H_t$  คือทราเน็พอร์ฟังก์ชันของสายอากาศด้านส่งและด้านรับและสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก(isotropic)

$$H_{e-Friis', Iso}(f) = H_f \cdot H_i \quad (2.29)$$

และสามารถคำนวณหาทราเน็พอร์ฟังก์ชันของอวกาศว่างได้จากสมการที่ 2.30

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi d f} \exp(-jkd) \quad (2.30)$$

โดย  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

แต่สมการ Friis's transmission formula ตามสมการที่ (2.28) เมื่อนำมาใช้กับระบบสื่อสารที่เป็นแบบไวด์แบนด์ เช่น อุลตราไวด์แบนด์ จะพบว่าไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ที่มีช่วงกว้าง ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสมการของ Friis's transmission formula เป็นตามสมการที่ (2.31) ซึ่งเรียกว่า Extension Friis's transmission formula โดยมีการแต่จะเขียนอยู่ในรูปของทราเน็พอร์ฟังก์ชันโดยการเพิ่ม

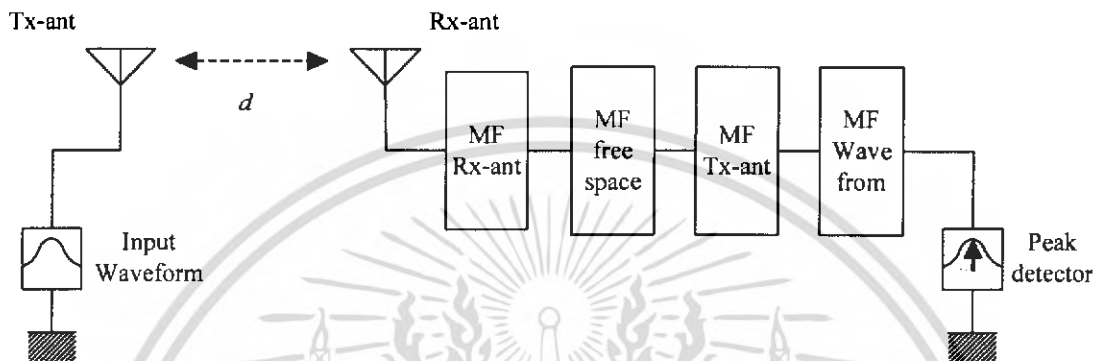
ทราเน็พอร์ฟังก์ชันของ Generator pulse filter,  $H_g$

$$H_{e-friis}(f, d) = H_f(f, d)H_i(f)H_r(f)H_t(f) \quad (2.31)$$

และผลตอบสนองทางอิมพัลส์ของอวกาศว่างสามารถคำนวณได้จาก Inverse Fourier Transform ซึ่ง  $H_f$  นั้นเป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอากาศ  $H_r(f)$  และ  $H_t(f)$  เป็นฟังก์ชันการส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของสายอากาศตัวรับ และตัวส่งตามลำดับ โดยที่สายอากาศด้านรับนั้นได้ใช้ Matched filter ในการกรองความถี่  $H_{Friis}(f)$  และถูกนำมาหาค่าสูงสุดของสัญญาณเอาต์พุตทางด้านรับดัง แสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการเพิ่มเติมจากสูตรของฟรีด (Friis' transmission) เพื่อนำมาใช้กับระบบอุลตราไวต์แบนด์

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H^*_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (2.32)$$

และสำหรับสมการ ไอโซโทรปิก(Isotropic)

$$H_{MF,Iso}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H^*_{e-Friis,Iso}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis,Iso}(f)|^2 df}} \quad (2.33)$$

ซึ่งจาก สมการที่ได้ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดัง สมการดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 2fb \quad (2.34)$$

โดยในกรณีนี้ รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุต  $E$ , และสเปกตรัมทางด้านรับจะได้ เป็น  $h_{e-Friis}(t)$  และ  $H_{e-Friis}(f)$  ตามลำดับ รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาจาก แมตริกซ์ ฟิลเตอร์  $v_{MF}(t)$  จะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\
 &= \frac{\sqrt{2fb} h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}}
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก(Isotropic)

$$\begin{aligned}
 v_{MF,Iso}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF,Iso}(t) \\
 &= \frac{\sqrt{2fb} h_{e-Friis,Iso}(t) * h_{e-Friis,Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis,Iso}^2(t) dt}}
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

สำหรับสเปกตรัมของเอาต์พุตที่มาจากแมตซ์ฟิลเตอร์  $V_{MF}(f)$

$$\begin{aligned}
 V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\
 &= \frac{\sqrt{2fb} H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\begin{aligned}
 \max_t v_{MF}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\
 &= \sqrt{\sqrt{2fb} \int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

จากสมการที่ (2.38) เป็นการปรับปรุงสมการของฟรีสโดยการเพิ่มเติมไป 3 ค่า ซึ่งถูกเรียกโดยรวมว่า คุณสมบัติของความถี่เมื่อมีการแพร่กระจายในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร และสเปกตรัมของสัญญาณที่ใช้ในการส่งซึ่งนำมาปรับปรุงอัตราการขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นค่างอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์ดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

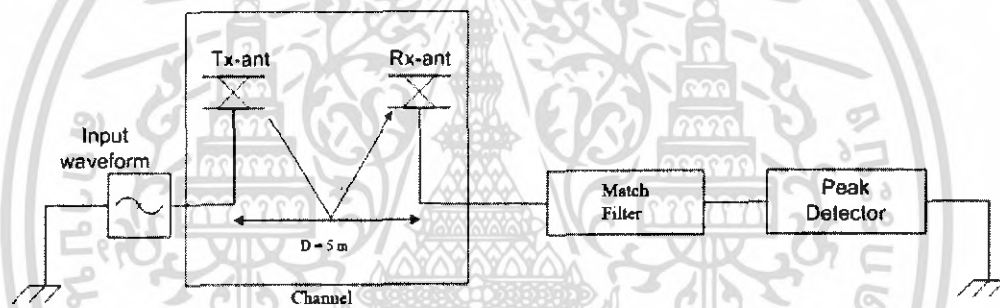
สมการที่ (2.38) สำหรับกรณี โดยทั่วไปที่มีการใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก (isotropic) นั้น จะประกอบด้วย  $H_{iso}(f) = 1$

อัตราการขยายในการส่งในย่านอุลตราไวต์แบนด์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF, Iso}(t)} \quad (2.39)$$

### 2.8.2 Matched filter

ในสัญญาณด้านรับมีการนำเอาแมตช์ฟิลเตอร์มาใช้ในปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้านรับหรืออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยดูจากบล็อกไดอะแกรมจะอยู่หลังจากสายอากาศด้านรับ แมตช์ฟิลเตอร์ ในการกรองความถี่  $H_{Friis}(f)$  สามารถหาคำนวณได้สมการที่ (2.40)



รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณ

$$H_{MF}(f) = \frac{H^*_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (2.40)$$

ซึ่งจากสมการที่ ได้ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดังสมการที่ (2.41)

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (2.41)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \quad (2.42)$$

$$= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \quad (2.43)$$

สำหรับสเปกตรัมของเอาต์พุตที่มาจากแมตซ์ฟิลเตอร์  $V_{MF}(f)$

$$V_{MF}(f) = H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \quad (2.44)$$

$$= \frac{H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (2.45)$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\max v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \quad (2.46)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df \quad (2.47)$$

## 2.9 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบต่อลักษณะการส่งผ่านสัญญาณ คือ การสะท้อน (Reflection) การหักเห (Refraction) การเลี้ยวเบน (Diffraction) การกระจาย (Scattering) การสอดแทรก (Interference)

### 2.9.1 การสะท้อน (Reflection)

ของคลื่นสัญญาณเกิดขึ้นเมื่อคลื่นมีการเคลื่อนที่จากสื่อกลางประเภทหนึ่ง ไปสู่สื่อกลางอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สื่อกลางชนิดที่สองจะต้องมีพื้นผิวที่ใหญ่มากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือคลื่นบางส่วนจะมีการสะท้อนออกและส่วนที่เหลือก็เคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่สื่อกลางชนิดที่สอง ตัวอย่างของการสะท้อนของคลื่นที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งก็เช่น การที่คลื่นเคลื่อนที่เข้ากระทบกำแพงหรือพื้นผิวโลกของโลกเป็นต้น

### 2.9.2 การหักเห (Refraction)

ของคลื่นวิทยุเกิดขึ้นเมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากตัวกลางหนึ่ง ไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่เหมือนกัน โดยที่มุมตกกระทบ ณ ตัวกลางที่สองไม่เป็นมุมฉาก พลังงานคลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับเข้าไปยังตัวกลางที่หนึ่ง โดยมีมุมตกเท่ากับมุมสะท้อน แต่ยังมีพลังงานคลื่นอีกส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สอง การเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สองนี้ จะไม่เป็นแนวเส้นตรงต่อไปจากแนวทางเดินในด้านตัวกลางแรก แต่จะหักเหออกไปมากขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางทั้งสอง สาเหตุที่เกิดการหักเหของทางเดินของคลื่นวิทยุเนื่องจาก ความเร็วของคลื่นวิทยุในตัวกลาง ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันจะไม่เท่ากัน เช่น คลื่นวิทยุจะเดินทางในน้ำบริสุทธิ์จะช้ากว่าเดินทางในอากาศถึง 9 เท่า เป็นต้น

### 2.9.3 การเลี้ยวเบน (Diffraction)

ของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบกีดขวางอยู่ระหว่างอุปกรณ์รับและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ทำให้ไม่มีเส้นทางตรง (line-of-sight) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองที่คลื่นสัญญาณสามารถส่งผ่านได้ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นก็คือคลื่นสัญญาณเลี้ยวอ้อมวัตถุนั้น ๆ การเลี้ยวเบนของสัญญาณนี้เองที่ทำให้เรายังสามารถรับสัญญาณได้บางส่วนถึงแม้ว่าเครื่องรับสัญญาณจะถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวางด้วยเหตุนี้การเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณจึงมีประโยชน์ต่อการส่งผ่านสัญญาณ

### 2.9.4 การกระจาย (Scattering)

เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่กระทบวัตถุหรือพื้นผิวที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ ทำให้คลื่นสัญญาณเกิดการกระจายของสัญญาณ เช่น ป้ายจราจร เสาโคมไปตามถนน ใบไม้และพื้นผิวที่ขรุขระ เป็นต้น

## 2.10 การสูญเสียกำลัง (Path Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.1 การสูญเสียเชิงวิถีในอากาศว่าง (Free Space Path Loss)

การสูญเสียกำลังในอากาศว่าง ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นแพร่กระจายออกไปด้วยมุมที่กว้าง ทำให้ความเข้มของกำลังคลื่นสัญญาณอ่อนตัวลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบยกกำลังสอง คำว่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณในอากาศว่างนี้ได้นิยามให้เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา โดยที่คลื่นมีการแพร่กระจายในบริเวณที่ว่างเปล่า (Free space propagation) อัตราส่วนมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_L = 20 \log_{10} \left( \frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_t(t)|} \right) \quad (2.48)$$

โดยที่

$P_L$  คือ กำลังการสูญเสียระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

$V_t$  คือ ขนาดแอมพลิจูดทางด้านส่ง

$V_r$  คือ ขนาดแอมพลิจูดทางด้านรับ

### 2.11 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

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

OFDM เป็นเทคนิคการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ เมื่อช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นขนาดเล็ก ๆ  $N$  ช่องแต่ละช่องมีขนาดเท่ากับขนาดของสัญลักษณ์ (Bit rate) ดิจิตอล ทางด้านสัญญาณ ดิจิตอลความเร็วสูงที่ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อย ๆ ที่มีความถี่ต่ำกว่าจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย 1 สัญญาณ และนำสัญญาณทั้งหมดส่งขนานกันออกไป รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณพาหะย่อยที่นิยมทั่วไปได้แก่ QAM, 16 QAM หรือ 64 QAM เป็นต้น ใน OFDM กลุ่มของข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปขนานกัน โดยการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย ดังนั้นจะกลายมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ซึ่งการแปลงสัญญาณกลับให้อยู่ในบนแกนเวลาอีกครั้ง โดยการแปลงกลับฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) จากนั้นจะสัญลักษณ์บนแกนเวลาจะถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันได้เป็นอนุกรมของสัญญาณ แล้วจึงส่งสัญญาณออกไปทางเสาอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการมอดูเลตแบบ OFDM จะมีการสอดแทรกช่วงแถบป้องกันแคบ ๆ เพื่อลดสัญญาณรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (Inter Symbol Interference: ISI) ที่เกิดจากสัญญาณหลายเส้นทาง (Multi-path) เราเรียกแถบป้องกันแคบ ๆ นี้ว่าการเสริมไซคลิก (Cyclic prefix) ส่วนในเครื่องรับจะดำเนินการตรงข้ามกับเครื่องส่งและในเครื่องรับจะใช้การแปลงฟาสต์ฟูเรียร์แปลงสัญญาณที่อยู่บนแกนเวลาไปเป็นแถบความถี่สมมูล

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

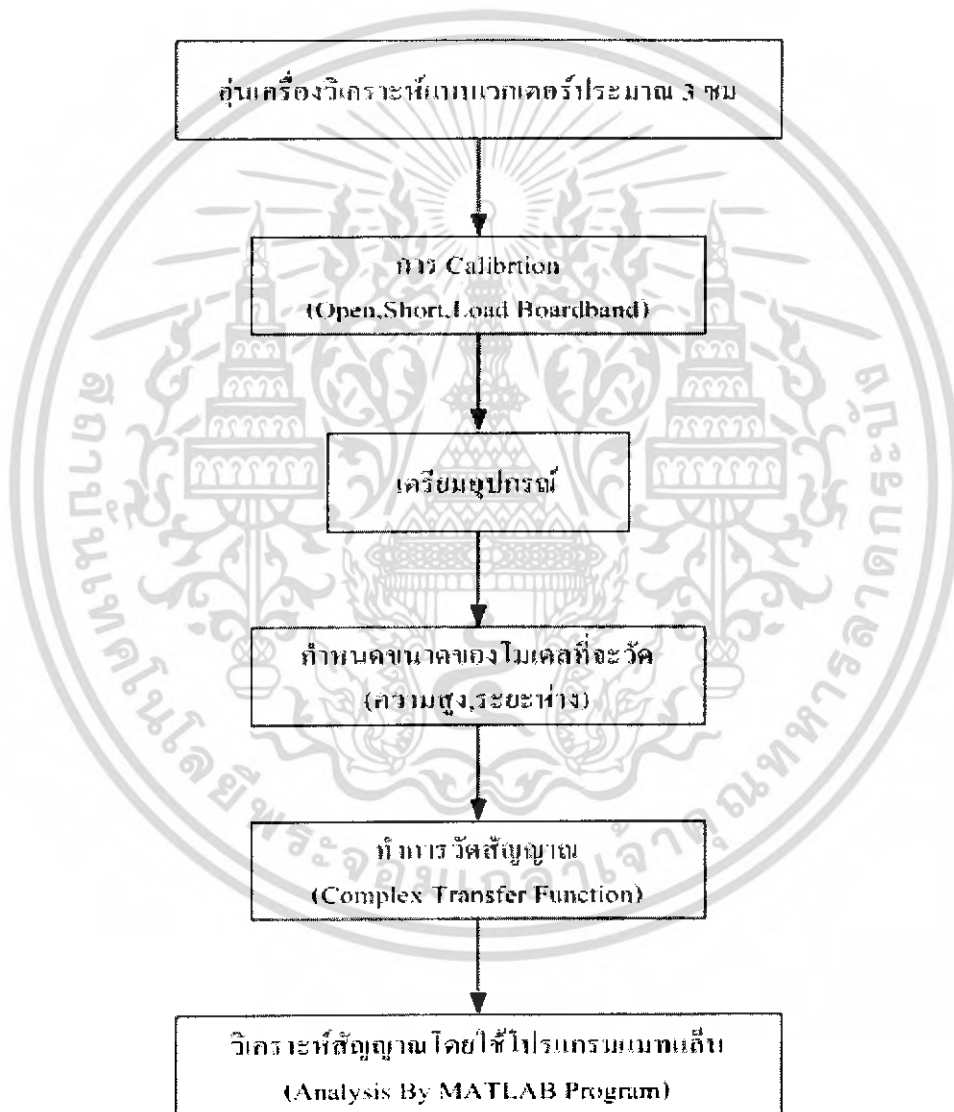


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การเตรียมการของระบบการวัด (Preparation of Experiment System)

### 3.1 โพรซีจอร์ทสำหรับขั้นตอนการวัด

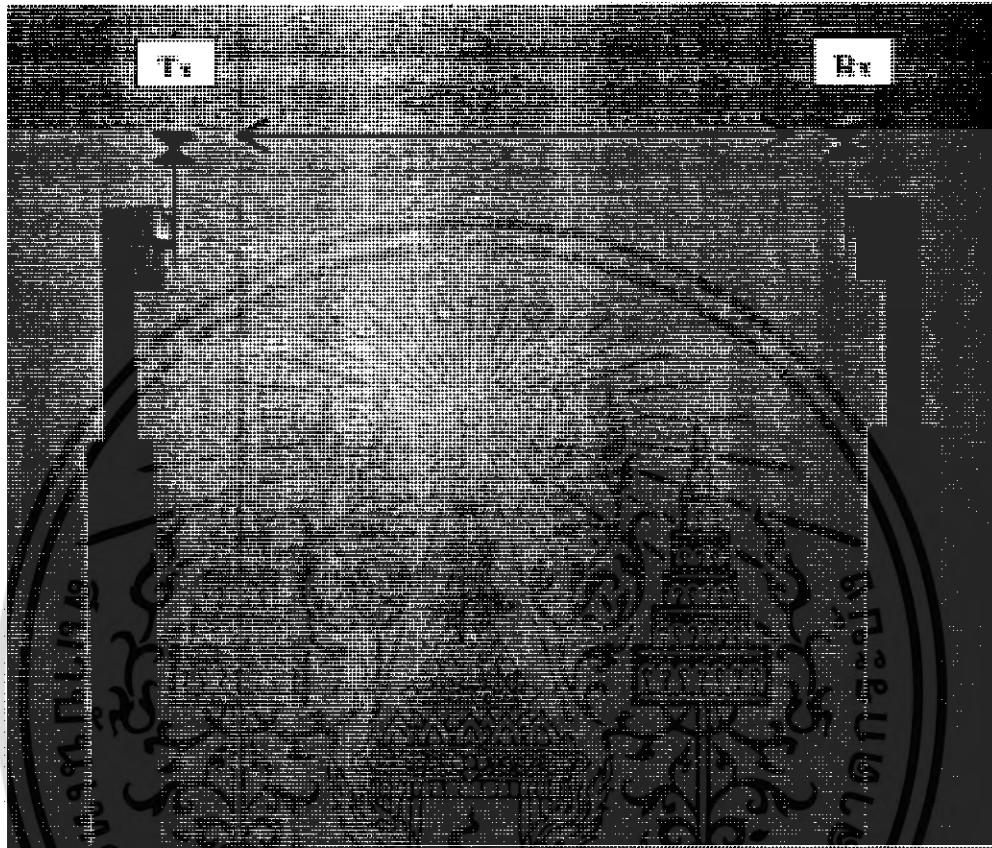


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการวัดสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การเตรียมการวัด (Experiment Setup)

### 3.2.1 จัควางสายอากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 3.2 การจัดวางสายอากาศในแนวตั้ง ตามที่ต้องการวัด

3.2.2 จัดวางเสาอากาศทางด้านส่งห่างกับเสาอากาศทางด้านรับเป็นระยะ 1 เมตรในโมเดลที่ 1 และ 2 เมตรในโมเดลที่ 2 ตามลำดับ

3.2.3 วัดระยะความสูงของสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับจากกึ่งกลางของสายอากาศถึงพื้นเท่ากับ 1.78 เมตรทั้ง โมเดลที่ 1 และ โมเดลที่ 2 ตามลำดับ

3.2.4 ทำการคาลิเบรทที่ย่าน 3-11 GHzแล้วทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 1เมตรตามโมเดลที่1 และที่ระยะ 2เมตรตามโมเดลที่ 2 ตามลำดับ

3.2.5 ทำการคาลิเบรทที่ย่าน 3-4 จิกกะเฮิรตซ์, 4-5 จิกกะเฮิรตซ์, 5-6 จิกกะเฮิรตซ์, 6-7 จิกกะเฮิรตซ์, 7-8 จิกกะเฮิรตซ์, 8-9 จิกกะเฮิรตซ์, 9-10 จิกกะเฮิรตซ์, 10-11 GHzแล้วทำการวัดสัญญาณที่ระยะ 1 เมตรตามโมเดลที่1 และที่ระยะ 2 เมตรตาม โมเดลที่ 2 ตามลำดับ

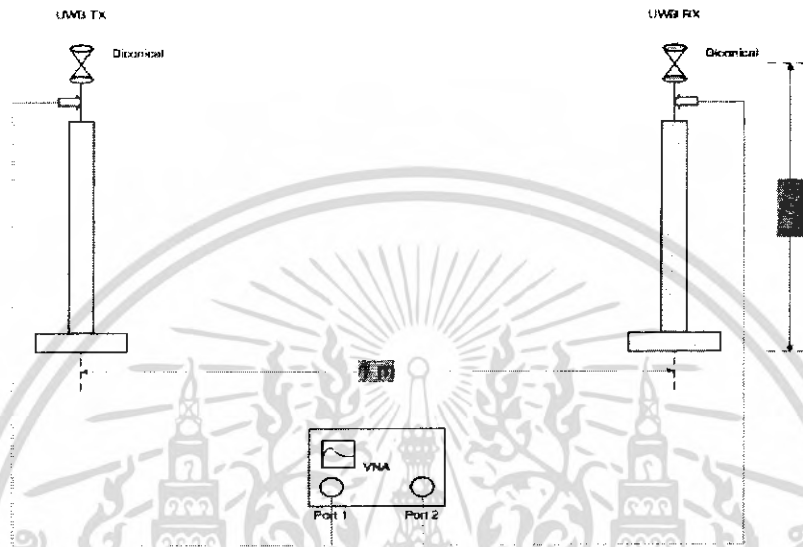
### 3.2.6 บันทึกผลการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 นำไปประมวลผลโดยใช้โปรแกรมเมทเล็บ (MATLAB Program)

