สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉาดกระบัง

การศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง

A STUDY AND ANALYSIS OF OPTIMIZED SIGNALS FOR ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEM

โดย

นายเอกพงษ์ นาคมณี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62881
วัน,เดือน,ปี 23 ส.ค. 2549

b 11633190
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY AND ANALYSIS OF OPTIMIZED SIGNALS FOR ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEM

BY

Mr. EAKKAPONG NAKMANEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHERLOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง

ชื่อนักศึกษา นายเอกพงษ์ รหัสนักศึกษา 46015697

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์

ผศ. พิชญ สุพรรณกูล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พิชญ สุพรรณกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง
ชื่อนักศึกษา	นายเอกพงษ์ นาคมณี รหัสประจำตัว 46015697
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
	ผศ. พิชญ สุพรรณกูล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอถึงการศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับวิทยุแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband Impulse Radio : UWB-IR) มีการนำสมการรูปคลื่นทั้งหมด 6 รูปแบบด้วยกันเพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับวิทยุแถบกว้างยิ่ง ได้แก่ สมการรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต สมการรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท สมการรูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท และสมการรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองรูปแบบสัญญาณ เพื่อที่จะครอบคลุมข้อกำหนดของ คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) และข้อกำหนดหน้ากาก สเป็กตรัมสำหรับภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดย FCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study and Analysis of Optimized Signals for Ultra Wideband Impulse Radio System
Student	Mr. Eakkapong Nakmanee ID. 46015697
Advisor	Mr. Sathaorn Promwong
	Assist.Prof. Pichaya Supanakoon
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2005

ABTRACT

This thesis presents about the study of optimum signals for ultra wideband impulse radio (UWB-IR) system. There are six-format waveform equations for analysis to find the best waveform which is appropriate for UWB, such as rectangular passband waveform, modulate rectangular waveform, modulate gaussian waveform, rectangular doublet waveform, gaussian doublet waveform and gaussian monocycle waveform. By using MATLAB, we can plot signal waveforms. Finally all parameters are represented then be used for UWB spectral mask which is defined by FCC in an indoor environment and an outdoor environment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียนปริญญานิพนธ์จาก ท่านอาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ และ ท่านผศ. พิชญ สุพรรณกูล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา กระผมซึ่งเป็นผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นายเอกพงษ์ นาคมณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

สารบัญรูปภาพ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญสัญลักษณ์..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา..... 1

1.2 จุดประสงค์..... 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน..... 1

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 2

บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง..... 3

2.1 กล่าวนำ..... 3

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง..... 5

2.2.1 ระบบการสื่อสาร UWB ที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ..... 5

2.2.2 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร UWB..... 6

2.3 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสาร UWB..... 7

2.3.1 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อเทคโนโลยี UWB ในสหรัฐอเมริกา..... 8

2.3.1.1 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อสมการรูปคลื่น..... 8

2.3.1.2 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัม..... 10

2.4 แอพพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้..... 12

2.4.1 โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง..... 12

2.4.2 การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย..... 12

2.4.3 โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ..... 12

2.4.4 โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์..... 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.5 โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ 13

2.5 การแปลงฟูเรียร์..... 13

2.5.1 การแปลงฟูเรียร์ดิสครีต..... 14

2.5.2 อนุกรมฟูเรียร์..... 15

2.6 สัญญาณพลังงานและสัญญาณกำลัง..... 16

2.6.1 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม..... 18

บทที่ 3 สมการรูปคลื่น..... 21

3.1 บทนำ..... 21

3.2 สมการรูปคลื่น..... 22

3.2.1 สมการรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform) 22

3.2.2 สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform) 23

3.2.3 สมการรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform) 24

3.2.4 สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform) 24

3.2.5 สมการรูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform) 25

3.2.6 สมการรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)..... 26

3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการรูปคลื่น..... 26

3.3.1 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการรูปคลื่น..... 27

บทที่ 4 ผลของการจำลองและการวิเคราะห์..... 31

4.1 บทนำ..... 31

4.2 รูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ..... 31

4.2.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform) 32

4.2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform) 33

4.2.3 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform) 34

4.2.4 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform) 36

4.2.5 รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform) 37

4.2.6 รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)..... 39

4.3 ผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่น..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....40
4.3.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต.....42
4.3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต.....45
4.3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นชนิดอื่น.....48
4.4 สรุปค่าที่ได้และเปรียบเทียบผลของการจำลองจากผลที่ได้.....49
บทที่ 5 สรุปผลที่ได้จากการจำลอง ปัญหา และแนวทางในการพัฒนาต่อ..... 51
5.1 บทนำ..... 51
5.2 สรุปลักษณะรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ..... 51
5.3 สรุปผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดให้แก่สมการรูปคลื่น.....52
5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงงาน..... 53
5.5 แนวทางในการพัฒนาโครงงานต่อในอนาคต..... 53
บรรณานุกรม.....55
ภาคผนวก.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบ UWB	5
2.2	ตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากสเปคตรัม	9
2.3	ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคาร	10
2.4	ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคาร	10
3.1	โฟลว์ชาร์ต การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสัญญาณที่ใช้ในภาคส่งของ UWB	28
4.1	รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ของสมการในโดเมนเวลา	32
4.2	รูปสเปกตรัมแถบผ่านสี่เหลี่ยม ของสมการในโดเมนความถี่	32
4.3	รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนเวลา	33
4.4	รูปสเปกตรัมสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนความถี่	34
4.5	รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนเวลา	35
4.6	รูปสเปกตรัมเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนความถี่	35
4.7	รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท ของสมการในโดเมนเวลา	36
4.8	รูปสเปกตรัมสี่เหลี่ยมดับเล็ท ของสมการในโดเมนความถี่	37
4.9	รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท ของสมการในโดเมนเวลา	38
4.10	รูปสเปกตรัมเกาส์ดับเล็ท ของสมการในโดเมนความถี่	38
4.11	รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ของสมการในโดเมนเวลา	39
4.12	รูปสเปกตรัมเกาส์โมโนไซเคิล ของสมการในโดเมนความถี่	40
4.13	PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร	41
4.14	รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร	41
4.15	PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร	42
4.16	รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 44

4.18 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 45

4.19 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 46

4.20 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 46

4.21 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 47

4.22 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1	ข้อจำกัดของ FCC สำหรับค่าระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในและภายนอกอาคาร	11
4.1	คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร	49
4.2	คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับข้อกำหนดภายนอกอาคาร	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์		หน้า
FCC	คือ คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา	1
C	คือ ความจุช่องสัญญาณ	4
B	คือ แบนด์วิดของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูล	4
$\frac{S}{N}$	คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน	4
NOI	คือ ประกาศเกี่ยวกับแบบสอบถาม	7
UWBWG	คือ กลุ่มการทำงานแถบกว้างยิ่ง	7
DARPA	คือ องค์กรวางแผนวิจัยด้านการป้องกัน	8
FAA	คือ องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา	8
BW	คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ	9
f_H	คือ ค่าขอบความถี่บนของระบบการสื่อสาร	9
f_L	คือ ค่าขอบความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	9
f_C	คือ ค่าความถี่กลาง	9
HDR	คือ อัตราการส่งข้อมูลสูง	12
LDR/LT	คือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นหาตำแหน่ง	12
HDR-WPAN	คือโครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง	12
WEIL	คือ การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย	12
IWAN	คือโครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ	12
OPPN	คือโครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์	12
SPIN	คือ โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์	13
DFT	คือ การแปลงฟูเรียร์ดิสครีต	13
FFT	คือ การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว	13
P	คือ กำลังงาน	17
E	คือ พลังงาน	17
PSD	คือ กำลังความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม	19
SNR	คือ อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	22
DC	คือ ไฟฟ้ากระแสตรง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง UWB ถือว่าเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นตัวใหม่สำหรับคนไทย และยังมีกลุ่มผู้ศึกษาในเรื่องดังกล่าวน้อยอยู่ และเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มว่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญ ต่อเทคโนโลยีของคนไทยในอนาคตไม่ว่าจะเป็นการนำไปประยุกต์ใช้ในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (HDR-WPAN) การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย (WEIL) โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ (IWAN) โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ (OPPN) โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ (SPIN) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจมากตัวหนึ่ง เพื่อให้การรับส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพสำหรับเทคโนโลยีดังกล่าว ปัจจัยหนึ่งที่เป็นเหตุสำคัญที่ต้องพิจารณาคือสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสาร โดยเฉพาะสัญญาณที่ใช้ในการส่ง จึงเป็นที่มาของการทำโครงการ การศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง

1.2 จุดประสงค์

1. ศึกษาข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อเทคโน UWB เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสมการรูปคลื่นในแต่ละแบบเพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับเทคโนโลยี UWB และสามารถที่จะจำลองรูปแบบของสัญญาณในรูปแบบต่างๆได้

2. สามารถเข้าใจสมการรูปคลื่นในรูปแบบต่างๆ ที่นำมาใช้ในการศึกษาได้เป็นอย่างดี และสามารถวิเคราะห์รูปคลื่นในโดเมนเวลา หรือการวิเคราะห์สเป็กตรัมในโดเมนความถี่ได้

3. เพื่อรวบรวมข้อมูลไว้เป็นแหล่งความรู้ให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาต่อในเรื่องดังกล่าว

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ใช้โปรแกรม MATLAB ทำการวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆของสมการ ในเรื่องของการหาสัญญาณที่ดีที่สุดของเทคโนโลยี UWB และนำสัญญาณที่ได้จากการจำลองดังกล่าว นำมาใช้อ้างอิงเป็นสัญญาณส่งในเทคโนโลยี UWB ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC)

2. ศึกษาเทคโนโลยี UWB ในส่วนของการศึกษาและวิเคราะห์หาสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับเทคโนโลยี UWB ให้เข้าใจเป็นอย่างดี เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้จากการจำลองรูปคลื่นที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงการนี้ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการออกแบบและพัฒนา เพื่อสร้างสัญญาณ UWB ได้ในอนาคต

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความเชี่ยวชาญในการใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ และจำลองรูปแบบของสัญญาณในแบบต่างๆ เพื่อหาสัญญาณที่ดีที่สุดที่จะสามารถใช้ได้จริงในเทคโนโลยี UWB

2. สามารถที่จะวิเคราะห์รูปคลื่นและสเป็กตรัมของสัญญาณรูปแบบต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง กับข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อเทคโนโลยี UWB ได้เป็นอย่างดี

3. สามารถที่จะรวบรวมข้อมูลทั้งหมดในส่วนของโครงการนี้ เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถให้ผู้ที่สนใจ และผู้ที่ต้องการจะทำวิจัยต่อในเรื่องดังกล่าวได้มีข้อมูลและความรู้ เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะช่วยพัฒนาเทคโนโลยีให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงระยะเวลา									
	2548							2549		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษารายละเอียดของระบบแถบกว้างยิ่งที่กำหนดโดย FCC	←	→								
2. ศึกษาชนิดของสัญญาณ		←	→	→	→					
3. ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ดีที่สุดของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง						←	→	→		
4. เปรียบเทียบผลที่ได้จากสัญญาณแต่ละชนิด							←	→	→	
5. สรุปผลการทดลองและการรายงาน									←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีการสื่อสาร UWB มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก็ป (spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุ ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 จากนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960-1991 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง เทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี 1980 ซึ่งเริ่มต้นใช้งานในระบบเรดาห์เป็นหลัก อันเนื่อง มาจากคุณสมบัติข้อหนึ่งของระบบการสื่อสารประเภทนี้ที่มีการใช้แบนวิดท์ในระบบการสื่อสารที่มากทำให้สามารถกำหนดความกว้างของช่วงความถี่และความแรงของสัญญาณเพื่อใช้สะท้อนวัตถุได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเรดาร์และเครื่องติดตามวัตถุได้เป็นอย่างดีได้รับข้อมูลที่มีความแม่นยำในด้านตำแหน่งของวัตถุที่เที่ยงตรงมาก จนกระทั่งปัจจุบันได้เริ่มนำเอาเทคโนโลยีนี้มาใช้งานในระบบการสื่อสารมากขึ้น อันเนื่องมาจากการพัฒนาของเทคโนโนยีสวิตช์ความเร็วสูง (high-speed switching) ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย หรือระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ.2002 ทางคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้ออกหนังสือ ประกาศการทำกฎ (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่างๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่างๆ ที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิทช์ตัดต่อความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อสาร UWB ได้รับความนิยมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการสื่อสารประเภทต่างๆมากขึ้น โดยระบบการสื่อสาร UWB นั้นนับว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อยซึ่งสัญญาณของระบบการสื่อสาร UWB นั้นมีความแตกต่างกันกับการสื่อสารไร้สายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ

1) ระบบการสื่อสาร UWB นั้นมีการใช้แบนวิดท์ ในการส่งสัญญาณมากกว่า 20 % ของความถี่กลาง และจะต้องครอบคลุมแบนวิดท์ ทั้งหมด มากกว่า 500 MHz ในระบบการสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ สามารถกำหนดแบนวิดท์ได้จาก ช่วงห่างระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบ โดยที่ค่าของความถี่ทั้งสองนี้ จะกำหนดได้จากความถี่ที่ให้ระดับกำลังงานของสัญญาณต่ำกว่าระดับกำลังงานสูงสุดอยู่ 10dB ซึ่งเป็นระดับของกำลังรบกวนพื้น(noise floor) ของระบบการสื่อสารประเภทอื่น

2) ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณพาห์ เข้ากับสัญญาณข้อมูลก่อนทำการส่งข่าวสาร ดังนั้น ในภาคส่งของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์ประเภทการมอดูเลตความถี่ และเครื่องส่งที่มีกำลังมาก จึงเป็นการลดต้นทุนของระบบการสื่อสาร

ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งที่ทาง FCC ได้อนุญาตให้ใช้ในระบบการสื่อสารนี้จะอยู่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และจากการที่ช่วงความถี่ที่ FCC กำหนดให้ใช้มีขนาดกว้างมาก ดังนั้นระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจึงสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารในระบบการสื่อสารได้เป็นจำนวนมาก โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบสื่อสารกับแบนวิดท์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนี้ สามารถแสดงได้ในสมการที่ 2.1

$$C = B\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right) \qquad (2.1)$$

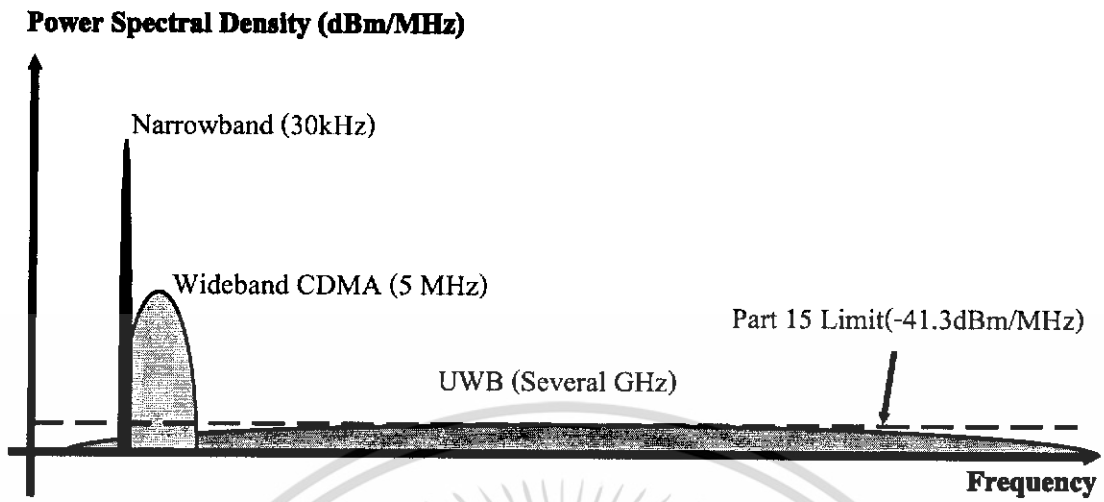
โดยที่ C คือ ความจุช่องสัญญาณ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps)

B คือ แบนด์วิดของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูล มีหน่อยเป็น (Hz)

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

ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เป็นระบบการสื่อสารที่มีแบนวิดท์ของระบบที่กว้างมาก และได้ไปทับซ้อนกับระบบการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น WLAN เป็นต้น ดังนั้นทาง FCC จึงได้มีการกำหนดกำลังงานของระบบที่แพร่ออกมาในช่องสัญญาณของระบบสื่อสารประเภทนี้ไว้ที่ระดับ -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวนโดยในรูปที่ 2.1 แสดงระดับกำลังงานและช่วงความถี่ของระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารอื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบ UWB

จากรูปที่ 2.1 จะพบว่าระดับกำลังงานของระบบการสื่อสาร UWB นั้นจะอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน ดังนั้นสัญญาณของระบบการสื่อสาร UWB จึงไม่ไปรบกวนกับสัญญาณของระบบสื่อสารเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุให้สามารถนำเอาระบบการสื่อสาร UWB ไปใช้งานในที่ๆ มีระบบการสื่อสารเดิมใช้อยู่ได้

