

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

ออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณแม่แบบสำหรับเครื่องรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

DESIGN AND ANALYSIS OF TEMPLATE WAVEFORM FOR RECEIVER

ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND ANALYSIS OF TEMPLATE WAVEFORM FOR RECEIVER  
ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO

BY  
MS. TONDUEAN BUNYARAKYOTIN  
MR. THEESIT KONKAEW  
MR. NITHINAN NAKALERDKAVEE

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณแม่แบบสำหรับเครื่องรับวิทยุอิมพัลส์  
แบบแถบกว้างยิ่ง

ชื่อนักศึกษา นางสาว ดันเดือน บุญรักษ์โยธิน รหัสประจำตัว 47010258  
นาย ธิศิษฐ์ ก้อนแก้ว รหัสประจำตัว 47010347  
นาย นิธินันต์ นาคะเลิศกวี รหัสประจำตัว 47010386

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ นิกร สุขุมตันติ  
อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบ

\_\_\_\_\_  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ นิกร สุขุมตันติ)

\_\_\_\_\_  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณแม่แบบสำหรับเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุแบบอิมพัลส์ในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ดันเดือน บุญรักษาโยธิน	รหัสประจำตัว 47010258
	นาย ชีษัฐ ก้อนแก้ว	รหัสประจำตัว 47010347
	นาย นิธินันต์ นาคะเลิศกวี	รหัสประจำตัว 47010386
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ นิกร สุขุมตันติ อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2550	

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งได้เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารมากขึ้นเนื่องจากก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และนอกจากนี้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังได้กลายมาเป็นหัวข้อสำคัญในการวิจัย เนื่องจากมีต้นทุนและกำลังในการส่งต่ำ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จึงทำการวิเคราะห์อัตราขยายอัตราสัญญาณต่ออัตราบวกรวมและอัตราความผิดพลาดในบิตของการสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง โดยทำการวิเคราะห์โดยใช้สัญญาณแม่แบบในลักษณะต่างๆ กัน เพื่อหาสัญญาณแม่แบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

**Thesis Title** Design and Analysis of Template Waveform for Transmitter and Receiver Ultra Wideband Impulse Radio

**Student** Ms. Tonducan Bunyarakytin ID. 47010258  
Mr. Theesit Konkaew ID. 47010347  
Mr. Nithinan Nakalerdkavee ID. 47010386

**AdvisorProf.** Prof. Nikorn Sukutamantanti  
Prof. Sathaporn Promwong

**Graduate Level** Bachelor Degree of Information Engineering

**Department** Information Engineering

**Academic Year** 2550

## ABSTRACT

Nowadays UWB technology is widely used. It makes more efficient to communicate between electronics devices inside and outside the building. UWB technology has become to be the first topic for communication system's research because of large bandwidth, high data rate, low cost and low power.

In this research, we studied on template waveform for UWB system. We designed template waveform and evaluated SNR and BER for the most efficient template waveform that suitable for each transmission signal by simulate with computer programming.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์ นิกร สุขุมคันติ และท่านอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้ให้คำชี้แนะ ให้คำปรึกษา และให้แนวทางการวิจัยเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้ชีวิต อบรม เลี้ยงดูและให้กำลังใจในการวิจัยมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยมาถึงจุดนี้ได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาทุกคนในห้องปฏิบัติการ ระบบการสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนปริญญาณีนี้นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาสารสนเทศ ที่สนับสนุนการศึกษาการทำวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มา	I
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	4
2.3 นิยามของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	6
2.4 จุดเด่นของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	8
2.5 ระบบโครงข่ายแบบต่าง ๆ	9
2.6 ข้อจำกัดของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	11
2.7 แบบแผนการมอดูเลตของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	14
2.8 บทสรุป	17
บทที่ 3 ทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	18
3.1 บทนำ	18
3.2 ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์	18
3.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน	22
3.4 อนุพันธ์ของรีโมท์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 บทสรุป	27
บทที่ 4 วิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	29
4.1 บทนำ	29
4.2 สัญญาณส่งของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	29
4.2.1 สัญญาณส่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	29
4.2.2 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	30
4.2.3 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	32
4.2.4 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	33
4.2.5 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	35
4.2.6 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	37
4.2.7 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	38
4.2.8 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	40
4.2.9 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	41
4.2.10 สัญญาณส่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	43
4.2.11 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	44
4.2.12 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	46
4.2.13 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	47
4.2.14 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	48
4.2.15 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	50
4.2.16 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	52
4.2.17 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	53
4.2.18 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	55
4.3 ช่องสัญญาณอวกาศว่าง	56
4.4 สัญญาณรับของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	57
4.5 สัญญาณแม่แบบของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	57
4.5.1 สัญญาณส่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	57
4.5.2 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5.3 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	60
4.5.4 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	61
4.5.5 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	63
4.5.6 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	64
4.5.7 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	66
4.5.8 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	68
4.5.9 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	69
4.5.10 สัญญาณส่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	70
4.5.11 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	71
4.5.12 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	74
4.5.13 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	75
4.5.14 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	77
4.5.15 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	78
4.5.16 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	80
4.5.17 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	81
4.5.18 สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	82
4.6 เครื่องรับของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	
4.6.1 เครื่องรับแบบแมคซ์เวลล์	84
4.6.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์	85
4.7 ประสิทธิภาพการขยาย SNR	86
4.8 ประสิทธิภาพ BER	86
4.9 บทสรุป	88
<b>บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณแม่แบบในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง</b>	<b>89</b>
5.1 บทนำ	89
5.2 ผลการคำนวณวิเคราะห์ช่องสัญญาณ UWB	89
5.3 ผลการศึกษาค่า Gain ของสัญญาณ	91
5.4 ผลการศึกษาค่าประสิทธิภาพการคอร์เรชัน	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ BER	109
5.5.1 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมคซ์ฟิลเตอร์	109
5.5.2 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์	112
5.6 บทสรุป	147
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	148
6.1 สรุปผลของประสิทธิภาพ BER	148
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	152



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร	10
2.2 ประเภทของการใช้งานที่ได้รับอนุมัติโดย FCC	11
3.1 Q ฟังก์ชัน	20
3.2 Error ฟังก์ชัน	22
5.1 ค่า SNR ของเครื่องรับแบบแมคซ์ฟิลเดอร์ที่ $BER = 10^{-3}$	108
5.2 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	112
5.3 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	114
5.4 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	116
5.5 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	118
5.6 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	116
5.7 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	122
5.8 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	124
5.9 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	126
5.10 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	128
5.11 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.12 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	132
5.13 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	134
5.14 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	136
5.15 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	138
5.16 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	140
5.17 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	142
5.18 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	144
5.19 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ	146
6.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า SNR ระหว่างเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และ เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ช่วงความถี่และ PSD ของระบบการสื่อสาร UWB กับระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ	7
2.2 สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC	13
2.3 ตัวอย่างของคู่ต่งฉากที่ใช้ในแบบแผน PSM ที่ใช้แทนบิต '0' และ บิต '1' ซึ่งเป็นคู่ต่งฉากของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต	14
2.4 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PAM ที่ใช้แทนบิต '0' และบิต '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต	15
2.5 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PPM ที่ใช้แทนบิต '0' และบิต '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต	16
3.1 ฟังก์ชันความเป็นไปได้ของเกาส์เซียน พื้นที่แรงจางเป็นส่วนของ $Pr(X \geq X_0)$ สำหรับการสุ่มค่าของเกาส์เซียน	18
3.2 ฟังก์ชัน Q	22
4.1 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนเวลา	30
4.2 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ใน โดเมนความถี่	30
4.3 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	31
4.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	3
4.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนเวลา	32
4.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่	32
4.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	33
4.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	34
4.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	35
4.10 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	35
4.11 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนเวลา	36
4.12 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	37
4.13 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	38
4.14 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	38
4.15 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	39
4.16 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	41
4.18 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	41
4.19 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	42
4.20 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	43
4.21 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	44
4.22 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	44
4.23 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	45
4.24 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	46
4.25 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	47
4.26 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	47
4.27 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	48
4.28 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	49
4.29 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	50
4.30 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	50
4.31 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	51
4.32 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	52
4.33 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	53
4.34 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	53
4.35 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนเวลา	54
4.36 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์ในโดเมนความถี่	55
4.37 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนเวลา	57
4.38 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนความถี่	57
4.39 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	58
4.40 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	59
4.41 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	60
4.42 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	60
4.43 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	61
4.44 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.45 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	63
4.46 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	63
4.47 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	64
4.48 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	65
4.49 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	66
4.50 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	66
4.51 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	67
4.52 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	68
4.53 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	69
4.54 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่	69
4.55 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	70
4.56 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	71
4.57 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	72
4.58 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	72
4.59 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	73
4.60 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	74
4.61 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	75
4.62 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	75
4.63 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	76
4.64 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	77
4.65 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	78
4.66 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	78
4.67 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	79
4.68 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	80
4.69 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	81
4.70 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	81
4.71 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา	82
4.72 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอากาศที่ระยะทาง 5 m	89
5.2 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอากาศที่ระยะทาง 5 m	89
5.3 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	90
5.4 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	90
5.5 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	91
5.6 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	91
5.7 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	92
5.8 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็น	92
5.9 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	93
5.10 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	93
5.11 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์	94
5.12 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	94
5.13 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นเซอร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเซอร์ไมท์	95
5.14 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นเซอร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเซอร์ไมท์	95
5.15 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นเซอร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเซอร์ไมท์	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.30 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน เมื่อใช้สัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณ อนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	103
5.31 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของคลื่นเฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	104
5.32 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของคลื่น เฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่น เฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	104
5.33 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของคลื่น เฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่น เฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	105
5.34 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของคลื่นเฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	105
5.35 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของคลื่นเฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	106
5.36 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของคลื่นเฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	106
5.37 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของคลื่นเฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	107
5.38 ค่าประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของคลื่นเฮอริไมท์ในการ ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ	107
5.39 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเกาส์	109
5.40 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	110
5.41 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณ รูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณ รูปคลื่นแบบเกาส์	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.42 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	114
5.43 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	116
5.44 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	118
5.45 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	120
5.46 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	122
5.47 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	124
5.48 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	126
5.49 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	128
5.50 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	130 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.51 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	132
5.52 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	134
5.53 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	136
5.54 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	138
5.55 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	141
5.56 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	143
5.57 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	145
6.1 แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเกาส์	148
6.2 แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเกาส์ และใช้สัญญาณที่ส่งมาเป็นสัญญาณแม่แบบ	149
6.3 แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	149
6.4 แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ และใช้สัญญาณที่ส่งมาเป็นสัญญาณแม่แบบ	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวคิดและที่มา

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารมากขึ้นเนื่องจากก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคาร ภายในสำนักงาน หรือ รวมถึงภายในบ้านด้วย เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนั้นต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายให้สอดคล้องกับความต้องการนี้ ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband: UWB) ก็เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อตอบสนองความต้องการนี้

เทคโนโลยี UWB ได้กลายมาเป็นหัวข้อสำคัญในการวิจัย เนื่องจากระบบ UWB ใช้ต้นทุนและใช้กำลังงานในการส่งค่า การสื่อสาร UWB มีความแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารความถี่คลื่นวิทยุ (RF) อื่น ๆ อยู่ 2 ประการหลัก ๆ โดยประการแรกนั้นคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้กำหนดให้การสื่อสาร UWB มีช่วงสเปกตรัมความถี่จาก 3.1 GHz. ถึง 10.6 GHz. และมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz. ซึ่งมากกว่าแบนด์วิดท์ของเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และประการที่สองคือ การส่งสัญญาณของการสื่อสาร UWB จะส่งเป็นพัลส์ของความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectrum Density: PSD) ที่ช่วงเวลาแคบมาก ๆ โดยมีความถี่อยู่ในช่วงสเปกตรัมของความถี่ที่กว้างมาก แทนการใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณกับคลื่นพาห์เหมือนกับเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแบบอื่น ๆ โดยพัลส์ของสัญญาณ UWB นี้จะถูกพิจารณาเป็นสัญญาณรบกวนสำหรับระบบการสื่อสารอื่น ๆ แต่เนื่องจากมี PSD ที่น้อยกว่าระดับของสัญญาณรบกวน ดังนั้น สัญญาณ UWB จึงสามารถใช้งานความถี่ร่วมกับระบบวิทยุอื่น ๆ ได้ เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดต่อระบบวิทยุอื่น ๆ

ระบบการสื่อสารต่าง ๆ รวมทั้งการสื่อสาร UWB ประสิทธิภาพของการสื่อสารระบบนั้น ๆ ถือว่ามีความสำคัญมากซึ่งองค์ประกอบในการสื่อสารที่สำคัญส่วนหนึ่ง คือ ประสิทธิภาพของเครื่องรับที่ใช้ในระบบการสื่อสาร ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพอัตราขยายอัตราสัญญาณต่ออัตรารบกวน (SNR) และอัตราความผิดพลาดในบิต (BER) ของการสื่อสาร UWB

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยี UWB
- 1.2.2 เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.2.3 เพื่อหารูปแบบของสัญญาณต้นแบบที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยี UWB
- 1.2.4 เพื่อประสิทธิภาพของเทคโนโลยี UWB

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาเทคโนโลยี UWB และการนำไปประยุกต์ใช้
- 1.3.2 ออกแบบสัญญาณแม่แบบสำหรับเทคโนโลยี UWB
- 1.3.3 ทำการจำลองระบบ UWB ที่ใช้สัญญาณแม่แบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.3.4 ออกแบบรูปแบบสัญญาณ UWB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบ UWB
- 1.3.5 แสดงผลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ UWB ที่ใช้สัญญาณแม่แบบ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยี UWB
- 1.4.2 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี UWB ในอนาคตต่อไป

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษออกเป็น 5 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบการสื่อสาร UWB ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ นิยามของ UWB ความเป็นมาของการสื่อสาร UWB ข้อกำหนดของการสื่อสาร UWB แบบแผนการมอดูเลต UWB และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสื่อสาร UWB สัญญาณส่ง UWB ช่องสัญญาณ UWB สัญญาณแม่แบบ สัญญาณรับ UWB เครื่องรับ UWB ประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ประสิทธิภาพ BER และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการคำนวณวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบต่างๆของการสื่อสาร UWB โดยใช้สัญญาณแม่แบบในลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ผลการคำนวณวิเคราะห์ประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ผลการคำนวณวิเคราะห์ประสิทธิภาพ BER และบทสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 กล่าวถึงผลสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ ซึ่งประกอบไปด้วยสรุปผลของประสิทธิภาพ อัตราการขยาย SNR สรุปผลของประสิทธิภาพ BER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

#### 2.1 บทนำ

UWB เป็นลักษณะหนึ่งของคลื่นวิทยุที่มีแบนวิดท์ (Bandwidth) ของสเปกตรัมมากกว่า 25% ของความถี่ศูนย์กลางที่ใช้หรือมี แบนวิดท์มากกว่า 500 MHz

UWB ใช้วิธีสร้างพัลส์ที่มีช่วงความถี่สั้นมากซึ่งจะเป็นตัวนำข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ โดยความถี่ที่ใช้อยู่ระหว่างช่วง 3.1 – 10.6 GHz และมีความกว้างพัลส์ประมาณ 50-100 ps ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงแคบจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีขนาดกว้างและมีความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังที่ต่ำเมื่อเมื่อใช้อัตราเร็วของการสื่อสารที่พอเหมาะด้วยเหตุนี้จึงไม่เกิดการรบกวนกับระบบอื่นๆที่ใช้ในย่านความถี่นั้นๆ อัตราเร็วของพัลส์นั้นจะถูกกำหนดโดยปัจจัยอื่นต่างๆในการประยุกต์การใช้งานต่างๆ นั้นแต่ละพัลส์จะมีข้อมูลอยู่ 1 บิต ในส่วนอัตราเร็วในการส่งข้อมูลนั้นจะมีมากถึง 500 Mb/s โดยที่เครื่องส่งยังมีค่า Duty cycle ที่ต่ำอยู่ จึงทำให้เครื่องส่งสามารถทำงานในเวลาและบริเวณเดียวกันได้โดยเกิดการรบกวนในระดับที่ยอมรับได้

พัลส์ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ขึ้นมา อันดับแรกคือ สเปกตรัมที่ใช้งานนั้นจะมีความกว้างมากและค่าสูงสุดของความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังอาจจะไปรบกวนกับระบบที่ใช้แบนด์แคบได้

เทคโนโลยี UWB เป็นที่รู้จักกันดีในด้านการใช้งานทางการสื่อสารและเรดาร์เนื่องจากการมีความต้านทานต่อผลกระทบจากคลื่นหลายวิถี (Multipath) , มีค่าทราฟฟิค (Throughput) สูง , มีความแม่นยำในด้านระยะทาง นอกจากนี้มีโอกาสน้อยที่จะถูกขวางกั้นและตรวจจับได้ ( Low probability of intercept and detection , PLI/D )

#### 2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

จุดกำเนิดของ UWB ได้เกิดมาจากการทำงานในโดเมน (Time Domain) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เริ่มขึ้นในปี 1962 เพื่อใช้อธิบายคุณสมบัติของเครือข่ายไมโครเวฟ ผ่านทางคุณลักษณะพิเศษในการตอบสนองอิมพัลส์ซึ่งมีหลักการที่ง่าย ระบบทอโมอินวาเรียน (time-invariant : LTI) เป็นระบบที่จะขจัดค่าเฉลี่ยปกติของขอบเขตของการตอบสนองความถี่ (แอมพลิจูดและการวัดเฟสต่อความถี่) ระบบ LTI ได้ให้ทางเลือกใหม่ในการอธิบายโดยใช้การตอบสนองต่อการกระตุ้น โดยอิมพัลส์ เรียกว่า impulse response  $h(t)$  โดยรายละเอียดของเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$y(t)$  เช่นนั้นแล้วระบบ อินพุต  $x(t)$  จะทำการตัดสินใจโดยใช้หลักการของ convolution integral ดังสมการ

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(u)x(t-u)du \quad (2.1)$$

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาขึ้นของเทคนิคสำหรับเครื่องกำเนิดพัลส์สัญญาณ sub nanosecond (base band) เพื่อสร้างการกระตุ้นอิมพัลส์โดยปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้สามารถทำการวัดและตรวจสอบค่าของการตอบสนองต่ออิมพัลส์ในระบบไมโครเวฟได้

เทคนิคการวัดค่าอิมพัลส์ได้ถูกประยุกต์มาเพื่อที่จะออกแบบ Wideband เครื่องมือของเสาอากาศที่ใช้ในการกระจายสัญญาณ เป็นสาเหตุที่ทำให้พัลส์เรดาร์ (Pulse Radar) และระบบการติดต่อสื่อสารสามารถพัฒนาได้ด้วยอุปกรณ์ชุดเดียวกัน ขณะที่ Sperry Research Center ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์วิจัยสเปอริ (Sperry Rand Corporation Ross) ได้ทำการประยุกต์เทคนิคเหล่านี้ลงในโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ภายในเรดาร์และการติดต่อสื่อสาร ซึ่งการประดิษฐ์เครื่องรับพัลส์ที่มีขนาดแคบและมีความสูงนี้ได้ช่วยส่งเสริมให้ระบบมีการพัฒนาที่รวดเร็วยิ่งขึ้นจากนั้น ในปี 1973 ศูนย์วิจัยสเปอริ ก็ได้รับการตัดสินใจให้เป็นผู้จดสิทธิบัตรการสื่อสารแบบ Ultra Wideband เป็นรายแรก

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 80 เทคโนโลยีนี้ได้รับการอ้างอิงในนามของ “เบสแบนด์ (Base band)”, “carrier-free” หรือ “อิมพัลส์” ส่วนคำว่า Ultra Wideband นั้น ที่จริงแล้วเพิ่งเริ่มมีการใช้เมื่อประมาณปี 1989 โดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา ซึ่งในช่วงระยะเวลานั้นทฤษฎี, เทคนิค และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กับ UWB ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากแล้ว โดยในปี 1983 ศูนย์วิจัยสเปอริ ได้จดสิทธิบัตรไปแล้วมากกว่า 50 ใบ ในขอบเขตที่ครอบคลุมไปถึงการสร้างพัลส์และวิธีการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การติดต่อสื่อสาร, เรดาร์, ระบบกันชนรถยนต์, ระบบค้นหาตำแหน่ง และการวัดความสูงของของเหลว เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้ มีสิทธิบัตรจำนวนมากกว่า 100 ฉบับ, รายงานการวิจัยต่าง ๆ, หนังสือ และเอกสารอ้างอิงเกี่ยวกับเทคโนโลยีของ UWB ไร้มากมาย ซึ่งถูกรวบรวมไว้โดย ดร.โรเบิร์ต เฟลมมิ่ง (Dr. Robert Fleming) ของบริษัท AEther Wire & Location, Inc. โดยสามารถค้นหาข้อมูลเหล่านี้ได้จากเว็บไซต์ ซึ่งจะมีทั้งบทคัดย่อต่าง ๆ โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลการวิจัยต่าง ๆ ไว้จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี UWB ย้อนหลังไปในช่วง 38 ปีที่ผ่านมา

จากการตระหนักถึงความสำคัญของ Low probability of Intercept and Detection (LPI/D) ของระบบสื่อสารรอส (Ross) จึงได้ร่วมมือกับ โรเบิร์ต ฟอนตানা (Robert Fontana) พัฒนา LPI/D ขึ้น โดยได้รับเงินทุนจากรัฐบาลจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกาในปี 1986 และโครงการนี้ได้สิ้นสุดลงในปี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1987 แครอสและฟอนตานายังคงทำงานวิจัยเรื่องระบบการสื่อสารและเรดาร์ต่อไปอีกเป็นเวลากว่า 11 ปี ในสหรัฐอเมริกาช่วงก่อนปี 1994 งานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ UWB โคนเฉพาะอย่างยิ่งการติดต่อสื่อสารโดยใช้อิมพัลส์จะถูกดำเนินการภายใต้การควบคุมของรัฐบาลแต่หลังจากนั้นก็ได้มีการงานวิจัยจำนวนมากที่ปฏิบัติโดยปราศจากข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยี UWB นั้นเป็นไปอย่างแพร่หลายและมีความรวดเร็วมาก

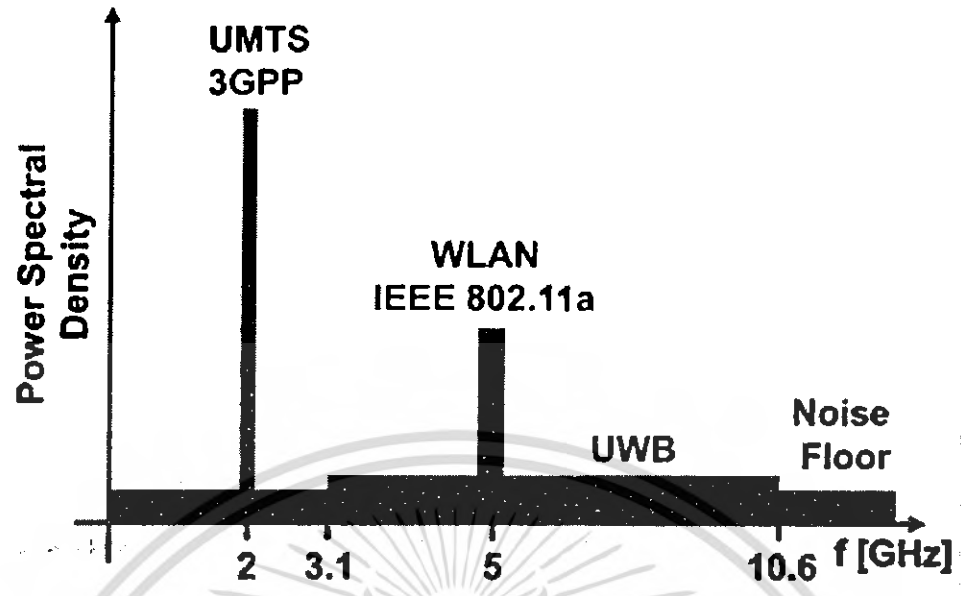
ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิตซ์ตัดต่อความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อสาร UWB ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารแบบต่างๆ มากขึ้น โดย การสื่อสาร UWB นั้นนับว่าเป็นวิวัฒนาการของการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย เนื่องจากสัญญาณ UWB มีกำลังที่ต่ำกว่าระดับสัญญาณ RF อื่นๆ จึงสามารถใช้เทคโนโลยี UWB ร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสาร RF อื่นๆ ได้

### 2.3 นิยามของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยี UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่ส่งสัญญาณเป็นพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์แคบมาก โดยมีหน่วยเป็น ns หรือน้อยกว่านั้น ซึ่งส่งผลให้เป็นเทคโนโลยีที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก สามารถส่งข้อมูลโดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่มากกว่า 100 Mbps ในขณะที่เดียวกันเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB นั้นมีการใช้กำลังส่งที่แปรผันกับอัตราการส่งข้อมูล กล่าวคือ เทคโนโลยี UWB นี้มีการใช้กำลังของสัญญาณที่ต่ำมาก ๆ ดังนั้น เมื่อทำการส่งสัญญาณในช่วงความถี่ของ UWB ที่กำหนดโดย FCC สัญญาณ UWB จะไม่ไปรบกวนสัญญาณของการสื่อสาร RF อื่น ๆ จึงสามารถใช้เทคโนโลยี UWB ร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสาร RF อื่น ๆ ได้

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB นี้ มีการใช้ความถี่ช่วงเดียวกับระบบสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ และเพื่อป้องกันปัญหาการแทรกสอดจากสัญญาณ UWB ทาง FCC จึงได้กำหนดช่วงความถี่ของเทคโนโลยี UWB ให้มีความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz. ถึง 10.6 GHz. โดยแบนด์วิดท์สูงสุดเท่ากับ 7.5 GHz. และจากการป้องกันปัญหาการรบกวนหรือการแทรกสอดจากสัญญาณ UWB ต่อสัญญาณ RF ในย่านความถี่เดียวกัน ทาง FCC จึงได้กำหนดให้สัญญาณ UWB ที่ถูกส่งออกมาต้องมี PSD ต่ำกว่าระดับการจำกัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15 หรือ  $-41.3 \text{ dBm/MHz}$ . ซึ่งเป็นระดับ PSD ของสัญญาณรบกวน โดยรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงช่วงความถี่และ PSD ของระบบ UWB

สัญญาณของระบบ UWB จะเป็นสัญญาณพัลส์ โดยเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาดประมาณ 0.4 ns จึงทำให้ มี PSD ที่กว้างมาก



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบ PSD ของระบบการสื่อสาร UWB กับระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ

เทคโนโลยีการสื่อสาร UWB เป็นการสื่อสารที่มีความแตกต่างจากระบบการสื่อสาร RF แบบทั่วไป โดยมีความแตกต่าง ที่เป็นส่วนหลัง ๆ คือ ในการสื่อสาร RF แบบทั่วไปนั้น เมื่อมีการส่งข้อมูลข่าวสารต้องมีคลื่นพาห์เพื่อนำพาข่าวสาร ดังนั้นด้านที่ส่งจึงจำเป็นต้องมีการมอดูเลตทางความถี่ของสัญญาณ แต่ในการสื่อสาร UWB นี้มีการส่งข้อมูลข่าวสารในลักษณะของพัลส์ที่มีแคบมาก ๆ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการมอดูเลตและดีมอดูเลตทางความถี่ ส่งผลให้เทคโนโลยีการสื่อสาร UWB มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแถบแคบ และนอกจากนี้ ความกว้างของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการเข้าครอบครองในระบบสื่อสาร UWB ได้ถูกกำหนดโดย FCC ซึ่งได้กำหนดให้สัญญาณ UWB ต้องมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz. โดยแบนด์วิดท์  $f_b$  หาได้จาก

$$f_b = f_H - f_L \tag{2.2}$$

เมื่อ  $f_H$  คือความถี่สูงสุด และ  $f_L$  คือความถี่ต่ำสุด ของสัญญาณ UWB โดยความถี่สูงสุดและต่ำสุดของแถบความถี่นี้ ได้พิจารณาที่ค่าแรงที่ระดับสูงสุดลงมา 10 dB

นอกเหนือจากแบนด์วิดท์ที่มีใช้ในการเข้าครอบครอง ทาง FCC ยังได้กำหนดแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบ UWB เข้ามาด้วย โดยกำหนดสัญญาณ UWB ต้องมีการใช้แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ซึ่งแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน  $f_r$  นี้สามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_f = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.3)$$

## 2.4 จุดเด่นของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึง อิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-Pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอซอซด์ (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrierless) แถบกว้าง ขวดยิ่ง (Super Wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเฟอเมออย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp) และ พัลส์ แบบโมโน (Mono-Pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบสื่อสาร อาทิเช่น

### 2.4.1 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและต้นทุนต่ำของระบบ UWB เกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base Band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยที่ เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่ง สามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไป และในส่วนของ การรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับ คลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณ ไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่ง สัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ที่สูงขึ้น (Up-Conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง(Down- Conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local Oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบ UWB ด้วยเช่นกัน ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

### 2.4.2 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo-Random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณ UWB มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหา สัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณ UWB นั้นไม่ก่อให้เกิด ผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณรบกวนของ สัญญาณ UWB นั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณ UWB นี้คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

### 2.4.3 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิธและรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการ ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวน ผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนมากกว่าระบบทั่วไป และเนื่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้ผลจากคลื่นหลายวิธีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก ซึ่งถ้ารวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณ UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิธีที่รุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

#### 2.4.4 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ใน ระบบติดตาม (Tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบ UWB ยังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกรหัส (Global Positioning System : GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณ UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในการสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

#### 2.5 ระบบโครงข่ายแบบต่าง ๆ

การหาเส้นทางเดินของข้อมูลบนระบบเครือข่ายจะถูกกำหนดขึ้นมาโดยประเภทของเครือข่าย และซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้ควบคุมซึ่งจะต้องมีโปรแกรมทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทาง Routing (การค้นหาเส้นทาง) ซึ่งการค้นหาเส้นทางนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การค้นหาที่โหนดศูนย์กลางและการค้นหาที่ตัวโหนดเอง ส่วนใหญ่แล้วข้อมูลเส้นทางจะถูกเก็บไว้ในตารางเส้นทาง ซึ่งจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับที่อยู่ และเส้นทางที่จะไปโหนดนั้น ๆ รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ เช่น เส้นทางที่เลือกในกรณีที่เส้นทางหลักใช้งานไม่ได้ ความเร็วในการส่งข้อมูลของเส้นทางเชื่อม (Path) ระหว่างโหนดต่าง ๆ

ในการค้นหาจากโหนดศูนย์กลาง (Centralized routing) จะกำหนดให้โหนดหนึ่งทำหน้าที่ในการเลือกเส้นทางเดินข้อมูล(ทำหน้าที่เป็น Network routing manager) และสำหรับโหนดที่เหลือจะรายงานข่าวเกี่ยวกับสถานการณ์ทำงานของตัวเอง เช่น ปริมาณข้อมูลที่ได้รับมา ปริมาณข้อมูลที่ส่งออกเป็นระยะ ๆ ดังนั้นจึงทำให้ โหนดศูนย์กลางนั้นทราบว่ามีส่วนใดในระบบมีการใช้งานมากเกินไป หรือน้อยเกินไปหรือเปล่า สำหรับข้อเสียของวิธีนี้ขึ้นตรงที่ถ้าตำแหน่ง (สถานที่ ๆ คิดตั้งใช้งานจริง) ของโหนดศูนย์กลางไม่อยู่ตรงกลางระบบแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทาง และสถานการณ์ทำงานที่อยู่อีกฟากหนึ่ง จะต้องใช้เวลาพอสมควรในการรายงานผล ซึ่งระยะเวลาที่ช้าเกินไปนี้จะทำให้ข้อมูลในตารางไม่สอดคล้องกับความจริงที่เกิดขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และอีกอย่างหนึ่ง ถ้าโหนดศูนย์กลางเสียหรือใช้งานไม่ได้ โหนดอื่นๆ ในระบบจะไม่สามารถค้นหาเส้นทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอีกวิธีหนึ่งคือ การค้นหาเส้นทางที่ตัวโหนดเอง (Distributed Routing) จะมีการกำหนดให้แต่ละโหนด จัดการเก็บตารางเส้นทางไว้เสียที่ตัวเองซึ่งแต่ละโหนดนั้นมีหน้าที่ส่งข้อมูลสถานการณ์ทำงานแบบเดียวกับวิธีศูนย์กลางไปยังโหนดข้างเคียงของตัวเองทุกโหนด เนื่องจากจำนวนโหนดข้างเคียงนั้นมีจำนวนอยู่ไม่มากนักทำให้ แต่ละโหนดสามารถปรับปรุงข้อมูลให้มีความทันสมัยได้อยู่ตลอดเวลา ประกอบกับเวลาเกิดปัญหาที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการค้นหาเส้นทางของโหนดอื่น

นอกจากในการค้นหาเส้นทางเดินของข้อมูลแล้วนั้นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายซึ่งมีอยู่สิ่งหนึ่งที่ถือว่าจำเป็นสำหรับการกำหนดประเภทของระบบเครือข่าย คือ การพิจารณาระบบทางการสื่อสารระหว่างผู้ส่งข้อมูลและผู้รับข้อมูล ซึ่งแบ่งออกได้หลายประเภทดังนี้

### 2.5.1 LAN : Local Area Network

หมายถึง เครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เป็นกลุ่มของผู้ใช้เล็ก ๆ กลุ่มหนึ่ง ปกติแล้วจะเป็นเครือข่ายที่มีขอบเขตอยู่ในอาคารเดียวกัน หรือกลุ่มอาคารที่ติดกัน สำหรับระยะทางไม่น่าจะเกิน 2-3 กิโลเมตร สำหรับ LAN นั้นจะถูกจำกัดด้วยขนาด ซึ่งคือจำนวน เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันนั้นจะสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลล่วงหน้า และใกล้เคียงกับความจริงมากสำหรับ Topology ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลนั้น โดยปกติเป็นเพียงสายเคเบิลเพียงเส้นเดียว ซึ่งจะเชื่อมต่อระบบเข้าไว้ด้วยกัน มีความเร็วอยู่ 10 Mbps หรือ 100 Mbps

### 2.5.2 MAN : Metropolitan Area Network

โดยพื้นฐานแล้ว MAN จะมีลักษณะคล้ายกับ LAN เพียงแต่ต่างกันที่ว่ามีความใหญ่กว่าเท่านั้นเอง ซึ่งการเชื่อมต่อระบบแบบวิธีนี้อาจจะเชื่อมต่อการสื่อสารของสาขาหลาย ๆ แห่งที่อยู่ภายในเขตเมืองเดียวกัน หรืออาจจะครอบคลุมหลายเมืองที่อยู่ใกล้กัน ทั้งนี้ระบบ MAN มีขีดความสามารถในการให้บริการรับส่งข้อมูล และโทรศัพท์ไปพร้อมกันได้ ด้วยระบบนี้จะมีสายเคเบิลเพียงหนึ่งหรือสองเส้น โดยไม่มีอุปกรณ์สลับช่องสื่อสาร ซึ่งทำหน้าที่ครอบคลุมไว้ภายในหรือปล่อยสัญญาณออกไปสู่ระบบอื่น โดยการส่งข้อมูลนั้น Bus แต่ละเส้นจะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลไปทางทิศเดียวเท่านั้น

### 2.5.3 WAN : Wide Area Network

ระบบเครือข่ายวิธีนี้เป็นการขยายเขตการเชื่อมต่อครอบคลุมไปที่พื้นที่ระดับภูมิภาค เช่น ครอบคลุมไปที่พื้นที่ระดับภูมิภาค เช่น ครอบคลุมทั้งภาคเหนือของประเทศไทย แต่อาจจะหมายถึงบริเวณที่กว้างกว่านี้ได้ เช่น เขต พื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทั้งหมดก็ได้ ระบบนี้จะถูกควบคุมและบริการโดยคอมพิวเตอร์หลักที่เรียกว่า Host ซึ่งทำการเชื่อมต่อกับ Subnet (เครือข่ายย่อย) ทั้งหมด และให้บริการรับส่งข้อมูลระหว่าง Host ต่าง ๆ ในระบบ WAN นี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 2 อย่าง คือ สายส่งผ่าน (Transmission Lines) ซึ่งใช้เป็นสื่อในการส่งสัญญาณจากเครื่องหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปยังอีกเครื่องหนึ่ง และอีกอย่าง คือ อุปกรณ์ สลับช่องสัญญาณ (Switching elements) จะทำหน้าที่ เหมือนกับอุปกรณ์สลับช่องสื่อสารที่ใช้ในระบบโทรศัพท์นั่นเอง

#### 2.5.4 PAN : Personal Area Network

ระบบเครือข่ายนี้เป็น “เครือข่ายเฉพาะบุคคล” มีหลักการทำงาน คือ ผู้ใช้เพียงพกอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณพิเศษขนาดเล็ก ไว้กับตัวก็สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้เลย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะส่งกระแสไฟฟ้าขนาดอ่อนมาก ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิดระบบเครือข่าย Electric Fields (สนามไฟฟ้า) สำหรับความเร็วในการส่งข้อมูลนั้นอาจจะเร็วได้ถึง 2400 Bps ซึ่งระบบเครือข่าย PAN นี้เป็นต้นกำเนิด ให้เกิดการนำไปประยุกต์ใช้มากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ Pocket PC เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์พวกนี้ จะใช้วิธีการสื่อสารที่เรียกว่า WPAN (Wireless Personal Area Network) ซึ่งถือเป็นแขนงหนึ่งของ PAN โดยหลักการทำงานแทนที่จะใช้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในร่างกายเราเป็นสื่อในการรับส่งข้อมูล ก็เปลี่ยนไปใช้คลื่นวิทยุที่มีระยะทำการสั้นสั้นแทนบางครั้งเราอาจจะรู้จัก WPAN ในชื่อของบลูทูธ (Bluetooth เป็นตัวอย่างเทคโนโลยีที่ใช้ WPAN) ซึ่ง WPAN มีระยะทำการ 1 เมตรถึง 10 เมตร และมีความเร็วไม่เกิน 1 Mbps

#### 2.5.5 Wireless LAN

เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็น Notebook หรือ Personal Digital Assistant : PDA ต่างก็ได้รับความนิยมอย่างสูงซึ่งการติดต่อ หรือการเชื่อมต่อ โดยผ่านสายโทรศัพท์ หรือเคเบิลอื่น ๆ สามารถทำได้แต่แต่ไม่มีความคล่องเพียงพอเนื่องจากมีข้อจำกัด อยู่ที่ว่าต้องใช้สายในการสื่อสาร ดังนั้นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) จึงทวีความสำคัญ ขึ้นเป็นลำดับเนื่องจากอำนวยความสะดวกสบายในการเคลื่อนย้ายจุดหรือตำแหน่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ การนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ การนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาต่อเชื่อมแบบไร้สาย จะทำให้กลายเป็นระบบห้องทำงานแบบเคลื่อนที่ (Mobile Computing) ซึ่งสองคำนี้มีความหมายใกล้เคียงกันมากแตกต่างกันตรงที่ Wireless นั้น ใช้แทนเครือข่ายสายในอาคาร และสำหรับ Mobile นั้น ไม่ใช่ถึงแม้ว่าแบบไร้สายจะมีความคล่องตัวแต่ยังมีจุดอ่อนอยู่ก็คือ

- อัตราการส่งข้อมูลอยู่ 1-2 Mbps ซึ่งเท่ากับ 10-20 % ของอัตรา Cable แบบแยที่สูงสุด
- อัตราการเกิดข้อผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์สูง
- การส่งข้อมูลของเครื่องที่อยู่ใกล้กันจะก่อให้เกิดการรบกวนกัน

## 2.6 ข้อจำกัดของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

FCC ได้ออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้งานความถี่และแบนด์วิดท์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB โดยมีความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 3.1GHz. ถึง 10.6 GHz. และมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือกำหนดให้มีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz. นอกจากนั้น

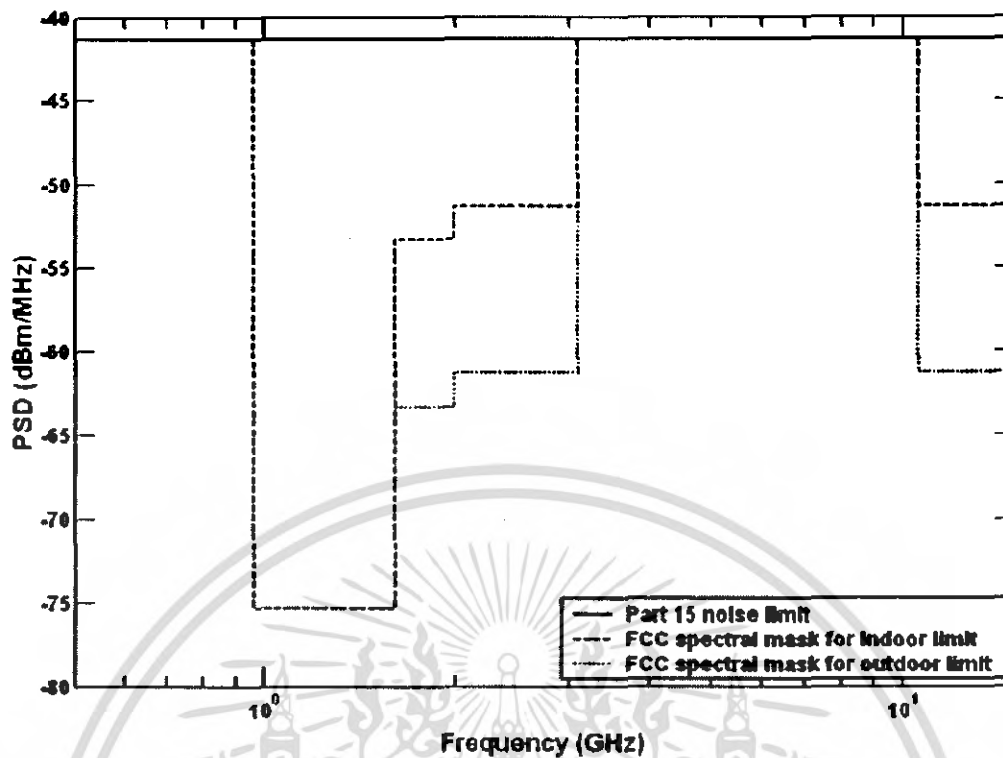
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วทาง FCC ยังได้อนุญาตให้อุปกรณ์ของระบบสื่อสาร UWB สามารถทำงานภายใต้การยกเว้นการอนุญาตในระดับข้อจำกัดของสัญญาณส่วนที่ 15 ของกฎ FCC หรือ 41.3 dBm/MHz. และยังได้มีการกำหนดเกี่ยวกับการควบคุม PSD ของสัญญาณ UWB สำหรับกฎข้อบังคับของ FCC ได้กำหนดข้อจำกัด PSD ที่แผ่กระจายออกมาของระบบ UWB สำหรับใช้ในการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งการเปรียบเทียบระหว่างข้อกำหนดการจำกัด PSD ของระบบการสื่อสาร UWB ที่ทาง FCC ได้กำหนดทั้งภายในและภายนอกอาคารได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 และได้จัดชนิดตามการใช้งานของอุปกรณ์ UWB ที่ย่านความถี่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร

แถบความถี่ (MHz.)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	PCF (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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC

ตารางที่ 2.2 ประเภทของการใช้งานที่ได้รับอนุมัติโดย FCC

การประยุกต์การใช้งาน	แถบความถี่ที่ใช้งาน
ระบบการสื่อสารและระบบการวัด	3.1 – 10.6 GHz.
ระบบการสร้างภาพและเรดาร์ทะลุพื้น	< 960 MHz. หรือ 3.1 – 10.6 GHz.
ระบบทะลุกำแพง	< 960 MHz. หรือ 1.99 – 10.6 GHz.
ระบบระแวดระวังภัย	1.99 – 10.6 GHz.
ยานพาหนะ	24 – 29 GHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 แบบแผนการมอดูเลตของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

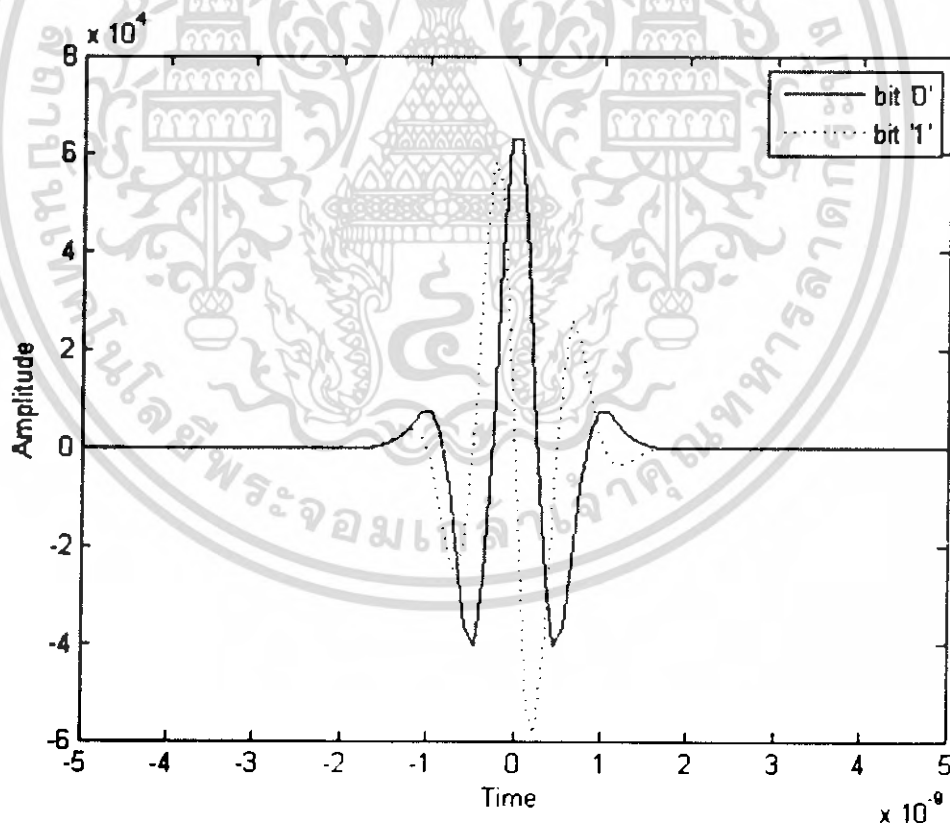
พัลส์ของสัญญาณ UWB เพียงหนึ่งพัลส์ไม่สามารถประกอบไปด้วยข่าวสารได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงข้อมูลข่าวสารทางดิจิทัลมาเป็นพัลส์อนาล็อก ซึ่งหมายถึงการมอดูเลตในระบบการสื่อสาร UWB

### 2.7.1 การมอดูเลตแบบ PSM (Pulse Shape Modulation)

แบบแผน PSM ได้ใช้รูปคลื่นที่แตกต่างกันสองรูปคลื่นสำหรับแสดงบิต '0' และ '1' โดยที่รูปคลื่นทั้งสองนี้จะต้องมีคุณสมบัติตั้งฉากกัน รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '0' และ '1' ในแบบแผน PSM

$$\int_{-T_b/2}^{T_b/2} w_i(t)w_j(t)dt = \begin{cases} E_b & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $W_0$  เป็นรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '0'  $W_1$  เป็นรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '1'  $T_b$  เป็นช่วงเวลาในหนึ่งบิต  $E_b$  เป็นพลังงานในหนึ่งบิต  $i$  และ  $j$  มีค่าเป็น 0 หรือ 1

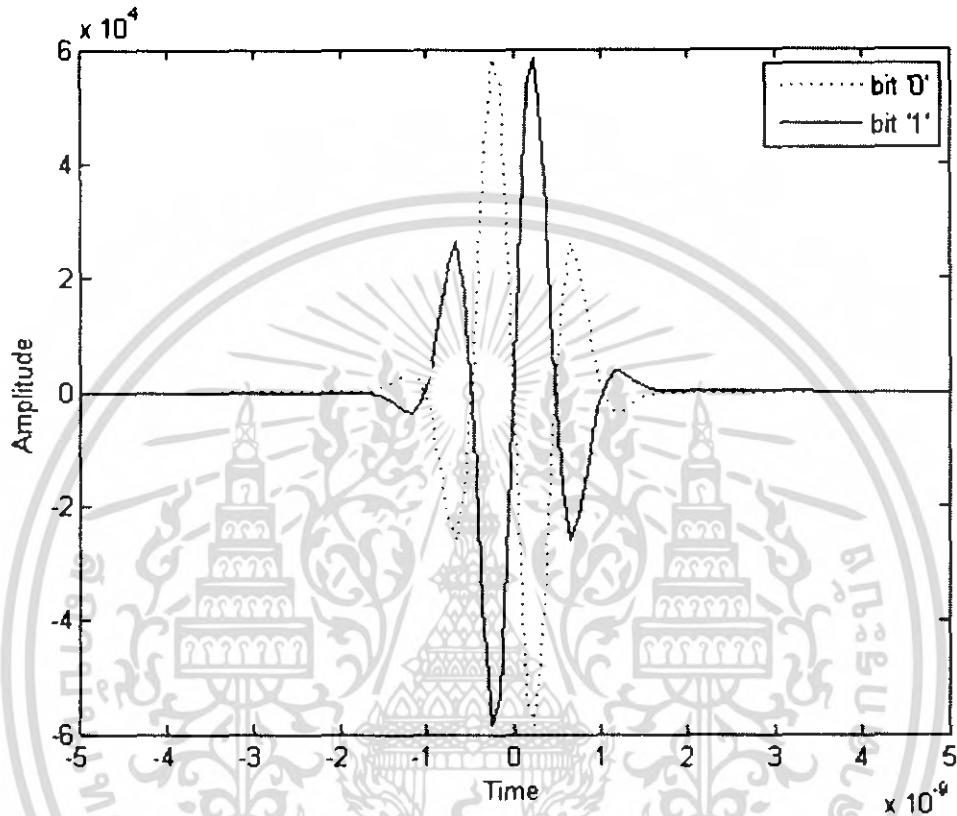


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของคู่ตั้งฉากที่ใช้ในแบบแผน PSM ที่ใช้แทนบิต '0' และ บิต '1' ซึ่งเป็นคู่ตั้งฉากของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2 การมอดูเลตแบบ PAM (Pulse Amplitude Modulation)

แบบแผน PAM ที่เป็นพื้นฐานที่สุดจะใช้รูปคลื่นที่แตกต่างกันสองรูปคลื่นสำหรับแสดงบิต '0' และ '1' โดยที่รูปคลื่นทั้งสองนี้จะมีขนาดของแอมพลิจูดเท่ากันแต่มีเครื่องหมายของแอมพลิจูดตรงข้ามกัน รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '0' และ '1' ในแบบแผน PAM



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PAM ที่ใช้แทนบิต '0' และบิต '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PAM ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต โดยรูปคลื่นทั้งสองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$w_1(t) = -w_0(t) \quad (2.5)$$

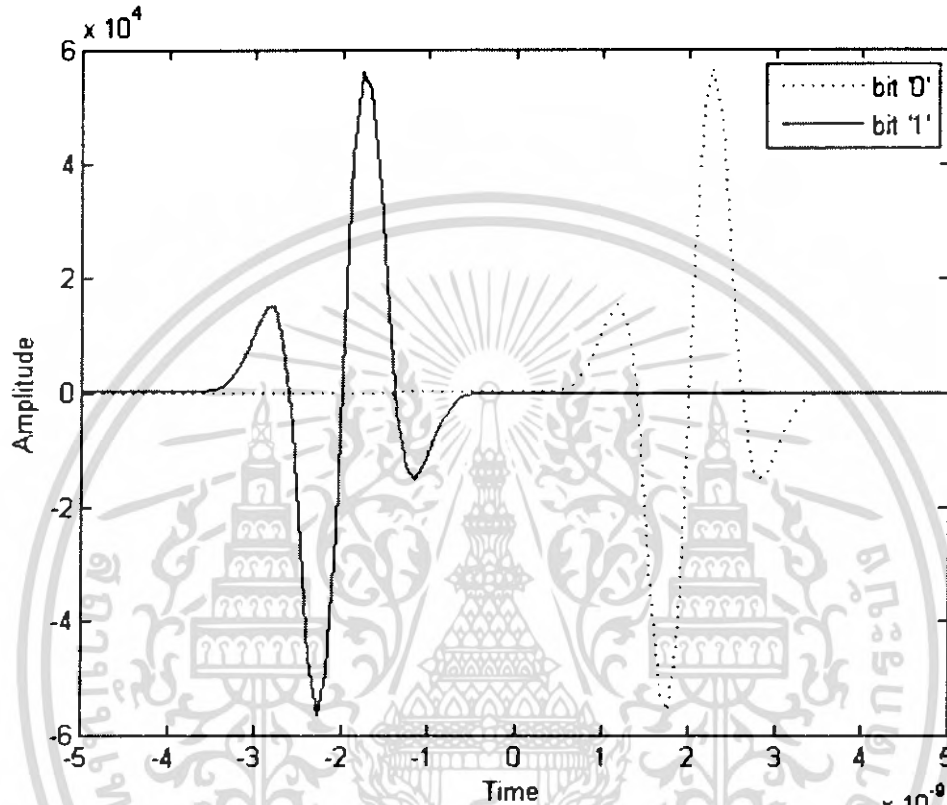
ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติ คือ

$$\int_{-T/2}^{T/2} w_i(t)w_j(t)dt = \begin{cases} E_b & i = j \\ -E_b & i \neq j \end{cases} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3 การมอดูเลตแบบ PPM (Pulse Position Modulation)

แบบแผน PPM จะใช้รูปคลื่นที่มีตำแหน่งแตกต่างกันสำหรับแสดงบิต '0' และ '1' โดยที่รูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '1' จะมีการประวิงเวลาเวลาเลื่อนไปจากรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '0' รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '0' และ '1' ในแบบแผน PPM



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผน PPM ที่ใช้แทนบิต '0' และบิต '1' ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นที่ใช้ในแบบแผนของ PPM ซึ่งเป็นรูปคลื่นแบบเกาส์ที่ถูกมอดูเลต โดยรูปคลื่นทั้งสองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$w_1(t) = w_0(t - \delta) \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\delta$  เป็นคั้งนการมอดูเลต ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่รูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '1' เลื่อนออกไปจากรูปคลื่นที่ใช้แทนบิต '0' โดยที่  $\delta$  ควรมีค่ามากพอที่จะทำให้รูปคลื่นทั้งสองไม่ทับกัน ซึ่งจะให้มีคุณสมบัติ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_{-T_s/2}^{T_s/2} w_i(t)w_j(t)dt = \begin{cases} E_b & i = j \\ -E_b & i \neq j \end{cases} \quad (2.8)$$

## 2.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง รวมถึงแบบแผนการมอดูเลตของสัญญาณที่นำมาใช้ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง



83238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

#### 3.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้น ในปริภูมิพหุคูณฉบับนี้ได้ ใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ BER ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการสนับสนุนการวิเคราะห์ ดังจะกล่าวในบทที่ 3 นี้

#### 3.2 ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

##### 3.2.1 Q ฟังก์ชัน

การคำนวณของความเป็นไปได้เกี่ยวกับ กระบวนการของเกาส์เซียน ต้องการหาพื้นที่ใต้กราฟ ในส่วนท้ายของ Gaussian (normal) probability density function แสดงดังรูป

รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันความเป็นไปได้ของเกาส์เซียน พื้นที่แรเงาเป็นส่วนของ  $Pr(X \geq X_0)$  สำหรับการสุ่มค่าของเกาส์เซียน

จากรูป แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นถึงค่าการสุ่ม เกาส์เซียน ค่า  $X$  มากกว่า  $X_0$  ,  $Pr(X \geq X_0)$  ซึ่งมีค่าคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Pr(x \geq x_0) = \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-m)^2/(2\sigma^2)} dx \quad (3.1)$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่เป็นไปได้ของเกาส์เขียนฟังก์ชันในสมการที่ (3.1) ไม่สามารถถูกรวบรวมในรูปแบบเดียว

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่เป็นไปได้ของเกาส์เขียนฟังก์ชันอาจถูกเขียนใหม่โดยวิธีแทนด้วย

$$y = \frac{x - m}{\sigma} \quad (3.2)$$

จะได้

$$\Pr(y > \frac{x_0 - m}{\sigma}) = \int_{\frac{x_0 - m}{\sigma}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2} dy \quad (3.3)$$

ซึ่งส่วนสำคัญของสมการ (3.3) อินทิกรอลทางด้านขวาที่ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่เป็นไปได้ของเกาส์เขียนมาตรฐาน ซึ่ง ค่า 0 และ ค่ามาตรฐานความเบี่ยงเบนของ 1 ค่าประมาณของอินทิกรอลในสมการ (3.3) คือ การกำหนด Q-Function ซึ่งหาได้ดังนี้

$$Q(z) = \int_z^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2} dy \quad (3.4)$$

ดังนั้นสมการ (3.1) และ (3.3) สามารถหาค่าได้จาก

$$P(y > \frac{x_0 - m}{\sigma}) = Q(\frac{x_0 - m}{\sigma}) = Q(z) \quad (3.5)$$

ค่า Q-Function ถูกจำกัดขอบเขตโดย แยกแยะแสดงเครื่องหมาย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(1 - \frac{1}{z^2}\right) \frac{1}{z\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \leq \frac{1}{z\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad (3.6)$$

สำหรับค่าของ  $z$  greater 3.0 ค่าทั้งสองจำกัดโดยค่าประมาณ  $Q(z)$   
คุณสมบัติที่สำคัญทั้ง 2 ของ  $Q(z)$

$$Q(-z) = 1 - Q(z) \quad (3.7)$$

$$Q(0) = \frac{1}{2} \quad (3.8)$$

กราฟของ  $Q(z)$  เปรียบเทียบกับ  $z$  แสดงดังรูป 3.2

ตารางของ Q-Function สำหรับหลายค่าของ  $z$  แสดงโดยตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ตาราง Q ฟังก์ชัน

Z	Q(z)	Z	Q(z)
0.0	0.50000	2.0	0.02275
0.1	0.46017	2.1	0.01786
0.2	0.42074	2.2	0.01390
0.3	0.38209	2.3	0.01072
0.4	0.34458	2.4	0.00820
0.5	0.30854	2.5	0.00621
0.6	0.27425	2.6	0.00466
0.7	0.24196	2.7	0.00347
0.8	0.21186	2.8	0.00256
0.9	0.18406	2.9	0.00187
1.0	0.15866	3.0	0.00135
1.1	0.13567	3.1	0.00097
1.2	0.11507	3.2	0.00069
1.3	0.09680	3.3	0.00048
1.4	0.08076	3.4	0.00034
1.5	0.06681	3.5	0.00023
1.6	0.05480	3.6	0.00016
1.7	0.04457	3.7	0.00011
1.8	0.03593	3.8	0.00007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9	0.02872	3.9	0.00005
-----	---------	-----	---------

### 3.2.2 ฟังก์ชัน $erf$ และ $erfc$

ค่าความผิดพลาดของฟังก์ชัน( $erf$ ) ถูกอธิบายโดย

$$erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2} dx \quad (3.9)$$

และ ค่าความผิดพลาดที่สมบูรณ์ของฟังก์ชัน ( $erfc$ ) ถูกอธิบายโดย

$$erfc(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty e^{-x^2} dx \quad (3.10)$$

ฟังก์ชัน  $erfc$  สัมพันธ์กับ ฟังก์ชัน  $erf$  ดังนี้

$$erfc(z) = 1 - erf(z) \quad (3.11)$$

Q-Function สัมพันธ์กับ ฟังก์ชัน  $erfc$  และ  $erf$  โดย

$$Q(z) = \frac{1}{2} \left[ 1 - erf\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) \right] = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.12)$$

$$erfc(z) = 2Q(\sqrt{2}z) \quad (3.13)$$

$$erf(z) = 1 - 2Q(\sqrt{2}z) \quad (3.14)$$

ความสัมพันธ์ในสมการ (3.12) - (3.14) ถูกใช้อย่างกว้างในการคำนวณความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตาราง Error ฟังก์ชัน

$z$	$erf(z)$	$z$	$erfc(z)$
0.1	0.11246	1.6	0.97635
0.2	0.22270	1.7	0.98379
0.3	0.32863	1.8	0.98909
0.4	0.42839	1.9	0.99279
0.5	0.52049	2.0	0.99532
0.6	0.60385	2.1	0.99702
0.7	0.67780	2.2	0.99814
0.8	0.74210	2.3	0.99885
0.9	0.79691	2.4	0.99931
1.0	0.84270	2.5	0.99959
1.1	0.88021	2.6	0.99976
1.2	0.91031	2.7	0.99987
1.3	0.93401	2.8	0.99993
1.4	0.95228	2.9	0.99996
1.5	0.96611	3.0	0.99998

### 3.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน

ฟังก์ชันเกาส์เซียน คือ ฟังก์ชันที่อยู่ในรูปของ

$$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \quad (3.15)$$

โดย  $a > 0$ ,  $b$  และ  $c > 0$  เป็นความสูงของเกาส์เซียน,  $b$  เป็นตำแหน่งกลางของจุดสูงสุด และ  $c$  controls ความกว้างของ “bump”

ค่า  $c$  นั้นเกี่ยวข้องกับ FWHM ( Full width at half maximum) จากสมการ

$$FWHM = 2\sqrt{2\ln(2)}c \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเกาส์เซียนอยู่ท่ามกลางฟังก์ชันพื้นฐาน แต่ขาดแอนติดิริเวอร์ทีฟพื้นฐาน อินทิกรอลของ ฟังก์ชันเกาส์เซียน ก็คือ ฟังก์ชันความผิดพลาด (Error Function) การอินทิกรอลอย่างไม่เหมาะสม สามารถหาค่าได้ตรง ๆ โดยใช้ เกาส์เซียนอินทิกรอล

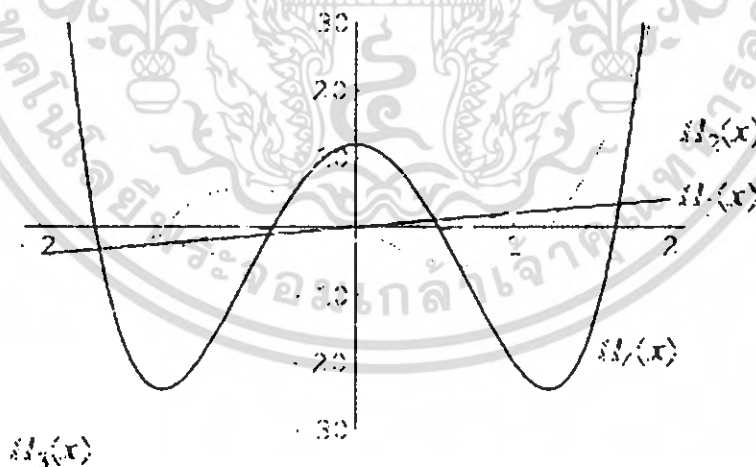
$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi} \quad (3.17)$$

และจะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} a e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} dx = ac \cdot \sqrt{2\pi} \quad (3.18)$$

ค่าของอินทิกรอล นี้จะได้ 1 ก็ต่อเมื่อ  $a = \frac{1}{c\sqrt{2\pi}}$  และในกรณีนี้ เกาส์เซียนจะเป็นฟังก์ชัน probability density ของ การแจกแจงแบบปกติ random variable ด้วยกันกับ expected value  $\mu=b$  และ variance  $\sigma^2=c^2$ .

