สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

Study on Power Spectral Density of Ultra Wideband Signal

โดย

นายฉัตรมงคล ขุนทอง

นางสาวชนนิกานต์ อุโฆษกุล

2/ว.
ส 9347
9550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83156
วัน.เดือน.ปี - 6 ส.ค. 2551

b 11961746
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Power Spectral Density of Ultra Wideband Signal

BY

MR.CHATMONGCON KHUNTHONG

MS.CHONNIKARN UKOSAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง		
ชื่อนักศึกษา	นายฉัตรมงคล	ขุนทอง	รหัสนักศึกษา 47010129
	นางสาวชนนิกานต์	อุโฆษกุล	รหัสนักศึกษา 47010136
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิชญ	สุพรรณกูล	
	อาจารย์ สถาพร	พรหมวงศ์	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(ผศ.พิชญ สุพรรณกูล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

.....

(อ.สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จากอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผศ.พิชญ สุพรรณกูล ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ และกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนชี้แนะจนในที่สุดทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

สุดท้ายต้องขอกราบขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อนทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมา

นาย ฉัตรมงคล ขุนทอง

นางสาว ชนนิกานต์ อุโฆษกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาความหนาแน่นกำลังสเปกตรัมของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง
ชื่อนักศึกษา	นายฉัตรมงคล ขุนทอง รหัสนักศึกษา 47010129
	นางสาวชนนิกานต์ อุโฆษกุล รหัสนักศึกษา 47010136
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิชญ สุพรรณกูล
	อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาความหนาแน่นสเปกตรัม (PSD) ของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง (UWB) ด้วยการใช้ส่วนติดต่อผู้ใช้ (GUI) ของโปรแกรม MATLAB โดยพิจารณาแบบแผนมอดูเลตทางรูปร่างของพัลส์ (PSM) การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (PAM) และการมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์ (PPM) สำหรับแบบแผน PSM ได้ใช้สัญญาณการมอดูเลตเป็นคู่สัญญาณตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ส่วนแบบแผน PAM และ PPM ใช้ทั้งรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตและรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ซึ่งรูปคลื่นเหล่านี้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ถึงแม้ว่ารูปคลื่นเหล่านี้จะถูกออกแบบให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของ FCC แต่จะมีส่วนประกอบไม่ต่อเนื่องของ PSD เกิดขึ้น ซึ่งมีระดับสูงกว่าสเปกตรัมมาร์คของ FCC ดังนั้น จึงใช้เทคนิคไทม์ฮอพพิง (TH) เพื่อลดระดับส่วนประกอบไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study on Power Spectral Density of Ultra Wideband Signal
Student	Mr. Chatmongcon Khunthong ID. 47010129
	Ms. Chonnikarn Ukosakul ID. 47010136
Advisor	Asst. Prof. Pichaya Supanakoon
	Mr. Sathaporn Promwong
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2007

ABSTRACT

In this thesis, the power spectral density (PSD) of ultra wideband (UWB) signal is studied by using the graphic users interface (GUI) of MATLAB program. The pulse shape modulation (PSM), pulse amplitude modulation (PAM) and pulse position modulation (PPM) are considered. The orthogonal pair of modulated Gaussian waveforms is used for PSM scheme, the modulated rectangular waveform and the modulated Gaussian waveform are used for both of PAM and PPM schemes. These waveforms are satisfied the UWB signal definition and Federal Communications Commission (FCC) indoor and outdoor limit spectral masks. Although these waveforms are designed to satisfy the FCC spectral mask, the discrete component of PSD is occurred and its level is higher than the FCC spectral mask. Therefore, the time hopping (TH) technique is used to reduce this discrete component level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

สารบัญ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 รูปแบบของโครงงาน 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของระบบการสื่อสาร UWB 4

2.1 บทนำ 4

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสาร UWB 4

2.3 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร UWB 6

2.3.1 เป็นระบบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและต้นทุนต่ำ 6

2.3.2 มีระดับ PSD ของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน 7

2.3.3 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) 7

2.3.4 มีคุณสมบัติที่ทะลุผ่านวัสดุได้ดี 7

2.3.5 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking) 8

2.4 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสาร UWB 8

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบ UWB ในสหรัฐอเมริกา 8

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบ UWB ในยุโรป 9

2.5 นิยามของสัญญาณ UWB 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 แบบจำลองรูปคลื่น UWB 10
2.6.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต 10
2.6.2 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 11
2.6.3 คู่รูปคลื่นดั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 11
2.7 แบบแผนมอดูเลต UWB 12
2.7.1 แบบแผน PSM 12
2.7.2 แบบแผน PAM 13
2.7.3 แบบแผน PPM 14
2.8 ทฤษฎีการวิเคราะห์ PSD 15
2.8.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM 16
2.8.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM 16
2.8.3 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM 16
2.9 บทสรุป 17

บทที่ 3 การสร้าง Graphical User Interface (GUI) 18
3.1 การสร้าง GUIs ด้วย GUIDE 18
3.2 ส่วนประกอบของ GUI ใน MATLAB 18
3.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของ Application M-file ที่สร้างโดย GUIDE 19
3.2.2 การเลือก GUIDE Application Options 19
3.3 การสร้าง Application M-file ของ GUIDE 22
3.3.1 การสร้างต้นแบบของ Application M-file 22
3.3.2 การตั้งชื่อไฟล์และ Tag 24
3.3.3 การวางส่วนประกอบต่างๆ ลงใน GUI โดย Layout Editor 25
3.3.4 Activating the Figure 26
3.3.5 Aligning Component in The Layout Editor 27
3.4 การกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ 29
3.4.1 The Object Browser 31
3.4.2 การกำหนด callback ของเมนู 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3 การสร้าง Context Menu 33
3.5 User Interface Control 34
3.5.1 Check boxes 34
3.5.2 Editable text boxes 35
3.5.3 Frames 35
3.5.4 List boxes 35
3.5.5 Pop-up menus 36
3.5.6 Push buttons 36
3.5.7 Radio buttons 36
3.5.8 Sliders 36
3.5.9 Static text boxes 36
3.5.10 Toggle buttons 37
3.6 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ GUI 37

บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมศึกษา PSD 38
4.1 ส่วนตัวเลือก 41
4.1.1 Evironment 41
4.1.2 Graph Type 41
4.1.3 Signal Type 41
4.1.4 Optimization 42
4.1.5 Modulated 42
4.1.6 Time Hopping 43
4.1.7 Bit Number 43
4.1.8 Probability of Bit 1 43
4.2 กราฟ 44
4.3 หน้าต่างแสดงผล 44
4.4 สรุป 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลของการศึกษา PSD 46

5.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต 46

5.2 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 53

5.3 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 58

5.4 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM 64

5.4.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH 64

5.4.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH 67

5.5 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM 70

5.5.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH 70

5.5.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH 73

5.6 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM 78

5.6.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH 78

5.6.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH 81

5.7 บทสรุป 85

บทที่ 6 สรุป 86

6.1 บทสรุป 86

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาและดำเนินโครงงานนี้ 90

6.3 แนวทางในการพัฒนา 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ข้อจำกัดในการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร 8

2.2 ข้อจำกัดในการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร 9

3.1 UI Control 34

6.1 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีแบนด์วิดท์กว้างสุดของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ใช้และไม่ได้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 87

6.2 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีแอมพลิจูดสูงสุดหรือกำลังเฉลี่ยมากสุดของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ใช้และไม่ได้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 87

6.3 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ใช้และไม่ได้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 88

6.4 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ใช้และไม่ได้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 88

6.5 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 10 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ใช้และไม่ได้ TH สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 89

6.6 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 100 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ใช้และไม่ได้ TH สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 สัญญาณพัลส์ UWB ในโดเมนเวลา 5

2.2 PSD ของสัญญาณ UWB ในโดเมนความถี่ 5

2.3 สเปกตรัมของสัญญาณ UWB เทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณระบบแถบแคบอื่น 6

2.4 ตัวอย่างของคู่ตั้งฉากที่ใช้ในแบบแผน PSM ที่ใช้แทนบิท '0' และบิท '1' ซึ่งเป็นคู่ตั้งฉาก ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 13

2.5 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PAM ที่ใช้แทนบิท '0' และบิท '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่น แบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 14

2.6 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PPM ที่ใช้แทนบิท '0' และบิท '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่น แบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 15

3.1 หน้าต่าง Layout Editor 20

3.2 หน้าต่าง GUIDE Application Options 20

3.3 context menu 27

3.4 Alignment Tool 27

3.5 Grid and Rulers 28

3.6 การสร้าง guide line 29

3.7 Property Inspector 30

3.8 Object Browser 31

3.9 Menu Editor (1) 32

3.10 Menu Editor (2) 33

4.1 แผนภาพการออกแบบโปรแกรมศึกษา PSD 39

4.2 Layout Editor 40

4.3 หน้าต่าง GUI 40

4.4 Environment 41

4.5 Graph Type 41

4.6 Signal Type 42

4.7 Optimization 42

4.8 Modulated 43

4.9 Time Hopping 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 Bit Number 43
4.11 Probability of Bit 1 43
4.12 กราฟ 44
4.13 หน้าต่างแสดงผล 45
5.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 46
5.2 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 47
5.3 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 48
5.4 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 48
5.5 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 49
5.6 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 50
5.7 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีกำลังเฉลี่ยมากสุด 50
5.8 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 51
5.9 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 52
5.10 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีกำลังเฉลี่ยมากสุด 52
5.11 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 53
5.12 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.13 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 54

5.14 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 55

5.15 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 56

5.16 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 56

5.17 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 57

5.18 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 58

5.19 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด....59

5.20 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสุด 59

5.21 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 60

5.22 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด 61

5.23 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด....62

5.24 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสุด 62

5.25 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด 63

5.26 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.27 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 65

5.28 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 66

5.29 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 66

5.30 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 67

5.31 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 68

5.32 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 68

5.33 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 69

5.34 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 69

5.35 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.36 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 71

5.37 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 71

5.38 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 72

5.39 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 72

5.40 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 73

5.41 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 74

5.42 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 74

5.43 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 75

5.44 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.45 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 76

5.46 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 76

5.47 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 77

5.48 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 78

5.49 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 79

5.50 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 79

5.51 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 80

5.52 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 80

5.53 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘1’ เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.54 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 82

5.55 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 82

5.56 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 83

5.57 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ใช้ TH โดยเป็นแบนด์วิดท์กว้างสุดและมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 84

5.58 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผนPPM ที่ไม่ใช้ TH โดยเป็นแอมพลิจูดสูงสุดและมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานเริ่มมีสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายภายในอาคารสำนักงานหรือการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในแหล่งที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าว อาทิเช่น Wi-Fi (Wireless Fidelity) หรือ Bluetooth ที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ อย่างไรก็ตาม ได้เกิดกระแสความสนใจในวงกว้างเกี่ยวกับเทคโนโลยี Ultra Wide Band (UWB) ซึ่งเป็นคลื่นที่ให้ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (PSD) ในการส่งต่ำและมีแบนด์วิดท์ (bandwidth) กว้างมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีความจุในการรับส่งข้อมูลสูงและส่งได้รวดเร็วยิ่งขึ้น จึงเป็นทางเลือกที่ดีมากสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารภายในอาคารที่มีราคาถูก กำลังส่งต่ำ ระยะใกล้ ด้วยคุณสมบัติดังที่กล่าวมานี้ ทำให้เห็นได้ถึงความสามารถที่เหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth ได้อย่างชัดเจน ซึ่งคาดว่าเทคโนโลยี UWB นี้จะเข้ามาเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ในอนาคต

เนื่องจากเทคโนโลยี UWB เป็นเทคโนโลยีที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) จึงนิยามสัญญาณ UWB เป็นสัญญาณใด ๆ ที่มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 และแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 GHz แต่ก็ยังมีส่วนของสเปกตรัมที่ซ้อนทับอยู่กับการสื่อสารแถบแคบอื่นที่มีการใช้งานอยู่ก่อนแล้ว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตั้งข้อกำหนดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการแทรกสอด ดังนั้น FCC ได้ตั้งข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารเพื่อจำกัดการปล่อยมากสุดของสัญญาณ UWB ที่ไม่ต้องมีใบอนุญาตเพื่อรับประกันการป้องกันให้กับการบริการวิทยุที่มีอยู่แล้วและที่วางแผนจะมีในอนาคต การสื่อสาร UWB ที่เป็นไปตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อกำจัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC จะไม่สามารถตรวจจับได้โดยระบบการสื่อสารอื่นซึ่งจะมี PSD ต่ำกว่าข้อกำหนดสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15 (Revision of Part 15 of the Commission's Rule Regarding UWB Transmission System)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสื่อสาร UWB คือการใช้สเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสัญญาณ UWB สามารถใช้ร่วมกับการใช้งานอื่นในสเปกตรัมเดียวกันได้โดยที่เกิดการแทรกสอดเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้น FCC จึงได้จำกัดการแผ่กระจายของ PSD โดยใช้สเปกตรัมมาร์ค ถึงแม้ว่าจะใช้รูปคลื่นการมอดูเลตที่ถูกออกแบบให้เป็นไปตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมมาร์คของ FCC แต่หลังจากผ่านกระบวนการมอดูเลตแล้ว จะมีส่วนประกอบไม่ต่อเนื่องของ PSD เกิดขึ้น ซึ่งมีระดับสูงกว่าสเปกตรัมมาร์คของ FCC ดังนั้นการศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB ที่ถูกมอดูเลต และการใช้เทคนิคไทม์ฮอพพิง (TH) เพื่อลดระดับส่วนประกอบไม่ต่อเนื่องนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษานิยามและข้อกำหนดพื้นฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (UWB)

1.2.2 ศึกษาทฤษฎีของสัญญาณ UWB และแบบแผนการมอดูเลตชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แบบแผน PSM แบบแผน PAM และแบบแผน PPM

1.2.3 ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (PSD)

1.2.4 เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถทำการศึกษาผลการวิเคราะห์หาความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมได้ง่ายขึ้น โดยศึกษาจาก Graphic User Interface (GUI) ในโปรแกรม MATLAB

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB โดยพิจารณาแบบแผน PAM และแบบแผน PPM ซึ่งใช้รูปคลื่นอย่างง่าย ได้แก่ รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ในส่วนแบบแผน PSM ได้ใช้คู่สัญญาณตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต แม้ว่ารูปคลื่นเหล่านี้ได้ถูกออกแบบให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC แต่จะมีส่วนประกอบไม่ต่อเนื่องของ PSD เกิดขึ้น ซึ่งทำให้มีระดับสูงกว่าระดับสเปกตรัมมาร์คของ FCC จึงใช้เทคนิค TH เพื่อลดระดับส่วนประกอบไม่ต่อเนื่องรวมทั้งพิจารณาจำนวนบิตและแสดง PSD ของสัญญาณ UWB ที่ถูกมอดูเลตแต่ละแบบ ผลที่ได้เหล่านี้สามารถนำมาใช้อ้างอิงในการจำกัดแบนวิดท์ แอมพลิจูด และกำลังของรูปคลื่น UWB เพื่อให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของ FCC

1.4 รูปแบบของโครงงาน

เขียนส่วนติดต่อผู้ใช้ (GUI) ในโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB โดยมีแบบแผน PSM ซึ่งใช้คู่สัญญาณตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ส่วนแบบแผน PAM และแบบแผน PPM สามารถใช้ทั้งรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต โดยได้ออกแบบโปรแกรมให้ง่ายต่อการศึกษาและใช้งาน สามารถเลือกชนิดของสัญญาณ แบบแผนของการมอดูเลตที่ไม่ได้ใช้และใช้ TH จำนวนบิต ความน่าจะเป็นของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 หรือ ข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 และแสดงกราฟ PSD ที่ได้เทียบกับสเปกตรัมมาร์คที่กำหนดโดย FCC

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ศึกษานิยามและข้อกำหนดพื้นฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (UWB)

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์ PSD และแบบแผนการมอดูเลตชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แบบแผน PSM แบบแผน PAM และแบบแผน PPM

1.5.3 ศึกษาการใช้งาน ส่วนติดต่อผู้ใช้ (GUI) ในโปรแกรม MATLAB

1.5.4 ออกแบบและเขียนโปรแกรมที่ช่วยในการศึกษา PSD

1.5.5 สรุปผลการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการของระบบการสื่อสาร UWB

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากผู้ใช้งานมีความต้องการส่งข้อมูลในปริมาณมากและต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลสูง จึงมีการพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายให้สอดคล้องตามความต้องการของผู้ใช้งาน นั่นคือเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB

เทคโนโลยีการสื่อสาร UWB มีประวัติมาตั้งแต่สมัยที่ Marconi ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่ง Spark gap ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 จากนั้น UWB ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960-1990 ซึ่งพบว่าเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาในเดือนพฤษภาคม ปี ค.ศ.2000 FCC ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) และได้เชิญชวนหน่วยงานให้ต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบ UWB โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ.2002

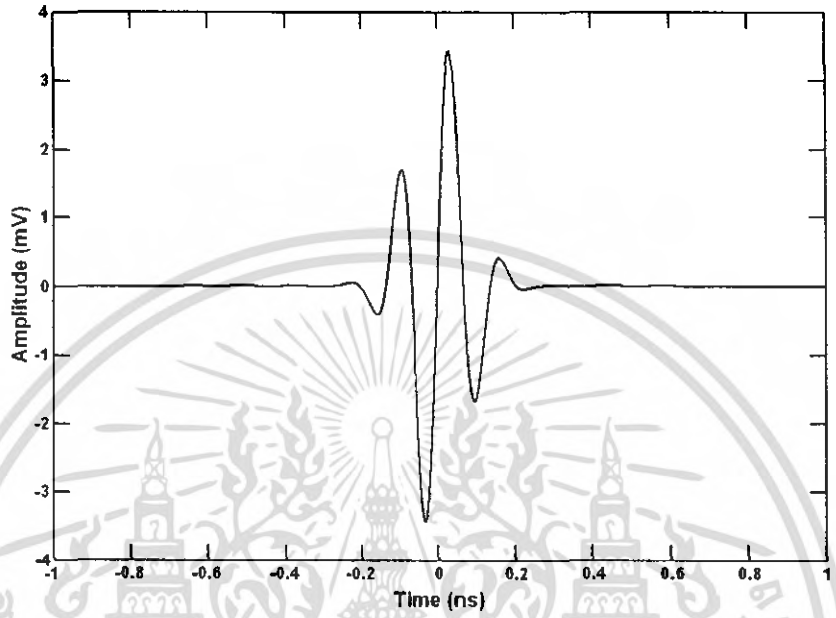
การสื่อสาร UWB เป็นวิวัฒนาการของระบบสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบ UWB มีความแตกต่างกับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการ คือ การส่งสัญญาณ UWB จะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์โดยที่ไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่ง คือ สัญญาณ UWB จะใช้แบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งมีค่ามากกว่าแถบความถี่ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดย FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบ UWB ไว้ที่ 3.1 – 10.6 GHz มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสาร UWB ใช้แถบความถี่ที่กว้างมาก โดยแถบความถี่ที่ใช้นั้นมีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้น FCC จึงได้กำหนดระดับ PSD ของสัญญาณ UWB ที่แผ่กระจายออกมาไว้ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับ PSD ของสัญญาณรบกวน

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสาร UWB

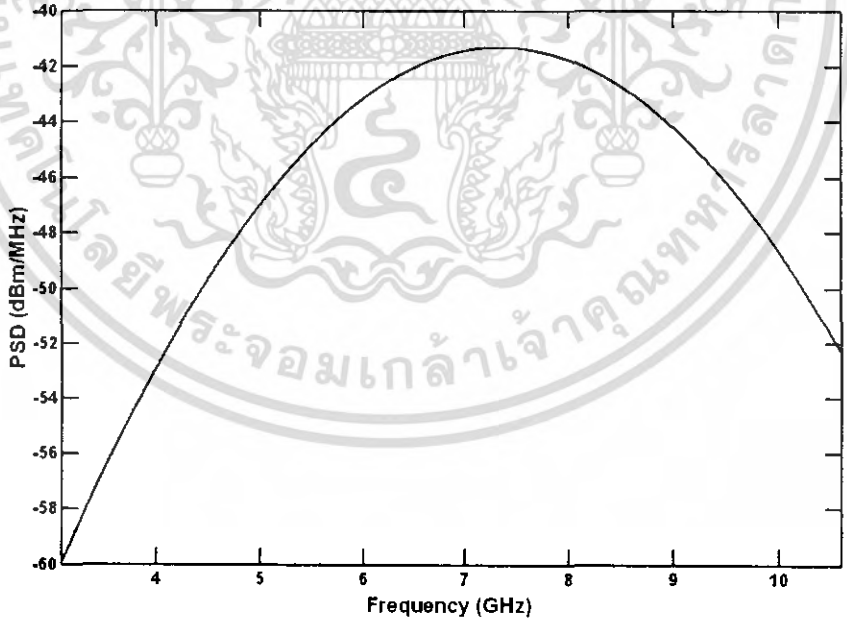
ระบบ UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของระบบ UWB คือ เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์เหมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอื่น สัญญาณของระบบ UWB จะเป็นสัญญาณพัลส์ โดยจะเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาดประมาณ 0.4 ns จึงทำให้มี PSD ที่กว้างมาก โดยจะแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz

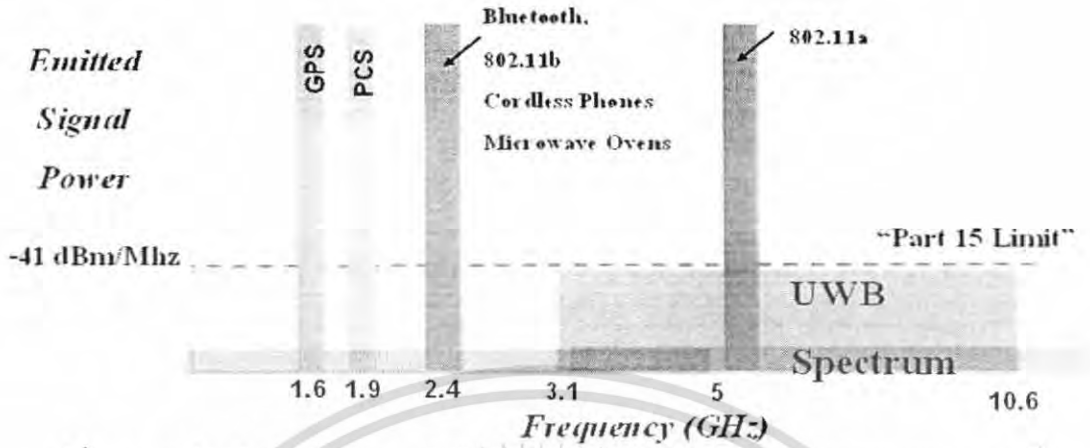


รูปที่ 2.1 สัญญาณพัลส์ UWB ในโดเมนเวลา



รูปที่ 2.2 PSD ของสัญญาณ UWB ในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของสัญญาณ UWB เทียบกับสเปกตรัมของสัญญาณระบบแถบแคบอื่น

จากลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและ PSD ของสัญญาณในโดเมนความถี่ ทำให้สัญญาณ UWB ถูกพิจารณาว่าเป็นสัญญาณรบกวนสำหรับระบบการสื่อสารอื่น เนื่องจากมี PSD ต่ำกว่าข้อจำกัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15

หากเปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบ UWB กับเทคโนโลยีอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth แล้ว จะพบว่าระบบ UWB มีประสิทธิภาพเหนือกว่ามาก ทั้งทางด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำ รวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่า เนื่องจากมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลสูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และ 110 Mb/s ที่ระยะทางประมาน 10 เมตร ในขณะที่ Wi-Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mb/s และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน ระบบ UWB มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวระบบ UWB จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทโฮมเอนเตอร์เทนเมนต์ภายในบ้าน

2.3 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร UWB

2.3.1 เป็นระบบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบการสื่อสาร UWB เป็นผลเนื่องมาจากข้อมูลข่าวสารสามารถมอดูเลตโดยใช้พัลส์แคบ ๆ และสัญญาณ UWB ที่ส่งออกไปจะมีลักษณะเป็นสัญญาณเบสแบนด์ (base band) ซึ่งไม่เหมือนการส่งสัญญาณความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ เครื่องส่ง UWB จะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ในโดเมนทางเวลา ซึ่งสามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไป ส่วนในการส่งสัญญาณความถี่วิทยุแบบอื่นจะมอดูเลตข่าวสารซึ่งเป็นสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) ดังนั้นการแปลงความถี่ลง (down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator) จึงไม่มีความจำเป็นสำหรับเครื่องรับ UWB ซึ่งจะทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและลดต้นทุนการผลิต

2.3.2 มีระดับ PSD ของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณ UWB นั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณ UWB มี PSD ที่แผ่กระจายออกมาในระดับต่ำ โดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (noise floor) ทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณ UWB เป็นสัญญาณรบกวน จึงถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

2.3.3 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation)

แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก เมื่อรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องเป็นผลให้สัญญาณ UWB มีการมอดูเลตทางเวลามีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือการแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

2.3.4 มีคุณสมบัติที่ทะลุผ่านวัสดุได้ดี

เนื่องจากสัญญาณ UWB มี PSD ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก ซึ่งทำให้มีโอกาสที่จะทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี ดังนั้น จึงสามารถนำคุณสมบัตินี้ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์

2.3.5 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก นั่นหมายถึง ระบบ UWB มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณ UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น การใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหากรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.4 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสาร UWB

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสาร UWB คือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งาน เพื่อตอบสนองเทคโนโลยีและความต้องการในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการแทรกสอดกันกับระบบการสื่อสารที่มีใช้อยู่เดิม ซึ่งในแต่ละประเทศได้กำหนดข้อบังคับในการใช้งานของระบบการสื่อสาร UWB ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับระบบโทรคมนาคมของประเทศนั้น เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบ UWB ในสหรัฐอเมริกา

FCC ได้อนุญาตให้ใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร UWB โดยได้กำหนดชนิดของอุปกรณ์เทคโนโลยี UWB แบ่งตามการประยุกต์ใช้งาน และได้กำหนดข้อบังคับอย่างเข้มงวด เพื่อเป็นการยืนยันว่าเทคโนโลยี UWB จะไม่แทรกสอดกับระบบการสื่อสารวิทยุอื่นที่มีใช้อยู่เดิม และเพื่อให้ได้รับประโยชน์จากการใช้เทคโนโลยีอย่างเต็มที่

สำหรับกฎข้อบังคับของ FCC ได้อนุญาตให้อุปกรณ์ในระบบการสื่อสาร UWB สามารถทำงานได้ภายใต้ข้อยกเว้นในการอนุญาตส่วนที่ 15 และยังกำหนดข้อจำกัดการแผ่กระจาย PSD ของระบบ UWB สำหรับใช้ในการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	PSD (dBm/MHz)	PSD (dBm/MHz)
960-1610	-75.3	-75.3
1610-1990	-53.3	-63.3
1990-3100	-51.3	-61.3
3100-10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบ UWB ในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบ UWB ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบ UWB ต่อระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะต้องแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีใหม่นั้นส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ ข้อจำกัดการแผ่กระจาย PSD สำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) หรือสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

สภาพแวดล้อม	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10/f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10/f)$

2.5 นิยามของสัญญาณ UWB

สำหรับการสื่อสาร UWB นิยามของสัญญาณ UWB ที่กำหนดโดย FCC คือ จะต้องมี PSD หลักอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 – 10.6 GHz และจะต้องมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 และมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz โดยที่แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนและแบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB นิยามดังนี้

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

$$\text{แบนด์วิดท์} = f_H - f_L \tag{2.2}$$

เมื่อ f_L และ f_H คือความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุดที่ PSD มีระดับลดลงมาจากระดับสูงสุด -10 dB ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แบบจำลองรูปคลื่น UWB

ในที่นี้ได้พิจารณารูปคลื่นอย่างง่าย ซึ่งได้แก่รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต และคู่รูปคลื่นดั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเพื่อนำมาใช้ศึกษา PSD จากสมการดังนี้

$$S(f) = \frac{1}{T_s}|W(f)|^2 \tag{2.3}$$

เมื่อ T_s คือช่วงเวลาในหนึ่งบิท และ W คือฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่น โดยที่ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสามารถคำนวณได้จากรูปคลื่นในโดเมนเวลา w โดยใช้การแปลงฟูริเยร์

$$W(f) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t)e^{-j2\pi ft}dt \tag{2.4}$$

ในการพิจารณา PSD ที่แผ่กระจายออกมาจะกำหนดให้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบไอโซทรอปิค ได้พิจารณาให้อิมพีแดนซ์เครื่องส่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศส่งมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นจำนวนจริง เพื่อให้ได้กรณีในอุดมคติที่ PSD มีการแผ่กระจายออกมามากที่สุด ซึ่งได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์เครื่องส่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศส่งเป็น R Ω และในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการสูญเสียเชิงวิถีและระบบการวัด PSD ที่ได้นำมาใช้จริง ในทางปฏิบัติ ดังนั้น PSD ที่แผ่กระจายออกมา S_R สามารถหาได้จาก

$$S_R(f) = \frac{1}{4R}S(f) \tag{2.5}$$

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้อัตราบิทเป็น 110 Mbps ซึ่งจะได้ช่วงเวลาในหนึ่งบิท $T_s = 9.09ns$ ข้อกำหนดนี้เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.5.3a ที่ระยะทาง 10 m และกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของเครื่องส่งและสายอากาศส่งเป็น $R = 50$ Ω

2.6.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตกำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w(t) = \begin{cases} A\sin(2\pi f_c t) & |t| \le \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \tag{2.6}$$

$$W(f) = \frac{At}{2j}\{\sin c[t_b(f - f_c)] - \sin c[t_b(f + f_c)]\} \tag{2.7}$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม f_c คือความถี่พาห์ t_b คือความกว้างพัลส์ และ $\sin c(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$

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

2.6.2 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตกำหนดโดย

$$w(t) = Ae^{-(t/t_d)^2}\sin(2\pi f_c t) \tag{2.8}$$

$$W(f) = \frac{At_d\sqrt{\pi}}{2j}\left[e^{-\pi^2 t_d^2 (f - f_c)^2} - e^{-\pi^2 t_d^2 (f + f_c)^2}\right] \tag{2.9}$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุดของรูปคลื่นเกาส์ f_c คือความถี่พาห์ และ $\pm t_d$ คือเวลาที่รูปคลื่นเกาส์มีแอมพลิจูดลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด

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

2.6.3 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปตรัมกำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w_0(t) = A_0 e^{-(t/t_d)^2} \sin(2\pi f_c t) \tag{2.10}$$

$$w_1(t) = A_1 e^{-(t/t_d)^2} \cos(2\pi f_c t) \tag{2.11}$$

$$W_0(f) = \frac{A_0 t_d \sqrt{\pi}}{2j} \left\{ e^{-\pi^2 t_d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi^2 t_d^2 (f+f_c)^2} \right\} \tag{2.12}$$

$$W_1(f) = \frac{A_1 t_d \sqrt{\pi}}{2} \left\{ e^{-\pi^2 t_d^2 (f-f_c)^2} + e^{-\pi^2 t_d^2 (f+f_c)^2} \right\} \tag{2.13}$$

เมื่อ f_c เป็นความถี่พาห์ t_d เป็นเวลาที่รูปคลื่นเกาส์มีแอมพลิจูดลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด A_0 และ A_1 เป็นแอมพลิจูดสูงสุดของเอนเวโลปรูปคลื่น f_0 และ f_1 ตามลำดับ

2.7 แบบแผนมอดูเลต UWB

ได้มีแบบแผนมอดูเลตหลายชนิดที่ได้พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับการสื่อสาร UWB ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาแบบแผน PSM PAM และ PPM

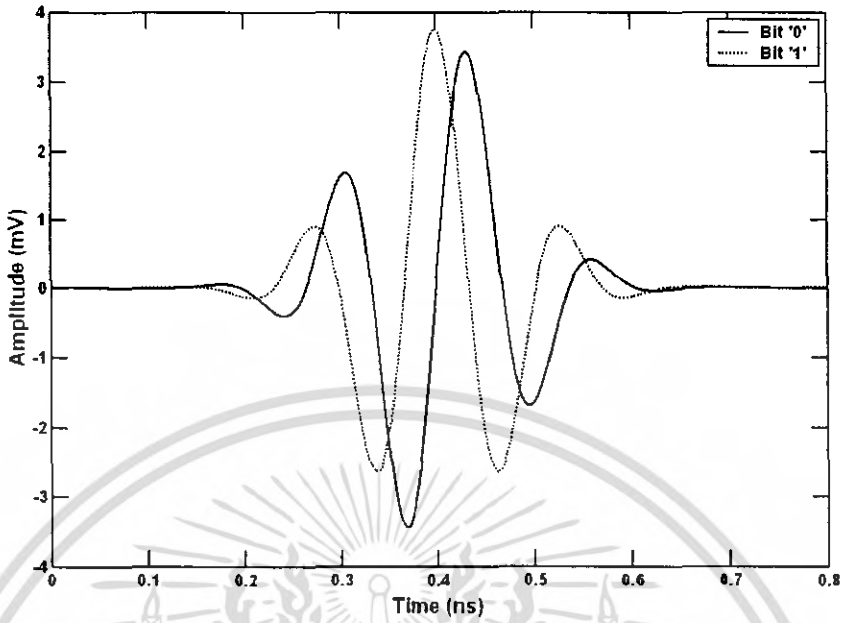
2.7.1 แบบแผน PSM

แบบแผนการมอดูเลตทางรูปร่างของพัลส์ (Pulse Shape Modulation: PSM) ได้ใช้รูปคลื่นที่แตกต่างกันสองรูปคลื่นสำหรับแสดงบิท '0' และ '1' โดยที่รูปคลื่นทั้งสองนี้จะต้องมีคุณสมบัติตั้งฉากกัน คุณสมบัติตั้งฉากระหว่างรูปคลื่นทั้งสองนี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$\int_{-T_S/2}^{T_S/2} w_i(t) w_j(t) dt = \begin{cases} E_b & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \tag{2.14}$$

เมื่อ w_0 เป็นรูปคลื่นที่ใช้แทนบิท '0' w_1 เป็นรูปคลื่นที่ใช้แทนบิท '1' T_s เป็นช่วงเวลาในหนึ่งบิท E_b เป็นพลังงานในหนึ่งบิท i และ j มีค่าเป็น 0 หรือ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของคู่ตั้งฉากที่ใช้ในแบบแผน PSM ที่ใช้แทนบิท '0' และบิท '1' ซึ่งเป็นคู่ตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

2.7.2 แบบแผน PAM

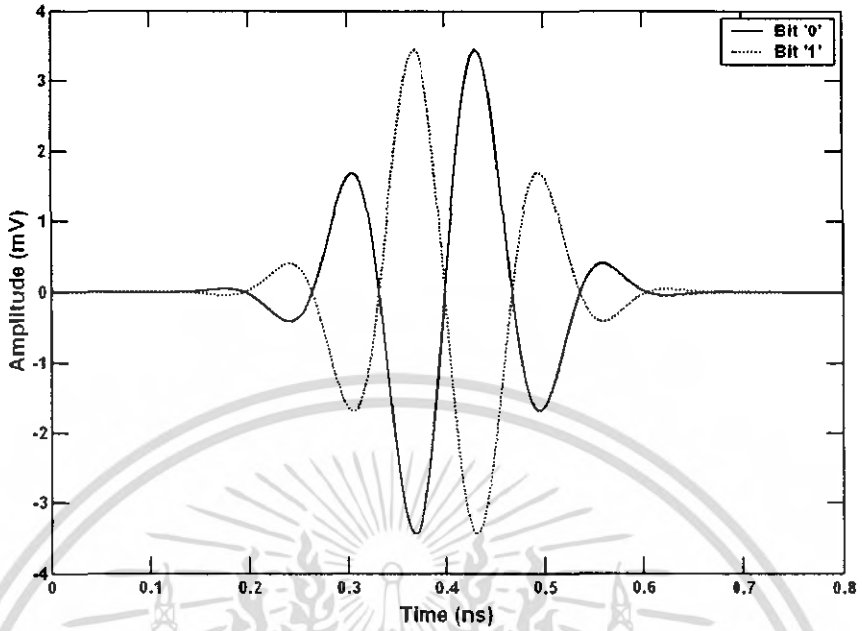
แบบแผนการมอดูเลตทางแอมพลิจูดพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation) เป็นพื้นฐานที่สุด จะใช้รูปคลื่นที่แตกต่างกันสองรูปคลื่นสำหรับแสดงบิท '0' และ '1' โดยที่รูปคลื่นทั้งสองนี้จะมีขนาดของแอมพลิจูดเท่ากันแต่มีเครื่องหมายแอมพลิจูดตรงข้ามกัน โดยรูปคลื่นทั้งสองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$w_1(t) = -w_0(t) \tag{2.15}$$

ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติ คือ

$$\int_{-T_S/2}^{T_S/2} w_i(t) w_j(t) dt = \begin{cases} E_b & i = j \\ -E_b & i \neq j \end{cases} \tag{2.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PAM ที่ใช้แทนบิท '0' และบิท '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

2.7.3 แบบแผน PPM

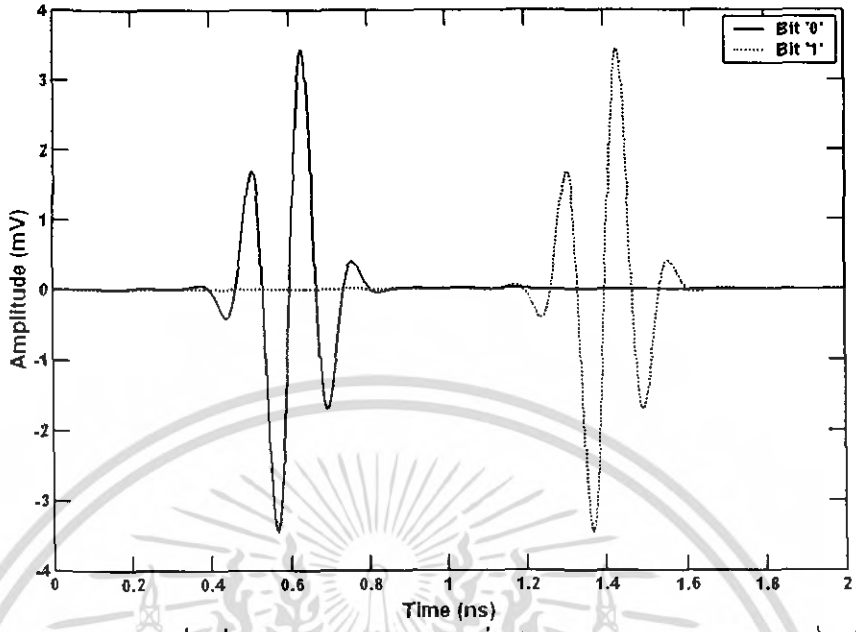
แบบแผนการมอดูเลตทางตำแหน่งพัลส์ (Pulse Position Modulation) จะใช้รูปคลื่นที่มีตำแหน่งแตกต่างกันสำหรับแสดงบิท '0' และ '1' โดยที่รูปคลื่นที่ใช้แทนบิท '1' จะมีการประวิงเวลาเลื่อนไปจากรูปคลื่นที่ใช้แทนบิท '0' โดยรูปคลื่นทั้งสองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$w_1(t) = w_0(t-\delta) \tag{2.17}$$

เมื่อ δ เป็นดัชนีการมอดูเลต ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่รูปคลื่นที่ใช้แทนบิท '1' เลื่อนออกไปจากรูปคลื่นที่ใช้แทนบิท '0' โดยที่ δ ควรมีค่ามากพอที่จะทำให้รูปคลื่นทั้งสองไม่ทับกัน ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติ คือ

$$\int_{-T_{s/2}}^{T_{s/2}} w_i(t)w_j(t)dt = \begin{cases} E_b & i=j \\ 0 & i\neq j \end{cases} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PPM ที่ใช้แทนบิท '0' และบิท '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

2.8 ทฤษฎีการวิเคราะห์ PSD

ในการมอดูเลต จะกำหนดให้ d_n เป็นข้อมูลดิจิตอลในลำดับที่ n ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 หรือ 0 และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (PDF) เป็น

$$P\{d_n\} = \begin{cases} p & d_n = 1 \\ 1-p & d_n = 0 \end{cases} \tag{2.19}$$

ในการทำ TH จะกำหนดให้ TH ในลำดับที่ n เป็น T_n โดยกำหนดให้ PDF ของ T_n มีการกระจายแบบสม่ำเสมอในช่วงเวลาตั้งแต่ $-T_s/2$ ถึง $T_s/2$ สำหรับแบบแผน PSM และ PAM ซึ่งแสดงเป็นนิพจน์ได้

$$P\{T_n\} = \begin{cases} \dfrac{1}{T_s} & \dfrac{-T_s}{2} \le T_n \le \dfrac{T_s}{2} \\ 0 & elsewhere \end{cases} \tag{2.20}$$

สำหรับแบบแผน PPM จะกำหนดให้ดัชนีการมอดูเลตมีค่าเป็น $\delta = T_s/2$ ดังนั้นจะกำหนดให้ T_n มีการกระจายแบบสม่ำเสมอในช่วงเวลาตั้งแต่ 0 ถึง $T_s/2$ ซึ่งแสดงเป็นนิพจน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P\{T_n\} = \begin{cases} \frac{2}{T_s} & 0 \le T_n \le \frac{T_s}{2} \\ 0 & elsewhere \end{cases} \tag{2.21}$$

2.8.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM

PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH แสดงเป็นนิพจน์เชิงทฤษฎีได้

$$S_R(f) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{4RNT_s} \left| \sum_{n=-N/2}^{N/2} \left[(1-d_n)W_0(f) + d_n W_1(f)\right] e^{-j2n\pi fT_S} \right|^2 \tag{2.22}$$

PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH แสดงเป็นนิพจน์เชิงทฤษฎีได้

$$S_R(f) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{4RNT_s} \left| \sum_{n=-N/2}^{N/2} \left[(1-d_n)W_0(f) + d_n W_1(f)\right] e^{-j2\pi f(nT_S + T_n)} \right|^2 \tag{2.23}$$

2.8.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM

PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH แสดงเป็นนิพจน์เชิงทฤษฎีได้

$$S_R(f) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{4RNT_s} \left| \sum_{n=-N/2}^{N/2} \left[(1-2d_n)W(f)\right] e^{-j2\pi nfT_S} \right|^2 \tag{2.24}$$

PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH แสดงเป็นนิพจน์เชิงทฤษฎีได้

$$S_R(f) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{4RNT_s} \left| \sum_{n=-N/2}^{N/2} \left[(1-2d_n)W(f)\right] e^{-j2\pi f(nT_S + T_n)} \right|^2 \tag{2.25}$$

2.8.3 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM

PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH แสดงเป็นนิพจน์เชิงทฤษฎีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$S_R(f) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{4RNT_s} \left| \sum_{n=-N/2}^{N/2} W(f) e^{-j2\pi f(nT_s + d_n T_s/2)} \right|^2 \qquad (2.26)$$

PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH แสดงเป็นนิพจน์เชิงทฤษฎีได้

$$S_R(f) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{4RNT_s} \left| \sum_{n=-N/2}^{N/2} W(f) e^{-j2\pi f(nT_s + d_n T_s/2 + T_n)} \right|^2 \qquad (2.27)$$

2.9 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของเทคโนโลยี UWB รวมทั้งข้อกำหนดในการใช้งาน กฎข้อบังคับต่าง ๆ รวมทั้งแบบแผนการมอดูเลตในระบบสื่อสาร UWB ซึ่งประกอบไปด้วย แบบแผน PSM แบบแผน PAM แบบแผน PPM และทฤษฎีการวิเคราะห์ PSD ที่แผ่กระจายออกมาของสัญญาณที่ถูกมอดูเลต โดยพิจารณาแบบแผน PSM แบบแผน PAM และแบบแผน PPM ที่ใช้และไม่ได้ใช้ TH รูปคลื่นของสัญญาณ UWB จะใช้รูปคลื่นที่ได้ออกแบบมาเพื่อให้เป็นไปตามนิยามสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร

83156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้าง Graphical User Interface (GUI)

Graphical User Interface (GUI) เป็น user interface ที่สร้างขึ้นด้วย graphical object แบบต่าง ๆ เช่น ปุ่มเมนู slider โดยทั่วไป objects เหล่านี้ ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่เข้าใจถึงความหมายและวิธีการใช้ object เหล่านี้เป็นอย่างดีอยู่แล้ว สิ่งสำคัญที่เราจะกล่าวถึงคือ หลังจากผู้ใช้ได้มีการกดปุ่มเมาส์ เลื่อน slider หรือเลือกเมนูแล้ว จะมีวิธีการกำหนดให้เกิดขั้นตอนต่อ ๆ ไป ตามที่เราต้องการได้อย่างไร

3.1 การสร้าง GUI ด้วย GUIDE

MATLAB จะสร้าง GUI อยู่บนหน้าต่างรูปภาพ (figure window) ซึ่งภายในหน้าต่างนี้จะมีส่วนประกอบต่าง ๆ อยู่ได้ไม่ว่าจะเป็น axes, uicontrol หรือวัตถุอื่น ๆ เราสามารถที่จะสร้าง uicontrol uimenu แบบต่าง ๆ ลงในหน้าต่างรูปภาพได้ แต่เป็นไปด้วยความลำบากเพราะการสร้างเป็น text base จนกระทั่ง version5 MATLAB ได้สร้าง Graphical User Interface Development Environment หรือ GUIDE ขึ้นเพื่อช่วยให้สามารถสร้าง บันทึก และแก้ไข GUI ได้สะดวกขึ้น

การสร้าง GUI มีพื้นฐานอยู่ 2 อย่าง

- กำหนดและวางส่วนประกอบต่าง ๆ ลงบน GUI
- เขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ใน GUI

GUIDE นั้นโดยหลักใหญ่แล้วจะมีหน้าที่ในการวางส่วนประกอบที่เราต้องการให้มีลงใน GUI จากนั้น GUIDE จะสร้าง M-file ที่บรรจุ handle ของวัตถุหรือ object ทั้งหมดที่เราสร้างขึ้น รวมทั้งคำสั่งให้GUI ทำงาน นอกเหนือจากนั้น M-file จะให้แนวทางในการเขียนฟังก์ชัน ที่ทำงานหลังจากผู้ใช้กดเมาส์ปุ่มซ้ายหรือปรับเปลี่ยนค่าของวัตถุนั้น ซึ่งเราเรียกว่า callback ของวัตถุนั้น

3.2 ส่วนประกอบของ GUI ใน MATLAB

ในการสร้าง GUI สามารถทำได้โดยการเขียนเป็น M-file ขึ้นมาล้วน ๆ แต่การใช้ GUIDE จะทำให้การทำงานง่ายขึ้นมากเพราะจะช่วยให้สามารถกำหนดตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆได้โดยง่าย และหลังจากนั้น GUIDE จะสร้างไฟล์ขึ้นมา 2 ไฟล์เพื่อเก็บและนำ GUI มาใช้ต่อไปซึ่งจะประกอบด้วย

- FIG-file ไฟล์นามสกุล .fig ประกอบไปด้วยรายละเอียดทั้งหมดของภาพ GUI และที่เกี่ยวข้องทั้งหมด uicontrols and axes คือค่าของลักษณะ object ทั้งหมด สามารถทำการเปลี่ยน FIG-file ได้ด้วยการแก้ไข GUI ใน Layout Editor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- M-file ไฟล์นามสกุล .m ประกอบไปด้วยฟังชั่นก์ที่ run และควบคุม GUI และ callbacks ไฟล์นี้อ้างอิงถึง GUI M-file

3.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของ Application M-file ที่สร้างโดย GUIDE

GUIDE จะรวบรวมองค์ประกอบต่าง ๆ ภายใน GUI แล้วสร้าง Application M-file โดยอัตโนมัติโดยมีรูปแบบของการสร้างที่ชัดเจน เพื่อให้ได้โครงสร้างของ Application M-file จากนั้นสามารถนำโครงสร้างที่สร้างโดยอัตโนมัตินั้นมาปรับแก้ เพื่อให้เกิดการควบคุม GUI ตามที่ต้องการ การกระทำดังกล่าวทำให้ได้ข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น

- M-file จะประกอบด้วยคำสั่งที่จำเป็นในการควบคุม GUI ครบถ้วน
- M-file จะทำให้ส่งข้อมูลไปที่ส่วนต่าง ๆ ได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว
- การใช้ M-file จะทำให้ส่งข้อมูลไปที่ส่วนต่าง ๆ ภายใต้ MATLAB ได้ง่ายขึ้น
- Application M-file จะสร้าง Subfunction สำหรับ uicontrols ทุกแบบที่มีใน GUI เพื่อทำให้สามารถเขียน callback ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น

แม้ว่า GUIDE จะให้ทางเลือก ว่าจะให้ GUIDE สร้างเฉพาะ fig-file เพื่อเก็บและใช้เป็นข้อมูลของ GUI ที่สร้างขึ้นเพียงอย่างเดียว แล้วให้ผู้ใช้เขียน M-file ขึ้นมาเอง แต่สำหรับผู้เริ่มเขียน GUI บน MATLAB คิดว่าการสร้าง GUI ด้วย GUIDE จะสะดวกกว่า ถ้าให้ GUIDE สร้าง Application M-file ให้ด้วย ดังนั้นในการสร้าง GUI ด้วย GUIDE ที่นำเสนอในบทนี้จะมีการกำหนดขั้นตอนดังนี้

- เลือก GUIDE Application option แล้วเลือกให้ GUIDE สร้างทั้ง FIG-file และ M-file
- การใช้ Layout Editor เพื่อวางรูปแบบของ GUI
- เรียนรู้การสร้าง Application M-file จาก GUIDE และเข้าใจถึงวิธีการทำเพื่อจะนำไปใช้ต่อ
- ปรับแก้ Application M-file ให้ทำงานตามที่เรากำหนด

*GUIDE จะสร้าง Application M-file มีชื่อเดียวกับ Fig-file ที่ได้กำหนดจาก Layout Editor เมื่อกำหนดให้ GUI นั้น Active จาก Layout Editor GUIDE พยายามที่จะให้ Application M-file นี้ทำงานและเปิดหน้าต่าง GUI นั้นขึ้นมา

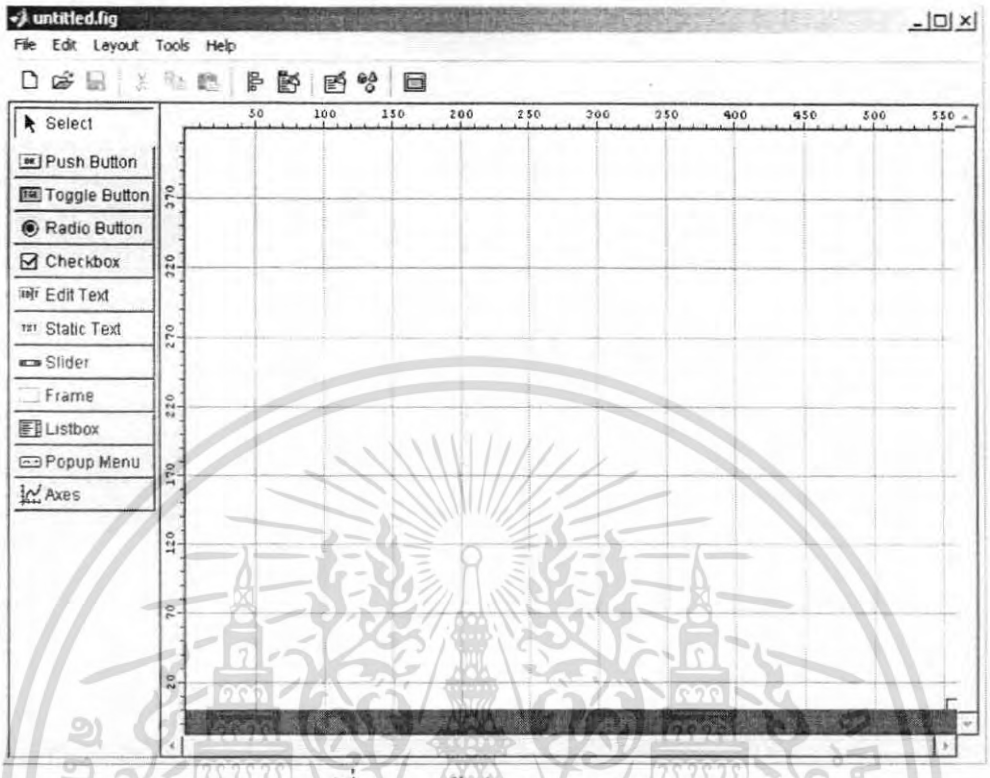
3.2.2 การเลือก GUIDE Application Options

เมื่อต้องการจะใช้ GUIDE ในครั้งแรก ให้ใส่คำสั่ง guide บน MATLAB COMMAND WINDOW

» guide

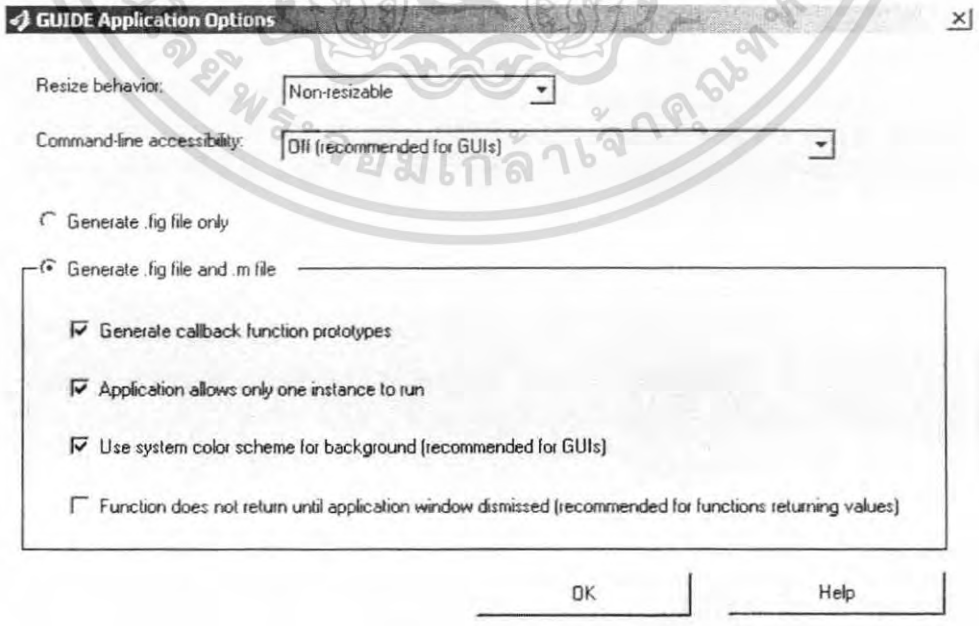
จากนั้น Layout Editor จะปรากฏขึ้น ซึ่งมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 หน้าต่าง Layout Editor

ก่อนที่จะทำการเพิ่มส่วนประกอบต่าง ๆ ลงใน GUI ควรกำหนดตัวเลือกต่าง ๆ ก่อน โดยภายใต้เมนู Tool เลือก Application Options ซึ่งจะทำให้เราได้ หน้าต่าง GUIDE Application Options ซึ่งมีลักษณะตามรูป



รูปที่ 3.2 หน้าต่าง GUIDE Application Options

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากการเลือกให้ GUIDE จะสร้างเฉพาะ Fig-file หรือสร้างทั้ง Fig-file และ M-file แล้วเรายังสามารถ กำหนดค่าต่าง ๆ ในหน้าต่างตัวเลือกนี้ได้ ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้คือ

Resize Behavior

เป็นการกำหนดว่าผู้ใช้สามารถเปลี่ยนขนาดของหน้าต่าง GUI ที่สร้างขึ้นได้หรือไม่ และถ้าได้ จะให้MATLAB ควบคุมการเปลี่ยนขนาดโดยผู้ใช้อย่างไร ซึ่ง GUIDE ให้ตัวเลือก 3 แบบคือ

- Non-Resizable ผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนขนาดของหน้าต่างได้ (default)
- Proportional ให้ผู้ใช้สามารถปรับขนาดของหน้าต่าง GUI ได้โดย MATLAB จะปรับขนาดขององค์ประกอบต่าง ๆ ใน GUI ให้มีสัดส่วนตามขนาดของหน้าต่าง GUI ที่เปลี่ยนไป
- User-Specified มีการเขียนโปรแกรมกำหนดให้ GUI ปรับเปลี่ยนขนาดและตำแหน่งขององค์ประกอบต่าง ๆ ใน GUI ซึ่งการเลือกตัวเลือกนี้ผู้เขียน GUI ต้องเขียนคำสั่งเพื่อปรับขนาดและตำแหน่งขององค์ประกอบต่าง ๆ ใน GUI ให้ชัดเจน

ตัวเลือกตัวแรก เหมาะกับ GUI ที่ไม่ต้องการปรับขนาด ส่วนตัวเลือกที่สอง Proportional เหมาะกับการที่ให้ผู้ใช้ปรับขนาดหน้าต่างได้ โดยที่รายละเอียดต่าง ๆ จะถูกปรับโดยอัตโนมัติ แต่การปรับตำแหน่งด้วยตัวเลือก Proportional นี้ ขนาดตัวหนังสือใน GUI จะไม่มีการปรับไปด้วย ดังนั้นหากกำหนดให้หน้าต่างมีขนาดเล็กเกินไป ตัวหนังสือต่าง ๆ อาจซ้อนทับกัน และการปรับปรุงขนาดหน้าต่างด้วย User-Specify อาจจะเป็นการปรับปรุงหน้าต่างขนาดต่าง ๆ ได้หลากหลายกว่าแต่ต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุม

Command-Line Accessibility

เมื่อ MATLAB สร้างกราฟจะวางโครง (figure) และวางแกน (axes) ที่จะเป็น parents ของรูปกราฟนั้น ซึ่ง MATLABจะทำการมองหาก่อนว่ามี figure และ Axes เกิดขึ้นอยู่ในขณะนั้นหรือไม่ ถ้ามี MATLAB จะทำการเขียนกราฟลงใน figure และ Axes ที่มีอยู่ ถ้าไม่มี MATLAB จะทำการสร้าง figure และ Axes ขึ้นมาใหม่

ในการสร้าง GUI นั้น ส่วนมากแล้ว ไม่ต้องการให้ผู้ใช้เขียนกราฟลงใน axes ที่ปรากฏอยู่ใน GUI แต่บางกรณีอาจจะต้องการให้ผู้ใช้เขียนกราฟลงใน axes ที่ปรากฏอยู่ใน GUI ก็ได้ ดังนั้น GUIDE จึงมีตัวเลือกให้เลือกสำหรับ Command-Line Accessibility ดังนี้

- Off - ป้องกันการสั่งเขียนกราฟผ่าน command-line บน GUI (default)
- On - ให้มีการเขียนกราฟผ่าน command-line บน GUI ได้
- User-Specified GUIDE จะให้ GUI ใช้ค่าที่กำหนดโดยคุณสมบัติ Handle Visibility และInteger Handle ของ figure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*คำสั่ง Findobj นี้จะใช้ไม่ได้กับวัตถุที่อยู่ใน GUI Handle Visibility ของ Figure เป็น off เพราะกำหนด handle ของ figure ให้มองไม่เห็นโดย MATLAB แม้ว่า figure นี้อาจจะปรากฏอยู่บนหน้าจอก็ตาม อย่างไรก็ตาม Application M-file จะมีข้อมูลเกี่ยวกับ handle ของวัตถุที่สร้างใน GUI อยู่แล้ว ดังนั้นไม่จำเป็นต้องใช้คำสั่ง findobj เพื่อหา handle ของวัตถุ สำหรับคุณสมบัติของ figure ที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น figure ที่สำคัญมี 2 ค่า คือ

- Handle Visibility ถ้าหากค่าคุณสมบัตินี้เป็น off ค่าของ handle ต่าง ๆ ที่เป็น children ของfigure นี้จะถูกลบออกจาก children ของ root object ทำให้ figure นี้ไม่เป็น current figure (current figure คือเป้าหมายในการสร้างกราฟของ MATLAB) อย่างไรก็ตาม handle เหล่านั้นยังคงใช้ได้ ดังนั้นคำสั่งต่าง ๆ ที่สั่งตรงถึง handle เหล่านั้นจึงเป็นไปได้

- Integer Handle ถ้าหากค่าคุณสมบัตินี้เป็น off แล้ว MATLAB จะกำหนดค่า handle ของวัตถุต่าง ๆ เป็นเลขจำนวนจริงที่จะไม่มีการกำหนดซ้ำอีกเช่น (68.0001224) แทนที่จะเป็นเลขจำนวนเต็ม ซึ่งจะเป็นการลดโอกาสที่จะมีวัตถุใน GUI อื่น ๆ ที่มี handle ซ้ำกับวัตถุใน GUI

3.3 การสร้าง Application M-file ของ GUIDE

เมื่อเราสร้าง GUI โดย GUIDE และเลือกให้ GUIDE สร้าง FIG-file และ M-file เมื่อเราเลือกตัวเลือกนี้จะมีตัวเลือกให้ผู้ใช้เลือกเพิ่มขึ้นได้อีก 4 ตัวเลือกเพื่อกำหนดลักษณะของ Application M-file ซึ่งตัวเลือกต่างๆ มีดังนี้

- Generate callback function prototypes
- Application allows only one instance to run
- Use system color scheme for background
- Function does not return until application window dismissed

โดยรายละเอียดของตัวเลือกต่างๆ จะกล่าวถึงเฉพาะในหัวข้อ Generate callback function prototypes เท่านั้น

3.3.1 การสร้างต้นแบบของ Application M-file

เมื่อเลือกตัวเลือก Generate Callback Function Prototype ในตัวเลือกของ GUIDE Application Option ก็จะทำให้ GUIDE เพิ่ม subfunction ให้กับ application M-file สำหรับทุกวัตถุที่สร้างขึ้นใน GUI (ยกเว้น frame และ Static text) อย่างไรก็ตาม GUIDE จะสร้างเฉพาะ subfunction เป็นต้นแบบไว้เท่านั้นส่วนคำสั่งต่างๆนั้นจะต้องเขียนใน subfunction นั้นเอง นอกเหนือจากนั้น GUIDE ยังจะเพิ่ม subfunction ทุกครั้งเมื่อได้แก้ไข callback จากการใช้เมาส์ปุ่มขวาในเมนู context สำหรับการสร้างต้นแบบของ callback subfunction นั้นจะสร้างขึ้นโดยมีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

function object.Tag_Callback(h,eventdata,handles.varagin)

โดย arguments ต่าง ๆ จะเป็นดังนี้

h เป็น handle ของวัตถุที่เรียก callback นี้

eventdata ว่างสำรองเก็บไว้ใช้ในอนาคต

handles เป็นตัวแปรแบบ structure ที่บรรจุ handle ของทุกวัตถุที่อยู่ใน GUI โดยชื่อของfile จะเป็นชื่อ tag ของวัตถุนั้น สามารถใช้ตัวแปรนี้ส่งข้อมูลเกี่ยวกับ handle ของวัตถุต่าง ๆ ใน GUI ไปที่ callback ตัวอื่นหรือโปรแกรมตัวอื่น ๆใน MATLAB ได้

varargin เป็น variable-length แสดงผลที่เราต้องการส่งผ่านไปที่ callback function ตัวอย่างเช่น ถ้าเราวาง push button ที่เรากำหนด Tag เป็น pushbutton1 จะทำให้ GUIDE สร้าง subfunction ใน application ดังนี้

function pushbutton1_Callback(h,evendata,handles,varargin)

หลังจากนั้น GUIDE จะกำหนดคุณสมบัติ Callback ของ push button นี้เป็น

Mygui('pushbutton1_callback',gcbo,[],guidata(gcbo)) โดย

Mygui เป็นชื่อของ FIG-file ที่เก็บ GUI นี้

Pushbutton1 Callback เป็นชื่อของ callback subfuncion

gcbo เป็นคำสั่งที่ให้ handle ของวัตถุนี้ ในที่นี้คือ push button

[ ] เป็นเมตริกส์ว่างใช้เป็นที่เก็บ eventdata

guidata(gcbo) เป็น handles structure ที่ได้จากข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน figure ที่เป็น GUI

ถ้าต้องการส่งข้อมูลอื่นๆ ผ่านต่อเข้าไปสู่ subfunction นอกเหนือจากที่ GUIDEได้สร้างไว้เป็นต้นแบบ จะสามารถทำได้โดยการเพิ่ม argument เข้าไป ด้วยการแยกข้อมูลต่าง ๆ ด้วยเครื่องหมาย "," ซึ่งการแก้ไขจะต้องทำทั้งใน subfunction ของ application M-file และในคุณสมบัติ callback ของวัตถุนั้น เช่นถ้าต้องการส่งผ่านตัวแปร gx1 และ gx2 ไปสู่ subfunction เพิ่มเติมให้แก้ไขคำสั่ง function ใน M-file เป็น

MYGUI('pushbutton1_callback',gcbo,[],guidata(gcbo),gx1,gx2)

การกำหนดให้ GUI ทำงานที่ละครั้ง

ตัวเลือกนี้เป็นการกำหนดตัวเลือกว่าจะให้ GUI นั้นทำงานอย่างไร

- สามารถ แสดง GUI นี้เพียงที่ละหนึ่งหน้าต่าง ในเวลาหนึ่ง ๆ
- สามารถ แสดง GUI นี้ได้หลายหน้าต่างพร้อมกันในเวลาหนึ่ง ๆ

ถ้าเลือกให้ MATLAB ใช้ GUI นี้ได้เพียงหน้าต่างเดียวในแต่ละเวลาหนึ่ง ๆ จะทำให้ MATLAB เลือกใช้ GUI รูปเดิมขึ้นมาแสดงเมื่อมีการเรียกใช้ GUI นี้ซ้ำแทนที่จะสร้างขึ้นมาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าไม่เลือกตัวเลือกนี้ MATLAB จะสร้าง GUI ตัวใหม่ขึ้นมาทุกครั้งที่มีการเรียกคำสั่งใช้ GUI นี้ สำหรับ code ใน application M-file ที่กำหนดตัวเลือกนี้จะอยู่ด้านบนของ application M-file โดยใช้คำสั่ง

fig = openfig(mfilename,'reuse')

กรณีที่เลือกตัวเลือกนี้

fig = openfig(mfilename,'new')

สำหรับกรณีที่ไม่เลือกตัวเลือกนี้

*ให้แน่ใจว่ามีการสั่ง openfig ใน application M-file รวมถึงใน command line เพียงครั้งเดียว

3.3.2 การตั้งชื่อไฟล์และ Tag

ในการกำหนดชื่อของไฟล์ หรือวัตถุต่าง ๆ ที่ใช้ใน GUI ซึ่งจะตั้งชื่อโดยคุณสมบัติ Tag สำหรับ GUIDE กำหนดค่าคุณสมบัติ Tag (หรือกำหนดชื่อของวัตถุนั้น) ให้กับวัตถุทุกแบบที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติ เช่น pushbutton1 และให้ string นี้ จะนำไปใช้เป็นชื่อ callback subfunction เช่น pushbutton1_callback อย่างไรก็ดี เพื่อให้ชื่อของวัตถุบ่งบอกถึงหน้าที่ของมันมากขึ้น อาจจะตั้งชื่อของวัตถุนั้นให้สื่อถึงหน้าที่ของมันมากขึ้น ดังนั้นแนะนำว่า หลังจากที่สร้างวัตถุนั้นขึ้นมาแล้ว ควรจะตั้งชื่อให้มันด้วย การตั้งชื่อของมันก็คือ การกำหนดคุณสมบัติ Tag ของมันนั่นเอง และควรจะทำก่อนที่จะ active หรือ save GUI นี้ด้วย

การใช้ save as จะทำให้ GUIDE ได้สร้าง application M-file ขึ้นมาใหม่ และปรับค่าคุณสมบัติ callback ให้เหมาะสมกับ callback ที่มีอยู่ด้วย

*เนื่องจาก GUIDE ใช้คุณสมบัติ Tag เพื่อสร้างเป็น function และตัวแปรใน structure file ดังนั้น ชื่อ Tag ที่เลือกจะต้องเป็นตัวแปรที่ใช้ได้ตามข้อกำหนดของ MATLAB

การเปลี่ยนชื่อคุณสมบัติ Tag ควรจะมีการปรับเปลี่ยนก่อนจะ Activate หรือ save รูป GUI และสร้าง Application M-file เพื่อป้องกันการสับสน อย่างไรก็ตามหากว่าทำการปรับเปลี่ยน Tag ของคุณสมบัติใด ๆ หลังจากเคยสร้าง application M-file ขึ้นมาแล้ว อาจจะมีปัญหาบางประการเกิดขึ้น เพราะมีบางส่วนที่ GUIDE จะไม่เปลี่ยนแปลงชื่อใน application M-file ให้โดยอัตโนมัติ ทำให้ต้องเข้าไปแก้ไขใน application M-file เอง

ถ้าเปลี่ยน Tag หลังจากสร้าง application M-file GUIDE จะไม่สร้าง subfunction ใหม่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก handles นั้นจะสร้างขึ้นในเวลาที่ MATLAB ทำงาน ดังนั้น GUIDE จะใช้ชื่อ Tag ใหม่ในการสร้าง file ในตัวแปร handles ดังนั้นถ้าเติมใน application M-file ที่ใช้คำสั่ง

x = get(handles,listbox1,'string')

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเปลี่ยน Tag จาก Listbox1 เป็น graph จะต้องเปลี่ยนคำสั่งใหม่เป็น

x = get(handles,graph,'string')

เพราะในการทำงานใหม่ของ GUI จะไม่มี file ใน structure handles ที่ชื่อ listbox1 อีกต่อไปแล้วและจะเกิด error ขึ้นเมื่อสั่ง MATLAB ทำงาน ถ้าไม่เปลี่ยนคำสั่งตามที่กล่าวไว้ ดังนั้นแนะนำให้มีการเปลี่ยนชื่อที่สร้างโดยอัตโนมัติ หรือที่สร้างเป็นคำสั่งในภายหลังให้เหมาะสม

ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือการสร้าง FIG-file และ M-file โดย M-file ที่จะนำมาใช้งานร่วมกับ GUIDE ก็จะสร้างชื่อ file เหมือนกัน แต่มี extension ต่างกัน (fig และ M)

MATLAB จะมีเครื่องมือในการช่วยสร้าง GUI อยู่หลายส่วนโดยจะเริ่มต้นจาก GUI Layout tools ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในการสร้าง GUI เพราะจะเป็นการกำหนดว่าใน GUI นี้จะมี uicontrol และชื่อ axes อะไรอยู่ใน GUI บ้าง และแต่ละตัวจะมีตำแหน่งอยู่ที่ใด ขนาดเท่าไร รูปแบบสี เป็นอย่างไรซึ่งเครื่องมือนี้จะประกอบด้วย

- Layout Editor – เพิ่มและจัดวัตถุต่าง ๆ ใน GUI
- Alignment Tool – จัดวางวัตถุเทียบกับวัตถุอื่น ๆ ใน GUI ให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น
- Property Inspector – ตรวจสอบและตั้งค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุแต่ละอัน
- Object Browser – ตรวจสอบและแสดงลำดับขั้นของวัตถุที่มี handle ใน MALAB ขณะนั้น
- Menu Editor – สร้างเมนูของหน้าต่าง และ context menu

ในที่นี้จะเข้าสู่เครื่องมือต่าง ๆ ได้โดยผ่านเข้าทาง GUIDE Layout Editor ในการเริ่มการทำงานของ Layout Editor ให้ใช้คำสั่ง

»guide

จากนั้น MATLAB จะแสดง GUI ใหม่ขึ้นมาโดยยังไม่มีวัตถุวางอยู่ใน GUI นั้น หรือถ้าเราสั่ง

»guide mygui.fig

(จะมี .fig หรือไม่ก็ได้) จะเป็นการเรียก GUI เก่าขึ้นมาเพื่อแก้ไข หรือถ้าต้องการแก้ไข GUI เก่าอาจใช้คำสั่ง open ภายใต้เมนู File ของ Layout Editor ก็ได้

3.3.3 การวางส่วนประกอบต่างๆ ลงใน GUI โดย Layout Editor

การใช้ Layout Editor จะช่วยให้สามารถกำหนดส่วนประกอบต่างๆว่าจะมีอะไรและมีตำแหน่งอยู่ที่ใด การวางตำแหน่งวัตถุต่าง ๆ ซึ่งก็จะมี uicontrol และ axes ก็จะเหมือนการใช้โปรแกรมวาดรูปทั่ว ๆ ไป มีขั้นตอนดังนี้คือ

