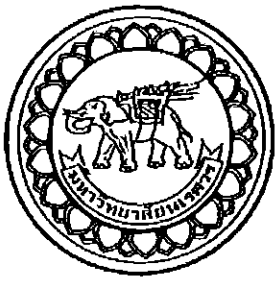


การจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK

Simulation of Digital Modulation for BPSK and QPSK

นายทวีศักดิ์ ขุนแขวง รหัส 46363206

นางสาวอมรรัตน์ สุขเจริญ รหัส 46363453

i 5081233 e.2

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ...7 ม.ค. 2550...
เลขทะเบียน...5000117...
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปร.
ท 228ก
2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2549

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	การจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK
ผู้ดำเนินโครงการ	นายทวีศักดิ์ ขุนแขวง รหัสนิสิต 46363206
	นางสาวอมรรัตน์ สุขเจริญ รหัสนิสิต 46363453
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2549

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ
(ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

หัวข้อโครงงาน	การจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK
ผู้ดำเนินโครงการ	นายทวีศักดิ์ ขุนแขวง รหัสนิสิต 46363206
	นางสาวอมรรัตน์ สุขเจริญ รหัสนิสิต 46363453
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2549

.....

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันการสื่อสารเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินชีวิต จะเห็นได้ว่าในอดีตจนถึงปัจจุบันการสื่อสารได้มีการพัฒนาตลอดเวลา ในการสื่อสารระบบแม่เหล็กไฟฟ้านี้ถือว่าเป็นระบบที่มีประโยชน์มากในการสื่อสาร เพราะการสื่อสารแบบแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ต้องใช้สายในการส่งสัญญาณ เนื่องจากใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ แต่สิ่งที่สำคัญในการสื่อสารแบบนี้ คือ ความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับตรงปลายทาง อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน

ทางผู้จัดทำได้มีความสนใจในระบบการสื่อสารแบบแม่เหล็กไฟฟ้าในส่วนของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขหรือการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) เพื่อที่จะศึกษาให้เข้าใจถึงการทำงานของระบบการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) โครงงานนี้เป็นการสร้างแบบจำลองของระบบการกล้ำสัญญาณเชิงเลขด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้การกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) โดยในส่วนของแบบจำลองนั้นจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่าง การกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ว่าการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน ซึ่งทำให้สามารถเลือกได้ว่าจะนำการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบใดมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม

Project Title	Simulation of Digital Modulation for BPSK and QPSK
Name	Mr. Thaveesak Khunkhwang ID 46363206
	Miss. Amonrat Sukcharoen ID 46363453
Project Advisor	Asst.Prof . Surachet Kanprachar, Ph.D.
Major	Electrical Engineering.
Department	Electrical and Computer Engineering.
Academic	2006

ABSTRACT

On account of the importance of communication in human beings, it can be seen that the communication has been being developed so far. It is believed that the electromagnetic communication is a useful system because it does not require the wire in transmitting the signal; it requires the air instead. The most important thing is data accuracy at destination. The researchers are interested in the system of the electromagnetic communication in a part of BPSK and QPSK (4-PSK) digital modulation in order to understand the modulation system, and can choose the use suitably.

This project is about a stimulation of signal modulation with MATLAB program by the digital modulation of BPSK and QPSK (4-PSK). There is a comparison between BPSK and QPSK (4-PSK) digital modulation in the stimulation to be analyzed which digital modulation is more effective. As a result, the best digital modulation is appropriately chosen.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงงานนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งเป็นผู้ที่คอยแนะนำให้ความรู้และคำปรึกษา ตลอดจนแนวทางในการทำโครงงานนี้เรื่อยมา และบุคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงานฉบับนี้

ทางผู้จัดทำโครงงานใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่มีส่วนร่วมในการให้คำปรึกษา ให้ข้อมูล ให้คำแนะนำ และคอยให้กำลังใจ ในการทำโครงงานนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ทางผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงงาน
นายทวีศักดิ์ ขุนแขวง
นางสาวอมรรัตน์ สุขเจริญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 งบประมาณที่ต้องใช้ 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล (Analog Signal and Digital 5

2.1.1 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก 6

2.1.2 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอล 6

2.1.3 เปรียบเทียบสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิตอล 6

2.2 การแปลงสัญญาณ 6

2.2.1 Digital to Digital 7

2.2.2 Analog to Digital 7

2.2.3 Analog to Analog 7

2.2.4 Digital to Analog 8

2.3 การมอดูเลตและการดีมอดูเลตสัญญาณ (Modulation and Demodulation) 8

2.3.1 การกล้ำสัญญาณหรือการมอดูเลต (Modulation) 8

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.2 การดีมอดูเลต (Demodulation) 17

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 การออกแบบโปรแกรม 18

3.1.1 สร้างสัญญาณข้อมูล 18

3.1.2 สร้างสัญญาญาณข้อมูลการกล้ำสัญญาณ 18

3.1.3 สร้างสัญญาณรบกวน 18

3.1.4 รวมสัญญาณข้อมูลที่ทำการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแล้วกับ สัญญาณรบกวน 19

3.1.5 การดีมอดูเลตสัญญาณ 19

3.1.6 การตรวจสอบบิตผิดพลาด 19

3.2 การออกแบบ Graphic User Interfaces (GUI) 21

3.2.1 Type of PSK 21

3.2.2 GUI of BPSK 22

3.2.3 GUI of QPSK 24

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 โปรแกรมแสดงการกล้ำสัญญาณเชิงเลข 28

4.1.1 รายละเอียดของโปรแกรมและขั้นตอนการรันโปรแกรม 28

4.1.2 ตัวอย่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลข 28

4.2 ผลของจำนวนบิตข้อมูลที่มีต่อค่า BER ในโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณ เชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK 34

4.2.1 แสดงค่า BER ใน BPSK 34

4.2.2 แสดงค่า BER ใน QPSK 35

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการ

5.1 ผลการดำเนินโครงงาน 37

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน 37

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.3 ข้อเสนอแนะ 38
เอกสารอ้างอิง 39
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 40

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3
ตารางที่ 2.1 แสดงบิตและเฟสของ BPSK 12
ตารางที่ 2.2 แสดงบิตและเฟสของ QPSK 16

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสัญญาณชนิดต่างๆ 6
รูปที่ 2.2 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog แบบ ASK 9
รูปที่ 2.3 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog แบบ FSK 9
รูปที่ 2.4 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog แบบ PSK 10
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ BPSK 13
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ BPSK เมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามา 13
รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ QPSK 16
รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ QPSK เมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามา 16
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ BPSK 20
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานในระบบ QPSK 20
รูปที่ 3.3 การสร้างปุ่ม Push Button 22
รูปที่ 3.4 Graphic User Interfaces ในการเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณเชิงเลข 22
รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างหน้าต่างของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK 23
รูปที่ 3.6 Graphic User Interfaces ในการแสดงตัวอย่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK 24
รูปที่ 3.7 แสดงการสร้างหน้าต่างของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK 25
รูปที่ 3.8 Graphic User Interfaces การแสดงตัวอย่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK 26
รูปที่ 4.1 หน้าต่างสำหรับเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณเชิงเลข 28
รูปที่ 4.2 หน้าต่าง การการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK 29
รูปที่ 4.3 หน้าต่างการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK 29
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างในการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK 30
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างในการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK 31

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในสังคมยุคปัจจุบัน สามารถรับรู้ข่าวสาร ข้อมูลและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอีกซีกโลกหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว เพราะมีระบบสื่อสารโทรคมนาคมที่มีขอบข่ายครอบคลุมส่วนต่างๆ ของโลกเกือบทั้งหมด จึงเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าระบบสื่อสารโทรคมนาคมในยุคใหม่นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้โลกก้าวเข้าสู่ยุคโลกาภิวัฒน์ดังเช่นปัจจุบัน

สัญญาณดิจิตอลนั้น ถ้าส่งผ่านสายนำสัญญาณ จะส่งในรูปสัญญาณเบสแบนด์ได้ แต่เมื่อต้องการส่งสัญญาณดิจิตอลโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นไมโครเวฟและแสงเลเซอร์ เป็นต้น ก็ต้องทำการกล้ำสัญญาณเชิงเลขเข้ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นๆ การส่งสัญญาณดิจิตอลโดยการกล้ำสัญญาณเชิงเลขเข้ากับคลื่นพาห์นั้น ปัจจุบันใช้กันอย่างกว้างขวางในข่ายสื่อสารโทรศัพท์และข่ายสื่อสารดาวเทียม ซึ่งเดิมทีเป็นระบบอนาล็อก การเปลี่ยนจากระบบอนาล็อกมาเป็นระบบดิจิตอลนั้นเป็นไปตามพัฒนาการของเทคโนโลยีทางด้านระบบสื่อสาร สืบเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางด้านดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ดั้งนั้นระบบการส่งและการรับสัญญาณ ในข่ายหลักจึงทยอยเปลี่ยนมาใช้ระบบดิจิตอลมากขึ้น

ดังนั้น จึงทำให้ทางผู้จัดทำโครงงานมีความสนใจในเรื่องของระบบการส่งและการรับสัญญาณแบบดิจิตอลโดยวิธีการกล้ำสัญญาณเชิงเลข เพื่อที่จะศึกษาให้เข้าใจในระบบการส่งสัญญาณในส่วนของการกล้ำสัญญาณเชิงเลข เพื่อที่จะนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม และเพื่อนำเสนอแนวคิดและหลักการพื้นฐานของระบบสื่อสารในส่วนของการมอดูเลตสัญญาณเชิงเลข ซึ่งเป็นหลักการที่จะถูกนำไปใช้ในระบบสื่อสารและจะเป็นฐานความรู้ที่สามารถทำให้เข้าใจการทำงานของระบบสื่อสารในส่วนของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและระบบใหม่ๆ ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต

การกล้ำสัญญาณเชิงเลขนั้นจะเป็นการนำสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการจะส่งไปเปลี่ยนแปลงข่าวสารในสัญญาณคลื่นพาห์ ซึ่งหมายถึงอาจจะเปลี่ยนแปลงขนาด เปลี่ยนแปลงความถี่ หรือเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณคลื่นพาห์ให้เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณดิจิตอลที่เข้ามาการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

สำหรับการกล้ำสัญญาณเชิงเลขที่ทางผู้จัดทำจะศึกษานั้นเป็นการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบเปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นพาห์ หรือมีชื่อเรียกย่อว่า PSK (Phase Shift Keying) โดยจะศึกษาเฉพาะการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK (Binary Phase Shift Keying) และการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK หรือ 4-PSK (Quadrature Phase Shift Keying) เท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบการทำงานของการส่งสัญญาณในส่วนของการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

2) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

3) เพื่อเปรียบระบบการทำงานระหว่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

4) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำเสนอข้อมูล เพื่อที่จะทำให้เข้าใจและเห็นระบบการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งสัญญาณในส่วนของการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

2) ศึกษาการทำงานของระบบการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

3) ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB

4) สร้างแบบจำลองการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

5) ทดสอบและเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

6) เพื่อนำความรู้ที่ได้เกี่ยวกับ การทำงานของระบบการกล้ำสัญญาณเชิงเลข ไปประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสาร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1) ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

2) ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

3) ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม MATLAB

4) เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

5) ทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

6) วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

7) ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	ปี 2548		ปี 2549												ปี 2550				
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีของการกล้ำสัญญาณเชิงเลข	←	→																	
ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)	←							→											
ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม MATLAB		←							→										
เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)			←								→								
ทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)										←							→		
วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)																	←	→	
ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม																	←	→	

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) มีความรู้ความเข้าใจในระบบการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

2) มีความรู้ความเข้าใจและทักษะในการใช้โปรแกรม MATLAB มากขึ้น

3) ได้แบบจำลองการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK)

4) มีความรู้ความเข้าใจและทักษะในการใช้โปรแกรม MATLAB ในส่วนของการทำ Graphic User Interfaces หรือ GUI

5) ได้ฝึกใช้ทักษะการเขียนโปรแกรม MATLAB มากขึ้น

6) สามารถเปรียบเทียบความแตกต่าง และประสิทธิภาพระหว่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) ได้

7) สามารถตัดสินใจเลือกการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK หรือ QPSK (4-PSK) มาใช้งานได้อย่างเหมาะสม

1.6 งบประมาณที่ต้องใช้

1) ค่าหนังสือประกอบการทำโครงงาน	1200 บาท
2) ค่าเอกสารประกอบการทำรายงาน	400 บาท
3) ค่าสำเนาเอกสาร	200 บาท
4) ค่าจัดทำรูปเล่ม	200 บาท
รวม	2000 บาท

(สองพันบาทถ้วน)

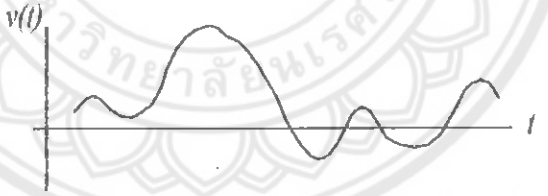
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

