

**การวิเคราะห์ระบบ CDMA แบบ Direct Sequence Spread Spectrum**  
**ANALYSIS OF DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM CDMA SYSTEM**



นายพงษ์นาวิน เบ็ญพรม รหัส 48364449

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ.....7/เม.ย. 2553/.....
เลขทะเบียน.....14999691.....
เลขเรียกหนังสือ.....ร/ร.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร 97157 11

2551

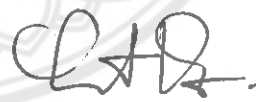
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2551

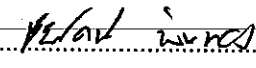


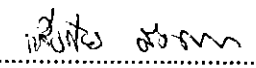
## ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

**หัวข้อโครงการ** การวิเคราะห์ระบบ CDMA แบบ Direct Sequence Spread Spectrum  
**ผู้ดำเนินโครงการ** นายพงษ์นาวิน เป็ญพรม รหัส 48364449  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา  
**สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า  
**ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
**ปีการศึกษา** 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบรบือ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาดำเนินหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะกรรมการการสอบ โครงการวิศวกรรม

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

  
.....กรรมการ  
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

หัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์ระบบ CDMA แบบ Direct Sequence Spread Spectrum
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพงษ์นาวิน เบ็ญพรม รหัส 48364449
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ระบบการสื่อสารที่ใช้ระบบ CDMA แบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS-CDMA) ซึ่งจะเน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ โดยการวิเคราะห์จะใช้น่าจะเป็นมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าของอัตราบิดผิดพลาด (BER) ของระบบ ซึ่งเราจะทำการทดลองการสื่อสารระบบ DSSS-CDMA ที่มีจำนวนรายผู้ใช้ที่แตกต่างกัน จำนวนบิตของรหัสที่แตกต่างกันและการ Jamming ด้วยสัญญาณระบบ Binary Phase Shift Keying (BPSK) ในย่านความถี่ของระบบ DSSS-CDMA โครงการนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง และจากการศึกษาทำให้ทราบว่า BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวน 1 รายผู้ใช้ไม่แตกต่างจาก BER ของระบบ BPSK และเมื่อระบบ DSSS-CDMA มีจำนวนรายผู้ใช้มากขึ้น BER จะแย่ง แต่ก็แย่งไม่มากจนระบบทำงานไม่ได้ สำหรับการวิเคราะห์ระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีสัญญาณ BPSK Jamming เข้ามาในย่านความถี่ของระบบ CDMA จะทำให้ระบบ CDMA มีประสิทธิภาพที่แย่ง ซึ่งไม่ได้แปรผันกับระยะห่างของความถี่ที่สัญญาณเข้ามา Jamming ว่าใกล้ความถี่หลักของระบบ CDMA จะรบกวนสัญญาณระบบ CDMA มากกว่าการ Jamming ที่ความถี่ห่างกว่า แต่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางความถี่ของรหัสที่เข้ามารบกวนระบบ CDMA ซึ่งหาได้จากวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ของรหัสในภาครับของระบบ CDMA นั้น

<b>Project Title</b>	Analysis of Direct Sequence Spread Spectrum CDMA System
<b>Name</b>	Mr.Phongnawin Benprom ID.48364449
<b>Project Advisor</b>	Asst.Prof.Surachet Kanprachar, Ph.D.
<b>Major</b>	Electrical Engineering.
<b>Department</b>	Electrical and Computer Engineering.
<b>Academic Year</b>	2008

### ABSTRACT

In this project, the analysis of the direct sequence spread spectrum (DSSS) Code Division Multiple Access (CDMA) system is studied. The performance of a communication system using DSSS CDMA is mainly analyzed in terms of bit-error-rate (BER). BERs of DSSS CDMA system for three cases are studied; that is, when the number of users is varied, when the number of bits used in the spreading code is varied, and when there is a Binary Phase Shift-Keying (BPSK) signal jamming to the DSSS CDMA system. Additionally, in this project, computer simulation is done in order to simulate and compare the achieved analyzed results with the simulated ones. MATLAB is adopted as a computer language used in the simulation.

It is found that BER of DSSS CDMA system when having only one user in the system is identical to that of the system using BPSK signal. And, when the number of users in DSSS CDMA system increases, BER increases but acceptable to be used in practice. Considering the case of having a BPSK jamming signal to CDMA system, it is found that the effect of the jamming signal on the performance of CDMA system in terms of BER is not inversely proportional to the difference between carrier frequencies of the two. But, it depends on the amplitude of the frequency components of the spreading code used in CDMA system. If the difference of carrier frequencies of BPSK jamming signal and CDMA signal is located at the high-amplitude frequency component of the spreading code, the BPSK jamming signal can then significantly affect on the CDMA signal; that is, the BER of the CDMA signal becomes higher.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมไฟฟ้าฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี-ผู้ดำเนินโครงการ  
ขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนิน  
โครงการตลอดมา จนสำเร็จดังนี้ พ่อและแม่ที่อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูจนเติบโตและสนับสนุนจน  
สำเร็จการศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้  
คำปรึกษาและแนะนำรวมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดมาจนโครงการสำเร็จ ดร.ชัยรัตน์ พินทอง  
และอาจารย์แสงชัย มังกรทอง คณะกรรมการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำและเสียสละเวลาในการ  
คุมสอบโครงการนี้ สำนักหอสมุด และห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้  
ให้ความอนุเคราะห์ในการสืบค้นเนื้อหาและข้อมูลต่างๆรวมถึงการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต  
ประกอบการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนและบุคลากรท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่ได้ให้  
คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงการจนสำเร็จ

นายพงษ์นาวิน เบ็ญพรม  
ผู้จัดทำโครงการ

# สารบัญ

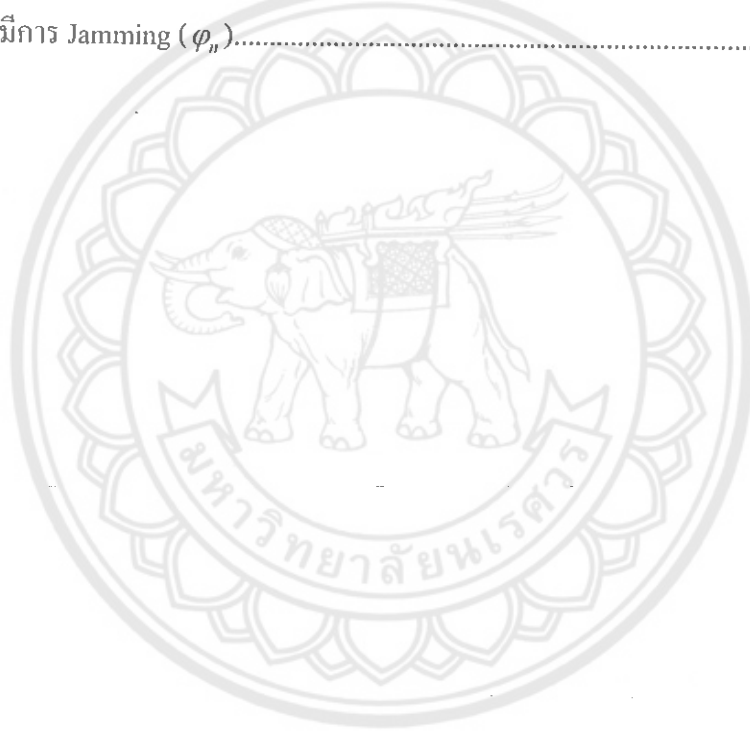
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งบประมาณที่ต้องใช้.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 Spread Spectrum.....	5
2.2 รหัสในระบบ CDMA.....	8
2.3 ระบบ BPSK (Binary Phase Shift Keying).....	10
2.4 การสร้างสัญญาณรบกวน (noise).....	12
2.5 การ Jamming ของสัญญาณ.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	15
3.1 การสร้าง PN Code ที่จะนำมาใช้ในระบบ DSSS-CDMA.....	15
3.2 การสร้างสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปใช้ในแบบจำลอง.....	19
3.3 การสร้างแบบจำลองของระบบ BPSK และวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (BER) .....	20
3.4 การสร้างแบบจำลองของระบบ DSSS-CDMA ของผู้ใช้รายเดียวและ วิเคราะห์ BER เมื่อเทียบกับระบบ BPSK.....	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้หลายๆ ราย.....	24
3.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีการใช้จำนวน บิตของรหัสที่ต่างกัน.....	26
3.7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีสัญญาณระบบ BPSK Jamming เข้ามา.....	27
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนิน โครงการ.....</b>	<b>35</b>
4.1 ผลการสร้าง PN Code ที่จะนำมาใช้ในระบบ DSSS-CDMA.....	35
4.2 ผลการสร้างแบบจำลองของระบบ BPSK และวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (BER).....	37
4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้หลายๆ ราย.....	37
4.4 ผลของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวนบิตของรหัสที่ต่างกัน.....	40
4.5 ผลของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีสัญญาณ BPSK Jamming เข้ามา.....	42
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการ.....</b>	<b>49</b>
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก (ก) .....	52
ภาคผนวก (ข) .....	61
ภาคผนวก (ค) .....	63
ประวัติผู้เขียนโครงการ.....	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	2
3.1 การสร้าง PN Code โดยวิธี m-sequence.....	18
3.2 รหัสและค่า Autocorrelation.....	19
3.3 การหาค่า $c_n$ เมื่อ $n$ เป็นจำนวนเต็ม.....	31
3.4 Fourier Series ของลำดับต่างๆ.....	34
4.1 ผลการวิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีการ Jamming ( $\phi_n$ ).....	43





# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ช่องสัญญาณการสื่อสารแบบ FDMA TDMA และ CDMA.....	4
2.2	Spreading Code.....	6
2.3	หลักการการทำงานของระบบ CDMA เมื่อมีผู้ใช้ 3 ราย.....	7
2.4	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรสร้างรหัส $m$ -sequence.....	8
2.5	โครงสร้างภาครับและภาคส่งของระบบ BPSK.....	10
2.6	บิตข้อมูลที่ต้องการส่ง.....	11
2.7	สัญญาณ BPSK.....	11
2.8	สัญญาณทางความถี่ของข้อมูลที่ต้องการส่ง.....	12
2.9	สัญญาณทางความถี่ของระบบ BPSK.....	12
2.10	โครงสร้างของการวิเคราะห์สัญญาณ Jamming.....	14
3.1	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรสร้างรหัส $m$ -sequence.....	17
3.2	โครงสร้างของวงจรสร้างรหัส $m$ -sequence จากสมการ $x^3 + x^2 + 1$ .....	17
3.3	โครงสร้างการสร้างแบบจำลองของระบบ BPSK.....	20
3.4	BER ของระบบ BPSK.....	21
3.5	วงจรภาครับและภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้ 1 ราย.....	22
3.6	BER ของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้รายเดียวและ BPSK.....	23
3.7	วงจรภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้ $K$ ราย.....	24
3.8	วงจรภาครับของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้ $K$ ราย.....	25
3.9	รูปภาครับของสัญญาณ Jamming.....	27
3.10	สัญญาณทางความถี่ของสัญญาณ Jamming ที่จุด 1 จากรูปที่ 3.9.....	27
3.11	สัญญาณทางความถี่ของรหัสที่จุด 2 จากรูปที่ 3.9.....	28
3.12	สัญญาณทางความถี่ของสัญญาณคูณกับรหัสที่จุด 2 จากรูปที่ 3.9.....	28
3.13	สัญญาณทางความถี่ของรหัสที่จุด 3 จากรูปที่ 3.9.....	28
3.14	สัญญาณทางความถี่ของรหัสที่จุด 4 จากรูปที่ 3.9.....	29
3.15	สัญญาณทางเวลาของรหัส 1111100110100100001010111011000.....	30
4.1	รูปผลการรันโปรแกรมสร้าง PN Code.....	35
4.2	Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 15 บิต.....	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.3	Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 31 บิต.....	36
4.4	Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 63 บิต.....	36
4.5	Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 127 บิต.....	36
4.6	ผลจากแบบจำลอง BER ของระบบ BPSK.....	37
4.7	BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อใช้ระบบ 15 บิต.....	38
4.8	BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อใช้ระบบ 31 บิต.....	39
4.9	BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อใช้ระบบ 63 บิต.....	40
4.10	BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวน 10 รายผู้ใช้.....	41
4.11	BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวน 15 รายผู้ใช้.....	42
4.12	ผลการวิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีการ Jamming ( $\varphi_j$ ) .....	45
4.13	BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่เดียวกันกับความถี่หลัก ของระบบ DSSS-CDMA .....	46
4.14	BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ห่างจากความถี่หลักของ ระบบ DSSS-CDMA ไป 2 Hz .....	46
4.15	BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ห่างจากความถี่หลักของ ระบบ DSSS-CDMA ไป 3 Hz.....	47
4.16	BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ห่างจากความถี่หลักของ ระบบ DSSS-CDMA ไป 5 Hz .....	47
1ก.	วงจรรักษาของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้ $K$ ราย.....	52
2ก.	วงจรรักษาของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้ $K$ ราย.....	53
3ก.	แสดง PDF ของ Gaussian noise ที่มี mean = 0 และ variance = $\sigma^2$ ที่มีความน่าจะเป็นที่ $n$ น้อยกว่าค่าคงที่ $a$ .....	55
4ก.	แสดง PDF ของ Gaussian noise ที่มี mean = 0 และ variance = $\sigma^2$ ที่มีความน่าจะเป็นที่ $n$ มากกว่าค่าคงที่ $a$ .....	56
1ค.	ผลการวิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีการ Jamming ( $\varphi_j$ ).....	63

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่เดียวกัน.....	64
3ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 2 Hz.....	64
4ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 3 Hz.....	65
5ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 5 Hz.....	65
6ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 10 Hz.....	66
7ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 15 Hz.....	66
8ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 20 Hz.....	67
9ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 30 Hz.....	67
10ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 50 Hz.....	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

จากเทคโนโลยีการสื่อสารตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้ได้มากที่สุด เริ่มจากการสื่อสารที่เป็นสัญญาณอะนาลอกสู่การสื่อสารที่เป็นสัญญาณดิจิทัล และประเทศไทยกำลังจะพัฒนาระบบการสื่อสารให้เข้าสู่ยุค 3G คือเป็นการสื่อสารไร้สายที่มีประสิทธิภาพ ทั้งการสื่อสารทางเสียงและการสื่อสารทางด้านข้อมูล จึงจำเป็นต้องใช้ระบบ CDMA เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนมากในอนาคต

ระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) แบบ Direct Sequence Spread Spectrum คือเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้การส่งข้อมูลโดยอาศัย รหัส (Code) จากเดิมใช้ระบบ TDMA และ FDMA ที่มีขอบเขตที่จำกัด เช่น จำนวนการให้บริการ และความปลอดภัยของข้อมูล เป็นต้น ระบบ CDMA จะทำการส่งสัญญาณ โดยเอาสัญญาณดิจิทัลมาเข้ารหัส Pseudo noise code (PN code) และทำการ Modulation แบบ Binary Phase Shift Keying (BPSK) แล้วส่งสัญญาณออกไปที่ความถี่เดียวกันกับผู้ใช้งานอื่นๆ เมื่อสัญญาณถึงปลายทาง ระบบจะทำการใช้รหัสถอดเอาข้อมูลออกมาได้ โดยที่รหัสที่ถอดต้องเป็นรหัสเดียวกันกับรหัสที่ส่งออกมาจากต้นทาง ทำให้มีความปลอดภัยของข้อมูลสูงกว่าระบบ TDMA และ FDMA เพราะถ้าไม่มีรหัสจะทำให้ไม่สามารถรับรู้ข้อมูลที่ถูกส่งมาได้ ดังนั้นระบบ CDMA จึงเป็นระบบหนึ่งที่ดีในขณะนี้ เพราะจะทำให้ระบบรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากขึ้นและทำให้ข้อมูลของผู้ใช้บริการมีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

ปัจจุบันจำนวนผู้ใช้ระบบสื่อสารต่างๆ มีจำนวนมากขึ้น ระบบที่สามารถรองรับได้อีกระบบหนึ่งคือ ระบบ DSSS-CDMA ซึ่งจะช่วยให้เราติดต่อสื่อสารข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นโครงการนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์ระบบ DSSS-CDMA ใน 3 กรณีคือ เมื่อระบบ CDMA มีจำนวนรายผู้ใช้ที่แตกต่างกัน เมื่อระบบ CDMA มีความยาวของรหัสที่แตกต่างกัน และเมื่อมีสัญญาณระบบ BPSK เข้ามาใช้งานในย่านความถี่ของระบบ CDMA

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบการทำงานของระบบ DSSS-CDMA
- 1.2.2 เพื่อจำลองระบบสื่อสารที่ใช้การสื่อสารด้วยระบบ DSSS-CDMA
- 1.2.3 เพื่อทราบประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวนผู้ใช้หลายๆ ราย
- 1.2.4 เพื่อทราบประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA ทางด้าน Jamming

### 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีและโครงสร้างของระบบ DSSS-CDMA
- 1.3.2 ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างรหัส (PN Code) ที่จะนำมาใช้ในระบบ DSSS-CDMA
- 1.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวนผู้ใช้หลายๆ ราย
- 1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA ทางด้าน Jamming

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน

- 1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีของระบบ DSSS-CDMA
- 1.4.2 ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างรหัส PN Code ด้วยวิธี m-sequence
- 1.4.3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA ทางด้านจำนวนผู้ใช้ และ Jamming
- 1.4.4 ศึกษาโปรแกรม MATLAB
- 1.4.5 ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงการงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน

การดำเนินงาน	ปี 2551							ปี 2552	
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ค.พ.
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล ที่เกี่ยวกับระบบ DSSS- CDMA	←→								
ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ โปรแกรม MATLAB	←→								
ฝึกเขียน โปรแกรม MATLAB			←→						
เขียน โปรแกรมเพื่อ สร้างแบบจำลองระบบ DSSS-CDMA				←→					
ทดลองการทำงานของ ระบบ DSSS-CDMA					←→				

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

การดำเนินงาน	ปี 2551							ปี 2552	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
วิเคราะห์และสรุปผล									
การทำงานของระบบ DSSS-CDMA							↔		
ตรวจสอบความ เรียบร้อยของโครงการ และจัดทำเป็นรูปเล่ม								↔	

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจในระบบ DSSS-CDMA
- 1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจและทักษะในการใช้โปรแกรม MATLAB
- 1.5.3 ได้แบบจำลองการทำงานของระบบ DSSS-CDMA
- 1.5.4 ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA

### 1.6 งบประมาณที่ต้องใช้

1.6.1 ค่าหนังสือประกอบการทำโครงการ	500	บาท
1.6.2 ค่าจัดทำรูปเล่ม	500	บาท
รวม	1,000	บาท

(หนึ่งพันบาทถ้วน)

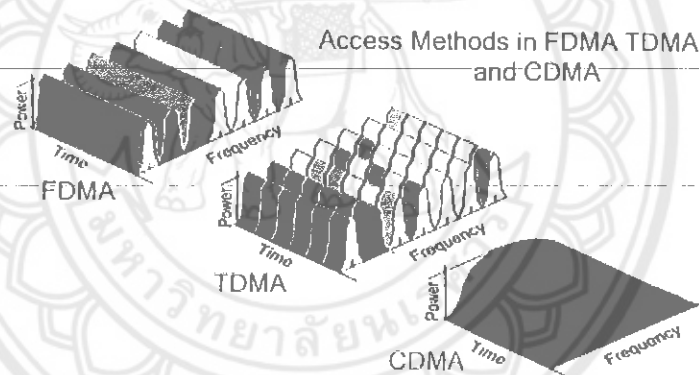
หมายเหตุ: ตัวเฉลี่ยทุกรายการ

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบ CDMA เป็นการสื่อสารที่มีหัวใจคือรหัส เพื่อที่จะเข้ารหัสและส่งข้อมูล เมื่อถึงภาครับก็จำเป็นต้องมีรหัสที่ตรงกันถึงจะสามารถที่จะรับข้อมูลที่ต้องการได้ การที่เราจะศึกษาการสื่อสารระบบ CDMA จำเป็นอย่างยิ่งที่จะมีองค์ความรู้ที่มากพอที่จะวิเคราะห์และศึกษาให้เข้าใจได้ เราจึงต้องศึกษาหลักการดังจะกล่าวต่อไป