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.2.1 ระบบการสื่อสาร UWB ที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ

ระบบการสื่อสาร UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ โดยจุดเด่นของระบบ UWB ก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาทีจึงทำให้มี ความหนาแถบกำลังในแถบความถี่ที่กว้างมาก ดังนั้นจึง แผ่กระจายช่วงความถี่ได้กว้าง ในระดับ GHz และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนวิดท์ที่กว้างมากจึงสามารถทำให้รองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์มีความแคบมากจึงทำให้ดิวตีไซเคิล (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบ UWB โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth แล้วก็พบว่าระบบ UWB จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าว ทั้งทางด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้พลังงานที่ต่ำกว่า รวมถึงความสมมารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi-Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม สำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบันนั้นระบบ UWB จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่าซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าว ระบบ UWB จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทให้ความบันเทิงภายในบ้าน

2.2.2 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร UWB

ถ้าจะกล่าวถึงระบบ UWB รวมถึง อิมพัลส์ (impulse) พัลส์แคบ (short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซนูอยด์ (non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (carrierless) แถบกว้างยวดยิ่ง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (mono-pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสาร เช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนที่น้อยและต้นทุนที่ต่ำของระบบสื่อสาร UWB เกิดขึ้นจากปัจจัยลักษณะเบสแบนด์ (baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์น้อยมากๆ ในโดเมนของเวลา ซึ่งสามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์ รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้น จะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดี โดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น และตัวผลิตความถี่ จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำ และลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณ UWB นี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยาก และยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณในระบบ UWB นั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณ ที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น มีการแพร่กระจายกำลังในระดับต่ำ โดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน จึงทำให้ระบบอื่นมองว่า สัญญาณแถบกว้างยิ่งนี้คือ สัญญาณรบกวน เลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง ในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนในส่วนของจำนวนผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุ แบบอิมพัลส์ ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบอื่นทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้น ทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก ซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั่นหมายถึง ระบบวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ มากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด GPS และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณ UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.3 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสาร UWB

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสาร UWB คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มผู้ทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการลงมือจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยี UWB จากข้อกำหนดเดิมของ FCC โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า กลุ่มการทำงานแถบกว้างยิ่ง(UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับแบบสอบถาม (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณ ที่มีระดับต่ำมากๆแล้วก็ตามยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการทำระบบ UWB มาใช้งานสำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อสารของพลเรือน ซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์ และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบิน และทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

2.3.1 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อเทคโนโลยี UWB ในสหรัฐอเมริกา

เมื่อเทคโนโลยี UWB ได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้จึงได้มีองค์กรวางแผนวิจัยด้านการป้องกัน (DARPA)ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่ง สำหรับสัญญาณ UWB ซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ต่อความถี่กลางของสัญญาณต้องมีค่ามากกว่า 0.25

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ค.ศ.2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบ UWB ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับหนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่ง ได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เมษายน ค.ศ.2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งและกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัดอัตราส่วนแบนด์วิดท์ต่อความถี่กลางของสัญญาณเหลือไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2

2.3.1.1ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อสมการรูปคลื่น

FCCได้นิยามอุปกรณ์ UWB ว่าจะต้องมีข้อกำหนดตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1) ระบบการสื่อสารแบบ UWB มีการใช้แบนวิดท์ ในการส่งสัญญาณน้อยที่สุด 20 % ของความถี่กลาง โดยที่การหาค่าเปอร์เซ็นต์แบนวิดท์ นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

2) จะต้องมีแบนวิดท์ ทั้งหมด น้อยที่สุด 500 MHz และมากที่สุด 7.5 GHz ซึ่งแบนวิดท์หาได้จากสมการที่ 2.3

$$\%BW = \frac{2\left(f_H - f_L\right)}{f_H + f_L} \times 100\% \geq 20\% \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BW = f_H - f_L \geq 500 \text{ MHz} \tag{2.3}$$

$$f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \tag{2.4}$$

โดยที่ BW คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ

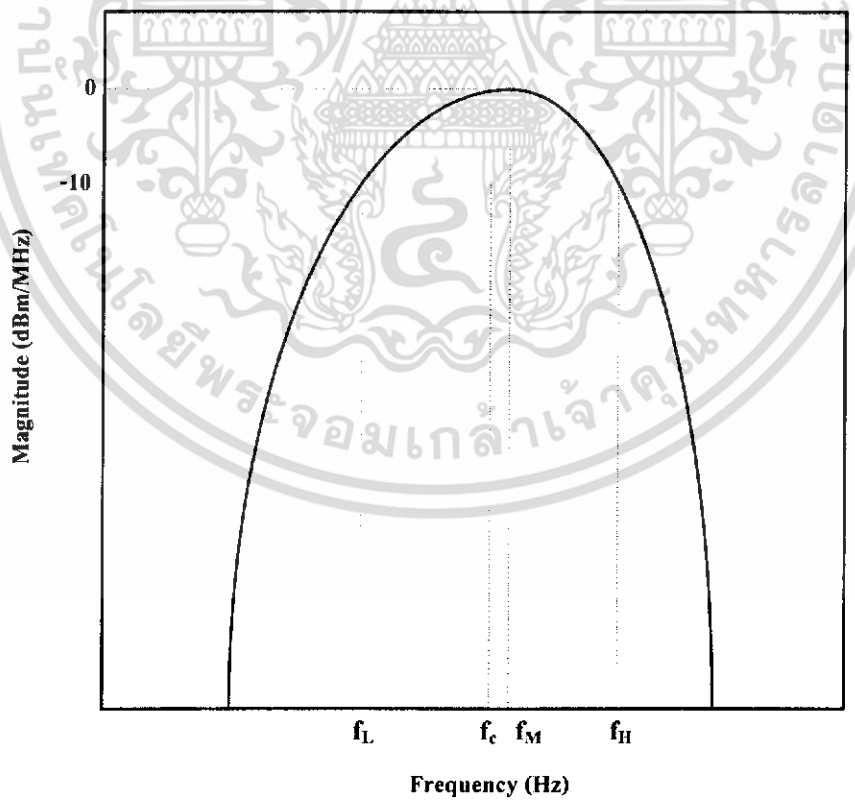
f_H คือ ค่าขอบความถี่บนของระบบการสื่อสาร

f_L คือ ค่าขอบความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร

f_C คือ ค่าความถี่กลาง หาได้จากสมการที่ 2.4

ในระบบการสื่อสาร UWB นี้ สามารถกำหนดแบนวิดท์ได้จาก ช่วงห่างระหว่างความถี่บน (f_H) และความถี่ล่าง (f_L) ของระบบ โดยที่ค่าของความถี่ทั้งสองนี้ จะกำหนดได้จากค่าที่ลดลงมา -10 dB จากค่าที่มีแม็กนิจูดสูงสุด (f_M) ของพัลส์

สำหรับ UWB จะจัดสรรแถบความถี่ ที่ใช้งานอยู่ในย่านความถี่ 3.1 GHz-10.6 GHz การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กล่าวมาสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.2

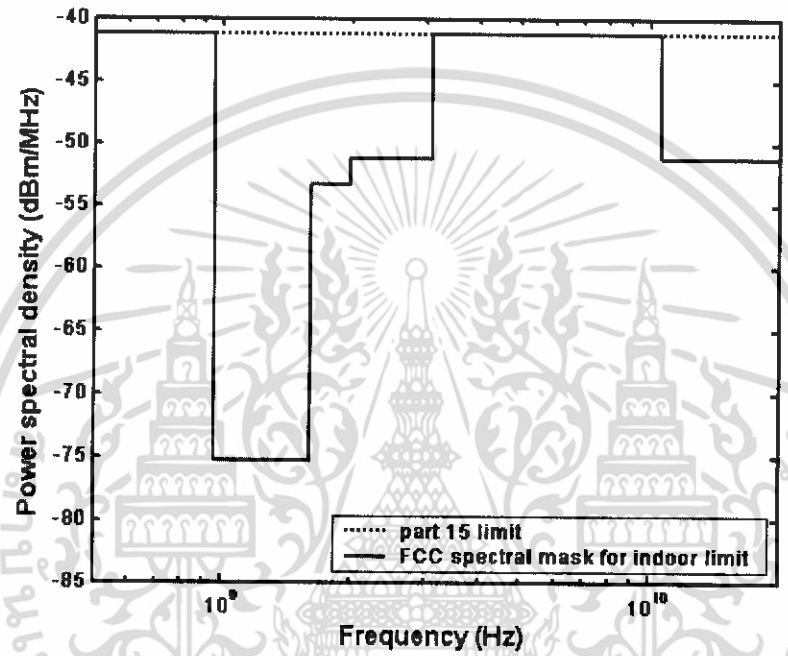


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากสเปคตรัม

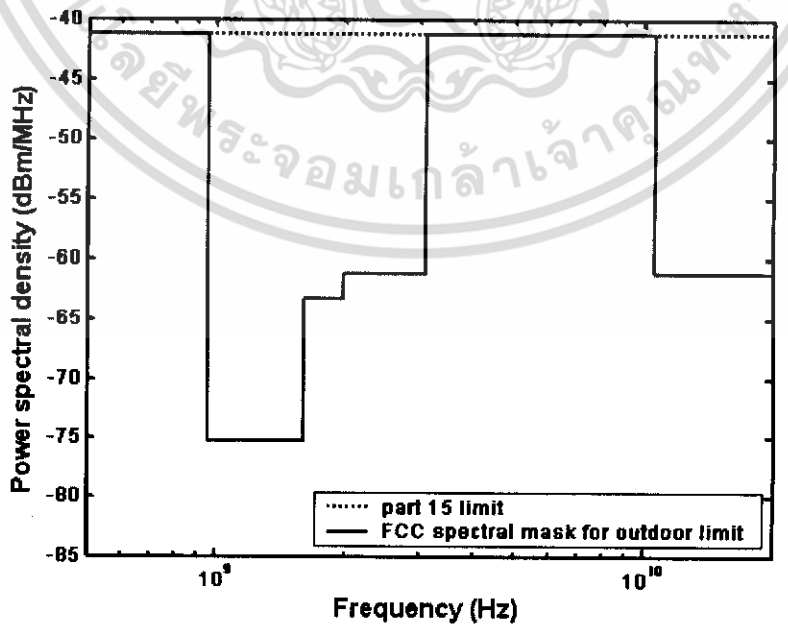
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัม

ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ในภาคส่งของอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ตามลำดับ รูปที่ 2.3 เป็นรูประดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารรูปที่ 2.4 แสดงระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคาร



รูปที่ 2.3 ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคาร



รูปที่ 2.4 ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 2 รูปมีข้อกำหนดที่เหมือนกันคือ

1) ย่านความถี่ที่กำหนดให้ใช้สำหรับเทคโนโลยี UWB จะอยู่ระหว่าง 3.1 GHz – 10.6 GHz

2) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี UWB ตามมาตราฐานฉบับร่าง IEEE 802.15.3a สัญญาณที่ใช้ส่งจะต้องมีความหนาแน่นกำลังงานที่ใช้ส่งได้ไม่เกิน -41.25 dBm/MHz

สำหรับข้อแตกต่างของระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมของรูปทั้ง 2 รูป คือ ในส่วนของข้อกำหนดระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารสามารถอนุญาตให้ใช้กำลังได้สูงกว่าระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคาร ในส่วนของบริเวณที่ใกล้เคียงย่านความถี่ UWB (3.1 GHz -10.6 GHz) ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 สาเหตุที่อนุญาตให้ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารมีกำลังส่งสูงกว่าระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคารในบริเวณที่ใกล้เคียงย่านความถี่ UWB เป็นเพราะว่า การสื่อสารของสัญญาณที่ใช้ภายในอาคารจะไปรบกวนระบบสื่อสารอื่นนั้น ทำได้น้อยกว่าการสื่อสารของสัญญาณที่ใช้ภายนอกอาคาร เนื่องจากภายในอาคารจะสามารถดูดกลืนสัญญาณคลื่นที่มีการแพร่กระจายไปในอากาศได้มากกว่า ไม่ว่าจะเป็น ฝาผนัง หรือ ตัวมนุษย์ซึ่งเป็นตัวดูดกลืนสัญญาณที่ดี ส่วนภายนอกอาคารการดูดกลืนสัญญาณที่แพร่กระจาย จะทำได้น้อยหรืออาจจะไม่มีเลย ซึ่งอาจจะไปรบกวนต่อระบบอื่นได้ และนี้ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อกำหนดกำลังส่งของสัญญาณมีความแตกต่างกันระหว่างการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร ข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดของ FCC สำหรับค่าระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในและภายนอกอาคาร

ช่วงความถี่ที่กำหนด (MHz)	ภายในอาคาร EIRP (dBm/MHz)	ภายนอกอาคาร EIRP (dBm/MHz)
960-1610	-73.5	-75.3
1610-1990	-53.3	-63.3
1990-3100	-51.3	-61.3
3100-10600	-41.3	-41.3
มากกว่า 10600	-51.3	-61.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แอพพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยี UWB คือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ที่ใช้แถบความถี่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 110 Mb/s ภายในรัศมี 10 m และ 200 Mb/s ภายในรัศมี 4 m จะเห็นได้ว่า UWB สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่าง มาก และในการใช้งานจริงเราสามารถนำ UWB มาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด เมื่อเราแบ่ง ตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมด อัตราการส่งข้อมูลสูง (HDR) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 Mb/s ในระยะใกล้ อีกโหมดคือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นหาตำแหน่ง (LDR/LT) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สาย สามารถใช้บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำเพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นภาพว่า ในอนาคตเราสามารถนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างไรบ้าง ดังนั้นเราจึงแบ่งการใช้งานในอุตสาหกรรมและในการบริการ เป็นดังนี้

2.4.1 โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง

โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (HDR-WPAN) คือโครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลาง (5-10 ชิ้นต่อห้อง) มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็ว 100-150 Mb/s ภายในระยะ 1 ถึง 10 m สถาปัตยกรรมหลักที่ใช้ในการสื่อสารเป็นแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer-To-Peer) และใช้ รีเลย์/บริดจ์ (Relay/ Bridge)ในการเชื่อมโยงกับโครงข่ายภายนอก ซึ่งจะเป็นแบบไร้สาย หรือใช้สายเคเบิลก็ได้

2.4.2 การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย

การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย (WEIL) เป็นการขยายแนวคิดเพิ่มเติมจากการส่งสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง (HDR) ให้สูงยิ่งขึ้นไปอีก (1Gb/s, 2.5 Gb/s) ซึ่งการเชื่อมโยงไร้สายแบบนี้จะสามารถทำได้ภายในระยะสั้นมาก หรือภายในรัศมี 1-2 m WEIL เกิดขึ้นได้มาจากความต้องการของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการให้การเชื่อมโยงโครงข่ายอีเทอร์เน็ตที่ใช้สายเคเบิลเปลี่ยนไปใช้แบบไร้สายแทน และจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้การส่งสัญญาณวีดีโอแบบไร้สายระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับจาก LCD มีคุณภาพสูง

2.4.3 โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ

โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ (IWAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสูง ที่อยู่เป็นพื้นที่ภายในหรือพื้นที่สำนักงานทั่วไป ภายในระยะ 30 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์

โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ (OPPN) เป็นโครง ข่ายสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร UWB ที่อยู่บริเวณภายนอก เป็นไปตามความต้องการของตลาดการให้บริการที่จะเกิดขึ้นมาใหม่ สำหรับเครื่อง PDA ที่จะส่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและอย่างร้านให้บริการข้อมูลดิจิตอลความเร็วสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อความหนังสือพิมพ์ รูปภาพ ให้บริการเช่าม้วนเทป VDO, VCD, DVD เป็นต้น

2.4.5 โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์

โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ (SPIN) เป็นโครงข่ายของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย อย่างเช่น เซ็นเซอร์ที่มีความหนาแน่นสูง (หลายร้อยชิ้นต่ออาคาร 1 ชั้น) ที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงเก็บสินค้า มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็วต่ำ (อยู่ประมาณช่วงหลายสิบ Kb/s) และสามารถส่งสัญญาณข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของตัวอุปกรณ์เพื่อใช้หาตำแหน่งได้ด้วย (มีความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดไม่เกิน 1 m) สถาปัตยกรรมของโครงข่ายจะมีระยะในการส่งสัญญาณไม่เกิน 100 m ระหว่าง อุปกรณ์กับสถานีแม่ข่ายเป็นแบบ มาสเตอร์-สเลฟ (Master-Slave) โครงข่าย SPIN มีความต้องการเชื่อมโยงสัญญาณที่มีความน่าเชื่อถือสูง และคุณลักษณะของระบบที่ปรับเปลี่ยนตัวเอง ให้เหมาะสมเพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัตรของเครื่องอุปกรณ์ และเรื่องสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายสัญญาณ โครงข่ายที่ 1 ถึง 3 เป็นโครงข่ายที่อุปกรณ์ UWB อยู่ในบริเวณที่อยู่อาศัยหรือตามสำนักงาน ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ส่งผ่านแบบไร้สาย จะเป็นสัญญาณวีดีโอเพื่อความบันเทิง, สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ ที่ใช้ในโหมด HDR โครงข่ายที่ 4 เป็นโครงข่าย สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่บริเวณภายนอกมีลักษณะแบบเพียร์ทูเพียร์ และโครงข่ายที่ 5 เป็นโครงข่ายที่อยู่ในอุตสาหกรรมและการพาณิชย์