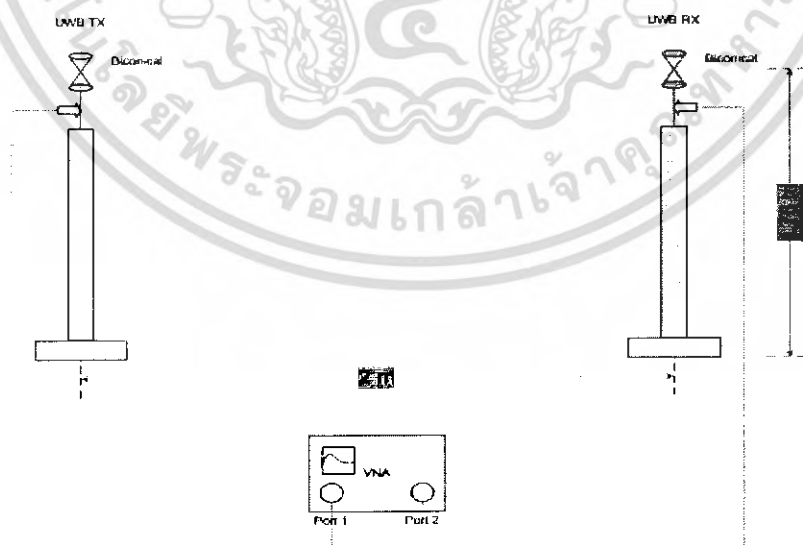
3.2.8 สรุปผลและวิเคราะห์

### โมเดล 1



รูปที่ 3.3 โมเดลการวัดสัญญาณระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ระยะ 1 เมตร

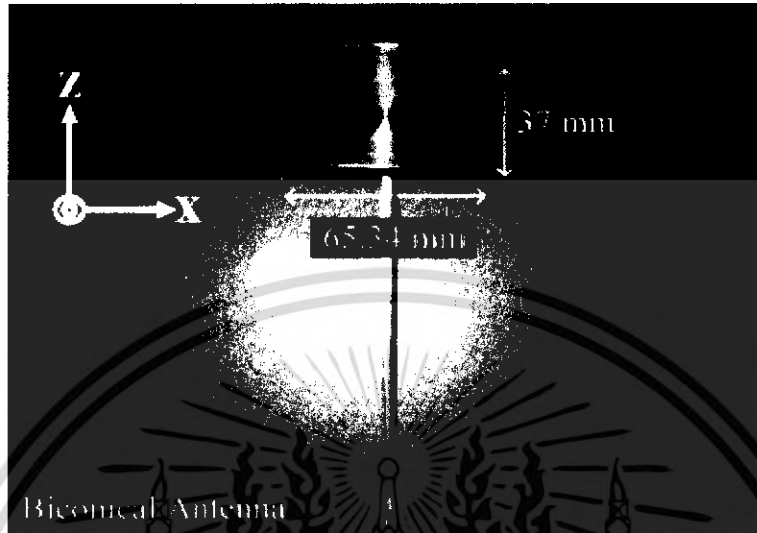
### โมเดล 2



รูปที่ 3.4 โมเดลการวัดสัญญาณระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ระยะ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศที่ใช้ในการวัด (Antenna Under Test)

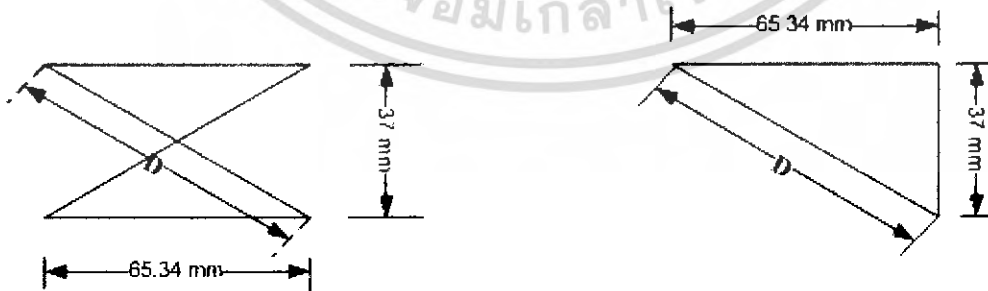


รูปที่ 3.5 สายอากาศที่ใช้ทดลอง

3.3.1 การคำนวณหาค่าสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล

ในการวัดคลื่นอัลตราไวต์แบนด์ขั้นต้นตอนแรกต้องคำนวณหาค่าสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลเพื่อจะได้ทำการวัดในบริเวณที่เป็นสนามระยะใกล้และทำการวัดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกลเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดขึ้นในการวัดที่บริเวณสนามระยะใกล้และในการวัดที่บริเวณสนามระยะไกลและค่อยนำไปสู่กระบวนการออกแบบโมเดลและสร้างโมเดล

**Example** การคำนวณหาสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล



จ. เกษตร

$$a^2 = b^2 + c^2 \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 D &= \sqrt{(65.34)^2 + (37)^2} \\
 &= \sqrt{4269.3156 + 1369} \\
 &= \sqrt{5638.3156} \\
 &= 75.08871819 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$D_f = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.2)$$

$$= \frac{2(D_t + D_r)^2}{\lambda}$$

$$= \frac{2(D_t + D_r)^2}{\frac{c}{f}}$$

โดยที่

$D_t$  = ความยาวเส้นทแยงของสายอากาศส่ง

$D_r$  = ความยาวเส้นทแยงของสายอากาศรับ

$D_t = D_r$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{10.6 * 10^9} = 0.02831 \text{ m} = 28.31 \text{ mm}$$

เมื่อ

$$D_f = \frac{2(D_t + D_r)^2}{\lambda}$$

$$= \frac{2(75.08871819 + 75.08871819)^2}{28.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{2(150.1774364)^2}{28.31}$$

$$= \frac{2(22553.2624)}{28.31}$$

$$= \frac{45106.5248}{28.31}$$

$$= 1610.947315 \text{ m}$$

คั้งนั้งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกล = 1.610 mm ตอบ

### 3.4 พารามิเตอร์ของการวัด (Parameter of Experiment)

ความถี่	3 ถึง 11GHz
จำนวนจุดความละเอียดของเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์	801 จุด
กำลังงานสูญเสียในสายโคแอกเซียลเคเบิล แบบ เซมริจิด	80 dB
ความสูงของเสาอากาศทางด้านส่ง	1.78m
ความสูงของเสาอากาศทางด้านรับ	1.78m
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	1m , 2m
เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของสายอากาศ ( Biconical Antenna )	65.34mm
ความสูงของสายอากาศทางด้านส่ง	37mm
ความสูงของสายอากาศทางด้านรับ	37mm
ความสูงของห้องที่ใช้วัด	3m
ความกว้างของห้องที่ใช้วัด	11m
ความยาวของห้องที่ใช้วัด	12m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

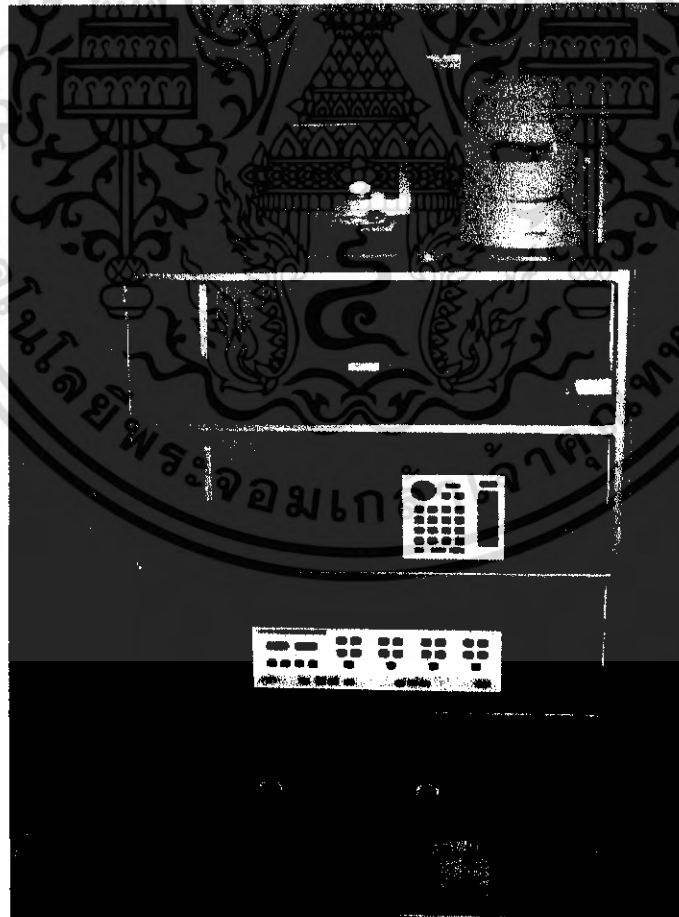
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ (Experiment Result and Analysis)

#### 4.1 การวัดคุณสมบัติสายอากาศ

ชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศสามารถวัดค่า เอส – พารามิเตอร์ เพื่อหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ [ Return loss :  $S_{11}$  (dB)] วัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งคือแรงดัน (VSWR) ของสายอากาศว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยกว่า 2, วัดค่าเฟส (Phase) ของสายอากาศและคำนวณหาค่ากำลังสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับ

##### 4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องวัดคุณสมบัติสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชุดวัดคุณสมบัติสายอากาศ
  - 1.1 เครื่อง 8150C Network Analyzer
  - 1.2 เครื่อง 8514B S-Parameter Test Set (45 MHz – 20 GHz)
  - 1.3 เครื่อง 8360 Series Synthesized Sweeper (10 MHz – 20 GHz)
2. ชุดปรับเทียบค่า 85052B (Calibration kit 85052B 3.5 mm)
3. สายอากาศที่ใช้ในการวัด

## 4.2 ผลการทดลอง

จากคุณสมบัติสายอากาศไบโกลนิกคอลที่ได้กล่าวในบทที่ 2 เราได้นำสายอากาศไบโกลนิกคอลไปทำการทดลองเพื่อวัดค่าคุณสมบัติต่างของสายอากาศ คือค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับ (Path loss) สามารถคำนวณจากสมการ 4.1, ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์, ค่าเฟสของช่องสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์, ค่าแมกนิจูดของสายอากาศในระบบอุลตราไวด์แบนด์, ค่าเฟสของช่องสายอากาศในระบบอุลตราไวด์แบนด์และสัญญาณทางด้านรับในโดเมนเวลาแสดงดังรูปที่ 4.1-4.137

$$P_L = 20 \log \frac{\max |V_i(t)|}{\max |V_r(t)|} \quad (4.1)$$

โดยที่

$P_L$  คือ กำลังการสูญเสียระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

$V_i$  คือ ขนาดแอมพลิจูดทางด้านส่ง

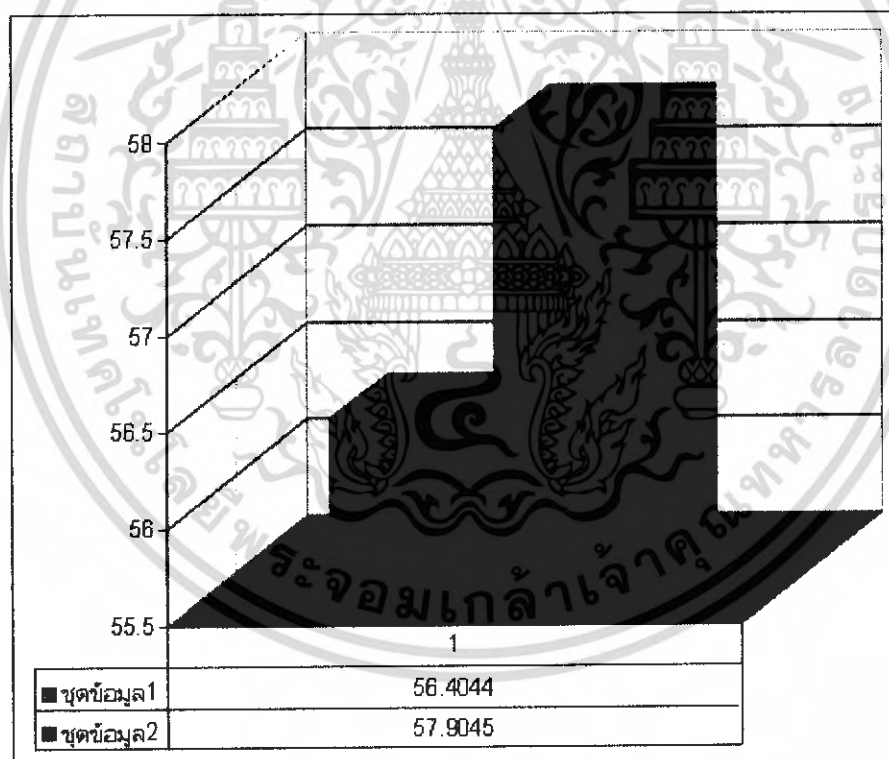
$V_r$  คือ ขนาดแอมพลิจูดทางด้านรับ

ซึ่งในโปรเจกต์นี้ส่วนที่ 1 เราทำการวัดสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์ในรูปแบบการแบ่งช่องสัญญาณความถี่หรือซับแบนด์ (Subband) โดยการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ออกเป็น 8 ช่องหรือ 8 แบนด์ และแต่ละแบนด์จะมีค่าแบนด์วิดท์ 1 GHz จะเริ่มที่ความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz และแสดงค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร ในแบบต่างๆ ดังตารางที่ 4.1-4.4

ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบฟูลแบนด์(Full Band)

ย่านความถี่	กำลังงานสูญเสียในอากาศ 1 เมตร	กำลังงานสูญเสียในอากาศ 2 เมตร
3~11 GHz	56.4044 dB	57.9045 dB

กราฟแท่งแสดงค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบฟูลแบนด์(Fullband) ซึ่งชุดข้อมูล 1 คือ ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และชุดข้อมูล 2 คือ ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าชุดข้อมูล 2 จะมีค่ามากกว่าชุดข้อมูล 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการสื่อสาร คือ เมื่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.1



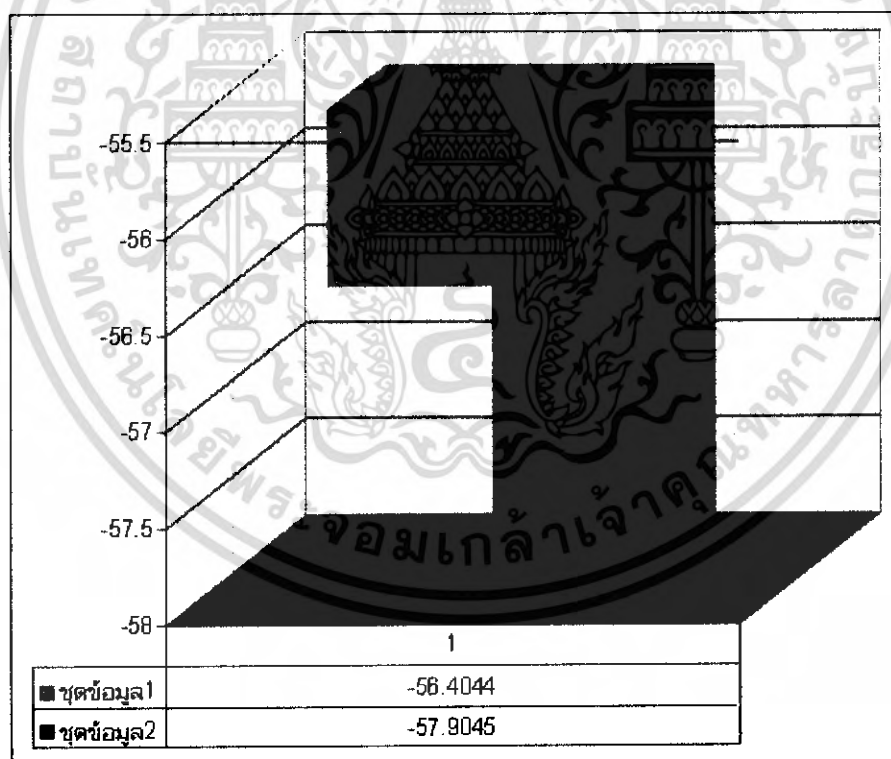
รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบซับ-แบนด์(Subband)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบฟูลแบนด์(Full Band)

ย่านความถี่	ค่าอัตราการขยายกำลังส่ง 1 เมตร	ค่าอัตราการขยายกำลังส่ง 2 เมตร
3~11 GHz	56.4044 dB	57.9045 dB

กราฟแท่งแสดงค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบฟูลแบนด์(Fullband) ซึ่งชุดข้อมูล 1 คือ ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และชุดข้อมูล 2 คือ ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าชุดข้อมูล 2 จะมีค่ามากกว่าชุดข้อมูล 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการสื่อสาร คือ เมื่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.1



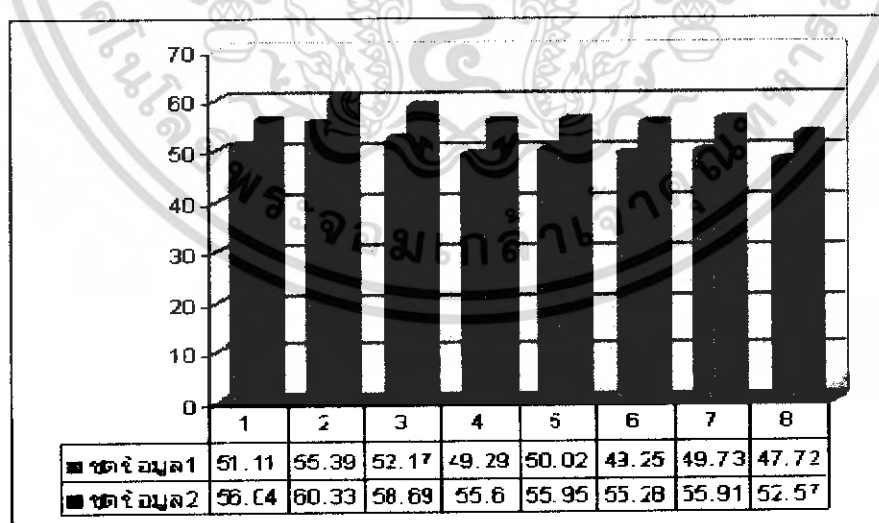
รูปที่ 4.3 ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)

แบนด์	ย่านความถี่	กำลังงานสูญเสียในอากาศ 1 เมตร	กำลังงานสูญเสียในอากาศ 2 เมตร
1	3~4 GHz	51.1093 dB	56.0368 dB
2	4~5 GHz	55.3917 dB	60.3284 dB
3	5~6 GHz	52.1665 dB	58.6938 dB
4	6~7 GHz	49.2947 dB	55.6021 dB
5	7~8 GHz	50.0153 dB	55.9494 dB
6	8~9 GHz	49.2461 dB	55.2778 dB
7	9~10 GHz	49.7336 dB	55.9099 dB
8	10~11 GHz	47.7176 dB	52.5671 dB

กราฟแท่งแสดงค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband) ซึ่งชุดข้อมูล 1 คือ ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และชุดข้อมูล 2 คือ ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าชุดข้อมูล 2 ทุกๆ แบนด์จะมีค่ามากกว่าชุดข้อมูล 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการสื่อสาร คือ เมื่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



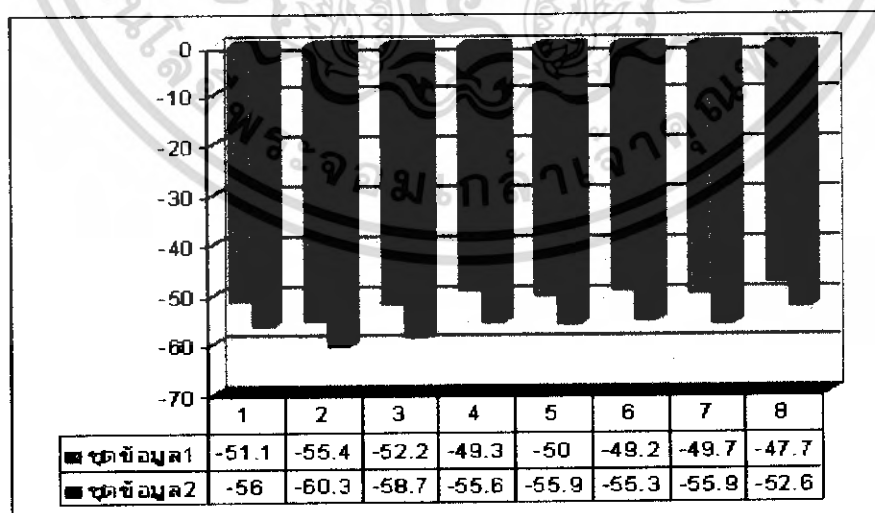
รูปที่ 4.4 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตรและ 2 เมตร แบบซับ-แบนด์ (Subband)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband)

แบนด์	ย่านความถี่	อัตราการขยายกำลังส่ง 1 เมตร	อัตราการขยายกำลังส่ง 2 เมตร
1	3~4 GHz	-51.1093 dB	-56.0368 dB
2	4~5 GHz	-55.3917 dB	-60.3284 dB
3	5~6 GHz	-52.1665 dB	-58.6938 dB
4	6~7 GHz	-49.2947 dB	-55.6021 dB
5	7~8 GHz	-50.0153 dB	-55.9494 dB
6	8~9 GHz	-49.2461 dB	-55.2778 dB
7	9~10 GHz	-49.7336 dB	-55.9099 dB
8	10~11 GHz	-47.7176 dB	-52.5671 dB

กราฟแท่งแสดงค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband) ซึ่งชุดข้อมูล 1 คือ ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และชุดข้อมูล 2 คือ ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าชุดข้อมูล 2 ทุกๆ แบนด์จะมีค่ามากกว่าชุดข้อมูล 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการสื่อสาร คือ เมื่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



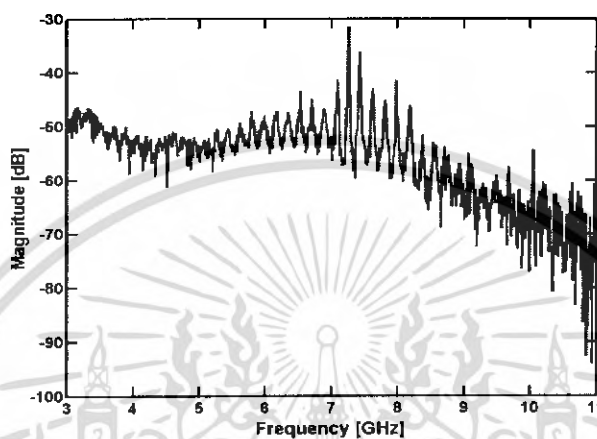
รูปที่ 4.5 ค่าอัตราการขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับ

แบนด์(Subband)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

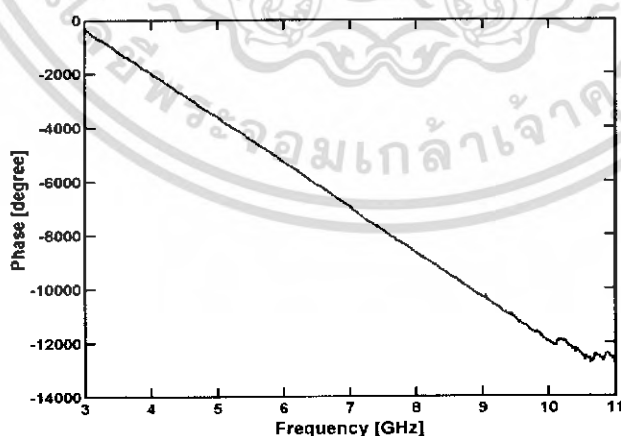
### 4.3 การวัดสัญญาณแบบฟูลแบนด์ (Fullband) ที่ระยะ 1 เมตร

แมคนิจูดของช่องสัญญาณที่ส่งออกไปในระบบอุทราไวด์แบนด์ที่ระยะ 1 เมตรจะมีค่าน้อยกว่าระยะ 2 เมตร และในช่วงความถี่ 10 – 11 GHz สังเกตได้ว่าจะมีสัญญาณรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าแมคนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

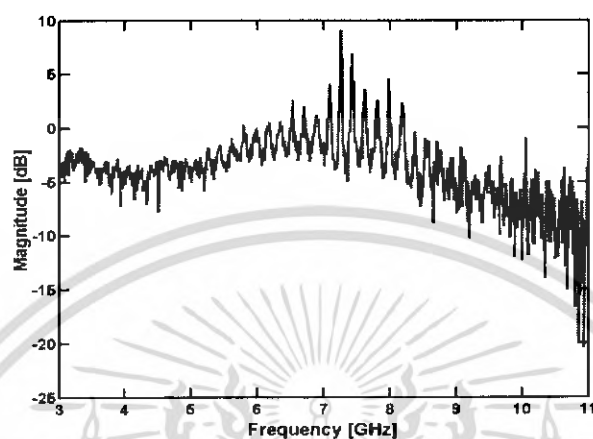
เฟสของช่องสัญญาณในการส่งในระบบอุทราไวด์แบนด์จะเป็นเส้นตรง (Linear) และจะสังเกตเห็นว่าตรงที่ช่วงความถี่ 10 – 11 GHz เฟสจะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

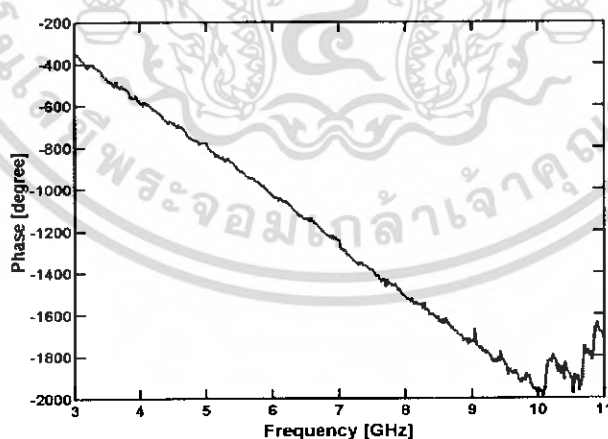
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมคนิจูดของสายอากาศจะมีทั้งค่าทางด้านบวกและค่าทางด้านลบ ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเพิ่มขึ้นจะทำให้แมคนิจูดของสายอากาศลดลง แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าแมคนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

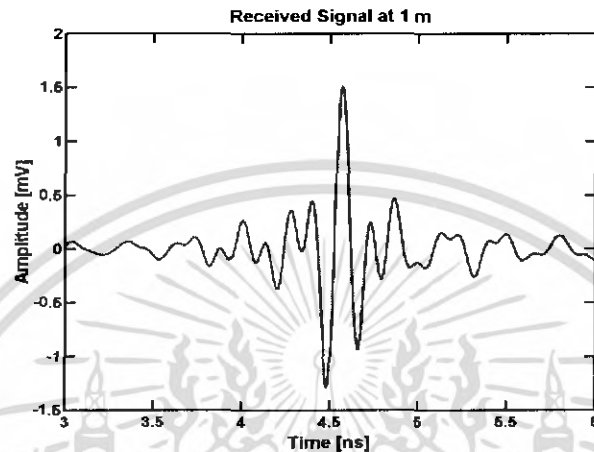
เฟสของสายอากาศในระบบอูลตราไวด์แบนด์จะเป็นเส้นตรง (Linear) และจะสังเกตเห็นว่าตรงในช่วงความถี่ 10 – 11 GHz เฟสจะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

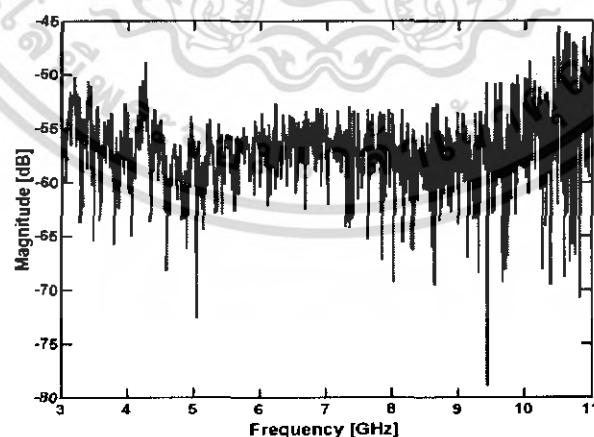
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์จะอยู่ในรูปของ โดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของ โดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของ โดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา

#### 4.4 การวัดสัญญาณแบบฟูลแบนด์ (Fullband) ที่ระยะ 2 เมตร

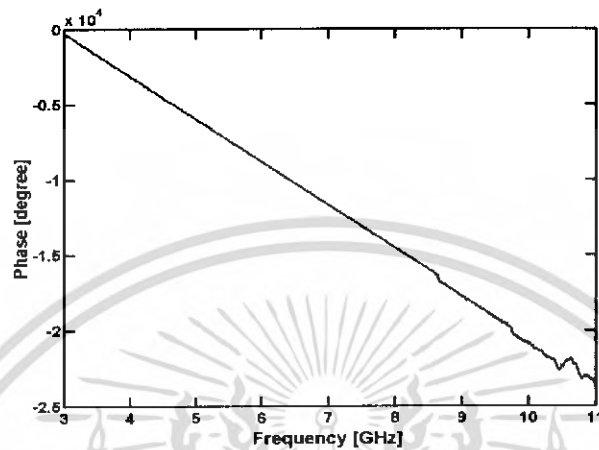
แมกนิจูดของช่องสัญญาณที่ส่งออกไปในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์ที่ระยะ 2 เมตรจะมีค่าที่มากกว่าระยะ 1 เมตร และในช่วงความถี่ 9 – 11 GHz สังเกตดูว่าจะมีสัญญาณรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

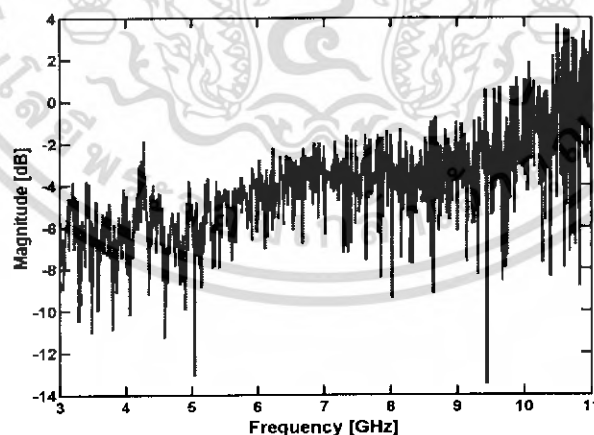
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสของช่องสัญญาณในการส่งในระบบอวกาศไร้สายจะเป็นเส้นตรง (Linear) และจะสังเกตเห็นว่าตรงที่ช่วงความถี่ 9 – 11 GHz เฟสจะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวน แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

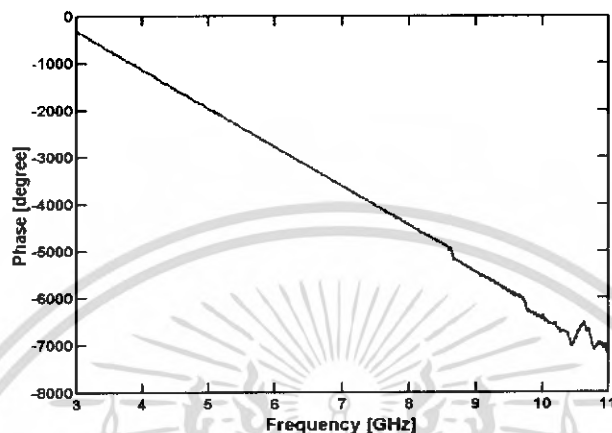
แมกนิจูดของสายอากาศจะมีทั้งค่าทางด้านบวกและค่าทางด้านลบ ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเพิ่มขึ้นจะทำให้แมกนิจูดของสายอากาศลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.4 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของแมกนิจูดของสายอากาศลดลงเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

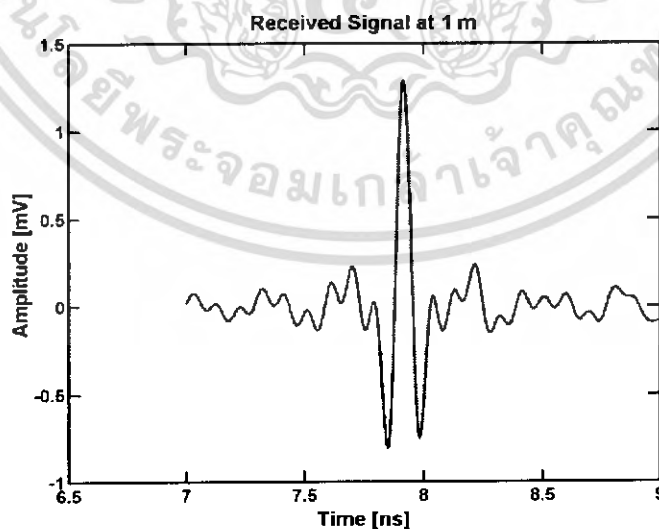
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสของสายอากาศในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะเป็นเส้นตรง (Linear) และจะสังเกตเห็นว่าตรงในช่วงความถี่ 9 - 11 GHz เฟสจะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.15

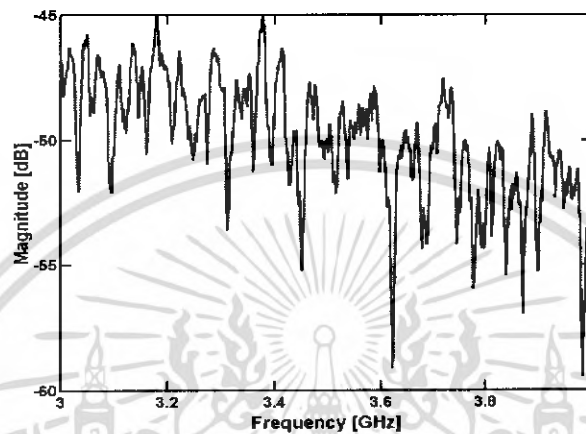


รูปที่ 4.15 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

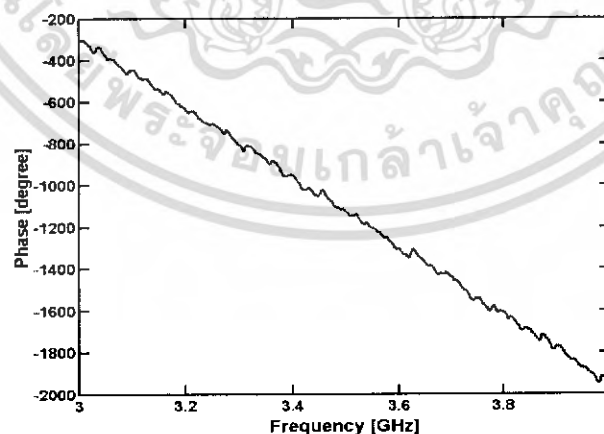
#### 4.5 การวัดแบบแบ่งช่องสัญญาณหรือซับแบนด์ (Subband) ที่ระยะ 1 เมตร

แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ที่ 3 – 4 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (FullBand) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

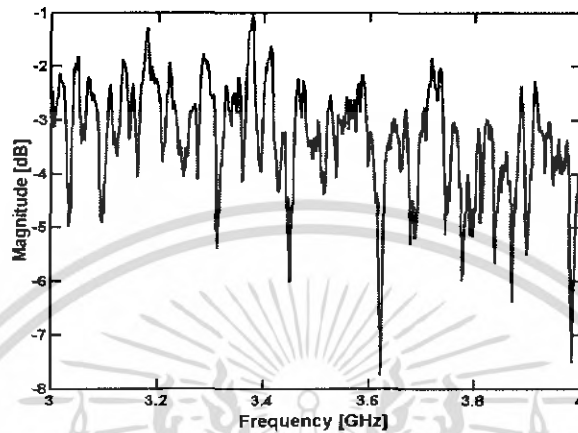
แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

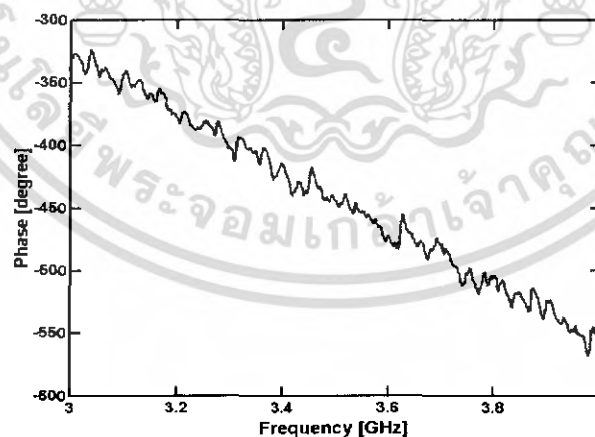
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

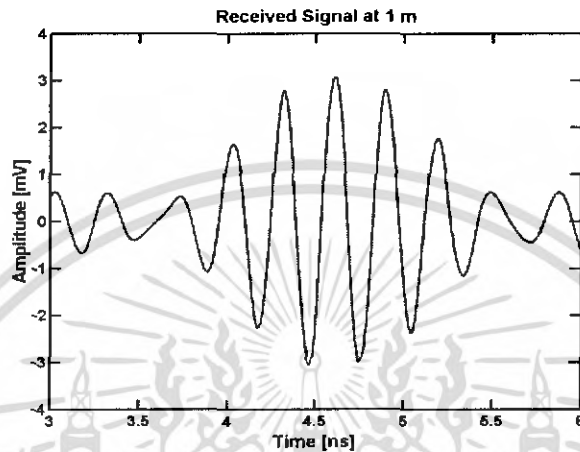
แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

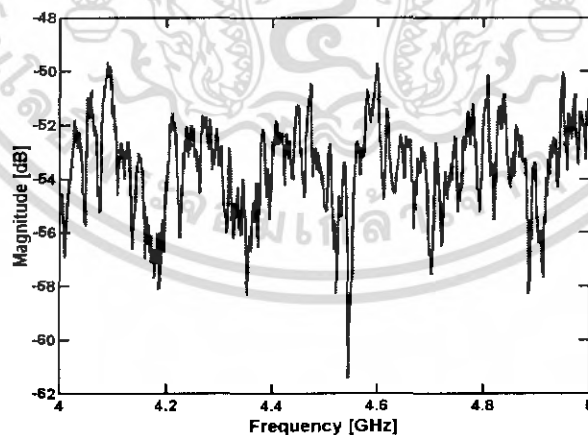
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไร้สายจะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 สัญญาณทางด้วนรับในรูปโดเมนเวลา

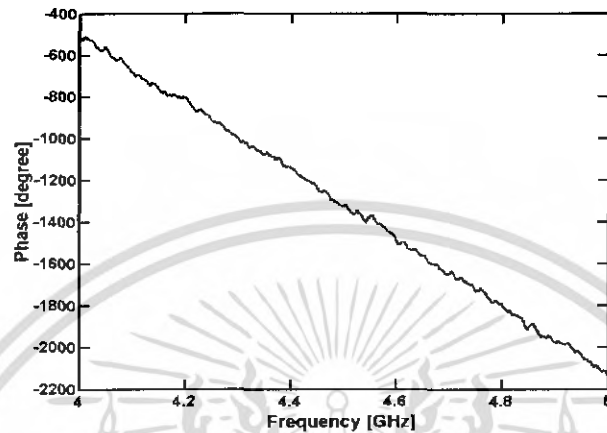
แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 – 5 GHz ค่าเมคานิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ค่าเมคานิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

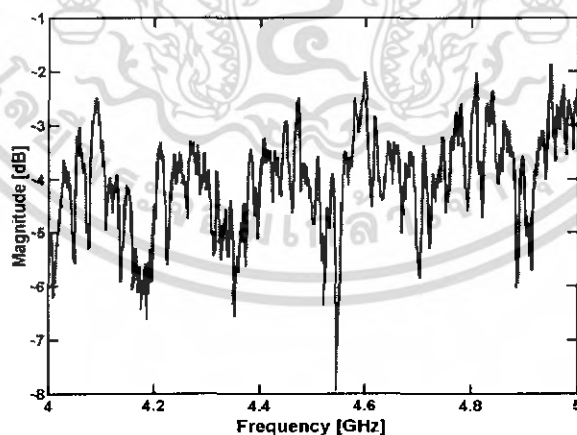
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 - 5 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

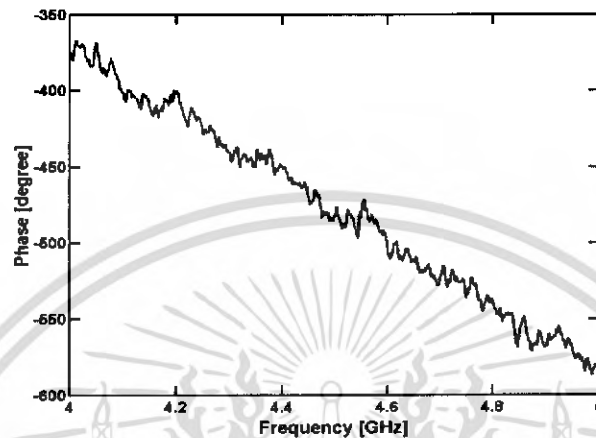
แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 - 5 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

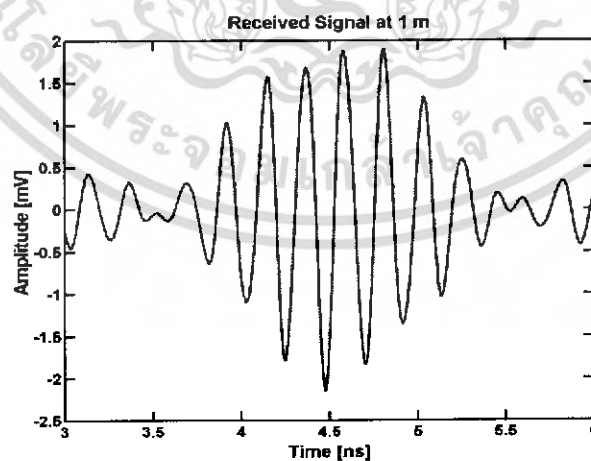
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 - 5 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่าน Full Band (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

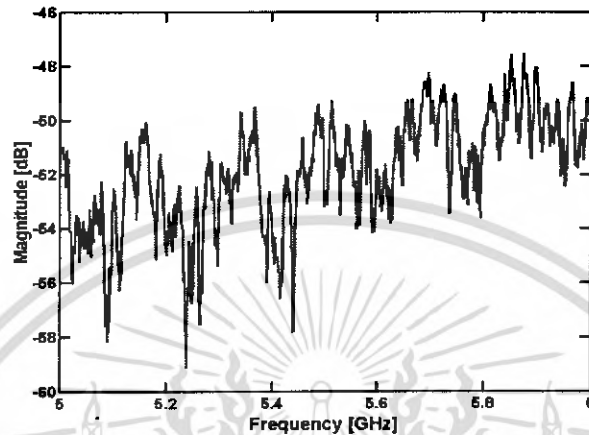
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสท์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

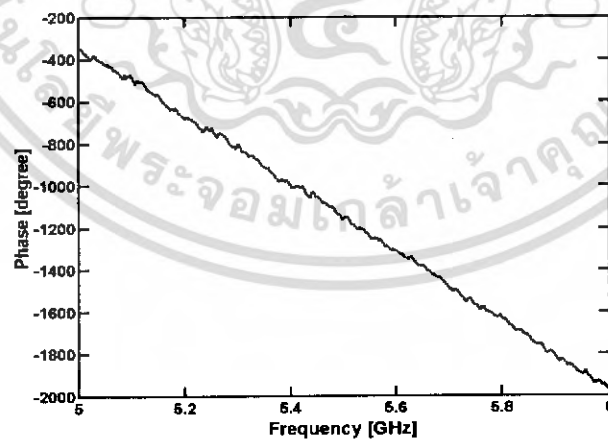
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

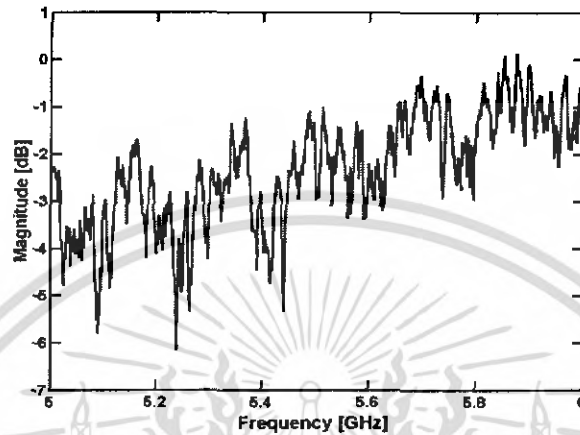
แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

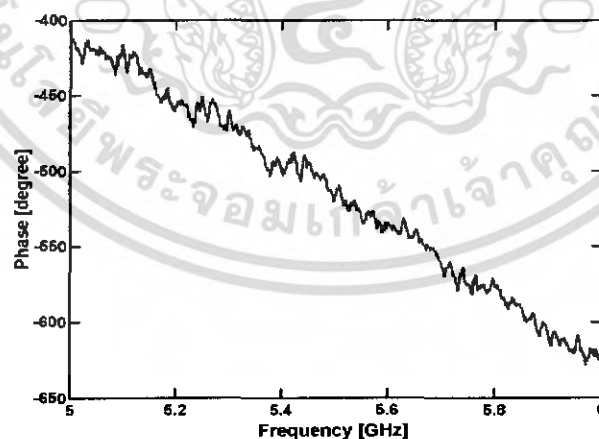
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