ระบบ CDMA เป็นการสื่อสารที่ใช้รหัสในการส่งและรับข้อมูล โดยจะนำเอาสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง นำมาคูณกับรหัส (Spreading Code) แล้วค่อยนำสัญญาณนั้นไปทำการ Modulation ไปที่ความถี่ที่เราต้องการ โดยถ้ามีผู้ใช้หลายรายก็จะใช้รหัสที่แตกต่างกัน แล้ว Modulation ที่ความถี่เดียวกัน เมื่อถึงภาครับก็ต้องมีรหัสที่เป็นรหัสเดียวกัน มาคูณถึงจะได้สัญญาณข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งถ้าไม่มีรหัสเดียวกับผู้ที่ส่งก็จะไม่สามารถรับทราบข้อมูลนี้ได้ จึงทำให้มีความปลอดภัยของข้อมูล และการสื่อสารระบบนี้ยังใช้ในทางการทหารอีกด้วย



รูปที่ 2.1 ช่องสัญญาณการสื่อสารแบบ FDMA, TDMA และ CDMA [1]

จากรูปที่ 2.1 เป็นรูปของการพัฒนาช่องสัญญาณในระบบสื่อสารเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการใช้ช่องสัญญาณหลายๆ รายผู้ใช้ ซึ่งอนาคตจะมีการใช้ช่องสัญญาณกันอย่างมาก โดยการแบ่งช่องสัญญาณแบบเดิมไม่อาจที่จะรองรับปริมาณความต้องการในการใช้งานในอนาคตได้เพียงพอ

เทคนิคการเข้าช่องสัญญาณที่อาศัยคลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางแบ่งออกเป็น 3 วิธีการคือ [2]

- FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- TDMA (Time Division Multiple Access)
- CDMA (Code Division Multiple Access)

เทคนิคการแบ่งเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายทางทั้งสามวิธีล้วนแล้วแต่มีจุดประสงค์หลักเหมือนกันคือ เพื่อให้ผู้ใช้บริการจำนวนหลายรายสามารถเข้าใช้ย่านความถี่ของระบบร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือสามารถให้บริการพร้อมกันในเวลาเดียวกัน โดยไม่มีผลกระทบหรือก่อให้เกิดการรบกวนกัน

เทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายรายผู้ใช้โดยแบ่งช่องสัญญาณทางความถี่ (FDMA) ความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณที่มีขนาดช่วงของความถี่เท่ากัน และมีผู้ใช้แต่ละรายได้รับจัดสรรช่องความถี่แยกจากกัน โดยเด็ดขาด ผู้ใช้เหล่านี้สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณความถี่ที่ได้รับตลอดเวลา โดยไม่มีผลรบกวนกับผู้ใช้รายอื่น เมื่อใดที่มีผู้ใช้บริการเสร็จสิ้นการใช้บริการช่องความถี่ดังกล่าวก็สามารถนำมาจัดสรรให้กับผู้ใช้รายอื่นที่ต้องการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานของหลายๆ รายผู้ใช้ในเวลาเดียวกันจึงทำให้ช่องความถี่ที่จำกัดไม่สามารถบริการได้

เทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายรายผู้ใช้โดยแบ่งช่องสัญญาณทางเวลา (TDMA) ผู้ใช้หลายรายสามารถเข้าใช้ความถี่ร่วมกันได้ แต่จะเข้าใช้งานคนละช่วงเวลาสลับกัน กล่าวคือ เวลาของการใช้งานถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาที่มืขนาดกว้างเท่ากัน หรือมีชื่อเรียกว่า timeslot ผู้ใช้แต่ละรายจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเวลาแยกจากกัน โดยผู้ใช้จะเข้าใช้ช่องสัญญาณเฉพาะในช่วงเวลาที่ได้รับการจัดสรรเท่านั้น โดยการใช้งานช่องสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายจะเกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น และจะสลับเปลี่ยนกันไปเป็นรอบๆ

เทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณหลายรายผู้ใช้โดยแบ่งช่องสัญญาณด้วยรหัส (CDMA) แตกต่างจากระบบ FDMA และ TDMA ก่อนข้างชัดเจน เพราะอนุญาตให้ผู้ใช้หลายรายสามารถเข้าใช้ความถี่ของระบบพร้อมกันและในเวลาเดียวกันได้ วิธีการแบ่งแยกข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายสามารถทำได้โดยผู้ใช้แต่ละรายจะมีรหัสที่แตกต่างกัน การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบนี้มีชื่อเรียกว่า Spread Spectrum

ระบบ CDMA ได้รับความสนใจกันอย่างมาก เนื่องจากมีศักยภาพที่น่าสนใจหลายประการที่ทำให้สามารถใช้งาน Bandwidth ที่มีขนาดจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

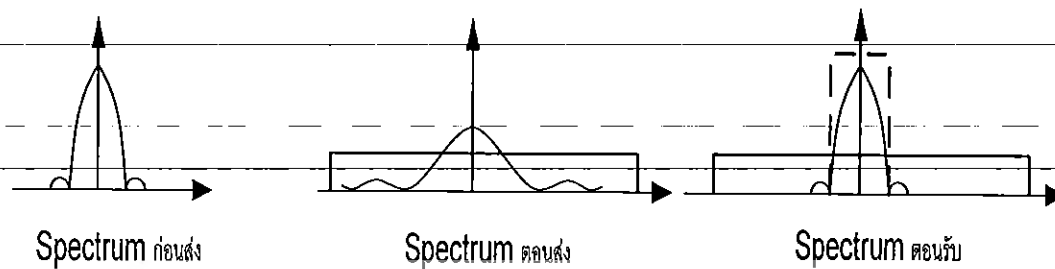
## 2.1 Spread Spectrum [2]

การพัฒนา ระบบ Spread Spectrum เกิดขึ้นในช่วงกลางของทศวรรษปี ค.ศ. 1950 โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อนำมาใช้ในวงการทหาร สำหรับป้องกันการรบกวนของข้าศึกต่อการรับส่งสัญญาณ ต่อมาได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น การทำ Spread Spectrum แบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักคือ

- Direct Sequence Spread Spectrum
- Frequency Hopping Spread Spectrum

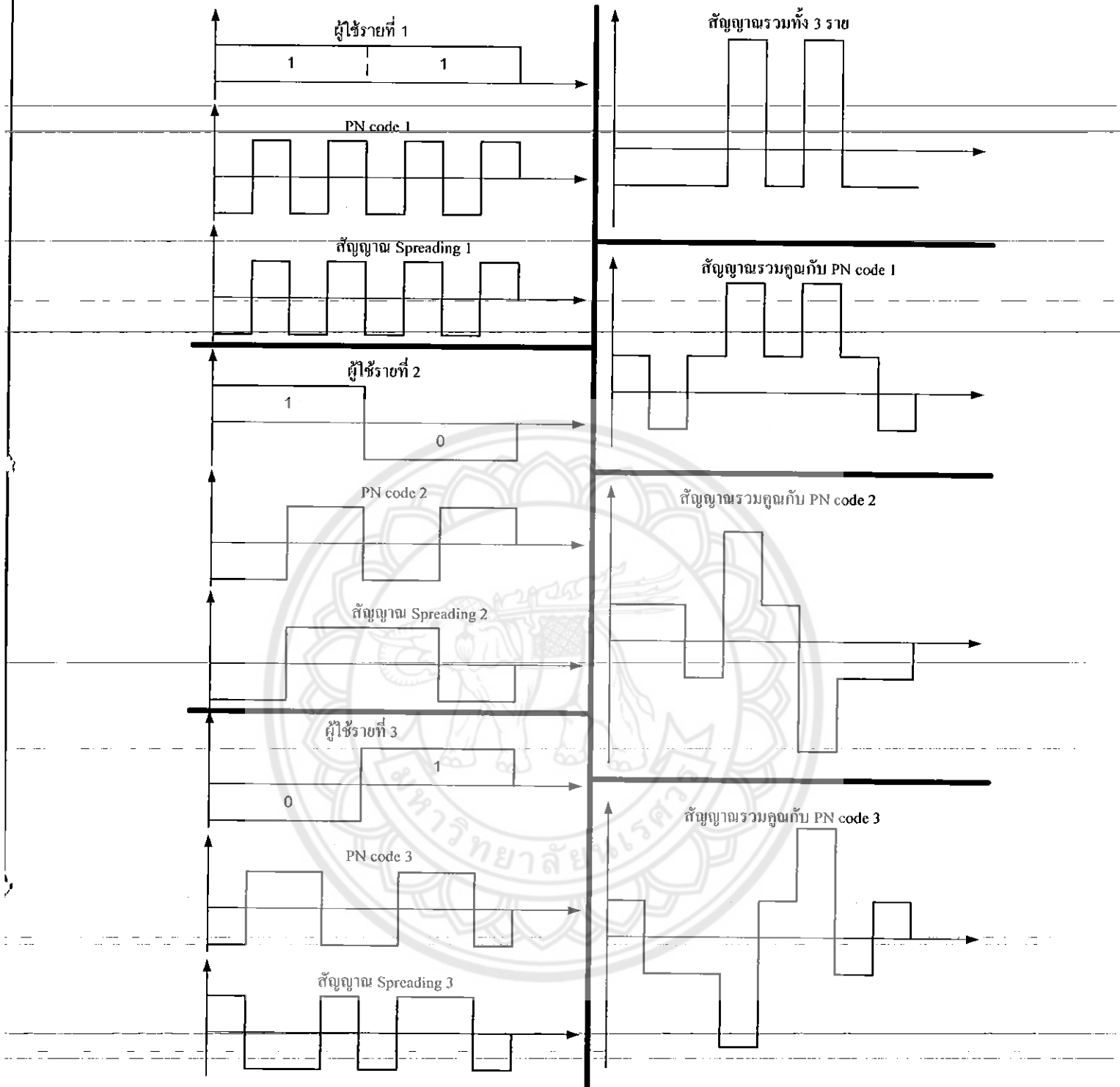


แต่ในที่นี้เราจะศึกษา ระบบ CDMA แบบ Direct Sequence Spread Spectrum คือการนำเอาสัญญาณข้อมูลมาทำการกระจายทางความถี่ (Spreading) ด้วยรหัสของแต่ละรายผู้ใช้ โดยที่เมื่อนำเอาสัญญาณมาคูณกับ Spreading Code แล้วจะทำให้ Spectrum ของสัญญาณที่เราต้องการส่งแผ่ขยายออกดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Spreading Code[2]

จากรูปที่ 2.2 เป็นสัญญาณของระบบ CDMA ในทางความถี่ ในภาคส่งสัญญาณข้อมูลที่ต้องการจะส่งต้องมาผ่านการคูณด้วยรหัสก่อน ที่จะนำไป Modulation ทำให้ Spectrum มีการแผ่ออกและมีแอมพลิจูดต่ำลง เมื่อถึงภาครับสัญญาณที่รับก็จะนำไปคูณกับรหัส แล้วทำการ Demodulation จะทำให้ได้สัญญาณข้อมูลออกมา



**รูปที่ 2.3** หลักการทำงานของระบบ CDMA เมื่อมีผู้ใช้ 3 ราย [2]

จากรูปที่ 2.3 เป็นกระบวนการในระบบ CDMA โดยให้มีการสื่อสาร 3 รายผู้ใช้ ซึ่งจะเห็นว่าทางซ้ายมือของรูปจะเป็นสัญญาณของแต่ละรายผู้ใช้ รหัสของแต่ละรายผู้ใช้ และสัญญาณที่ทำการเข้ารหัสแล้ว จากนั้นเมื่อเข้ารหัสเสร็จแล้วก็นำสัญญาณนั้นมารวมกันได้สัญญาณบนสุดทาง

ขวามือของรูป จากนั้นเมื่อถึงภาครับก็จะนำรหัสที่ตรงกับภาคส่งมาถอดรหัส จากนั้นก็นำสัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสนั้นไปผ่านวงจรอินทิเกรตทำให้ได้ข้อมูลที่เราส่งมา

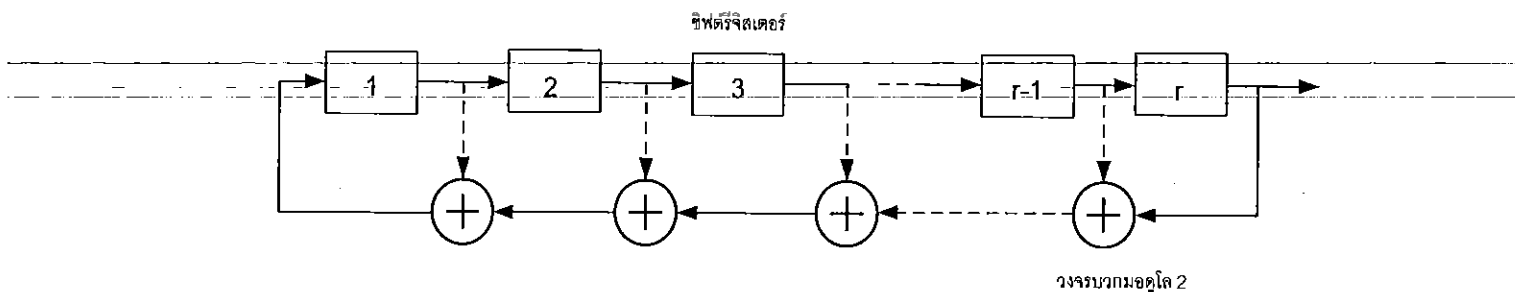
ดังนั้นสิ่งที่สำคัญในการสื่อสารด้วยระบบ CDMA ก็คือรหัส ในการเข้ารหัสและใช้ถอดรหัส โดยที่ภาครับและภาคส่งต้องมีรหัสเดียวกัน จึงสามารถติดต่อสื่อสารกันได้

## 2.2 รหัสในระบบ CDMA [2]

รหัสในระบบ CDMA เป็นรหัสที่มีลักษณะเฉพาะเช่น PN (Pseudo Noise code) คือ ลำดับสัญญาณ (Sequence) ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีการที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน (Deterministic procedure) ซึ่งรหัสหรือลำดับสัญญาณที่ได้มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณสุ่มมาก การสร้างรหัสประเภทนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น รหัส  $m$ -sequence รหัสโกลด์ (Gold code) และรหัสคาสามิ (Kasami code) เป็นต้น ในระบบสื่อสาร CDMA อาศัยรหัส PN เป็นเครื่องมือสำคัญในการแยกแยะบิตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายออกจากกัน หรือใช้ระบุหมายเลขของสถานีฐาน ในปัจจุบันรหัสชนิดที่จัดว่าได้รับความนิยมมากเป็นพิเศษคือ วิธีการที่เรียกว่า binary maximum-length-sequence หรือที่เรียกกันทั่วไปในชื่อ binary  $m$ -sequence และรหัสโกลด์ ในโครงการนี้เราจะใช้  $m$ -sequence ในการสร้างแบบจำลอง

### รหัส $m$ -sequence

รหัส  $m$ -sequence เป็นรหัสที่สร้างขึ้นจากชิฟต์รีจิสเตอร์จำนวนหนึ่งที่มาต่อเชื่อมกันแบบอนุกรม โดยที่มีการป้อนกลับของสัญญาณจากชิฟต์รีจิสเตอร์อย่างน้อย 2 ตำแหน่งกลับไปยังที่ขาเข้าของชิฟต์รีจิสเตอร์ตัวแรก พิจารณารูปที่ 2.4 ประกอบ เส้นประหมายถึง ในวงจรสามารถมีการป้อนกลับค่าของชิฟต์รีจิสเตอร์ ณ ตำแหน่งดังกล่าวได้ ซึ่งพิจารณาพหุนามที่จะนำมาสร้างวงจร และโดยทั่วไปจำนวนและตำแหน่งของการป้อนกลับจะมีบทบาทสำคัญในการกำหนดผลของลำดับสัญญาณ PN ที่ได้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรสร้างรหัส  $m$ -sequence [2]

## คุณสมบัติของรหัส $m$ - sequence [2]

รหัส  $m$  - sequence สามารถสร้างลำดับสัญญาณที่มีความยาวสูงสุดได้คือ มีความยาวเท่ากับ  $P = 2^r - 1$  ชิป (chip) เมื่อ  $r$  คือ จำนวนของชิพตรีจิตเตอร์ที่ใช้ ชุดรหัสทุกชุดที่สร้างขึ้นจะมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมือนกันดังต่อไปนี้

### คุณสมบัติข้อที่ 1

รหัสหรือลำดับสัญญาณที่ได้จะมีชิปที่มีค่าเป็นหนึ่งมากกว่าชิปที่มีค่าเป็นศูนย์อยู่หนึ่งชิปเสมอ เช่น  $P = 2^4 - 1 = 15$  ชิป จะประกอบด้วยชิปที่มีค่าเป็นหนึ่ง 8 ชิป และมีค่าเป็นศูนย์ 7 ชิป

### คุณสมบัติข้อที่ 2

ภายในลำดับสัญญาณแต่ละชุดจะมีช่วงของชิปที่มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งต่อเนื่องกันจำนวนหนึ่ง ส่วนที่ต่อเนื่องกันนี้จะเรียกว่า รัน (run) โดยความยาวของแต่ละรันจะมีขนาดที่แตกต่างกันไป สำหรับรหัส  $m$ -sequence จะมีคุณสมบัติของรันที่พิเศษคือ จะมีรันของศูนย์และหนึ่งขนาด  $P$  ชิปเกิดขึ้นในลำดับสัญญาณทั้งสิ้น  $2^{r-(p+2)}$  ครั้ง โดย  $p$  มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง  $r-2$  เมื่อ  $r$  คือ จำนวนของชิพตรีจิตเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลำดับสัญญาณ นอกจากนี้จะมีรันของศูนย์ขนาด  $r-1$  จำนวน 1 รัน และรันของหนึ่งขนาด  $r$  จำนวน 1 รันเสมอ

### คุณสมบัติข้อที่ 3

อัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) ของชุดรหัส  $m$ -sequence จะมีค่าเท่ากับ  $-1$  เสมอ ซึ่งหาได้จากนำสัญญาณรหัสชุดเดิมที่มีการเลื่อน ไปคูณกับสัญญาณรหัสเดิมที่ไม่ได้ทำการเลื่อน แล้วนำผลคูณที่ได้ของแต่ละตำแหน่งมาอินทิเกรตรวมกันทั้งหมด ผลที่ได้ก็คือค่าอัตรสหสัมพันธ์ ทั้งนี้ในการคูณกันนั้นจะกำหนดให้  $-1$  แทนชิปที่มีค่าเป็นศูนย์ และ  $1$  แทนชิปที่มีค่าเป็นหนึ่ง ในการหาค่าอัตรสหสัมพันธ์นั้นจะต้องใช้ลำดับสัญญาณ 2 ชุดที่เหมือนกันแต่อาจมีการเลื่อนชิปของลำดับสัญญาณชุดหนึ่งให้ต่างจากลำดับสัญญาณของอีกชุดหนึ่งด้วยระยะทางต่างๆตามต้องการ

