

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์รูปคลื่นของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

WAVEFORM ANALYSIS OF ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS



จพ.
ก 281 ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 65482
วัน,เดือน,ปี 11 ต.ค. 2549

b. 11655197
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2726-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WAVEFORM ANALYSIS OF ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS

KRITSANA WANSIANG



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2726-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์รูปคลื่นของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายกฤษณะ หวานเสียง
รหัสนักศึกษา	47061132
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.พิชญ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอรูปคลื่นอย่างง่ายสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (UWB) ซึ่งทำให้รูปคลื่นเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่ได้กำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) โดยพิจารณารูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม, รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต, รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต, รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเบิล, รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเบิล และรูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ ได้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละรูปคลื่นที่ทำให้ได้ความหนาแน่นสเปกตรัมของกำลัง (PSD) ที่แผ่กระจายออกมาเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดไว้สำหรับการสื่อสาร UWB ซึ่งจะทำการพิจารณาให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC, สถาบันมาตรฐานการสื่อสารแห่งยุโรป (ETSI) และกระทรวงพาณิชย์และการสื่อสารภายในประเทศ (MIC) ของประเทศญี่ปุ่น โดยพิจารณากรณีที่มีแบนด์วิธกว้างมากที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด รูปคลื่นที่ได้เหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นสัญญาณส่งอ้างอิงสำหรับวิเคราะห์และจำลองการทำงานหาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร UWB

Thesis Title Waveform Analysis of Ultra Wideband Communications
Student Mr. Kritsana Wansiang
Student ID. 47061132
Degree Master of Engineering
Program Information Engineering
Year 2006
Thesis Advisor Asst.Prof. Pichaya Supanakoon

ABSTRACT

In this thesis, simple waveforms are proposed for ultra wideband (UWB) communications. The waveforms are satisfied the definition of UWB signal regulated by Federal Communications Commission (FCC). The rectangular passband, modulated rectangular, modulated Gaussian, rectangular doublet, Gaussian doublet and Gaussian monocycle waveforms are considered. The radiated power spectral densities (PSD) of these waveforms are optimized to satisfy the FCC, European Telecommunication Standards Institute (ETSI) and Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) spectral masks. Maximum bandwidth, amplitude and average power cases are considered. These obtained waveforms can be used as the reference transmitted signal for analyzing and simulating the performance of UWB communication.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและคำปรึกษา คำชี้แนะช่วยเหลือแก้ปัญหาลดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.พิชญ์ สุพรรณกุล ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผศ.มนต์ชัย แซ่มะชัย รศ.นิกร สุขุมตันติ และ ศ.ดร. ถวิล พึ่งมา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำลดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณพี่ชายของข้าพเจ้า คุณเกษมสันต์ หวานเสียง ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งของข้าพเจ้า

กฤษณะ หวานเสียง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 นิยามและข้อกำหนดของสัญญาณ UWB.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 นิยามของสัญญาณ UWB.....	5
2.3 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC.....	5
2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI.....	6
2.5 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC.....	8
2.6 บทสรุป.....	9
บทที่ 3 การจำลองรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง.....	10
3.1 บทนำ.....	10
3.2 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกลมอคูเลต.....	11
3.4 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกลมอคูเลต.....	12
3.5 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต.....	12
3.6 รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลต.....	13
3.7 รูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์.....	13
3.8 บทสรุป.....	14
บทที่ 4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น UWB.....	15
4.1 บทนำ.....	15
4.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์.....	16
4.2.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	16
4.2.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	18
4.2.3 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	18
4.3 การกำหนดคสเปกตรัมมาร์ค.....	18
4.4 การหาคุณสมบัติของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	19
4.4.1 การหา PSD ของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	19
4.4.2 การหาแอมพลิจูดของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	20
4.4.3 การหาแบนด์วิธของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	20
4.4.4 การหากำลังเฉลี่ยของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	20
4.5 การตรวจสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแต่ละแบบ.....	21
4.5.1 การตรวจสอบนิยามของสัญญาณ UWB.....	22
4.5.2 การพิจารณาคุณสมบัติของรูปคลื่นกับพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น.....	22
4.5.3 การเก็บค่าคุณสมบัติของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น.....	22
4.5.4 การเก็บค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่น.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่น.....	23
4.7 การค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์ของรูปคลื่น.....	23
4.8 บทสรุป.....	23
บทที่ 5 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น UWB.....	24
5.1 บทนำ.....	24
5.2 ผลการหาพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC.....	24
5.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	24
5.2.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต.....	25
5.2.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต.....	28
5.2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นชนิดอื่น.....	30
5.3 ผลที่ได้จากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คแบบเก่าที่กำหนดโดย ETSI.....	30
5.3.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	30
5.3.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต.....	32
5.3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต.....	34
5.4 ผลที่ได้จากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI.....	37
5.4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	37
5.4.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต.....	38
5.4.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต.....	39
5.5 ผลที่ได้จากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC.....	41
5.5.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	41
5.5.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต.....	43
5.5.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต.....	46
5.6 ตัวอย่างการนำรูปคลื่นมาวิเคราะห์ร่วมกับสายอากาศและช่องสัญญาณ.....	48
5.6.1 ผลการวิเคราะห์หาความเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	48
5.6.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีที่ผ่านช่องสัญญาณ อวกาศว่าง.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
6.1 สรุปผลจากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC.....	53
6.2 สรุปผลจากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI.....	54
6.2.1 สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI แบบเก่า.....	54
6.2.2 สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดขึ้นใหม่โดย ETSI.....	55
6.3 สรุปผลจากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก ก. การเปลี่ยนหน่วยของ PSD.....	61
ภาคผนวก ข. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC.....	6
2.2 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาแบบเก่าสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ETSI.....	7
2.3 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI.....	8
2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC.....	9
4.1 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	16
4.2 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต.....	17
4.3 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต.....	17
6.1 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร.....	53
6.2 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคาร.....	54
6.3 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร.....	54
6.4 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคาร.....	55
6.5 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคาร.....	55
6.6 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารทางด้านแถบผ่านต่ำ.....	56
6.7 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารทางด้านแถบผ่านสูง.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC.....6
2.2	สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่ กำหนดโดย ETSI.....7
2.3	สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่ ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI.....8
2.4	สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC.....9
4.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนทั้งหมดในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น.....15
4.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์.....16
4.3	แผนภาพแสดงขั้นตอนการกำหนดสเปกตรัมมาร์ค.....18
4.4	แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาคุณสมบัติของรูปคลื่น.....19
4.5	แผนภาพแสดงขั้นตอนการตรวจสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....21
5.1	รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัด ภายนอกอาคาร.....24
5.2	PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัด ภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....25
5.3	รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....26
5.4	PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร.....26
5.5	รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....27
5.6	PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....27
5.7	รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....28
5.8	PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร.....28
5.9	รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....29
5.10	PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตราหน้าเบเซบระยะขนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร และข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	31
5.12 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	31
5.13 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	32
5.14 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร.....	32
5.15 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	33
5.16 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	34
5.17 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	35
5.18 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร.....	35
5.19 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	36
5.20 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	36
5.21 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและ ข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	37
5.22 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	37
5.23 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร และข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	38
5.24 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	39
5.25 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและ ข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.26 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร.....	40
5.27 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านความถี่ต่ำสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร	41
5.28 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมกรณีพิจารณาทางด้านความถี่ต่ำเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	41
5.29 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านความถี่สูงสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร	42
5.30 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมกรณีพิจารณาทางด้านความถี่สูงเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	43
5.31 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านความถี่ต่ำสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร	43
5.32 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านความถี่ต่ำเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	44
5.33 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านความถี่สูงสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร.....	45
5.34 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านความถี่สูงเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	45
5.35 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านความถี่ต่ำสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร	46
5.36 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านความถี่ต่ำเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	46
5.37 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านความถี่สูงสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร.....	47
5.38 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านความถี่สูงเปรียบเทียบกับ สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....	48
5.39 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นเข้าใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.40 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูที่มุม 320°	49
5.41 PSD ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูที่มุม 320°	50
5.42 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมตามมุมที่กำหนดสำหรับสเปกตรัมมาร์คภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC.....	50
5.43 ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของเครื่องรับแบบแมตซ์และแบบสหสัมพันธ์สำหรับแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตรงข้ามกัน	51
5.44 ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของเครื่องรับแบบแมตซ์และแบบสหสัมพันธ์สำหรับแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตั้งฉากกัน	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband)	UWB
ความหนาแน่นสเปกตรัมของกำลัง (Power Spectral Density)	PSD
ระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	WLAN
คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
สถาบันมาตรฐานการสื่อสารแห่งยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
กระทรวงพาณิชย์และการสื่อสารภายในประเทศ ของประเทศญี่ปุ่น (Ministry of Internal Affairs and Communications)	MIC
การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ไบนารี (Binary Pulse Amplitude Modulation)	BPAM
ความถี่วิทยุ (Radio Frequency)	RF
กระแสตรง (Direct Current)	DC
อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)	SNR
เครื่องส่ง (Transmitter)	Tx
เดซิเบล (Decibel)	dB
เมกกะเฮิรตซ์ (Megahertz)	MHz
กิกกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
โวลต์ (Volt)	V
วินาที (Second)	s
นาโนเซกกัล (Nanosecond)	ns
วัตต์ (Watt)	W
ความถี่ (Frequency)	f
ความถี่ต่ำสุด (Lower Frequency)	f_L
ความถี่สูงสุด (Upper Frequency)	f_H
ความถี่กลาง (Center Frequency)	f_c
แบนด์วิดท์ (Bandwidth)	f_b
เวลา (Time)	t
แอมพลิจูดสูงสุด (Amplitude)	A
ช่วงเวลาที่มิระดับลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด	d
ความกว้างพัลส์	t_b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีวิทยุแถบกว้างยิ่ง (UWB) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับการสื่อสารไมโครเวฟ เนื่องจากว่ามีราคาถูก มีอัตราข้อมูลสูง และใช้กำลังส่งที่ต่ำ [1]-[3] ระบบ UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารความถี่วิทยุ (RF) แบบอื่นตรงที่เทคโนโลยี UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้ สัญญาณของระบบ UWB จะเป็นสัญญาณพัลส์ในช่วงเวลาแคบๆ จึงทำให้ความหนาแน่นสเปกตรัมของกำลัง (PSD) มีการกระจายอยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก เนื่องจากการสื่อสารในระบบ UWB ไม่ต้องการมอดูเลตสัญญาณพาห้เข้ากับสัญญาณข้อมูลก่อนทำการส่ง ดังนั้น ในภาคส่งของระบบการสื่อสาร UWB จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ประเภทการมอดูเลตความถี่ และเครื่องส่งที่มีกำลังมาก จึงเป็นการลดต้นทุนของระบบการสื่อสารลงได้

เนื่องจากระบบการสื่อสาร UWB มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก และมีสเปกตรัมไปทับซ้อนกับระบบการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) [4] จึงได้ตั้งข้อกำหนด PSD ของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมา รวมทั้งยังได้กำหนดนิยามของสัญญาณ UWB โดยที่แบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB จะพิจารณาจาก PSD ที่มีระดับลดลงมาจากระดับสูงสุด 10 dB และกำหนดให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB สำหรับการสื่อสารต้องอยู่ในช่วงแถบความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz นอกจากนี้ FCC ยังได้กำหนดให้สัญญาณ UWB เป็นสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz

ในการกำหนดระดับ PSD ของสัญญาณ UWB ที่แผ่กระจายออกมา ได้กำหนดในรูปแบบของสเปกตรัมมาร์ค โดยที่ระดับ PSD ของสัญญาณ UWB ที่แผ่กระจายออกมาจะต้องมีระดับไม่เกินระดับของสเปกตรัมมาร์คที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละช่วงความถี่เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณ UWB ไปแทรกสอดกับระบบการสื่อสารอื่น

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบและการสร้างรูปคลื่นสัญญาณส่งที่ใช้สำหรับการสื่อสาร UWB เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะจะต้องมีแบนด์วิดท์หรือแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเป็นไปตามนิยามที่กำหนดโดย FCC รวมทั้งจะต้องมี PSD ของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่ได้กำหนดไว้พร้อมกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อนำเสนอพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ UWB อย่างง่ายที่เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ซึ่งกำหนดโดย FCC และมี PSD ของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดไว้สำหรับการสื่อสาร UWB รูปคลื่นสัญญาณ UWB อย่างง่ายที่ได้นำเสนอนี้สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของสมการรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสมการของความหนาแน่นสเปกตรัมได้ง่าย ดังนั้น เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละรูปคลื่นแล้ว จะสามารถสร้างรูปคลื่นได้ง่ายโดยเพียงนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมนี้มาแทนลงไป ในสมการของรูปคลื่นก็สามารถสร้างรูปคลื่นที่ต้องการได้ โดยรูปคลื่นที่ได้เหล่านี้สามารถนำมาใช้อ้างอิงเป็นสัญญาณส่ง UWB สำหรับวิเคราะห์และจำลองการทำงานหาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร UWB ต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาคือรูปคลื่นอย่างง่ายสามารถทำให้เป็นไปตามนิยามและสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB ได้ โดยไม่ต้องใช้วิธีออกแบบสัญญาณที่ซับซ้อน พารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของรูปคลื่นสัญญาณ UWB ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษารูปคลื่นอย่างง่ายที่สามารถออกแบบให้มีแบนด์วิดท์กว้างหลายชนิด ในการพิจารณาหาความหนาแน่นสเปกตรัมได้ตั้งสมมติฐานให้มีการส่งรูปคลื่นแบบการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ไบนารี (BPAM) ที่มีลำดับการสุ่มแบบไบนารีที่สุ่มคล้อยอย่างเป็นอิสระ เพื่อที่จะทำให้สามารถพิจารณาหา PSD ของแต่ละรูปคลื่นได้ง่าย [5]-[7] ในการหา PSD ที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ได้ตั้งสมมติฐานให้สายอากาศเครื่องส่ง (Tx) เป็นแบบไอโซทรอปิก ซึ่งถ้าจะนำไปพิจารณากับสายอากาศชนิดอื่น จะต้องชดเชยแอมพลิจูดของสัญญาณกับแกนมากสุดของสายอากาศนั้น ในโดเมนความถี่ และพิจารณาในกรณีที่มีการแมตช์กันอย่างสมบูรณ์ระหว่างอิมพีแดนซ์เครื่องส่งกับสายอากาศ Tx ซึ่งเป็นกรณีที่มีการแผ่กระจายของสัญญาณออกมามากที่สุด ดังนั้น ในตามความเป็นจริงจะมีการแมตช์ไม่สมบูรณ์ จึงมั่นใจได้ว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละรูปคลื่นที่ได้นี้จะยังคงเป็นไปตามนิยามและสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ได้ตั้งสมมติฐานของสัญญาณ UWB ที่ดีไว้ 3 กรณี คือ มีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด ดังนั้น จึงได้หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามทั้งสามกรณีนี้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

สมการความหนาแน่นสเปกตรัมหาได้จากการใช้ทฤษฎีการแปลงฟูรีเยร์ของสมการรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา หลังจากนั้นจึงนำความหนาแน่นสเปกตรัมไปประมาณหา PSD ของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมา และหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละรูปคลื่นสัญญาณ UWB อย่างง่ายโดยปรับพารามิเตอร์ให้รูปคลื่นเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และเป็นไปตามข้อกำหนดของสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ถึงแม้ว่ามีรูปคลื่นอยู่หลายชนิดที่มีแบนด์วิดท์ที่กว้างสามารถนำมาใช้สำหรับการสื่อสาร UWB ได้ [8] แต่ก็ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของแต่ละรูปคลื่นที่เหมาะสมที่เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์ค ถึงแม้ว่าหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ ขึ้นมาสำหรับการออกแบบรูปคลื่น UWB เช่น การใช้ฟังก์ชันเฮอริไมต์ [9]-[11] และ การใช้ฟังก์ชันคลื่นทรงกลม [12]-[13] รวมทั้งได้มีการนำวิธีเชิงตัวเลขมาใช้ออกแบบรูปคลื่น UWB [14]-[15] เพื่อออกแบบสัญญาณ UWB ให้มี PSD ที่แผ่กระจายออกมาเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนด แต่วิธีเหล่านี้มีขั้นตอนที่ซับซ้อนหรือต้องใช้วิธีเชิงตัวเลขจำลองการทำงานเพื่อให้ได้รูปคลื่นสัญญาณนั้นขึ้นมา และไม่มีสมการอย่างง่ายที่ใช้อธิบายรูปคลื่นทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่โดยตรง อีกทั้งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนสำหรับกำหนดชนิดของรูปคลื่นสัญญาณ UWB ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอรูปคลื่นสัญญาณที่มีรูปแบบสมการที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่ต้องใช้ขั้นตอนที่ยุ่งยาก หรือเทคนิคเชิงตัวเลขมาช่วยในการสร้างสัญญาณ และทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทำให้รูปคลื่นเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์ค

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเอารูปคลื่นอย่างง่ายซึ่งประกอบด้วยรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ ซึ่งรูปคลื่นเหล่านี้สามารถหาสมการในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ได้โดยตรง หลังจากนั้นได้หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC [2] สถาบันมาตรฐานการสื่อสารแห่งยุโรป (ETSI) [16]-[17] และกระทรวงพาณิชย์และการสื่อสารภายในประเทศ (MIC) ของประเทศญี่ปุ่น [18] โดยแยกการพิจารณาออกเป็นสามกรณีคือ กรณีที่มีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด นอกจากนี้ได้ยกตัวอย่างการนำรูปคลื่นมาวิเคราะห์ร่วมกับสายอากาศและช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษารูปคลื่น UWB โดยอันดับแรกได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ตลอดจนสมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน และได้กำหนดขอบเขตของการวิจัย หลังจากนั้นได้ศึกษาเกี่ยวกับนิยามและข้อกำหนดของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC ศึกษาถึงสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC และได้ศึกษาและแสดงการจำลองรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง ได้แก่รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ และได้ทำการศึกษาเงื่อนไขรวมถึงวิธีการในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดสำหรับการสื่อสาร UWB ที่ทำให้รูปคลื่นมีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด เมื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแล้วหลังจากนั้นก็ทำการนำเสนอผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น UWB สำหรับสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC รวมทั้งได้ยกตัวอย่างการนำรูปคลื่นมาวิเคราะห์ร่วมกับสายอากาศและช่องสัญญาณและได้สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะไว้ในบทสุดท้าย

บทที่ 2

นิยามและข้อกำหนดของสัญญาณ UWB

2.1 บทนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC หลังจากนั้นจะเป็นข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์ค ที่กำหนดโดย FCC ข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์ค ที่กำหนดโดย ETSI และข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC สำหรับการสื่อสาร UWB

2.2 นิยามของสัญญาณ UWB

สำหรับการสื่อสาร UWB นิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC คือ จะต้องมีการ PSD อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และจะต้องมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz โดยที่แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนและแบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB นิยามเป็น [4]

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

$$\text{แบนด์วิดท์} = f_H - f_L \quad (2.2)$$

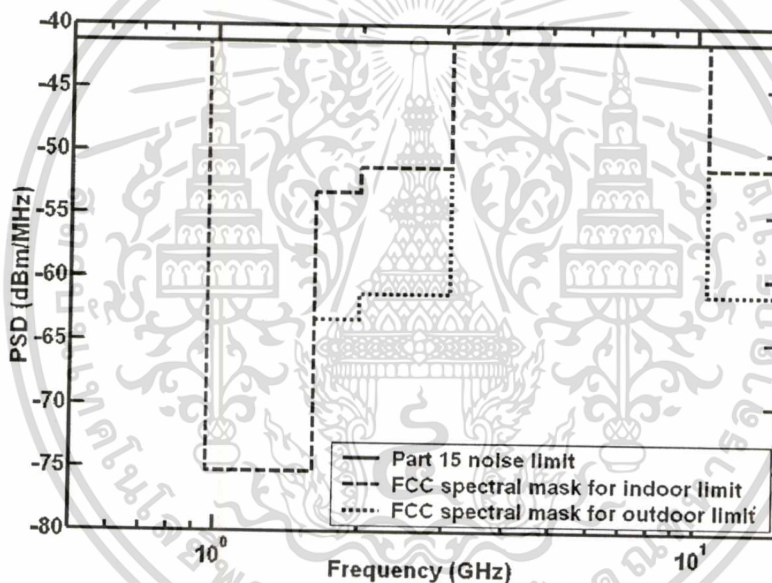
เมื่อ f_L และ f_H คือความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุดที่ PSD มีระดับลดลงมาจากระดับสูงสุด -10 dB ตามลำดับ

2.3 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC

ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาของ FCC สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารเป็นข้อกำหนดของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 กราฟสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 [4]

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC

ช่วงความถี่ที่กำหนด (MHz)	PSD (dBm/MHz) สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร	PSD (dBm/MHz) สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคาร
น้อยกว่า 960	-41.3	-41.3
960-1610	-75.3	-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



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC

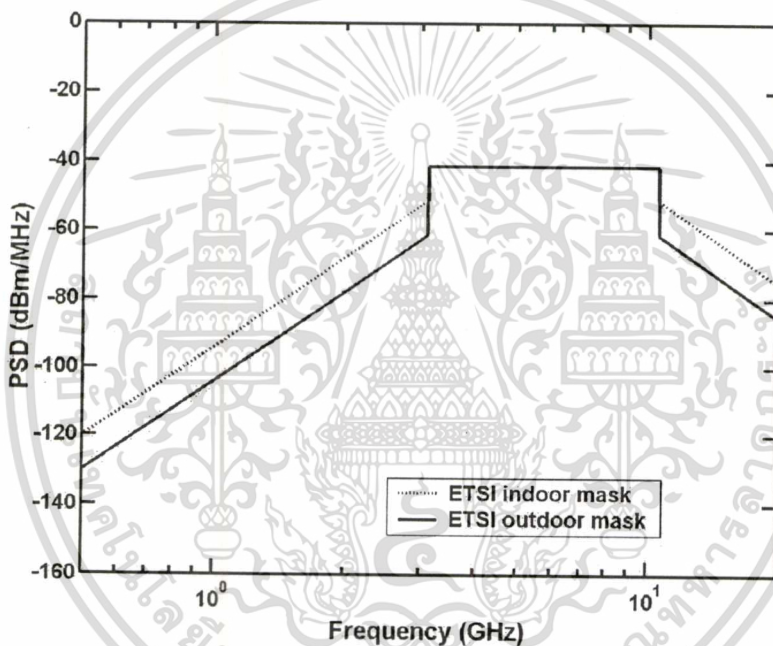
2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI

นอกจากข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่ได้กำหนดโดย FCC ในระบบการสื่อสาร UWB ยังได้มีข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดยสถาบันอื่นอีก นั่นคือที่กำหนดโดย ETSI ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับการสื่อสาร UWB ที่ใช้ในประเทศที่อยู่ในโซนแถบทวีปยุโรป โดยเริ่มแรกข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารได้แสดงในตารางที่ 2.2 ส่วนกราฟสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 2.2 [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาแบบเก่าสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร และภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ETSI

การสื่อสาร	ความถี่ (f) GHz		
	$f < 3.1$ GHz (dBm/MHz)	$3.1 \text{ GHz} < f < 10.6$ GHz (dBm/MHz)	$f > 10.6$ GHz (dBm/MHz)
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6/f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6/f)$

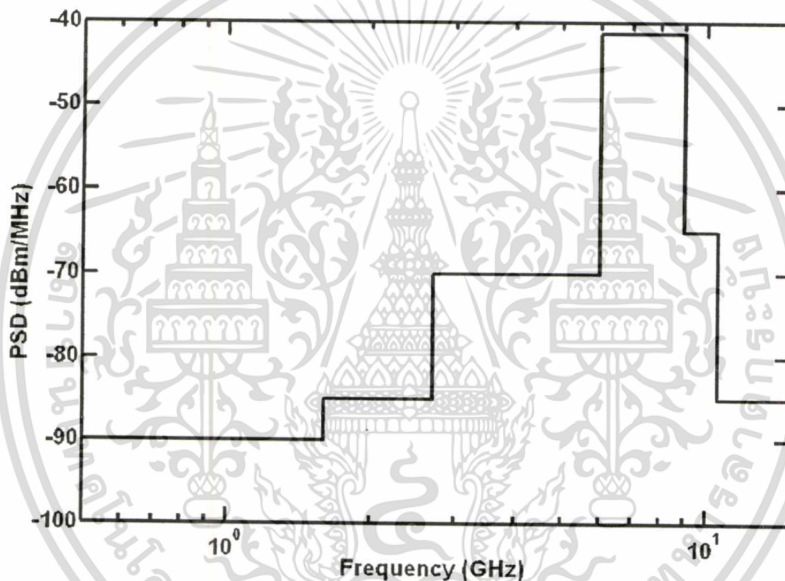


รูปที่ 2.2 สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ETSI

หลังจากนั้น ETSI ได้ทำการแก้ไขข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คขึ้นมาใหม่ โดยที่ข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาที่ได้แก้ไขใหม่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และสเปกตรัมมาร์คที่ได้แก้ไขใหม่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 [17]