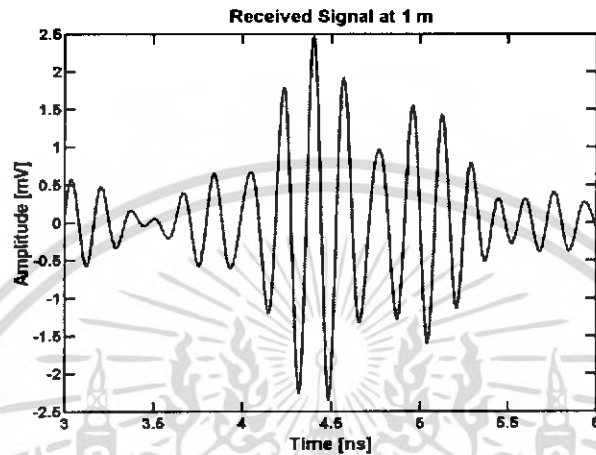
แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 – 6 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

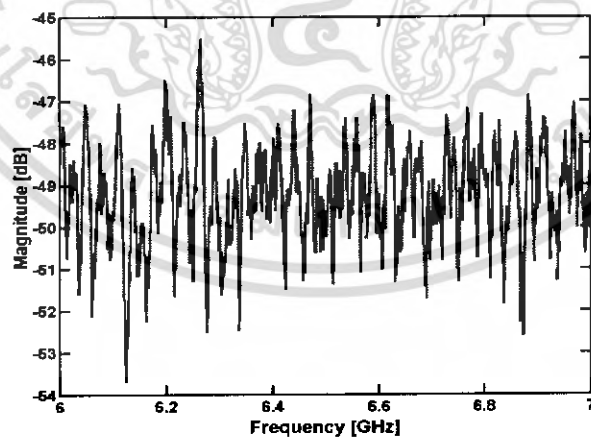
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz จะอยู่ในรูปของ โดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของ โดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของ โดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่ออำนวยความสะดวกการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 สัญญาณทางด้่านรับในรูป โดเมนเวลา

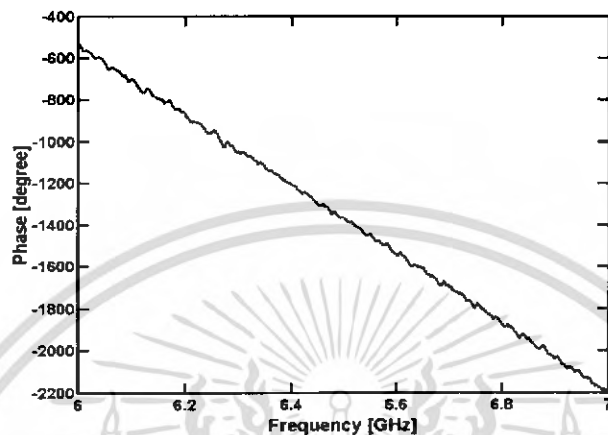
แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

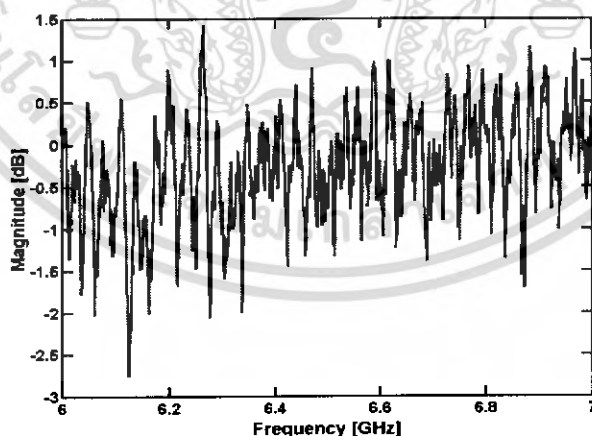
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

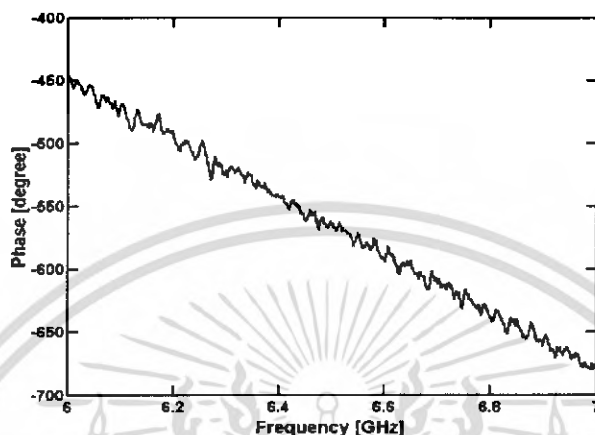
แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

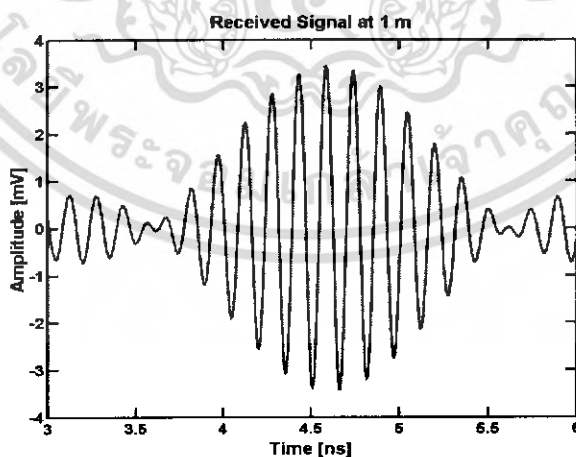
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.34



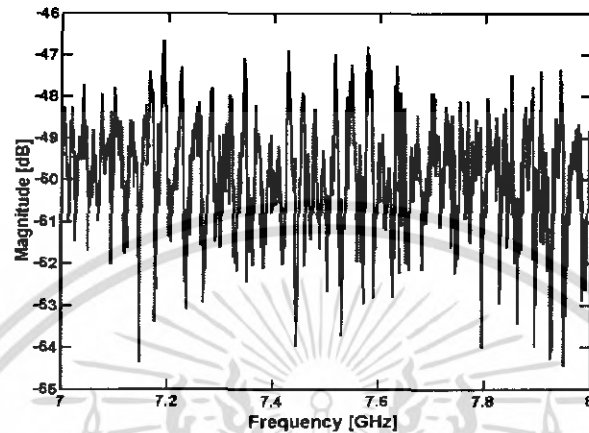
รูปที่ 4.34 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.35



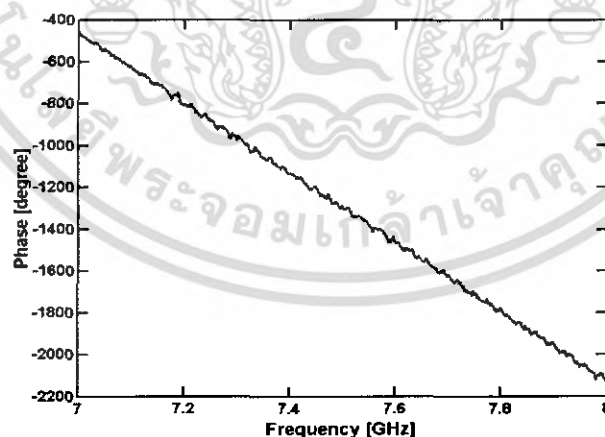
รูปที่ 4.35 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

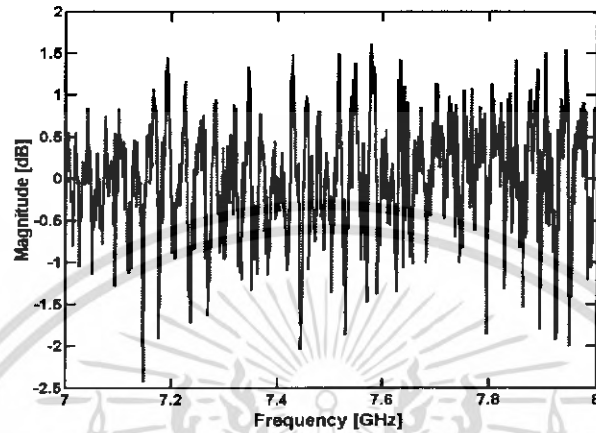
แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ค่าเฟสของช่องสัญญาณที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

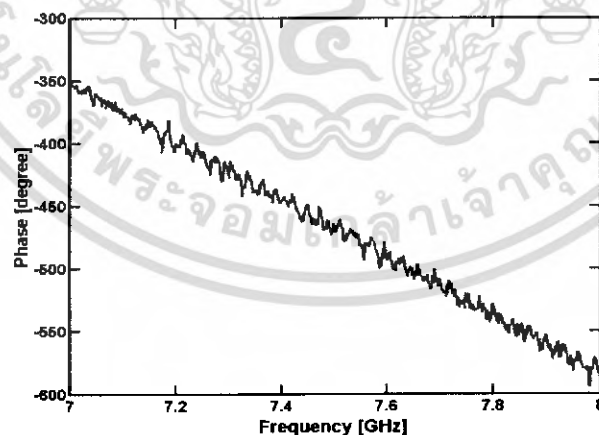
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่า ย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

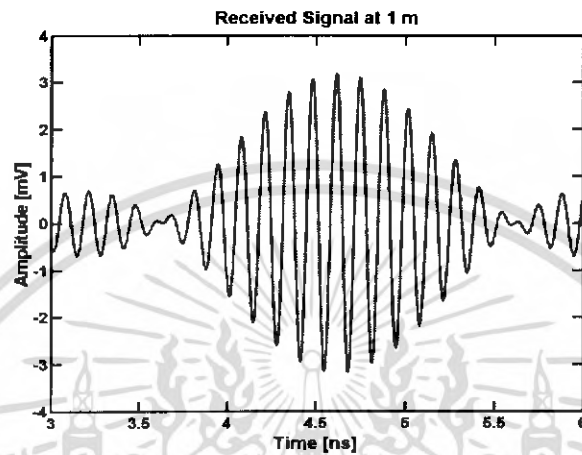
แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

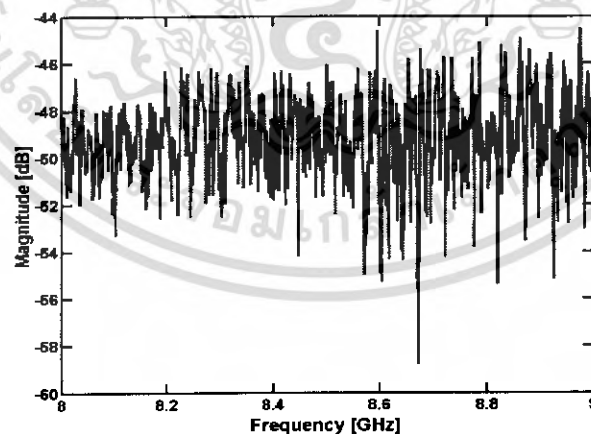
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

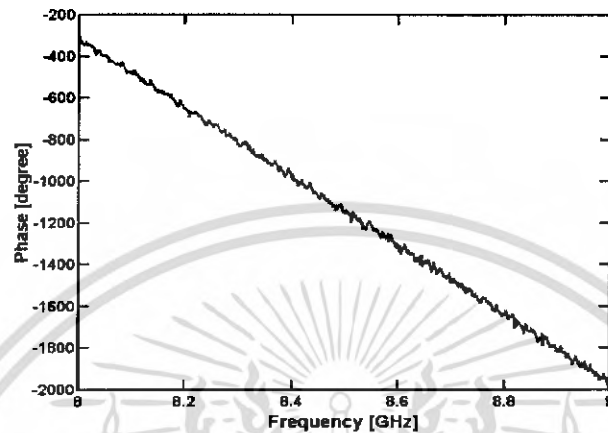
แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

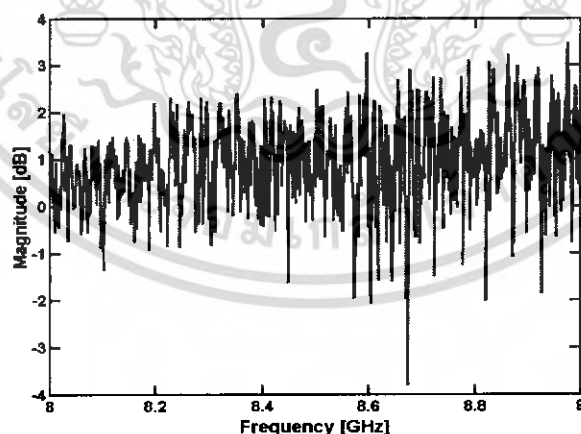
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

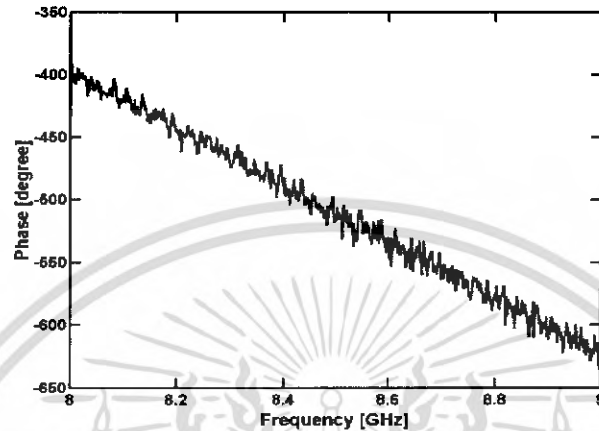
แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8–9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

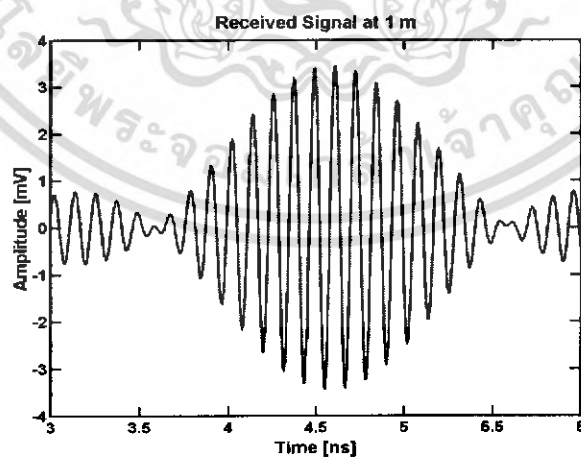
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

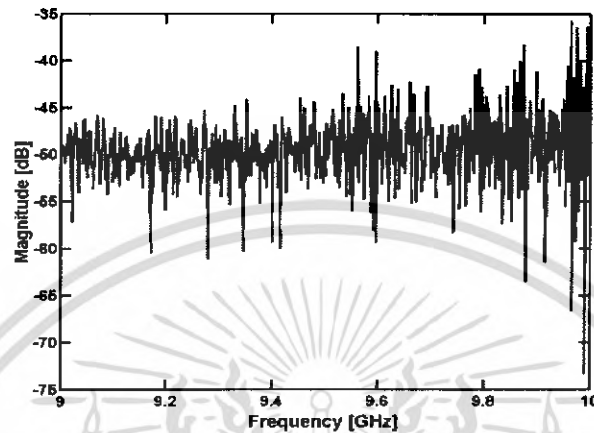
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

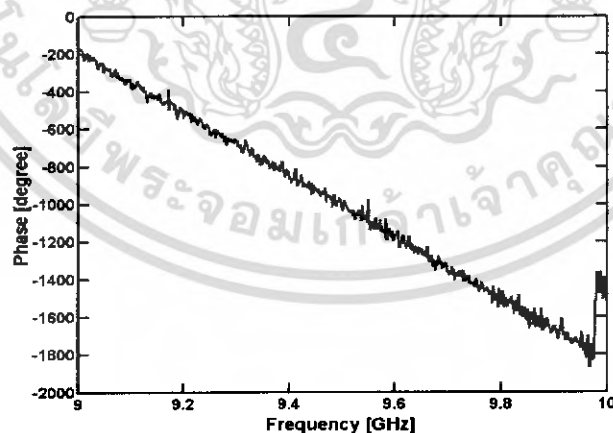
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

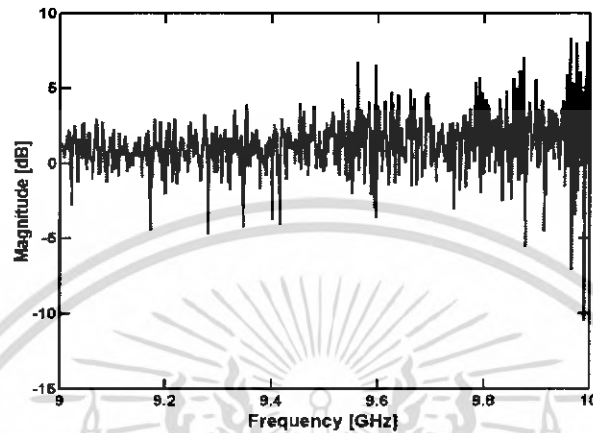
แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

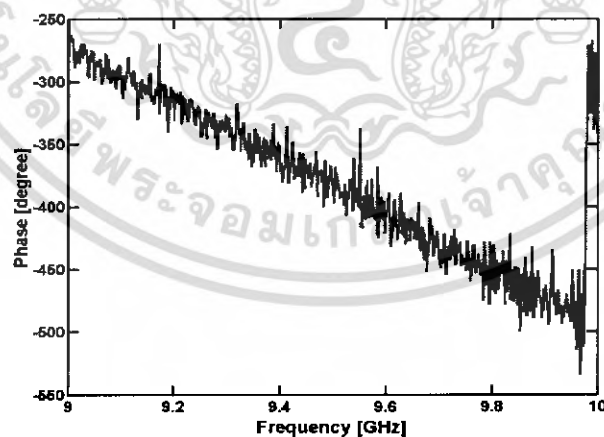
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

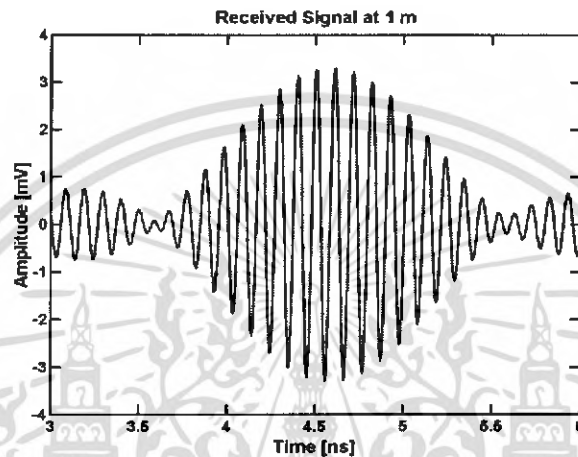
แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าเฟสของสายอากาศความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

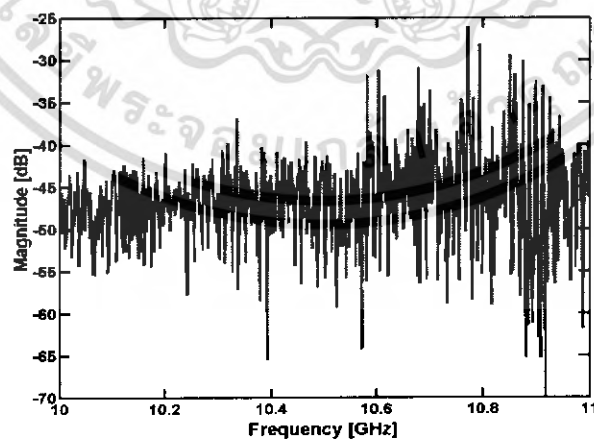
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อทำการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 สัญญาณทางค่านรับในรูปโดเมนเวลา

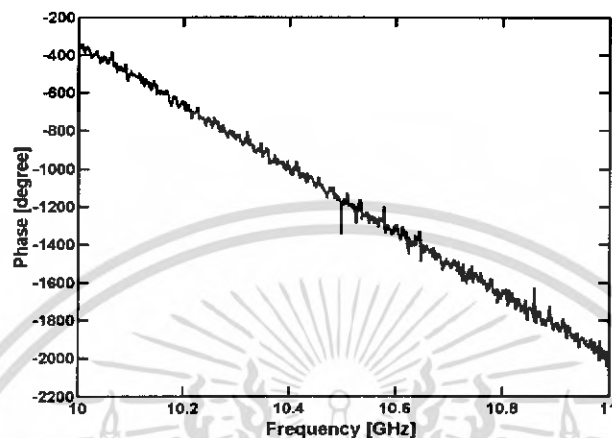
แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10 – 11 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

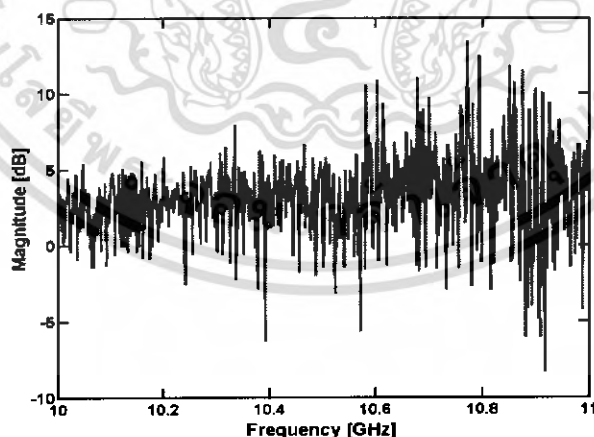
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10 - 11 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

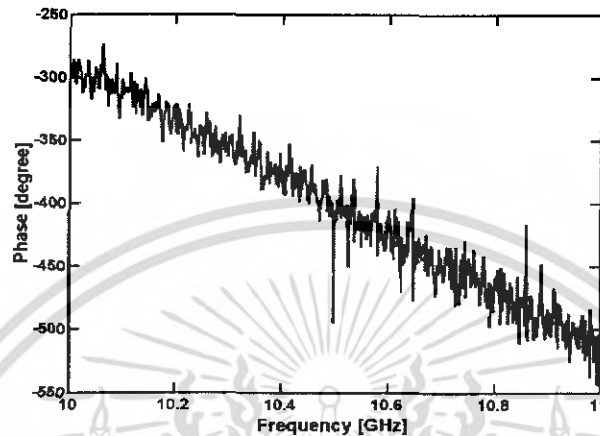
แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10 - 11 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