- เลือก uicontrol หรือ axes ที่ต้องการจะเพิ่มไปใน GUI จาก component palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลื่อนเมาส์เข้ามาในบริเวณพื้นที่ของ GUI ลักษณะ cursor จะเปลี่ยนเป็นรูปกากบาทซึ่งจะสามารถใช้กำหนดตำแหน่ง มุมซ้ายบน ของวัตถุนั้นได้ โดยการกดเมาส์ปุ่มซ้ายที่ตำแหน่งที่ต้องการ แล้วลากเมาส์ขณะกดปุ่มเมาส์ด้านซ้ายอยู่ เพื่อกำหนดตำแหน่งด้านขวาล่างของวัตถุเมื่อให้ตำแหน่งที่ต้องการให้ปล่อยปุ่มเมาส์

- สามารถปรับขนาดและเลื่อนตำแหน่งของวัตถุนั้นได้ โดยใช้เมาส์เลือกวัตถุนั้น แล้วเลื่อนหรือปรับขนาดได้ตามต้องการ

3.3.4 Activating the Figure

สามารถสร้างการทำงานของ GUI ได้โดยสั่ง activate figure ที่ได้ออกแบบมาแล้วด้วย Layout Editor สามารถ Activate รูปได้โดยเลือก activate figure ภายใต้เมนู Tool หรือโดยการกด Activator button บน Toolbar

เมื่อสั่ง activate figure สิ่งต่อไปนี้จะเกิดขึ้น

ก่อนอื่น GUIDE จะทำการ SAVE ไฟล์ทั้ง M-file และ Fig-file เป็นอันดับแรก ถ้า file ทั้งสองไม่เคยถูก SAVE มาก่อน ก็จะมี Dialog box SAVE AS เกิดขึ้น เพื่อถามชื่อ FILE ที่ต้องการ SAVE ถ้าใช้ชื่อไฟล์ที่มีอยู่แล้ว MATLAB จะถามว่า ต้องการเขียนทับ เขียนเพิ่ม (Append) หรือยกเลิกการใช้ชื่อนั้น

*เพื่อให้สามารถสร้าง GUI ที่มีประสิทธิภาพและควบคุมการทำงานได้อย่างสะดวก ควรตั้งชื่อTag ของวัตถุต่างๆ ใน GUI ให้เรียบร้อยก่อนจะมีการ Activate Figure เพราะการแก้ไขชื่อนี้ภายหลังจะมีปัญหายุ่งยากตามมาได้

Layout Editor Context Menu

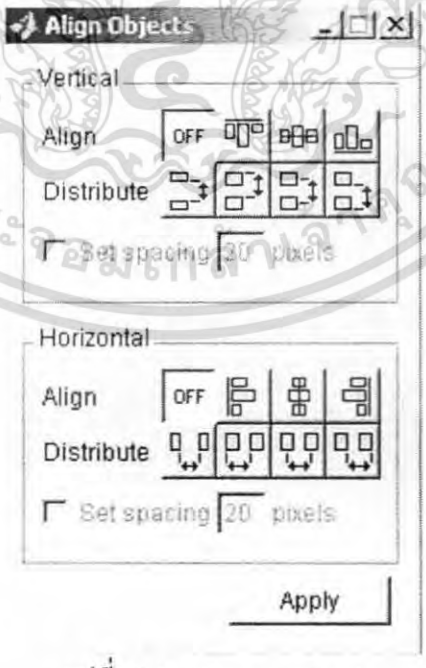
เมื่อต้องการทำงานภายใต้ Layout Editor สามารถเลือกวัตถุนั้นด้วยเมาส์ปุ่มซ้าย และเมื่อกดเมาส์ปุ่มขวาเหนือวัตถุนั้น ก็จะปรากฏ context menu ขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถใช้ context menu นี้ สร้าง subfunction ให้กับ application M-file ได้ สำหรับทุกวัตถุชนิดที่มี callback routine ในรูปข้างล่างนี้แสดง เมนู Context ของ figure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 context menu

3.3.5 Aligning Component in The Layout Editor

ในการจัดเรียงส่วนประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ แม้ว่าสามารถที่จะใช้เมาส์เลื่อนวัตถุต่างๆ ได้อยู่แล้วแต่การจัดเรียงส่วนประกอบต่างๆ ให้วางอยู่ในแนวเดียวกัน มีระยะห่างเท่าๆ กันนั้น จะมีความสะดวกขึ้นหากใช้ Alignment Tool โดยเลือก Alignment Tool จากปุ่มบนเมนูซึ่งAlignment Tool จะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.4 Alignment Tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

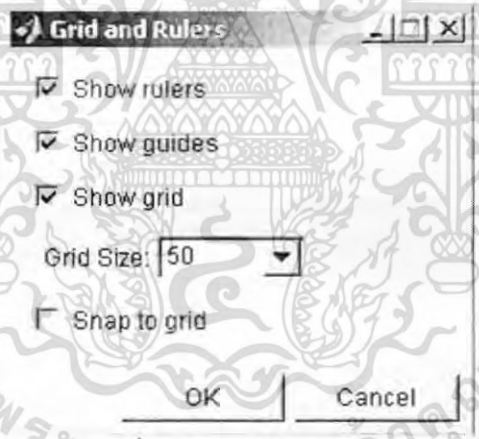
ก่อนที่จะใช้ Alignment Tool ต้องเลือกกลุ่มวัตถุที่จะจัดเรียงเสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดย

- เลือกลูกศร (select) จาก component palette แล้ว กำหนดพื้นที่กรอบสี่เหลี่ยมที่บรรจุวัตถุทั้งหมดที่ต้องการ Align เมื่อปล่อยเมาส์ วัตถุเหล่านั้นจะถูกเลือก

- เลือกวัตถุที่ละอัน โดยกดแป้น Shift บนแป้นพิมพ์ค้างไว้ แล้วเลือกวัตถุที่ต้องการไปเรื่อยๆ เมื่อเลือกกรอบแล้ว จึงปล่อยแป้นพิมพ์

หลังจากที่เลือกวัตถุครบถ้วนแล้ว จึงเลือกวิธีการจัดเรียงวัตถุเหล่านั้นว่าต้องการให้จัดเรียงอย่างไร ทั้งในแนว Vertical และ Horizontal เมื่อเลือกลักษณะการจัดเรียงเรียบร้อยแล้วจึงกดปุ่มApply เพื่อจัดแนวและตั้งระยะห่างวัตถุทั้งในแนวตั้งและแนวนอนให้เป็นไปตามที่เราต้องการ

นอกเหนือจากการใช้ Alignment Tool เพื่อจัดเรียงวัตถุนั้นแล้วยังสามารถใช้ Grids และ Rulersเพื่อช่วยในการจัดเรียง โดย grid ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถปรับปรุงได้โดยเรียก Grid and Rulers ภายใต้เมนู Layout

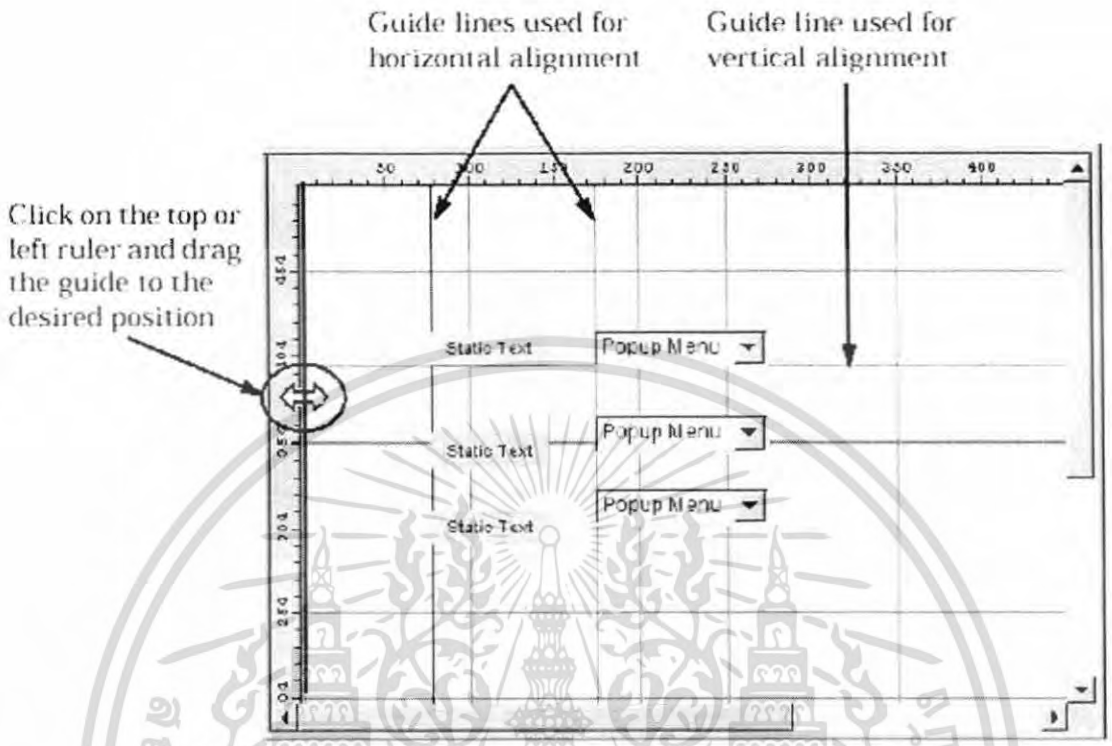


รูปที่ 3.5 Grid and Rulers

โดยสามารถกำหนด Grid size ได้ระหว่าง 10 57' 200 Pixel โดยค่า 50 เป็น default นอกจากนี้ ยังมีตัวเลือก Snap-to-grid เพื่อกำหนดให้วัตถุที่มีการเคลื่อนที่หรือปรับขนาดที่อยู่ในระยะ 9 pixels ของเส้น grid จะเคลื่อนที่เข้าหาเส้น grids การเลือก snap-to-grid นี้จะทำงานทั้งที่เราแสดงหรือไม่แสดงเส้น grid บน Layout Editor

นอกเหนือจากนั้นยังสามารถสร้าง guide line ขึ้นมาเพื่อสะดวกในการกำหนดตำแหน่ง การสร้าง guide line นี้ทำได้โดยใช้เมาส์ปุ่มซ้ายกดที่ ruler ด้านบนหรือด้านซ้ายมือ จากนั้นดึงเส้นเข้ามาภายในพื้นที่ของ GUI จะมีเส้นตรงตามเมาส์เข้ามาได้ เมื่อปล่อยเมาส์ เส้นตรงใหม่ก็จะกลายเป็นเส้น grid เส้นใหม่แต่แสดงสีที่แตกต่างออกไป การสร้าง grid แสดงในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การสร้าง guide line

การจัดเรียงวัตถุใน GUI ที่จะกล่าวถึง เป็นแบบสุดท้ายในที่นี้คือการจัดเรียงลำดับการวางทับกันบน GUI ซึ่งปกติวัตถุที่สร้างที่หลังจะวางอยู่ด้านบนวัตถุที่สร้างก่อน แต่สามารถปรับลำดับได้โดยกดเมาส์ปุ่มขวาเมื่อเลือก context menu แล้วเลือก

Bring to Front, Send to back, Bring Forward หรือ send Backward ตามต้องการ

3.4 การกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ

สามารถที่จะกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆใน GUI ได้ด้วยการใช้ Property Inspector ซึ่งจะให้รายการคุณสมบัติทั้งหมดของวัตถุที่เลือกและแสดงค่าปัจจุบันของคุณสมบัติเหล่านั้น สำหรับคุณสมบัติแต่และตัวในรายการนั้นจะมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการแก้ไขคุณสมบัติแต่ละตัวไว้ด้วย คุณสมบัติบางตัวซึ่งมีตัวเลือกอุปกรณ์แก้ไขก็จะแสดงตัวเลือกไว้ให้ ส่วนคุณสมบัติบางตัวต้องเป็นการกำหนดค่า ก็จะเป็นการกำหนดค่าลงไป

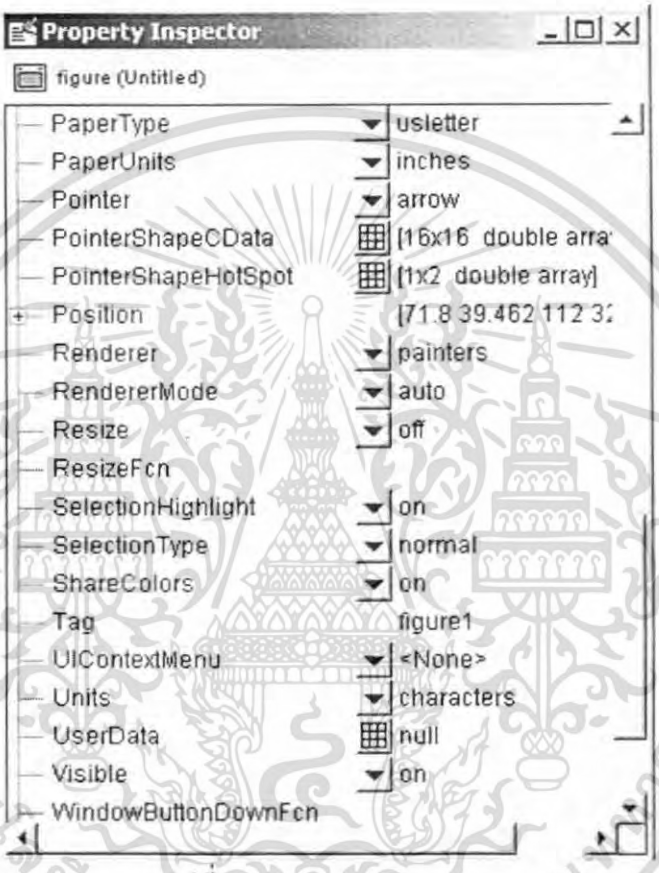
การที่จะให้ Property Inspector ปรากฏขึ้นสามารถทำได้หลายวิธีคือ

- กดเมาส์ปุ่มซ้ายสองครั้ง ส่วนประกอบที่ต้องการแสดงคุณสมบัติ
- เลือก Property Inspector ภายใต้เมนู Tools
- เลือก Inspect property ภายใต้เมนู Edit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กดเมาส์ปุ่มขวาบนวัตถุนั้น แล้วเลือก Inspect Properties จากเมนู context
- กดเมาส์ปุ่มซ้ายที่ Property Inspector ที่ Toolbar

และ Property Inspector จะแสดงคุณสมบัติของวัตถุที่เลือกบน Layout Editor เมื่อเปลี่ยนวัตถุที่เลือกไป Property ที่แสดงก็จะเปลี่ยนไปตามวัตถุนั้นด้วย



รูปที่ 3.7 Property Inspector

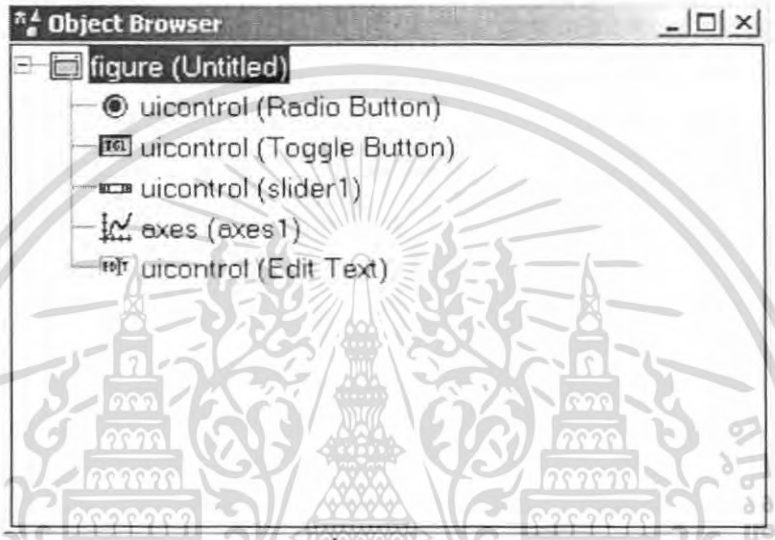
เมื่อตรวจคุณสมบัติเหล่านั้น สามารถจะปรับแก้คุณสมบัติต่างๆ ได้ตามต้องการสำหรับคุณสมบัติที่มีเครื่องหมายอยู่ด้านหน้าชื่อคุณสมบัติ หมายความว่าสามารถขยายคุณสมบัติเหล่านั้นได้ เพื่อปรับแก้คุณสมบัติย่อยแต่ละตัวอย่างอิสระ

ในกรณีที่เลือกวัตถุหลายวัตถุพร้อมกัน Property Inspector จะแสดงคุณสมบัติที่วัตถุนั้นมีร่วมกัน ส่วนค่าที่แสดงนั้นหากวัตถุแต่ละชิ้นมีค่าไม่เท่ากัน ค่าที่แสดงจะปรากฏเป็น Mixed ขึ้น หมายความว่าเป็นค่ารวมหลายๆค่าอยู่ โดยแต่ละวัตถุนี้มีคุณสมบัตินี้ไม่เท่ากัน ถ้าปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าว คุณสมบัติของวัตถุทุกตัวที่เลือกก็จะเปลี่ยนไปมีค่าเท่ากัน ซึ่งจะมีประโยชน์ในการกำหนดขนาด สี แบบตัวอักษรของวัตถุหลาย ๆ ชนิด ที่ต้องการให้มีคุณสมบัติบางอย่างเหมือนกัน ในการกำหนดครั้งเดียวแทนที่จะปรับแก้ทีละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 The Object Browser

OBJECT BROWSER จะแสดงลำดับขั้นของวัตถุต่างๆที่มีอยู่ในรูป รูปต่อไปนี้แสดงรายการแสดงของวัตถุที่มีอยู่โดยจะแสดง figure และ children ของ figure ทั้งหมดตามขั้นและลำดับการแสดง สามารถใช้ object Browser ในการเลือกวัตถุต่าง ๆ บน GUI ได้



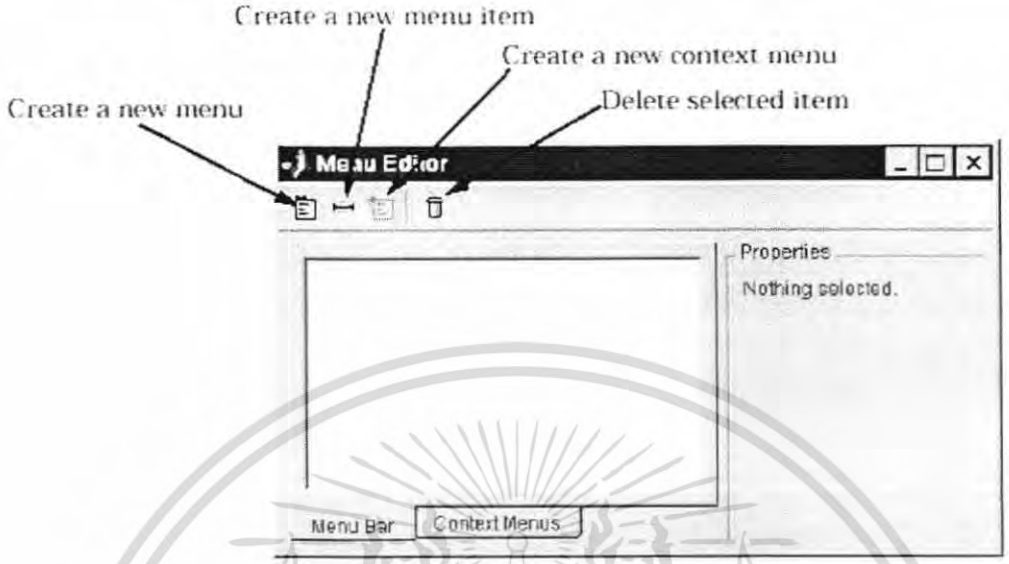
รูปที่ 3.8 Object Browser

สามารถที่จะสร้างเมนูได้สองแบบใน MATLAB คือ

- Menu bar object เป็นเมนูที่จะแสดงผลบน figure menu bar
- Context Menu เป็นเมนูที่ปรากฏขึ้นเมื่อผู้ใช้กดเมาส์ปุ่มกดในวัตถุ

สามารถสร้างเมนูทั้งสองแบบโดยการใช้ Menu Editor ซึ่งสามารถเรียกใช้ได้โดยการกดเลือก Menu Editor บน Layout Editor Toolbar หรือ เรียก Edit Menu bar ภายใต้เมนู Layout ซึ่ง Menu Editor จะมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Menu Editor (1)

เมนูเหล่านี้จะทำงานภายใต้คำสั่ง UI menu และ UIcontext menu ของวัตถุนั้น ๆ

3.4.2 การกำหนด callback ของเมนู

คำสั่งในเมนูที่ปรากฏอยู่จะสั่งให้ callback ของมันทำงานเมื่อผู้ใช้เลือกรายการในเมนูนั้น เราสามารถเขียนคำสั่ง MATLAB ลงในช่องของ callback ของ Menu Editor ซึ่งปกติการกำหนดแบบนี้จะสะดวก ถ้าคำสั่งเป็นคำสั่งง่าย ๆ เช่น print-dsp อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปจะดีกว่าถ้าเราเพิ่ม subfunction ลงไปใน Application M – file เหมือนกับที่ GUIDE สร้างให้กับ UI control callback

*GUIDE จะไม่สร้าง callback subfunction สำหรับเมนูใน application M-file โดยอัตโนมัติ เราจะต้องเพิ่ม subfunction ไปเอง

การกำหนด callback String นั้นก็ขึ้นกับว่าคำสั่งในเมนูของเรายุ่งยากเพียงใด หากเป็นคำสั่งง่าย ๆ เราสามารถใช้ช่อง callback กำหนดคำสั่งได้เลย หากว่าคำสั่งค่อนข้างซับซ้อนเราจำเป็นต้องเขียน subfunctionจะเป็นดังนี้

My Gui ('Name_of_subfunction', gcbo, I J, guidata (gcbo))

เมื่อ **My Gui** คือ ชื่อของ Applicaton M-file

Name_of_subfunction คือ ชื่อของ subfuncton ที่จะใช้กับคำสั่ง หรือรายการในเมนู

gcbo เป็น handle ของรายการนี้

[] เป็น เมตริกส์ ว่าง สำรองไว้ใช้ภายหลัง

guidata (gcbo) เรียก **handles** ของวัตถุทั้งหมดที่มีอยู่ใน GUI นี้

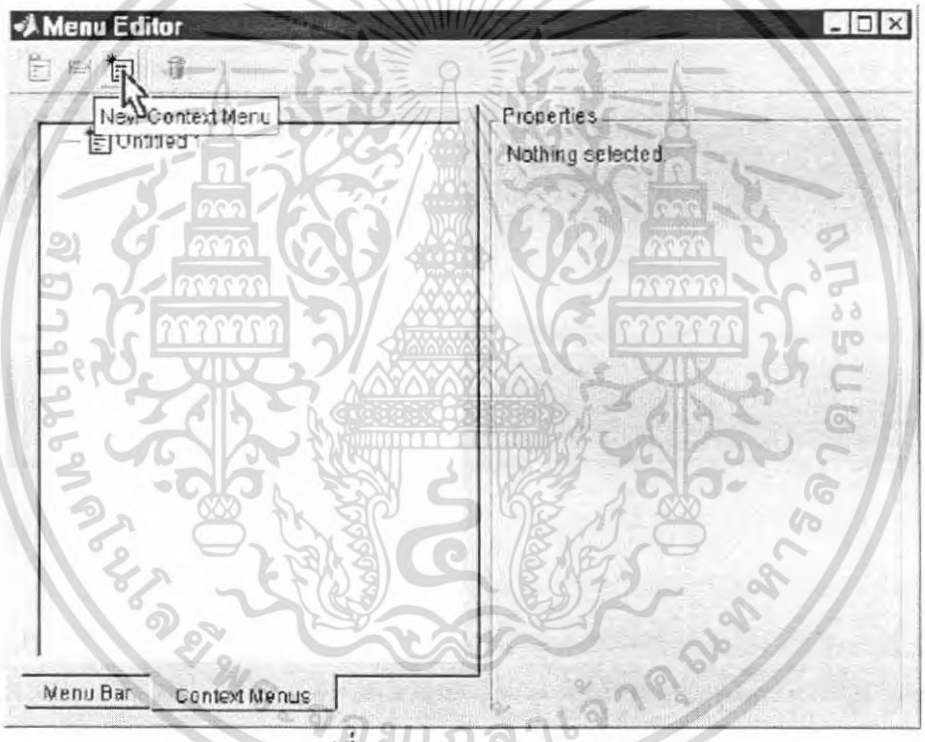
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคำสั่งนี้จะเขียนลงในช่อง callback ของ Menu Editor จากนั้นใน application M-file ให้เราเพิ่มsubfunction มีชื่อ Name_of_ subfunction ลงไป

3.4.3 การสร้าง Context Menu

การสร้าง Context Menu เพื่อใช้กับวัตถุต่างๆ เมื่อเรากดเมาส์ปุ่มขวาลงบนวัตถุนั้น สามารถสร้างได้จาก Menu Editor ลำดับขั้นในการสร้าง context menu ดังนี้

- สร้าง Parent Menu รายการต่าง ๆ ที่บรรจุอยู่ใน context menu จะเป็น children ของ context menuซึ่งจะไม่แสดงบนเมนูของ figure ในการสร้าง paren menu อันดับแรกเลือก Context Menus tabใต้ Menu Editor จากนั้นเลือก New Context menu



รูปที่ 3.10 Menu Editor (2)

- เลือก Tag สำหรับ context menu นั้น
- กำหนดชื่อที่ปรากฏ และกำหนด callback String
- สามารถสร้าง รายการในเมนูนี้ได้เรื่อยๆ ตามต้องการ
- กำหนดว่า วัตถุใดจะใช้ Context menu นี้ ซึ่งทำได้โดยเลือกวัตถุนั้นบน Layout Editor จากนั้นภายใต้ Property Inspector ของวัตถุนั้น เลือกคุณสมบัติ UI context Menu ให้ตรงกับ Context Menu ที่เราต้องการ
- สร้าง Callback subfunction ให้กับเมนูนั้นถ้าจำเป็น โดยมีขั้นตอนเหมือนกับการสร้างให้เมนูปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 User Interface Control

สำหรับ User interface control นั้นจะประกอบด้วย 1) Check Boxes 2) Editable Text 3) Frames 4) List boxes 5) Pop-up menus 6) Push Buttons 7) Radio Buttons 8) Sliders 9) Static Text 10) Toggle Buttons

ใน GUIDE ของ MATLAB 6.5 นี้มีการสร้าง Callback subfunction ให้กับวัตถุต่างๆ เหล่านี้ (ยกเว้น frame และ Static text) โดยอัตโนมัติซึ่งต้องใช้ชื่อ Tag เป็นองค์ประกอบในชื่อ subfunction นั้นด้วย ดังนั้นจะขอแสดงชื่อที่ GUIDE ตั้งให้ Control แต่ละตัว เป็น default ให้กับวัตถุเหล่านี้ อย่างไรก็ตามอย่าลืมว่าควรจะกำหนดชื่อ Tag เหล่านี้ใหม่ให้เหมาะสม กับการทำงานของมัน

ตารางที่ 3.1 UI Control

UI Control	Default Tag
Check Boxes	checkbox1,checkbox2,...
Editable Text	edittext1,...
Frames	frame1,...
List Boxes	listbox1,...
Push Buttons	pushbutton1,...
Radio Buttons	radiobutton1,...
Slider	slider1,...
Static Text	text1,...
Toggle Buttons	togglebottom1,...

รายละเอียดของ uicontrol แต่ละแบบมีดังต่อไปนี้

3.5.1 Check boxes

จะมีการกำหนดค่าให้มีการทำงานเมื่อเราเลือกให้ค่าในกล่อง อุปกรณ์นี้มีประโยชน์เพื่อให้ผู้ใช้เลือกหัวข้อการทำงานของโปรแกรมแบบต่าง ๆ ได้อย่างอิสระ การที่จะให้ check box ทำงานโดยใช้เมาส์กดไปที่บริเวณกล่องนั้น สภาวะการเลือกหรือไม่เลือกค่าตามที่กำหนดจะแสดงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 Editable text boxes

เป็น fields ที่ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขตัวอักษรที่บรรจุอยู่ภายในกล่องนั้นได้ เราจะใช้ editable text เมื่อเราต้องการให้ผู้ใช้กำหนดค่าตัวอักษรเป็น input โดยในระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows ถ้า editable text box เป็น focus แล้วเรากดเมาส์บน menu bar จะไม่ทำให้ callbackของ editable text ทำงาน ซึ่งจะตรงข้ามกับระบบปฏิบัติการ UNIX ดังนั้นสำหรับระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows เมื่อเราเปลี่ยนแปลงค่าใน editable text box แล้วใช้เมาส์กดบริเวณ menu bar ส่วนการใช้คำสั่ง **get(edit_handle,'String')** MATLAB จะไม่ให้ค่าของอักษรที่บรรจุอยู่ใน edit box เพราะ MATLAB จะต้องมีการสั่งให้ callback ทำงานเพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติ String แม้ว่าตัวอักษรที่ปรากฏอยู่บนจอภาพจะเปลี่ยนแปลงไปแล้วก็ตามพฤติกรรมนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างและข้อกำหนด ของแต่ละระบบปฏิบัติการ

3.5.3 Frames

เป็นรูปแบบของพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่งจะแบ่งหน้าต่างรูปภาพออกเป็นส่วนๆ Frames หรือกรอบจะทำให้ผู้ใช้สามารถแบ่งส่วนต่างๆของหน้าต่างออกได้ง่ายขึ้น ทำให้ผู้ใช้ไม่เกิดความสับสนในกรณีที่มี uicontrol ที่ต้องกำหนดค่าหลาย ๆ อันบนหน้าต่างเดียว เพราะเราสามารถนำuicontrol ที่มีหน้าที่การทำงานในส่วนเดียวกันรวมกลุ่มไว้ด้วยกัน Frames จะไม่มี callback และจะมีเฉพาะ uicontrols เท่านั้นที่สามารถบรรจุอยู่ใน frames ได้ โดยทั่วไป Frames จะทึบแสง ไม่ใช่โปร่งใส ดังนั้นในการเลือกใช้ frame กับ uicontrols เราจำเป็นต้องเรียงลำดับวัตถุเหล่านั้นให้ถูกต้อง และต้องพิจารณาว่า uicontrols นั้นบรรจุอยู่ใน frame หรือถูก frame ทับอยู่บางส่วน การเลือกใช้คำสั่ง Stacking order จะเป็นการคำนวณว่าลำดับการวาด uicontrols นั้นเป็นเช่นไร สำหรับวัตถุที่ได้รับการกำหนดขึ้นมาก่อนจะวางลงไปก่อน ส่วนวัตถุที่สร้างขึ้นที่หลังจะวางทับวัตถุที่สร้างขึ้นก่อนหน้านั้น ถ้าหากเราต้องการให้ frame บรรจุวัตถุ เราจะต้องสร้าง frame ขึ้นมาก่อนแล้วจึงวางวัตถุลงไป

3.5.4 List boxes

เป็นการแสดงรายการที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนดขึ้น ซึ่งจะกำหนดโดยคุณสมบัติ String และจะยอมให้ผู้ใช้สามารถที่จะเลือกรายการนั้นได้ที่ละหนึ่งรายการหรือมากกว่าได้ ค่าคุณสมบัติ Min และ Max จะเป็นตัวกำหนดจำนวนรายการที่เลือก ส่วนค่าคุณสมบัติ Value จะแสดงถึงหมายเลขลำดับของรายการที่ผู้ใช้เลือก ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกรายการได้มากกว่าหนึ่งรายการค่าคุณสมบัติ Value จะเป็นเวกเตอร์ของหมายเลขลำดับรายการที่ผู้ใช้เลือก MATLAB จะสั่งให้คำสั่งตาม callback ของ list box ทำงานภายหลังจากได้มีการปล่อยปุ่มเมาส์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของคุณสมบัติ Value ดังนั้นในกรณีที่เรากำหนดให้ผู้ใช้เลือกค่าได้หลายค่าพร้อมกันเราอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องเพิ่มปุ่มกด "Done" ลงใน GUI ของเราเพื่อให้การทำงานของ callbackช้าลงทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกค่าที่ต้องการได้หมดเสียก่อน List boxes สามารถแยกความแตกต่างของการกดเมาส์หนึ่งครั้งและกดเมาส์ซ้อนกันสองครั้ง (double clicks) และสามารถที่จะเลือกกำหนดค่าคุณสมบัติ SelectionType ของวัตถุ figure ให้เป็น normal หรือ open ก่อนที่จะมีการกำหนดให้ callback ทำงาน

3.5.5 Pop-up menus

เป็นการเปิดรายการของตัวเลือกขึ้นหลังจากที่มีการกดเมาส์บริเวณเมนู เพื่อให้ผู้ใช้ได้เลือกรายการใดรายการหนึ่ง ซึ่งรายการของตัวเลือกจะกำหนดด้วยคุณสมบัติ String หากว่าเมนูนี้ไม่ได้เปิดขึ้น ค่าในเมนูจะแสดงค่าคุณสมบัติปัจจุบัน Pop-up menus นี้มีประโยชน์ในการที่จะให้ผู้ใช้ได้เลือกตัวเลือกตามที่ต้องการแต่ไม่ต้องการให้เปลืองเนื้อที่บนหน้าต่างรูปภาพ เราจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่า คุณสมบัติ String

3.5.6 Push buttons

จะทำให้เกิดมีคำสั่งอื่นๆตามมาหลังจากที่ผู้ใช้เลือกกดปุ่มนี้ โดยทั่วไปผู้ใช้จะใช้เมาส์ในการกดปุ่ม

3.5.7 Radio buttons

จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับ check boxes แต่ข้อแตกต่างสำคัญก็คือโดยทั่วไปแล้วการใช้ Radio button นี้เราจะจัดให้เป็นกลุ่มของตัวเลือก และในกลุ่มของ Radio button นั้นจะมีตัวเลือกที่สามารถถูกเลือกได้เพียงครั้งละตัวเดียวในกลุ่มนั้น ในการที่จะให้ radio button ทำงานเราจะใช้เมาส์กดไปที่วัตถุนั้น จากนั้นสภาพของอุปกรณ์จะเปลี่ยนไปตามสภาพที่เราเลือกผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเป็นผู้กำหนดพฤติกรรมหลังจากที่มีการกดเมาส์ลงไปในวัตถุนี้

3.5.8 Sliders

เป็นการป้อนค่าตัวเลขโดยอาศัยแถบเลื่อนนี้ ค่าที่ป้อนจะถูกกำหนดโดยผู้เขียนโปรแกรมและผู้ใช้จะทำการกำหนดค่าโดยการใช้เมาส์กดแล้วเลื่อนแถบบน slider หรือใช้เมาส์กดบริเวณลูกศรเพื่อให้แถบค่อยๆเลื่อนไปเป็นลำดับ ตำแหน่งของตัวเลื่อนบนแท่งจะเป็นค่าตัวเลขตามสัดส่วนของระยะบนแท่งเลื่อนนี้ และค่าจะได้รับการคำนวณหลังจากที่เราปล่อยปุ่มเมาส์ เราสามารถที่จะตั้งค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าปัจจุบันของ slider ได้

3.5.9 Static text boxes

หมายถึงตัวหนังสือที่ผู้ใช้ไม่สามารถที่จะแก้ไขได้ แต่เราซึ่งเป็นผู้เขียนโปรแกรมอาจแก้ไขได้ ดังนั้นโดยทั่วไปเราจึงใช้ในการเขียนตัวหนังสือเพื่อบอกถึงชื่อของส่วนต่างๆ หรืออาจเป็นการบอกค่าของอุปกรณ์ควบคุมบางอย่าง หรือบอกถึงสภาวะการทำงานของโปรแกรมรวมถึงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอกวิธีการใช้ GUI ของเราอย่างคร่าวๆ เป็นต้น และเมื่อผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนตัวอักษรใน static text ได้อย่าง interactive ดังนั้นเราจึงไม่สามารถที่จะเรียก callback ของ static text มาใช้ได้

3.5.10 Toggle buttons

เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่เหมือนสวิชส์ไฟนั้นคือจะมีค่าเป็น on หรือ off และเมื่อผู้ใช้เปลี่ยนค่ามันโดยการกดเมาส์ลงไปในบริเวณของวัตถุนี้ จะเป็นการเรียก callback ให้ทำงานไปพร้อมกัน Toggle buttons มีประโยชน์ในการสร้าง toolbars