### 3.4 อนุพันธ์ของเฮร์ไมท์



อนุพันธ์ของเฮร์ไมท์  $H_n(x)$  คือ เซตของโพลีโนเมียลที่ตั้งฉากกันบนโดเมน  $(-\infty, \infty)$  กับ weighting function  $e^{-x^2}$ , ดังที่แสดงในภาพด้านบน สำหรับ  $n=1,2, 3,$  และ 4. อนุพันธ์ของเฮร์ไมท์ ถูกกล่าวใน Mathematica as `Hermite[n, x]`.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุพันธ์ของเฮอริไมท์  $H_n(z)$  สามารถอธิบายได้โดย Contour Integral

$$H_n(z) = \frac{n!}{2\pi i} \oint e^{-t^2+2tz} t^{-n-1} dt, \quad (3.19)$$

โดย คอนทัวร์ปิดที่จุดกำเนิด และทราเวิส ในทิศทางตรงข้ามกับเข็มนาฬิกา  
อนุพันธ์ของเฮอริไมท์ชุดแรก ๆ คือ

$$\begin{aligned} H_0(x) &= 1 \\ H_1(x) &= 2x \\ H_2(x) &= 4x^2 - 2 \\ H_3(x) &= 8x^3 - 12x \\ H_4(x) &= 16x^4 - 48x^2 + 12 \\ H_5(x) &= 32x^5 - 160x^3 + 120x \\ H_6(x) &= 64x^6 - 480x^4 + 720x^2 - 120 \\ H_7(x) &= 128x^7 - 1344x^5 + 3360x^3 - 1680x \\ H_8(x) &= 256x^8 - 3584x^6 + 13440x^4 - 13440x^2 + 1680 \\ H_9(x) &= 512x^9 - 9216x^7 + 48384x^5 - 80640x^3 + 30240x \\ H_{10}(x) &= 1024x^{10} - 23040x^8 + 161280x^6 - 403200x^4 + 302400x^2 - 30240. \end{aligned}$$

เมื่อลำดับของเลขยกกำลังจากเล็กสุด ไปจนใหญ่สุด the triangle of nonzero coefficients คือ 1;  
2; -2, 4; -12, 8; 12, -48, 16; 120, -160, 32; ...

ค่า  $H_n(0)$  อาจเรียกว่า เลขของเฮอริไมท์

อนุพันธ์ของเฮอริไมท์ คือ ลำดับ Sheffer ใช้

$$\begin{aligned} g(t) &= e^{t^2/4} \\ f(t) &= \frac{1}{2}t \end{aligned}$$

โดยให้ สร้างฟังก์ชัน

$$\exp(2xt - t^2) \equiv \sum_{n=0}^{\infty} \frac{H_n(x) t^n}{n!}. \quad (3.20)$$

โดยใช้อนุกรมเทเลอร์แสดงให้เห็นว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 H_n(x) &= \left[ \left( \frac{\partial}{\partial t} \right)^n \exp(2xt - t^2) \right]_{t=0} \\
 &= \left[ e^{x^2} \left( \frac{\partial}{\partial t} \right)^n e^{-(x-t)^2} \right]_{t=0}.
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

เมื่อ  $\partial f(x-t)/\partial t = -\partial f(x-t)/\partial x$ ,

$$\begin{aligned}
 H_n(x) &= (-1)^n e^{x^2} \left[ \left( \frac{\partial}{\partial x} \right)^n e^{-(x-t)^2} \right]_{t=0} \\
 &= (-1)^n e^{x^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-x^2}.
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

อธิบายตัวดำเนินการได้

$$\tilde{O}_1 \equiv -e^{x^2} \frac{d}{dx} e^{-x^2} \tag{3.23}$$

$$\tilde{O}_2 \equiv e^{x^2/2} \left( x - \frac{d}{dx} \right) e^{-x^2/2} \tag{3.24}$$

$$\tilde{O}_1 f = -e^{x^2} \frac{d}{dx} [f e^{-x^2}] = 2xf - \frac{df}{dx} \tag{3.25}$$

$$\tilde{O}_2 f = e^{x^2/2} \left( x - \frac{d}{dx} \right) [f e^{-x^2/2}] \tag{3.26}$$

$$= xf + xf - \frac{df}{dx} = 2xf - \frac{df}{dx},$$

ดังนั้น  $\tilde{O}_1 = \tilde{O}_2$ , และ  $-e^{x^2} \frac{d}{dx} e^{-x^2} = e^{x^2/2} \left( x - \frac{d}{dx} \right) e^{-x^2/2}$

ซึ่งหมายความว่านิยามต่อไปนี้เป็นสิ่งที่เท่ากัน

$$\exp(2xt - t^2) \equiv \sum_{n=0}^{\infty} \frac{H_n(x) t^n}{n!} \tag{3.27}$$

$$H_n(x) \equiv (-1)^n e^{x^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-x^2} \tag{3.28}$$

$$H_n(x) \equiv e^{x^2/2} \left( x - \frac{d}{dx} \right)^n e^{-x^2/2} \tag{3.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุพันธ์ของเฮอริไมท์ อาจจะเขียนแบบนี้

$$H_n(z) = (2z)^n {}_2F_0\left(-\frac{1}{2}n, -\frac{1}{2}(n-1); ; -z^{-2}\right) \quad (3.30)$$

$$= 2^n z^n (z^2)^{-n/2} U\left(-\frac{1}{2}n, \frac{1}{2}, z^2\right)$$

$$H_n(x) = \frac{n!}{2\pi i} \oint e^{-t^2+2tx} t^{-n-1} dt. \quad (3.31)$$

ฟังก์ชันเฮอริไมท์ตั้งฉากกันในช่วง  $(-\infty, \infty)$  ซึ่ง weighting function  $e^{-x^2}$

$$\int_{-\infty}^{\infty} H_m(x) H_n(x) e^{-x^2} dx = \delta_{mn} 2^n n! \sqrt{\pi}. \quad (3.32)$$

อนุพันธ์ของเฮอริไมท์นั้นเป็นไปตามกฎตามสมมาตร

$$H_n(-x) = (-1)^n H_n(x). \quad (3.33)$$

และ เป็นไปตาม กฎความสัมพันธ์ของ recurrence

$$H_{n+1}(x) = 2x H_n(x) - 2n H_{n-1}(x) \quad (3.34)$$

$$H'_n(x) = 2n H_{n-1}(x). \quad (3.35)$$

โดยการแก้หา สมการ Hermite differential จะได้เลขอนุกรม

$$H_{2k}(x) = (-1)^k 2^k (2k-1)!! \left[ 1 + \sum_{j=1}^k \frac{(-4k)(-4k+4)\dots(-4k+4j-4)}{(2j)!} x^{2j} \right] \quad (3.36)$$

$$H_{2k+1}(x) = (-1)^k 2^{k+1} (2k+1)!! \left[ x + \sum_{j=1}^k \frac{(-4k)(-4k+4)\dots(-4k+4j-4)}{(2j+1)!} x^{2j+1} \right] \quad (3.37)$$

โดยผลใน numerators จะเท่ากับ

$$(-4k)(-4k+4)\dots(-4k+4j-4) = 4^j (-k)_j, \text{ และ } (x)_n \text{ Pochhammer symbol.}$$

ให้เซตของฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกัน อธิบายโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u_n(x) \equiv \sqrt{\frac{\alpha}{\pi^{1/2} n! 2^n}} H_n(\alpha x) e^{-\alpha^2 x^2/2}, \quad (3.38)$$

และแล้ว  $u_n$  จะเป็นไปตามกฎการตั้งฉาก

$$\int_{-\infty}^{\infty} u_m(x) \frac{d u_m}{d x} d x = \begin{cases} \alpha \sqrt{\frac{n+1}{2}} & m = n+1 \\ -\alpha \sqrt{\frac{n}{2}} & m = n-1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.39)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} u_m(x) u_n(x) d x = \delta_{mn} \quad (3.40)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} u_m(x) x u_n(x) d x = \begin{cases} \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{n+1}{2}} & m = n+1 \\ \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{n}{2}} & m = n-1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.41)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} u_m(x) x^2 u_n(x) d x = \begin{cases} \frac{\sqrt{n(n-1)}}{2\alpha^2} & m = n-2 \\ \frac{2n+1}{2\alpha^2} & m = n \\ \frac{\sqrt{(n+1)(n+2)}}{2\alpha^2} & m = n+2 \\ 0 & m \neq n \neq n \pm 2 \end{cases} \quad (3.42)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} H_\alpha(x) H_\beta(x) H_\gamma(x) d x = \sqrt{\pi} \frac{2^s \alpha! \beta! \gamma!}{(s-\alpha)! (s-\beta)! (s-\gamma)!}, \quad (3.43)$$

### 3.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีของฟังก์ชันความผิดพลาด , ฟังก์ชันของเกาส์ รวมไปถึงอนุพันธ์แบบเฮอริไมท์ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างพัลส์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างข้งในบทต่อ ๆ ไป

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทางทฤษฎี

#### 4.1 บทนำ

ในบทที่ 4 นี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสื่อสาร UWB โดยสัญญาณส่งแบบต่าง ๆ โดยกำหนดให้สายอากาศเป็นสายอากาศแบบไอโซทรอปิกและได้ใช้ช่องสัญญาณที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับการสื่อสาร UWB ที่สามารถพิจารณาในช่วงความถี่ที่กว้างสำหรับการสื่อสาร UWB ดังนั้นผลกระทบความผิดเพี้ยนที่เกิดจากช่องสัญญาณ UWB เหล่านี้จึงถูกรวมเข้าไปด้วย และยังคงกล่าวถึงทฤษฎีการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์โดยการใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

#### 4.2 สัญญาณส่งของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในปริภูมิสัญญาณนี้ได้พิจารณาสัญญาณส่งเป็นสัญญาณแบบต่าง 18 แบบ ดังจะกล่าวในด้านล่างนี้ โดยกำหนดให้รูปคลื่นเป็นสัญญาณแรงดันในที่นี่จะกำหนดให้ PSD ของสัญญาณที่มีส่วนประกอบต่อเนื่องอย่างเฉียว ดังนั้น PSD ของสัญญาณส่ง UWB  $S$  หาได้จาก

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |V_s(f)|^2 \quad (4.1)$$

เมื่อ  $T_s$  คือช่วงเวลาในหนึ่งบิต และ  $V_s$  คือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง UWB โดยที่ความหนาแน่นสเปกตรัมสามารถคำนวณหาได้จากการแปลงฟูรีเยร์ของรูปคลื่นสัญญาณส่ง UWB ในโดเมนเวลา  $v_s$

$$V_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_s(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4.2)$$

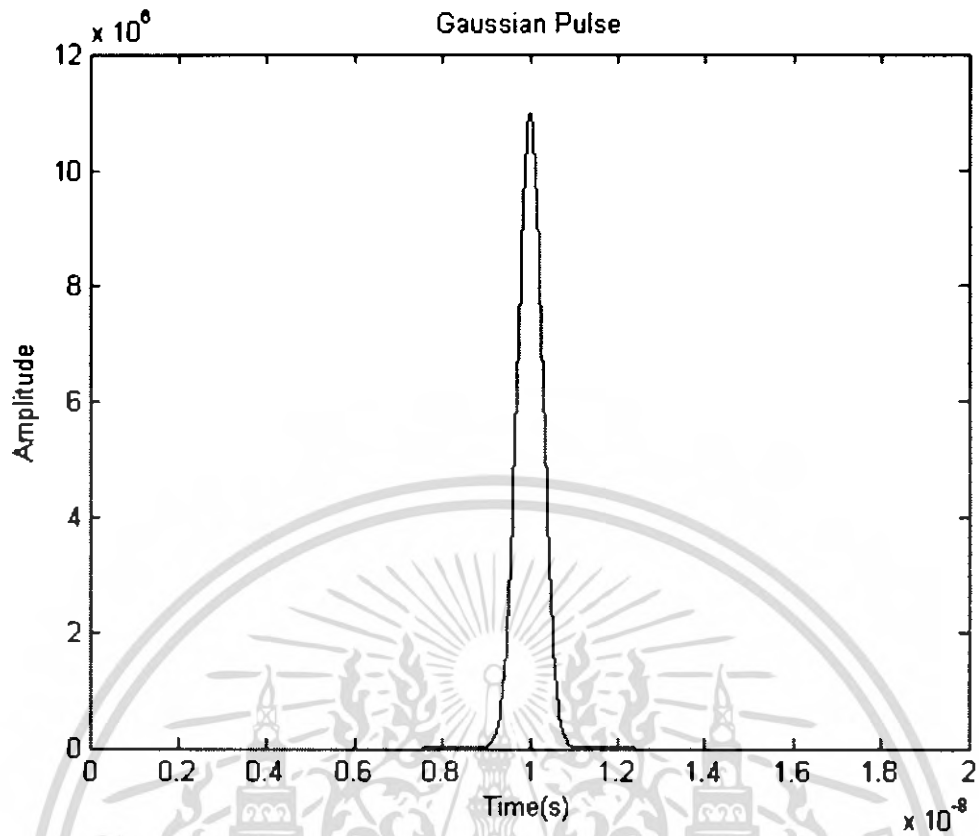
##### 4.2.1 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงด้วยสมการ

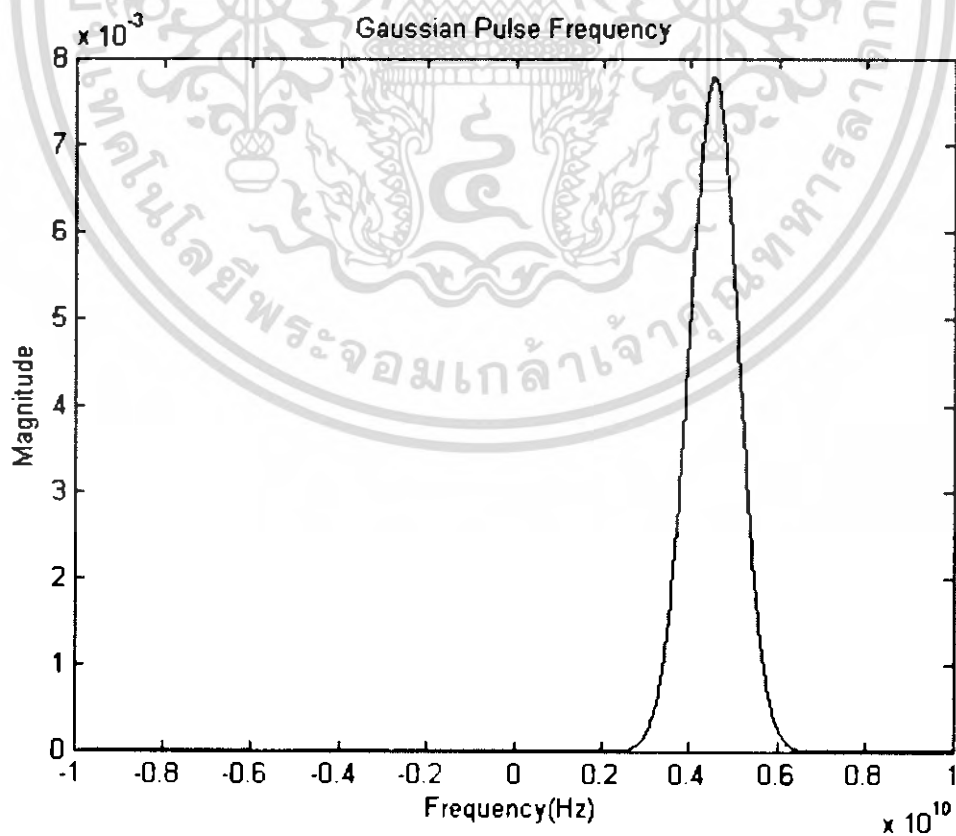
$$v_{x0}(t) = K_0 e^{-t/\tau} \quad (4.3)$$

โดยที่  $K_0$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.2 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 สัญญาณอนุพัทธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ (Gaussian monocycle)

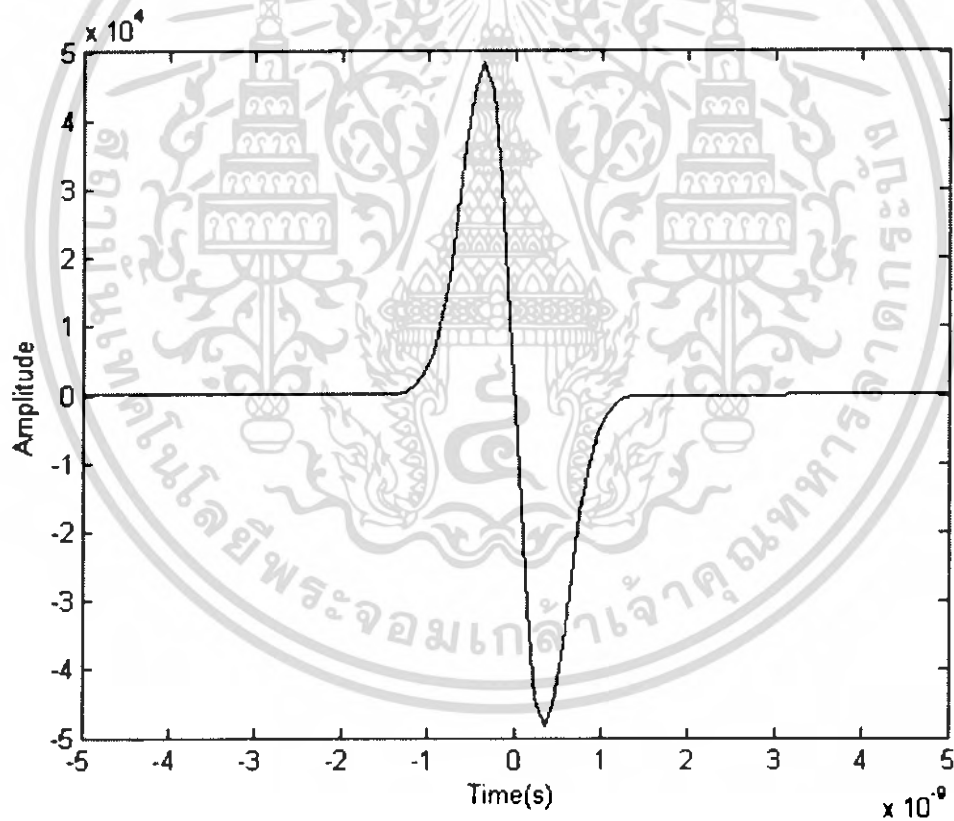
สัญญาณอนุพัทธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์มีสมการ ดังนี้

$$v_t(t) = K \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (4.4)$$

เมื่อ  $-\infty < t < \infty$  โดยที่  $K$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ ค่าคงที่  $K$  สามารถหาได้จากสมการที่ (4.4)

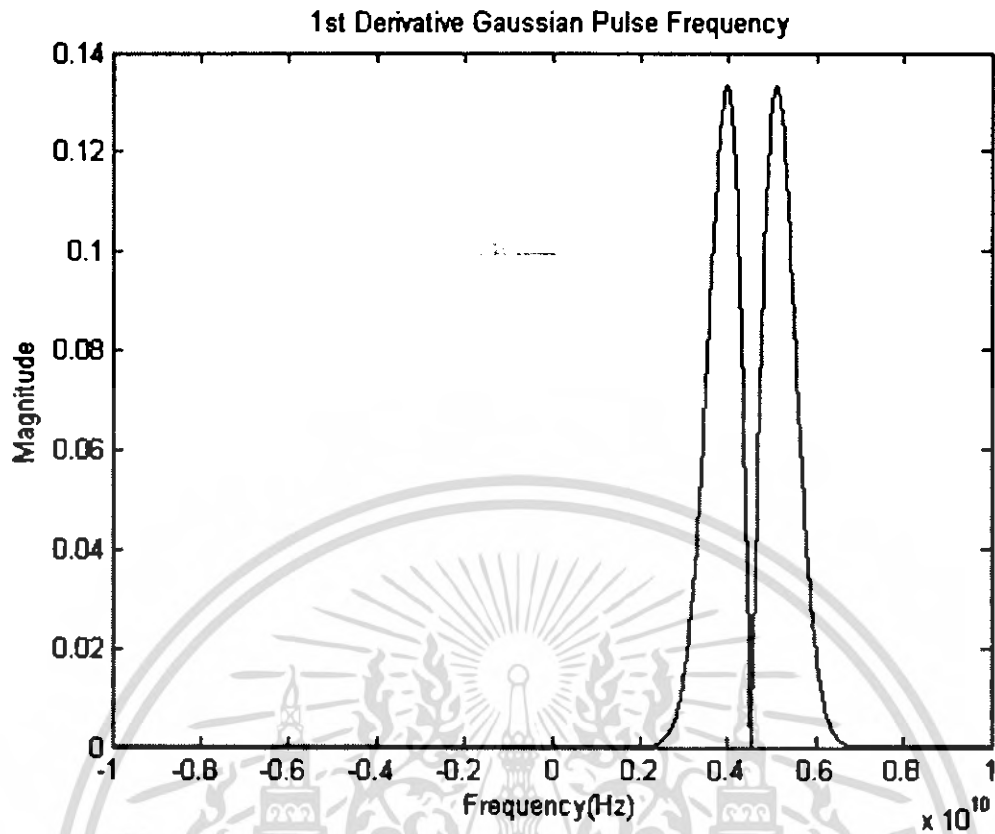
$$K = \sqrt{\frac{\tau E}{\sqrt{\pi/2}}} \quad (4.5)$$

เมื่อ  $E$  คือ ค่าของพลังงาน



รูปที่ 4.3 สัญญาณอนุพัทธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



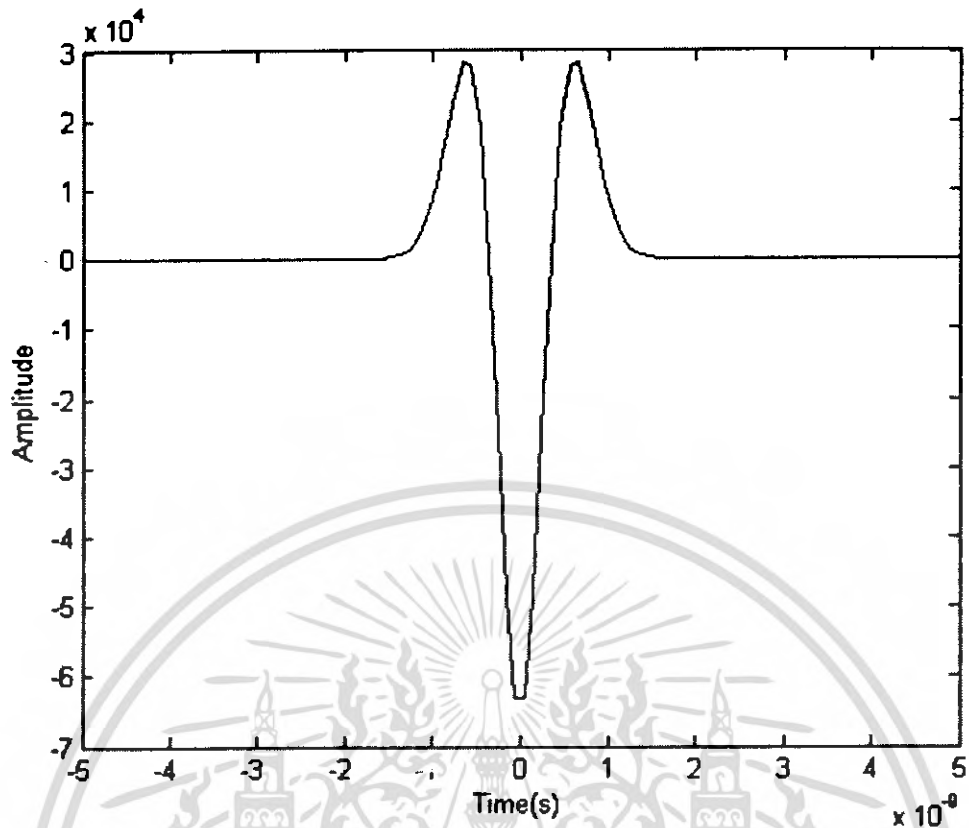
รูปที่ 4.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่

#### 4.2.3 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

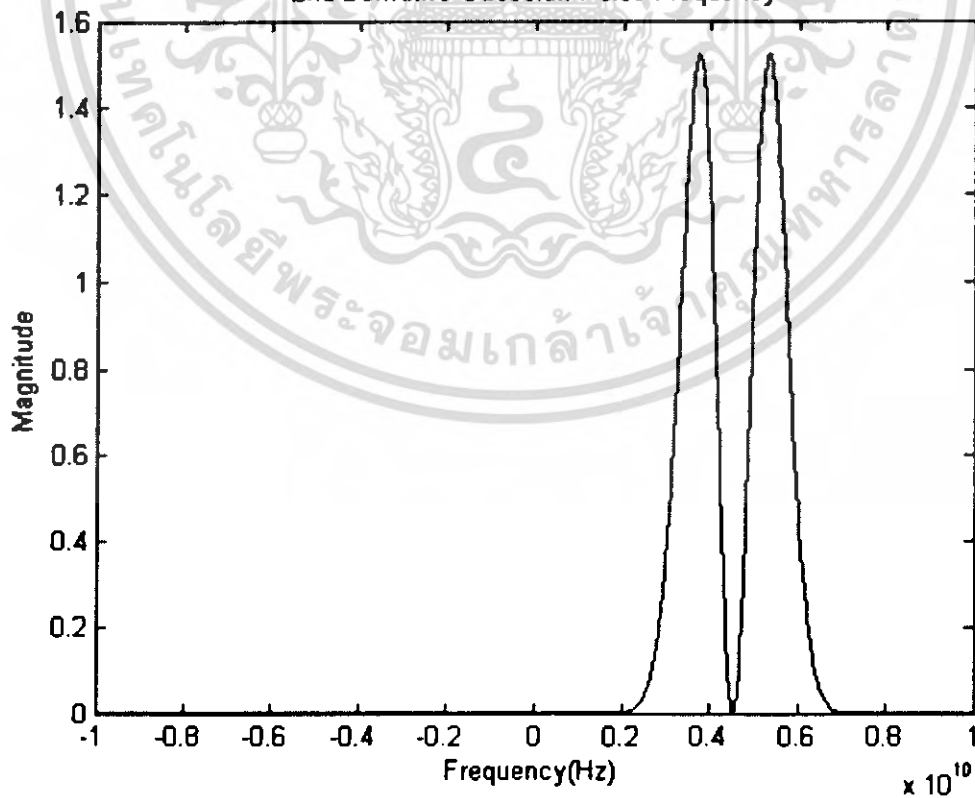
$$v_{g2}(t) = K_2 \left( \frac{-2}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} + \frac{4t^2}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (4.6)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ ขนาดของพัลส์ และ  $K_2$  คือ ค่าคงที่



รูปที่ 4.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนเวลา

2nd Derivative Gaussian Pulse Frequency



รูปที่ 4.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

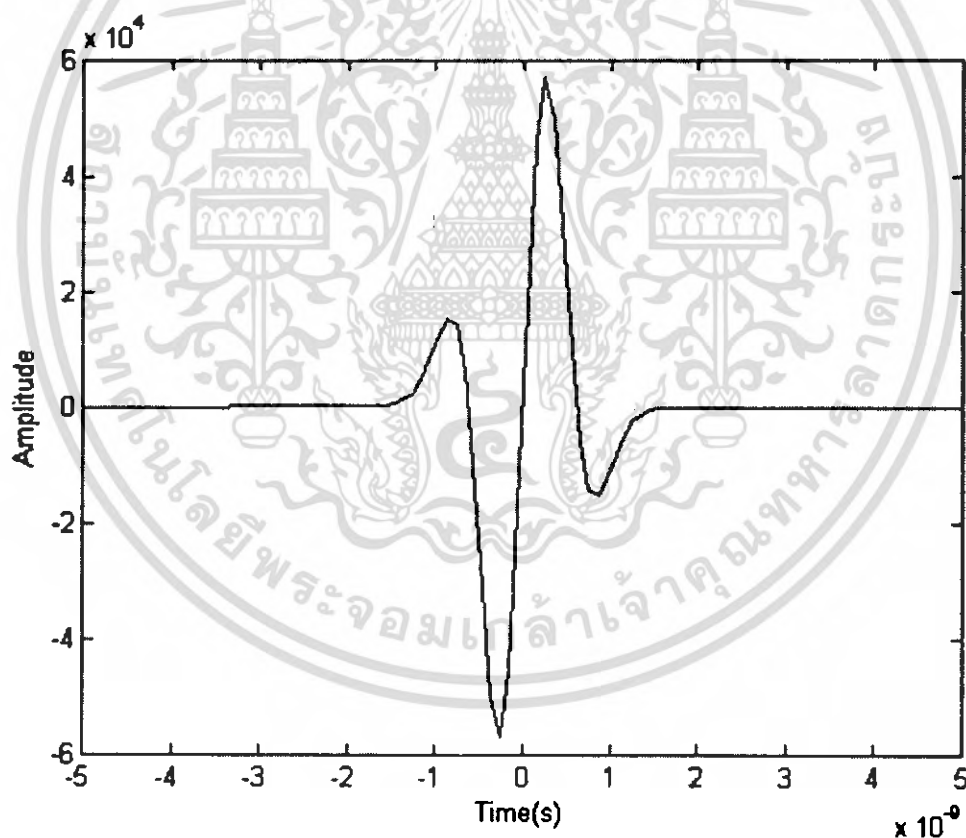
#### 4.2.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g3}(t) = K_3 \left( \frac{12}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} - \frac{8t^3}{\tau^6} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (4.7)$$

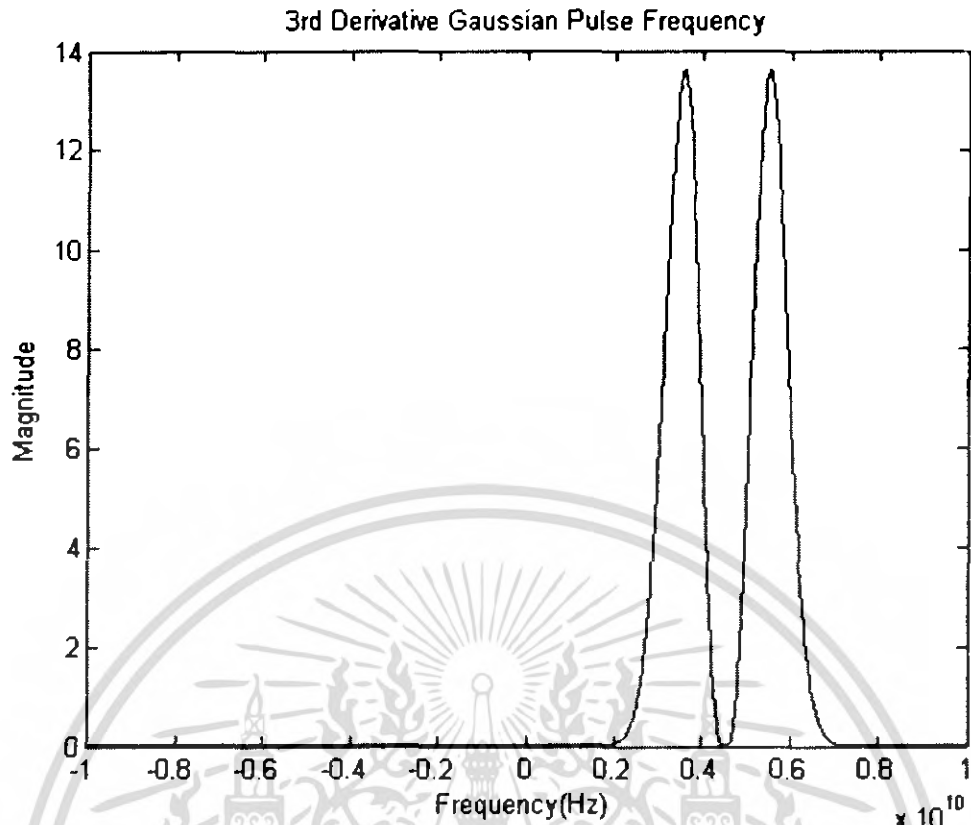
เมื่อ  $\tau$  คือ ขนาดของพัลส์ และ  $K_3$  คือ ค่าคงที่ ส่วนค่าคงที่  $K_n$  สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$K_n = \sqrt{\frac{E}{\int_{-\infty}^{\infty} |g_n(t)|^2 dt}} \quad (4.8)$$



รูปที่ 4.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



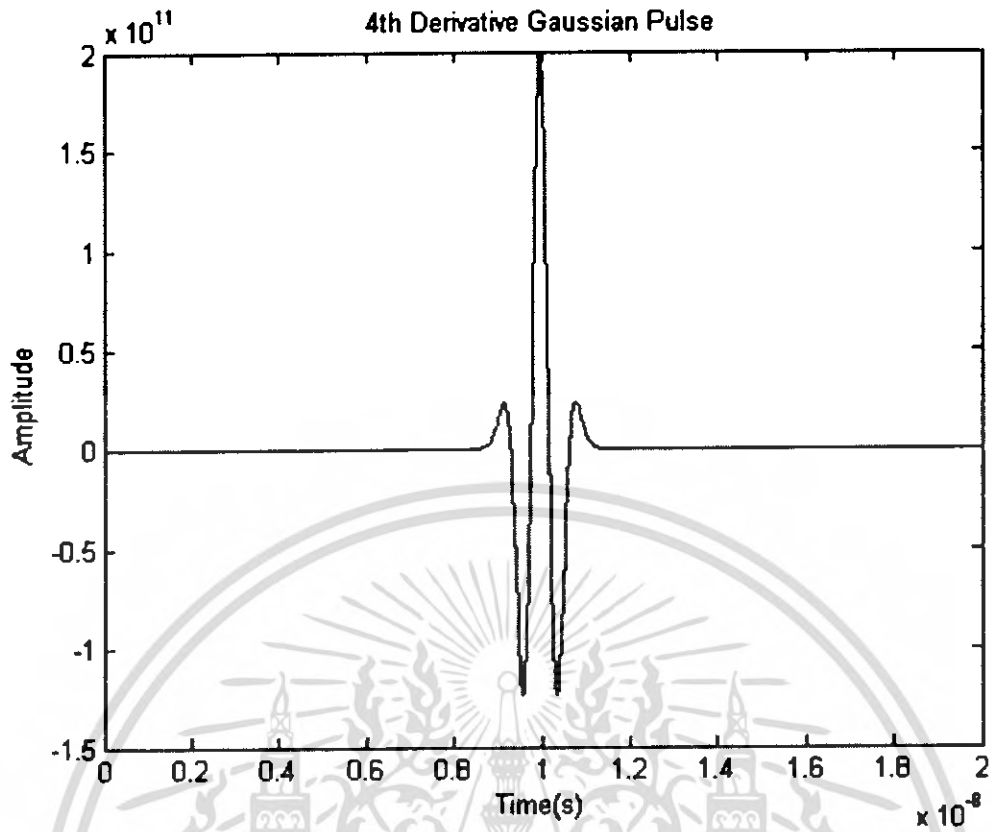
รูปที่ 4.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

#### 4.2.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์

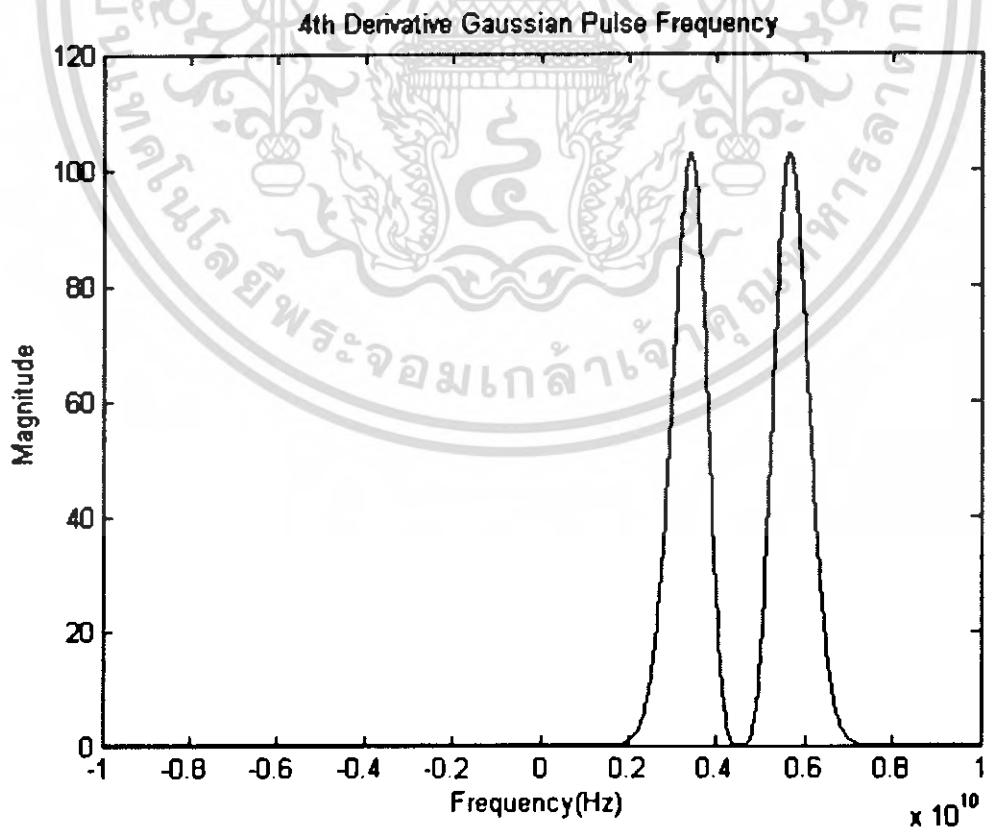
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g^4}(f) = \left( 12 - 48 \left( \frac{f}{\tau} \right)^2 + 16 \left( \frac{f}{\tau} \right)^4 \right) \frac{e^{-\left( \frac{f}{\tau} \right)^2}}{\tau^4} k_4 \quad (4.9)$$

เมื่อ  $k_4$  คือ ค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนเวลา



รูปที่ 4.10 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่

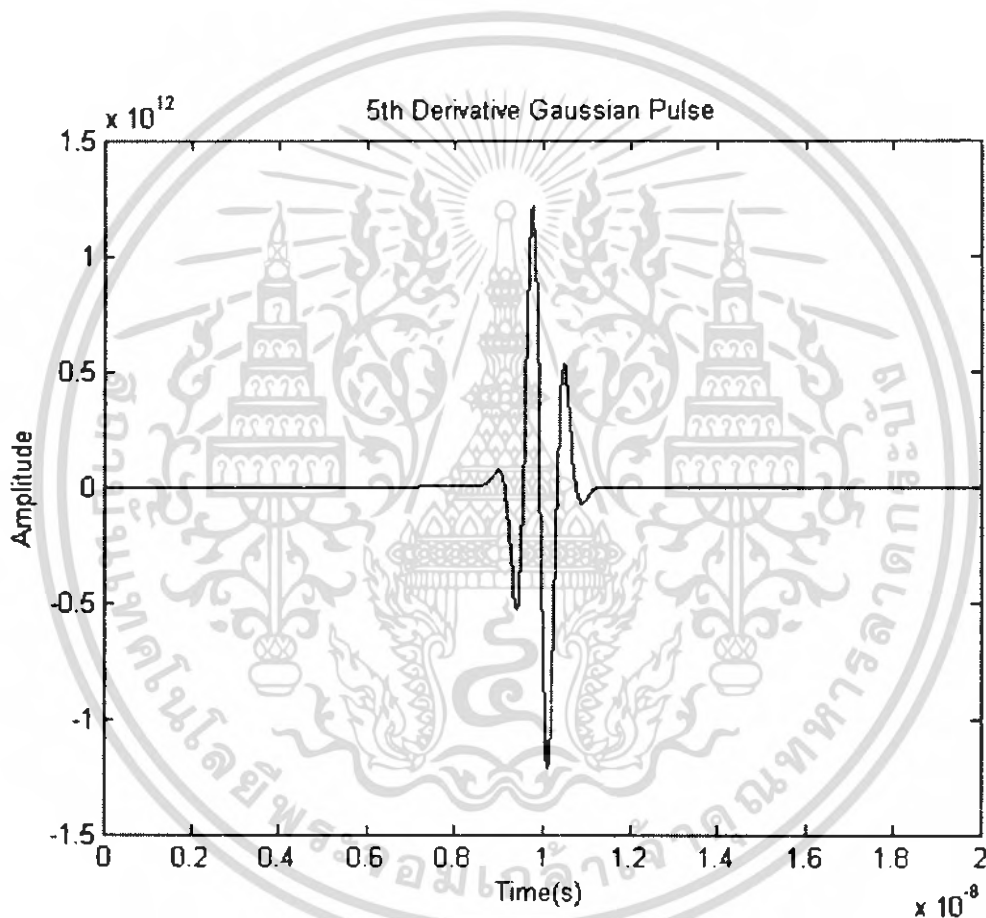
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

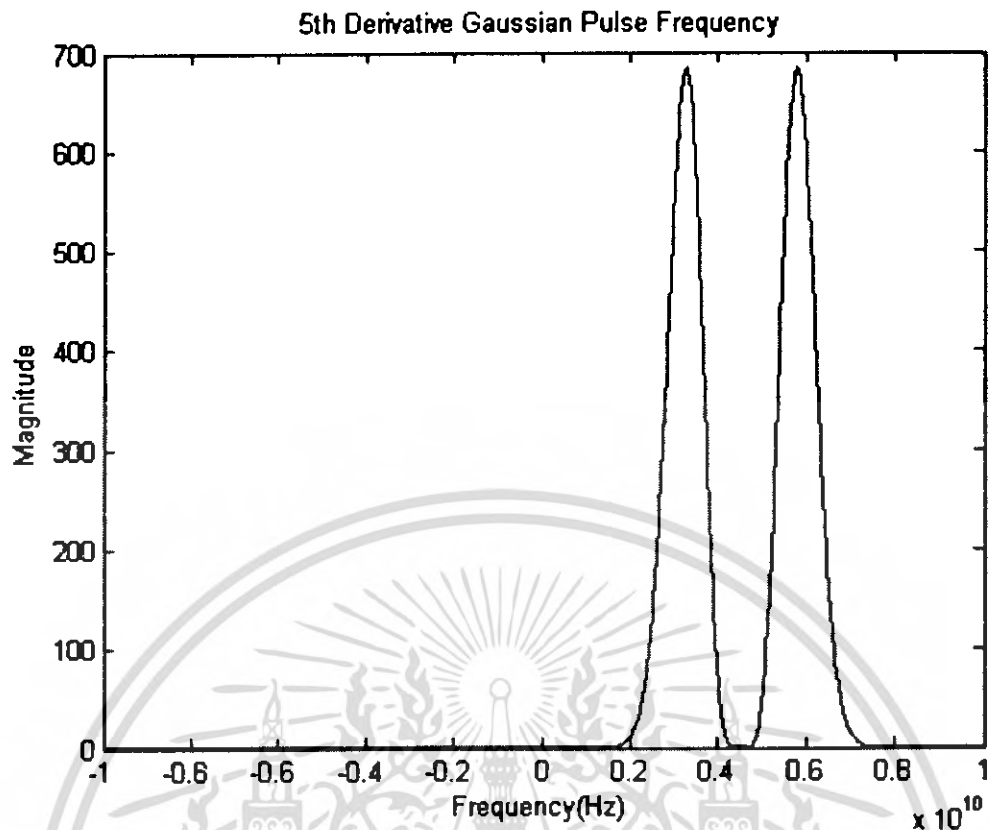
$$v_{k5} = \left( -120 + 160 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 32 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 \right) \frac{x e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{t^6} k_5 \quad (4.10)$$

เมื่อ  $k_5$  คือ ค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.11 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



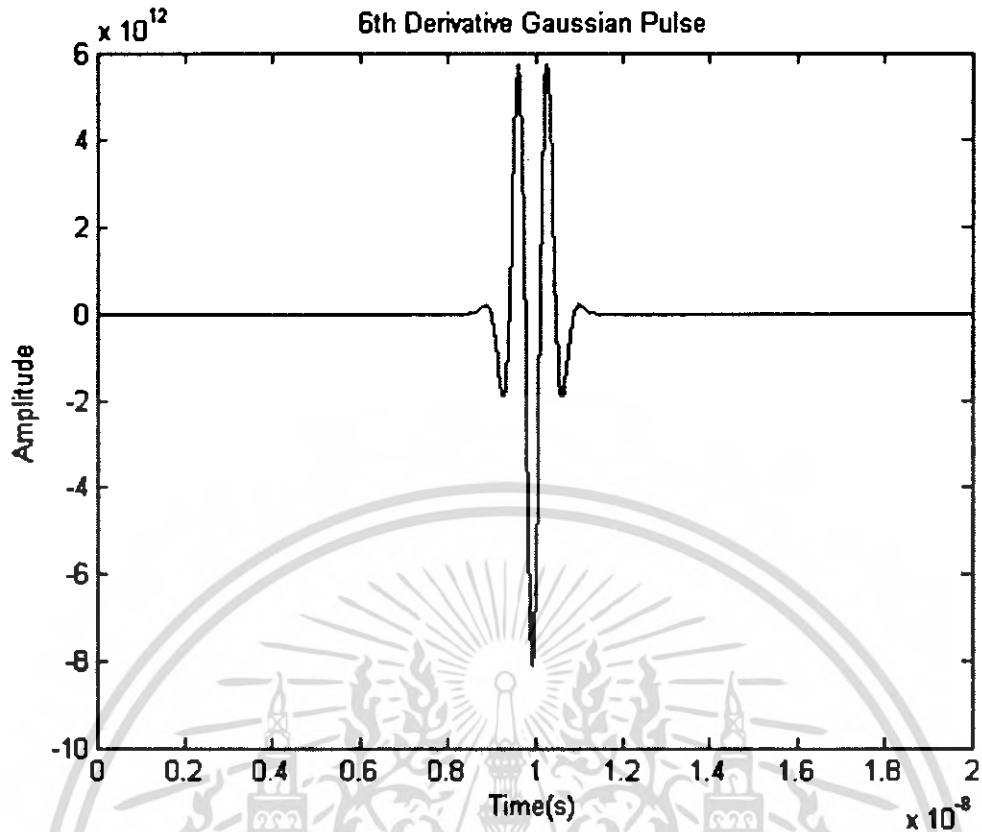
รูปที่ 4.12 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

#### 4.2.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์

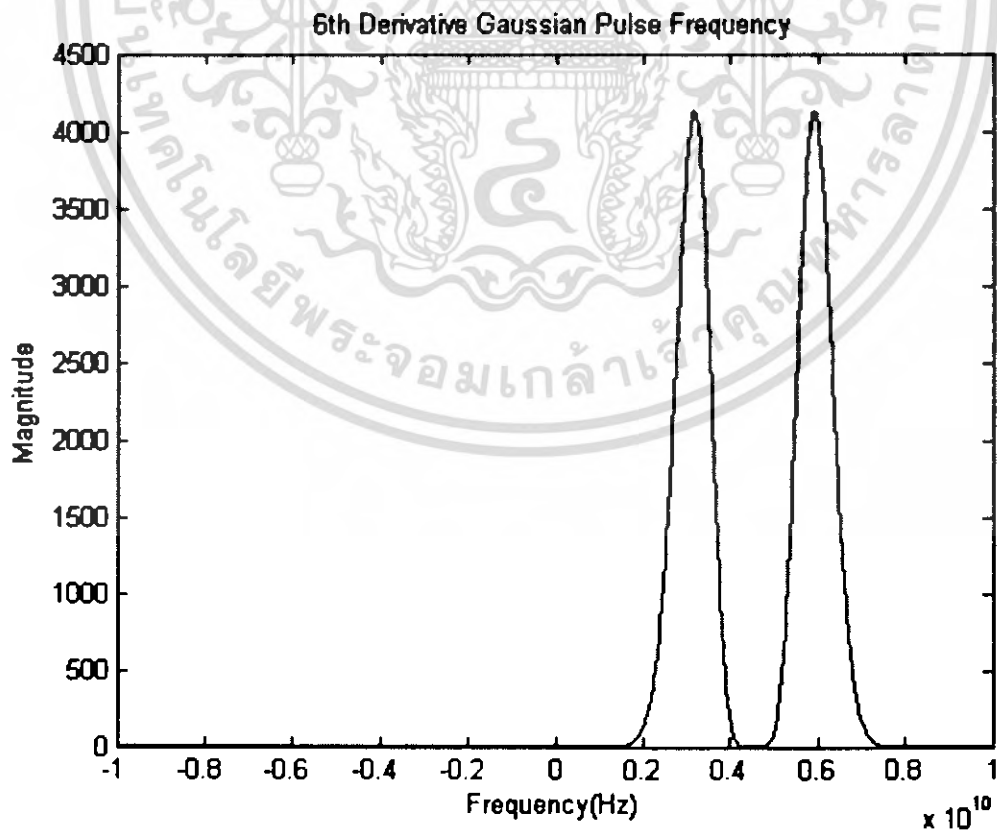
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g6} = \left( -120 + 720 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 480 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 + 64 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 \right) \frac{e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{t^6} k_6 \quad (4.11)$$