### คุณสมบัติข้อที่ 4

เมื่อนำรหัส  $m$  - sequence ชุดหนึ่งมาบวกแบบมอดูโล 2 กับรหัสชุดเดิมที่มีการเลื่อนชิปไป จะได้รับรหัสชุดใหม่ที่มีคุณลักษณะเดียวกันกับรหัสชุดเดิม แต่มีการเลื่อนของชิปไปด้วยจำนวนที่แตกต่างจากรหัสเริ่มต้นทั้งสองชุด

### คุณสมบัติข้อที่ 5

หากพิจารณาค่าของชิพตรีจิตเตอร์แต่ละตัว ณ จังหวะเวลาใดเวลาหนึ่ง จะพบว่าค่าหรือสถานะของชิพตรีจิตเตอร์เหล่านี้จะมีรูปแบบที่แตกต่างไปจากที่จังหวะเวลาอื่นๆ ทั้งหมดเมื่อพิจารณาภายในช่วงเวลา 1 คาบของลำดับสัญญาณ นั่นคือ รูปแบบสถานะของชิพตรีจิตเตอร์เหล่านี้ จะไม่มีการเกิดซ้ำภายใน 1 คาบสัญญาณ อีกทั้งจะไม่เกิดกรณีที่สถานะของชิพตรีจิตเตอร์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์หมด เพราะในสถานะดังกล่าววงจรชิพตรีจิตเตอร์จะไม่สามารถสร้างลำดับสัญญาณขึ้นได้

ดังนั้น ในการสร้างลำดับสัญญาณนั้นจะต้องแน่ใจว่าค่าตั้งต้นของชิพตรีจิสเตอร์ทุกตัวมีค่าที่ไม่เป็นศูนย์พร้อมกันหมด

### 2.3 ระบบ BPSK (Binary Phase Shift Keying)

เราจำเป็นต้องศึกษาระบบ BPSK เพราะระบบ DSSS-CDMA ที่เราจะนำมาสร้างแบบจำลองนั้นเราอาศัยการ Modulation แบบ BPSK และเราจะนำ BER (Bit Error Rate) ของระบบ BPSK และระบบ DSSS-CDMA นำมาเปรียบเทียบกัน

BPSK (Binary Phase Shift Keying) [3] เป็นการนำข้อมูลบิต 1 แทนด้วยสัญญาณแอมพลิจูดเป็น 1 และข้อมูลบิต 0 แทนด้วยสัญญาณแอมพลิจูดเป็น -1 แล้วนำเอาสัญญาณที่ได้ไปคูณกับสัญญาณพาห้  $\sin(2\pi f_c t)$  เมื่อ  $f_c$  คือความถี่ของสัญญาณพาห้ หรือ Carrier Frequency ทำให้สัญญาณบิต 1 และบิต 0 มีเฟสต่างกันอยู่  $180^\circ$

สัญญาณ BPSK เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + D_p m(t)] \quad (2-1)$$

เมื่อ  $m(t)$  เป็นสัญญาณข้อมูลที่มีแอมพลิจูดเป็นบวก เมื่อส่งบิต 1 และแอมพลิจูดเป็นลบ เมื่อส่งบิต 0

สัญญาณ BPSK สามารถแสดงให้เห็นว่าเป็นสัญญาณประเภท AM ได้เช่นกัน โดยการกระจายสมการที่ (2-1) จะได้

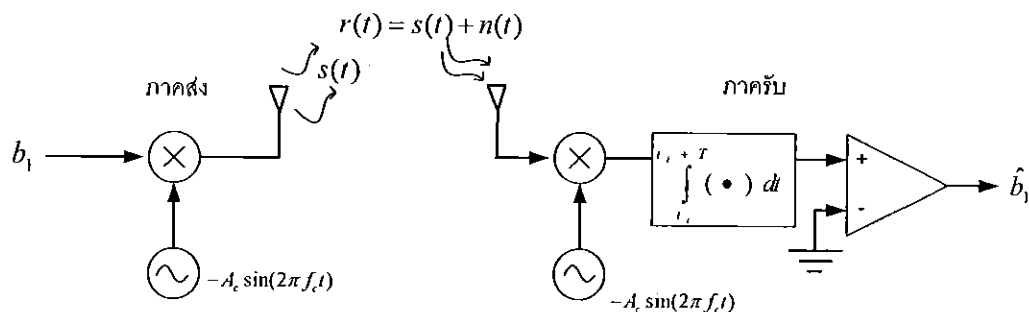
$$s(t) = A_c \cos(D_p m(t)) \cos(\omega_c t) - A_c \sin(D_p m(t)) \sin(\omega_c t) \quad (2-2)$$

จากที่สมมติให้  $m(t)$  มีค่า  $\pm 1$  จะสามารถลดรูปได้เป็น

$$s(t) = A_c \cos(D_p) \cos(\omega_c t) - A_c \sin(D_p) m(t) \sin(\omega_c t) \quad (2-3)$$

เพื่อที่จะทำให้การส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพมากที่สุด กำลังในส่วนของการข้อมูลจำเป็นต้องมีกำลังมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการ ทำให้  $D_p = 90^\circ = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$  ซึ่งจะตรงกับตัวชี้มอดูเลต ดิจิตอล (Modulation Index) เท่ากับ 1 ซึ่งสัญญาณ BPSK จะกลายเป็น

$$s(t) = -A_c m(t) \sin(\omega_c t) \quad (2-4)$$

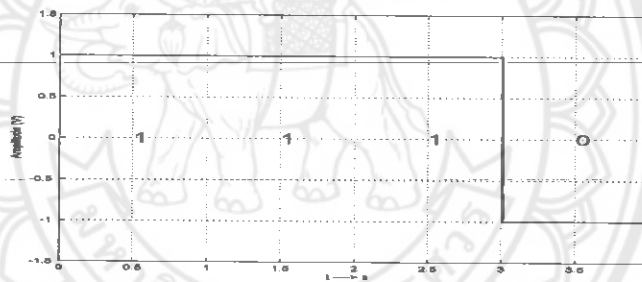


รูปที่ 2.5 โครงสร้างภาครับและภาคส่งของระบบ BPSK

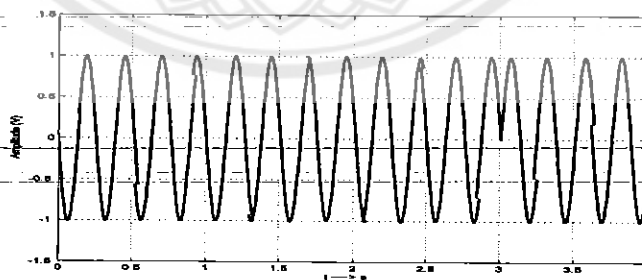
โดยที่ $b_1$	คือ บิตข้อมูลที่จะส่ง
$A_c$	คือ แอมพลิจูดที่ใช้ในการ Modulation
$f_c$	คือ ความถี่พาห้ หรือ Carrier Frequency
$s(t)$	คือ สัญญาณที่ส่ง
$r(t)$	คือ สัญญาณที่รับได้
$n(t)$	คือ สัญญาณรบกวน
$\hat{b}_1$	คือ บิตข้อมูลที่ได้รับ

จากรูปที่ 2.5 เมื่อเราต้องการรับข้อมูลของระบบ BPSK จะทำได้โดยนำสัญญาณที่รับมาไปผ่านวงจร Demodulation ที่มี  $f_c$  ตัวเดียวกันกับภาคส่งแล้วนำสัญญาณนี้ไปผ่านวงจร integrator แล้วนำไปผ่านวงจรตัดสินใจบิตต่อ ว่าเป็นบิต 0 หรือบิต 1

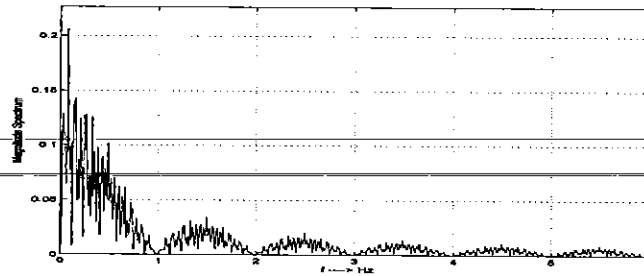
จากทฤษฎีข้างต้นจะแสดงเป็นสัญญาณได้ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าสัญญาณอินพุตจะมีแอมพลิจูดเป็น 1 กับ -1 และได้สัญญาณ BPSK ที่มีการเปลี่ยนเฟสเมื่อมีการเปลี่ยนบิตข้อมูลจาก 1 เป็น -1 หรือจากบิตข้อมูล -1 เป็น 1 จะเห็นได้ว่าเฟสที่เปลี่ยนไปคือ  $180^\circ$  ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.7



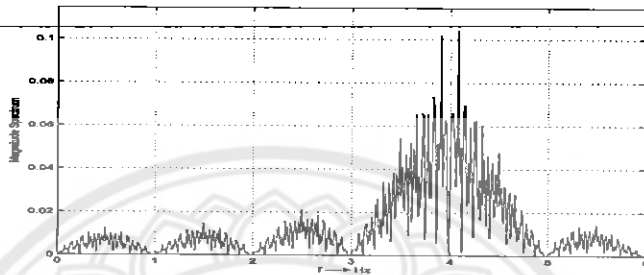
รูปที่ 2.6 บิตข้อมูลที่ต้องการส่ง



รูปที่ 2.7 สัญญาณ BPSK



รูปที่ 2.8 สัญญาณทางความถี่ของข้อมูลที่ต้องการส่ง



รูปที่ 2.9 สัญญาณทางความถี่ของระบบ BPSK

จากรูปที่ 2.8 เป็นสัญญาณทางความถี่ของสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง และรูปที่ 2.9 เป็นรูปสัญญาณทางความถี่ของระบบ BPSK จะเห็นว่าสัญญาณทางความถี่ของระบบ BPSK จะมี Bandwidth เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของสัญญาณข้อมูล และ Amplitude Spectrum ก็ลดลงครึ่งหนึ่งซึ่งเป็นไปตาม ทฤษฎี Fourier Transform ของ sinusoid [4]

$$\cos(\omega_c t + \phi) \quad \mathcal{F}[\cdot] \quad \frac{1}{2} [e^{j\phi} \delta(f - f_c) + e^{-j\phi} \delta(f + f_c)] \quad (2-5)$$

จากสมการที่ 2-5 พิจารณา  $\cos(\omega_c t + \phi)$  จะเห็นว่าแอมพลิจูดทางความถี่จะลดลงครึ่งหนึ่งซึ่งถ้าเรานำรูปที่ 2.8 ไปคูณกับ  $\cos(\omega_c t + \phi)$  จะทำให้ได้ผลดังรูปที่ 2.9 เป็นจริงตามทฤษฎี

## 2.4 การสร้างสัญญาณรบกวน (noise)

สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างแบบจำลองเพราะระบบสื่อสารในทางปฏิบัติหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่มีสัญญาณรบกวน ในการศึกษาสัญญาณรบกวนนี้เราไม่สามารถทราบได้ว่าที่เวลาใดๆ จะมีสัญญาณรบกวนมากน้อยเท่าใด เราจึงศึกษาคุณสมบัติทางสถิติมาเกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณรบกวน ให้กับแบบจำลอง เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษารเราจะให้สัญญาณรบกวนเป็นแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN)

### Additive White Gaussian Noise Process [4]

**นิยาม** สัญญาณสุ่ม  $x(t)$  ที่เป็น AWGN จะต้องมีค่า Power Spectral Density (PSD) เป็นค่าคงที่ทุกๆความถี่ นั่นคือ

$$\mathcal{P}(f) = \frac{N_0}{2} \quad (2-6)$$

เมื่อ  $N_0$  คือจำนวนบวกลดใดๆ มีหน่วยเป็น Watt/Hz

The autocorrelation function ของ AWGN ต้องเป็นสัญญาณที่ได้จากการแปลง inverse Fourier transform ของสมการที่ (2-6) จะได้เป็น

$$R_x(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau) \quad (2-7)$$

AWGN จะเป็นการกระจายตัวทางสถิติแบบ Gaussian เราสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ เป็น  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$  ดังรูปในภาคผนวก(ก) รูปที่ 3ก.

เมื่อ  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$  คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่มีการกระจายตัวแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ย(mean) เท่ากับ  $\mu$  และค่าความแปรปรวน (variance) เท่ากับ  $\sigma^2$

## 2.5 การ Jamming ของสัญญาณ

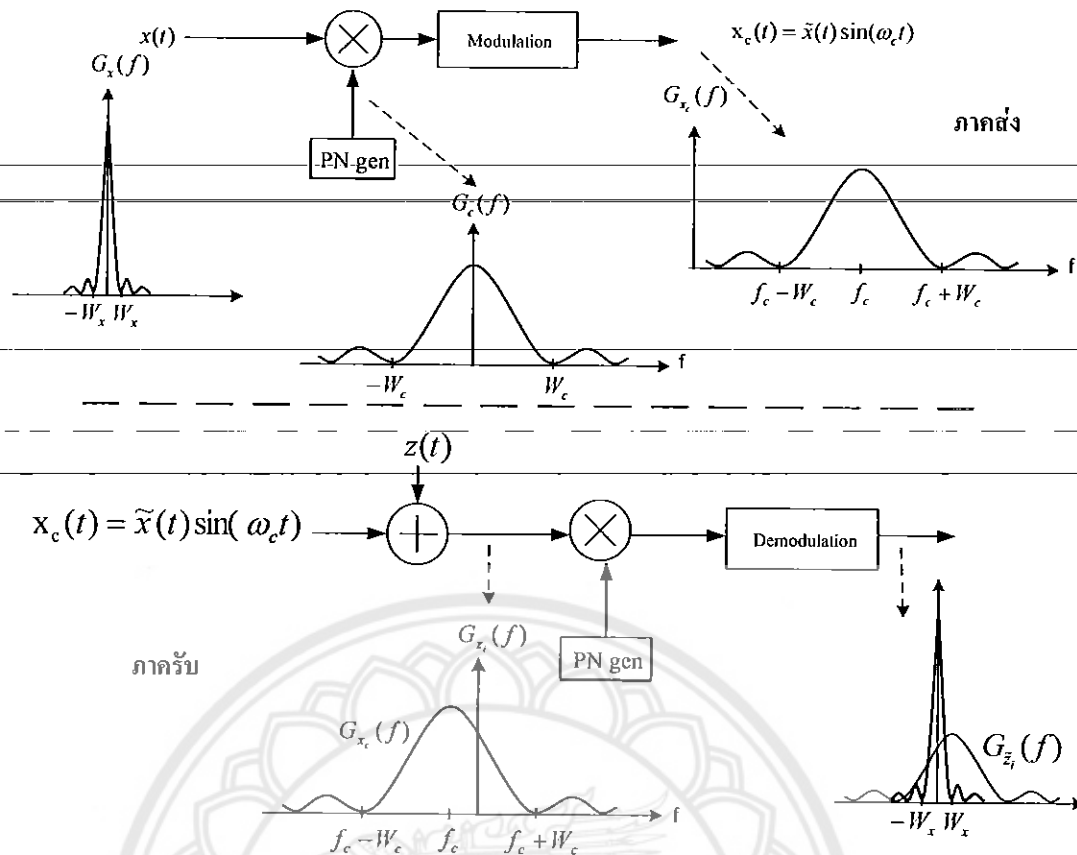
เป็นการนำสัญญาณ BPSK เข้ามา Jamming กับระบบ CDMA ที่เราสนใจและวิเคราะห์ว่า จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA ลดลงมากน้อยเพียงใดและสามารถนำเอาระบบทั้งสองมาใช้งานร่วมกันได้หรือไม่ในย่านความถี่เดียวกัน โดยอาศัยทฤษฎี Fourier Series [4] เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ Spectrum ของสัญญาณ Jamming ดังสมการนี้

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} w(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2-8)$$

จากสมการที่ (2-8) ให้  $w(t)$  เป็นสัญญาณทางเวลาของรหัสในระบบ DSSS-CDMA และ  $c_n$  เป็นองค์ประกอบทางความถี่ของรหัส

เราจะอาศัยรูปที่ 2.10 ในการวิเคราะห์การ Jamming ดังที่จะกล่าวต่อไป





รูปที่ 2.10 โครงสร้างของการวิเคราะห์สัญญาณ Jamming [5]

จากรูปที่ 2.10 เป็นโครงสร้างของการวิเคราะห์สัญญาณ Jamming โดยที่ให้  $x(t)$  เป็นสัญญาณข้อมูลที่เราต้องการส่ง แล้ว  $G_x(f)$  เป็นสัญญาณทางความถี่ของข้อมูล จากนั้นนำสัญญาณนี้ไปทำการคูณกับรหัสทำให้ Spectrum ของสัญญาณข้อมูลมีการแพร่กระจายออกตาม  $G_c(f)$  ซึ่งมีความถี่หลักอยู่ที่ศูนย์ แล้วเราจะทำการ Modulation ไปที่ความถี่ที่ใช้ส่งคือ  $f_c$  แล้วส่งสัญญาณนี้ออกไป เมื่อถึงภาครับสัญญาณที่เราส่งมาก็จะมีสัญญาณ Jamming คือ  $z(t)$  รวมมาด้วยกัน ซึ่งหลังจากนั้นก็ให้นำเอาสัญญาณนี้ไปคูณรหัสแล้ว Demodulation จะทำให้ได้สัญญาณเดิมออกมาที่ความถี่ศูนย์ ส่วนสัญญาณ Jamming เมื่อผ่านการคูณด้วยรหัส ทำให้ความถี่ของสัญญาณ Jamming นี้ถูกแผ่กระจายออก เราจึงสนใจแอมพลิจูดของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ศูนย์ ซึ่งค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ Jamming นี้จะได้จากการแปลง Fourier series ของรหัสตามสมการที่ (2-8) เราจะใช้โครงสร้างนี้ในการศึกษาต่อไปในบทถัดไป

จากทฤษฎีที่กล่าวมาเราจะมีการศึกษาต่อไปในบทที่ 3 เพื่อที่จะนำมาสร้างแบบจำลองที่ถูกต้องและนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ต่อไป

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินโครงการ

จากการที่เราศึกษาทฤษฎีในบทที่ 2 แล้ว จะได้นำเอาความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำโครงการดังข้อย่อยในบทที่ 3 ตามลำดับ เมื่อสร้างแบบจำลองเสร็จแล้ว จึงทำการทดลอง ซึ่งจะแสดงในบทที่ 4 ต่อไป โดยในบทที่ 3 นี้ จะทำการสร้างรหัส PN Code สร้างสัญญาณรบกวน สร้างระบบ CDMA-1 รายผู้ใช้เทียบกับ BPSK สร้างระบบ CDMA สำหรับหลายรายผู้ใช้และการ Jamming ตามลำดับ

### 3.1 การสร้าง PN Code ที่จะนำมาใช้ในระบบ DSSS-CDMA

PN Code เป็นรหัสที่มีลำดับสัญญาณที่มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับสัญญาณสุ่มมากในโครงการนี้เราจะสร้างรหัส โดยใช้วิธี m-sequence

เราสามารถสร้าง Code ที่มีความยาวได้ดังนี้คือ

$$P = 2^r - 1 \quad ; r = 2, 3, 4, \dots \quad (3-1)$$

โดยที่  $P$  คือคาบความยาวของรหัส

$r$  คือจำนวนชิฟต์รีจิสเตอร์ที่ใช้

จากสมการที่ (3-1) ความยาวของรหัสที่เป็นไปได้มีดังนี้เช่น คาบของรหัสเท่ากับ 3 บิต เมื่อ  $r = 2$  และคาบของรหัสเท่ากับ 7 เมื่อ  $r = 3$  เป็นต้น จะเห็นว่าคาบของรหัสขึ้นอยู่กับสมการที่ (3-1) และการสร้างรหัส โดยวิธี m-sequence นี้ จะมีวิธีการสร้างที่แน่ชัดและเป็นรูปแบบซึ่งการสร้างรหัสนี้เราจะแสดงให้ดูเป็นตัวอย่างต่อไป