3.6 ข้อเสนอแนะในการออกแบบ GUI

ถ้าหากว่าท่านคิดที่จะสร้าง GUI ให้ทำงานบน MATLAB หรือโปรแกรมอื่นๆ ก็ตาม ข้อแนะนำประการแรกก็คืออย่าเริ่มทำอะไรกับ MATLAB หรือ GUIDE จนกระทั่งได้วางโครงร่างออกแบบกำหนดการเขียน Callback และหน้าที่ต่างๆ ของ วัตถุที่ใช้ควบคุมทั้งหมดบน GUI เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เราอาจจะต้องเสียเวลาในตอนเริ่มต้นสำหรับการเขียนแผนงานและการออกแบบบ้าง แต่หลังจากวางแผนการทำงานเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงทำการสร้าง GUI ตามที่ออกแบบไว้ซึ่งการวางแผนจะช่วยให้เข้าใจการทำงาน แก้ไข และปรับปรุงการทำงานของ GUI ของเราได้โดยง่าย สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการเสนอแนะวิธีการเขียน GUI อย่างคร่าว ๆ และเราจะถือแนวทางการแนะนำที่เป็นกลางที่สุด ในการออกแบบ GUI โดยทั่วไปมีหลักที่ต้องคำนึงถึงอยู่หลายประการและมีหนังสือมากมายที่เขียนขึ้นสำหรับการออกแบบ GUI โดยเฉพาะ อย่างไรก็ตามเราคงจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดและหลักการของการออกแบบ GUI ไว้ในที่นี้ เพียงแต่จะเป็นการให้ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะเริ่มเขียน GUI และจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เชื่อว่า GUI ที่ดีนั้นขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้ใช้งานด้วย GUI ที่ดีสำหรับผู้ใช้กลุ่มหนึ่งอาจไม่ใช่ GUI ที่ดีสำหรับผู้ใช้อีกกลุ่มหนึ่งก็ได้ ดังนั้นเราจึงคิดว่าผู้ที่จะสามารถเขียน GUI คือผู้ที่มีประสบการณ์การใช้งาน GUI หลาย ๆ แบบมาก่อนแล้วนำข้อดีและข้อเสียของ GUI แบบต่าง ๆ มาปรับปรุงให้เหมาะกับสภาพการทำงานของกลุ่มคนแต่ละกลุ่ม

สำหรับหลักการใหญ่ ๆ ของการออกแบบ GUI เพื่อให้กลุ่มผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจผู้ออกแบบ GUI ควรจะคำนึงถึงหลักการต่อไปนี้

- ต้องออกแบบให้มีความง่ายในการใช้งาน
- ต้องออกแบบให้มีรูปแบบที่ชัดเจน
- ต้องออกแบบให้มีรูปแบบที่ผู้ใช้งานคุ้นเคย

ซึ่งถ้าหากผู้ใช้ได้ใช้ GUI ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถที่จะใช้งาน GUI ได้อย่างรวดเร็วแม้ว่าจะเป็นการใช้งานในครั้งแรก ซึ่งแน่นอนที่สุดเมื่อผู้ใช้สามารถที่จะใช้งานมันได้อย่างรวดเร็ว ก็จะทำให้ผู้ใช้มีความรู้สึกว่า GUI ที่เขากำลังใช้อยู่นี้ได้รับการออกแบบที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบโปรแกรมศึกษา PSD

ในการออกแบบโปรแกรมศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB เริ่มต้นด้วยการเขียนแผนภาพอัลกอลิที่มด้านล่างเพิ่มให้ง่ายต่อการออกแบบโปรแกรม ซึ่งแต่ละสัญญาณที่ต้องการศึกษาจะประกอบไปด้วยคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- สภาวะแวดล้อม (ภายในอาคาร หรือ ภายนอกอาคาร)
- รูปแบบของสัญญาณ (รูปแบบของสัญญาณในเชิงเวลา, PSD)
- ชนิดรูปคลื่นของสัญญาณ (รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต, รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอ ดูเลต, คู่รูปคลื่นดั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต)
- พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ

ถ้าทำการมอดูเลตสัญญาณ จะมีคุณสมบัติเพิ่มเติมอีก คือ

- แบบแผนการมอดูเลต
- จำนวนบิต (ในที่นี้ เลือกศึกษา 3 ค่า คือ 10 100 และ 1000 บิต)
- ความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 หรือ 0.5
- วิธี Time Hopping

หลักการทำงานของโปรแกรมหลังจากทำการเปิดโปรแกรมแล้วสั่งทำงาน

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มด้วยการเลือก สภาพแวดล้อม เลือก รูปแบบของสัญญาณ เลือกพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่างๆ ชนิดของสัญญาณ แล้วพิจารณาเงื่อนไขต่อไป

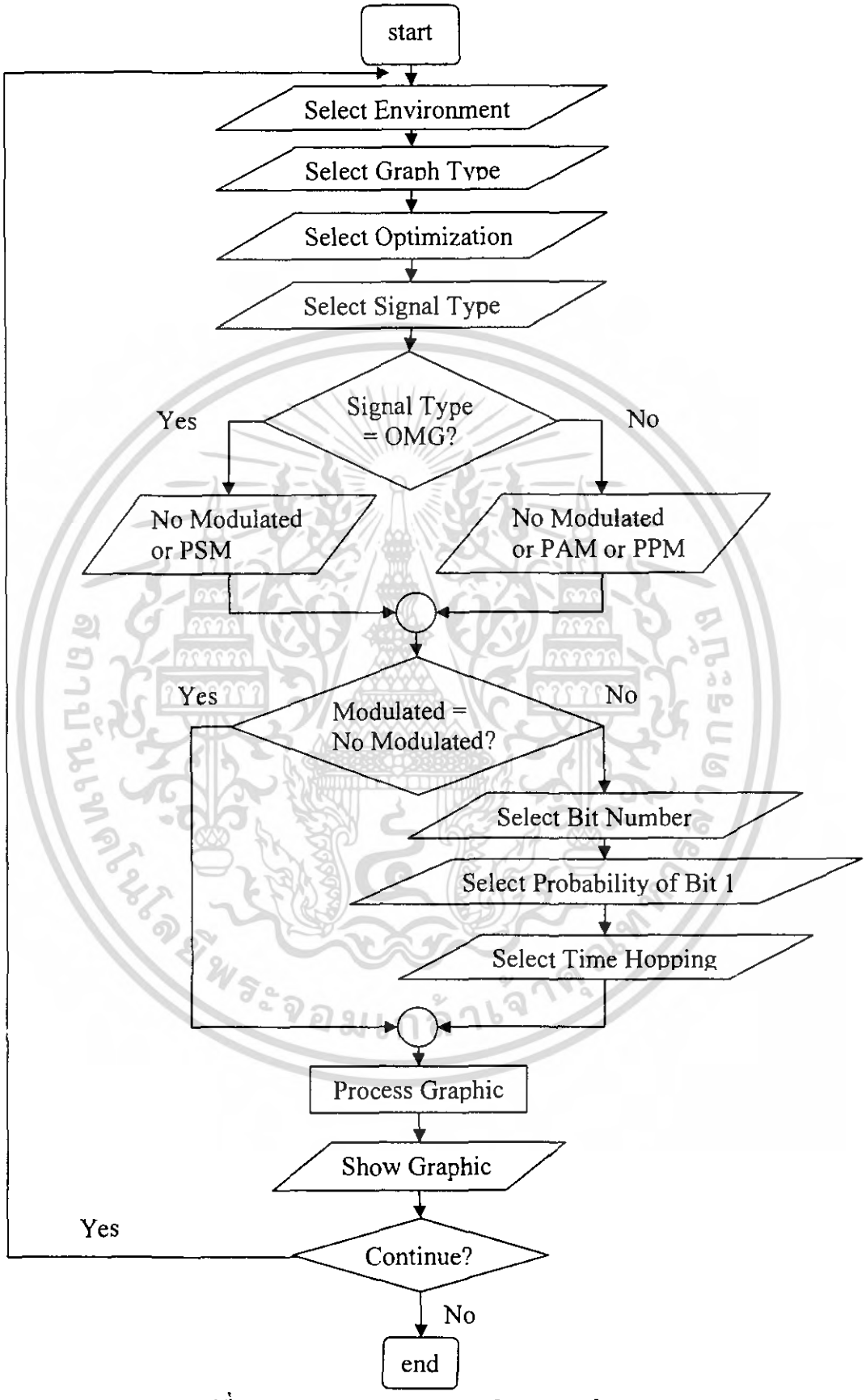
ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบว่าเป็นคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตหรือไม่ ถ้าใช่จะขึ้นเงื่อนไขให้เลือก ชนิดของสัญญาณโดยมี สัญญาณที่ยังไม่ทำการมอดูเลต หรือ แบบแผน PSM ถ้าไม่ใช่จะขึ้นเงื่อนไขให้เลือก ชนิดของสัญญาณโดยมี สัญญาณที่ยังไม่ทำการมอดูเลต หรือ แบบแผน PAM หรือ แบบแผน PPM หลังจากนั้นทำการรวมสัญญาณเพื่อไปพิจารณาเงื่อนไขต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบว่าสัญญาณไม่มีการมอดูเลตหรือไม่ ถ้าไม่เป็นการมอดูเลตจะเข้าสู่กระบวนการสร้างกราฟ และแสดงผล ถ้ามีการมอดูเลตจะทำการพิจารณาเงื่อนไขต่อไปคือการเลือกจำนวนบิต , ความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' , ไทม์ฮอพพิง แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการสร้างกราฟและแสดงผลต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบว่าจะใช้โปรแกรมต่อหรือไม่ ถ้าใช่ก็ทำงานต่อเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ถ้าไม่ออกจากโปรแกรม

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาออกแบบโปรแกรมศึกษา PSD ได้ดังรูปที่ 4.1

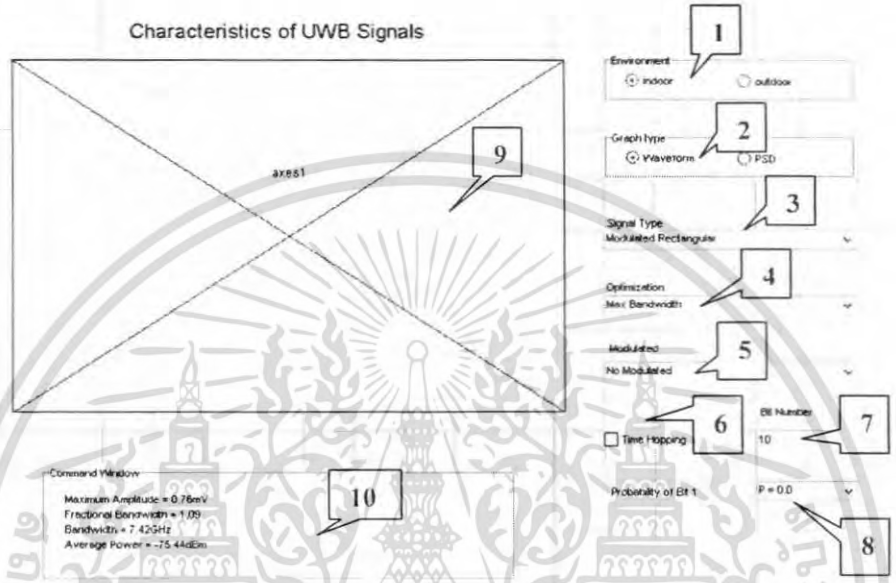
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



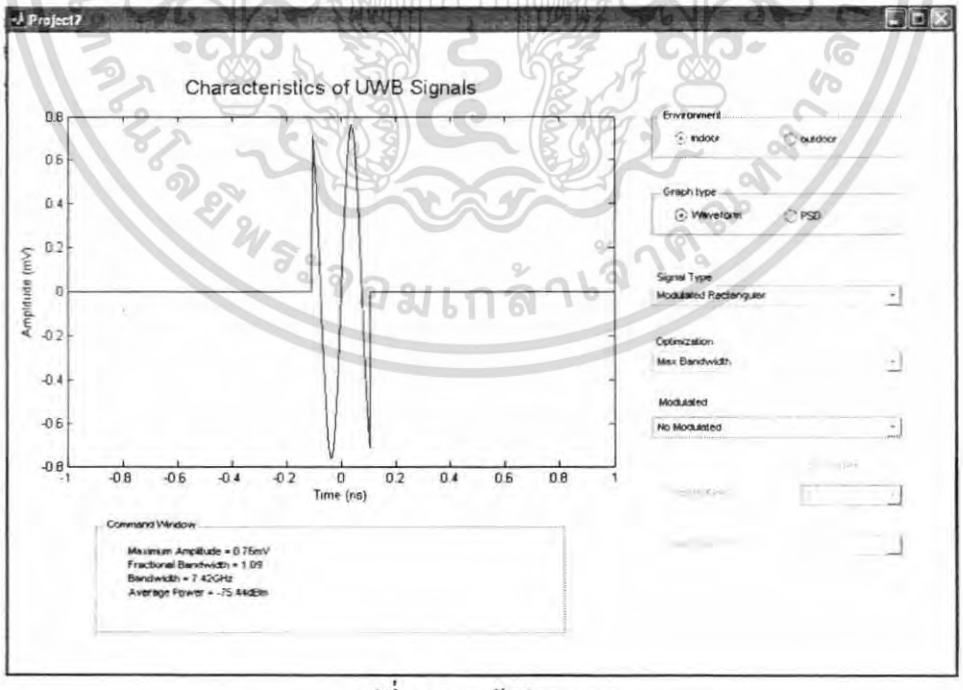
รูปที่ 4.1 แผนภาพการออกแบบโปรแกรมศึกษา PSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาวิเคราะห์หาความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมนี้ได้นำเอา Graphic User Interface (GUI) ในโปรแกรม MATLAB มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้ง่ายขึ้น ซึ่ง Layout Editor มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.2 Layout Editor



รูปที่ 4.3 หน้าต่าง GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการ run โปรแกรมจาก Layout Editor จะมีหน้าต่าง GUI ปรากฏขึ้นมา และแสดงผลโดยใช้ค่าเริ่มต้นที่กำหนดใน Property Inspector ซึ่ง GUI นี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.1 ส่วนตัวเลือก

เป็นการเลือกคุณสมบัติต่างๆของสัญญาณที่จะศึกษาตามรายการต่อไปนี้

4.1.1 Environment (หมายเลข 1) สภาวะแวดล้อมที่ใช้สัญญาณ เป็น Radio Button

- indoor ภายในอาคาร
- outdoor ภายนอกอาคาร

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ indoor โดยให้ค่า value ของ indoor เป็น 1 และ outdoor เป็น 0

รูปที่ 4.4 Environment

4.1.2 Graph Type (หมายเลข 2) รูปแบบของสัญญาณ เป็น Radio Button

- Waveform รูปแบบของสัญญาณในเชิงเวลา
- PSD รูปแบบของสัญญาณในฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ Waveform โดยให้ค่า value ของ Waveform เป็น 1 และ PSD เป็น 0

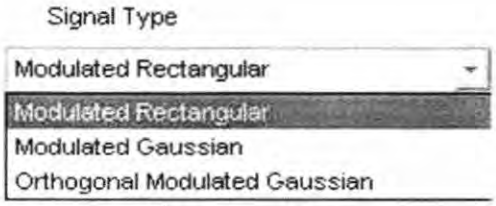
รูปที่ 4.5 Graph Type

4.1.3 Signal Type (หมายเลข 3) ชนิดรูปคลื่นของสัญญาณ เป็น Popup Menu

- Modulated Rectangular รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต
- Modulated Gaussian รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต
- Orthogonal Modulated Gaussian คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ Modulated Rectangular โดยให้ Modulated Rectangular อยู่ในบรรทัดบนสุดของค่า string และให้ Modulated Gaussian และ Orthogonal Modulated Gaussian อยู่ในบรรทัดถัดมาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

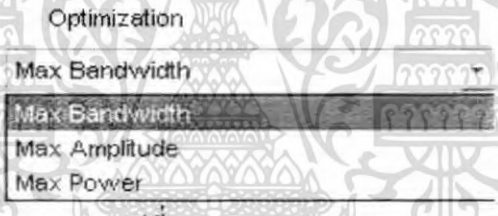


รูปที่ 4.6 Signal Type

4.1.4 Optimization (หมายเลข 4) พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่างๆ เป็น Popup Menu

- Max Bandwidth พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุด
- Max Amplitude พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด
- Max Power พารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากสุด

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ Max Bandwidth โดยให้ Max Bandwidth อยู่ในบรรทัดบนสุดของค่า string และให้ Max Amplitude และ Max Power อยู่ในบรรทัดถัดมาตามลำดับ



รูปที่ 4.7 Optimization

4.1.5 Modulated (หมายเลข 5) คือแผนการมอดูเลตแบบต่างๆ เป็น popup menu

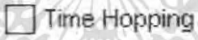
- No Modulated ไม่ทำการมอดูเลต
- PAM(Pulse Amplitude Modulation) การมอดูเลตทางแอมพลิจูดพัลส์
- PPM(Pulse Position Modulation) การมอดูเลตทางตำแหน่งพัลส์
- PSM(Pulse Shape Modulation) การมอดูเลตทางรูปร่างพัลส์

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ No Modulated โดยให้ No modulated อยู่ในบรรทัดบนสุดของค่า String และให้ PAM PPM และ PSM อยู่ในบรรทัดถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

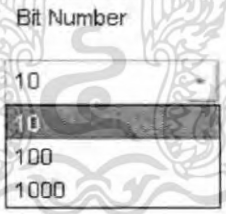
รูปที่ 4.8 Modulated

4.1.6 Time Hopping (หมายเลข 6) คือเวลาในการส่งที่ไม่แน่นอนจะถูกสุ่มในช่วงเวลาในหนึ่งบิต เป็น check box ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไม่ให้ทำการ Time Hopping โดยให้ค่า Value เป็น 0



รูปที่ 4.9 Time Hopping

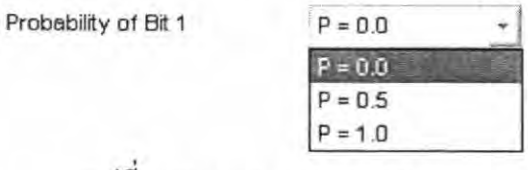
4.1.7 Bit Number (หมายเลข 7) คือจำนวนพัลส์ที่ส่งไป เป็น popup menu ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ 10 โดยให้ 10 อยู่ในบรรทัดบนสุดของค่า String และให้ 100 และ 1000 อยู่ในบรรทัดถัดมาตามลำดับ



รูปที่ 4.10 Bit Number

4.1.8 Probability of Bit 1 (หมายเลข 8) ความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เป็น popup menu

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ P=0.0 โดยให้ P=0.0 อยู่ในบรรทัดบนสุดของค่า String และให้ P = 0.5 และ P = 1.0 อยู่ในบรรทัดถัดมา

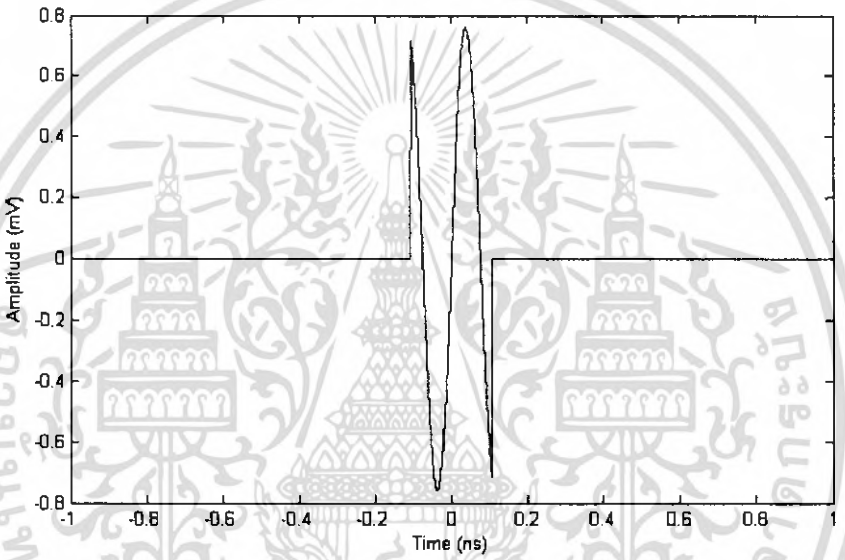


รูปที่ 4.11 Probability of Bit 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟ (หมายเลข 9) แสดงลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณ เป็น Axes

ถ้าศึกษาสัญญาณในรูปของ WaveForm แกน x จะเป็นเวลา Time (ns) แกน y เป็นแอมพลิจูด Amplitude (V) และถ้าศึกษาสัญญาณในรูปของ PSD แกน x จะเป็นความถี่ Frequency (GHz) แกน y เป็น Radiated PSD (dBm/MHz) เมื่อทำการ run โปรแกรม จาก Layout Editor กราฟที่ปรากฏบน GUI จะได้เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาและสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุด เนื่องจากการตั้งค่าเริ่มต้นของตัวเลือกต่าง ๆ



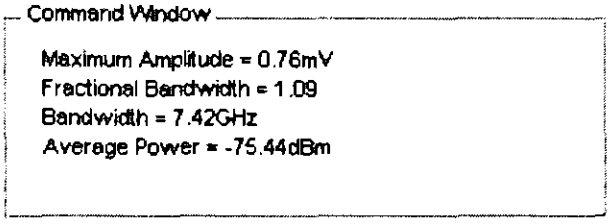
รูปที่ 4.12 กราฟ

4.3 หน้าต่างแสดงผล (หมายเลข 10) เป็น Static Text ซึ่งจะแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสัญญาณ ดังนี้

- แอมพลิจูดสูงสุด (Maximum Amplitude)
- แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (Fractional Bandwidth)
- แบนด์วิดท์ (Bandwidth)
- กำลังเฉลี่ย (Average Power)

ในที่นี้ตั้งค่าเริ่มต้นไว้คือ Maximum Amplitude = 0.76mV, Fractional Bandwidth = 1.09, Bandwidth = 7.42GHz และ Average Power = -75.44dBm ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาและสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุด แสดงดังรูป 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 หน้าต่างแสดงผล

4.4 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงอัลกอริทึมในการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์ PSD ของสัญญาณ UWB โดยแสดงหน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ซึ่งมีการแจกแจงคุณสมบัติต่าง ๆ ของสัญญาณเพื่อให้สามารถเลือกศึกษาแยกเป็นกรณีที่สนใจได้

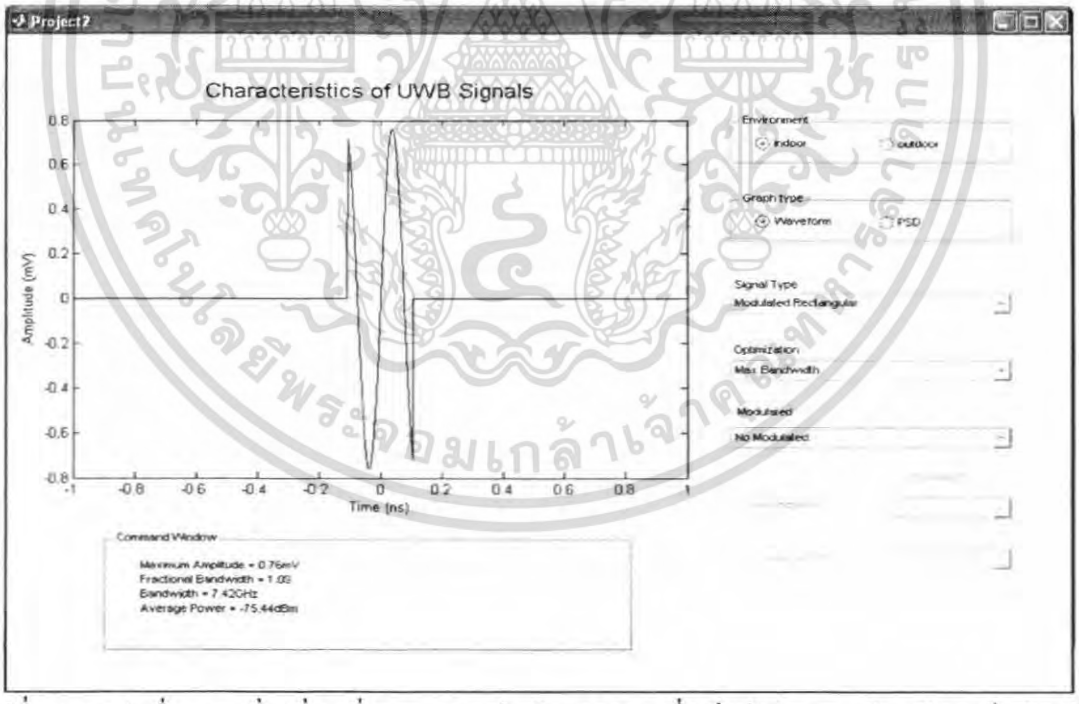
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลของการศึกษา PSD

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการศึกษาแบบจำลองรูปคลื่นอย่างง่ายซึ่งได้แก่ รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต เพื่อนำมาใช้กับแบบแผน PAM และ PPM ในส่วนคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต นำมาใช้กับแบบแผน PSM รวมทั้งได้ศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB ที่ถูกมอดูเลต ได้แก่ แบบแผน PSM แบบแผน PAM และแบบแผน PPM โดยทำการศึกษารูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารของ FCC ทำการศึกษาแบบแผนมอดูเลตที่ไม่ได้ใช้และใช้ TH โดยได้กำหนดความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็นบิท '1' ให้เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลดิจิตอลเป็นบิท '0' หรือ '1' เพียงอย่างเดียว และ 0.5 ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลดิจิตอลเป็นบิท '0' และ '1' เท่ากัน

5.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

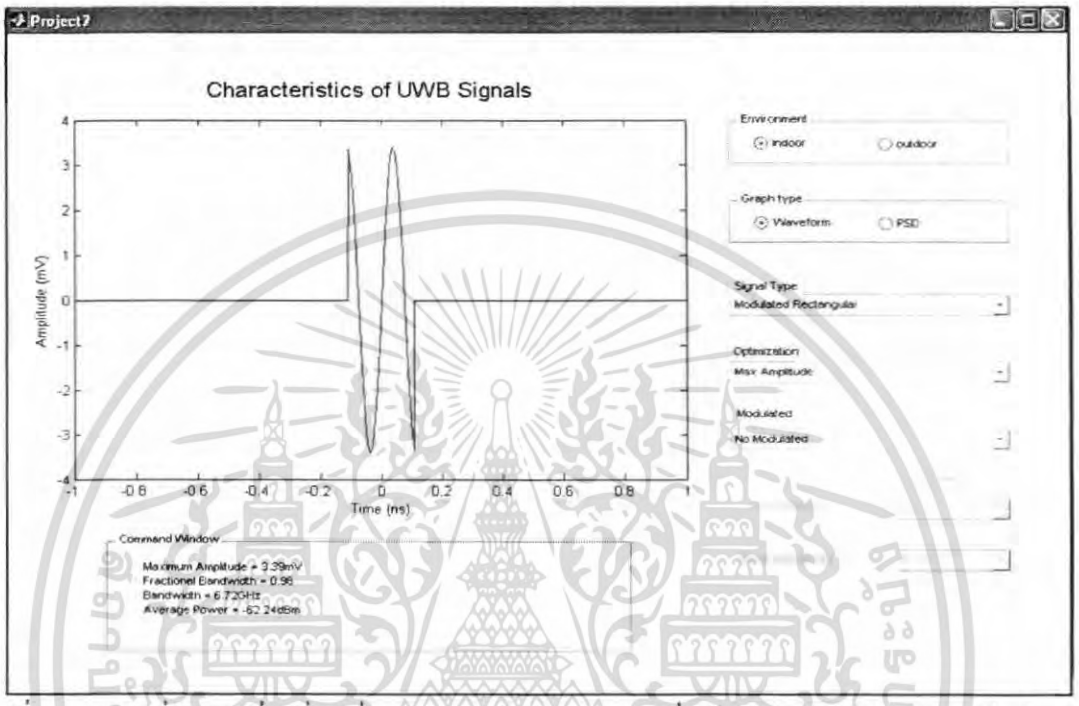


รูปที่ 5.1 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

รูปที่ 5.1 เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ $t_b = 0.21$ ns, $f_c = 6.62$ GHz และ $A = 0.76$ mV โดยรูปคลื่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm

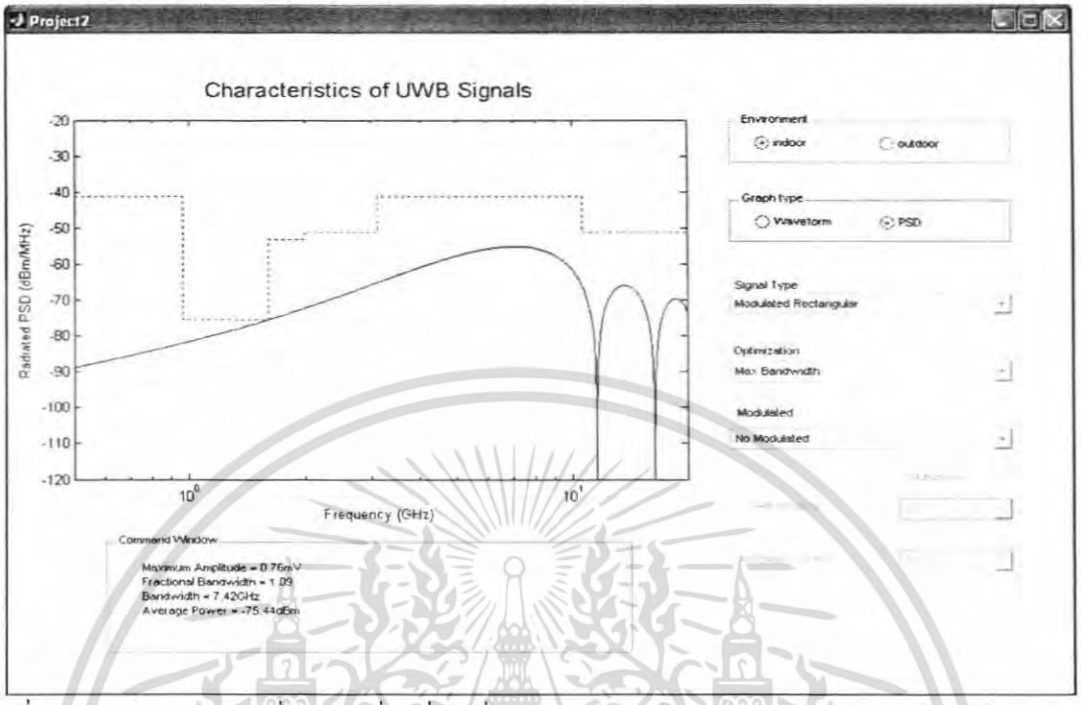


รูปที่ 5.2 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

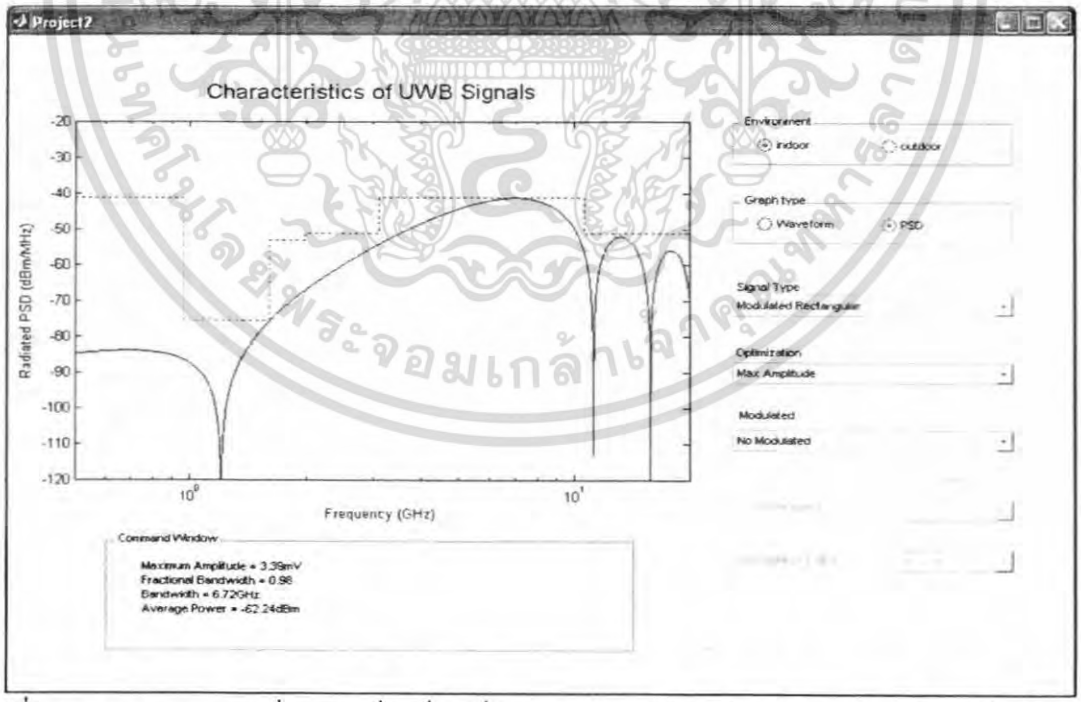
รูปที่ 5.2 เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_b = 0.22 ns, f_c = 6.58 GHz และ A = 3.39 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.98 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.72 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.24 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.2 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูง

รูปที่ 5.3 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_b = 0.21 ns, f_c = 6.62 GHz และ A = 0.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



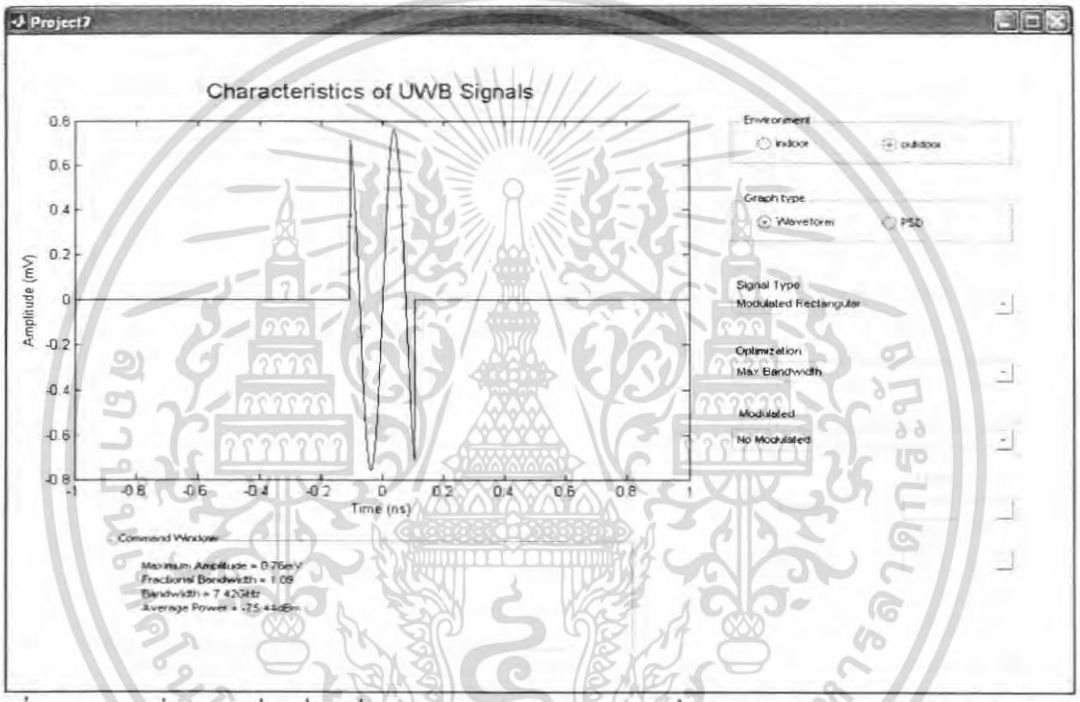
รูปที่ 5.3 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด



รูปที่ 5.4 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด คือ t_b = 0.22 ns, f_c = 6.58 GHz และ A = 3.39 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.98 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.72 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.24 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.4 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด



