

การออกแบบสัญญาณพัลส์โคไซน์ยกกำลังโดยใช้โพลีโนเมียล
แบบเบร์นสไตน์สำหรับระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง
DESIGN OF A COSINE^M PULSE GENERATOR USING
BERNSTEIN POLYNOMIALS FOR UWB SYSTEMS

พลากร แสนอุ่นเรือน
PHALAKORN SEANUNRUAN
สิปปกร แซ่เอี้ยว
SIPPAKORN SAEIAO
สิริวรรณ กานต์วิศิษฐ์
SIRIWAN KANWISIT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การออกแบบสัญญาณพัลส์โคไซน์ยกกำลังโดยใช้โพลีโนเมียล
แบบเบิร์นสไตน์สำหรับระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง
DESIGN OF A COSINE^M PULSE GENERATOR USING
BERNSTEIN POLYNOMIALS FOR UWB SYSTEMS

พลากร แสนอ่อนเรือน
PHALAKORN SEANUNRUAN

สิปปกร แซ่เอี้ยว
SIPPAKORN SAEIAO

สิริวรรณ กานต์วิศิษฐ์
SIRIWAN KANWISIT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

DESIGN OF A COSINE^M PULSE GENERATOR USING BERNSTEIN POLYNOMIALS FOR UWB SYSTEMS

PHALAKORN SEANUNRUAN

SIPPAKORN SAEIAO

SIRIWAN KANWISIT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การออกแบบสัญญาณพัลส์โคไซน์ยกกำลังโดยใช้โพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์
สำหรับระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง

รายชื่อนักศึกษา

นายพลากร แสนอ่อนเรือน รหัสนักศึกษา 53011075

นายสิปปกร แซ่เอี้ยว รหัสนักศึกษา 53011695

นางสาวสิริวรรณ กานต์วิศิษฐ์ รหัสนักศึกษา 53011708

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ.

2556

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร.วันวิสา ชัชวงษ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

(ดร.วันวิสา ชัชวงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบสัญญาณพัลส์โคไซน์ยกกำลังโดยใช้โพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์สำหรับระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง	
รายชื่อนักศึกษา	นายพลากร แสนอ่อนเรือน	รหัสนักศึกษา 53011075
	นายสิปปกร แซ่เอี้ยว	รหัสนักศึกษา 53011695
	นางสาวสิริวรรณ กานต์วิศิษฐ์	รหัสนักศึกษา 53011708
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
พ.ศ.	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.วันวิสา ชัชวงษ์	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการสร้างพัลส์รูปแบบใหม่โดยอาศัยฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง พัลส์ที่เสนอในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีพื้นฐานอยู่บนความคล้ายกันของฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง และฟังก์ชันของเกาส์เซียน ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันโคไซน์ให้มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับฟังก์ชันเกาส์เซียนทำโดยอาศัยวิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณที่นำมาเสนอในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ถูกสร้างใหม่โดยอาศัยการประมาณค่าด้วยพหุนามแบบเบียร์นสไตน์อันดับต่างๆเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์คุณลักษณะของพัลส์ การแสดงออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณและผลของการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณโดยอาศัยคอมพิวเตอร์

Thesis Title	Design of a Cosine ^m Pulse Generator using Bernstein Polynomials for UWB systems	
Student	Mr.Phalakorn Seanunruan	Student ID. 53011075
	Mr.Sippakorn Saeaiw	Student ID. 53011695
	Miss Siriwan Kanwisit	Student ID. 53011708
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Information Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Dr.Vanvisa Chutchavong	

ABSTRACT

A novel pulse shaping method based on power of cosine function is presented. The pulse shape purpose derived from similarity between Gaussian and power of cosine. Reconstruction of spectrum using Bernstein Polynomial takes place in order derived transfer function. Parameter adjustment to fit pulses together and to exploit bandwidth under regulation of FCC uses Minimal Mean Square Errors method. Behaviors of the pulse, pulse analysis and simulation results are also outlined and described.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องจากการได้รับความช่วยเหลือจากหลายบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งต้องขอขอบพระคุณ ดร.วันวิสา ชัชวงษ์ และ รศ.ดร.กนก เจนจิระพงษ์เวช เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา, แนะนำแนวทาง, ช่วยเหลือและให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน ขอขอบคุณ รศ.ดร.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ที่คอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการสื่อสารไร้สาย ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกๆท่าน ที่ได้สอนในวิชาความรู้ต่างๆทำให้สามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนมาใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จนสำเร็จ ขอขอบพระคุณผู้จัดทำตำราและเอกสารอ้างอิงต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยให้กำลังใจช่วยเหลือเอื้อเฟื้อและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ กันมาโดยตลอด ขอขอบคุณร้านอาหารซอยเก็กงามและเซเว่นอีเลฟเว่นที่มีอาหารและขนมให้ข้าพเจ้าได้รับประทานเพื่อเป็นพลังงานแก่ร่างกายให้มีแรงในการทำงาน ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำปริญญาานิพนธ์

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่เคารพรักเป็นอย่างยิ่ง ที่ท่านได้เลี้ยงดู สนับสนุน ให้ออกาสในการศึกษาและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงครอบครัวที่คอยให้ความอบอุ่นและเป็ให้กำลังใจอันเป็นสำคัญยิ่งแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณและขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่บิดาและมารดา

นายพลากร แสนอ่อนเรือน

นายสิปปกร แซ่เอี้ยว

นางสาวสิริวรรณ กานต์วิศิษฐ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 จุดประสงค์	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ประวัติความเป็นมา	3
2.3 หลักการพื้นฐาน	4
2.4 ข้อบังคับในการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี UWB	5
2.4.1 ข้อกำหนดในประเทศสหรัฐอเมริกา	6
2.4.2 ข้อกำหนดในสหภาพยุโรป	6
2.5 การประยุกต์ใช้งาน	7
2.6 ฟังก์ชันเกาส์เซียนและสมการความหนาแน่นสเปกตรัม	8
2.6.1 ฟังก์ชันเกาส์เซียน	8
2.6.2 พัลส์วงรอบเดี่ยวแบบเกาส์เซียน	10
2.6.3 พัลส์สี่เหลี่ยมแบบดับเลต	11
2.6.4 พัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต	11
2.7 คุณสมบัติต่างๆของพัลส์	12
2.7.1 ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่น	12
2.7.2 แอมพลิจูดของรูปคลื่น	13
2.7.3 แบนด์วิดท์ของรูปคลื่น	13
2.7.4 กำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การวิเคราะห์พัลส์.....	13
2.8.1 ประสิทธิภาพของสเปกตรัม.....	14
2.8.2 การปล่อยพลังงานของพัลส์เกินขีดจำกัด.....	14
2.8.3 ผลคูณระหว่างเวลาและแบนด์วิดท์.....	14
2.9 บทสรุป.....	15
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	16
3.1 บทนำ.....	16
3.2 ฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง.....	16
3.3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของฟังก์ชัน.....	17
3.3.1 การทดลองเปรียบเทียบฟังก์ชัน.....	17
3.3.2 การถ่ายทอดคุณลักษณะของโคไซน์และเกาส์เซียนฟังก์ชัน.....	19
3.3.3 การทดสอบโดยการหาอนุพันธ์ของพัลส์.....	20
3.4 สมการพัลส์โคไซน์ยกกำลัง.....	21
3.5 เบิร์นส์ไตน์โพลีโนเมียล.....	22
3.6 การตรวจสอบว่าอยู่ในเงื่อนไข UWB.....	24
3.7 การปรับค่าและค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์.....	25
3.7.1 รูปคลื่นวงรอบเดี่ยวแบบเกาส์.....	25
3.7.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมดับเบิล.....	25
3.7.3 รูปคลื่นเกาส์ดับเบิล.....	25
3.8 บทสรุป.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 ผลการทดลองที่ 1.....	26
4.1.1 ผลการทดลองเมื่อ $m=6$	26
4.1.2 ผลการทดลองเมื่อ $m=8$	27
4.1.3 ผลการทดลองเมื่อ $m=9$	28
4.1.4 ผลการทดลองเมื่อ $m=10$	29
4.1.5 ผลการทดลองเมื่อ $m=11$	30
4.1.6 ผลการทดลองเมื่อ $m=12$	31
4.1.7 ผลการทดลองเมื่อ $m=6$ 8 9 10 11 และ 12	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดลองที่ 2	32
4.2.1 ผลการหาอนุพันธ์อันดับที่ 1	33
4.2.2 ผลการหาอนุพันธ์อันดับที่ 2	34
4.2.3 ผลการหาอนุพันธ์อันดับที่ 3	35
4.2.4 ผลการหาอนุพันธ์อันดับที่ 4	36
4.2.5 ผลการหาอนุพันธ์อันดับที่ 5	37
4.3 ผลการตอบสนองทางขนาด	38
4.3.1 ดีกรีของพหุนาม $m=2$	38
4.3.2 ดีกรีของพหุนาม $m=3$	38
4.3.3 ดีกรีของพหุนาม $m=13$	39
4.4 สเปกตรัมของพัลส์แบบโคไซน์ยกกำลังที่อันดับต่างๆภายใต้ FCC Mask	40
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและหนทางการแก้ปัญหา	41
5.3 แนวทางในการพัฒนาในอนาคต	42
5.3.1 การสร้างวงจรกรองความถี่โดยไมโครสตริป	42
5.3.2 การสร้างวงจรโดย CMOS	42
5.4 บทส่งท้าย	42
บรรณานุกรม	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่าง UWB และความถี่อื่น	2
2.1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบอัตราข้อมูลต่อบิตและระยะระหว่าง UWB และความถี่อื่นๆ	5
2.2 ภาพแสดงข้อจำกัดสเปกตรัมของ UWB ภายในอาคารระหว่าง FCC และ ETSI.....	7
2.3 ภาพแสดงข้อจำกัดสเปกตรัมของ UWB ภายนอกอาคารระหว่าง FCC และ ETSI	7
2.4 ภาพแสดงฟังก์ชันเกาส์เซียน	9
2.5 ภาพแสดงฟังก์ชันเกาส์เซียนที่ σ ค่าต่างๆ	9
2.6 พัลส์วงรอบเดี่ยวแบบเกาส์เซียน	10
2.7 พัลส์แบบสี่เหลี่ยมดับเลต	11
2.8 พัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต	12
3.1 รูปแสดงวงกลมหนึ่งหน่วย.....	16
3.2 รูปแสดงฟังก์ชันโคไซน์ซึ่งเป็นฟังก์ชันคู่.....	16
3.3 แสดงตำแหน่งของ $t_{0.5}$ ที่มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของขนาดแอมพลิจูดสูงสุด.....	19
3.4 แสดงการแปลงช่วงจาก $y \rightarrow \Omega$	23
3.5 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอน เมื่อ $n=3$	24
4.1 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=6$	26
4.2 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=8$	27
4.3 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=9$	28
4.4 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=10$	29
4.5 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=11$	30
4.6 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=12$	31
4.7 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m=6$ 8 9 10 11 และ 12	32
4.8 กราฟแสดงอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ใน FCC Mask.....	33
4.9 กราฟแสดงอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์.....	33
4.10 กราฟแสดงอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ใน FCC Mask.....	34
4.11 กราฟแสดงอนุพันธ์ลำดับที่ 2 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์.....	34
4.12 กราฟแสดงอนุพันธ์อันดับที่ 3 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ใน FCC Mask.....	35
4.13 กราฟแสดงอนุพันธ์ลำดับที่ 3 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์.....	35
4.14 กราฟแสดงอนุพันธ์อันดับที่ 4 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ใน FCC Mask.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 กราฟแสดงอนุพันธ์ลำดับที่ 4 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์.....	36
4.16 กราฟแสดงอนุพันธ์อันดับที่ 5 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ใน FCC Mask.....	37
4.17 กราฟแสดงอนุพันธ์ลำดับที่ 5 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์.....	37
4.18 กราฟแสดงผลตอบสนองทางขนาด เมื่อ $m=2$	38
4.19 กราฟแสดงผลตอบสนองทางขนาด เมื่อ $m=3$	39
4.20 กราฟแสดงผลตอบสนองทางขนาด เมื่อ $m=13$	39
4.21 สเปกตรัมของพัลส์แบบโคไซน์ยกกำลังที่อันดับต่างๆภายใต้ FCC Mask.....	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

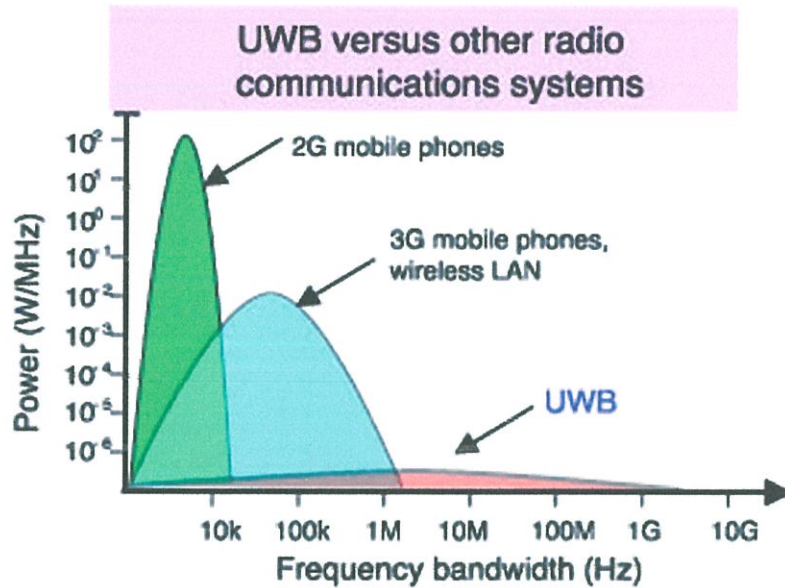
คลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง (Ultra-Wideband) เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังได้รับการพัฒนาในการสร้างระบบสื่อสารในปัจจุบัน คลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่งเหมาะสำหรับการสื่อสารในระยะใกล้ มีข้อได้เปรียบในเรื่องของกำลังงานที่ใช้ในการรับและส่งสัญญาณคลื่นแถบความถี่ยวดยิ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบเซนเซอร์ทางการแพทย์ ระบบเรดาร์ และยังใช้ในการระบุตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูง ฯลฯ โดยทั่วไปเทคโนโลยีการสื่อสารใดที่ใช้แบนด์วิดท์มากกว่า 500 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งอยู่ในช่วง 3.1 กิกะเฮิรตซ์ จนถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ จะนิยามให้เป็น คลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง ปัจจัยที่ทำให้คลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่งได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพเชิงกำลังงานสูงและมีความทนทานต่อการจางหายแบบมัลติพาท (Multi-path Fading) เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณแถบแคบ (Narrow) แบบเดิม

หลักการสำคัญในการส่งสัญญาณในระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง ซึ่งแตกต่างจากระบบสัญญาณแถบแคบอย่างเห็นได้ชัดคือ การรับและส่งสัญญาณโดยไม่อาศัยคลื่นพาห์ (Carrier-free) และอาศัยพัลส์ที่มีช่วงเวลาสั้นๆ (พิโควินาที (ps) ถึง นาโนวินาที (ns)) มาใช้ในกระบวนการส่งสัญญาณ โดยปกติลักษณะของพัลส์ที่ได้รับความนิยมมาใช้ในการส่งสัญญาณในระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่งจะเป็นแบบเกาส์เซียนพัลส์ (Gaussian Pulse) ซึ่งมีลักษณะของพัลส์คล้ายรูประฆังคว่ำ (Bell Curve) มีความสมมาตรตามแนวแกนที่จุดสูงสุดของความโค้ง (Peak) และจะลู่ลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็ว

ในทางเทคนิคระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่งสามารถสร้างพัลส์ชนิดใดก็ได้มาใช้ในการรับและส่งสัญญาณ โดยมีเงื่อนไขสำคัญคือพัลส์ลักษณะดังกล่าวจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของ EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) ที่กำหนดโดย FCC กล่าวคือ พัลส์ดังกล่าวต้องมีสเปกตรัมความถี่อยู่ในย่านที่อนุญาตให้ใช้สำหรับคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง ดังรูปที่ 1.1

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอวิธีการสร้างพัลส์ชนิดใหม่ที่มีลักษณะคล้ายเกาส์เซียนพัลส์ (Gaussian Pulse-like) สำหรับใช้เป็นพัลส์ในการรับและส่งสัญญาณในระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง กล่าวคือ สร้างโคไซน์กำลังที่ m พัลส์ (Cosine m Pulse) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเกาส์เซียนพัลส์ และยังมีสเปกตรัมความถี่อยู่ในย่านที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นพัลส์ในการรับและส่งสัญญาณในระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง โดยวิธีการออกแบบจะอาศัยวิธีการประมาณค่าโคไซน์กำลังที่ m โดยใช้โพลิโนเมียลแบบเบิร์นสไตน์ (Bernstein Polynomials)