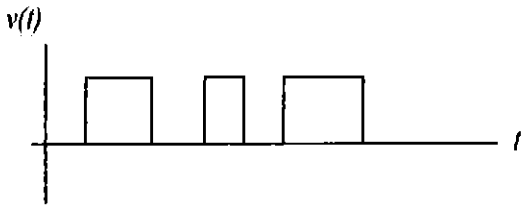
ปัจจุบันนี้ข่าวสารต่างๆ มักถูกส่งด้วยข้อมลที่เป็นรูปแบบดิจิตอล ตั้งแต่คลื่นเสียงความถี่ต่ำถึงระบบสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิตอล หรือแม้แต่การสื่อสารผ่านดาวเทียมย่านไมโครเวฟ การใช้งานทางดิจิตอลก็เพิ่มขึ้น เทคโนโลยีการกล้ำสัญญาณหรือการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอลจึงถูกคิดค้นขึ้นมาใช้งานมากขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง และทำให้ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนน้อยลง ซึ่งภายในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกล้ำสัญญาณเชิงเลขที่ใช้กันในระบบสื่อสารทั่วไป รวมถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล

2.1 หลักการพื้นฐานของสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล (Analog Signal and Digital Signal) [2]

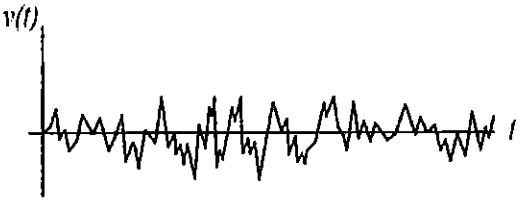
สัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางขนาด คือ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เช่น สัญญาณเสียง ดังรูปที่ 2.1 (ก) ซึ่งต่างจากสัญญาณดิจิตอลที่มีขนาดสัญญาณเป็นค่าที่แน่นอนเป็นระดับ อาจมี 2 ระดับ หรือมีจำนวนระดับเป็นจำนวนเต็มที่มีค่าจำกัดค่าหนึ่ง หรือเป็นแบบเลขไบนารี (Binary) ดังรูปที่ 2.1 (ข) ส่วนสัญญาณรบกวนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างแรนดัม คือ ไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.1 (ค)



(ก) สัญญาณอนาล็อก



(ข) สัญญาณดิจิตอล



(ค) สัญญาณรบกวน

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสัญญาณชนิดต่างๆ [6]

2.1.1 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก [4]

การส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก เป็นการส่งโดยไม่สนใจในสิ่งที่บรรจุรวมอยู่ในสัญญาณเลย สัญญาณอนาล็อกที่ทำการส่งออกไป พลังงานจะอ่อนลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการส่งสัญญาณอนาล็อกไประยะไกล ๆ จึงต้องอาศัยเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับสัญญาณ แต่ในการใช้เครื่องขยายสัญญาณจะมีการขยายสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ได้รับมาก่อนหน้านี้ให้มีขนาดสูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีวงจรกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อกรองเอาสัญญาณรบกวนออก

2.1.2 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอล [4]

การส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอล จะสนใจทุกสิ่งทุกอย่างที่บรรจุมาในสัญญาณ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สัญญาณดิจิตอลจางหายไปได้ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทบทวนสัญญาณหรือ Repeater เสียก่อน แล้วจึงส่งสัญญาณที่กู้มาใหม่ออกไป

การที่จะเลือกใช้วิธีการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อกหรือการส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอลนั้น ขึ้นอยู่กับระยะทางในการส่งข้อมูลนั้นๆ ว่ามีระยะทางใกล้หรือไกลเพียงใด ถ้าเป็นระยะทางไกลๆ ควรเลือกใช้วิธีการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก

2.1.3 เปรียบเทียบสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิตอล [4]

การเปรียบเทียบสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิตอลนั้น เพื่อที่จะทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะส่งหรือรับสัญญาณแบบใด ระหว่างแบบอนาล็อกกับแบบดิจิตอล

การมัลติเพล็กซ์ การส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง โดยผ่านตัวกลางสายส่งเดียวกัน เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เพียงแต่ต้องมีเทคนิคการส่งสัญญาณที่เรียกว่า การมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) และ การดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplex)

2.2 การแปลงสัญญาณ [6]

การส่งผ่านข้อมูลไปในสื่อที่จะเป็นรูปแบบของสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อนาล็อก และดิจิตอล ก่อนที่จะทำการส่งต้องมีการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของ 0 และ 1 หรือ Binary For

(ASCII) ข้อมูลที่เก็บในคอมพิวเตอร์จะเก็บอยู่ในรูปของ 0 และ 1 ก่อนที่จะส่งต้องมีการแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิตอลก่อนจึงจะสามารถส่งได้ หรือเรียกว่า Digital to Digital หรือ encoding digital data into a digital signal บางครั้งต้องแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล เพื่อคุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น หรือเรียกว่า Analog to Digital หรือ encoding analog data into a digital signal บางครั้งอาจมีการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งข้อมูลลงสายโทรศัพท์ เช่น โมเด็ม (Modem) หรือเรียกว่า digital to analog หรือ encoding digital data into a analog signal ในบางเวลาอาจมีการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณอนาล็อก เพราะความถี่ไม่เหมาะสมที่จะส่งไปหรือความถี่ต่ำเกินไป เช่น สัญญาณวิทยุ หรือเรียกว่า analog to analog หรือ encoding analog data into a analog data ดังนั้นการแปลงสัญญาณสามารถแบ่งออก 4 กระบวนการ คือ

1. Digital data, Digital signals
2. Analog data, Digital signals
3. Analog data, Analog signals
4. Digital data, Analog signals

2.2.1 Digital to Digital

การแปลงสัญญาณจากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณดิจิตอล เป็นการเปลี่ยนข้อมูลในระดับบิตไปเป็นสัญญาณดิจิตอล เช่น ในการส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปเครื่อง Printer ทำโดยการนำ บิตข้อมูล 1 และ 0 มาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Voltage) แล้วส่งผ่านสัญญาณในรูปของ Pulse

2.2.2 Analog to Digital

ในบางครั้งต้องแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เช่น เสียงคนที่ต้องส่งในระยะทางไกล เราจะต้องแปลงเสียงเป็นดิจิตอลเสียก่อน เช่นนี้เรียกว่า analog - to - digital เป็นการแปลงสัญญาณ อนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยผ่านวิธีการ Codec (Coder - Decoder)

ส่วนใหญ่จะใช้วิธี PCM (Pulse Code Modulation) ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.2.3 Analog to Analog

การแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณอนาล็อก ทำให้ความถี่สูงขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าเดิม เนื่องจากที่ความสูงจะเกิดสัญญาณรบกวนน้อยกว่า สามารถการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณอนาล็อก แบ่งออกเป็น 3 อย่างด้วยกัน คือ

1) การกล้ำสัญญาณเชิงขนาด (Amplitude Modulation: AM)

2) การกล้ำสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Modulation: FM)

3) การกล้ำสัญญาณเชิงเฟส (Phase Modulation: PM)

2.2.4 Digital to Analog

การแปลงสัญญาณจากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก เช่น การเปลี่ยนข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อส่งผ่านสายโทรศัพท์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกย่านความถี่เสียง เรียกว่า โมเด็ม (Modem) หรือ MOdulator-DEModulator) วิธีของการแปลงสัญญาณแบบ Digital to Analog มี 3 วิธี คือ

1) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางขนาด (Amplitude shift keying: ASK)

2) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying: FSK)

3) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying: PSK)

2.3 การมอดูเลตและการดีมอดูเลตสัญญาณ (Modulation and Demodulation) [3]

อุปกรณ์สำหรับการกล้ำสัญญาณ (Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปได้ และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออกให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูล เรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่า *การดีมอดูเลต* (Demodulation)

2.3.1 การมอดูเลตหรือการกล้ำสัญญาณ (Modulation)

ในระบบสื่อสารต้องการวงจรสำหรับสื่อสารทางความถี่ การกล้ำสัญญาณ และคืนค่าสัญญาณ การกล้ำสัญญาณ คือการแปลงเอาสัญญาณพาห์ซึ่งเป็นความถี่สูง ไปใส่ไว้ในสัญญาณข่าวสารที่มีความถี่ต่ำกว่าเหตุที่นำสัญญาณข่าวสารไปไว้บนความถี่สูง คือ ในระบบวิทยุความถี่สูงจะสามารถเผยแพร่กระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าความถี่ต่ำ รวมทั้งยังสามารถรับส่งได้ด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า และยังมี Bandwidth ที่กว้าง สามารถมัลติเพล็กซ์แบ่งช่องสัญญาณได้หลายช่อง

ตัวอย่างการใช้งานเช่น ส่วนประกอบของสัญญาณโทรทัศน์สีที่ใช้ในอเมริกา หรือที่เรียกว่า ระบบ NTSC (National Television Systems Committee)

เทคนิคการแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกมี 3 วิธี คือ

1) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางขนาด (Amplitude shift keying: ASK)

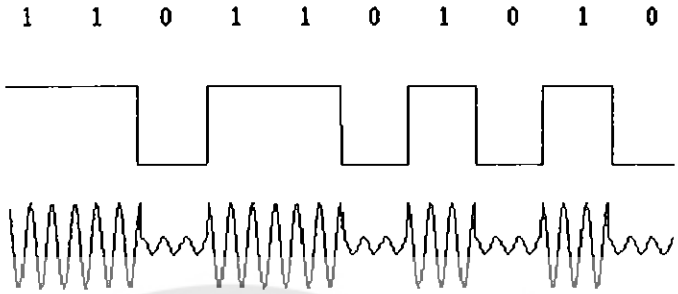
2) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying: FSK)

3) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying: PSK)

2.3.1.1 การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางขนาด (Amplitude-Shift Keying หรือ ASK)

หลักการของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางขนาด คือ ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้น จะคงที่ ลักษณะของสัญญาณกล้ำ

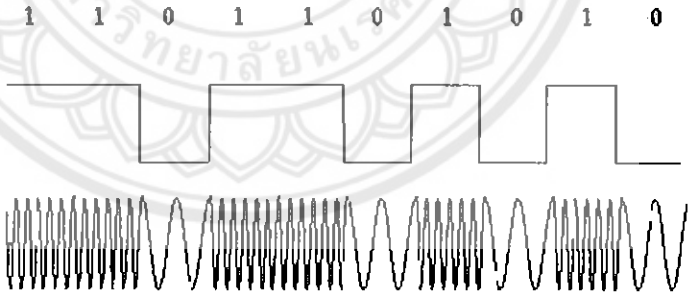
สัญญาณ เมื่อค่าของบิตของสัญญาณดิจิตอลมีค่าเป็น "1" ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น "0" ขนาดของคลื่นพาห์จะลดต่ำลงกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางขนาด มักไม่ได้รับความนิยม เพราะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนได้ง่าย



รูปที่ 2.2 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog แบบ ASK [4]

2.3.1.2 การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางความถี่ (Frequency-Shift Keying หรือ FSK)

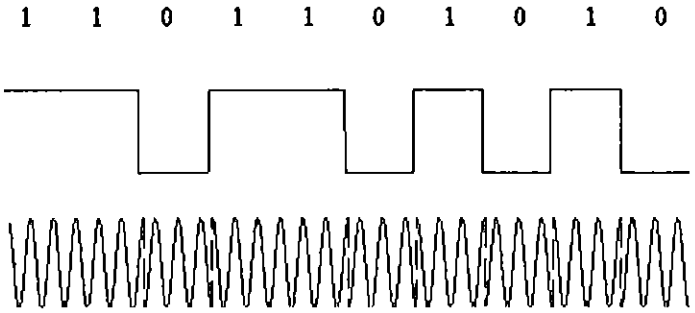
หลักการของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางความถี่ คือ ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลง ที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์ นั่นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น "1" ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น "0" ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog แบบ FSK [4]

2.3.1.3 การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส (Phase-Shift Keying หรือ PSK) [1]

หลักการของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่จะเปลี่ยนคือเฟสของสัญญาณ กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก "1" ไปเป็น "0" หรือ เปลี่ยนจากบิต "0" ไปเป็นบิต "1" เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแปลงสัญญาณ Digital to Analog แบบ PSK [4]

หลักการของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส ในกรณีทั่วไป **คือ การส่งสัญญาณของแต่ละช่วงคาบเวลา จะมีรูปแบบในการส่งสัญญาณตั้งแต่** 2, 4, 8, ..., M **รูปแบบ นั่นคือ** $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_m(t)$ ในการแทนข้อมูลดิจิตอลสัญญาณแต่ละตัวมีขนาดและความถี่เท่ากันหมด แต่จะมีเฟสต่างกัน โดยสัญญาณที่ใช้จะมีเฟสต่างกันไปทีละ $\frac{2\pi}{M}$ องศา

เขียนเป็นสมการทั่วไปได้เป็น [1]

$$s_i = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}}\cos(2\pi f_c t + \frac{2\pi(i+1)}{M}) \qquad (2.1)$$

$i = 1, 2, \ldots, M$

E_s = พลังงานของสัญญาณต่อหนึ่งสัญลักษณ์ที่ส่งออกไปในช่วงเวลา T_s วินาที

f_c = ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์

เมื่อเราพิจารณาสัญญาณทั้ง M ตัวเราสามารถเลือกฟังก์ชันเบซิสได้เป็น 2 ตัว คือ

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}}\cos(2\pi f_c t) \qquad 0 \le t < T_s \qquad (2.2)$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}}\sin(2\pi f_c t) \qquad 0 \le t < T_s \qquad (2.3)$$

เมื่อคำนวณสัมประสิทธิ์การคูณของฟังก์ชันเบซิสของสัญญาณ $s_i(t)$ และนำสัญญาณแต่ละตัวมาเขียนในรูปของเวกเตอร์จะได้

$$s_i = \begin{bmatrix} \sqrt{E_s}\cos\dfrac{2\pi(i+1)}{M} \\ \sqrt{E_s}\sin\dfrac{2\pi(i+1)}{M} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