เมื่อ  $k_6$  คือ ค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.13 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.14 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

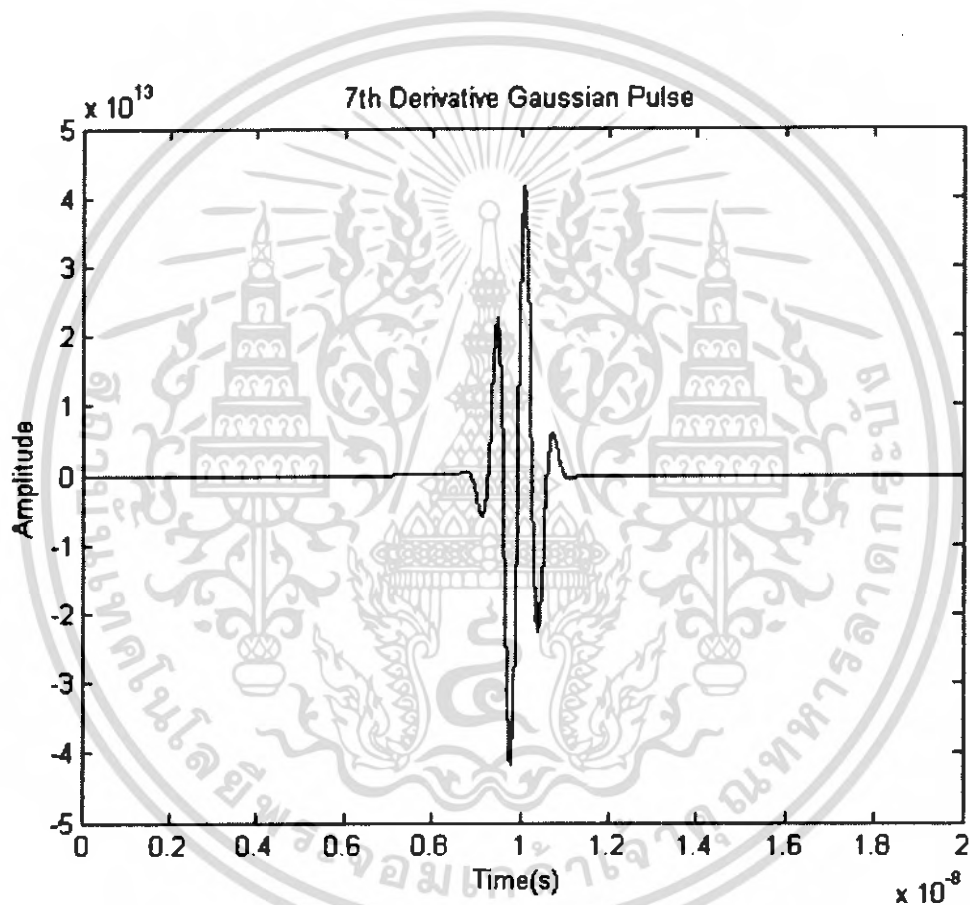
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

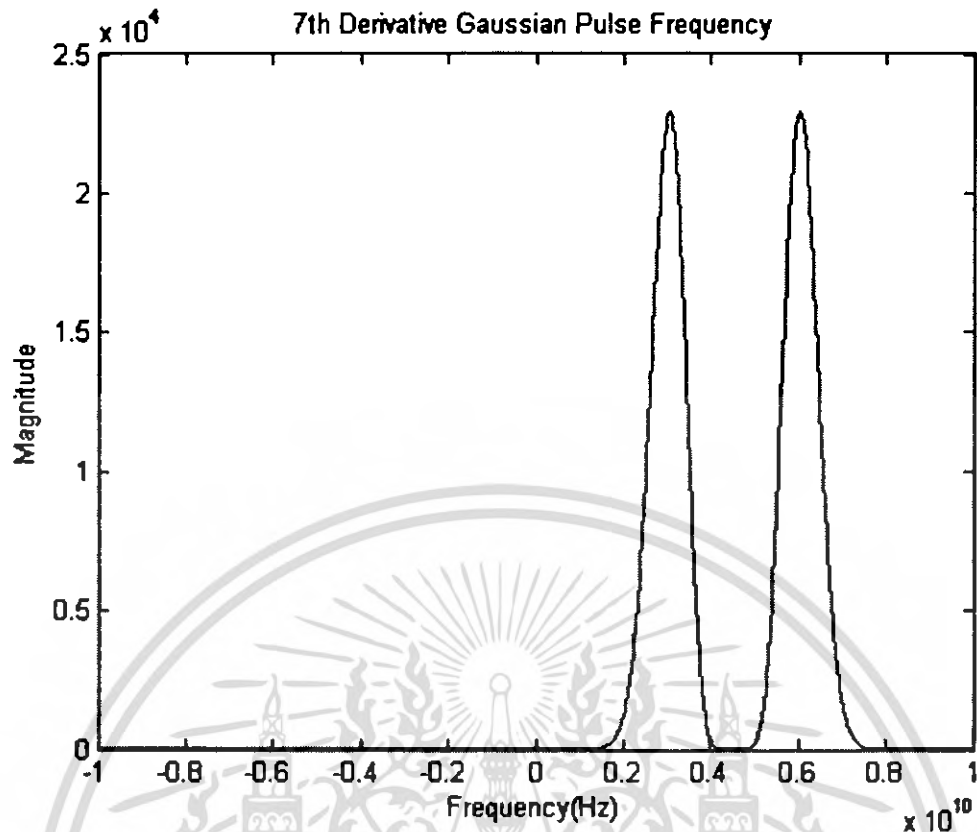
$$v_{g7} = \left( 1680 - 3360 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 1344 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 128 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 \right) \frac{x e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{\tau^8} k_7 \quad (4.12)$$

เมื่อ  $k_7$  คือ ค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.15 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



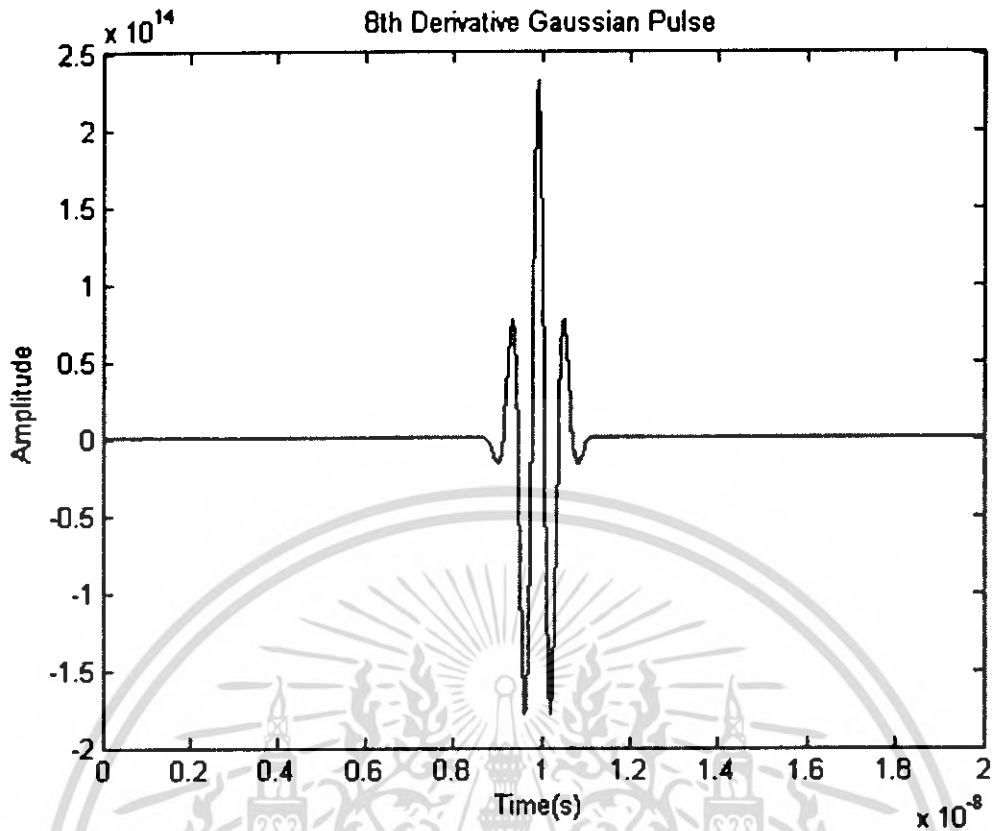
รูปที่ 4.16 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

#### 4.2.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์

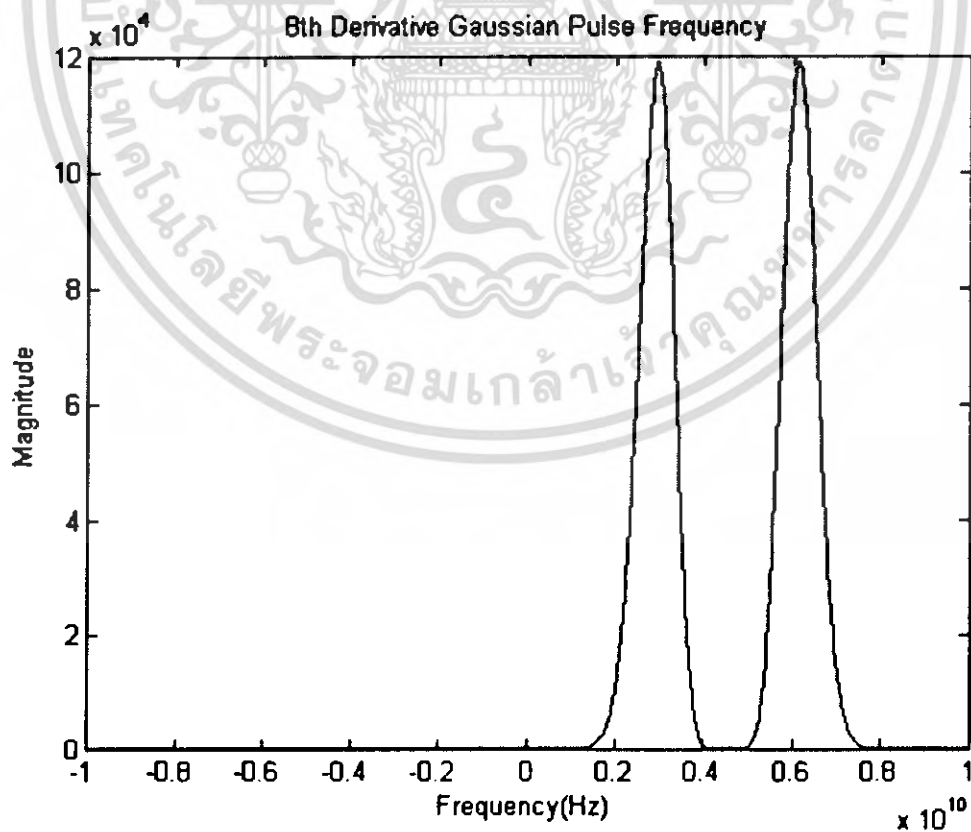
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g8} = \left( 1680 - 13440 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 13440 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 3584 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 + 256 \left( \frac{t}{\tau} \right)^8 \right) \frac{e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{\tau^8} k_8 \quad (4.13)$$

เมื่อ  $k_8$  คือ ค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.17 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.18 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

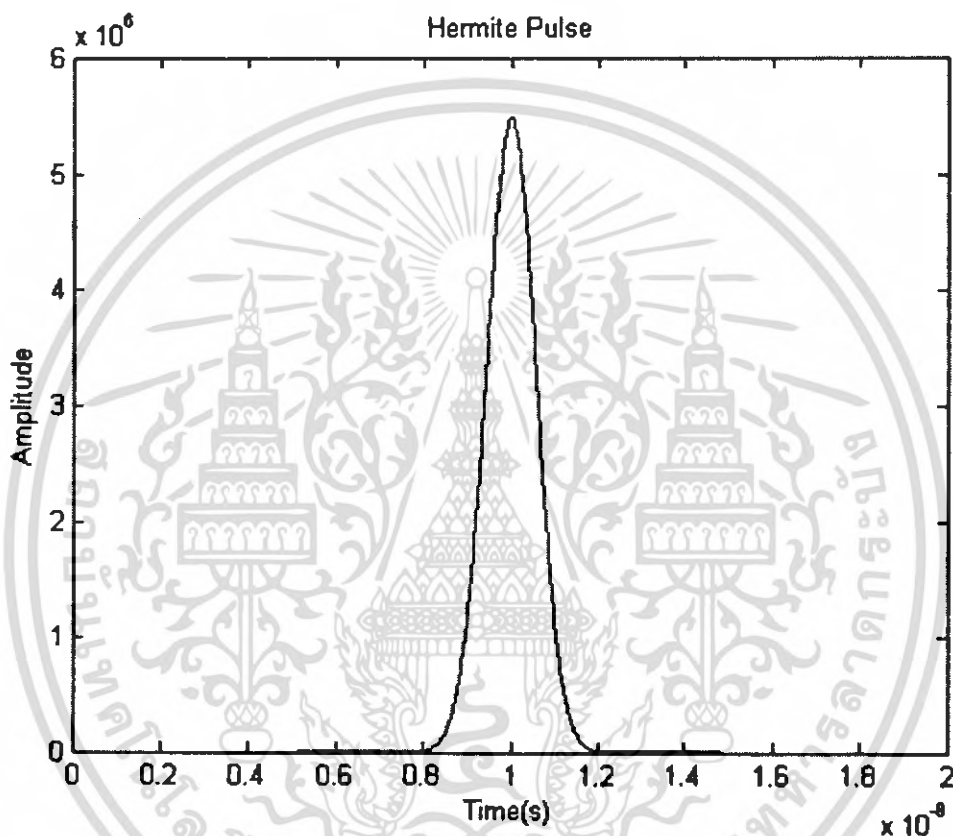
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.10 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณรูปคลื่นของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

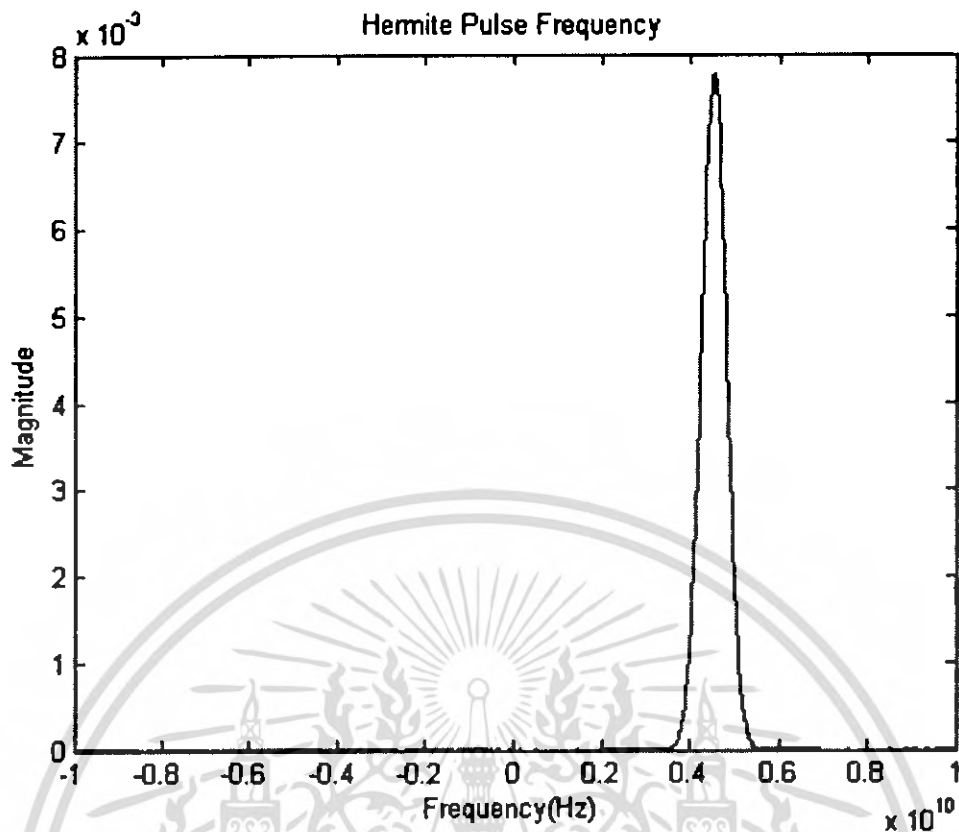
$$h_0(t) = k_0 e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.14)$$

เมื่อ  $k_0$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.19 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ใน โดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



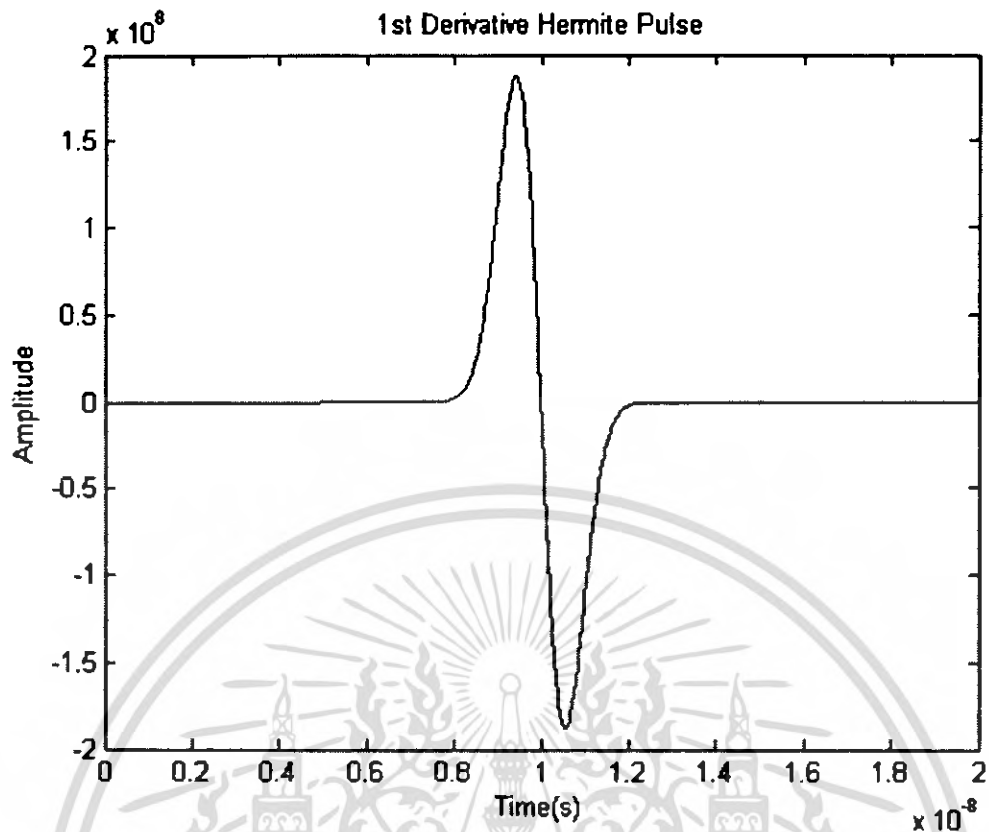
รูปที่ 4.20 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

#### 4.2.11 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

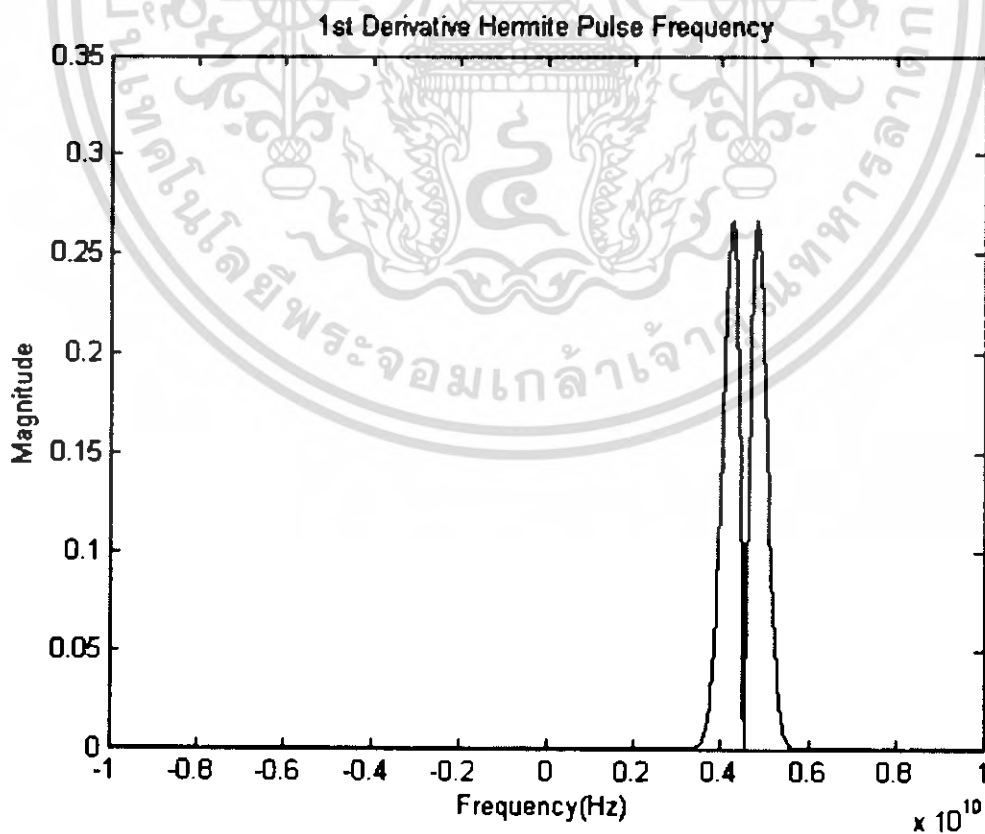
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_1(t) = k_1 \frac{t}{\tau} e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.15)$$

เมื่อ  $k_1$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.21 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.22 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

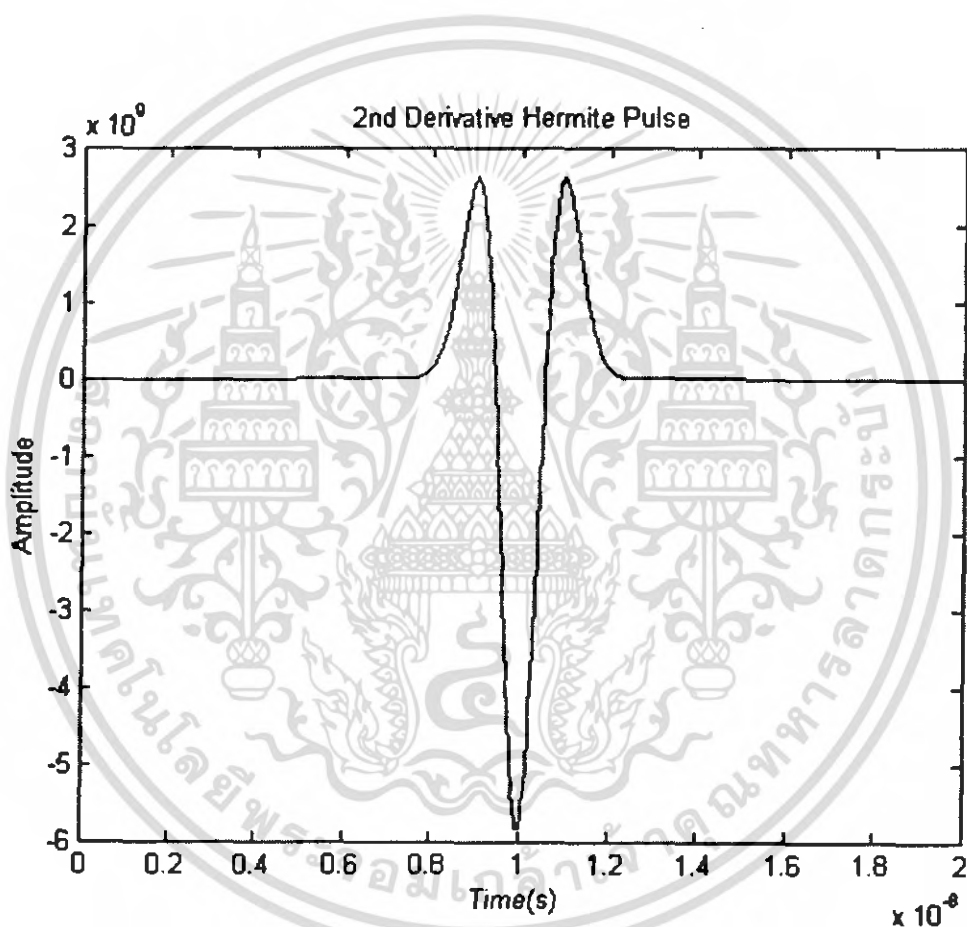
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.12 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

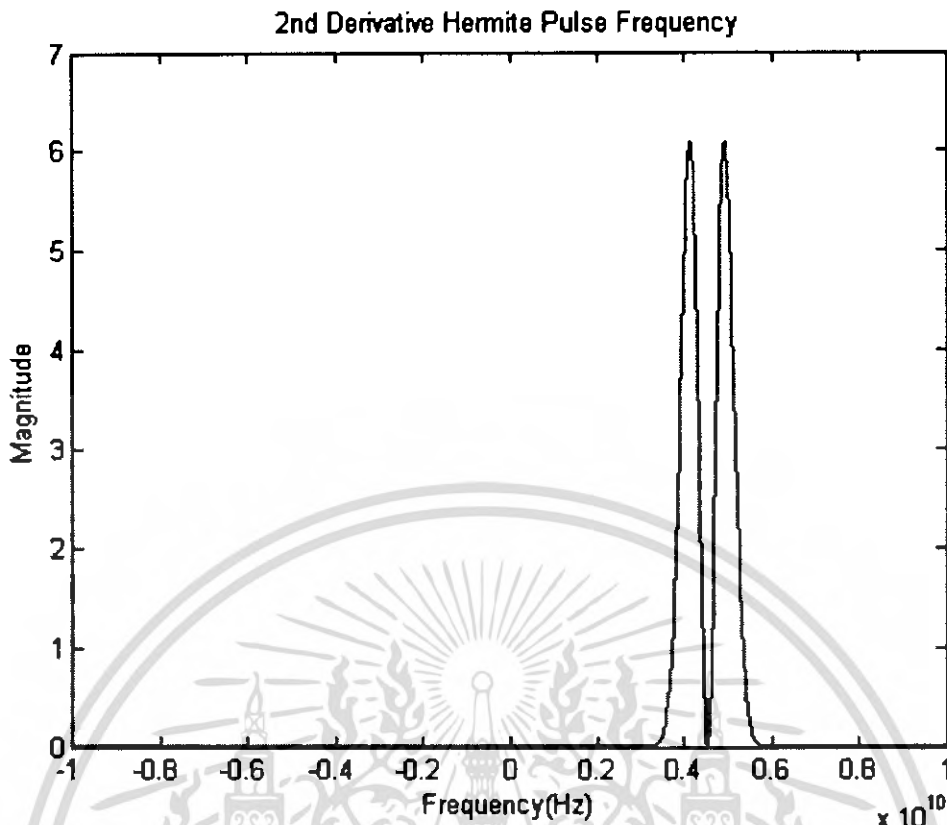
$$h_2(t) = k_2 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 1 \right] e^{-t^2/\tau^2} \quad (4.16)$$

เมื่อ  $k_2$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.23 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ใน โดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



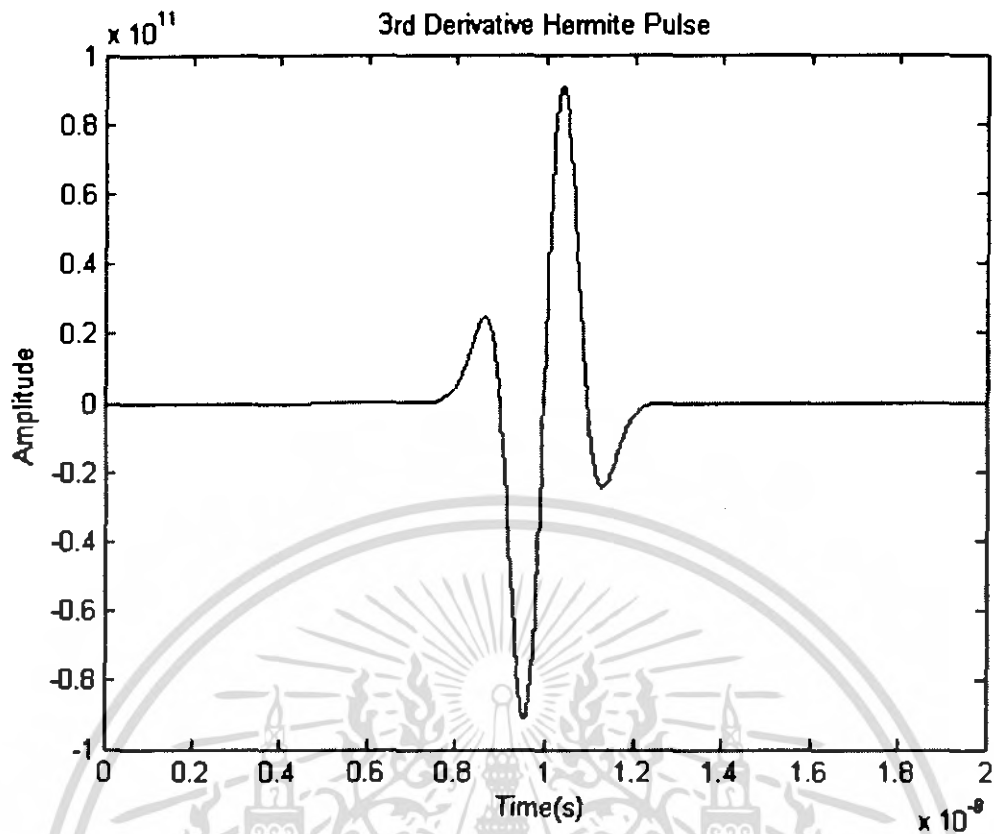
รูปที่ 4.24 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ใน โดเมนความถี่

#### 4.2.13 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

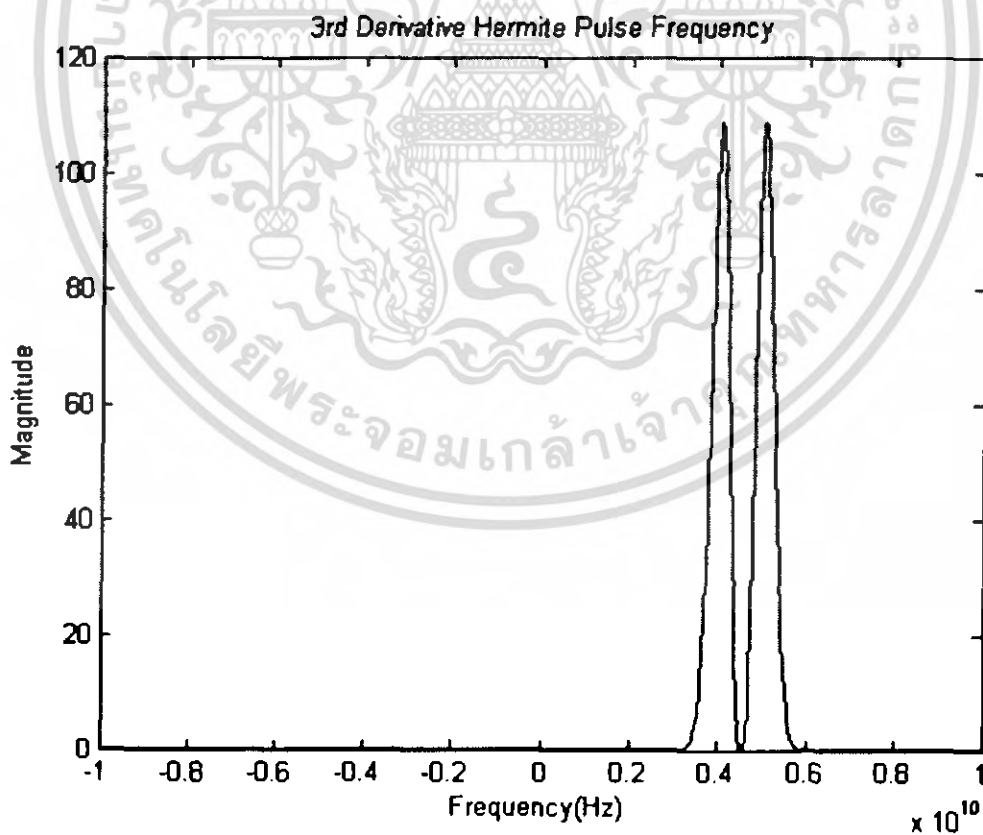
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_3(t) = k_3 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^3 - 3 \frac{t}{\tau} \right] e^{-2t/\tau^2} \quad (4.17)$$

เมื่อ  $k_3$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.25 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ใน โดเมนเวลา



รูปที่ 4.26 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ใน โดเมนความถี่

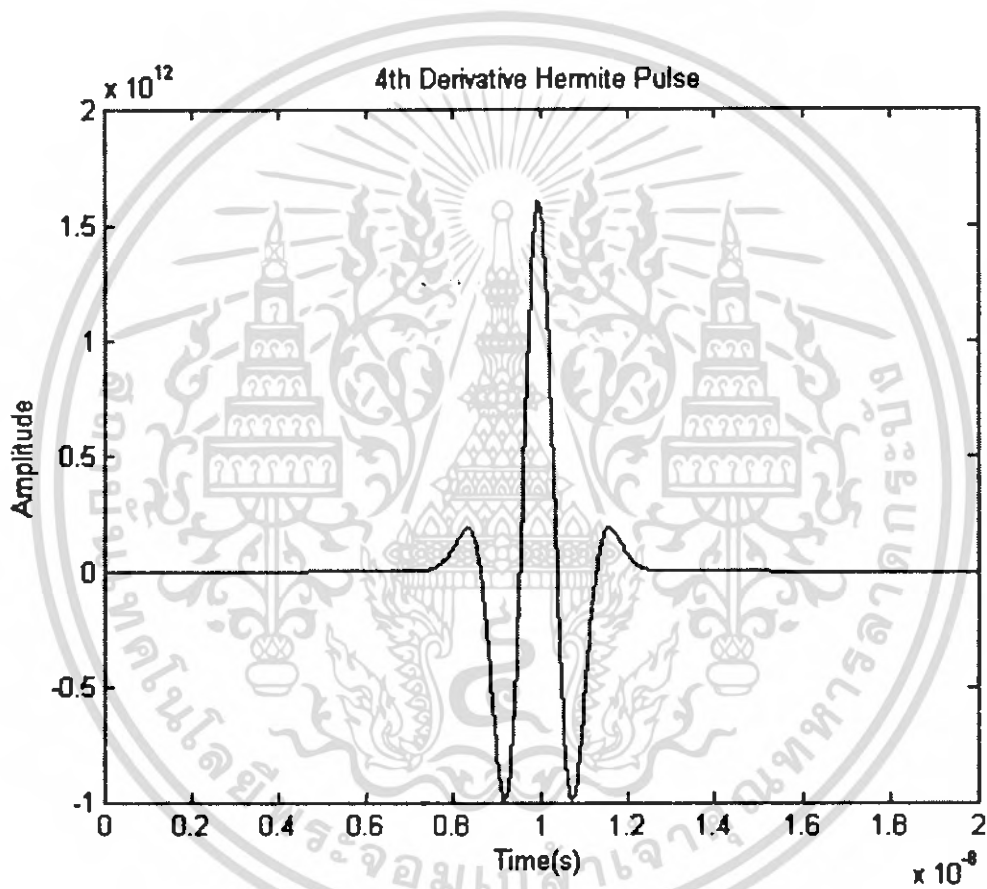
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.14 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

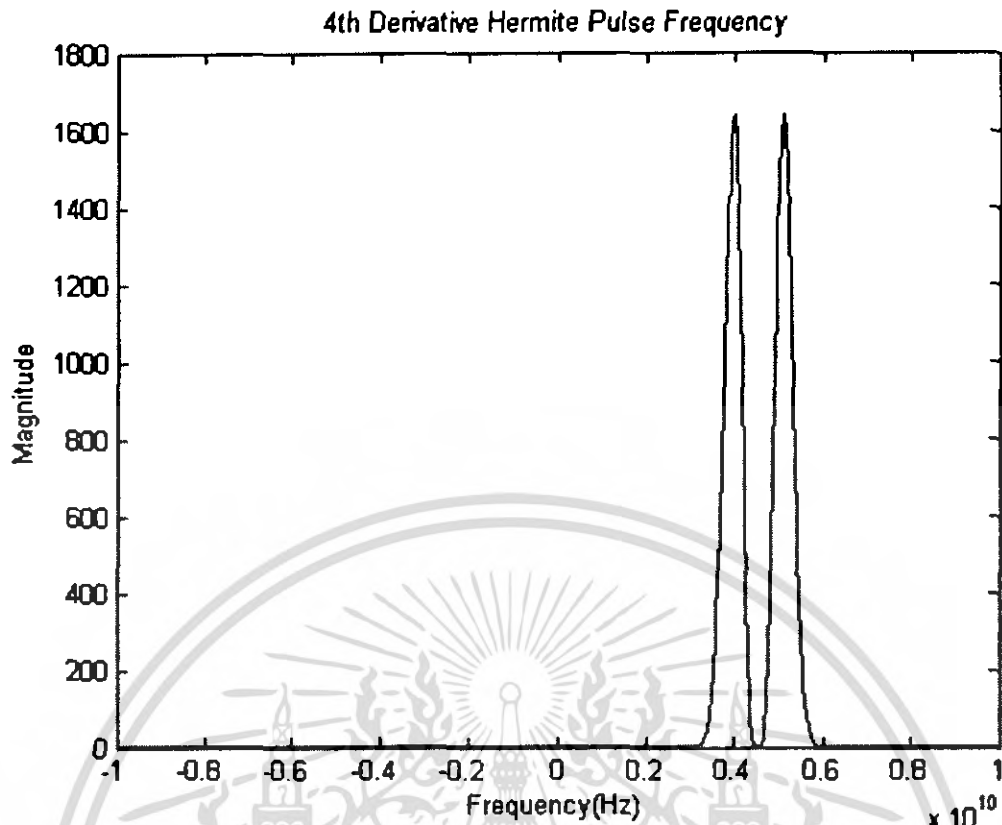
$$h_4(t) = k_4 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 6 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 3 \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.18)$$

เมื่อ  $k_4$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.27 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



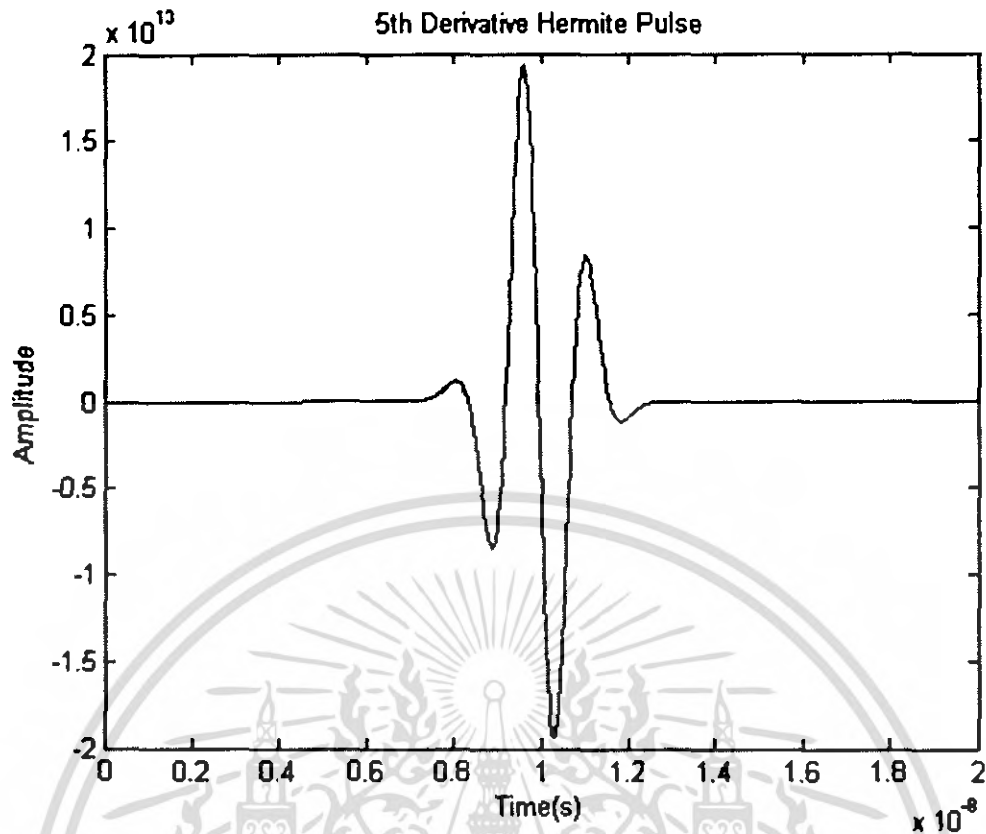
รูปที่ 4.28 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ใน โดเมนความถี่

#### 4.2.15 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

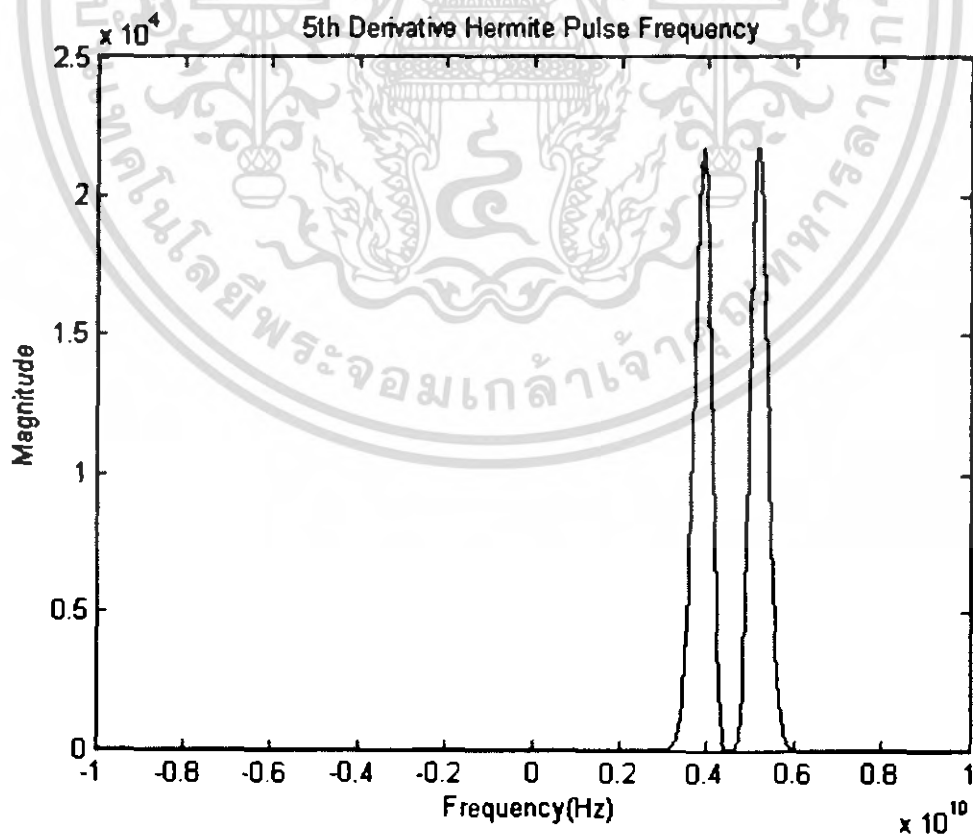
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_5(t) = k_5 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^5 - 10 \left( \frac{t}{\tau} \right)^3 + 15 \left( \frac{t}{\tau} \right) \right] e^{-t^2/\tau^2} \quad (4.19)$$

เมื่อ  $k_5$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.29 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.30 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

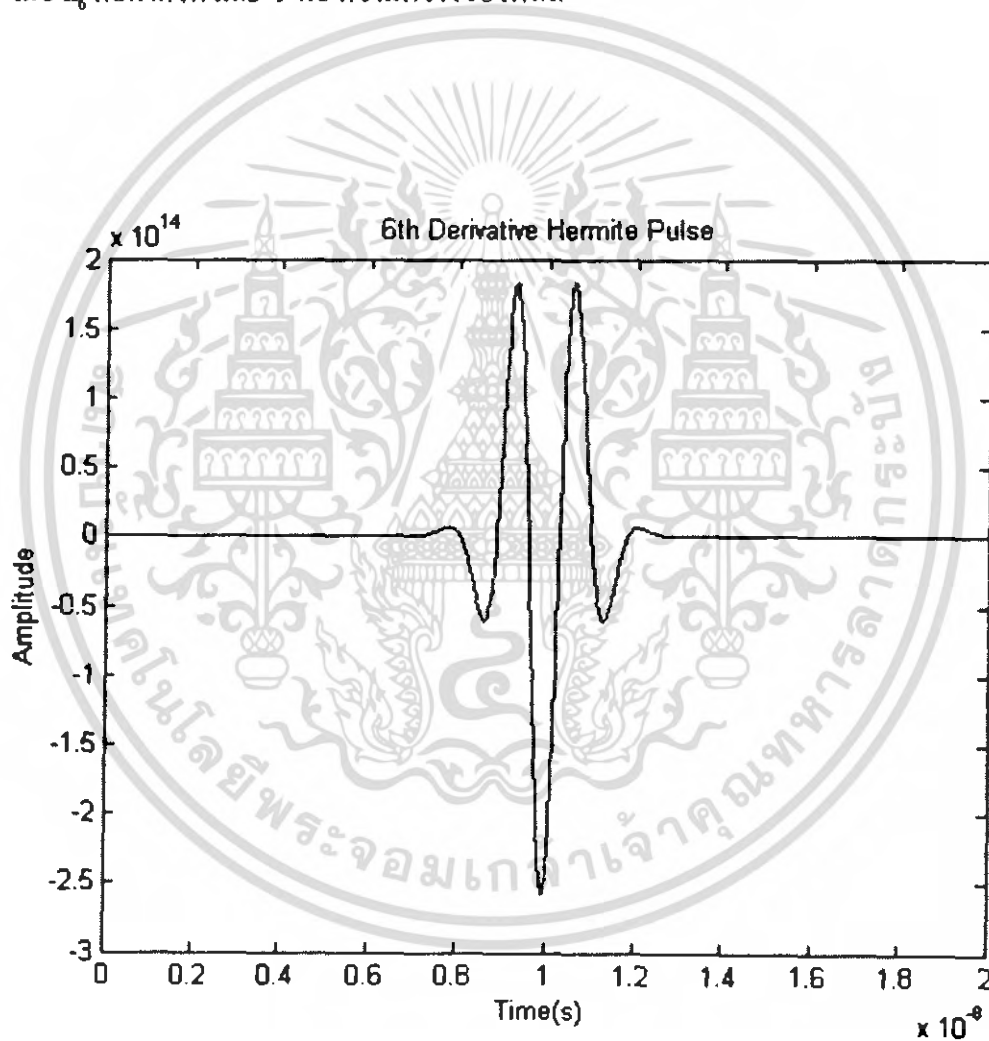
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.16 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

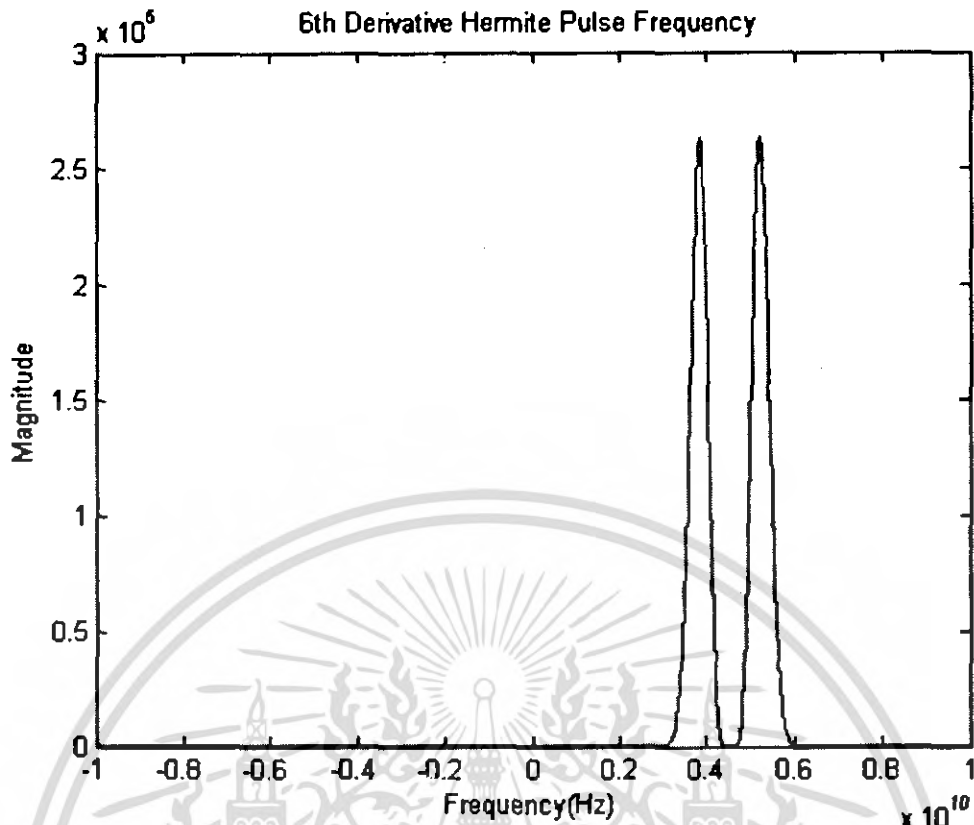
$$h_6(t) = k_6 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 - 10 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 + 45 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 15 \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.20)$$

เมื่อ  $k_6$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.31 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



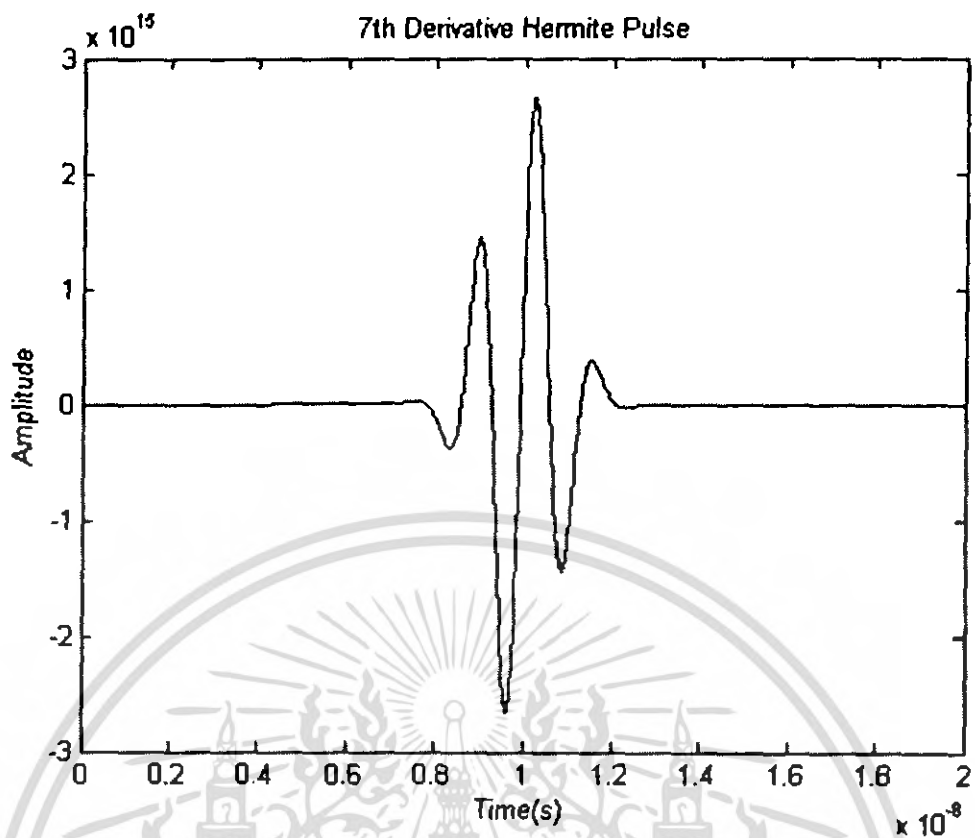
รูปที่ 4.32 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

#### 4.2.17 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

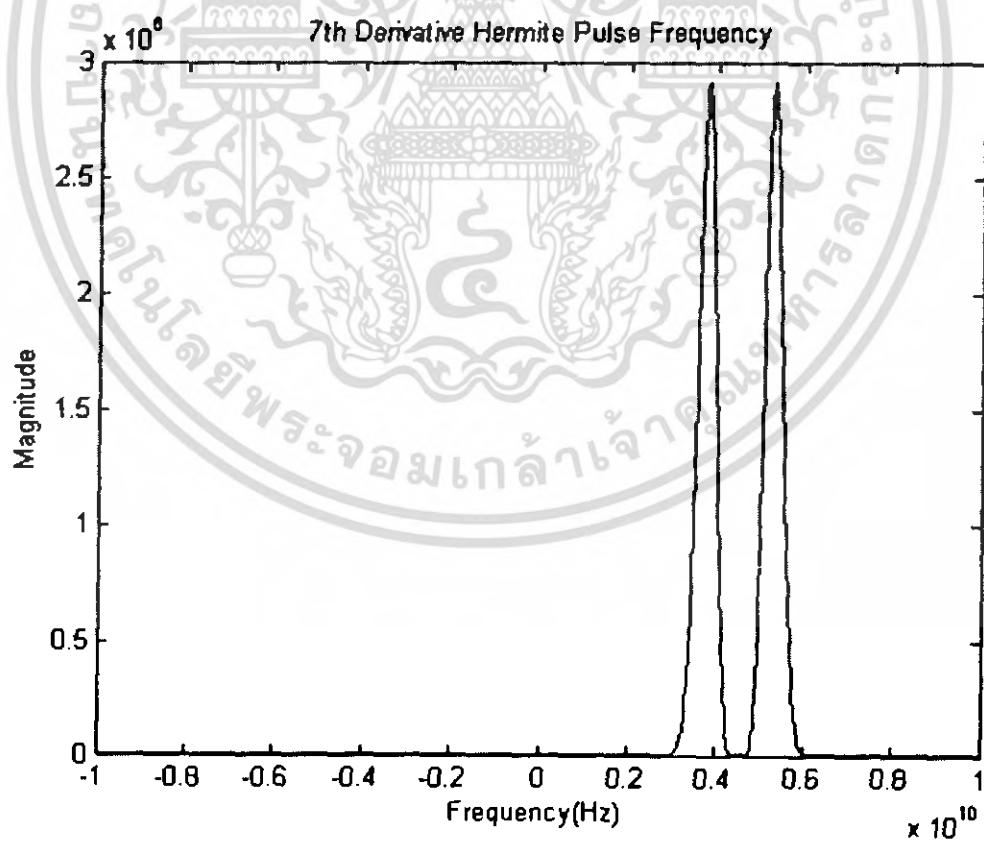
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_7(t) = k_7 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^7 - 21 \left( \frac{t}{\tau} \right)^5 + 105 \left( \frac{t}{\tau} \right)^3 - 105 \left( \frac{t}{\tau} \right) \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.21)$$

เมื่อ  $k_7$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.33 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.34 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