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่าง UWB และแถบความถี่อื่นๆ

1.3 จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง
2. เพื่อศึกษาการออกแบบวิธีสร้างสัญญาณโดยใช้โพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์
3. เพื่อศึกษาการใช้งาน Matlab ในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ในการศึกษาออกแบบและสร้างโคไซน์กำลังที่ m พัลส์สำหรับความถี่แถบกว้างยวดยิ่งในปริภูมิพหุนามฉบับนี้ มุ่งเน้นการแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความเป็นไปได้ในการพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้ โดยในขั้นต้นจะมุ่งพิสูจน์ให้ทราบว่า โคไซน์กำลังที่ m สามารถใช้แทนเกาส์เซียนพัลส์แบบเดิมได้ จากนั้นจึงใช้โพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์ช่วยในการประมาณค่าโคไซน์กำลังที่ m และนำไปออกแบบวงจรที่ใช้ในการสร้างโคไซน์กำลังที่ m พัลส์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของโพลีโนเมียลแบบเบียร์นสไตน์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้
2. มีความรู้ความเข้าใจในการสร้างสัญญาณสำหรับระบบแถบความถี่กว้างยวดยิ่งโดยใช้โคไซน์กำลังที่ m ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง
3. สามารถออกแบบและจำลองการสร้างสัญญาณสำหรับระบบแถบความถี่กว้างยวดยิ่งได้โดยใช้ Matlab

บทที่ 2

ระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง

2.1 บทนำ

คลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง (Ultra-Wideband: UWB) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่กำลังได้รับความสนใจทั้งจากวงการการศึกษาและจากภาคอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน เนื่องจากความสามารถต่างๆที่สามารถปรับปรุงระบบการสื่อสารเดิม เช่น การเพิ่มอัตราการรับและส่งข้อมูลที่สูงขึ้น การเพิ่มความทนทานต่อการรบกวนจากการเคลื่อนที่หลายทาง และยังเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพเชิงกำลังงานที่สูงขึ้น ฯลฯ อย่างไรก็ตามเนื่องจากขอบเขตที่จำกัดของกำลังงานในการส่งที่จะทำให้ระบบเคลื่อนที่แถบกว้างยวดยิ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานในระบบคลื่นความถี่แถบกว้างยวดยิ่งถูกจำกัดระยะเวลาการสื่อสารระหว่างภาครับและส่งให้อยู่ในขอบเขตที่จำกัด

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศ และชีวิตความเป็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น การติดต่อสื่อสารในภาคธุรกิจ การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล การติดต่อสื่อสารแบบระยะสั้นๆ ตัวอย่างเช่น ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless LAN: WLAN) เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเหล่านี้มุ่งหวังอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงๆ ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นเรื่องอัตราการรับและส่งข้อมูลเป็นสำคัญ

หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมคือ การขยายขนาดของแบนด์วิดท์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และกลายมาเป็นประเด็นการพัฒนาไปสู่เทคโนโลยี 3G, 4G, WiMedia และ WiMAX ที่ล้วนแต่มีอัตราบิตที่มีความสูงชันเนื่องมาจากการขยายขนาดของแบนด์วิดท์แทบทั้งสิ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนั้นยังเทคโนโลยีที่มีแนวคิดเกี่ยวกับการขยายขนาดแบนด์วิดท์ที่โดดเด่นและได้รับความสนใจอีกเทคโนโลยีหนึ่งนั่นก็คือ เทคโนโลยีคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง (Ultra-Wideband : UWB) เพราะมีแถบกว้างมากมีแบนด์วิดท์กว้างถึง 7.5 GHz ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และใช้กำลังงานต่ำจึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพเชิงกำลังงานสูงมาก ในปัจจุบันระบบ UWB ได้นำมาใช้เป็นวิธีการสำคัญบนมาตรฐาน IEEE802.15.3a หรือ WPAN ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.2 ประวัติความเป็นมา

เทคโนโลยีแถบกว้างยวดยิ่ง มีประวัติความเป็นมาที่ยาวนานตั้งแต่สมัยที่ Marconi ได้สาธิตการทดลอง โดยใช้ Spark gap ในการรับ-ส่งสัญญาณส่งสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ (Impulse radio) ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก ในปี ค.ศ.1901 ต่อมาในปี ค.ศ.1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุในย่านคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่งโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในโครงข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณของช่องสัญญาณได้

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นได้ใช้เครื่อง ออสซิลโลสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาโครงข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัดสัญญาณ

เทคนิคในการวัดสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับคลื่นแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีต่อมาเครื่องออสซิลโลสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ.1973 ต่อมาในปี ค.ศ.1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้ เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่งอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989

ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของ UWB ได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ.1989 ได้มีการจดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณ UWB และวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์การป้องกันการชนกันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี UWB ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ.1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด และในปี ค.ศ. 2002 ได้มีการประกาศใช้ข้อกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่ง และได้จัดการประชุมวิชาการระดับนานาชาติครั้งแรก

2.3 หลักการพื้นฐาน

เทคโนโลยีคลื่นแถบกว้างยวดยิ่งเหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาระบบไร้สายในปัจจุบันที่ความต้องการในการบริโภคข้อมูลข่าวสารของผู้คนเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างยิ่งเพราะนอกจากจะขยายขนาดความจุของช่องสัญญาณแล้ว ระบบ UWB ยังสามารถแก้ปัญหาต่างๆที่เคยเป็นปัญหาสำคัญในระบบการสื่อสารไร้สายแบบเดิมได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ UWB เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการกำลังงานต่ำส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการส่งสัญญาณต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบคลื่นแถบความถี่แคบที่ใช้กันอยู่ อีกประการหนึ่งคือ สัญญาณของ UWB จะมีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะเห็นว่ามีสัดส่วนมากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยสัดส่วนแบนด์วิดท์ของสัญญาณ B_f สามารถกำหนดได้ดังนี้

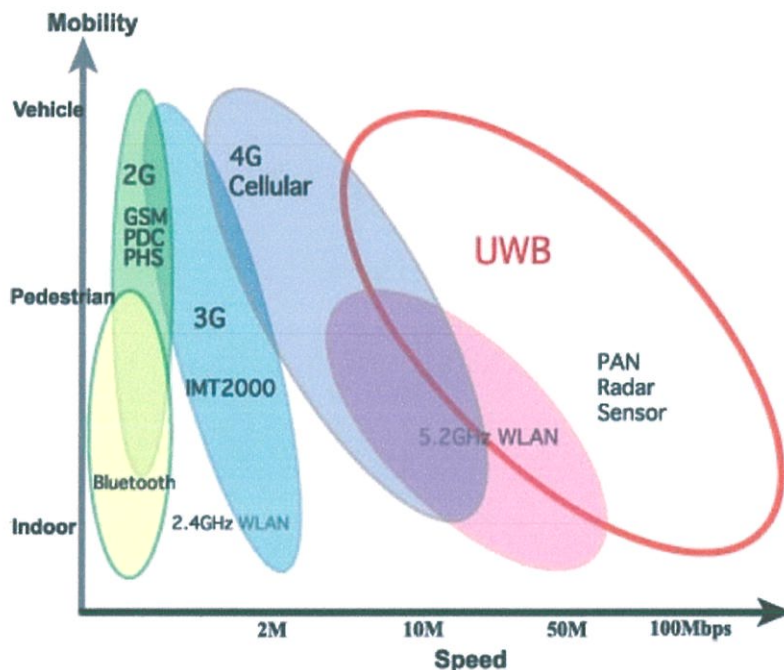
$$B_f = \frac{BW}{f_c} = 2 \left(\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \right) \quad (2.1)$$

โดยที่ f_H คือความถี่สูงสุดและ f_L คือความถี่ต่ำสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบ UWB จากคุณสมบัติต่างๆ ของ UWB ที่ได้กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ใน

งานของโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Networks: WPANs), การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆในการรับส่งข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียขนาดใหญ่ที่ต้องการความเร็วสูงในการรับส่ง เช่น การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ กล้องวิดีโอ กล้องถ่ายรูป เป็นต้น สำหรับระยะในการสื่อสารโดยใช้ UWB กำหนดที่ระยะทาง 10 เมตร ด้วยอัตราความเร็ว 110 Mb/s และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง โดยที่ตำแหน่ง 2 เมตรจะมีความเร็วสูงถึง 480 Mb/s นอกจากนี้ที่กล่าวไปแล้ว ยังมีสมการที่สำคัญอีกสมการหนึ่งก็คือ ความจุของช่องสัญญาณของแชนนอนและฮาร์ทลีย์ (Shannon-Hartley Theorem) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1.1 ซึ่งนิยามโดย

$$C_c = BW \log_2(1 + SNR) \quad (2.2)$$

เมื่อ C_c คือค่าความจุของสัญญาณสูงสุด, BW คือแบนด์วิดท์, SNR คืออัตราส่วนสัญญาณกำลังงานต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบอัตราข้อมูลต่อบิตและระยะระหว่าง UWB และความเร็วอื่นๆ

2.4 ข้อบังคับในการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี UWB

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสาร UWB คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการยกเลิก การจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า Ultra Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC (Federal Communication Commission) เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบ

แถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union: ITU)

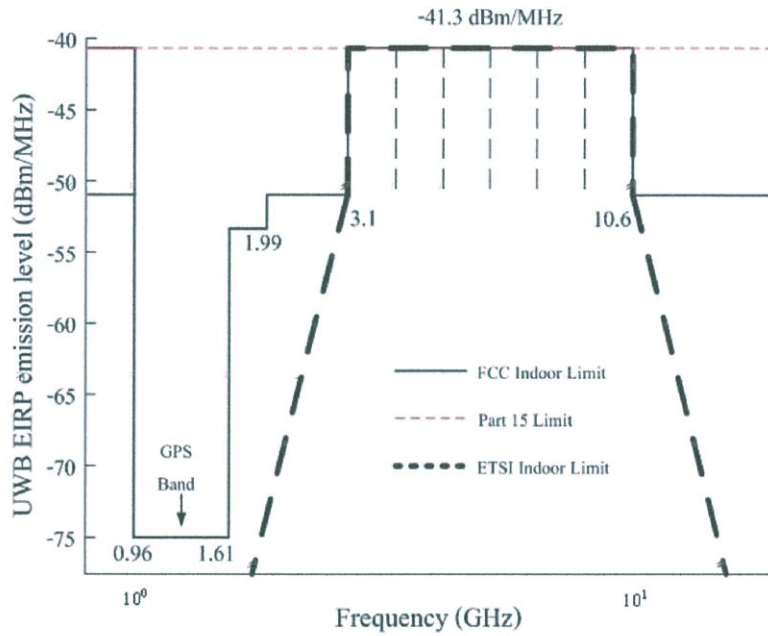
2.4.1 ข้อกำหนดในประเทศสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้าน การนำระบบ UWB มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ Federal aviation administration (FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

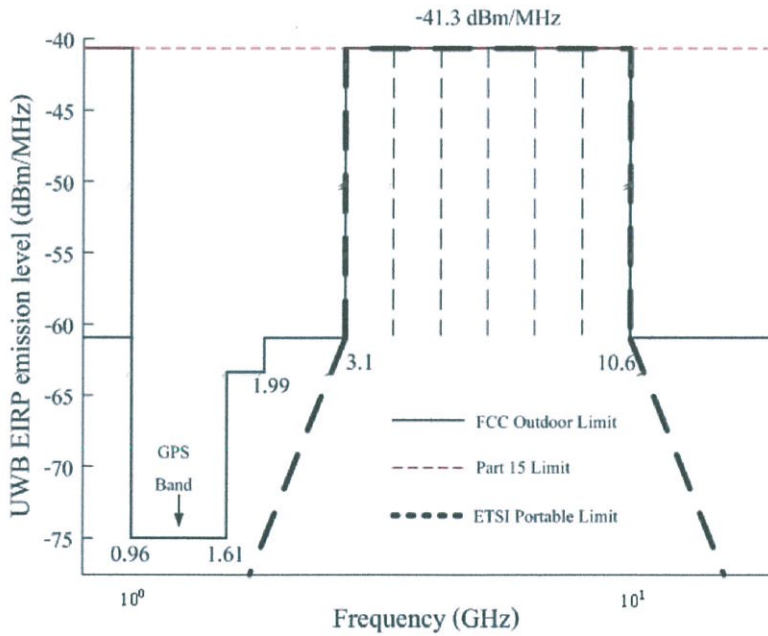
ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ทาง FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบ UWB ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบ UWB และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชน เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้น ส่วนข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 และ 2.4 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ

2.4.2 ข้อกำหนดในสหภาพยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงข้อจำกัดสเปกตรัมของ UWB ภายในอาคารระหว่าง FCC และ ETSI



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงข้อจำกัดสเปกตรัมของ UWB ภายนอกอาคารระหว่าง FCC และ ETSI

2.5 การประยุกต์ใช้งาน

เทคโนโลยี UWB ถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ที่อยู่ในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัยที่มีความต้องการความเร็วสูง ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) โดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ใน

บริเวณใกล้เคียง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยี UWB นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบยกตัวอย่างเช่น

- การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน (Offices network)
- การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย (Home network)
- การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ (Body area network)
- การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง (UWB localization)
- การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายทางการแพทย์ (Wireless medical network)

2.6 ฟังก์ชันเกาส์เซียนและสมการความหนาแน่นสเปกตรัม

ในระบบ UWB การสื่อสารเกิดขึ้นโดยอาศัยการส่งข้อมูลเบสแบนด์ (Base band) ออกไปในรูปแบบของพัลส์ ฟังก์ชันที่ใช้ได้รับความนิยมในการนำมาออกแบบพัลส์เป็นอย่างยิ่งคือ เกาส์เซียน ฟังก์ชัน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเกาส์เซียนฟังก์ชันโดยละเอียด พร้อมทั้งรูปแบบพัลส์อื่นที่ได้มาจากเกาส์เซียน

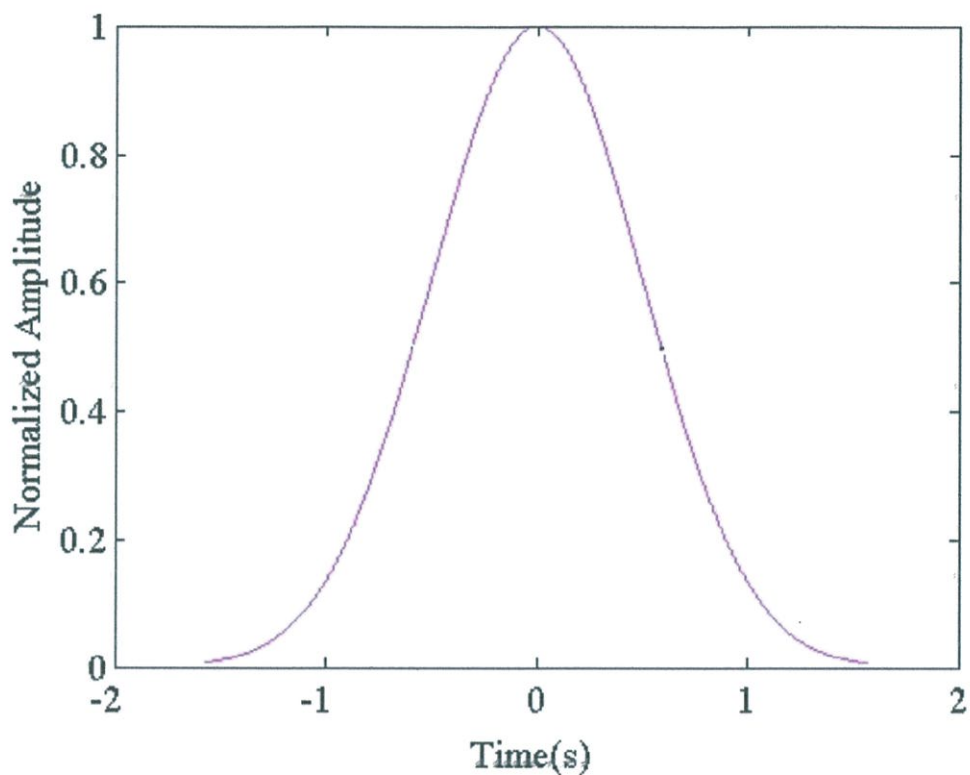
2.6.1 ฟังก์ชันเกาส์เซียน

เราควรทำความเข้าใจรายละเอียดของเกาส์เซียนฟังก์ชัน เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจถึงพัลส์แบบเกาส์เซียนและสามารถออกแบบพัลส์รูปแบบใหม่มาใช้แทนพัลส์แบบเกาส์เซียน

เกาส์เซียนฟังก์ชันกำหนดโดยสมการที่ (2.3)