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI

ช่วงความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-2.7	-85
2.7-6	-70
6-9	-41.3
9-10.6	-65
มากกว่า 10.6	-85



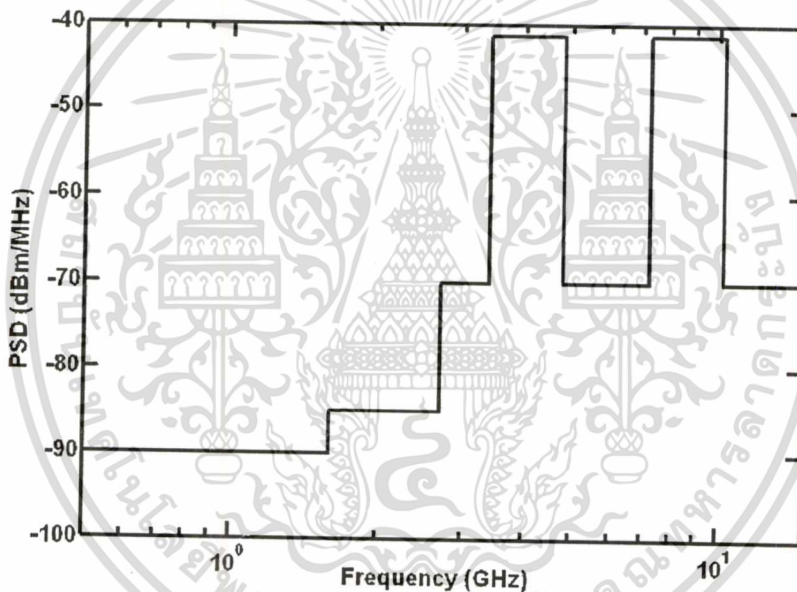
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI

2.5 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC

ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาที่กำหนดโดย MIC เป็นข้อกำหนดสำหรับการสื่อสาร UWB ที่ใช้ในประเศญี่ปุ่น โดยเป็นข้อกำหนดสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และกราฟสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 [18]

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC

ช่วงความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-2.7	-85
2.7-3.4	-70
3.4-4.8	-41.3
4.8-7.25	-70
7.25-10.25	-41.3
มากกว่า 10.25	-70



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC

2.6 บทสรุป

สำหรับการสื่อสาร UWB สัญญาณส่งที่ใช้จะต้องเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาหรือสเปกตรัมมาร์คพร้อมกัน ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ใช้นิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และได้ใช้ข้อกำหนดของระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาหรือสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC ข้อกำหนดของระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาหรือสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI และ ข้อกำหนดของระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาหรือสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC สำหรับการสื่อสาร UWB มาใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของรูปคลื่นสัญญาณ UWB อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง

3.1 บทนำ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณา รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลต และ รูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ โดยกำหนดให้รูปคลื่นเป็นสัญญาณแรงดัน เพื่อให้ได้อंकประกอบที่ต่อเนื่องของ PSD ได้กำหนดให้มีการส่งแบบ BPAM ที่มีลำดับการสุ่มการกระจายข้อมูลแบบไบนารีที่สมดุลอย่างเป็นอิสระ ดังนั้น PSD ที่มีหน่วยเป็น W/Hz ของสัญญาณที่อินพุตของสายอากาศสามารถแสดงได้ดังนี้ [5]-[7]

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |F(f)|^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ T_s คือช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่น (s) และ $F(f)$ คือฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่น (V/Hz) โดยที่ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันรูปคลื่นในโดเมนเวลา $f(t)$ ที่มีหน่วยเป็น v โดยใช้การแปลงฟูริเยร์

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.2)$$

ในการพิจารณา PSD ที่แผ่กระจายออกมาจะกำหนดให้สายอากาศ Tx เป็นสายอากาศแบบไอโซทรอปิก ได้พิจารณาให้อิมพีแดนซ์เครื่องส่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Tx มีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นจำนวนจริง เพื่อให้ได้กรณีในอุดมคติที่ PSD มีการแผ่กระจายออกมามากที่สุด ซึ่งได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์เครื่องส่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Tx เป็น $R \ \Omega$ และในวิทยานิพนธ์นี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการสูญเสียเชิงวิถีและระบบการวัด PSD ที่ได้นำมาใช้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้น PSD ที่แผ่กระจายออกมาซึ่งมีหน่วยเป็น W/Hz สามารถหาได้จาก

$$S_R(f) = \frac{1}{4R} S(f) \quad (3.3)$$

3.2 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมกำหนดโดย

$$f(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \operatorname{sinc}(2f_H t) - f_L \operatorname{sinc}(2f_L t)] \quad (3.4)$$

$$F(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \|f - f_c\| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (3.5)$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุด (V) f_b คือ แบนด์วิดท์ (Hz) f_c คือ ความถี่กลางมีหน่วยเป็น (Hz) $f_L = f_c - f_b/2$ คือความถี่ต่ำสุด (Hz) และ $f_H = f_c + f_b/2$ คือความถี่สูงสุด (Hz)

รูปคลื่นนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และ f_L ถึง f_H และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่น UWB ในอุดมคติ ดังนั้นจึงใช้พิจารณาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิดท์มากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของรูปคลื่น UWB รูปคลื่นนี้ จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (DC) เป็นศูนย์

3.3 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกำหนดโดย

$$f(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_c t) & |t| \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$F(f) = \frac{At_b}{j2} \{ \operatorname{sinc}[t_b(f - f_c)] - \operatorname{sinc}[t_b(f + f_c)] \} \quad (3.7)$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (V) f_c คือความถี่พาห้ (Hz) และ t_b คือความกว้างพัลส์ (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.4 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตกำหนดโดย

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t) \quad (3.8)$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{j2} \left[e^{-\pi^2 d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi^2 d^2 (f+f_c)^2} \right] \quad (3.9)$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุดของรูปคลื่นเกาส์ (V) f_c คือความถี่พาห้ (Hz) และ $\pm d$ คือเวลาที่รูปคลื่นเกาส์มีแอมพลิจูดลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด (s)

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

3.5 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลตกำหนดโดย

$$f(t) = \begin{cases} A & -\frac{t_b}{2} \leq t < 0 \\ -A & 0 < t \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2}, t = 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$F(f) = jAt_b \operatorname{sinc}\left(\frac{t_b f}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi_b f}{2}\right) \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A คือแอมพลิจูด (V) และ t_b คือความกว้างพัลส์ (s)

รูปคลื่นนี้ประกอบด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยมสองรูปคลื่นอยู่ติดกันที่เวลา $t=0$ โดยมีแอมพลิจูดตรงข้ามกัน (A และ $-A$) และแต่ละรูปคลื่นมีความกว้างเท่ากับ $t_b/2$ ดังนั้น รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลตนี้จึงมีความกว้างทั้งหมดเป็น t_b รูปคลื่นนี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่จึงมีส่วนประกอบ DC เป็นศูนย์

3.6 รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลต

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลตกำหนดโดย

$$f(t) = A \left\{ e^{-[(t+t_0)/d]^2} - e^{-[(t-t_0)/d]^2} \right\} \quad (3.12)$$

$$F(f) = j2Ad\sqrt{\pi}e^{-\pi^2d^2f^2} \sin(2\pi t_0 f) \quad (3.13)$$

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

รูปคลื่นนี้ประกอบด้วยรูปคลื่นเกาส์สองรูปคลื่นอยู่ติดกันที่เวลา $t=0$ โดยที่รูปคลื่นเกาส์ทางด้านซ้าย ($t < 0$) และรูปคลื่นเกาส์ทางด้านขวา ($t > 0$) มีคุณสมบัติตามที่ได้อธิบายไว้ด้านบน รูปคลื่นนี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่จึงมีส่วนประกอบ DC เป็นศูนย์เหมือนกับรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต

3.7 รูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์กำหนดโดย

$$f(t) = A \left(1 - \frac{2t^2}{d^2} \right) e^{-(t/d)^2} \quad (3.14)$$

$$F(f) = 2Ad^3\pi^2\sqrt{\pi}f^2e^{-\pi^2d^2f^2} \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุด (V) และ $\pm d$ คือเวลาที่รูปคลื่นเกาส์มีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดต่ำสุด (s)

รูปคลื่นนี้เป็นการทำอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นเกาส์ที่มีแอมพลิจูดต่ำสุดเป็น $-Ad^2/2$ ที่เวลา $t=0$ และมีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเป็น $-Ad^2/(2e)$ ที่เวลา $t=\pm d$ โดยที่รูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น A รูปคลื่นนี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่และมีส่วนประกอบ DC เท่ากับศูนย์

3.8 บทสรุป

การจำลองรูปคลื่นทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงในบทนี้ เป็นการจำลองรูปคลื่นอย่างง่ายที่สามารถเขียนเป็นสมการรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสมการของความหนาแน่นสเปกตรัมได้ง่าย รวมทั้งยังสามารถกำหนดพารามิเตอร์ให้สัญญาณมีแบนด์วิดท์ที่กว้างตามที่ต้องการได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จำลองรูปคลื่นเหล่านี้มาหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB

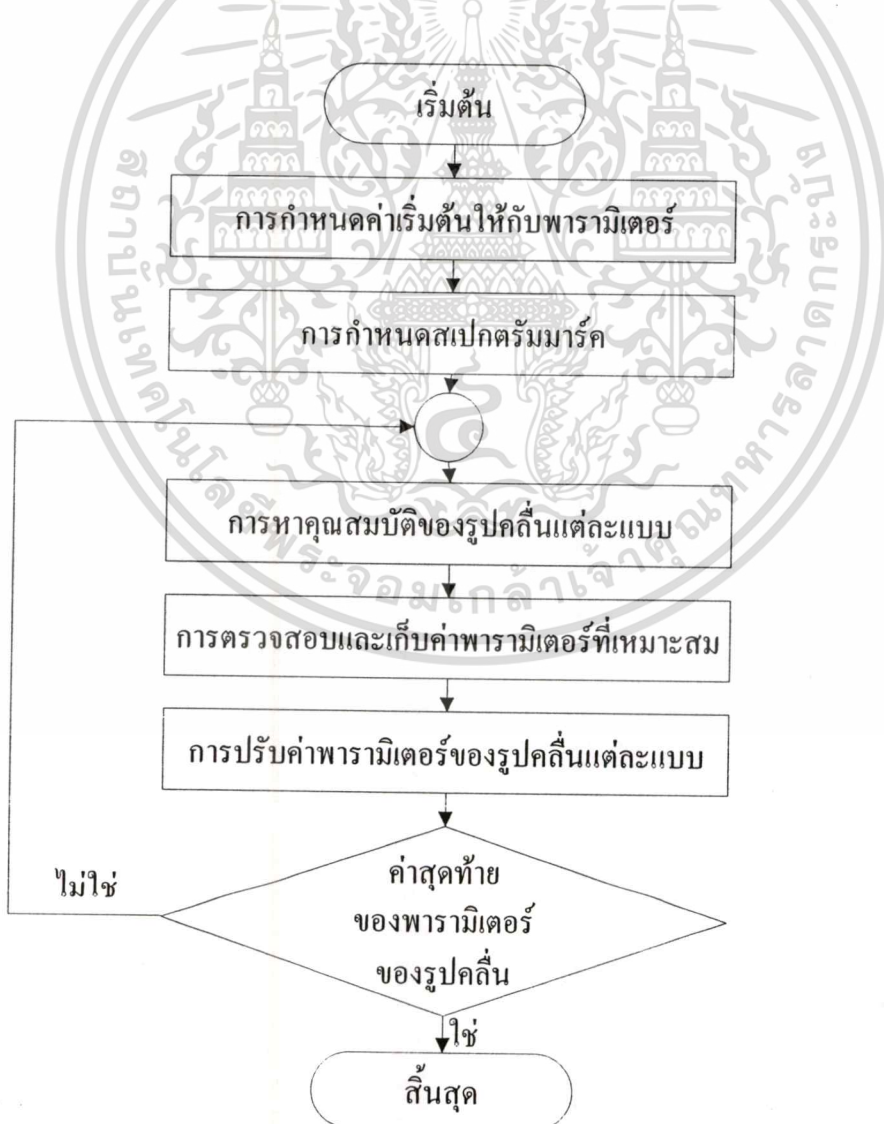


บทที่ 4

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น UWB

4.1 บทนำ

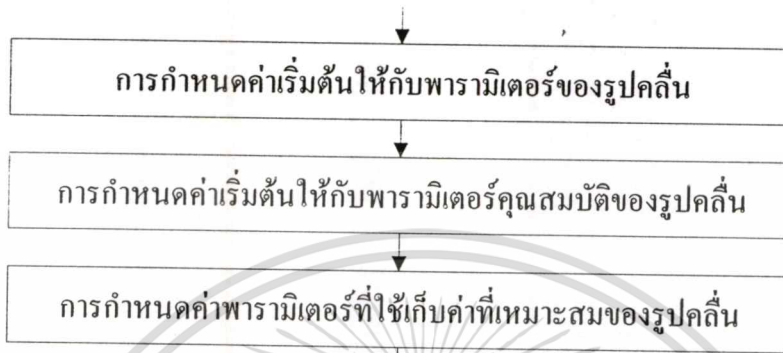
ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 โดยทำให้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และข้อกำหนด PSD ที่แผ่กระจายออกมาและสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 โดยที่จะมีขั้นตอนดังนี้ คือ กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ กำหนดสเปกตรัมมาร์ค หาคุณสมบัติของรูปคลื่น ตรวจสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่น และตรวจสอบค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์ของรูปคลื่น โดยที่แผนภาพของขั้นตอนทั้งหมดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



เอกสารรูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพแสดงขั้นตอนทั้งหมดในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์

ในขั้นตอนนี้จะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์อยู่ 3 ชนิด คือ พารามิเตอร์ของรูปคลื่น พารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น และพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่นซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์

4.2.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแต่ละแบบ

การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ของรูปคลื่นจะกำหนดให้กับเฉพาะพารามิเตอร์เวลากับความถี่ของการจำลองรูปคลื่น ซึ่งค่าเริ่มต้นนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของรูปคลื่นและสเปกตรัมมาร์ค ดังต่อไปนี้

- รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม เนื่องจาก PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้น จึงทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ภายในรอบเดียว โดยกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ f_L และ f_H ให้ตรงกับความถี่เริ่มต้นและความถี่สุดท้ายของแถบผ่านสเปกตรัมมาร์คดังแสดงในตารางที่ 4.1 และจะสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นที่เหลือได้จาก $f_c = (f_H + f_L)/2$ และ $f_b = f_H - f_L$

ตารางที่ 4.1 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB	f_L (GHz)	f_H (GHz)
สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC	3.10	10.60
สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าที่กำหนดโดย ETSI	3.10	10.60
สเปกตรัมมาร์คที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI	6.00	9.00
สเปกตรัมมาร์คแถบผ่านต่ำที่กำหนดโดย MIC	3.40	4.80
สเปกตรัมมาร์คแถบผ่านสูงที่กำหนดโดย MIC	7.25	10.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ f_c และ t_b โดยพารามิเตอร์ f_c จะกำหนดค่าให้ตรงกับความถี่เริ่มต้นของแถบผ่านสเปกตรัมมาร์ค ส่วนพารามิเตอร์ t_b จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับระยะเวลา ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB	f_c (GHz)	t_b (ns)
สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC	3.10	0.01
สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าที่กำหนดโดย ETSI	3.10	0.01
สเปกตรัมมาร์คที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI	6.00	0.01
สเปกตรัมมาร์คแถบผ่านต่ำที่กำหนดโดย MIC	3.40	0.01
สเปกตรัมมาร์คแถบผ่านสูงที่กำหนดโดย MIC	7.25	0.01

- รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ f_c และ d โดยพารามิเตอร์ f_c จะกำหนดค่าให้ตรงกับความถี่เริ่มต้นของแถบผ่านสเปกตรัมมาร์ค ส่วนพารามิเตอร์ d จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับระยะเวลา ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB	f_c (GHz)	d (ns)
สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC	3.10	0.01
สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าที่กำหนดโดย ETSI	3.10	0.01
สเปกตรัมมาร์คที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI	6.00	0.01
สเปกตรัมมาร์คแถบผ่านต่ำที่กำหนดโดย MIC	3.40	0.01
สเปกตรัมมาร์คแถบผ่านสูงที่กำหนดโดย MIC	7.25	0.01

- รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมคี่แบบเลต จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ t_b โดยจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับระยะเวลา ซึ่งมีค่าเป็น 0.01 ns สำหรับทุกสเปกตรัมมาร์ค

- รูปคลื่นแบบเกาส์คี่แบบเลต จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ t_0 และ d โดยจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับระยะเวลา ซึ่งมีค่าเท่ากันเป็น 0.01 ns สำหรับทุกสเปกตรัมมาร์ค

- รูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ d โดยจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับระยะเวลา ซึ่งมีค่าเป็น 0.01 ns สำหรับทุกสเปกตรัมมาร์ค

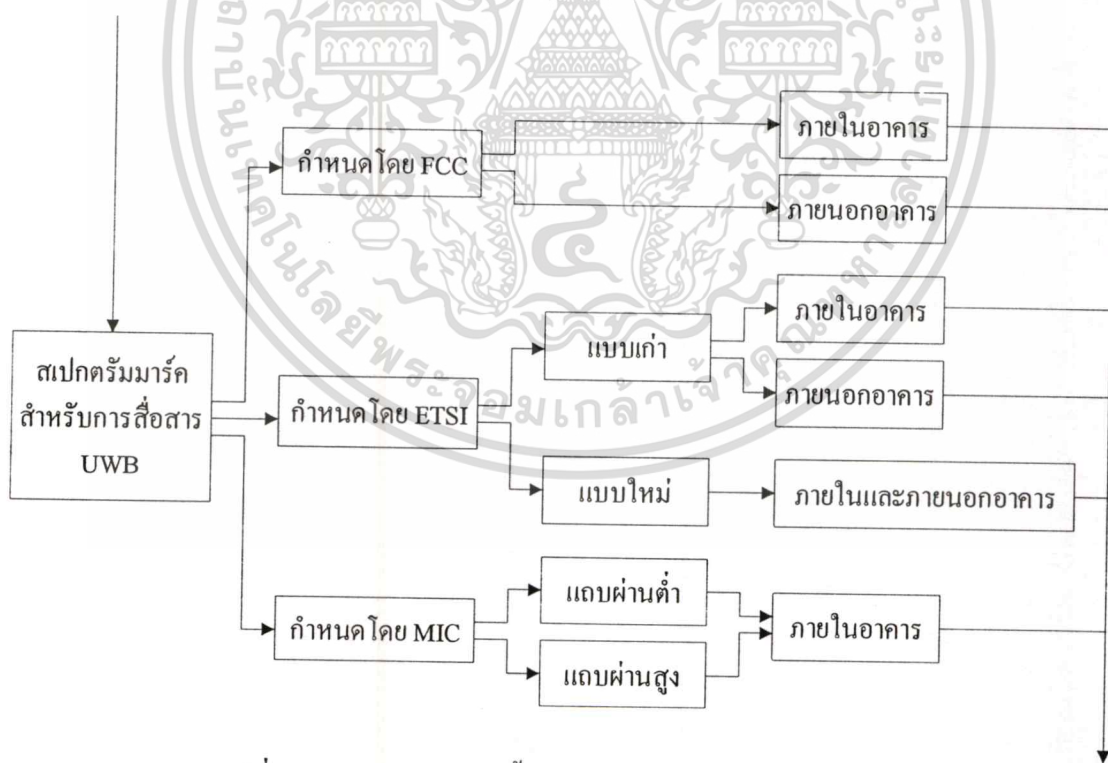
4.2.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่นแต่ละแบบ

พารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่นประกอบไปด้วย แบนด์วิดท์ แอมพลิจูด และกำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น พารามิเตอร์เหล่านี้จะใช้เป็นเงื่อนไขตรวจสอบหาค่ากรณีที่รูปคลื่นมีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้เป็นศูนย์

4.2.3 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่นแต่ละแบบ

พารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่นจะแบ่งออกตามกรณีที่ใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือกรณีของรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด โดยแต่ละกรณีนี้จะมีพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าแอมพลิจูดของรูปคลื่น แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของรูปคลื่น แบนด์วิดท์ของรูปคลื่น กำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น และพารามิเตอร์ของรูปคลื่น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้จะกำหนดให้มีค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์

4.3 การกำหนดสเปกตรัมมาร์ค



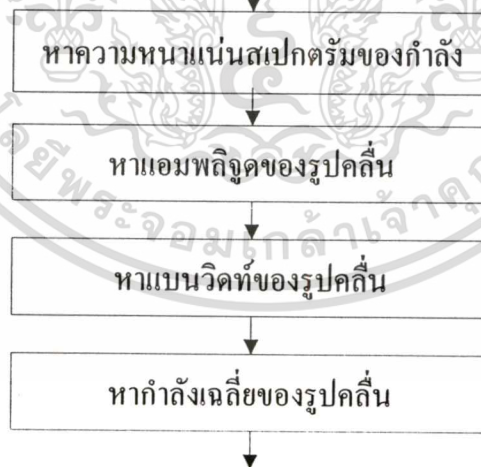
รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการกำหนดสเปกตรัมมาร์ค

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB โดยที่สเปกตรัมมาร์คจะแบ่งออกเป็นสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC ของประเทศสหรัฐอเมริกา สเปกตรัมมาร์ค
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ การใช้งานนอกเหนือจากนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ดูแลระบบ การค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กำหนดโดย ETSI ของทวีปยุโรป และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC ของประเทศญี่ปุ่น สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC จะแบ่งออกเป็นสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและการสื่อสารภายนอกอาคาร สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI จะแบ่งออกเป็นสเปกตรัมมาร์คแบบเก่า และสเปกตรัมมาร์คที่ได้รับการแก้ไขใหม่ สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าจะแบ่งออกเป็นสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและการสื่อสารภายนอกอาคาร ส่วนสเปกตรัมมาร์คที่ได้รับการแก้ไขใหม่จะใช้สำหรับการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC จะแบ่งออกเป็นแถบผ่านต่ำและแถบผ่านสูง ซึ่งจะใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น ซึ่งรายละเอียดของสเปกตรัมมาร์คทั้งหมดได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งกราฟของสเปกตรัมมาร์คจะพิจารณาในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.5 GHz ถึง 20 GHz โดยมีความละเอียดความถี่เป็น 0.01 GHz แผนภาพขั้นตอนกำหนดสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

4.4 การหาคุณสมบัติของรูปคลื่นแต่ละแบบ

ในขั้นตอนนี้จะทำการหาคุณสมบัติของรูปคลื่น ซึ่งจะประกอบไปด้วยหา PSD ของรูปคลื่น หาแอมพลิจูดของรูปคลื่น หาแบนด์วิดท์ของรูปคลื่น และหาค่ากำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น โดยที่แผนภาพขั้นตอนหาคุณสมบัติของรูปคลื่นได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาคุณสมบัติของรูปคลื่น

4.4.1 การหา PSD ของรูปคลื่นแต่ละแบบ

ขั้นแรกจะทำการหา PSD แต่ละชนิดโดยใช้สมการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ถึง 3.7 ซึ่งจะพิจารณาในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.5 GHz ถึง 20 GHz โดยมีความละเอียดความถี่เป็น 0.01

GHz ทำการหา PSD โดยใช้สมการที่ (3.1) และ (3.3) โดยทำการนอร์มัลไลซ์ให้พารามิเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A = 1 \text{ V}$, $T_s = 1 \text{ s}$ และ $R = 1 \text{ } \Omega$ ซึ่งค่าที่ถูกต้องของพารามิเตอร์ A จะทำการหาในขั้นตอนต่อไป โดยจะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ T_s และ R หลังจากนั้นเปลี่ยนหน่วย PSD ที่ได้ซึ่งมีเป็น W/Hz ให้มีหน่วยเป็น dBm/MHz โดยใช้สมการ (ดูภาคผนวก ก)

$$S_R(f)[\text{dBm/MHz}] = 10 \log \{ S_R(f)[\text{W/Hz}] \} + 150 \quad (4.1)$$

4.4.2 การหาแอมพลิจูดของรูปคลื่นแต่ละแบบ

นำ PSD ของรูปคลื่นที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 4.4.1 มาลบกับสเปกตรัมมาร์คที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 4.3 หลังจากนั้นนำค่าที่มากที่สุดมาพิจารณาแอมพลิจูดของรูปคลื่น A โดยใช้สมการ

$$A = 10^{-d_{\max}/20} \quad (4.2)$$

เมื่อ d_{\max} เป็นค่ามากที่สุดของค่าที่ได้จากการนำเอา PSD ของรูปคลื่นมาลบกับสเปกตรัมมาร์คค่าแอมพลิจูดที่ได้นี้เป็นค่าแอมพลิจูดของรูปคลื่นที่มี $T_s = 1 \text{ s}$ และ $R = 1 \text{ } \Omega$ ดังนั้น ค่าแอมพลิจูดที่แท้จริงจะต้องคูณด้วย $\sqrt{RT_s}$