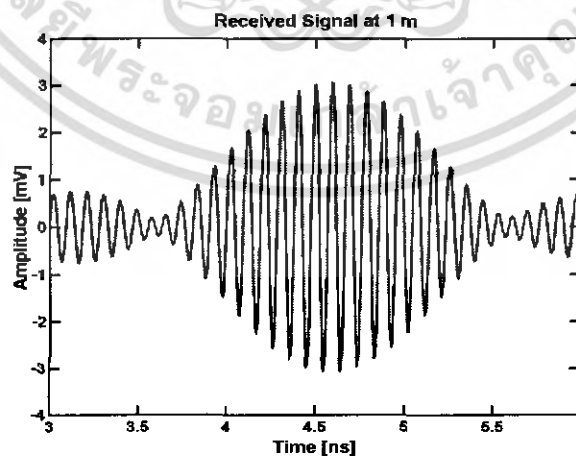
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10- 11 GHz ค่าเฟสของสายอากาศความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.54



รูปที่ 4.54 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.55

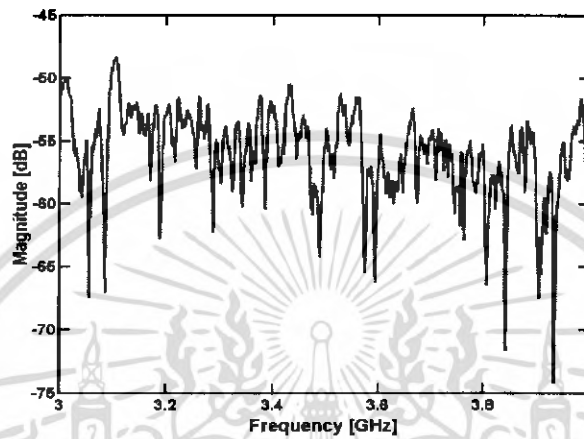


รูปที่ 4.55 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

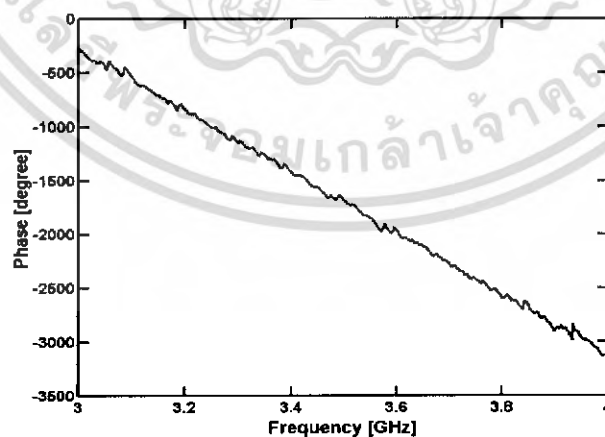
#### 4.6 การวัดแบบแบ่งช่องสัญญาณหรือซับแบนด์ (Subband) ที่ระยะ 2 เมตร

แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าเมคานิจิกของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 ค่าเมคานิจิกของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

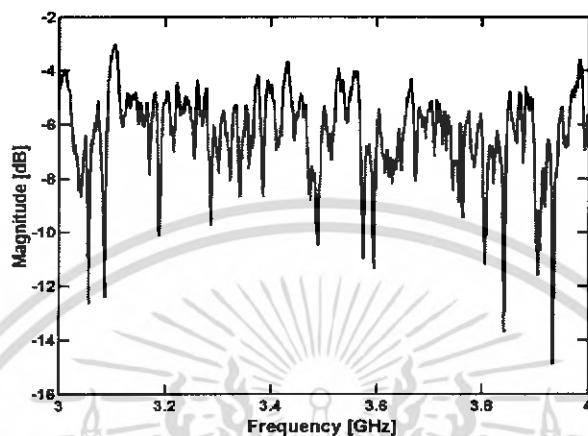
แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

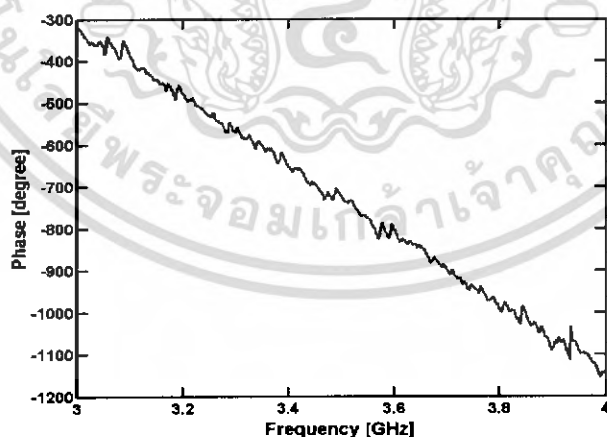
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.58



รูปที่ 4.58 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

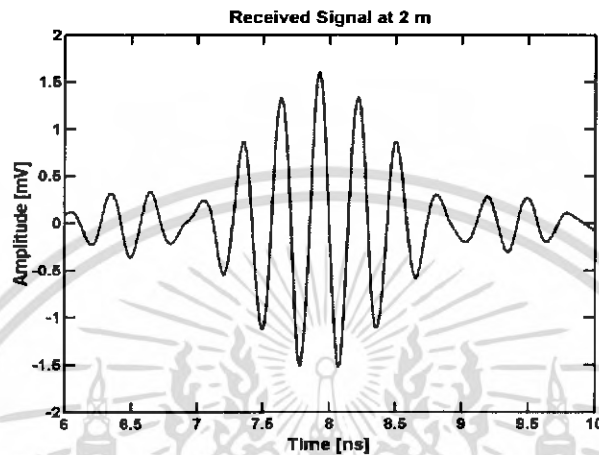
แบนด์ที่ 1 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

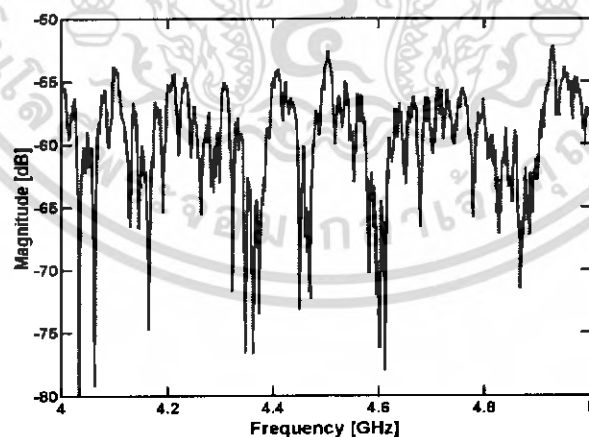
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 3 – 4 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

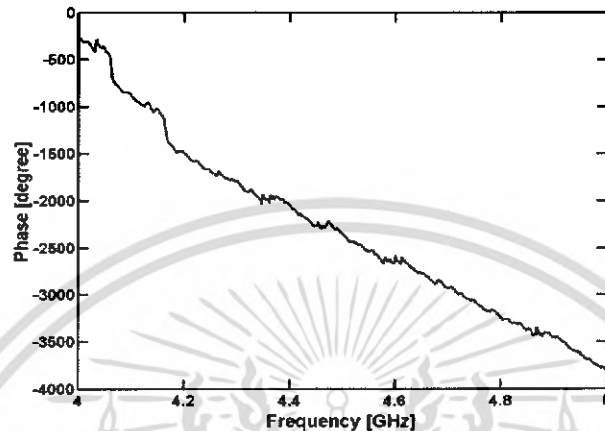
แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 - 5 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.61 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

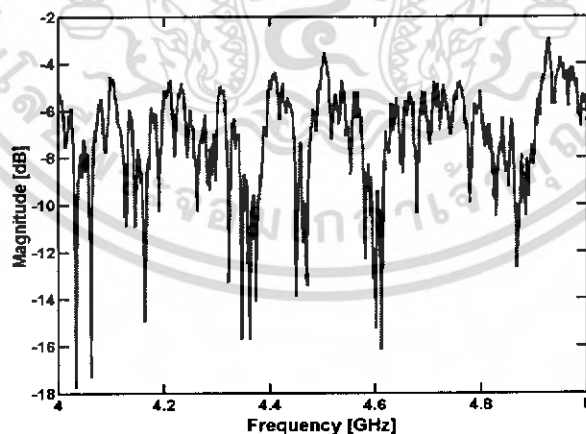
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 - 5 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.62



รูปที่ 4.62 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

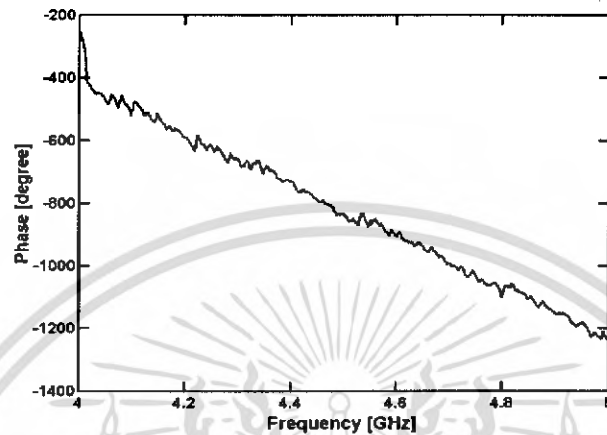
แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 3 - 4 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

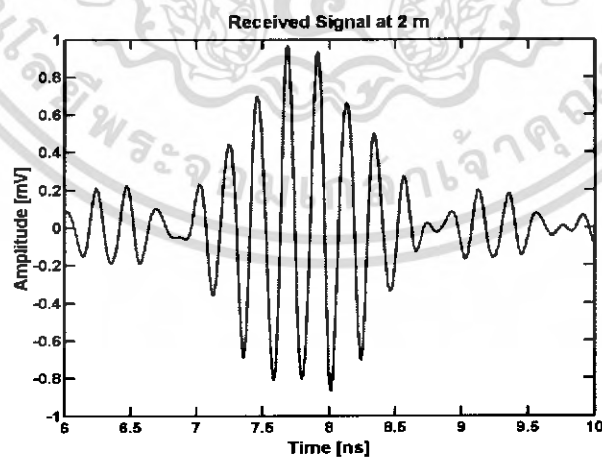
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 2 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 4 - 5 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่าน Full Band (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.64



รูปที่ 4.64 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

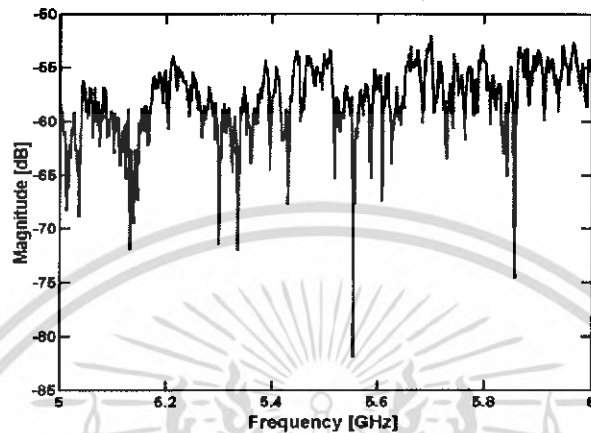
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 4 – 5 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำมาแปลงกลับ โดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.65 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

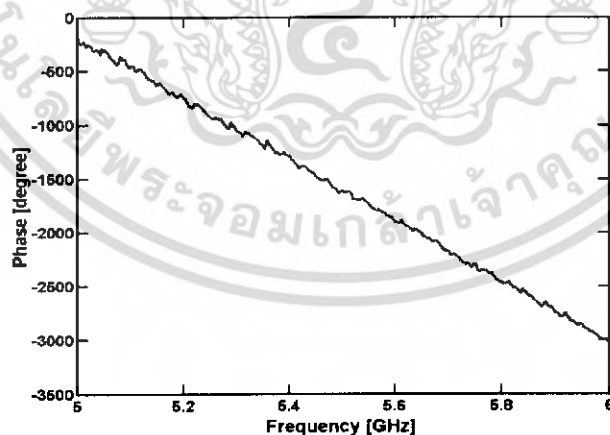
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.66



รูปที่ 4.66 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

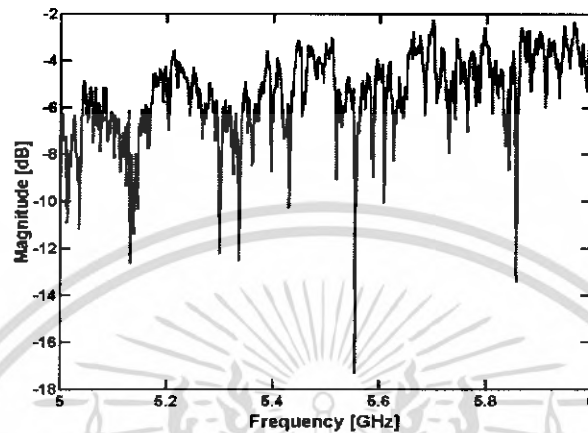
แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.67 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

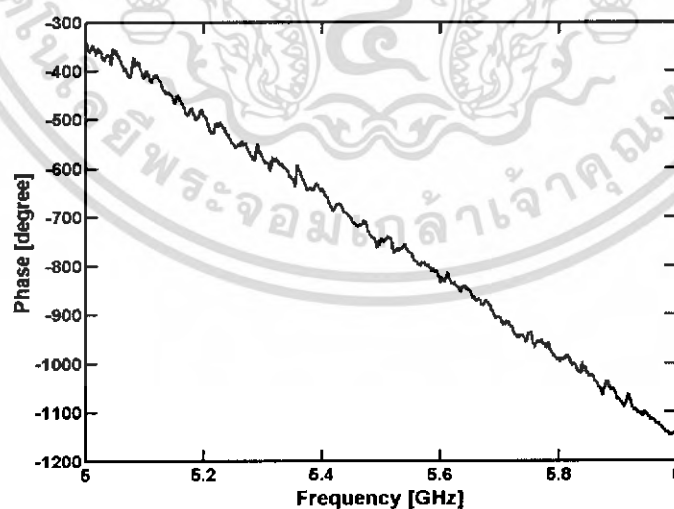
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าเมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.68



รูปที่ 4.68 ค่าเมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

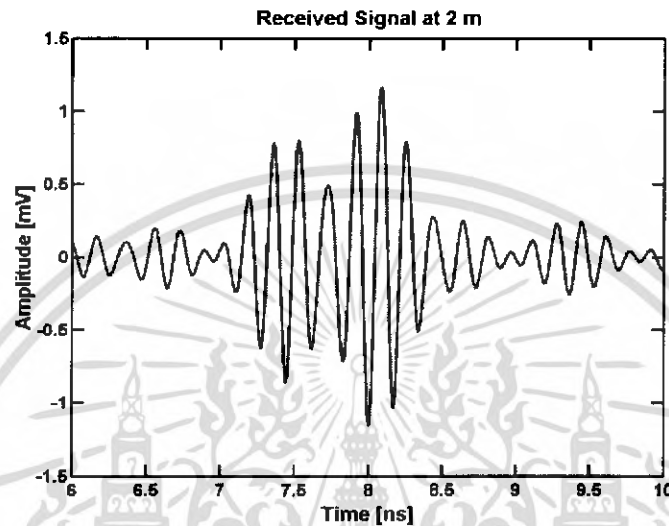
แบนด์ที่ 3 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 5 - 6 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.69



รูปที่ 4.69 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

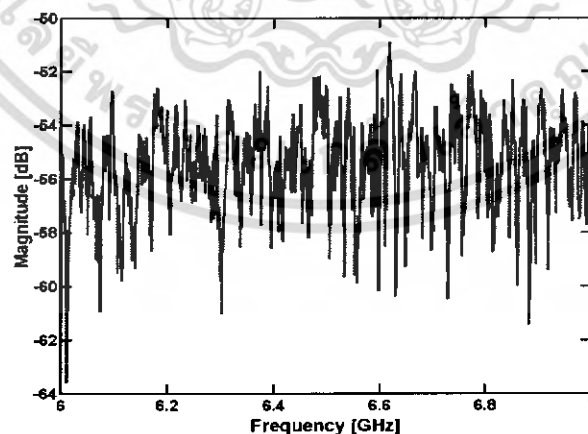
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 5 – 6 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 สัญญาณทางค่านรับในรูปโดเมนเวลา

แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าเมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.71

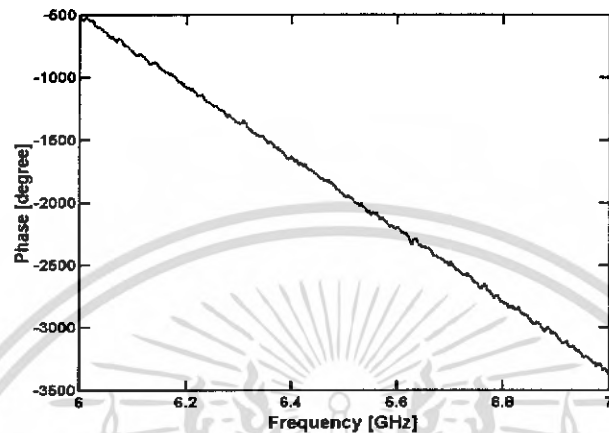


รูปที่ 4.71 ค่าเมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่าง

สายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

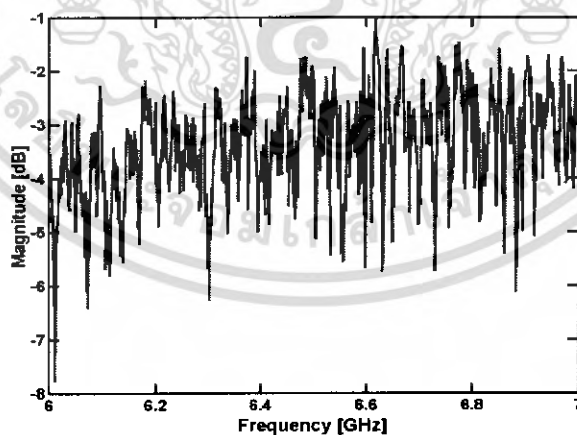
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.72



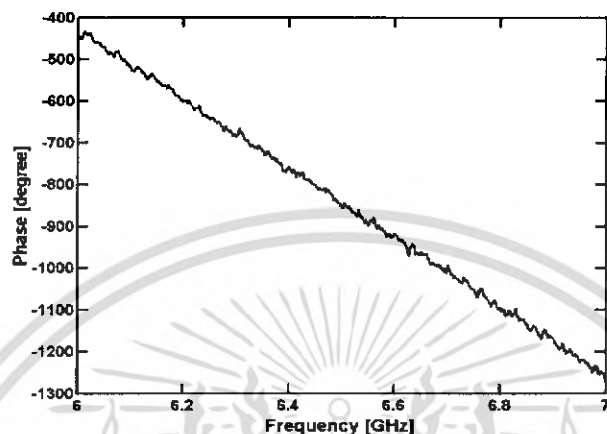
รูปที่ 4.72 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.73



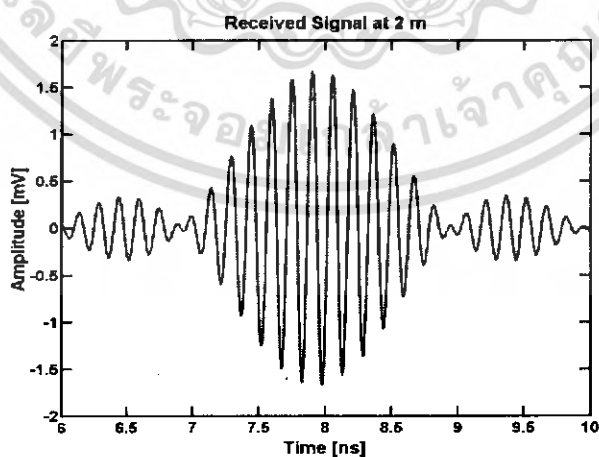
รูปที่ 4.73 แมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

แบนด์ที่ 4 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 6 - 7 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.74 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมตร

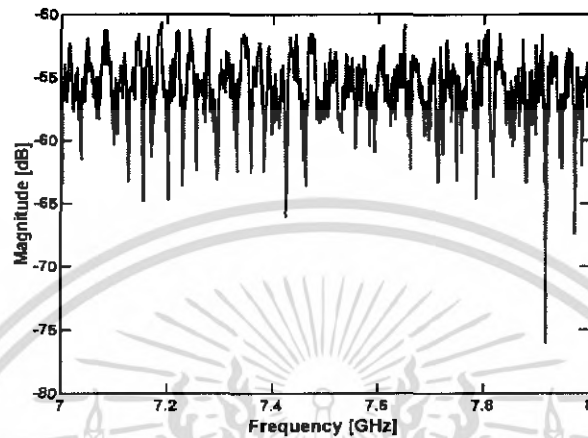
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 6 – 7 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.75



รูปที่ 4.75 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

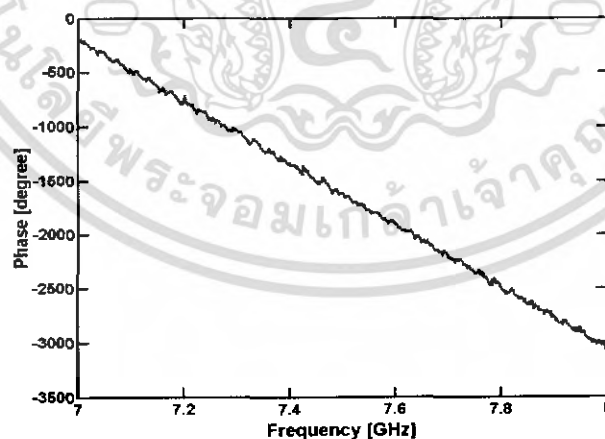
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.76



รูปที่ 4.76 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

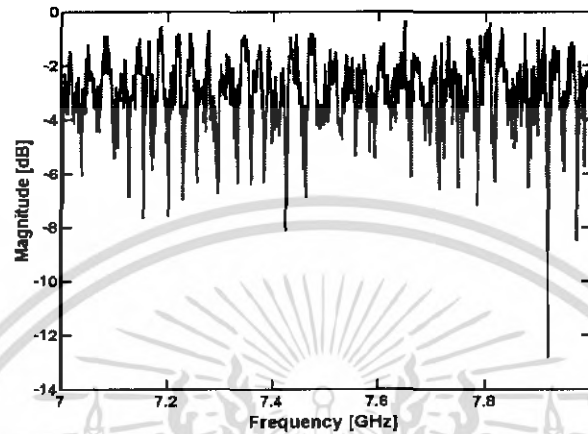
แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.77