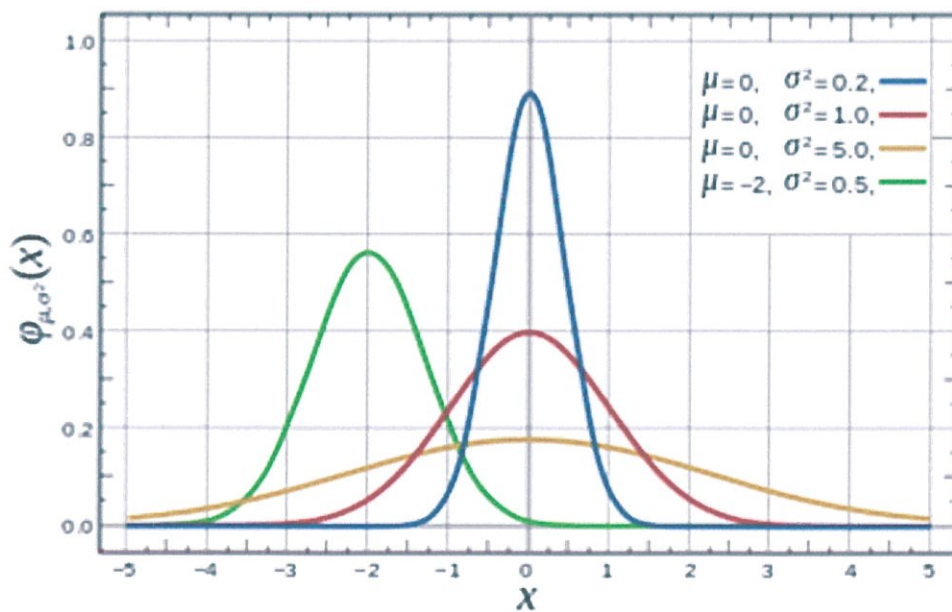
$$g(t) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

และมีผลตอบสนองทางเวลาเป็นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงฟังก์ชันแกาส์เซียน

ค่าของ σ คือค่าของ การสเกลทางเวลา จะเห็นว่า เมื่อ เปลี่ยนค่าของ σ เป็นค่าต่างๆ จะ ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงฟังก์ชันแกาส์เซียนที่ σ ค่าต่างๆ

นอกจากนั้นยังสามารถแสดงเกาส์เซียนฟังก์ชันได้ในโดเมนความถี่ได้ดังสมการที่ (2.4)

$$G(f) = A(j2\pi f)e^{-\frac{(2\pi f\sigma)^2}{2}} \quad (2.4)$$

2.6.2 พัลส์วงรอบเดียวแบบเกาส์เซียน

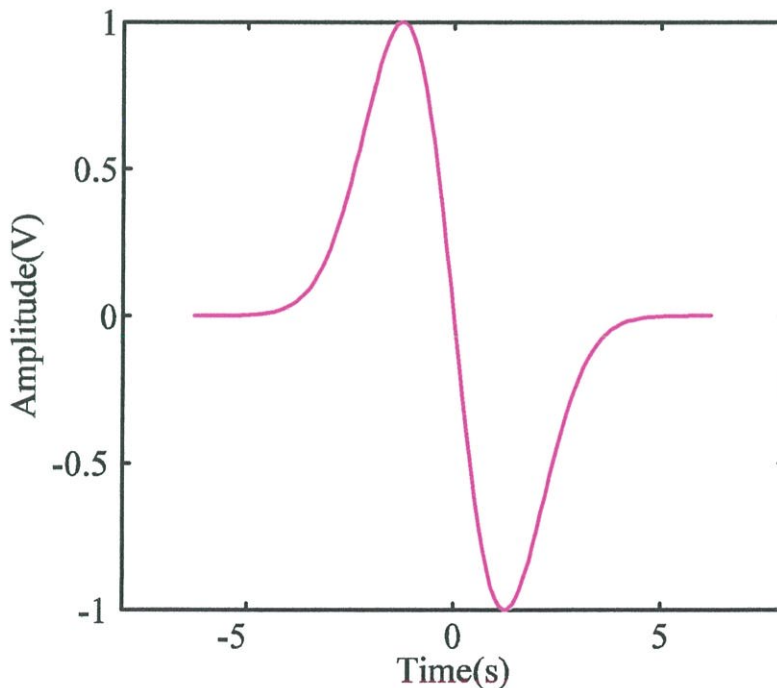
นอกจากนั้นยังมีรูปคลื่นอื่นที่มีพัฒนามาจากพัลส์แบบเกาส์เซียนอีก นั่นก็คือ คลื่นวงรอบเดียวแบบเกาส์เซียน ซึ่งได้มากจากการนำเอา เกาส์เซียนฟังก์ชันไปหาอนุพันธ์ จะได้สมการโดเมนเวลาของพัลส์แบบวงรอบเดียวแบบเกาส์เซียน แสดงได้โดยสมการ (2.5)

$$f(t) = Ae^{-\left(\frac{t}{d}\right)^2} \quad (2.5)$$

โดยอาศัยการแปลงฟูเรียร์ จะได้สมการความหนาแน่นสเปกตรัมของเกาส์ ดังสมการ (2.6)

$$F(t) = Ad\sqrt{\pi}e^{-\pi^2 d^2 f^2} \quad (2.6)$$

และแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 พัลส์วงรอบเดียวแบบเกาส์เซียน

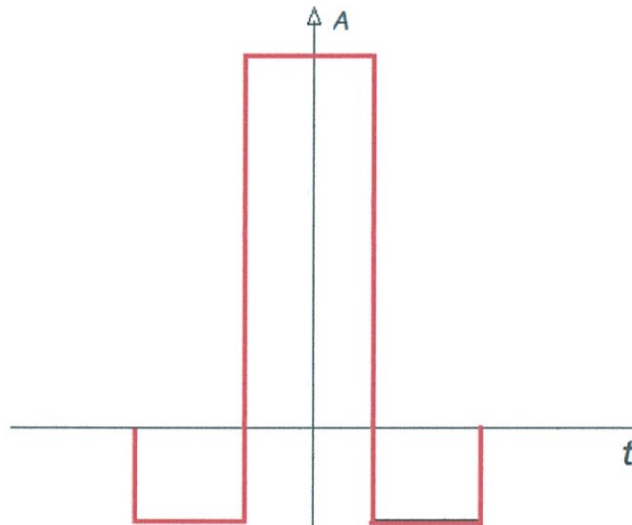
2.6.3 พัลส์แบบสี่เหลี่ยมดับเลต

นอกจากนี้ยังมีพัลส์แบบสี่เหลี่ยมดับเลตซึ่งนิยามโดย สมการโดเมนเวลาของรูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยม ดังสมการ (2.7)

$$f(t) = \begin{cases} A; & |t| \leq \frac{t_b}{2} \\ 0; & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \quad (2.7)$$

สมการความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ดังสมการ (2.8)

$$F(f) = At_b(t_b f) \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.7 พัลส์แบบสี่เหลี่ยมดับเลต

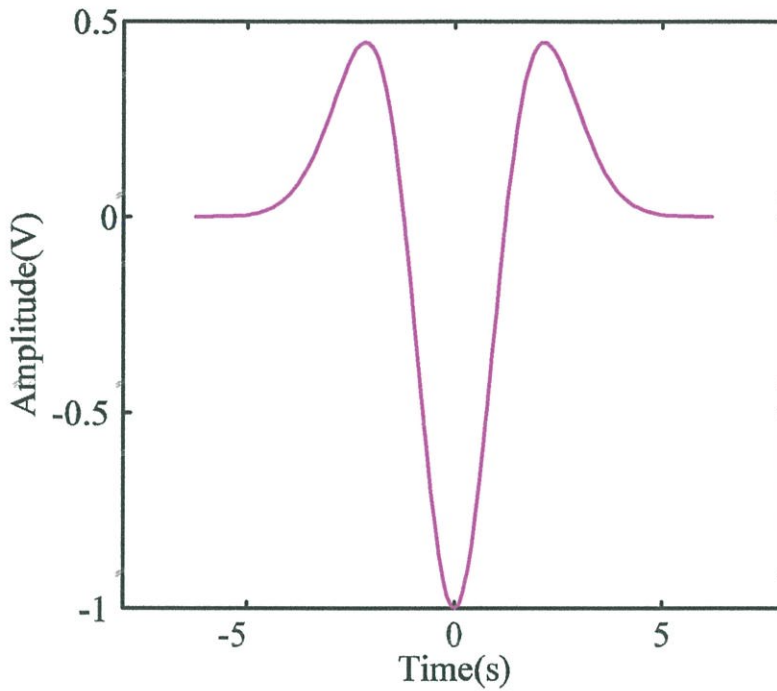
2.6.4 พัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต

พัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลตนิยามโดย สมการโดเมนเวลาของรูปคลื่นเกาส์ดับเลต ดังสมการ (2.9)

$$f(t) = Ae^{-\left(\frac{t}{d}\right)^2} \quad (2.9)$$

สมการความหนาแน่นของรูปคลื่นเกาส์ดับเลต ดังสมการ (2.10)

$$F(f) = Ad\sqrt{\pi}e^{-\pi^2 d^2 f^2} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.8 พัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต

2.7 คุณสมบัติต่างๆของพัลส์

ในการหาคุณสมบัติต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบพัลส์จะได้กล่าวถึงในหัวข้อนี้ ซึ่งประกอบด้วย การคำนวณหาความหนาแน่นสเปกตรัม การหาแอมพลิจูดของพัลส์ การหาแบนด์วิดท์ของพัลส์ และการหาค่าลิ่งเฉลี่ยของพัลส์

2.7.1 ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่น

ในการหาความหนาแน่นสเปกตรัม จะใช้สมการฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม

$$F(f) = -4Ad \pi^2 \sqrt{\pi} f^2 e^{-\pi^2 d^2 f^2} \quad (2.11)$$

โดยจะมีการนอแมลไลซ์ให้พารามิเตอร์แอมพลิจูดมีค่าไม่เกินตามมาตรฐานของ FCC ทั้งภายในอาคาร และภายนอกอาคาร และทำการเปลี่ยนหน่วยจาก W/Hz ให้อยู่ในหน่วย dBm/MHz โดยมีวิธีดังนี้

$$F(f)[db / Hz] = 20 \log(|F(f)| [W / Hz]) \quad (2.12)$$

$$F(f)[db / Hz] = 20 \log(|F(f)| [W / Hz]) + 30 \quad (2.13)$$

$$F(f)[db / Hz] = 20 \log(|F(f)| [W / Hz]) + 30 + 120 \quad (2.14)$$

2.7.2 แอมพลิจูดของรูปคลื่น

ในการหาแอมพลิจูดของรูปคลื่น จะทำการนำค่าของความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่น ไปลบกับหน้ากาสเปกตรัมที่ต้องการ (ภายในอาคาร หรือภายนอกอาคาร) และหาค่าที่มากที่สุดและเปลี่ยนหน่วยคืนโดยใช้สมการ

$$A = 10^{\frac{d_{\max}}{20}} \quad (2.15)$$

แล้วนำค่าไปนอแมโลซ์เพื่อให้ได้พารามิเตอร์แอมพลิจูดที่ไม่เกินกว่าหน้ากาสเปกตรัม จากนั้นสามารถ หาค่าแอมพลิจูดที่มากที่สุดได้จากค่าสัมบูรณ์มากที่สุดของโดเมนเวลา

2.7.3 แบนด์วิดท์ของรูปคลื่น

ในการหาแบนด์วิดท์ของรูปคลื่นนั้น ในขั้นตอนแรกจะทำการหาความถี่ที่ต่ำที่สุด แล้วความถี่สูงที่สุดจากค่าของความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นที่ลดระดับลงมา 10 dB จากนั้นทำการหาแบนด์วิดท์ (Bandwidth) และแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (Fractional Bandwidth)

$$Bandwidth = f_H - f_L \quad (2.16)$$

$$FractionalBandwidth = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.17)$$

2.7.4 กำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น

ในการหากำลังเฉลี่ยของรูปคลื่น สามารถพิจารณาได้จากช่วงความถี่ที่ FCC ได้กำหนด สำหรับการสื่อสาร UWB คือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz แล้วนำมาค่าจากสมการ

$$P_{av}[W] = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} |F(f)|^2 df \quad (2.18)$$

และทำการเปลี่ยนกำลังเฉลี่ยเป็นหน่วย dBm โดยใช้สมการ

$$P_{av}[dBm] = 10 \log P[W] + 30 \quad (2.19)$$

2.8 การวิเคราะห์พัลส์

พัลส์ถูกอ้างถึงในงานวิจัยเกี่ยวกับ UWB อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นสเปกตรัมที่ยังไม่มีประสิทธิภาพจนถึงประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่ได้อย่างแม่นยำ ในการเลือกพัลส์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับแค่เพียงเวลาและความถี่ตอบสนอง แต่ขึ้นอยู่กับการนำมาประยุกต์ใช้อีกด้วย ในการวิเคราะห์พัลส์เราอาศัย พัลส์เมทริกซ์ในการระบุคุณภาพของพัลส์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

พัลส์เมทริกซ์ ใช้อธิบาย การทำงานในแง่ของอัตราความผิดพลาดบิตนั้นวิเคราะห์จากช่วงของพัลส์และเทคนิค การมอดูเลต เราสามารถอธิบายประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณแบบเส้นได้จากอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้น ประสิทธิภาพของสเปกตรัม Out-of-band Emission และผลคูณระหว่างเวลาและแบนด์วิดท์ จะเป็นปัจจัยในการหาจำนวนพัลส์

2.8.1 ประสิทธิภาพของสเปกตรัม

พัลส์ต่างๆสามารถเป็นตัวบ่งชี้การใช้ประโยชน์ของแบนด์วิดท์ โดยการใช้ประสิทธิภาพสเปกตรัมของพัลส์ ประสิทธิภาพของระบบในแง่ของอัตราความผิดพลาดบิต ขึ้นอยู่กับพลังงานที่พัลส์ได้รับ และไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างที่แน่นอนของพัลส์ ดังนั้นจึงต้องจำกัดกำลังงานเฉลี่ย และจำกัดช่องสัญญาณที่ได้รับเพียง -10 dB เท่านั้น ประสิทธิภาพสเปกตรัมของพัลส์นั้นจะคำนวณได้จาก

$$\eta_{ch} = \frac{E_{ch}}{P_{EIRP} BW_{-10dB}} \quad (2.20)$$

เมื่อ E_{ch} คือ พลังงานของพัลส์ภายในช่องสัญญาณแบนด์วิดท์เท่ากับ -10 dB, P_{EIRP} คือ ค่าเฉลี่ยสูงสุดของความหนาแน่นของกำลังงาน (W/MHz) และ BW_{-10dB} คือ แบนด์วิดท์ที่ -10 dB (MHz)

2.8.2 การปล่อยพลังงานของพัลส์เกินขีดจำกัด

การปล่อยพลังงานของพัลส์เกินขีดจำกัด คือ อัตราส่วนของพลังงานที่มีค่าความหนาแน่นของกำลังงานเกิน -10 dB ซึ่งค่านี้ใช้สำหรับวิเคราะห์การแทรกสอดของช่อง สัญญาณ โดยสามารถคำนวณจาก

$$\eta_{out} = \frac{E_{tot} - E_{ch}}{E_{ch}} \quad (2.21)$$

ในกรณีที่ E_{ch} เป็นพลังงานพัลส์ทั้งหมด

$$E_{tot} = \int_{-\infty}^{\infty} p(t)^2 (dt) \quad (2.22)$$

2.8.3 ผลคูณระหว่างเวลาและแบนด์วิดท์

เป็นตัวเลขแสดงประสิทธิภาพของพัลส์ทั้งในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา ถ้าตัวเลขนี้มีค่าต่ำ จะแสดงว่าพัลส์นั้นมีประสิทธิภาพมากทั้งในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา โดยคำนวณจาก

$$B_{\omega} = D \cdot d \quad (2.23)$$

เมื่อ

$$D^2 = \frac{1}{2\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |F(\omega)|^2 d\omega \quad (2.24)$$

และ

$$d^2 = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} t^2 |f(t)|^2 dt \quad (2.25)$$

$F(\omega)$ คือ การแปลงฟูเรียร์ของพัลส์, $f(t)$ คือ พัลส์ในโดเมนเวลา และ E คือ พลังงานของพัลส์ สามารถคำนวณได้จาก

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega \quad (2.26)$$

นิยามของการแปลงฟูเรียร์ คือ

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} d\omega \quad (2.27)$$

และ

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (2.28)$$

2.9 บทสรุป

ในบทนี้ได้ให้ภาพกว้างของการสื่อสารโดยอาศัยเทคโนโลยี UWB ประวัติความเป็นมาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เปรียบเทียบข้อกำหนดเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งระหว่างสหรัฐอเมริกาและในยุโรป และการนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานของระบบ UWB ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงรายละเอียดอย่างชัดเจนถึงหลักการทำงานของระบบ UWB ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจหลักการทำงานที่แท้จริงของระบบ UWB ได้ดียิ่งขึ้น

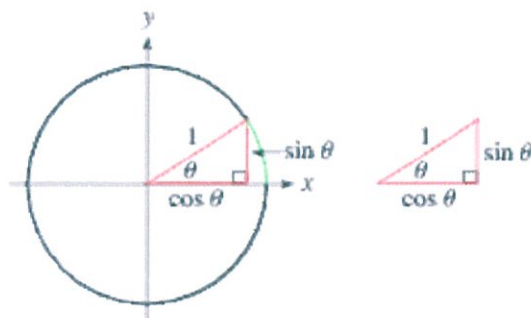
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

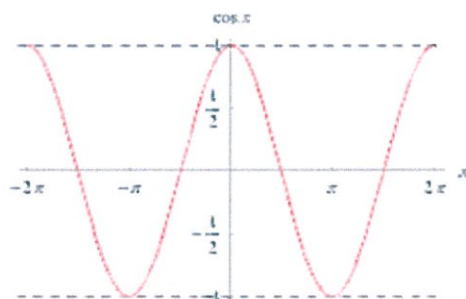
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการทำงานต่างๆ เพื่อให้ได้รูปคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในเงื่อนไขต่างๆ ในการสื่อสาร UWB และเป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้ในบทนี้จะกล่าวถึงคณิตศาสตร์ที่จำเป็นในการสร้างสัญญาณพัลส์สำหรับระบบคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง (Ultra-Wideband: UWB) รวมถึงหลักการทั่วไปที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังได้อธิบายเทคนิคและวิธีการในการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้ศึกษาในปริญญาโทฉบับนี้ด้วย