4.4.3 การหาแบนด์วิดท์ของรูปคลื่นแต่ละแบบ

ในขั้นตอนนี้จะทำการหาความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุดที่ PSD ของรูปคลื่นมีระดับลดลงมาจากระดับสูงสุด -10 dB หลังจากนั้นทำการหาแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน และแบนด์วิดท์ของรูปคลื่น โดยใช้สมการที่ (2.1) และ (2.2) ตามลำดับ

4.4.4 การหากำลังเฉลี่ยของรูปคลื่นแต่ละแบบ

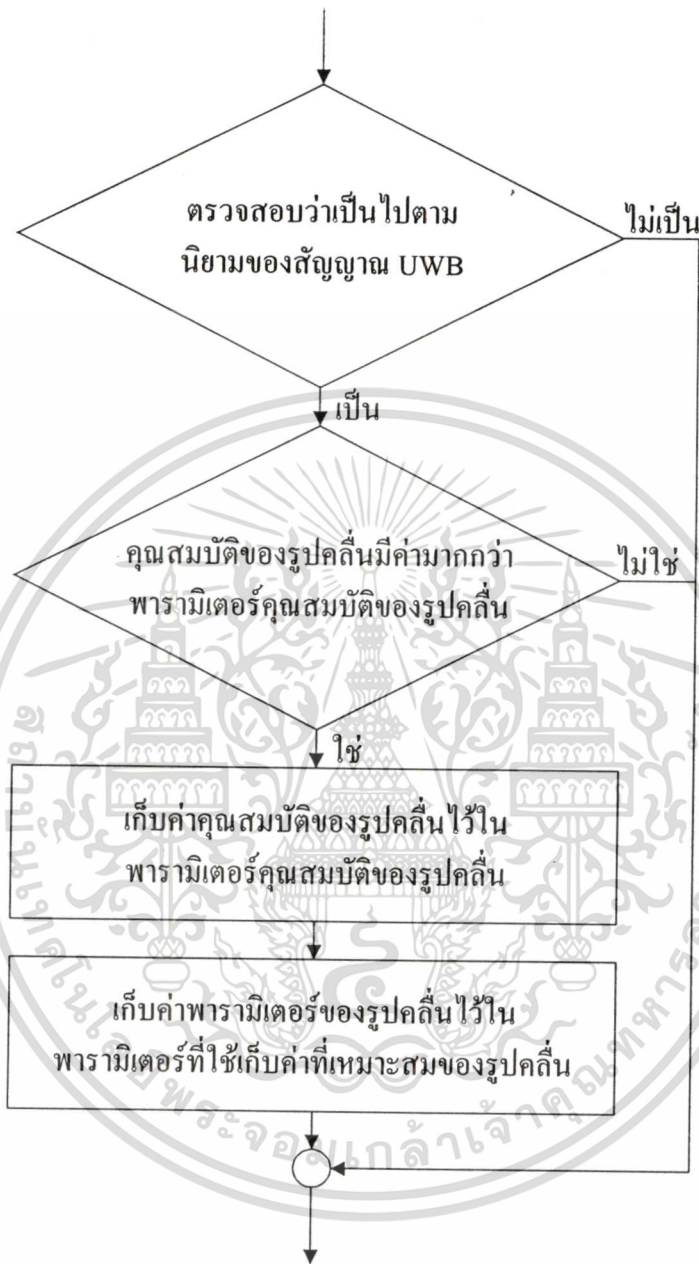
กำลังเฉลี่ยของรูปคลื่นในหน่วย dBm จะพิจารณาในช่วงความถี่ที่อยู่ในแถบผ่านของสเปกตรัมมาร์คที่กำลังพิจารณา ซึ่งหาได้จากสมการ

$$P_{av}[\text{dBm}] = 10 \log \left\{ 2 \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_R(f)[\text{W/Hz}] df \right\} + 30 \quad (4.3)$$

เมื่อ $S_R(f)[\text{W/Hz}]$ เป็น PSD ของรูปคลื่นที่แผ่กระจายออกมาในหน่วย W/Hz ที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อที่ 4.4.1 และใช้แอมพลิจูดที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อที่ 4.4.2 f_{\min} และ f_{\max} เป็นความถี่เริ่มต้นและความถี่สุดท้ายของแถบผ่านสเปกตรัมมาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การตรวจสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแต่ละแบบ



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงขั้นตอนตรวจสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้ว่าเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC หรือไม่ ถ้าเป็นก็จะตรวจสอบว่าคุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้มีค่ามากกว่าค่าที่เก็บไว้ในพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่นหรือไม่ ถ้าใช่จะทำการเก็บค่าคุณสมบัติของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น และเก็บค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่น ถ้าไม่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ก็จะไม่ทำการเก็บค่าคุณสมบัติของรูปคลื่น ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทำงานค่าในพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นในแต่ละกรณี แต่ถ้าพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่นมีค่าเป็นศูนย์แสดงว่ารูปคลื่นไม่สามารถทำให้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ในกรณีนั้นได้ แผนภาพขั้นตอนตรวจสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1 การตรวจสอบนิยามของสัญญาณ UWB

ในการตรวจสอบว่าเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB หรือไม่จะใช้สมการตรรก

$$P \equiv P_1 \wedge (P_2 \vee P_3) \quad (4.4)$$

เมื่อ P_1 เป็นนิพจน์ความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุดของรูปคลื่นอยู่ในช่วงแถบผ่านของสเปกตรัมมาร์ค P_2 เป็นนิพจน์แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของรูปคลื่นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 และ P_3 เป็นนิพจน์แบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz โดยที่รูปคลื่นจะเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ก็ต่อเมื่อนิพจน์ P มีค่าเป็นจริง

4.5.2 การพิจารณาคุณสมบัติของรูปคลื่นกับพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น

จะทำการพิจารณาค่าคุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 4.4.2 ถึง 4.4.4 ว่ามีค่ามากกว่าที่เก็บไว้ในพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่นหรือไม่ ถ้าใช่แสดงว่ารูปคลื่นที่ได้จะเป็นไปตามเงื่อนไขในกรณีนั้น

4.5.3 การเก็บค่าคุณสมบัติของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น

ในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บค่าคุณสมบัติของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์คุณสมบัติของรูปคลื่น เพื่อนำไปใช้เป็นค่าใหม่สำหรับกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาว่ารูปคลื่นเป็นกรณีที่มีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด

4.5.4 การเก็บค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นไว้ในพารามิเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่เหมาะสมของรูปคลื่น

ในขั้นตอนนี้จะเก็บค่าแอมพลิจูดของรูปคลื่น แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของรูปคลื่น แบนด์วิดท์ของรูปคลื่น กำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น และพารามิเตอร์ของรูปคลื่น ที่เป็นไปตามเงื่อนไขในแต่ละกรณี

4.6 การปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่น

ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นจะปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับความละเอียดในการพิจารณา โดยที่ถ้าเป็นพารามิเตอร์เวลาจะปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้น 0.01 ns ส่วนพารามิเตอร์ความถี่จะปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้น 0.01 GHz ยกเว้นในกรณีรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม จะไม่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่น ซึ่งจะมีการทำงานเพียงรอบเดียว

4.7 ค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์ของรูปคลื่น

ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ของรูปคลื่นว่ามีค่าเท่ากับค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์ของรูปคลื่นหรือไม่ โดยที่ค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์เวลาจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3.00 ns ส่วนพารามิเตอร์ความถี่จะกำหนดให้มีค่าสุดท้ายเท่ากับค่าสุดท้ายของแถบผ่านสเปกตรัมมาร์ค ยกเว้นกรณีรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม จะกำหนดให้ค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์มีค่าเท่ากับค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ ซึ่งจะทำให้มีการทำงานเพียงรอบเดียว

4.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นสำหรับกรณีรูปคลื่นมีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นที่ได้สำหรับแต่ละกรณีเหล่านี้ รวมทั้งรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และ PSD ของรูปคลื่นเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์ค ได้แสดงไว้ในบทที่ 5

บทที่ 5

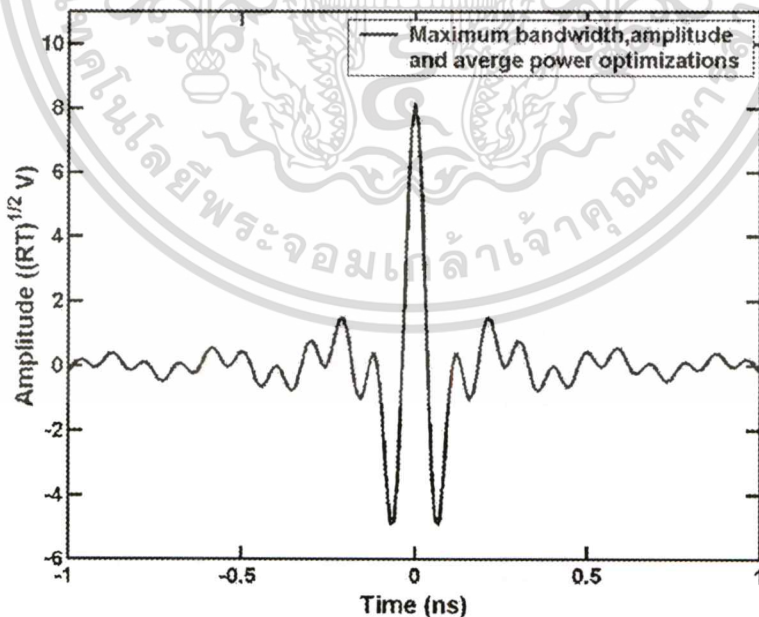
ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่น UWB

5.1 บทนำ

ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสัญญาณทั้งหมดที่ได้นำมาพิจารณานั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ผลที่ได้จากการหาพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC [19] ผลที่ได้จากการหาพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI [20]-[21] และผลที่ได้จากการหาพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC [22] หลังจากนั้นได้นำพารามิเตอร์เหล่านั้นมาเขียนเป็นรูปสัญญาณในโดเมนเวลา และ PSD เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คที่นำมาพิจารณาในแต่ละกรณี รวมทั้งได้ยกตัวอย่างการนำรูปคลื่นมาวิเคราะห์ร่วมกับสายอากาศและช่องสัญญาณ

5.2 ผลการหาพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC

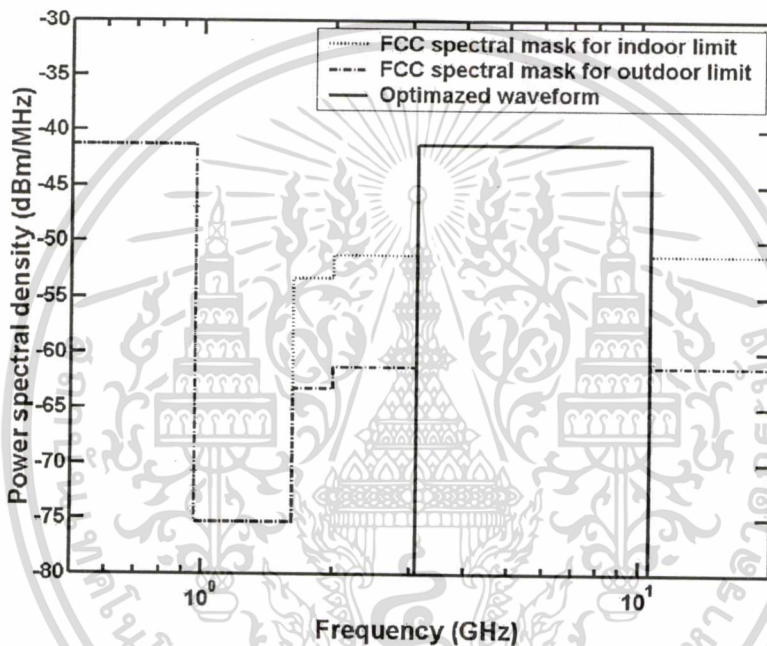
5.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.1 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 $A = 8.16\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -59.54 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2 ตามลำดับ

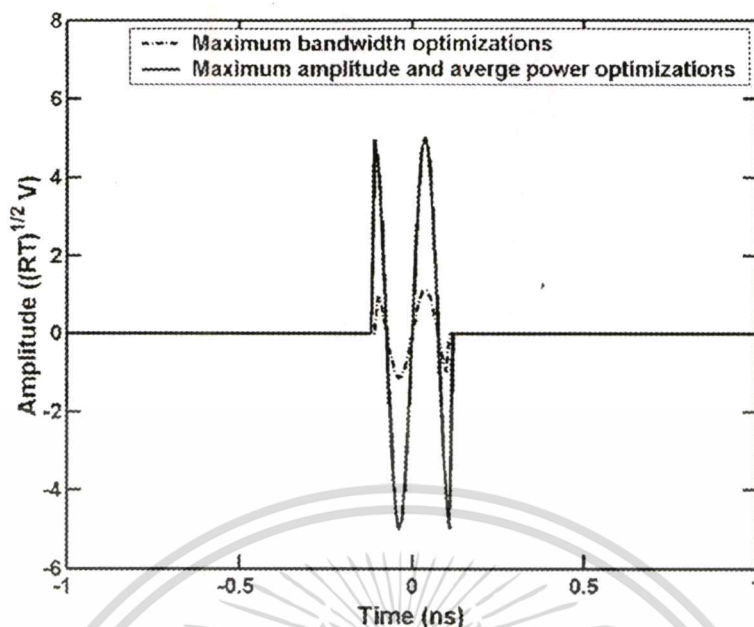


รูปที่ 5.2 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

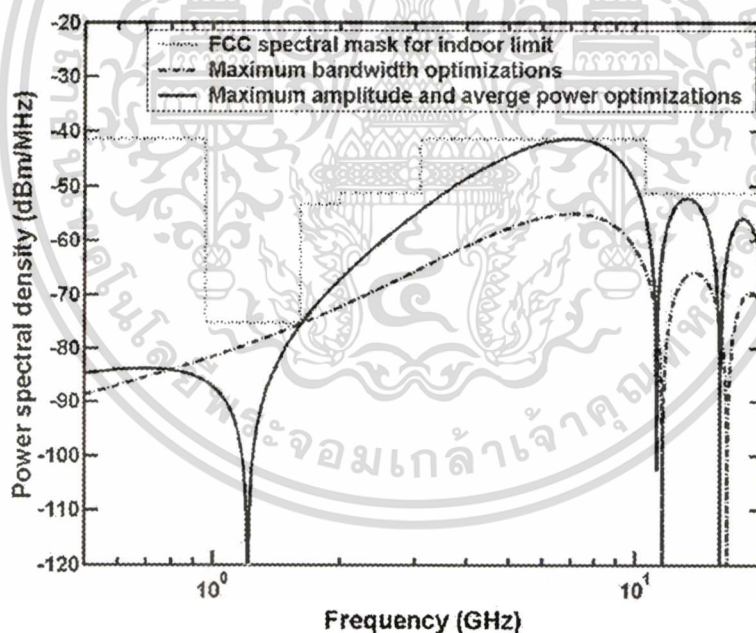
5.2.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.62$ GHz และ $A = 1.14\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $t_b = 0.22$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 5.04\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.98 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.72 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.24 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

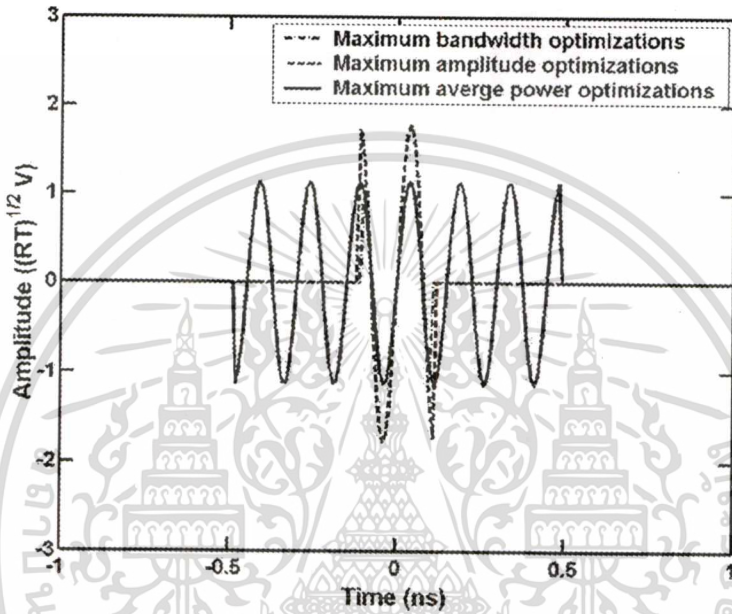


รูปที่ 5.4 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

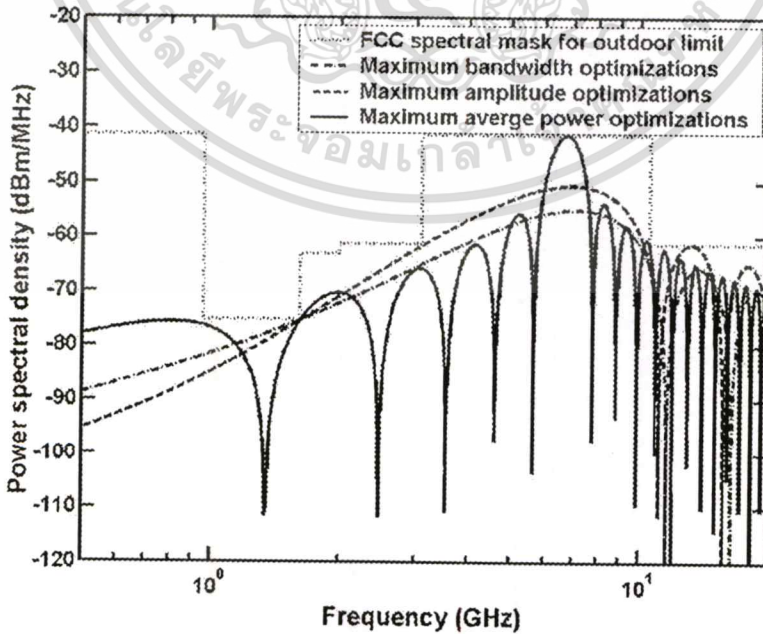
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.62$ GHz และ $A = 1.14\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดคือ $t_b = 0.22$ ns, $f_c = 6.46$ GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

และ $A = 1.78\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.03 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.87 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -71.32 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากที่สุดคือ $t_b = 0.96$ ns, $f_c = 6.72$ GHz และ $A = 1.14\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.23 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.54 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -68.22 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6 ตามลำดับ



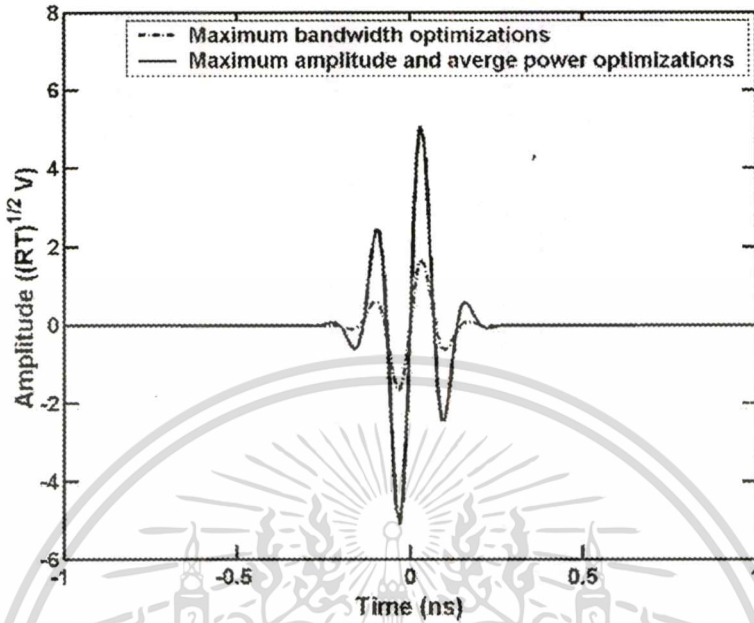
รูปที่ 5.5 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



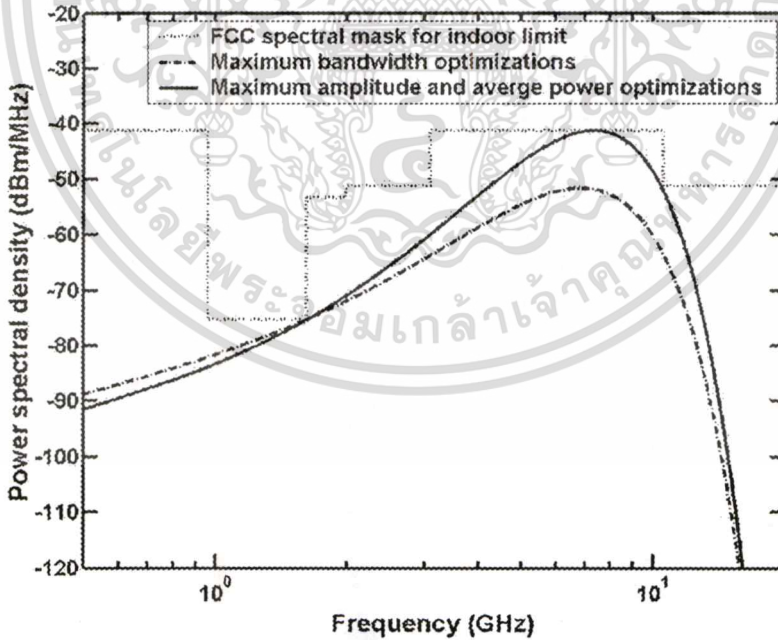
รูปที่ 5.6 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต



รูปที่ 5.7 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

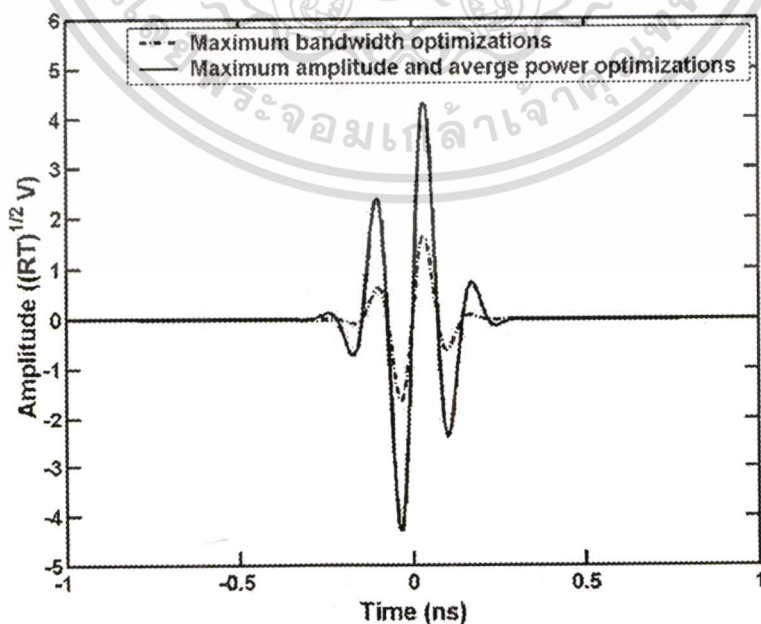


รูปที่ 5.8 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 1.86\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $1.64\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.71 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $d = 0.11$ ns, $f_c = 7.34$ GHz และ $A = 5.58\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $5.10\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.7 และ รูปที่ 5.8 ตามลำดับ

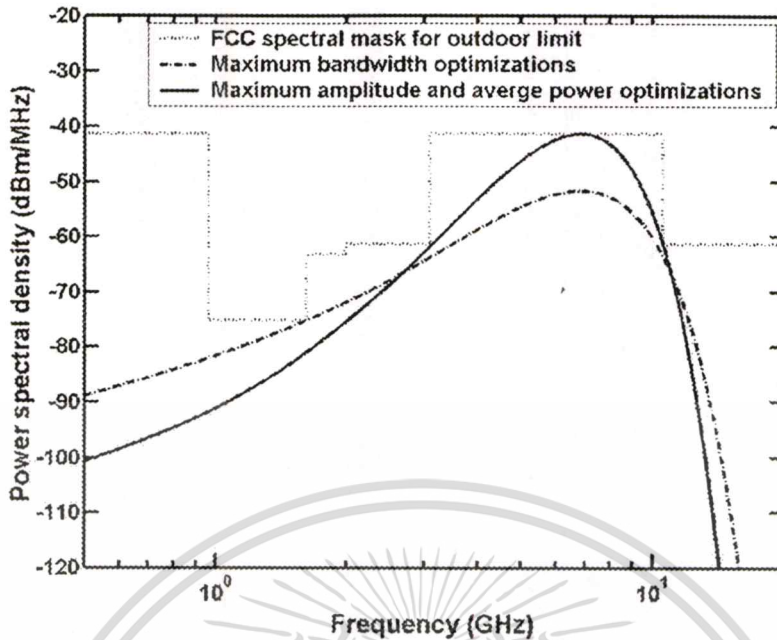
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 1.86\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $1.64\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.71 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $d = 0.13$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 4.72\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $4.38\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.43 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.9 และ รูปที่ 5.10 ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