#### วิธีการสร้างรหัส m-sequence

กำหนดให้  $x^{2^r-1} + 1$  เป็นพหุนามตั้งต้น แล้วหาพหุนามที่มีดีกรี  $r$  ที่หารพหุนามตั้งต้นได้ลงตัว จากนั้นก็นำพหุนามนี้ไปเขียนเป็นวงจร เพื่อที่จะเข้ากระบวนการสร้างลำดับของรหัส จำนวนบิตของรหัสที่ได้จะเป็นไปตามสมการที่ (3-1) โดยที่เราแทนค่า  $r$  ที่สมการตัวตั้งเท่าไร ก็ต้องแทนค่า  $r$  ในสมการที่ (3-1) เท่านั้น เมื่อเราได้รหัสแล้ว เราสามารถนำรหัสที่ได้ไปสร้างเป็นรหัสใหม่ได้จำนวน  $P$  รหัสเช่น  $r = 3$  สร้างรหัสได้ 7 รหัส เป็นต้น ตามสมการที่ (3-1) ซึ่งได้จากการเลื่อนของรหัสตัวแรกนั่นเอง โดยที่เลื่อนไปจนจะซ้ำกับรหัสเดิม จะเห็นว่าเลื่อนได้  $P-1$  ครั้ง

ตัวอย่าง  $r=3$   $x^{2^{r-1}}+1=x^7+1$  จะสร้างรหัสได้  $2^3-1=7$  บิต

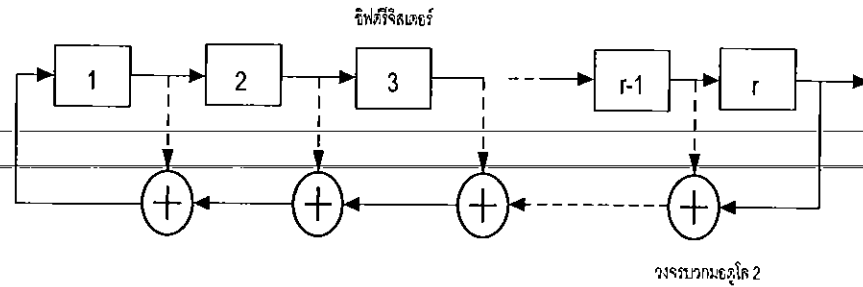
$$\begin{array}{r}
 x^4+x^3+x^2+1 \\
 x^3+x^2+1 \overline{)x^7} \qquad \qquad \qquad +1 \\
 \underline{x^7+x^6+x^4} \qquad \qquad \qquad \\
 x^6+x^4 \\
 \underline{x^6+x^5+x^3} \\
 x^5+x^4+x^3 \\
 \underline{x^5+x^4+x^2} \\
 x^3+x^2+1 \\
 \underline{x^3+x^2+1} \\
 \underline{\underline{0}}
 \end{array}$$

จะเห็นได้ว่าพหุนาม  $x^3+x^2+1$  สามารถหาร  $x^7+1$  ได้ลงตัว โดยได้ผลหารเท่ากับ  $x^4+x^3+x^2+1$  ดังนั้น พหุนาม  $x^3+x^2+1$  สามารถนำไปใช้ในการสร้างรหัส PN Code ที่มีความยาว 7 บิตได้

$$\begin{array}{r}
 x^4+x^2+x+1 \\
 x^3+x+1 \overline{)x^7} \qquad \qquad \qquad +1 \\
 \underline{x^7+x^5+x^4} \\
 x^5+x^4 \\
 \underline{x^5+x^3+x^2} \\
 x^4+x^3+x^2 \\
 \underline{x^4+x^2+x} \\
 x^3+x+1 \\
 \underline{x^3+x+1} \\
 \underline{\underline{0}}
 \end{array}$$

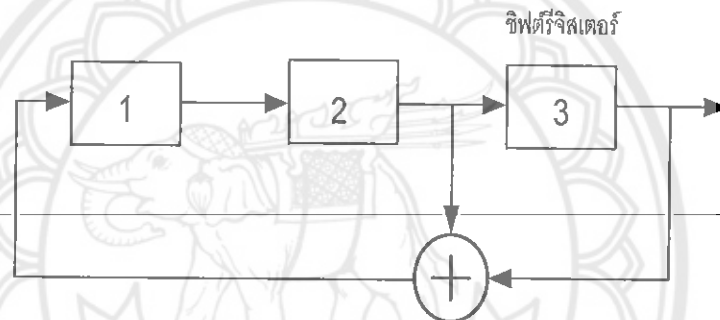
จะเห็นได้ว่าพหุนาม  $x^3+x+1$  สามารถหาร  $x^7+1$  ได้ลงตัว โดยได้ผลหารเท่ากับ  $x^4+x^2+x+1$  ดังนั้น พหุนาม  $x^3+x+1$  สามารถนำไปใช้ในการสร้างรหัส PN Code ที่มีความยาว 7 บิตได้

เมื่อเราได้พหุนามที่เหมาะสมแล้วเราสามารถนำมาเขียนเป็นวงจรเพื่อสร้างเป็นรหัสได้



**รูปที่ 3.1** โครงสร้างพื้นฐานของวงจรสร้างรหัส  $m$ -sequence [2]

เราสามารถนำพหุนามที่เหมาะสมมาสร้างรูปโครงสร้างในรูปที่ 3.1 ได้โดยพิจารณาดีกรีของสมการดังจะแสดงในตัวอย่างดังนี้  
เช่น  $x^3 + x^2 + 1$  เราสามารถนำพหุนามที่ได้มาเขียนเป็น โครงสร้างได้



**รูปที่ 3.2** โครงสร้างของวงจรสร้างรหัส  $m$ -sequence จากพหุนาม  $x^3 + x^2 + 1$  [6]

จากรูปที่ 3.2 สร้างจากพหุนามที่มีดีกรี 2 และ 3 จึงทำให้วงจรจิสเตอร์ที่ 2 และ 3 มีการป้อนกลับ

เมื่อเราได้รูปโครงสร้างในการสร้างรหัส แล้วให้เรากำหนดค่าเริ่มต้น โดยให้เป็นไปตามคุณสมบัติของรหัสที่จะสร้าง

ตารางที่ 3.1 การสร้าง PN Code โดยวิธี m-sequence

State	Box 1 คือ	Box 2 คือ	Box 3 คือ	Code คือ
	Box 2 $\oplus$ Box 3	Box 1	Box 2	Box 3
	ของ State ก่อนหน้า	ของ State ก่อนหน้า	ของ State ก่อนหน้า	ของ State ก่อนหน้า
	เริ่ม 1	เริ่ม 1	เริ่ม 1	เริ่ม 1
1	0	1	1	1
2	0	0	1	1
3	1	0	0	1
4	0	1	0	0
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0
8	0	1	1	1

จากตารางเราสามารถอ่านค่าบิตของรหัสจากล่างขึ้นบนเริ่มจาก State ที่ 7 ถึง State ที่ 1 จากตารางจะทำการป้อนกลับเพียง 7 State ก็เพียงพอแล้ว เพราะถ้ามีการป้อนกลับต่อไปก็จะทำให้ได้ลำดับเดิม ซึ่งลำดับที่ได้จะเป็นคาบที่ 7 บิต ดังนั้นรหัสคือ 0100111 แล้วนำไปเช็คกับคุณสมบัติทั้ง 5 ข้อในบทที่ 2 แล้วถูกต้อง

ในการเขียนโปรแกรมให้  $x^3 + x^2 + 1$  สร้างเป็นลำดับ [7] คือ [1 1 0 1] แล้วนำไปใส่ในโปรแกรม เพื่อที่จะสร้างรหัสให้เร็วขึ้นและไม่ผิดพลาดในกระบวนการสร้างรหัส

จากนั้นเราก็ได้รหัสที่นำไปจำลองในระบบ DSSS-CDMA ในแบบจำลองเราจะใช้รหัส 15 บิต รหัส 31 บิต และ รหัส 63 บิต โดยใช้โปรแกรมสร้างขึ้นมา

ถ้าต้องการสร้างรหัส 15 บิต จะได้พหุนามคือ  $x^4 + x^3 + 1$  จะได้ลำดับ คือ [1 1 0 0 1] แล้วนำไปใส่ในโปรแกรม จะทำให้ได้รหัสมาหนึ่งรหัสแล้ว เรานำรหัสตัวนี้มาสร้างเป็นรหัสใหม่ โดยการเลื่อน ถ้ามีรหัส 15 บิต และสามารถเลื่อนเพื่อสร้างเป็นรหัสใหม่ จะได้รหัสทั้งหมด 15 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รหัสและค่า Autocorrelation

จำนวนชิปที่เลื่อน	ลำดับสัญญาณ	Autocorrelation
0	000100110101111	15
1	100010011010111	-1
2	110001001101011	-1
3	111000100110101	-1
4	11100010011010	-1
5	01110001001101	-1
6	10111000100110	-1
7	01011100010011	-1
8	10101110001001	-1
9	11010111000100	-1
10	01101011100010	-1
11	00110101110001	-1
12	10011010111000	-1
13	01001101011100	-1
14	00100110101110	-1
15	00010011010111	15

จากตารางที่ 3.2 จะได้รับรหัสที่สามารถนำมาใช้ในแบบจำลองได้ 15 รหัส เพราะถ้าเลื่อนไปอีกก็ทำให้รหัสซ้ำเดิมอีก จะเห็นว่าถ้าเลื่อน 15 บิต จะทำให้รหัสที่ได้เท่ากับรหัสที่ยังไม่มีการเลื่อน เราจึงนำรหัสที่เลื่อนจำนวนชิปที่ 0-14 ได้ 15 รหัสนำไปใช้ในแบบจำลอง

### 3.2 การสร้างสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปใช้ในแบบจำลอง

จากการศึกษาในบทที่ 2 เราจะใช้สัญญาณรบกวน (noise) ที่เป็น AWGN ในการสร้างแบบจำลองเพราะเป็นสัญญาณที่มี Power ที่เป็นค่าคงที่ ในโปรแกรมเรามีคำสั่งที่จะสร้างสัญญาณสุ่มคือ randn จะได้คุณสมบัติ  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2) = \mathcal{N}(0, 1)$  คือจะมี Power เท่ากับ 1 Watt

ซึ่ง Power หาได้ดังนี้

$$\text{Power} = \mu^2 + \sigma^2 \quad [\text{Watt}]$$

ถ้าต้องการเปลี่ยน Power เราต้องใช้ทฤษฎีทางสถิติเข้ามาใช้ คือหาทฤษฎีที่จะนำเปลี่ยนค่าของ  $\mu$  หรือ  $\sigma$  แต่ในที่นี้เราให้  $\mu$  มีค่าเป็น 0 และเราก็เปลี่ยนเฉพาะค่าของ  $\sigma$

ทฤษฎีทางสถิติคือใช้ คุณสมบัติของค่า Variance [8]

กำหนดให้มีสัญญาณสุ่ม  $X$  ที่มีค่า Expected  $E[X] = \mu_x$

และ Variance  $Var[X] = E[(X - \mu_x)^2]$

1. ถ้า  $X$  เป็นสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ  $a$  จะได้  $Var[X] = 0$

2. ถ้า  $Y = X + b$  จะได้ Variance คือ  $Var[Y] = Var[X]$

3. ถ้า  $Y = aX$  จะได้ Variance คือ  $Var[Y] = a^2 Var[X]$

จะเห็นได้ว่ามีทฤษฎีข้อที่ 3 ในการนำมาใช้ในแบบจำลอง

การสร้างสัญญาณรบกวนก็เป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะทำให้เรานำค่าที่ถูกต้องของสัญญาณรบกวนนี้ไปใช้ในการทดลอง

กำหนดให้มีสัญญาณ  $n(t)$  เราจะหา  $P(f)$  ได้  $\frac{N_0}{2}$  มีหน่วยเป็น Watt/Hz

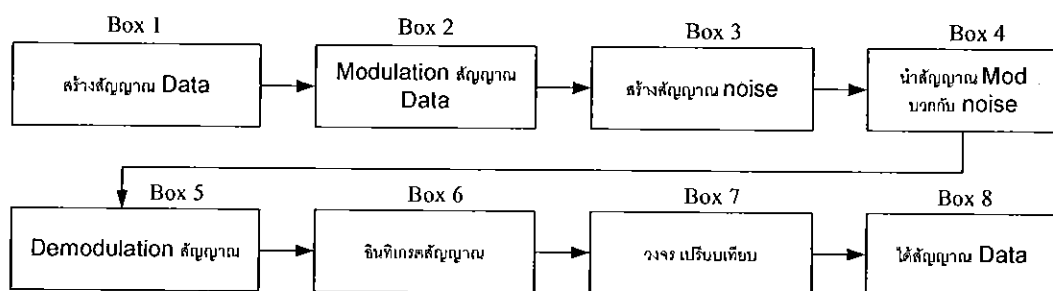
เราต้องการสัญญาณรบกวนที่มีหน่วยเป็นวัตต์ ในโปรแกรมเมทแล็บจากคำสั่ง randn จะทำให้เราได้  $N_0$  Watt/Hz ถ้าจะเปลี่ยนหน่วยให้เป็นวัตต์ตามที่เรต้องการจะต้องนำค่าของสัญญาณรบกวนนั้นมาคูณกับ ความถี่ในการสุ่ม (Sampling Frequency) ด้วยเพราะถ้าใส่ค่าที่เรต้องการในทางความถี่จะทำให้ค่านั้นกระจายออกกว้างเท่ากับ ความถี่ในการสุ่ม (Sampling Frequency) เพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้องเราจึงได้ [9]

$$Noise = \sigma^2 = \frac{N_0 * f_s}{2} \text{ [Watt]} \quad (3-2)$$

ก็จะทำให้ได้สัญญาณรบกวนที่เราต้องการคือ  $Noise = \frac{N_0 * f_s}{2}$  ที่มีหน่วยเป็นวัตต์ ที่จะนำไปใช้ในแบบจำลอง

### 3.3 การสร้างแบบจำลองของระบบ BPSK และวิเคราะห์ประสิทธิภาพ(BER)

จากระบบ BPSK เราจะสร้างแบบจำลองดังรูป โครงสร้างรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างการสร้างแบบจำลองของระบบ BPSK

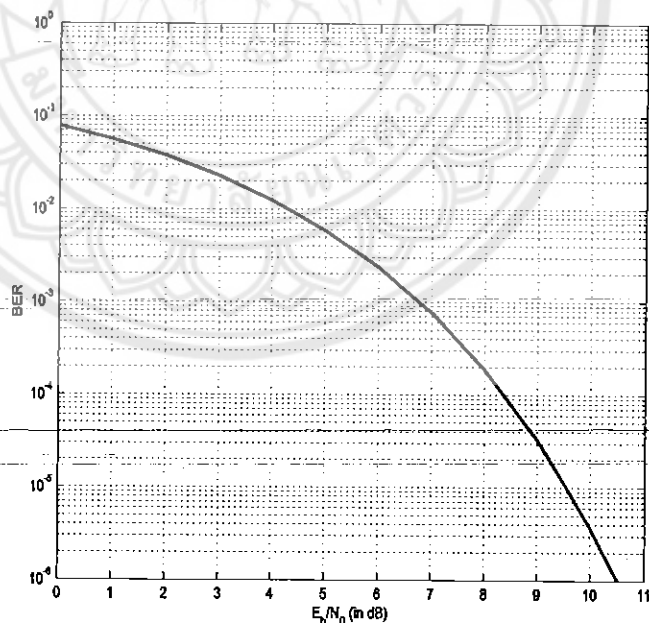
จากรูปที่ 3.3 เราจะทำการสร้างแบบจำลองตามขั้นตอนดังนี้ เริ่มจาก Box 1 จะสร้างสัญญาณ Data ที่มีค่าบิต 0 และ 1 ออกมาจำนวนใกล้เคียงกันเนื่องจากระบบสื่อสารดิจิทัล จะผ่าน Box ของการบีบอัดข้อมูลทำให้ได้สัญญาณบิต 0 และ 1 ที่มีจำนวนบิตใกล้เคียงกัน เมื่อถึง Box 2 นำสัญญาณที่ได้ ไป Modulation ที่มี carrier frequency เท่ากับ 100 Hz จากนั้นเข้า Box 3 สร้างสัญญาณ noise ที่ทำให้ได้ค่า SNR = 0 แล้วนำค่า noise ที่ได้ไปบวกกับ สัญญาณที่ Modulation ใน Box 4 จากนั้นเรานำสัญญาณใน Box 4 มาผ่านแบบจำลองที่เป็นภาครับของระบบ BPSK ที่ Box 5 คือนำมา Demodulation ได้สัญญาณที่ BaseBand ไปผ่านวงจรอินทิเกรต แล้วนำสัญญาณนี้ไปผ่านวงจรเปรียบเทียบทำให้ได้ผลที่ได้ของแบบจำลอง แล้วทำ Box 1 จนถึง Box สุดท้ายใหม่ เพียงเปลี่ยนค่าของ SNR ใน Box ที่ 3 ให้มีค่า SNR เป็น 2, 3 จนถึง 12 dB แล้วจะได้ BER ของแบบจำลอง

ในทางทฤษฎี การคำนวณหา Bite Error Rate (BER) [4]

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (3-3)$$

โดยที่  $E_b$  คือ พลังงานเฉลี่ยต่อการส่งข้อมูล 1 บิต

จากนั้นเราก็ทำการ Plot BER ของ BPSK จะได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 BER ของระบบ BPSK

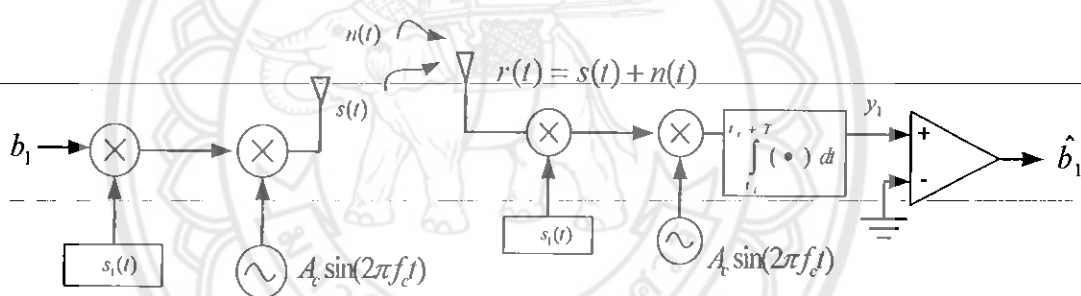


จากรูปที่ 3.4 เป็นค่าของ Probability of bit error หรือ BER ของระบบ BPSK ที่มีการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยน SNR ของระบบ ซึ่งเมื่อระบบมี SNR ที่สูงก็จะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกิดผิดพลาดน้อยลง ถ้าเราสังเกตจากรูปที่ 3.4 ที่ได้จากทฤษฎีนี้ที่ SNR เท่ากับ 7 dB จะมี BER เท่ากับ  $7 \times 10^{-4}$  เมื่อมาสังเกตที่ 10 dB จะมี BER เท่ากับ  $2 \times 10^{-6}$  ซึ่งจะเห็นว่าค่าน้อยลงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

เมื่อเราได้ BER แล้วเราก็จะนำค่า BER ของ BPSK ไปเปรียบเทียบกับ BER ของระบบ CDMA ต่อไป