2.5 การแปลงฟูเรียร์

การแปลงฟูเรียร์และอนุกรมฟูเรียร์เป็นคณิตศาสตร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ ในสาขาการประมวลผลสัญญาณจึงนิยมนำการแปลงฟูเรียร์มาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะการแปลงฟูเรียร์และอนุกรมฟูเรียร์นี้จะมีสัญญาณไซน์และโคไซน์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณทั้งสองจะมีความสำคัญมากเพราะเป็นสัญญาณพื้นฐานสำหรับพิจารณาสัญญาณอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การแปลงฟูเรียร์ดิสครีต

การแปลงฟูเรียร์ดิสครีต DFT ได้พัฒนาขึ้นมาในการแปลงสัญญาณดิจิตอลซึ่งอยู่ในโดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า DFT เป็นการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ DFT มีวิธีการในการคำนวณที่ซับซ้อนมีจำนวนครั้งในการคำนวณมากและใช้เวลาในการคำนวณมาก ต่อมาเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาการแปลงให้เร็วขึ้นซึ่งเรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) ซึ่งจะทำให้การคำนวณ FFT ใช้การคูณคำนวณเชิงซ้อนเพียง $N\log_2 N$ ครั้งเท่านั้นหรือทำให้จำนวนครั้งในการคูณตัวเลขลดลงไปถึง $N/(\log_2 N)$ เท่า FFT จะมีลักษณะคล้ายกับการแปลง DFT แต่ FFT นี้จะมีวิธีการในการจัดแบ่งข้อมูลแล้วทำการคำนวณซึ่งจำนวณข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจะต้องเป็นค่า 2 ยกกำลัง n โปรแกรม MATLAB ได้มีฟังก์ชันในการคำนวณหาค่า DFT และ FFT ซึ่งมีกระบวนการในการคำนวณสอดคล้องกับสมการดังนี้

$$f(n) \rightarrow F(k) \tag{2.5}$$

$$F(k) = FFT\{f(n)\} \tag{2.6}$$

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j2\pi nk/N} \tag{2.7}$$

เมื่อทำการเลื่อน n ไปหนึ่งค่าโดยเริ่มที่ n = 1 จะมีสมการผลลัพท์เป็นดังสมการที่ (2.8) ดังนี้

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N} f(n) e^{-j2\pi(k-1)\left(\frac{n-1}{N}\right)} \quad ,k = 1,2,3,\ldots,N \tag{2.8}$$

เมื่อทำการแปลงกลับ

$$f(n) \leftarrow F(k) \tag{2.9}$$

$$f(n) = FFT^{-1}\{F(k)\} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(n)=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}F(k)e^{j2\pi(k-1)\left(\frac{n-1}{N}\right)} \qquad \text{,n = 1,2,3,...,N} \qquad (2.11)$$

2.5.2 อนุกรมฟูเรียร์

อนุกรมฟูเรียร์ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการแก้ปัญหาต่างๆ ในทางวิศวกรรม ฟังก์ชันสัญญาณที่นำมาพิจารณาเป็นฟังก์ชันคาบซึ่งแทนในเทอมของฟังก์ชันที่เป็นคาบของสัญญาณไซน์และโคไซน์ที่เป็นอนุกรมกันซึ่งเรียกว่า อนุกรมฟูเรียร์ เพื่อง่ายต่อความเข้าใจสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$f(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}f_n.e^{jn\omega_0 t} \qquad (2.12)$$

เมื่อ $Fn=\frac{1}{T}\int_{t}^{t+T_o}f(t)e^{-jn\omega_0 t}$

ถ้าให้ f(t) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีคาบ T ดังนั้นจะได้

$$f(t)=\frac{1}{2}a_0+a_1\cos\omega_0 t+a_2\cos 2\omega_0 t+...+b_1\sin\omega_0 t+b_2\sin 2\omega_0 t+... \qquad (2.13)$$

เราสามารถเขียนอนุกรมฟูเรียร์แบบตรีโกณมิติให้อยู่ในรูปผลบวกได้ดังนี้

$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}\{a_n\cos(n\omega_0 t)+b_n\sin(n\omega_0 t)\} \qquad (2.14)$$

เมื่อสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์มีค่าเท่ากับ

$$a_0=\int_{t}^{t+T0}f(t)dt \qquad (2.15)$$

$$a_n=\int_{t}^{t+T0}f(t)\cos(n\omega_0 t)dt \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_n = \int_{t}^{t+T0} f(t)\sin(n\omega_0 t)dt \qquad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.13 เรียกว่าอนุกรมฟูเรียร์แบบตรีโกณมิติ และพบว่า อนุกรมฟูเรียร์เป็นผลรวมขององค์ประกอบคลื่นซายน์ที่มีความถี่ต่างกันหลายความถี่ องค์ประกอบคลื่นซายน์ที่ความถี่ต่างๆ $\omega_n = n\omega_0$ นี้เรียกว่าฮาร์โมนิคที่ n ของฟังก์ชันคาบ และเรียกฮาร์โมนิคแรกว่า ส่วนประกอบพื้นฐาน เนื่องจากมีคาบเวลาเหมือนกับฟังก์ชัน ดังนั้นจะได้ความถี่พื้นฐานมีค่าเป็น $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ของอนุกรมฟูเรียร์แล้วหาความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อนุกรมฟูเรียร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะได้ว่า

$$a_0 = F_0 \qquad (2.18)$$

$$F_n = f_{-n} = \frac{1}{2}(a_n - jb_n) \qquad (2.19)$$

$$a_n = 2\,\mathrm{Re}\{F_n\} \qquad (2.20)$$

$$b_n = -2\,\mathrm{Im}\{F_n\} \qquad (2.21)$$

2.6 สัญญาณพลังงานและสัญญาณกำลัง

สัญญาณในระบบไฟฟ้าสามารถแสดงได้ในรูปของแรงดันหรือกระแส พิจารณาสัญญาณแรงดันขนาด v(t) ที่ตกคร่อมความต้านทาน R และก่อให้เกิดกระแสขนาด i(t) ค่ากำลังของสัญญาณที่เวลาใด ๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$p(t) = \frac{v^2(t)}{R} \quad \text{วัตต์} \qquad (2.22)$$

หรือ

$$p(t) = i^2(t)R \quad \text{วัตต์} \qquad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ R = 1 โอห์ม เราจะได้ว่าค่ากำลังของสัญญาณ p(t) คือค่าแรงดันหรือกระแสยกกำลังสอง ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์สัญญาณโดยทั่วไปจึงมักจะมีการนอร์มอลไลซ์ให้ค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1 โอห์ม ค่ากำลังของสัญญาณ x(t) ที่อาจจะแสดงอยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสจึงสามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$p(t) = x^2(t) \qquad \text{วัตต์} \tag{2.24}$$

จากสมการข้างต้น จะได้ว่าพลังงานทั้งหมดของสัญญาณ มีค่าเป็น

$$E = \lim_{T\to\infty} \int_{-T}^{T} |x(t)|^2 \, dt \tag{2.25}$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 \, dt \qquad \text{จูล} \tag{2.26}$$

และกำลังเฉลี่ย ของสัญญาณ x(t) มีค่าเป็น

$$P = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} |x(t)|^2 \, dt \qquad \text{วัตต์} \tag{2.27}$$

อาศัยสมการที่แสดงข้างต้น สัญญาณ x(t) ที่จัดว่าเป็นสัญญาณพลังงาน จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

$$0 < E < \infty \tag{2.28}$$

สัญญาณ x(t) ใด ๆ จะจัดเป็นสัญญาณกำลัง จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ

$$0 < P < \infty \tag{2.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

62881

สัญญาณ x(t) ใด ๆ จะจัดเป็นสัญญาณพลังงานหรือสัญญาณกำลังได้เพียงรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น โดยสัญญาณพลังงานจะมีค่ากำลังเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ขณะที่กำลังจะมีพลังงานเป็นอนันต์ สังเกตว่าสัญญาณเป็นคาบและสัญญาณแรนดอมจะจัดอยู่ในประเภทสัญญาณกำลังเสมอ

2.6.1 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม

โดยทั่วไปนั้นสัญญาณมากมายที่มีพลังงานอยู่ในตัวมันเป็นอนันต์ แต่ทว่ามีค่ากำลังเฉลี่ยที่มีค่าจำกัด จึงทำให้การจะหาค่าการแปลงฟูเรียร์ หรือค่าฟังก์ชั่นความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของสัญญาณจำพวกนี้ทำไม่ได้ทำให้ขาดข้อมูลในโดเมนความถี่ไป เพื่อชดเชยความขาดหายนี้จึงได้มีการคิดหาทางออกที่จะใช้ปริมาณอื่น เพื่อบอกคุณสมบัติของสัญญาณนั้นในโดเมนของความถี่ขึ้น และเนื่องจากสัญญาณที่เรากำลังสนใจอยู่นี้เป็นสัญญาณประเภทที่มีกำลังเฉลี่ยที่มีค่าจำกัด ดังนั้นปริมาณในโดเมนความถี่ที่จะหามาใช้นี้ ถ้าใช้แสดงความเกี่ยวข้องกับกำลังค่าเฉลี่ยของสัญญาณนี้ได้ ก็จะมีประโยชน์ไม่น้อยกำลังเฉลี่ยของสัญญาณ f(t) ภายในช่วงเวลา T กำหนดได้โดย

$$P = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2\, dt \tag{2.30}$$

ดังนั้น เมื่อให้ T มีค่าจำกัดอยู่และทำการกำหนด $f_T(t)$ ขึ้นด้วยเงื่อนไขดังนี้ คือ

$$F_T(t) = f(t)p\left(\frac{t}{T}\right) \tag{2.31}$$

โดยที่ $p\left(\frac{t}{T}\right)$ คือฟังก์ชันเกต แล้วจะเห็นว่า $F_T(t)$ นี้ก็คือ f(t) ที่มีค่าอยู่เฉพาะในช่วงเวลา $\left(-\frac{T}{2},\frac{T}{2}\right)$ ดังนั้น f(t) นี้จึงมีค่าพลังงานที่จำกัด เพราะฉะนั้น เราจึงสามารถหาค่าการแปลงฟูเรียร์ของมันได้ คือ

$$P = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_{-\infty}^{\infty} |f_T(t)|^2 dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} |F_T(\omega)|^2 d\omega \qquad (2.32)$$

เมื่อ $F_T(\omega)$ คือ ค่าการแปลงฟูเรียร์ของ $f_T(t)$

แม้ว่าในกรณีนี้ $F_T(\omega)$ จะไม่ใช่การแปลงฟูเรียร์ของ f(t) ก็ตามแต่ถ้ามีการขยายช่วงระยะเวลา T ให้มีค่ามากขึ้นไปสู่อนันต์ คือ $\lim_{T\to\infty} f_T(t)$ แล้วจะพบว่าค่าลิมิตนี้จะมีค่าเข้าไปสู่ค่า f(t) ในที่สุดทำให้กล่าวได้ว่า $\lim_{T\to\infty} F_T(\omega)$ นี้ก็จะมีค่าลิมิตไปสู่ค่า $F(\omega)$ สามารถอธิบายในรูปของลิมิตคือ

$$P = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |f_T(t)|^2 dt$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T\to\infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T} d\omega \qquad (2.33)$$

โดยการพิจารณาพจน์ขวามือสุดของ (2.32) ทำให้รู้ว่าค่า $\lim_{T\to\infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T}$ นี้สามารถใช้แสดงให้เรารู้ถึงการกระจายส่วนของกำลังของสัญญาณ f(t) ที่ความถี่ต่าง ๆ ได้จึงมีการให้ความสนใจกับปริมาณ $\lim_{T\to\infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T}$ นี้เป็นพิเศษ และกำหนดนิยามให้มัน คือ ฟังก์ชั่นความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (PSD) ของสัญญาณ f(t) มีสัญลักษณ์เป็น $S_f(\omega)$ มีหน่วยเป็น W/s หรือ W/Hz ดังนั้น จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_f(\omega) d\omega$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T\to\infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T} d\omega \qquad (2.34)$$

ในทางปฏิบัติ มักนิยมเรียกค่าฟังก์ชั่นความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมนี้ว่า สเปกตรัมความหนาแน่นกำลัง ของ f(t) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า สเปกตรัมของกำลัง ของ f(t) เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ลิมิตของการทำปริพันธ์ใน (2.32) มีค่าไม่ถึงอนันต์ กล่าวคือถ้ากำหนดให้

$$G_f(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\omega} S_f(z)dz \tag{2.35}$$

จะพบว่า $G_f(\omega)$ นี้คือ ผลบวกของส่วนที่เป็นกำลังของ f(t) ที่เกิดจากองค์ประกอบของสัญญาณที่มีค่าความถี่ตั้งแต่ ω ลงมาทั้งหมด ค่าฟังก์ชัน $G_f(\omega)$ นี้ถูกกำหนดเรียกว่า สเปกตรัมกำลังสะสม ของ f(t) ควรสังเกตว่าค่ากำลังเฉลี่ยที่รวมอยู่ในส่วนขององค์ประกอบสัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่ ω_1 ถึง ω_2 นั้น จะมีค่าเท่ากับ $G_f(\omega_1)$-$G_f(\omega_2)$

จาก (2.34) ทำให้เราแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $G_f(\omega)$ และ $S_f(\omega)$ ได้ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ

$$2\pi\frac{dG_f(\omega)}{d\omega} = S_f(\omega) \tag{2.36}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
สมการรูปคลื่น

3.1 บทนำ

การวิเคราะห์รูปคลื่นสำหรับเทคโนโลยี UWB มีการนำเสนอหลายรูปแบบมากมาย แต่ไม่ได้พิจารณาถึงข้อกำหนดของ FCC และ ข้อกำหนดสเปกตรัมที่ระบุโดย FCC มีเทคนิคมากมายสำหรับการออกแบบรูปคลื่นของเทคโนโลยี UWB เช่น โดยใช้ ฟังก์ชันเฮอร์มิท (Hermite function) ฟังก์ชันคลื่นโพรเลทสเฟียโรไอดอล (Prolate Spheroidal Function) และใช้เทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical Technique) แม้ว่ารูปคลื่นที่ได้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่เทคนิคพวกนี้นั้นยังมีอัลกอลิทึม (Algorithms) ที่มีความยุ่งยากอยู่

ในหัวข้อที่ 3.2 จะกล่าวถึงสมการรูปคลื่นที่เราสนใจที่จะใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง ซึ่งในการศึกษาและวิเคราะห์ในโครงงานนี้จะมีรูปคลื่นที่จะนำมาทำการศึกษาและวิเคราะห์ทั้งหมด มี 6 รูปแบบด้วยกันคือ

1) รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)
2) รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform)
3) รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform)
4) รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform)
5) รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform)
6) รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)

สำหรับหัวข้อที่ 3.3 จะเป็นขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการรูปคลื่น สำหรับโครงงานนี้จะทำการศึกษารูปคลื่นจากสมการรูปคลื่นแต่ละแบบ ทั้ง 6 แบบดังที่กล่าวมาแล้ว แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ FCC เพื่อให้ตรงตามข้อกำหนดของ FCC โดยจะพิจารณาทั้งรูปแบบของสัญญาณและรูปแบบของสเปคตรัมโดยการใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ เพื่อหาสัญญาณที่ดีที่สุดที่ได้ตามข้อกำหนดของ FCC

สำหรับสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นสัญญาณที่ได้มาจากการนำเอาสมการรูปคลื่นในรูปแบบต่างๆมาพอร์ตโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมและมีความจำเป็นต่อสมการเพื่อให้ได้สมการที่มีลักษณะรูปคลื่นที่ตรงตามข้อกำหนดของ FCC โดยสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์จะต้องไม่เกินระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่กำหนดโดย FCC ทั้งที่ใช้ภายในและภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาสัญญาณที่ดีที่สุดสำหรับการสื่อสารของเทคโนโลยี UWB สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ข้อกำหนดต่างๆของ FCC ที่มีต่อสัญญาณรูปคลื่น และต้องปฏิบัติตามข้อกำหนด FCC ที่มีต่อ ระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัม ที่ใช้ในการกำหนดกำลังส่งของสัญญาณ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ในโครงงานนี้สิ่งที่ต้องการที่จะได้จากการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณคือต้องการได้สัญญาณที่ดีที่สุดที่ใช้ในเทคโนโลยี UWB คุณลักษณะของรูปคลื่นที่ดี ที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ของเทคโนโลยี UWB จะต้องมีคุณลักษณะดังนี้ คือ

1. มีแบนด์วิดที่กว้าง เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจาก เฟดดิ้งหลายวิถี
2. มีแอมปลิจูดสูง เพื่อทำให้สัญญาณมีค่ายอดที่สูงขึ้น ง่ายต่อการตรวจรับ
3. มีกำลังเฉลี่ยที่สูง เพื่อทำให้อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่ามากขึ้น