5.2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นชนิดอื่น

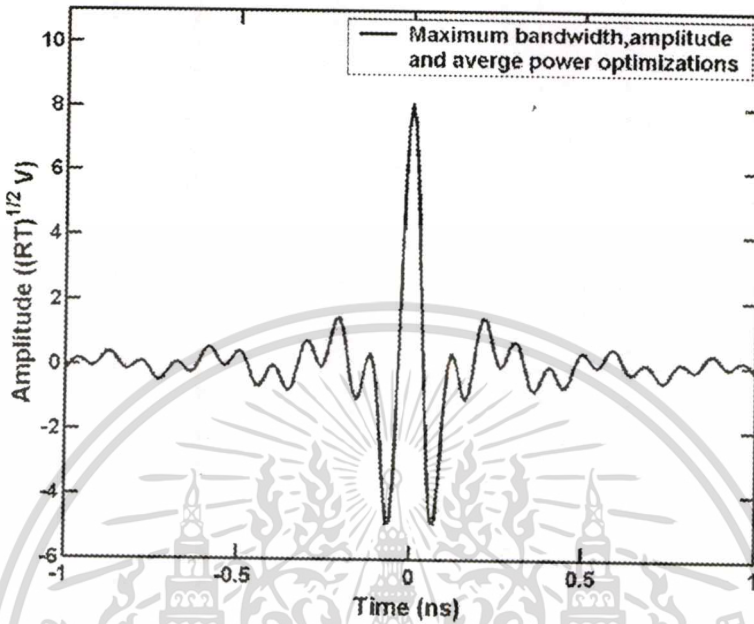
สำหรับรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมคี่แบน รูปคลื่นแบบเกาส์คี่แบน และรูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ ทั้งหมดนี้ไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดให้ค่า f_L และ f_H มีค่าอยู่ในช่วงจาก 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ถึงแม้ว่ารูปคลื่นเหล่านี้สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ให้กว้างตามที่ต้องการได้โดยเปลี่ยนความกว้างพัลส์ และมีส่วนประกอบกระแสดตรงเป็นศูนย์ แต่ก็ไม่สามารถที่จะกำหนดความถี่กลางให้อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้โดยตรงเหมือนกับรูปคลื่นสามชนิดแรก ดังนั้น รูปคลื่นที่เหลือนี้จึงไม่สามารถออกแบบให้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC ซึ่งต่อไปจะตัดรูปคลื่นทั้งสามชนิดนี้ออกไป

5.3 ผลที่ได้จากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คแบบเก่าที่กำหนดโดย ETSI

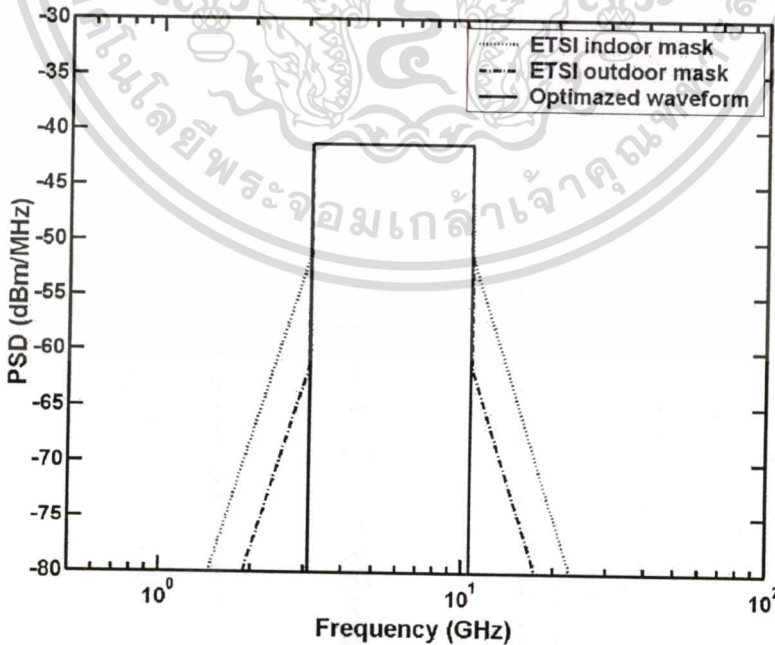
5.3.1 การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ $f_b = 7.50$ GHz, $f_c = 6.85$ GHz, $f_L = 3.10$ GHz, $f_H = 10.60$ GHz และ $A = 8.16\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -59.54 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12 ตามลำดับ



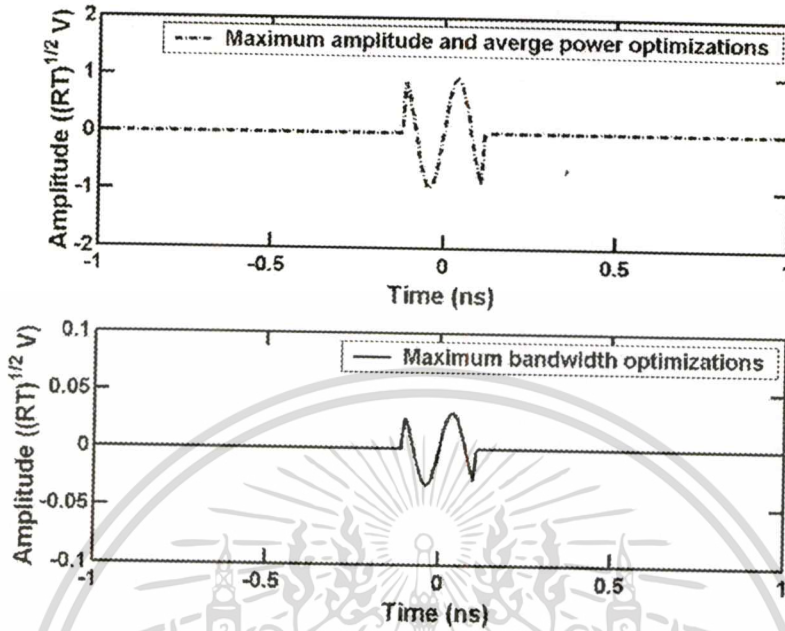
รูปที่ 5.11 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร



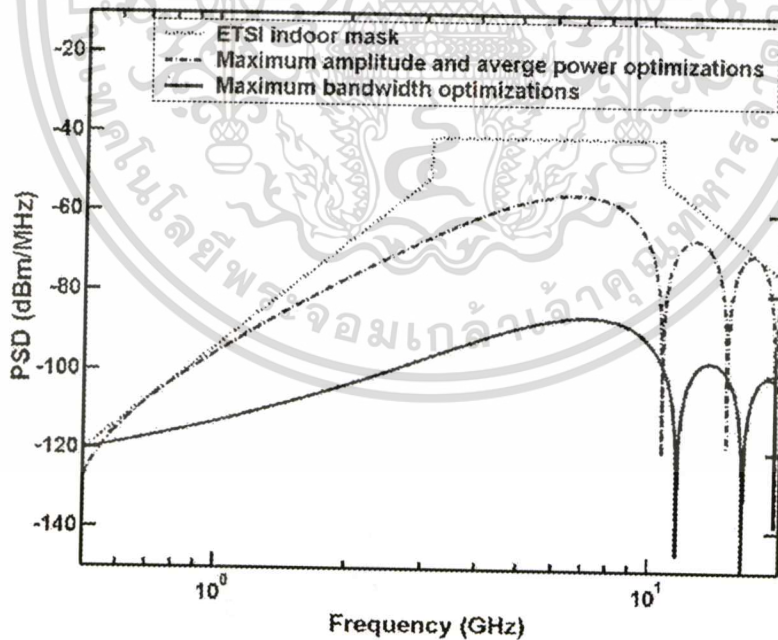
รูปที่ 5.12 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต



รูปที่ 5.13 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

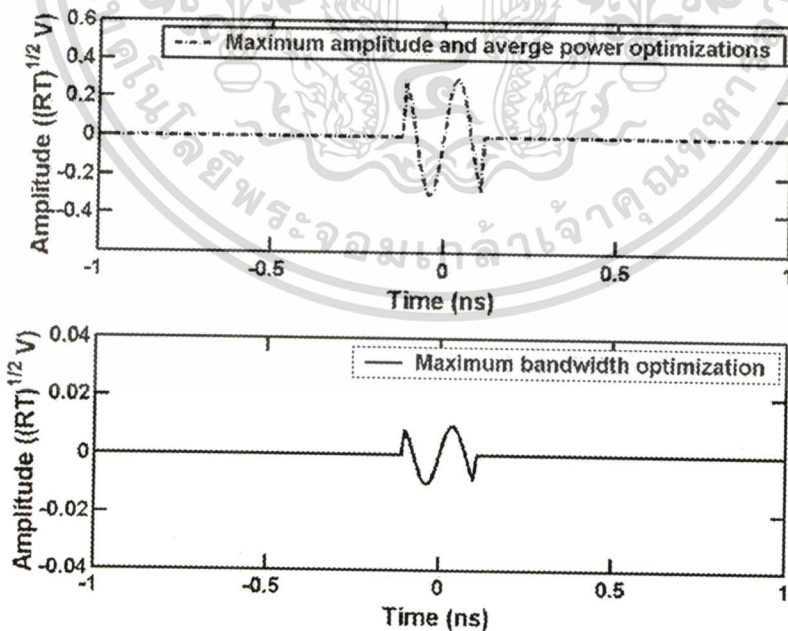


รูปที่ 5.14 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

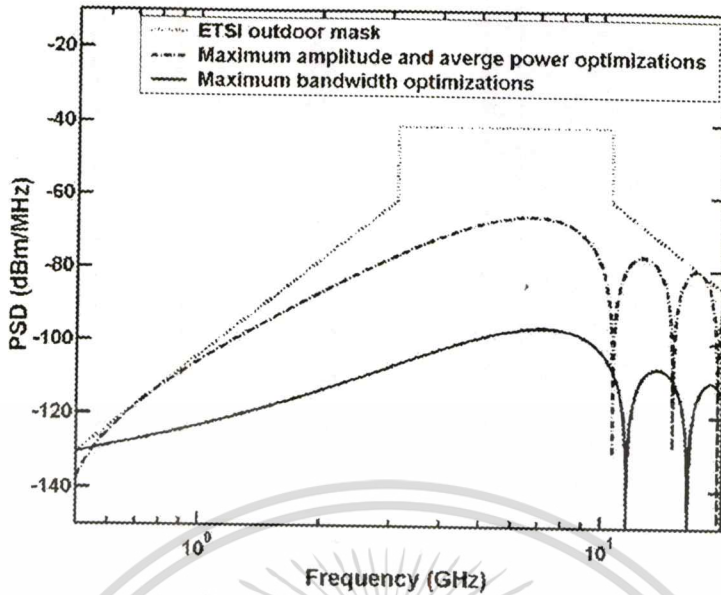
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.63$ GHz และ $A = 0.032\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.08 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.36 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -106.67 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $t_b = 0.23$ ns, $f_c = 6.23$ GHz และ $A = 0.96\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.99 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.46 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -76.50 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.13 และ รูปที่ 5.14 ตามลำดับ

สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.63$ GHz และ $A = 0.01\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.08 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.36 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -116.67 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $t_b = 0.23$ ns, $f_c = 6.23$ GHz และ $A = 0.30\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.99 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.46 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -86.50 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.15 และ รูปที่ 5.16 ตามลำดับ



รูปที่ 5.15 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



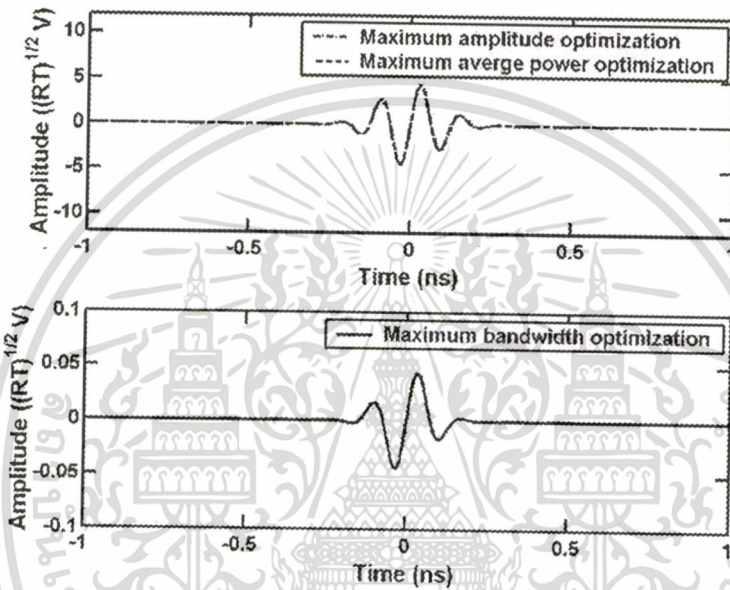
รูปที่ 5.16 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

5.3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

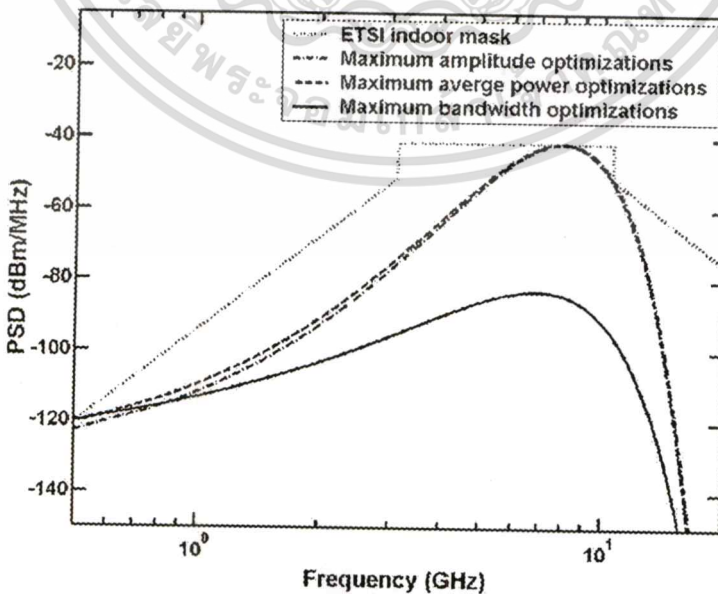
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 0.050\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 0.044\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.99 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -104.13 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ $d = 0.13$ ns, $f_c = 7.97$ GHz และ $A = 4.72\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 4.46\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.66 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.49 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากที่สุดคือ $d = 0.13$ ns, $f_c = 7.86$ GHz และ $A = 4.72\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 4.46\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.67 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.47 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.17 และรูปที่ 5.18 ตามลำดับ

สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 0.014\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 0.012\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.99 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -114.13 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ $d = 0.15$ ns, $f_c = 7.37$ GHz และ $A = 4.10\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มี

แอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 3.90\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.61 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.54 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -64.04 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากที่สุดคือ $d = 0.15$ ns, $f_c = 7.28$ GHz และ $A = 4.10\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 3.90\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.62 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.54 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -64.04 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 ตามลำดับ

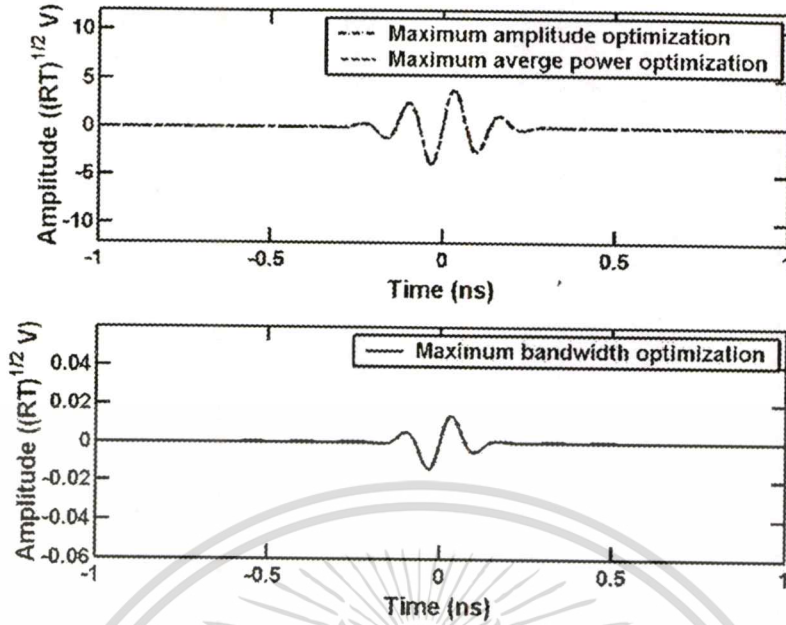


รูปที่ 5.17 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

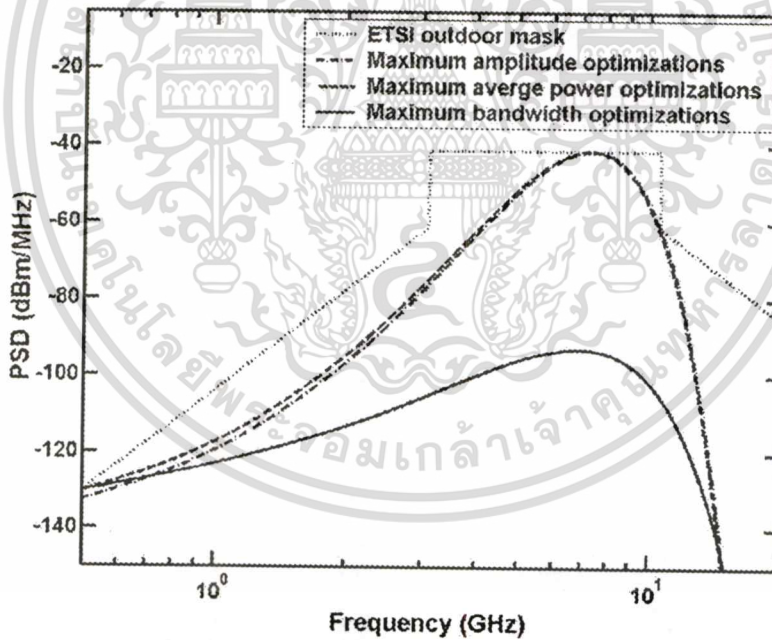


รูปที่ 5.18 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารภายในอาคาร สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

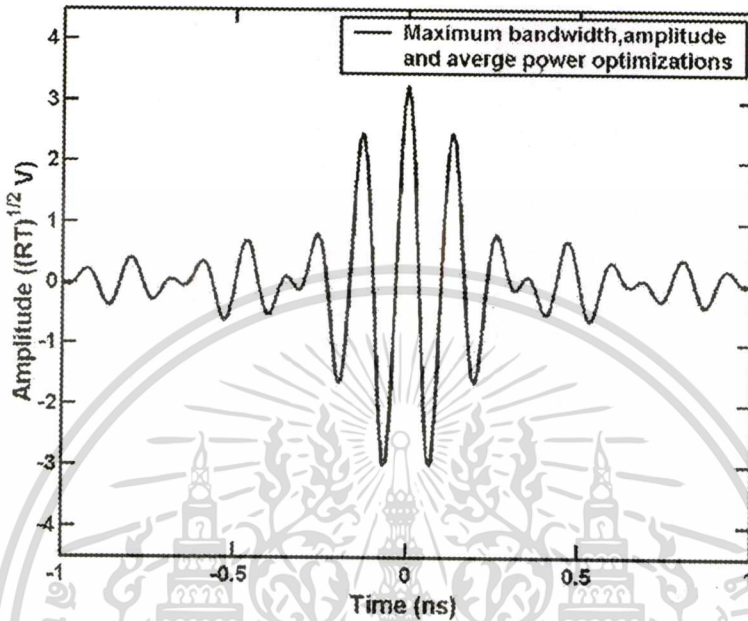


รูปที่ 5.20 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

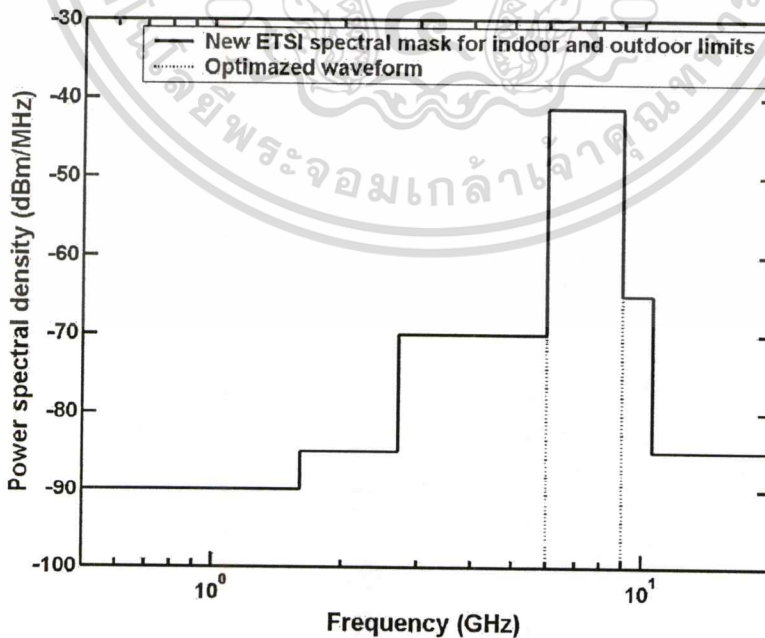
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลที่ได้จากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่ได้ทำการแก้ไขใหม่โดย ETSI

5.4.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม



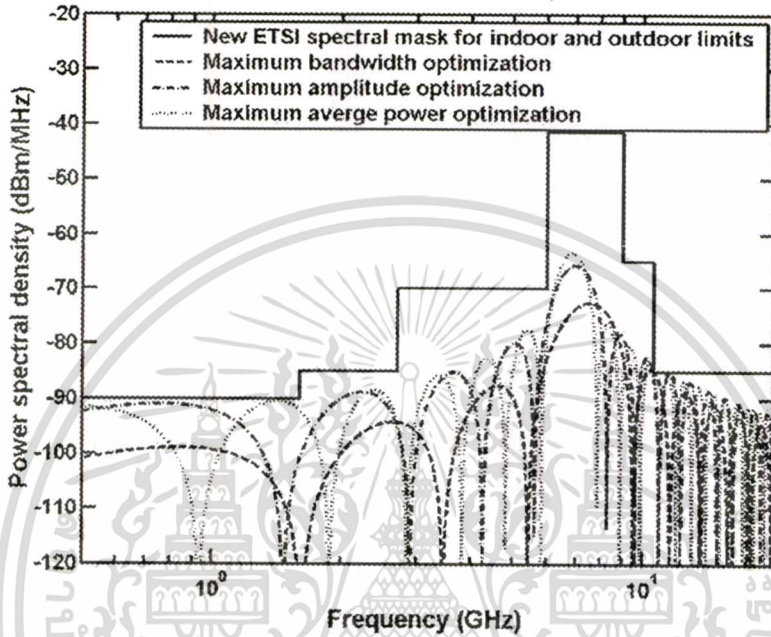
รูปที่ 5.21 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.22 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

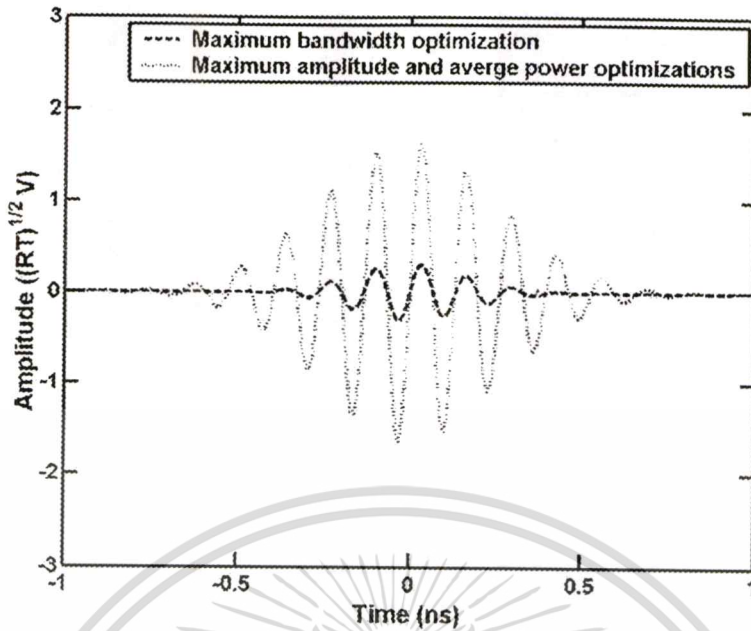
$A = 0.09\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.22 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.48 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -90.66 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.23 และรูปที่ 5.24 ตามลำดับ



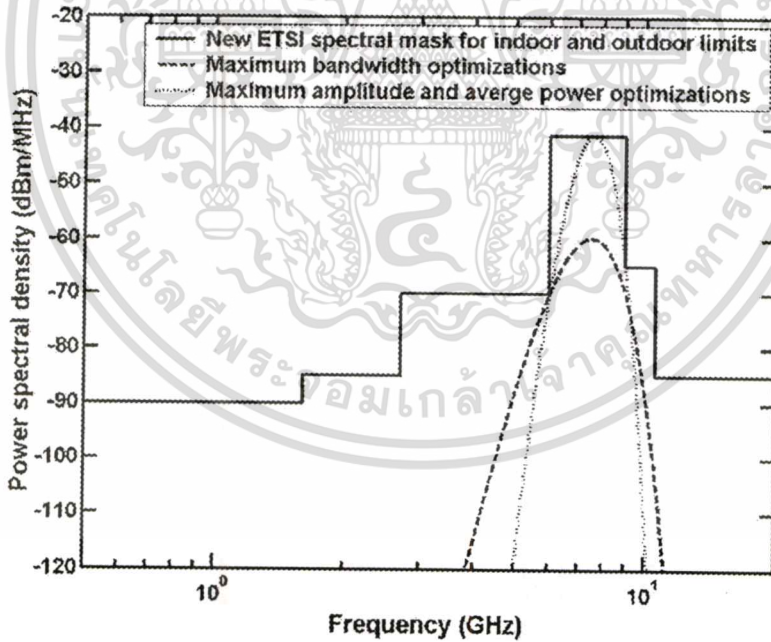
รูปที่ 5.24 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