3.2 ฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง

ฟังก์ชันโคไซน์ (Cosine function) เป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติอีกฟังก์ชันหนึ่ง ที่นิยามโดยค่าในแนวแกนนอน (X) ของวงกลมหนึ่งหน่วย (unit circle) ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 รูปแสดงวงกลมหนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.2 รูปแสดงฟังก์ชันโคไซน์ซึ่งเป็นฟังก์ชันคู่

เนื่องจากฟังก์ชันโคไซน์และฟังก์ชันตรีโกณมิติอื่นๆ มีความสัมพันธ์กันผ่านเอกลักษณ์ตรีโกณมิติ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในระบบ UWB รูปแบบของพัลส์ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการออกแบบ คือ พัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian Pulse) อย่างไรก็ตามพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นมีความยุ่งยาก

ในการนำมาสร้างจริง เพราะเป็นพัลส์ที่ นิยามโดยองค์ประกอบที่เป็นเอ็กซ์โพเนนเชียล นอกจากนั้น การนำเอา เกาส์เซียนมาใช้ในการสร้างวงจรกำเนิดพัลส์จะทำให้วงจรมีความซับซ้อน ดังนั้นจึงมีงานวิจัย และ การศึกษาเพื่อสร้างวงจรที่สามารถใช้ สัญญาณรูปแบบอื่นเพื่อนำมาทดแทน สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนใน [3-6] งานวิจัยใน [3] มีการนำอัลกอริทึม trail and errors มาใช้ในการรวม อนุพันธ์อันดับต่างๆ ที่เหมาะสมของเกาส์เซียนพัลส์เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของ FCC ในขณะที่ [4] ได้นำเสนอวิธีการเชิงเลข (Numerical Methods) มาใช้ในการออกแบบพัลส์ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาใน [5] ที่แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์และกระบวนการมอดูเลชันเพื่อให้พัลส์ที่ได้สอดคล้องกับ ข้อบังคับของ FCC และ การศึกษาใน [6] ได้แสดงการออกแบบโดยการนำฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกซีแคนต์มาใช้ในการประมาณค่าของเกาส์เซียนฟังก์ชันโดยกำหนดให้สัญญาณอินพุตของระบบคือสัญญาณของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ ที่มีคุณลักษณะคล้ายกับฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ และอาศัยคุณสมบัติของฟังก์ชันทั้งสอง กล่าวคือ

$$\operatorname{sech}^2(t) = 1 - \tanh^2(t) \quad (3.1)$$

และวงจรทรานส์ลิเนียร์ยกกำลังสอง (Trans linear squarer) ในการสร้าง $\operatorname{sech}^2(t)$

อย่างไรก็ตาม จากการค้นคว้าพบว่า ที่ติกรีของโคไซน์ยกกำลังมีค่าสูงจะทำให้โคไซน์ยกกำลังมีค่าใกล้เคียงค่าของเกาส์เซียนฟังก์ชัน นอกจากยังไม่มียางานการศึกษาการใช้พัลส์ที่กำหนดโดยฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลังปรากฏในปัจจุบันประกอบด้วยฟังก์ชันโคไซน์เป็นฟังก์ชันของสัญญาณที่ปรากฏอยู่ทั่วไปในทางวิศวกรรมไฟฟ้า ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงเป็นแรงจูงใจให้ผู้ศึกษานำฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลังมาใช้ในการออกแบบพัลส์ และนำเสนอการประยุกต์ใช้งานสำหรับการใช้ในการสื่อสารระบบ UWB

ในปริณูณานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการออกแบบพัลส์รูปแบบใหม่โดยอาศัยความคล้ายคลึงกันของฟังก์ชันทั้งสองมาใช้ในการถ่ายทอดคุณสมบัติของพัลส์แบบเกาส์เซียนไปยังฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในข้อหัวต่อไป

3.3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของฟังก์ชัน

ในหัวข้อนี้จะแสดงลำดับขั้นตอนการได้มาของฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง ซึ่งจะได้นำไปใช้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบพัลส์โคไซน์ยกกำลังต่อไป

3.3.1 การทดลองเปรียบเทียบฟังก์ชัน

ฟังก์ชันโคไซน์ในโดเมนเวลากำหนดโดยสมการที่ (3.2)

$$f(t) = \cos(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ t คือเวลาในหน่วย วินาที (Second)

โดยอาศัยการกระจายพหุนามแบบทวินาม (Binomial Expansion) สามารถเขียนสมการที่ (3.2) ได้ใหม่เป็น

$$\cos(t) = 1 - \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{24}t^4 + O(t^6) = 1 - \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{24}t^4 + O(t^6) \quad (3.3)$$

หรือเขียนอยู่ในรูปของโคไซน์ยกกำลังได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\cos^m(t) = 1 - \frac{m}{2}t^2 + \left(\frac{m(m-1)}{2} + \frac{m}{6}\right)\left(\frac{1}{2}t^2\right) + O(t^6) \quad (3.4)$$

จัดรูปสมการที่ (3.4) ใหม่ ได้เป็นสมการที่

$$\cos^m(t) = 1 - \frac{m}{2}t^2 + \frac{m(m-1)}{2}\left(1 + \frac{1}{3(m-1)}\right)\left(\frac{1}{2}t^2\right) + O(t^6) \quad (3.5)$$

ในกรณีที่ m โดยที่ $3(m-1) \ll 1$

$$\cos^m(t) = 1 - \frac{m}{2}t^2 + \frac{m(m-1)}{2}\left(\frac{1}{2}t^2\right) + O(t^6) \quad (3.6)$$

ในทำนองเดียวกัน เราสรุปว่า m มีค่าเพิ่มขึ้น

$$\cos^m(t) = \left(1 - \frac{1}{2}(t)^2\right) = \left(1 - \frac{1}{m}\left(\sqrt{\frac{t}{2}}\right)^2\right)^m = e^{-\frac{mt^2}{2}} \quad (3.7)$$

และดังนั้น

$$\cos^m(\pi t) = e^{-\frac{m\pi^2 t^2}{2}} = e^{-\frac{t^2}{2t_0^2}} \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$f_0^2 = \frac{1}{\pi^2 m} \quad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.9) จะเห็นว่า ที่ m มีค่าที่เหมาะสมจะทำให้ฟังก์ชันของโคไซน์ยกกำลังมีค่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันเกาส์เซียน

เพื่อลดความซับซ้อนและความสับสนในการคำนวณ สมการที่ สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} = \cos^m(\alpha t) \quad (3.10)$$

เพื่อแสดงให้เห็นเชิงประจักษ์ จึงได้มีการศึกษาพฤติกรรมของโคไซน์ยกกำลังที่อันดับต่างๆ เพื่อทดสอบความคล้ายคลึงกัน และเป็นการยืนยันว่า สมการที่ (3.10) เป็นจริง สำหรับค่า m ที่เหมาะสมจึงได้มีการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเปรียบเทียบผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง โดยเป็นการแสดงผลตอบสนองทางเวลาที่ขนาดเทียบเท่ากัน คือ 1 หน่วย นอกจากนั้นยังได้มีการแสดงผล ต่างของทั้งสองฟังก์ชันนิยามโดย

$$D = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} - \cos^m(\alpha t) \quad (3.11)$$

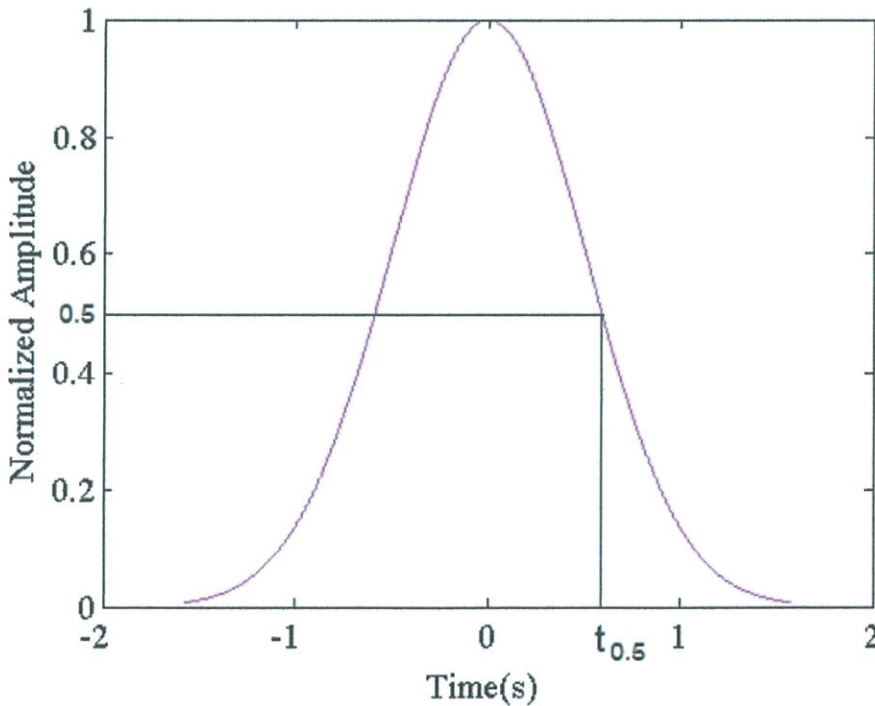
ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1

จากการทดลองพบว่าผลจากการเมื่อค่า m มีค่ามากจะทำให้ ฟังก์ชันทั้งสองมีความแตกต่างกันน้อยมาก จึงอาจสรุปได้ สมการที่ (3.11) เป็นจริง ซึ่งในขั้นตอนต่อไปจะได้อธิบายวิธีการถ่ายทอดคุณลักษณะของฟังก์ชันเกาส์เซียนไปยังโคไซน์ยกกำลัง

3.3.2 การถ่ายทอดคุณลักษณะของโคไซน์และเกาส์เซียนฟังก์ชัน

ถึงแม้ว่าสมการที่ (3.11) จะเป็นจริงสำหรับค่า m ที่มีค่าสูงๆ อย่างไรก็ตามในการนำฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลังไปใช้ในการออกแบบพัลส์ ไม่สามารถเลือก m ที่มีค่าสูงๆ มาให้ใช้งานได้ เพราะจะก่อให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อนในการออกแบบ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องเลือกค่า m ที่มีความเหมาะสม

เพื่อให้การปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของพัลส์แบบเกาส์เซียนสามารถถ่ายทอดมาสู่พัลส์โคไซน์ยกกำลัง ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของ $t_{0.5}$ ที่มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของขนาดแอมพลิจูดสูงสุด

จากรูปที่ 3.3 กำหนดให้เวลาที่ แอมพลิจูดมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูดสูงสุด คือ $t_{0.5}$ จะได้ว่า

$$\cos^m(\alpha t_{0.5}) = 0.5 \quad (3.12)$$

จากสมการที่ (3.12) ทำการถอดรากอันดับที่ m จะได้ค่า $t_{0.5}$ ดังนี้

$$t_{0.5} = \frac{\arccos(\sqrt[m]{0.5})}{\alpha} \quad (3.13)$$

ในทำนองเดียวกันพิจารณาที่ฟังก์ชันเกาส์เซียน $e^{-\frac{t_{0.5}^2}{2\sigma^2}}$ ที่มีค่า 0.5 และกำหนดให้เป็น $x_{1/2}$ คือเวลาที่แอมพลิจูดของมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูดสูงสุดเช่นกัน ดังนั้นสมการที่ (3.14) จะได้

$$e^{-\frac{t_{0.5}^2}{2\sigma^2}} = 0.5 \quad (3.14)$$

จากสมการที่ (3.14) จะกำจัดค่า e โดยใช้ลอการิทึม จะได้

$$-\frac{t_{0.5}^2}{2\sigma^2} = \ln 0.5 \quad (3.15)$$

นำสมการที่ (3.13) แทนลงในสมการที่ (3.15) ได้เป็น

$$\frac{-(\arccos(\sqrt[m]{0.5}))^2}{2\alpha^2\sigma^2} = \ln 0.5 \quad (3.16)$$

จากสมการที่ (3.16) จะได้ค่า σ^2 คือ

$$\sigma^2 = \frac{-(\arccos(\sqrt[m]{0.5}))^2}{2\alpha^2 \ln 0.5} \quad (3.17)$$

จากสมการที่ (3.17) จะเห็นว่า เมื่อทราบค่า σ^2 จะสามารถหาค่าของ α ได้ และในทำนองเดียวกัน เมื่อทราบค่า α ก็จะสามารถคำนวณหาค่าของ σ^2 ได้เช่นกัน

3.3.3 การทดสอบโดยการหาอนุพันธ์ของพัลส์

เกาส์เซียนพัลส์ในระบบ UWB มักถูกทำอนุพันธ์เพื่อให้ สเปกตรัมของพัลส์เหมาะสมกับการใช้งานในการสื่อสารในระบบ UWB กล่าวคือสอดคล้องกับ กฎการอนุญาตของ FCC ดังนั้น การทดสอบการทำอนุพันธ์จึงได้รับการเลือกให้นำมาใช้ในการเปรียบพัลส์ทั้งสองรูปแบบ

ผลการทดลองที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบ อนุพันธ์ของพัลส์ที่อันดับต่างๆ พร้อมทั้งแสดง การเพื่อแสดงผลต่างของ อนุพันธ์ทั้งสอง นอกจากนี้ ยังได้มีการแสดงสเปกตรัมของอนุพันธ์แต่ละ อันดับภายใต้กรอบของ FCC ไว้แสดงการเปรียบเทียบอีกด้วย

จากการทดลองดังกล่าวพบว่า อนุพันธ์ของพัลส์ทั้งสองมีความคล้ายกันทั้งในโดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

จากการทดสอบที่กล่าวไปทั้งหมดเป็นหลักฐานที่ใช้ในการยืนยันว่า สามารถเลือกค่า m ที่ เหมาะสมเพื่อทำให้พัลส์โคไซน์ยกกำลังมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับพัลส์แบบเกาส์เซียน ด้วยเหตุนี้ ปริมาณนิพจน์ฉบับนี้จึงได้พัฒนาวิธีการสร้างพัลส์โคไซน์ยกกำลัง ดังจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

3.4 สมการพัลส์โคไซน์ยกกำลัง

พัลส์โคไซน์ยกกำลังที่ใช้ในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนสามารถอธิบายได้โดย

$$\hat{y} = \alpha \sin(x) \quad (3.18)$$

เพื่อหาค่าของ $\cos^m(x)$ นำสมการที่ (3.18) มายกกำลังสองทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\hat{y}^2 = \alpha^2 \sin^2(x) \quad (3.19)$$

จัดรูปสมการที่ (3.19) ใหม่จะได้ว่า

$$\left(\frac{\hat{y}}{\alpha}\right)^2 = \sin^2(x) \quad (3.20)$$

$$1 - \left(\frac{\hat{y}}{\alpha}\right)^2 = 1 - \sin^2(x) = \cos^2(x) \quad (3.21)$$

จากสมการที่ (3.21) สามารถหา $\cos^{10}(x)$ โดยการยกกำลัง 5 ตลอดทั้งสมการ จะได้

$$\frac{1}{f(\hat{y}^2)} = \left(1 - \left(\frac{\hat{y}}{\alpha}\right)^2\right)^5 = \cos^{10}(x) \quad (3.22)$$

หรือ

$$f(\hat{y}^2) = \left(1 - \left(\frac{\hat{y}}{\alpha}\right)^2\right)^{-1} \quad (3.23)$$

3.5 เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียล

เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียล (Bernstein Polynomials) เกิดขึ้นจากทฤษฎีการประมาณที่มีรูปแบบฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง ($f(x)$) ในช่วงปิดที่ $[0,1]$ เบิร์นสไตน์โพลิโนเมียลอันดับที่ n^{th} ($n \geq 1$) สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$B_n(f; x) = \sum_{i=0}^n f\left(\frac{i}{n}\right) \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i} \quad (3.24)$$

เมื่อ $i = 0, 1, \dots, n$ และ $\binom{n}{i} = \frac{n!}{(n-i)!i!}$

พิจารณาฟังก์ชัน $f(x)$ ในที่นี้ทำการประมาณฟังก์ชันให้จะถูกทำการซิกตัวอย่าง (Sampling) จำนวน $n+1$ ตัวอย่าง เพื่อนำไปสร้างเป็นฟังก์ชันการประมาณค่าฟังก์ชันดังกล่าว จะเห็นว่า $f(x)$ จะมีการสุ่มด้วยอัตราเท่าๆกัน นั่นคือ $\frac{1}{n}$ บนช่วง $[0,1]$