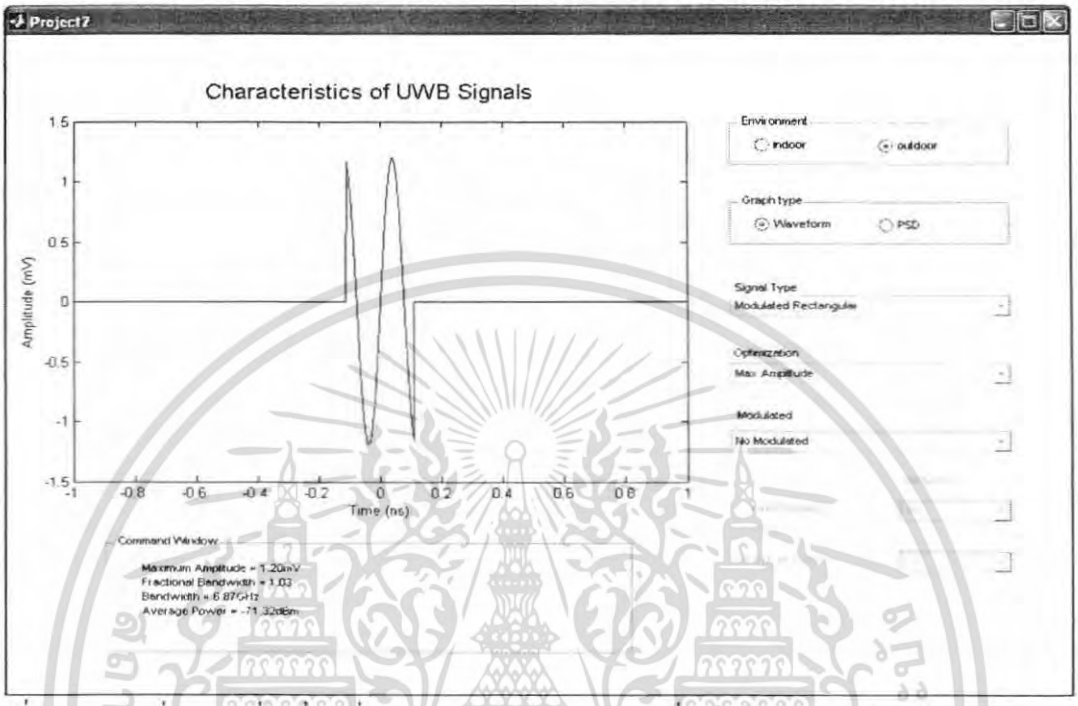
รูปที่ 5.5 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

รูปที่ 5.5 เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_b = 0.21 ns, f_c = 6.62 GHz และ A = 0.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm

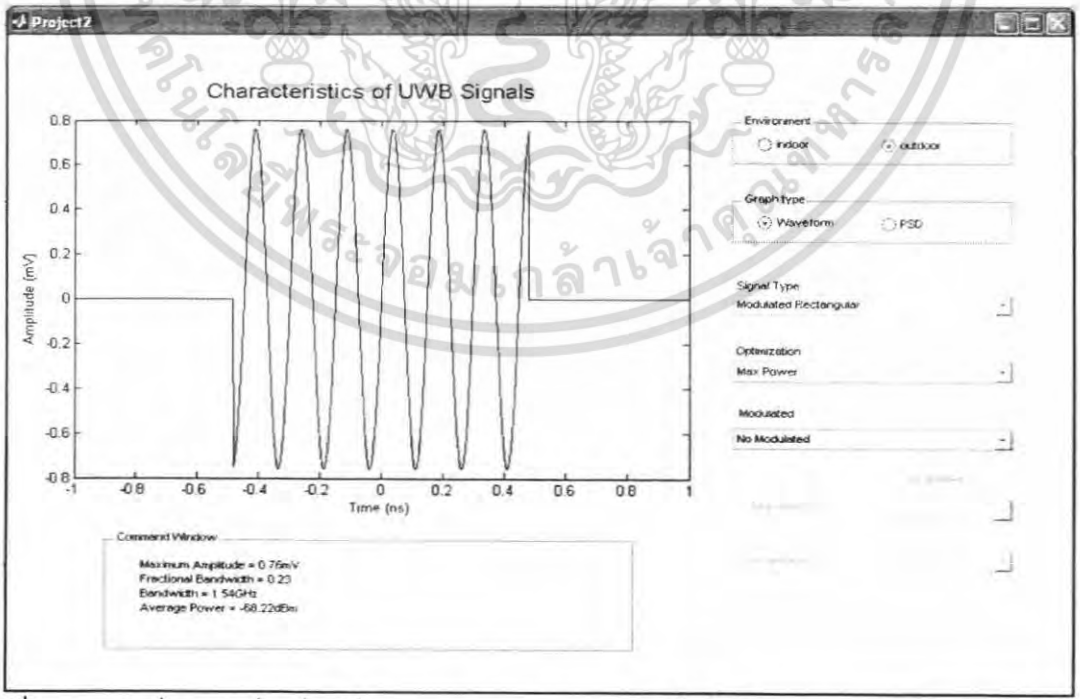
รูปที่ 5.6 เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_b = 0.22 ns, f_c = 6.46 GHz และ A = 1.20 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.03 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.87 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -71.32 dBm



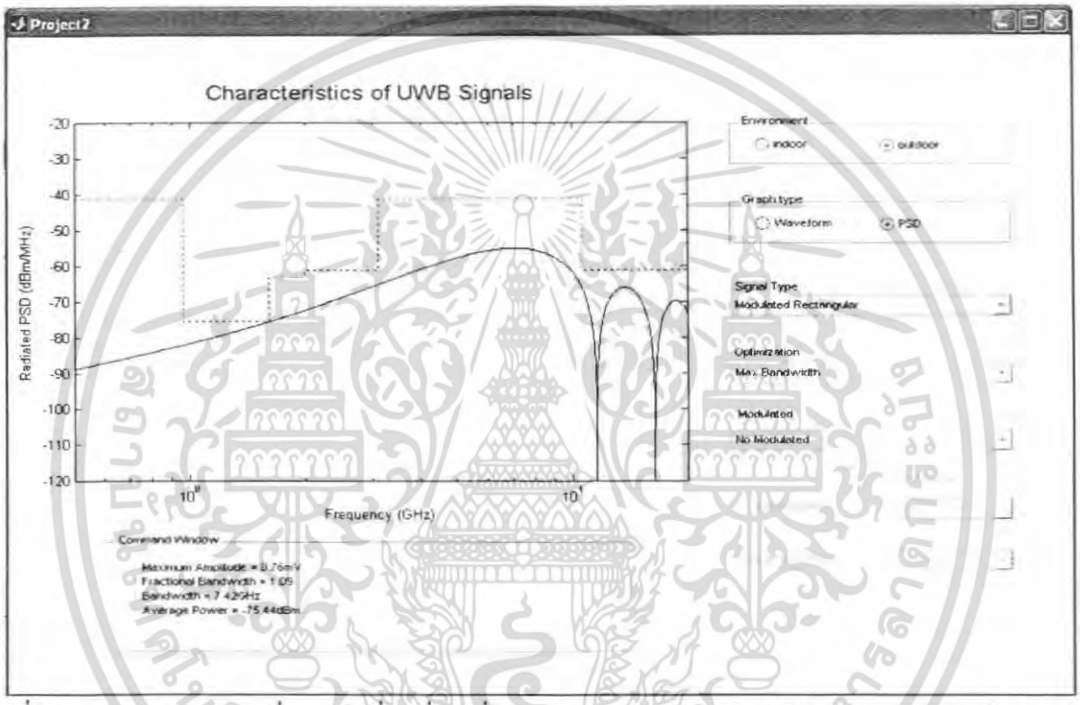
รูปที่ 5.6 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด



รูปที่ 5.7 รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีกำลังเฉลี่ยมากสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากสุดคือ t_b = 0.96 ns, f_c = 6.72 GHz และ A = 0.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.23 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.54 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -68.22 dBm

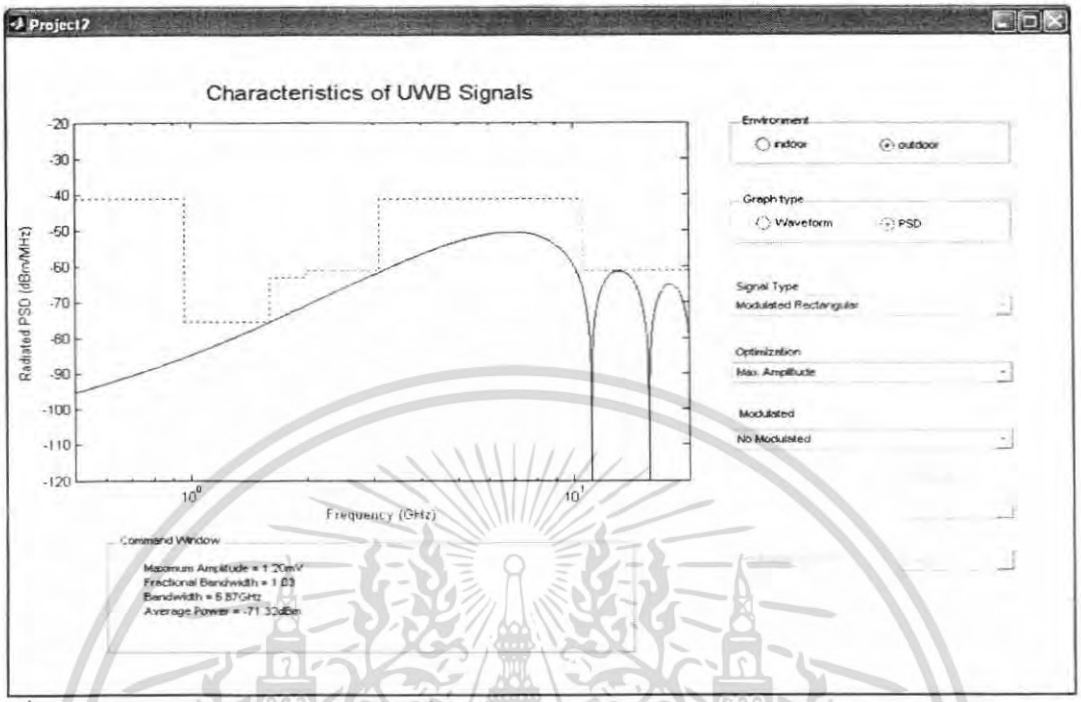


รูปที่ 5.8 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

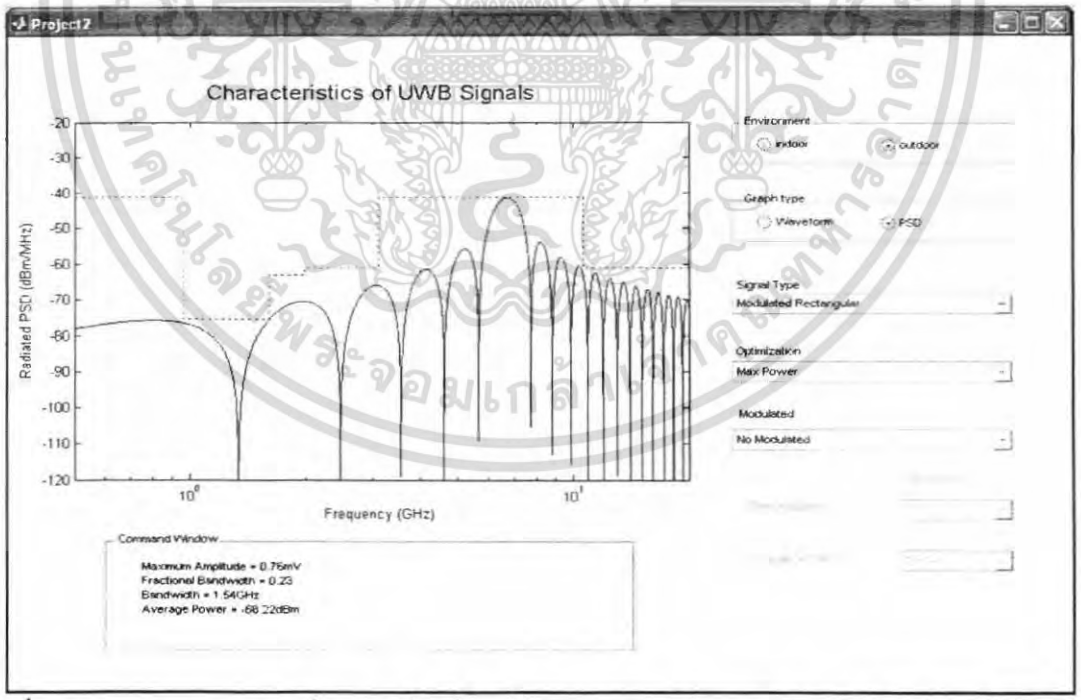
รูปที่ 5.8 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_b = 0.21 ns, f_c = 6.62 GHz และ A = 0.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm

รูปที่ 5.9 เป็นPSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_b = 0.22 ns, f_c = 6.46 GHz และ A = 1.20 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.03 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.87 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -71.32 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9.. PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

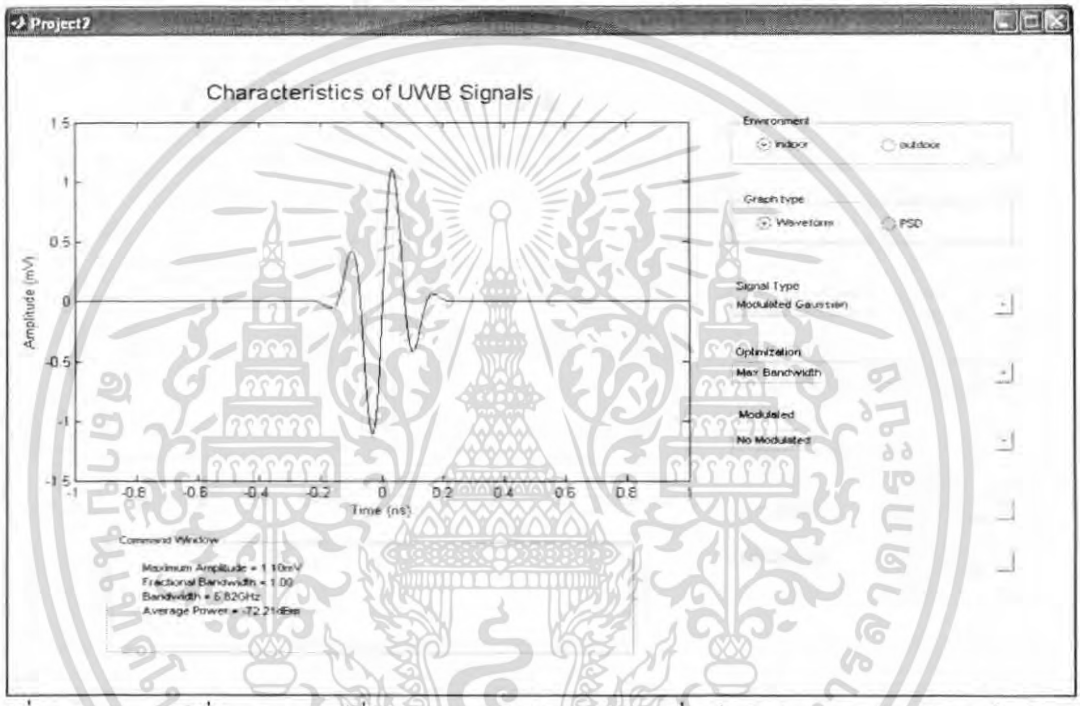


รูปที่ 5.10 PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีกำลังเฉลี่ยมากสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากสุด คือ t_b = 0.96 ns, f_c = 6.72 GHz และ A = 0.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.23 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.54 GHz และมีกำลังเฉลี่ยมากสุดเท่ากับ -68.22 dBm

5.2 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต



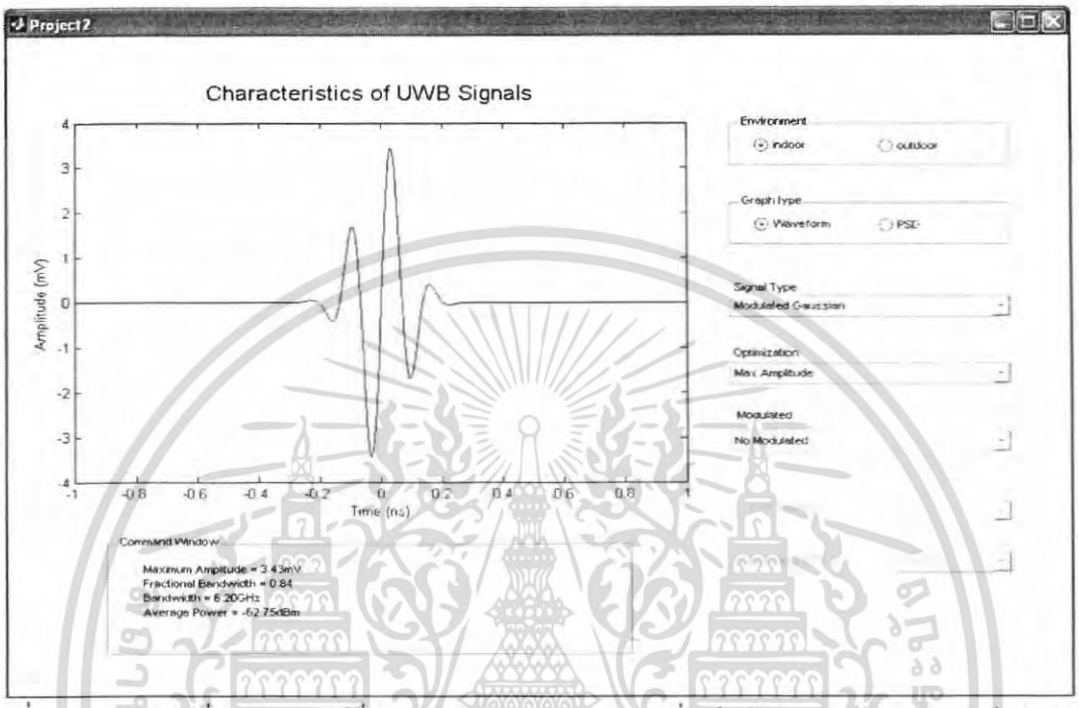
รูปที่ 5.11 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

รูปที่ 5.11 เป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 1.25 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.21 dBm

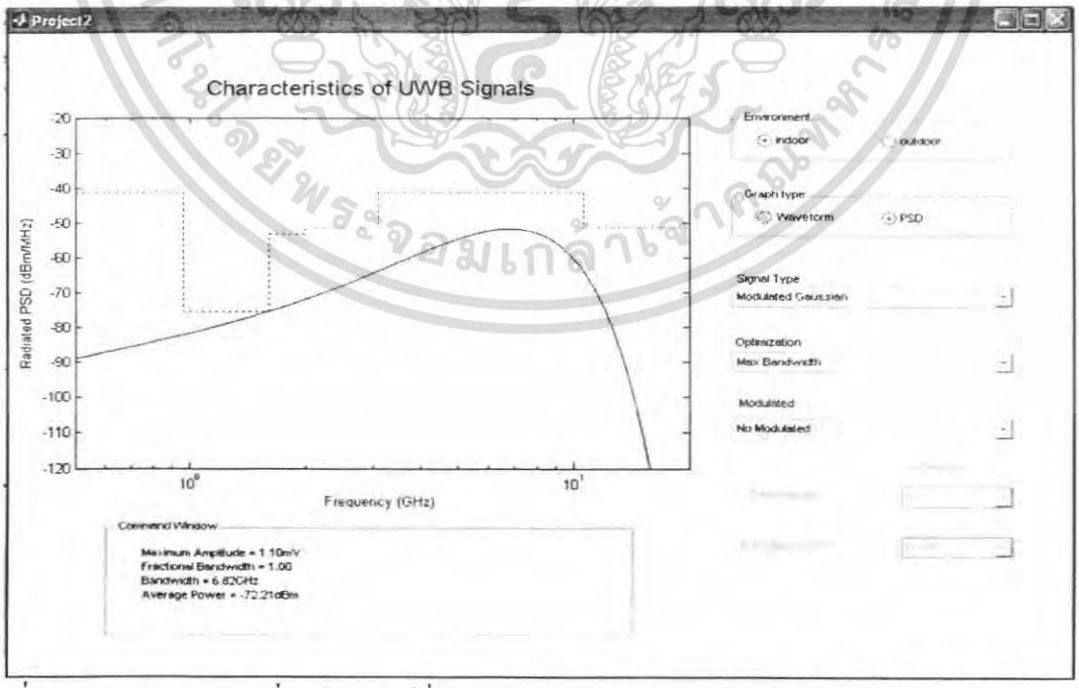
รูปที่ 5.12 เป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_d = 0.11 ns, f_c = 7.34 GHz และ A = 3.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 3.43 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกัน กับรูปที่ 5.12และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด



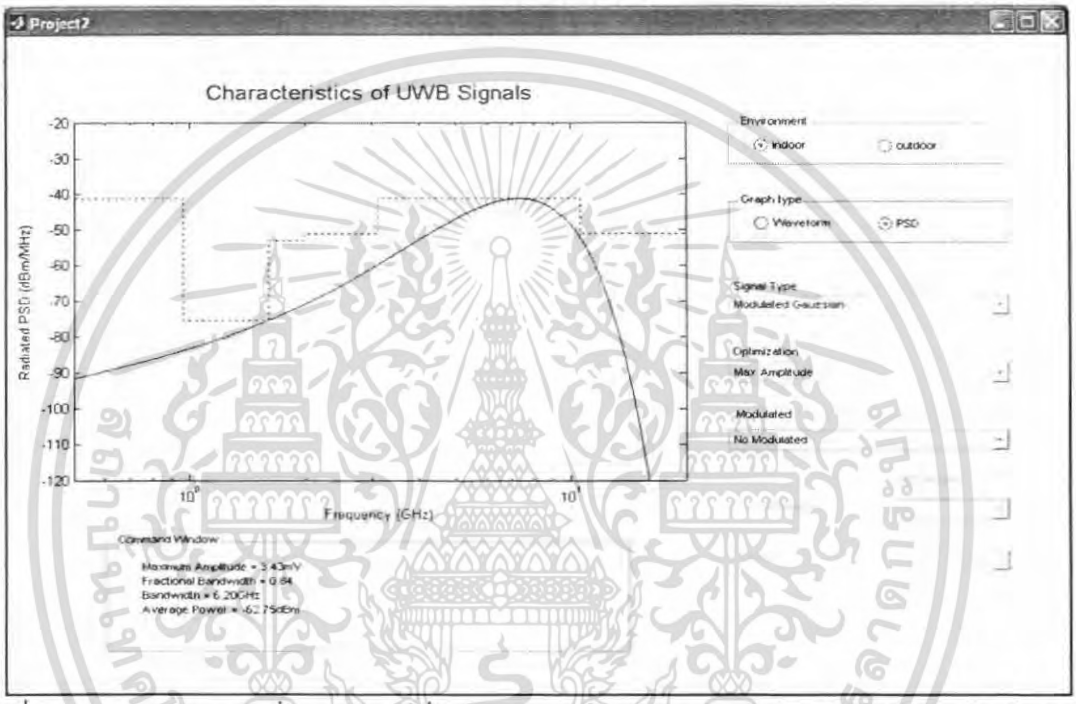
รูปที่ 5.12 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด



รูปที่ 5.13 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.13 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 1.25 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.21 dBm



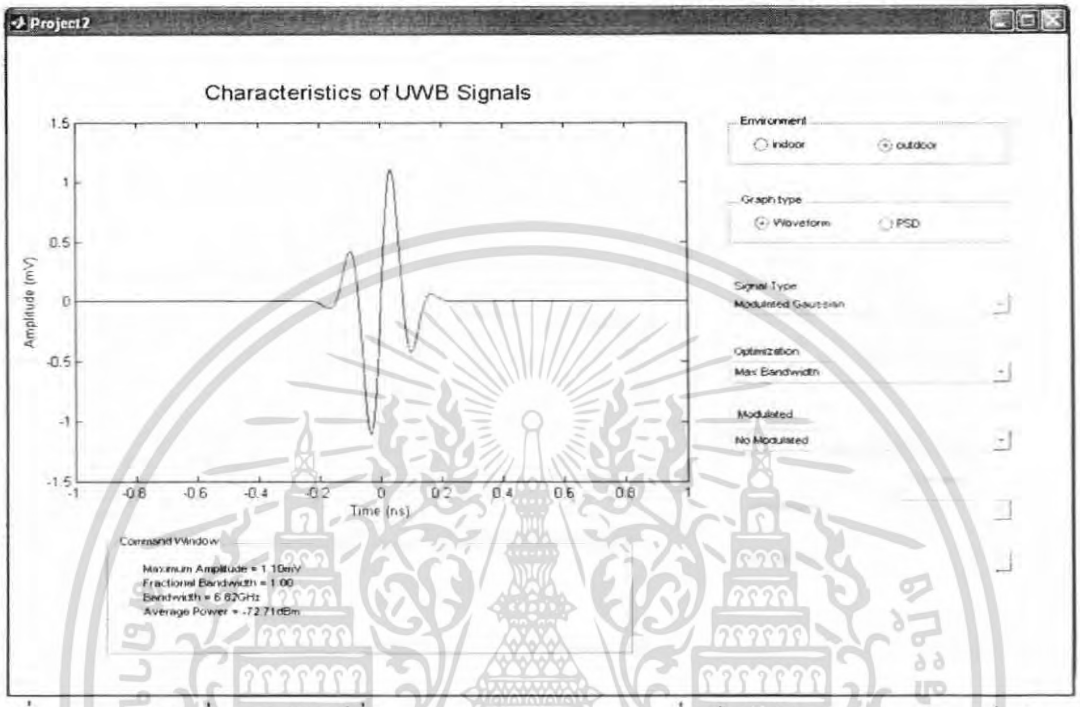
รูปที่ 5.14 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

รูปที่ 5.14 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_d = 0.11 ns, f_c = 7.34 GHz และ A = 3.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 3.43 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.14 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด

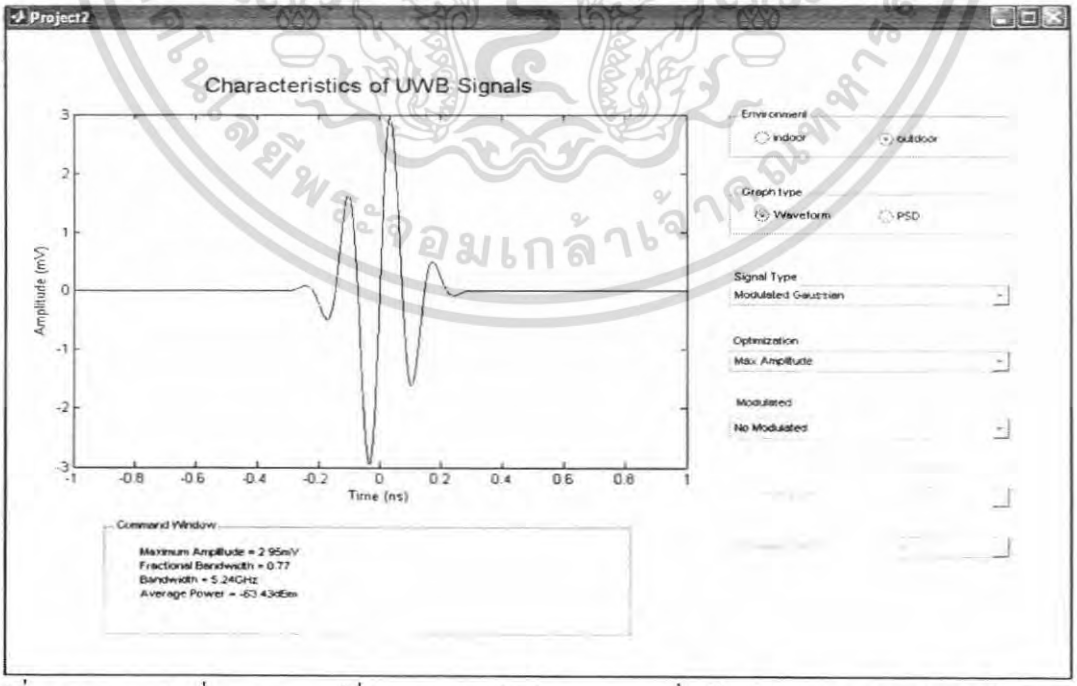
รูปที่ 5.15 เป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 1.25 mV โดยรูปคลื่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.21 dBm



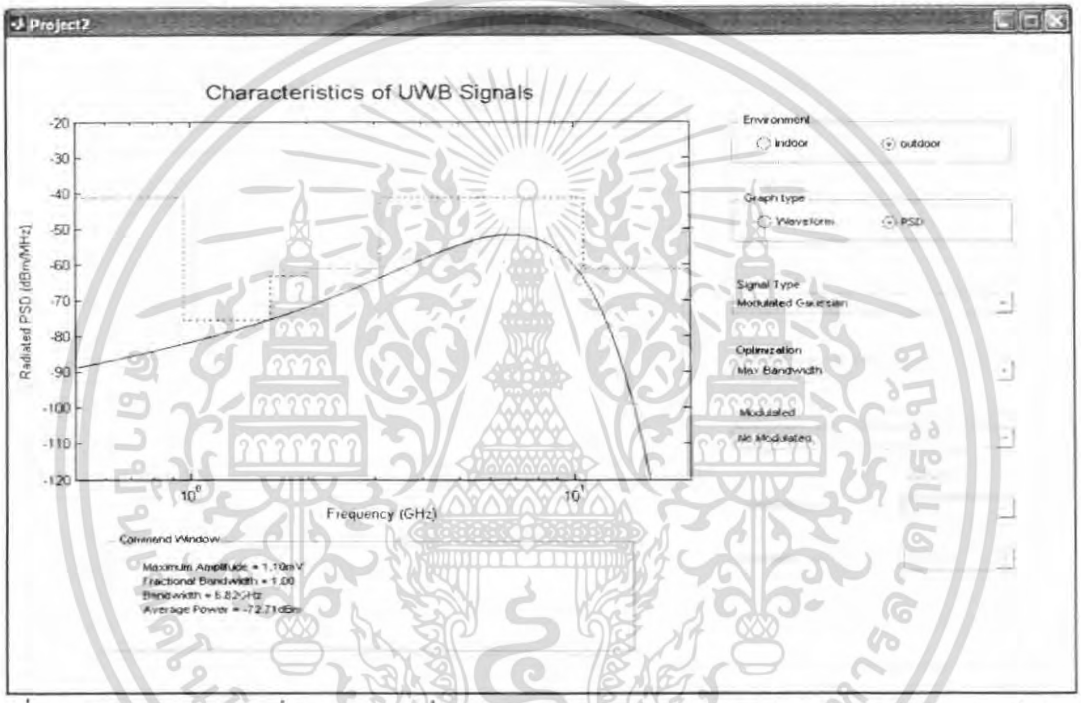
รูปที่ 5.15 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด



รูปที่ 5.16 รูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.16 เป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ $t_d = 0.13$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 3.18$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.95 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.43 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.16 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด



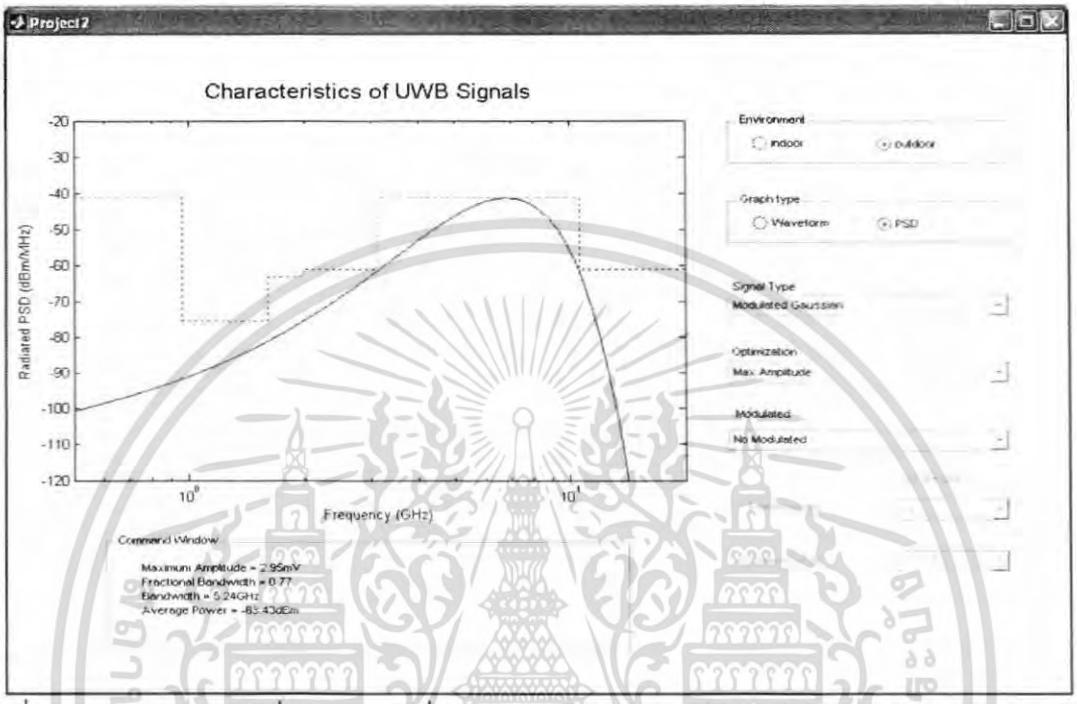
รูปที่ 5.17 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

รูปที่ 5.17 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ $t_d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 1.25$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.71 dBm

รูปที่ 5.18 เป็น PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ $t_d = 0.13$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 3.18$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.95 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

63.43 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.18 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด

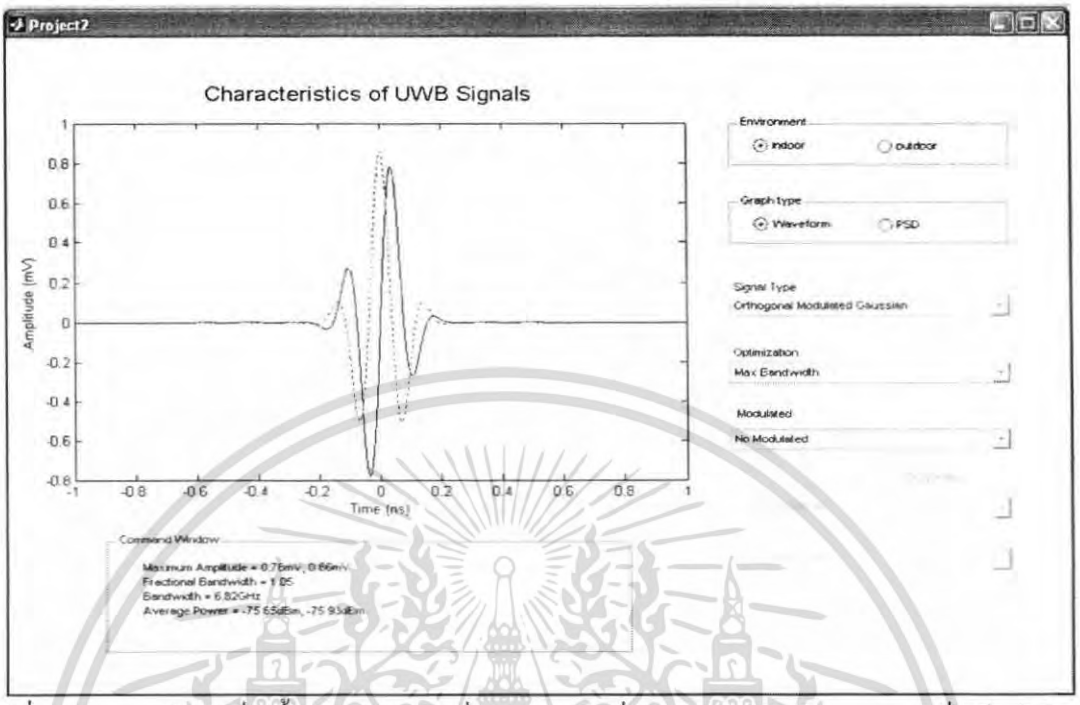


รูปที่ 5.18 PSD ของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

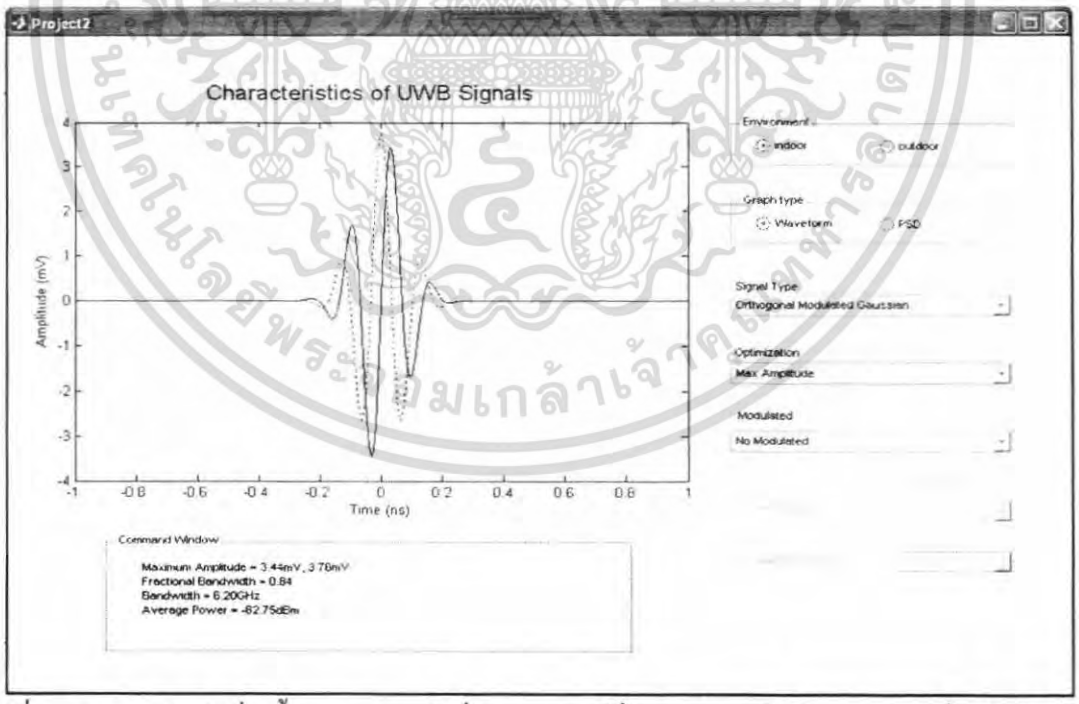
5.3 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