5.4.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

สำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.23$ ns, $f_c = 7.50$ GHz และ $A = 0.32\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 0.31\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.39 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 2.96 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -84.53 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $d = 0.37$ ns, $f_c = 7.58$ GHz และ $A = 1.66\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 1.64\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.24 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.84 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -67.96 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.25 และ รูปที่ 5.26 ตามลำดับ



รูปที่ 5.25 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

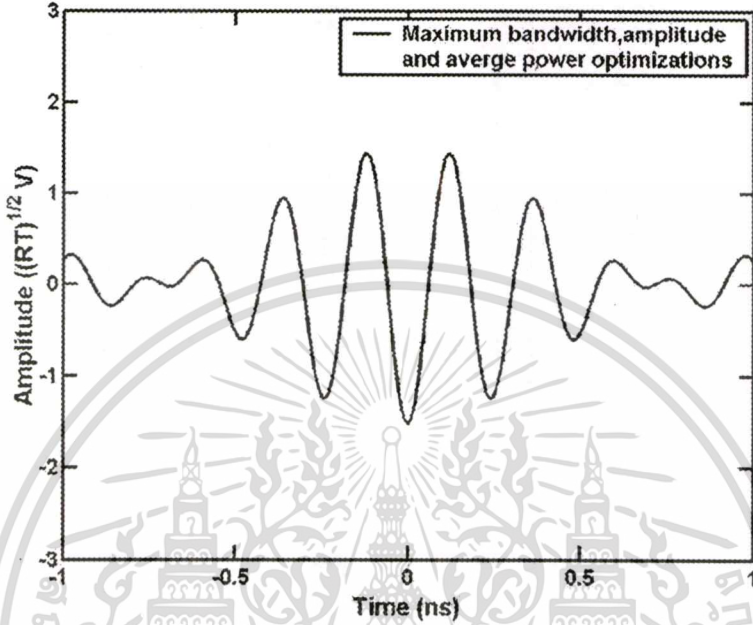


รูปที่ 5.26 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและข้อจำกัดภายนอกอาคาร

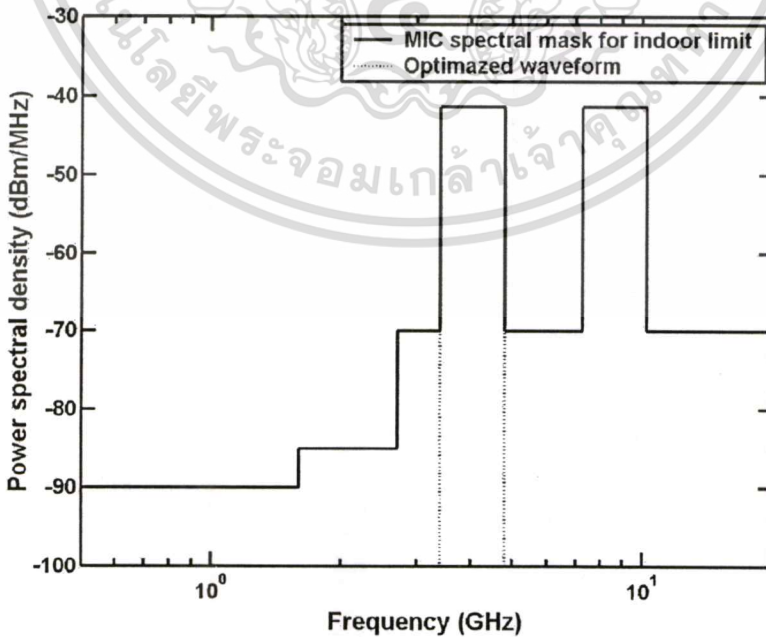
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลที่ได้จากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC

5.5.1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม



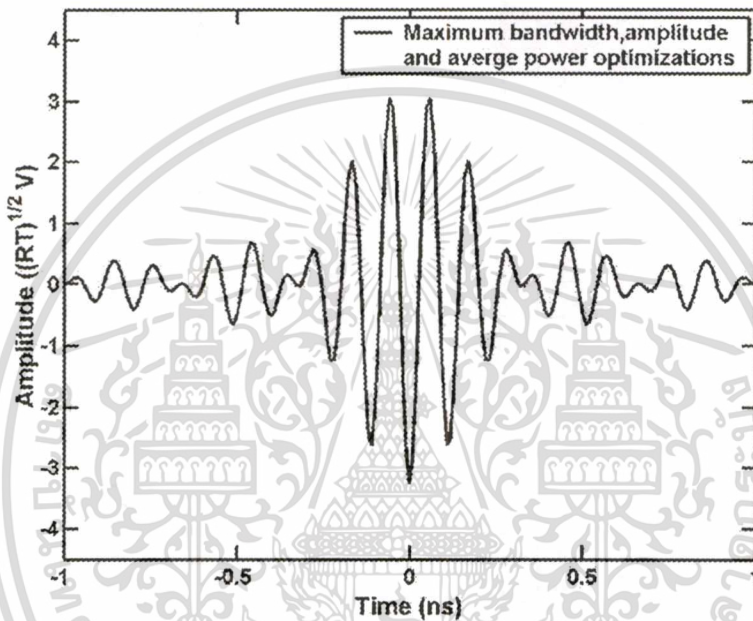
รูปที่ 5.27 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำสำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร



รูปที่ 5.28 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำเปรียบเทียบกับ

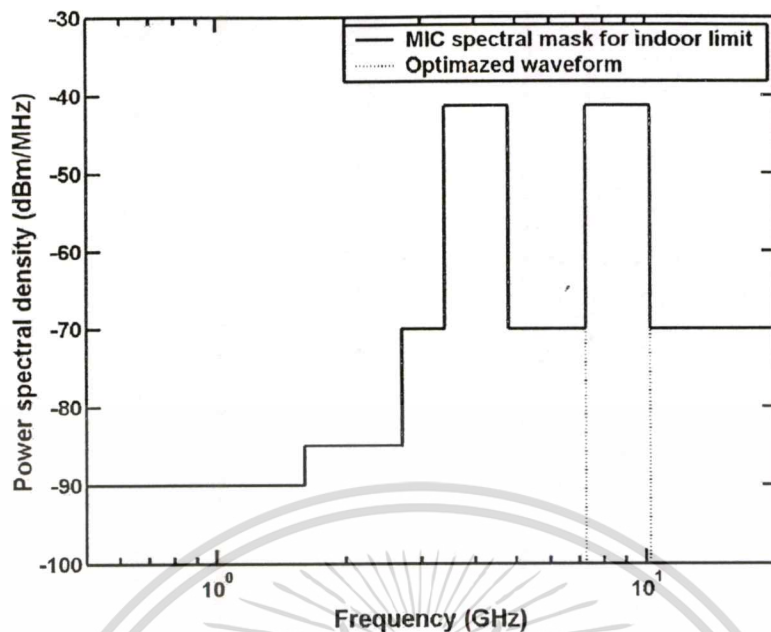
สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ $f_b = 1.40$ GHz, $f_c = 4.10$ GHz, $f_L = 3.40$ GHz, $f_H = 4.80$ GHz และ $A = 1.52\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.34 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.40 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -66.83 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.27 และ รูปที่ 5.28 ตามลำดับ



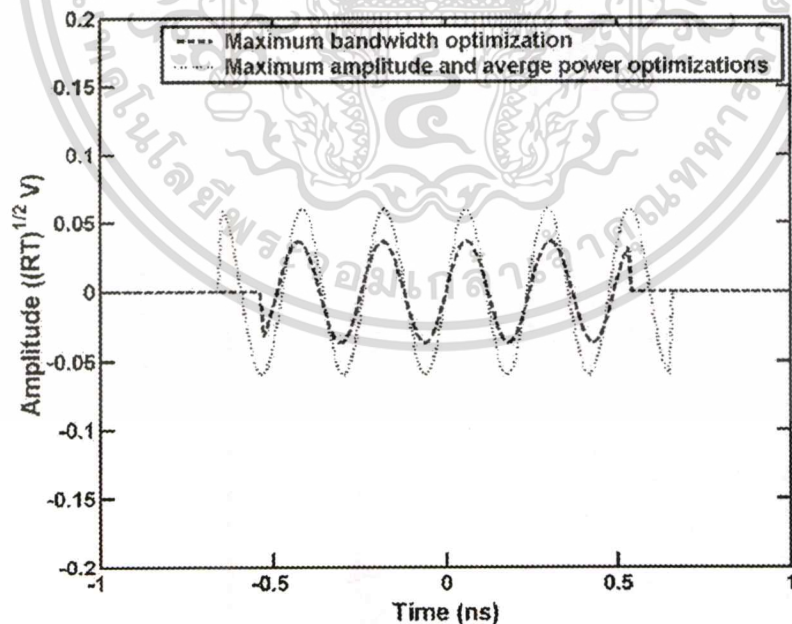
รูปที่ 5.29 รูปคลื่นแบบแถบผ่านถี่เหลี่ยมใน โดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูงสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

สำหรับกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูงพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ $f_b = 3.00$ GHz, $f_c = 8.75$ GHz, $f_L = 7.25$ GHz, $f_H = 10.25$ GHz และ $A = 3.27\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.34 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 3.00 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.52 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.29 และ รูปที่ 5.30 ตามลำดับ



รูปที่ 5.30 PSD ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมกรณิพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูงเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

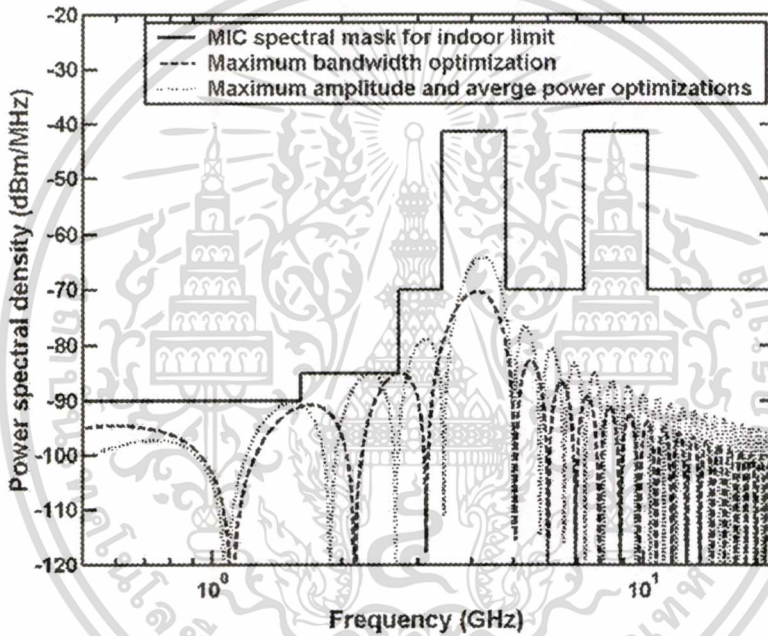
5.5.2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต



รูปที่ 5.31 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณิพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

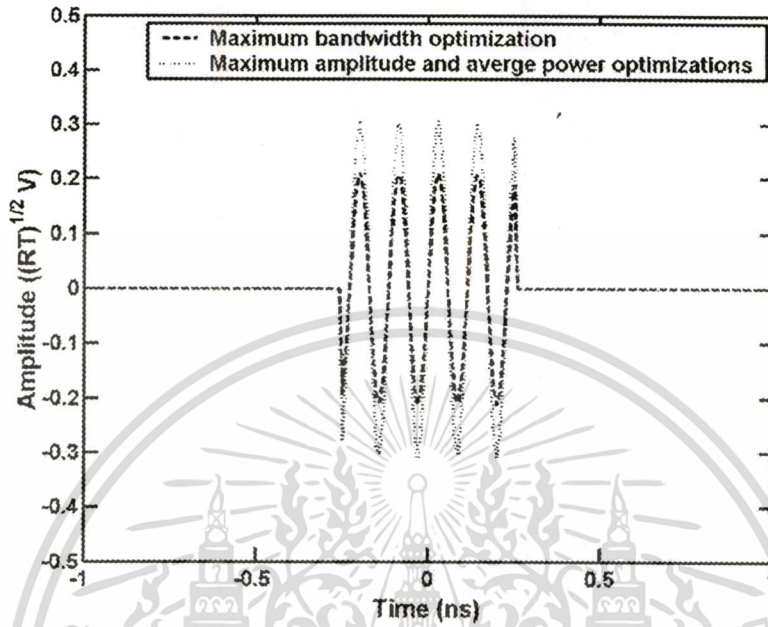
สำหรับกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำ พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $t_b = 1.07$ ns, $f_c = 4.09$ GHz และ $A = 0.037\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.34 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.40 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -98.10 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ $t_b = 1.30$ ns, $f_c = 4.21$ GHz และ $A = 0.060\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.27 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.13 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -92.80 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.31 และ รูปที่ 5.32 ตามลำดับ



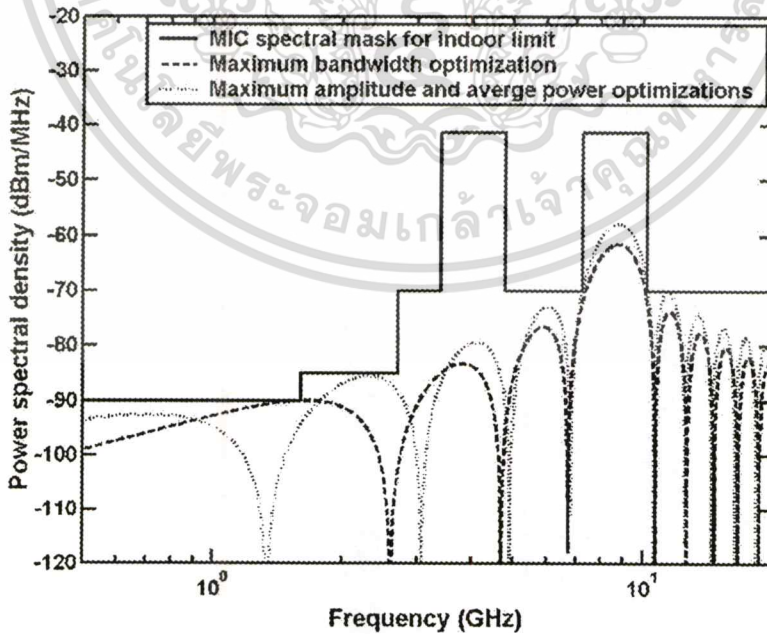
รูปที่ 5.32 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

สำหรับกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูง พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $t_b = 0.51$ ns, $f_c = 8.71$ GHz และ $A = 0.21\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.33 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 2.91 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -86.01 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ $t_b = 0.52$ ns, $f_c = 8.72$ GHz และ $A = 0.30\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.32 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 2.80 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -82.55

dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.33 และ รูปที่ 5.34 ตามลำดับ



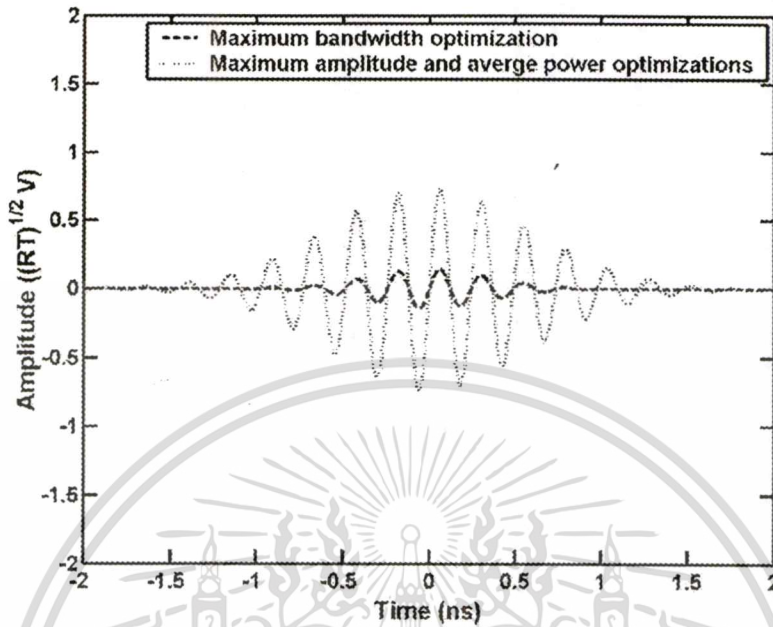
รูปที่ 5.33 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูง สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



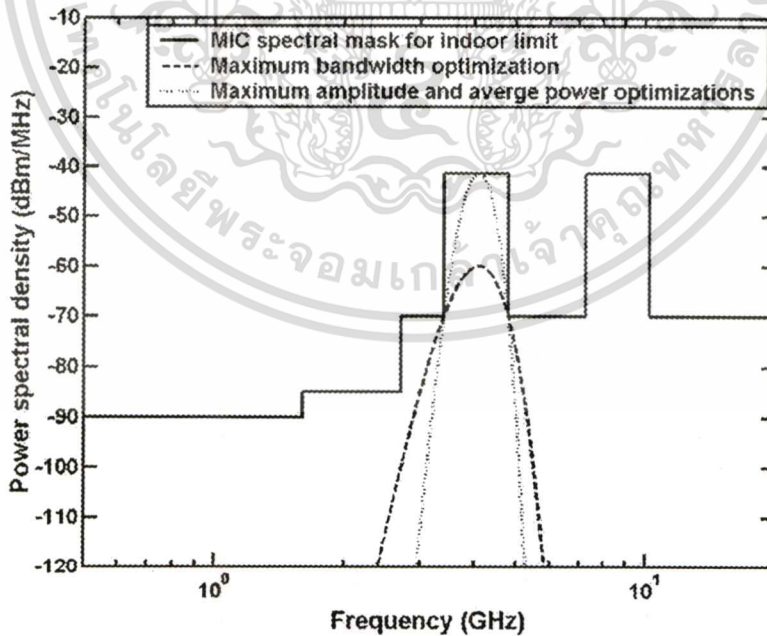
รูปที่ 5.34 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูง เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต



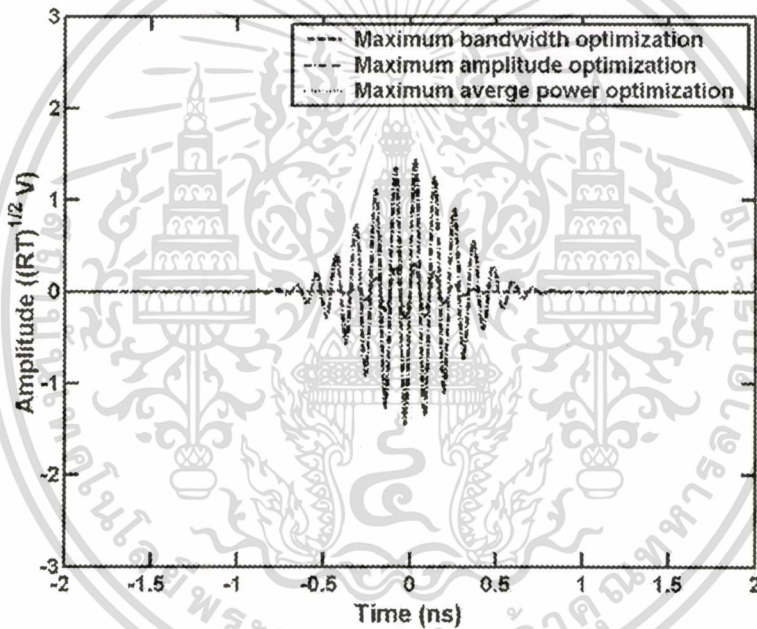
รูปที่ 5.35 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



รูปที่ 5.36 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำ พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.49$ ns, $f_c = 4.10$ GHz และ $A = 0.147\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 0.145\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.37 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.38 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -87.93 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $d = 0.83$ ns, $f_c = 4.10$ GHz และ $A = 0.740\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 0.736\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.20 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 0.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -71.47 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.35 และ รูปที่ 5.36 ตามลำดับ

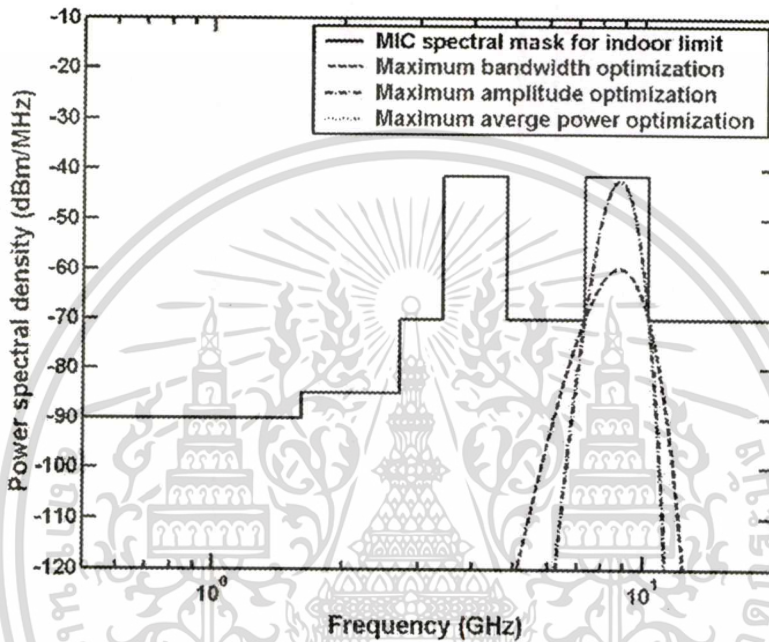


รูปที่ 5.37 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลากรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูงสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

สำหรับกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูง พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุดคือ $d = 0.23$ ns, $f_c = 8.75$ GHz และ $A = 0.32\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 0.31\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.34 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 2.96 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -84.53 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ $d = 0.38$ ns, $f_c = 8.76$ GHz และ $A = 1.47\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 1.46\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.20 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.78 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -68.93 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขกำลังเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุดคือ $d = 0.38$ ns, $f_c = 8.75$ GHz และ $A = 1.47\sqrt{RT_s}$ V โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ $A = 1.46\sqrt{RT_s}$ V มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.20 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.78 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -68.93 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.37 และรูปที่ 5.38 ตามลำดับ



รูปที่ 5.38 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตกรณีพิจารณาทางด้านแถบผ่านสูงเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

5.6 ตัวอย่างการนำรูปคลื่นมาวิเคราะห์ร่วมกับสายอากาศและช่องสัญญาณ

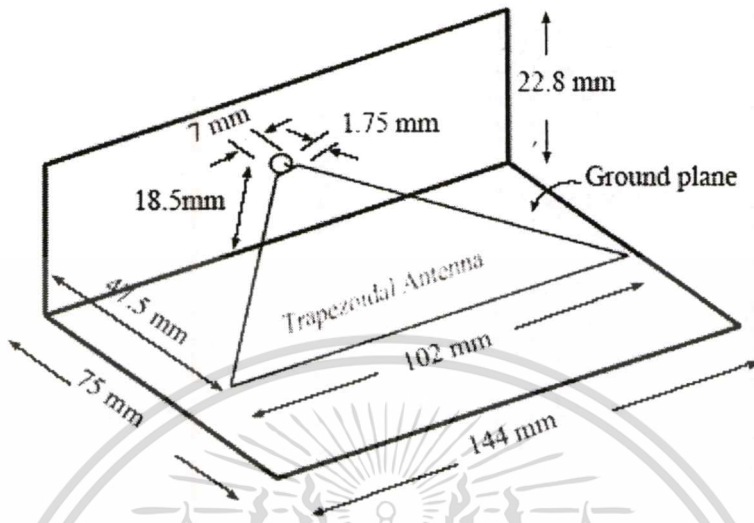
ในหัวข้อนี้ได้ยกตัวอย่างรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่เป็นไปตามนิยามและสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC มาวิเคราะห์หาความเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู [23] หลังจากนั้นได้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพอัตราผิดพลาดบิต (BER) เชิงทฤษฎีที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง [24]

5.6.1 ผลการวิเคราะห์หาความเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู

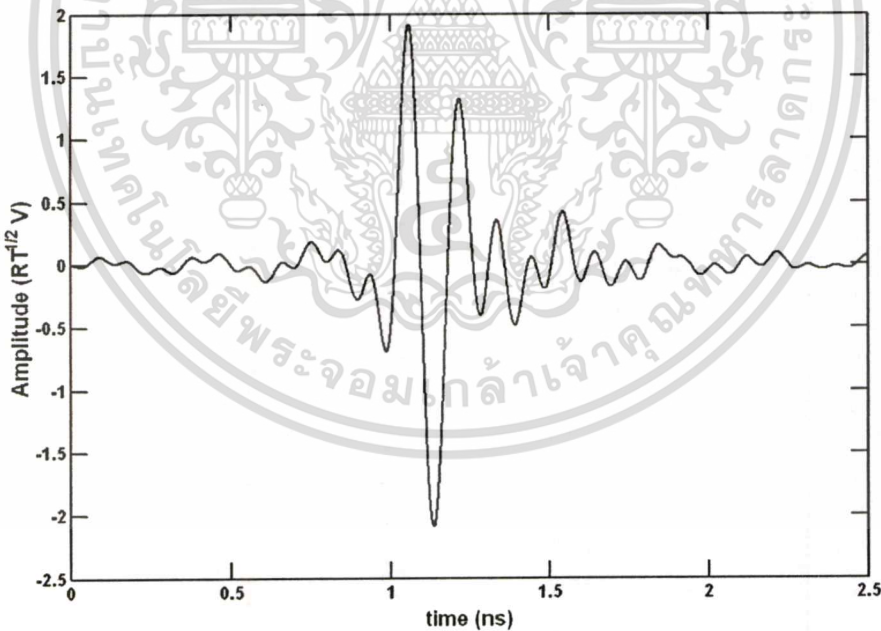
จากหัวข้อที่ 5.2.1 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่เป็นไปตามนิยามและสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC จะมีพารามิเตอร์ที่เหมือนกันสำหรับกรณีที่มีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด ได้นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมนี้ไปวิเคราะห์หาความผันในเทอมของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เกิดจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีโครงสร้างและขนาดดังแสดงในรูปที่ 5.39

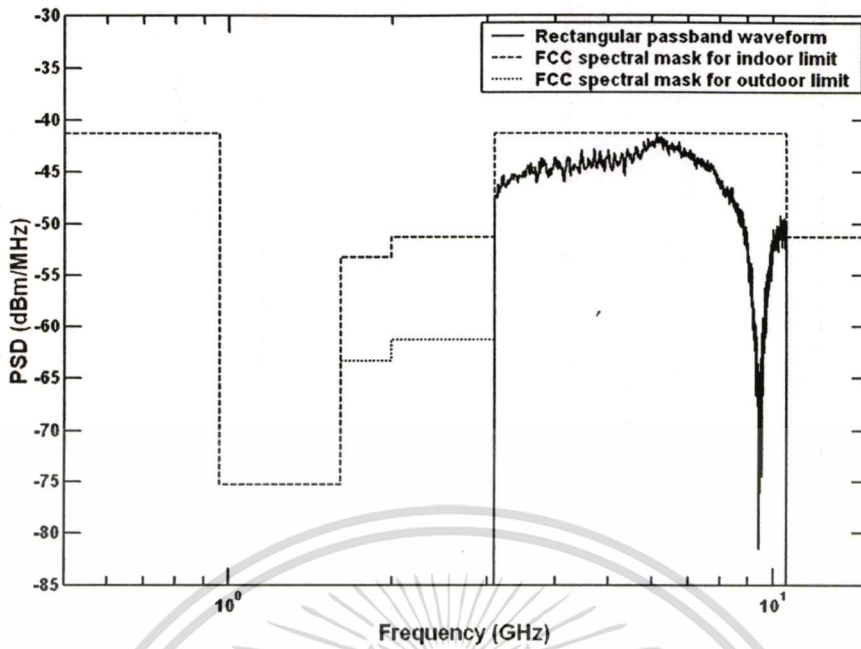


รูปที่ 5.39 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

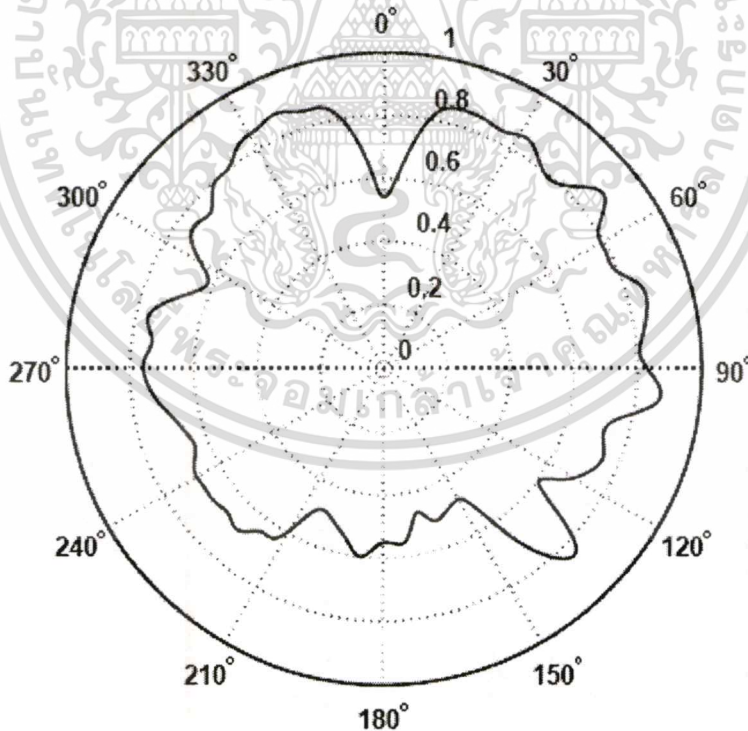


รูปที่ 5.40 รูปคลื่นแบบผ่านสี่เหลี่ยมที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูที่มุม 320°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 PSD ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มุม 320°



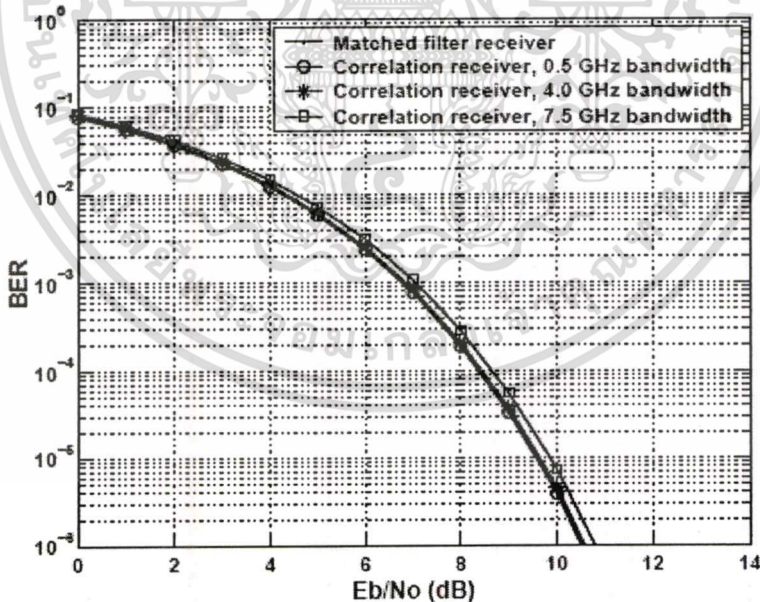
รูปที่ 5.42 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมตามมุมที่กำหนดสำหรับ สเปกตรัมมาร์คภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูนี้มีเกนมากที่สุดเป็น 8.34 dB ที่มุม 320° และความถี่ 6.14 GHz ดังนั้น แอมพลิจูดของรูปคลื่น UWB ที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีแอมพลิจูดลดลง 8.34 dB นั่นคือคูณด้วย 0.38 เพื่อให้ PSD ที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูนี้ยังคงเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC ซึ่งรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและ PSD ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสี่เหลี่ยมคางหมูที่มุม 320° ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.40 และ 5.41 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่แผ่กระจายออกมามีความเพี้ยนเกิดขึ้นเมื่อเทียบกับรูปที่ 5.1 และ PSD สัญญาณแถบผ่านสี่เหลี่ยมยังคงเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของ FCC

รูปที่ 5.42 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามมุมที่กำหนดของสายอากาศสำหรับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมคางหมูที่เป็นไปตามนิยามและสเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC จากรูปจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากที่สุดและน้อยสุดเท่ากับ 0.88 และ 0.47 ที่มุม 51.3° และ 166.5° ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.71

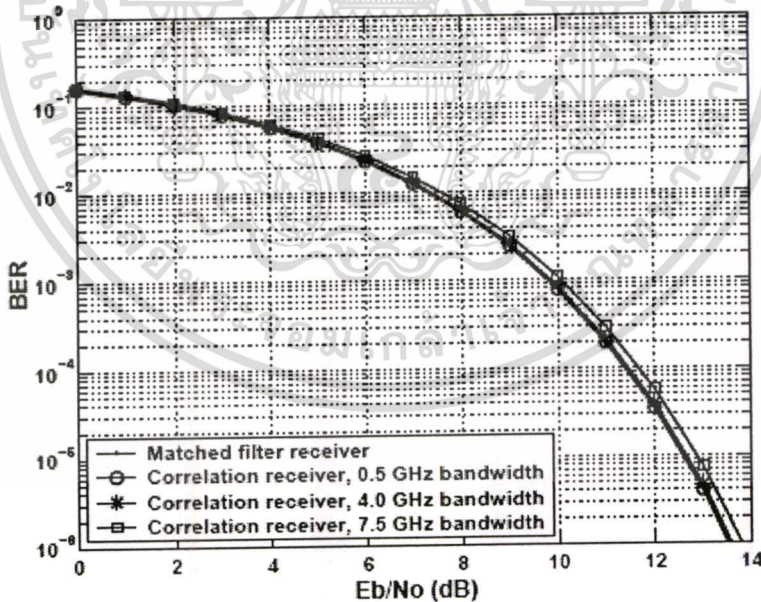
5.6.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง



รูปที่ 5.43 ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของเครื่องรับแบบแมตช์และแบบสหสัมพันธ์สำหรับแบบแผนมอดูเลตแบบชั่วคราวข้ามกัน

ในหัวข้อนี้ได้นำรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่มีแบนด์วิดท์ 0.5 GHz, 4.0 GHz และ 7.5 GHz มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้เครื่องรับเป็นแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบคอร์รีเลเตอร์ รูปที่ 5.43 และ 5.44 แสดงประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของทั้งเครื่องรับแบบแมตซ์และแบบสหสัมพันธ์สำหรับแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตรงข้ามกันและขั้วตั้งฉากกันตามลำดับ ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตรงข้ามกันจะมีค่าน้อยกว่าของแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วเดียวกัน เนื่องจากระดับจุดเริ่มเปลี่ยนการตัดสินใจของแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตรงข้ามกันกว้างมากกว่าของแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตั้งฉากกัน ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของเครื่องรับแบบแมตซ์มีค่าเท่ากับสำหรับทุกกรณีของรูปคลื่น UWB และจะเป็นขอบที่คี่ที่สุดในทางทฤษฎี เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 1.00 นั่นคือ สัญญาณต้นแบบแมตซ์กับสัญญาณที่รับได้ ดังนั้น ความเพี้ยนที่เกิดจากช่องสัญญาณอวกาศว่างสามารถตัดทิ้งไปได้ ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์จะลดลงเมื่อแบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB กว้างขึ้น เนื่องจากความจริงที่ว่าความเพี้ยนจากช่องสัญญาณอวกาศว่างมากขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์ของสัญญาณมากขึ้น ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎี ของรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์ 0.5 GHz จะมีค่าประมาณเท่ากับของเครื่องรับแบบแมตซ์ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณเท่ากับ 1.00 ในขณะที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าประมาณเท่ากับ 0.99 และ 0.94 สำหรับรูปคลื่นที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 4.0 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ



รูปที่ 5.44 ประสิทธิภาพ BER เชิงทฤษฎีของเครื่องรับแบบแมตซ์และแบบสหสัมพันธ์สำหรับแบบแผนมอดูเลตแบบขั้วตั้งฉากกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์รูปคลื่นของการสื่อสาร UWB โดยการทำให้รูปคลื่นเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC รวมทั้งทำให้เป็นไปตามข้อกำหนดของสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC สเปกตรัมมาร์คแบบเก่าที่กำหนดโดย ETSI และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC สำหรับการสื่อสาร UWB ทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยได้พิจารณารูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม, รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต, รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต, รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมดับเลต, รูปคลื่นแบบเกาส์ดับเลต และรูปคลื่นแบบวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์ได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นแต่ละชนิดให้เป็นไปตามเงื่อนไขแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดสำหรับผลของการศึกษา ได้สรุปโดยแยกตามชนิดของสเปกตรัมมาร์คได้ดังนี้

6.1 สรุปผลจากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC

ผลที่ได้จากการทำให้รูปคลื่นเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและการสื่อสารภายนอกอาคารได้สรุปไว้ในตารางที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงสุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.50	$8.16\sqrt{RT_s}$	-59.54
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	7.42	$5.04\sqrt{RT_s}$	-62.24
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	6.82	$5.10\sqrt{RT_s}$	-62.75

จากตารางที่ 6.1 และ 6.2 สรุปได้ว่าคุณสมบัติที่ได้จากรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถใช้กำหนดเป็นขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของรูปคลื่น UWB เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติระหว่างรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกับรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์และกำลังเฉลี่ยที่มากกว่าแต่จะมีแอมพลิจูดที่น้อยกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ส่วนการสื่อสารภายนอกอาคารรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า แต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ส่วนรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมคี่แบน รูปคลื่นแบบเกาส์คี่แบน และรูปคลื่นแบบวงรอบเดียวแบบเกาส์ไม่สามารถทำให้เป็นไปตามนิยามสัญญาณ UWB ที่กำหนด โดย FCC ได้

ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงที่สุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.50	$8.16\sqrt{RT_s}$	-59.54
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	7.42	$1.78\sqrt{RT_s}$	-68.22
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	6.82	$4.38\sqrt{RT_s}$	-63.43

6.2 สรุปผลจากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI

6.2.1 สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI แบบเก่า

ผลที่ได้จากการทำให้รูปคลื่นอย่างง่ายเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย ETSI แบบเก่า สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร และการสื่อสารภายนอกอาคารได้สรุปไว้ในตารางที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงที่สุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.50	$8.16\sqrt{RT_s}$	-59.54
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	7.36	$0.96\sqrt{RT_s}$	-76.50
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	6.82	$4.46\sqrt{RT_s}$	-63.47

จากตารางที่ 6.3 และ 6.4 สรุปได้ว่าคุณสมบัติที่ได้จากรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถใช้กำหนดเป็นขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของรูปคลื่น UWB เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกับรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะเห็นว่ารูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่าแต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตสำหรับข้อกำหนดภายในอาคาร ส่วนข้อกำหนดภายนอกอาคารรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่า แต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ารูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงสุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.50	$8.16\sqrt{RT_s}$	-59.54
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	7.36	$0.30\sqrt{RT_s}$	-86.50
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	6.82	$3.90\sqrt{RT_s}$	-64.04

6.2.2 สเปกตรัมมาร์คที่กำหนดขึ้นใหม่โดย ETSI

ผลที่ได้จากการทำให้รูปคลื่นอย่างง่ายเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดขึ้นใหม่โดย ETSI สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและการสื่อสารภายนอกอาคารได้สรุปไว้ในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคาร

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงสุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	3.00	$3.26\sqrt{RT_s}$	-65.53
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	2.99	$0.09\sqrt{RT_s}$	-90.66
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	2.96	$1.64\sqrt{RT_s}$	-67.96

จากตารางที่ 6.5 สรุปได้ว่าคุณสมบัติที่ได้จากรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถใช้กำหนดเป็นขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของรูปคลื่น UWB เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกับรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะเห็นว่ารูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่าเล็กน้อยแต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

6.3 สรุปผลจากการทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC

ผลที่ได้จากการทำให้รูปคลื่นอย่างง่ายเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC และสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย MIC สำหรับการสื่อสารภายในอาคารเพียงอย่างเดียวโดยได้พิจารณาออกเป็นทางด้านแถบผ่านต่ำและทางด้านแถบผ่านสูงผลที่ได้นั้นได้สรุปไว้ในตารางที่ 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.6 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารทางด้านแถบผ่านต่ำ

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงสุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	1.40	$1.52\sqrt{RT_s}$	-66.83
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	1.40	$0.06\sqrt{RT_s}$	-92.80
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	1.38	$0.736\sqrt{RT_s}$	-71.47

ตารางที่ 6.7 คุณสมบัติของรูปคลื่นที่ได้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารทางด้านแถบผ่านสูง

รูปคลื่น	แบนด์วิดท์กว้างที่สุด (GHz)	แอมพลิจูดสูงสุด (V)	กำลังเฉลี่ยมากที่สุด (dBm)
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	3.00	$3.27\sqrt{RT_s}$	-63.52
สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต	2.91	$0.30\sqrt{RT_s}$	-82.55
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	2.96	$1.46\sqrt{RT_s}$	-68.93

จากตารางที่ 6.6 และ 6.7 สรุปได้ว่าคุณสมบัติที่ได้จากรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถใช้กำหนดเป็นขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของรูปคลื่น UWB เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกับรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่าเล็กน้อยแต่จะมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตสำหรับข้อพิจารณาทางด้านแถบผ่านต่ำ ส่วนทางด้านแถบผ่านสูง รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีแบนด์วิดท์ แอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากแนวคิดที่ได้ทำการวิเคราะห์รูปคลื่นของการสื่อสาร UWB จากผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการทำงานโดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นนั้นยังไม่ได้พิจารณาถึงการสูญเสียเชิงวิถีและระบบการวัด ผู้เขียนเห็นว่าควรจะทำให้นำสิ่งที่ยังไม่ได้พิจารณาเข้ามาร่วมพิจารณาในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ด้วยเทคนิควิธีการใดวิธีการหนึ่งซึ่งจะทำให้ได้ผลที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของรูปคลื่นเหล่านี้สามารถนำมาใช้อ้างอิงสร้างเป็นสัญญาณส่ง UWB ที่เป็นไปตามนิยามสัญญาณ UWB ของ FCC และเป็นไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมมาร์คสำหรับการสื่อสาร UWB เพื่อใช้จำลองการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร UWB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [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] K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: The emergence of an Important RF Technology," 2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 2, pp. 1169-1172 May 2001.
- [3] K. Siwiak, "Impact of Ultra Wide Band Transmissions on A Generic Receiver," 2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 2, pp. 1181-1183, May 2001.
- [4] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [5] M. Z. Win, "On The Power Spectral Density of Digital Pulse Streams Generated by M-Ary Cyclostationary Sequences in The Presence of Stationary Timing Jitter," IEEE Transactions on Communications, vol. 46, no. 9, pp. 1135-1145, Sept. 1998.
- [6] S. S. Mo, A. D. Gelman, J. Gopal, "Frame Synchronization in UWB Using Multiple SYNC Words to Eliminate Line Frequencies," 2003 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), vol. 2, pp. 773-778, March 2003.
- [7] S. S. Mo, A. D. Gelman, "Scrambler Design to Reduce Power Spectral Density of UWB Signals in IEEE 802.15.3a," 2004 IEEE Conference on Communications, vol. 6m pp. 3586-3590, June 2004.
- [8] 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, July 2004.
- [9] C. A. Corral, S. Sibecas, S. Emami and G. Stratis, "Pulse Spectrum Optimization for Ultra-Wideband Communication," 2002 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Techniques, pp. 31-35, May 2002.
- [10] 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.
- [11] B. Hu and N. C. Beaulieu, "Pulse Shaping in UWB Communication Systems," 2004 IEEE 60th Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 7, pp. 5175-5179, Sept. 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] R. Dilmaghani, M. Ghavami, B. Allen, H. Aghvami, "Novel UWB Pulse Shaping Using Prolate Spheroidal Wave functions," 14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), vol. 7, pp. 602-606, Sept. 2003.
- [13] L. Yin and Z. Hongbo, "UWB Pulse Design Using The Approximate Prolate Spheroidal Wave Functions," IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE), vol. 1, pp. 450-453, Aug. 2005.
- [14] 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, April 2003.
- [15] 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.
- [16] ETSI, "Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Applications," Standisation Mandate: DG ENTR/G/3M/329, Brussels, Feb. 2003.
- [17] ETSI, "ECC Decision on The Harmonised Conditions for Device Using UWB Technology in Bands below 10.6 GHz," Electronic Communications Committee: ECC/DEC /(06) AA, Cascais, Oct. 2005.
- [18] MIC, "Japan's UWB Emission Policy Advances," EE Times, Washington, 26 Aug. 2005.
- [19] P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveform for UWB Communication," The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2005), pp. 626-629, May 2005.
- [20] K. Wansiang, P. Supanakoon and S. Promwong, "Simple Waveforms Satisfying ETSI Slope Masks for UWB Communications," 2005 International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC 2005), pp. 5C-5, July 2005.
- [21] K. Wansiang, P. Supanakoon, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveforms Satisfying New ETSI Spectral Mask for UWB Communications," The 2006 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2006), pp. 642-645, May 2006.
- [22] K. Wansiang, P. Supanakoon, S. Promwong, J. Takada, "Simple Waveform Satisfying MIC Spectral Mask for UWB Communications," Have been submitted to International Symposium on Communications and Information Technologies 2006 (ISCIT 2006).

- [23] P. Supanakoon, A. Kiphairoj, S. Promwong and J. Takada, "Distortion Analysis of UWB Pulse Waveforms with Trapezoidal Antenna," The 2006 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2006), pp. 638-641, May 2006.
- [24] P. Supanakoon, K. Teplee, S. Promwong and J. Takada, "Theoretical SNR Gain and BER Performances of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers," To be published at International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSC), 2006.