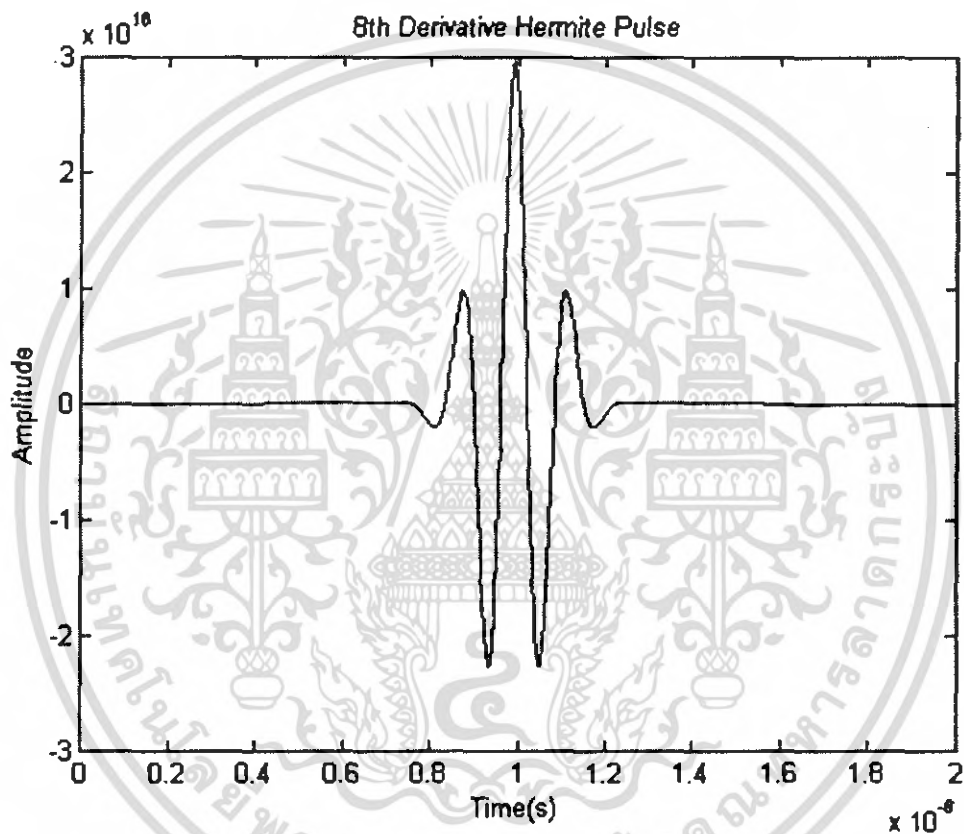
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.18 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

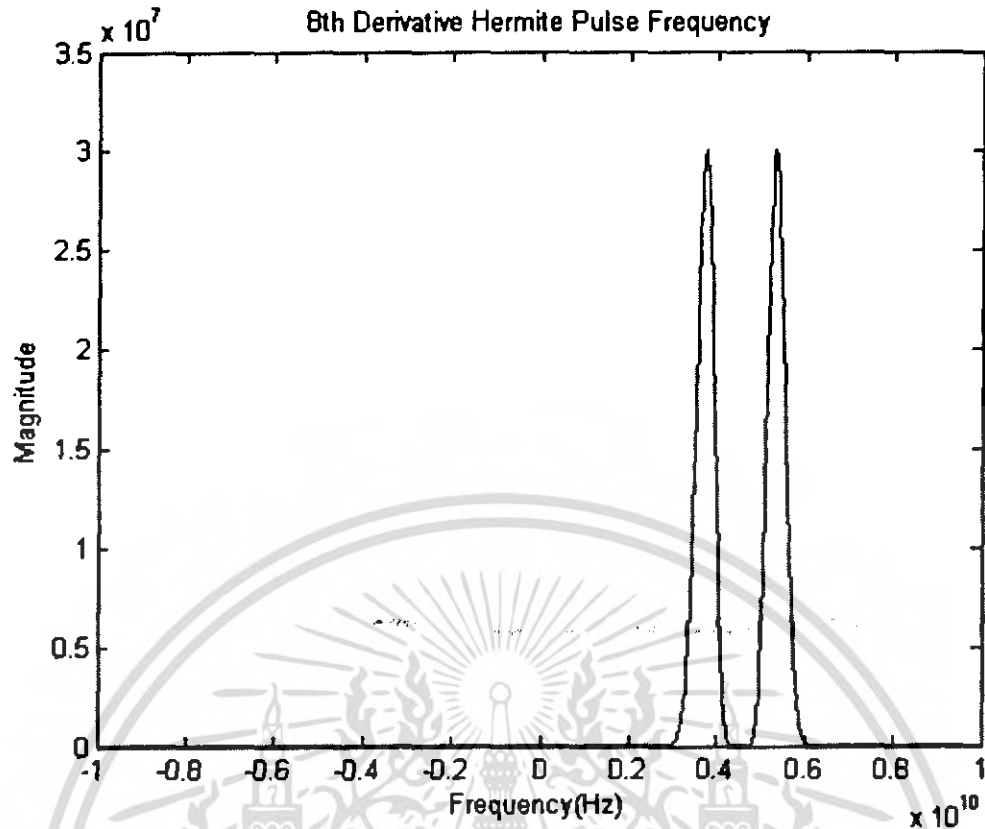
$$h_8(t) = k_7 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^8 - 28 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 + 210 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 420 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 105 \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.22)$$

เมื่อ  $k_7$  คือค่าคงที่ และ  $\tau$  คือ ความกว้างของพัลส์



รูปที่ 4.35 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

### 4.3 ช่องสัญญาณอวกาศว่าง

สูตรการส่งผ่านอวกาศว่างของฟรีส เป็นที่รู้จักกันดีและนิยมใช้อย่างแพร่หลายสำหรับช่องสัญญาณแถบแคบโดยพิจารณาในรูปแบบจำนวนจริงในความถี่ที่กำหนด อัตราขยายอวกาศว่างของฟรีสนิยามเป็น

$$G_f = \frac{c^2}{16\pi^2 f^2 d^2} \quad (4.23)$$

เมื่อ  $d$  เป็นระยะทาง และ  $c$  เป็นความเร็วแสง

สำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง UWB ได้ใช้สูตรการส่งผ่านอวกาศว่างของฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อน ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง  $H_f$  สามารถเขียนเป็น

$$H_f(f) = \frac{c}{4\pi|f|d} e^{-j2\pi d/c} \quad (4.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้เป็นไปตามคุณสมบัติของความสมเหตุสมผล (Causality) ซึ่งจะมีค่าที่บวกเป็นสังยุคเชิงซ้อน (Complex Conjugate) ของค่าที่ความถี่ลบ

#### 4.4 สัญญาณรับของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรับ UWB  $V_r$  หาได้จากการนำความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณคูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสัญญาณซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H(f) \quad (4.25)$$

รูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณรับ UWB หาได้จากการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับของความหนาแน่นสเปกตรัมซึ่งจะได้

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4.26)$$

#### 4.5 สัญญาณแม่แบบของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

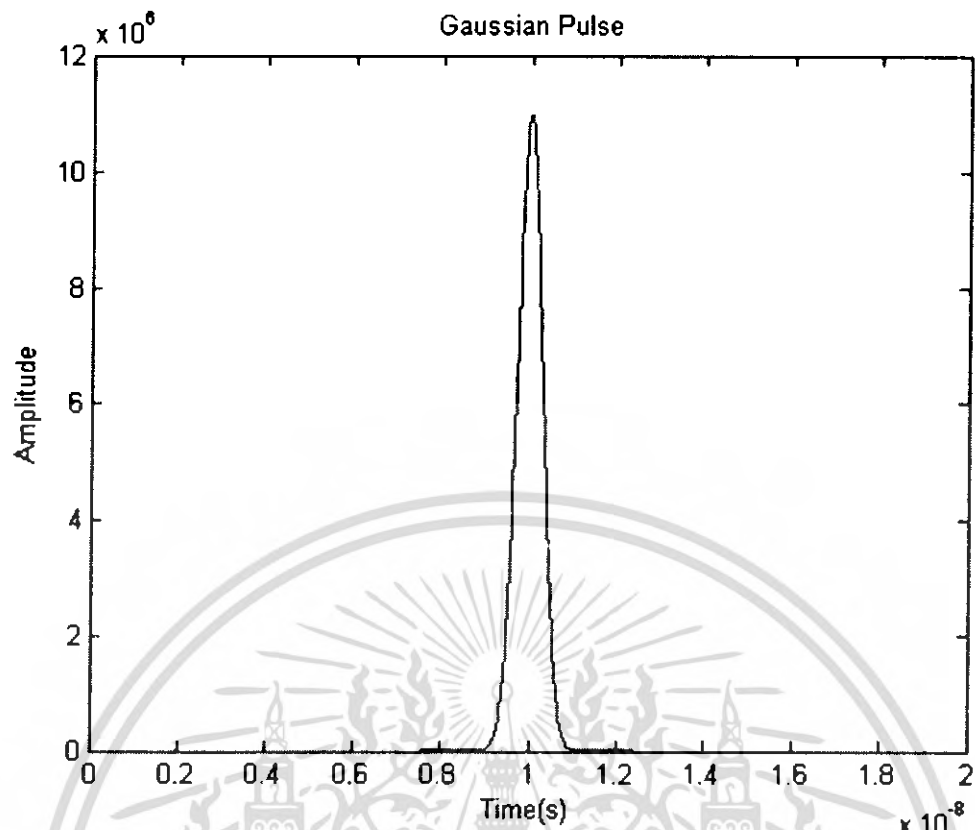
สำหรับสัญญาณแม่แบบที่นำมาใช้พิจารณานั้นมี 18 แบบ คือ

##### 4.5.1 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์

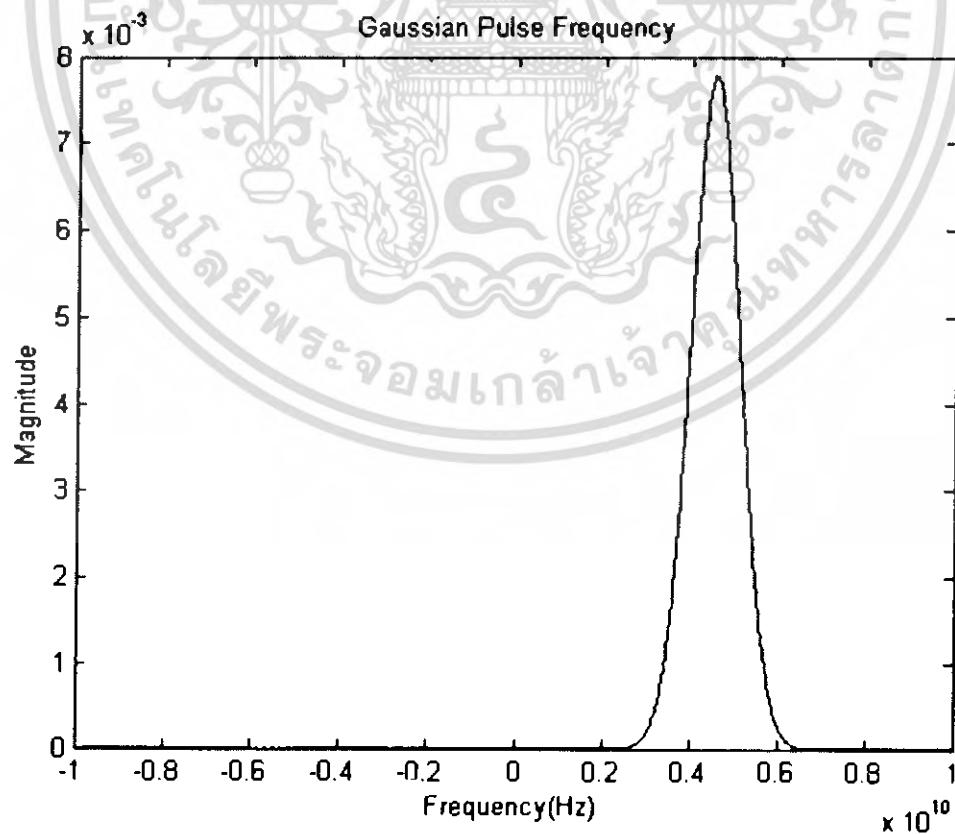
สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงด้วยสมการ

$$v_{g0}(t) = K_0 e^{-(t/\tau)^2} \quad (4.27)$$

โดยที่  $K_0$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.37 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.38 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนความถี่

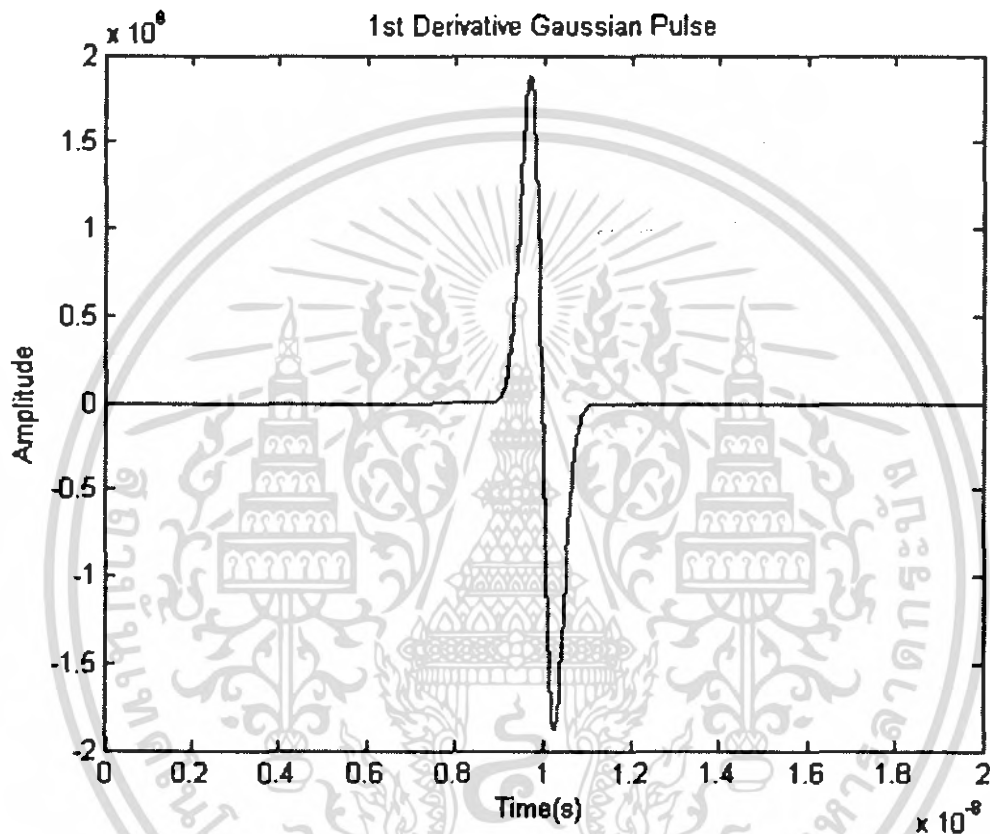
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

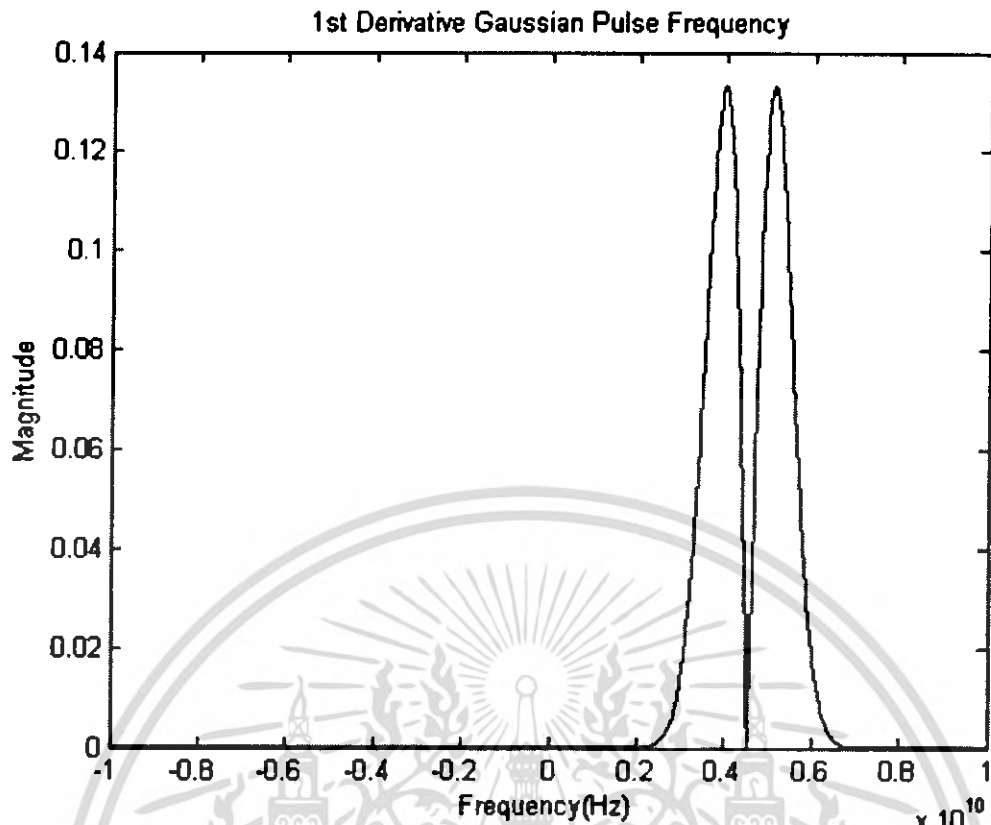
$$v_{g1}(t) = K_1 \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (4.28)$$

โดยที่  $K_1$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.39 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



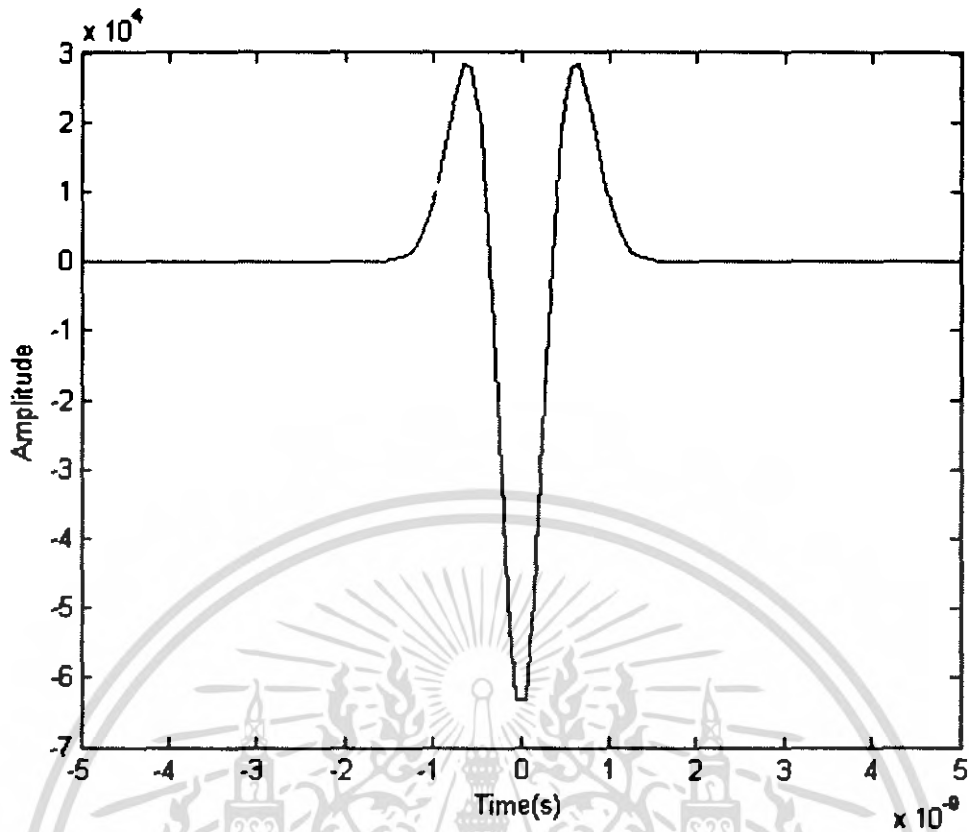
รูปที่ 4.40 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่

#### 4.5.3 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

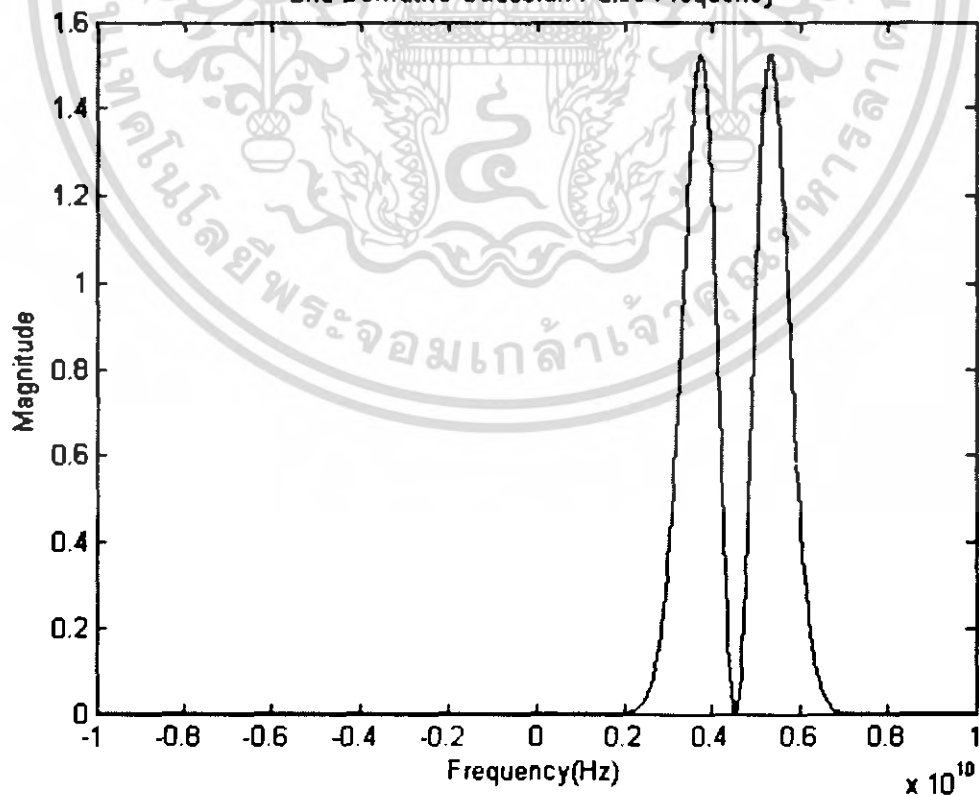
$$v_{g2}(t) = K_2 \left( \frac{-2}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} + \frac{4t^2}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (4.29)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ ขนาดของพัลส์ และ  $K_2$  คือ ค่าคงที่



รูปที่ 4.41 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

2nd Derivative Gaussian Pulse Frequency



รูปที่ 4.42 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์

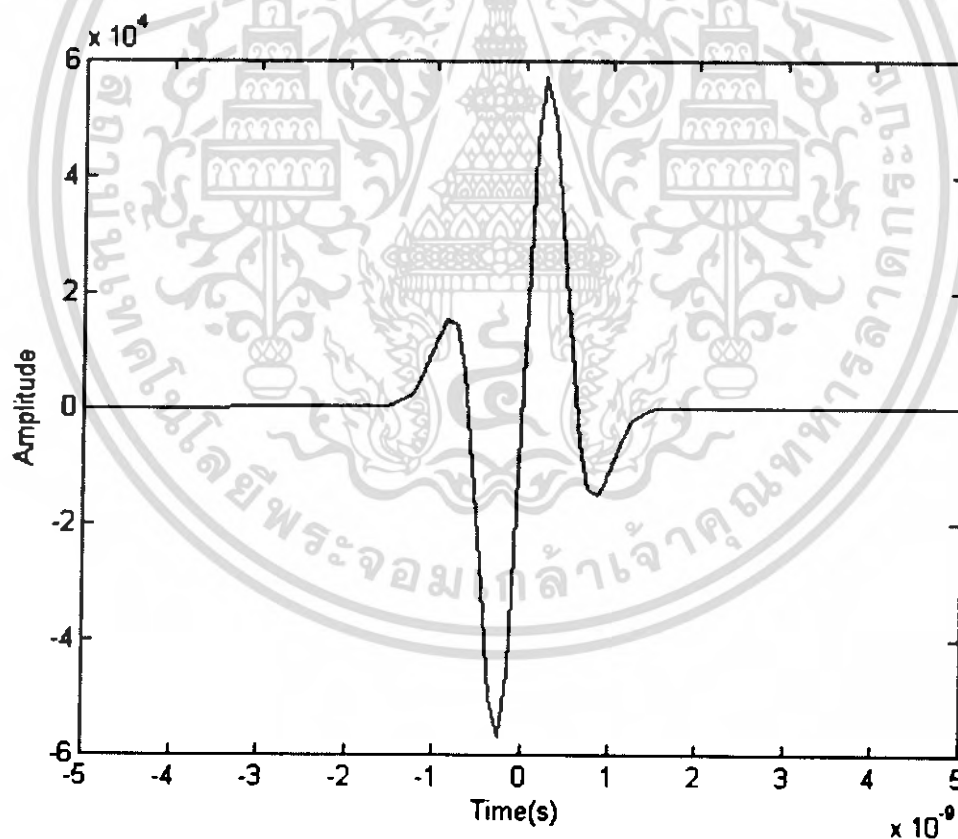
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g3}(t) = K_3 \left( \frac{12}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} - \frac{8t^3}{\tau^6} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (4.30)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ ขนาดของพัลส์ และ  $K_3$  คือ ค่าคงที่

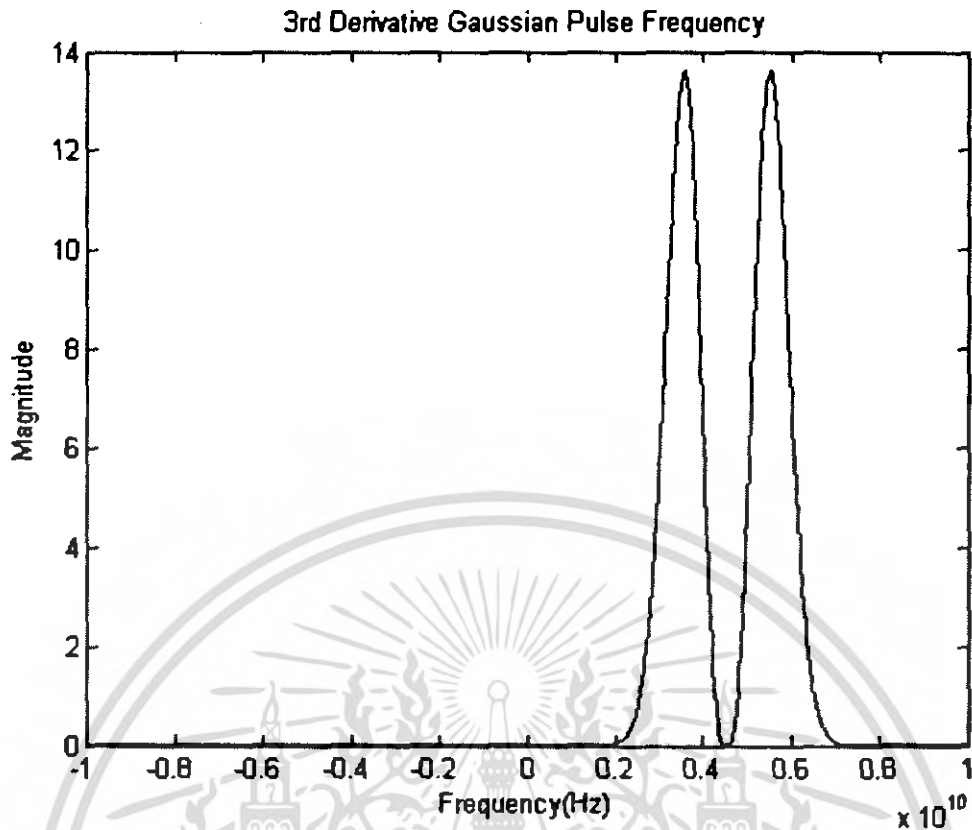
ส่วนค่าคงที่  $K_n$  สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$K_n = \sqrt{\frac{E}{\int_{-\infty}^{\infty} |g_n(t)|^2 dt}} \quad (4.31)$$



รูปที่ 4.43 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



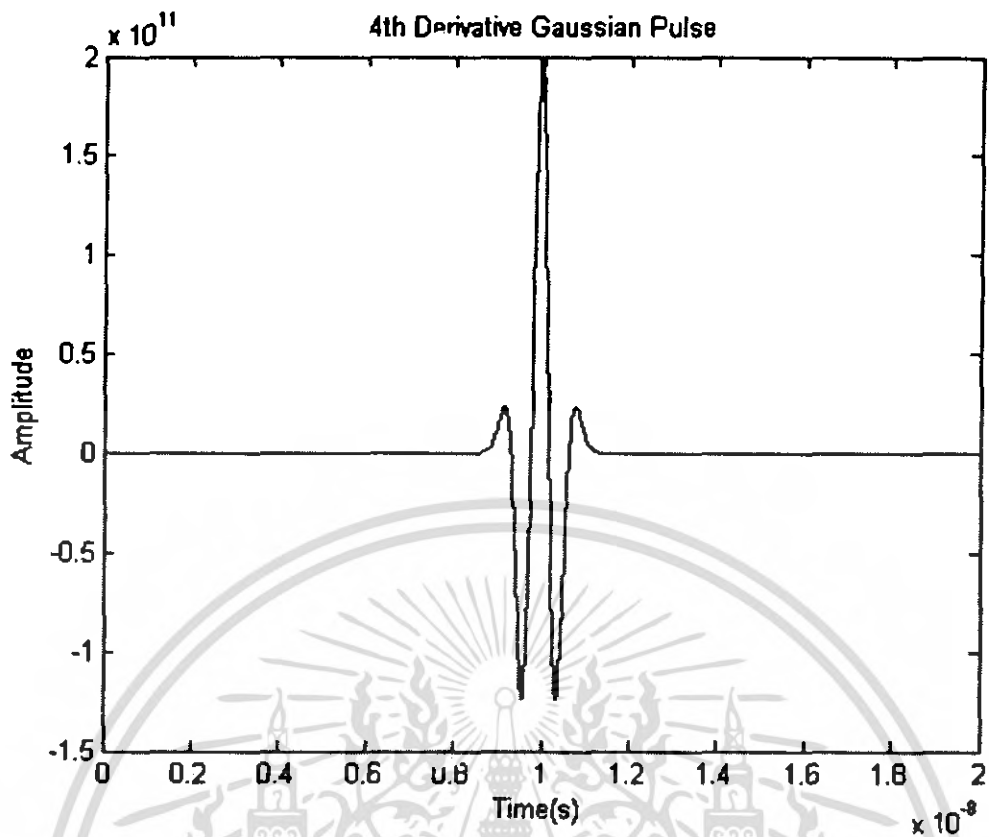
รูปที่ 4.44 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

#### 4.5.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์

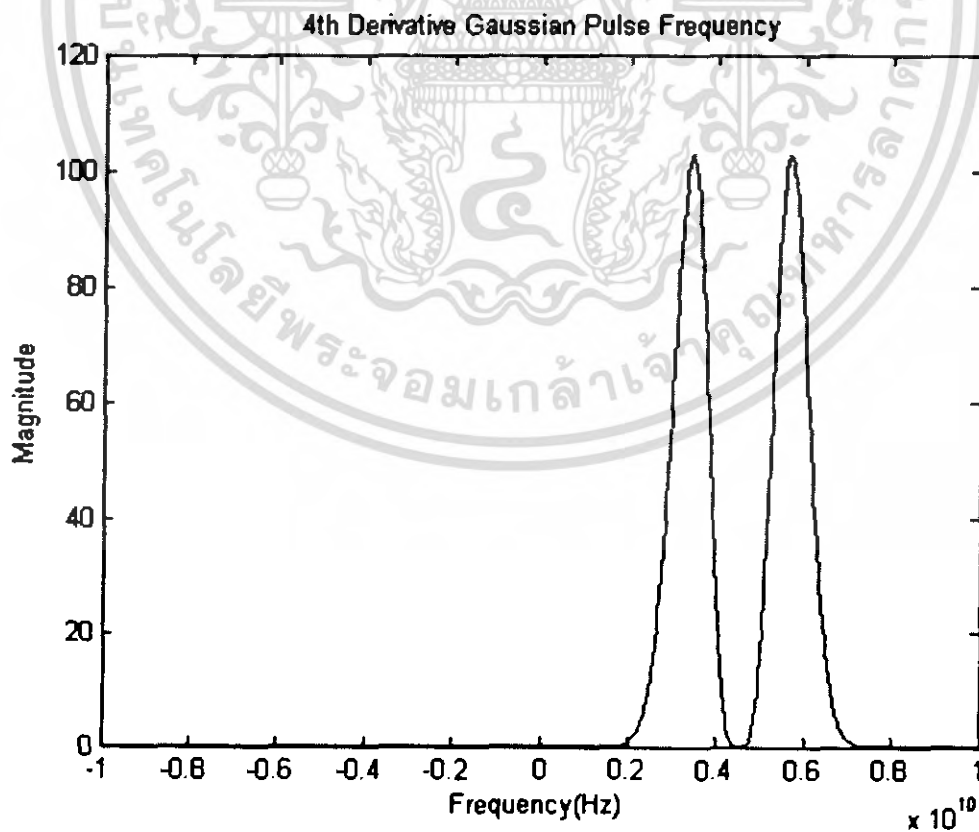
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g^4}(t) = \left( 12 - 48 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 16 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 \right) \frac{e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{\tau^4} k_4 \quad (4.32)$$

โดยที่  $k_4$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.45 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.46 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

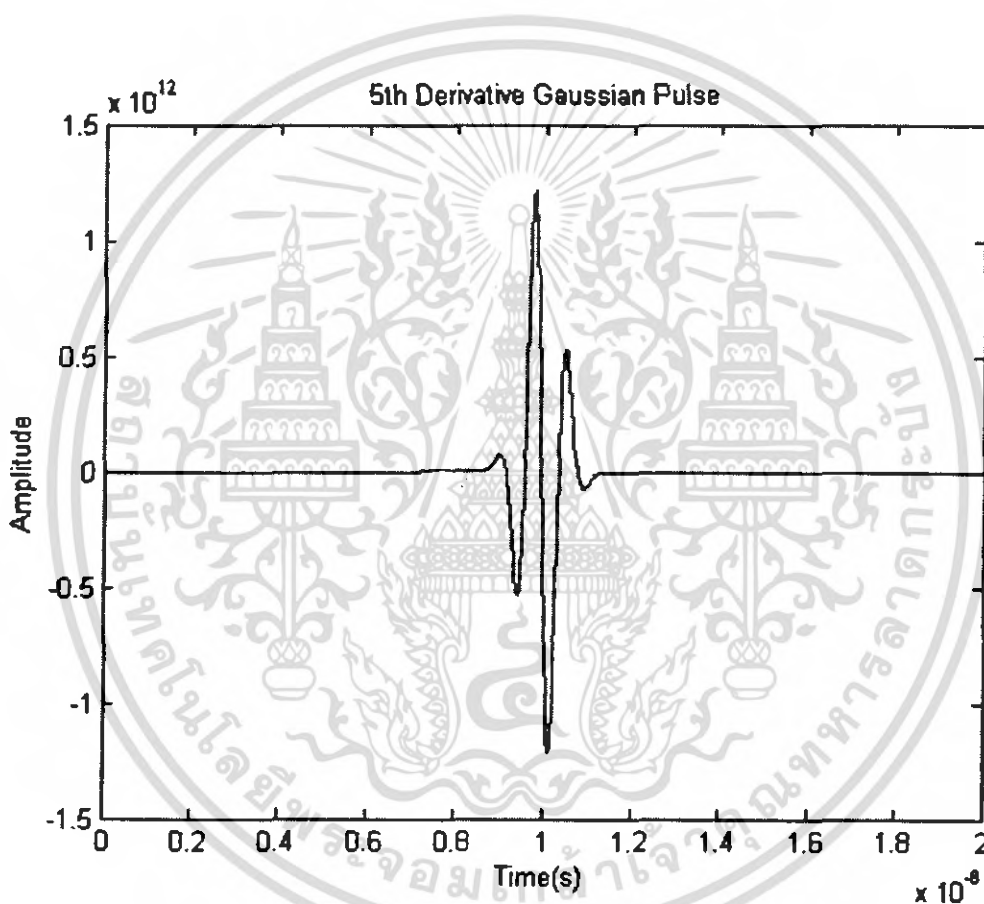
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

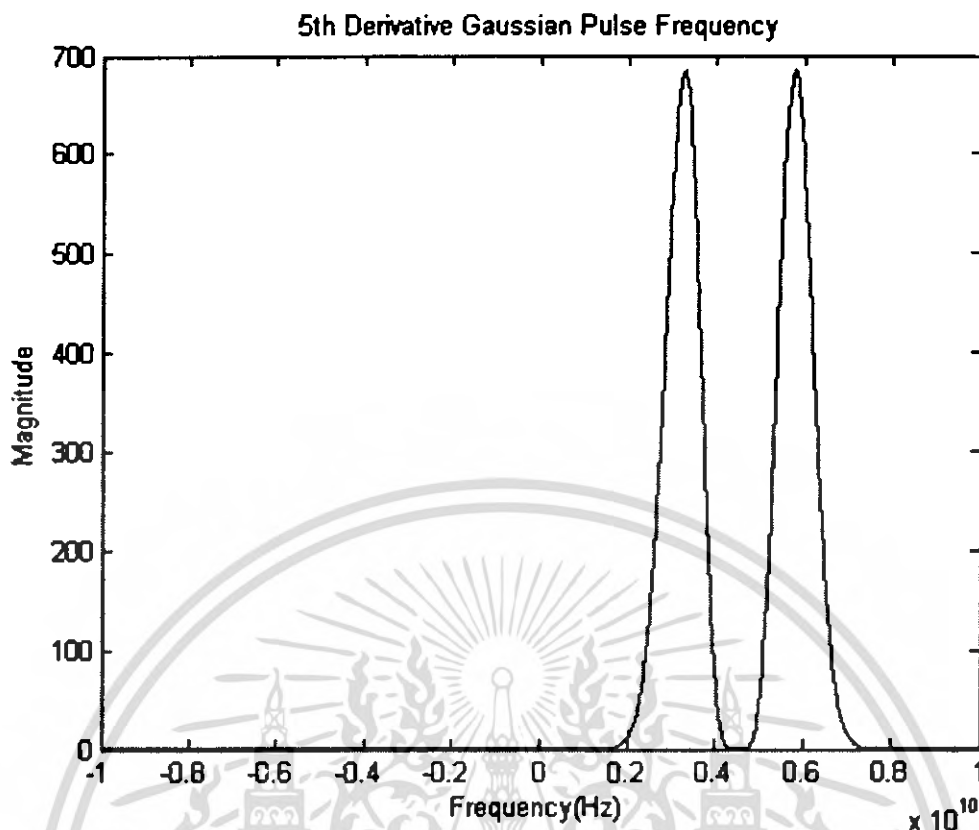
$$v_{g5} = \left( -120 + 160 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 32 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 \right) \frac{x e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{t^6} k_s \quad (4.33)$$

โดยที่  $k_s$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.47 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

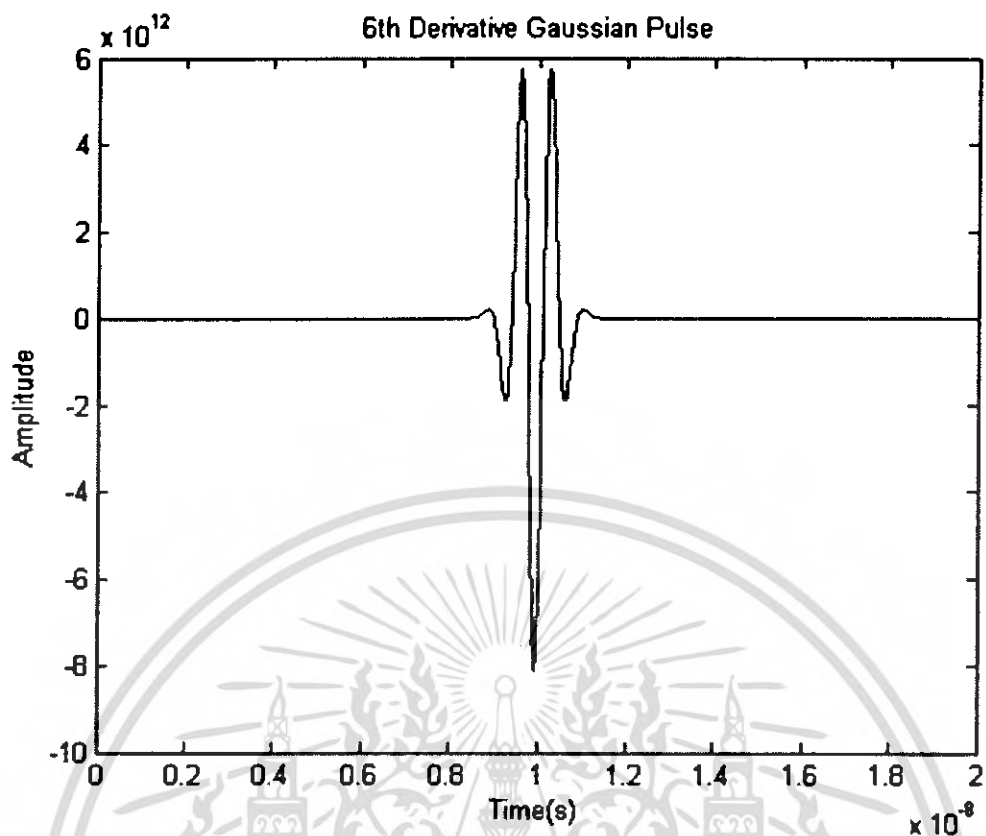
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



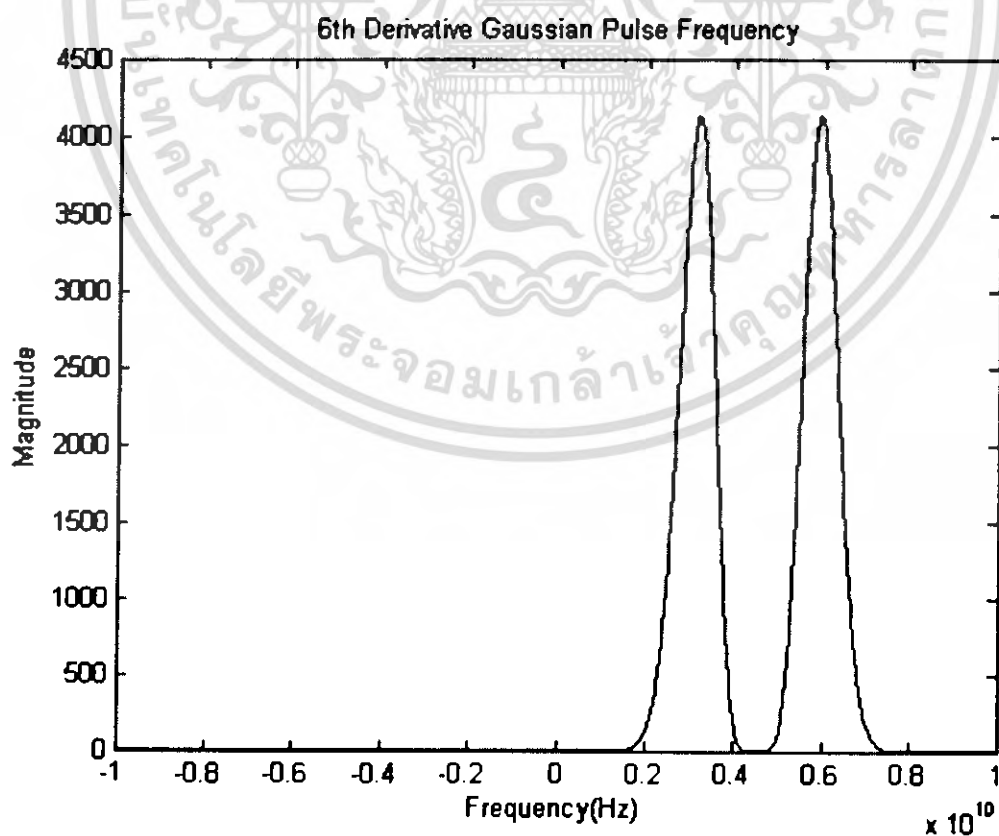
รูปที่ 4.48 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่  
 4.5.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์  
 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g6} = \left( -120 + 720 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 480 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 + 64 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 \right) \frac{e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{t^6} k_6 \quad (4.34)$$

โดยที่  $K_6$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.49 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนเวลา



รูปที่ 4.50 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่

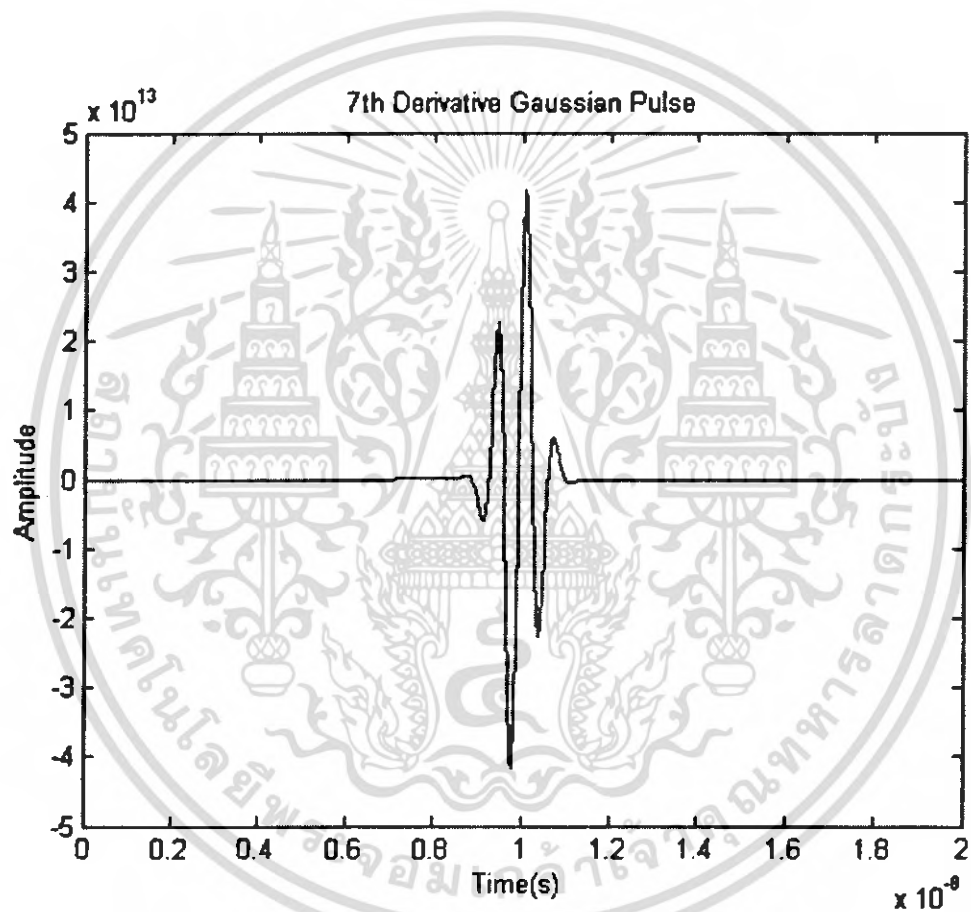
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

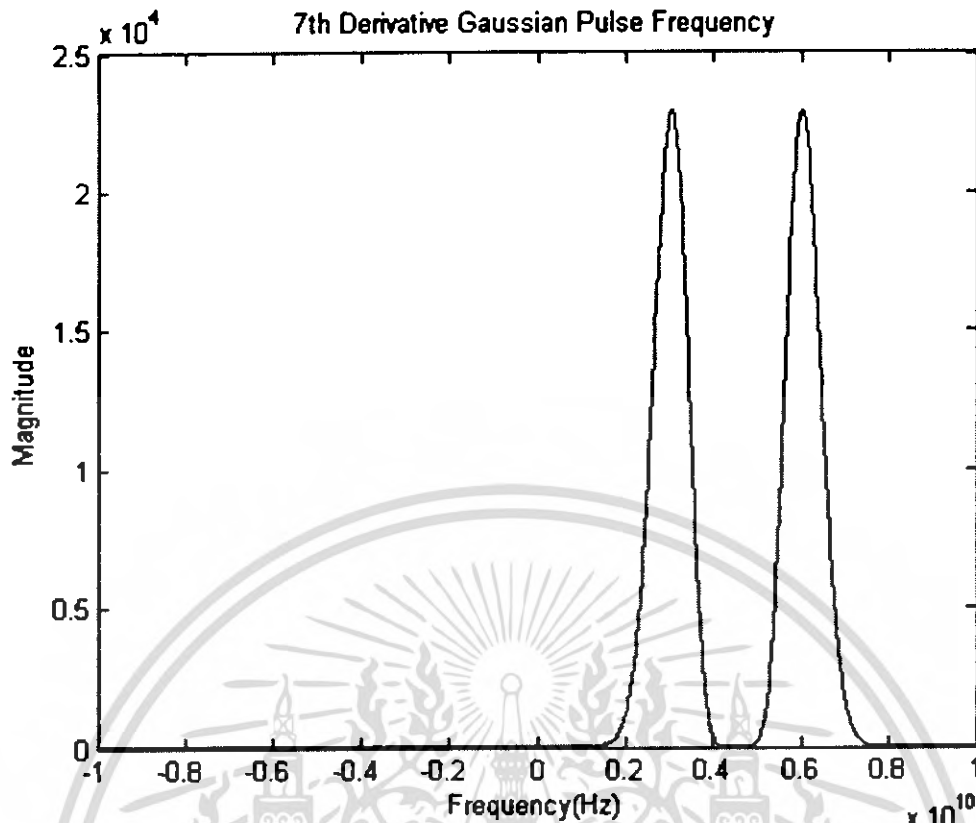
$$v_{g7} = \left( 1680 - 3360 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 1344 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 128 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 \right) \frac{x e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{\tau^8} k_7 \quad (4.35)$$

โดยที่  $k_7$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.51 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



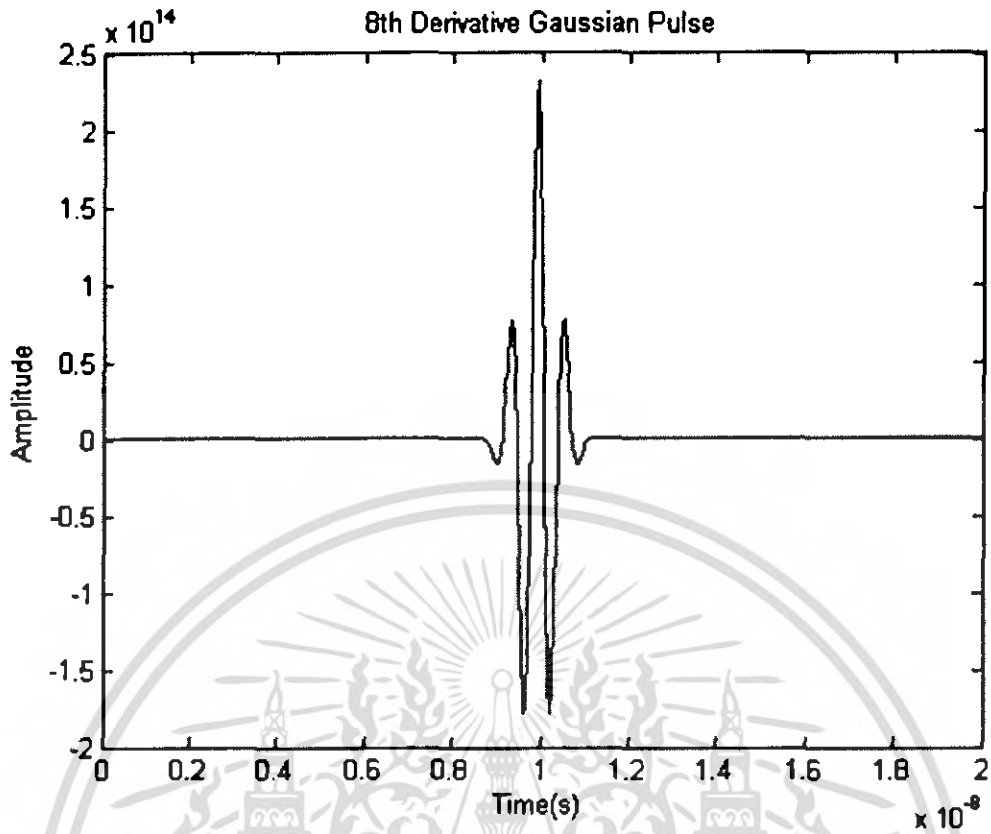
รูปที่ 4.52 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนความถี่

#### 4.5.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์

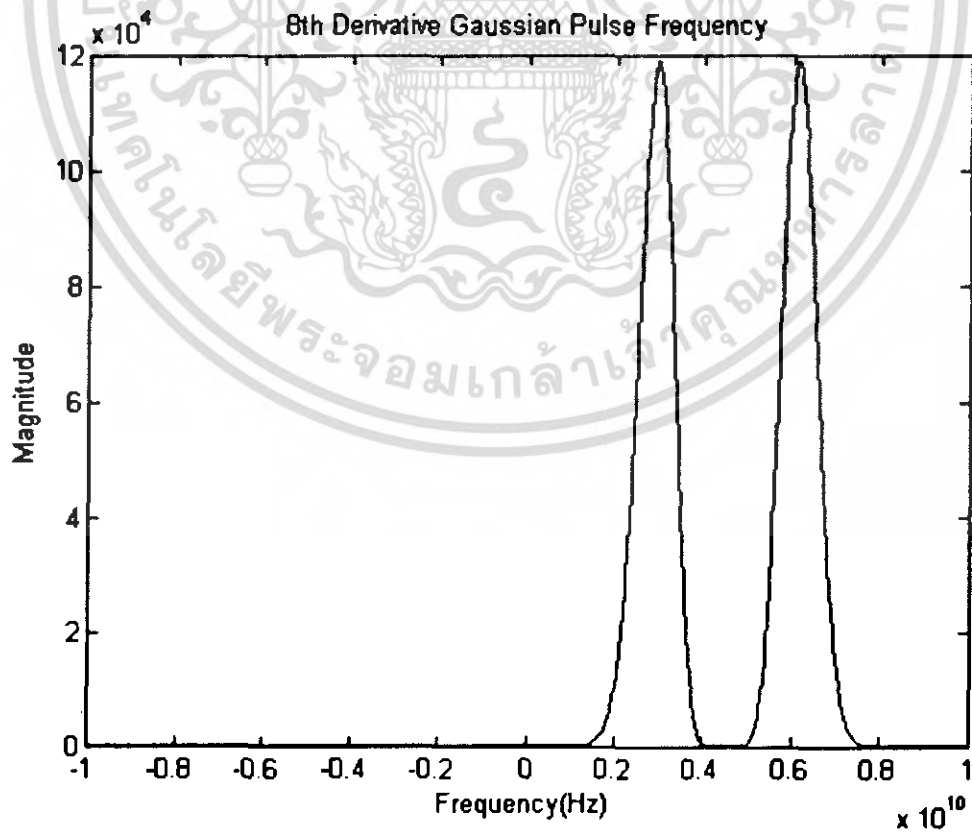
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g8} = \left( 1680 - 13440 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 13440 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 3584 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 + 256 \left( \frac{t}{\tau} \right)^8 \right) \frac{e^{-\left( \frac{t}{\tau} \right)^2}}{\tau^8} k_8 \quad (4.36)$$

โดยที่  $K_8$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.53 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.54 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนความถี่