### 3.4 การสร้างแบบจำลองของระบบ DSSS-CDMA ของผู้ใช้งานเดียวและวิเคราะห์ BER เมื่อเทียบกับระบบ BPSK

ในการสร้างแบบจำลองระบบ DSSS-CDMA จะเริ่มจากการพิจารณาโครงสร้างของระบบ ดังรูปที่ 3.5 ก่อน แล้วเราจึงทำการสร้างแบบจำลอง แต่ละตัวจากซ้ายไปขวามือตามลำดับ เมื่อเราสร้างแบบจำลองเสร็จแล้วให้เราทำการทดลองแล้วเทียบกับทฤษฎี



รูปที่ 3.5 วงจรภาครับและภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้ 1 ราย

จากทฤษฎีที่ใช้การ Modulation และ Demodulation ด้วยสัญญาณ  $-A_c \sin(2\pi f_c t)$  จะได้  $-A_c \sin(2\pi f_c t)$  เมื่อส่งบิต 1 และ  $A_c \sin(2\pi f_c t)$  เมื่อส่งบิต 0 แต่ในโครงงานนี้เราจะให้สัญญาณที่ส่งบิต 1 คือ  $A_c \sin(2\pi f_c t)$  และส่งบิต 0 คือ  $-A_c \sin(2\pi f_c t)$  ซึ่งสามารถกำหนดให้  $A_c \sin(2\pi f_c t)$  เป็นตัว Modulation และ Demodulation แทน ซึ่งจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเพราะทั้งสองวิธีนี้ต่างก็มีมุมเฟสต่างกัน  $180^\circ$  เท่ากัน

จากภาคผนวก(ก) ในสมการที่ (13ก.) จะได้

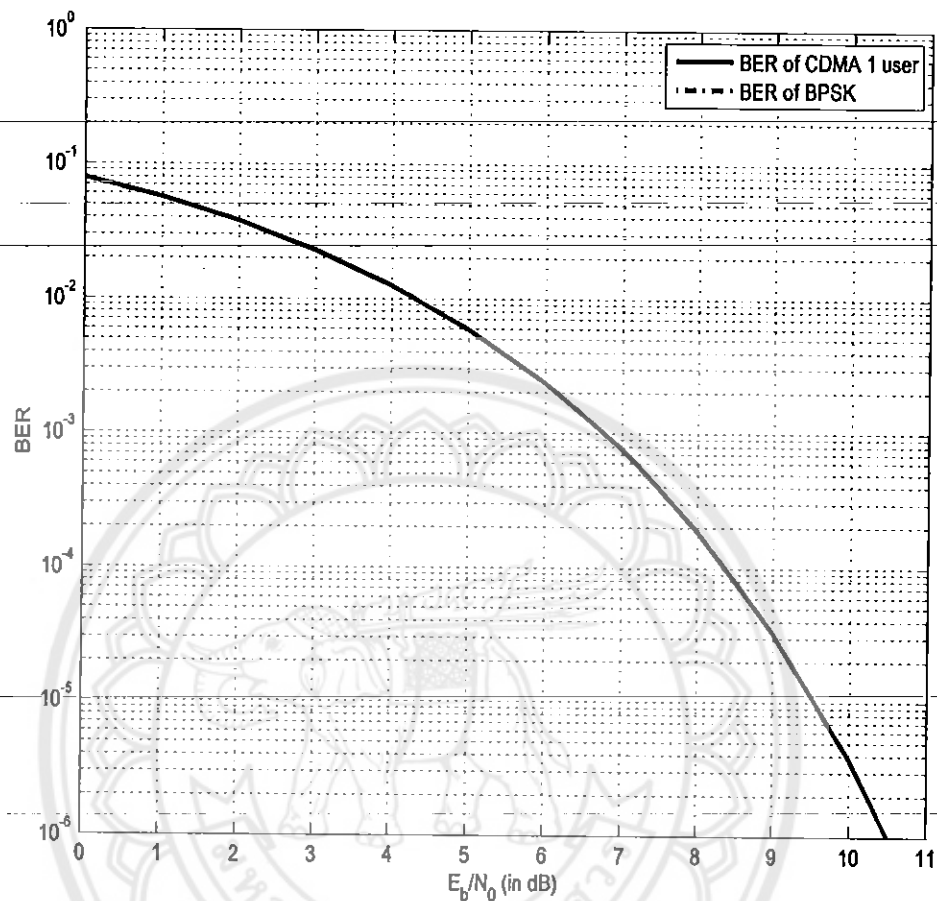
$$P_1 = Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) \quad (3-4)$$

โดยที่  $P_1$  คือ BER ของผู้ใช้งานที่ 1

$A_1$  คือ แอมพลิจูดที่ส่งออกของผู้ใช้งานที่ 1

$\sigma$  คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน

เมื่อเราได้ BER ของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้รายเดียวแล้วให้นำค่าของ BER ที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับ BER ของระบบ BPSK จะได้ดังรูปที่ 3.6

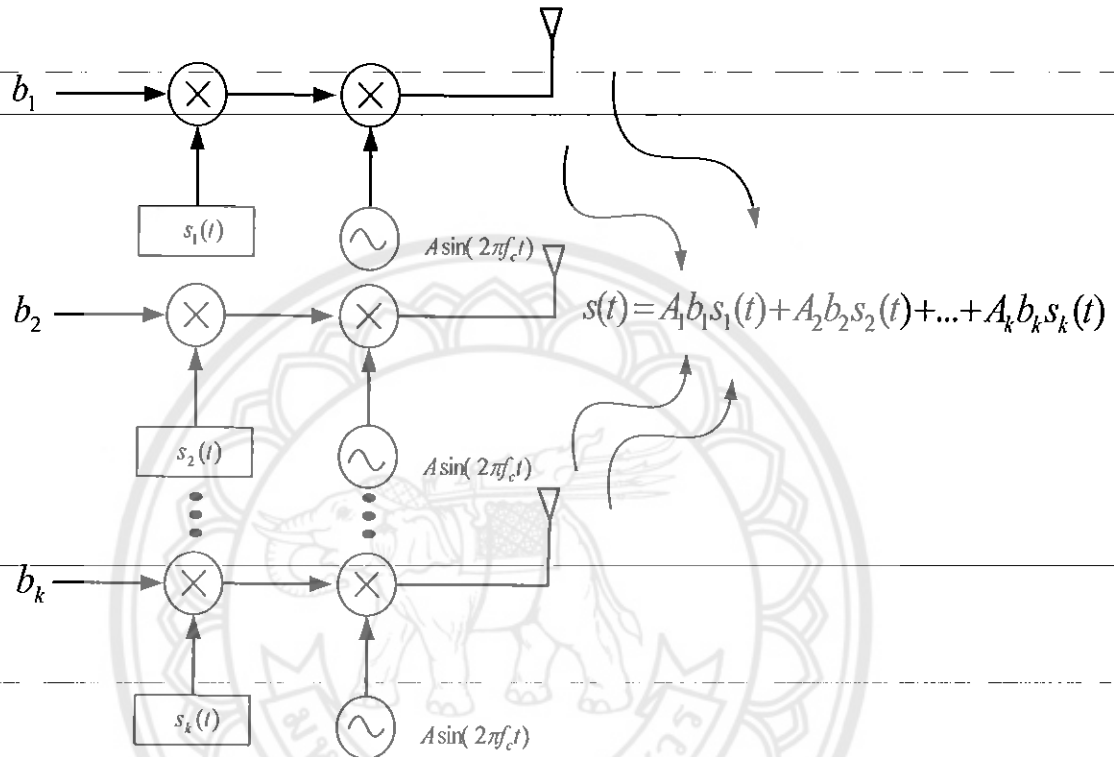


รูปที่ 3.6 BER ของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้รายเดียวและ BPSK

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าค่าของ BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้รายเดียวและ BER ของระบบ BPSK จะมีค่าที่เท่ากัน ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่าเป็นเส้นเดียวกัน เมื่อเราทราบ BER ของระบบทั้งสองแล้วเราสามารถที่จะนำไปทดลองเพื่อให้ทราบว่าทฤษฎีที่กล่าวมาเป็นจริง ในการทดลองที่ 10 dB เราต้องทำการทดลองที่มากพอถึงจะได้ผลตามทฤษฎี ซึ่งจะเห็นว่าตามทฤษฎีจะมีการส่งและรับข้อมูล 1 ถ้านบิตถึงจะเกิดบิตผิดพลาดประมาณ 2 บิต ถ้าต้องการค่าที่แน่นอนควรทำการทดลองส่งและรับบิตข้อมูลให้มีจำนวนมากกว่าทฤษฎี

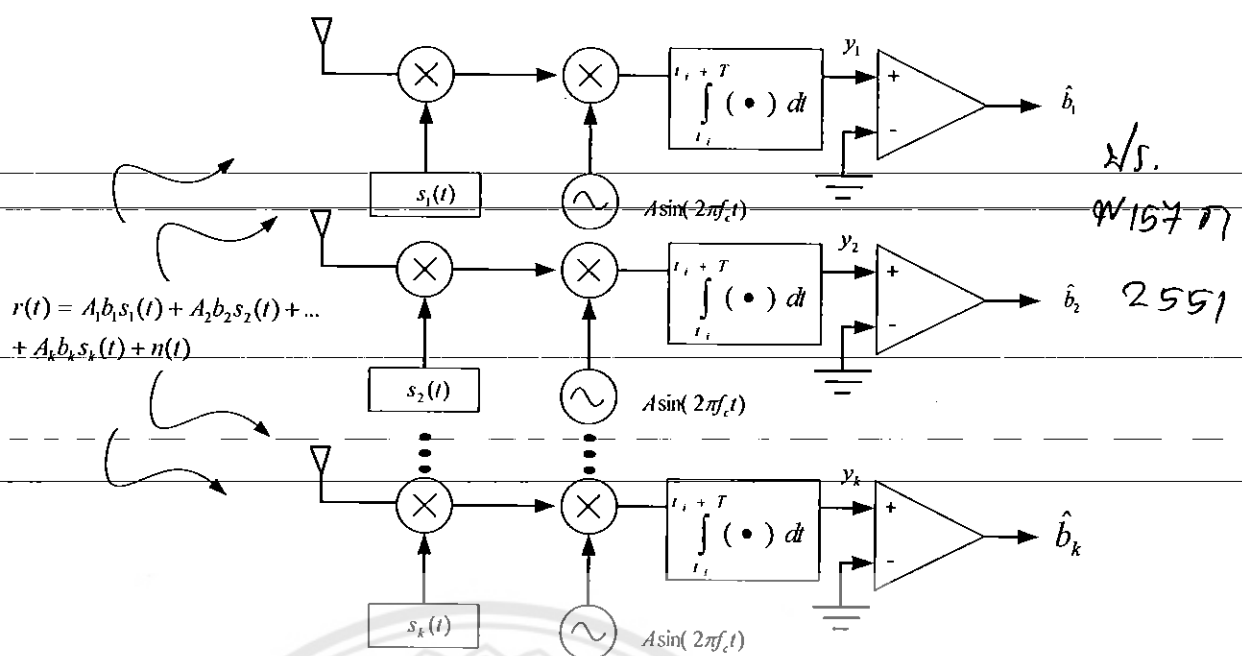
### 3.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้หลายๆ ราย

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้หลายๆ ราย จะพิจารณาจำนวนผู้ใช้ 1 รายผู้มาก่อนแล้วจึงเพิ่มจำนวนรายผู้ใช้เป็น 2 รายผู้ใช้ และ 3 รายผู้ใช้ ตามลำดับแล้วนำมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบเพื่อให้ได้สูตรของ BER ของระบบ CDMA สำหรับจำนวนรายผู้ใช้ใดๆ ได้



รูปที่ 3.7 วงจรภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้  $K$  ราย

จากรูปที่ 3.7 เป็นภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA ที่มีจำนวนผู้ใช้  $K$  ราย โดยแต่ละสัญญาณจะนำข้อมูลมาคูณกับรหัสก่อนแล้วจึงทำการ Modulation ไปที่ความถี่เดียวกันกับผู้ใช้รายอื่นๆ



รูปที่ 3.8 วงจรภาครับของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้ K ราย

จากรูปที่ 3.8 เป็นรูปของระบบทั้งภาครับของระบบ DSSS-CDMA โดยแมตซ์ฟิลเตอร์ กำหนดให้สัญญาณที่รับได้  $r(t)$  มีค่าเท่ากับผลรวมของสัญญาณของผู้ใช้ทั้งหมด  $K$  ราย บวกด้วย สัญญาณรบกวน  $n(t)$  เราให้

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_k(i) s_k(t)(t-iT) + n(t) \tag{3-5}$$

โดย

- $A_k$  แทนแอมพลิจูดที่ใช้สำหรับส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $k$
- $b_k(i)$  แทนค่าบิตข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $k$  บิตที่  $i$  ซึ่งมีได้สองระดับคือ  $\pm 1$
- $s_k(t)$  แทนรูปสัญญาณของรหัสแผ่ (spreading waveform) ของผู้ใช้รายที่  $k$
- $n(t)$  แทนสัญญาณรบกวน AWGN ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$
- $\rho_{jk} = \int_0^T s_j(t) s_k(t) dt$  คือค่าสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ระหว่างรหัสของผู้ใช้รายที่  $j$  และรหัสของผู้ใช้รายที่  $k$

3.5.1 พิจารณาสมการผู้ใช้ 1 ราย ที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แล้ว

$$y_1 = A_1 b_1 + n_1 \tag{3-6}$$

เราได้พิจารณาไปในสมการที่ (3-4) แล้วได้

$$P_1 = Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) \tag{3-7}$$

3.5.2 พิจารณาสมการผู้ใช้ 2 ราย ที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แล้ว

$$y_1 = A_1 b_1 + \rho A_2 b_2 + n_1 \tag{3-8}$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายดังกล่าว จะเกิดจากการที่ข้อมูล  
ปลายทาง  $\hat{b}_1$  แตกต่างจากข้อมูลที่ถูส่งมา  $b_1$  นั่นคือ  $P[\hat{b}_1 \neq b_1] = P_1$

จากภาคผนวก(ก) ในสมการที่ (17ก.) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ได้

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ Q\left(\frac{A_1 + \rho A_2}{\sigma}\right) + Q\left(\frac{A_1 - \rho A_2}{\sigma}\right) \right] \quad (3-9)$$

### 3.5.3 ทฤษฎีสมการผู้ใช้ 3 ราย ที่ผ่านแมตริกซ์ฟิลเตอร์แล้วได้

$$y_1 = A_1 b_1 + \rho_{12} A_2 b_2 + \rho_{13} A_3 b_3 + \eta_1 \quad (3-10)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายดังกล่าว จะเกิดจากการที่ข้อมูล  
ปลายทาง  $\hat{b}_1$  แตกต่างจากข้อมูลที่ถูส่งมา  $b_1$  นั่นคือ  $P[\hat{b}_1 \neq b_1] = P_1$

จากภาคผนวก(ก) ในสมการที่ (21ก.) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ได้

$$P_1 = \frac{1}{4} \left[ Q\left(\frac{A_1 + \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma}\right) + Q\left(\frac{A_1 + \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma}\right) \right. \\ \left. + Q\left(\frac{A_1 - \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma}\right) + Q\left(\frac{A_1 - \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma}\right) \right] \quad (3-11)$$

จากภาคผนวก(ก) ในสมการที่ (22ก.) สำหรับกรณีทั่วไปคือมีผู้ใช้จำนวน  $K$  ราย ค่าอัตรา  
ความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายที่  $k$  สามารถเขียนได้เป็น

$$P_k = \frac{1}{2^{K-1}} \sum_{e_1 \in \{-1,1\}} \cdots \sum_{\substack{e_j \in \{-1,1\} \\ j \neq k}} \cdots \sum_{e_K \in \{-1,1\}} Q\left(\frac{A_k}{\sigma} + \sum_{j \neq k} \frac{A_j}{\sigma} \rho_{jk} e_j\right) \quad (3-12)$$

เมื่อเราได้ค่า BER ของระบบ DSSS-CDMA ในรายผู้ใช้ใดๆ แล้วเราก็จะมาทำการทดลอง

โดยที่เราจะใช้ทดลองอยู่ กรณี คือ 3

1. กรณีผู้ใช้ 1 ราย
2. กรณีผู้ใช้ 5 ราย
3. กรณีผู้ใช้งานมากที่สุดที่ Code เดียวกันใช้ได้ แต่มีการเลื่อนไป เช่น Code 15 บิต ก็จะเป็น 15 รายผู้ใช้

### 3.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีการใช้จำนวนบิตของรหัสที่ต่างกัน

ในการวิเคราะห์ BER เมื่อมีจำนวนบิตของรหัสที่ต่างกัน เราใช้สมการเดียวกันกับการวิเคราะห์ BER ของระบบ DSSS-CDMA จำนวนรายผู้ใช้  $K$  รายในสมการที่ (3-12) แต่จะมีการเปลี่ยนค่า  $\rho_{jk}$  เพราะซึ่งรหัสต่างกัน จะทำให้ค่านี้เปลี่ยนไปด้วย ในการทดลองเราจะใช้รหัสที่มีความยาวคือ 15 บิต 31 บิต และ 63 บิต ในการสร้างแบบจำลองแล้วนำมาวิเคราะห์ผลต่อไป

### 3.7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีสัญญาณระบบ BPSK

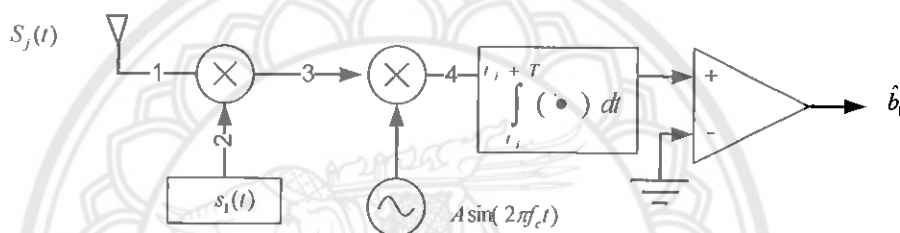
#### Jamming เข้ามา

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์เราจะวิเคราะห์ที่ส่งสัญญาณด้วยระบบ DSSS-CDMA ที่มีผู้ใช้หนึ่งราย และมีสัญญาณที่ส่งด้วยระบบ BPSK หนึ่งราย เข้ามาในย่านความถี่ของระบบ CDMA

จากภาคผนวก(ข.) ในสมการที่ (4ข.) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ได้

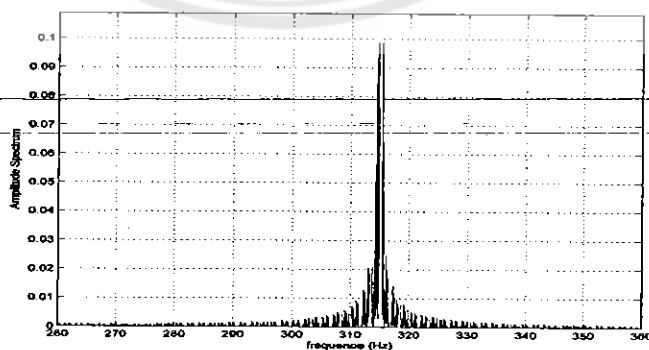
$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ Q \left( \frac{A_1 + \varphi_n A_2}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 - \varphi_n A_2}{\sigma} \right) \right] \quad (3-13)$$

โดยที่  $\varphi_n$  คือ  $\frac{c_n + c_{-n}}{2}$  โดยที่  $n$  คือ ระยะห่างทางความถี่ของสัญญาณ Jamming กับสัญญาณความถี่กลางของระบบ DSSS-CDMA และ  $c_n, c_{-n}$  ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ตามสมการ (2-8)