รูปที่ 4.77 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

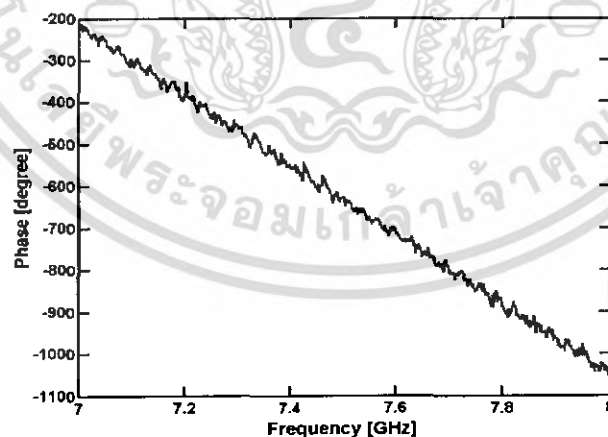
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.78



รูปที่ 4.78 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

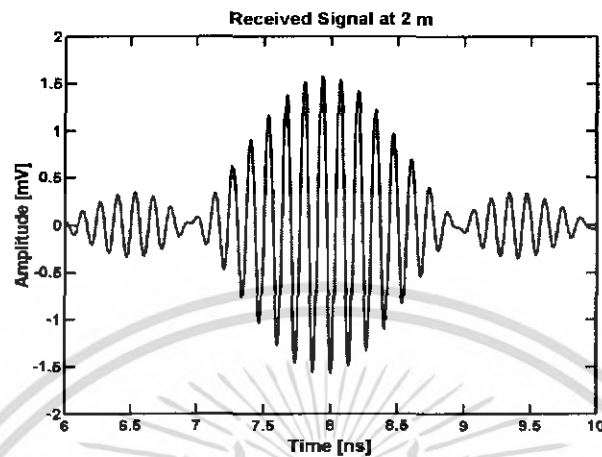
แบนด์ที่ 5 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 7 - 8 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.79



รูปที่ 4.79 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

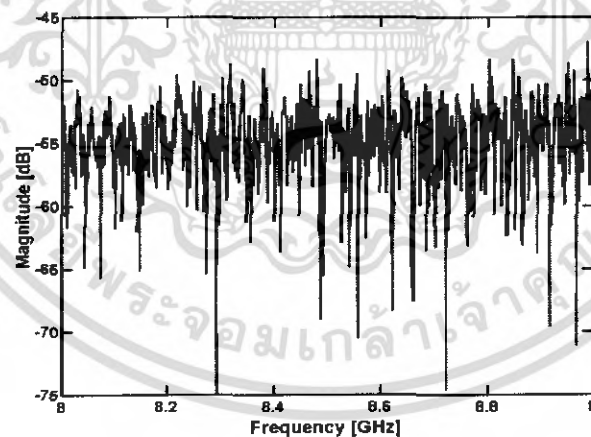
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 7 – 8 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา เพราะในระบบอุลตราไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.80



รูปที่ 4.80 สัญญาณทางด้านการรับในรูปโดเมนเวลา

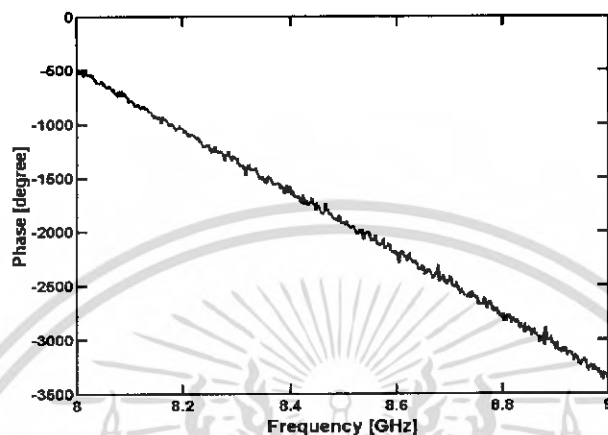
แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 – 9 GHz ค่าเมคานิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.81



รูปที่ 4.81 ค่าเมคานิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

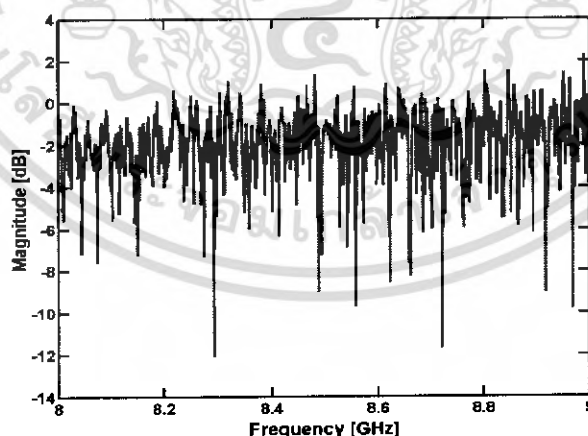
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.82



รูปที่ 4.82 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

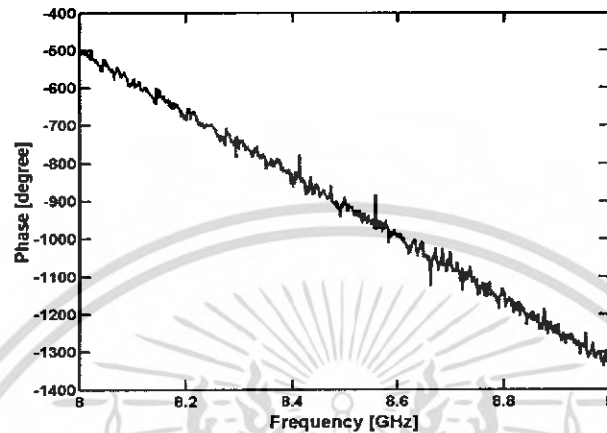
แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.83



รูปที่ 4.83 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8– 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

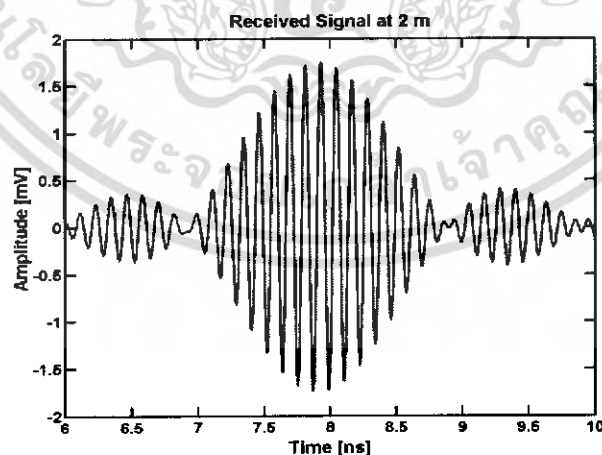
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 6 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 8 - 9 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.84



รูปที่ 4.84 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

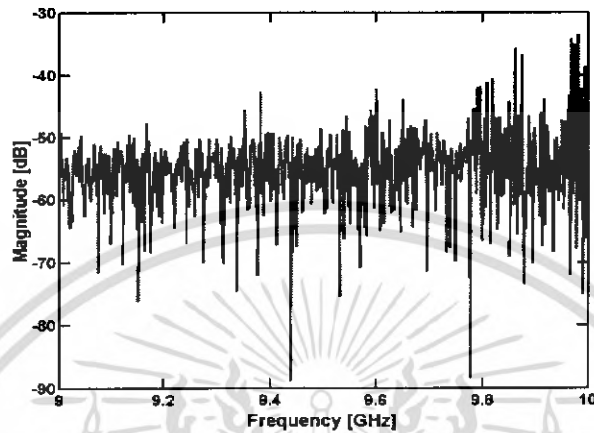
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 8 – 9 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไร้สายแบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.85



รูปที่ 4.85 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

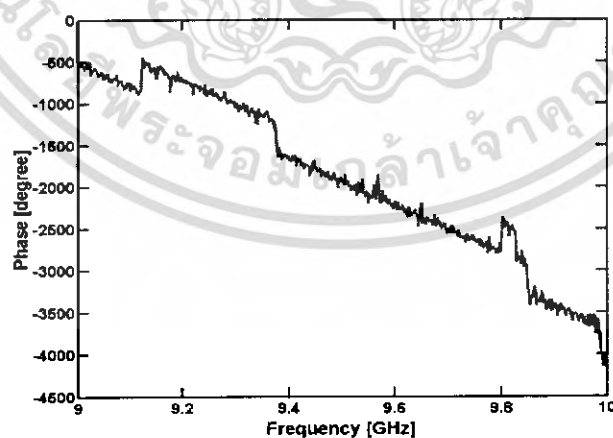
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.86



รูปที่ 4.86 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

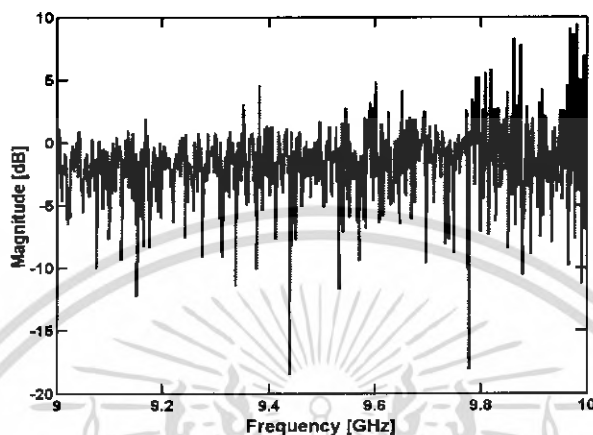
แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz (GHz) ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz (GHz) ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz (GHz) แต่ในย่านความถี่สูงๆจะมีสัญญาณรบกวนจึงทำให้ค่าเฟสไม่เป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.87



รูปที่ 4.87 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

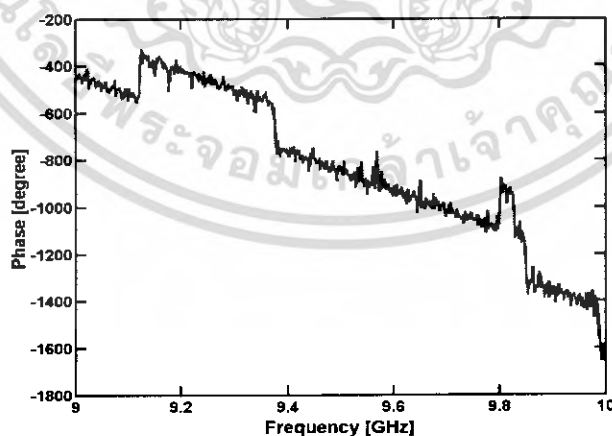
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.88



รูปที่ 4.88 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9– 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

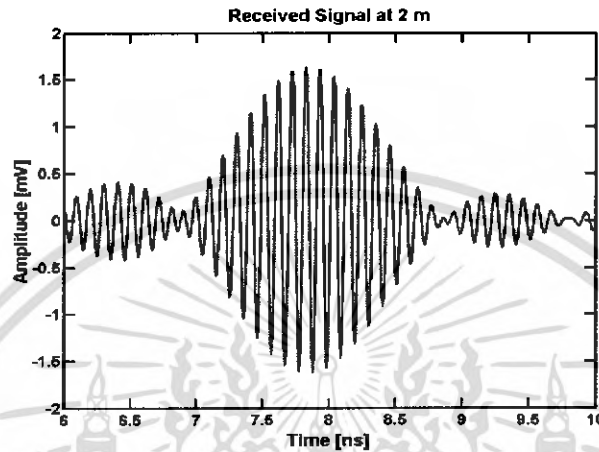
แบนด์ที่ 7 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 9 - 10 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูล-แบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz แต่ในย่านความถี่สูงๆ จะมีสัญญาณรบกวนจึงทำให้ค่าเฟสไม่เป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.89



รูปที่ 4.89 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

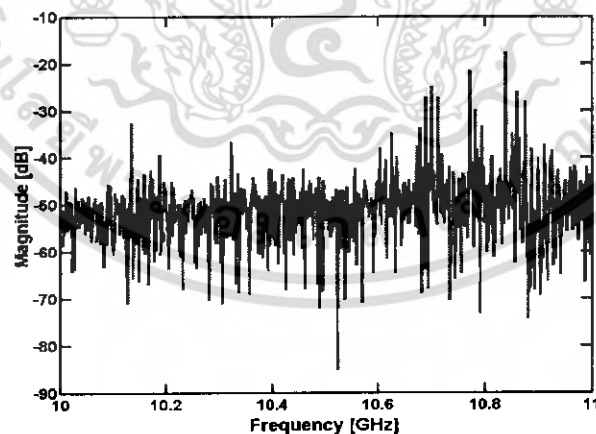
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 9 – 10 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.90



รูปที่ 4.90 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

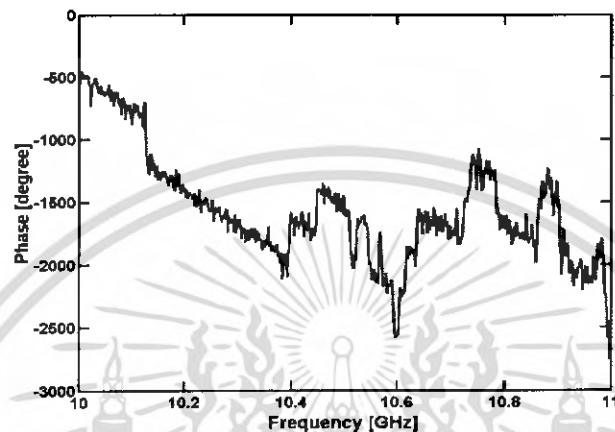
แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10 – 11 GHz ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.91



รูปที่ 4.91 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

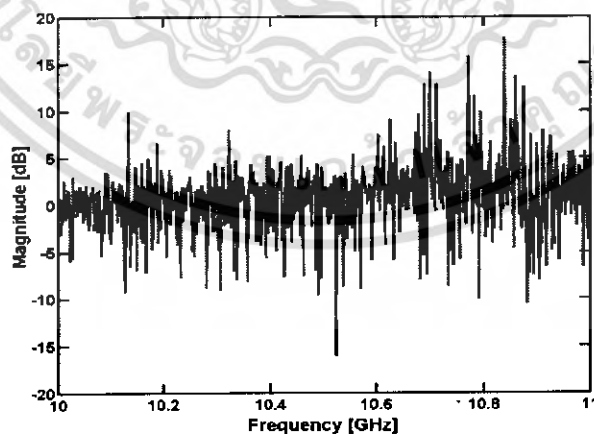
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10 - 11 GHz ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz แต่ในย่านความถี่สูงๆ จะมีสัญญาณรบกวนจึงทำให้ค่าเฟสไม่เป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.92



รูปที่ 4.92 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

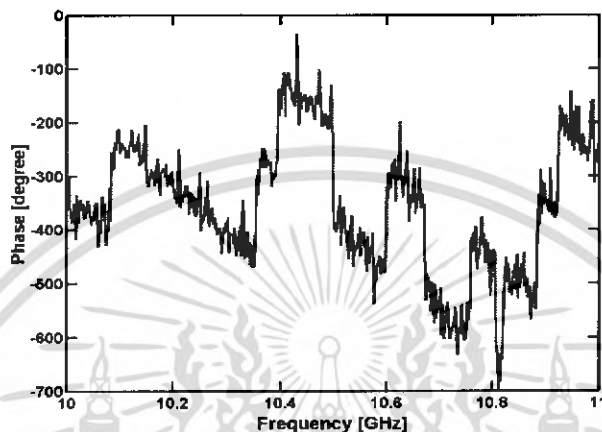
แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10 - 11 GHz ค่าแมกนิจูดของสายอากาศจะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.93



รูปที่ 4.93 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10– 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

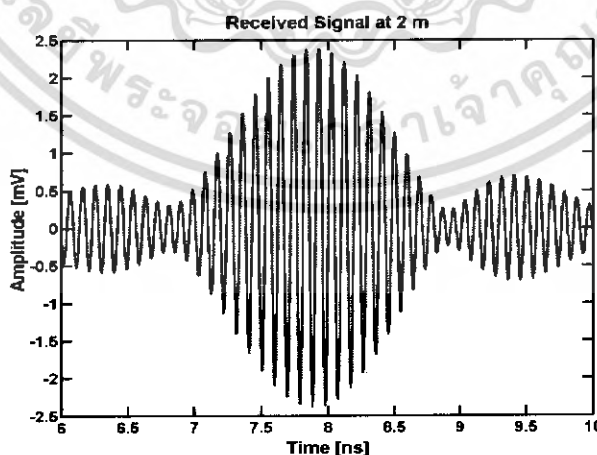
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 8 เราทำการแบ่งช่วงความถี่ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือย่านความถี่ 10- 11 GHz ค่าเฟสของสายอากาศจะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่า ย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz แต่ในย่านความถี่สูงๆ จะมีสัญญาณรบกวนจึงทำให้ค่าเฟสไม่เป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.94



รูปที่ 4.94 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 10 – 11 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.95



รูปที่ 4.95 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนี้จะกล่าวถึงการวัดสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์ในรูปแบบแบ่งช่องสัญญาณความถี่หรือซับแบนด์ (Subband) ตามระบบของ OFDM ซึ่ง OFDM จะแบ่งช่องสัญญาณความถี่หรือซับแบนด์ (Subband) ออกเป็น 4 ช่อง หรือ 4 กรุป ซึ่งมีชื่อดังนี้

1. กรุปเอ (Group A) และมีความถี่จาก 3.1 – 4.9 GHz
2. กรุปบี (Group B) และมีความถี่จาก 4.9 – 6 GHz
3. กรุปซี (Group C) และมีความถี่จาก 6 – 8.1 GHz
4. กรุปดี (Group D) และมีความถี่จาก 8.1 – 10.6 GHz

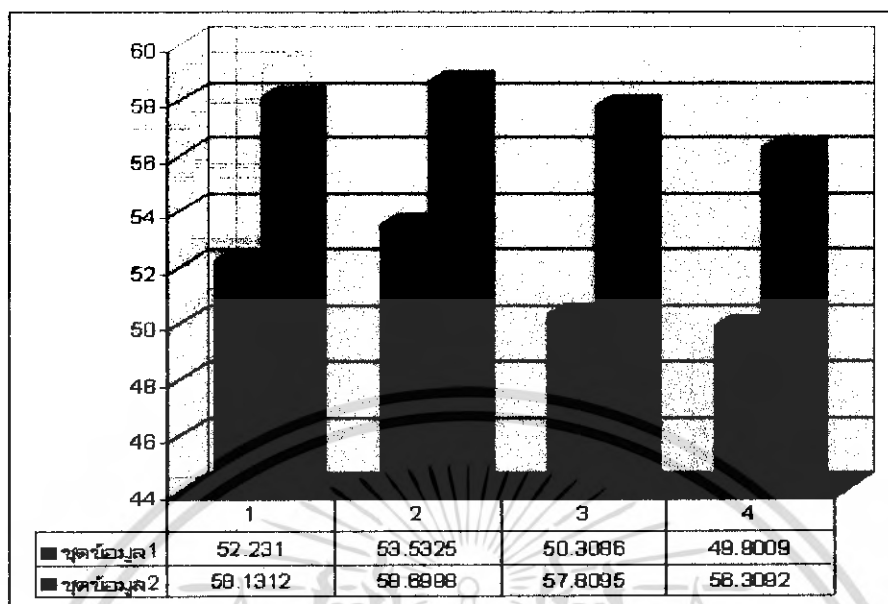
#### 4.7 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)

จากการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อมีระยะเพิ่มขึ้นจะมีค่ากำลังการสูญเสียเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยดังตารางที่ 4.5 และจากตารางที่ 4.5 นี้จะสังเกตเห็นได้ว่าที่กรุปดี ที่มีย่านความถี่ 8.1 ~ 10.6 GHz ทั้งระยะที่ 1 เมตร และ 2 เมตรจะมีค่าที่น้อยกว่าทุกๆ ซับแบนด์ (Subband)

ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband)

กรุป (Group)	ย่านความถี่	กำลังงานสูญเสียในอากาศ	
		1 เมตร	2 เมตร
A	3.1~4.9 GHz	52.2310 dB	58.1312 dB
B	4.9~6 GHz	53.5325 dB	58.6998 dB
C	6~8.1 GHz	50.2704 dB	57.8095 dB
D	8.1~10.6 GHz	49.9009 dB	56.3092 dB

กราฟแท่งแสดงค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์ (Subband) ซึ่งชุดข้อมูล 1 คือ ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และชุดข้อมูล 2 คือ ค่าการสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าชุดข้อมูล 2 ทุกๆ แบนด์จะมีค่ามากกว่าชุดข้อมูล 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการสื่อสาร คือ เมื่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.96



รูปที่ 4.96 เปรียบเทียบค่ากำลังสูญเสียระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซัพแบนด์ (Subband) โดยแบ่งตามกรุปของระบบ OFDM

#### 4.8 ค่าอัตราการขยายของระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซัพแบนด์ (Subband)

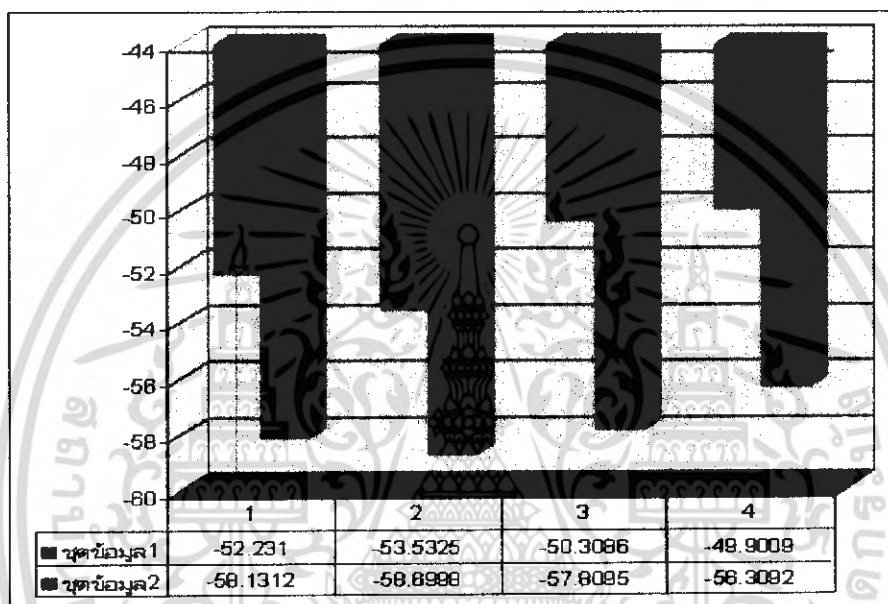
จากการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อมีระยะเพิ่มขึ้นจะมีค่ากำลังการสูญเสียเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยดังตารางที่ 4.6 และจากตารางที่ 4.6 นี้จะสังเกตเห็นได้ว่าที่กรุปบี ที่มีย่านความถี่ 4.9 ~ 6 GHz ทั้งระยะที่ 1 เมตร และ 2 เมตรจะมีค่าที่น้อยกว่าทุกๆ ซัพแบนด์ (Subband)