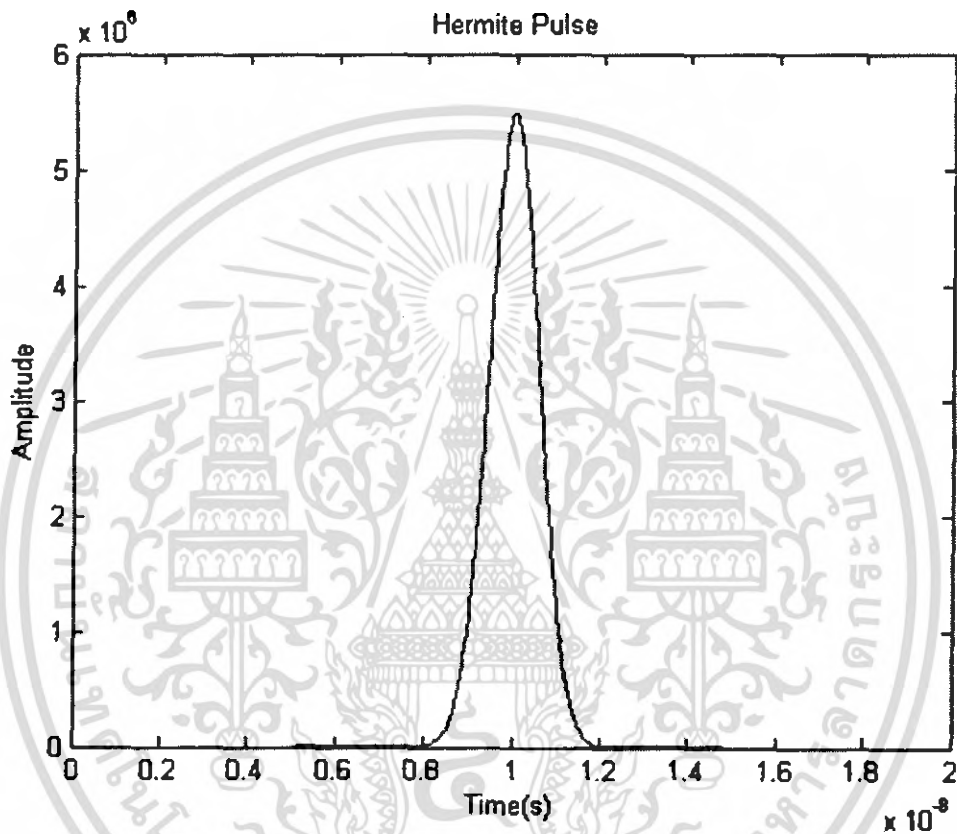
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.10 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์

สัญญาณรูปคลื่นของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

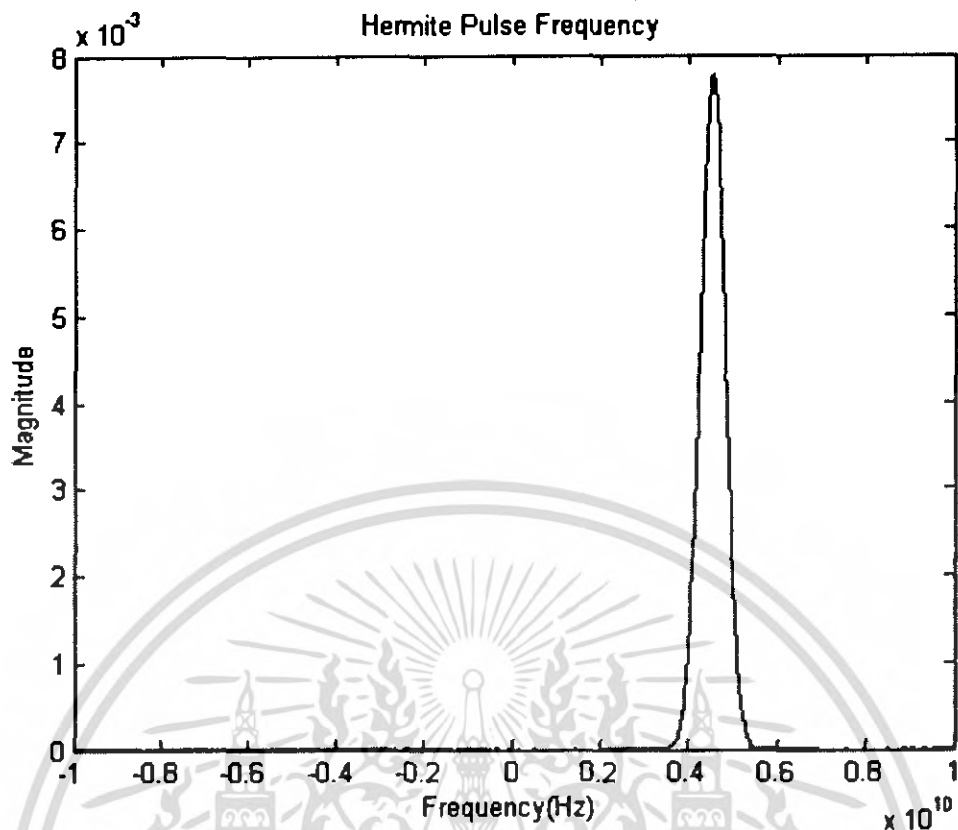
$$h_0(t) = k_0 e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.37)$$

โดยที่  $K_0$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.55 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



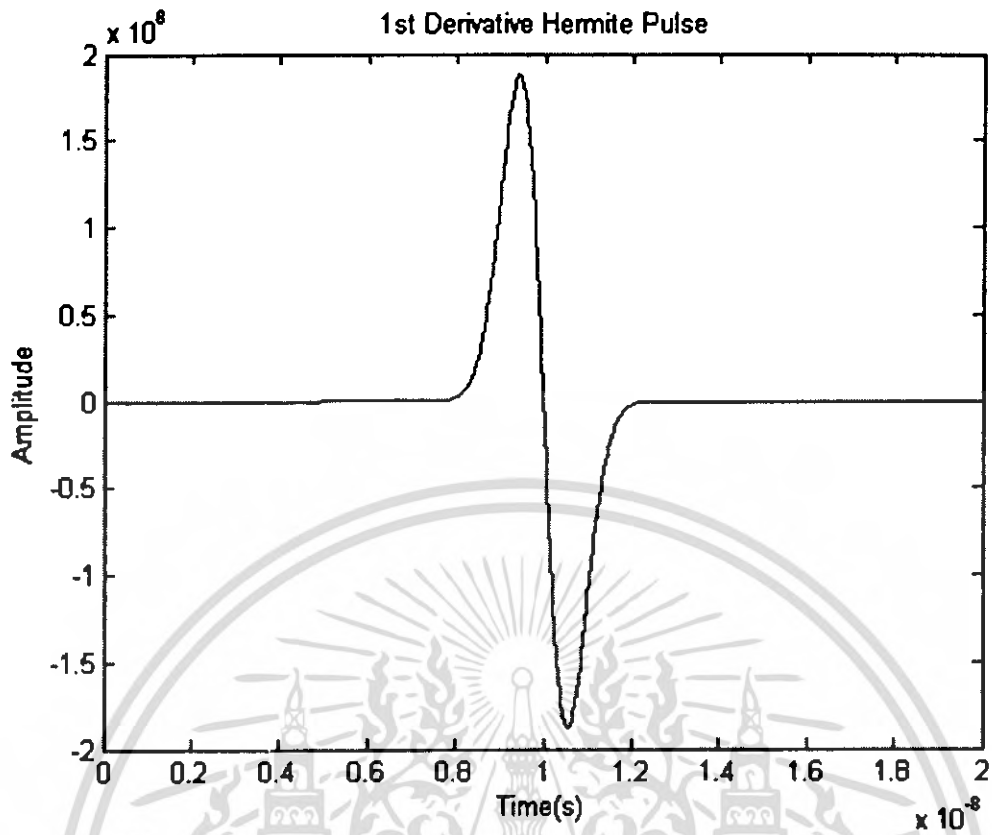
รูปที่ 4.56 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ในโดเมนความถี่

#### 4.5.11 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์

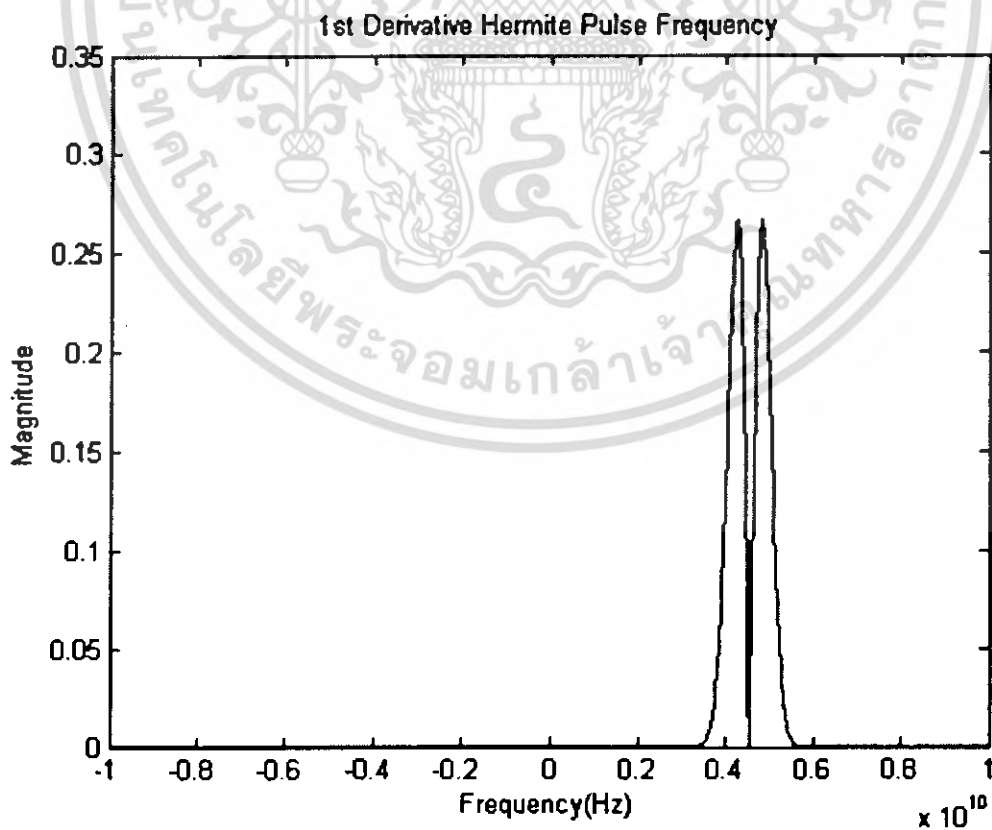
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_1(t) = k_1 \frac{t}{\tau} e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.38)$$

โดยที่  $k_1$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.57 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.58 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ในโดเมนความถี่

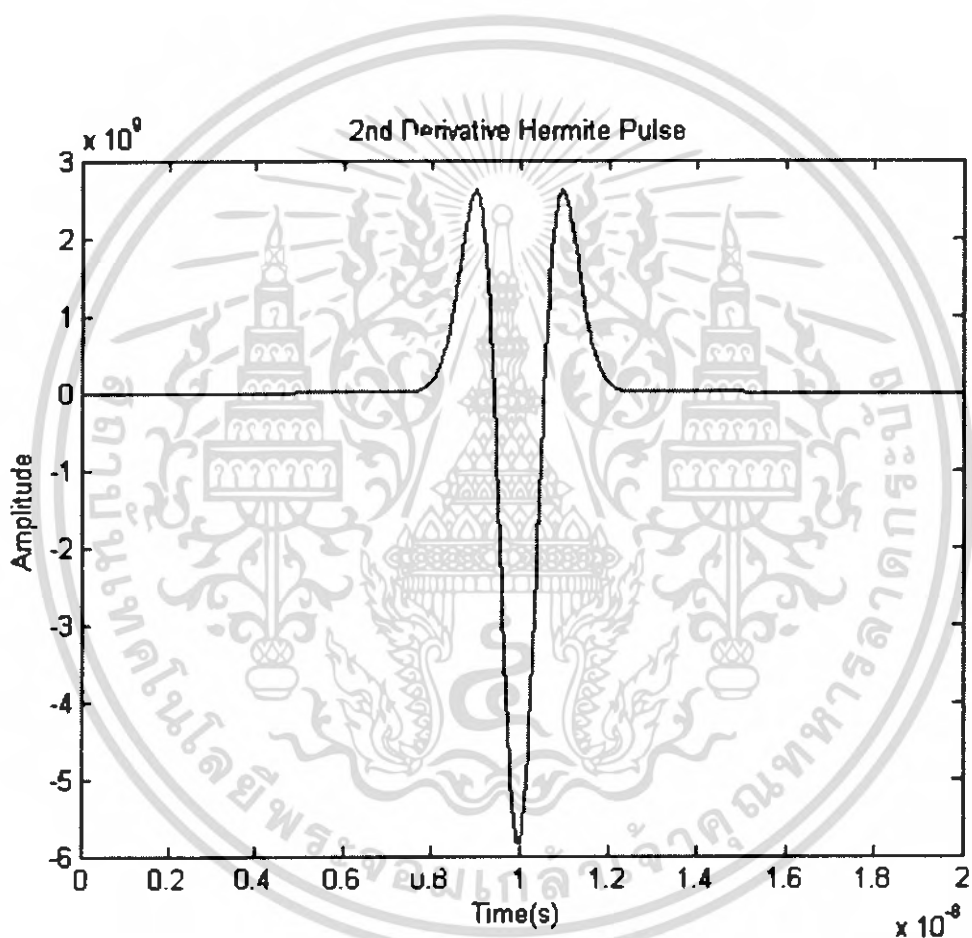
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบเซปกระเบียนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.12 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

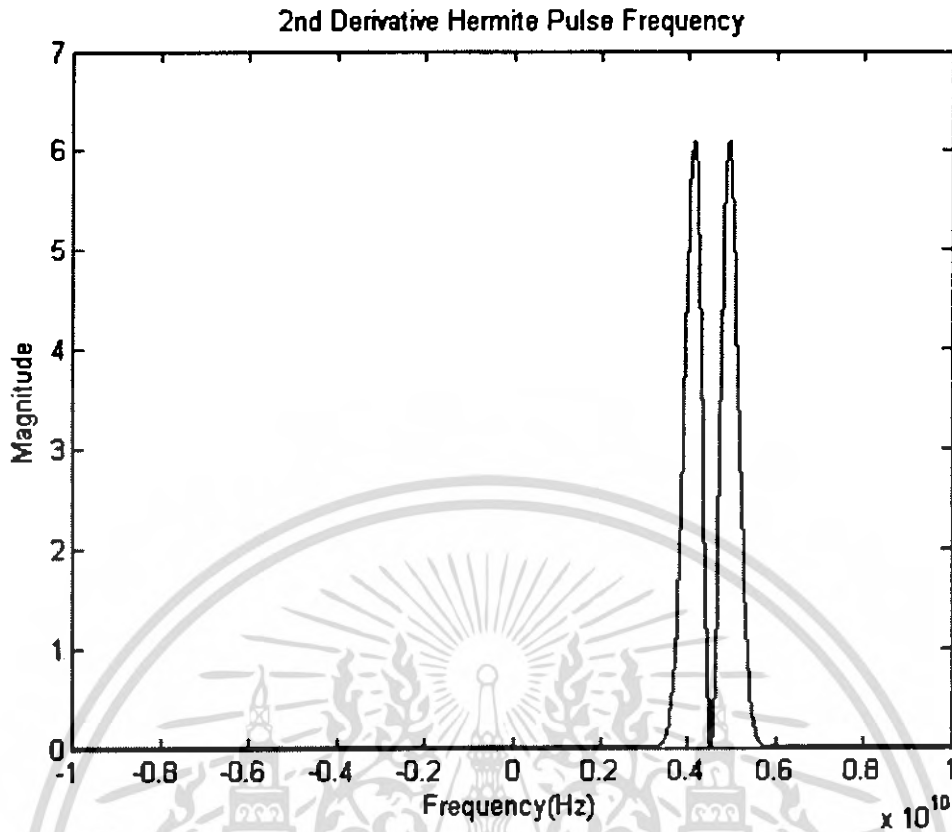
$$h_2(t) = k_2 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 1 \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.39)$$

โดยที่  $K_2$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.59 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ใน โดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



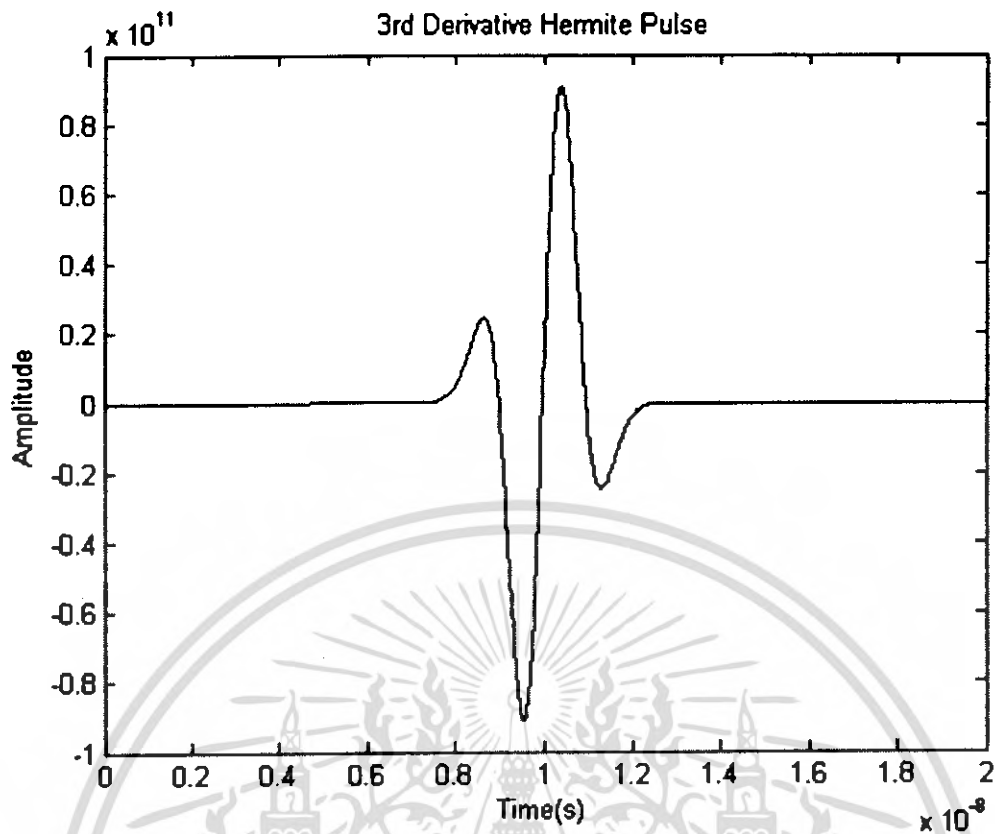
รูปที่ 4.60 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ใน โดเมนความถี่

#### 4.5.13 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

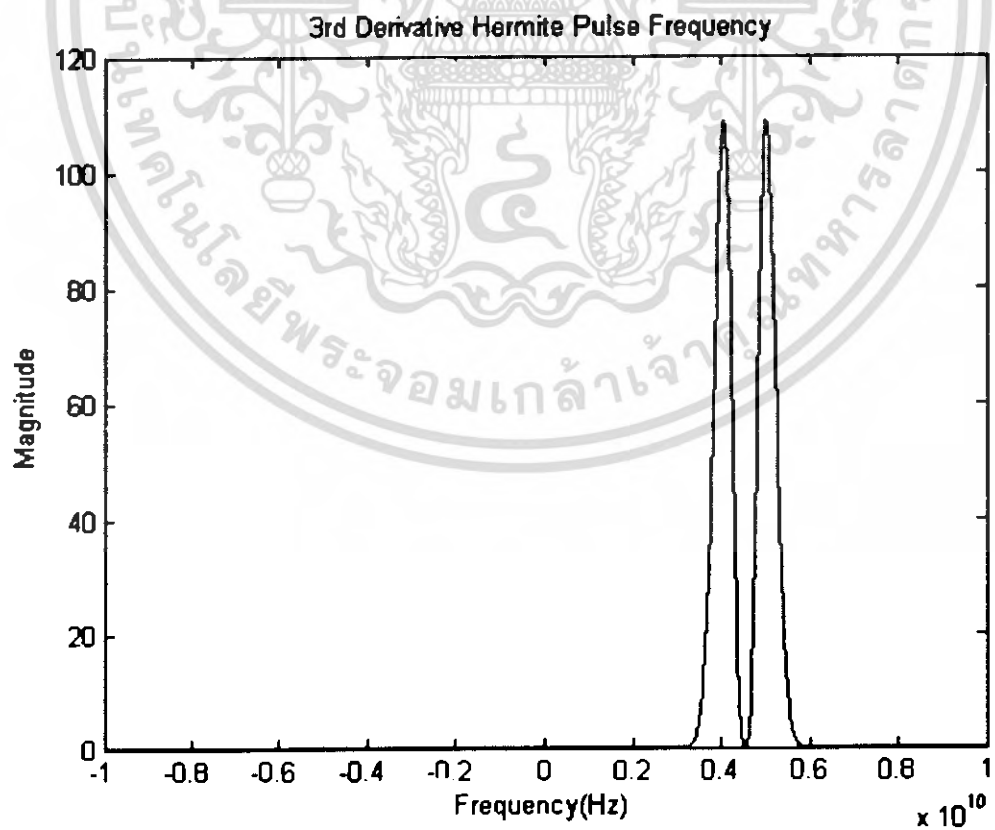
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_3(t) = k_3 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^3 - 3 \frac{t}{\tau} \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.40)$$

โดยที่  $K_3$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.61 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.62 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

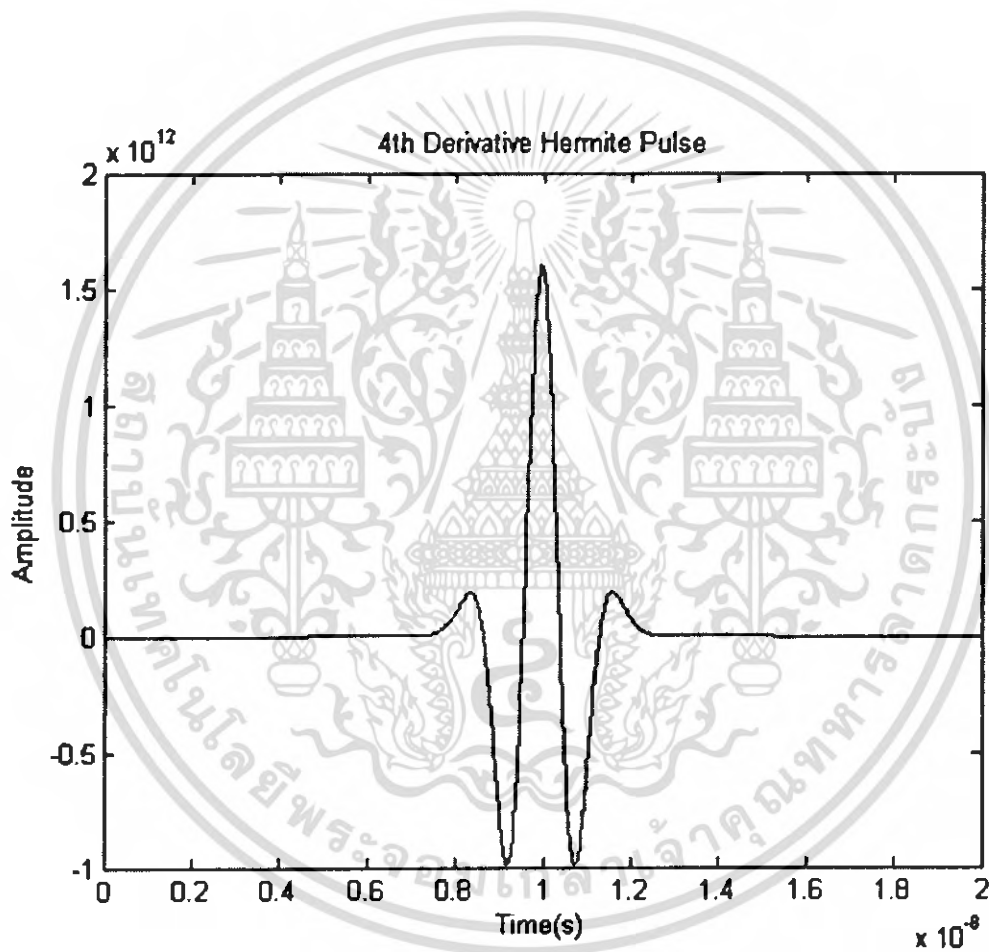
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.14 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

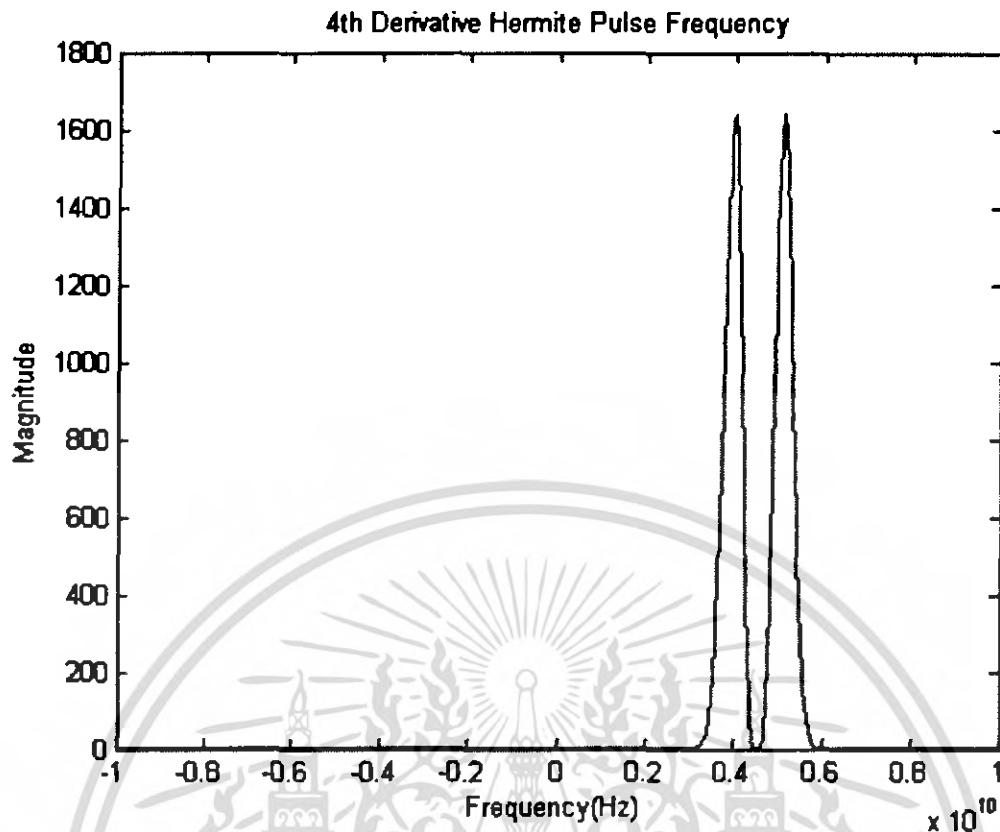
$$h_4(t) = k_4 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 6 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 3 \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.41)$$

โดยที่  $k_4$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.63 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



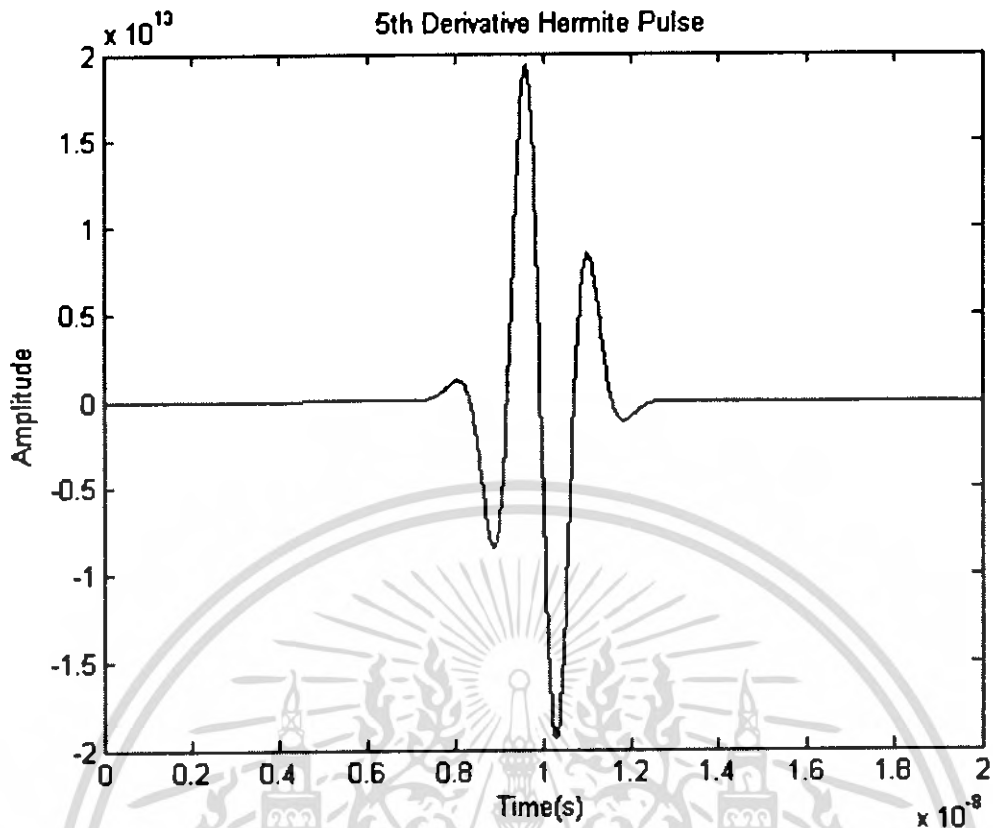
รูปที่ 4.64 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

#### 4.5.15 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

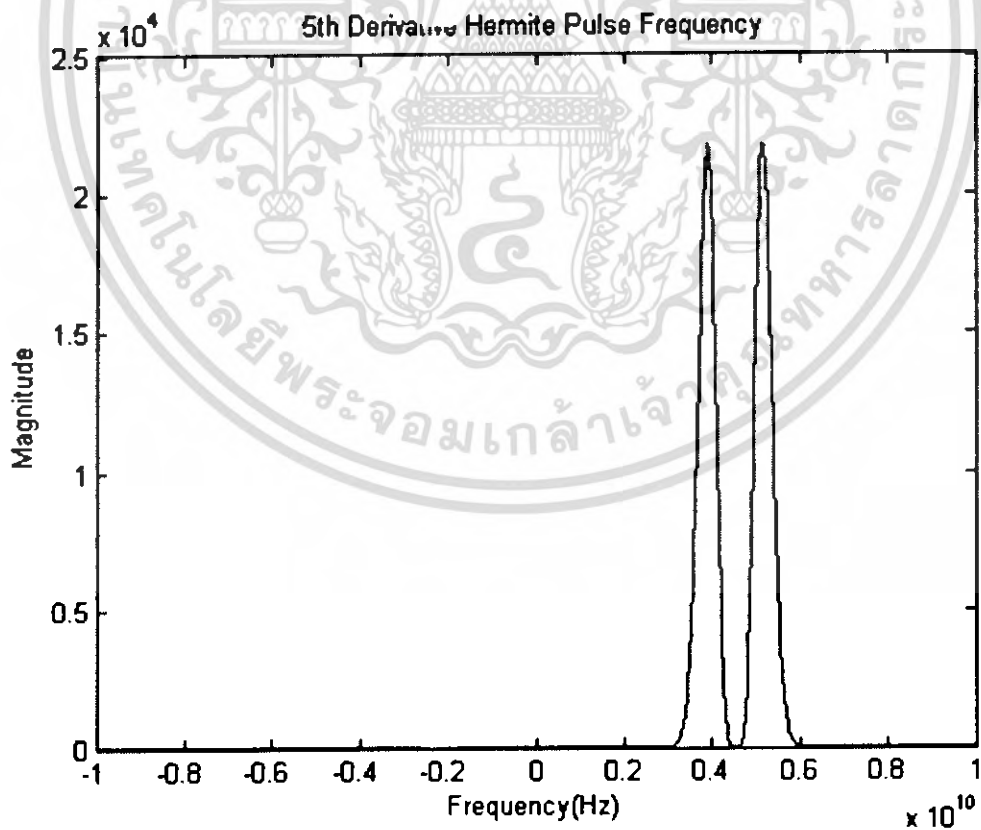
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_5(t) = k_5 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^5 - 10 \left( \frac{t}{\tau} \right)^3 + 15 \left( \frac{t}{\tau} \right) \right] e^{-t^2/\tau^2} \quad (4.42)$$

โดยที่  $k_5$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.65 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.66 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

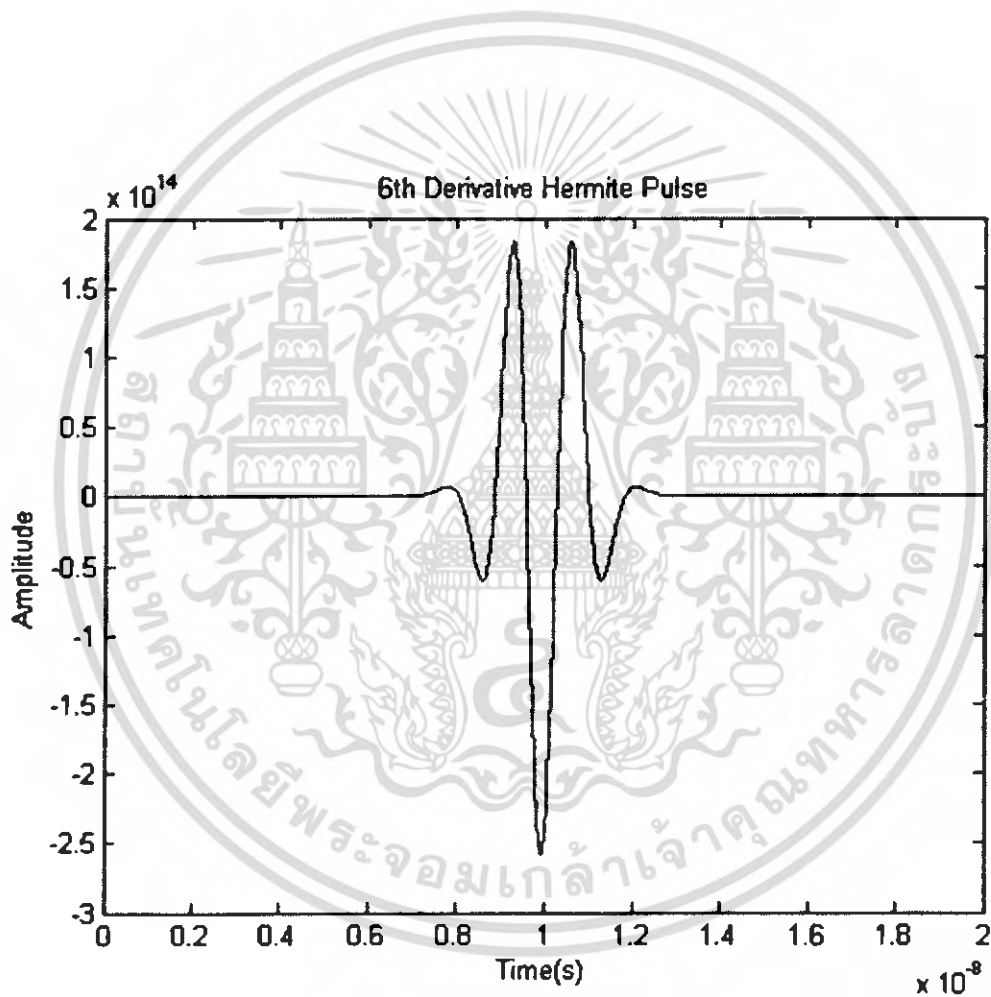
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.16 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

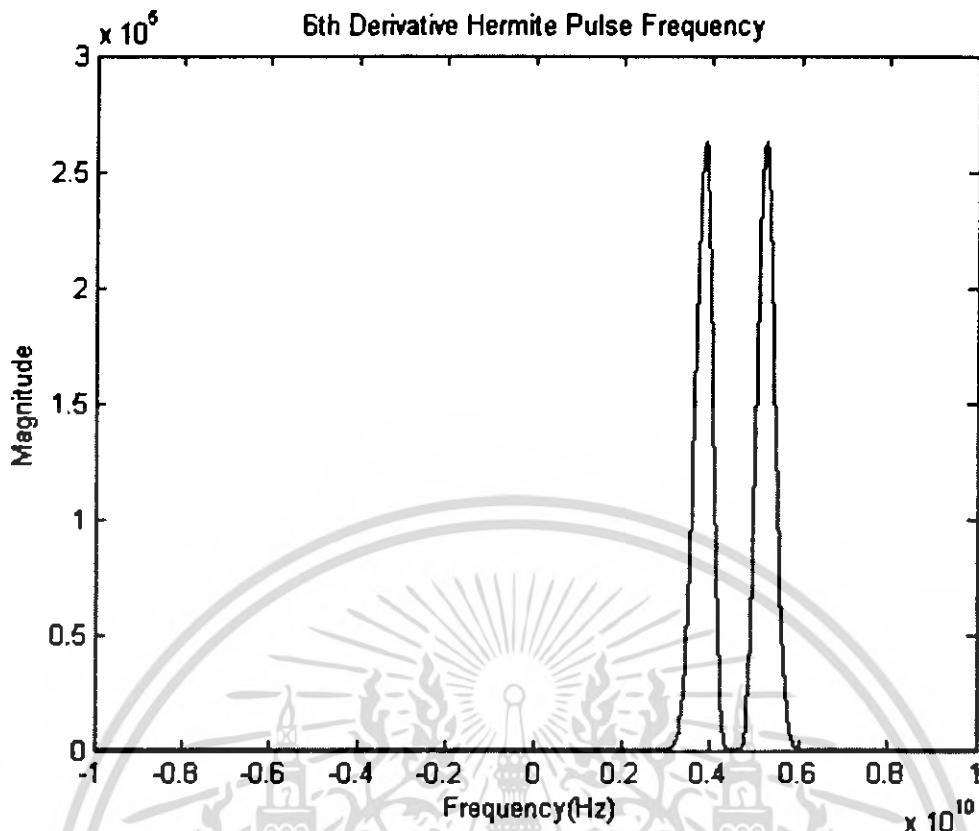
$$h_6(t) = k_6 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 - 10 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 + 45 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - 15 \right] e^{-t^2/\tau^2} \quad (4.43)$$

โดยที่  $K_6$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.67 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



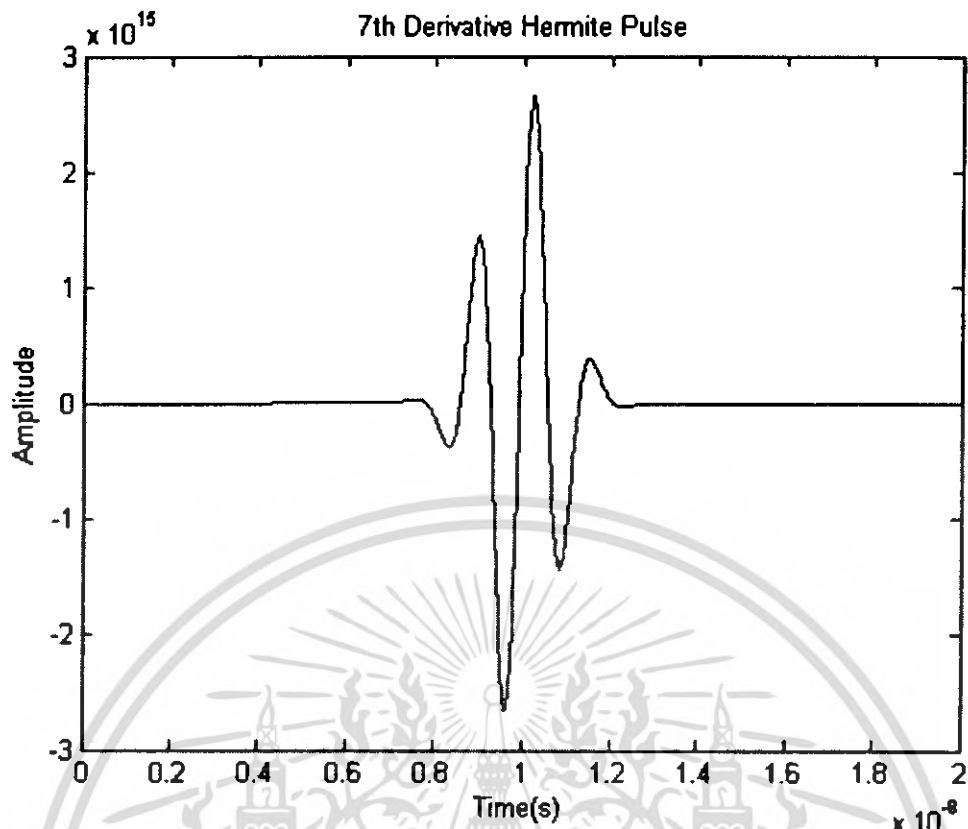
รูปที่ 4.68 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

#### 4.5.17 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

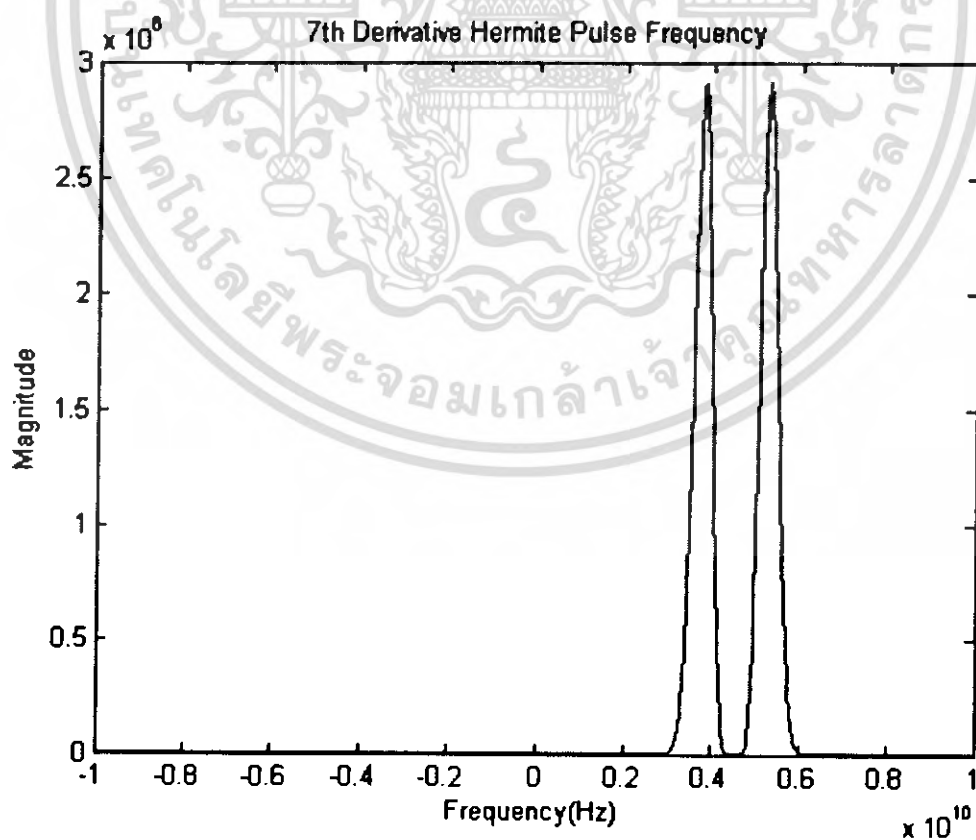
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$h_7(t) = k_7 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^7 - 21 \left( \frac{t}{\tau} \right)^5 + 105 \left( \frac{t}{\tau} \right)^3 - 105 \left( \frac{t}{\tau} \right) \right] e^{-t^2/4\tau^2} \quad (4.44)$$

โดยที่  $K_7$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.69 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนเวลา



รูปที่ 4.70 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ในโดเมนความถี่

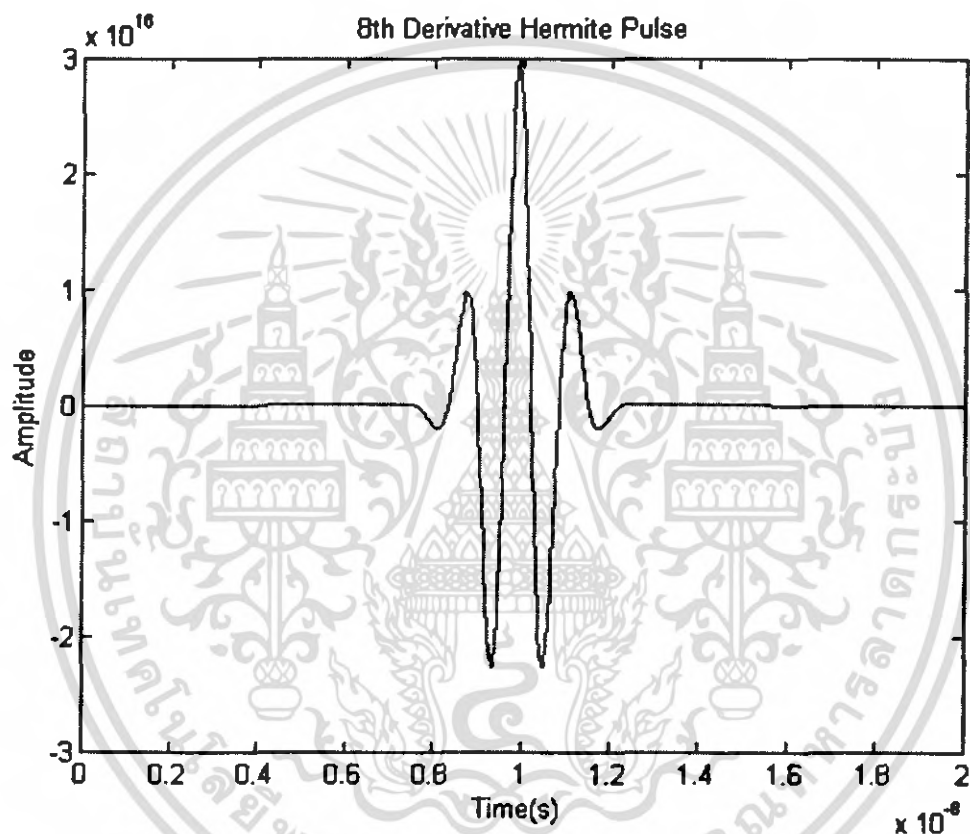
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.18 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

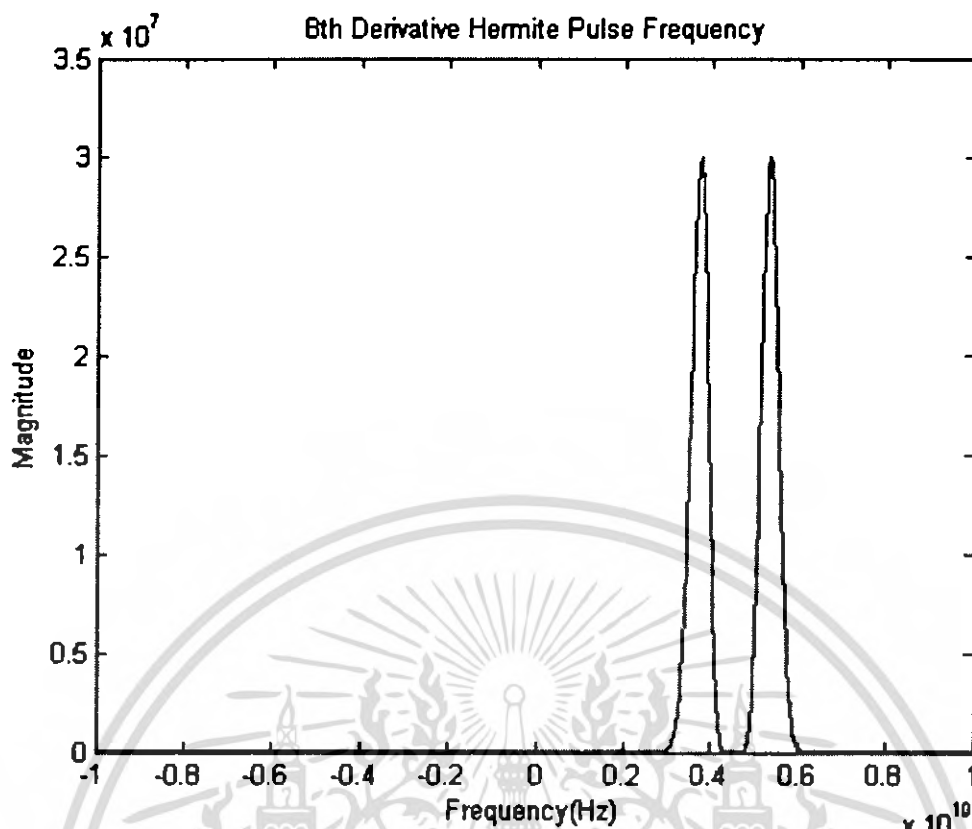
$$h_8(t) = k_7 \left[ \left( \frac{t}{\tau} \right)^8 - 28 \left( \frac{t}{\tau} \right)^6 + 210 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4 - 420 \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 + 105 \right] e^{-t^2/\tau^2} \quad (4.45)$$

โดยที่  $K_7$  เป็นค่าคงที่ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 4.71 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ใน โดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.72 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ใน โดเมนความถี่

#### 4.6 เครื่องรับของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สำหรับเครื่องรับแบบ UWB ได้พิจารณาเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์ที่ใช้สัญญาณแม่แบบในลักษณะต่าง ๆ กัน โดยกำหนดให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับทั้งสองชนิดนี้เป็นไปตามเงื่อนไขของสัญญาณรบกวนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตคงที่

##### 4.6.1 เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์

เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์หรือเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ในทางทฤษฎีซึ่งมีความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแม่แบบเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนของ  $V$ , โดยมีอัตราขยายเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนคงที่ ดังนั้น ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์  $H_m$  สามารถเขียนได้เป็น

$$H_m(f) = \frac{\sqrt{f_b}}{\sqrt{\int_0^\infty |V_r(f)|^2 df}} V_r^*(f) \quad (4.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ \* เป็นตัวดำเนินการสังยุคเชิงซ้อน

ผลตอบสนองอิมพัลส์หรือสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์  $h_m$  สามารถหาได้จากการแปลงฟูรีเยร์ย้อนกลับของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$h_m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_m(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4.47)$$

ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์  $V_m$  สามารถคำนวณหาได้จาก

$$V_m(f) = H_m(f) \cdot V_r(f) \quad (4.48)$$

รูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์หาได้จากการแปลงฟูรีเยร์ย้อนกลับของความหนาแน่นสเปกตรัม ซึ่งจะได้อ

$$v_m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_m(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4.49)$$

#### 4.6.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์จะใช้สัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่สัญญาณที่รับได้ มาเป็นสัญญาณแม่แบบ ดังนั้นจะมีความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณแม่แบบเป็นสังยุคเชิงซ้อนของ  $V_r$  โดยมีอัตราขยายเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนคงที่ ดังนั้น ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์  $H_c$  สามารถเขียนได้เป็น

$$H_c(f) = \frac{\sqrt{f_b}}{\sqrt{\int_0^{\infty} |V_r(f)|^2 df}} V_r^*(f) \quad (4.50)$$

ผลตอบสนองอิมพัลส์หรือสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์  $h_c$  สามารถหาได้จากการแปลงฟูรีเยร์ย้อนกลับของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$h_c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์  $V_c$  สามารถคำนวณได้จาก

$$V_c(f) = H_c(f) \cdot V_r(f) \quad (4.52)$$

รูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์หาได้จากการแปลงฟูรีเยร์ย้อนกลับของความหนาแน่นสเปกตรัม ซึ่งจะได้อ

$$v_c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_c(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4.53)$$

#### 4.7 ประสิทธิภาพการขยาย SNR

เนื่องจากได้กำหนดให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์มีอัตราการขยายเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนคงที่ ดังนั้น อัตราขยาย SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์จึงสามารถนิยามเป็นอัตราระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ อัตราขยาย SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์  $G_m$  และแบบสหสัมพันธ์  $G_c$  สามารถคำนวณหาได้จาก

$$G_m = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} v_m^2(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} v_r^2(t) dt} \quad (4.54)$$

$$G_c = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} v_c^2(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} v_r^2(t) dt} \quad (4.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยาย SNR สามารถนำมาใช้หาความสัมพันธ์ระหว่าง SNR ที่ด้านอินพุตกับด้านเอาต์พุตของเครื่องรับ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เป็นอัตราระหว่าง SNR ที่ด้านเอาต์พุตต่อ SNR ที่ด้านอินพุต

#### 4.8 ประสิทธิภาพ BER

ประสิทธิภาพ BER สามารถพิจารณาโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณแม่แบบ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์  $C_m$  และแบบสหสัมพันธ์  $C_c$  สามารถเขียนได้เป็น

$$C_m = \frac{\max |r_{v,h_m}(\tau)|}{\sqrt{\max |r_{v_r}(\tau) \cdot \max |r_{h_m}(\tau)|}} \quad (4.56)$$

$$C_c = \frac{\max |r_{v,h_c}(\tau)|}{\sqrt{\max |r_{v_r}(\tau) \cdot \max |r_{h_c}(\tau)|}} \quad (4.57)$$

เมื่อ  $r_{fg}$  เป็นสหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างสัญญาณ  $f(t)$  กับ  $g(t)$  และ  $r_f$  เป็นสหสัมพันธ์แบบออโตของฟังก์ชัน  $f(t)$  ซึ่งมีนิยามเป็น

$$r_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)g(t+\tau)dt \quad (4.58)$$

$$r_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)f(t+\tau)dt \quad (4.59)$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นพารามิเตอร์แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับในการตรวจจับสัญญาณ UWB ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 เมื่อสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับเหมือนกับสัญญาณรับ UWB และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับเป็นออร์โธโกนอลกับสัญญาณรับ UWB ดังนั้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งมีสัญญาณแม่แบบเหมือนกับสัญญาณรับ UWB จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งเป็นเครื่องรับในทางอุดมคติที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเครื่องรับ UWB

แบบแผนการมอดูเลต UWB สามารถแบ่งออกเป็นแบบแผนการมอดูเลตตัวต่างกัน เช่น BPM และแบบแผนมอดูเลตคั้งฉาก เช่น PPM สำหรับเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องรับใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุดมคติ จะมีประสิทธิภาพ BER เท่ากับประสิทธิภาพ BER เริงทฤษฎีในสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์ (AWGN) ของแบบแผนมอดูเลตชั่วต่างกัน  $B_{m,a}$  และแบบแผนมอดูเลตตั้งฉาก  $B_{m,o}$  ซึ่งหาได้จาก

$$B_{m,a} = Q\left(\sqrt{\frac{2C_m G_m f_b}{B_r} S/N}\right) \quad (4.60)$$

$$B_{m,o} = Q\left(\sqrt{\frac{C_m G_m f_b}{B_r} S/N}\right) \quad (4.61)$$

เมื่อ  $B_r$  เป็นอัตราบิต  $S/N$  เป็น SNR ที่อินพุตของเครื่องรับ และ

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, \quad x \geq 0 \quad (4.62)$$

สำหรับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ประสิทธิภาพ BER ใน AWGN ของแบบแผนมอดูเลตชั่วต่างกัน  $B_{c,a}$  และแบบแผนมอดูเลตตั้งฉาก  $B_{c,o}$  สามารถหาได้จาก

$$B_{c,a} = Q\left(\sqrt{\frac{2C_c G_c f_b}{B_r} S/N}\right) \quad (4.63)$$

$$B_{c,o} = Q\left(\sqrt{\frac{C_c G_c f_b}{B_r} S/N}\right) \quad (4.64)$$

#### 4.9 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีสำหรับการหาประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ซึ่งได้ใช้สัญญาณส่งแบบต่าง ๆ โดยใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ และแบบสหสัมพันธ์ จากนั้นจึงได้หาอัตราขยาย SNR และ BER ทฤษฎีทั้งหมดนี้จะนำมาใช้ในการศึกษาหาประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร UWB ในบทต่อไป