ภาคผนวก ก

การเปลี่ยนหน่วยของ PSD

PSD ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ 3.3 จะมีหน่วยเป็น W/Hz แต่เนื่องจากว่าหน่วยของ PSD ที่กำหนดในสเปกตรัมมาร์คมีหน่วยเป็น dBm/MHz ดังนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนหน่วยของ PSD จาก W/Hz ไปเป็น dBm/MHz แต่เนื่องจากหน่วยของ dBm เป็นหน่วยของเทอม PSD ส่วน MHz⁻¹ เป็นหน่วยของเทอมความหนาแน่นสเปกตรัม ดังนั้น เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายจึงทำการแยกการเปลี่ยนหน่วยออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเปลี่ยนหน่วยจาก W/Hz เป็น dBm/Hz การเปลี่ยนหน่วยจาก W/Hz เป็น dB/MHz และการเปลี่ยนจากหน่วย W/Hz เป็น dBm/MHz

การเปลี่ยนหน่วยจาก W/Hz เป็น dBm/Hz

การเปลี่ยนหน่วย PSD ให้เป็น dBm/Hz จะพิจารณาเทอมของ PSD ที่มีหน่วยเป็น mW/Hz ซึ่งสามารถเปลี่ยนหน่วยของ PSD จาก W/Hz เป็น mW/Hz ได้จาก

$$S_R(f)[\text{mW/Hz}] = 10^3 S_R(f)[\text{W/Hz}] \quad (\text{ก.1})$$

PSD ที่มีหน่วยเป็น dBm/Hz เกิดจากการทำ 10log ของ PSD ที่มีหน่วยเป็น mW/Hz จากสมการที่ (ก.1) จะได้

$$\begin{aligned} S_R(f)[\text{dBm/Hz}] &= 10 \log \{ S_R(f)[\text{mW/Hz}] \} \\ &= 10 \log \{ 10^3 S_R(f)[\text{W/Hz}] \} \\ &= 10 \log \{ S_R(f)[\text{W/Hz}] \} + 30 \end{aligned} \quad (\text{ก.2})$$

การเปลี่ยนหน่วยจาก W/Hz เป็น dB/MHz

จากสมการที่ (3.1) ถึง (3.3) สามารถเขียนนิพจน์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PSD ในหน่วย W/Hz และความหนาแน่นสเปกตรัมในหน่วย V/Hz ได้

$$S_R(f)[\text{W/Hz}] = \frac{1}{4RT_s} |F(f)[\text{V/Hz}]|^2 \quad (\text{ก.3})$$

การเปลี่ยนหน่วย PSD ให้เป็น dB/MHz จะพิจารณาเทอมของ PSD ที่มีหน่วยเป็น W/MHz ซึ่งเกิดจากความหนาแน่นสเปกตรัมที่มีหน่วยเป็น V/MHz จากสมการที่ (ก.3) จะได้

$$\begin{aligned}
 S_R(f)[\text{W/MHz}] &= \frac{1}{4RT_s} |F(f)[\text{V/MHz}]|^2 \\
 &= \frac{1}{4RT_s} 10^{12} |F(f)[\text{V/Hz}]|^2 \\
 &= 10^{12} S_R(f)[\text{W/Hz}]
 \end{aligned} \tag{ก.4}$$

PSD ที่มีหน่วยเป็น dB/MHz เกิดจากการทำ $10\log$ ของ PSD ที่มีหน่วยเป็น W/MHz จากสมการที่ (ก.4) จะได้

$$\begin{aligned}
 S_R(f)[\text{dB/MHz}] &= 10\log\{S_R(f)[\text{W/MHz}]\} \\
 &= 10\log\{10^{12} S_R(f)[\text{W/Hz}]\} \\
 &= 10\log\{S_R(f)[\text{W/Hz}]\} + 120
 \end{aligned} \tag{ก.5}$$

การเปลี่ยนหน่วยจาก W/Hz เป็น dBm/MHz

การเปลี่ยนหน่วย PSD ให้เป็น dBm/MHz จะพิจารณาทอมของ PSD ที่มีหน่วยเป็น mW/MHz จากสมการที่ (ก.1) และ (ก.5) จะได้

$$\begin{aligned}
 S_R(f)[\text{mW/MHz}] &= 10^3 10^{12} S_R(f)[\text{W/Hz}] \\
 &= 10^{15} S_R(f)[\text{W/Hz}]
 \end{aligned} \tag{ก.6}$$

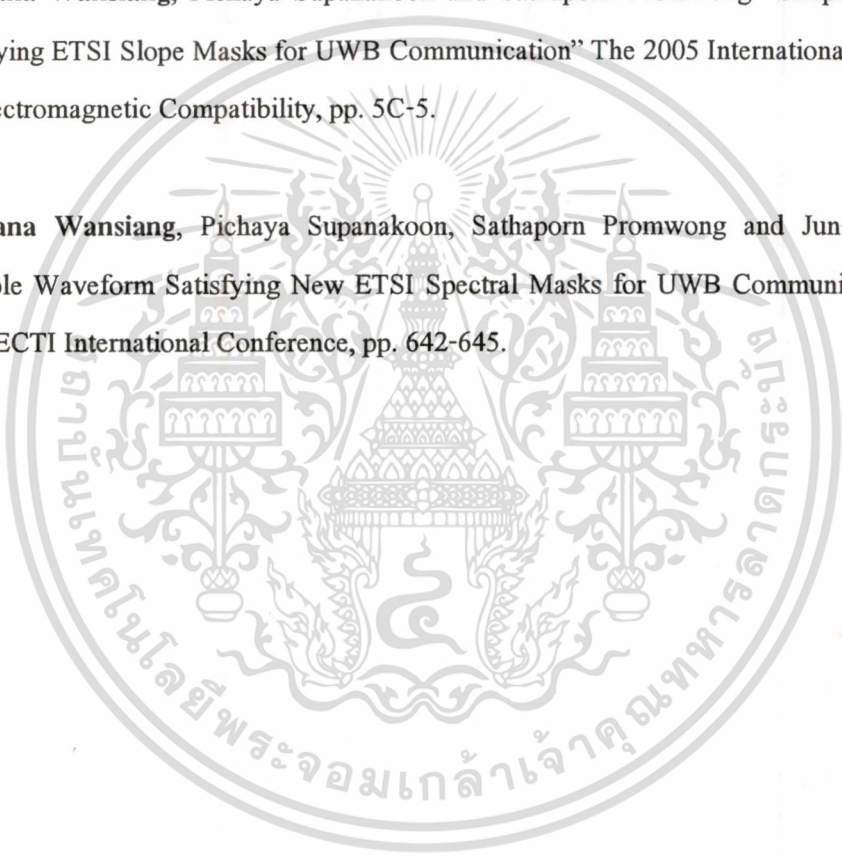
PSD ที่มีหน่วยเป็น dBm/MHz เกิดจากการทำ $10\log$ ของ PSD ที่มีหน่วยเป็น mW/MHz จากสมการที่ (ก.6) จะได้

$$\begin{aligned}
 S_R(f)[\text{dBm/MHz}] &= 10\log\{S_R(f)[\text{mW/MHz}]\} \\
 &= 10\log\{10^{15} S_R(f)[\text{W/Hz}]\} \\
 &= 10\log\{S_R(f)[\text{W/Hz}]\} + 150
 \end{aligned} \tag{ก.7}$$

ภาคผนวก ข

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] Pichaya Supanakoon, **Kritsana Wansiang**, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada. “Simple Waveform for UWB Communication” The 2005 ECTI International Conference, pp. 626-629.
- [2] **Kritsana Wansiang**, Pichaya Supanakoon and Sathaporn Promwong “Simple Waveform Satisfying ETSI Slope Masks for UWB Communication” The 2005 International Conference on Electromagnetic Compatibility, pp. 5C-5.
- [3] **Kritsana Wansiang**, Pichaya Supanakoon, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada “Simple Waveform Satisfying New ETSI Spectral Masks for UWB Communications” The 2006 ECTI International Conference, pp. 642-645.



ECTI-CON 2005

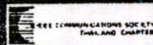
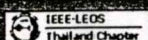
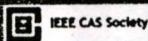
The 2005 ECTI International Conference



Proceedings of the 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) International Conference

May 12-13, 2005

Asia Pattaya Beach Hotel, Pattaya, Choburi, THAILAND



เอก...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simple Waveform for UWB Communication

Pichaya Supanakoon¹, Kritsana Wansiang¹, Sathaporn Promwong¹ and Jun-ichi Takada²

¹Department of Information Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

E-mail: {kspichay,s7061132,kpsathap}@kmitl.ac.th

²Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,
2-12-1-S6-4, O-okayama, Meguro-ku, 152-8550, Tokyo, Japan.

E-mail: takada@ide.titech.ac.jp

ABSTRACT

In this paper, the simple waveform is satisfied the UWB definition and spectral masks for the indoor and outdoor limits. The rectangular passband, modulated rectangular, modulated Gaussian, rectangular doublet, Gaussian doublet and Gaussian monocycle waveforms are considered. The PSD and parameters of each optimized waveforms are showed. The optimized results are discussed in the conclusion.

1. INTRODUCTION

Recently, ultra wideband (UWB) radio technology has become an important topic for microwave communication because its potential is low cost and low power consumption properties [1]. UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. Instead of using a narrow carrier frequency, UWB transmits pulses of power spectral density (PSD) in the range of the ultra wide frequency spectrum. The Federal Communication Commission (FCC) [2] in US specified that UWB has a frequency spectrum ranging from 3.1 to 10.6 GHz. The FCC defined the UWB signal as those which have a fractional bandwidth greater than 0.20 or occupies bandwidth greater than 500 MHz. The fractional and occupies bandwidth are defined as

$$\text{Fractional bandwidth} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (1)$$

$$\text{Occupies bandwidth} = f_H - f_L \quad (2)$$

where f_L and f_H are the lower and upper frequencies at the -10 dB point, respectively.

The power density of the UWB signal is considered to be noise for other communication systems because its power spectrum is below the part 15 noise limit. The UWB receiver collects the power of the received signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB radio technology can coexist with other RF technologies without interference.

Numerous UWB waveforms have been proposed [3]. The waveform designs are reviewed, but no considered about the UWB definition and spectral masks specify by FCC. There are many techniques for designing the UWB waveform such as by using the Hermite function [4]-[5] and prolate spheroidal wave function [6]. The numerical technique are also used to design the UWB waveform [7]-[8]. Although the waveform has very high effective spectral in the designed frequency range, but the algorithms of these techniques are complicated.

In this paper, the simple waveform is satisfied the UWB definition and spectral masks for the indoor and outdoor limits. The rectangular passband, modulated rectangular, modulated Gaussian, rectangular doublet, Gaussian doublet and Gaussian monocycle waveforms are considered. They are optimized for maximum bandwidth, amplitude and average power in the frequency range from 3.1 to 10.6 GHz. The binary pulse-amplitude modulation (PAM) with balance binary data independent identically distributed random sequence is considered to easily derive the PSD of the waveforms. The PSD and parameters of each optimized waveform showed. The optimized results are discussed in the conclusion.

2. WAVEFORM MODEL

The rectangular passband, modulated rectangular, modulated Gaussian, rectangular doublet, Gaussian doublet and Gaussian monocycle waveforms are considered. The waveform is assumed to be voltage signal. For obtaining the continuous component of PSD, the binary PAM with balance binary data independent identically distributed random sequence is considered. Then, the PSD of the transmitted waveform can be simplified to [9]

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |F(f)|^2, \quad (3)$$

where T_s is the time interval of one waveform and $F(f)$ is the spectral density function of the waveform. The spectral density function can be calculated by using Fourier transform,

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt, \quad (4)$$

where $f(t)$ is the waveform in time domain.

2.1 Rectangular Passband Waveform

The rectangular passband waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)], \quad (5)$$

$$F(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (6)$$

where A is the maximum amplitude, f_b is the occupies bandwidth, f_c is the center frequency, $f_L = f_c - f_b/2$ and

$f_H = f_c + f_b/2$ are the minimum and maximum frequencies.

This waveform has the $A/(2f_b)$ constant magnitude of spectral density in the $-f_H$ to $-f_L$ and f_L to f_H frequency ranges. The area of its spectral density is $\int_{-\infty}^{\infty} F(f)df = A$ then this waveform has maximum amplitude is A at $t = 0$. This is the ideal case of the UWB waveform then it used to considered the upper limit of the maximum bandwidth, amplitude and power for the UWB waveform.

2.2 Modulated Rectangular Waveform

The modulated rectangular waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_c t) & |t| \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \quad (7)$$

$$F(f) = \frac{At_b}{j2} \begin{cases} \text{sinc}[t_b(f - f_c)] \\ -\text{sinc}[t_b(f + f_c)] \end{cases} \quad (8)$$

where A is the maximum amplitude, f_c is the carrier frequency and t_b is the pulse width of the waveform.

This waveform is modulated between the A constant amplitude and t_b width rectangular pulse and f_c carrier frequency sine function. The sine function is used for reducing the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero.

2.3 Modulated Gaussian Waveform

The modulated Gaussian waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t) \quad (9)$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{j2} \begin{bmatrix} e^{-\pi^2 d^2 (f - f_c)^2} \\ -e^{-\pi^2 d^2 (f + f_c)^2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

where A is the maximum amplitude of the envelope waveform, f_c is the carrier frequency and d is the $1/e$ characteristic decay time.

This waveform is modulated between the A maximum amplitude and d $1/e$ characteristic decay time Gaussian pulse and f_c carrier frequency sine function. The sine function is used for reducing the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero same the modulated rectangular waveform.

2.4 Rectangular Doublet Waveform

The rectangular doublet waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \begin{cases} A & -\frac{t_b}{2} \leq t < 0 \\ -A & 0 < t \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2}, t = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$F(f) = jAt_b \text{sinc}\left(\frac{t_b f}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi t_b f}{2}\right) \quad (12)$$

where A is the amplitude and t_b is the pulse width.

This waveform is consisted two rectangular pulses which one is the inverse amplitude of the other each pulse has $t_b/2$ width. The area of its waveform is $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 0$ then this waveform has zero DC component.

2.5 Gaussian Doublet Waveform

The Gaussian doublet waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = A \left\{ e^{-(t+t_0)/d)^2} - e^{-(t-t_0)/d)^2} \right\} \quad (13)$$

$$F(f) = j2Ad\sqrt{\pi} e^{-\pi^2 d^2 f^2} \sin(2\pi t_0 f) \quad (14)$$

where A is the maximum amplitude, d is the $1/e$ characteristic decay time and t_0 is the separation time between the maximum amplitude of each pulse.

This waveform is consisted two Gaussian pulses which one is the inverse amplitude of the other and the pulses are separated by the time gap of t_0 between the maximum of each. The area of its waveform is $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 0$ then this waveform has zero DC component save the rectangular doublet waveform.

2.6 Gaussian Monocycle Waveform

The Gaussian monocycle waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = A \left(1 - \frac{2t^2}{d^2} \right) e^{-t^2/d^2} \quad (15)$$

$$F(f) = 2Ad^3 \pi^2 \sqrt{\pi} f^2 e^{-\pi^2 d^2 f^2} \quad (16)$$

where A is the maximum amplitude, $t_b = \sqrt{2}d$ is the pulse width.

This waveform is the second derivative of the Gaussian pulse. The maximum amplitude is normalized to be A at $t = 0$. The amplitude is to be zero at $t = \pm\sqrt{2}d/2$ then the pulse width is $t_b = \sqrt{2}d$. This waveform is also has zero DC component.

3. OPTIMIZATION

The waveforms models is optimized for UWB communication. The UWB definition by FCC is considered [2]. The condition of f_L and f_H are set to $3.1 \text{ GHz} \leq f_L < f_H \leq 10.6 \text{ GHz}$. Each waveform must has fractional bandwidth greater than 0.20 or occupies bandwidth greater than 500 MHz. After that, Each waveform is satisfied the FCC spectral masks for indoor and outdoor limits. The three assumptions for good UWB signal waveform are consider. First is high bandwidth for reducing the effect of multipath fading [10]. Next is high amplitude for increasing the efficiency of peak detection receiver. Final is high average power for increasing the signal to noise ratio (SNR). Then, each waveform is optimized for maximum bandwidth, amplitude and average power in the frequency range from 3.1 to 10.6 GHz. For the optimization, the solution of frequency is 0.01 GHz, the time is 0.01 ns and the amplitude is 0.01 V.

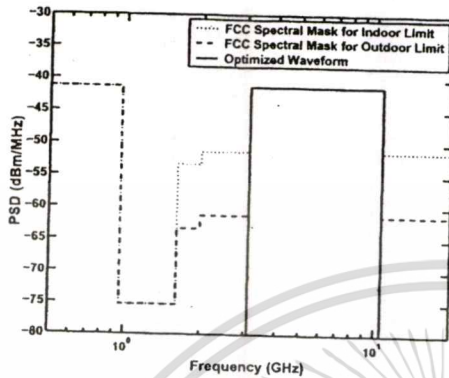


Fig.1: PSD of optimized rectangular passband waveform compared with spectral masks for indoor and outdoor limits.

3.1 Optimization of Rectangular Passband Waveform

For the indoor and outdoor limits, the parameters obtain from the maximum bandwidth, amplitude and average power optimization are the same. The results are, $f_b = 7.50$ GHz, $f_c = 6.85$ GHz, $f_L = 3.10$ GHz, $f_H = 10.60$ GHz and $A = 4.08\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 1.09 fractional bandwidth and 7.5 GHz occupies bandwidth. The average power of this waveform is -59.54 dBm. Its PSD compared with spectral masks for indoor and outdoor limits are shown in Fig. 1.

3.2 Optimization of Modulated Rectangular Waveform

For the indoor limit, the parameters obtain from the maximum bandwidth optimization are $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.62$ GHz and $A = 0.57\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 1.09 fractional bandwidth and 7.42 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -75.44 dBm. For the maximum amplitude and average power optimization, the parameters are the same. The obtained results are $t_b = 0.22$ ns, $f_c = 6.58$ GHz and $A = 2.52\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 0.98 fractional bandwidth and 6.72 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -62.24 dBm. The PSD compared with spectral masks for indoor limit are shown in Fig. 2.

For the outdoor limit, the parameters obtain from the maximum bandwidth optimization are $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.62$ GHz and $A = 0.57\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 1.09 fractional bandwidth and 7.42 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -75.44 dBm. For the maximum amplitude optimization, the parameters are $t_b = 0.22$ ns, $f_c = 6.46$ GHz and $A = 0.89\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 1.03 fractional bandwidth and 6.87 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -71.32 dBm. For the maximum average power optimization, the parameters are $t_b = 0.96$ ns, $f_c = 6.72$ GHz and $A = 0.57\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 0.23 fractional bandwidth and 1.54 GHz oc-

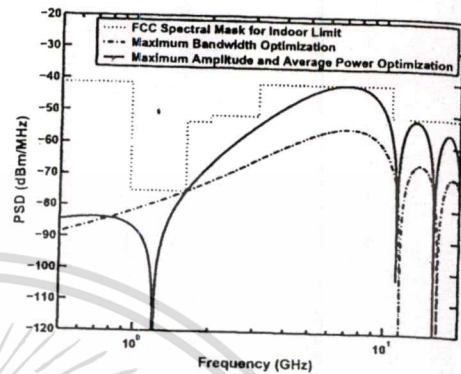


Fig.2: PSD of optimized modulated rectangular waveform compared with spectral masks for indoor limit.

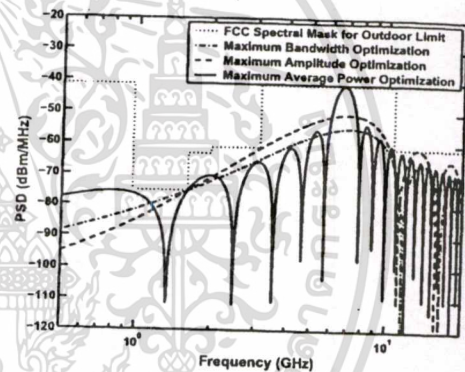


Fig.3: PSD of optimized modulated rectangular waveform compared with spectral masks for outdoor limit.

cupies bandwidth. The average power of waveform is -68.22 dBm. The PSD compared with spectral masks for outdoor limit are shown in Fig. 3.

3.3 Optimization of Modulated Gaussian Waveform

For the indoor limit, the parameters obtain from the maximum bandwidth optimization are $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz and $A = 0.93\sqrt{T_s}$ V. The maximum amplitude is $0.82\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 1.00 fractional bandwidth and 6.82 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -72.71 dBm. For the maximum amplitude and average power optimization, the parameters are the same. The obtained results are $d = 0.11$ ns, $f_c = 7.34$ GHz and $A = 2.79\sqrt{T_s}$ V. The maximum amplitude is $2.55\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 0.84 fractional bandwidth and 6.20 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -62.75 dBm. The PSD compared with spectral masks for indoor limit are shown in Fig. 4.

For the outdoor limit, the parameters obtain from the

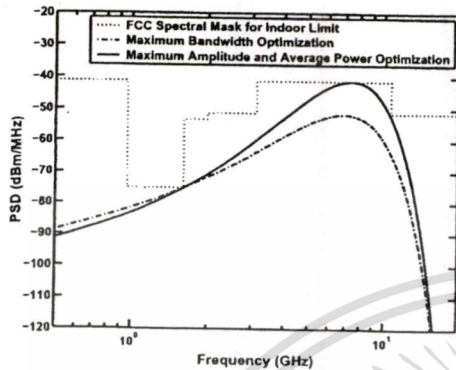


Fig.4: PSD of optimized modulated Gaussian waveform compared with spectral masks for indoor limit.

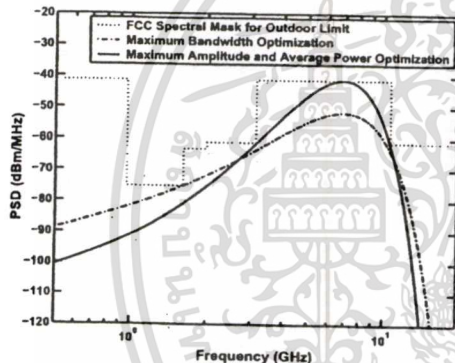


Fig.5: PSD of optimized modulated Gaussian waveform compared with spectral masks for outdoor limit.

maximum bandwidth optimization are $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz and $A = 0.93\sqrt{T_s}$ V. The maximum amplitude is $0.82\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 1.00 fractional bandwidth and 6.82 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -72.71 dBm. For the maximum amplitude and average power optimization, the parameters are the same. The obtained results are $d = 0.13$ ns, $f_c = 6.85$ GHz and $A = 2.36\sqrt{T_s}$ V. The maximum amplitude is $2.19\sqrt{T_s}$ V. The optimized waveform has 0.77 fractional bandwidth and 5.24 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -63.43 dBm. The PSD compared with spectral masks for outdoor limit are shown in Fig. 5.

3.4 Optimization of Another Waveform

For the rectangular doublet, Gaussian doublet and Gaussian monocycle waveforms, they can not optimize by using condition $3.1 \text{ GHz} < f_l < f_H \leq 10.6 \text{ GHz}$. Although these waveforms are set to be wide bandwidth by adjusting the pulse width and the DC component is zero, but they

can not set the center frequency. Then these waveforms is impossible to satisfied this condition. The modified waveform can use to satisfied this condition. Such as using more doublet pulse for rectangular and Gaussian doublet waveforms, and using higher order of derivative to modify the Gaussian monocycle waveform. These techniques can increase the center frequency of the waveform.

4. CONCLUSION

In this paper, the simple waveform is satisfied the UWB definition and spectral masks for the indoor and outdoor limits. The rectangular passband, modulated rectangular, modulated Gaussian, rectangular doublet, Gaussian doublet and Gaussian monocycle waveforms are considered. From the optimization results, the rectangular passband waveform obtained the maximum bandwidth, amplitude and average power. It can consider to be the upper band or the best case of UWB waveform. For the comparison between the modulated rectangular and Gaussian waveform, the modulated rectangular obtained wider bandwidth for the indoor and outdoor limits. The modulated Gaussian obtain the higher amplitude for the indoor and outdoor limits. For the indoor limit, the modulated rectangular waveform obtain more average power while the modulated Gaussian waveform obtain more average power for the outdoor limit.

References

- [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, 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. Misrael, R. Khono, "Hermite Function Based Orthogonal Pulses for Ultra Wideband Communication," The Fourth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), pp. 437-440, Sep. 2001.
- [5] I. 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 Semianual 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] M. Z. Win, "On The Power Spectral Density of Digital Pulse Streams Generated by M-Ary Cyclostationary Sequences in the Presence of Stationary Timing Jitter," IEEE Transaction on Communications, vol. 46, no. 9, pp. 1135-1145, Sept. 1998.
- [10] M. Welborn and J. McCorkle, "The Importance of Fractional Bandwidth in Ultra-Wideband Pulse Design," IEEE International Conference on Communications (ICC), vol. 2, pp. 758-757, 2002.



2005

International
Conference on
Electromagnetic
Compatiblity
Phuket, Thailand

Proceeding

July 27-29, 2005
Kata Beach Resort,
Phuket, Thailand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simple Waveforms Satisfying ETSI Slope Masks for UWB Communications

Kritsana Wansiang, Pichaya Supanakoon and Sathaporn Promwong

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: {s7061132, kspichay, kpsathap}@kmitl.ac.th

Abstract—In this paper, the simple waveforms for UWB communications are presented to satisfy the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) slope masks. The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. They are optimized to maximized bandwidth, amplitude and average power in the frequency range from 3.1 to 10.6 GHz. The binary pulse-amplitude modulation (PAM) with balance binary data independent identically distributed random sequence is considered to easily derive the power spectral density (PSD) of the waveforms. The PSD and parameters of each optimized waveforms are shown. The optimized results are discussed in the conclusion.

I. INTRODUCTION

Recently, ultra wideband (UWB) radio technology has become an important topic for microwave communication because of its potential low cost and low power consumption properties [1]. UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. Among UWB technologies is advantageous with respect to the simple hardware. Instead of using a narrow band carrier modulation, pulse trains are transmitted with ultra wide frequency spectrum. The Federal Communications Commission (FCC) [2] in US specified that a frequency spectrum range from 3.1 to 10.6 GHz are assigned for the main band of UWB signal. The FCC defined the UWB signal as those which have a fractional bandwidth greater than 0.20 or occupied bandwidth greater than 500 MHz. The fractional and occupied bandwidth are defined as

$$\text{Fractional bandwidth} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (1)$$

$$\text{Occupied bandwidth} = f_H - f_L \quad (2)$$

where f_L and f_H are the lower and upper frequencies at the -10 dB point, respectively.

There are several radiation limits of the UWB signal for the indoor and outdoor applications such as FCC spectral masks and European Conference of Postal and Telecommunications (CEPT) spectral masks [3] proposed by ETSI. The power spectral density (PSD) of the UWB signal is considered to be a noise for other communication systems because its PSD is even below the noise emission level of personal computers (PCs). The UWB receiver collects the power of the received

signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB radio technology can coexist with other RF technologies without interference.

Numerous UWB waveforms have been proposed [4]. The waveform designs are reviewed, the UWB definition and spectral masks were not considered. There are many techniques for designing the UWB waveform such as by using the Hermite function [5]-[6] and prolate spheroidal wave function [7]. The numerical technique is also used to design the UWB waveform [8]-[9]. Although these waveforms have very high spectral efficiency in the designed frequency range, the algorithms of these techniques are complicated. After that, the simple waveforms for UWB communications are proposed [10]. But they did not consider for the CEPT radiation limits.

In this paper, the simple waveforms for UWB communications are presented to satisfy the ETSI slope masks. The CEPT indoor and outdoor masks for the UWB communications are shown in Fig. 1. The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. They are optimized to maximized bandwidth, amplitude and average power in the frequency range from 3.1 to 10.6 GHz. The PSD and parameters of each optimized waveform are shown. The optimized results are discussed in the conclusion.

II. WAVEFORM MODEL

The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. These waveforms are assumed to be a voltage signals. For obtaining the continuous component of PSD, the binary PAM with balance binary data independent and identically distributed (i.i.d.) random sequence is considered. Then, the PSD of the transmitted waveform can be simplified to [9]

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |F(f)|^2 \quad (3)$$

where T_s is the time interval of one waveform and $F(f)$ is the spectral density function of the waveform. The spectral density function can be calculated by using Fourier transform,

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (4)$$

where $f(t)$ is the waveform in time domain.

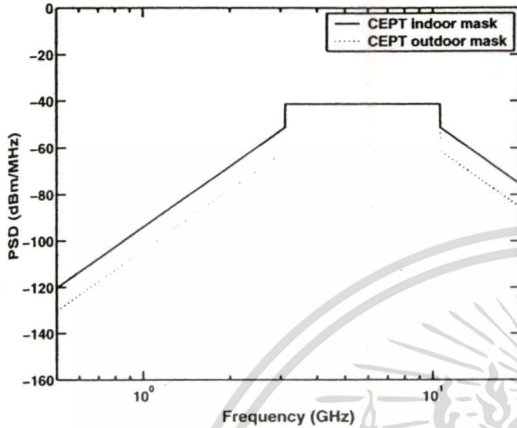


Fig. 1. CEPT indoor and outdoor masks for UWB communications.