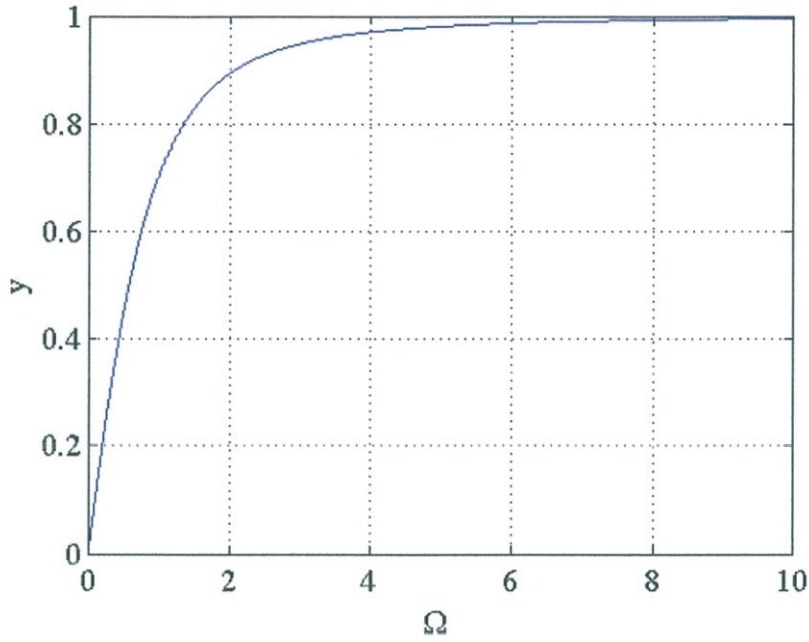
ทำได้โดยการแทน $f\left(\frac{i}{n}\right)$ ด้วยสมการที่ (3.22) จะได้

$$B_n(f; x) = \sum_{i=0}^n \left(1 - \left(\frac{\hat{y}}{\alpha}\right)^2\right)^{-5} \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i} \quad (3.25)$$

ทำการแปลง (Transformation) ช่วงของ x จากช่วง $[0,1]$ ให้เป็น Ω ที่มีช่วงหรือขอบเขตอยู่ที่ $[0, \infty]$

$$\hat{y}^2 = \frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2} \quad (3.26)$$

จากรูปที่ 3.4 จะพบว่า ช่วงของ Ω คือ $[0, \infty]$



รูปที่ 3.4 แสดงการแปลงช่วงจาก $y \rightarrow \Omega$

ทำการแปลงโดเมนจาก โดเมน Ω ไปเป็นโดเมน s เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน จากนั้นนำฟังก์ชันถ่ายโอนทางขนาดยกกำลังสองของฟังก์ชันการประมาณค่าสเปกตรัมของพัลส์โคไซน์ยกกำลังที่ได้จากเบิร์นสไตน์โพลีโนเมียล มาหาโพล (Poles) และซีโร (Zeroes) โดยการแทนค่า $\Omega = -js$ แล้วแก้สมการเลือกค่าโพลและซีโร เป็นที่ทราบกันว่าถ้าต้องการให้ระบบมีความเสถียรภาพ (Stable System) และมีเฟสต่ำที่สุด (Minimum Phase) จะต้องเลือกค่าโพลและซีโรทางซ้ายของระนาบ s (s -plane) ดังนั้น จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีรูปแบบเป็นฟังก์ชันเศษส่วน (Rational Function)

$$H(s) = \frac{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_{m-1}s^{m-1} + a_ms^m}{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_{m-1}s^{m-1} + b_ms^m} \quad (3.27)$$

เมื่อ m เป็นอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอน

พบว่าเมื่อ $m = 10$, $n = 3$ และ $\alpha = 0.9$ จะได้

$$\frac{1}{B_n(f, \hat{y}^2)} = \frac{1}{-1563.1\hat{y}^6 + 150.7\hat{y}^4 + 3.3\hat{y}^2 + 1} \quad (3.28)$$

แทนค่า $\hat{y}^2 = \frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2}$ จะได้สมการที่ (3.28) สามารถเขียนได้ในรูปของ

$$\frac{1}{B_n(f, \hat{y}^2)} = \frac{1}{-1563.1\left(\frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2}\right)^3 + 150.7\left(\frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2}\right)^2 + 3.3\left(\frac{\Omega^2}{1 + \Omega^2}\right) + 1} \quad (3.29)$$

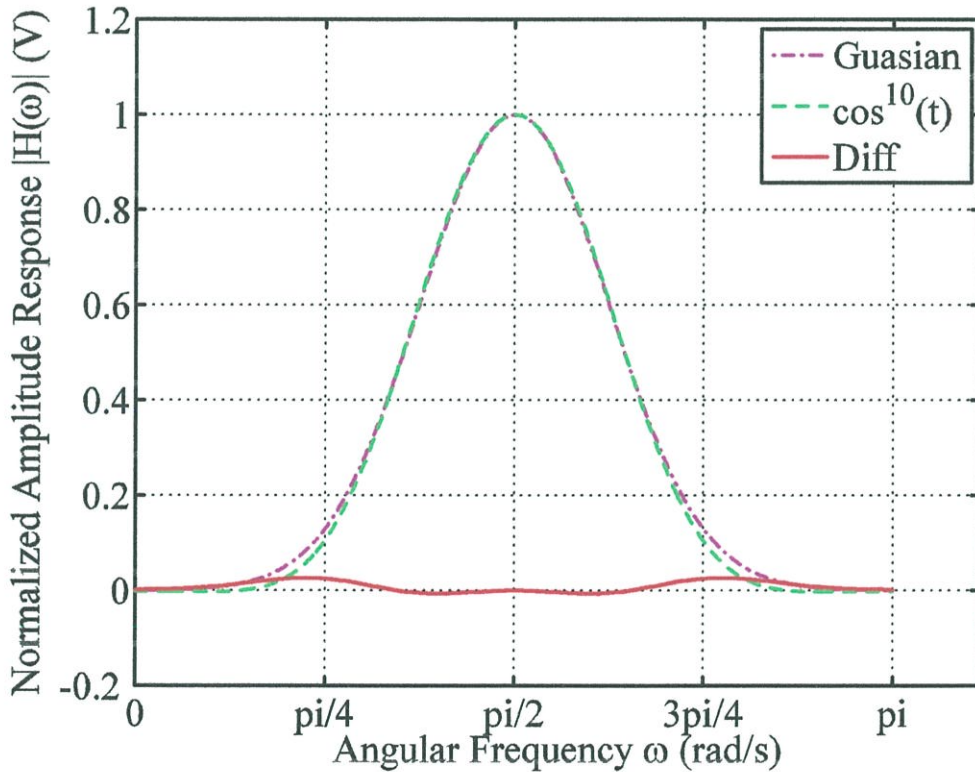
แทนค่า $\Omega = -js$ จะได้สมการใน s โดเมนเป็น

$$G(s) = \frac{-s^6 + 3s^4 - 3s^2 + 1}{1408.2s^6 + 160.2s^4 - 6.3s^2 + 1} \quad (3.30)$$

ทำการแก้สมการเพื่อหาค่า Poles และ Zeros โดยเลือกค่า Poles และ Zeros ที่อยู่ทางด้านซ้ายมือของระนาบ s จะได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$G(s) = \frac{s^3 + 3s^2 + 3s + 1}{s^4 + 0.4280s^3 + 0.2316s^2 + 0.0712s + 0.0109} \quad (3.31)$$

เมื่อนำไปวาดเป็นผลตอบสนองทางขนาดจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 แสดงผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอน เมื่อ $n = 3$

3.6 ตรวจสอบว่าอยู่ในเงื่อนไข UWB

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ระบบ UWB เป็นระบบที่ได้รับการควบคุมโดย FCC ดังนั้นการออกแบบพัลส์ใดๆ จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขของ FCC ที่กำหนดให้พัลส์ต่างๆ ส่งสัญญาณที่ระดับที่จำกัด ในการตรวจสอบว่าพัลส์ใดๆ เหมาะสมสำหรับการใช้งานในคลื่นแถบความถี่กว้างขนาดยิ่งพัลส์ดังกล่าวจะต้องมีลักษณะสอดคล้องตามสมการที่ (3.13) ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1. Bandwidth ต้องมีค่ามากกว่า 500 MHz หรือ
2. ต้องมี Fractional Bandwidth มากกว่า 20%

3.7 การปรับค่าและค่าสุดท้ายของพารามิเตอร์

3.7.1 รูปคลื่นวงรอบเดียวแบบเกาส์

ในการพิจารณาการปรับค่าสามารถทำได้โดยการเพิ่มลำดับของอนุพันธ์ของสมการโดเมนเวลาไปเรื่อยๆ หรือการคูณด้วยค่า $j2\pi f$ เข้าไปในสมการฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม

3.7.2 รูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมดับเลต

สามารถปรับค่าได้โดยเพิ่มจำนวนรูปคลื่น โดยเลื่อนซ้าย $f(t+t_0)$ เลื่อนขวา $f(t-t_0)$ ของสมการโดเมนเวลา หรือเพิ่มจำนวนรูปคลื่นโดยการเลื่อนซ้าย โดยคูณด้วย $e^{j2\pi ft_0}$ และทำการเลื่อนขวาโดยคูณ $e^{-j2\pi ft_0}$ เข้าไปในสมการฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม

3.7.3 รูปคลื่นเกาส์ดับเลต

วิธีการปรับค่าเหมือนกับรูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมดับเลต คือ ปรับค่าได้โดยเพิ่มจำนวนรูปคลื่น โดยเลื่อนซ้าย $f(t+t_0)$ เลื่อนขวา $f(t-t_0)$ ของสมการโดเมนเวลา หรือเพิ่มจำนวนรูปคลื่นโดยการเลื่อนซ้าย โดยคูณด้วย $e^{j2\pi ft_0}$ และทำการเลื่อนขวาโดยคูณ $e^{-j2\pi ft_0}$ เข้าไปในสมการฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม

ถ้าตรวจสอบแล้วยังอยู่ในเงื่อนไขการสื่อสาร UWB ในข้อกำหนดของ FCC ก็จะมีการปรับค่าทางเวลาของความกว้างของพัลส์ โดยจะปรับขึ้นทีละ 0.01 นาโนวินาที ส่วนพารามิเตอร์ความถี่จะปรับขึ้นทีละ 0.01 GHz และค่าสุดท้ายของการตรวจสอบจะมีค่าทางพารามิเตอร์เวลาที่ 3 นาโนวินาที ส่วนพารามิเตอร์ความถี่จะเป็นค่าสุดท้ายที่อยู่ในเงื่อนไขการสื่อสาร UWB โดยข้อกำหนดของ FCC

3.8 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานในการสร้างพัลส์ นอกจากนั้นยังได้มีการกล่าวถึงแนวความคิดหลักในการนำมาพัฒนาเป็นสัญญาณพัลส์สำหรับระบบ UWB นอกจากนั้นยังได้มีการอธิบายวิธีการในการทดสอบและวิเคราะห์สัญญาณพัลส์สำหรับระบบ UWB โดยอาศัยพัลส์เมทริกซ์

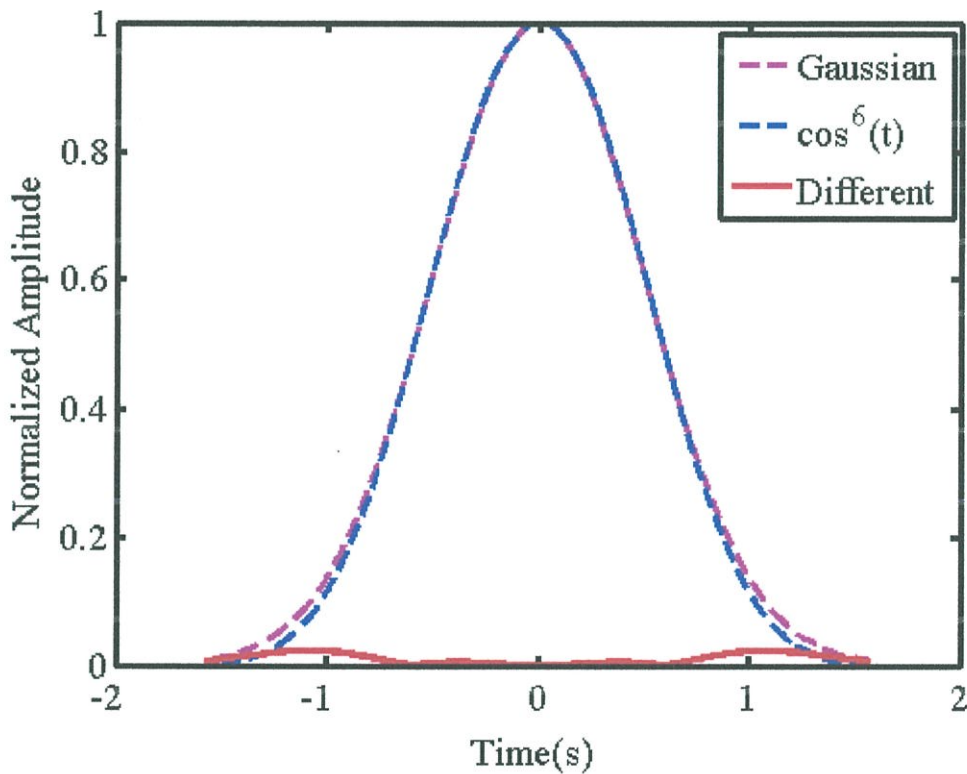
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1

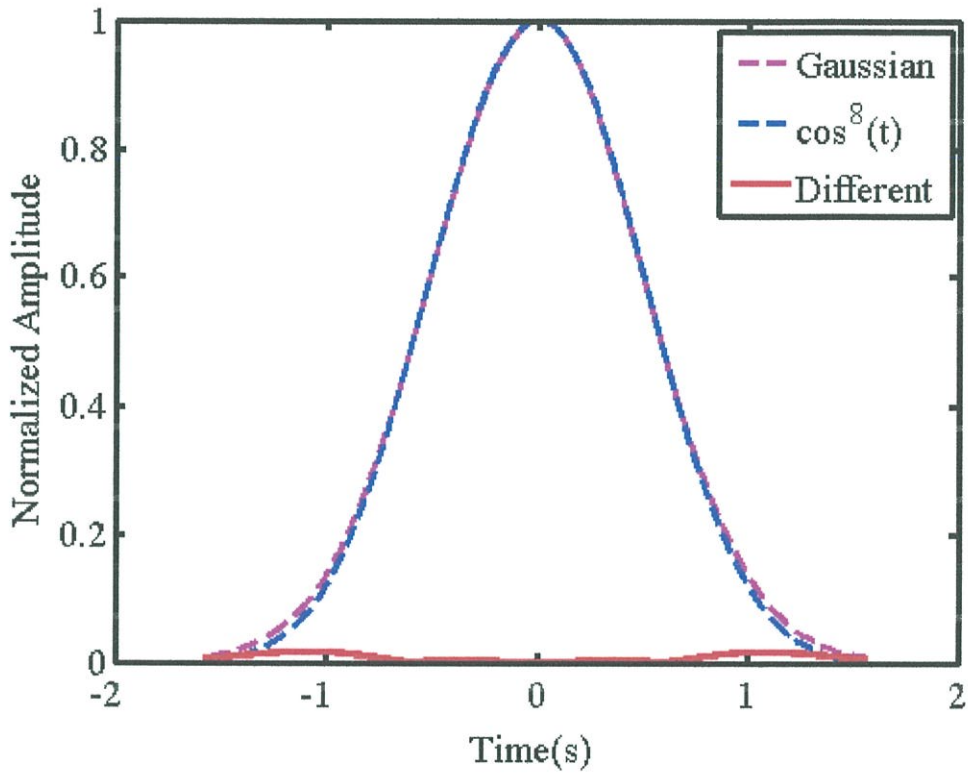
การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเปรียบเทียบผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง โดยเป็นการแสดงผลตอบสนองทางเวลาที่ขนาดเทียบเท่ากัน คือ 1 หน่วย

4.1.1 ผลการทดลองเมื่อ $m = 6$



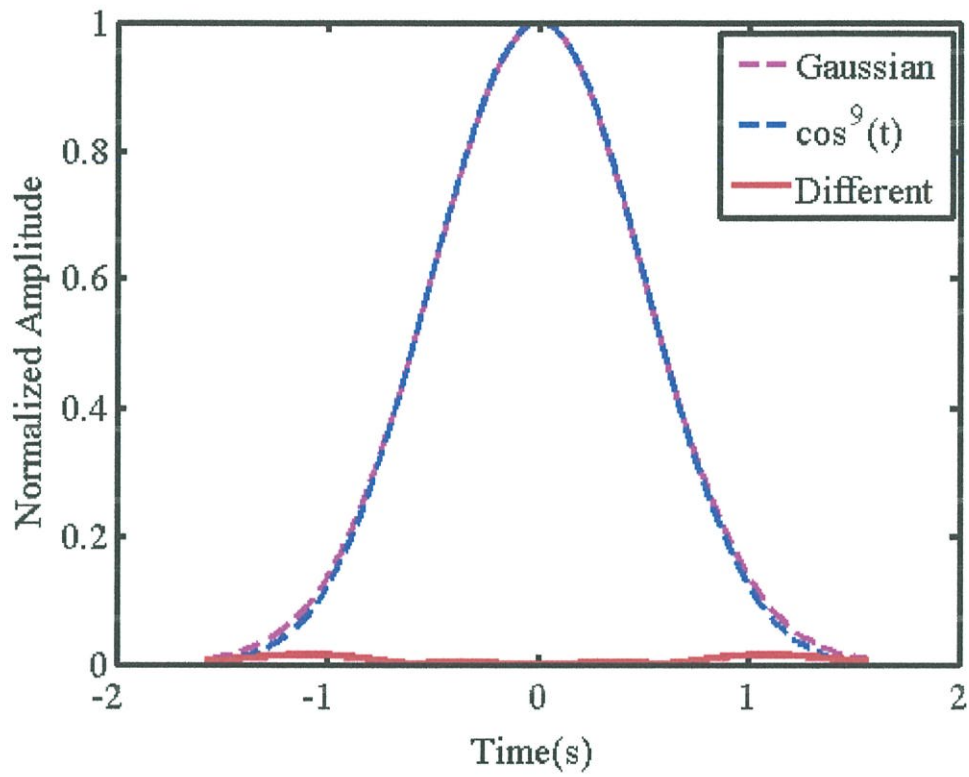
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 6$