3.2 สมการรูปคลื่น

สมการรูปคลื่นที่จะนำมาทำการศึกษาและวิเคราะห์ทั้งหมด มี 6 รูปแบบด้วยกันคือ

1) สมการรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)
2) สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform)
3) สมการรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform)
4) สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform)
5) สมการรูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform)
6) สมการรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)

ทั้ง 6 รูปแบบจะเป็นสมการของสัญญาณพัลส์ ที่อยู่ในรูปของ โดเมนด์เวลา และเมื่อทำ FFT ก็จะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งสมการทั้ง 6 แบบจะได้กล่าวถึง ดังต่อไปนี้

3.2.1 สมการรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)

สมการรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลา (f(t)) และเป็นสมการสเปกตรัมของสัญญาณ (F(f)) ที่อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$f(t) = \frac{A}{f_b}\left[f_H \operatorname{sinc}(2f_H t) - f_L \operatorname{sinc}(2f_L t)\right] \qquad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F(f) = \begin{cases} \dfrac{A}{2f_b} & \left|\left|f\right| - f_c\right| \le \dfrac{f_b}{2} \\ 0 & \left|\left|f\right| - f_c\right| > \dfrac{f_b}{2} \end{cases} \tag{3.2}$$

โดยที่ A คือ แอมปลิจูดสูงสุด มีหน่วยเป็น v

f_b คือ แบนวิดท์ ของสัญญาณ มีหน่วยเป็นHz

f_c คือ ความถี่กลาง มีหน่วยเป็นHz

f_H คือ ค่าขอบความถี่บนของระบบการสื่อสาร, $f_H=f_c-f_b/2$

f_L คือ ค่าขอบความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร, $f_L=f_c+f_b/2$

จากสมการรูปคลื่นนี้ มี $A/(2f_b)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัม มีขนาดสูงสุดเป็น $A/(2f_b)$ ในช่วงความถี่ตั้งแต่ -fH ถึง -fL และfL ถึง fH พื้นที่ของความหนาแน่นสเปกตรัม หาได้จาก $\int_{-\infty}^{\infty} F(f)df = A$ ดังนั้นรูปคลื่นมีแอมปลิจูดสูงสุดคือ A ที่ t = 0 และรูปคลื่นนี้คือรูปคลื่นในกรณีอุดมคติสำหรับสัญญาณรูปคลื่นของเทคโนโลยี UWB ที่ใช้ในการพิจารณา ซึ่งมีแบนด์วิดสูงที่สุด แอมปลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยสูงที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (DC) เป็นศูนย์

3.2.2 สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform)

สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลา และสเปกตรัมของสัญญาณ ที่อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่ สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$f(t) = \begin{cases} A\sin(2\pi f_c t) & |t| \le \dfrac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \dfrac{t_b}{2} \end{cases} \tag{3.3}$$

$$F(f) = \frac{At_b}{j2}\left\{\mathrm{sinc}\left[t_b(f-f_c)\right] - \mathrm{sinc}\left[t_b(f+f_c)\right]\right\} \tag{3.4}$$

โดยที่ A คือ แอมปลิจูดสูงสุด มีหน่วยเป็น v

t_b คือ ความกว้างของพัลส์ มีหน่วยเป็น s

f_c คือ ความถี่คลื่นพาห์มีหน่วยเป็น Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นนี้เป็นการมอดูเลตรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีแอมพลิจูด A และมีความกว้าง t_b (จาก $-t_b/2$ ถึง $t_b/2$) ด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ f_c เนื่องจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่จึงใช้ฟังก์ชันไซน์ซึ่งมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่มามอดูเลตรูปคลื่นนี้เพื่อทำให้ส่วนประกอบ DC ของรูปคลื่นมีค่าเป็นศูนย์

3.2.3 สมการรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform)

สมการรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลา และสเปกตรัมของสัญญาณ ที่อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่ สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2}\sin(2\pi f_c t) \tag{3.5}$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{j2}\left[e^{-\pi^2 d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi^2 d^2 (f+f_c)^2}\right] \tag{3.6}$$

โดยที่ A คือ แอมปลิจูดสูงสุด (Maximum Amplitude) มีหน่วยเป็น v

d คือ คุณสมบัติการลดลงทางเวลาที่มีค่าเท่ากับ 1/e มีหน่วยเป็น s (e = 2.718)

f_c คือ ความถี่คลื่นพาห์ มีหน่วยเป็นเฮิร์ท Hz

จากสมการรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลท ที่มีแอมพลิจูดสูงสุด A ที่เวลา $t = 0$ และมีแอมพลิจูดลดลงเป็น A/e ที่เวลา $t = \pm d$ ด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ f_c เนื่องจากรูปคลื่นเกาส์นี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่จึงใช้ฟังก์ชันไซน์ซึ่งมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่มามอดูเลตรูปคลื่นนี้เพื่อทำให้ส่วนประกอบ DC ของรูปคลื่นมีค่าเป็นศูนย์เหมือนกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

3.2.4 สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform)

สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท ที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลา และสเปกตรัมของสัญญาณ ที่อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่ สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$f(t) = \begin{cases} A & -\frac{t_b}{2} \le t < 0 \\ -A & 0 < t \le \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2}, t = 0 \end{cases} \tag{3.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F(f) = jAt_b \operatorname{sinc}\left(\frac{t_b f}{2}\right)\sin\left(\frac{\pi t_b f}{2}\right) \tag{3.8}$$

โดยที่ A คือ แอมปลิจูดสูงสุด มีหน่วยเป็น v

t_b คือ ความกว้างของพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที s

สมการรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท จะประกอบด้วยพัลส์สี่เหลี่ยม 2 ลูก ที่มี เฟสต่างกัน180 องศา ทำให้ค่าแอมปลิจูดที่ได้มีค่าตรงกันข้ามกัน พัลส์แต่ละลูกจะมีความกว้าง $t_b/2$ และถ้าพื้นที่ของสัญญาณ $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 0$ แสดงว่ารูปคลื่นมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่จึงมีส่วนประกอบ DC เป็นศูนย์

3.2.5 สมการรูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform)

สมการรูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท ที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลา และสเปกตรัมของสัญญาณ ที่อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่ สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$f(t) = A\left\{e^{-[(t+t_0)/d]^2} - e^{-[(t-t_0)/d]^2}\right\} \tag{3.9}$$

$$F(f) = j2Ad\sqrt{\pi}e^{-\pi^2 d^2 f^2}\sin(2\pi t_0 f) \tag{3.10}$$

โดยที่ A คือ แอมปลิจูดสูงสุด มีหน่วยเป็นโวลท์ v

d คือ คุณสมบัติการลดลงทางเวลาที่มีค่าเท่ากับ 1/e มีหน่วยเป็น s (e = 2.718)

t_0 คือ ช่วงเวลาระหว่างจุดสูงสุดของพัลส์ มีหน่วยเป็นวินาที s

เมื่อ A และ $-A$ คือแอมพลิจูดสูงสุดของรูปคลื่นเกาส์ทางด้านซ้ายและแอมพลิจูดต่ำสุดของรูปคลื่นเกาส์ทางด้านขวาตามลำดับ $-t_0$ และ t_0 คือเวลาที่รูปคลื่นเกาส์ทางด้านซ้ายมีแอมพลิจูดสูงสุดและรูปคลื่นเกาส์ทางด้านขวามีแอมพลิจูดต่ำสุดตามลำดับ $-t_0 \pm d$ และ $t_0 \pm d$ คือเวลาที่รูปคลื่นเกาส์ทางด้านซ้ายมีแอมพลิจูดลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุดและเวลาที่รูปคลื่นเกาส์ทางด้านขวามีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดต่ำสุดตามลำดับ

รูปคลื่นนี้ประกอบด้วยรูปคลื่นเกาส์สองรูปคลื่นอยู่ติดกันที่เวลา $t = 0$ โดยที่รูปคลื่นเกาส์ทางด้านซ้าย ($t < 0$) และรูปคลื่นเกาส์ทางด้านขวา ($t > 0$) มีคุณสมบัติตามที่ได้กล่าวไว้ด้านบน รูปคลื่นนี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่จึงมีส่วนประกอบ DC เป็นศูนย์เหมือนกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 สมการรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)

สมการรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ที่อยู่ในรูปของโดเมนเวลา และสเปกตรัมของสัญญาณ ที่อยู่ในรูปแบบของโดเมนความถี่ สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$f(t) = A\left(1 - \frac{2t^2}{d^2}\right)e^{-(t/d)^2} \tag{3.11}$$

$$F(f) = 2Ad^3\pi^2\sqrt{\pi}f^2e^{-\pi^2d^2f^2} \tag{3.12}$$

โดยที่ A คือ แอมปลิจูดสูงสุด มีหน่วยเป็นโวลท์ v

d คือ คุณสมบัติการลดลงทางเวลาที่มีค่าเท่ากับ 1/e มีหน่วยเป็น s (e = 2.718)

t_b คือ ความกว้างของพัลส์ มีหน่วยเป็น s

สมการรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล เป็นสมการรูปคลื่นที่ได้มาจากการหาอนุพันธ์อันดับสองของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ สัญญาณจะมีแอมปลิจูดสูงสุด คือA ที่เวลา t = 0 รูปคลื่นนี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ สเปกตรัมของรูปคลื่นมีส่วนประกอบกระแสตรงเป็นศูนย์ แอมปลิจูดจะมีค่าเท่ากับ 0 ที่ t = $\pm d/\sqrt{2}$ ดังนั้นความกว้างของพัลส์มีค่าเท่ากับ $\sqrt{2}d$

3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการรูปคลื่น

ในหัวข้อนี้ได้นำแบบจำลองรูปคลื่นทั้งหมดมาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสาร UWB โดยจะพิจารณาให้เป็นไปตามนิยามของ UWB ที่กำหนดโดย FCC ได้กำหนดให้ f_L และ f_H เป็นไปตามเงื่อนไข 3.1 GHz ≤ $f_L < f_H$ ≤ 10.6 GHz รูปคลื่นแต่ละชนิดจะต้องมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่า 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz เพื่อให้ได้องค์ประกอบที่ต่อเนื่องของ PSD จะกำหนดให้มีการมอดูเลตแอมพลิจูดพัลส์ (PAM) ไบนารีที่มีลำดับการสุ่มการกระจายข้อมูลแบบไบนารีที่สมดุลอย่างเป็นอิสระ ดังนั้น PSD ของสัญญาณที่อินพุตของสายอากาศส่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$S(f) = \frac{1}{T_s}|F(f)|^2 \tag{3.13}$$

เมื่อ T_s คือช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่น และ $F(f)$ คือฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่น โดยที่ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสามารถคำนวณได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F(f) = \int_{\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt \qquad (3.14)$$

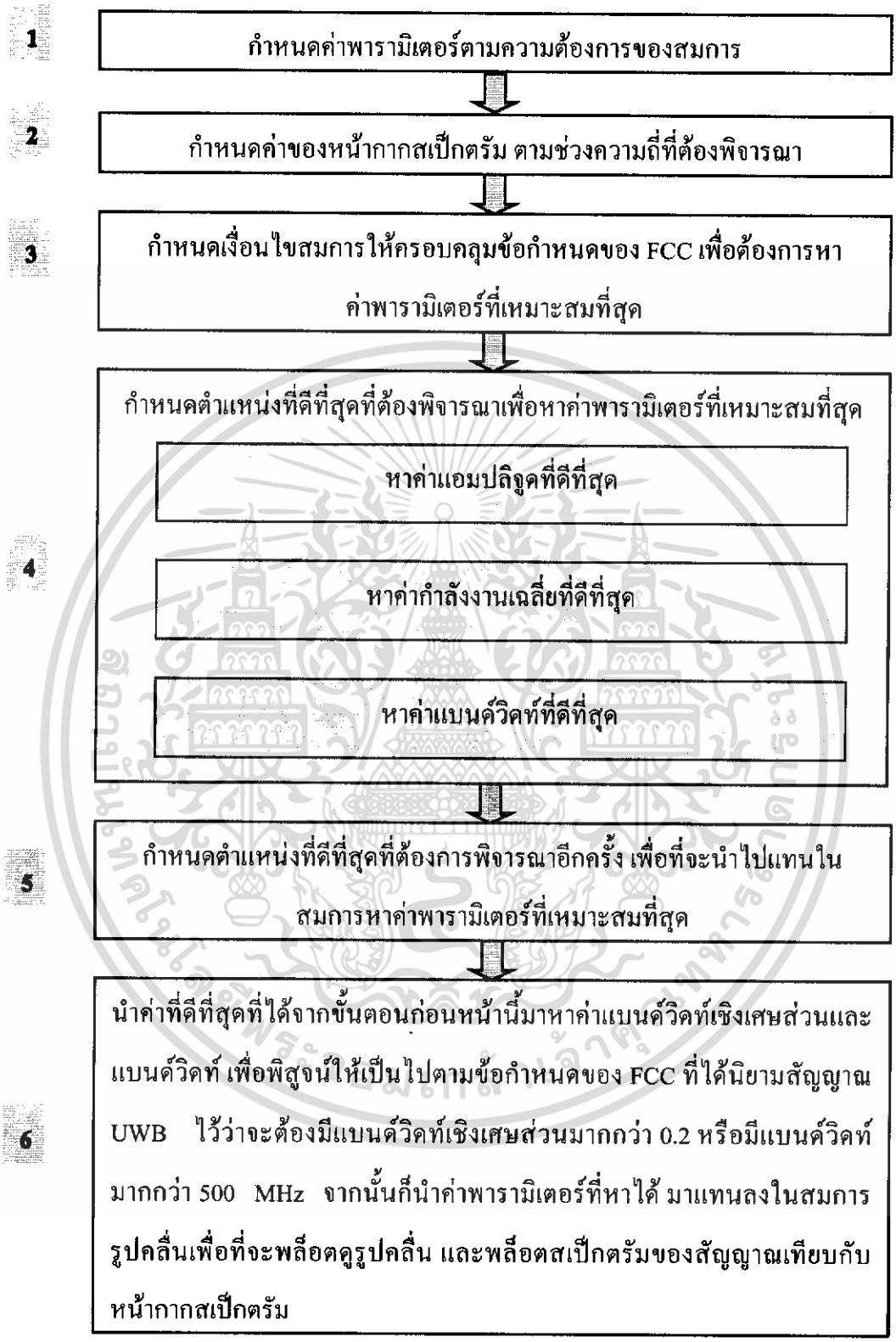
เมื่อ $f(t)$ คือรูปคลื่นในโดเมนเวลา

หลังจากนั้น ได้ทำให้รูปคลื่นเป็นไปตามหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารที่ได้กำหนดไว้โดย FCC ได้ตั้งสมมุติฐานสำหรับรูปคลื่น UWB ที่ดีที่สุดไว้สามแบบ แบบแรกคือรูปคลื่น UWB ควรที่จะมีแบนด์วิดท์กว้างเพื่อลดผลกระทบจากเฟดดิงหลายวิถี แบบที่สองคือรูปคลื่น UWB ควรที่จะมีแอมพลิจูดที่สูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องรับที่ตรวจจับแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ และแบบสุดท้ายคือรูปคลื่น UWB ควรที่จะมีกำลังเฉลี่ยมากเพื่อเพิ่มอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ดังนั้น จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแต่ละชนิดสำหรับแต่ละสมมุติฐานนี้ โดยให้เป็นไปตามเงื่อนไขแบนด์วิดท์กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด ในกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ได้กำหนดความละเอียดของความถี่เป็น 0.01 GHz ความละเอียดของเวลาเป็น 0.01 ns และความละเอียดของแอมพลิจูดเป็น 0.01 V

3.3.1 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการรูปคลื่น

สำหรับหัวข้อนี้ เป็นการแสดงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของสมการรูปคลื่นแต่ละแบบเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปคลื่นที่ดีที่สุด ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในส่วนนี้ก็ได้ใช้การเขียนเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งจะยึดตามข้อกำหนดของ FCC เป็นหลัก สำหรับขั้นตอนในการคิดการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามความต้องการของสมการก็สามารถที่จะเขียนเป็นขั้นตอนสรุปมาเป็นโฟลว์ชาร์ตซึ่งทำให้ง่ายต่อการดูและการเข้าใจ ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 3.1 ซึ่งมีขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ด้วยกัน 6 ขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โฟลว์ชาร์ต การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสัญญาณที่ใช้ในภาคส่งของUWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโฟลว์ชาร์ตดังกล่าว สามารถอธิบาย ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามความต้องการของสมการซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่จะกำหนดขึ้นมานี้จะต้องมีความจำเป็นต่อสมการ สมการในแต่ละแบบจะมีค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นมาจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของสมการ

ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการกำหนดค่าของหน้ากากสเป็กตรัมตามช่วงความถี่ที่ต้องพิจารณา ซึ่งจะพิจารณาทั้งภายในและภายนอกอาคารตามช่วงความถี่ที่กำหนดโดย FCC ซึ่งค่าต่างๆของหน้ากากสเป็กตรัม ก็ได้ให้รายละเอียดไว้ในส่วนที่กล่าวมาแล้ว เพียงแต่เรานำมาเขียนเป็นเงื่อนไขจากค่าทีกำหนด ตามช่วงต่างๆ ในโครงงานนี้จะพิจารณาทั้งหน้ากากสเปกตรัมภายในและภายนอกอาคาร