BPSK (Binary Phase Shift Keying) [1]

ใช้สัญญาณ 2 รูปแบบ ได้แก่ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ ในการแทนข้อมูลบิต 1 และ 0

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t) \quad (2.5)$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t + \pi) \quad (2.6)$$

$$= -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t)$$

E_b เป็นพลังงานของสัญญาณในหนึ่งบิต และ $0 \le t < T_s$ คือคาบของการส่งหนึ่งบิต ซึ่งมักจะกำหนดให้มีค่าเป็นจำนวนเท่าที่ลงตัวของคาบสัญญาณคลื่นพาห์ นั่นคือ $T_b = mT_c$ โดย m เป็นค่าจำนวนเต็มบวก

$$E_b = \int_0^{T_b} s^2(t)dt \quad (2.7)$$

$$= \int_0^{T_b} \frac{2E_b}{T_b}\cos^2(2\pi f_c t)dt$$

$$= E_b$$

เมื่อนำสัญญาณ $s_1(t)$ และ $s_2(t)$ มาหาฟังก์ชันเบซิสจะพบว่ามีฟังก์ชั่นเบซิสเพียงตัวเดียว คือ

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}}\cos(2\pi f_c t) \qquad 0 \le t < T_s \quad (2.8)$$

และสัญญาณทั้งสองตัวสามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันเบซิสได้เป็น

$$s_i(t) = \sqrt{E_b}\,\phi_1(t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.9}$$

และ

$$s_2(t) = \sqrt{E_b}\,\phi_1(t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.10}$$

สัมประสิทธิ์การคูณ s_{11} และ s_{21} เป็น

$$s_{11}(t) = \int_0^{T_b} s_1(t)\phi_1(t)dt \tag{2.11}$$

$$= \sqrt{E_b}$$

$$s_{21}(t) = \int_0^{T_b} s_2(t)\phi_1(t)dt \tag{2.12}$$

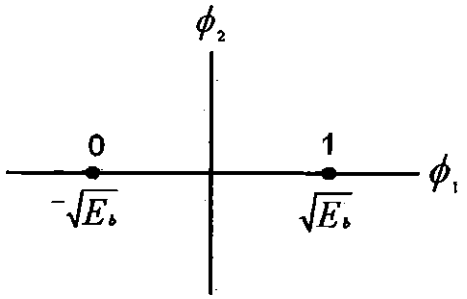
$$= -\sqrt{E_b}$$

ตารางที่ 2.1 แสดงบิตและเฟสของ BPSK [5]

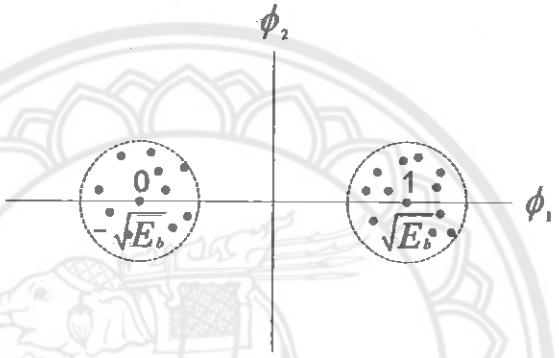
Bit	Phase
0	0
1	180

Bits

จากสมการสมการที่ (2.11) ถึง (2.12) มาเขียนบนระบบแกน ϕ_1 และ ϕ_2 จะมีลักษณะดังรูปที่ $\sqrt{E_b}$ 2.5 และ คือจุดในการตัดสินใจว่าจะเป็นบิต 0 1 ในขณะที่ไม่มีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ BPSK [5]



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ BPSK เมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามา

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นระยะห่างระหว่างสัญญาณของ BPSK $\sqrt{E_b}$ คือจุดที่ใช้ในการตัดสินว่าเป็นบิต 0 หรือ 1 ส่วนในรูป 2.6 มีสัญญาณรบกวนเข้ามาทำให้ขนาดและเฟสไม่คงที่ และเมื่อขนาดของวงกลมในภาพขยายใหญ่มากขึ้น จะทำให้โอกาสในการตัดสินบิต ว่าเป็นบิต 0 หรือว่าบิต 1 ผิดพลาดยากยิ่งขึ้น

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) [1]

ข้อมูลดิจิตอลแบบ QPSK นั้นจะได้รับการพิจารณาครั้งละ 2 บิตและจะมีสัญญาณเพื่อแทนข้อมูลที่ต่างกันถึง 4 รูปแบบ เพื่อแทนข้อมูลดิจิตอลที่ต่างกัน 4 แบบ คือ 00 01 10 และ 11 สมการ คือ

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}}\cos(2\pi f_c t) \tag{2.13}$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}}\cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}) \tag{2.14}$$

$$= \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \sin(2\pi f_c t)$$

$$s_3(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos(2\pi f_c t + \pi) \tag{2.15}$$

$$= -\sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos(2\pi f_c t)$$

$$s_4(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{2}) \tag{2.16}$$

$$= -\sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \sin(2\pi f_c t)$$

เมื่อพิจารณาสัญญาณทั้ง 4 ตัว ฟังก์ชันเบซิสจะมีเพียง 2 ตัว คือ

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.17}$$

และ

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.18}$$

เขียนสมการทั้ง 4 รูปแบบใหม่ในฟังก์ชันเบซิสได้เป็น

$$s_1(t) = \sqrt{E_s}\,\phi_1(t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.19}$$

$$s_2(t) = \sqrt{E_s}\,\phi_2(t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.20}$$

$$s_3(t) = -\sqrt{E_s}\,\phi_1(t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.21}$$

$$s_4(t) = -\sqrt{E_s}\,\phi_2(t) \qquad 0 \le t < T_S \tag{2.22}$$

โดยที่สัมประสิทธิ์การคูณ s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}, s_{31}, s_{32}, s_{41} และ s_{42} หาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$s_{11} = \sqrt{E_s} \tag{2.23}$$

$$s_{12} = 0 \tag{2.24}$$

$$s_{21} = 0 \tag{2.25}$$

$$s_{22} = \sqrt{E_s} \tag{2.26}$$

$$s_{31} = -\sqrt{E_s} \tag{2.27}$$

$$s_{32} = 0 \tag{2.28}$$

$$s_{41} = 0 \tag{2.29}$$

$$s_{42} = -\sqrt{E_s} \tag{2.30}$$

สัญญาณ $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$ และ $s_4(t)$ เขียนในรูปของเวกเตอร์ได้

$$s_1 = \begin{bmatrix} \sqrt{E_s} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.31}$$

$$s_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{E_s} \end{bmatrix} \tag{2.32}$$

$$s_3 = \begin{bmatrix} -\sqrt{E_s} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.33}$$

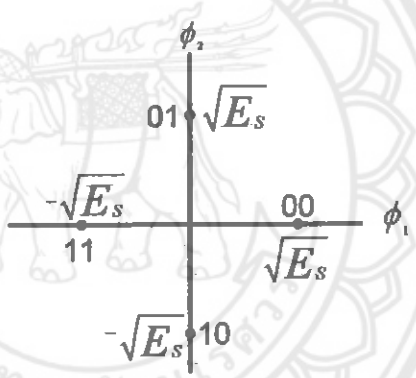
$$s_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ -\sqrt{E_s} \end{bmatrix} \tag{2.34}$$

ตารางที่ 2.2 แสดงบิตและเฟสของ QPSK [5]

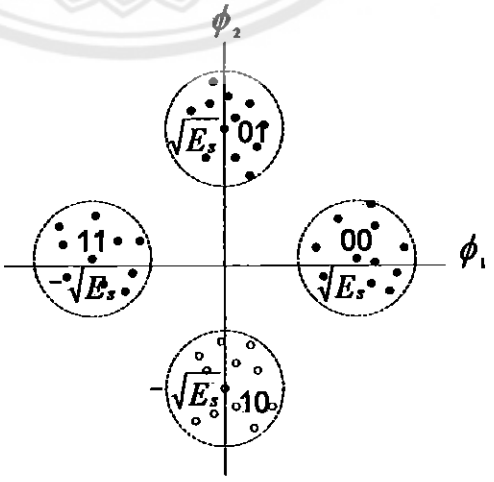
Dibit	Phase
00	0
01	90
10	180
11	270

Dibit
(2 bits)

จากสมการเวกเตอร์ สมการที่ (2.31) ถึง (2.34) มาเขียนบนระบบแกน ϕ_1 และ ϕ_2 จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 และ $\sqrt{E_s}$ คือจุดในการตัดสินใจว่าจะเป็นบิต 00 01 10 11 ในขณะที่ไม่มีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ QPSK



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงระยะห่างระหว่างสัญญาณของ QPSK เมื่อมี เข้ามาสัญญาณรบกวนเข้ามา

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นระยะห่างระหว่างสัญญาณของ QPSK $\sqrt{E_s}$ คือจุดที่ใช้ในการตัดสินว่าเป็นบิต 00 01 10 หรือ 11 ส่วนในรูป 2.9 มีสัญญาณรบกวนเข้ามาทำให้ขนาดและเฟสของสัญญาณไม่คงที่ และเมื่อขนาดของวงกลมในภาพขยายใหญ่มากขึ้น จะทำให้โอกาสในการตัดสินบิต ว่าเป็นบิต 00 01 10 หรือ 11 ผิดพลาดยากยิ่งขึ้น

2.3.2 การดีมอดูเลต (Demodulation) [3]

การดีมอดูเลต คือ การแยกเอาสัญญาณพาห์ที่มีความถี่สูงออก ให้เหลือแต่สัญญาณข่าวสาร ผู้ที่ริเริ่มคิดค้นระบบวิทยุจะใช้วิธีการแยกสัญญาณข่าวสารออกจากสัญญาณพาห์ที่เรียกว่าการดีเทคเตอร์ (Detector) ซึ่งในปัจจุบัน การดีเทคเตอร์ และดีมอดูเลเตอร์จะมีความหมายใกล้เคียง

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ BPSK อัตราการส่งข้อมูลจะไม่สูงแต่ข้อมูลที่ได้ก็จะมีค่า BER ต่ำ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องมาก ส่วนในกรณีของ QPSK จะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า แต่ BER ที่ได้ก็จะสูงขึ้นด้วย นั่นคือความถูกต้องที่ได้ก็จะลดต่ำลงมานั่นเอง

วิธีการที่จะเลือกใช้ การมอดดูเลตนั้น ต้องดูความต้องการว่าต้องการความถูกต้องหรือความรวดเร็ว หรือต้องการทั้งสองอย่าง จากสูตรของ BER สามารถปรับค่าของ E_b ได้ ซึ่งสามารถปรับค่าของ พลังงาน (E_s) และปรับค่าของคาบเวลา (T) เพื่อให้ค่า E_b นี้มีค่าสูงขึ้น เพื่อที่จะทำให้ค่าของ BER ต่ำลงส่วนค่า N_0 เป็นสัญญาณรบกวนไม่สามารถปรับค่าได้ เพราะไม่สามารถรู้ได้ว่าสัญญาณรบกวนเป็นอะไร

จากบทนี้ได้ทราบเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกล้ำสัญญาณดิจิตอล และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกล้ำสัญญาณดิจิตอล คือ การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางขนาด การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางความถี่ และการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส

ในบทต่อไปจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงงาน โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อออกแบบแบบจำลองการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK และขั้นตอนและวิธีการออกแบบ GUI ของการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

การที่ได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอนาลอก สัญญาณดิจิตอล และการกล้ำสัญญาณมาแล้วในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการการทำงานของการกล้ำสัญญาณและการออกแบบการเขียนโปรแกรมแบบจำลองการทำงานของกล้ำสัญญาณแบบ BPSK และQPSK (4-PSK) รวมไปถึงการสร้าง Graphic User Interfaces (GUI) เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะมีวิธีการดำเนินงานตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบโปรแกรม

3.1.1 สร้างสัญญาณข้อมูล

ก่อนอื่นก็จะต้องทำการสร้างตัวสัญญาณขึ้นมาก่อน เพื่อนำสัญญาณข้อมูลมาทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลและการดีมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) ก่อนที่จะทำการส่งสัญญาณเข้าไปในระบบสื่อสาร โดยการกำหนดค่าต่างๆ ลงในโปรแกรม MATLAB ที่จะทำการออกแบบการกล้ำสัญญาณดิจิตอลและการดีมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) ซึ่งได้แก่ จำนวนบิตที่ต้องการจะส่ง ขนาดของสัญญาณข้อมูล จำนวนของสัญญาณรบกวน สัญญาณพาหะ (Carrier Frequency) และ Bit Period

3.1.2 สร้างสัญญาณมอดูเลตชัน

เมื่อสร้างสัญญาณข้อมูลเสร็จแล้วจะนำสัญญาณข้อมูลที่ได้ไปทำการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK และ QPSK โดยที่การกล้ำสัญญาณแบบ BPSK จะนำสัญญาณข้อมูลที่สร้างขึ้น มาพิจารณาสัญญาณข้อมูลครั้งละ 1 บิต ซึ่งบิตที่ต้องการส่งจะมี 2 กรณี คือ บิต 0 และบิต 1 โดยจะส่งแทนด้วย $\text{Amplitude}\times\cos(2\pi f_c t)$ และ $-\text{Amplitude}\times\cos(2\pi f_c t)$ ตามลำดับ