4.1.2 ผลการทดลองเมื่อ $m = 8$



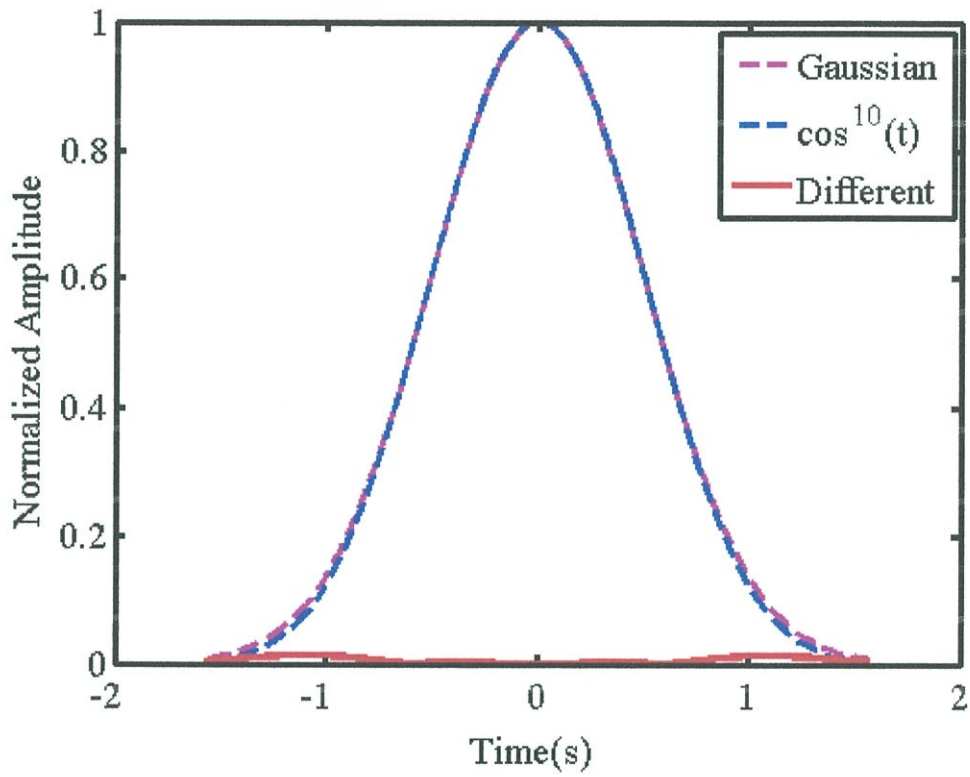
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 8$

4.1.3 ผลการทดลองเมื่อ $m = 9$



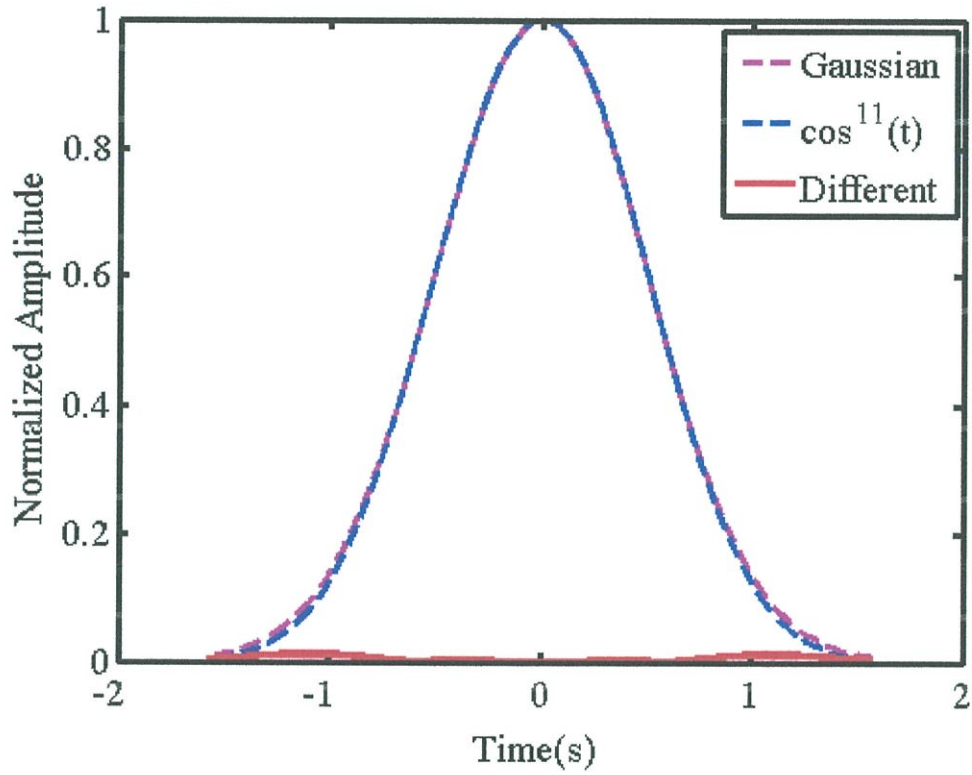
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 9$

4.1.4 ผลการทดลองเมื่อ $m = 10$



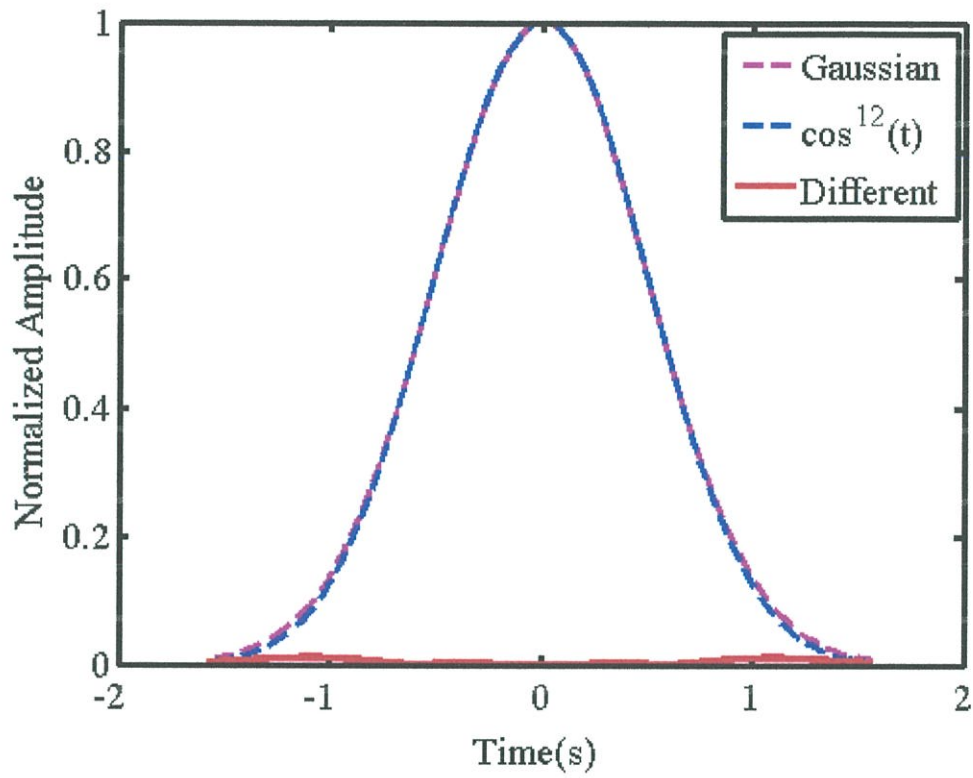
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 10$

4.1.5 ผลการทดลองเมื่อ $m = 11$



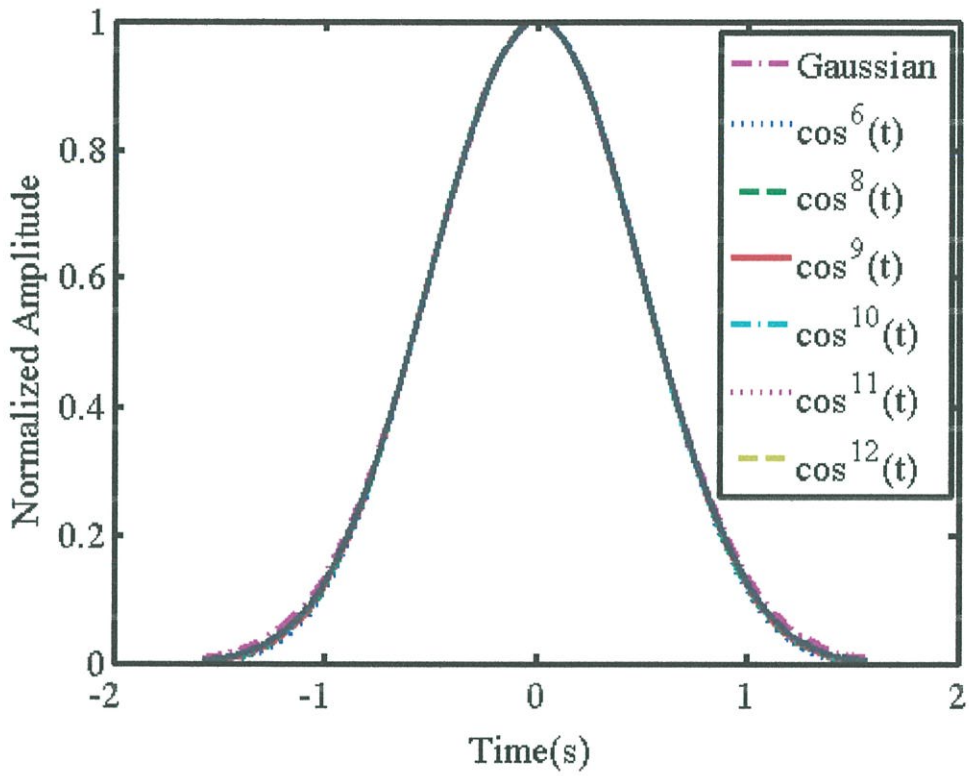
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 11$

4.1.6 ผลการทดลองเมื่อ $m = 12$



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 12$

4.1.7 ภาพแสดงการเปรียบเทียบเมื่อ $m = 6\ 8\ 9\ 10\ 11$ และ 12

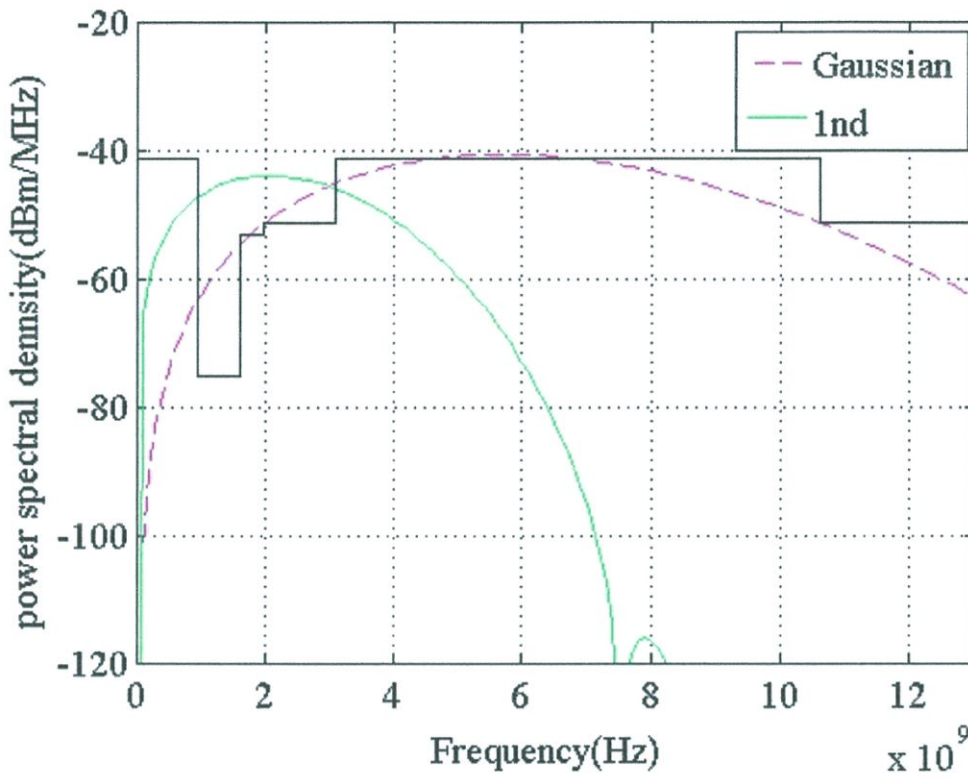


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง เมื่อ $m = 6\ 8\ 9\ 10\ 11$ และ 12

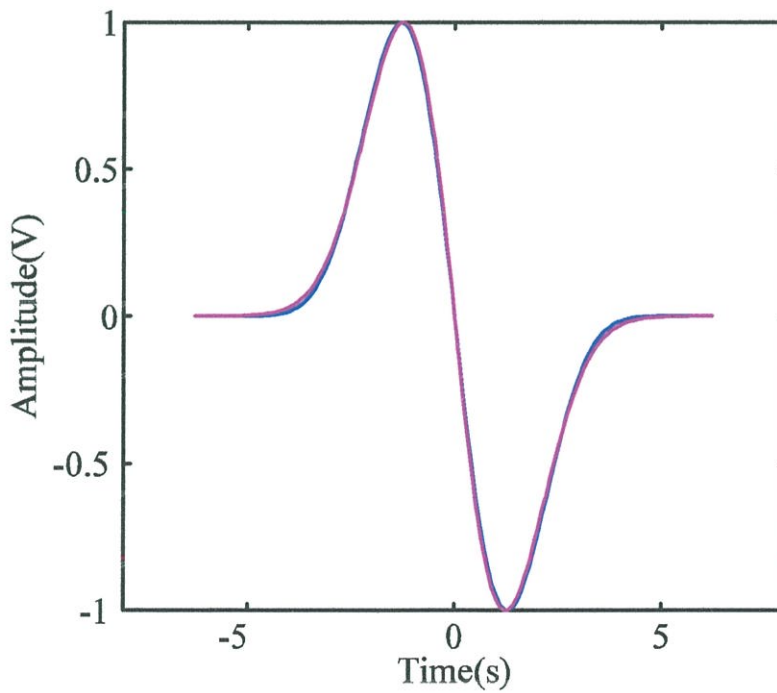
4.2 ผลการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 เป็นการแสดงอนุพันธ์อันดับต่างๆของพัลส์ทั้งสองและผลต่างซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลการทดลองหาอนุพันธ์อันดับที่ 1

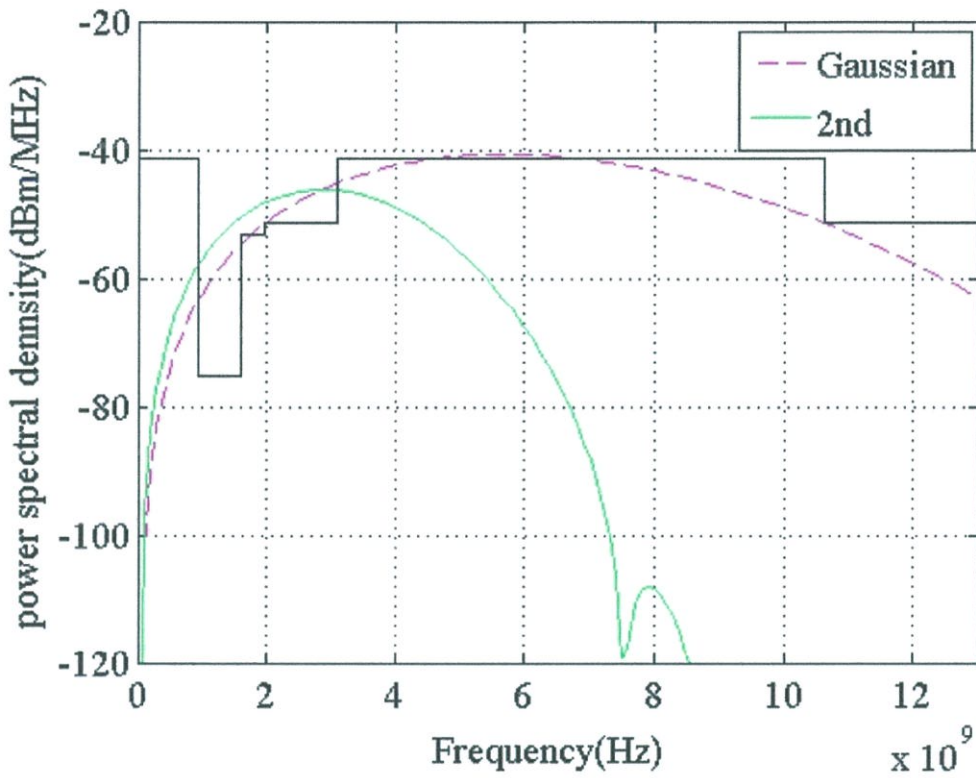


รูปที่ 4.8 แสดงอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ ใน FCC mask