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขสมการให้ครอบคลุมข้อกำหนดของ FCC เพื่อต้องการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับส่วนของเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆของ FCC ก็ได้กล่าวมาแล้วซึ่งการที่จะทำให้เรารู้พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดนั้นสิ่งที่ขาดไม่ได้ คือเราจะต้องรู้ข้อกำหนด ต่างของ FCC ให้ดีก่อน ต่อมา เราก็นำข้อกำหนดดังกล่าวมาศึกษาและตั้งเป็นเงื่อนไข และจากเงื่อนไขที่ได้เราก็นำเอามาเขียนเป็นสมการ สำหรับการเขียนเงื่อนไขต่างของโครงงานนี้จะใช้โปรแกรม MATHLAB เขียนเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เขียนข้อมูลอยู่ให้อยู่ในรูปฟังชันก์ดูง่ายไม่ซับซ้อน

สำหรับแนวคิดในการกำหนดเงื่อนไขต่างที่มีความจำเป็นต่อการหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดให้กับสมการรูปคลื่น สามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

- การหาค่า A ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดที่จะเป็นไปได้ของรูปคลื่นตามข้อกำหนดของ FCC ในที่นี้จะขอยกแนวคิดวิธีการหาซึ่งหาจากการกำหนดเงื่อนไข ซึ่งค่าที่ได้จะต้องไม่เกิน ค่าของหน้าต่างสเป็กตรัมที่กำหนด ซึ่งอาจจะหาได้จากการเปรียบเทียบของหน้ากากสเปกตรัมกับตำแหน่งที่สูงที่สุดของสมการรูปคลื่นที่อยู่ในฟังก์ชันความถี่ ซึ่งตำแหน่งที่สูงที่สุด ที่ได้จะต้องมีค่าที่ใกล้เคียงกับหน้ากากสเปกตรัมมากที่สุดและเป็นค่าที่สูงที่สุดตลอดช่วงความถี่ที่กำหนด แต่ต้องสูงไม่เกินหน้ากากสเปกตรัม จากค่าตำแหน่งที่สูงที่สุดเราสามารถหา ค่า A ได้โดยการเปลี่ยนหน่วยจาก เดซิเบล ให้เป็นหน่วยของโวลต์ธรรมดา จากสูตร $A(dB) = -20\log_{10}(A(v))$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหาค่า f_H และ f_L หรือ ความถี่ขอบบน และความถี่ขอบล่างตามลำดับ เราสามารถหาได้จากจุดสูงสุดของสเปกตรัมซึ่งใช้วิธีเดียวกันกับการหาค่า A ลดลงมา 10 dBm ซึ่งค่าที่ได้จากจุดที่ลดลงมา 10 dBm นั้นจะมีอยู่ 2 ค่า คือ ค่าที่ให้ความถี่สูงกว่านั้นคือ ความถี่ขอบบน และค่าที่ให้ความถี่ต่ำกว่านั้นคือ ความถี่ขอบล่าง

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการกำหนดตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ต้องการพิจารณาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยจะพิจารณาค่าของกำลังงานเฉลี่ยที่สูงที่สุด แบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด และแอมปลิจูดที่สูงที่สุด ซึ่งเราสามารถหาตำแหน่งได้จากการหนดเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 3 ที่ได้กล่าวมาแล้วเพียงแต่หาตำแหน่งที่ดีที่สุดจากตำแหน่งดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 5 เป็นการกำหนดตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ต้องการพิจารณาอีกครั้ง เพื่อนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยผลของค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 นี้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแล้วสำหรับ แอมปลิจูดที่สูงที่สุด กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุดของสมการรูปคลื่น

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการนำค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาหาค่าแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนและแบนด์วิดท์ เพื่อพิสูจน์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC ที่ได้นิยามสัญญาณ UWB ไว้ว่าจะต้องมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่า 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz จากนั้นก็นำค่าพารามิเตอร์ที่หาได้ มาแทนลงในสมการรูปคลื่นเพื่อที่จะพล็อตดูรูปคลื่น และพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณเทียบกับหน้ากากสเปกตรัม ซึ่งสามารถเขียนเป็นซอร์สโค๊ดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลของการจำลองและการวิเคราะห์

4.1 บทนำ

หลังจากที่ได้กล่าวถึง สมการรูปคลื่นแต่ละแบบให้เห็นแล้ว ในบทนี้จะเป็นการนำเอาสมการรูปคลื่นเหล่านั้นไปเขียนลงใน M-file ของโปรแกรม MATLAB เพื่อที่จะพล็อตดูรูปคลื่นที่ได้ในแต่ละแบบจากสมการทั้ง 6 สมการ

ในหัวข้อที่ 4.2 เป็นผลของการจำลองที่เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับสมการขึ้นมาเองอย่างคร่าว ๆ จากค่าของตัวแปรอิสระที่กำหนดโดยสมการรูปคลื่นแต่ละแบบ แล้วนำมาเขียนในโปรแกรม MATLAB เพื่อที่จะดูลักษณะรูปคลื่นที่ได้จากสมการ f(t) และดูการกระจายสเปกตรัมที่ได้จากสมการ F(t) จากสมการทั้ง 6 สมการ เมื่อได้สัญญาณและสเปกตรัมที่เกิดจากการพล็อตของโปรแกรม MATLAB แล้ว จะนำมาเปรียบเทียบถึง คุณสมบัติ และข้อแตกต่าง ของสัญญาณที่ได้ในแต่ละแบบ

ส่วนในหัวข้อที่ 4.3 จะเป็นผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสมการรูปคลื่นแล้วนำมาแทนค่าในสมการเพื่อพล็อตให้เห็นภาพเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร และภายนอกอาคาร โดยจะมีการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการจำลองจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นที่ได้มาจากการพล็อตรูปดูลักษณะการกระจายสเปกตรัมของรูปคลื่นในแต่ละแบบว่าครอบคลุมตามข้อกำหนดของ FCC และเป็นรูปคลื่นที่มีค่ามีผลเป็นยังไง จากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบจากค่าที่ดีที่สุดของรูปคลื่นในแต่ละแบบว่ารูปคลื่นชนิดไหนเป็นรูปคลื่นที่ดีที่สามารถจะใช้เป็นสัญญาณในภาคส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย UWB ได้บ้าง จากนั้นก็เป็นการสรุปผลที่ได้ทั้งหมดและเปรียบเทียบผลในหัวข้อที่ 4.4

4.2 รูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ

รูปคลื่นที่จะนำมาทำการศึกษาและวิเคราะห์ทั้งหมด มี 6 รูปแบบด้วยกันคือ

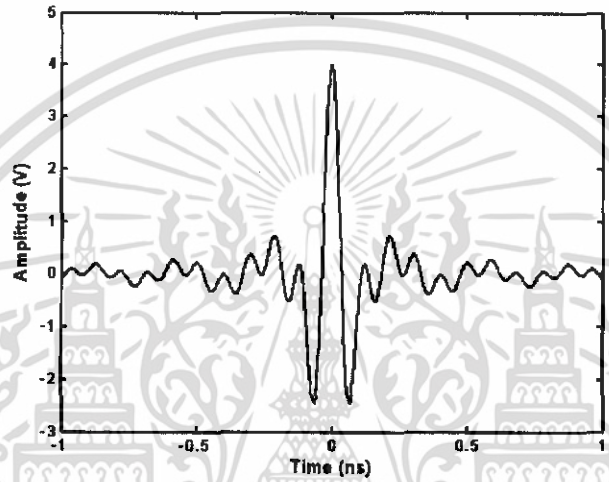
1) รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)
2) รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform)
3) รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform)
4) รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform)
5) รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)

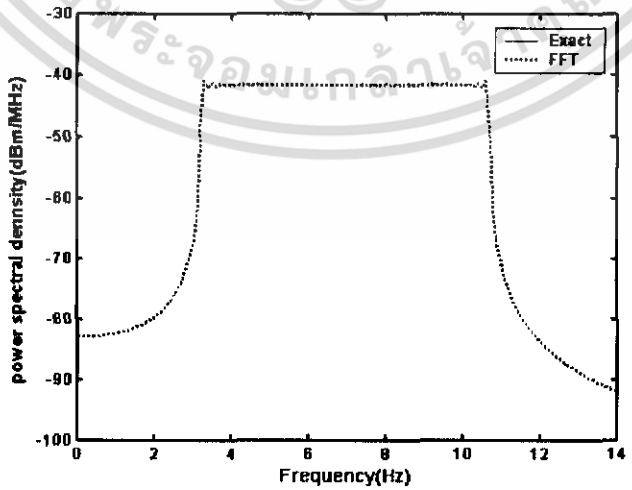
4.2.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)

จากสมการที่ 3.1 และ สมการที่ 3.2 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ A = 4 v , f_L = 3.1 GHz , f_b = 7.5 GHz , f_H = 10.6 GHz , f_c = 6.85 GHz ก็จะได้รูปดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ของสมการในโดเมนเวลา

รูปที่ 4.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ของสมการในโดเมนเวลา เป็นรูปคลื่นของสัญญานซิ้งก์ ที่ได้มาจากสมการที่ 3.1 มีแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ A ที่ t = 0



รูปที่ 4.2 รูปสเปกตรัมแถบผ่านสี่เหลี่ยม ของสมการในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

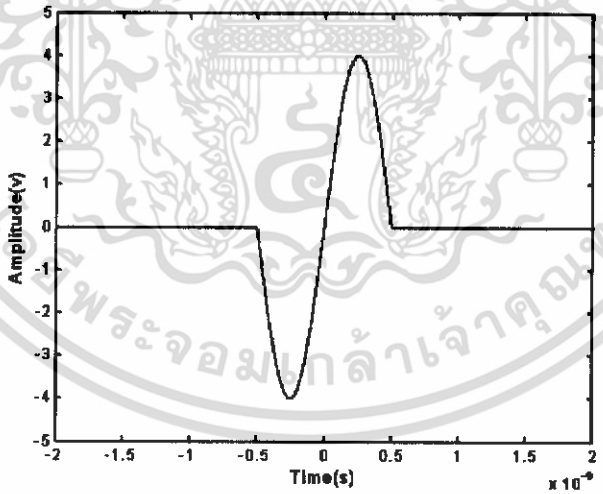
รูปที่ 4.2 รูปสเปกตรัมแถบผ่านสี่เหลี่ยม ของสมการในโดเมนความถี่ เป็นสเปกตรัมของสัญญาณแถบผ่านสี่เหลี่ยม ที่มีลักษณะการกระจายของสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีแบนวิดเท่ากับ 7.5 GHz และมีความถี่กลางอยู่ที่ 6.85 GHZ จากรูปจะเป็นฟังชั่นคู่ซึ่งไม่มีส่วนประกอบกระแสตรง นั้นคือ ที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย

จากรูปที่ 4.2 จะมีเส้นกราฟสองเส้นที่เป็นเส้นกราฟของสเปกตรัม เส้นที่มีชื่อว่า Exact คือ เส้นที่ได้มาจากการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.1 นั้นคือสมการที่ 3.2 และเส้นที่มีชื่อว่า FFT คือเส้นที่ได้มาจากการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.1 ในโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า เส้น Exact และเส้น FFT จะมีค่าที่แตกต่างกันนิดหน่อย สาเหตุที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับเส้น FFT ที่ต่างกับเส้น Exact เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดจากโปรแกรม MATLAB นั้นเอง

4.2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform)

จากสมการที่ 3.3 และ สมการที่ 3.4 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ A = 4 v , t_b = 1 ns , f_c = 1 GHz ก็จะได้รูปดังรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ตามลำดับ



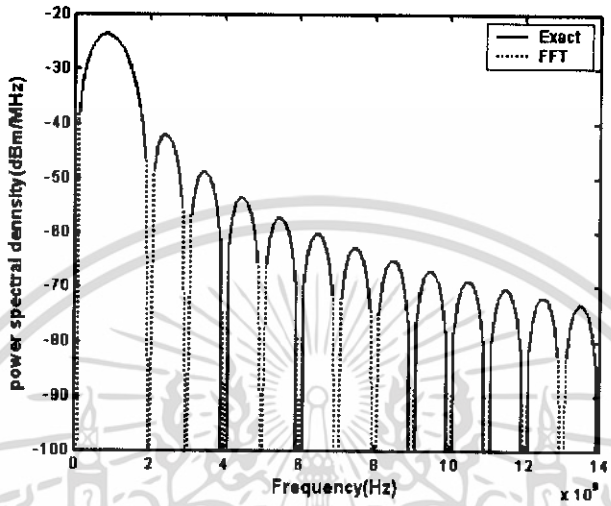
รูปที่ 4.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนเวลา

รูปที่ 4.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนเวลา ที่ได้มาจากการพล็อตรูปจากสมการที่ 3.3 สัญญาณคลื่นพาห์ที่นำไปมอดูเลตมีค่าเท่ากับ 1 GHz สัญญาณมีค่ายอดเท่ากับ A

รูปที่ 4.4 รูปสเปกตรัมของสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนความถี่ เป็นสเปกตรัมของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่มีลักษณะการกระจายของสเปกตรัมเป็นรูปซิ้งก์ฟังก์ชัน ที่มีความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับความถี่พาห์ และไม่มีส่วนประกอบกระแสตรง นั้นคือที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย



รูปที่ 4.4 รูปสเปกตรัมสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนความถี่

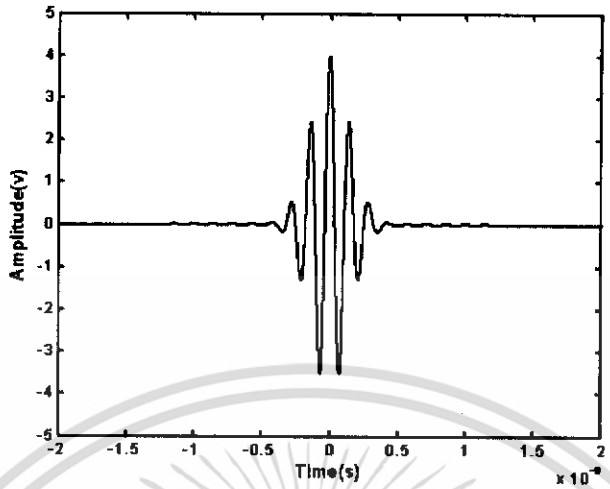
จากรูปที่ 4.4 จะมีเส้นกราฟสองเส้นที่เป็นเส้นกราฟของสเปกตรัม เส้นที่มีชื่อว่า Exact คือเส้นที่ได้มาจากการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.3 นั้นคือสมการที่ 3.4 และเส้นที่มีชื่อว่า FFT คือเส้นที่ได้มาจากการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.3 ในโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า เส้น Exact และเส้น FFT จะมีค่าที่แตกต่างกันที่ค่าความหนาแน่น สเปกตรัมต่ำลง สาเหตุที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับเส้น FFT ที่ต่างกับเส้น Exact เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม MATLAB เมื่อค่าความหนาแน่นสเปกตรัมต่ำลงมาก ๆ

4.2.3 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform)

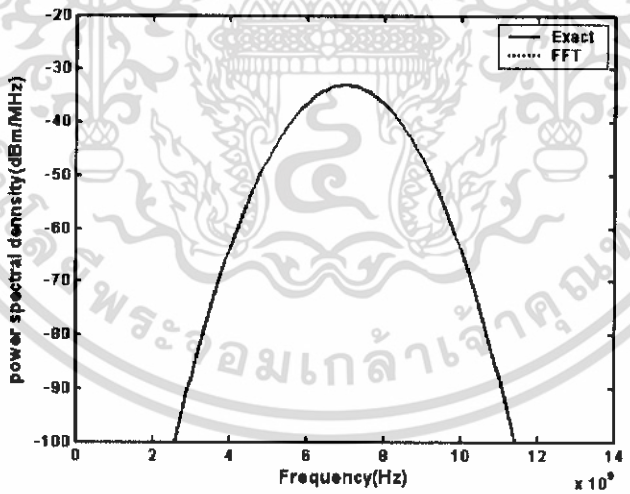
จากสมการที่ 3.5 และ สมการที่ 3.6 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ A = 4 v , d = 0.2 ns , f_c = 7 GHz ก็จะได้รูปดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนเวลา

รูปที่ 4.5 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนเวลา ที่ได้มาจากการพล็อตรูปจากสมการที่ 3.5 เป็นรูปคลื่นของเกาส์ที่ถูกมอดูเลทกับคลื่นพาห์ มีแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ A ที่ t = 0 และมีความกว้างพัลส์ขึ้นอยู่กับค่าของ d ที่เท่ากับ t ใด ๆ



รูปที่ 4.6 รูปสเปกตรัมเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนความถี่

รูปที่ 4.6 รูปสเปกตรัมของเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ของสมการในโดเมนความถี่เป็นสเปกตรัมของสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่มีลักษณะการกระจายของสเปกตรัมเป็นรูปคล้ายระฆังคว่ำ และมีความถี่กลางอยู่ที่ 7 GHZ จากรูปจะเป็นฟังชั่นคู่ซึ่งไม่มีส่วนประกอบกระแสตรงนั้นคือ ที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย

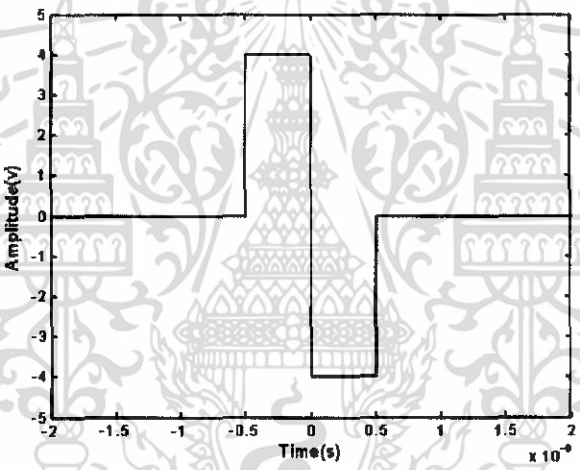
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะมีเส้นกราฟสองเส้นที่เป็นเส้นกราฟของสเปกตรัม เส้นที่มีชื่อว่า Exact คือเส้นที่ได้มาจากการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.5 นั้นคือสมการที่ 3.6 และเส้นที่มีชื่อว่า FFT คือเส้นที่ได้มาจากการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.5 ในโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า เส้น Exact และเส้น FFT จะมีค่าที่เท่ากันไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเส้นกราฟจึงทับกันได้สนิท

4.2.4 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท (Rectangular Doublet Waveform)

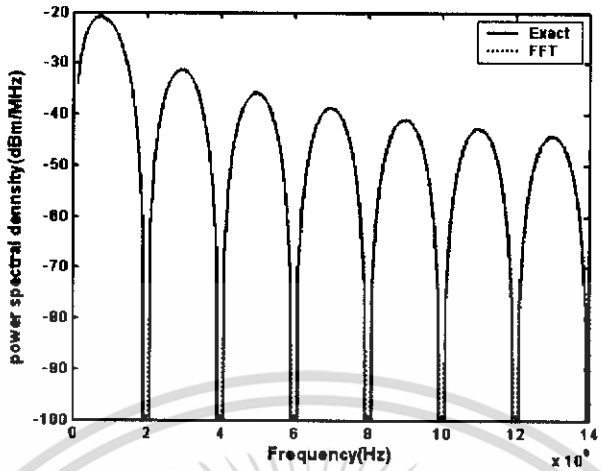
จากสมการที่ 3.7 และ สมการที่ 3.8 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ A = 4 v , t_b = 1 ns ก็จะได้รูปดังรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท ของสมการในโดเมนเวลา

รูปที่ 4.7 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเล็ท ของสมการในโดเมนเวลาที่ได้มาจากการพล็อตรูปจากสมการที่ 3.7 เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมคู่ที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา มีแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ A และรูปคลื่นมีความกว้างเท่ากับ $t_b/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปสเปกตรัมสี่เหลี่ยมดับเล็ท ของสมการในโดเมนความถี่

รูปที่ 4.8 รูปสเปกตรัมสี่เหลี่ยมดับเล็ท ของสมการในโดเมนความถี่ ของสมการในโดเมนความถี่เป็นสเปกตรัมสี่เหลี่ยมดับเล็ท ที่มีลักษณะการกระจายของสเปกตรัมเป็นรูปซิ้งก์ฟังก์ชันและไม่มีส่วนประกอบกระแสตรง นั้นคือที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย

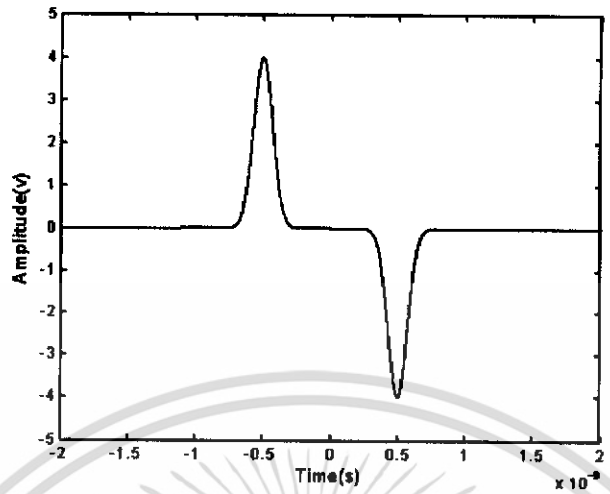
จากรูปที่ 4.8 จะมีเส้นกราฟสองเส้นที่เป็นเส้นกราฟของสเปกตรัม เส้นที่มีชื่อว่า Exact คือเส้นที่ได้มาจากการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.7 นั้นคือสมการที่ 3.8 และเส้นที่มีชื่อว่า FFT คือเส้นที่ได้มาจากการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.7 ในโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า เส้น Exact และเส้น FFT จะมีค่าที่แตกต่างกันที่ค่าความหนาแน่น สเปกตรัมต่ำลง สาเหตุที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับเส้น FFT ที่ต่างกับเส้น Exact เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม MATLAB เมื่อค่าความหนาแน่นสเปกตรัมต่ำลงมาก ๆ

4.2.5 รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform)

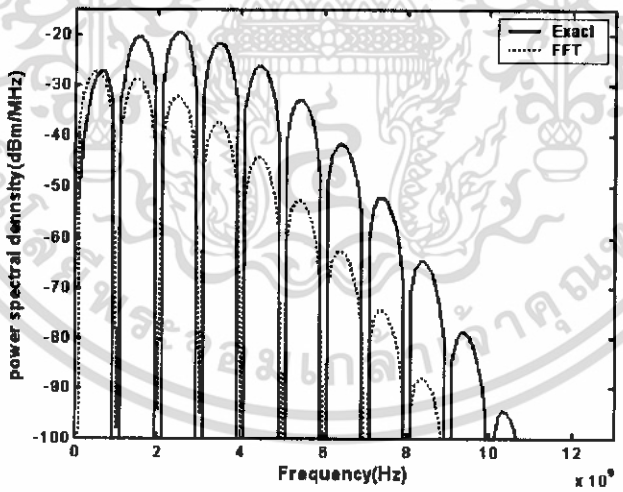
จากสมการที่ 3.9 และ สมการที่ 3.10 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ A = 4 v , d = 0.1 ns , t_0 = 0.5 nsก็จะได้รูปดังรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท ของสมการในโดเมนเวลา

รูปที่ 4.9 รูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท ของสมการในโดเมนเวลา ที่ได้มาจากการพล็อตรูปจากสมการที่ 3.9 เป็นรูปคลื่นของเกาส์สองลูกที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา มีแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ A มีความกว้างพัลส์ขึ้นอยู่กับค่าของ d ที่เท่ากับ t ใด ๆ



รูปที่ 4.10 รูปสเปกตรัมเกาส์ดับเล็ท ของสมการในโดเมนความถี่

รูปที่ 4.10 รูปสเปกตรัมเกาส์ดับเล็ท ของสมการในโดเมนความถี่ เป็นสเปกตรัมของสัญญาณคลื่นเกาส์ดับเล็ท ที่มีลักษณะการกระจายของสเปกตรัมเป็นรูปคล้ายระฆังคว่ำ และไม่มีส่วนประกอบกระแสตรง นั้นคือที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย

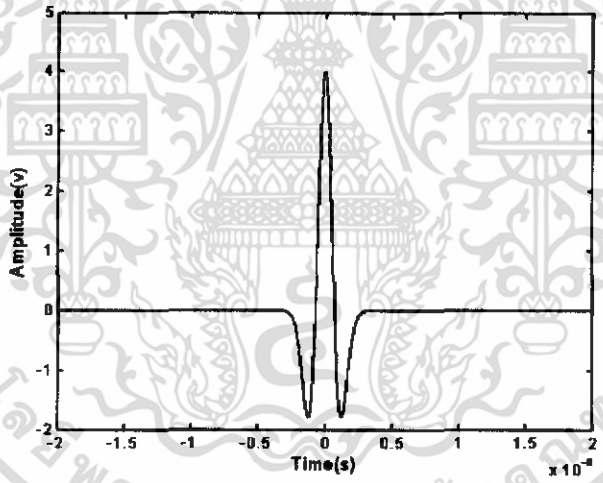
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 จะมีเส้นกราฟสองเส้นที่เป็นเส้นกราฟของสเปกตรัม เส้นที่มีชื่อว่า Exact คือเส้นที่ได้มาจากการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.9 นั้นคือสมการที่ 3.10 และเส้นที่มีชื่อว่า FFT คือเส้นที่ได้มาจากการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.9 ในโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า เส้น Exact และเส้น FFT จะมีค่าที่แตกต่างกันที่ค่าความหนาแน่น สเปกตรัมต่ำลง สาเหตุที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับเส้น FFT ที่ต่างกับเส้น Exact เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม MATLAB เมื่อค่าความหนาแน่นสเปกตรัมต่ำลงมาก ๆ

4.2.6 รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)

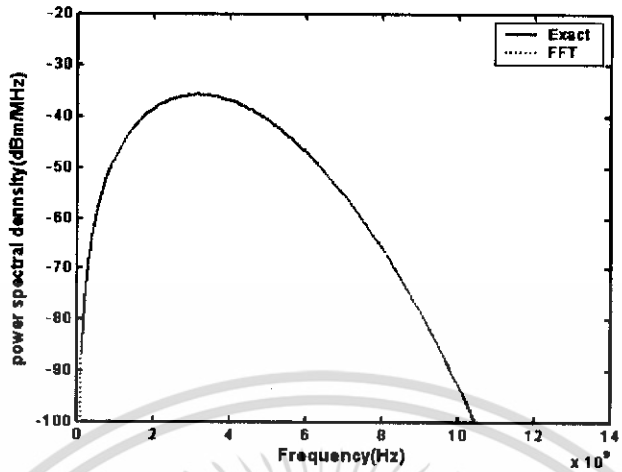
จากสมการที่ 3.11 และ สมการที่ 3.12 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ A = 4 v , d = 0.5 ns ก็จะได้รูปดังรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ของสมการในโดเมนเวลา

รูปที่ 4.11 รูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ของสมการในโดเมนเวลา ที่ได้มาจากการพล็อตรูปจากสมการที่ 3.11 เป็นรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิลที่ มีแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ A มีความกว้างพัลส์ขึ้นอยู่กับ d ที่เท่ากับ t ใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปสเปกตรัมเกาส์โมโนไซเคิล ของสมการในโดเมนความถี่

รูปที่ 4.12 รูปสเปกตรัมเกาส์โมโนไซเคิล ของสมการในโดเมนความถี่ เป็นสเปกตรัมของสัญญาณคลื่นเกาส์ดับเล็ท ที่มีลักษณะการกระจายของสเปกตรัมเป็นรูปคล้ายระฆังคว่ำ และไม่มีส่วนประกอบกระแสตรง นั้นคือที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย

จากรูปที่ 4.12 จะมีเส้นกราฟสองเส้นที่เป็นเส้นกราฟของสเปกตรัม เส้นที่มีชื่อว่า Exact คือเส้นที่ได้มาจากการคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.11 นั้นคือสมการที่ 3.12 และเส้นที่มีชื่อว่า FFT คือเส้นที่ได้มาจากการแปลงฟูเรียร์ของสมการที่ 3.11 ในโปรแกรม MATLAB

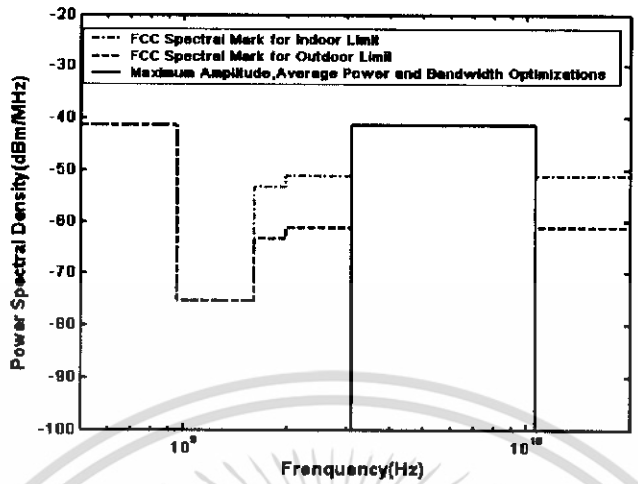
จากรูปที่ 4.12 จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า เส้น Exact และเส้น FFT จะมีค่าที่เท่ากันไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเส้นกราฟจึงทับกันได้สนิท

4.3 ผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่น

4.3.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม

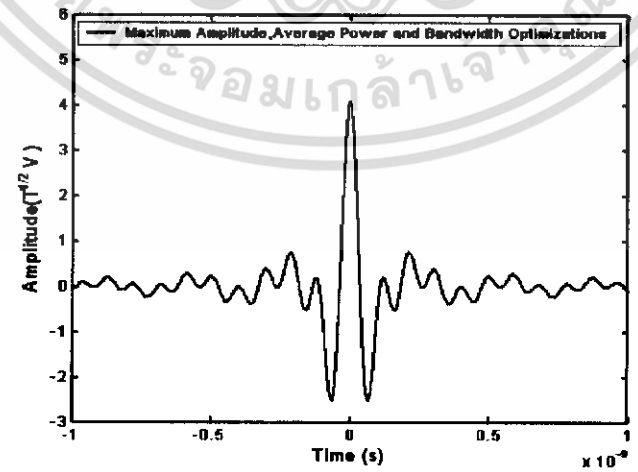
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ f_b = 7.50 GHz, f_c = 6.85 GHz, f_L = 3.10 GHz, f_H = 10.60 GHz และ A = $4.08\sqrt{T_s}$ v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –59.54 dBm สามารถพล็อตกราฟแสดงPSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 4.13 และสำหรับรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร จากผลที่ได้ดังกล่าวจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีคุณสมบัติของรูปคลื่นที่สามารถใช้ในการสื่อสารเทคโนโลยี UWB ครบตามข้อกำหนดของ FCC และจากรูปที่ 4.13 ก็เป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ ลงในสมการที่ 3.2 ซึ่งกราฟ PSD ที่ได้จะมีเส้นเดียว นั้นหมายถึงกราฟเส้นนี้มีค่า แอมปลิจูดสูงที่สุด แบนด์วิดท์กว้างที่สุด และกำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งเป็น ค่าของ PSD ในอุดมคติของคลื่นที่ใช้ในภาคส่งของเทคโนโลยี UWB



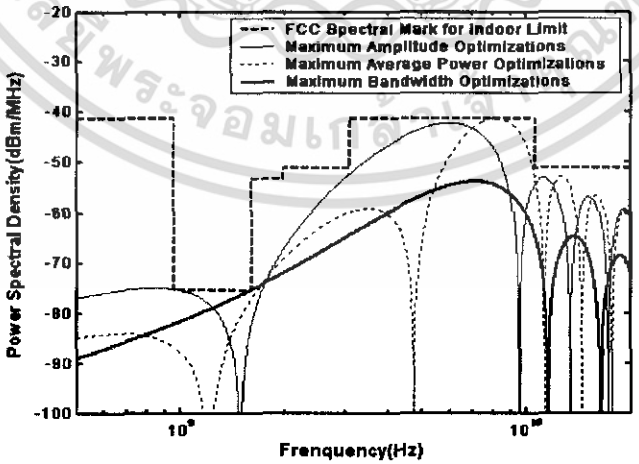
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอก จากรูปเป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.1 ซึ่งเป็นรูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้ในภาคส่งของเทคโนโลยี UWB ที่มีค่า แอมปลิจูดสูงที่สุด แบนด์วิดท์กว้างที่สุด และกำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด

4.3.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

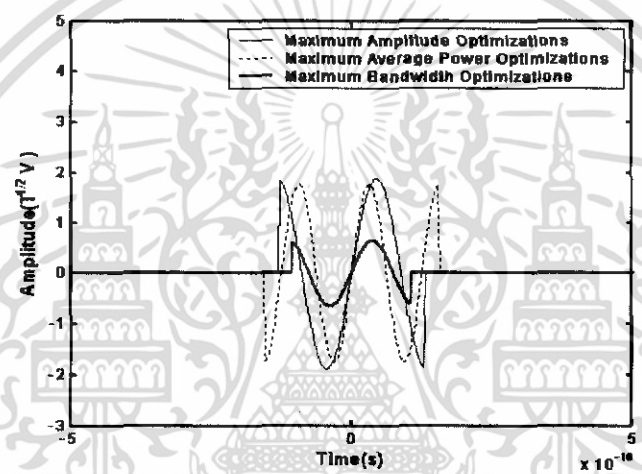
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดคือ t_b = 0.26 ns, f_c = 5.65 GHz และ A = 1.88 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.93 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.50 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –63.99 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าคือ t_b = 0.31 ns, f_c = 8.00 GHz และ A = 1.76 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.58 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.70 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –63.68 dBm และพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ t_b = 0.21 ns, f_c = 6.65 GHz และ A = 0.65 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.06 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.30 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –74.46 dBm สามารถพล็อตกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุด ของรูปคลื่นเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 3.15 และสำหรับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 เป็นกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร จากผลที่ได้ดังกล่าวจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีคุณสมบัติของรูปคลื่นที่สามารถใช้ในการสื่อสารเทคโนโลยี UWB ครบตามข้อกำหนดของ FCC และจากรูปที่ 4.15 ก็เป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า กราฟจะมีทั้งหมด 3 เส้นซึ่งกราฟที่ได้มาจะมีลักษณะของกราฟที่แตกต่างกันและแต่ละเส้นที่เห็นคือ จะให้คุณสมบัติที่ดีต่างกันตามลักษณะของสเปกตรัม ซึ่งประกอบด้วยกราฟที่ให้ค่าแอมปลิจูดสูงที่สุด ให้กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และกราฟที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด



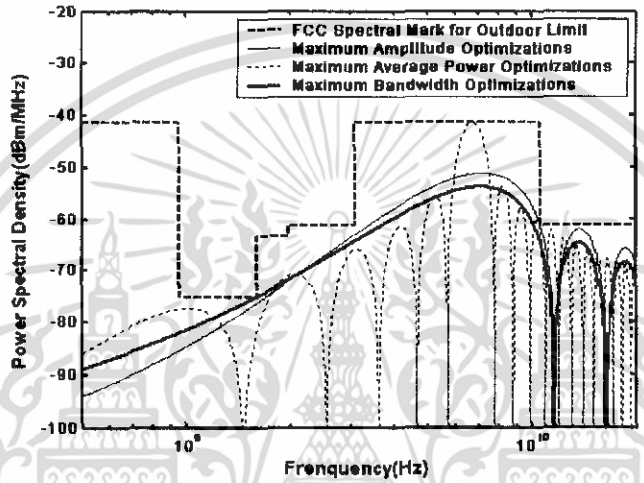
รูปที่ 4.16 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

จากรูปที่ 4.16 เป็นกราฟแสดงรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร จากรูปเป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า รูปคลื่นจะมี 3 รูป ซึ่งกราฟที่แสดงเห็นนี้จะมีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างกันไป คือมีแอมปลิจูดสูงที่สุด กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด ซึ่งการพิจารณาที่จะนำไปใช้ก็แล้วแต่ว่าผู้ที่จะนำไปว่าใช้จะพิจารณาข้อดีในด้านไหน

สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุด คือ t_b = 0.21 ns, f_c = 6.75 GHz และ A = 0.86 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.01 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.10 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –71.90 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าคือ t_b = 0.96 ns, f_c = 6.75 GHz และ A = 0.57 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.22 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.50 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –68.23 dBm และพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ t_b = 0.21 ns,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

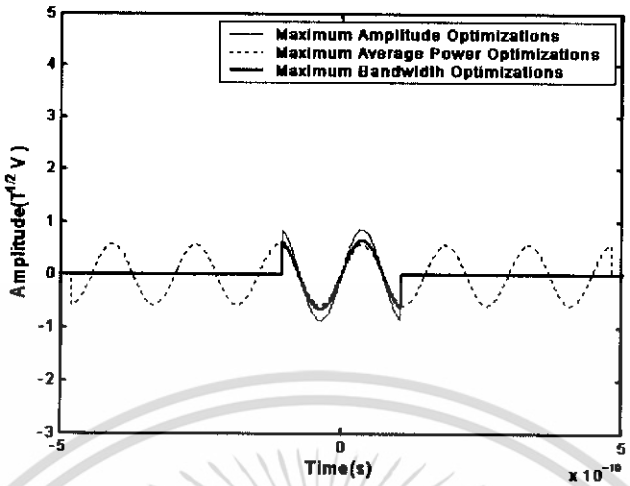
f_c = 6.65 GHz และ A = 0.65 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.06 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.30 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –74.46 dBm สามารถพล็อตกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต เปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 3.17 และสำหรับรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร แสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

จากรูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร จากผลที่ได้ดังกล่าวจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีคุณสมบัติของรูปคลื่นที่สามารถใช้ในการสื่อสารเทคโนโลยี UWB ครบตามข้อกำหนดของ FCC และจากรูปที่ 4.17 ก็เป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า กราฟจะมีทั้งหมด 3 เส้นซึ่งประกอบด้วย กราฟที่มีแอมปลิจูดสูงที่สุด กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และอีกเส้นจะเป็นกราฟที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



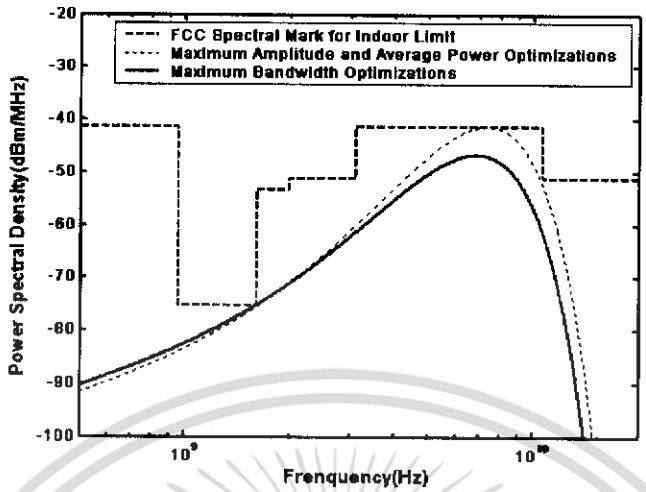
รูปที่ 4.18 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

จากรูปที่ 4.18 เป็นกราฟแสดงรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร จากรูปเป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.3 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีทั้งหมด 3 รูป ซึ่งกราฟที่แสดงเห็นนี้จะมีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างกันไป คือมีแอมปลิจูดสูงที่สุด กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และอีกเส้นจะเป็นรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด ซึ่งการพิจารณาที่จะนำไปใช้ก็แล้วแต่ว่าผู้ที่จะนำไปว่าใช้จะพิจารณาข้อดีในด้านไหน

4.3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

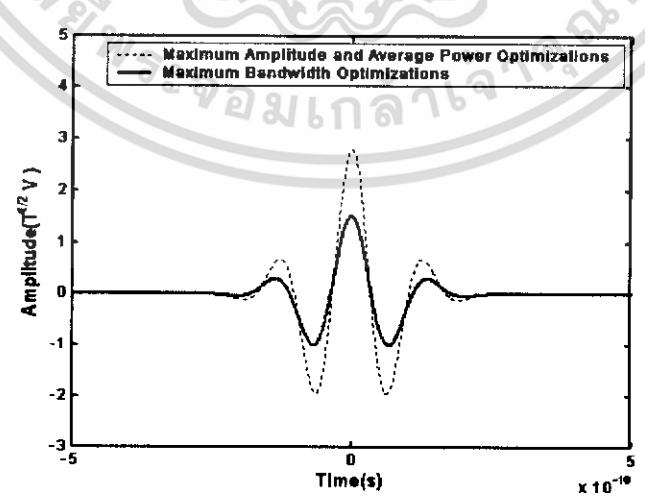
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ d = 0.11 ns, f_c = 7.35 GHz และ A = 2.79 v โดยรูปคลื่น มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –62.75 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ d = 0.11 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 1.51 v โดยรูปคลื่น มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –72.71 dBm สามารถพล็อตกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุด ของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร แสดงในรูปที่ 4.19 และสำหรับรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร แสดงในรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

จากรูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต เปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร จากผลที่ได้ดังกล่าวจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีคุณสมบัติของรูปคลื่นที่สามารถใช้ในการสื่อสารเทคโนโลยี UWB ครบตามข้อกำหนดของ FCC และจากรูปที่ 4.19 ก็เป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า กราฟจะมี 2 เส้นแต่ที่จริงแล้วจะมีทั้งหมด 3 เส้น ซึ่งกราฟที่เห็นนี้จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป คือแอมปลิจูดสูงที่สุด และกำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุดจะทับกันและส่วนกราฟอีกเส้น จะเป็นกราฟที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด

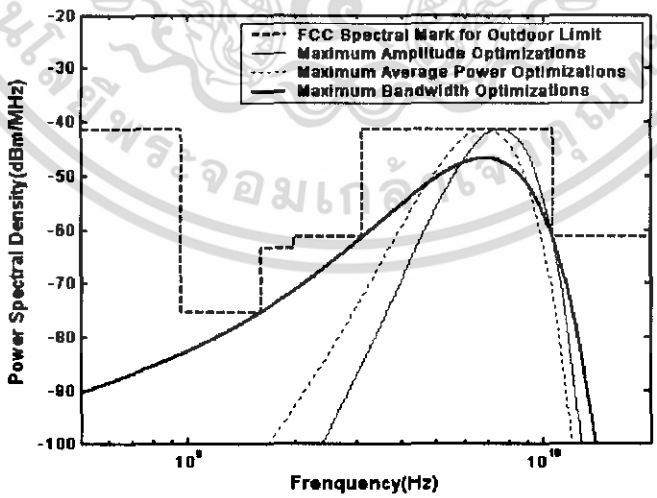


รูปที่ 4.20 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร จากรูปเป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.5 จะเห็นได้ว่า รูปคลื่นจะมี 2 รูปแต่ที่จริงแล้วจะมีทั้งหมด 3 รูป ซึ่งกราฟที่แสดงเห็นนี้จะมีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างกันไป คือมีแอมปลิจูดสูงที่สุด และกำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุดจะทับกันและส่วนรูปคลื่นอีกเส้น จะเป็นรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด ซึ่งการพิจารณาที่จะนำไปใช้ก็แล้วแต่ว่าผู้ที่จะนำไปว่าใช้จะพิจารณาข้อดีในด้านไหน

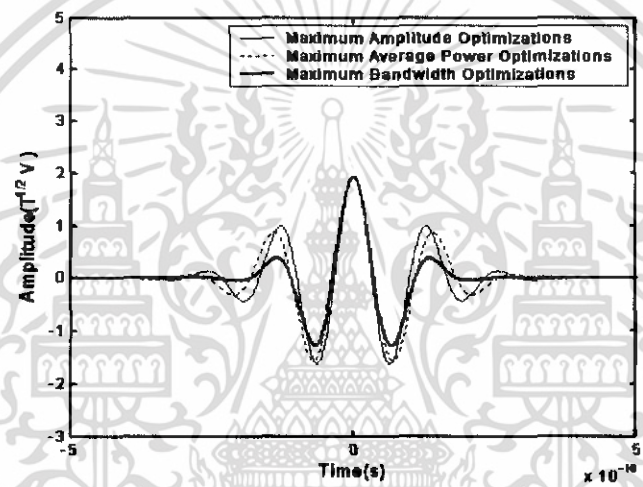
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุด คือ d = 0.16 ns, f_c = 7.55 GHz และ A = 1.92 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.56 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.2 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –64.33 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าคือ d = 0.16 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 1.92 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.61 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –64.32 dBm และพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ d = 0.11 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 1.50 v โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.91 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ –68.15 dBm สามารถพล็อตกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุด ของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร แสดงในรูปที่ 4.21 และสำหรับรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร แสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 เป็นกราฟแสดง PSD ที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร จากผลที่ได้ดังกล่าวจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นมีคุณสมบัติของรูปคลื่นที่สามารถใช้ในการสื่อสารเทคโนโลยี UWB ครบตามข้อกำหนดของ FCC และจากรูปที่ 4.21 ก็เป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.8 จะเห็นได้ว่า กราฟจะมีทั้งหมด 3 เส้นซึ่งกราฟที่ได้มาจะมีลักษณะของกราฟที่แตกต่างกันและแต่ละเส้นที่เห็นคือ จะให้คุณสมบัติที่ดีต่างกันตามลักษณะของสเปกตรัม ซึ่งประกอบด้วยกราฟที่ให้ค่าแอมปลิจูดสูงที่สุด ให้กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และกราฟที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด



รูปที่ 4.22 รูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

จากรูปที่ 4.22 เป็นกราฟแสดงรูปคลื่นที่ดีที่สุดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่แสดงในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร จากรูปเป็นการแทนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้ลงในสมการที่ 3.7 จะเห็นได้ว่า รูปคลื่นจะมี 3 รูป ซึ่งกราฟที่แสดงเห็นนี้จะมีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างกันไป คือมีแอมปลิจูดสูงที่สุด กำลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด ซึ่งการพิจารณาที่จะนำไปใช้ก็แล้วแต่ว่าผู้ที่จะนำไปว่าใช้จะพิจารณาข้อดีในด้านไหน

4.3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นชนิดอื่น

สำหรับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ทั้งหมดนี้ไม่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดให้ค่า f_L และ f_H มีค่าอยู่ในช่วงจาก 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ถึงแม้ว่ารูปคลื่นเหล่านี้สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ให้กว้างตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการได้โดยเปลี่ยนความกว้างพัลส์ และมีส่วนประกอบกระแสตรงเป็นศูนย์ แต่ก็ไม่สามารถที่จะกำหนดความถี่กลางให้อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้โดยตรงเหมือนกับรูปคลื่นสามชนิดแรก ดังนั้น รูปคลื่นที่เหลือนี้จึงไม่สามารถออกแบบให้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีแนวโน้มที่สามารถใช้เทคนิคแก้ไขรูปคลื่นเหล่านี้ให้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ได้ เช่น ใช้ดับเลตจำนวนพัลส์ที่มากขึ้นสำหรับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเลต และรูปคลื่นเกาส์ดับเลต และใช้อนุพันธ์อันดับที่สูงขึ้นของรูปคลื่นเกาส์ เนื่องจากเทคนิคเหล่านี้ทำให้ความถี่กลางของรูปคลื่นสูงขึ้น

4.4 สรุปค่าที่ได้และเปรียบเทียบผลของการจำลองจากผลที่ได้

จากตารางที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติที่ได้จากรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถใช้กำหนดเป็นขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของรูปคลื่น UWB เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกับรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์และกำลังเฉลี่ยที่มากกว่าแต่จะมีแอมพลิจูดที่น้อยกว่ารูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต สำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร ส่วนข้อกำหนดภายนอกอาคาร รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า แต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ารูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ส่วนรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิลไม่สามารถทำให้เป็นไปตามนิยามสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC ได้ ค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นเหล่านี้สามารถนำมาใช้สร้างเป็นสัญญาณส่ง UWB ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC สำหรับจำลองการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร UWB

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงที่สุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.50	$4.08\sqrt{T_s}$	–59.54
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	7.30	$1.87\sqrt{T_s}$	–63.68
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	6.85	$2.79\sqrt{T_s}$	–68.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับข้อกำหนดภายนอกอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงที่สุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.50	$4.08\sqrt{T_s}$	–59.54
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	7.30	$0.86\sqrt{T_s}$	–68.22
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	6.20	$1.92\sqrt{T_s}$	–64.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลที่ได้จากการจำลอง ปัญหา และแนวทางในการพัฒนาต่อ

5.1 บทนำ

สำหรับในบทนี้จะเป็นบทสรุปของการจำลอง การวิเคราะห์ปัญหา และแนวทางในการพัฒนาต่อ สำหรับบทสรุปของการจำลองก็เป็นการสรุปจากผลที่ผ่านมาในบทที่ 4 ซึ่งได้แบ่งการสรุปไว้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ สรุปลักษณะรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณในหัวข้อ 5.2 และสรุปผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดให้แก่สมการรูปคลื่นในหัวข้อ 5.3 และส่วนของการวิเคราะห์ และแนวทางในการพัฒนา ก็อยู่ในหัวข้อ 5.4 และ หัวข้อ 5.5 ตามลำดับ

ในส่วนของการสรุปลักษณะรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ เป็นการสรุปลักษณะการกระจายตัวของรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณในรูปแบบต่างๆที่ได้มาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ขึ้นมาอย่างคร่าวๆ สำหรับในส่วนของการสรุปผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดให้แก่สมการรูปคลื่น เป็นการสรุปผลการกระจายสปีกตรัมของสัญญาณที่เกี่ยวกับแอมปลิจูด กำลังเฉลี่ย และ แบนด์วิดท์ ที่ได้มาจากการหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในรูปคลื่นแต่ละแบบเปรียบเทียบกับหน้ากากสเปกตรัมเป็นการสรุปผลของรูปคลื่นที่ได้มาจากการพล็อตรูปดูลักษณะการกระจายสเปกตรัมของรูปคลื่นในแต่ละแบบว่าครอบคลุมตามข้อกำหนดของ FCC และเป็นรูปคลื่นที่ดีที่สุดหรือไม่ จากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบแล้วสรุปผลจากค่าที่ดีที่สุดของรูปคลื่นในแต่ละแบบว่ารูปคลื่นชนิดไหนเป็นรูปคลื่นที่ดีที่สุดที่สามารถจะใช้เป็นสัญญาณในภาคส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย UWB