รูปที่ 5.19 เป็นคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.51 GHz A_0 = 0.89 mV และ A_1 = 0.86 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.05 และ 1.05 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 6.82 และ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.65 และ -75.93 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



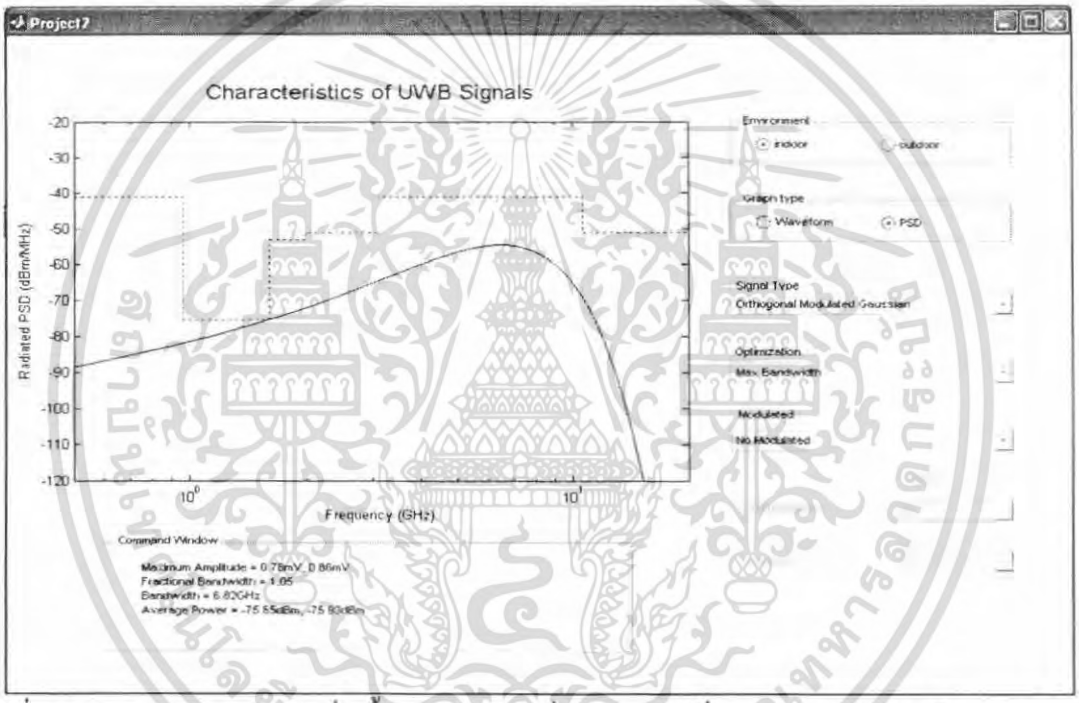
รูปที่ 5.19 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด



รูปที่ 5.20 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.20 เป็นคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสุดคือ t_d = 0.11 ns, f_c = 7.34 GHz A_0 = 3.76 mV และ A_1 = 3.76 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 และ 0.84 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 6.20 และ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 และ -62.75 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.20 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด



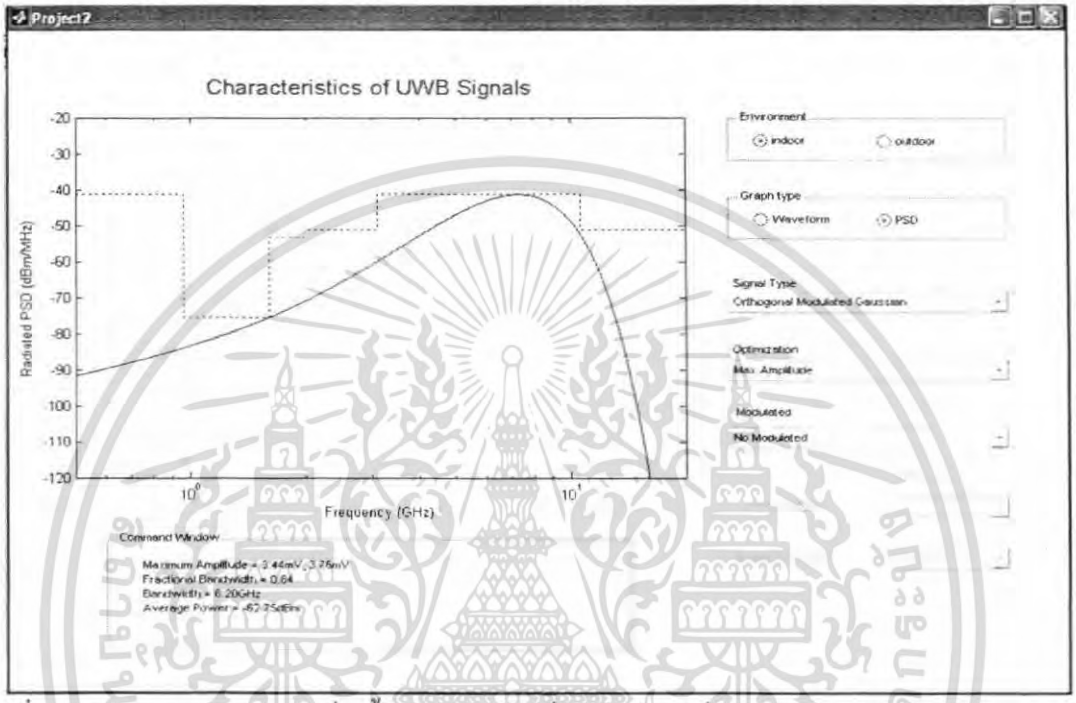
รูปที่ 5.21 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

รูปที่ 5.21 เป็น PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.51 GHz A_0 = 0.89 mV และ A_1 = 0.86 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.05 และ 1.05 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 6.82 และ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.65 และ -75.93 dBm

รูปที่ 5.22 เป็น PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_d = 0.11 ns, f_c = 7.34 GHz A_0 = 3.76 mV และ A_1 = 3.76 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

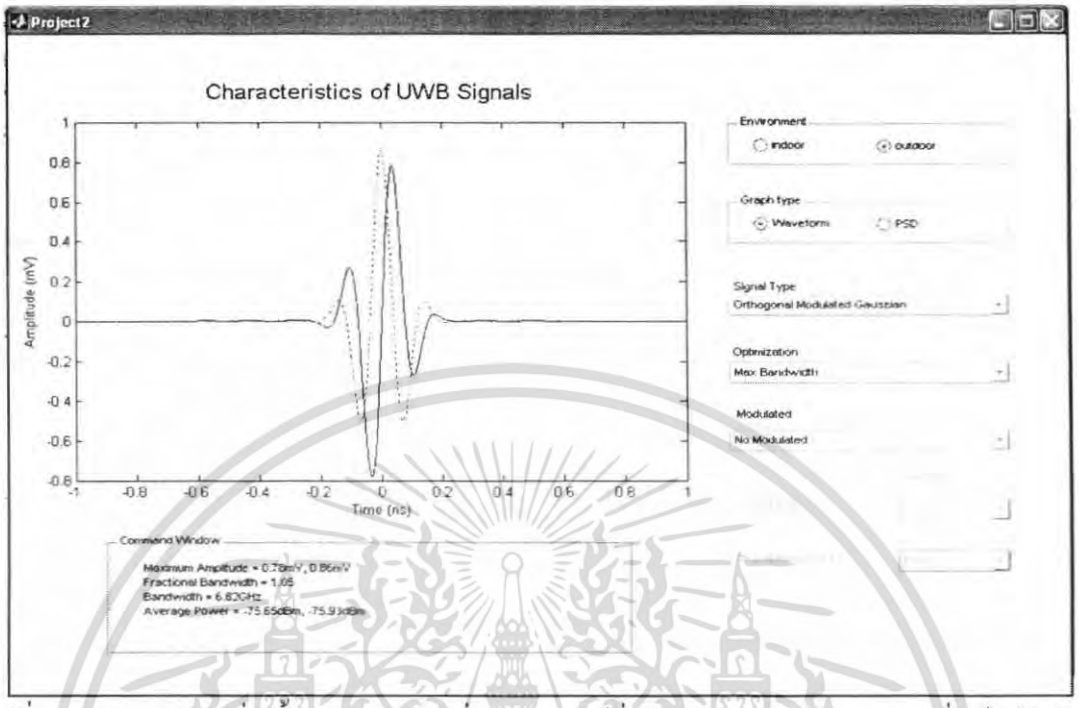
w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 และ 0.84 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 6.20 และ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 และ -62.75 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.22 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด



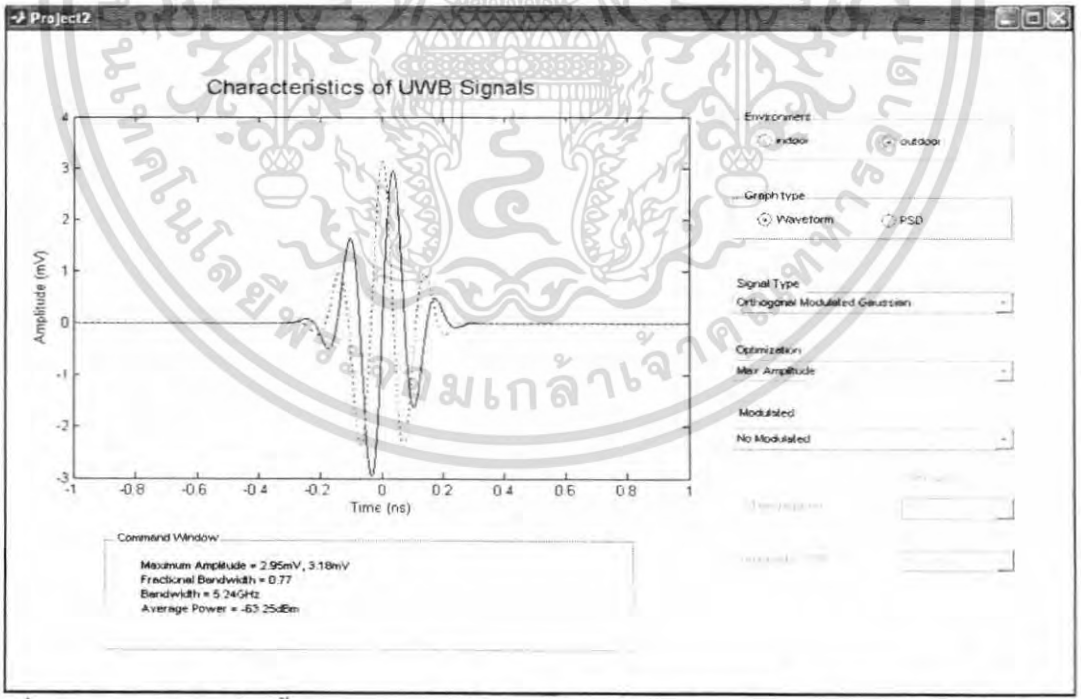
รูปที่ 5.22 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

รูปที่ 5.23 เป็นคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.51 GHz A_0 = 0.89 mV และ A_1 = 0.86 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.05 และ 1.05 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 6.82 และ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.65 และ -75.93 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

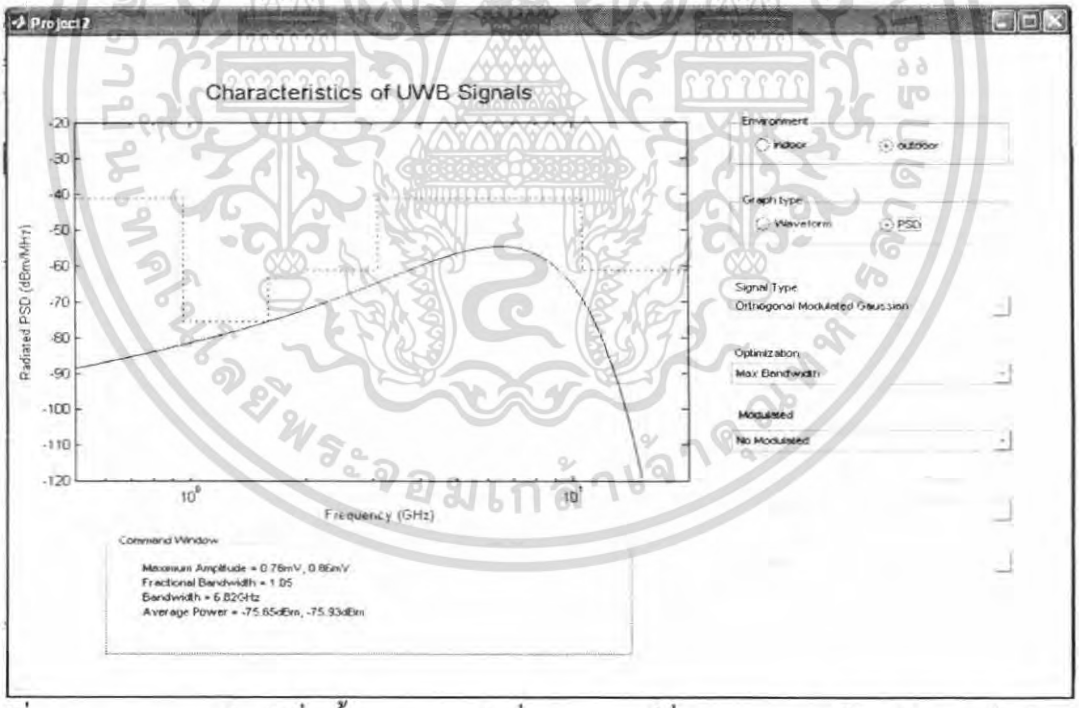


รูปที่ 5.24 คู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

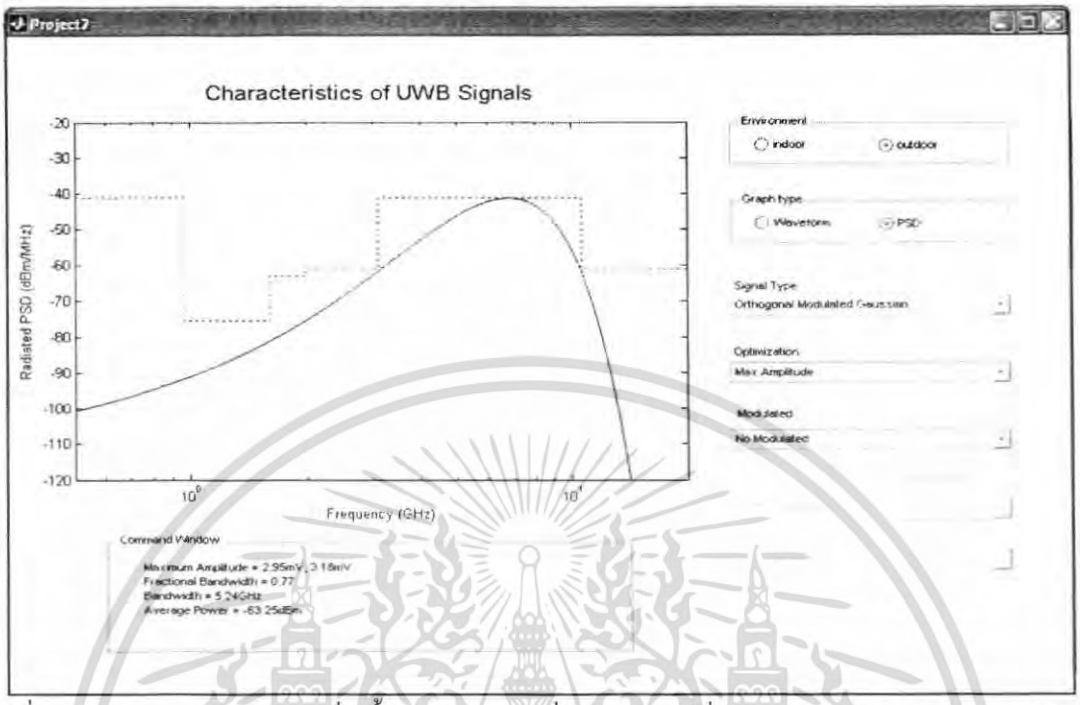
รูปที่ 5.24 เป็นคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสุดคือ t_d = 0.13 ns, f_c = 6.85 GHz A_0 = 3.18 mV และ A_1 = 3.18 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 และ 0.77 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 5.24 และ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.25 และ -63.25 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.24 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด

รูปที่ 5.25 เป็น PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างสุดคือ t_d = 0.10 ns, f_c = 6.51 GHz A_0 = 0.89 mV และ A_1 = 0.86 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.05 และ 1.05 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 6.82 และ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.65 และ -75.93 dBm



รูปที่ 5.25 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแบนด์วิดท์กว้างสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารซึ่งมีแอมพลิจูดสูงสุด

รูปที่ 5.26 เป็น PSD ของคู่รูปคลื่นตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตเปรียบเทียบสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดคือ t_d = 0.13 ns, f_c = 6.85 GHz A_0 = 3.18 mV และ A_1 = 3.18 mV โดยรูปคลื่น w_0 และ w_1 จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 และ 0.77 มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมเท่ากับ 5.24 และ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.25 และ -63.25 dBm ในส่วนของกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีกราฟเช่นเดียวกันกับรูปที่ 5.26 และมีพารามิเตอร์เหมือนกับเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด

5.4 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM

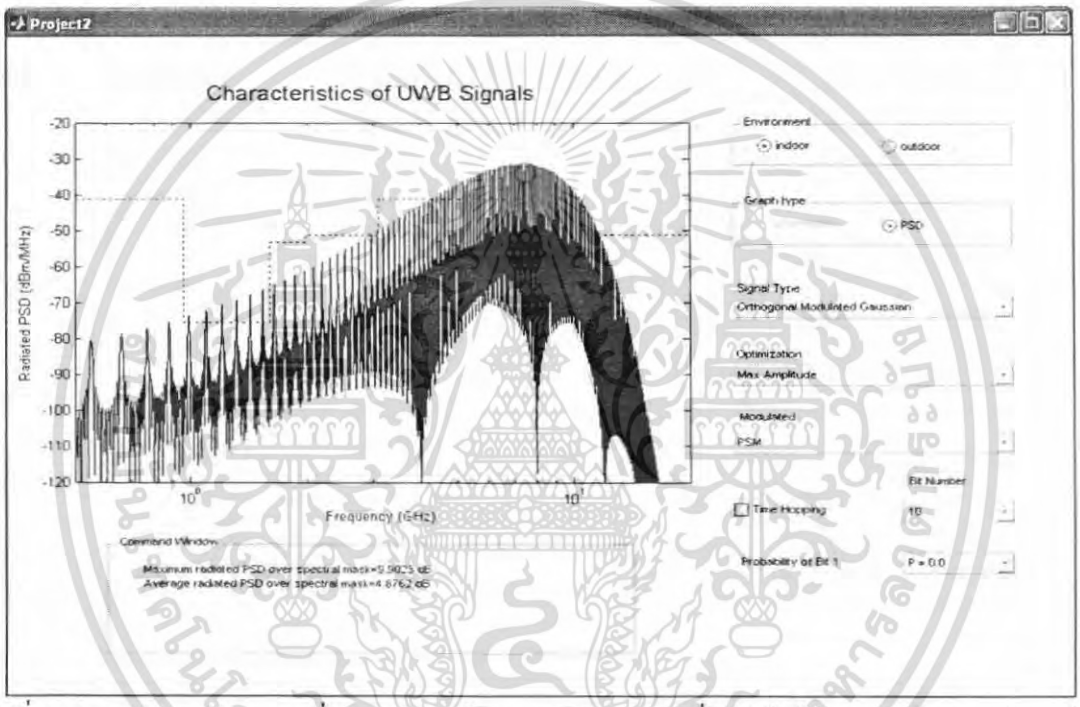
สำหรับการพิจารณา PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM เลือกใช้คู่สัญญาณตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC ในกรณีที่รูปคลื่นมีแอมพลิจูดสูงที่สุด โดยกำหนดจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 10

5.4.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH

รูปที่ 5.27 และ 5.28 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ THและมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของ

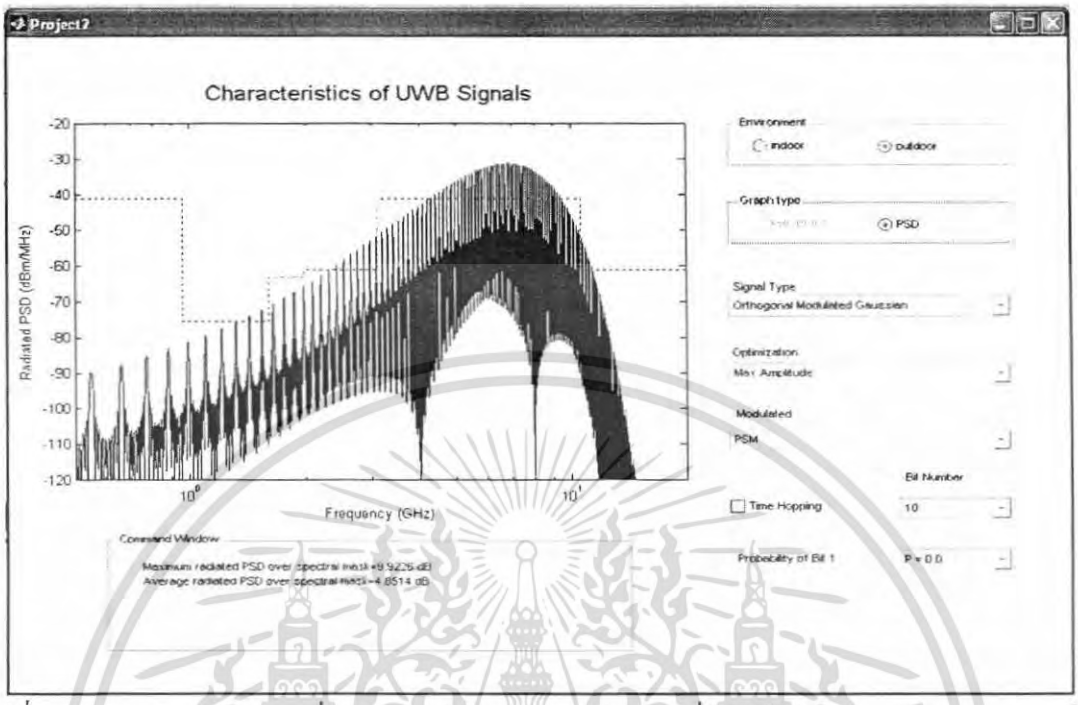
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารประมาณ 4.8726 และ 4.8514 dB ตามลำดับ ส่วน PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.29 และ 5.30 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารประมาณ 4.8649 และ 4.9514 dB ตามลำดับ

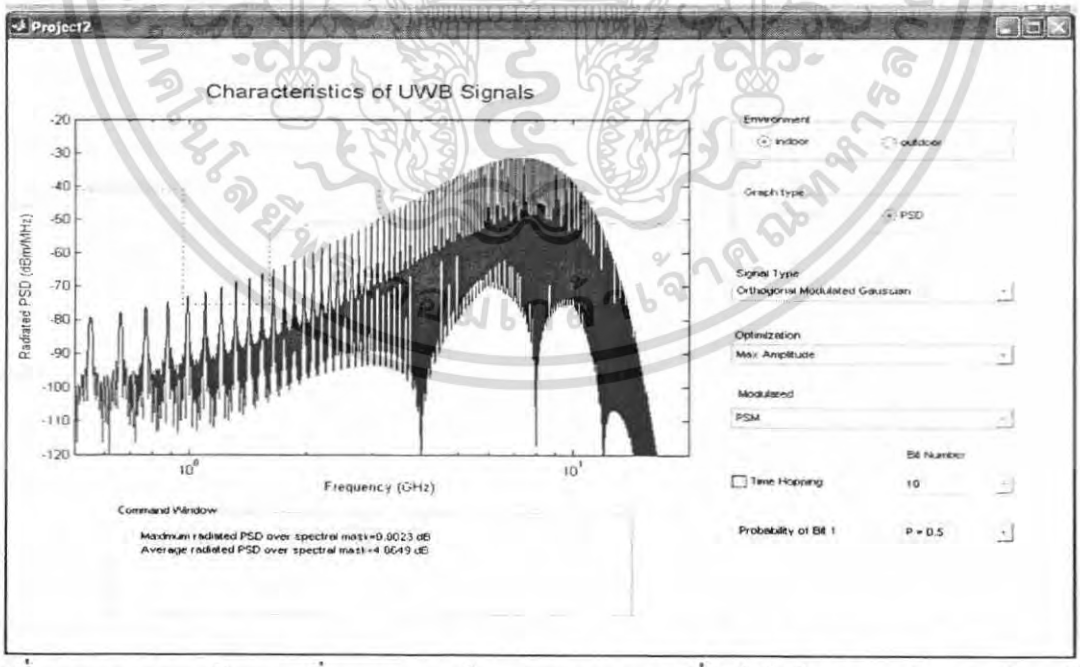


รูปที่ 5.27 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

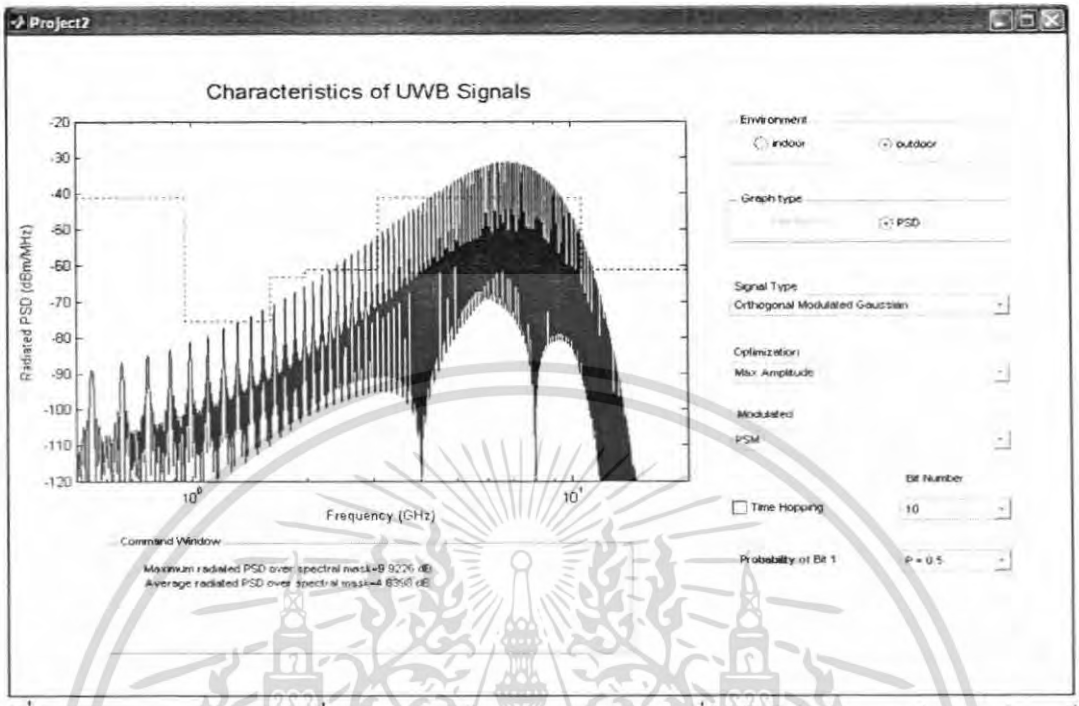


รูปที่ 5.28 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.29 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



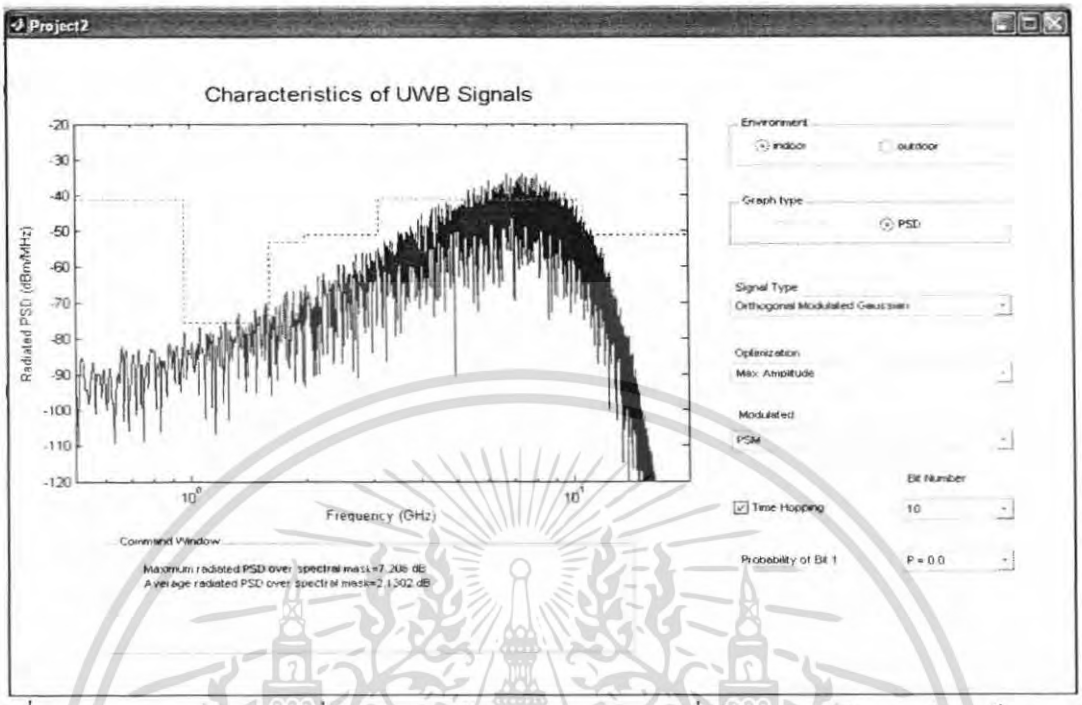
รูปที่ 5.30 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

5.4.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH

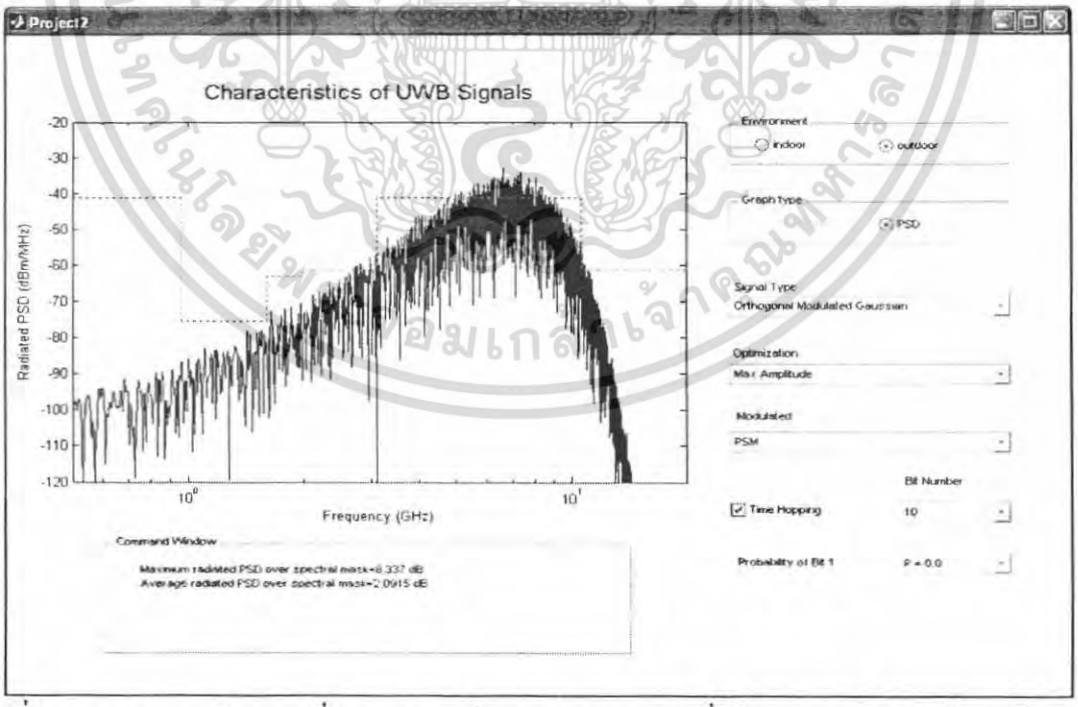
รูปที่ 5.31 และ 5.32 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารมากสุดประมาณ 2.0837 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 2.2945 dB

รูปที่ 5.33 และ 5.34 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารมากสุดประมาณ 2.2147 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 1.8938 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

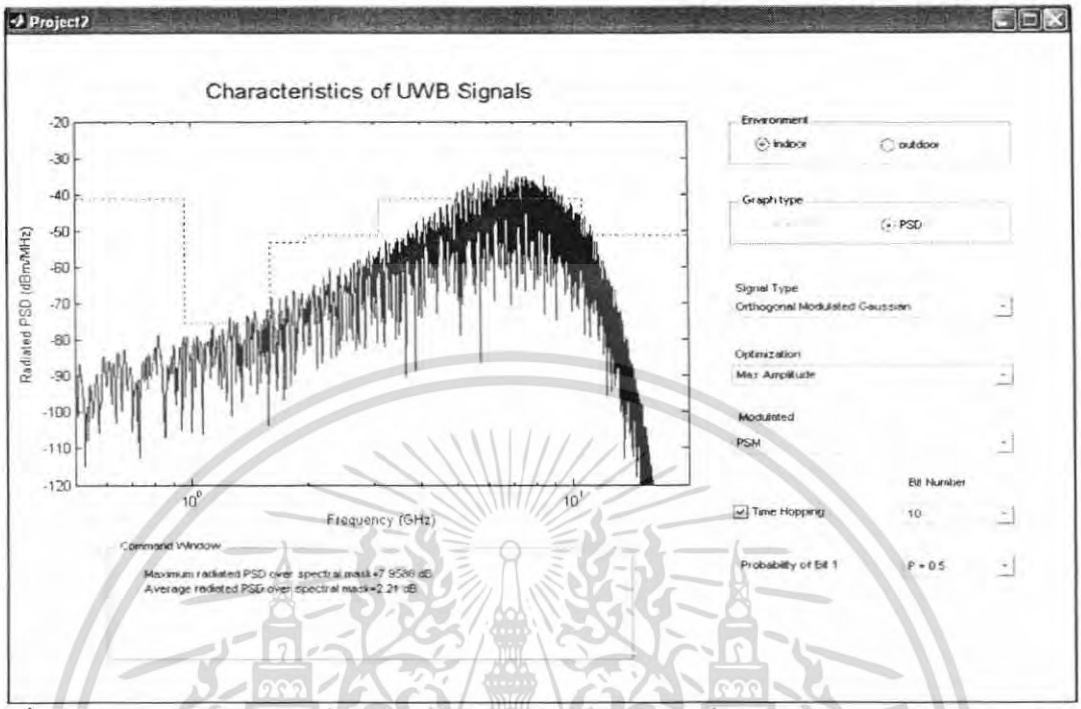


รูปที่ 5.31 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

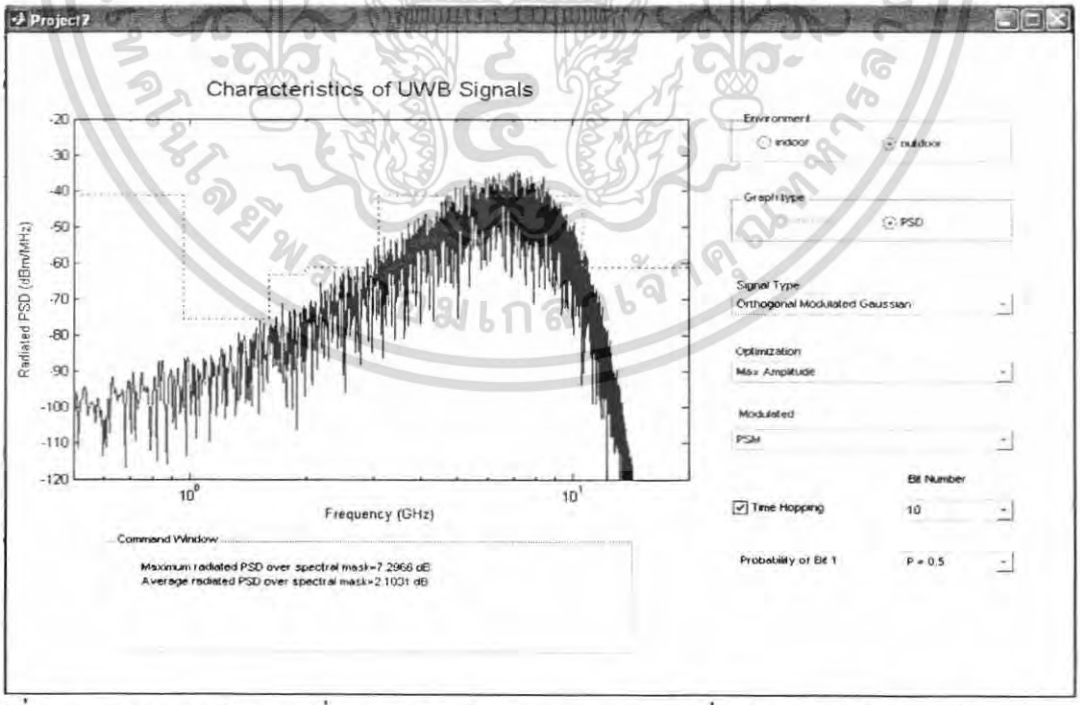


รูปที่ 5.32 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘ 1’ เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