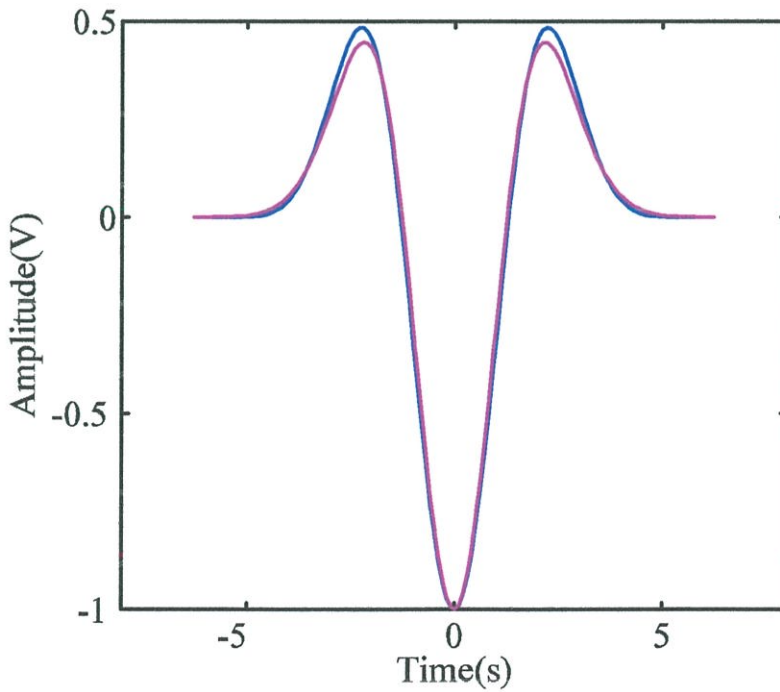


รูปที่ 4.9 แสดงอนุพันธ์ลำดับอันดับที่ 1 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์

4.2.2 ผลการทดลองหาอนุพันธ์อันดับที่ 2

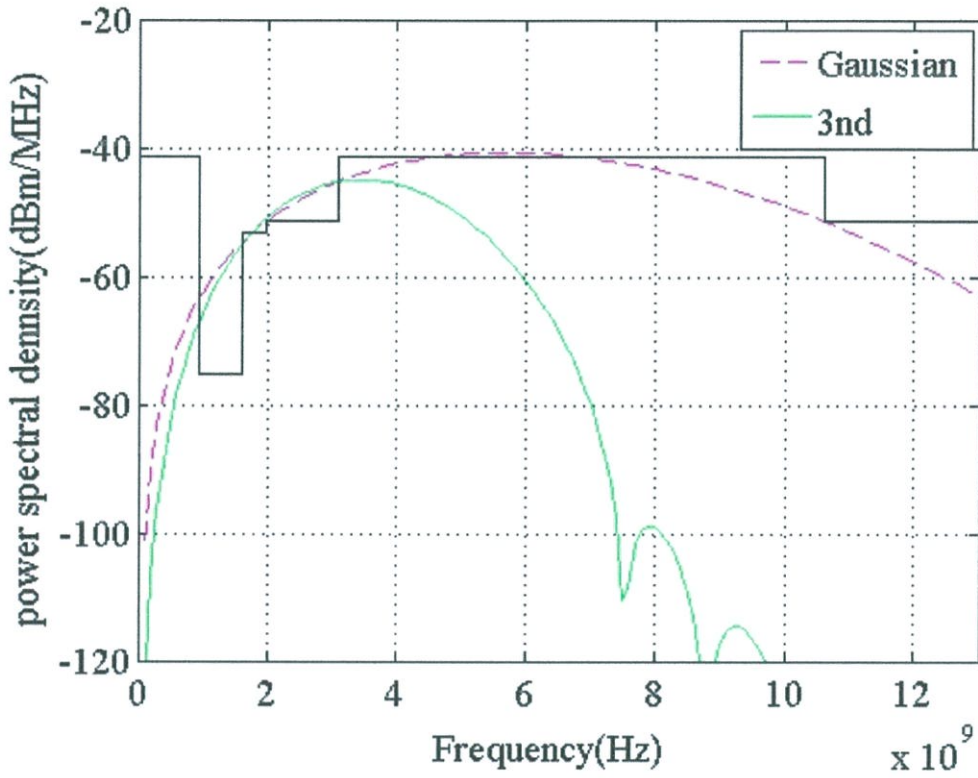


รูปที่ 4.10 แสดงอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ ใน FCC mask

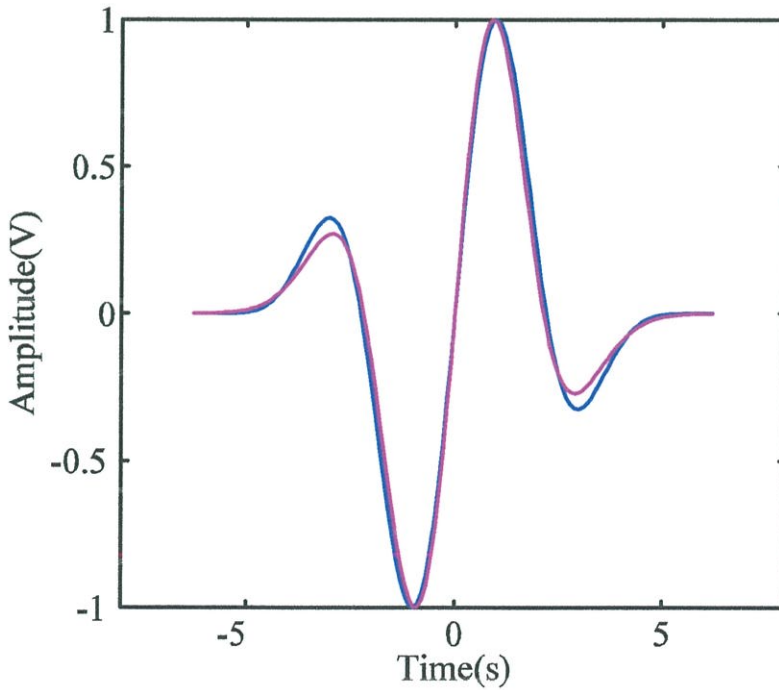


รูปที่ 4.11 แสดงอนุพันธ์ลำดับอันดับที่ 2 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์

4.2.3 ผลการทดลองหาอนุพันธ์อันดับที่ 3

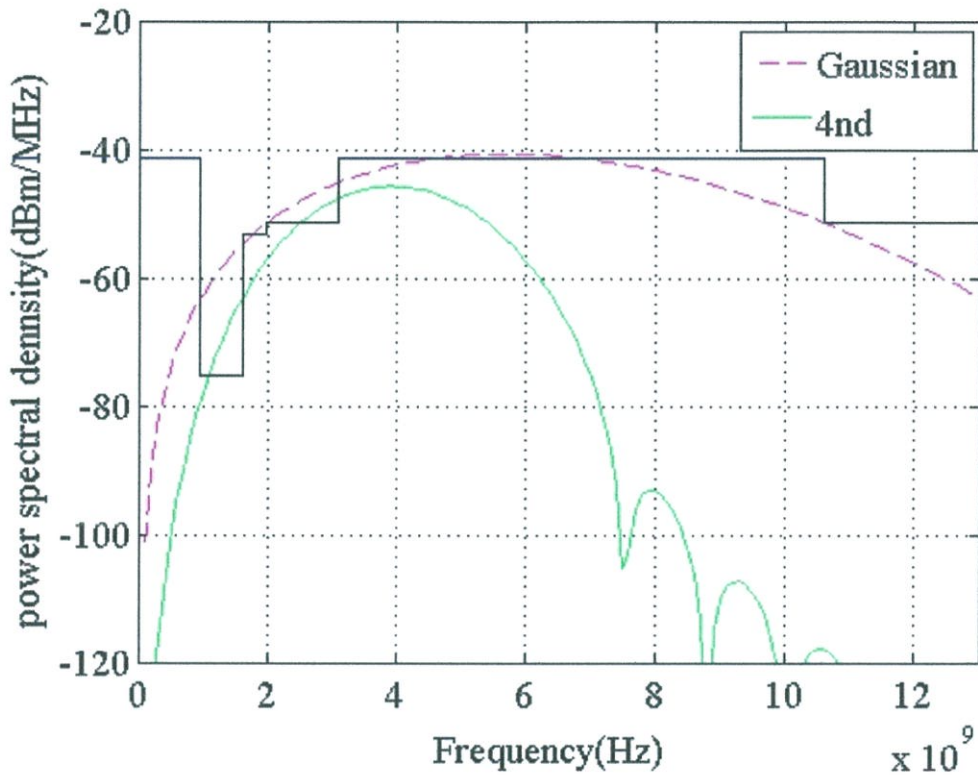


รูปที่ 4.12 แสดงอนุพันธ์อันดับที่ 3 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ ใน FCC mask

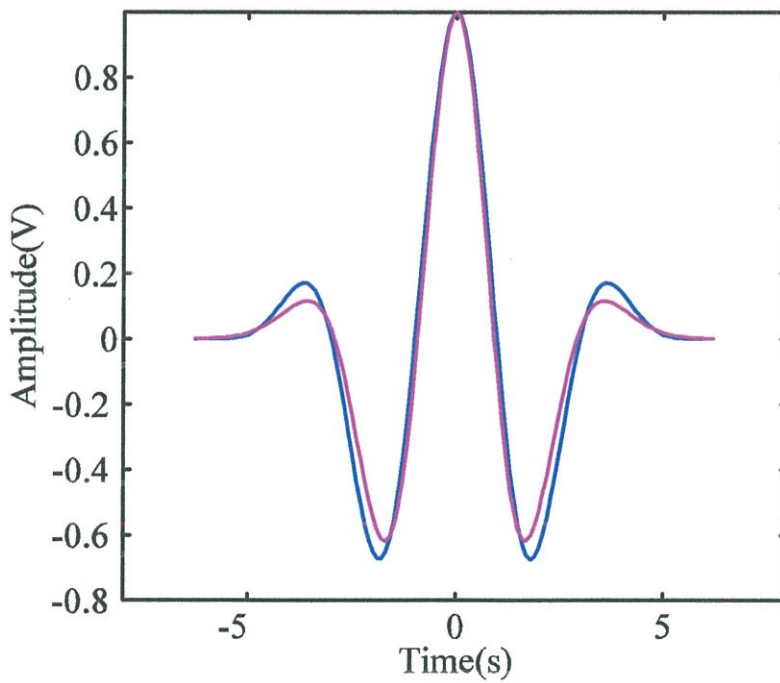


รูปที่ 4.13 แสดงอนุพันธ์ลำดับอันดับที่ 3 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์

4.2.4 ผลการทดลองหาอนุพันธ์อันดับที่ 4

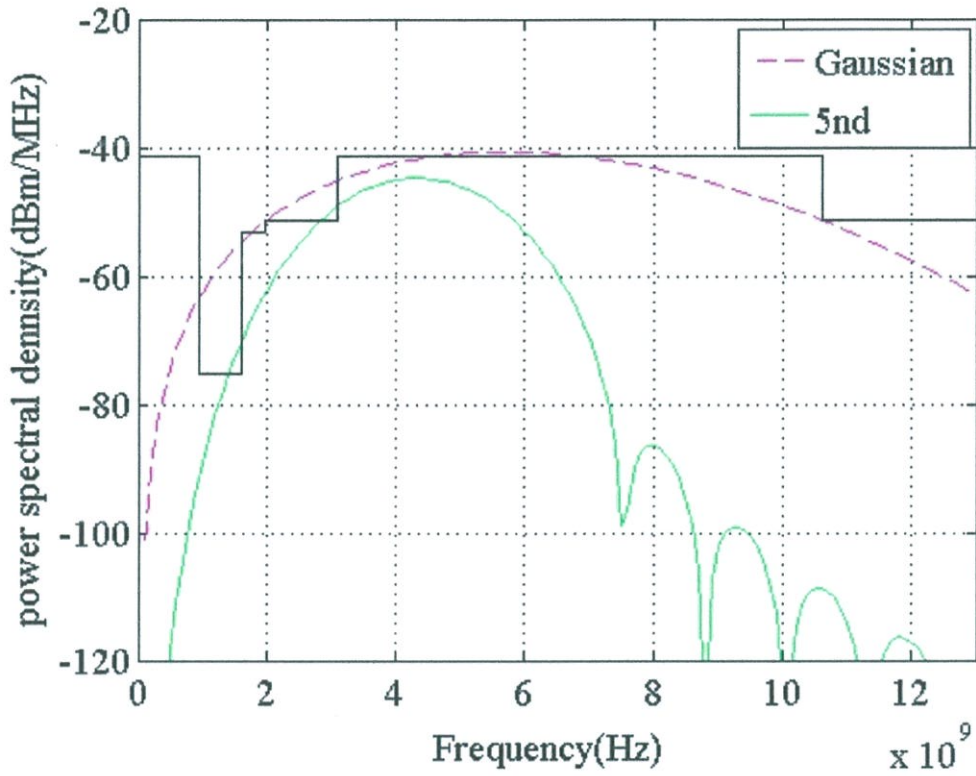


รูปที่ 4.14 แสดงอนุพันธ์อันดับที่ 4 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ ใน FCC mask

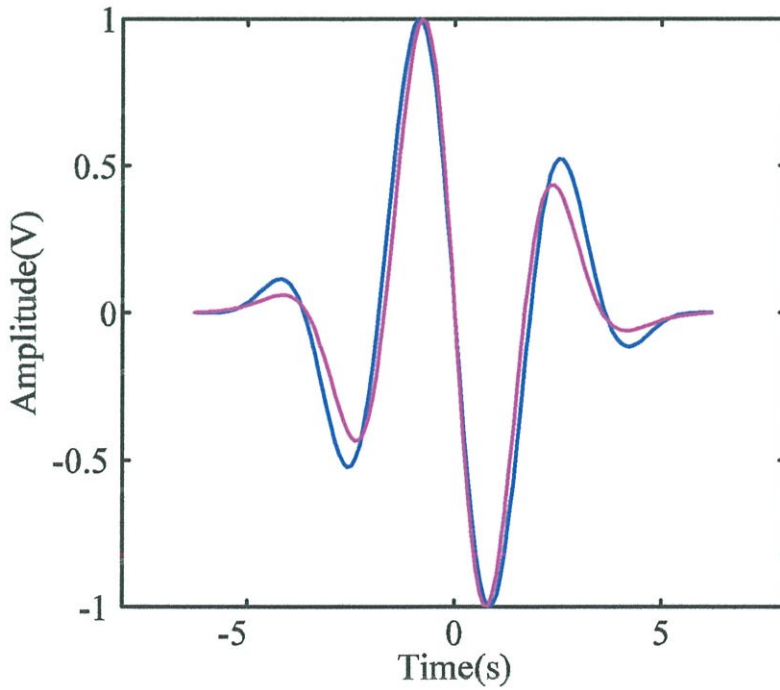


รูปที่ 4.15 แสดงอนุพันธ์ลำดับอันดับที่ 4 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์

4.2.5 ผลการทดลองหาอนุพันธ์อันดับที่ 5



รูปที่ 4.16 แสดงอนุพันธ์อันดับที่ 5 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์ ใน FCC mask



รูปที่ 4.17 แสดงอนุพันธ์ลำดับอันดับที่ 5 ของโคไซน์ยกกำลังกับเกาส์เซียนพัลส์

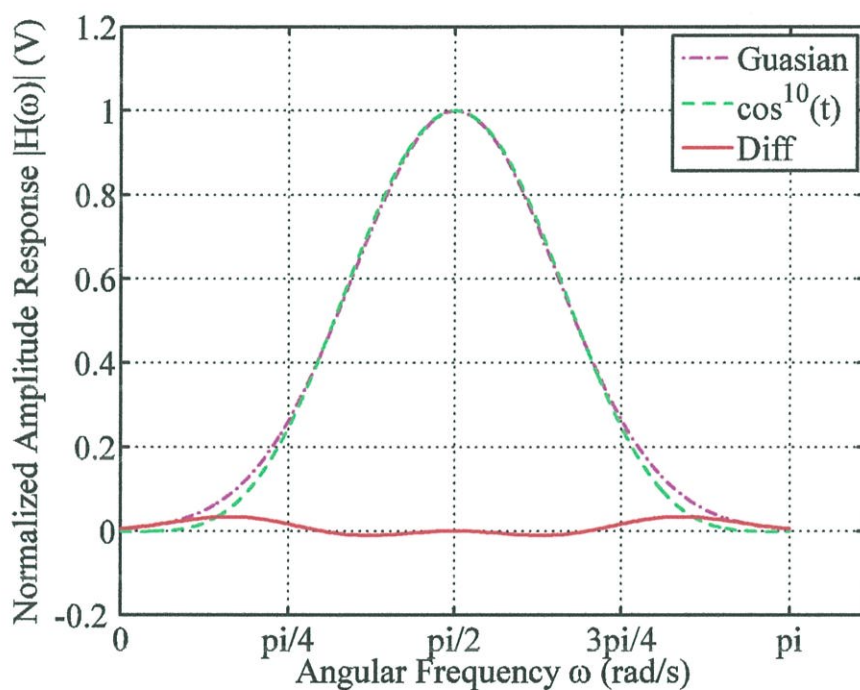
4.3 ผลตอบสนองทางขนาด

4.3.1 ดีกรีของพหุนาม $m = 2$

เมื่อ $m = 2$ จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$TF = \frac{s^2 + 2s + 1}{s + 0.1501} \quad (4.1)$$