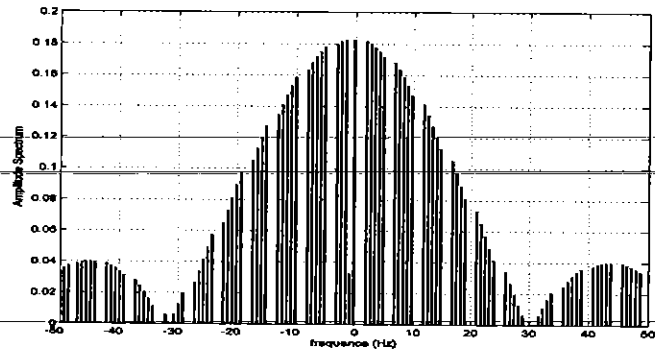


รูปที่ 3.9 รูปภาครับของสัญญาณ Jamming

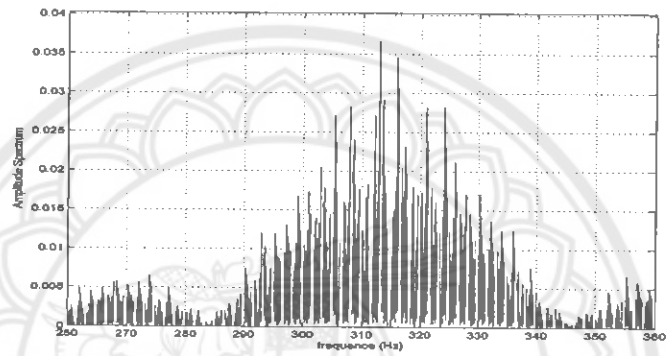
จากรูปที่ 3.9 เราจะพิจารณาจุด 1, 2 และ 3 เมื่อมีการส่งสัญญาณของระบบ DSSS-CDMA ที่มี  $f_c = 310$  Hz และมีสัญญาณ jamming ที่ 315 Hz แต่ที่นี้เราสนใจสัญญาณ Jamming ที่ถูกคูณด้วยรหัสของระบบ DSSS-CDMA จึงละสัญญาณของระบบ DSSS-CDMA ไว้ก่อน ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 3.10 ถึงรูปที่ 3.14 เป็นรูปของสัญญาณ Jamming ที่ 315 Hz



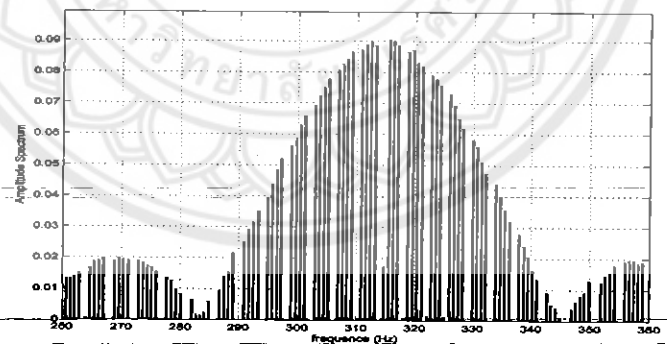
รูปที่ 3.10 สัญญาณทางความถี่ของจุด 1 จากรูปที่ 3.9



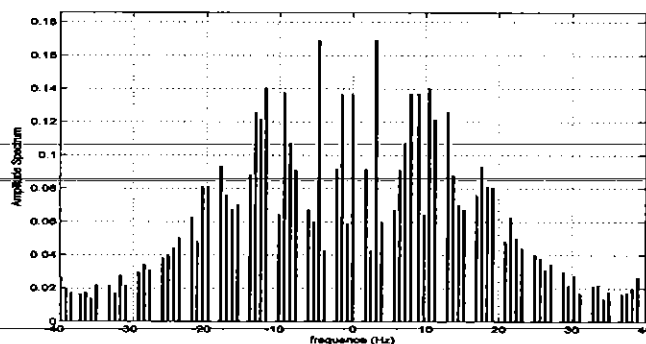
รูปที่ 3.11 สัญญาณทางความถี่ของรหัสที่จุด 2 จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.12 สัญญาณทางความถี่ของสัญญาณคูณกับรหัสที่จุด 2 จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.13 สัญญาณทางความถี่ของรหัสที่จุด 3 จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.14 สัญญาณทางความถี่ของรหัสที่จุด 4 จากรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.10 เป็นรูปของสัญญาณ Jamming ทางความถี่ที่ 315 Hz ส่วนรูปที่ 3.11 เป็นรูปสัญญาณทางความถี่ของรหัสซึ่งมีความถี่กลางอยู่ที่ศูนย์ และรูปที่ 12 เป็นรูปที่ได้จากการแผ่กระจายทางความถี่ของรูปที่ 3.10 ด้วยรูปที่ 3.11 จากนั้นจะเห็นว่ามีความถี่ของสัญญาณทางความถี่ไปรบกวนที่ความถี่กลางของระบบ CDMA เราจึงสนใจที่จะหาค่าองค์ประกอบทางความถี่ที่ไปรบกวน

พิจารณารูปที่ 3.12 จะเห็นว่าสัญญาณ Jamming ถูกแผ่กระจายทางความถี่ออก ซึ่งถ้าเราละสัญญาณ Jamming จะทำให้ที่จุด 3 เหมือนย้ายสัญญาณรหัสให้มีความถี่กลางอยู่ที่ความถี่ของการ Jamming จึงทำให้ได้รูปที่ 3.13 จากนั้นสัญญาณในรูปที่ 3.13 ก็จะผ่านวงจร Demodulation ที่ความถี่ของระบบ CDMA ทำให้ได้สัญญาณรูปที่ 3.14 แล้วจึงสนใจองค์ประกอบทางความถี่ที่ความถี่ศูนย์ จึงทำให้ได้แอมพลิจูดของสัญญาณ Jamming ที่ไปรบกวนระบบ-DSSS-CDMA และเรานิยามให้ค่านี้คือ  $\phi_5$  ตามสมการที่ (3-13)

$\phi_5$  หาได้จากการวิเคราะห์ท่อนุกรมฟูเรียร์ดังนี้

$$\phi_5 = \frac{c_5 + c_{-5}}{2}$$

โดยที่  $c_{-5}$  คือ พิจารณารูปที่ 3.13 จึงสนใจองค์ประกอบทางความถี่ตัวที่ -5 ซึ่ง  $c_{-5}$  นี้จะอยู่

ที่ความถี่กลางของระบบ CDMA จึงทำให้สัญญาณนี้รบกวนสัญญาณระบบ CDMA

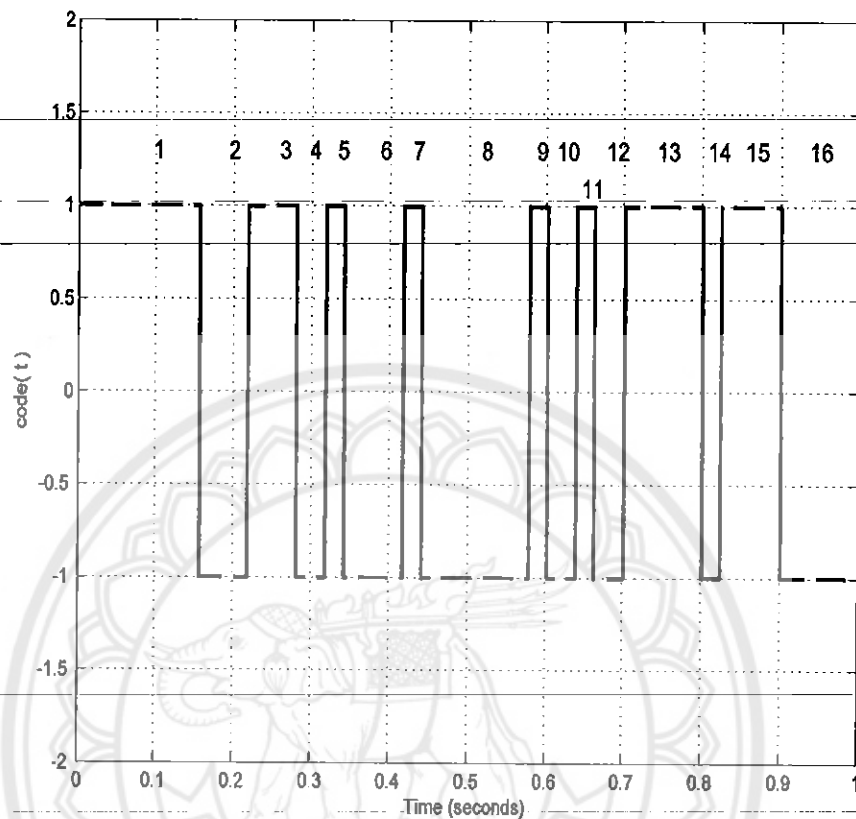
$c_5$  คือ พิจารณารูปที่ 3.13 จะมีสัญญาณทางความถี่ที่อยู่ทางด้านลบ จึงสนใจองค์ประกอบทางความถี่ตัวที่ 5

จากสมการการหาค่า  $\phi_5$  นี้ ค่าที่จะมารบกวนสัญญาณระบบ DSSS-CDMA คือสัญญาณที่ความถี่ศูนย์ คือรูปที่ 3.14 จึงทำให้ได้  $\frac{c_5 + c_{-5}}{2}$  ซึ่งใช้คุณสมบัติ (2-5)

ซึ่งค่าที่เราต้องการคือค่าของ Amplitude Spectrum ที่ 0 Hz ของรูปที่ 3.14 ซึ่งจะให้ค่านี้คือ แอมพลิจูดของสัญญาณ Jamming ( $\phi_5$ )



$\varphi_n$  โดยที่  $n$  เป็นระยะห่างของความถี่ Jamming กับความถี่หลักของระบบ CDMA สามารถหาได้จาก การแปลง Fourier series ของรหัส PN Code ทำได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.15 สัญญาณทางเวลาของรหัส 111100110100100001010111011000

จากรูปที่ 3.15 เป็นรูปของสัญญาณทางเวลาของรหัส PN Code จากนั้นก็วิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสดังนี้

**หาค่า Fourier Series**

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} w(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (3-14)$$

จากรูปที่ 3.15 สัญญาณจะมีคาบกับ 1 วินาที ทำให้ได้  $T_0 = 1$  วินาที และ  $f_0 = \frac{1}{T_0} = 1$  Hz

จากนั้นหาค่า  $c_n$  ตามสมการที่ (3-14) ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 การหาค่า  $c_n$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนเต็ม

หาค่า $c_0$ $c_0 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} w(t) e^{-j0\omega_0 t} dt$ $= \frac{1}{1} \int_0^1 \frac{1}{31} dt = \frac{1}{31}$	Integrate ช่วงที่ 1 $x_1 = \int_0^{\frac{5}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_0^{\frac{5}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{5}{31}} - 1}{-jn\omega_0}$
Integrate ช่วงที่ 2 $x_2 = \int_{\frac{5}{31}}^{\frac{7}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{5}{31}}^{\frac{7}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{7}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{5}{31}}}{-jn\omega_0}$	Integrate ช่วงที่ 3 $x_3 = \int_{\frac{7}{31}}^{\frac{9}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{7}{31}}^{\frac{9}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{9}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{7}{31}}}{-jn\omega_0}$
Integrate ช่วงที่ 4 $x_4 = \int_{\frac{9}{31}}^{\frac{10}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{9}{31}}^{\frac{10}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{10}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{9}{31}}}{-jn\omega_0}$	Integrate ช่วงที่ 5 $x_5 = \int_{\frac{10}{31}}^{\frac{11}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{10}{31}}^{\frac{11}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{11}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{10}{31}}}{-jn\omega_0}$
Integrate ช่วงที่ 6 $x_6 = \int_{\frac{11}{31}}^{\frac{13}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{11}{31}}^{\frac{13}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{13}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{11}{31}}}{-jn\omega_0}$	Integrate ช่วงที่ 7 $x_7 = \int_{\frac{13}{31}}^{\frac{14}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{13}{31}}^{\frac{14}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{14}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{13}{31}}}{-jn\omega_0}$

## ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

<p>Integrate ช่วงที่ 8</p> $x_8 = \int_{\frac{14}{31}}^{\frac{18}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{-e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{14}{31}}^{\frac{18}{31}}$ $= \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{18}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{14}{31}}}{-jn\omega_0}$	<p>Integrate ช่วงที่ 9</p> $x_9 = \int_{\frac{18}{31}}^{\frac{19}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{18}{31}}^{\frac{19}{31}}$ $= \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{19}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{18}{31}}}{-jn\omega_0}$
<p>Integrate ช่วงที่ 10</p> $x_{10} = \int_{\frac{19}{31}}^{\frac{20}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{-e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{19}{31}}^{\frac{20}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{20}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{19}{31}}}{-jn\omega_0}$	<p>Integrate ช่วงที่ 11</p> $x_{11} = \int_{\frac{20}{31}}^{\frac{21}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{20}{31}}^{\frac{21}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{21}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{20}{31}}}{-jn\omega_0}$
<p>Integrate ช่วงที่ 12</p> $x_{12} = \int_{\frac{21}{31}}^{\frac{22}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{-e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{21}{31}}^{\frac{22}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{22}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{21}{31}}}{-jn\omega_0}$	<p>Integrate ช่วงที่ 13</p> $x_{13} = \int_{\frac{21}{31}}^{\frac{24}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{21}{31}}^{\frac{25}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{25}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{22}{31}}}{-jn\omega_0}$
<p>Integrate ช่วงที่ 14</p> $x_{14} = \int_{\frac{25}{31}}^{\frac{26}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{-e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{25}{31}}^{\frac{26}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{26}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{25}{31}}}{-jn\omega_0}$	<p>Integrate ช่วงที่ 15</p> $x_{15} = \int_{\frac{26}{31}}^{\frac{28}{31}} 1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$ $= \left[ \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{26}{31}}^{\frac{28}{31}} = \frac{e^{-jn\omega_0 \frac{28}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{26}{31}}}{-jn\omega_0}$

## ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

Integrate ช่วงที่ 16

$$x_{16} = \int_{\frac{28}{31}}^{\frac{31}{31}} -1 * e^{-jn\omega_0 t} dt$$

$$= \left[ \frac{-e^{-jn\omega_0 t}}{-jn\omega_0} \right]_{\frac{28}{31}}^{\frac{31}{31}} = \frac{-e^{-jn\omega_0 \frac{31}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{28}{31}}}{-jn\omega_0}$$

จากตารางที่ 3.3 รวมค่าของ  $c_n$ 

$$c_n = \sum_{i=1}^{16} x_i$$

(3-15)

$$= \begin{pmatrix} e^{-jn\omega_0 \frac{5}{31}} - 1 - e^{-jn\omega_0 \frac{7}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{5}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{9}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{7}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{10}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{9}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{11}{31}} \\ -e^{-jn\omega_0 \frac{10}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{13}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{11}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{14}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{13}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{18}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{14}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{19}{31}} \\ -e^{-jn\omega_0 \frac{18}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{20}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{19}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{21}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{20}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{22}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{21}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{25}{31}} \\ -e^{-jn\omega_0 \frac{22}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{26}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{25}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{28}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{26}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{31}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{28}{31}} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -jn\omega_0 \\ 2e^{-jn\omega_0 \frac{5}{31}} - 1 - 2e^{-jn\omega_0 \frac{7}{31}} + 2e^{-jn\omega_0 \frac{9}{31}} - 2e^{-jn\omega_0 \frac{10}{31}} + 2e^{-jn\omega_0 \frac{11}{31}} \\ -2e^{-jn\omega_0 \frac{13}{31}} + 2e^{-jn\omega_0 \frac{14}{31}} - 2e^{-jn\omega_0 \frac{18}{31}} + 2e^{-jn\omega_0 \frac{19}{31}} - 2e^{-jn\omega_0 \frac{20}{31}} \\ + 2e^{-jn\omega_0 \frac{21}{31}} - 2e^{-jn\omega_0 \frac{22}{31}} + 2e^{-jn\omega_0 \frac{25}{31}} - 2e^{-jn\omega_0 \frac{26}{31}} + 2e^{-jn\omega_0 \frac{28}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{31}{31}} \end{pmatrix}$$

$$= \frac{-jn\omega_0}{-jn\omega_0} \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-jn\omega_0 \frac{5}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{7}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{9}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{10}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{11}{31}} \\ -e^{-jn\omega_0 \frac{13}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{14}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{18}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{19}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{20}{31}} \\ + e^{-jn\omega_0 \frac{21}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{22}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{25}{31}} - e^{-jn\omega_0 \frac{26}{31}} + e^{-jn\omega_0 \frac{28}{31}} \end{pmatrix} - e^{-jn\omega_0} - 1 \end{pmatrix}$$

$$c_n = \frac{-jn\omega_0}{-jn\omega_0}$$

(3-16)

ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณในสมการ (3-16) และ  $c_0$  แสดงในตารางที่

3.4

ตารางที่ 3.4 Fourier Series ลำดับต่างๆ

n	$c_n$	$ c_n $
-10	$-0.1528 + 0.0335i$	0.1564
-9	$0.1460 + 0.0962i$	0.1749
-8	$0.1595 + 0.0742i$	0.1759
-7	$0.1121 + 0.1700i$	0.2036
-6	$-0.1688 + 0.0231i$	0.1704
-5	$-0.0753 + 0.2214i$	0.2338
-4	$-0.0461 + 0.2510i$	0.2552
-3	$0.0320 + 0.2829i$	0.2847
-2	$-0.1593 + 0.2456i$	0.2927
-1	$0.1814 + 0.3016i$	0.3520
0	0.0323	0.0323
1	$0.1814 - 0.3016i$	0.3520
2	$-0.1593 - 0.2456i$	0.2927
3	$0.0320 - 0.2829i$	0.2847
4	$-0.0461 - 0.2510i$	0.2552
5	$-0.0753 - 0.2214i$	0.2338
6	$-0.1688 - 0.0231i$	0.1704
7	$0.1121 - 0.1700i$	0.2036
8	$0.1595 - 0.0742i$	0.1759
9	$0.1460 - 0.0962i$	0.1749
10	$-0.1528 - 0.0335i$	0.1564

จากตารางที่ 3.4 ทำให้เราได้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์  $c_n$  และ  $c_{-n}$  ดังนั้นจึงสามารถหาค่าของการ Jamming ที่ไปรบกวนสัญญาณระบบ DSSS-CDMA ได้จาก

$$\varphi_n = \frac{c_n + c_{-n}}{2} \quad (3-17)$$

จากการสร้างแบบจำลองในบทที่ 3 แล้ว ก็จะทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองเพื่อที่จะมาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ที่ถูกต้องในบทต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น และนำผลที่ได้เทียบกับทฤษฎีที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์จากบทที่ผ่านมา

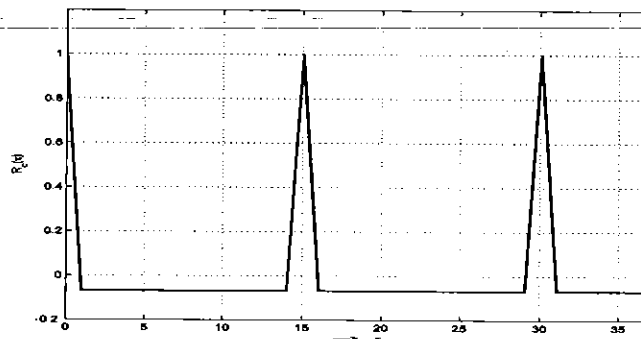
#### 4.1 ผลการสร้าง PN Code ที่จะนำมาใช้ในระบบ DSSS-CDMA

จากวิธีการสร้าง PN Code แบบ m-sequence ถ้าได้พหุนามที่เหมาะสมคือ  $x^3 + x^2 + 1$  แล้วให้ทำการแปลงเป็นลำดับจะได้ [1 1 0 1] เพื่อใช้โปรแกรมให้การสร้างรหัส จะได้ผลดังนี้