ส่วนการกล้ำสัญญาณแบบ QPSK จะพิจารณาสัญญาณข้อมูลครั้งละ 2 บิต ซึ่งจะมีทั้งหมด 4กรณี คือ 00 01 10 11 จะทำการส่งโดยแทนค่าด้วย $\text{Amplitude}\times\cos(2\pi f_c t)$, $\text{Amplitude}\times\sin(2\pi f_c t)$, $-\text{Amplitude}\times\cos(2\pi f_c t)$ และ $-\text{Amplitude}\times\cos(2\pi f_c t)$ ตามลำดับ

3.1.3 สร้างสัญญาณรบกวน

ทำการสร้างสัญญาณรบกวน โดยใช้วิธีการสุ่มเช่นเดียวกันกับการสร้างสัญญาณข้อมูลของการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK และ QPSK ที่ใช้ในการส่ง การเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในข้อมูลที่ทำการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK และ QPSK เพื่อใช้เป็นข้อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK และ QPSK

3.1.4 รวมสัญญาณข้อมูลที่ทำการกล้ำสัญญาณแล้วกับสัญญาณรบกวน

นำสัญญาณข้อมูลที่ทำการกล้ำสัญญาณแล้วมารวมกับสัญญาณรบกวนที่ได้สร้างขึ้นมา ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่จะกำหนดสัญญาณรบกวนให้อยู่ในกระบวนการส่งสัญญาณข้อมูลของระบบสื่อสาร การที่กำหนดให้มีสัญญาณรบกวนเข้ามานั้น เพื่อที่จะได้เปรียบเทียบค่าบิตผิดพลาดของการกล้ำสัญญาณดิจิตอลระหว่างการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ การกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK ที่เกิดขึ้นจากผลของสัญญาณรบกวน

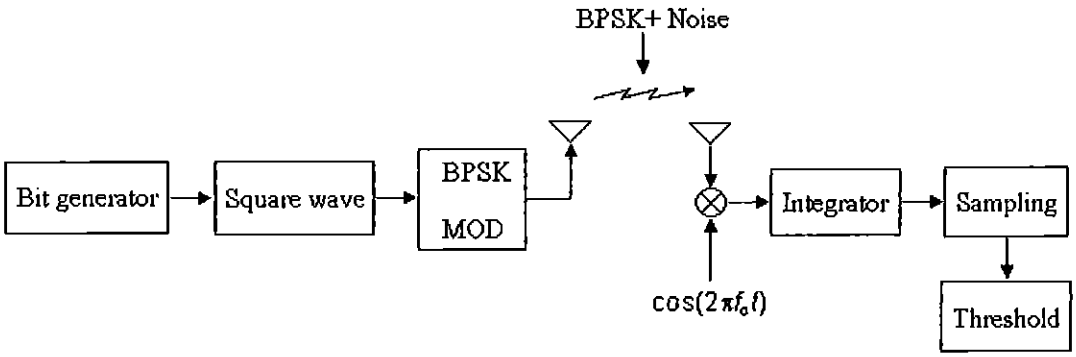
3.1.5 การดีมอดูเลตสัญญาณ

การดีมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK จะนำสัญญาณที่ทำการกล้ำสัญญาณแล้ว มาคูณเข้ากับค่า $\cos(2\pi f_c t)$ แล้วนำไปอินทิเกรต จากนั้นนำค่าที่ได้ไปบวกเข้ากับสัญญาณรบกวน แล้วจึงนำไป เปรียบเทียบกับค่า Threshold เพื่อใช้ในการตัดสินบิตข้อมูลว่าเป็นบิต 0 หรือ 1

สำหรับการดีมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK จะนำสัญญาณที่จะทำการกล้ำสัญญาณแล้ว แยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งนำมาคูณเข้ากับ $\cos(2\pi f_c t)$ และส่วนที่สองนำมาคูณเข้ากับ $\sin(2\pi f_c t)$ จากนั้นนำทั้งสองส่วนไปอินทิเกรต แล้วนำค่าที่ได้จากการอินทิเกตทั้งสองค่าบวกเพิ่มกับค่าสัญญาณรบกวน แล้วจึงนำค่านั้นมาเปรียบเทียบมุมโดยใช้ค่า arctan (y/x) โดยที่ค่า x คือ ค่าที่ได้ออกมาจากสัญญาณส่วนที่หนึ่งที่บวกกับค่าสัญญาณรบกวนแล้ว ส่วนค่า y คือ ค่าที่ได้ออกมาจากสัญญาณส่วนที่สองที่บวกกับค่าสัญญาณรบกวนแล้ว เมื่อได้ค่ามุมมาจะนำไปเปรียบเทียบ โดยถ้าค่ามุมที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง $-\frac{\pi}{4}$ กับ $\frac{\pi}{4}$ ก็จะให้มีค่าเท่ากับบิต 00 และถ้ามุมอยู่ระหว่าง $\frac{\pi}{4}$ กับ $\frac{3\pi}{4}$ ก็จะให้มีค่าเท่ากับบิต 01 ถ้าได้ค่าที่อยู่ระหว่าง $\frac{3\pi}{4}$ กับ $\frac{5\pi}{4}$ ก็จะให้มีค่าเท่ากับบิต 10 และถ้าอยู่ระหว่าง $\frac{5\pi}{4}$ กับ $\frac{7\pi}{4}$ ก็จะให้มีค่าเท่ากับบิต 11

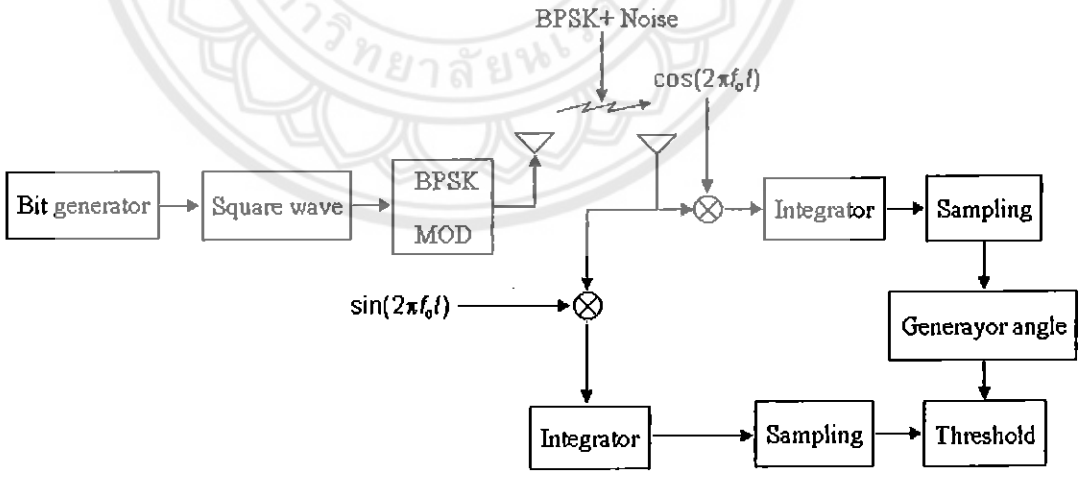
3.1.6 การตรวจสอบบิตผิดพลาด

การตรวจสอบบิตผิดพลาดจะทำเมื่อทำการดีมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแล้ว และจะนำค่าที่ได้จากการกล้ำสัญญาณดิจิตอล ไปเปรียบเทียบกับค่าบิตเริ่มต้นว่าเกิดผิดพลาดหรือไม่ ถ้ามีการเกิดบิตผิดพลาดจะเกิดขึ้นกี่บิต



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK

จากรูป 3.1 Bit generator ทำหน้าที่สุ่มบิตข้อมูลแล้วส่งไปให้ Square wave ทำการสร้างเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม แล้วจึงนำสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมนี้ทำการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ใน BPSK MOD เมื่อได้สัญญาณ BPSK แล้วนำสัญญาณ BPSK ส่งไปในอากาศ ทำให้มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในสัญญาณ BPSK ที่ส่งออกไป เมื่อมาถึงตัวรับสัญญาณก็จะนำสัญญาณ BPSK ที่มีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วยไปคูณด้วย $\cos(2\pi f_c t)$ เพื่อทำการแยกสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนออกจากกัน หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ทำการแยกสัญญาณรบกวนออกแล้ว ไปทำการอินทิเกรต เมื่ออินทิเกรตแล้วจะทำการเลือกจุด Sampling ที่จะนำไปผ่าน Threshold เพื่อตัดสินใจว่าข้อมูลที่เข้ามานั้นเป็นบิต 0 หรือบิต 1



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานของการกล้ำสัญญาณแบบ QPSK

จากรูป 3.2 Bit generator ทำหน้าที่สุ่มบิตข้อมูลแล้วส่งไปให้ Square wave เพื่อทำการสร้างเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม แล้วนำสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมนี้ทำการกล้ำสัญญาณแบบ QPSK ใน QPSK MOD เมื่อได้สัญญาณ QPSK แล้วจะนำส่งไปในอากาศทำให้มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในสัญญาณ สัญญาณ QPSK ที่ส่งไป เมื่อมาถึงตัวรับสัญญาณจะนำสัญญาณ QPSK ที่มีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย มาแยกเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งนำไปคูณด้วย $\cos(2\pi f_c t)$ และส่วนที่สองนำมาคูณเข้ากับ $\sin(2\pi f_c t)$ จากนั้นนำทั้งสองส่วนไปอินทิเกรต เพื่อทำการแยกสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนออกจากกัน หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ทำการแยกสัญญาณรบกวนออกแล้ว จะทำการเลือกจุด Sampling ที่จะนำไป Generator angle เพื่อทำการสร้างมุม แล้วจึงนำมุมที่สร้างขึ้นมาไปผ่าน Threshold เพื่อตัดสินใจว่าข้อมูลที่เข้ามานั้น เป็นบิต 00 01 10 หรือบิต 11

3.2 การออกแบบ Graphic User Interfaces (GUI)

3.2.1 Type of PSK

ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างหน้าต่างในการเลือกชนิดของการกล้ำสัญญาณดิจิตอล ระหว่างการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK กับการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK

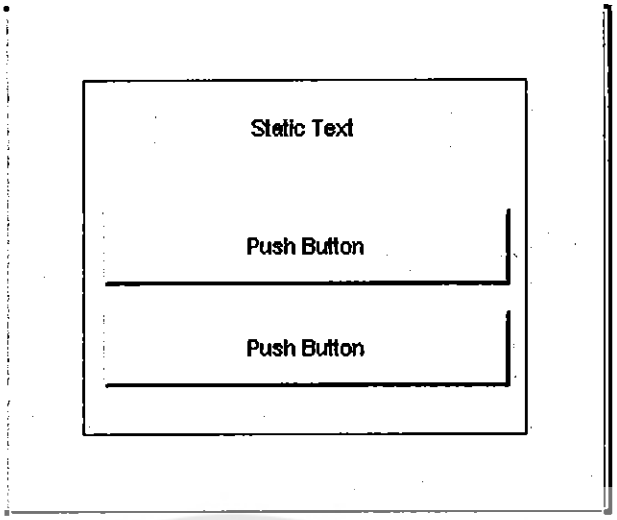
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทำการสร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้ในการเลือกชนิดของการกล้ำสัญญาณ ซึ่งได้แก่ การกล้ำสัญญาณสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 2 ปุ่ม

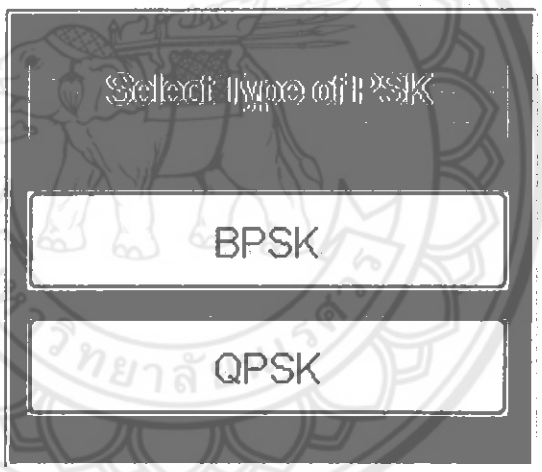
2. การสร้างปุ่ม Push Button ทำได้โดยเริ่มจากการเปิดหน้าต่างของ GUI ในโปรแกรม MATLAB แล้วเลือกไปที่การสร้าง GUI ต่อจากนั้นเลือกฟังก์ชันเพื่อทำการสร้างปุ่ม ในที่นี้จะทำการสร้างปุ่ม 2 ปุ่ม เพื่อใช้เลือกระหว่างการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK กับการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3

3. เมื่อทำการสร้างปุ่มเพื่อเอาไว้สำหรับเลือกการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK กับการกล้ำสัญญาณสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK แล้ว ต่อจากนั้นจะเป็นการตั้งชื่อปุ่มทั้งสองปุ่ม ซึ่งก็คือปุ่มของ BPSK กับปุ่มของ QPSK นอกจากจะตั้งชื่อของปุ่มแล้วยังต้องมีการตั้งชื่อว่าปุ่มทั้งสองปุ่มนี้มีไว้เพื่อทำอะไรด้วย ซึ่งในที่นี้ตั้งชื่อไว้ว่า Select Type of PSK ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

4. ในรูปที่ 3.4 ยังได้แสดง Graphic User Interfaces ในการเลือกชนิดของการกล้ำสัญญาณดิจิตอลที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว ซึ่งเมื่อคลิกเลือกที่ปุ่ม BPSK ก็จะมีหน้าต่างของการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ขึ้นมา แล้วหน้าต่าง Select Type ก็จะถูกปิดไปเองโดยอัตโนมัติ และถ้าคลิกเลือกที่ปุ่ม QPSK ก็จะมีหน้าต่างการกล้ำสัญญาณแบบ QPSK ขึ้นมา และหน้าต่าง Select Type จะถูกปิดไปโดยอัตโนมัติเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.3 การสร้างปุ่ม Push Button