A. Rectangular Passband Waveform

The rectangular passband waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)], \quad (5)$$

$$F(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases}, \quad (6)$$

where A is the maximum amplitude, f_b is the occupied bandwidth, f_c is the center frequency, $f_L = f_c - f_b/2$ and $f_H = f_c + f_b/2$ are the minimum and maximum frequencies, respectively.

This waveform has the $A/(2f_b)$ constant magnitude of spectral density in the $-f_H$ to $-f_L$ and f_L to f_H frequency ranges. The area of its spectral density is $\int_{-\infty}^{\infty} F(f)df = A$, then this waveform has maximum amplitude is A at $t = 0$. This is the ideal case of the UWB waveform then it used to considered the upper limit of the maximum bandwidth, amplitude and power for the UWB waveform.

B. Modulated Rectangular Waveform

The modulated rectangular waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_c t) & |t| \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases}, \quad (7)$$

$$F(f) = \frac{At_b}{j2} \begin{cases} \text{sinc}[t_b(f - f_c)] \\ -\text{sinc}[t_b(f + f_c)] \end{cases}. \quad (8)$$

where A is the maximum amplitude, f_c is the carrier frequency and t_b is the pulse width of the waveform.

This waveform is modulated between the A constant amplitude and t_b width rectangular pulse and f_c carrier frequency. The sine function is used for reducing the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero.

C. Modulated Gaussian Waveform

The modulated Gaussian waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t), \quad (9)$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{j2} \begin{bmatrix} e^{-\pi^2 d^2 (f-f_c)^2} \\ -e^{-\pi^2 d^2 (f+f_c)^2} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

where A is the maximum amplitude of the envelope waveform, f_c is the carrier frequency and d is the $1/e$ characteristic decay time.

The sine function is used for reducing the DC component of the modulated waveform to zero as the same as the modulated rectangular waveform.

III. RADIATION POWER

For considering the radiation power, the transmitter (Tx) antenna is assumed to be the isotropic antenna. Therefore, the PSD of the radiation waveform can be written as

$$S_R(f) = \frac{|Z_a|^2}{R_a |Z_i + Z_a|^2} S(f), \quad (11)$$

where R_a is the Tx antenna resistance, Z_i and Z_a are the internal circuit and Tx antenna impedances, respectively.

The matching impedance case is consider for obtaining the maximum radiation power. Then, R_a , Z_i and Z_a are set to be R . The path loss and the measurement system is, not considered in this paper.

IV. OPTIMIZATION

The waveforms are optimized for UWB communication. The UWB definition by FCC is considered [2]. The condition of f_L and f_H are set to $3.1 \text{ GHz} \leq f_L < f_H \leq 10.6 \text{ GHz}$. Each waveform must have fractional bandwidth greater than 0.20 or occupied bandwidth greater than 500 MHz. In addition each waveform is satisfied the ETSI slope masks. The three assumptions for good UWB signal waveform are consider. First is higher bandwidth for reducing the effect of multipath fading [10]. Next is larger amplitude for increasing the efficiency of peak detection receiver. Final is higher average power for increasing the signal to noise ratio (SNR). Then, each waveform is optimized to maximized bandwidth, amplitude and average power in the frequency range from 3.1 to 10.6 GHz. For the optimizations, the solution of frequency is 0.01 GHz, the time is 0.01 ns and the amplitude is 0.01 V.

A. Optimization of Rectangular Passband Waveform

For the indoor and outdoor limits, the parameters obtain from the maximum bandwidth, amplitude and average power optimizations are the same. The results are $f_b = 7.50 \text{ GHz}$, $f_c = 6.85 \text{ GHz}$, $f_L = 3.10 \text{ GHz}$, $f_H = 10.60 \text{ GHz}$ and $A = 8.16\sqrt{RT} \text{ V}$. The optimized waveform has 1.09 fractional bandwidth and 7.5 GHz occupied bandwidth. The average power of this waveform is -59.54 dBm. Its PSD compared with CEPT indoor and outdoor masks are shown in Fig. 2.

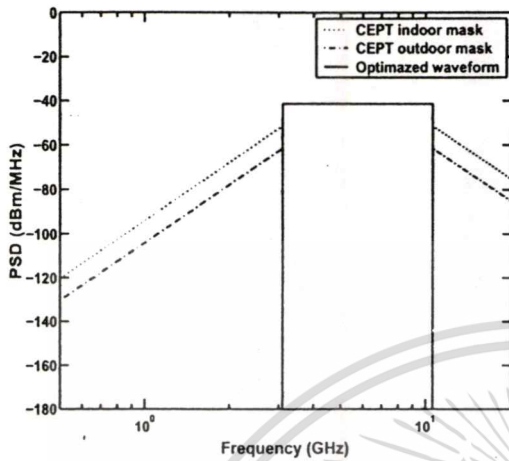


Fig. 2. PSD of optimized rectangular passband waveform compared with CEPT indoor and outdoor masks.

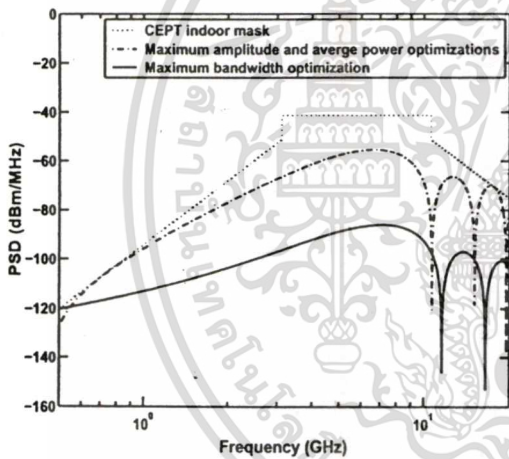


Fig. 3. PSD of optimized modulated rectangular waveform compared with CEPT indoor mask.

B. Optimization of Modulated Rectangular Waveform

For the indoor mask, the parameter obtain from the maximum bandwidth optimization are $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.63$ GHz and $A = 0.032\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 1.08 fractional bandwidth and 7.36 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -106.67 dBm. For the maximum amplitude and average power optimizations, the parameters are the same. The obtained results are $t_b = 0.23$ ns, $f_c = 6.23$ GHz and $A = 0.96\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.99 fractional bandwidth and 6.46 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -76.50 dBm. The PSD compared with CEPT indoor mask are shown in Fig. 3.

For the outdoor mask, the parameter obtain from the maximum bandwidth optimization are $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.63$ GHz

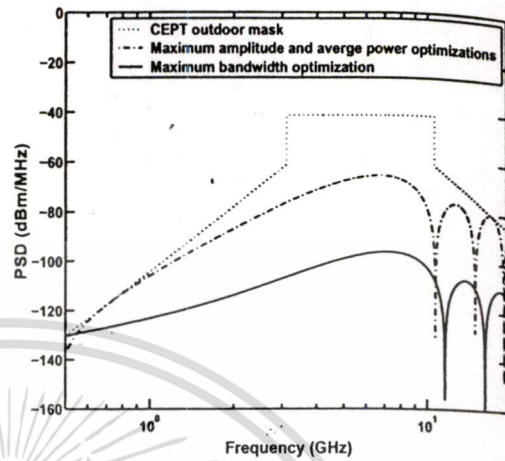


Fig. 4. PSD of optimized modulated rectangular waveform compared with CEPT outdoor mask.

and $A = 0.010\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 1.08 fractional bandwidth and 7.36 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -116.67 dBm. For the maximum amplitude and average power optimizations, the parameters are the same. The obtained results are $t_b = 0.23$ ns, $f_c = 6.23$ GHz and $A = 0.30\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.99 fractional bandwidth and 6.46 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -86.50 dBm. The PSD compared with CEPT outdoor mask are shown in Fig. 4.

C. Optimization of Modulated Gaussian Waveform

For the indoor mask, the parameters obtain from the maximum bandwidth optimization are $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz and $A = 0.050\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $0.044\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.99 fractional bandwidth and 6.82 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -104.13 dBm. For the maximum amplitude optimization the obtained results are $d = 0.13$ ns, $f_c = 7.97$ GHz and $A = 4.72\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $4.46\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.66 fractional bandwidth and 5.24 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -63.49 dBm. For the maximum average power optimization, the obtained results are $d = 0.13$ ns, $f_c = 7.86$ GHz and $A = 4.72\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $4.46\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.67 fractional bandwidth and 5.24 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -63.47 dBm. The PSD compared with CEPT indoor mask are shown in Fig. 5.

For the outdoor mask, the parameters obtain from the maximum bandwidth optimization are $d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz and $A = 0.014\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $0.012\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.99 fractional bandwidth and 6.82 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -114.13 dBm. For the maximum amplitude optimization the obtained results are $d = 0.15$ ns, $f_c =$

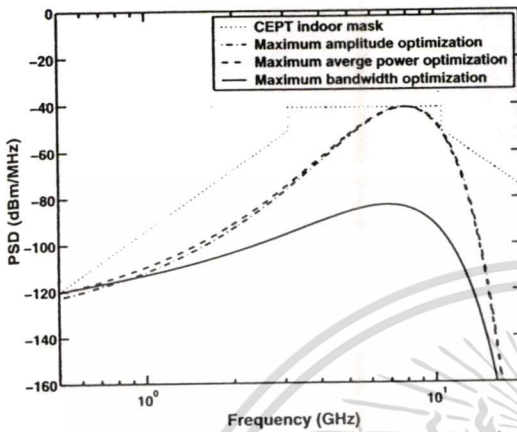


Fig. 5. PSD of optimized modulated Gaussian waveform compared with CEPT indoor mask.

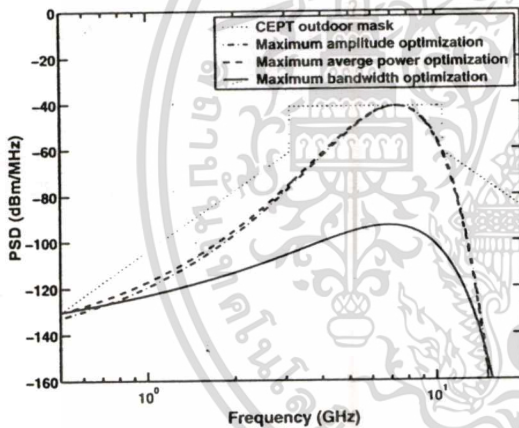


Fig. 6. PSD of optimized modulated Gaussian waveform compared with CEPT outdoor mask.

7.37 GHz and $A = 4.10\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $3.90\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.61 fractional bandwidth and 4.54 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -64.04 dBm. For the maximum average power optimization, the obtained results are $d = 0.15$ ns, $f_c = 7.28$ GHz and $A = 4.10\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $3.90\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.62 fractional bandwidth and 4.54 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -64.04 dBm. The PSD compared with CEPT outdoor mask are shown in Fig. 6.

V. CONCLUSION

In this paper, the simple waveforms for UWB communications are presented to satisfy the ETSI slope masks. The

rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. From the optimization results, the rectangular passband waveform obtained the maximum bandwidth, amplitude and average power. It can consider to be the upper band or the best case of UWB waveform. For the comparison between the modulated rectangular and modulated Gaussian waveform, the modulated rectangular waveform obtained the wider bandwidth for the indoor and outdoor limits. The modulated Gaussian obtain the higher amplitude for the indoor and outdoor limits.

REFERENCES

- [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, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [3] ETSI, "Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Applications," Standardisation Mandate: DG ENTR/G3M/329, Brussels, Feb. 2003.
- [4] 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.
- [5] M. Ghavami, L. B. Misciel, R. Khono, "Hermite Function Based Orthogonal Pulses for Ultra Wideband Communication," The Fourth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), pp. 437-440, Sep. 2001.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveform for UWB Communication," The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2005), pp. 626-629, May 2005.

Simple Waveform Satisfying New ETSI Spectral Mask for UWB Communications

Kritsana Wansiang¹, Pichaya Supanakoon¹, Sathaporn Promwong¹ and Jun-ichi Takada²

¹Department of Information Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

E-mail: {s7061132,kspichay,kpsathap}@kmitl.ac.th

²Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,
2-12-1-S6-4, O-okayama, Meguro-ku, 152-8550, Tokyo, Japan.

E-mail: takada@jide.titech.ac.jp

ABSTRACT

In this paper, the simple waveforms for UWB communications are presented to satisfy the New European Telecommunications Standards Institute (ETSI) spectral mask. The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. They are optimized to maximize bandwidth, amplitude and average power in the new ETSI spectral mask bandwidth ranging from 6.0 to 9.0 GHz. Only maximum average power spectral density (PSD) limit is considered. The binary pulse amplitude modulation (PAM) with balance binary data independent identically distributed (i.i.d.) random sequence is considered to easily derive the PSD of the waveforms. The PSD and parameters of each optimized waveform are shown. The optimized results are discussed in the conclusion.

1. INTRODUCTION

Ultra wideband (UWB) radio technology has become an important topic for microwave communication because of its potential low cost and low power consumption properties [1]. UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. Among UWB technologies is advantageous with respect to the simple hardware. Instead of using a narrow band carrier modulation, pulse trains are transmitted with ultra wide frequency spectrum. The Federal Communications Commission (FCC) [2] in US specified that a frequency spectrum range from 3.1 to 10.6 GHz are assigned for the main band of UWB signal. The FCC defined the UWB signal as those which have a fractional bandwidth greater than 0.20 or occupied bandwidth greater than 500 MHz. The fractional and occupied bandwidth are defined as

$$\text{Fractional bandwidth} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (1)$$

$$\text{Occupied bandwidth} = f_H - f_L \quad (2)$$

where f_L and f_H are the lower and upper frequencies at the -10 dB point, respectively.

There are several radiation limits of the UWB signal for the indoor and outdoor applications such as FCC spectral masks and European Conference of Postal and Telecommunications (CEPT) spectral masks [3] proposed by European Telecommunications Standards Institute (ETSI). The

power spectral density (PSD) of the UWB signal is considered to be a noise for other communication systems because its PSD is even below the noise emission level of personal computers (PC's). The UWB receiver collects the power of the received signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB radio technology can coexist with other RF technologies without interference.

Numerous UWB waveforms have been proposed [4]. Although, the waveform designs are reviewed, the UWB definition and spectral masks were not considered. There are many techniques for designing the UWB waveform such as by using the Hermite function [5]-[6] and prolate spheroidal wave function [7]. The numerical technique is also used to design the UWB waveform [8]-[9]. Although these waveforms have very high spectral efficiency in the designed frequency range, the algorithms of these techniques are complicated. The simple waveforms for UWB communications are proposed to satisfy the FCC spectral masks [10]. After that, they are proposed to satisfy the CEPT slope masks [11]. But recently, the ETSI has been developed the new PSD radiation limits for UWB communication [12].

In this paper, the simple waveforms for UWB communications are presented to satisfy the new ETSI spectral mask for the UWB communications. The new PSD radiation limits proposed by ETSI and new ETSI slope masks are shown in Table 1 and Fig 1 respectively. The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. They are optimized to maximize bandwidth, amplitude and average power in the new ETSI spectral mask bandwidth ranging from 6.0 to 9.0 GHz. Only maximum average power spectral density (PSD) limit is considered. The binary pulse amplitude modulation (PAM) with balance binary data indepen-

Table 1: New PSD radiation limits proposed by ETSI.

Frequency (GHz)	Maximum average PSD (dBm/MHz)
< 1.6	-90
1.6-2.7	-85
2.7-6.0	-70
6.0-9.0	-41.3
9.0-10.6	-65
> 10.6	-85

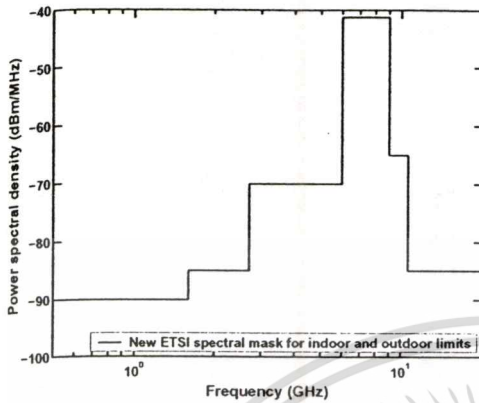


Fig.1: New ETSI spectral masks for UWB communications.

identically distributed (i.i.d.) random sequence is considered to easily derive the PSD of the waveforms [13]. The PSD and parameters of each optimized waveform are shown. The optimized results are discussed in the conclusion.

This paper is organized as follows. Section 2, the UWB waveforms are explained. Next, the optimization results are illustrated in Sec. 3. Finally, conclusions are discussed in Sec. 4.

2. WAVEFORM MODEL

The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. These waveforms are assumed to be a voltage signals. For obtaining the continuous component of PSD, the binary PAM with balance binary data i.i.d. random sequence is considered. Then, the PSD of the transmitted waveform can be simplified to [13]

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |F(f)|^2 \tag{3}$$

where T_s is the time interval of one waveform and $F(f)$ is the spectral density function of the waveform. The spectral density function can be calculated by using Fourier transform,

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt \tag{4}$$

where $f(t)$ is the waveform in time domain.

2.1 Rectangular Passband Waveform

The rectangular passband waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \frac{A}{f_b} [f_c \text{sinc}(2f_b t) - f_c \text{sinc}(2f_b t)] \tag{5}$$

$$F(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \tag{6}$$

where A is the maximum amplitude, f_b is the occupies bandwidth, f_c is the center frequency, $f_L = f_c - f_b/2$ and $f_H = f_c + f_b/2$ are the minimum and maximum frequencies, respectively.

This waveform has the $A/(2f_b)$ constant magnitude of spectral density in the $-f_H$ to $-f_L$ and f_L to f_H frequency ranges. The area of its spectral density is $\int_{-\infty}^{\infty} F(f)df = A$ then this waveform has maximum amplitude is A at $t = 0$. This is the ideal case of the UWB waveform then it used to considered the upper limit of the maximum bandwidth, amplitude and power for the UWB waveform.

2.2 Modulated Rectangular Waveform

The modulated rectangular waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_c t) & |t| \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \tag{7}$$

$$F(f) = \frac{At_b}{j2} \left\{ \begin{matrix} \text{sinc}[t_b(f - f_c)] \\ -\text{sinc}[t_b(f + f_c)] \end{matrix} \right\} \tag{8}$$

where A is the maximum amplitude, f_c is the carrier frequency and t_b is the pulse width of the waveform.

This waveform is modulated between the A constant amplitude and t_b width rectangular pulse and f_c carrier frequency sine function. The sine function is used for reducing the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero.

2.3 Modulated Gaussian Waveform

The modulated Gaussian waveform in time domain and its spectral density function are given by

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t) \tag{9}$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{j2} \left[\begin{matrix} e^{-\pi^2 d^2 (f - f_c)^2} \\ -e^{-\pi^2 d^2 (f + f_c)^2} \end{matrix} \right] \tag{10}$$

where A is the maximum amplitude of the envelope waveform, f_c is the carrier frequency and d is the $1/e$ characteristic decay time.

This waveform is modulated between the A maximum amplitude and d $1/e$ characteristic decay time Gaussian pulse and f_c carrier frequency sine function. The sine function is used for reducing the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero same the modulated rectangular waveform.

2.4 RADIATION POWER

For considering the radiation power, the transmitter (Tx) antenna is assumed to be the isotropic antenna. The internal circuit and Tx antenna impedances are assumed to be the same real value R . That is the ideal with maximum radiated PSD. In this paper, the path loss and measurement system are not considered. The radiated PSD (S_R) of this ideal case can be written as

$$S_R(f) = \frac{1}{4R} S(f) \tag{11}$$

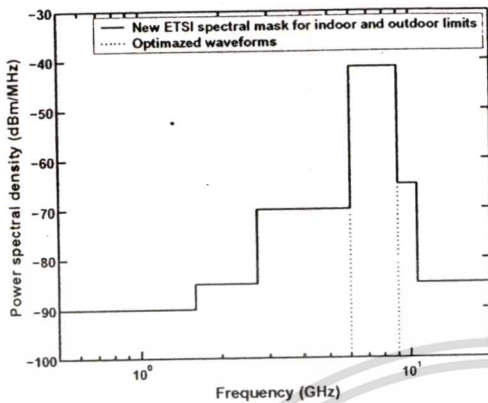


Fig.2: PSD of optimized rectangular passband waveform compared with new ETSI spectral masks.

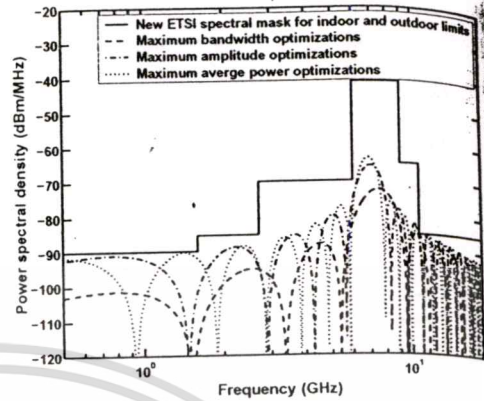


Fig.3: PSD of optimized modulated rectangular waveform compared with ETSI spectral masks.

3. OPTIMIZATION

The waveforms models is optimized for UWB communication. The UWB definition by FCC and new ETSI spectral mask are considered. The condition of f_L and f_H are set to $6.0 \text{ GHz} \leq f_L < f_H \leq 9.0 \text{ GHz}$. Each waveform must has fractional bandwidth greater than 0.20 or occupied bandwidth greater than 500 MHz. The PSD of each waveform is satisfied the new ETSI spectral masks. The three assumptions for good UWB signal waveform are consider. First is high bandwidth for reducing the effect of multipath fading [14]. Next is larger amplitude for increasing the efficiency of peak detection receiver. Final is higher average power for increasing the signal to noise ratio (SNR). Then, each waveform is optimized to maximized bandwidth, amplitude and average power in the frequency range from 6.0 to 9.0 GHz. For the optimizations, the solution of frequency is 0.01-GHz, the time is 0.01 ns and the amplitude is 0.01 V.

3.1 Optimization of Rectangular Passband Waveform

For the rectangular passband waveform, the parameters obtained from the maximum bandwidth, amplitude and average power optimization are the same. The results are, $f_L = 3.00 \text{ GHz}$, $f_c = 7.50 \text{ GHz}$, $f_H = 6.00 \text{ GHz}$, $f_H = 9.00 \text{ GHz}$ and $A = 3.26\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.40 fractional bandwidth and 3.0 GHz occupied bandwidth. The average power of this waveform is -63.53 dBm. Its PSD compared with new ETSI spectral masks are shown in Fig 2

3.2 Optimization of Modulated Rectangular Waveform

For the modulated rectangular waveform, the parameter obtained from the maximum bandwidth optimization are $t_b = 0.18 \text{ ns}$, $f_c = 7.16 \text{ GHz}$ and $A = 0.06\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.40 fractional bandwidth and 2.99 GHz occupies bandwidth. The average power of waveform is -96.94 dBm. For the maximum amplitude op-

timization, the obtained results are $t_b = 0.77 \text{ ns}$, $f_c = 6.96 \text{ GHz}$ and $A = 0.09\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.28 fractional bandwidth and 1.95 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -91.82 dBm. For the maximum average power optimization, the obtained results are $t_b = 0.97 \text{ ns}$, $f_c = 6.84 \text{ GHz}$ and $A = 0.09\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.22 fractional bandwidth and 1.48 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -90.66 dBm. The PSD compared with new ETSI spectral masks are shown in Fig 3

3.3 Optimization of Modulated Gaussian Waveform

For the modulated Gaussian waveform, the parameters obtained from the maximum bandwidth optimization are $d = 0.23 \text{ ns}$, $f_c = 7.50 \text{ GHz}$ and $A = 0.32\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $0.31\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.39 fractional bandwidth and 2.96 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -84.53 dBm. For the maximum amplitude and average power optimizations, the parameters are the same. The obtained results are $d = 0.37 \text{ ns}$, $f_c = 7.58 \text{ GHz}$ and $A = 1.66\sqrt{RT_s}$ V. The maximum amplitude is $1.64\sqrt{RT_s}$ V. The optimized waveform has 0.24 fractional bandwidth and 1.84 GHz occupied bandwidth. The average power of waveform is -67.96 dBm. The PSD compared with new ETSI spectral masks are shown in Fig 4

4. CONCLUSION

In this paper, the simple waveforms for UWB communications are presented to satisfy the New ETSI spectral mask. The rectangular passband, modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms are considered. From the optimization results, the rectangular passband waveform has the maximum bandwidth, amplitude and average power. It can consider to be the upper band or the best case of UWB waveform. For the comparison between the modulated rectangular and modulated Gaussian waveforms, the

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกฤษณะ หวานเสียง
วัน เดือน ปีเกิด	17 มิถุนายน 2523
ที่อยู่	192 หมู่ 2 ต.บ้านด้า อ.ดอกคำใต้ จ.พะเยา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2543	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างอุปกรณ์การแพทย์ โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ สถาบันวิจัย และพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2546	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2544 – ปัจจุบัน	รับราชการตำแหน่งนายช่างเทคนิค (ด้านอุปกรณ์การแพทย์) บริหารจัดการระบบเครื่องมือแพทย์ภายในหน่วยงาน สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้