5.2 สรุปลักษณะรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ

สัญญาณที่นำมาใช้ศึกษาและวิเคราะห์สำหรับเทคโนโลยี UWB เป็นสัญญาณที่ไม่เป็นรายคาบ (non-periodic signal) คือเป็นพัลส์ที่มีคาบเวลาไม่แน่นอนหรือมีค่าไม่ซ้ำกันในคาบเวลาที่เท่ากัน ซึ่งในการวิเคราะห์นั้น เราสามารถที่จะวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณได้โดยการแปลงลาปลาซทรานฟอร์มของสัญญาณ นั้นคือ แปลงจากสมการที่อยู่ในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ ซึ่งจากการทดลองสามารถทำการแปลงลาปลาซได้สองวิธีคือ แปลงจากการคำนวณสมการของลาปลาซทรานฟอร์ม และแปลงจากโปรแกรม MATLAB โดยใช้ฟังก์ชัน fft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่อยู่ในโดเมนเวลาพอนำมาแปลงลาปลาซทรานฟอร์มจะได้เป็นสเปกตรัมของสัญญาณซิ้งค์ในโดเมนความถี่ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.8ในบทที่ 3 ซึ่งเป็นการแปลงลาปลาซทรานฟอร์มจากสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมด้วยกันทั้ง 2 รูป

สัญญาณรูปซิ้งค์ที่อยู่ในโดเมนเวลาพอนำมาแปลงลาปลาสทรานฟอร์มจะได้เป็นสเปกตรัมสี่เหลี่ยมในโดเมนความถี่ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.2 ในบทที่ 3 เป็นสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมของสัญญาณรูปซิ้งค์ที่อยู่ในโดเมนเวลา

สัญญาณของเกาส์ที่อยู่ในโดเมนเวลาพอนำมาแปลงลาปลาสทรานฟอร์มจะได้เป็นสเปกตรัมที่มีรูปร่างคล้ายระฆังคว่ำในโดเมนความถี่ ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.6 รูปที่ 4.10 รูปที่ 4.12 ในบทที่ 3 เป็นสเปกตรัมของรูปคลื่นเกาส์ ของสัญญาณเกาส์ในแต่ละแบบ ที่อยู่ในโดเมนเวลา

จากรูปคลื่นของสัญญาณทั้ง 6 แบบในโดเมนเวลาเมื่อนำมาแปลงลาปลาสทรานฟอร์มจะได้รูปของสเปกตรัมที่ต่างออกไปตามส่วนประกอบของพารามิเตอร์ และค่าของพารามิเตอร์

จากรูปสเปกตรัมของสัญญาณทั้ง 6 แบบสามารถที่จะวิเคราห์และสรุปได้ว่า สเปกตรัมของสัญญาณแต่ละแบบไม่มีส่วนประกอบกระแสตรงนั้นคือ ที่ f = 0 นั้นจะไม่มีส่วนพื้นที่ของสเปกตรัมอยู่เลย (ที่ f = 0 นั้นคือ ส่วนประกอบกระแสตรง) ซึ่งทำให้สเปกตรัมที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี คือ ไม่มีความต้านทานไฟกระแสตรงเกิดขึ้นที่สายของภาคส่งและสายของภาครับ

5.3 สรุปผลที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดให้แก่สมการรูปคลื่น

ในโครงงานนี้ ได้ทำให้รูปคลื่นอย่างง่ายเป็นไปตามนิยามของแถบกว้างยิ่ง (UWB) และหน้ากากสเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดยได้พิจารณารูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ได้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแต่ละชนิดให้เป็นไปตามเงื่อนไขแบนด์วิดท์กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับข้อกำหนดภายในอาคารและภายนอกอาคารได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ในบทที่ 4

จากผลการจำลองในบทที่ 4 สรุปได้ว่าคุณสมบัติที่ได้จากรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถใช้กำหนดเป็นขอบจำกัดค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของรูปคลื่น UWB ซึ่งเป็นลักษณะของรูปคลื่นที่ดีที่สุด ที่เป็นสัญญาณในอุดมคติที่ใช้ในการพิจารณาคลื่นสำหรับภาคส่งในเทคโนโลยี UWB เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกับรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์และกำลังเฉลี่ยที่มากกว่าแต่จะมีแอมพลิจูดที่น้อยกว่ารูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตสำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร ส่วนข้อกำหนดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า แต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่า รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ส่วนรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล ไม่สามารถทำให้เป็นไปตามนิยามสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC ได้ ค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นเหล่านี้สามารถนำมาใช้สร้างเป็นสัญญาณส่ง UWB ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC สำหรับจำลองการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร UWB

การพิจารณาที่จะนำคลื่นที่ได้จากการจำลอง ไปใช้ในภาคส่งของเทคโนโลยี UWB นั้น อาจจะพิจารณาจากคุณสมบัติของคลื่นที่มีข้อดีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ว่าต้องการที่จะให้คลื่นมีคุณสมบัติที่ดีทางด้านไหน ซึ่งคุณสมบัติที่ดีแต่ละอย่างก็เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการรับส่งสัญญาณหรือในระบบการสื่อสาร

5.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงงาน

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงงาน ก็มีหลายสาเหตุด้วยกัน อย่างเช่น ปัญหาที่เกิดจากการประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ต่ำ ทำให้การประมวลผลของโปรแกรมช้ามาก เลยต้องมีการปรับเปลี่ยนการเขียนค่าของโปรแกรมใหม่ทำให้ผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนใหม่มีค่าไม่ดีเท่าที่ควร ยกตัวอย่าง การพล็อตค่าความละเอียดหรือการหาค่าที่ตำแหน่งที่มีความละเอียดสูงจะทำให้ได้ค่าที่ดีกว่าค่าที่มีความละเอียดต่ำกว่า แต่เนื่องด้วยปัญหาประสิทธิภาพเครื่องคอมพิวเตอร์จึงทำให้ต้องปรับเปลี่ยนค่า ที่ให้ความละเอียดได้ไม่สูงนักทำให้ค่าที่ได้อาจจะเป็นค่าที่ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด และสำหรับปัญหาอีกสาเหตุหนึ่งก็คือ ปัญหาที่มาจากผู้ทำโครงงานเอง สาเหตุเนื่องจากยังมีความรู้ในด้านเทคโนโลยี UWB น้อยมาก ทำให้ต้องศึกษาเยอะหน่อย และเนื่องด้วยยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่สำหรับคนไทยอยู่ เนื้อหาที่มีให้อ่านก็เลยยังเป็นเนื้อหาที่เป็นภาษาอังกฤษ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการศึกษาอยู่บ้าง

5.5 แนวทางในการพัฒนาโครงงานต่อในอนาคต

สำหรับโครงงานนี้ ผู้ที่สนใจสามารถที่จะศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี UWB และข้อกำหนดต่างๆที่มีต่อเทคโนโลยี UWB ตามข้อกำหนดของ FCC ก็สามารถศึกษาได้ และเป็นความรู้พื้นฐานที่ดีต่อการที่จะศึกษาในเรื่องอื่นที่เกี่ยวกับเทคโนโลยี UWB ต่อไป ซึ่งโครงงานนี้จะให้ความรู้เกี่ยวกับข้อกำหนดต่างๆ และพื้นฐานโดยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี UWB แต่จะเน้นไปในส่วนของสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารสำหรับเทคโนโลยี UWB สำหรับการพัฒนาต่อสามารถที่จะทำได้ เมื่อมีการเปลี่ยนกรอบกำหนดการแพร่กระจาย หรือหน้ากากสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสามารถที่เปลี่ยนแปลงได้ตามประเทศที่มีการนำเอาเทคโนโลยีไปใช้ซึ่งจะทำให้รูปสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยซึ่งเป็นเรื่องที่สามารถศึกษาและวิเคราะห์ต่อไปได้ และสำหรับสมการที่นำมาใช้ในการพิจารณาก็สามารถพัฒนาต่อได้อีกตามความต้องการของผู้นำไปใช้ ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของ การกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ หรือ การเปลี่ยนแปลงการกำหนดรูปแบบพารามิเตอร์ใหม่ให้กับสมการ ก็สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology," *2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.
2. Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," *First Report and Order*, FCC 02-48, Apr. 2002.
3. B. Allen, S. A. Ghorashi and M. Ghavami, "A Review of Pulse Design for Impulse Radio," *2004 IEE Seminar on Ultra Wideband Communications Technologies and System Design*, pp. 93-97, Jul. 2004.
4. M. Ghavami, L. B. Miscael, R. Khono, "Hermite Function Based Orthogonal Pulses for Ultra Wideband Commuincation," *The Fourth International Symposium on Wireless Personal Multimidia Communications (WPMC)*, pp. 437-440, Sep. 2001.
5. L. B. Michael, M. Ghavami and R. Kohno, "Multiple Pulse Generator for Ultra-Wideband Communication Using Hermite Polynomial Based Orthogonal Pulses," *2002 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Techniques*, pp. 47-51, May 2002.
6. R. Dilmaghani, M. Ghavami, B. Allen, H. Aghvami, "Novel UWB Pulse Shaping Using Prolate Spheroidal Wave Functions," *IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, vol. 1, pp. 602-606, Sept. 2003.
7. A. B. Parr, B. L. Cho and Z. Ding, "A New UWB Pulse Generator for FCC Spectral Masks," *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 3, pp. 1664-1666, Apr. 2003.
8. A. B. Parr, B. L. Cho, K. Wallace and Z. Ding, "A Novel Ultra-Wideband Pulse Design Algorithm," *IEEE Communications Letters*, vol. 7, no. 5, pp. 219-221, May 2003.
9. P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveform for UWB Communication," *The 2005 ECTI International Conference*, pp. 626-629, May 2005.
10. M. Z. Win, "On The Power Spectral Density of Digital Pulse Streams Generated by M-Ary Cyclostationary Sequences in The Sequences in The Presence of Stationary Timing Jitter," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 46, no. 9, pp. 1135-1145, Sept. 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. M. Welborn and J. McCorkle, "The Importance of Fractional Bandwidth in Ultra-Wideband Pulse Design," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, vol. 2, pp. 753-757, 2002.

12. รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, "คู่มือโปรแกรม MATLAB ฉบับสมบูรณ์" กรุงเทพฯ : อินโฟเพลส, 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอสโค้ดที่ใช้ในการจำลองรูปคลื่น

1. ซอสโค้ดรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)

```
% Waveform_rectangular_passband
clear all;
A  =  4;
fb =  7.5e9;
fc =  6.85e9;
fL =  3.1e9;
fH = 10.6e9;
N  = 10001;
fs = 1000e9;
ts = 1/fs;
t  = -(N-1)/2*ts:ts:(N-1)/2*ts;
f  = (-5000:5000)/5000*fs/2;
x = A/fb*(fH*sinc(2*fH*t)-fL*sinc(2*fL*t));
for i=1:N
if abs(abs(f(i))-fc)<=fb/2;
y(i)=A/2/fb;
else
y(i)=0;
end
end
X = ifftshift(fft(fftshift(x),N))*ts;
figure(1)
plot(t/1e-9,x,'r')
xlabel('Time (ns)')
ylabel('Amplitude (V)')
axis([-1 1 -3 5])
figure(2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(f/1e9,20*log10(abs(y)+150),'k',f/1e9,20*log10(abs(X))+150,':')
axis([0 13 -100 -30 ])
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('power spectral dennsity(dBm/MHz)')
legend('Exact','FFT')
```

2. ซอสโค้ดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulate Rectangular Waveform)

```
% Waveform_modulated_rectangular
A=4;
tb=1e-9;
fc=1e9;
N=10001;
ts=1e-12;
fs=1/ts;
t=-(N-1)/2*ts:ts:(N-1)/2*ts;
f=-fs/2:fs/(N-1):fs/2;
for i=1:N
if abs(t( i ))<=tb/2;
x( i )=A*sin(2*pi*fc*t( i ));
else
x( i )=0;
end
end
Y=A*tb/2*j*[sinc(tb*(f-fc))-sinc(tb*(f+fc))];
U=[x((N+1)/2:N) x(1:(N-1)/2)];
V=fft(U,N)*ts;
W=[V((N+3)/2:N) V(1:(N+1)/2)];
figure(1)
plot(t,x)
xlabel('Time(s)')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ylabel('Amplitude(v)')
figure(2)
plot(f,20*log10(abs(Y))+150,f,20*log10(abs(W))+150,':')
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('power spectral dennsity(dBm/MHz)')
legend('Exact','FFT')
axis([0 13e9 -100 -20 ])
```

3. ซอสโค้ดรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian Waveform)

```
% Waveform_modulated_gaussian
clear all;
A = 4;
fc = 6e9;
d = 0.5e-9;
N = 10001;
fs = 1000e9;
ts = 1/fs;
t = -(N-1)/2*ts:ts:(N-1)/2*ts;
f = (-5000:5000)/5000*fs/2;
B=t/d;
C= -B.^2;
D=exp(C);
E=sin(2*pi*fc*t);
x = A.*D.*E;
F=A.*d.*sqrt(pi)/(j*2);
G=-pi.^2 * d^2 * (f-fc).^2;
H=-pi.^2 * d^2 * (f+fc).^2;
y = F.*(exp(G)-exp(H));
U=[x((N+1)/2:N) x(1:(N-1)/2)];
V=fft(U,N)*ts;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
W=[V((N+3)/2:N) V(1:(N+1)/2)];
figure(1)
plot(t,x)
xlabel('Time(s)')
ylabel('Amplitude(v)')
axis([-2e-9 2e-9 -5 5])
figure(2)
plot(f,20*log10(abs(y))+150,f,20*log10(abs(W))+150,':')
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('power spectral dennsity(dBm/MHz)')
legend('Exact','FFT')
axis([0 13e9 -100 -20 ])
```

4. ซอฟโค้ดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเบิ้ท (Rectangular Doublet Waveform)

```
% Waveform_rectangular_doublet
A=4;
tb=1e-9;
N=10001;
ts=1e-12;
fs=1/ts;
t=-(N-1)/2*ts:ts:(N-1)/2*ts;
f=-fs/2:fs/(N-1):fs/2;
for i=1:N
if (t( i ))>=-tb/2 & (t( i ))<0;
x( i )=A;
elseif (t( i ))>0 & (t( i ))<=tb/2;
x( i )=-A;
else
x(i)=0;
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
B=tb*f/2;
C=pi*tb*f/2;
D=sinc(B);
E=sin(C);
F=D.*E;
Y=A*j*tb*F;
U=[x((N+1)/2:N) x(1:(N-1)/2)];
V=fft(U,N)*ts;
W=[V((N+3)/2:N) V(1:(N+1)/2)];
figure(1)
plot(t,x)
xlabel('Time(s)')
ylabel('Amplitude(v)')
axis([-2e-9 2e-9 -5 5 ])
figure(2)
plot(f,20*log10(abs(Y))+150,f,20*log10(abs(W))+150,':')
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('power spectral dennsity(dBm/MHz)')
legend('Exact','FFT')
axis([0 13e9 -100 -20 ])
```

5. ซ็อฟโค้ดรูปคลื่นเกาส์ดับเล็ท (Gaussian Doublet Waveform)

```
% Waveform_gaussian_doublet
clear all;
A = 4;
t0 = 1e-9;
d = 0.5e-9;
N = 10001;
fs = 1000e9;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ts = 1/fs;
t  = -(N-1)/2*ts:ts:(N-1)/2*ts;
f  = (-5000:5000)/5000*fs/2;
B=(t+t0)/d;
C= -B.^2;
D=(t-t0)/d;
E=-D.^2;
x=A*(exp(C)- exp(E));
F=A*j*2*d;
G=-pi.^2 * d^2 * f.^2;
H=2*pi*t0*f;
K=sqrt(pi);
L=exp(G);
M=sin(H);
y=F.*H.*L.*M;
U=[x((N+1)/2:N) x(1:(N-1)/2)];
V=fft(U,N)*ts;
W=[V((N+3)/2:N) V(1:(N+1)/2)];
figure(1)
plot(t,x)
xlabel('Time(s)')
ylabel('Amplitude(v)')
figure(2)
plot(f,20*log10(abs(y))+150,f,20*log10(abs(W))+150,':')
xlabel('Frequency(Hz)')
ylabel('power spectral dennsity(dBm/MHz)')
legend('Exact','FFT')
axis([0 13e9 -100 -15 ])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ซอสโค้ดรูปคลื่นเกาส์โมโนไซเคิล (Gaussian Monocycle Waveform)

```
% Waveform_gaussian_monocycle
A = 4;
d = 0.5e-9;
N = 10001;
fs = 1000e9;
ts = 1/fs;
t = -(N-1)/2*ts:ts:(N-1)/2*ts;
f = (-5000:5000)/5000*fs/2;
D=2*t.^2;
B=D/d^2;
E=t/d;
C= -E.^2;
H=exp(C);
K=1-B;
x=A.*H.*K;
F=sqrt(pi);
G=-pi.^2 * d^2 * f.^2;
L=exp(G);
y= 2* A * d^3 * pi^2 * F.* f.^2.*L ;
U=[x((N+1)/2:N) x(1:(N-1)/2)];
V=fft(U,N)*ts;
W=[V((N+3)/2:N) V(1:(N+1)/2)];
figure(1)
plot(t,x)
xlabel('Time(s)')
ylabel('Amplitude(v)')
figure(2)
plot(f,20*log10(abs(y))+150,f,20*log10(abs(W))+150,':')
xlabel('Frequency(Hz)')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ylabel('power spectral dennsity(dBm/MHz)')
legend('Exact','FFT')
axis([0 13e9 -100 -20 ])
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้