รูปที่ 3.4 Graphic User Interfaces ในการเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณดิจิตอล

3.2.2 GUI of BPSK

ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างหน้าต่างของการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของจำนวนบิตที่ต้องการส่ง
2. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของขนาดของสัญญาณ BPSK
3. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของความถี่สัญญาณคลื่นพาห์
4. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของคาบเวลาสำหรับข้อมูล 1 บิต

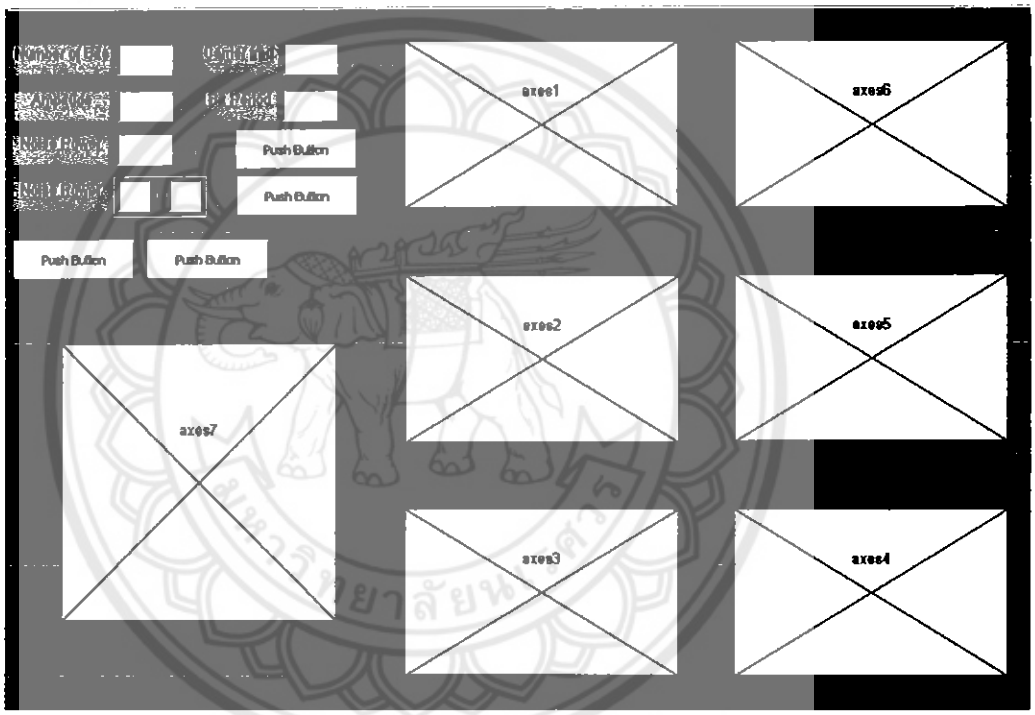
5. ทำการสร้างพื้นที่สำหรับวาดกราฟ ซึ่งมีทั้งหมด 7 กราฟ

6. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งเริ่มต้นการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK

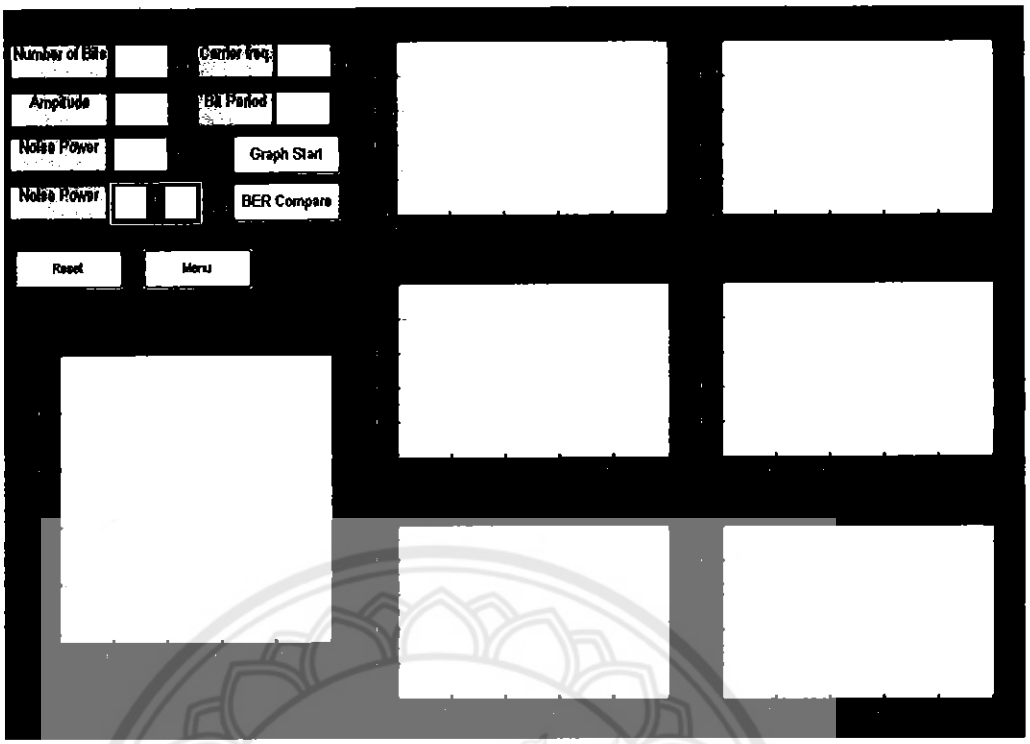
7. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งเปรียบเทียบค่า บิตผิดพลาดของตัวโปรแกรมกับสูตรการประมาณค่า

8. เมื่อทำการสร้างปุ่ม สร้างพื้นที่วาดกราฟ และสร้างช่องรับข้อมูลต่างๆ จนครบแล้วจะทำการตั้งชื่อให้กับปุ่มและช่องรับสัญญาณนั้นๆ ส่วนพื้นที่ที่ใช้วาดกราฟไม่จำเป็นต้องตั้งชื่อก็ได้

9. แล้วลองทดสอบรันโปรแกรม เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้น ถ้าถูกต้องแล้วจะได้ GUI ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างหน้าต่างของการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK



รูปที่ 3.6 Graphic User Interfaces ในการแสดงตัวอย่างการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่ามี 4 ปุ่มที่ให้เลือก คือ

1. Graph Start เมื่อคลิกที่ปุ่มนี้โปรแกรมจะทำการนำค่าต่างๆ ในช่องรับข้อมูลซึ่งในคำสั่งนี้จะนำค่า Noise Power ที่มีค่าเดียวมาใช้ในการทำกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK แล้ววาดกราฟออกมาทางด้านขวาทั้ง 6 กราฟ

2. BER Compare คือปุ่มที่ใช้ในการนำค่า BER มาใช้ในการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK ของโปรแกรม กับการประมาณค่า Q ฟังก์ชัน มาวาดกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

3. Reset ใช้ในการรีเซตค่าในโปแกรม และให้ลบภาพออกจากกราฟทั้งหมด

4. Menu เป็นปุ่มที่ใช้ในการนำกลับไปสู่หน้าต่างการเลือกชนิดของการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลระหว่างการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK กับการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอล QPSKแล้วจะทำการปิดหน้าต่าง BPSK นี้ไป

3.2.3 GUI of QPSK

ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างหน้าต่างในการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK ซึ่งการทำนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการทำการกล้ำสัญญาณของสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK เพียงแต่ว่า แบบ QPSK นั้นจะมีรูปกราฟมากกว่า 1 รูป ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของค่าจำนวนบิตที่ต้องการส่ง

2. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของขนาดของสัญญาณ BPSK

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

ว 508123 ค.2
5000117
ฟร.
ว1228
2549

3. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของความถี่สัญญาณคลื่นพาห์

4. ทำการสร้างช่องสำหรับรับข้อมูลของคาบเวลาสำหรับข้อมูล 1 บิต

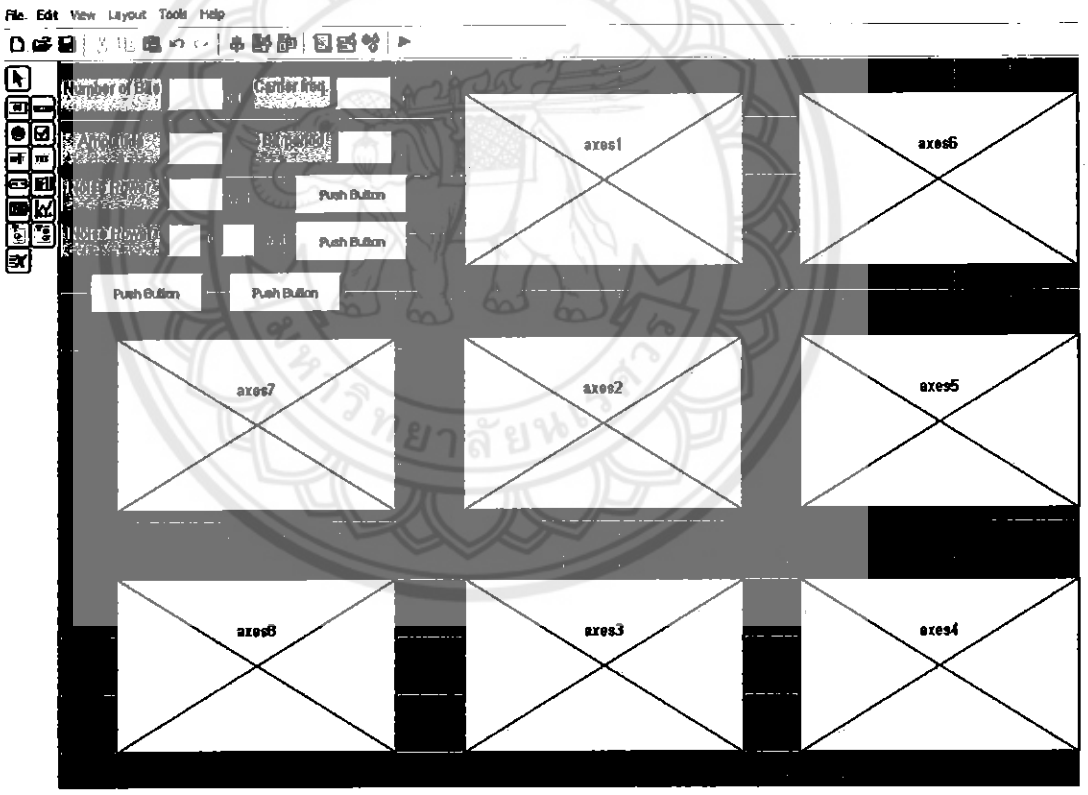
5. ทำการสร้างพื้นที่สำหรับวาดกราฟ ซึ่งมีทั้งหมด 8 กราฟ

6. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งเริ่มต้นการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK

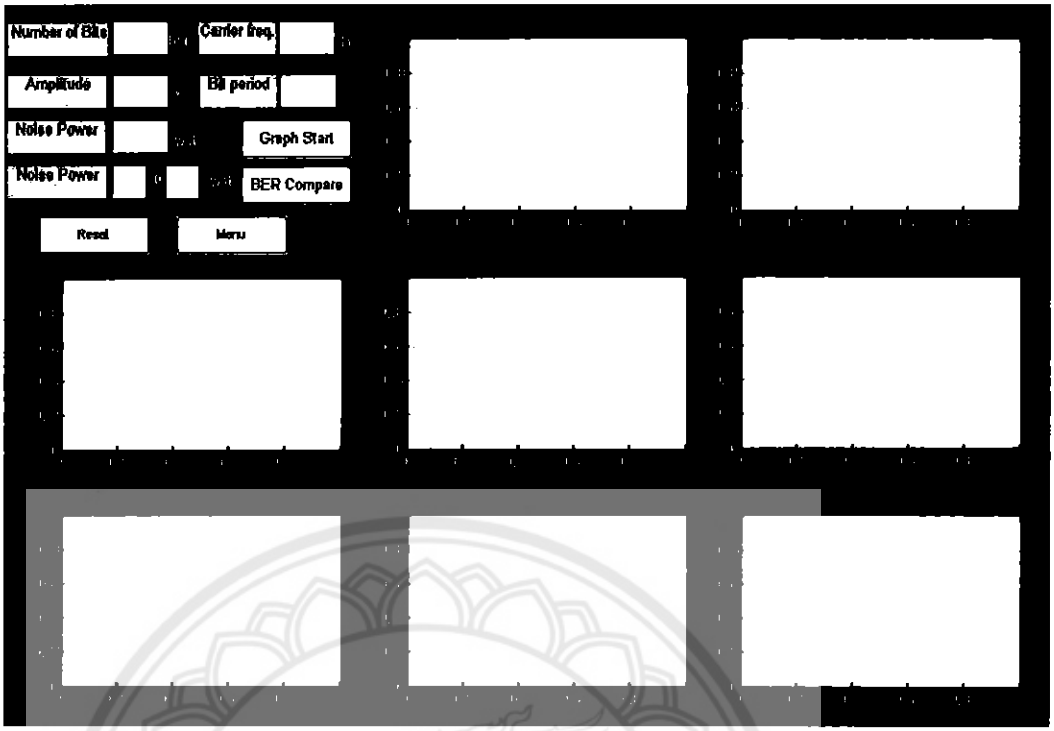
7. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งเปรียบเทียบค่า บิตผิดพลาดของตัวโปรแกรม กับสูตรการประมาณค่า