รูปที่ 5.34 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PSM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ‘ 1’ เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

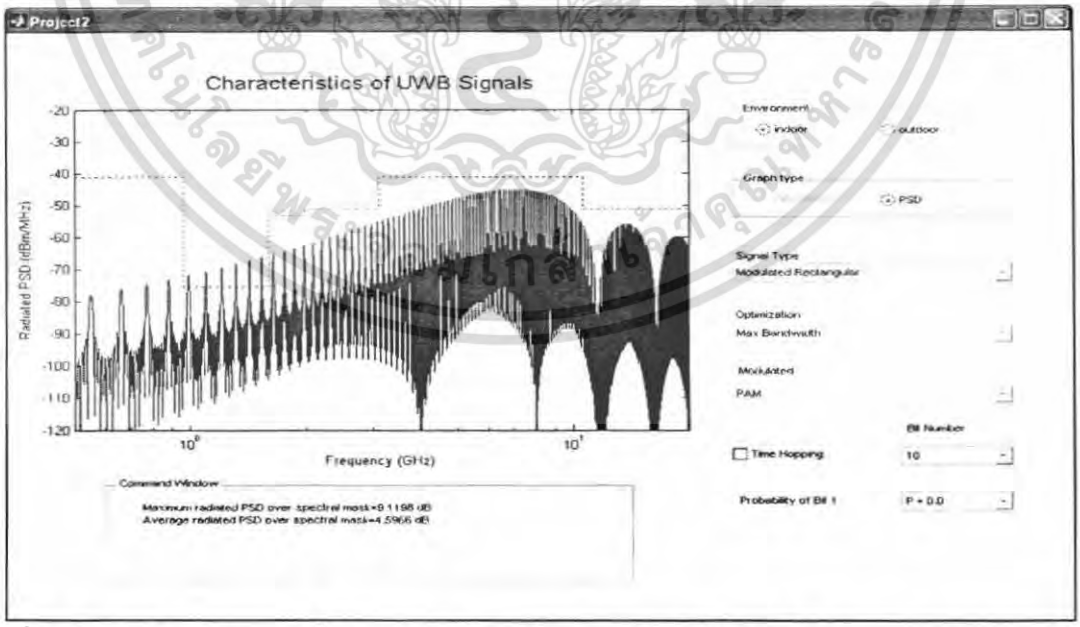
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM

สำหรับการพิจารณา PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM สามารถเลือกใช้รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตหรือรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต แต่ในที่นี้ได้ยกกรณีรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC ในกรณีที่รูปคลื่นมีแบนวิดท์สูงที่สุดมาพิจารณา

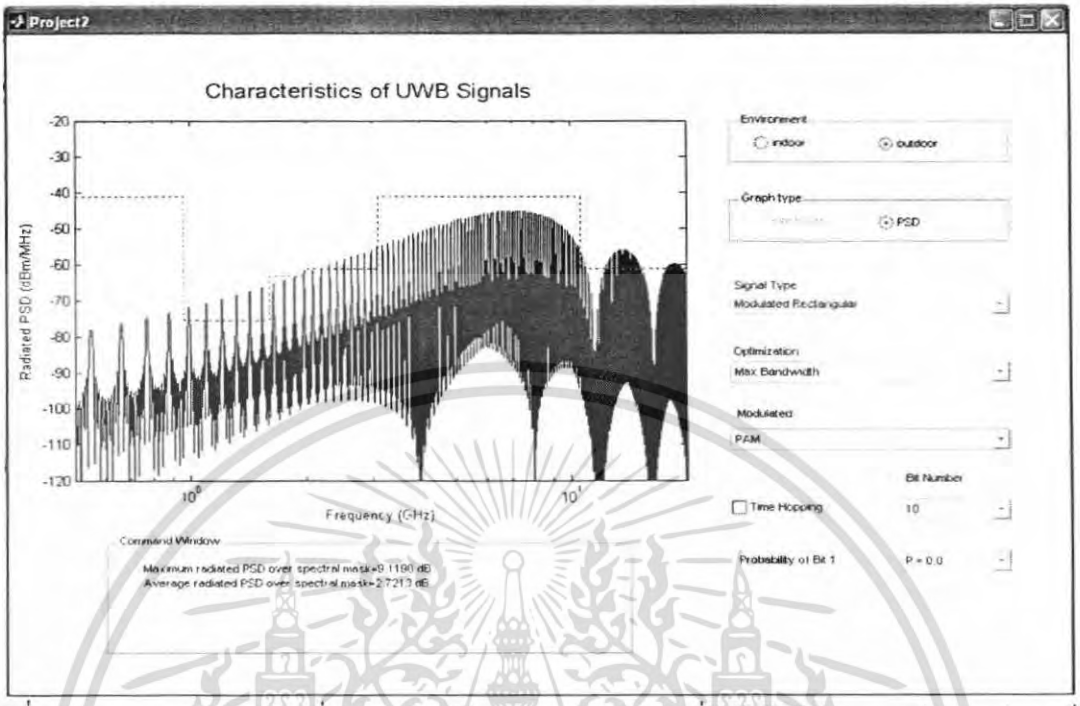
5.5.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH

รูปที่ 5.35 และ 5.36 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM โดยเลือกใช้รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารประมาณ 4.5966 และ 1.5153 dB ตามลำดับ ส่วน PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับ ข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.37 และ 5.38 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณจะเกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารประมาณ 1.8843 และ 1.2542 dB ตามลำดับ

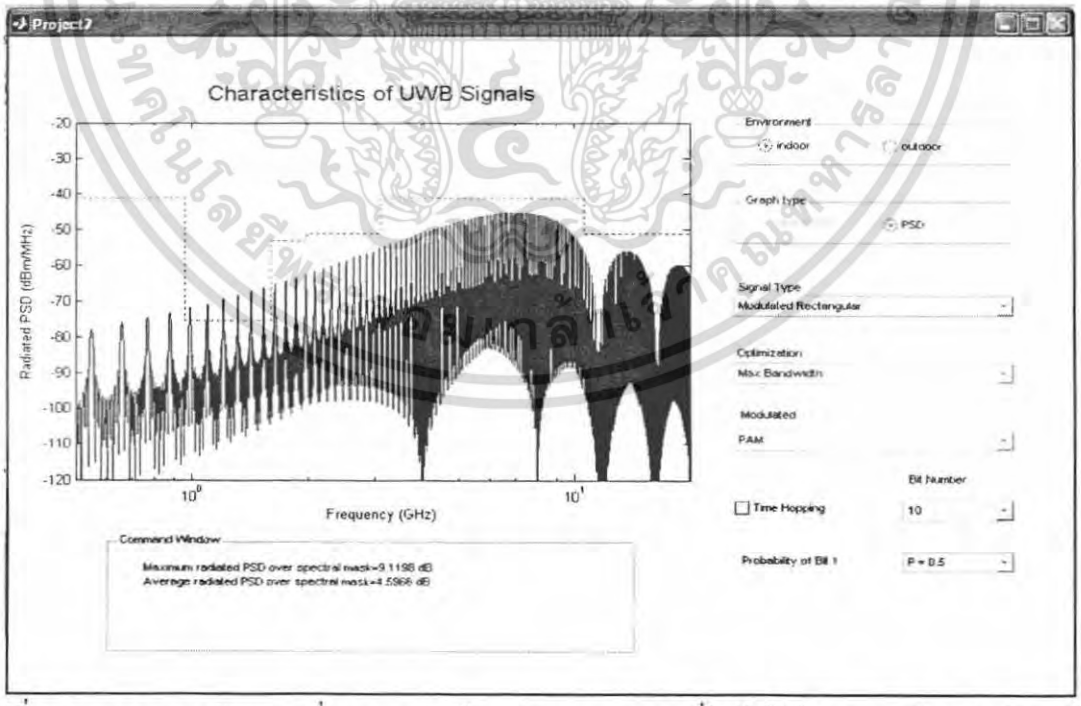


รูปที่ 5.35 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

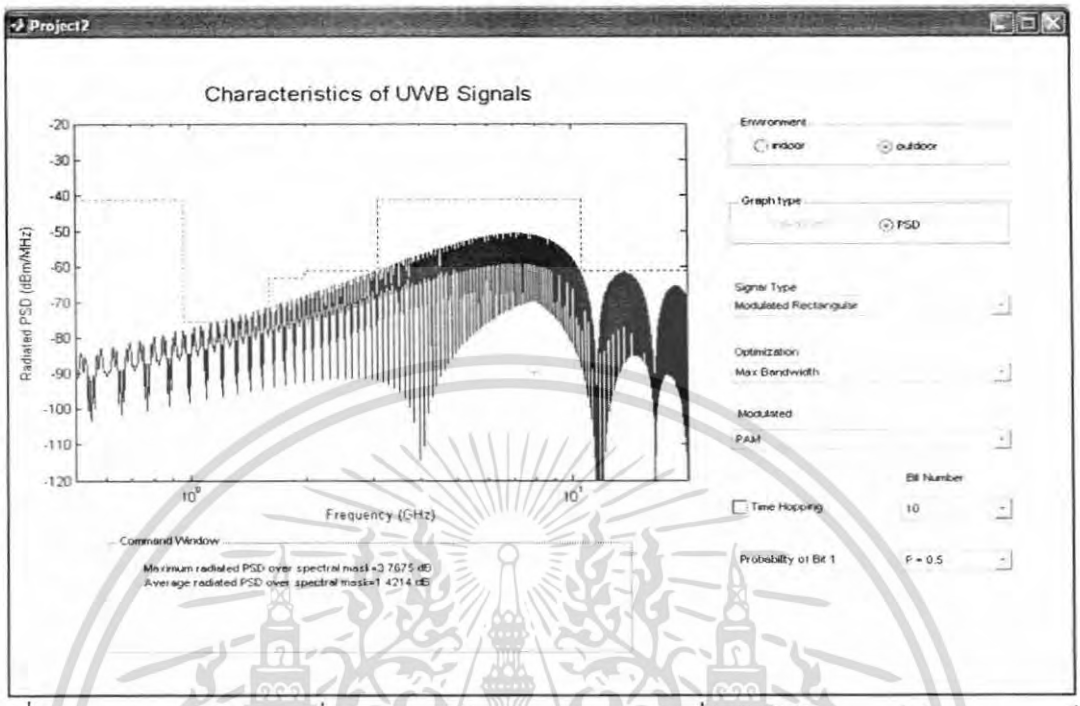


รูปที่ 5.36 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

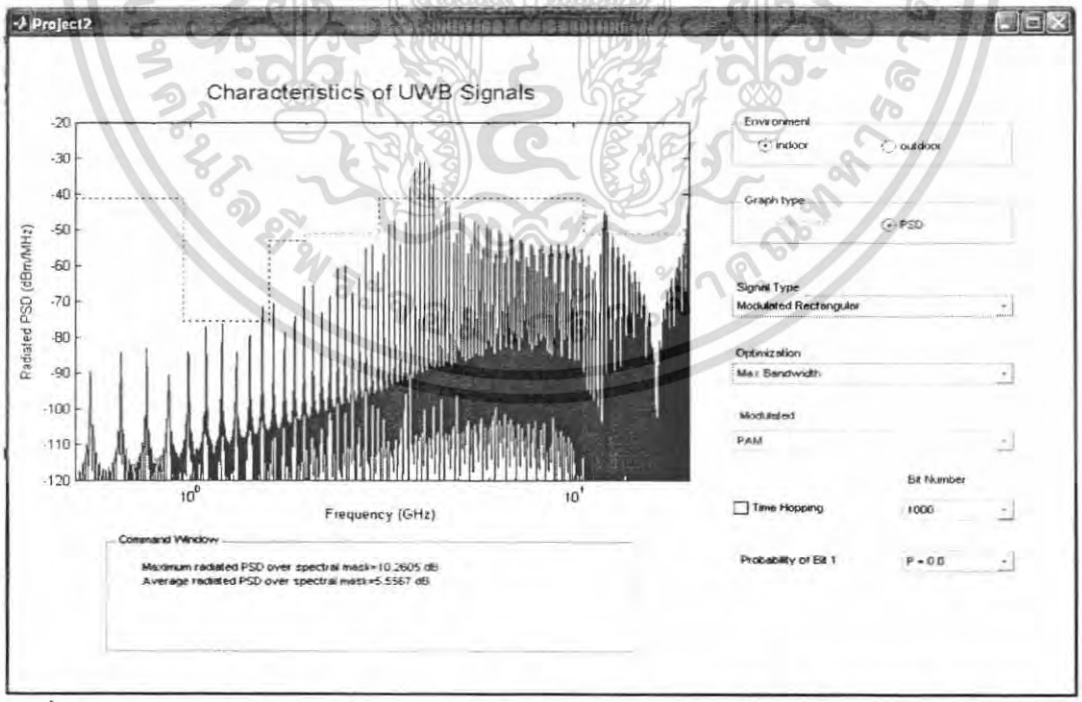


รูปที่ 5.37 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

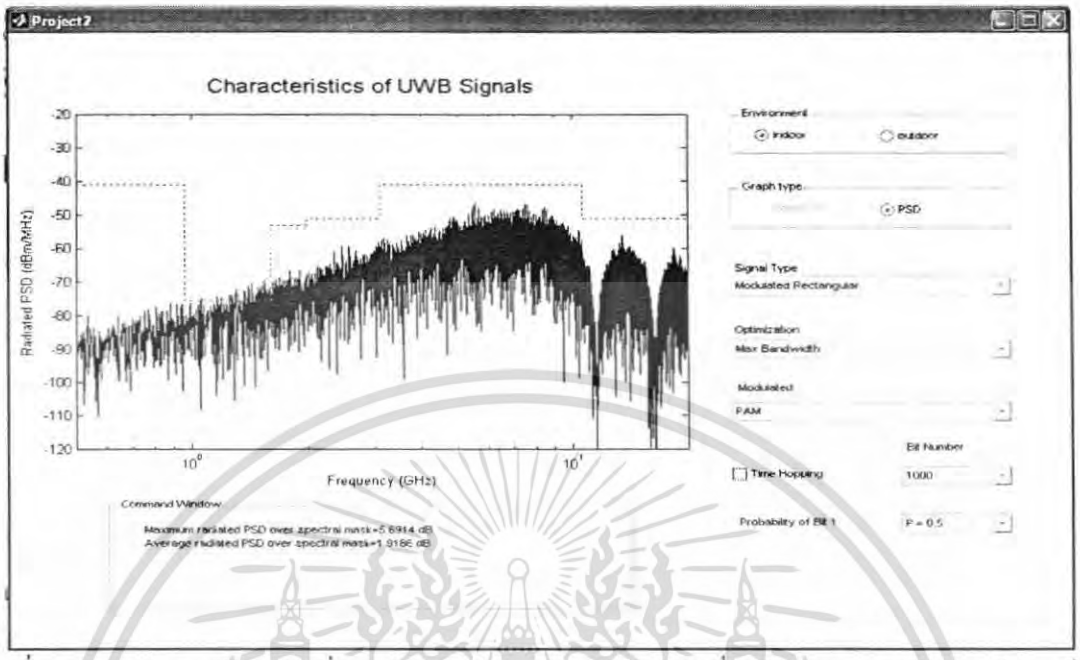


รูปที่ 5.38 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.39 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



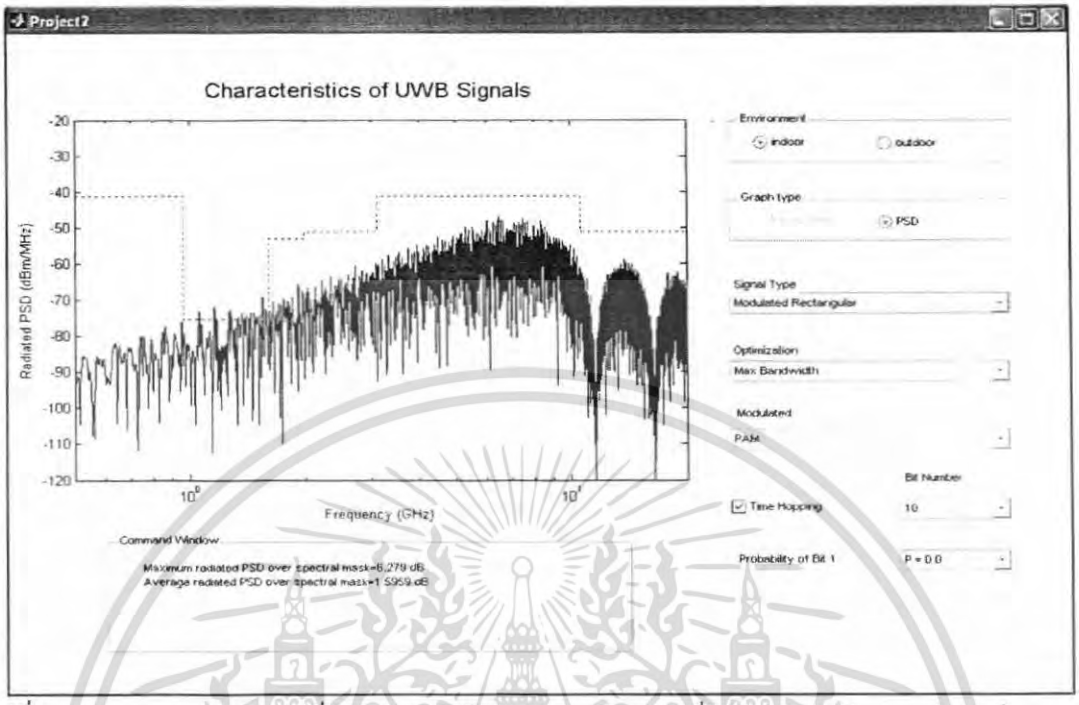
รูปที่ 5.40 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

กรณีเพิ่มเติมเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างในกรณีจำนวนบิตเท่ากับ 1000 แสดงในรูปที่ 5.39 และ 5.40 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 เปรียบเทียบกับข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 5.5567 และ 2.2101 dB ตามลำดับ

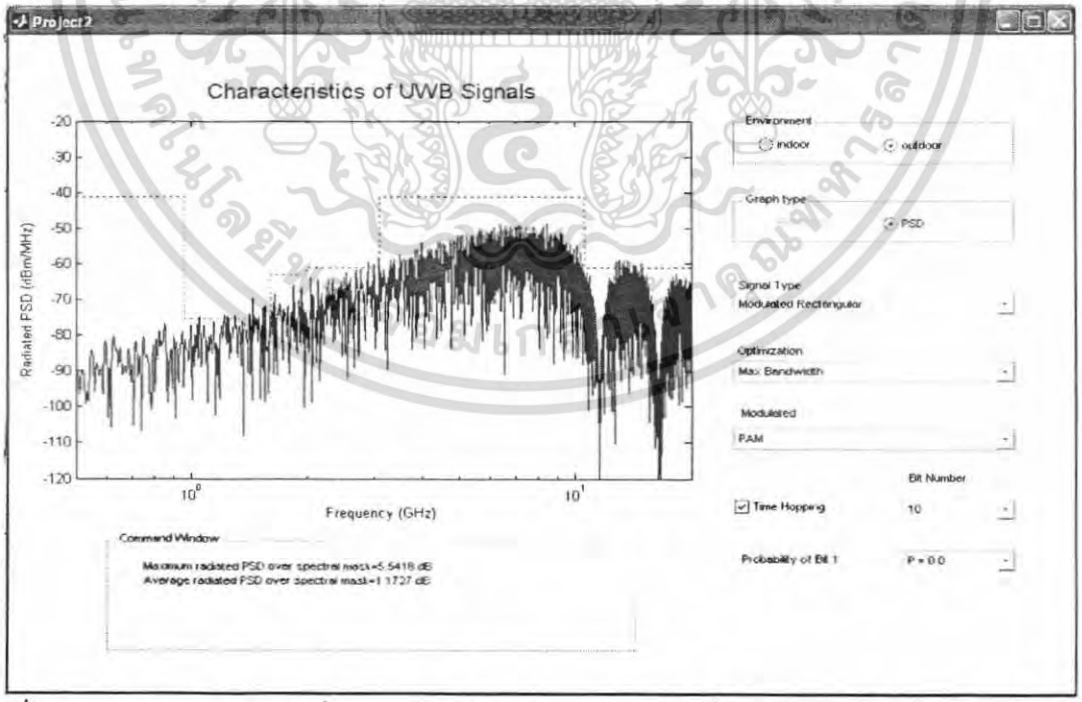
5.5.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH

รูปที่ 5.41 และ 5.42 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารประมาณ 1.7319 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารประมาณ 1.2025 dB ส่วน PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.43 และ 5.44 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารประมาณ 1.6713 dB และสำหรับภายนอกอาคารประมาณ 1.7619 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

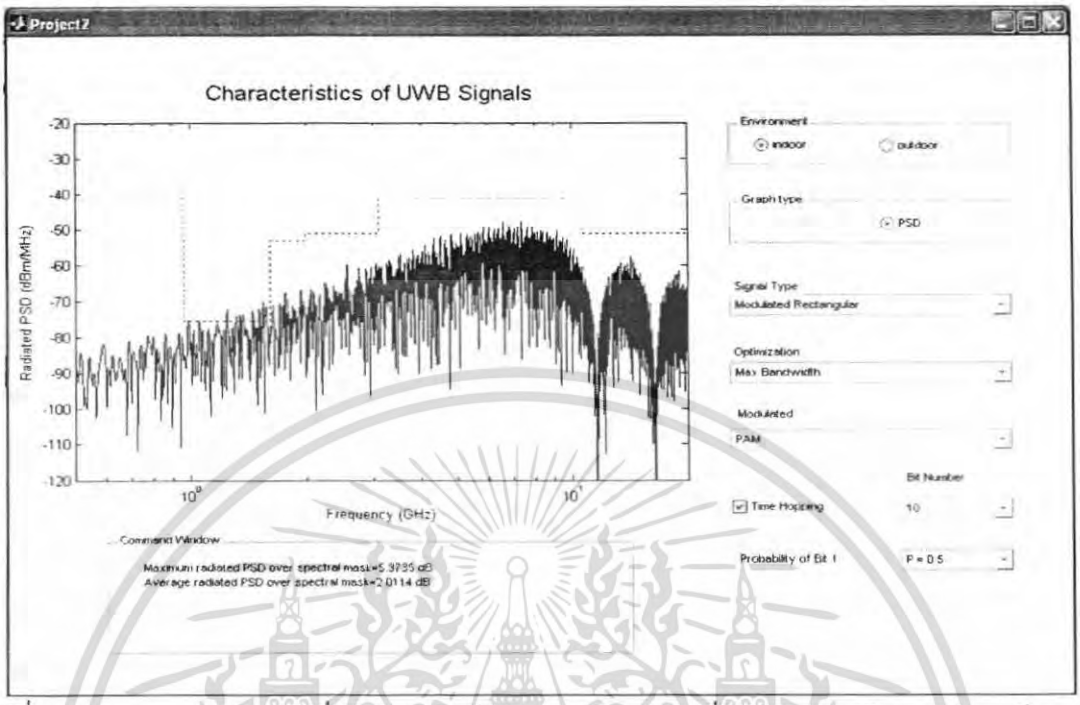


รูปที่ 5.41 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

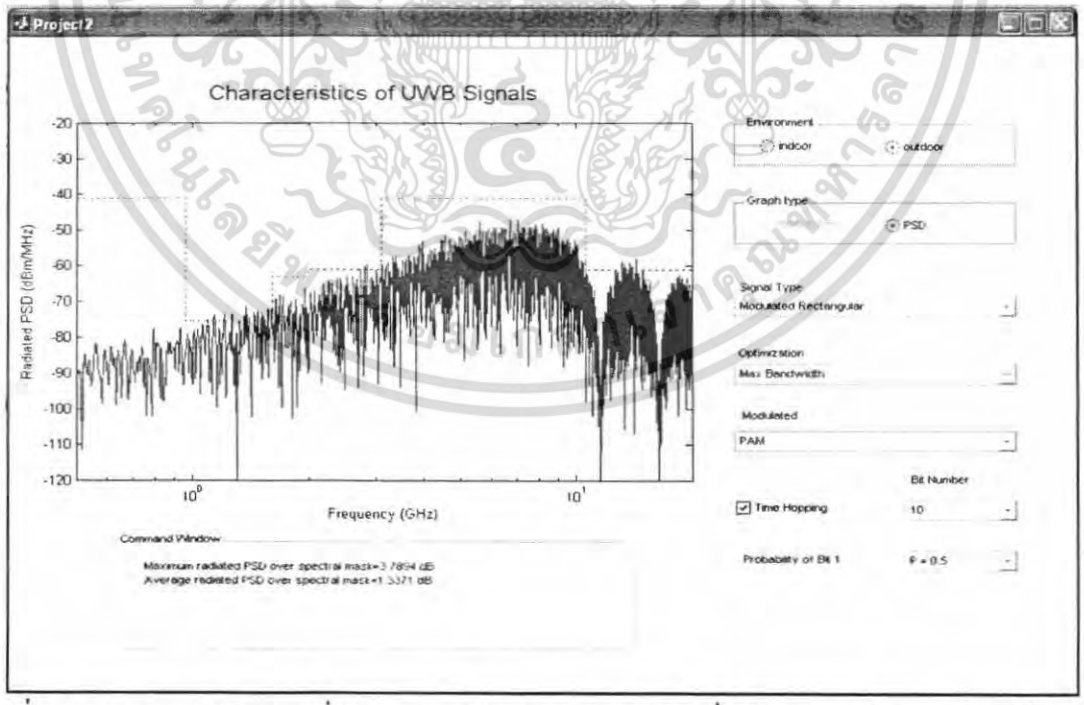


รูปที่ 5.42 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

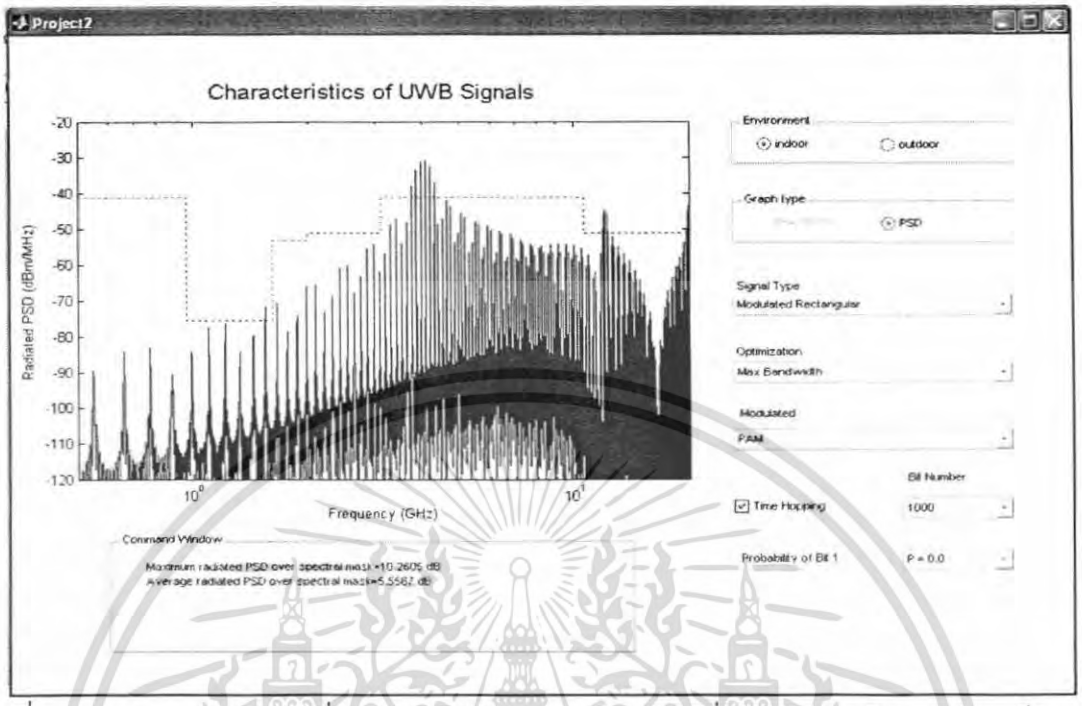


รูปที่ 5.43 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ' 1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

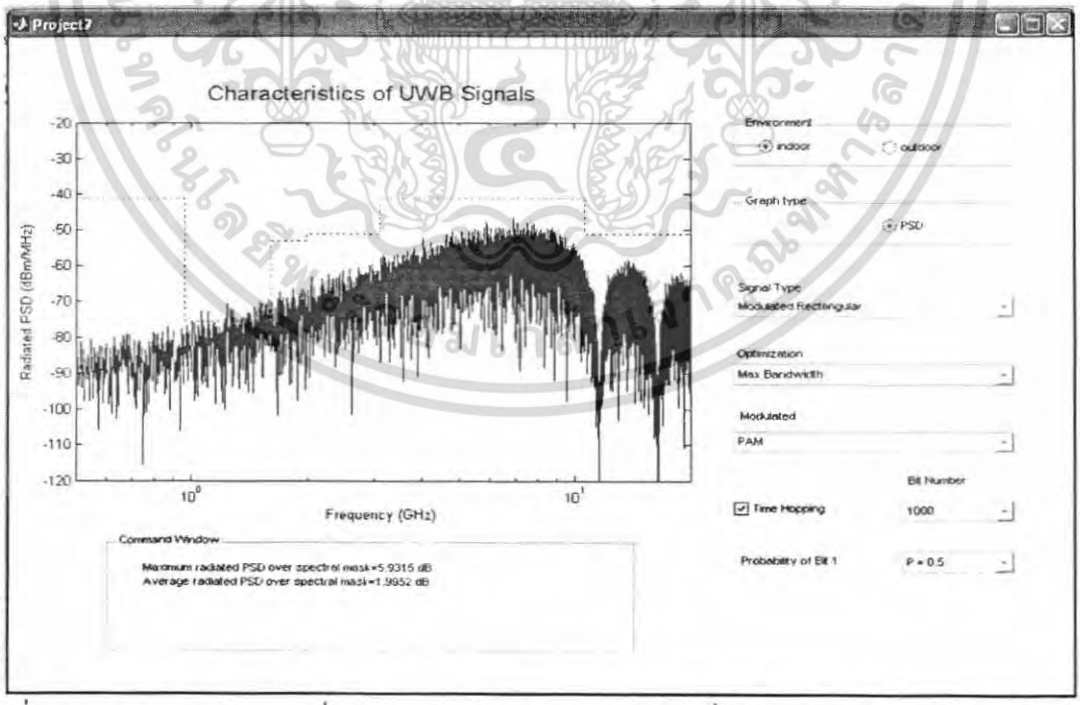


รูปที่ 5.44 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ' 1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

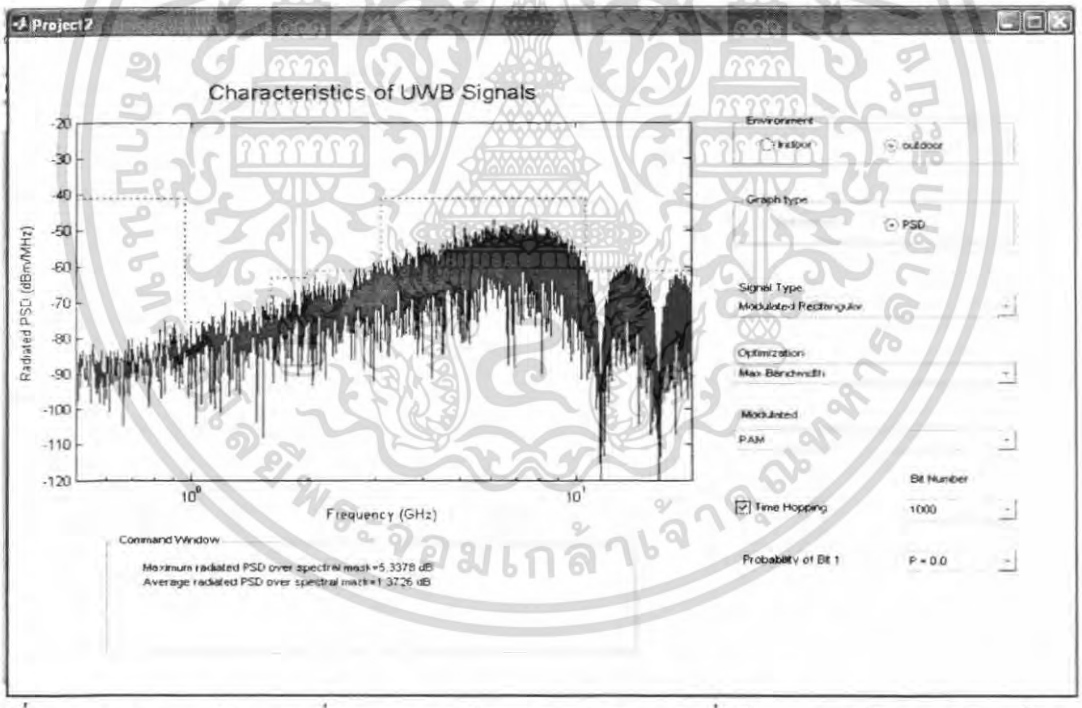


รูปที่ 5.46 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น ' 1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