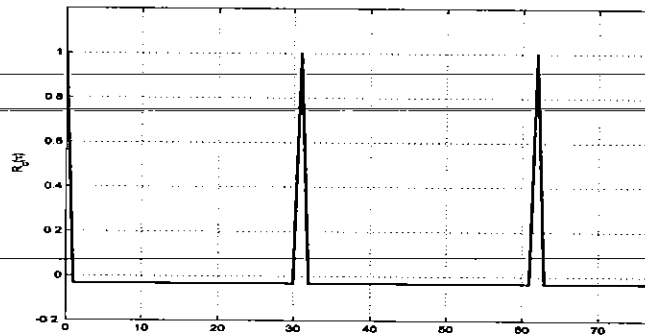
```
>> msequence
input connection : [1 1 0 1]
m-sequence : 0011101 autocorrelation : 7
m-sequence : 1001110 autocorrelation : -1
m-sequence : 0100111 autocorrelation : -1
m-sequence : 1010011 autocorrelation : -1
m-sequence : 1101001 autocorrelation : -1
m-sequence : 1110100 autocorrelation : -1
m-sequence : 0111010 autocorrelation : -1
m-sequence : 0011101 autocorrelation : 7
>> |
```

รูปที่ 4.1 รูปผลการรัน โปรแกรมสร้าง PN Code

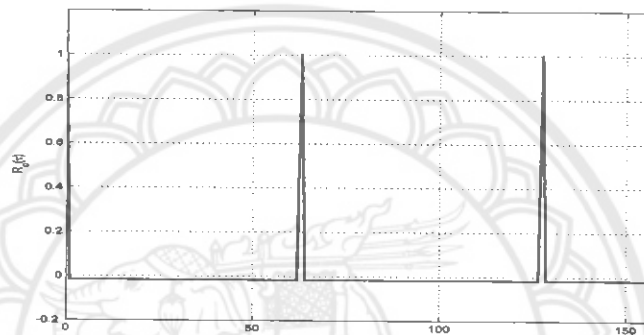
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อมีการเลื่อนบิตของรหัสไปจะทำให้ได้ ค่าของ Autocorrelation เท่ากับ -1 ซึ่งค่า Autocorrelation นี้ยังไม่ใช้ลักษณะของ Normalized Form แล้วนำรหัสที่ได้ไปตรวจสอบคุณสมบัติในบทที่ 2 แล้วถูกต้อง จึงทำให้สามารถใช้รหัสนี้ไปใช้งานได้



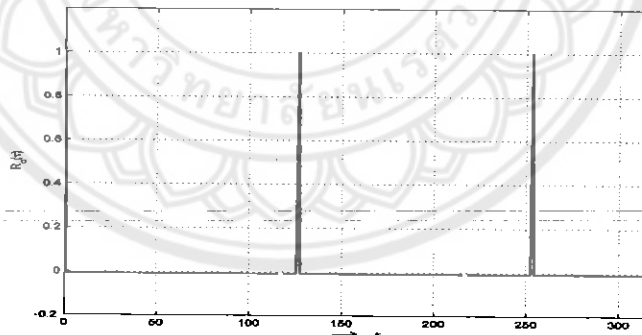
รูปที่ 4.2 Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 15 บิต



รูปที่ 4.3 Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 31 บิต



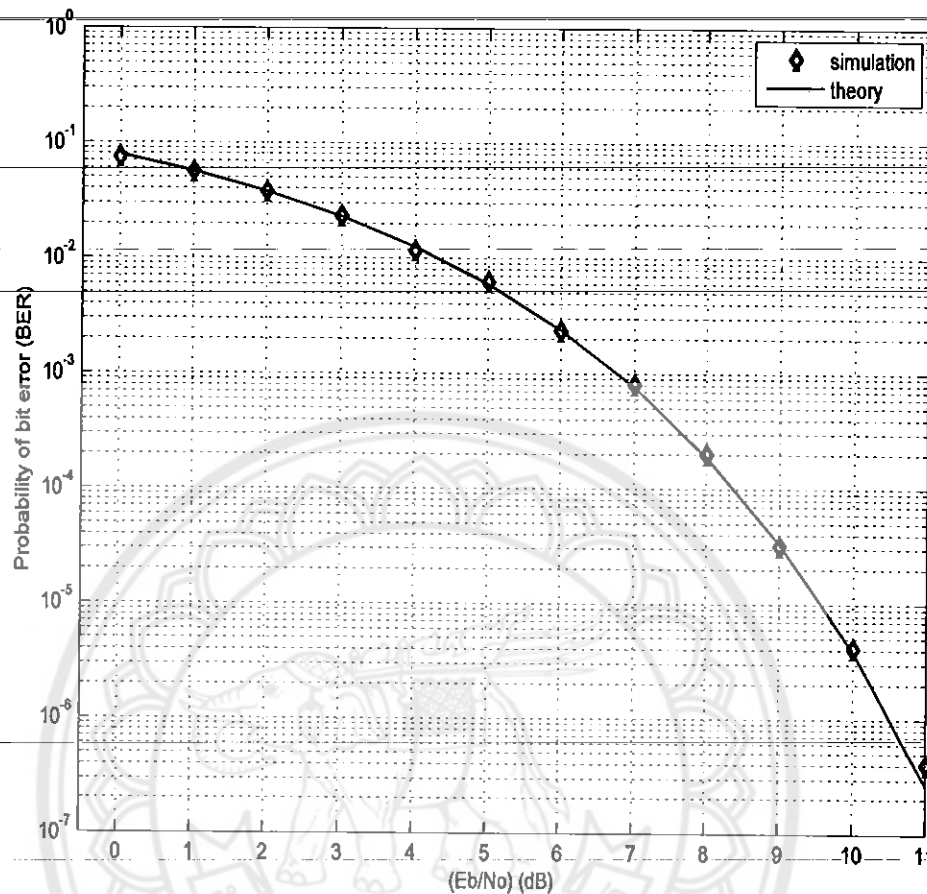
รูปที่ 4.4 Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 63 บิต



รูปที่ 4.5 Autocorrelation ของรหัสที่มีความยาว 127 บิต

จากรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนรหัสยาวขึ้นจะทำให้ค่า Autocorrelation เมื่อมีการเลื่อนจะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ซึ่งมีคุณสมบัติที่คล้ายกับสัญญาณรบกวนตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาในบทที่ผ่านมา ค่าของ Autocorrelation ในรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.5 อยู่ในรูปของ Normalized Form

## 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองของระบบ BPSK และวิเคราะห์ประสิทธิภาพ(BER)



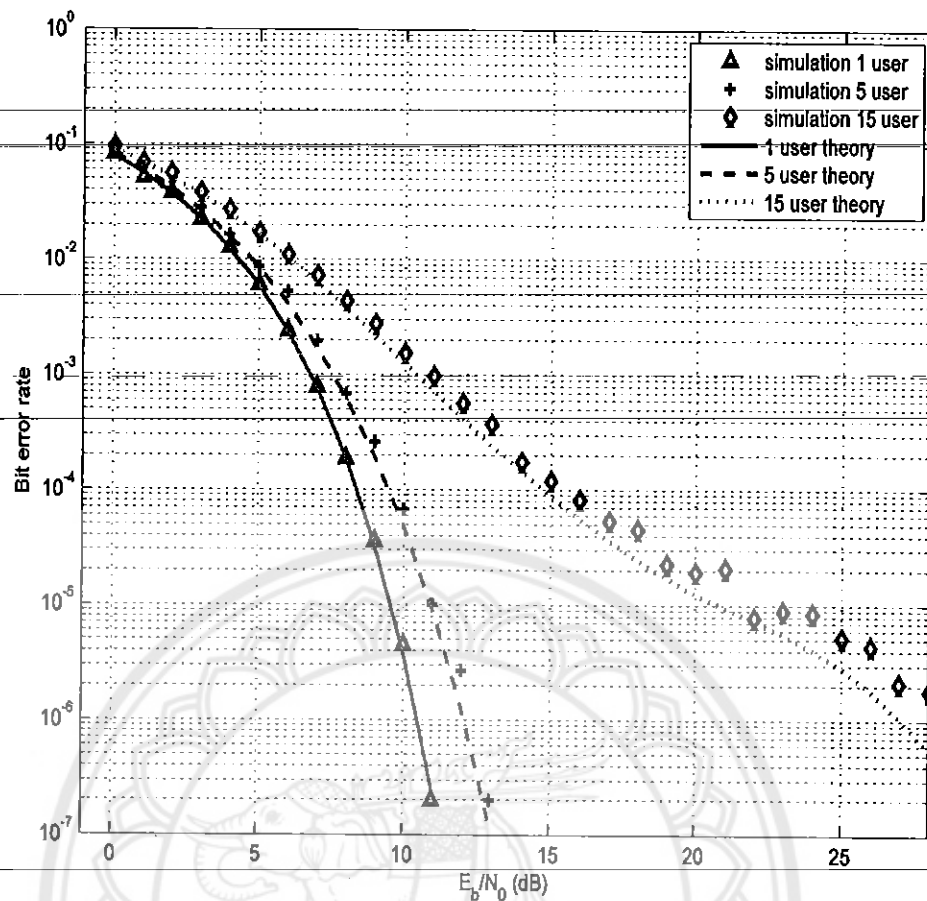
รูปที่ 4.6 BER ของระบบ BPSK

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าระบบ BPSK มีผลตามทฤษฎีจริง ซึ่งจะนำเอาระบบนี้ไปเปรียบเทียบกับระบบ DSSS-CDMA

## 4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้หลายๆ ราย

ผลการทดลองแบบจำลองเมื่อมีจำนวนรายผู้ใช้ที่แตกต่างกัน เมื่อเราใช้รหัส 15 บิต จากนั้น จะทำการทดลองอยู่สามกรณีคือ 1 รายผู้ใช้ 5 รายผู้ใช้และ 15 รายผู้ใช้ ซึ่งจากนั้นจะนำผลที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับทฤษฎี จะได้ผลดังนี้

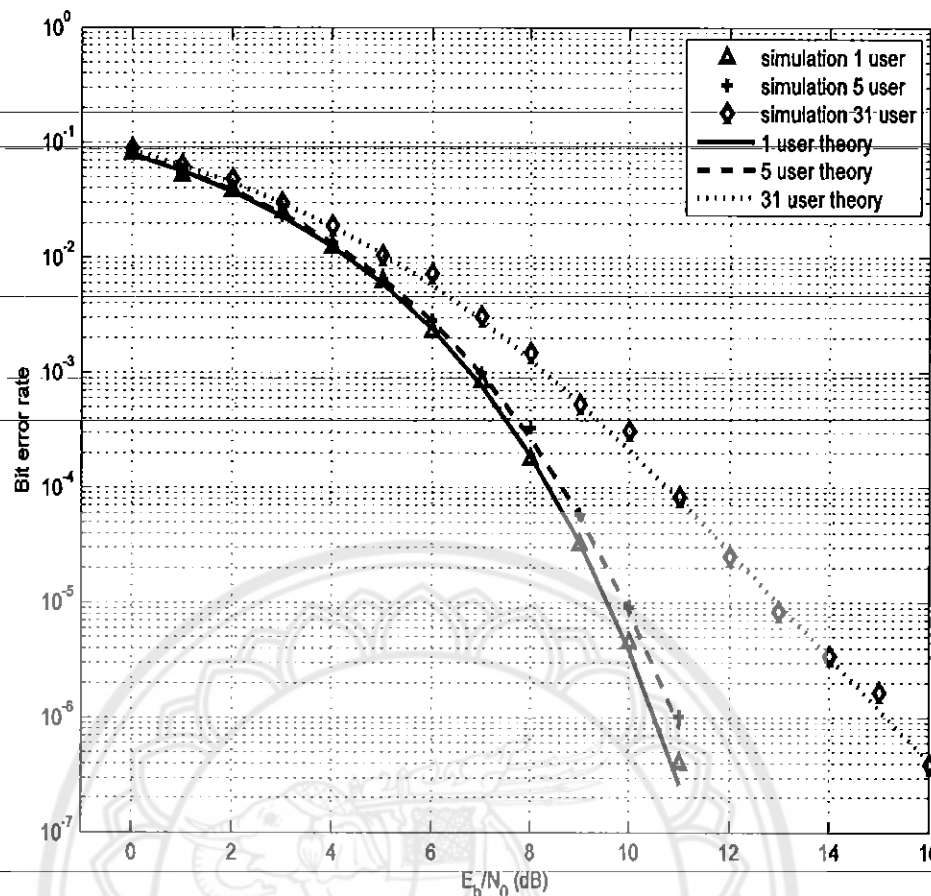




รูปที่ 4.7 BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อใช้รหัส 15 บิต

จากรูปที่ 4.7 เมื่อมีจำนวนรายผู้ใช้มากขึ้น จะทำให้ BER ของระบบสื่อสารแย่ลง แต่จะทำให้เรามีช่องทางการสื่อสารได้มากกว่า ถ้าเราใช้รหัส 15 บิต จะทำให้เราต้องใช้ Bandwidth กว่ากว่าระบบ BPSK ถึง 15 เท่า เมื่อเราต้องการสื่อสารจำนวนมากๆ รายผู้ใช้เช่น 15 รายผู้ใช้ เราต้องให้ระบบของเรามี SNR เท่ากับ 28 dB ถึงจะทำให้ได้ BER ต่ำกว่า  $10^{-6}$  จะทำให้เราต้องใช้พลังงานมากขึ้น จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 จะได้ BER ที่ไม่ถึง  $10^{-6}$  เนื่องจากในการทดลองเราใช้ข้อมูลในการรับการส่งน้อยเกินไป ซึ่งถ้าเราใช้ข้อมูลในการทดลองมากๆ ก็จะทำให้ผลที่ได้อยู่บนเส้นของทฤษฎี

จากรูปที่ 4.7 ถ้าเราต้องการที่จะใช้พลังงานน้อยลงกว่าระบบที่ใช้รหัส 15 บิต เราต้องแลกกับ Bandwidth ที่กว้างกว่าเดิมเช่นเราให้รหัส 31 บิต ก็ต้องใช้ Bandwidth กว่าถึง 31 เท่าของระบบ BPSK ซึ่งจะทำให้ได้ผลดังนี้

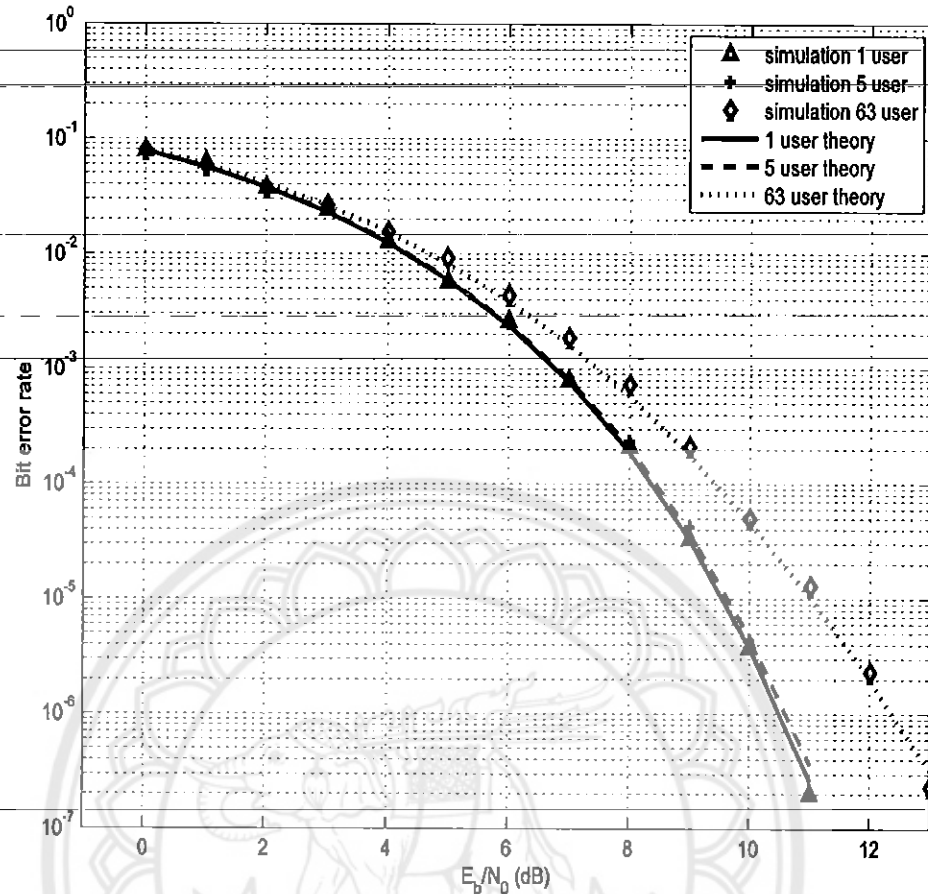


รูปที่ 4.8 BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อใช้รหัส 31 บิต

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าสิ่งที่เราจะใช้การสื่อสารจำนวนรายผู้ใช้ที่มากที่สุดของการใช้รหัส 31 บิตคือ 31 รายผู้ใช้ จะต้องทำให้ระบบมีค่าของ SNR เท่ากับ 16 dB ที่จะทำให้ระบบมีค่าของ BER ที่ต่ำกว่า  $10^{-6}$  ซึ่งจะเห็นว่าระบบต้องมี SNR น้อยกว่าการใช้รหัส 15 บิต ก็ทำให้ BER ต่ำกว่า แต่สิ่งที่ต้องเสียเพื่อแลกกับ BER ที่ตํ่ากว่านั้นก็คื Bandwidth ที่มากกว่าประมาณ 1 เท่า และการสื่อสารที่ 1 รายผู้ใช้ และ 5 รายผู้ใช้มี BER ต่างกันไม่มากนัก

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าระบบนี้ต้องใช้จำนวน Bandwidth ที่มากกว่าถึงจะได้ BER ที่ตํ่ากว่า และทำให้ ได้มีการสื่อสารจำนวนรายผู้ใช้ที่มากกว่าอีกด้วย จะเห็นว่าถ้าเรามี Bandwidth ที่มากเรา จะทำการสื่อสารให้ได้จำนวนรายผู้ใช้ที่มากกว่าและ BER ก็ยังตํ่ากว่าอีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองนี้ ถ้าเราต้องการสื่อสารจำนวนผู้ใช้มากกว่านี้ และเรายังมี Bandwidth เหลืออยู่มากเราอาจจะใช้รหัส 63 บิต ในการสื่อสารได้ แต่จะทำให้เราต้องใช้ Bandwidth ที่มากกว่าระบบ BPSK ถึง 63 เท่า และ เราสามารถสื่อสารได้ถึง 63 รายผู้ใช้ และในทำนองเดียวกัน ถ้าเราใช้การสื่อสารแบบ BPSK ก็จะทำให้ การติดต่อสื่อสารได้ 31 รายผู้ใช้ซึ่งน้อยกว่าเป็น 2 เท่าเลยทีเดียว