8. เมื่อทำการสร้างปุ่ม สร้างพื้นที่วาดกราฟ และสร้างช่องรับข้อมูลต่างๆ จนครบแล้ว จะทำการตั้งชื่อให้กับปุ่ม และช่องรับสัญญาณนั้นๆ ส่วนพื้นที่ที่ใช้วาดกราฟไม่จำเป็นต้องตั้งชื่อก็ได้

9. แล้วลองทดสอบรันโปรแกรม เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้น ถ้าถูกต้องแล้วจะได้ GUI ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการสร้างหน้าต่างของการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK



รูปที่ 3.8 Graphic User Interfaces การแสดงตัวอย่างการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่ามี 4 ปุ่มให้เลือก คือ

1. Graph Start เมื่อคลิกที่ปุ่มนี้โปรแกรมจะทำการนำค่าต่างๆ ในช่องรับข้อมูลซึ่งในคำสั่งนี้จะนำค่า Noise Power ที่มีค่าเดียวมาใช้ในการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK แล้ววาดกราฟออกมาทางด้านขวาทั้ง 7 กราฟ

2. BER Compare คือปุ่มที่ใช้ในการนำค่า BER มาใช้ในการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK ของโปรแกรม กับการประมาณค่า Q ฟังก์ชัน มาวาดกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

3. Reset ใช้ในการรีเซตค่าในโปแกรม และให้ลบภาพออกจากกราฟทั้งหมด

4. Menu เป็นปุ่มที่ใช้ในการนำกลับไปสู่หน้าต่างการเลือกชนิดของการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลระหว่างการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK กับการทำการกล้ำสัญญาณดิจิตอล QPSKแล้วจะทำการปิดหน้าต่าง QPSK นี้ไป

ในบทนี้ ได้แสดงขั้นตอนและหลักการทำงานของโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลองการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK และได้อธิบายถึงการสร้าง Graphic User Interfaces เพื่อใช้ในการนำเสนอการทำงานของโปรแกรม ในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

1. หน้าต่างที่ใช้แสดงการเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณดิจิตอล

2. หน้าต่างที่ใช้แสดงการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK

3. หน้าต่างที่ใช้แสดงการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ QPSK

ในบทต่อไปจะแสดงผลการทดลองโปรแกรมแบบจำลองการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK ที่ได้ออกแบบไว้และการคำนวณการแสดงค่าต่างๆ ที่ได้สร้างไว้แล้วในบทนี้ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิ์ภาพการทำงานระหว่างการกล้ำสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK และ QPSK และผลของจำนวนบิตข้อมูลที่มีต่อค่า BER ในโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะทำการแสดงผลการทดลองโดยการใส่จำนวนบิตข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมการจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลข โดยใช้การกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด Phase shift keying และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพบิตผิดพลาด ในการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK โดยที่จะแสดงผลการทดลองนี้ในรูปแบบของ Graphic User Interfaces

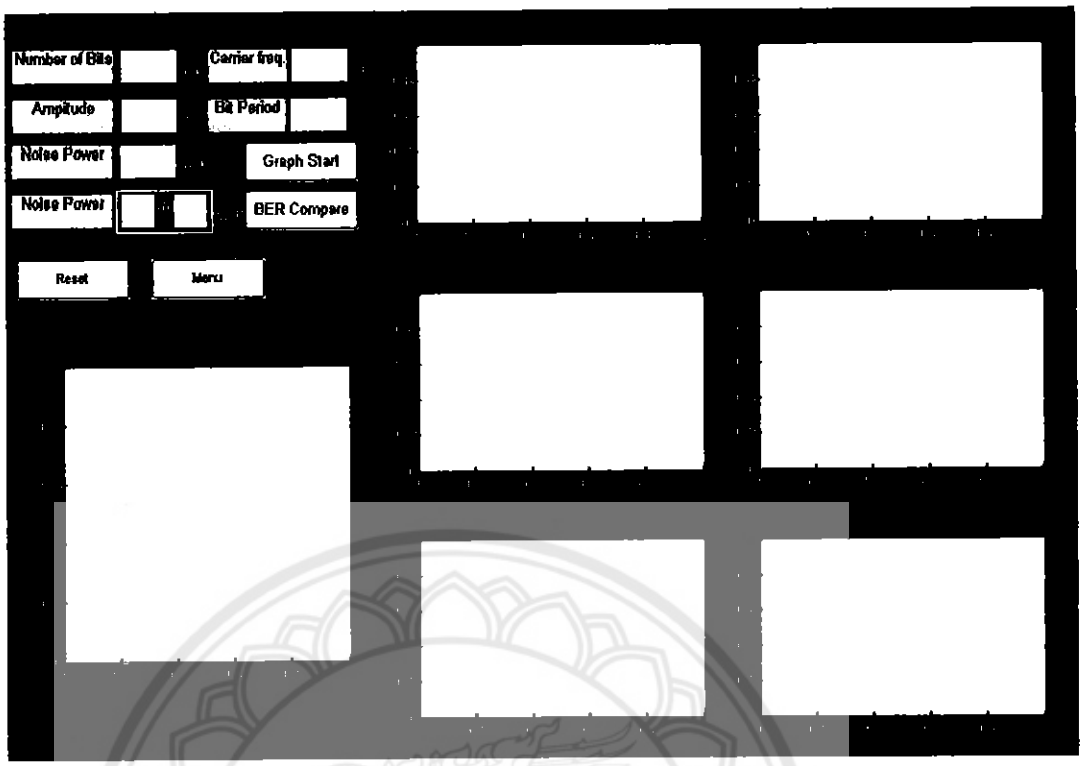
4.1 โปรแกรมแสดงการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

4.1.1 รายละเอียดของโปรแกรมและขั้นตอนการรันโปรแกรม

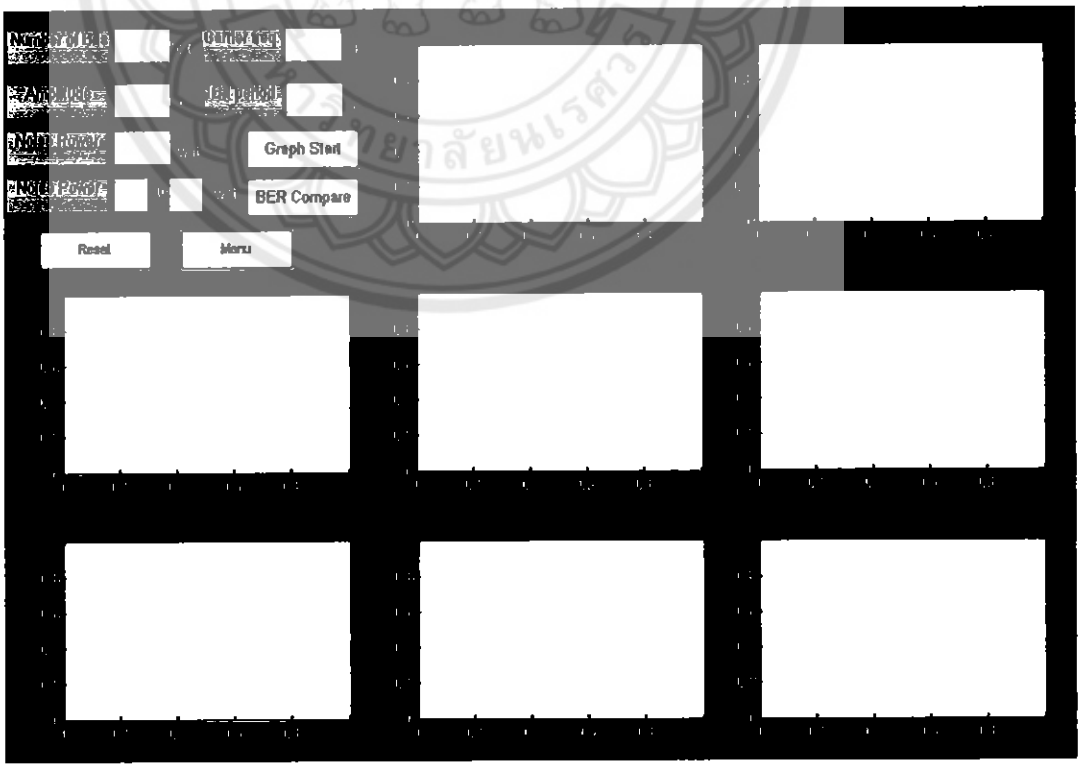
1. ในขั้นตอนแรกต้องทำการเปิดหน้าต่างการเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณเชิงเลข ระหว่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK หรือการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK แสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 หน้าต่างสำหรับเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

2. เมื่อทำการเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณเชิงเลขที่ต้องการได้แล้ว จะทำให้หน้าต่างการเลือกชนิดการกล้ำสัญญาณชนิดนั้นๆ ปรากฏขึ้นมา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 หน้าต่าง การการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK



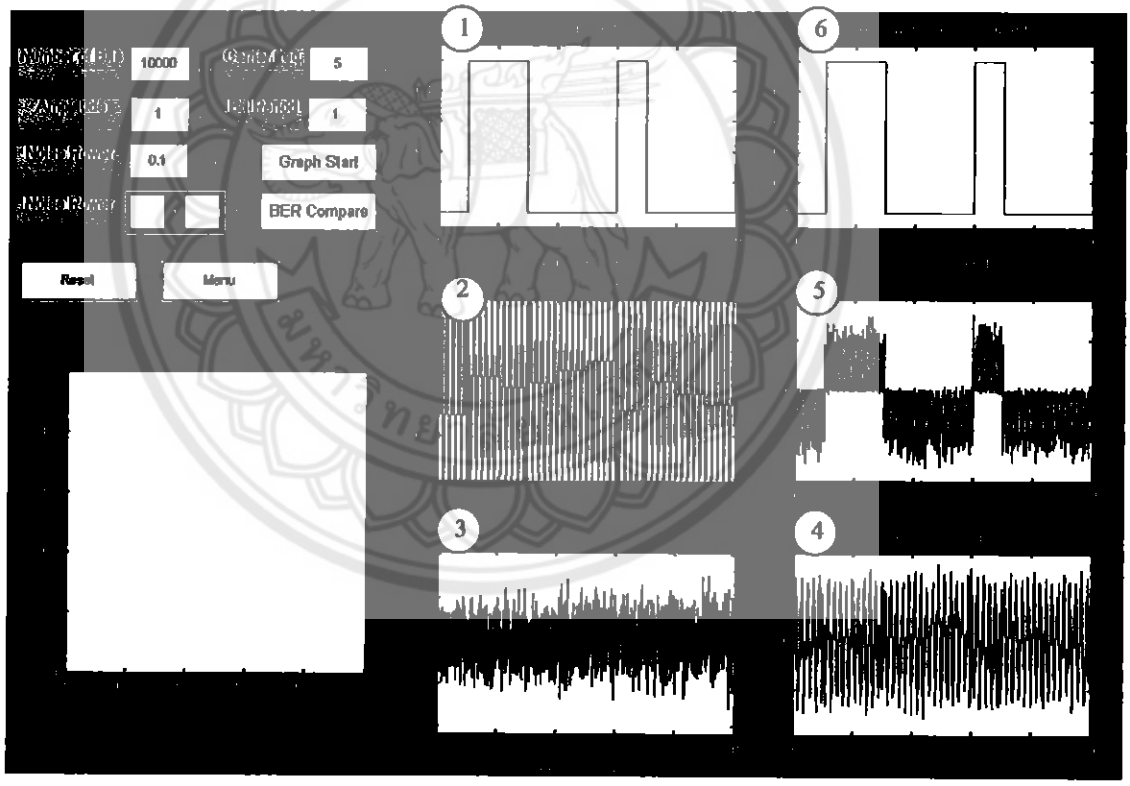
รูปที่ 4.3 หน้าต่างการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK

3. เมื่อปรากฏหน้าต่างแสดงการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแล้ว จากนั้นทำการใส่จำนวนบิตที่ต้องการส่ง ขนาดของสัญญาณ BPSK ความถี่สัญญาณคลื่นพาห์ คาบเวลาสำหรับข้อมูล 1 บิต และข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการใช้ในการส่งสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK ในช่องรับข้อมูล

4.1.2 ตัวอย่างการกล้ำสัญญาณเชิงเลข

1) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด BPSK

- คลิกเลือก BPSK จากหน้าต่างเมนู ดังรูปที่ 4.1
- จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 4.2
- สมมติมีบิตข้อมูลที่ใช้ในการส่ง 10000 บิต สัญญาณคลื่นพาห์ เท่ากับ 5 Hz คาบเวลาในการส่งสัญญาณ 1 บิตเท่ากับ 1 วินาที ขนาดของสัญญาณเท่ากับ 1 V. และ สัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.1 วัตต์ เมื่อใส่ค่าครบแล้ว คลิกที่ปุ่ม Graph Start จะได้รูปต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างในการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK

จากรูปที่ 4.4

① แสดงสัญญาณข้อมูลที่สร้างขึ้น สัญญาณนี้คือสัญญาณที่สมมติข้อมูล ขึ้นมาเพื่อใช้ในการ ส่ง ในรูป ① นี้แสดงจำนวน 10 บิตแรก