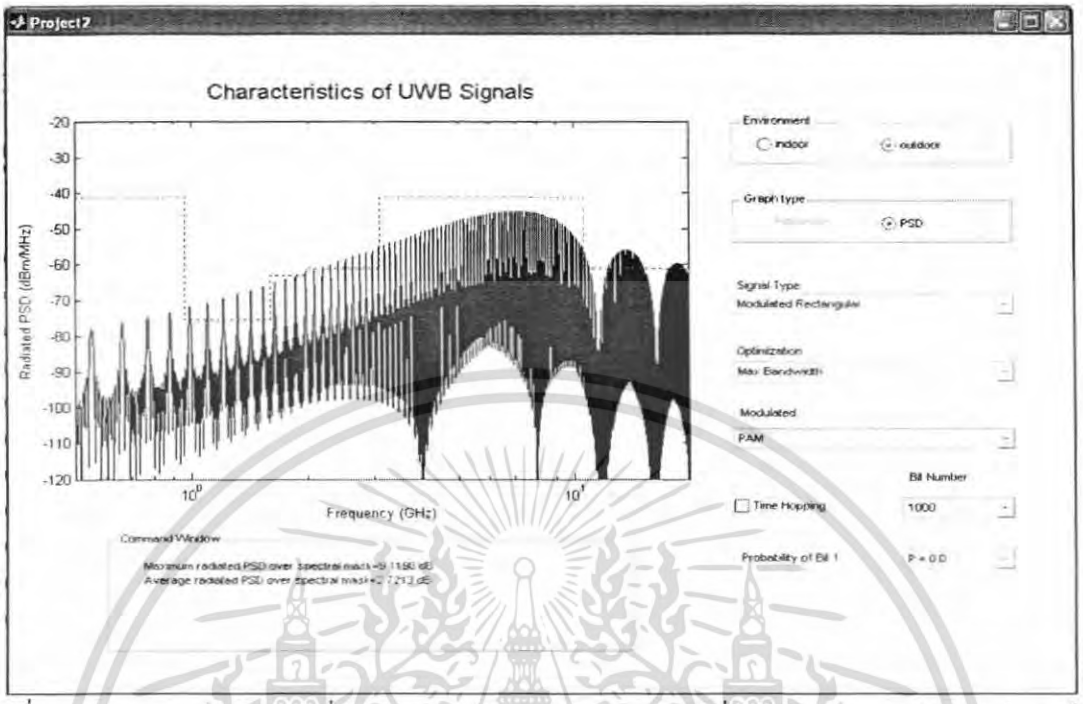
กรณีเพิ่มเติมเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างในกรณีจำนวนบิตเท่ากับ 1000 แสดงในรูปที่ 5.45 และ 5.46 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 เปรียบเทียบกับข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.45 และ 5.46 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารประมาณ 2.2136 และ 2.1768 dB ตามลำดับ

และอีกกรณีจะแสดงให้เห็นความแตกต่าง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้และไม่ใช้ TH โดยจำนวนบิตเท่ากับ 1000 ความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.47 และ 5.48 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 1.1207 และ 2.7213 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.47 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.48 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

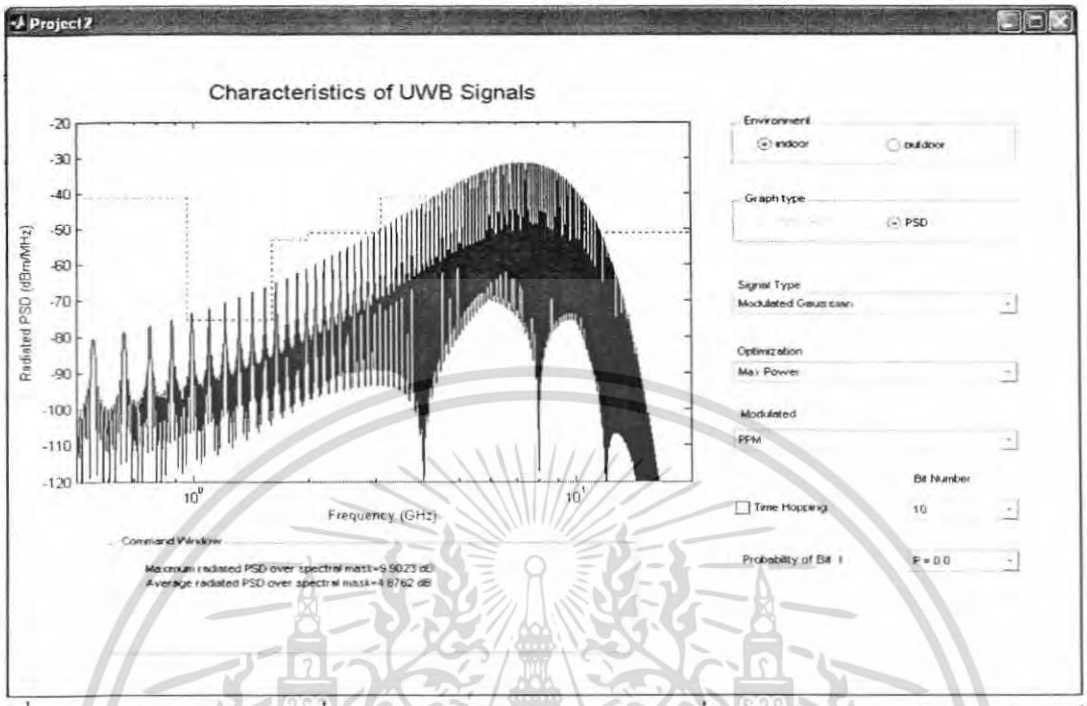
5.6 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM

สำหรับการพิจารณา PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM สามารถเลือกใช้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตหรือรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต แต่ในที่นี้ได้ยกกรณีรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC ในกรณีที่รูปคลื่นกำลังเฉลี่ยมากสุด

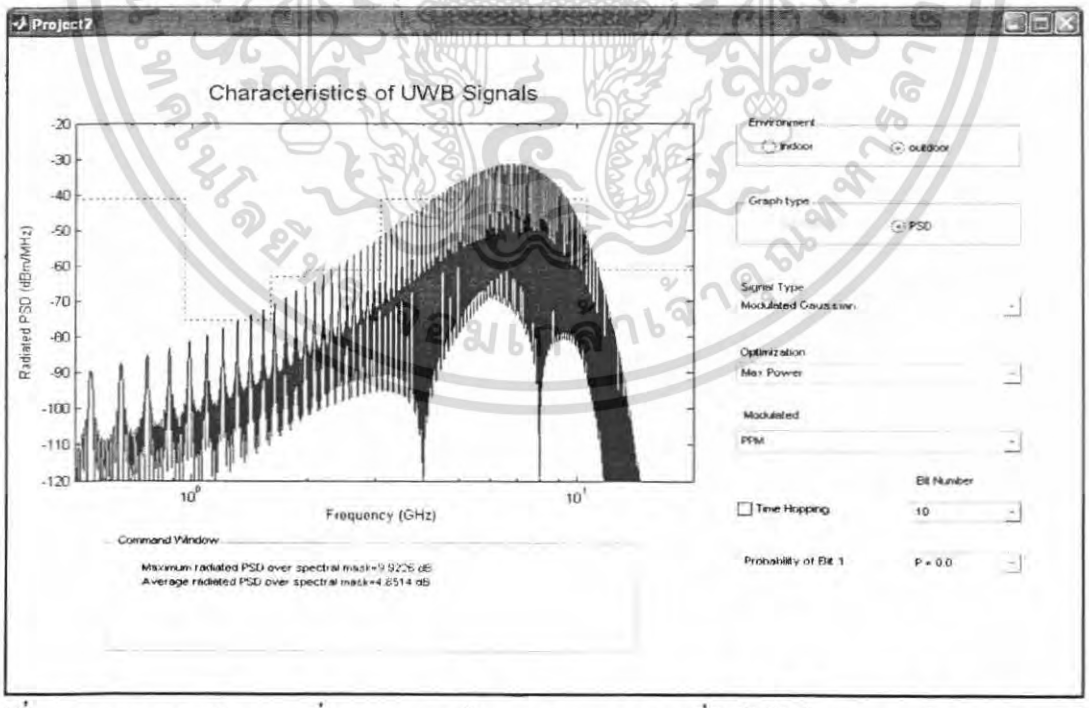
5.6.1 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH

รูปที่ 5.49 และ 5.50 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารมากสุดประมาณ 4.8762 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 4.8514 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

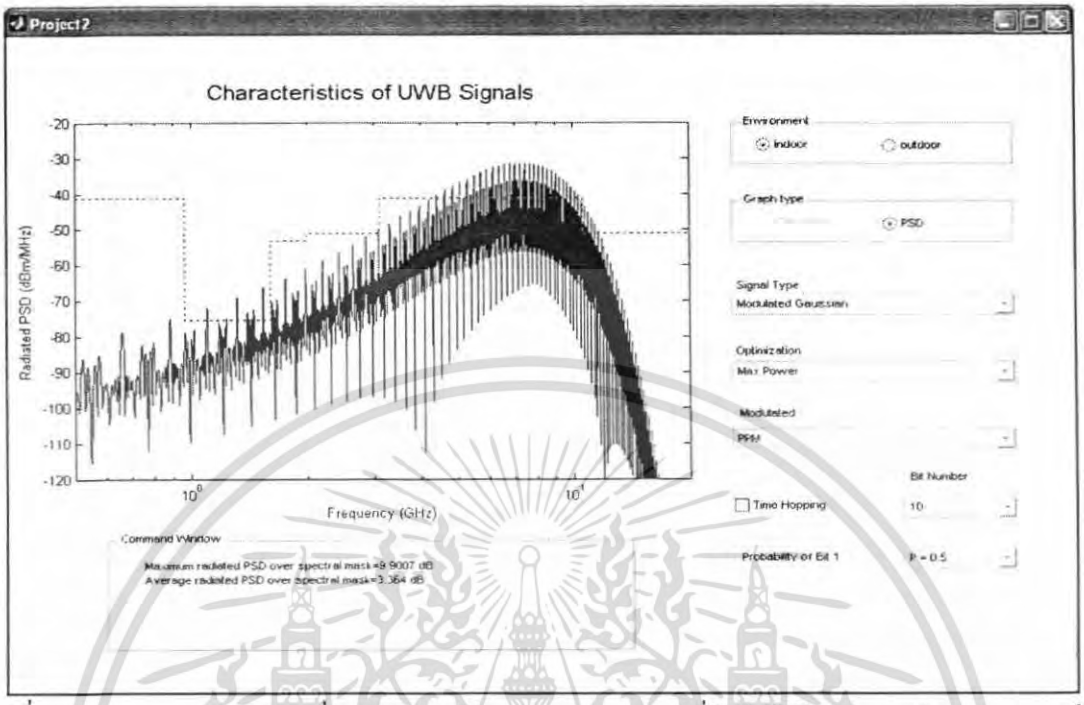


รูปที่ 5.49 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

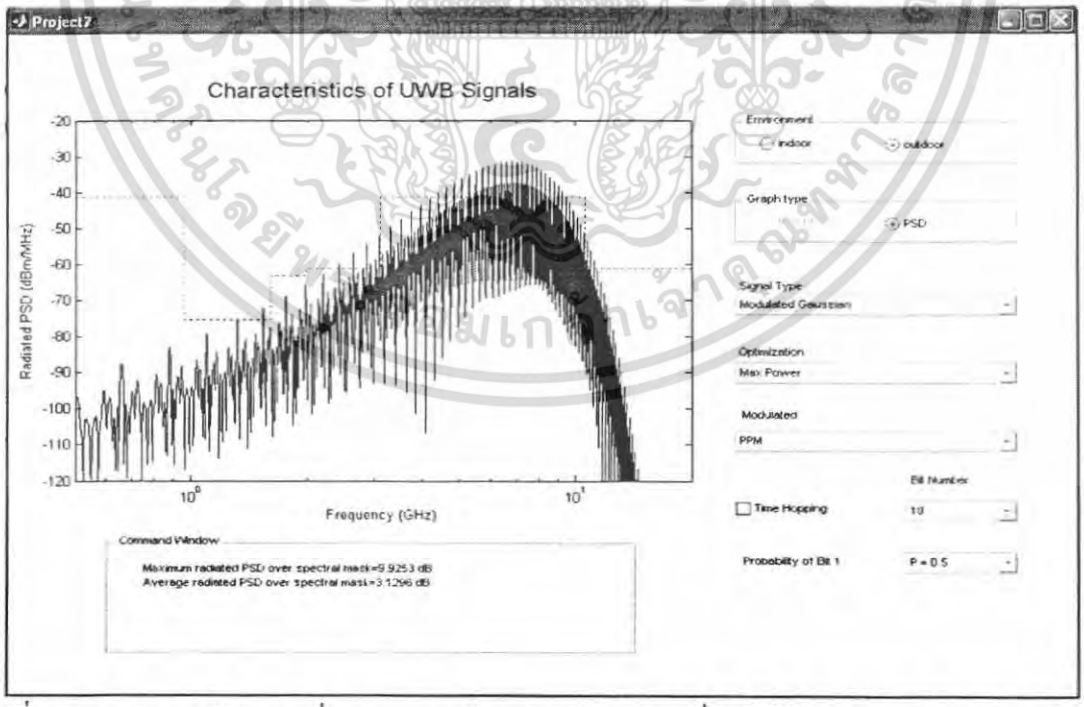


รูปที่ 5.50 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.51 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



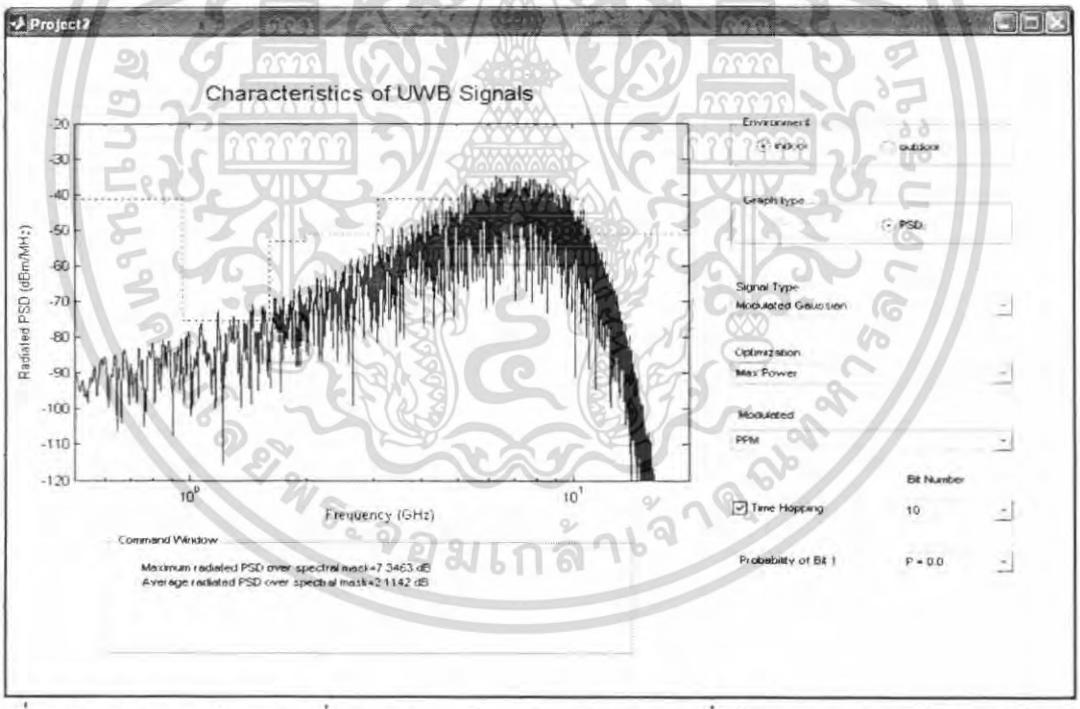
รูปที่ 5.52 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.51 และ 5.52 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ได้ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารมากสุดประมาณ 3.364 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 3.1296 dB

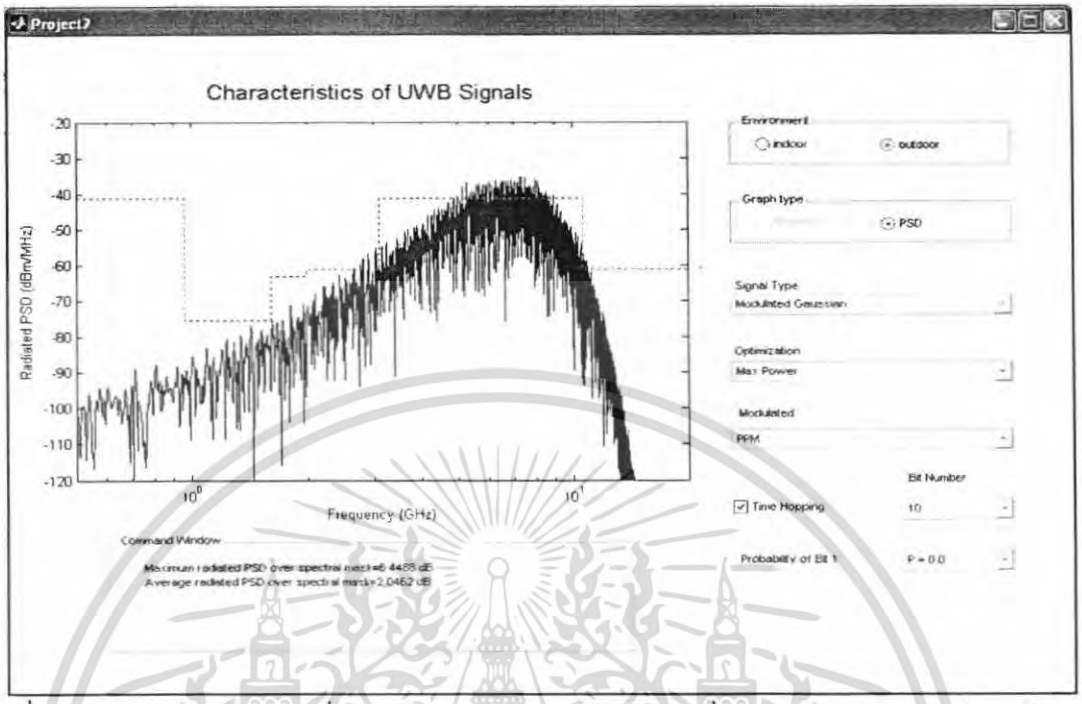
5.6.2 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH

รูปที่ 5.53 และ 5.54 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารมากสุดประมาณ 2.1142 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 2.0462 dB

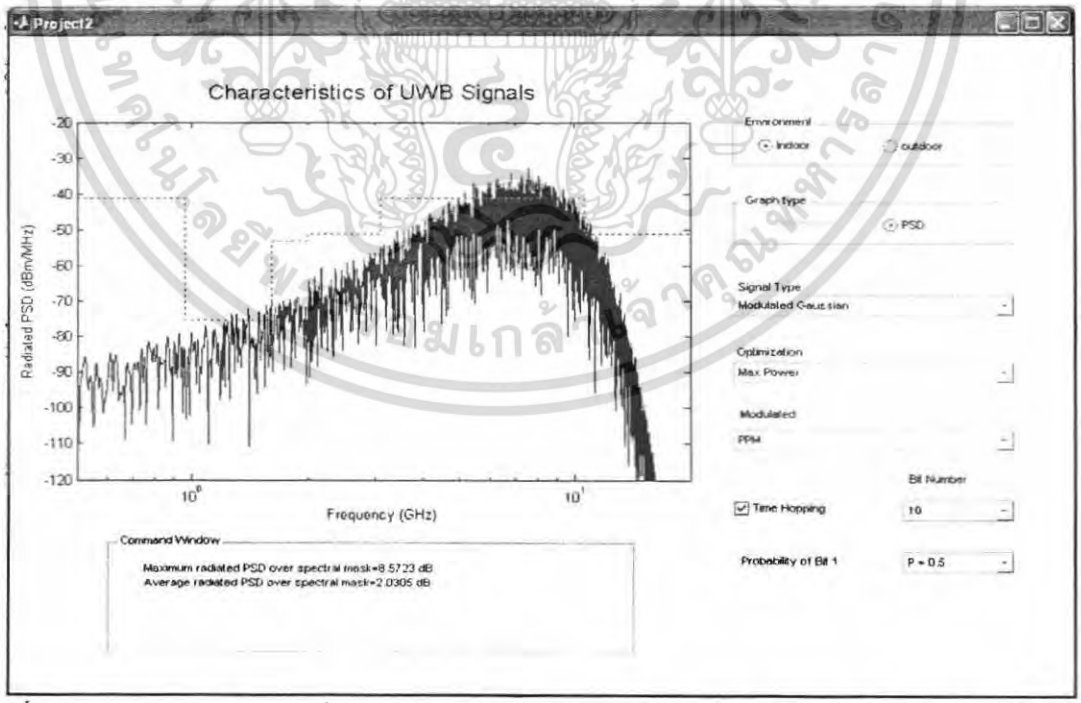


รูปที่ 5.53 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

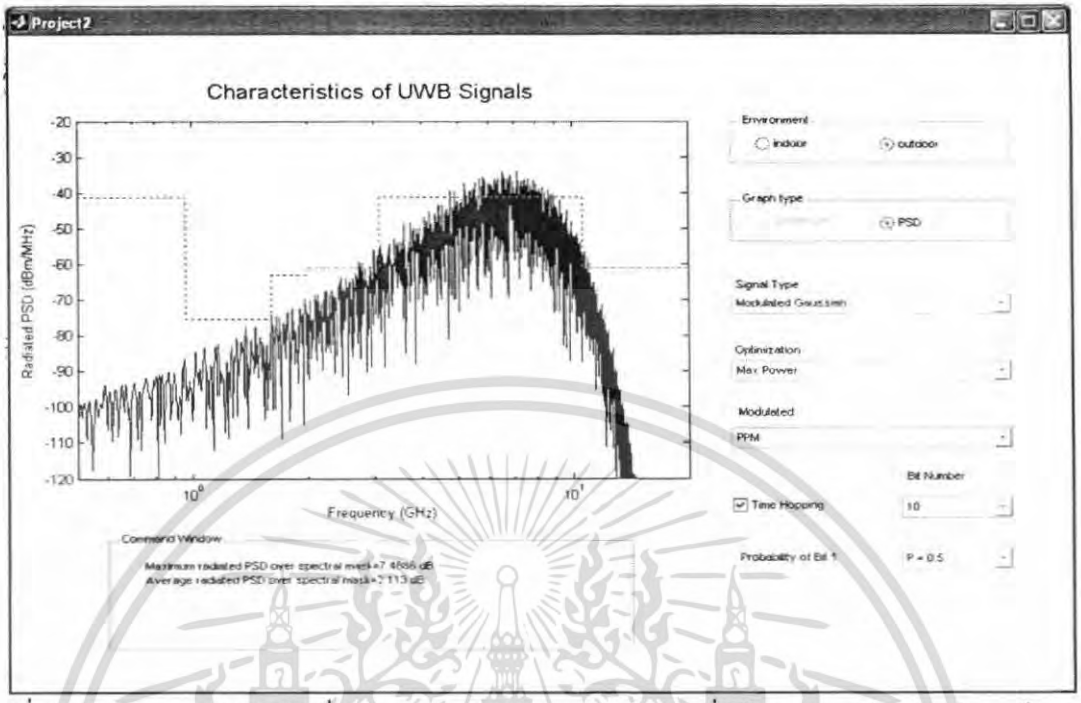


รูปที่ 5.54 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.55 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

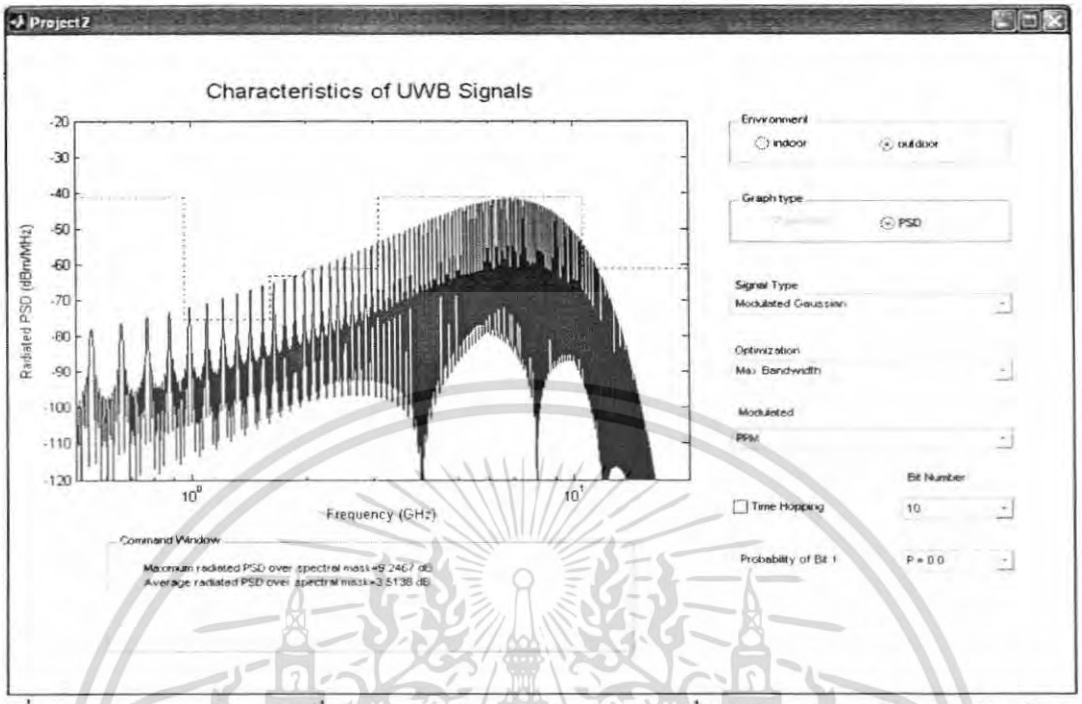


รูปที่ 5.56 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

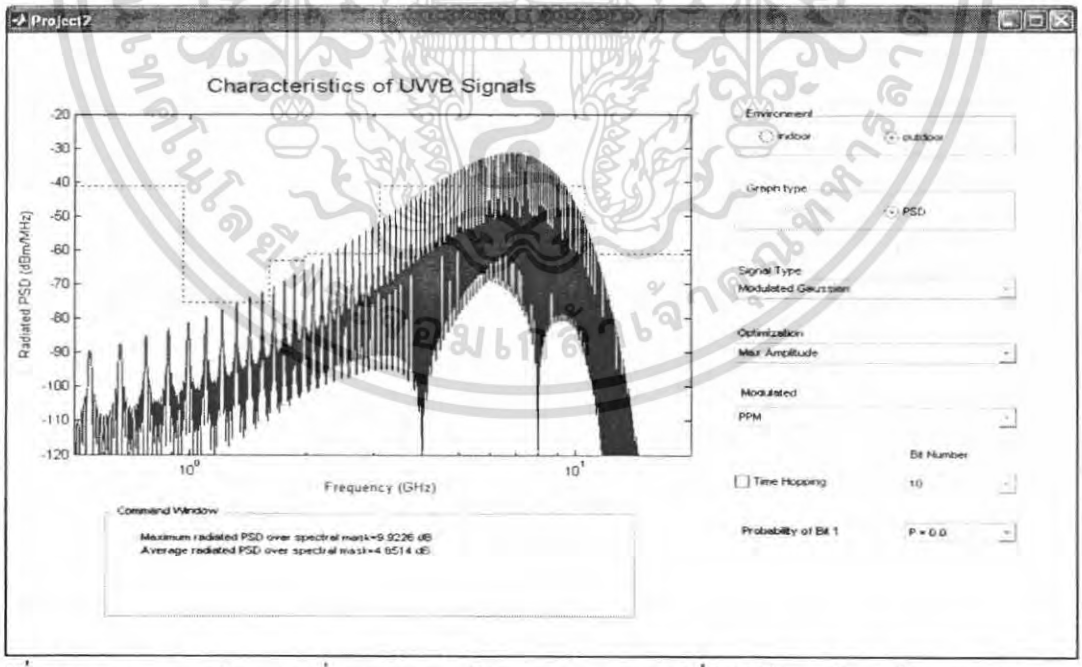
รูปที่ 5.55 และ 5.56 แสดง PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ใช้ TH และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารมากสุดประมาณ 2.0305 dB และสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารมากสุดประมาณ 2.113 dB

และกรณีเพิ่มเติมเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างในกรณีที่รูปคลื่นแบนวิทด์กว้างสุดเปรียบเทียบกับแอมพลิจูดสูงสุด มีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PSD ของสัญญาณเฉลี่ยที่เกินสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารประมาณ 3.5138 และ 4.8514 dB ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.57 และ 5.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.57 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PPM ที่ไม่ใช้ TH โดยเป็น แบนวิดท์สูงสุด และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.58 PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผนPPM ที่ไม่ใช้ TH โดยเป็นแอมพลิจูดสูงสุด และมีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้ทำการศึกษารูปคลื่นอย่างง่ายได้แก่ รูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต และ คู่สัญญาณตั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตโดยกำหนดให้เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนวิดท์กว้างที่สุด แอมพลิจูดสูงที่สุด และกำลังเฉลี่ยมากสุด อีกทั้งยังทำการศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB ที่ถูกมอดูเลตโดยพิจารณาตามแบบแผน PSM แบบแผน PAM และ แบบแผน PPM แล้วแสดงผลการเปรียบเทียบรูปกราฟในกรณีต่างๆ ดังที่แสดงด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุป

จากโครงงานนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับนิยามและข้อกำหนดพื้นฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์ PSD โดยในการศึกษาได้พิจารณาแบบแผนมอดูเลต UWB 3 แบบแผน ได้แก่ แบบแผน PSM แบบแผน PAM และแบบแผน PPM โดยที่แต่ละแบบแผนได้ศึกษาในกรณีที่ไม่ได้ใช้ และใช้ไทม์ฮอพพิง (TH) และได้กำหนดความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็นบิท '1' ให้เท่ากับ 0.0 หรือ 1.0 ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลดิจิตอลเป็นบิท '0' หรือ '1' เพียงอย่างเดียว และ 0.5 ซึ่งเป็นกรณีที่ข้อมูลดิจิตอลเป็นบิท '0' และ '1' เท่ากัน รวมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนบิทซึ่งมีผลต่อรูปคลื่น PSD ในการศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB ที่ถูกมอดูเลตด้วยแบบแผน PAM และ แบบแผน PPM สามารถใช้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตและรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในกรณีที่มี แบนวิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากสุดมาศึกษา สำหรับการศึกษา PSD ของสัญญาณ UWB ที่ใช้แบบแผน PSM จะนำเอาคู่สัญญาณดั้งฉากของรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในกรณีที่มี แบนวิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากสุดมาศึกษา โดยทำการศึกษารูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา

6.1 สรุปผลของการศึกษา PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลต

ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของFCC พิจารณาเปรียบเทียบใน 3 กรณีได้แก่ กรณีเปรียบเทียบระหว่างแบนวิดท์กว้างสุดกับแอมพลิจูดสูงสุดหรือกำลังเฉลี่ยมากสุดของ PSD ของสัญญาณส่งที่เป็นรูปคลื่นสัญญาณแบบสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ที่ไม่ได้ใช้ และใช้ TH มีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค และกำหนดจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 10 สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในตารางที่ 6.1 และ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีแบนด์วิดท์กว้างสุดของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ไม่ใช้และใช้ TH สำหรับ ข้อจำกัดภายในอาคาร

แบบแผนการมอดูเลต	ระดับ PSD สูงสุดของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)/ ระดับ PSD เฉลี่ยของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)	
	ไม่ได้ใช้ TH	ใช้ TH
PSM	9.2607/4.6561	3.9489/1.3485
PAM	9.1198/4.5966	5.9344/2.0572
PPM	9.1198/4.5966	3.2711/1.4017

ตารางที่ 6.2 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีแอมพลิจูดสูงสุดหรือกำลังเฉลี่ยมากสุดของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ไม่ใช้และใช้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

แบบแผนการมอดูเลต	ระดับ PSD สูงสุดของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)/ ระดับ PSD เฉลี่ยของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)	
	ไม่ได้ใช้ TH	ใช้ TH
PSM	9.9023/4.8762	6.6748/1.8691
PAM	9.9106/4.6415	7.5093/1.9912
PPM	9.9106/4.6415	7.9589/2.0491

กรณีเปรียบเทียบระหว่างค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 กับค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 ของ PSD ของสัญญาณส่งที่เป็นรูปคลื่นสัญญาณแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตโดยใช้แอมพลิจูดสูงสุด ที่ไม่ได้ใช้ และใช้ TH สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค และกำหนดจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 10 สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร แสดงในตารางที่ 6.3 และ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ไม่ใช้และใช้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

แบบแผนการมอดูเลต	ระดับ PSD สูงสุดของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)/ ระดับ PSD เฉลี่ยของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)	
	ไม่ได้ใช้ TH	ใช้ TH
PSM	9.9023/4.8762	7.1401/2.1304
PAM	9.9023/4.8762	7.7433/2.0524
PPM	9.9023/4.8762	7.4089/2.1054

ตารางที่ 6.4 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ไม่ใช้และใช้ TH สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

แบบแผนการมอดูเลต	ระดับ PSD สูงสุดของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)/ ระดับ PSD เฉลี่ยของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)	
	ไม่ได้ใช้ TH	ใช้ TH
PSM	9.9023/4.8746	7.8291/2.1069
PAM	2.9704/1.4256	6.7867/1.9348
PPM	9.8988/4.1231	7.3096/2.045

กรณีเปรียบเทียบระหว่างจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 10 กับ จำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 100 ของ PSD ของสัญญาณส่งที่เป็นรูปคลื่นสัญญาณแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลตโดยใช้แอมพลิจูดสูงสุด ที่ไม่ใช้และใช้ TH มีความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.0 สำหรับรูปคลื่นที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในตารางที่ 6.5 และ 6.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีจำนวนบิตมีค่าเท่ากับ 10 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ไม่ใช้และใช้ TH สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

แบบแผนการมอดูเลต	ระดับ PSD สูงสุดของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)/ ระดับ PSD เฉลี่ยของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)	
	ไม่ได้ใช้ TH	ใช้ TH
PSM	9.9226/4.8514	6.7447/1.9917
PAM	9.9226/4.8514	7.4115/2.0173
PPM	9.9226/4.8514	8.0376/2.1522

ตารางที่ 6.6 ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC ในกรณีจำนวนบิดมีค่าเท่ากับ 100 ของแต่ละแบบแผนการมอดูเลตในกรณีที่ไม่ใช้และใช้ TH สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

แบบแผนการมอดูเลต	ระดับ PSD สูงสุดของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)/ ระดับ PSD เฉลี่ยของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC (dB)	
	ไม่ได้ใช้ TH	ใช้ TH
PSM	18.1537/6.7814	8.1765/2.1536
PAM	18.7537/6.7814	8.3648/2.2051
PPM	18.7537/6.7814	8.0376/2.1522

จากตารางสามารถสรุปได้ว่ารูปคลื่นสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารมีระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC มีค่าประมาณใกล้เคียงกัน การใช้ TH สามารถลดระดับ PSD ของสัญญาณที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCCได้เป็นอย่างดีสำหรับในกรณีแบบแผน PSM และ PPM แต่สำหรับกรณีแบบแผน PAM ในกรณีที่กำหนดค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลดิจิตอลเป็น '1' เท่ากับ 0.5 จะพบว่า ระดับ PSD ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตที่ไม่ใช้ TH จะมีระดับที่เกินสเปกตรัมมาร์คของ FCC มีค่าน้อยกว่าใช้ TH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาและดำเนินโครงงานนี้

ผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปพิจารณาลดแอมพลิจูดของสัญญาณUWB ที่มีแบบแผน การมอดูเลตในแต่ละแบบได้แก่ แบบแผน PSM แบบแผน PAM และแบบแผน PPM เพื่อที่จะทำให้เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC

6.3 แนวทางในการพัฒนา

สำหรับโปรแกรมที่ทำการเขียนขึ้นสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก เช่น การใช้ชนิดของสัญญาณ หรือการใช้แบบแผนการมอดูเลตแบบอื่นที่นอกเหนือจากที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์ดังที่ผ่านมา อีกทั้งยังสามารถเพิ่มข้อจำกัดในการกำหนดจำนวนบิดให้เป็นไปตามต้องการได้ รวมไปถึงการกำหนดค่าความน่าจะเป็นให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's RuleRegarding UWB Transmission Systems," **First Report**, FCC 02-48, Apr. 2002.

K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a new technology," **2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)**, vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.

Siwiak and Kazimierz. 2004. **Ultra-wideband radio technology.** Chichester: John Wiley.

M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. 2004. **Ultra wideband signals and systems in communication engineering.** John Wiley-sons.

Patrick Marchand and O. Thomas Holland. 2003. **Graphics and GUIs with MATLAB.** 3rd ed. Chapman & Hall/CRC.

โศรฎา แข็งการ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์. **การใช้ MATLAB สำหรับงานทางวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 2

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.

P. Supanakon, P. Prommasuksakul, S. Phomwong, P. Sithiyopasukul and J. Takada, "Simple Orthogonal Waveforms Satisfied FCC Indoor and Outdoor Spectral Masks for UWB Communication," **The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006),** no. 3, pp. 261-264, 10-13 July 2006.

P. Prommasuksakul, P. Supanakon, S. Phomwong and J. Takada, "Power Spectral Density Analysis of Ultra Wideband Signal Using Pulse Shape Modulation," **The 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2007)**, no. 2, pp. 880-883, 9-12 May 2007.

P. Prommasuksakul, P. Supanakon, S. Phomwong and J. Takada, "Power Spectral Density of UWB Signal Using PSM without and with TH," **Have been published on Thammasat International Journal of Science and Technology (TIJSAT).**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้