## บทที่ 5

### ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณแม่แบบ ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

#### 5.1 บทนำ

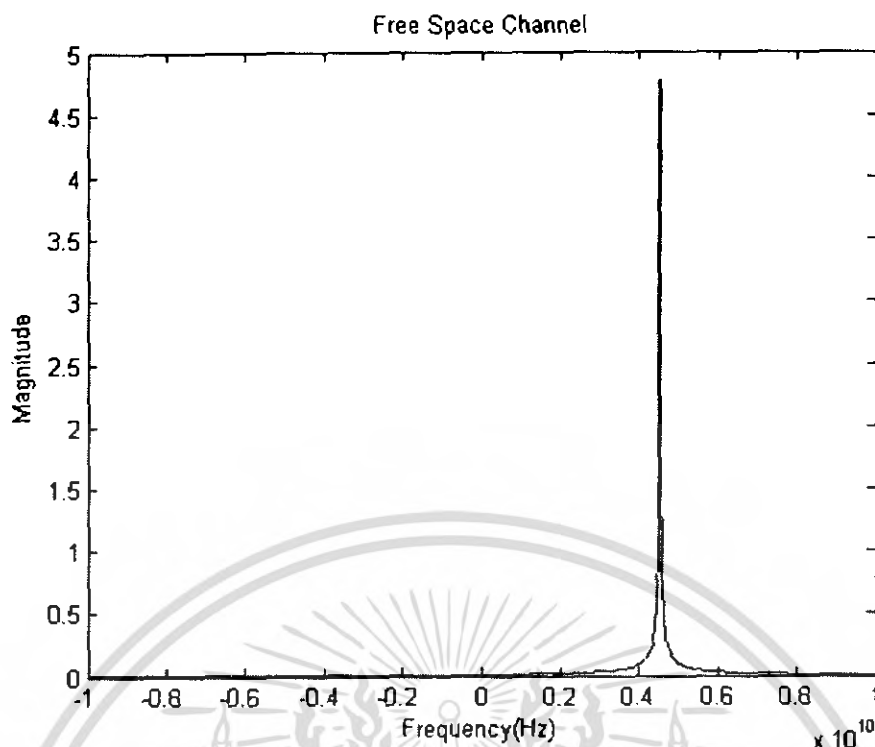
ในบทที่ 5 นี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ของการสื่อสาร UWB ซึ่งเป็นการจำลองโดยมีเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์โดยใช้รูปคลื่นแบบต่าง ๆ เป็นสัญญาณส่ง UWB และใช้สัญญาณแม่แบบของการสื่อสารต่าง ๆ กัน โดยได้พิจารณาจากช่องสัญญาณอวกาศว่าง UWB โดยกำหนดให้อัตราบิตเป็น 110 Mbps ช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่นเป็น 0.4 ns และกำหนดให้ระยะทางเป็น 5 m ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้สัญญาณแม่แบบของการสื่อสารในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ของการสื่อสาร UWB

#### 5.2 ผลการคำนวณวิเคราะห์ช่องสัญญาณ UWB

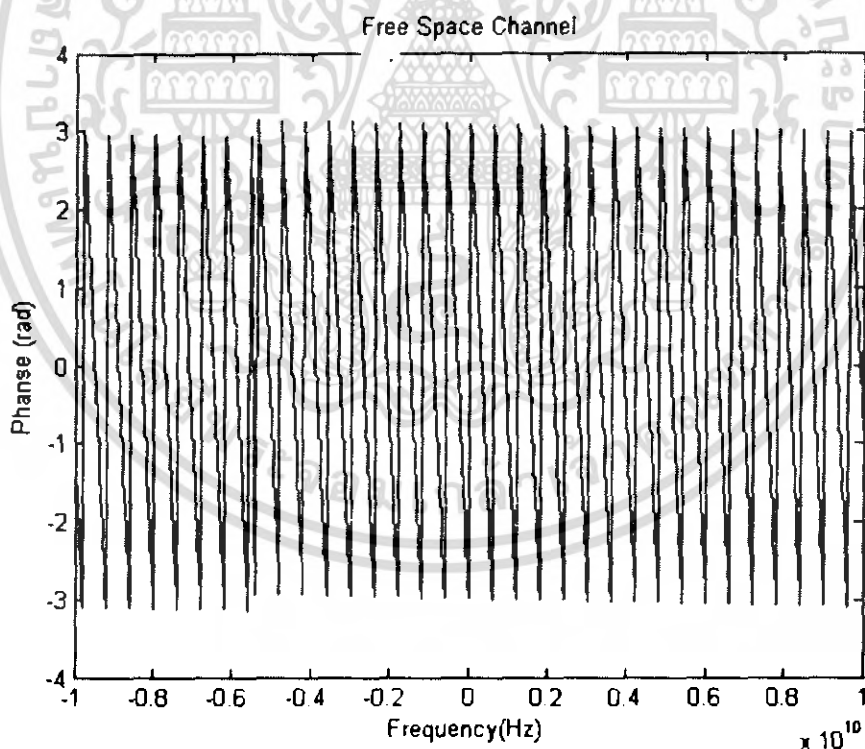
ช่องสัญญาณ UWB จะพิจารณาโดยใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ในช่วงความถี่ที่กว้าง และรวมผลกระทบความเพี้ยนของรูปคลื่นที่เกิดจากช่องสัญญาณเข้าไปด้วย

##### 5.2.1 ช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ช่องสัญญาณอวกาศว่างที่นำมาวิเคราะห์ได้ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสที่ขยายมาเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ในรูปแบบเชิงซ้อน ซึ่งจะ ได้ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ที่ระยะทาง 5 m ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ส่วนเฟสจะเป็นเชิงเส้นตามความถี่ โดยความชันจะมีค่าติดลบ



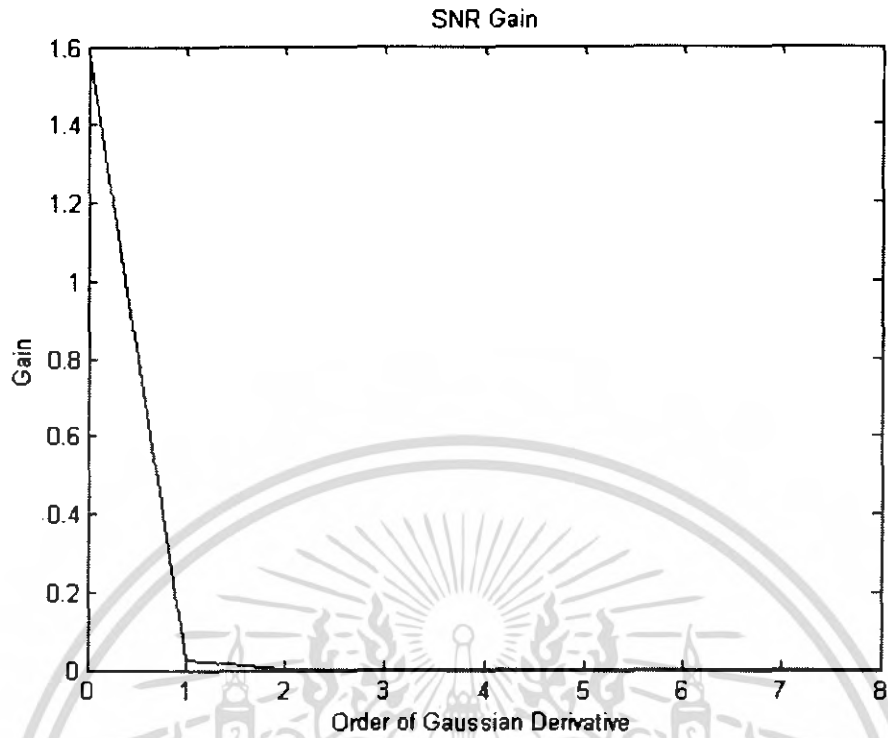
รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่างที่ระยะทาง 5 m



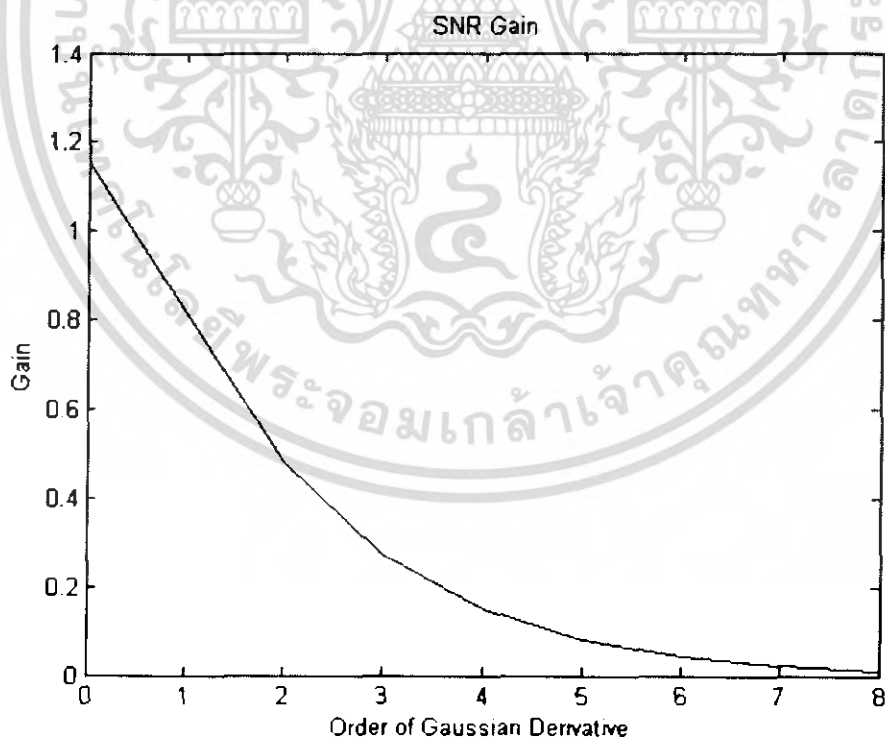
รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่างที่ระยะทาง 5 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ผลการศึกษาค่า Gain ของสัญญาณ

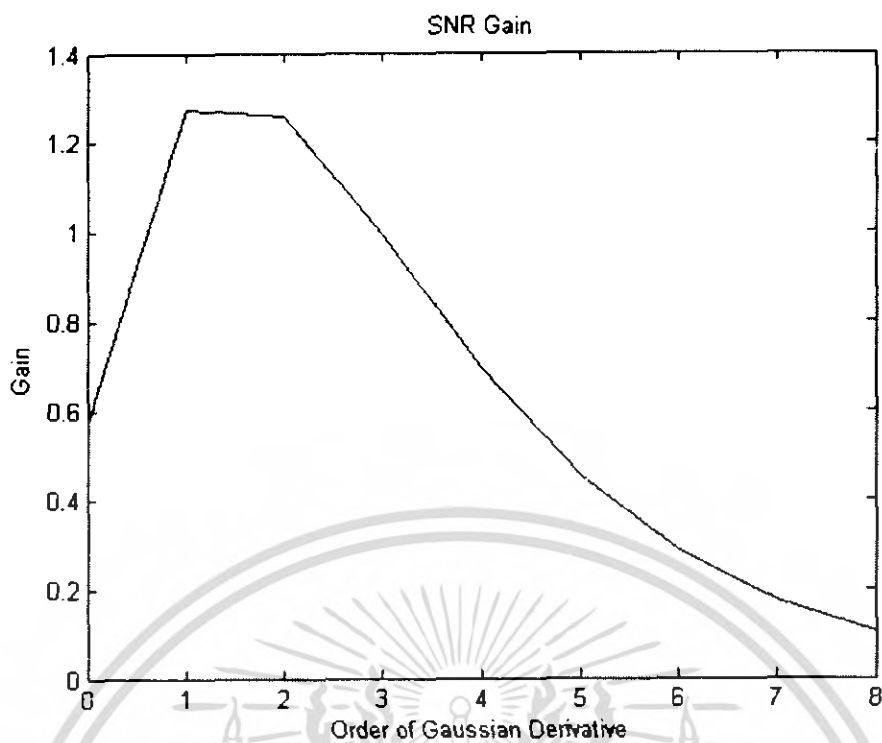


รูปที่ 5.3 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

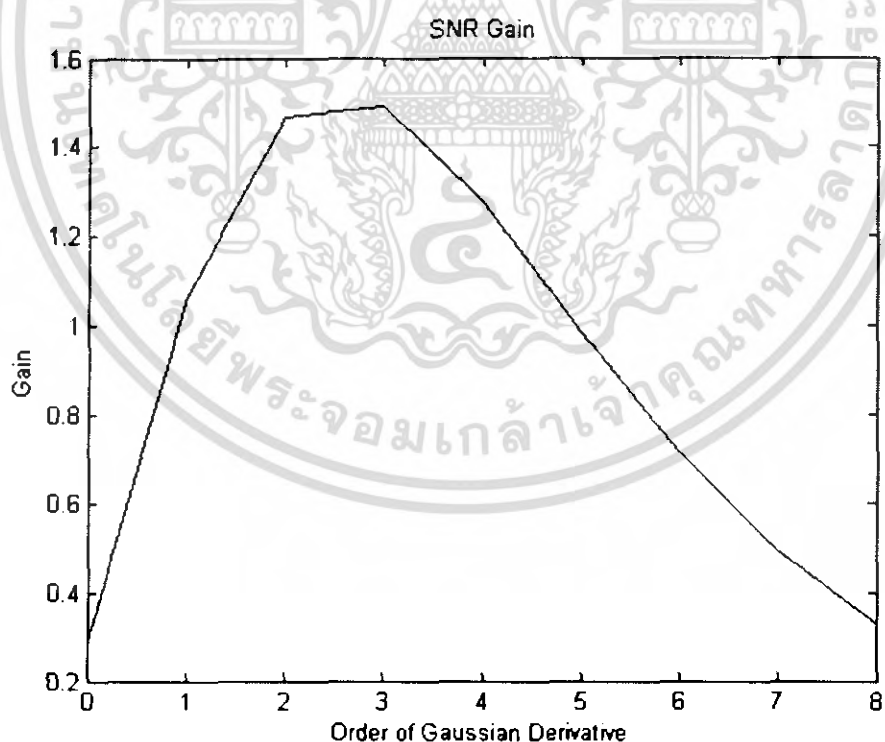


รูปที่ 5.4 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

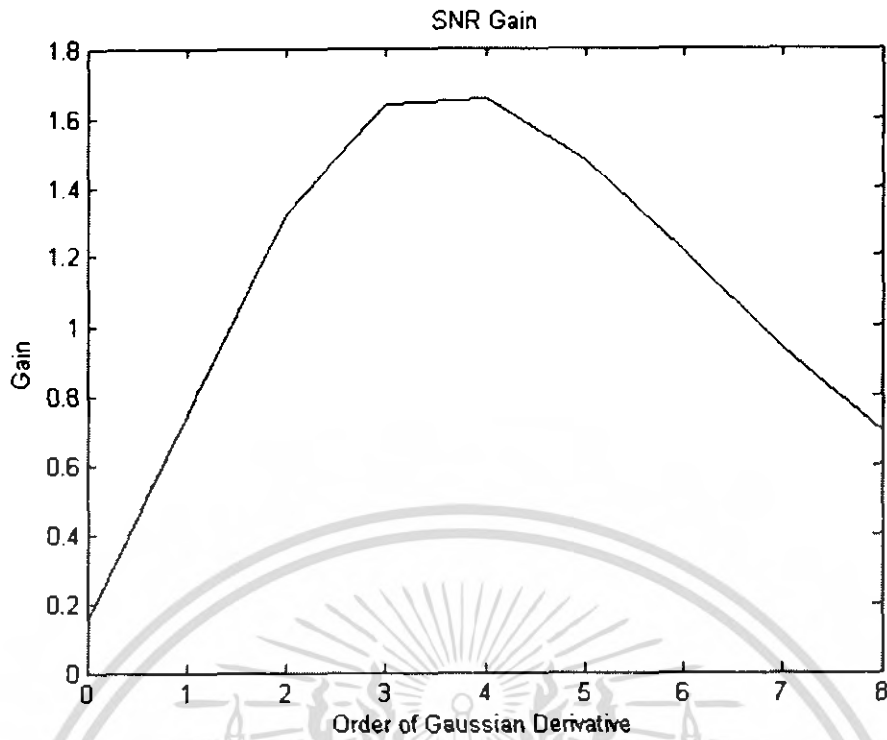


รูปที่ 5.5 ค่า Gain ของภากรับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

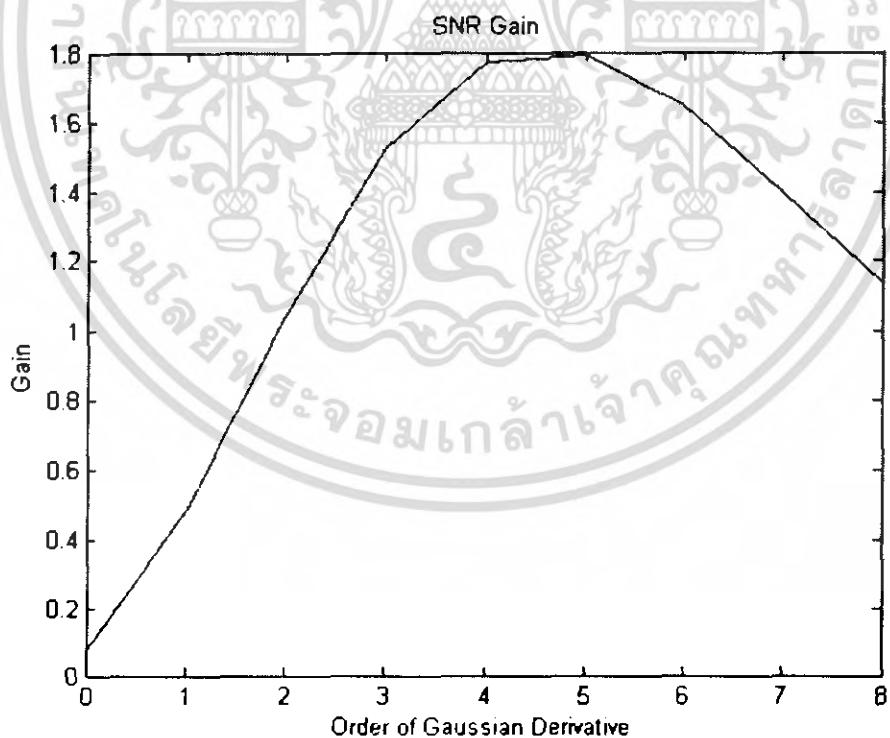


รูปที่ 5.6 ค่า Gain ของภากรับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

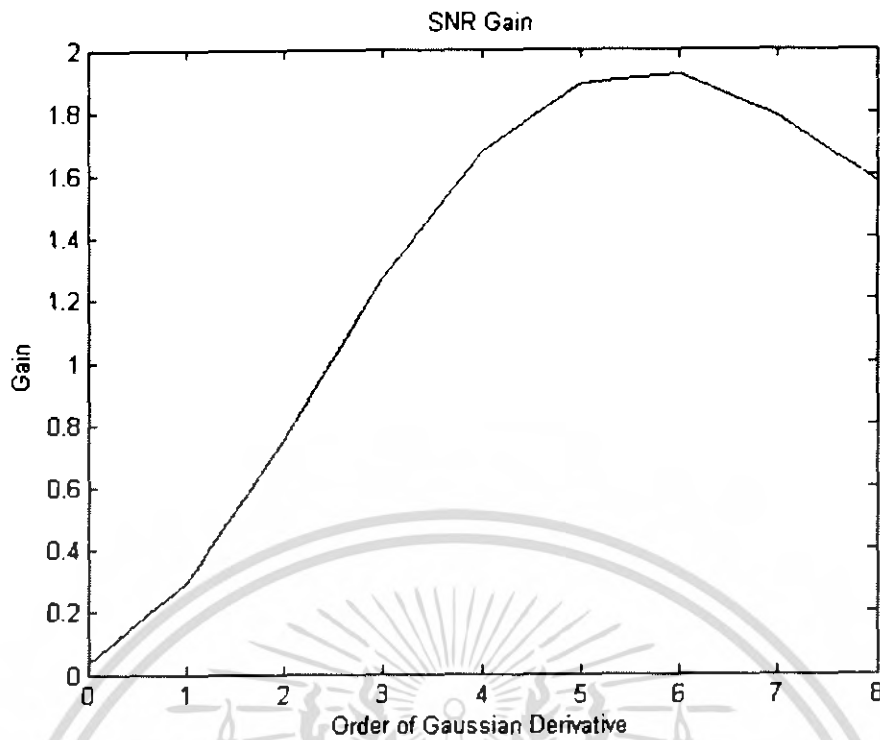


รูปที่ 5.7 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

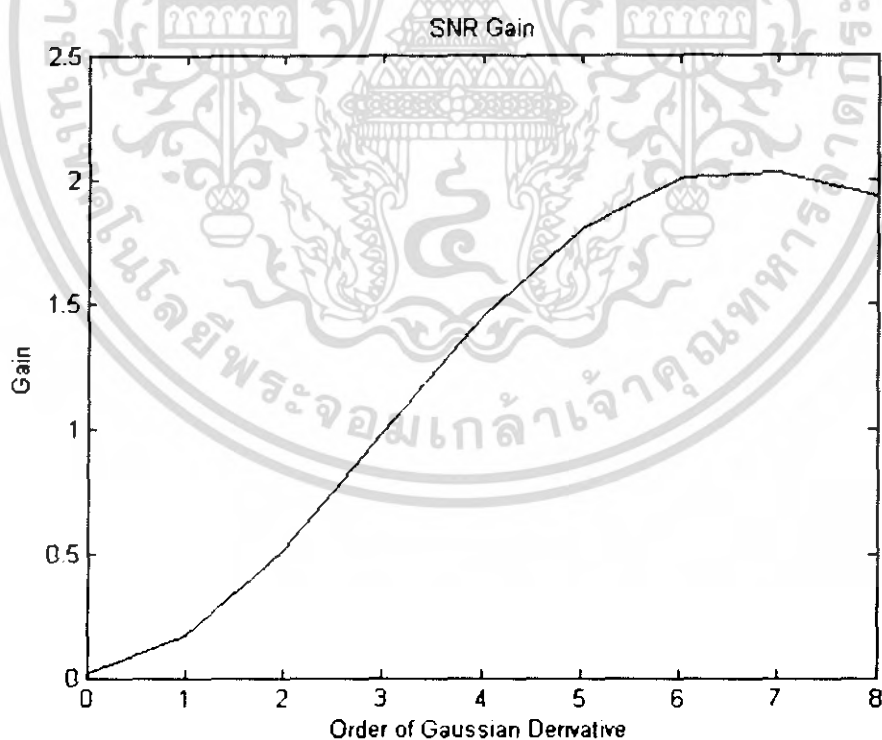


รูปที่ 5.8 ค่า Gain ของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

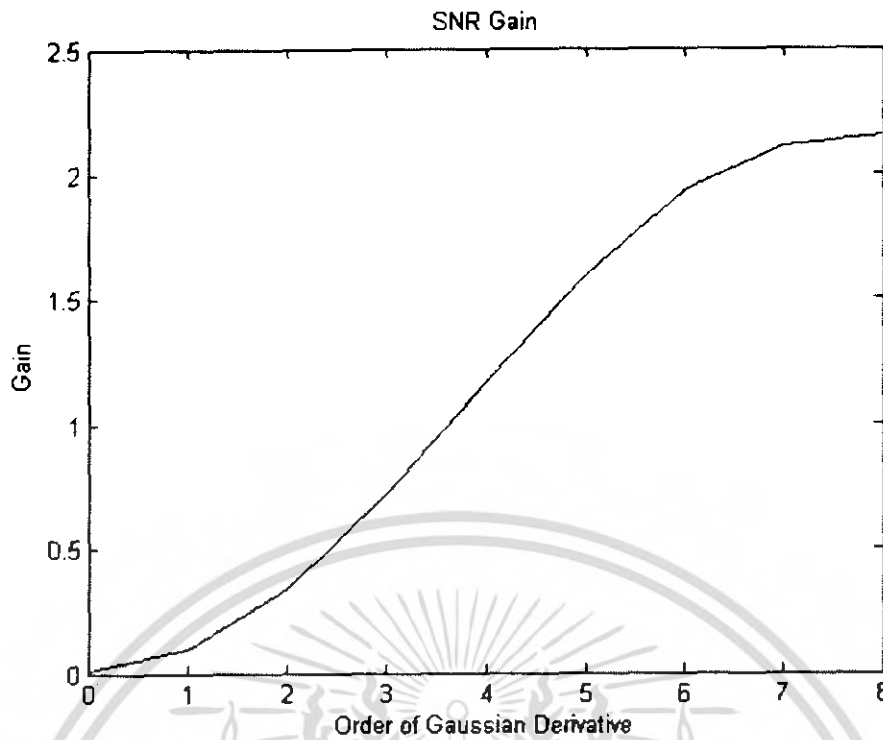


รูปที่ 5.9 อัตราขยายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

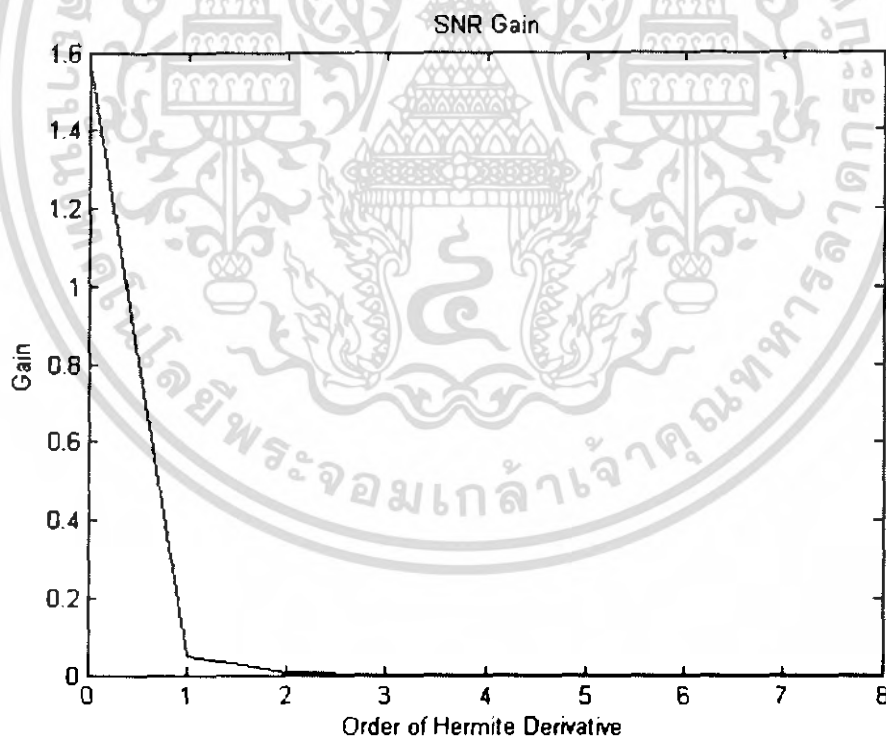


รูปที่ 5.10 อัตราขยายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

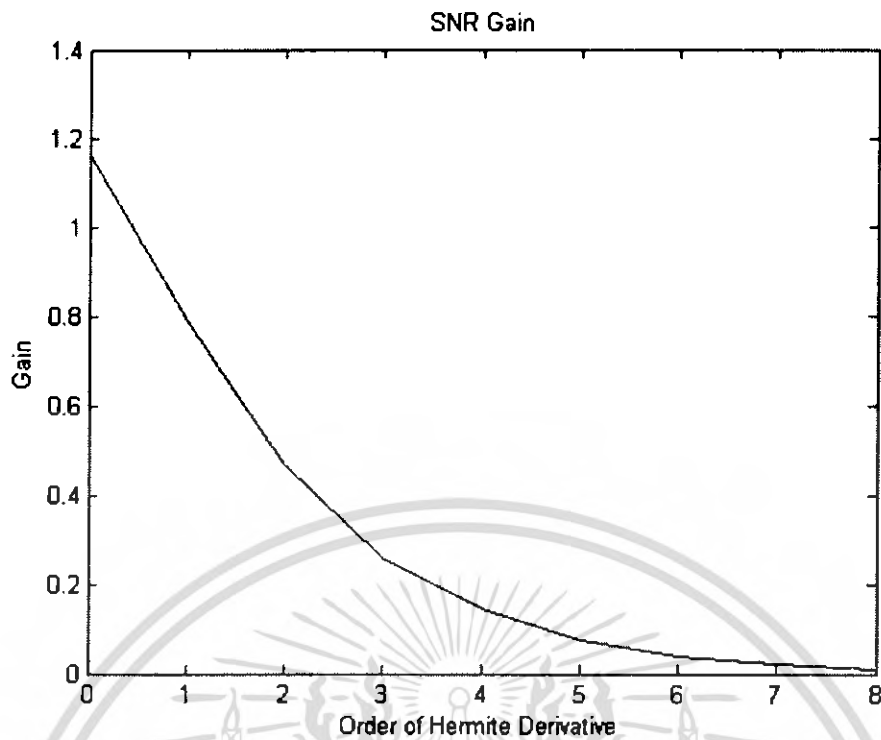


รูปที่ 5.11 อัตรายายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์

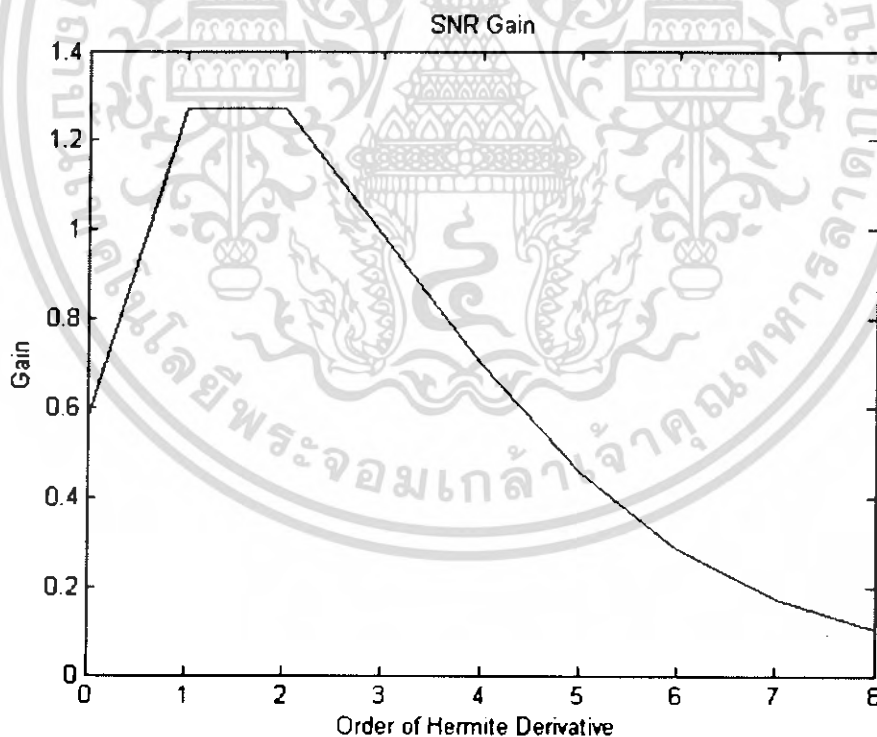


รูปที่ 5.12 อัตรายายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณของรูปคลื่นแบบแฮร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบแฮร์ไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

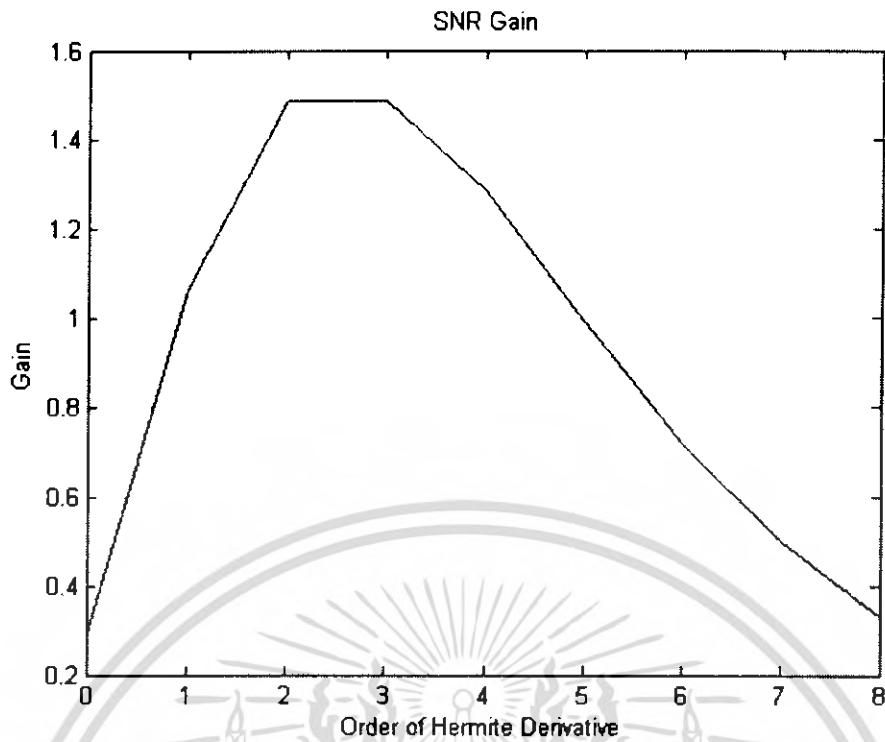


รูปที่ 5.13 อัตรายบายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นเฮอริไมท์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์

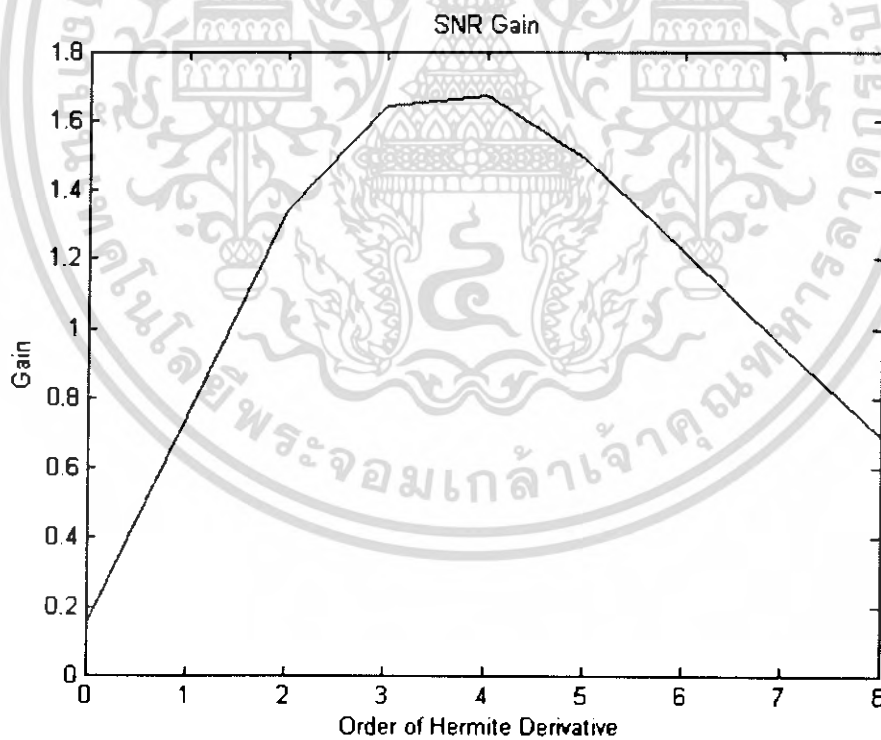


รูปที่ 5.14 อัตรายบายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นเฮอริไมท์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

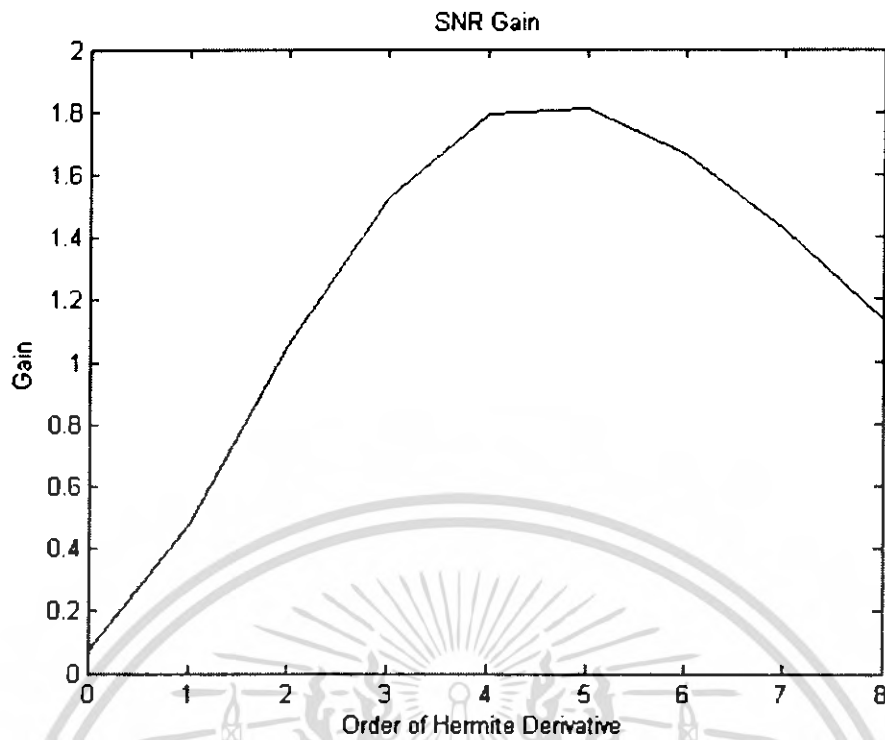


รูปที่ 5.15 อัตรายายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น เฮอร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอร์ไมท์

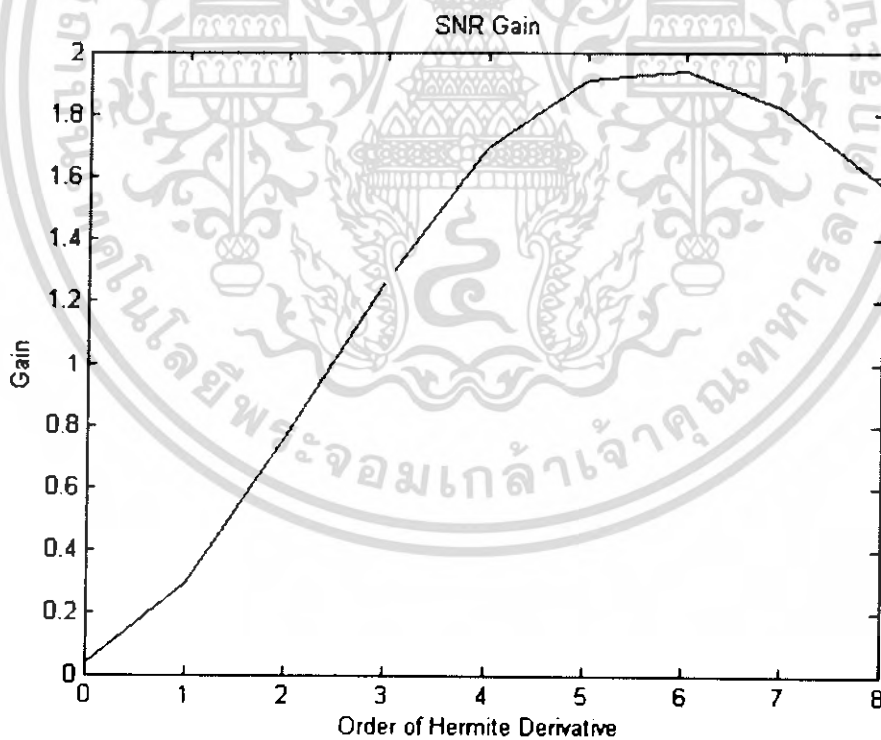


รูปที่ 5.16 อัตรายายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น เฮอร์ไมท์โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอร์ไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

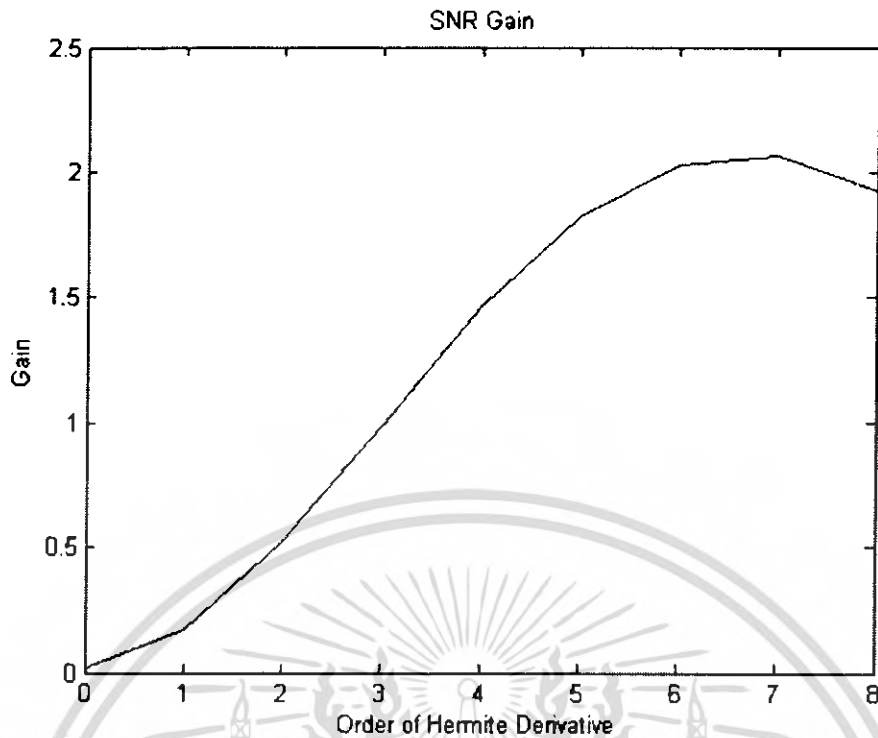


รูปที่ 5.17 อัตราขยายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น เฮอร์ไมท์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอร์ไมท์

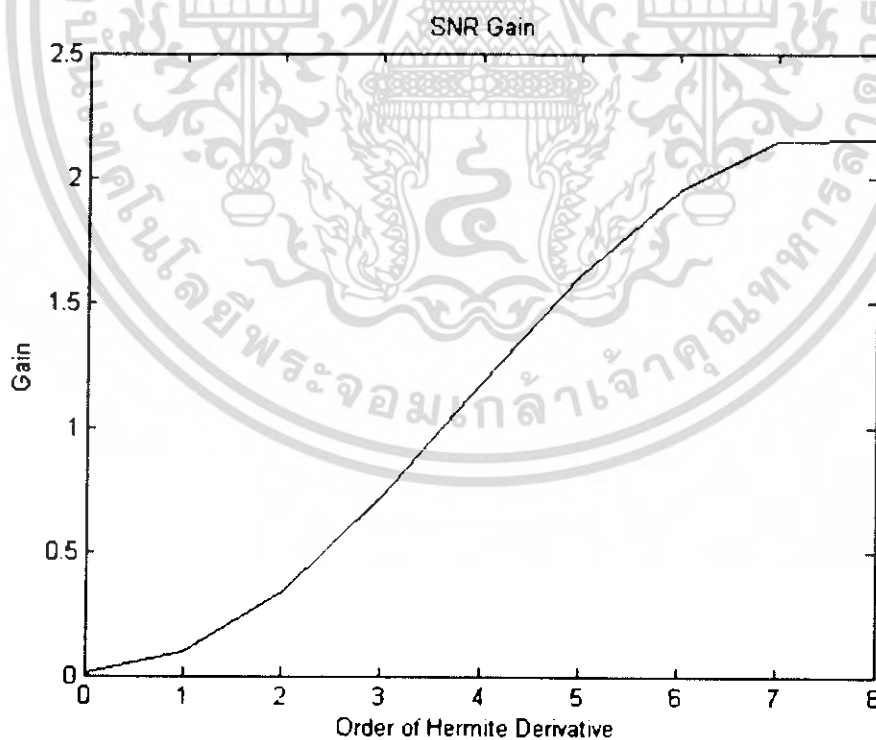


รูปที่ 5.18 อัตราขยายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น เฮอร์ไมท์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอร์ไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



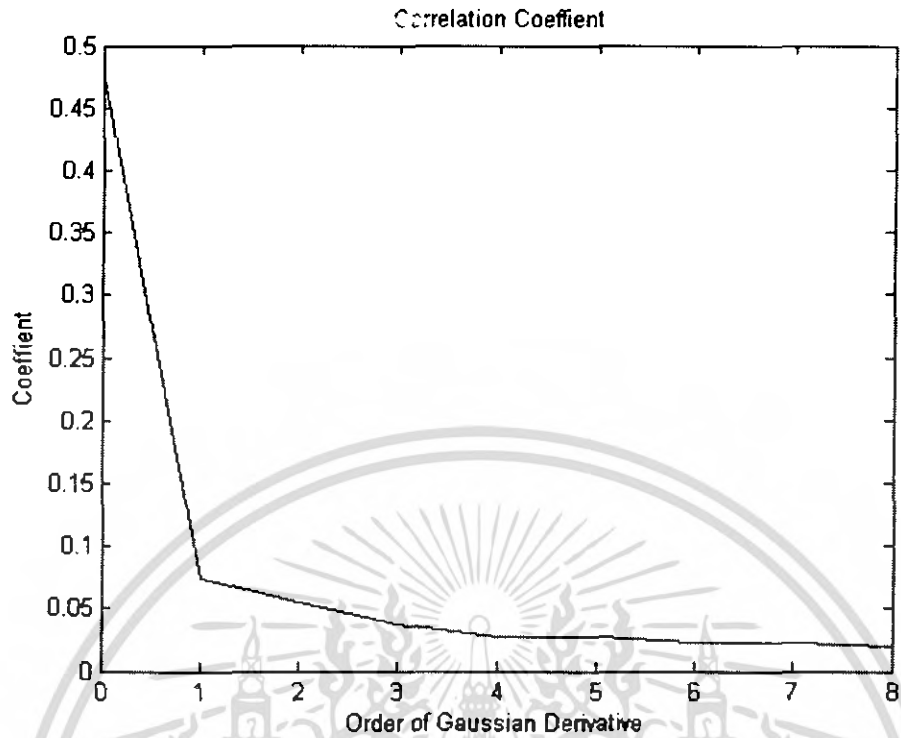
รูปที่ 5.19 อัตรายายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นเฮอริไมท์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์



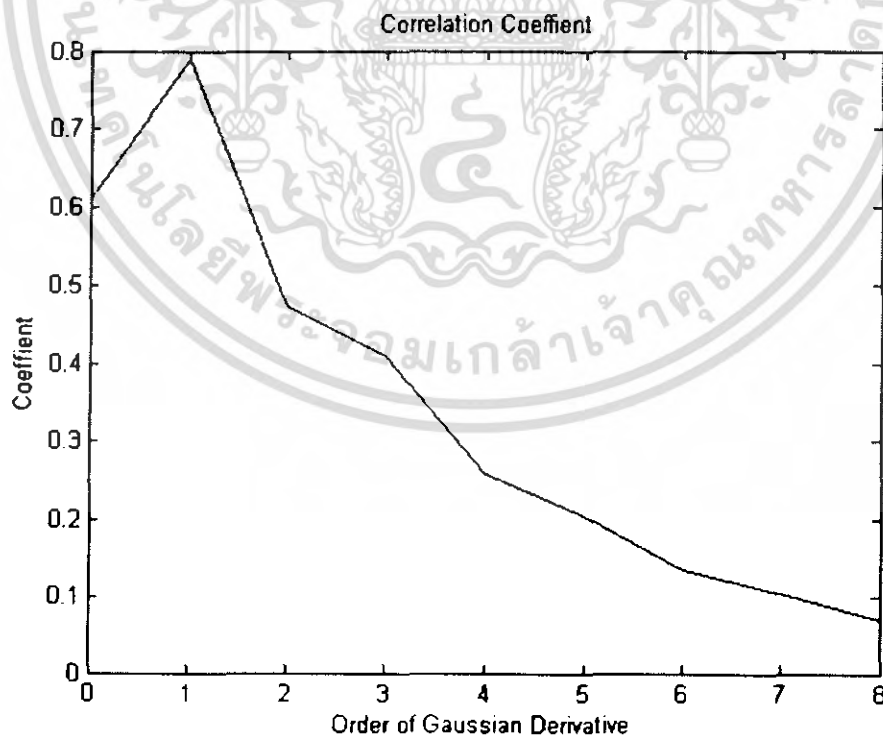
รูปที่ 5.20 อัตรายายของภาครับ เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นเฮอริไมท์ โดยใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ผลการศึกษาค่าประสิทธิภาพการคอร์เรชัน



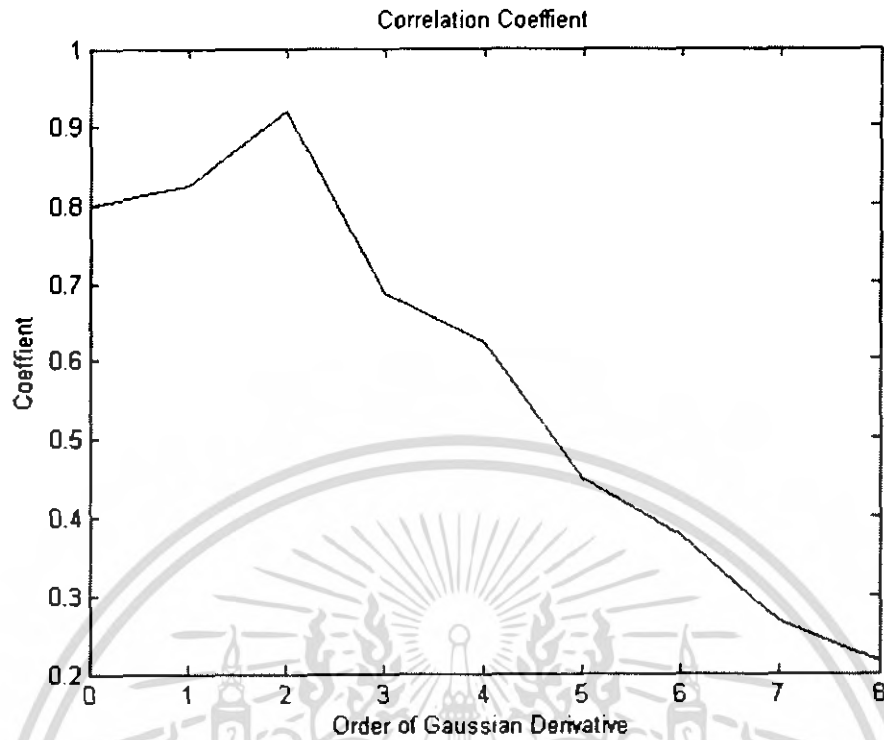
รูปที่ 5.21 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน เมื่อใช้สัญญาณรูปคลื่นเกาส์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ



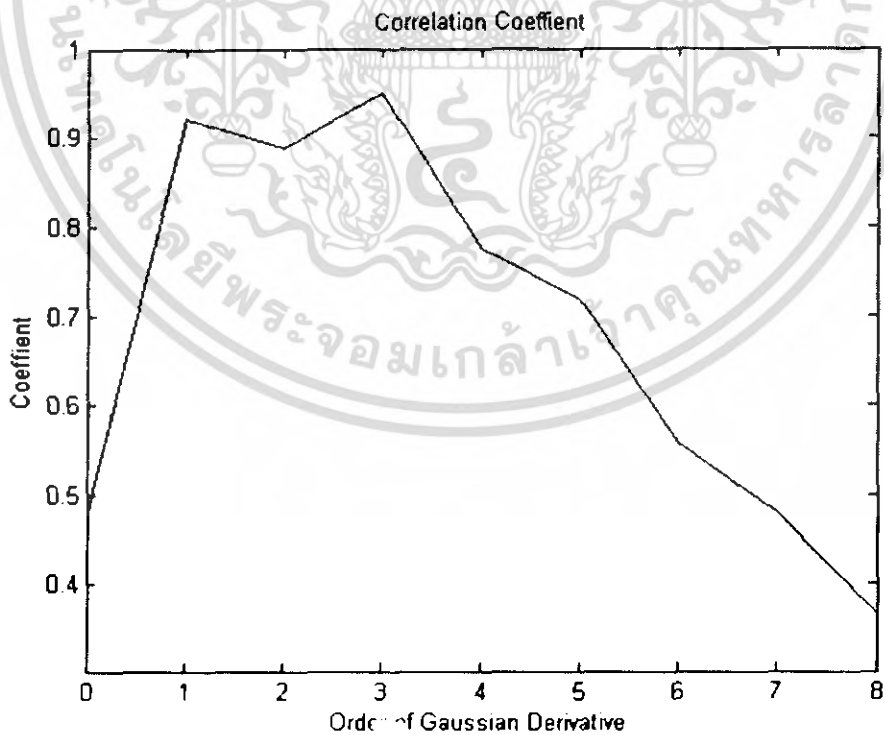
รูปที่ 5.22 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของคลื่นเกาส์ในการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ



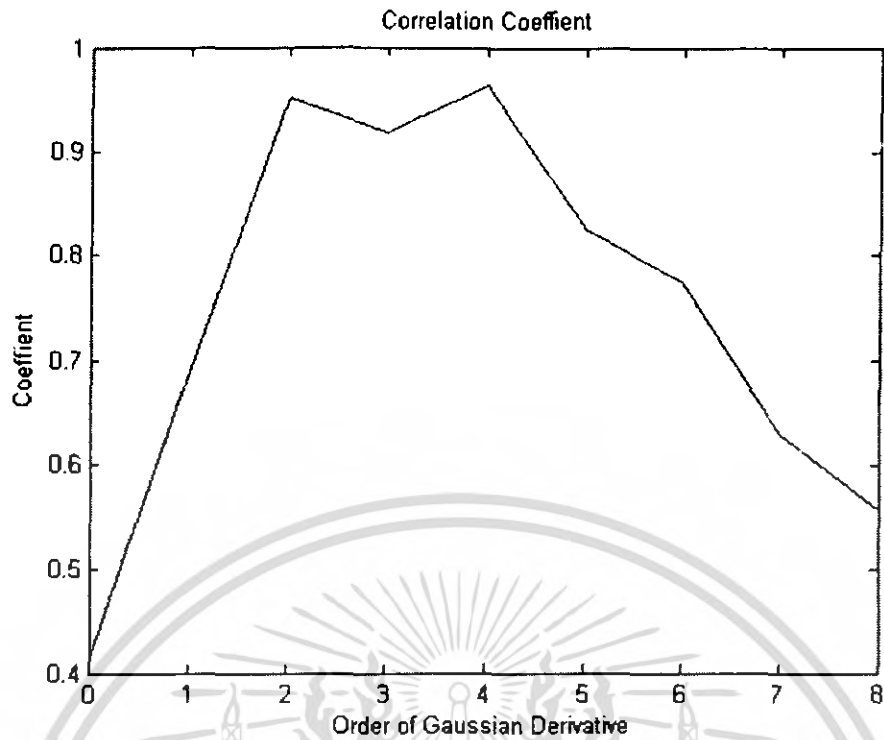
รูปที่ 5.23 ประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของคลื่นเกาส์ในการส่ง และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ



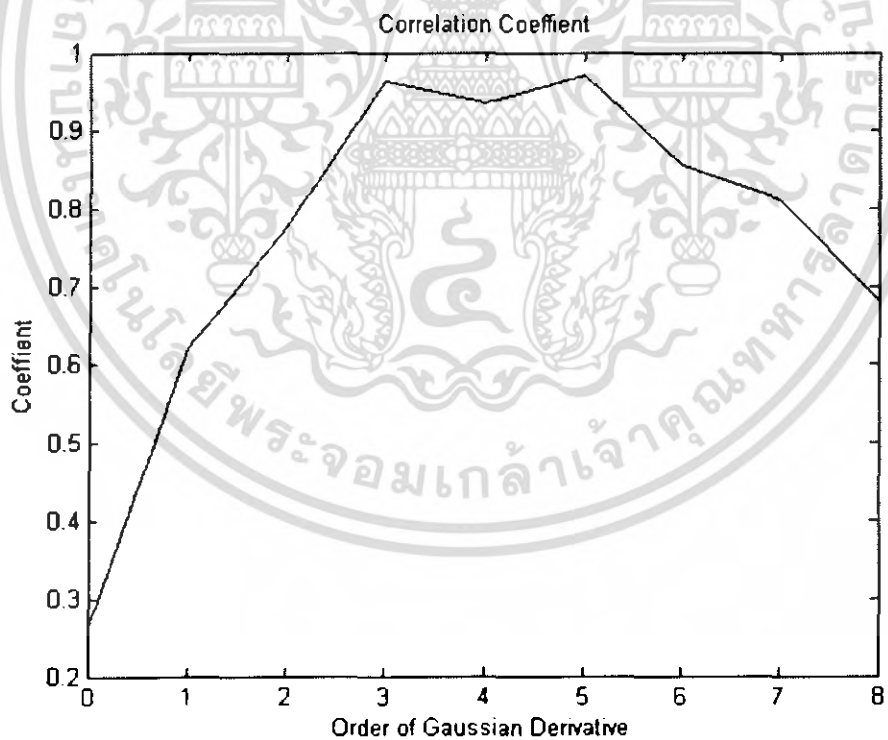
รูปที่ 5.24 ประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของคลื่นเกาส์ในการส่ง

และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

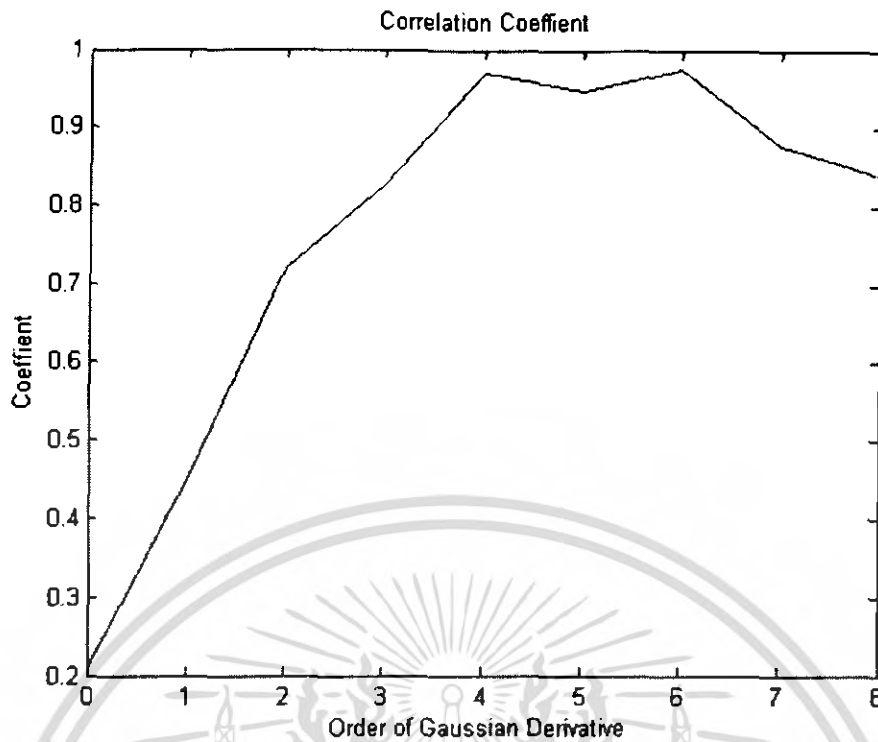


รูปที่ 5.25 ประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของคลื่นเกาส์ในการส่ง และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ

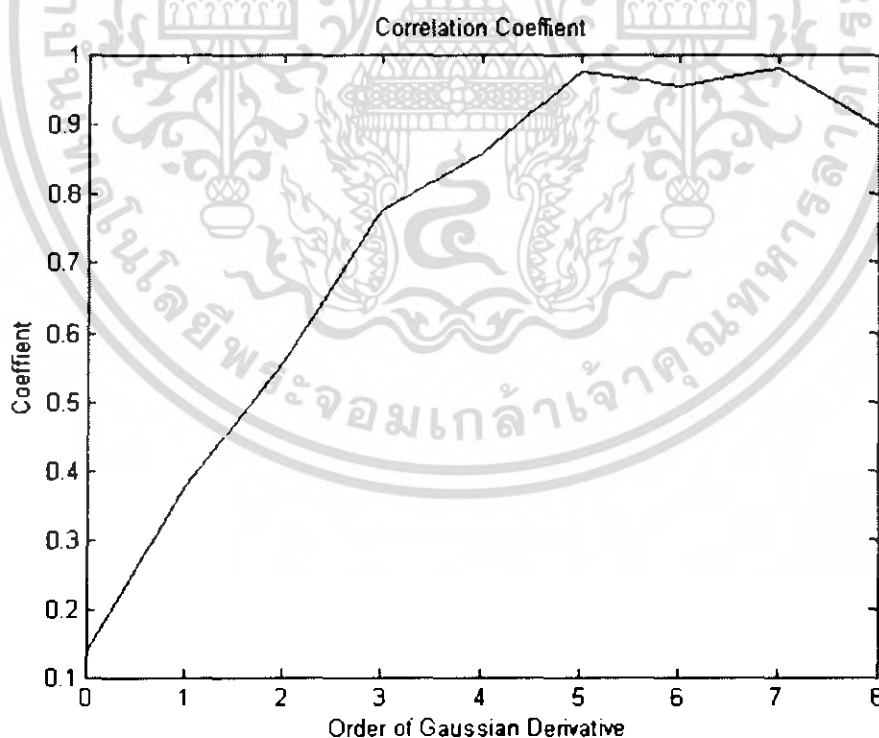


รูปที่ 5.26 ประสิทธิภาพการคอร์เรเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของคลื่นเกาส์ในการส่ง และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

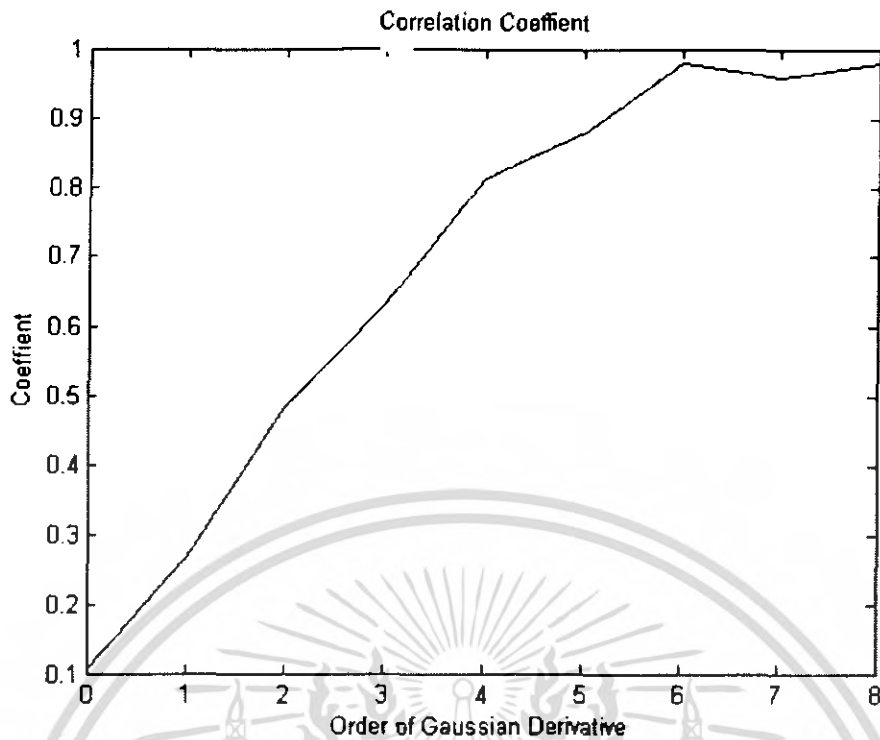


รูปที่ 5.27 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของคลื่นเกาส์ในการส่ง และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ

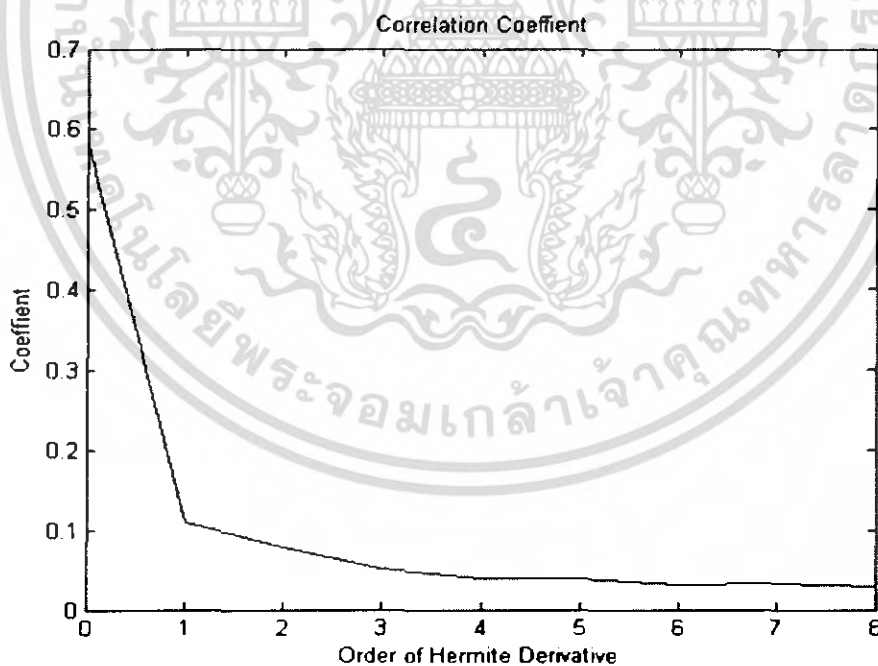


รูปที่ 5.28 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของคลื่นเกาส์ในการส่ง และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

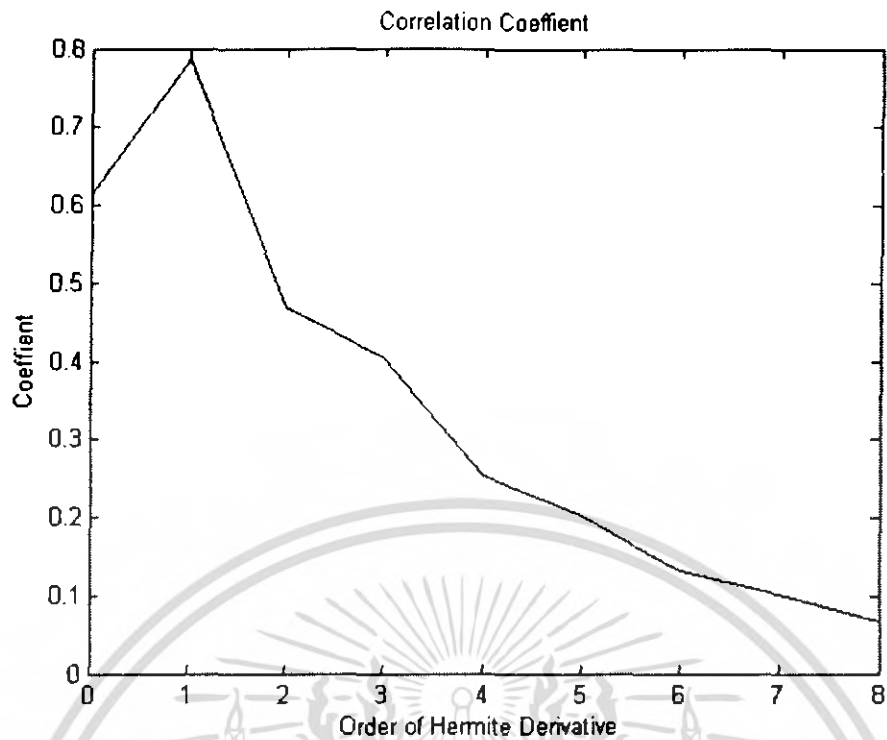


รูปที่ 5.29 ประสิทธิภาพการคอร์เรลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของคลื่นเกาส์ในการส่ง และใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเกาส์เป็นสัญญาณแม่แบบ

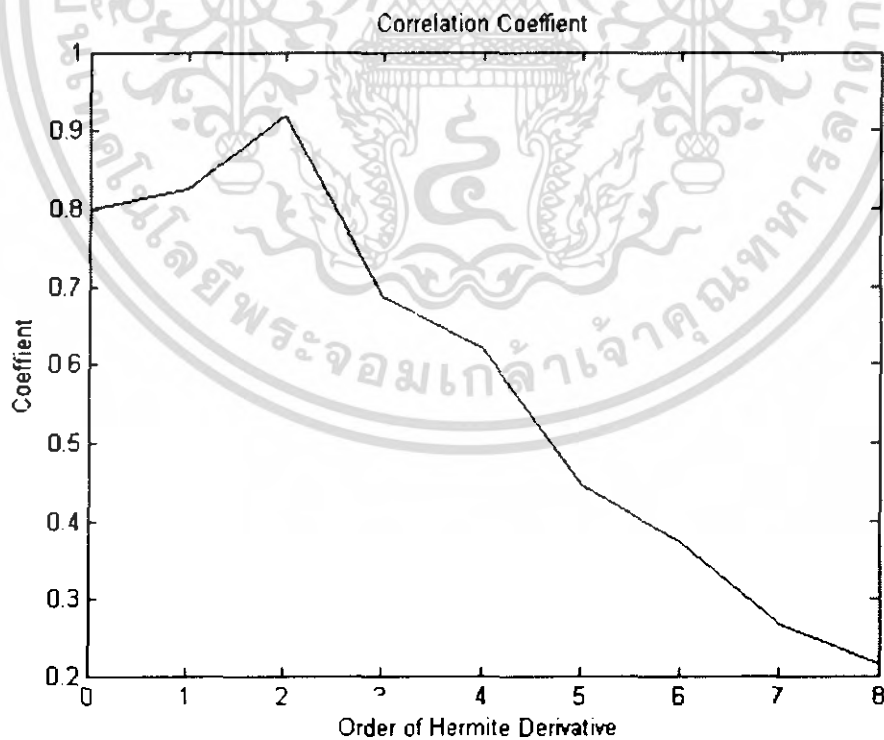


รูปที่ 5.30 ประสิทธิภาพการคอร์เรลชัน เมื่อใช้สัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



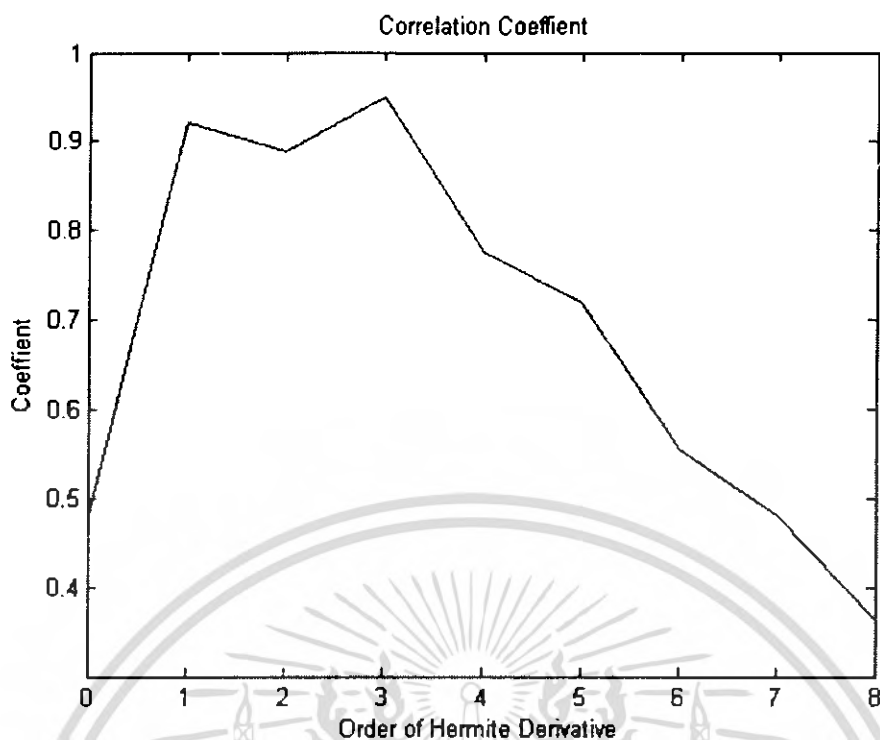
รูปที่ 5.31 ประสิทธิภาพการครีเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ



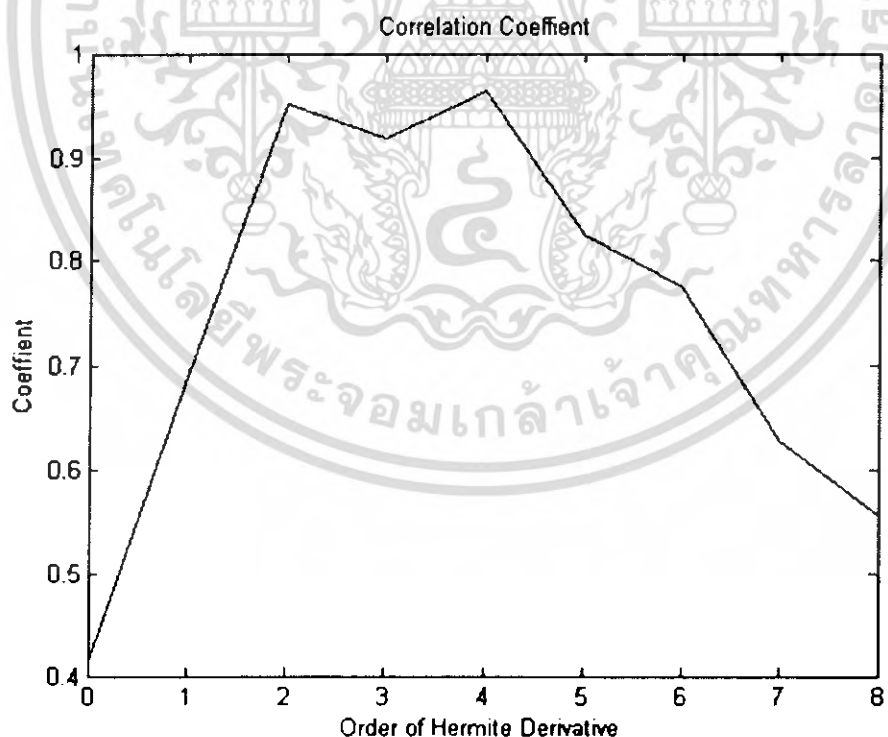
รูปที่ 5.32 ประสิทธิภาพการครีเลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของคลื่นเฮอริไมท์ในการ

ส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

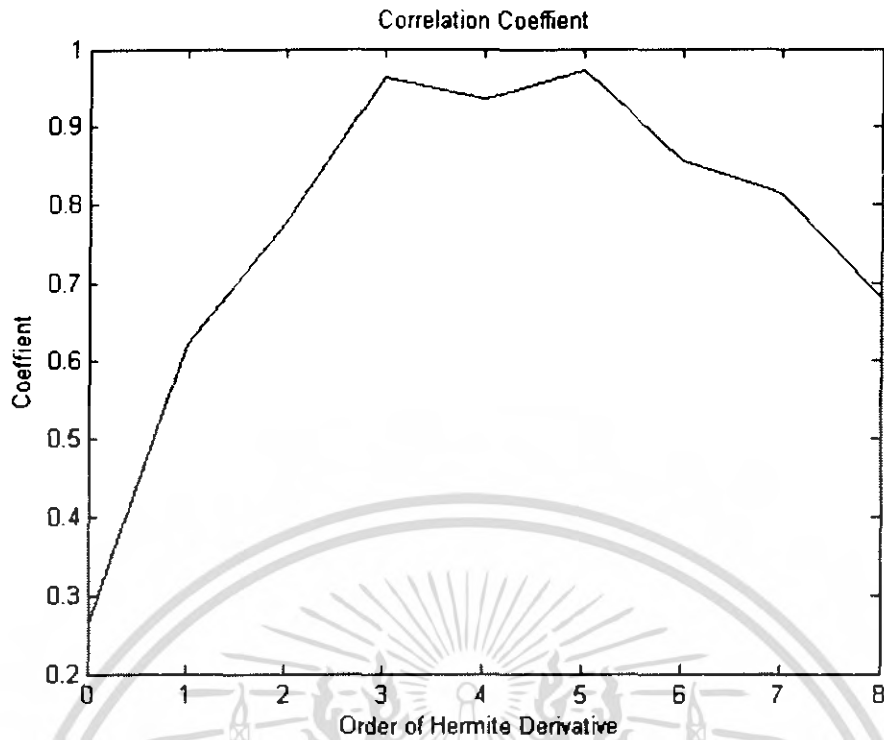


รูปที่ 5.33 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

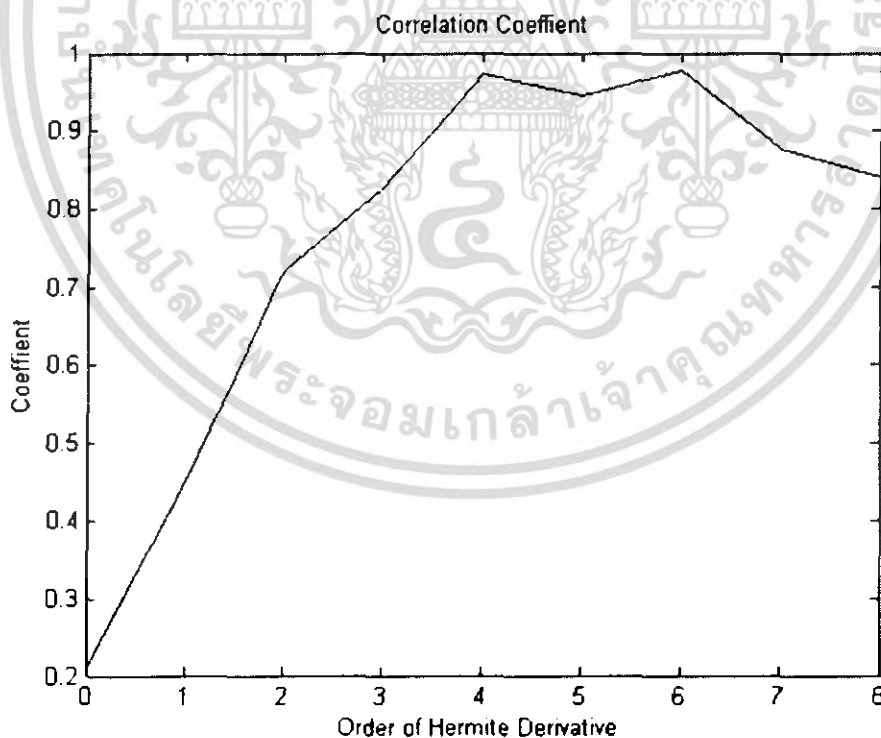


รูปที่ 5.34 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

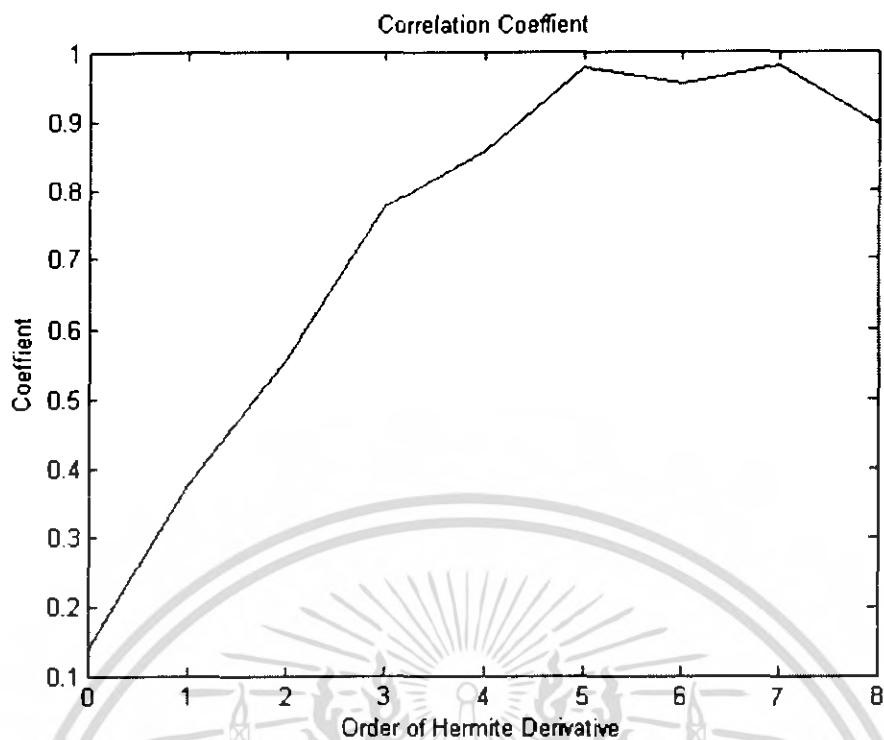


รูปที่ 5.35 ประสิทธิภาพการคอร์เรลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของคลื่นเฮร์ไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮร์ไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

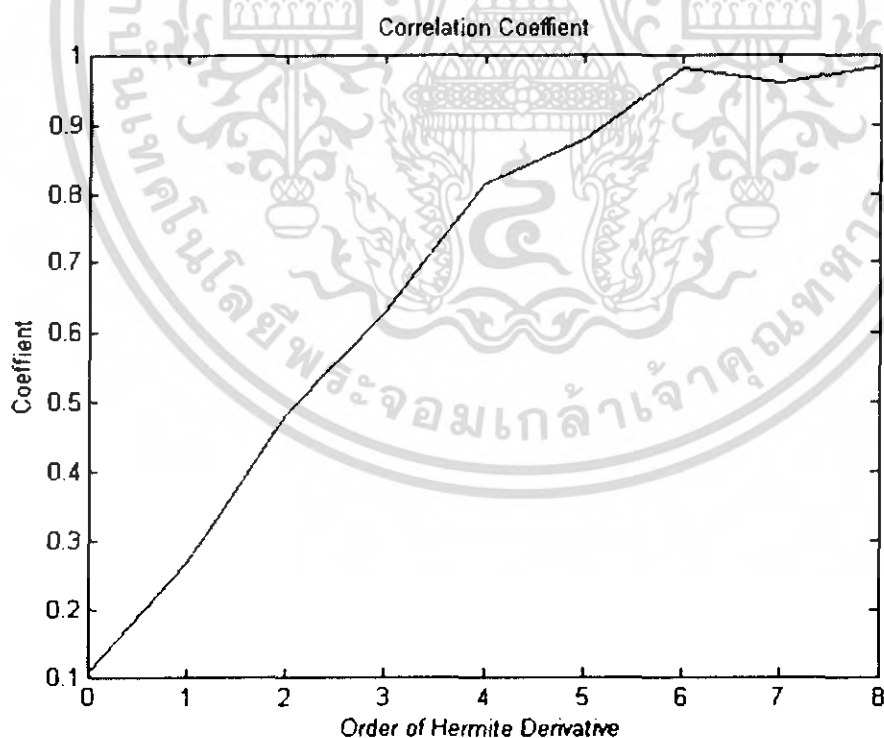


รูปที่ 5.36 ประสิทธิภาพการคอร์เรลชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของคลื่นเฮร์ไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮร์ไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ



รูปที่ 5.38 ประสิทธิภาพการคอร์เรชัน ใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของคลื่นเฮอริไมท์ในการส่งและใช้สัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นเฮอริไมท์เป็นสัญญาณแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ BER

ในหัวข้อนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์โดยมีรูปคลื่นสัญญาณส่ง UWB ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยจะเลือกวิเคราะห์เฉพาะแบบแผนการมอดูเลตแบบชั่วต่างกันเท่านั้นซึ่งสำหรับเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์จะใช้สมการที่ (4.60) และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์จะใช้สมการที่ (4.63) ส่วนแบบแผนการมอดูเลตแบบตั้งฉากสามารถวิเคราะห์ได้ในทำนองเดียวกันโดยใช้สมการที่ (4.61) และ (4.64) ในการวิเคราะห์ได้ กำหนดให้อัตราบิตเป็น 110 Mbps ซึ่งจะทำให้มีช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่นเป็น 0.4 ns และกำหนดให้ระยะทางเป็น 5 m ซึ่งในการศึกษาประสิทธิภาพ BER นี้จะใช้ที่ระดับ  $10^{-3}$  เป็นระดับอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ BER ในแต่ละกรณี

### 5.5.1 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์

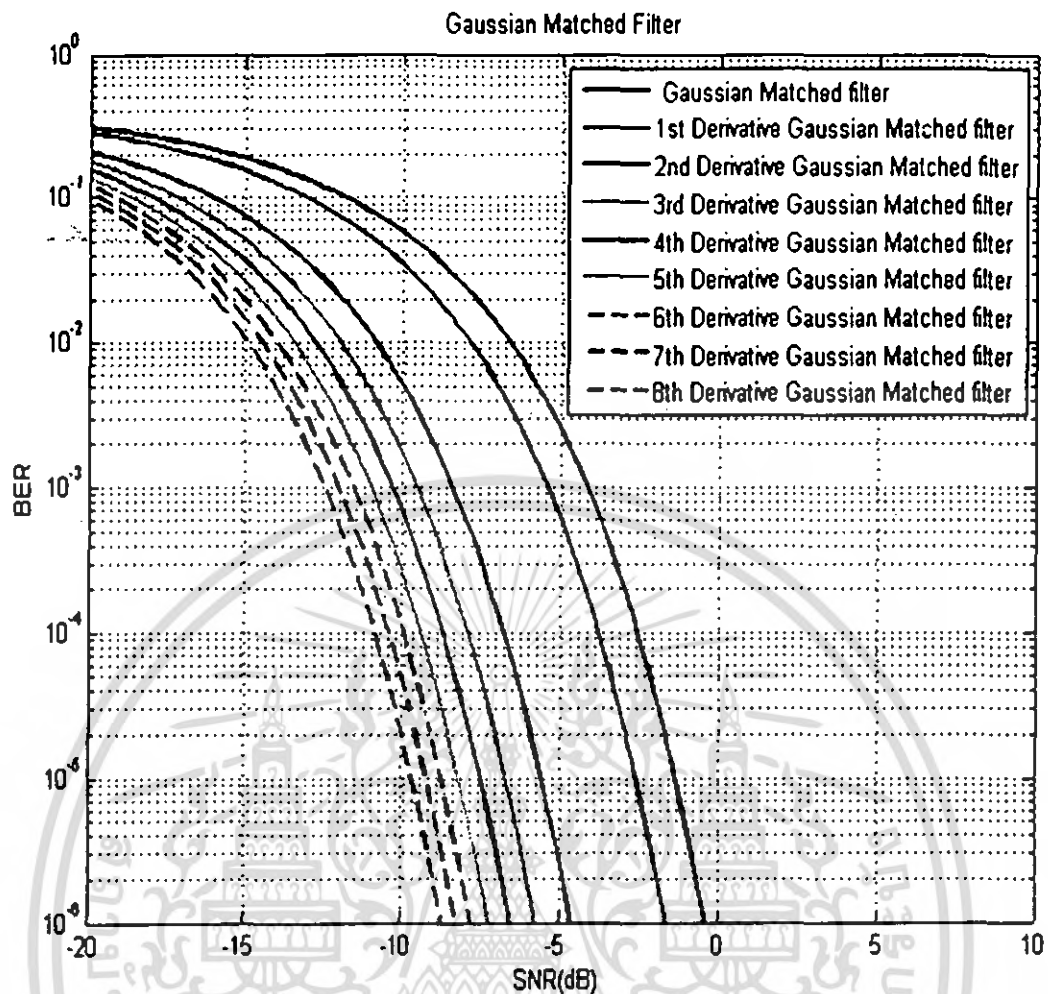
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์

สัญญาณพัลส์ที่ใช้เป็นสัญญาณส่ง	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	-6.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	-7.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	-10.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	-11.9750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-12.7750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	-13.4750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	-14.0250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	-14.4750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	-14.9250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

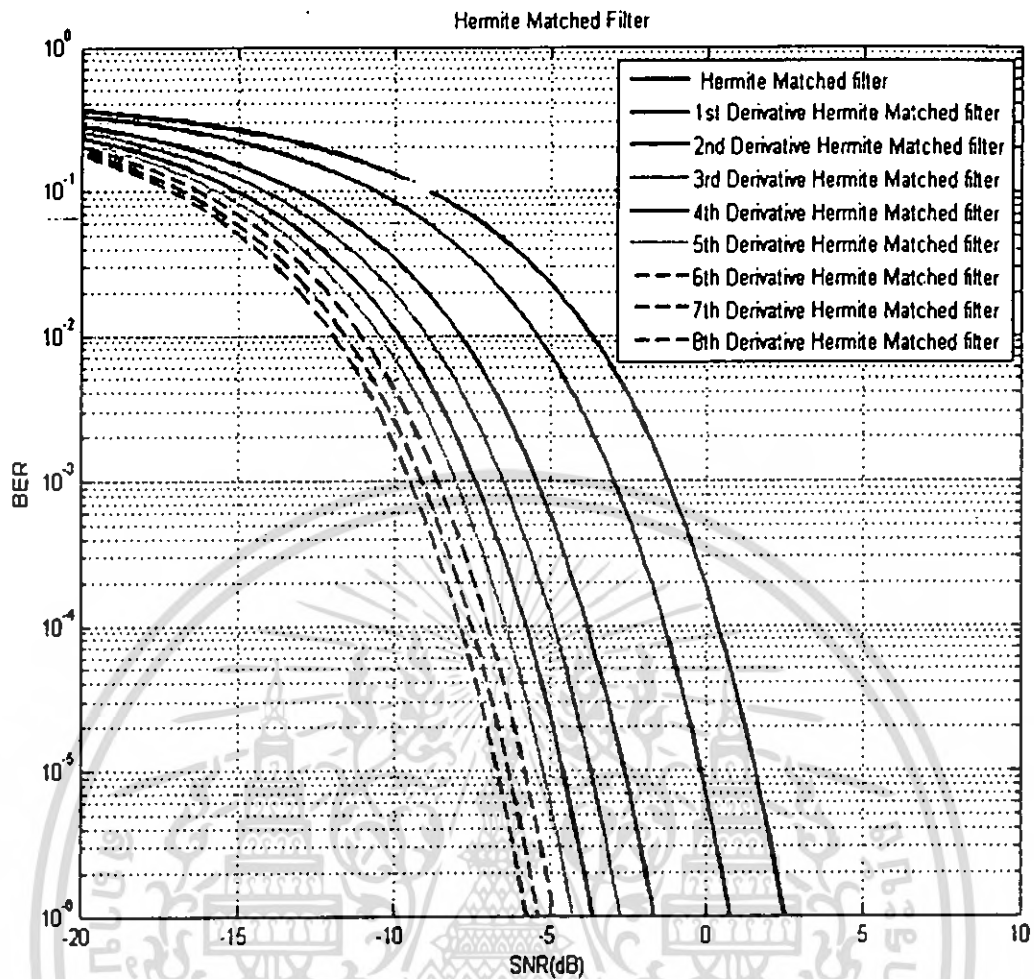
สัญญาณพัลส์ที่ใช้เป็นสัญญาณส่ง	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-3.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-5.4250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-7.9250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-8.9750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-9.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-10.4750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-11.0750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-11.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	-11.9750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.39 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



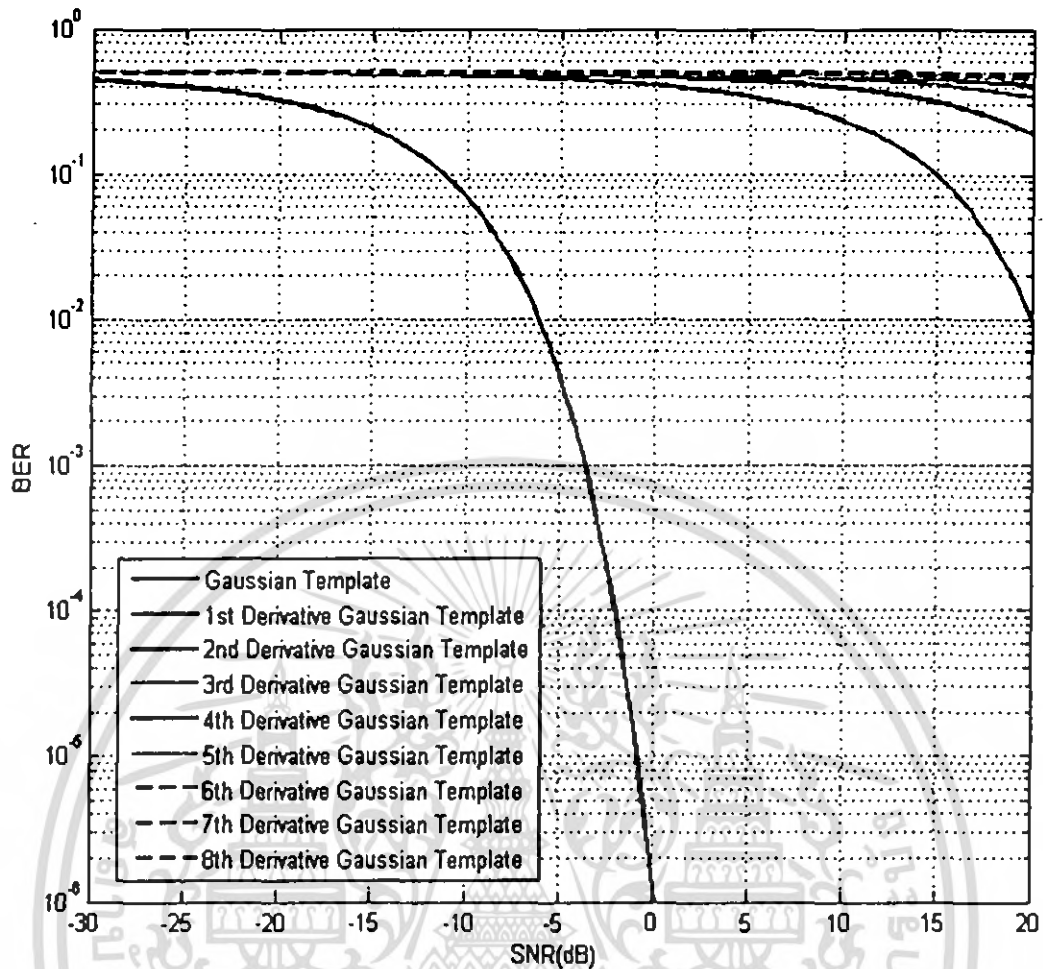
รูปที่ 5.40 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

5.5.2 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เมื่อใช้รูปแบบสัญญาณแม่แบบ  
ลักษณะต่าง ๆ กัน

5.5.2.1 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็น  
อนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบ  
แบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	-6.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเกาส์	20.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเกาส์	28.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเกาส์	34.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเกาส์	40.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเกาส์	44.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเกาส์	48.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเกาส์	51.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเกาส์	55.8750



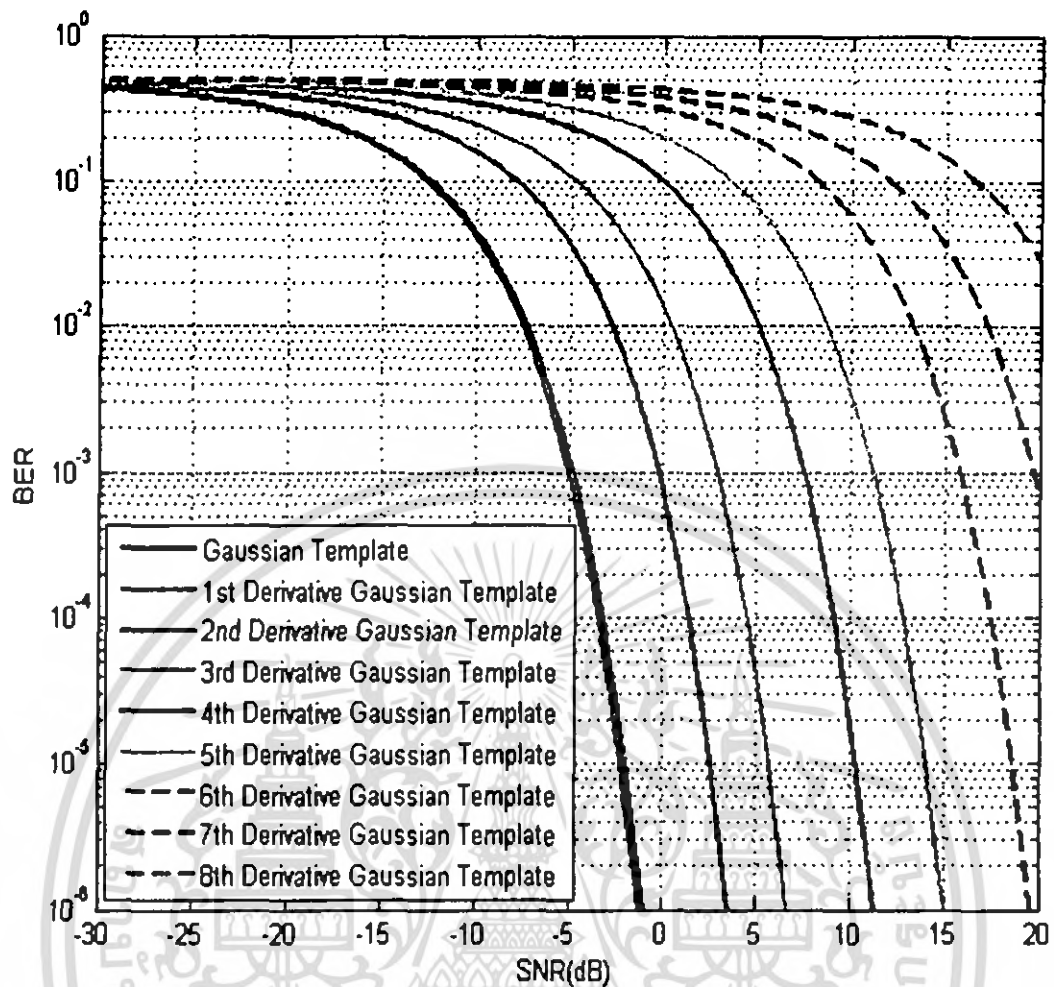
รูปที่ 5.41 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

5.5.2.2 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	-7.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	-7.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	-2.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	0.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	5.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	8.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	13.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	17.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	21.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

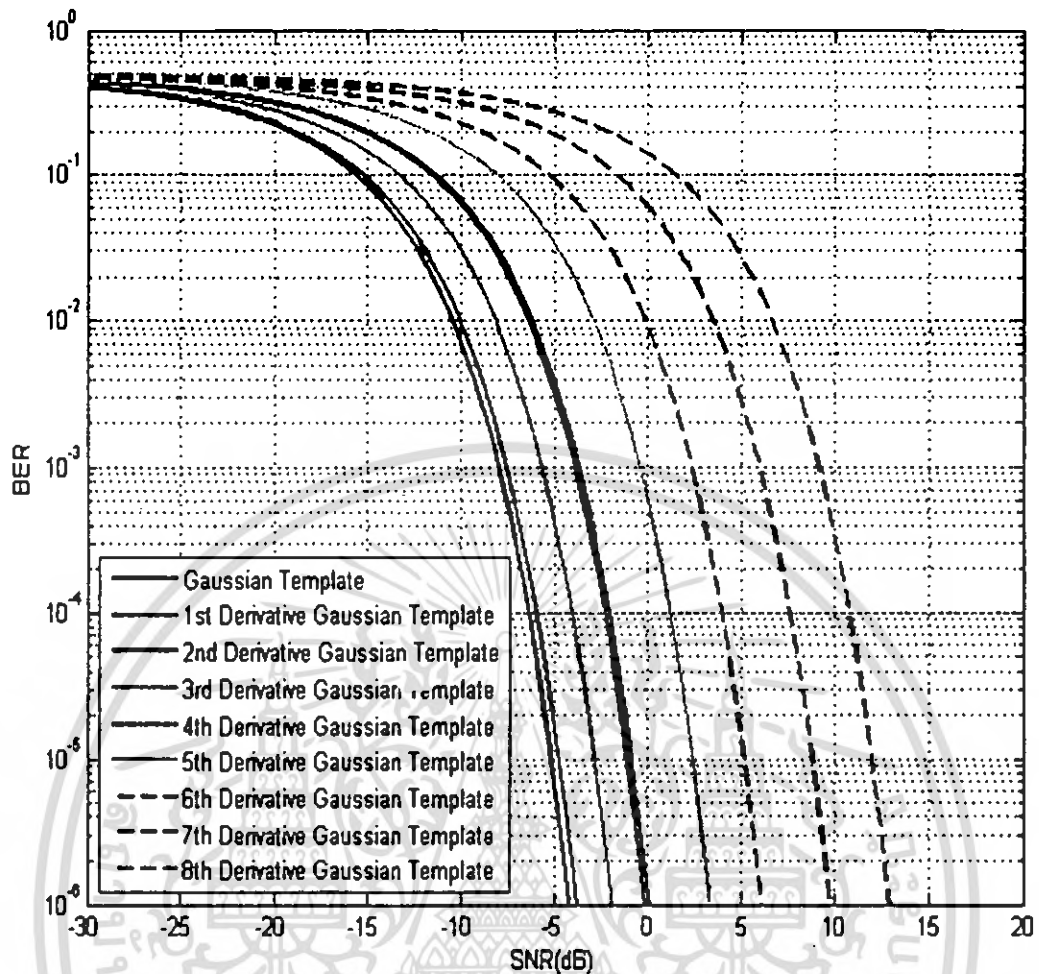
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.3 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพัทธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพัทธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	-6.3750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	-10.1250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	-10.3750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	-8.1250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-6.1250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	-2.8750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	-0.1250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	3.6250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	6.6250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.44 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

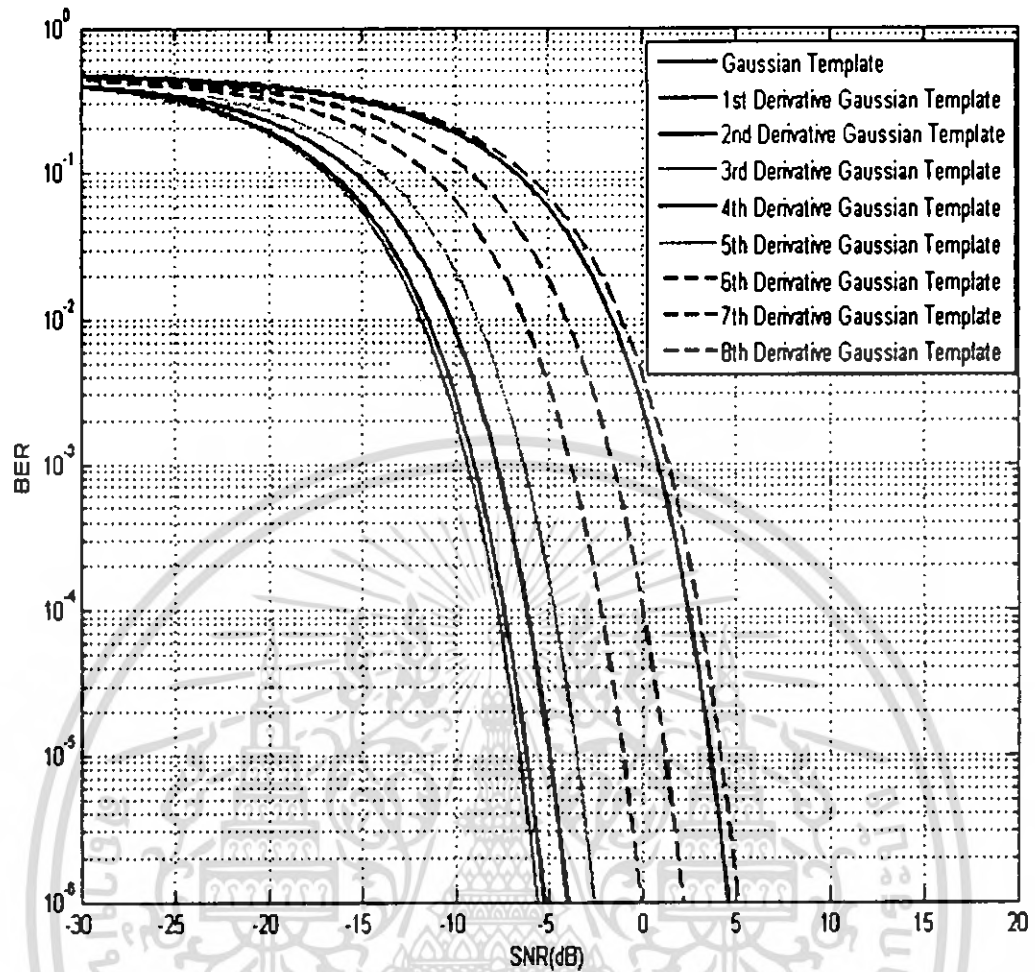
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.4 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ $BER = 10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	-1.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	-10.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	-11.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	-11.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-10.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	-8.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	-6.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	-4.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	-1.1250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

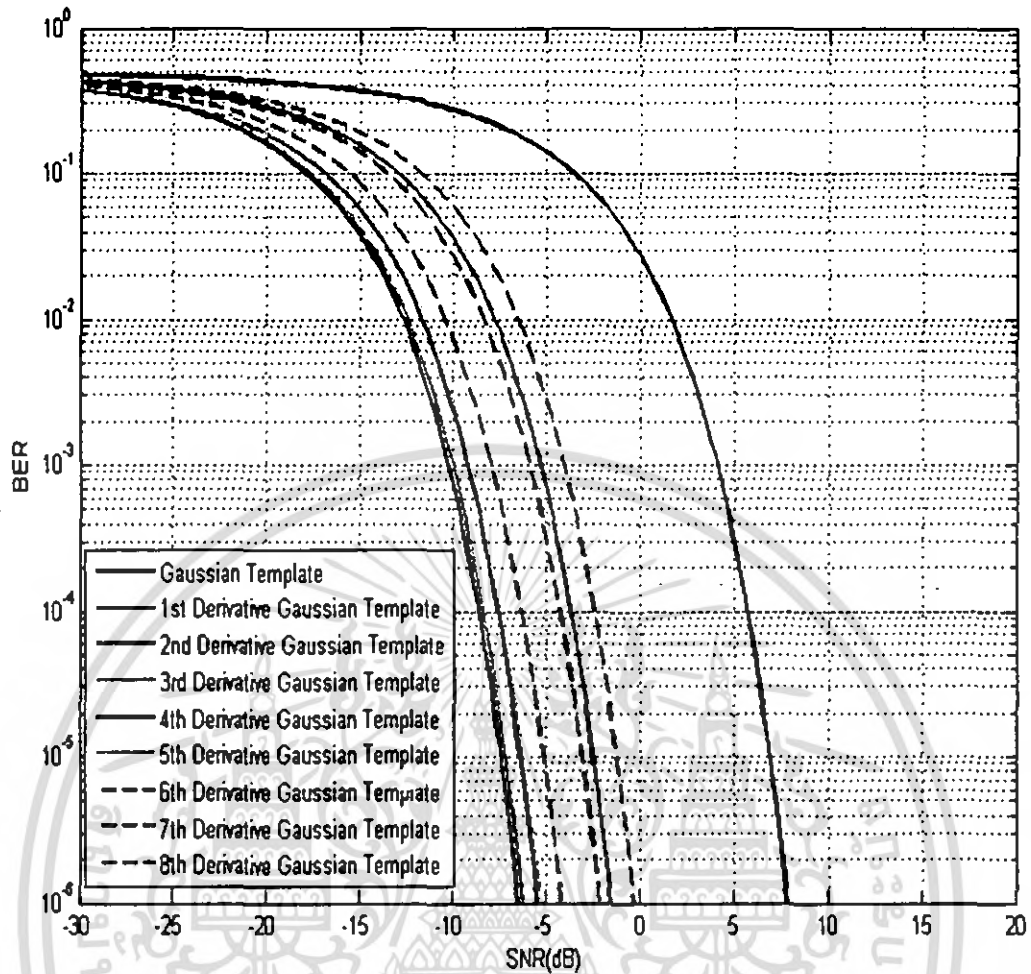
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.5 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้  
สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้  
สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	1.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเกาส์	-7.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเกาส์	-11.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเกาส์	-12.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเกาส์	-12.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเกาส์	-11.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเกาส์	-10.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-8.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-6.6250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

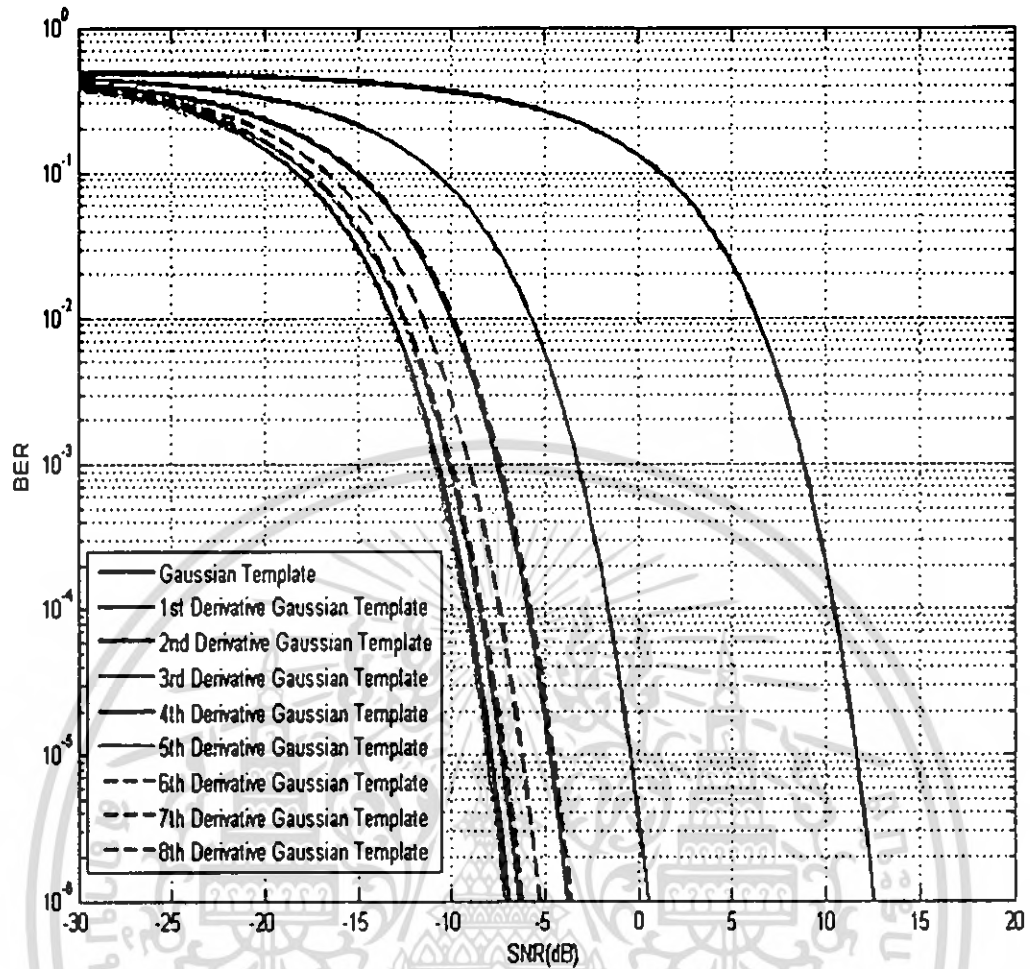
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.6 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้  
สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้  
สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	6.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเกาส์	-5.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเกาส์	-10.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเกาส์	-12.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเกาส์	-13.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเกาส์	-13.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเกาส์	-12.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-11.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-9.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.47 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