ตารางที่ 4.6 ค่าอัตราการขยายของระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร แบบซัพแบนด์ (Subband)

กรุป (Group)	ย่านความถี่	กำลังงานสูญเสียในอากาศ	
		1 เมตร	2 เมตร
A	3.1~4.9 GHz	-52.2310 dB	-58.1312 dB
B	4.9~6 GHz	-53.5325 dB	-58.6998 dB
C	6~8.1 GHz	-50.2704 dB	-57.8095 dB
D	8.1~10.6 GHz	-49.9009 dB	-56.3092 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

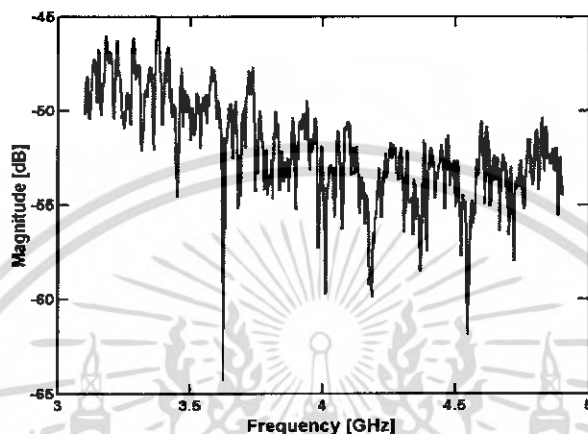
กราฟแท่งแสดงค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband) ซึ่งชุดข้อมูล 1 คือ ค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และชุดข้อมูล 2 คือ ค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 2 เมตร จะสังเกตเห็นได้ว่าชุดข้อมูล 2 ทุกๆ แบนด์จะมีค่ามากกว่าชุดข้อมูล 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการสื่อสาร คือ เมื่อมีระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายกำลังส่งระหว่างตัวส่งและตัวรับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.97 เปรียบเทียบค่าอัตราขยายของระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 1 เมตร และ 2 เมตร แบบซับแบนด์(Subband) โดยแบ่งตามกรุปของระบบ OFDM

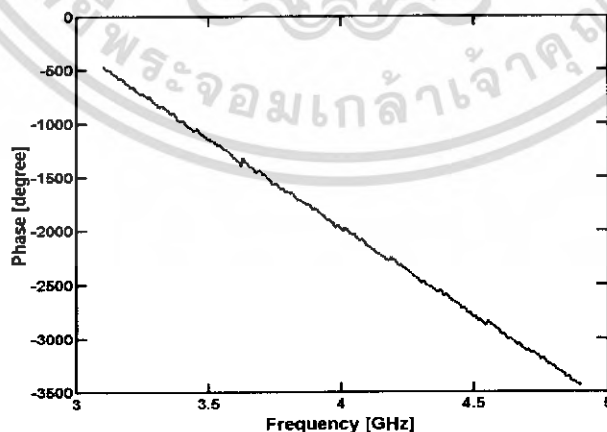
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.98



รูปที่ 4.98 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

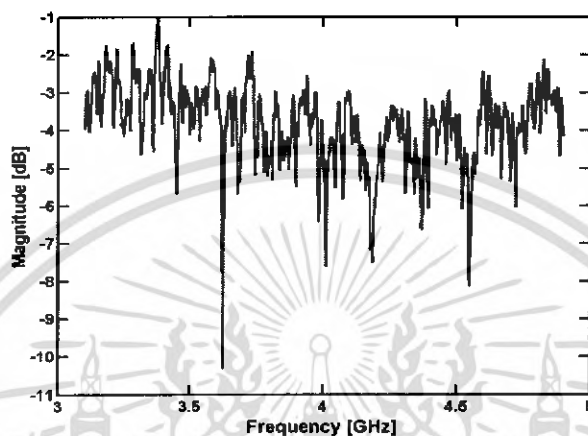
กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.99



รูปที่ 4.99 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

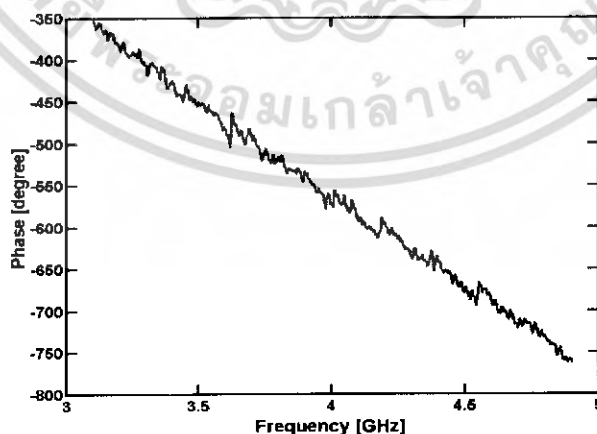
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.100



รูปที่ 4.100 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

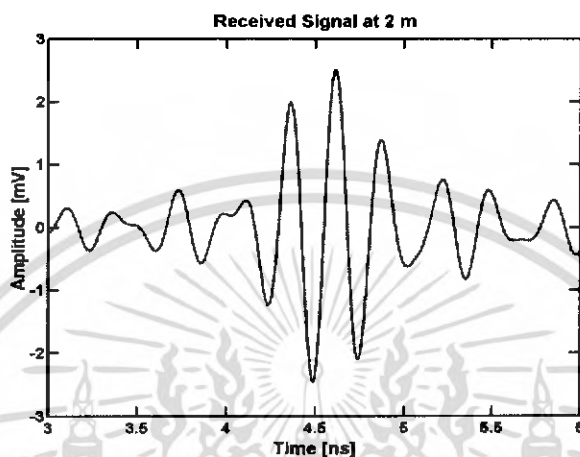
กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.101



รูปที่ 4.101 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

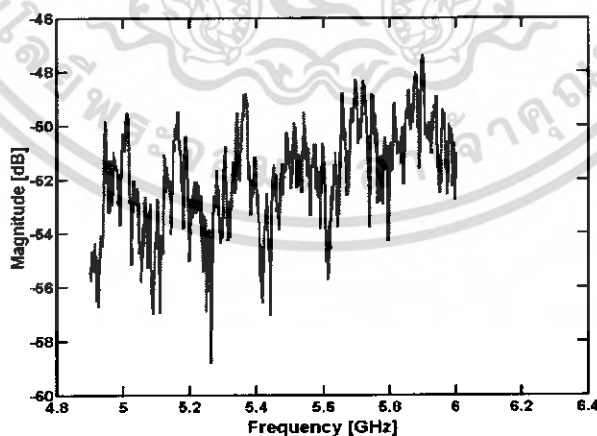
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.102



รูปที่ 4.102 สัญญาณทางค่านรับในรูปโดเมนเวลา

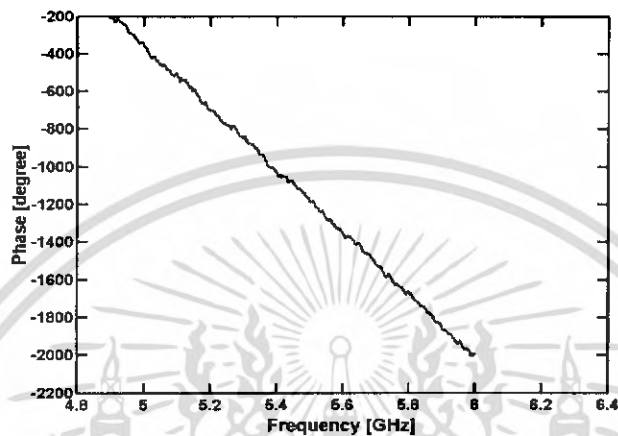
กรุปบี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปบีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.103



รูปที่ 4.103 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

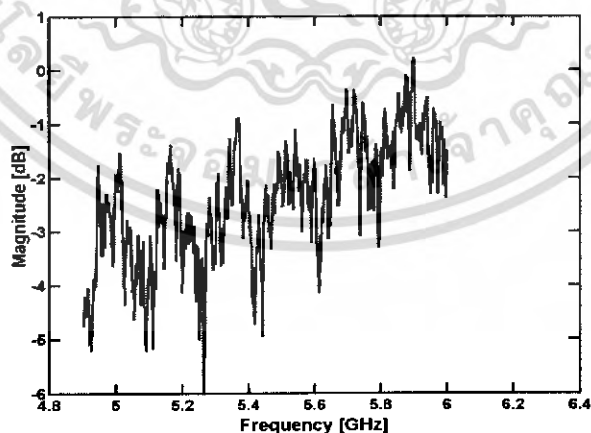
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปปี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปปีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.104



รูปที่ 4.104 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

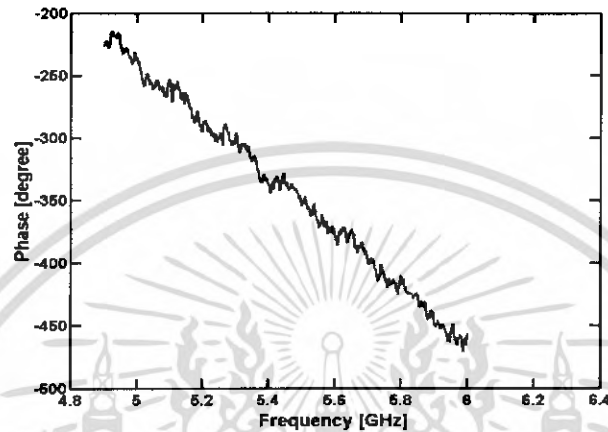
กรุปปี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปปีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.105



รูปที่ 4.105 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

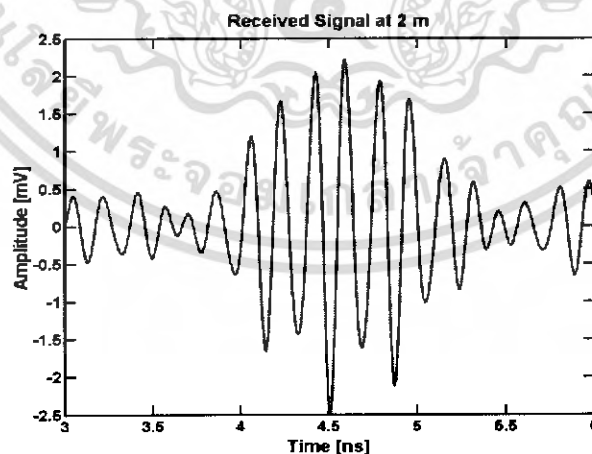
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปบี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปบีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.106



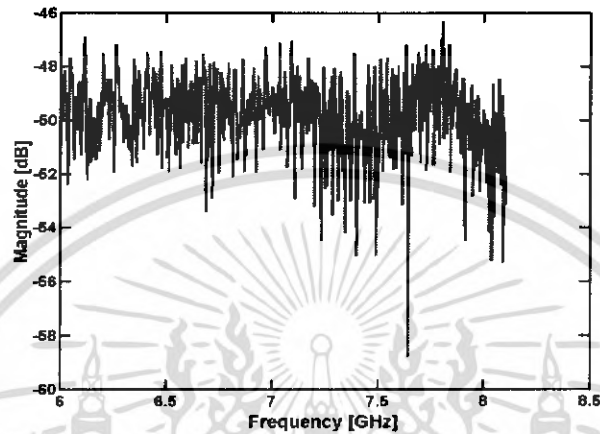
รูปที่ 4.106 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตราไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.107



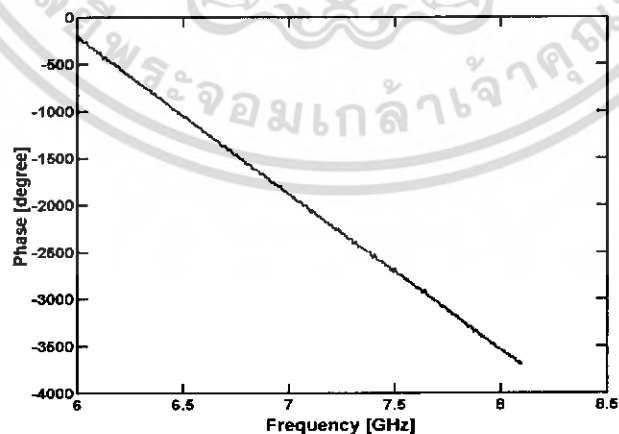
รูปที่ 4.107 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.108



รูปที่ 4.108 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

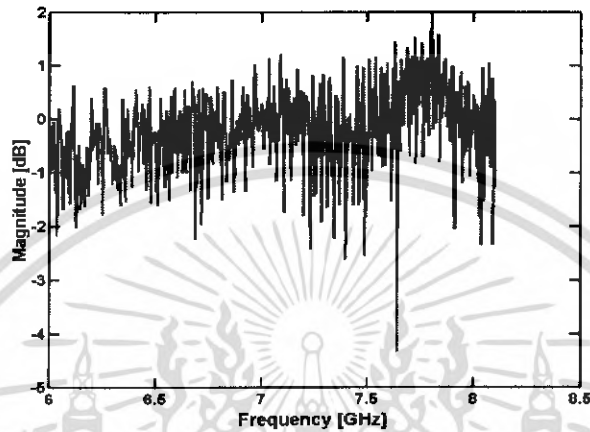
กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.109



รูปที่ 4.109 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

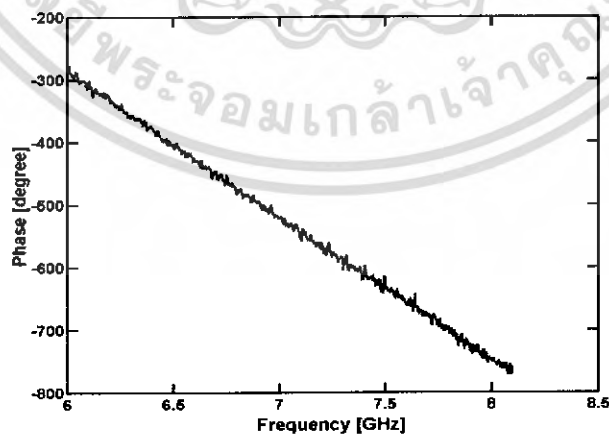
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.110



รูปที่ 4.110 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

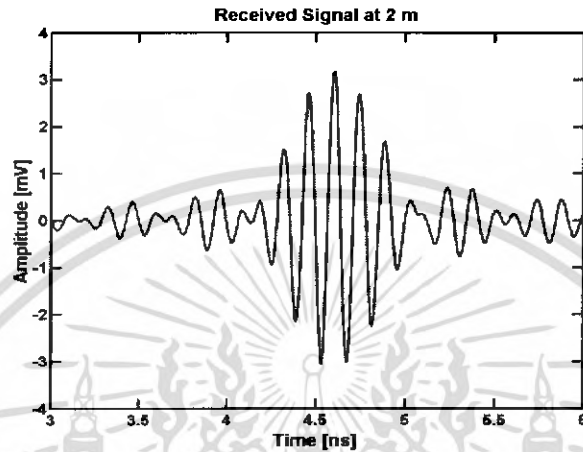
กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.111



รูปที่ 4.111 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

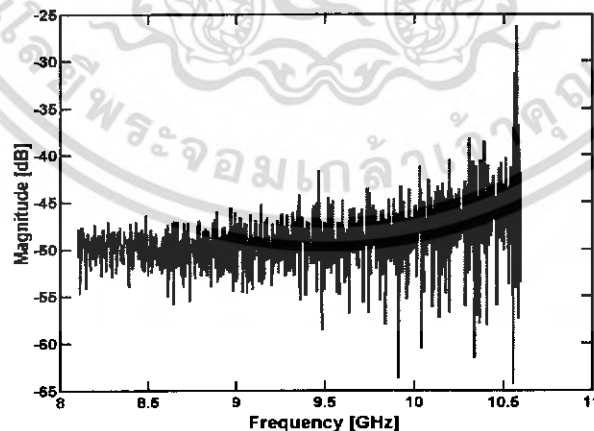
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.112



รูปที่ 4.112 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

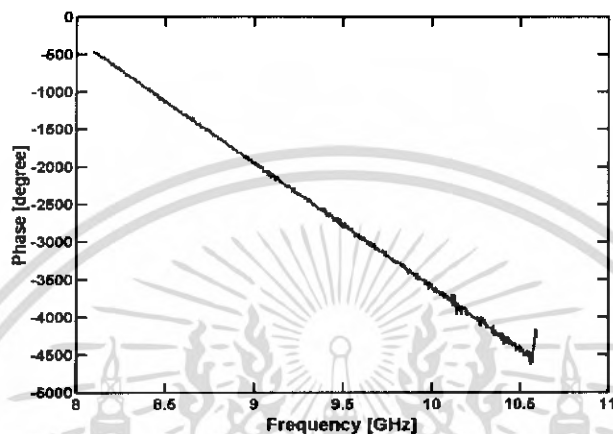
สรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.113



รูปที่ 4.113 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

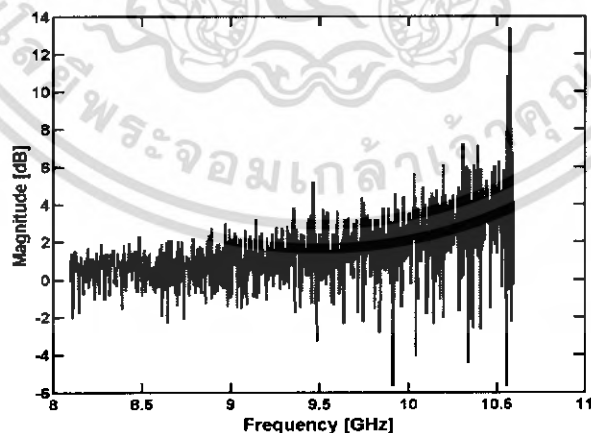
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.114



รูปที่ 4.114 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

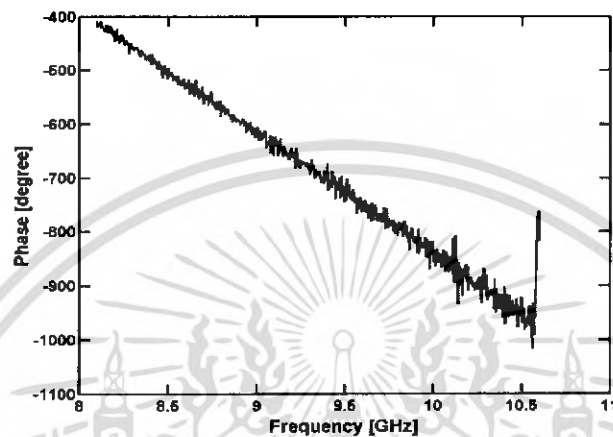
กรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.115



รูปที่ 4.115 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

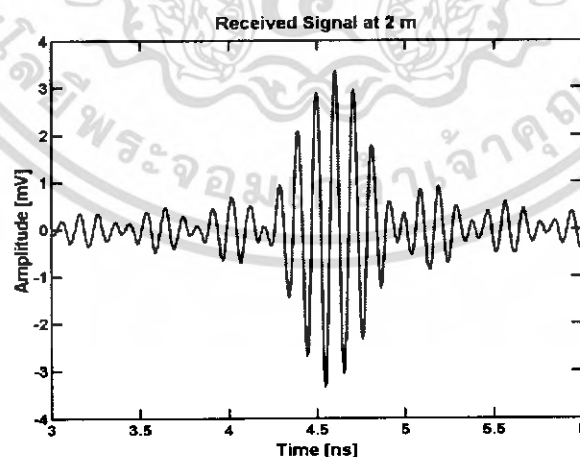
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.116



รูปที่ 4.116 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1 - 10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร

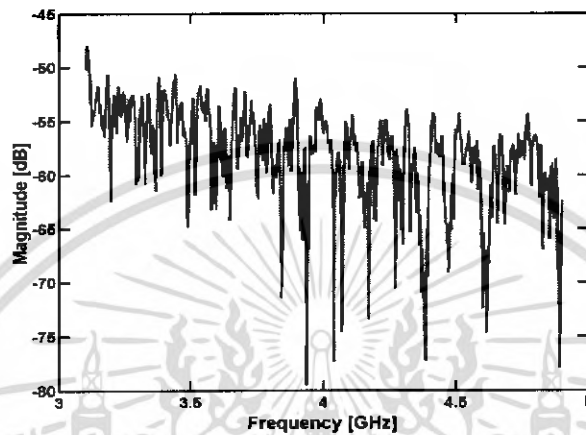
สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมจะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.117



รูปที่ 4.117 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

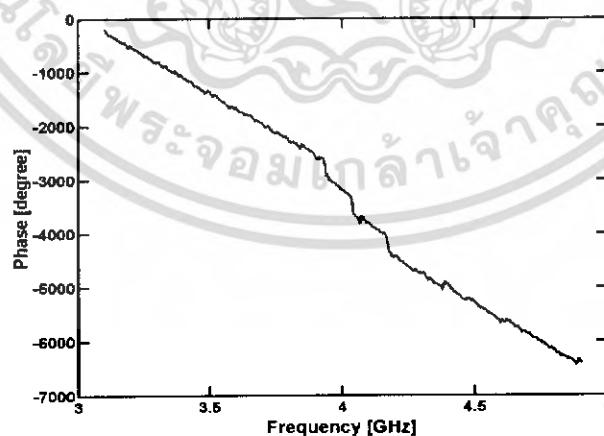
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.118



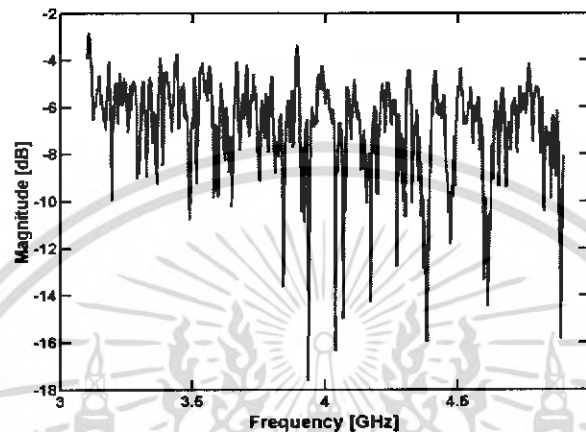
รูปที่ 4.118 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1-4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.119