② แสดงสัญญาณ BPSK ที่ได้จากสัญญาณข้อมูลที่สร้างในรูปที่ ① จำนวน 10 บิตแรก

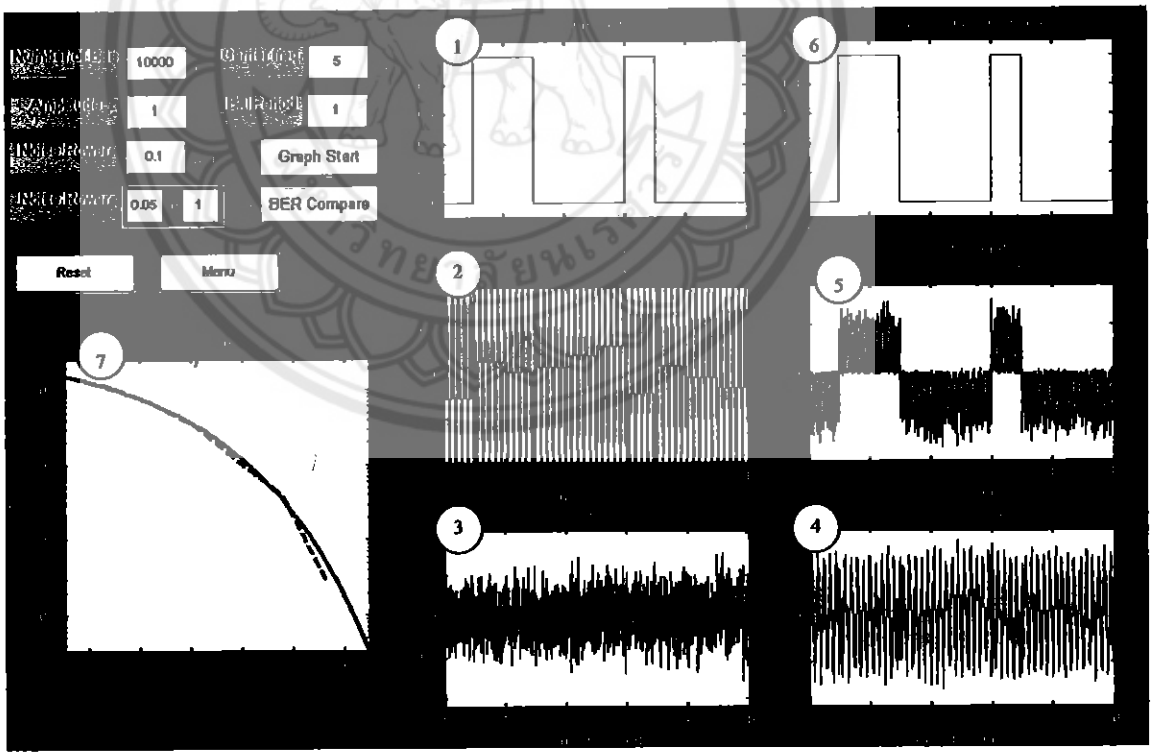
③ แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เพื่อจะใช้ในการรวมกับค่าสัญญาณ BPSK 10 บิตแรก

④ แสดงสัญญาณ BPSK ที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามา ซึ่งสัญญาณนี้คือสัญญาณที่ได้รับตรงปลายทางในรูป ④ แสดงจำนวน 10 บิตแรก

⑤ คือการที่นำสัญญาณที่ได้รับมาคูณเข้ากับ $\cos(2\pi f_c t)$ ในรูป ⑤ แสดงจำนวน 10 บิตแรก

⑥ แสดงสัญญาณที่ทำการดีมอดูเลตเรียบร้อยแล้ว

- ขั้นต่อไปใส่กำลังงานของสัญญาณรบกวน ในช่องที่เหลือ ซึ่งในขั้นนี้จะนำสัญญาณรบกวนไปคำนวณออกมาเป็นกราฟ BER เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน ซึ่งจะสมมติให้มีค่ากำลังงานตั้งแต่ 0.05 ถึง1 วัตต์ แล้วกดปุ่ม BER Compare จะได้กราฟดังรูป 4.5



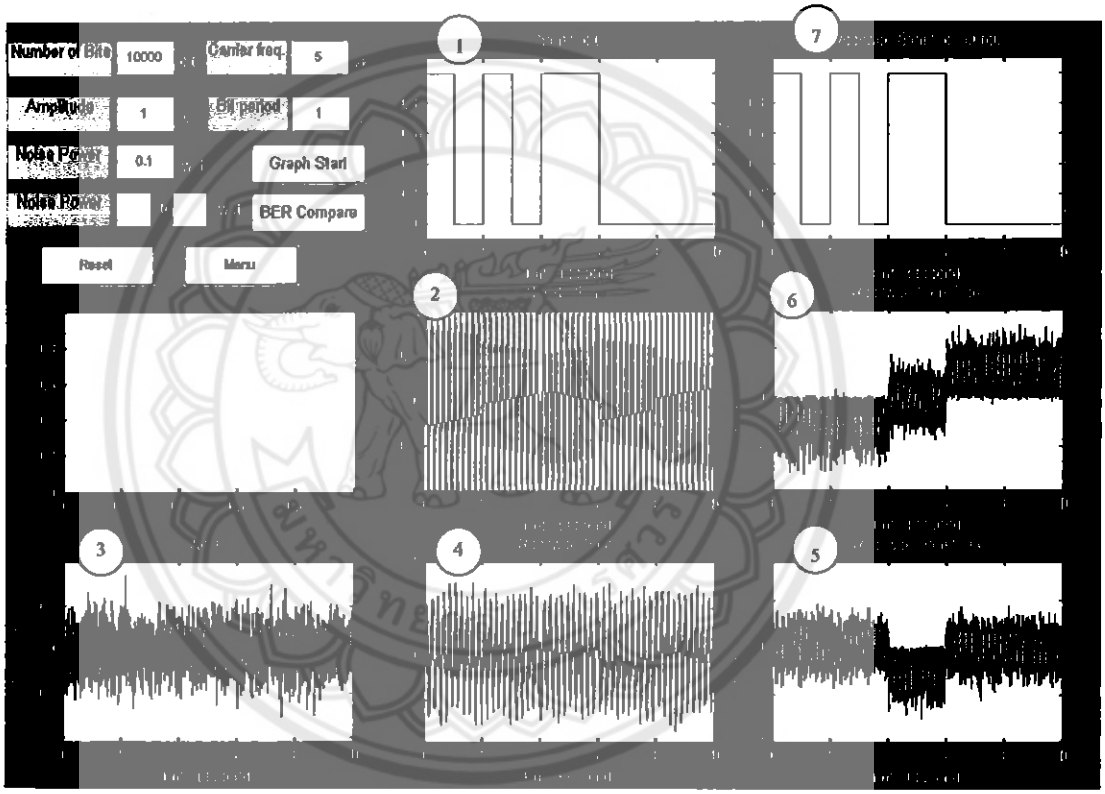
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างในการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK

⑦ นำค่า BER หลายๆค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลข แบบ BPSK มาวาดกราฟเปรียบเทียบกับกราฟ BER ที่ได้จากการประมาณค่า โดยอาศัย Q ฟังก์ชัน โดยที่

เส้นประ คือ รูปสัญญาณที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และเส้นทึบ คือ รูปสัญญาณที่ได้จากการประมาณค่า โดยอาศัย Q ฟังก์ชัน

2) การกล้ำสัญญาณเชิงเลขชันแบบ QPSK

- คลิกเลือก QPSK จากหน้าต่างเมนู ดังรูปที่ 4.1
- จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 4.3
- สมมติมีบิตข้อมูลที่ใช้ในการส่ง 10000 บิต สัญญาณคลื่นพาห์ เท่ากับ 5 Hz คาบเวลาในการส่งสัญญาณ 1 บิตเท่ากับ 1 วินาที ขนาดของสัญญาณเท่ากับ 1 V. และ สัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.1 วัตต์ เมื่อใส่ค่าครบแล้ว คลิกที่ปุ่ม Graph Start จะได้รูปต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างในการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK

จากรูปที่ 4.6

① แสดงสัญญาณที่สร้างขึ้น สัญญาณนี้คือสัญญาณที่สมมติข้อมูลขึ้นมา เพื่อใช้ในการส่งในรูป ① นี้แสดงจำนวน 10 บิตแรก

② แสดงสัญญาณ QPSK ที่ได้จากสัญญาณที่สร้างในรูปที่ ② จำนวน 10 บิตแรก

③ แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่จะใช้ในการรวมกับขนาดของสัญญาณ QPSK 10 บิต แรก

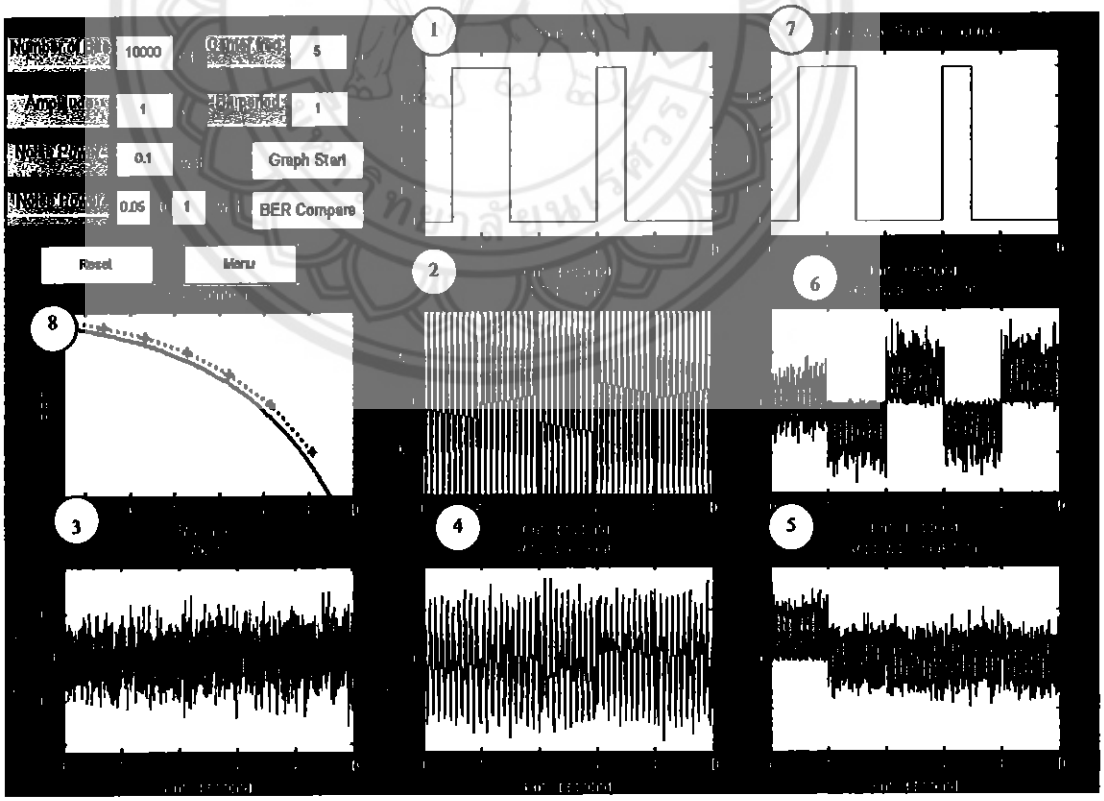
④ แสดงสัญญาณ QPSK ที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาแล้ว ซึ่งสัญญาณนี้ คือ สัญญาณที่ได้รับทางปลายทาง ในรูป ④ แสดงจำนวน 10 บิตแรก

⑤ คือการที่นำสัญญาณที่ได้รับมาคูณเข้ากับ $\cos(2\pi f_c t)$ ในรูป ⑤ แสดงจำนวน 10 บิต แรก

⑥ คือการที่นำสัญญาณที่ได้รับมาคูณเข้ากับ $\sin(2\pi f_c t)$ ในรูป ⑥ แสดงจำนวน 10 บิต แรก

⑦ แสดงสัญญาณที่ทำการดีมอดูเลตเรียบร้อยแล้ว

- ขั้นตอนต่อไปใส่จะกำลังงานของสัญญาณรบกวนในช่องที่เหลือ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำสัญญาณรบกวนไปคำนวณออกมาเป็นกราฟ BER เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน ซึ่งจะสมมติให้มีค่ากำลังงานตั้งแต่ 0.05 ถึง1 วัตต์ แล้วกดปุ่ม BER Compare จะได้กราฟดังรูป 4.7



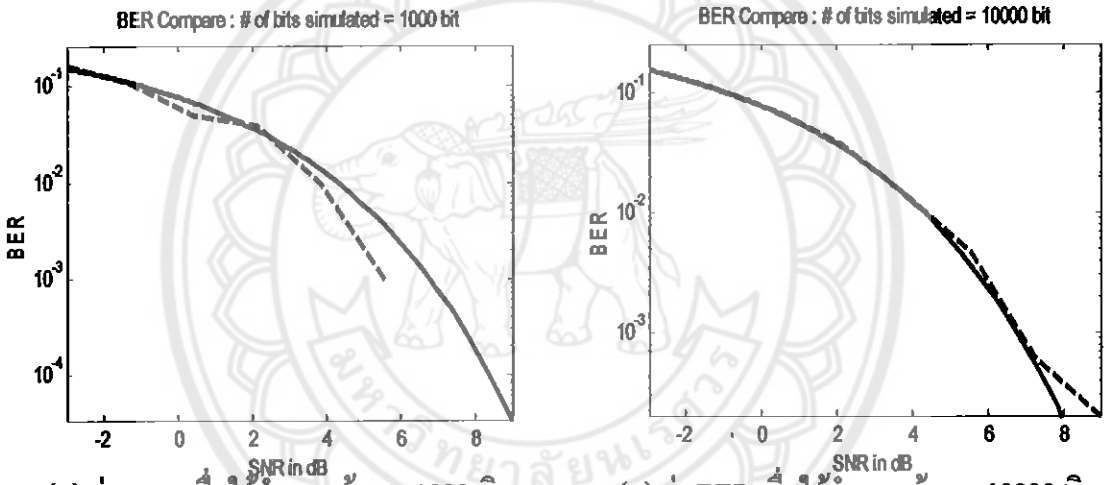
รูปที่ 4. 7 ตัวอย่างในการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK

⑧ นำค่า BER หลายๆค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK มาวาดกราฟเปรียบเทียบกับกราฟ BER ที่ได้จากการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน โดยที่เส้นประ คือ รูปสัญญาณที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และเส้นทึบ คือ รูปสัญญาณที่ได้จากการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน

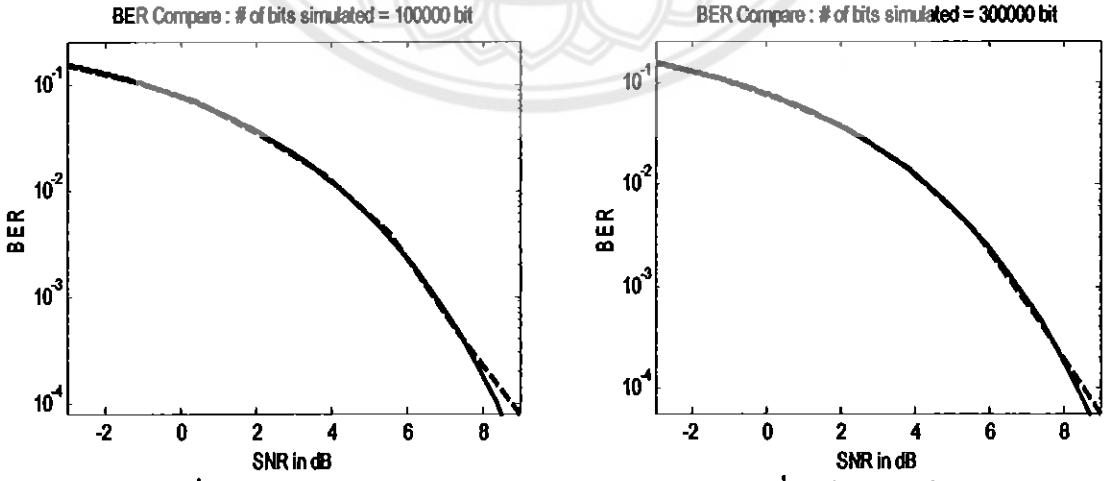
4.2 ผลของจำนวนบิตข้อมูลที่มีต่อค่า BER ในโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK และ QPSK

4.2.1 แสดงค่า BER ใน BPSK

เมื่อทดลองให้จำนวนบิตข้อมูลที่ 1000 บิต 10000 บิต 100000 บิต และ 300000 บิตในการทำการกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด QPSK จะได้รูปกราฟ BER ที่แตกต่างกันดังรูป 4.8



(ก) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 1000 บิต (ข) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 10000 บิต



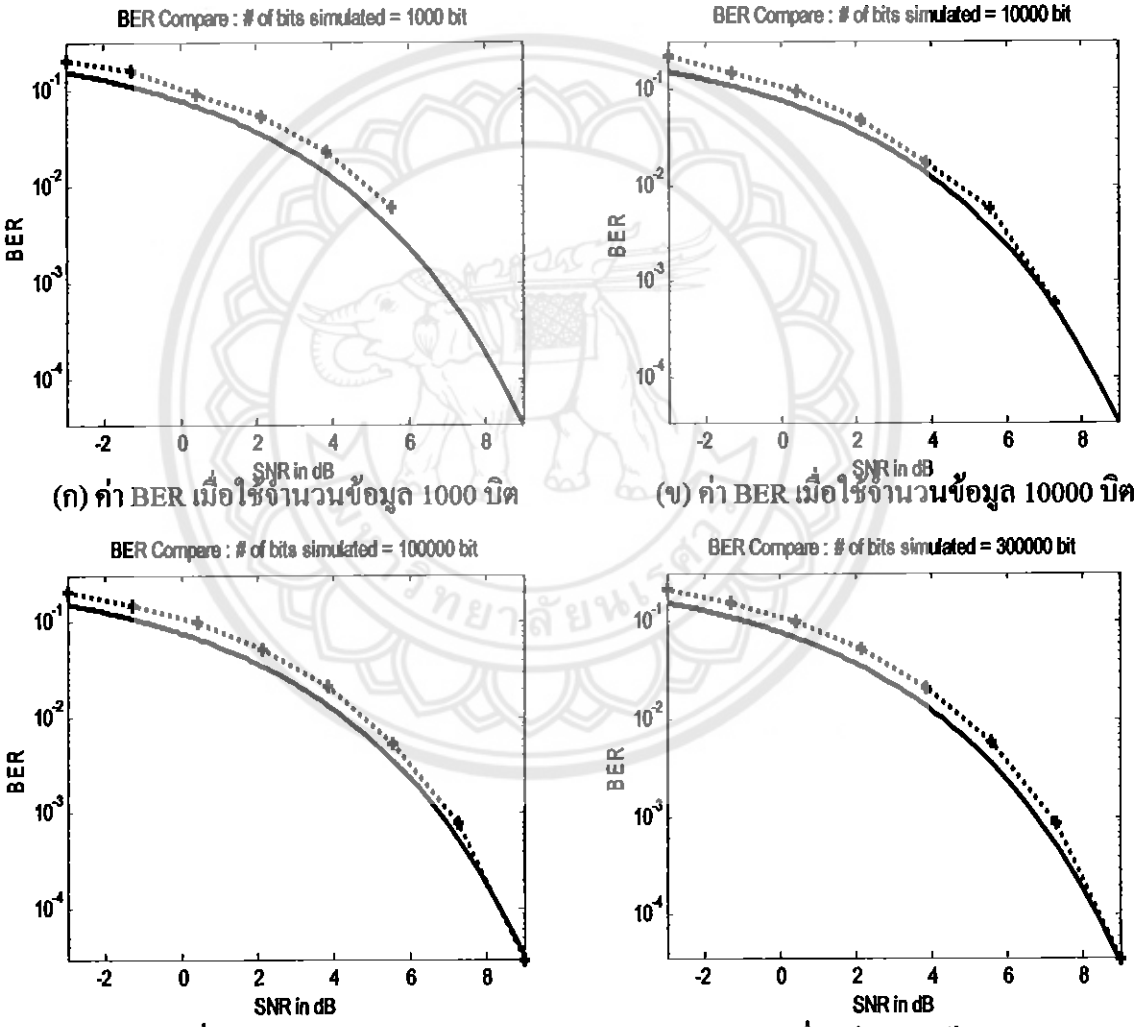
(ค) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 100000 บิต (ง) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 300000 บิต

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟ BER ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ BPSK เปรียบเทียบกับการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน โดยใช้บิตข้อมูลจำนวนต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 เส้นประแสดงค่า BER ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิดBPSK ส่วนเส้นทึบได้มาจากการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน ซึ่งจะเห็นได้จากรูป 4.8 ว่าเมื่อเริ่มมีจำนวนข้อมูลที่มากขึ้นค่า BER จากโปรแกรมจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกับการประมาณค่า BER โดยอาศัย Q ฟังก์ชัน มากยิ่งขึ้น

4.2.2 แสดงค่า BER ใน QPSK

เมื่อทดลองให้จำนวนบิตข้อมูลที่ 1000 บิต 10000 บิต 100000 บิต และ 300000 บิตในการทำการกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด QPSK จะได้รูปกราฟ BER ที่แตกต่างกันดังรูป 4.9



(ก) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 1000 บิต (ข) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 10000 บิต

(ค) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 100000 บิต (ง) ค่า BER เมื่อใช้จำนวนข้อมูล 300000 บิต

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟ BER ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขแบบ QPSK เปรียบเทียบกับการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน โดยใช้บิตข้อมูลจำนวนต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 เส้นประแสดงค่า BER ที่ได้จากโปรแกรมจำลองการกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด QPSK ส่วนเส้นทึบได้มาจากการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน ซึ่งจะเห็นได้จากรูป 4.9 ว่าเมื่อเริ่ม
มีจำนวนข้อมูลที่มากขึ้นค่า BER จากโปรแกรมจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกับการประมาณค่า BER โดยอาศัย Q ฟังก์ชัน มากยิ่งขึ้น

ในบทนี้ ได้แสดง Graphic User Interfaces ที่ใช้แสดงผลของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด BPSK QPSK และแสดงค่าทั้งสองเปรียบเทียบกับการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน ส่วนในบทต่อไปจะเป็นการสรุปผลการดำเนินโครงงาน และปัญหาที่พบขณะทำโครงงาน

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1 ผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการจำลองระบบการกล้ำสัญญาณเชิงเลข (Digital Modulation) โดยใช้การกล้ำสัญญาณเชิงเลขชนิด PSK ซึ่งใช้โปรแกรม MATLAB ในการดำเนินโครงงาน และแสดงผลออกมาในรูปของ Graphic User Interfaces โดยการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส หรือ PSK ที่นำมาศึกษาและจำลองมี 2 ชนิด คือ การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสแบบ BPSK และแบบ QPSK

โครงงานนี้ได้แสดงค่า BER ของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสแต่ละชนิดอีกทั้งยังนำค่า BER นี้ไปเปรียบเทียบกับค่า BER จากการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน ในการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสแต่ละชนิดของ PSK เพื่อพิจารณาว่าค่า BER ที่ได้จากการจำลองมีความใกล้เคียงกับค่า BER ที่ได้จากการประมาณค่าโดยอาศัย Q ฟังก์ชัน หรือไม่

จากการทดลองแบบจำลองการการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสทั้ง 2 แบบ จะเห็นได้ว่าหากต้องการความถูกต้องของแบบจำลองการกล้ำสัญญาณจำเป็นต้องใช้จำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากพอในการทำการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสในแบบจำลองนี้

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงานนั้น นอกจากจะเป็นการนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาโปรแกรม MATLAB มาประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงแล้ว ยังได้รับความรู้ใหม่ๆ เพิ่มเติมอีกมากมายเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม MATLAB และเทคนิคต่างๆ ในการเขียนโปรแกรม ระหว่างการดำเนินโครงงานพบปัญหาและอุปสรรคบางประการ ได้แก่

1. เนื่องจากการดำเนินโครงงานต้องใช้โปแกรม MATLAB เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) ทางคณะผู้จัดทำยังขาดความรู้ความชำนาญในการเขียนโปรแกรม MATLAB เท่าที่ควร และยังขาดความเข้าใจคำสั่งบางคำสั่งในโปรแกรม MATLAB ในการเขียนโปแกรมจึงมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการแก้ไขตัวโปรแกรมบ่อยครั้ง ซึ่งส่งผลทำให้เสียเวลาในการดำเนินโครงงานเป็นอย่างมาก

2. เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำยังขาดความชำนาญในหลักการและทฤษฎีของการทำงานของการกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟสแบบ BPSK และ QPSK (4-PSK) เท่าที่ควร จึงทำให้เสียเวลาในการศึกษาข้อมูล ทำให้โครงงานเสร็จช้ากว่ากำหนดการที่ตั้งไว้

3. เนื่องจากโครงงานนี้ต้องมีการใช้ Graphic User Interfaces (GUI) ในการแสดงผลของการดำเนินงาน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิธีการทำ GUI ให้เข้าใจก่อนที่จะลงมือทำ ซึ่งเครื่อง

คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม MATLAB เวอร์ชันที่ต่ำกว่าเวอร์ชัน 7 ไม่สามารถทำได้ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7 ขึ้นไปเท่านั้นจึงจะสามารถทำ GUI ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำโครงงานควรเลือกหัวข้อเรื่องที่สนใจ และควรมีความรู้และความถนัดในเรื่องนั้นๆ พอสมควร เพื่อที่จะทำให้สามารถทำโครงงานเสร็จทันเวลาที่กำหนด

2. ควรขอคำแนะนำและคำปรึกษาในการดำเนินโครงงานจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพ และเสร็จทันเวลาที่กำหนด

3. ถ้ายังขาดความรู้ความชำนาญในการเขียนโปรแกรม MATLAB มากนัก แนะนำว่าควรศึกษาดูจาก Help ในโปรแกรม จะช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ. **หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่**. พิมพ์ครั้งที่ 2 : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ.2546.

[2] รศ.ดร. ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ. **การสื่อสารโทรคมนาคม**. กรุงเทพฯ : บ.สกายบุ๊ก จำกัด. พ.ศ. 2539.

[3] Jack R. Smith, **Modern Communication Circuits**, Second Edition: McGraw-Hill, 1998.

[4] **Modulation.** [Online].
Available: http://www.geocities.com/Uttaboon/tkate9.htm.

[5] **EE4253 Digital Communications.** [Online].
Available: http://www.ee.unb.ca/tervo/ee4253/qpsk.htm

[6] วงจรมอดูเลเตอร์และดีมอดูเลเตอร์. [Online].
Available: http://www.te.kmitnb.ac.th/msn/224413han07.pdf.

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายทวีศักดิ์ ขุนแขวง รหัสนิสิต 46363206
ภูมิลำเนา 218 หมู่ 2 ต.บ่อถ้ำ อ.ขาณุวรลักษบุรี จ.กำแพงเพชร 62140

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีนครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: vtaveesag@hotmail.com

ชื่อ นางสาวอมรรัตน์ สุขเจริญ รหัสนิสิต 46363453
ภูมิลำเนา 79/5 หมู่ 7 ต.บ้านสวน อ.เมือง จ.สุโขทัย 64220

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: meto_uy@hotmail.com