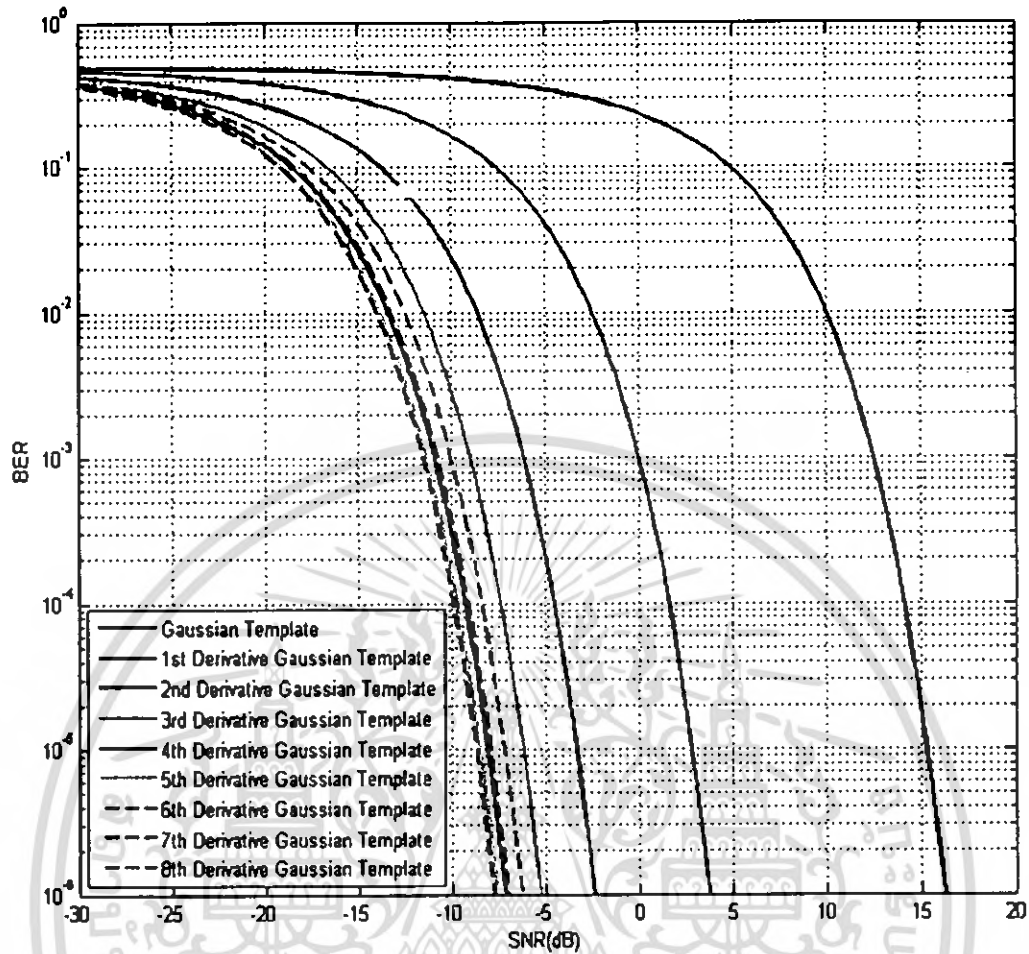
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.7 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	10.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	-2.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	-8.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	-11.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-13.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	-13.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	-13.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	-13.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	-12.3750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.48 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

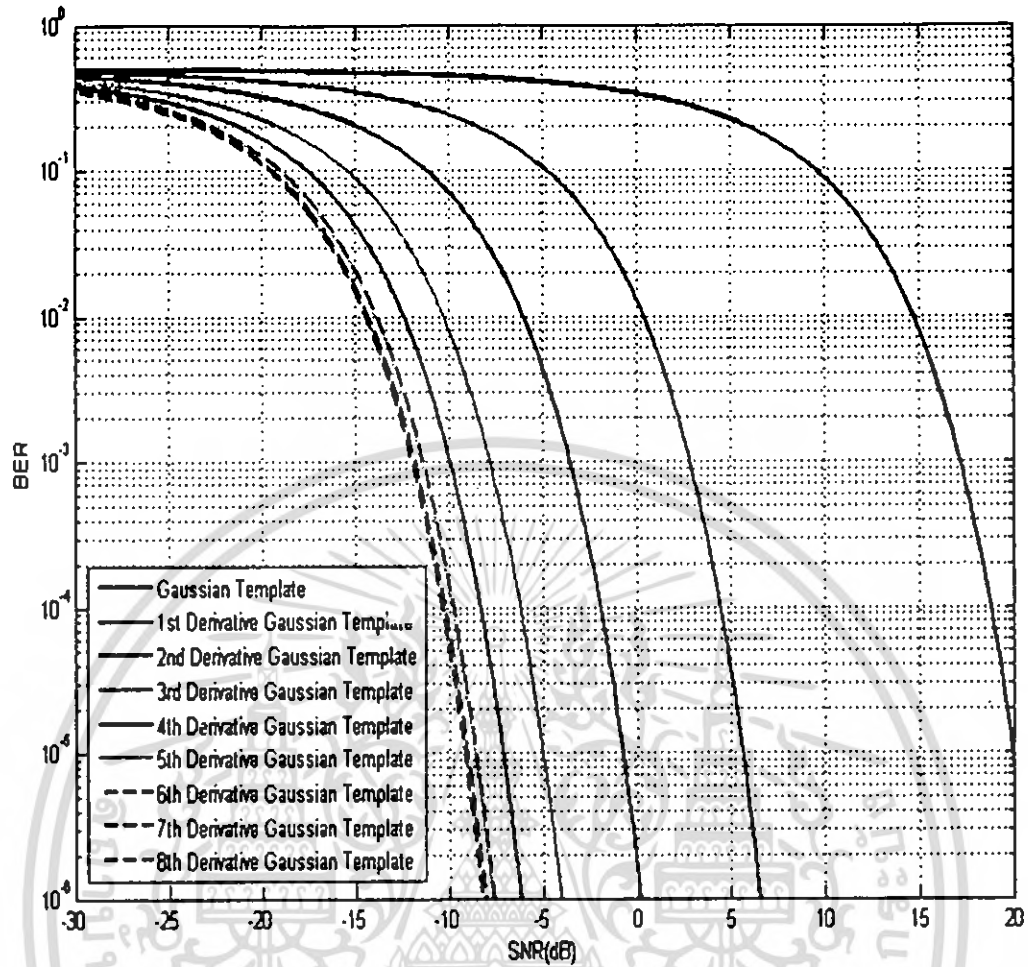
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.8 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้  
สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อใช้  
สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	14.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเกาส์	0.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเกาส์	-6.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเกาส์	-10.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเกาส์	-12.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเกาส์	-13.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเกาส์	-14.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-14.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-13.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.49 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น  
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็น  
อนุพันธ์ อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

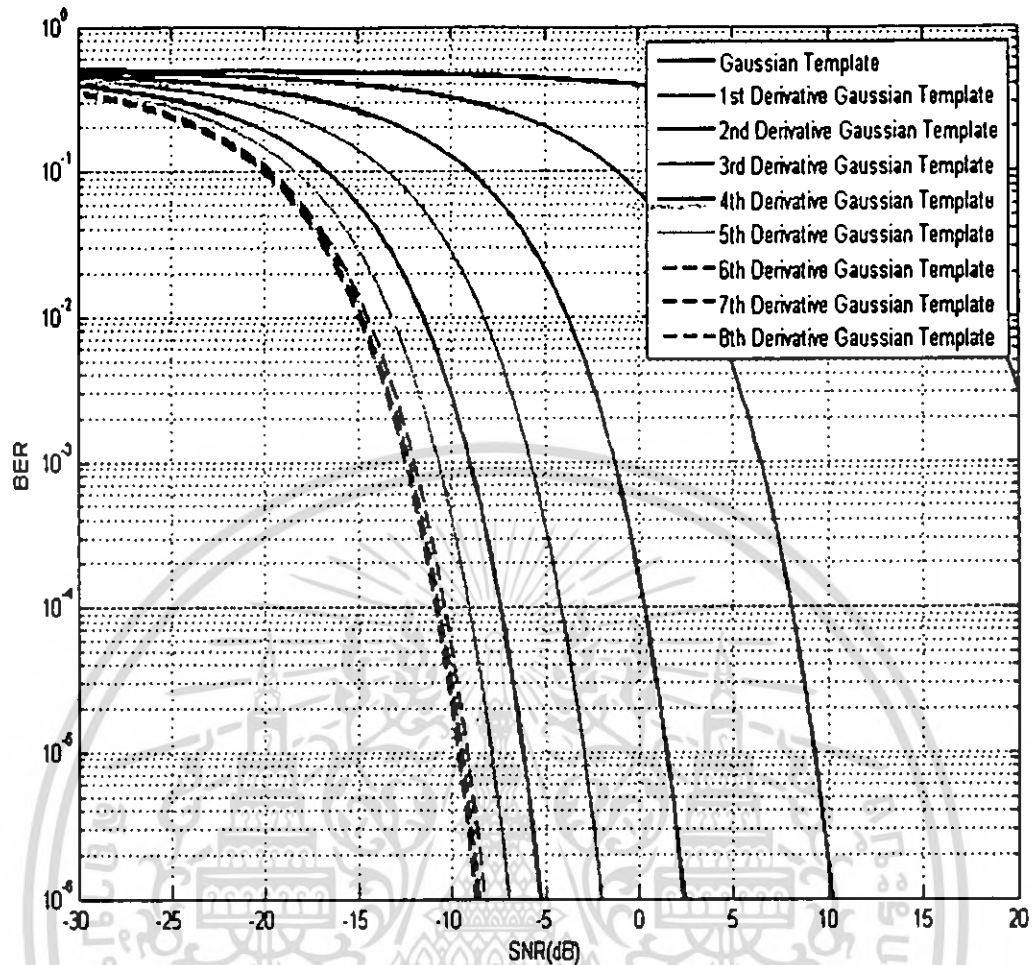
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.9 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้  
สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ เมื่อ  
ใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	18.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเกาส์	3.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเกาส์	-3.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเกาส์	-8.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเกาส์	-11.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเกาส์	-13.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเกาส์	-14.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-14.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเกาส์	-14.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.50 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์ อันดับต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์

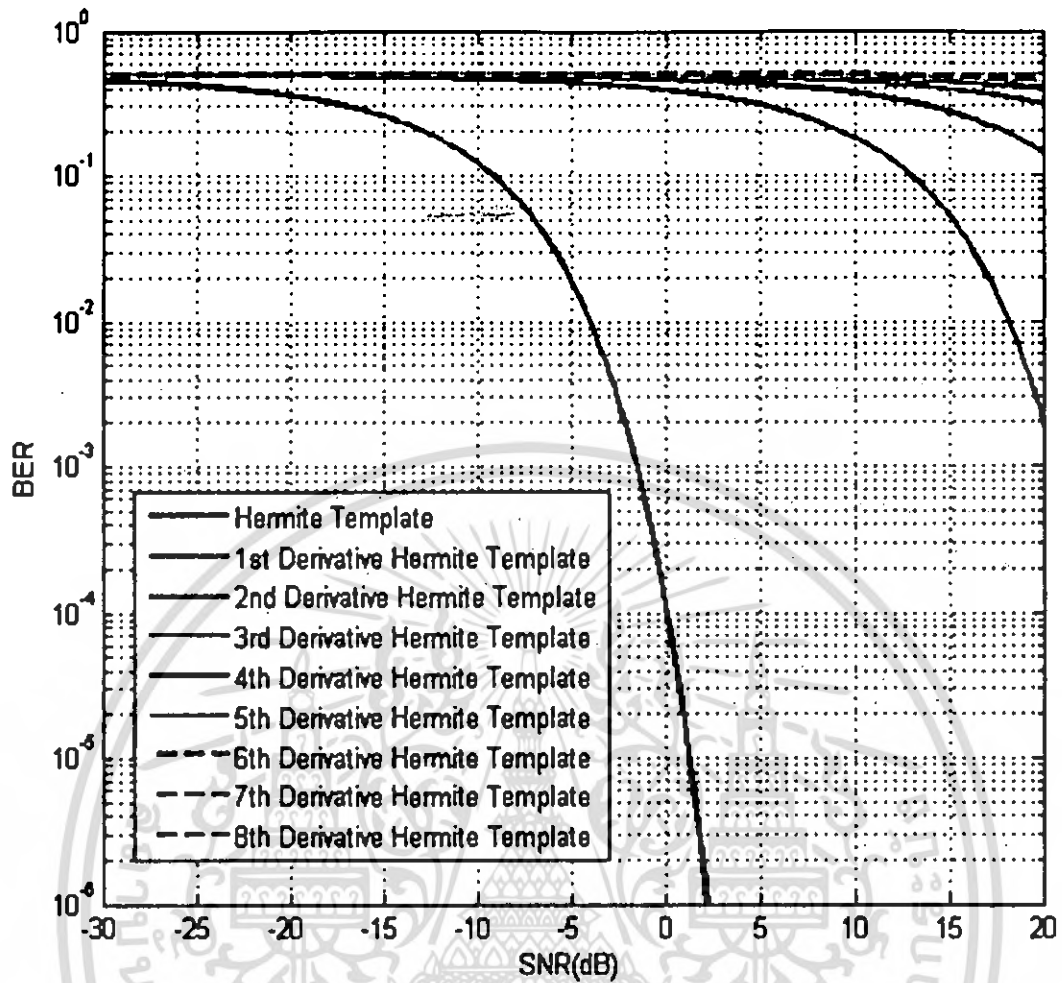
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.10 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ $BER = 10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-3.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	18.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	26.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	33.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	38.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	42.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	46.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	50.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	54.3750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



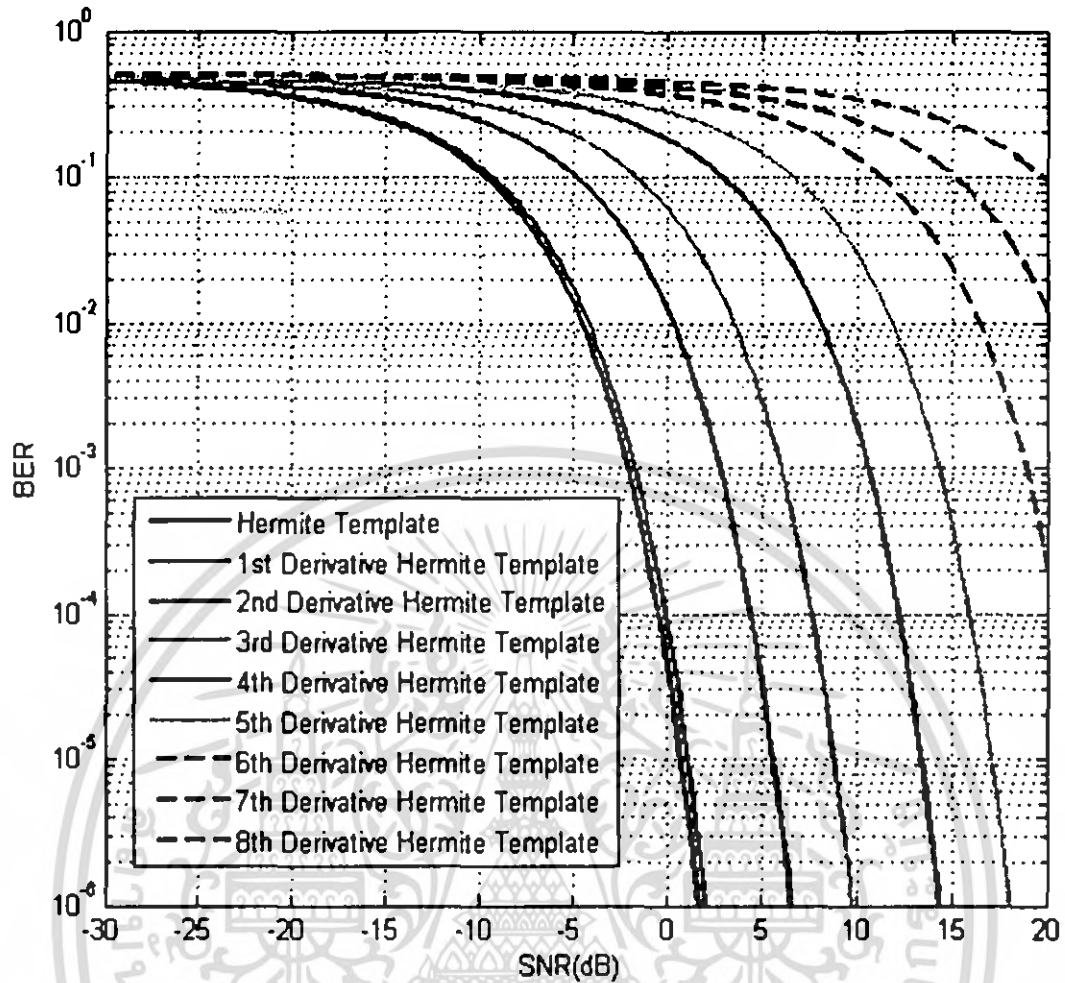
รูปที่ 5.51 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น  
สัญญาณของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับ  
ต่างๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

5.5.2.11 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์ เมื่อใช้ สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ $BER = 10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์	-4.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-4.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	0.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	3.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	8.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	11.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	16.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	20.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	24.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.52 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณ แม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

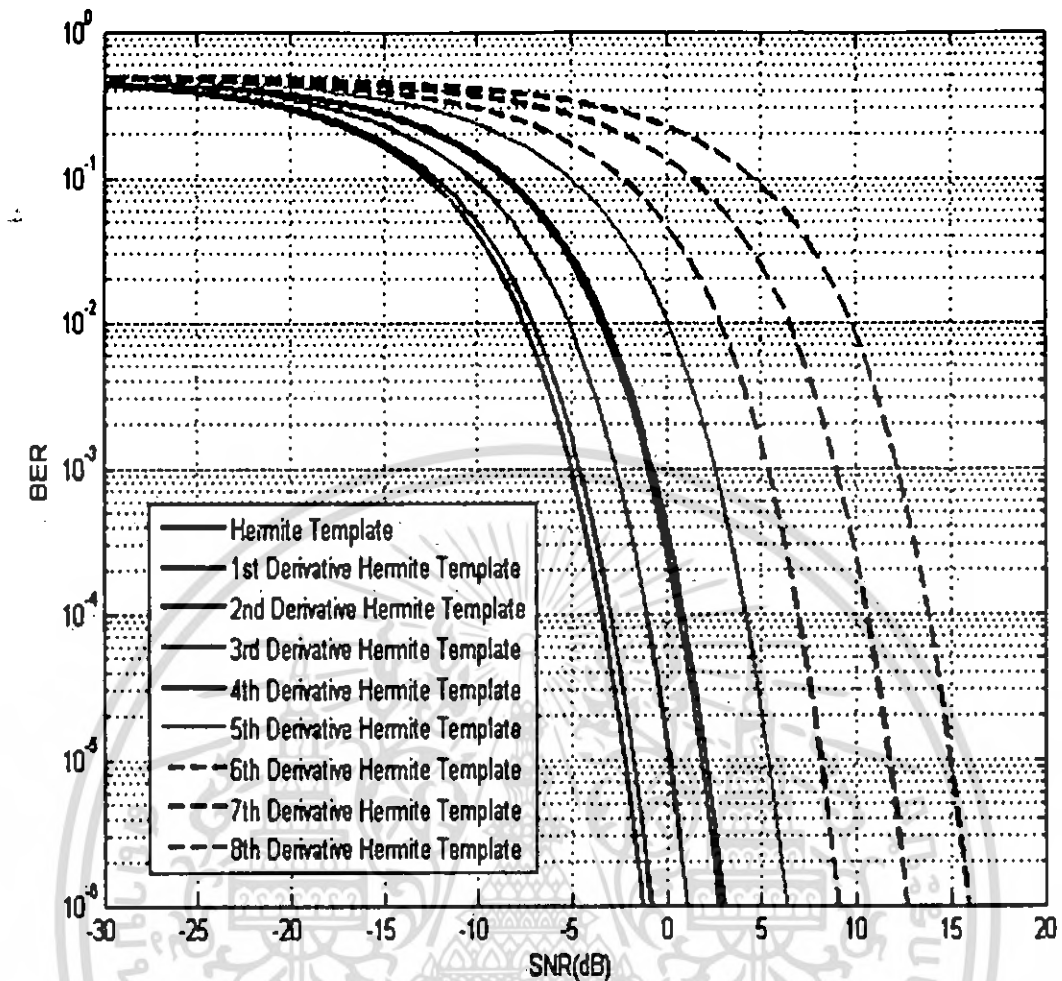
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.12 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้ สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-3.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-7.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-7.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-5.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-3.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	0.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	2.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	6.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	9.6250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



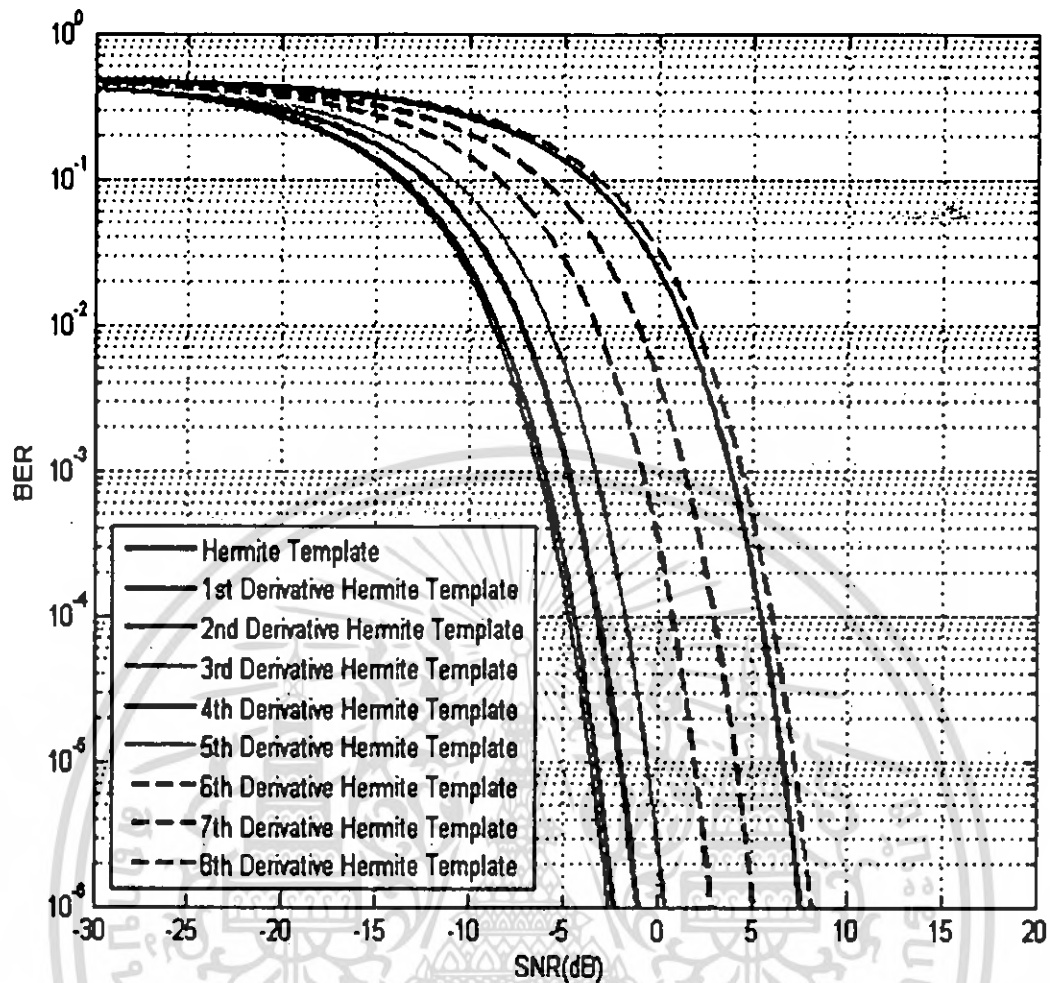
รูปที่ 5.53 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์

5.5.2.13 เมื่อใช้สัญญาณตั้งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์  
และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริ  
ไมท์

ตารางที่ 5.14 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณตั้งอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์  
เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	1.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-7.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-8.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-8.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-7.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-5.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-3.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-1.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	1.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



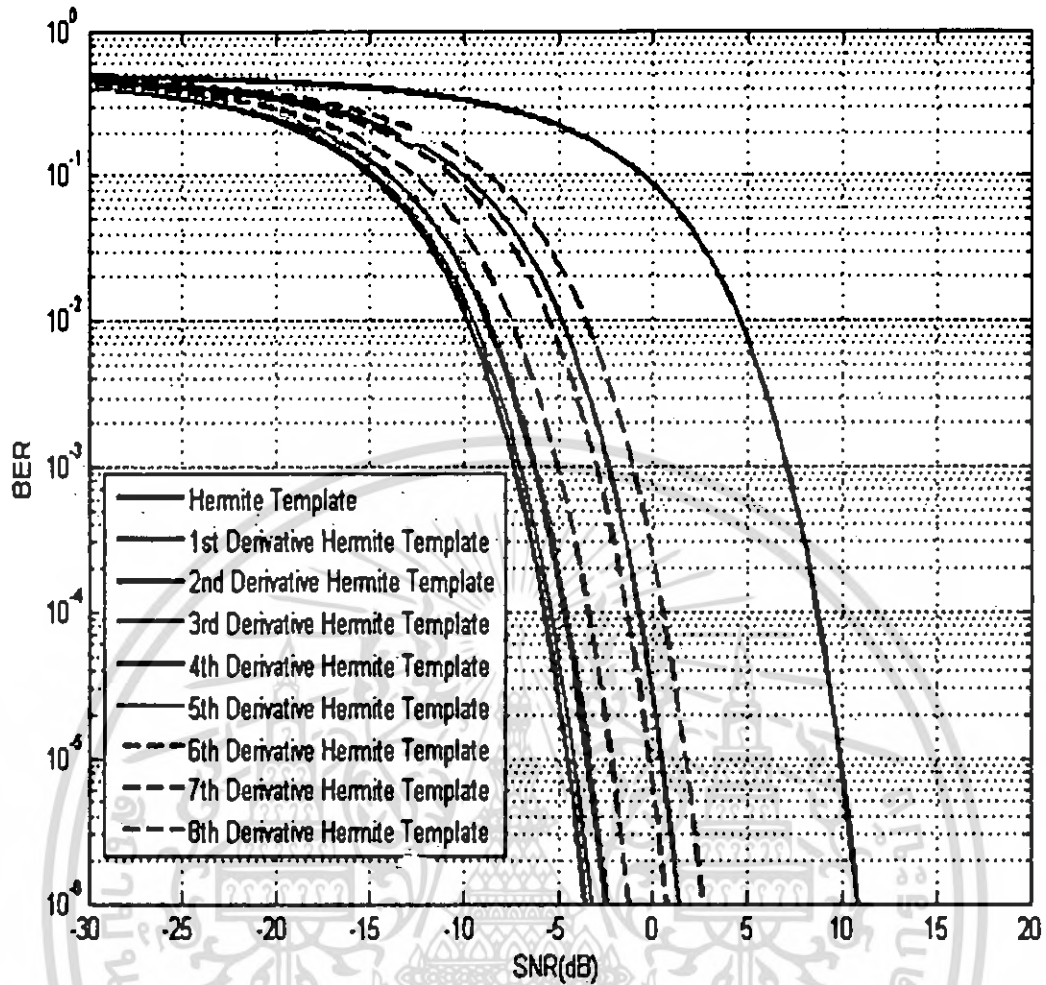
รูปที่ 5.54 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น  
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ตามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณ  
แม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

5.5.2.14 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์  
และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเซอร์  
ไมท์

ตารางที่ 5.15 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์  
เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเซอร์ไมท์	4.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-4.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-8.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-9.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-9.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-8.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-7.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-5.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเซอร์ไมท์	-3.6250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



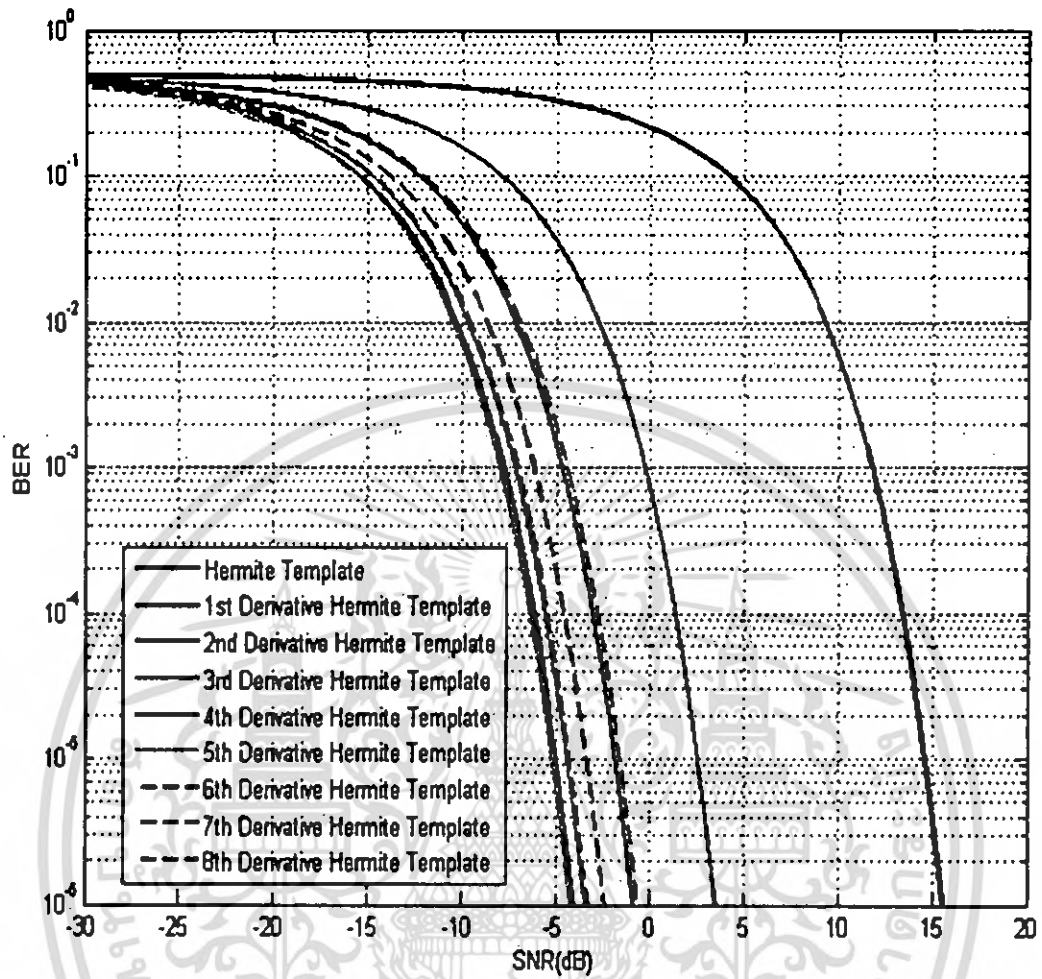
รูปที่ 5.55 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่  $n$  ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

5.5.2.15 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์  
และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพัทธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริ  
ไมท์

ตารางที่ 5.16 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพัทธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์  
เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	9.3750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-2.8750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-7.1250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-9.6250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-10.3750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-10.3750
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-9.6250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-8.6250
สัญญาณอนุพัทธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-6.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



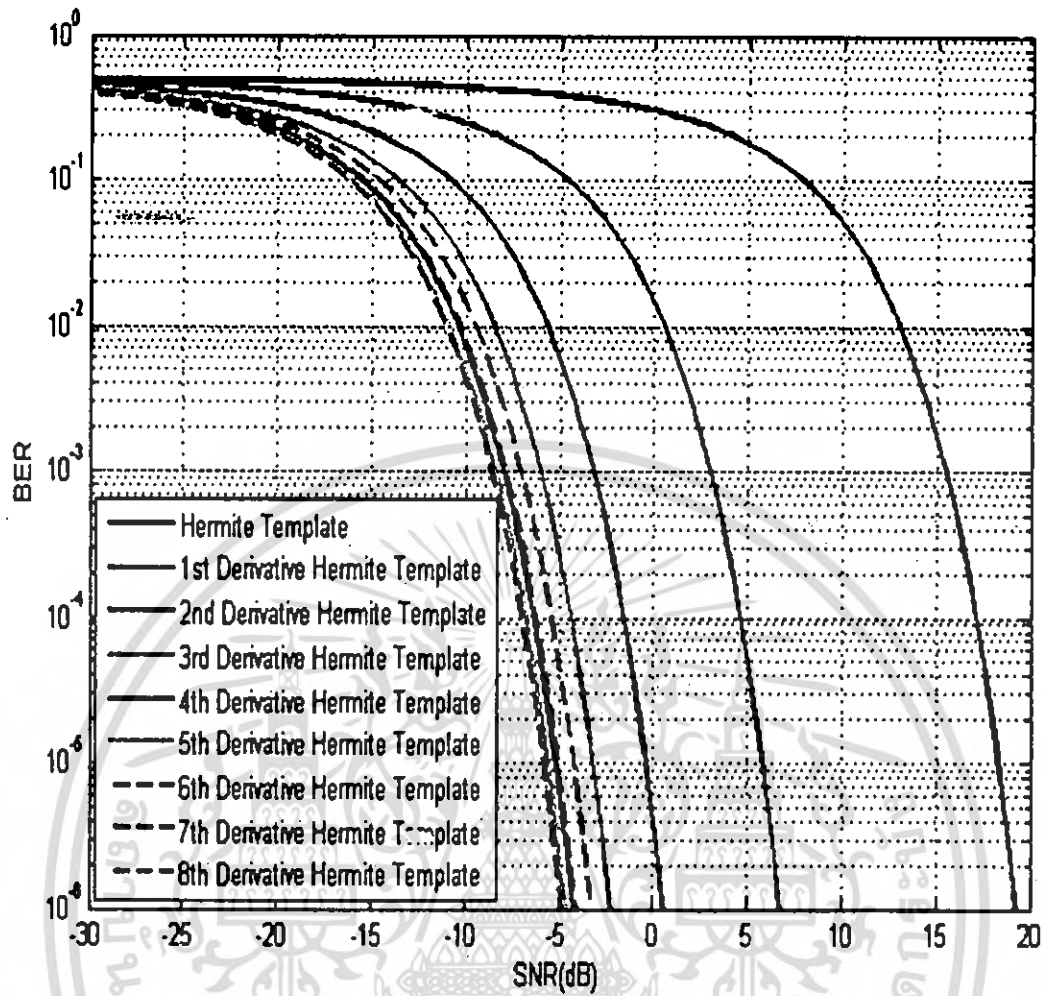
รูปที่ 5.56 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.16 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์  
และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮร์  
ไมท์

ตารางที่ 5.17 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์  
เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮร์ไมท์	13.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	0.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-5.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-8.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-10.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-10.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-11.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-10.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเฮร์ไมท์	-9.3750



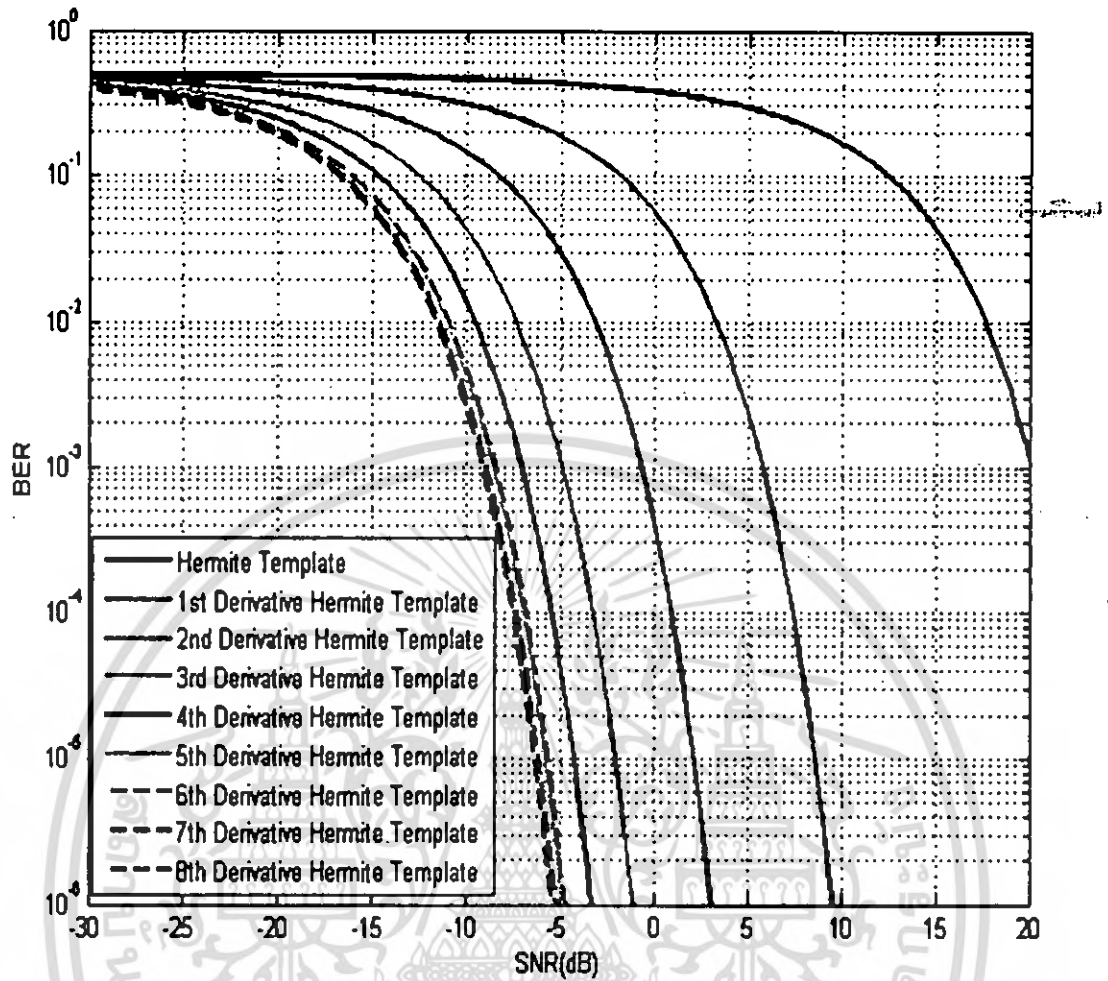
รูปที่ 5.57 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

5.5.2.17 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์  
และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริ  
ไมท์

ตารางที่ 5.18 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์  
เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	17.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	3.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-3.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-7.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-9.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-11.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-11.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-11.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่น แบบเฮอริไมท์	-10.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



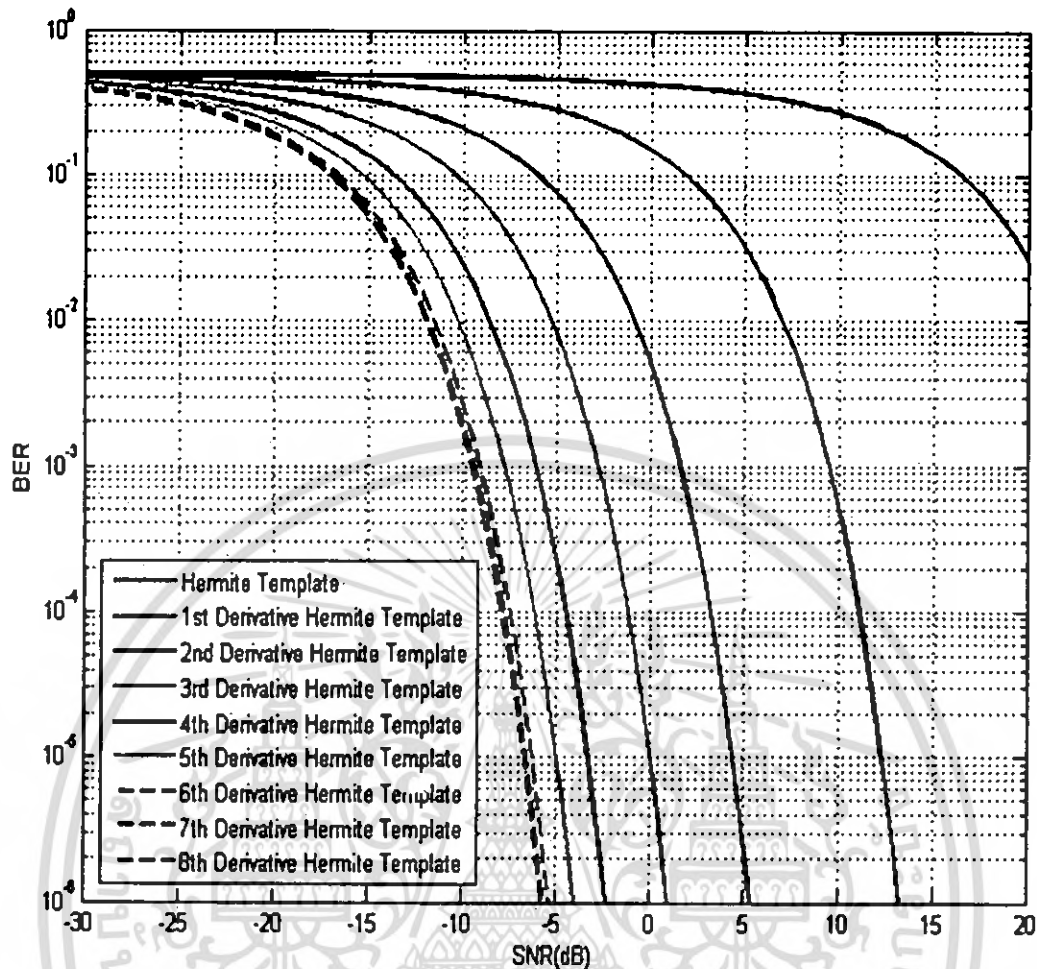
รูปที่ 5.58 BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็น สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

5.5.2.18 เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

ตารางที่ 5.19 ตารางแสดงค่า SNR ของสัญญาณส่งอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ เมื่อใช้สัญญาณแม่แบบแบบต่าง ๆ

สัญญาณแม่แบบ (Template Waveform)	ค่า SNR ที่ BER = $10^{-3}$ (dB)
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	21.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	7.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สองของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-0.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สามของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-5.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-8.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-10.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หกของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-11.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-11.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-11.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.59 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เมื่อใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์และใช้สัญญาณแม่แบบเป็นอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

## 5.6 บทสรุป

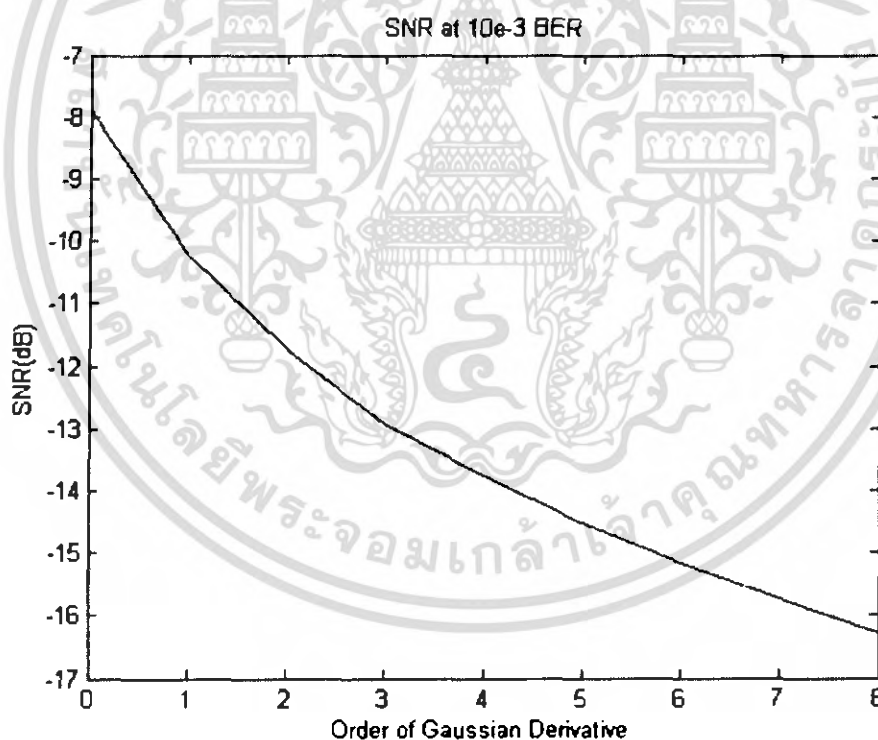
ในบทนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพอัตราการขยาย SNR และ BER ของเครื่องรับแบบแมคซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์สำหรับการสื่อสาร UWB โดยได้กำหนดสัญญาณส่ง UWB เป็นสัญญาณแบบต่าง ๆ และใช้สัญญาณแม่แบบในลักษณะต่าง ๆ กัน ผลที่ได้นี้สามารถนำมาใช้อ้างอิงถึงประสิทธิภาพของระบบ UWB และนำไปพิจารณาออกแบบระบบการสื่อสาร UWB ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

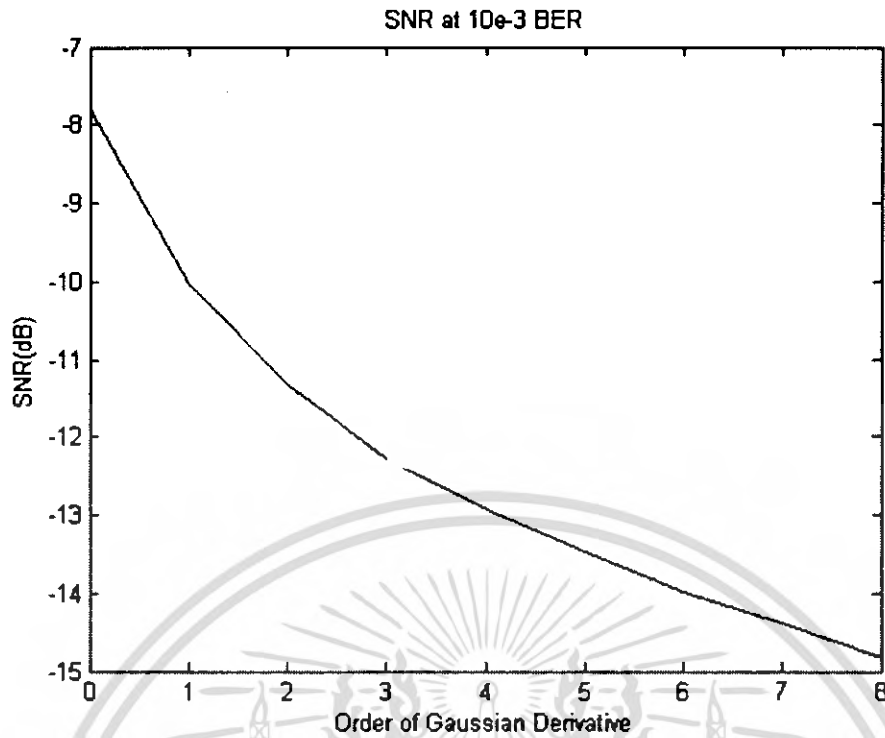
ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ของระบบการสื่อสาร UWB ที่มีเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์ โดยใช้สัญญาณส่ง UWB เป็นสัญญาณแบบต่าง ๆ ดังที่กล่าวไว้ในบทก่อน ๆ นี้แล้ว โดยใช้ช่องสัญญาณอวกาศว่าง ในช่วงความถี่ที่กว้างสำหรับการสื่อสาร UWB ทางด้านรับใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์ที่มีฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่เป็นไปตามเงื่อนไขกำลังสัญญาณรบกวนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตมีค่าคงที่ หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ในแต่ละกรณี ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 6.1 สรุปผลของประสิทธิภาพ BER

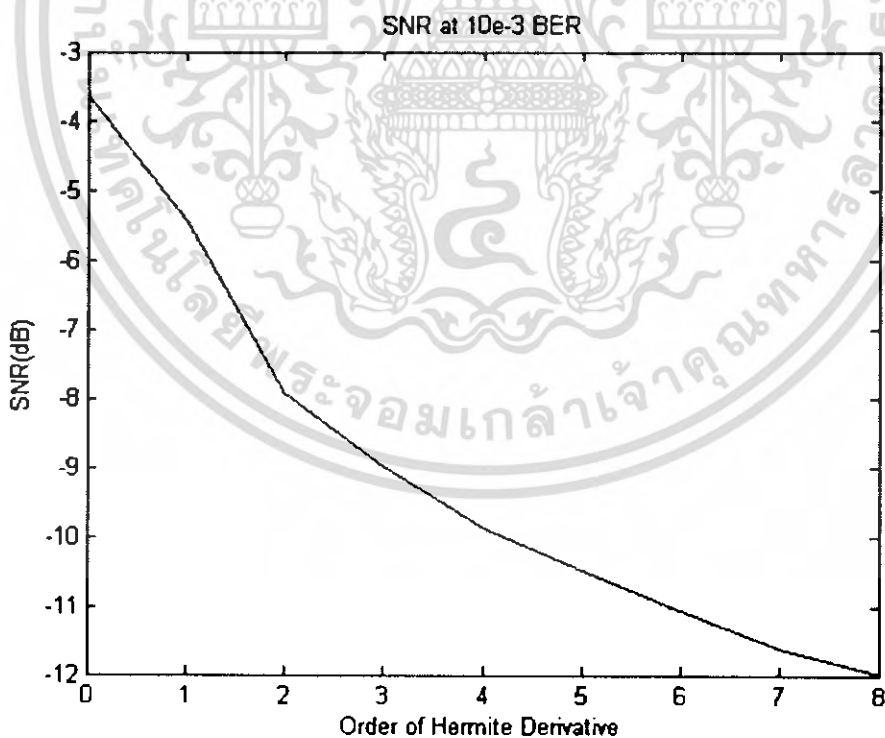


รูปที่ 6.1 แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

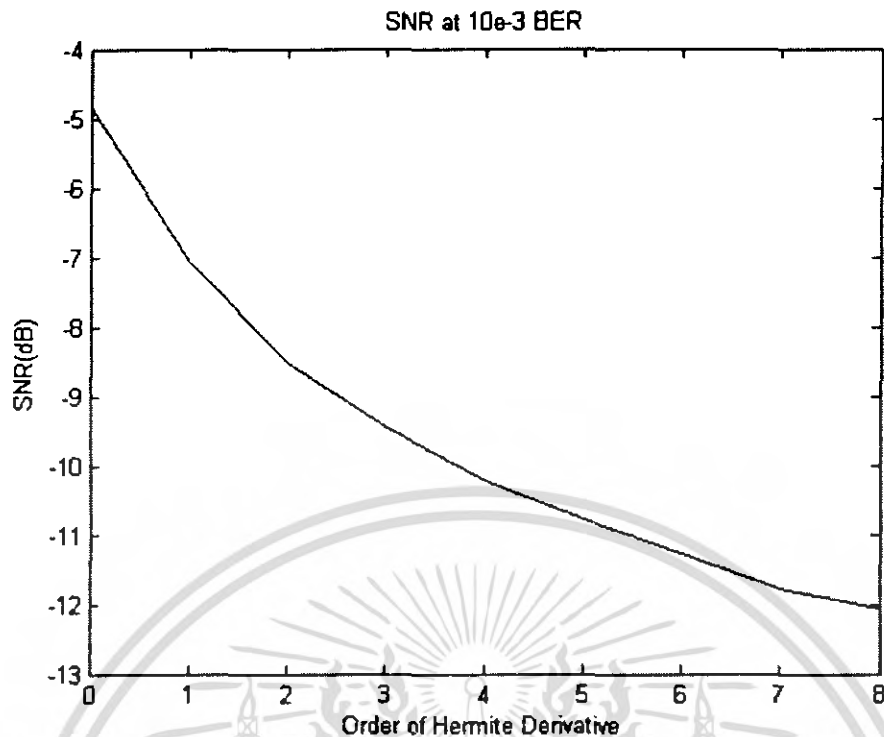


**รูปที่ 6.2** แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเกาส์ และใช้สัญญาณที่ส่งมาเป็นสัญญาณแม่แบบ



**รูปที่ 6.3** แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 6.4** แสดงค่า SNR ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นสัญญาณอนุพันธ์ลำดับต่าง ๆ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์ และใช้สัญญาณที่ส่งมาเป็นสัญญาณแม่แบบ

จากรูปที่ 6.1 -6.4 นั้น ได้แสดงค่า SNR ของ เครื่องรับทั้งแบบแมคซ์ฟิลเตอร์และแบบสหสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่าเครื่องรับแบบแมคซ์ฟิลเตอร์มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าสัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์และแบบเฮอริไมท์ในอนุพันธ์อันดับสูง ๆ จะมีค่า SNR ที่มากขึ้นตามไปด้วย จึงจะสังเกตได้จากในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า SNR ระหว่างเครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์และ  
เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่ง	SNR ของเครื่องรับแบบ แมตซ์ฟิลเตอร์	SNR ของเครื่องรับ แบบสหสัมพันธ์
สัญญาณรูปคลื่นแบบเกาส์	-6.6250	-6.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-7.8750	-7.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สอง ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-10.8750	-10.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สาม ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-11.9750	-11.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของ รูปคลื่นแบบเกาส์	-12.7750	-12.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่ห้า ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-13.4750	-13.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หก ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-14.0250	-13.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่เจ็ด ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-14.4750	-14.3750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่แปด ของรูปคลื่นแบบเกาส์	-14.9250	-14.8750
สัญญาณรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-3.6250	-3.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-5.4250	-4.1250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สอง ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-7.9250	-7.6250
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สาม ของรูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-8.9750	-8.8750
สัญญาณอนุพันธ์อันดับที่สี่ของ รูปคลื่นแบบเฮอริไมท์	-9.8750	-9.8750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาอนุพันธ์อันดับที่ห้า ของรูปคลื่นแบบเฮอร์ไมท์	-10.4750	-10.3750
สัญญาอนุพันธ์อันดับที่หก ของรูปคลื่นแบบเฮอร์ไมท์	-11.0750	-11.1250
สัญญาอนุพันธ์อันดับที่เจ็ด ของรูปคลื่นแบบเฮอร์ไมท์	-11.6250	-11.6250
สัญญาอนุพันธ์อันดับที่แปด ของรูปคลื่นแบบเฮอร์ไมท์	-11.9750	-11.8750

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองส่งสัญญาผ่านช่องสัญญาในอวกาศว่างเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการวิจัยต่อไปจึงควรมีโมเดลของช่องสัญญาที่หลากหลาย ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้สามารถนำผลการวิจัยมาวิเคราะห์และออกแบบระบบการสื่อสาร UWB ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Kentaro Taniguchi, Ryuji Kohno Yokohama National University  
**“ Design and analysis of Template Waveform for Receiving UWB Signals”**
- [2] M.Ghavami L.B.Michael R.Kohno **“ Ultra Wideband signals and systems in communication engineering”** England : John Wiley & Sons, Ltd. 2004
- [3] Pichaya Supanakoon, Kritsana Wansing, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada **“Simple Waveform for UWB Communication”**
- [4] Robert Aiello and Anuj Batra **“ Ultra Wideband Systems Technologies and Application “** USA : Newnes. 2006
- [5] Kazimierz Siwiak and Debra Mckeown **“ Ultra Wideband radio technology”** England : John Wiley & Sons, Ltd 2004
- [6] Lan Oppermann, Matti Hamalainen and Jari Linatti **“ UWB Theory and Applications”** England : John Wiley & Sons, Ltd 2004
- [7] X.Shen,M.Guizani, R.C. Qiu, T.Le-Ngoc **“ Ultra wideband wireless communications and networks”** England : John Wiley & Sons, Ltd 2006
- [8] Kultharee Teplee, Pichaya Supanakoon, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada **“BER Performance of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers”**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้