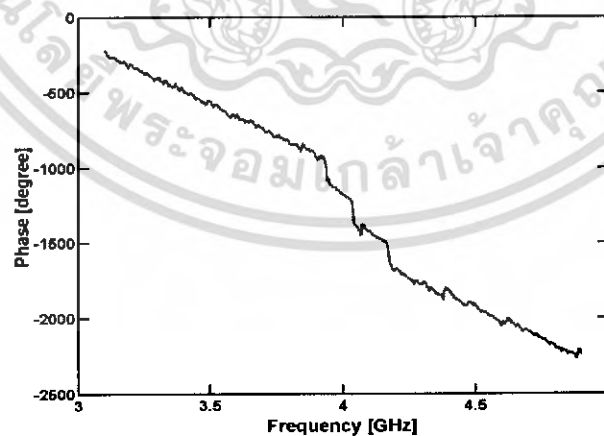
รูปที่ 4.119 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.120



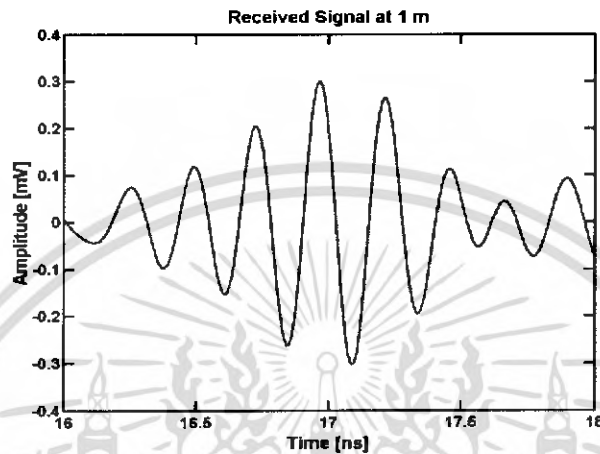
รูปที่ 4.120 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1-4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

กรุปเอ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปเอที่มีย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.121



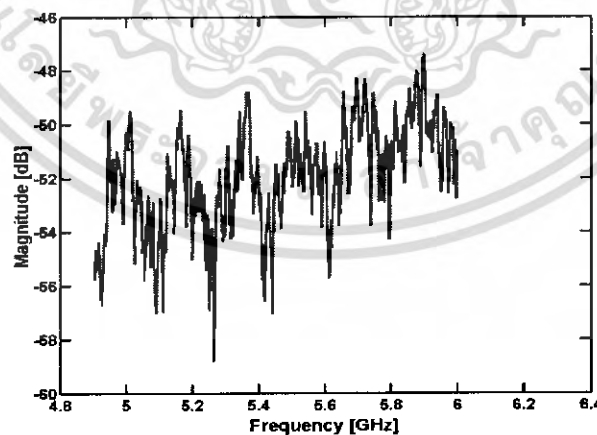
รูปที่ 4.121 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 3.1 - 4.9 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 3.1 – 4.9 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำมาแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุทตราไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.122



รูปที่ 4.122 สัญญาณทางด้านรับในรูปโดเมนเวลา

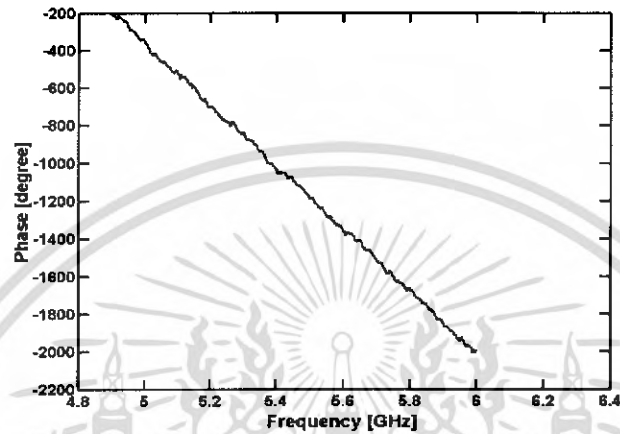
ที่รูปนี้ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปบีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.123



รูปที่ 4.123 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

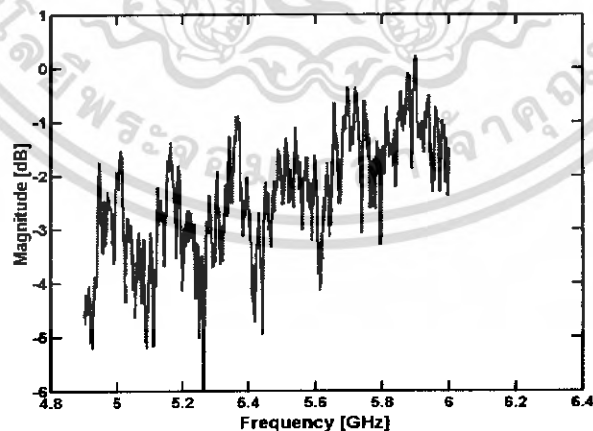
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปบี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปบีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.124



รูปที่ 4.124 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

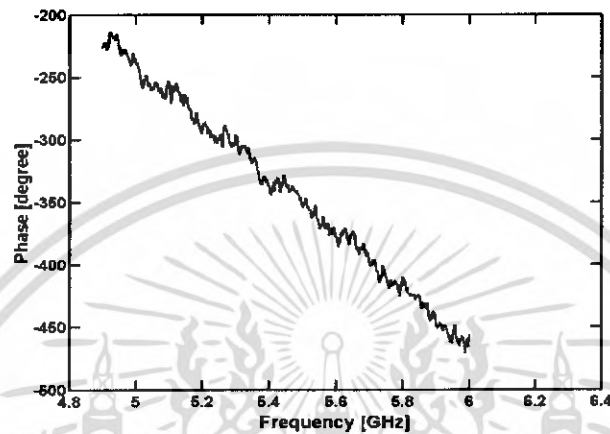
กรุปบี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปบีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.125



รูปที่ 4.125 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9-6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

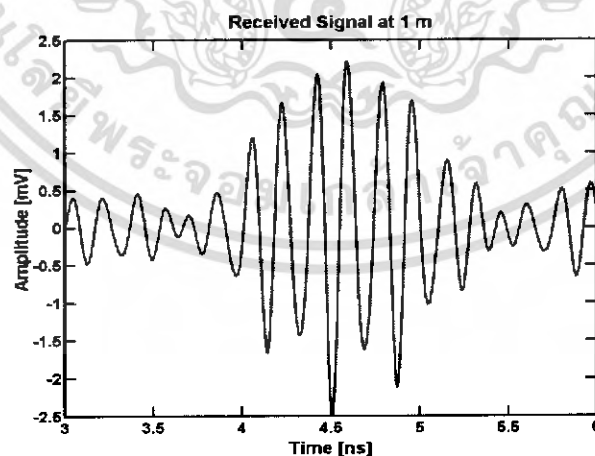
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปปี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปปีของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปปีที่มีย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านพูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.126



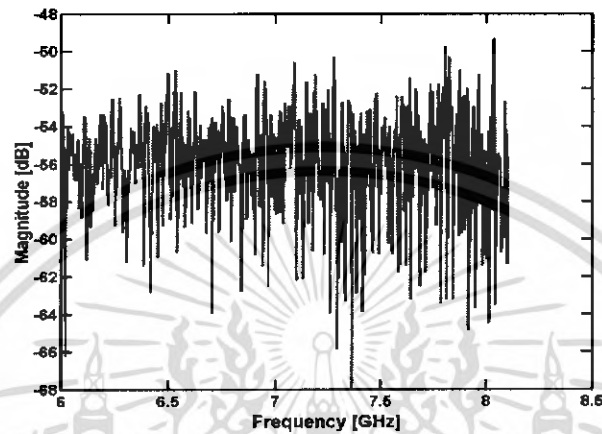
รูปที่ 4.126 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 4.9 - 6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 4.9 – 6 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.127



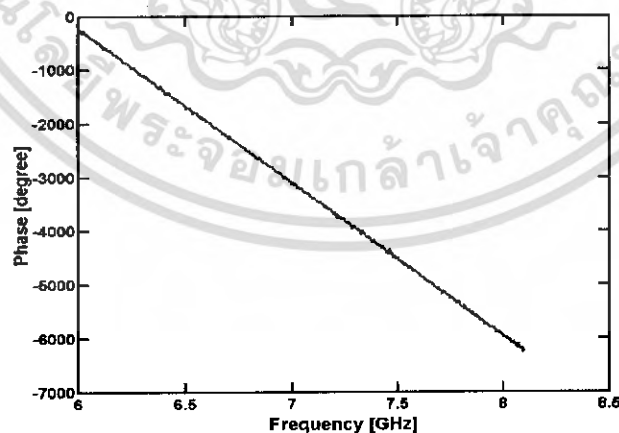
รูปที่ 4.127 สัญญาณทางค่านับในรูปโดเมนเวลา

กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.128



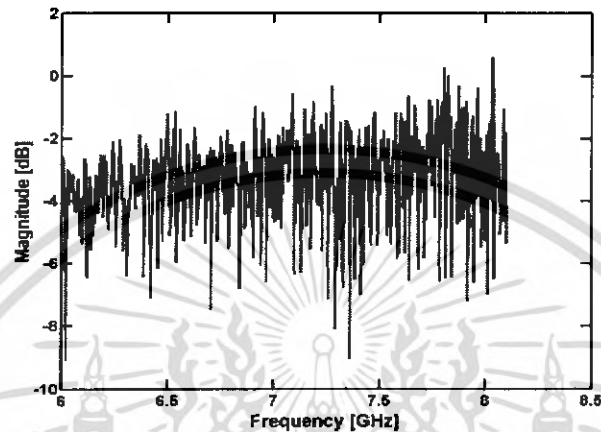
รูปที่ 4.128 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.129



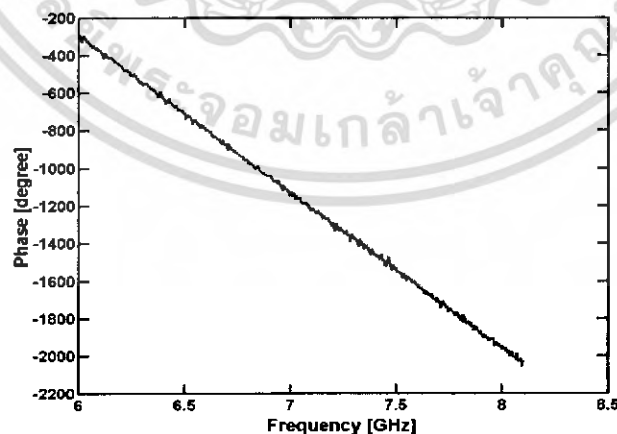
รูปที่ 4.129 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 6 - 8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.130



รูปที่ 4.130 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6-8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

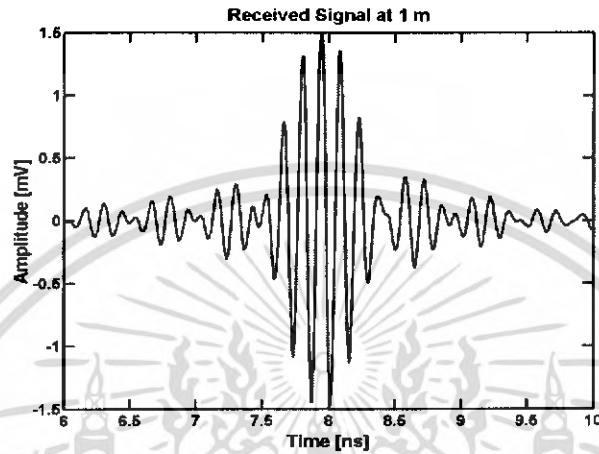
กรุปซี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปซีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้นๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.131



รูปที่ 4.131 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 6-8.1 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

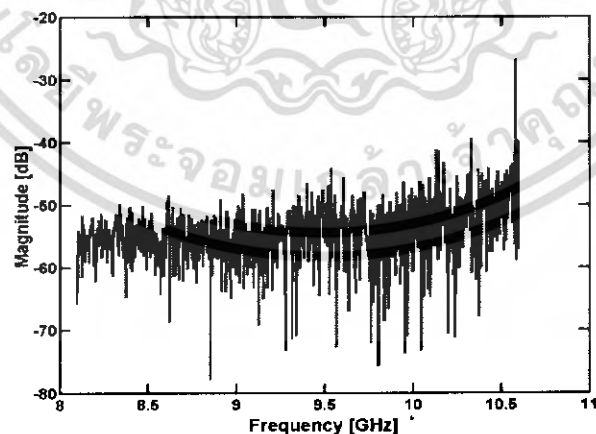
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุลตราไวด์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.132



รูปที่ 4.132 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

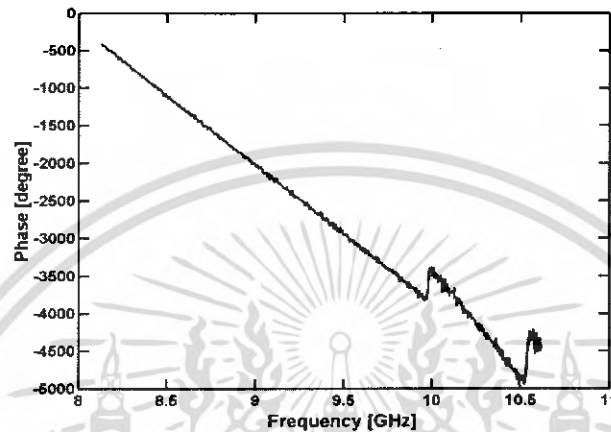
สรุปคือ เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปป์ของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปป์ที่มีย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.133



รูปที่ 4.133 ค่าแมกนิจูดของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

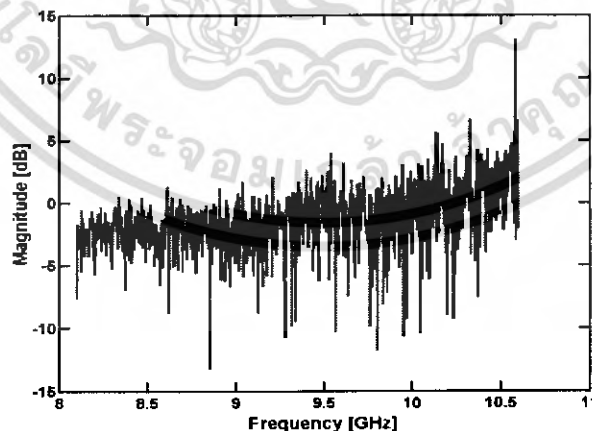
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz และแสดงค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.134



รูปที่ 4.134 ค่าเฟสของช่องสัญญาณความถี่ที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

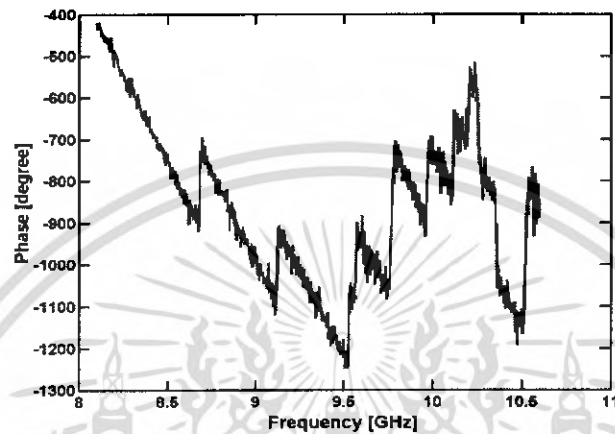
กรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 6 – 8.1 GHz และแสดงค่าแมกนิจูดของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.135



รูปที่ 4.135 ค่าแมกนิจูดของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

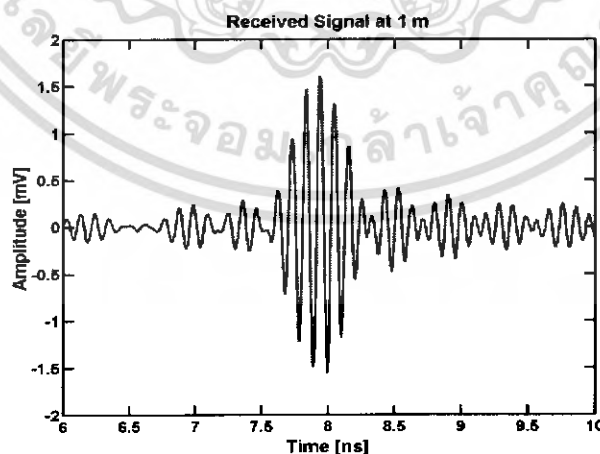
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุปดี เราทำการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ให้เล็กลงจากย่านความถี่ 3 – 11 GHz ให้เหลือความถี่ตามกรุปดีที่มีย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz และแสดงค่าเฟสของสายอากาศในช่วงความถี่นั้น ๆ จะเป็นเส้นตรง (Linear) จะเห็นได้ว่าค่าจะละเอียดกว่าย่านฟูลแบนด์ (Full Band) ซึ่งมีความถี่ที่ 3 – 11 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.136



รูปที่ 4.136 ค่าเฟสของสายอากาศที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 2 เมตร

สัญญาณที่เราได้จากเครื่องวิเคราะห์แบบเวกเตอร์ที่ย่านความถี่ 8.1 – 10.6 GHz จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงต้องนำแปลงกลับโดยใช้ฟาสต์ฟูเรียร์ (IFFT) เพื่อให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา เพราะในระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์จะส่งสัญญาณออกมาในรูปของโดเมนเวลา ดังนั้นต้องทำการแปลงกลับเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.137



รูปที่ 4.137 สัญญาณทางด้่านรับในรูปโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุป

#### 5.1 สรุป

ในโครงการนี้ได้กล่าวถึงว่าทำโครงการนี้เพื่อที่จะศึกษาและวิเคราะห์ถึงสเปกตรัมของระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งซึ่งในอนาคตจะได้นำมาใช้ในประเทศไทยอย่างมีความเหมาะสม และกล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น รูปแบบของสัญญาณที่นำมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้แบ่งตามประเภทต่าง ๆ เช่น พัลส์แบบเกาส์ พัลส์แบบเกาส์โมโนไซคลิกและพัลส์แบบเกาส์คัมเบต เป็นต้น อีกทั้งเทคนิควิธีการมอดูเลตข้อมูลข่าวสารอันประกอบไปด้วย PAM , PPM และ Bi-phase

ผลการทดลอง 1 ที่ได้จากการวัดสัญญาณแบบซับแบนด์ (Subband) ที่ใช้ความถี่เริ่มต้นตั้งแต่ 3 – 11 GHz ซึ่งแต่ละแบนด์มีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 1 GHz และจะสังเกตเห็นได้ว่าค่ากำลังการสูญเสียระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับที่ระยะ 1 เมตร จะมีกำลังสูญเสียต่ำที่สุดคือ แบนด์ 8 ที่ย่านความถี่ 10-11 GHz มีค่าเท่า 47.7176 dB และกำลังการสูญเสียระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับที่ระยะ 2 เมตร จะมีกำลังสูญเสียต่ำที่สุดคือ แบนด์ 8 ที่ย่านความถี่ 10-11 GHz มีค่าเท่า 52.5671 dB ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเพิ่มขึ้นกำลังสูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย, ค่าเฟสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) แต่ในช่วงความถี่ที่สูงจะมีสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อย

ผลการทดลอง 2 ที่ได้จากการวัดสัญญาณแบบซับแบนด์ (Subband) ที่ใช้ความถี่ตามกรุปของระบบ OFDM ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1. กรุปเอ (Group A) และมีความถี่จาก 3.1 – 4.9 GHz
2. กรุปบี (Group B) และมีความถี่จาก 4.9 – 6 GHz
3. กรุปซี (Group C) และมีความถี่จาก 6 – 8.1 GHz
4. กรุปดี (Group D) และมีความถี่จาก 8.1 – 10.6 GHz

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่ากำลังการสูญเสียระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับที่ระยะ 1 เมตร จะมีกำลังสูญเสียต่ำที่สุดที่แบนด์ 4 หรือ กรุปดี ที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 49.9009 dB และกำลังการสูญเสียระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับที่ระยะ 2 เมตร จะมีกำลังสูญเสียต่ำที่สุดที่แบนด์ 4 หรือ กรุปดี ที่ย่านความถี่ 8.1-10.6 GHz มีค่าเท่ากับ 56.3092 dB ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเพิ่มขึ้นกำลังสูญเสียก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย, ค่าเฟสจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) แต่ในช่วงความถี่ที่สูงจะมีสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อย

## 5.2 ปัญหาที่พบ

ในการวัดสัญญาณจะมีปัญหาจากสภาพแวดล้อมอันเนื่องมาจากการสะท้อนผนัง, พื้นห้องที่ใช้วัดและวัสดุอื่นๆ ที่สามารถสะท้อนได้ จึงยากต่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Kazimierz Siviak and Debra McKeown. Ultra-wideband Radio Technology. John Wiley & Sons, Ltd, 2004
- [2] T.S.Rappaport. Wireless Communication :Principles and Practice. Prentice-Hall, Inc. 1996.
- [3] Simon R. Saunders. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems. John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] David Parsons. The Mobile Radio Propagation channel. John Wiley & Sons, Ltd.
- [5] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering. John Wiley & Sons, Ltd, 2004
- [6] Ian Oppermann, Matti Hamalainen and Jari Iinatti. UWB Theory and Application. John Wiley & Sons, Ltd, 2004
- [7] ลัญฉกร วุฒิสีทธิกฤตกิจ. หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [8] [www.technologymedia.com](http://www.technologymedia.com)

## ภาพผนวก

### ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semirigid



PORT 1

PORT 2

2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF
- กด STOP ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ 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

#### - ที่ 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

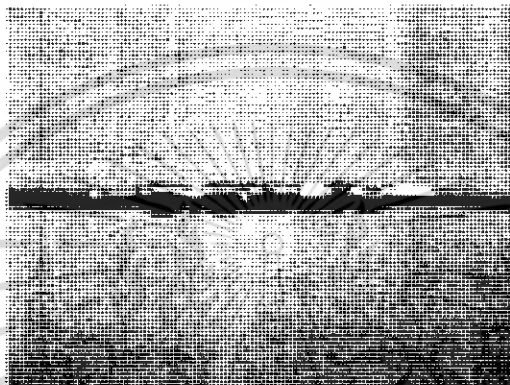
#### - ที่ PORT 2 (S22)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกกดที่ BROUND BAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD
- เลือกกดที่ REFLECT'N DONE

5. ทำการต่อหัวต่อ ISORATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ



- กด FWD.TRANS.THURU
  - กด FWD.MATCH.THURU
  - กด REV.TRANS.THURU
  - กด REV.MATCH.THURU
6. กด TRANS DONE
7. กด ISOLATION
- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION
8. กด ISOLATION DONE
9. กด SAVE (2-PORT CAL)
10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET ที่มีตั้งแต่ 1-8 ให้เลือกเก็บค่าที่ได้ทำการ CAL ไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้