เมื่อนำมาวาดกราฟแสดงผลตอบสนองทางขนาดจะได้ผลการทดลองดังนี้



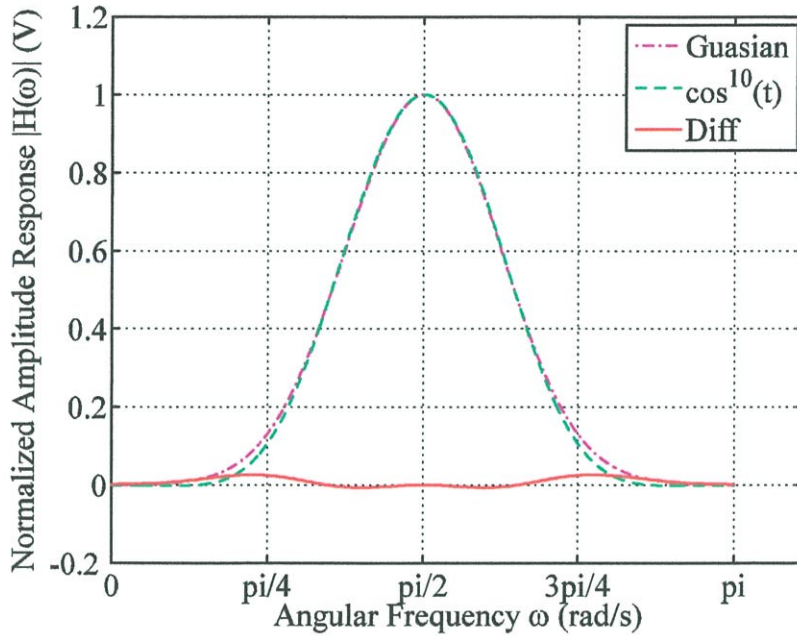
รูปที่ 4.18 แสดงผลการตอบสนองทางขนาด เมื่อ $m = 2$

4.3.2 ดีกรีของพหุนาม $m = 3$

เมื่อ $m = 3$ จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$TF = \frac{s^3 + 3s^2 + 3s + 1}{s^4 + 0.4280s^3 + 0.2316s^2 + 0.0712s + 0.0109} \quad (4.2)$$

เมื่อนำมาวาดกราฟแสดงผลตอบสนองทางขนาดจะได้ผลการทดลองดังนี้



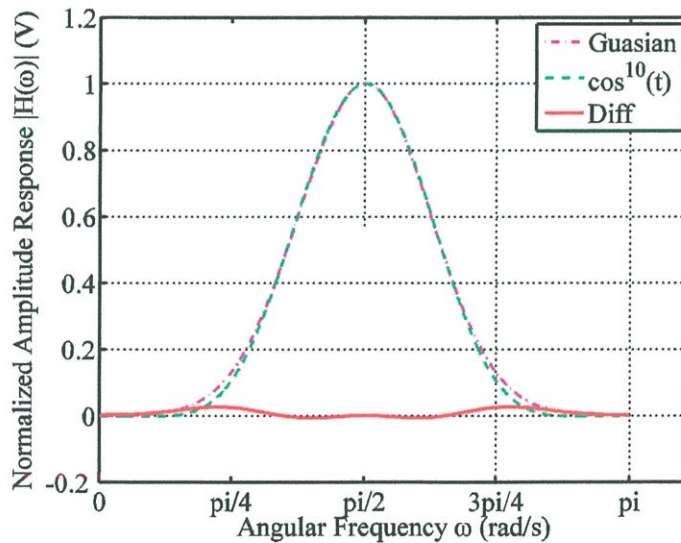
รูปที่ 4.19 แสดงผลการตอบสนองทางขนาด เมื่อ $m = 3$

4.3.3 ดีกรีของพหุนาม $m = 13$

เมื่อ $m = 13$ จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

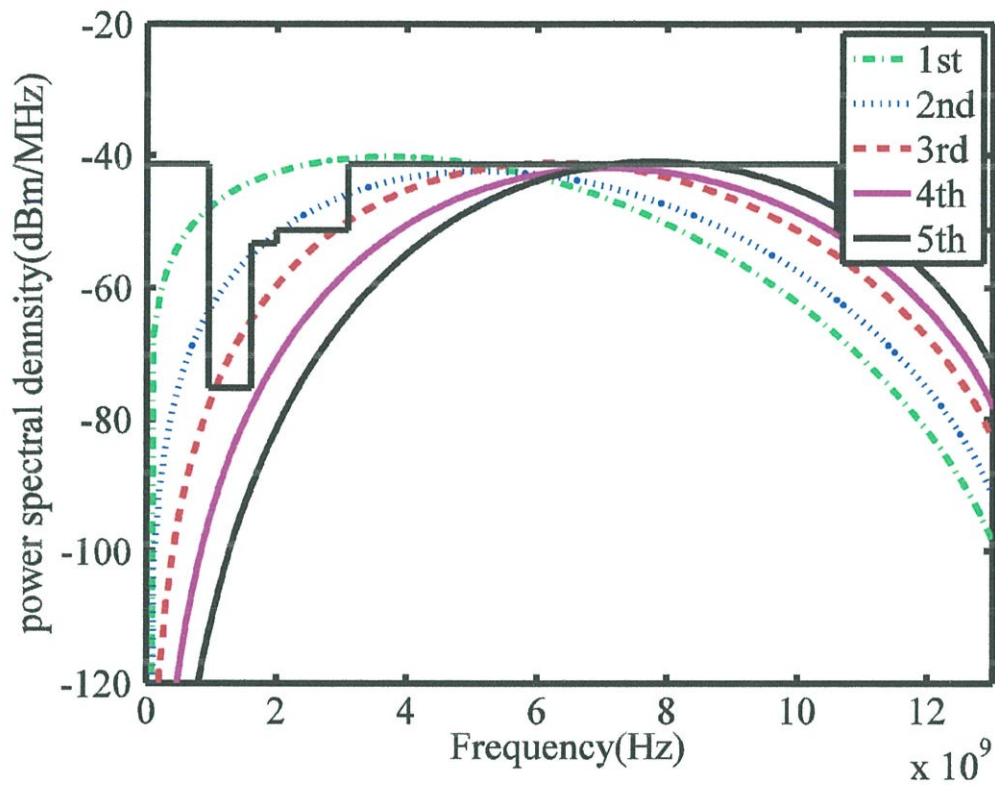
$$TF = \frac{s^{13} + 13s^{12} + 78s^{11} + 286s^{10} + 715s^9 + 1287s^8 + 1716s^7 + 1716s^6 + 1287s^5 + 715s^4 + 286s^3 + 78s^2 + 13s + 1}{s^{14} + 160.1s^{13} + 603.2s^{12} + 1182.6s^{11} + 1573.9s^{10} + 1573.2s^9 + 1238.5s^8 + 785.1s^7 + 403.4s^6 + 167.1s^5 + 54.8s^4 + 13.7s^3 + 2.5s^2 + 0.3s} \quad (4.3)$$

เมื่อนำมาวาดกราฟแสดงผลตอบสนองทางขนาดจะได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.20 แสดงผลการตอบสนองทางขนาด เมื่อ $m = 13$

4.4 สเปกตรัมของพัลส์แบบโคไซน์ยกกำลังที่อันดับต่างๆ ภายใต้ FCC Mask



รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของพัลส์แบบโคไซน์ยกกำลังที่อันดับต่างๆ ภายใต้ FCC Mask

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างวงจรกำเนิดพัลส์สำหรับการสื่อสารในระบบคลื่นความถี่กว้างยวดยิ่ง โดยอาศัยฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลัง (Power of Cosine Function) โดยเริ่มศึกษาความคล้ายกันของฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลังกับฟังก์ชันของเกาส์เซียน โดยอาศัยวิธีการค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Minimum Mean Square Error) พบว่า ค่าอันดับการยกกำลังที่เหมาะสมในการประมาณฟังก์ชันโคไซน์กับฟังก์ชันของเกาส์เซียน คือค่ายกกำลังที่มากกว่า 4 ($m > 4$) โดยทำการประมาณฟังก์ชันทั้งสอง ในทั้งโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ จากนั้นจึงได้ทำการประมาณสเปกตรัมของพัลส์โคไซน์ยกกำลังโดยอาศัยพหุนามแบบเบียร์นสไตน์ เพื่อนำไปสร้างเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ จากการทดลองพบว่า ที่ถี่รีตต่างๆของฟังก์ชันการประมาณให้ผลลัพธ์ในการประมาณค่าที่แตกต่างกัน ในตอนท้ายได้มีการพิสูจน์การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณที่พัฒนาในปริภูมิพหุนามฉบับนี้ โดยการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณจากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้จากพหุนามแบบเบียร์นสไตน์โดยอาศัยการจำลองการทำงานโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSPICE ซึ่งพบว่าวงจรกำเนิดสัญญาณสามารถกำเนิดสัญญาณที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการเพื่อนำไป ใช้ในระบบสื่อสารคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง กล่าวคือ มีกำลังงานส่งไม่เกินข้อจำกัดของ FCC ของประเทศสหรัฐอเมริกา

การทดลองในปริภูมิพหุนามฉบับนี้ พัฒนามาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และได้พัฒนาโดยอาศัยระเบียบวิธีที่ทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ นอกจากนั้นยังมีการพิสูจน์ความเป็นไปได้โดยอาศัยการจำลองการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ควรมีการทดลองโดยการสร้างวงจรจริง แต่เนื่องจากวงจรถูกกำเนิดสัญญาณในปริภูมิพหุนามฉบับนี้ อาศัยการทำงานในย่านความถี่สูงซึ่งจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีราคาสูง จึงทำให้การทดลองทำได้เพียงการจำลองโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 5.3 อีกครั้ง

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและหนทางการแก้ปัญหา

ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของพัลส์โคไซน์ยกกำลัง มีความยุ่งยากเป็นอย่างยิ่ง ผู้ศึกษาใช้เวลาในการค้นหาแบบจำลองที่เหมาะสมในการอธิบายผลให้มีความถูกต้อง พบว่า ในการทำการหาสเปกตรัมของพัลส์โคไซน์ยกกำลังจำเป็นต้องกระจายฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลังด้วยอนุกรมฟูเรียร์จึงสามารถเขียนฟังก์ชันของสเปกตรัมได้

นอกจากนั้น เนื่องจากฟังก์ชันโคไซน์เป็นฟังก์ชันรายคาบทำให้องค์ประกอบความถี่ของฟังก์ชันมีลักษณะคล้ายแท่งไม้ขีด (Spike) ซึ่งไม่สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรถูกได้ ผู้ศึกษาจึงได้ศึกษาแนวทางในการแก้ปัญหาโดยอาศัยการสร้างฟังก์ชันการประมาณค่าซึ่งเป็นตัวแทนขององค์ประกอบความถี่ของฟังก์ชันโคไซน์ยกกำลังด้วยพหุนามแบบเบียร์นสไตน์ และทำการพิจารณาที่ถี่รีตต่างๆของพหุนามเพื่อนำไปสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งเป็นฟังก์ชันสำคัญในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณ

5.3 แนวทางในการพัฒนาในอนาคต

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่า พัลส์ที่เสนอในปริภูมิตวินนอร์มัลนี้มี ความเหมาะสมในการใช้งานในระบบการสื่อสารคลื่นแถบความถี่กว้างยวดยิ่ง อย่างไรก็ตามในการทดสอบ เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือและถูกต้องมากยิ่งขึ้น จึงควรมีการพิสูจน์เพื่อยืนยันความเป็นไปได้ของวงจรกำเนิดสัญญาณนี้ ดังต่อไปนี้

5.3.1 การสร้างวงจรรองความถี่โดยไมโครสตริป

ในการพัฒนางจรรองความถี่สูงสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการของทฤษฎีของสายส่ง เพื่อนำไปออกแบบเป็นวงจรรองความถี่โดยไมโครสตริป ซึ่งพบเห็นได้ในการใช้งานกับการสื่อสาร ไมโครเวฟ โดยผู้ศึกษาได้เสนอวงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้โทพอโลยีแบบวงจรขั้นบันได (LC Ladder) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวกรองแบบไมโครสตริปได้อย่างสะดวก

5.3.2 การสร้างวงจรโดย CMOS

งานวิจัยในการพัฒนางจรกำเนิดสัญญาณในปัจจุบัน สามารถสร้างได้จริงโดยใช้ CMOS นั้นมีข้อดีด้วยกันหลายประการ เช่น ประหยัดพลังงานซึ่งต้องใช้ในการเลี้ยงวงจร มีขนาดเล็ก ราคา ถูก และสามารถทำงานได้ในอุณหภูมิในช่วงที่กว้าง อย่างไรก็ตามในการออกแบบวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ต้องอาศัยความชำนาญซึ่งอยู่นอกขอบเขตของผู้ศึกษา

5.4 บทส่งท้าย

การศึกษาพัลส์เป็นหัวใจสำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบการสื่อสารโดยอาศัยพัลส์ (Impluse radio) พัลส์ที่สามารถติดต่อสื่อสารได้ดีและมีประสิทธิภาพทั้งในเรื่องของการป้องกันการเกิดมัลติ- พาร์ ราคาของวงจรและการลดการรบกวนกับระบบวิทยุอื่นๆยังคงเป็นเรื่องที่ต้องได้รับการศึกษา อย่างจริงจัง ผู้ศึกษาจึงอยากให้งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสานต่อจากผู้ที่สนใจ เพื่อจะได้พัฒนาให้ระบบ การสื่อสารโดยคลื่นความถี่กว้างยวดยิ่งพัฒนามากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Dov Hazony. "Time-Limited and Band-Limited Environment: Signals and Systems," *Circuits Systems Signal Processing* 16, 2(1997): 247-270.
- [2] Parr, B.; ByungLok Cho; Wallace, K.; Zhi Ding, "A novel ultra-wideband pulse design algorithm," *Communications Letters, IEEE* , vol.7, no.5, pp.219,221, May 2003
doi: 10.1109/LCOMM.2003.812167
- [3] Wentzloff, D.D.; Blazquez, R.; Lee, F.S.; Ginsburg, B.P.; Powell, J.; Chandrakasan, A.P., "System design considerations for ultra-wideband communication," *Communications Magazine, IEEE* , vol.43, no.8, pp.114,121, Aug. 2005
- [4] Wentzloff, D.D.; Chandrakasan, A.P., "Gaussian pulse Generators for subbanded ultra-wideband transmitters," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on* , vol.54, no.4, pp.1647,1655, June 2006
- [5] Shamsa, Y.; Serdijn, W.A., "A 21pJ/pulse FCC compliant UWB pulse generator," *Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on* , vol., no., pp.497,500, May 30 2010-June 2 2010
- [6] Gunes, F.; Ramiz, R., "A new design method for the quarter-wave transformer circuits based on nonuniform sampling in the frequency domain," *Electrotechnical Conference, 1996. MELECON '96., 8th Mediterranean* , vol.1, no., pp.591,594 vol.1, 13-16 May 1996
- [7] Chutchavong, V.; Sangaroon, O.; Pirajnanchai, V.; Janchitrapongvej, K., "An IIR digital video equalizer design with the Bernstein Polynomial and generalized bilinear transformation for gain chrominance distortion," *Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference on* , vol., no., pp.2274,2279, 14-17 Oct. 2008
- [8] Lewis, T.P.; Scholtz, R.A., "An ultrawideband signal design with power spectral density constraints," *Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on* , vol.2, no., pp.1521,1525 Vol.2, 7-10 Nov. 2004
- [9] Hyunseok Kim; Dongwon Park; YoungJoong Joo, "Design of CMOS Scholtz's monocycle pulse generator," *Ultra Wideband Systems and Technologies, 2003 IEEE Conference on* , vol., no., pp.81,85, 16-19 Nov. 2003
- [10] Hongsan Sheng; Orlik, P.; Haimovich, A.M.; Cimini, L.J.; Jinyun Zhang, "On the spectral and power requirements for ultra-wideband

- transmission," *Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on* , vol.1, no., pp.738,742 vol.1, 11-15 May 2003
- [11] Weihua Gao; Venkatesan, R.; Cheng Li, "A Pulse Shape Design Method for Ultra-Wideband Communications," *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE* , vol., no., pp.2800,2805, 11-15 March 2007
- [12] Baez-Lopez, D., "The Bernstein filter-a new class of linear phase filter approximation," *Circuits and Systems, 1991., Proceedings of the 34th Midwest Symposium on* , vol., no., pp.704,707 vol.2, 14-17 May 1991