จากผลการทดลองเมื่อเราใช้รหัส 63 บิต จะได้ดังนี้



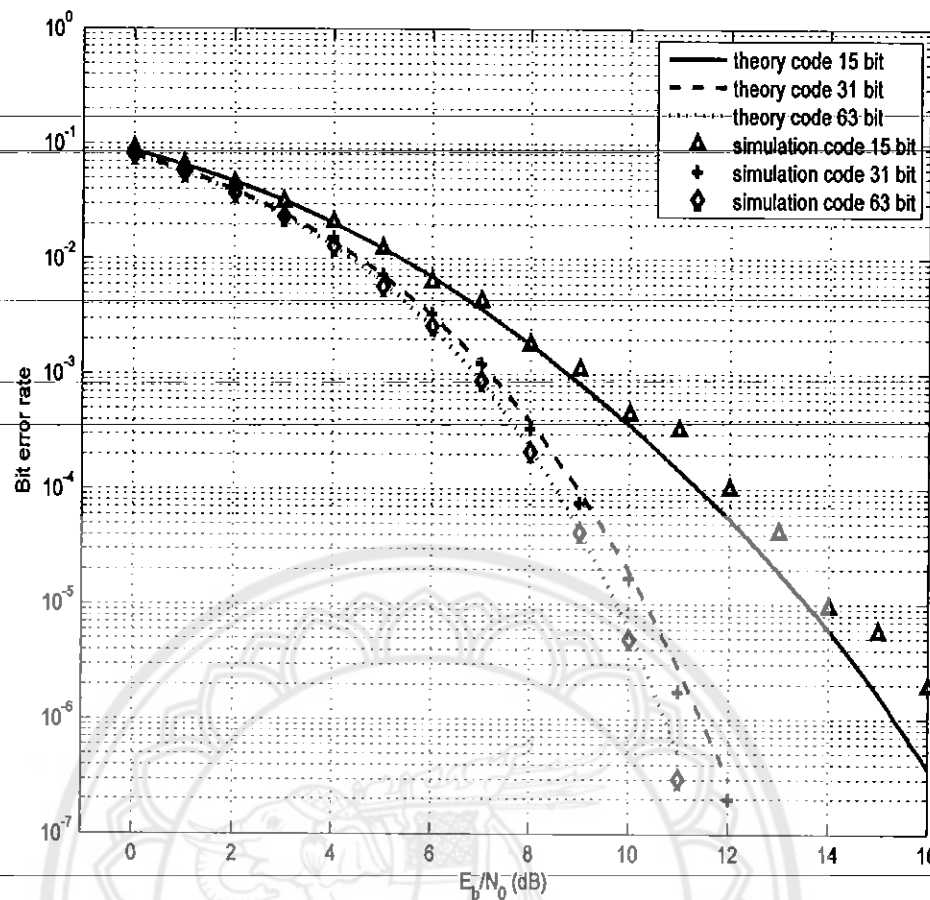
รูปที่ 4.9 BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อใช้รหัส 63 บิต

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเราสามารถติดต่อสื่อสารด้วยระบบ CDMA ที่ทำให้เราได้ BER ที่ใกล้เคียงเท่ากับ BPSK ได้ถ้าเรามีจำนวน Bandwidth มากพอ ถ้าเราพิจารณาการสื่อสารจำนวนรายผู้ใช้ 1 ราย กับ 5 ราย จะเห็นว่า BER แตกต่างกันน้อยมาก

ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าเราต้องการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากๆ ในด้านจำนวนรายผู้ใช้ ระบบ DSSS-CDMA ก็เป็นระบบหนึ่งที่จะทำให้เราตอบสนองความต้องการทางด้านจำนวนรายผู้ใช้อีกด้วย

#### 4.4 ผลของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวนบิตของรหัสที่ต่างกัน

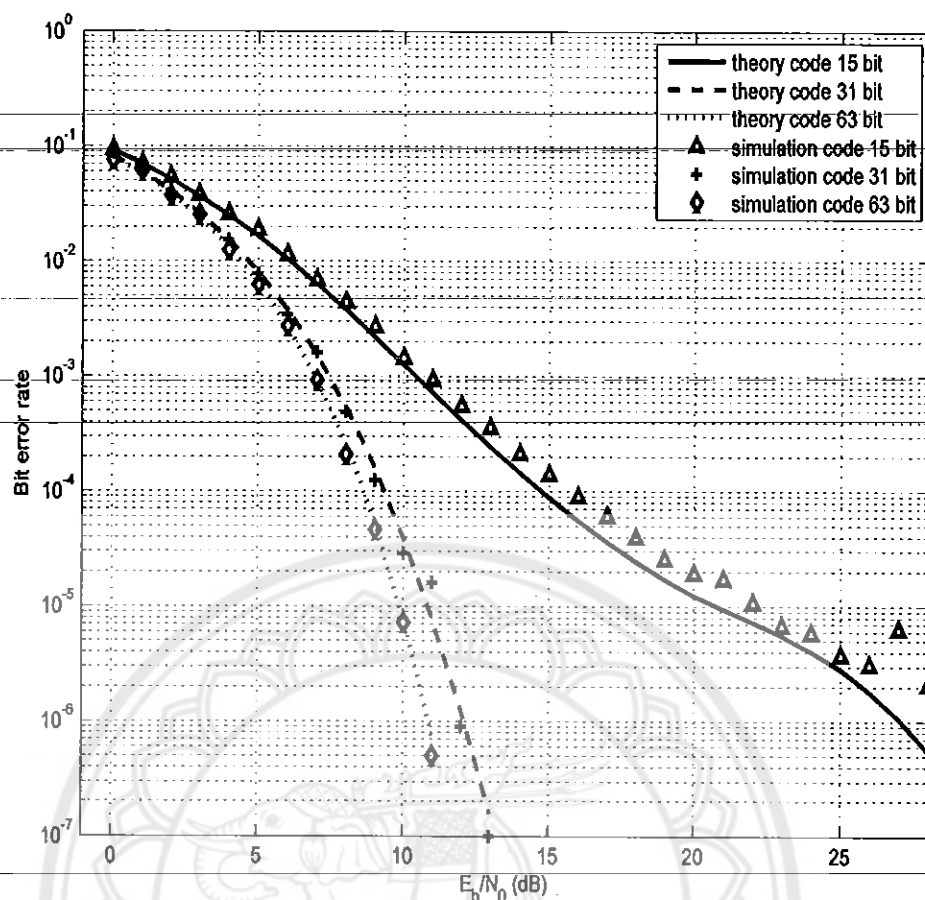
จากหัวข้อที่ 4.3 เป็นการทดลองที่ใช้จำนวนชิปของรหัสที่เท่ากันแต่มีจำนวนรายผู้ใช้ที่แตกต่างกัน แต่ในส่วนนี้เราจะทำการทดลองเมื่อมีจำนวนรายผู้ใช้เท่ากัน แต่ใช้รหัสที่มีจำนวนชิปที่ต่างกัน เราจะทดลองอยู่ 2 กรณีคือ 10 รายผู้ใช้ และ 15 รายผู้ใช้และใช้รหัส อยู่ 3 แบบ คือ 15 บิต 31 บิต และ 63 บิต



รูปที่ 4.10 BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวน 10 รายผู้ใช้

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าเมื่อเราใช้รหัส 15 บิต จะทำให้เราได้ BER ที่แย่ที่สุดเนื่องจากรหัส 15 บิต มีจำนวนรายผู้ใช้น้อยที่สุดคือ 15 รายผู้ใช้แต่ในการทดลองเราใช้ 10 รายผู้ใช้จึงทำให้ BER แย่ที่สุด ส่วนถ้าใช้รหัส 31 บิตและรหัส 63 บิต ก็จะได้ BER ที่ดีกว่า ซึ่งถ้าเราใช้รหัส 63 บิต จะทำให้ BER ดีที่สุด ซึ่งจำนวนบิตของรหัส ถ้ามากจะทำให้เราต้องมี Bandwidth ที่มากที่จะใช้ในการสื่อสาร ยิ่ง Bandwidth มากก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น

จากการทดลองจะเห็นว่าถ้าต้องการให้ BER ดีขึ้น จะต้องใช้จำนวนบิตของรหัสที่มากกว่า ถ้าเรามีจำนวนรายผู้ใช้น้อยลงก็จะทำให้ BER ดีขึ้น แต่ถ้าเรามีการใช้จำนวนรายผู้ใช้นั้นมากขึ้นก็จะทำให้ระบบมี BER ที่แย่ลง ไปดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวน 15 รายผู้ใช้

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า BER ของการสื่อสารระบบ DSSS-CDMA ที่ใช้รหัส 15 บิตแย่ที่สุดเนื่องจากจำนวนรายผู้ใช้งานที่สุดของรหัส จะใช้ส่งได้ และใช้ Bandwidth แยกที่สุดจึงทำให้ได้ BER ที่แย่ที่สุด ส่วนเมื่อใช้รหัส 31 บิต และรหัส 63 บิต ก็จะทำให้ BER ดีขึ้นเนื่องจากใช้ Bandwidth ที่มากกว่า และยังสามารถมีจำนวนรายผู้ใช้ที่สามารถใช้ได้ก็หลายรายผู้ใช้

จะเห็นว่า BER ขึ้นอยู่กับจำนวนรายผู้ใช้และจำนวนชิปของรหัสที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งถ้าพิจารณาถึงรหัสก็จะเชื่อมโยงไปถึงเรื่องของ Bandwidth ไปในตัว ส่วนในเรื่องของจำนวนรายผู้ใช้งานถ้ามีจำนวนรายผู้ใช้น้อยก็จะทำให้ BER ดี แต่เมื่อมีจำนวนรายผู้ใช้งานมากขึ้นก็จะทำให้ BER แย่ลง เนื่องจากจำนวนรายผู้ใช้ที่มากขึ้นทำให้สัญญาณผู้ใช้รายอื่นมากจนมากขึ้น จึงทำให้ BER แย่ลง

#### 4.5 ผลของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีสัญญาณ BPSK Jamming เข้ามา

ในการทดลองนี้เราจะใช้รหัสที่มีจำนวน 31 bit ในการสร้างแบบจำลองและทำการทดลองการ Jamming ด้วยสัญญาณ BPSK ที่มีความถี่ที่ห่างไปจากความถี่ของระบบ DSSS-CDMA จากสมการที่ (3-16) และสมการที่ (3-17) เราจะสร้างผลของแอมพลิจูดของสัญญาณ BPSK ที่มากจน

สัญญาณของระบบ CDMA แบบ Direct Sequence Spread Spectrum จากการ Jamming ที่ความถี่เดียวกันไปจนถึงการ Jamming ที่ความถี่ห่างไป 50 Hz เราจะได้ดังตารางต่อไปนี้

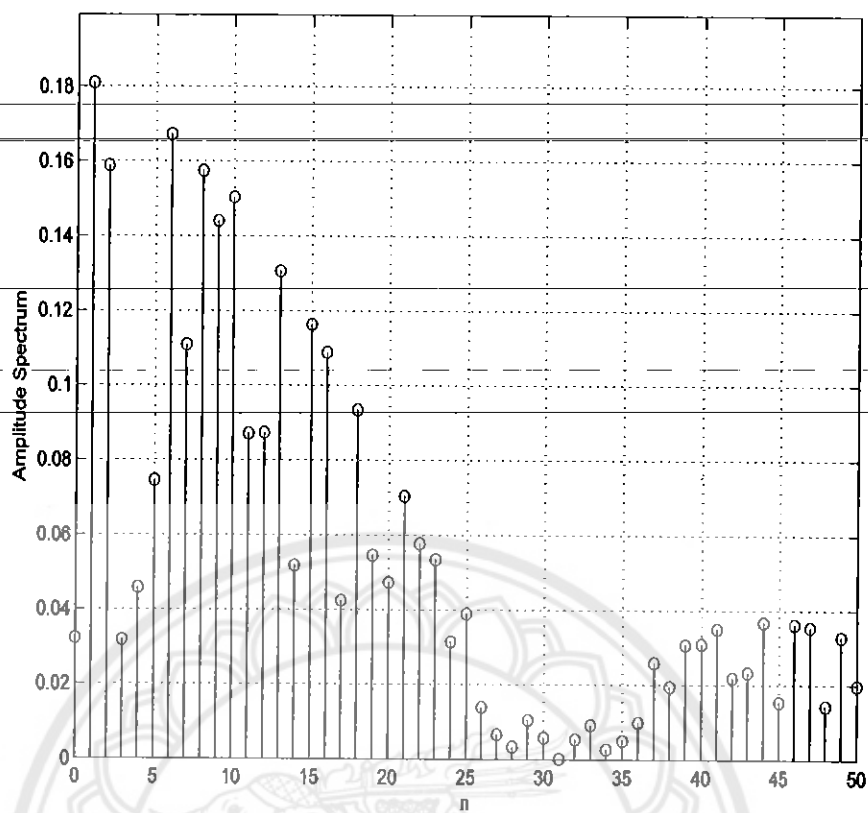
**ตารางที่ 4.1** ผลการวิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสระบบ CDMA เมื่อมีการ Jamming ( $\varphi_n$ )

ความถี่ Jamming (Hz)	แอมพลิจูดที่กววน ( $\varphi_n$ )
0	0.0323
1	0.1814
2	0.1593
3	0.0320
4	0.0461
5	0.0753
6	0.1688
7	0.1121
8	0.1595
9	0.1460
10	0.1528
11	0.0887
12	0.0891
13	0.1332
14	0.0529
15	0.1192
16	0.1117
17	0.0436
18	0.0962
19	0.0563
20	0.0488
21	0.0728
22	0.0597
23	0.0555
24	0.0327
25	0.0405

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ความถี่ Jamming (Hz)	แอมพลิจูดที่กวน ( $\varphi_n$ )
26	0.0145
27	0.0068
28	0.0034
29	0.0110
30	0.0060
31	0.0000
32	0.0057
33	0.0097
34	0.0028
35	0.0053
36	0.0105
37	0.0274
38	0.0207
39	0.0327
40	0.0329
41	0.0373
42	0.0232
43	0.0249
44	0.0394
45	0.0165
46	0.0389
47	0.0380
48	0.0154
49	0.0354
50	0.0214

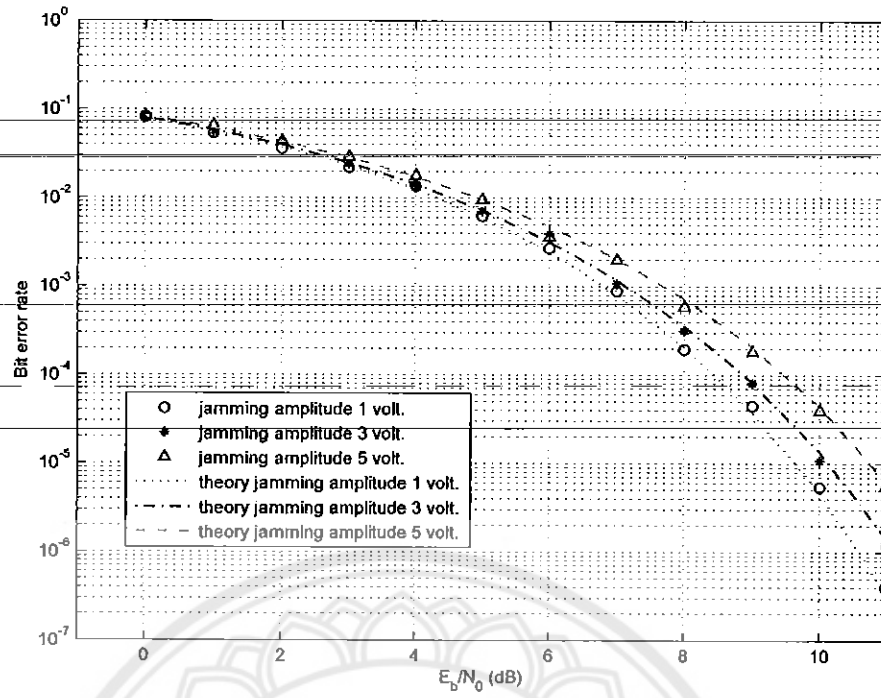
จากตารางที่ 4.1 เราจะทำการนำค่าของ  $\varphi_n$  นำมาแสดงเป็นกราฟ เพื่อเปรียบเทียบกัน  
ระหว่างแต่ละความถี่ที่มีการ Jamming จะได้รูปดังนี้



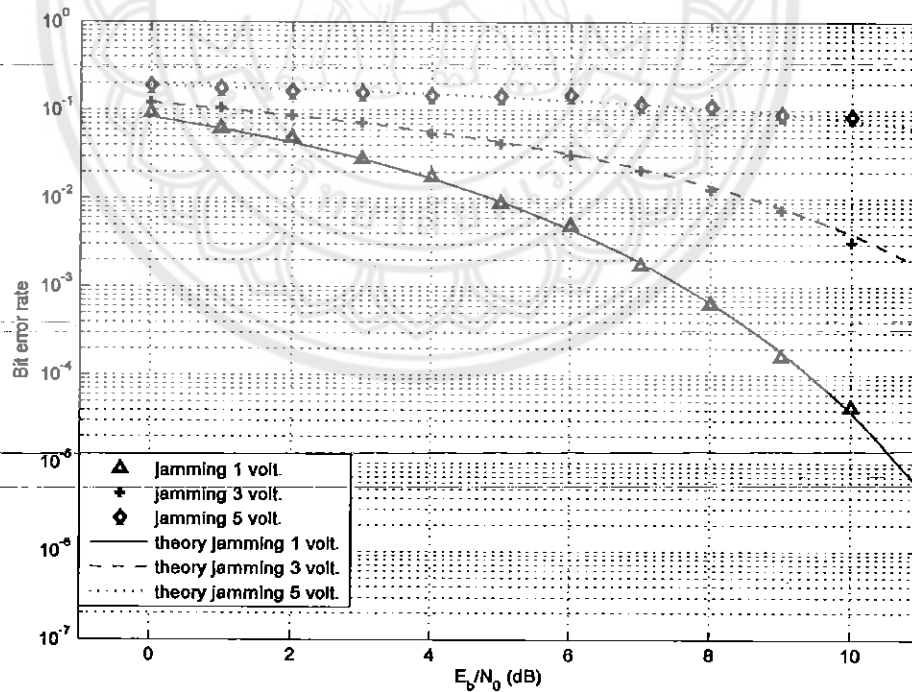
**รูปที่ 4.12** ผลการวิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสระบบ CDMA เมื่อมีการ Jamming ( $\varphi_n$ )

จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.1 จะทำให้เราได้ค่าของ  $\varphi_n$  โดยที่  $n$  เป็นการ Jamming ที่ความถี่ห่างไป  $n$  Hz แล้วนำไปแทนใน (3-13) ทำให้ได้ผลของทฤษฎีแล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจะได้ดังนี้

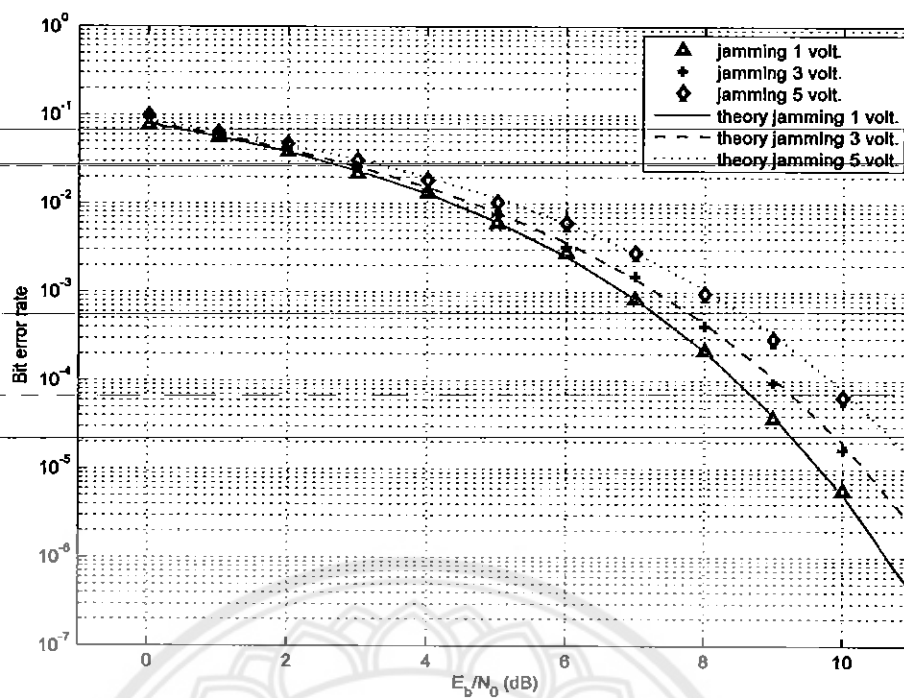




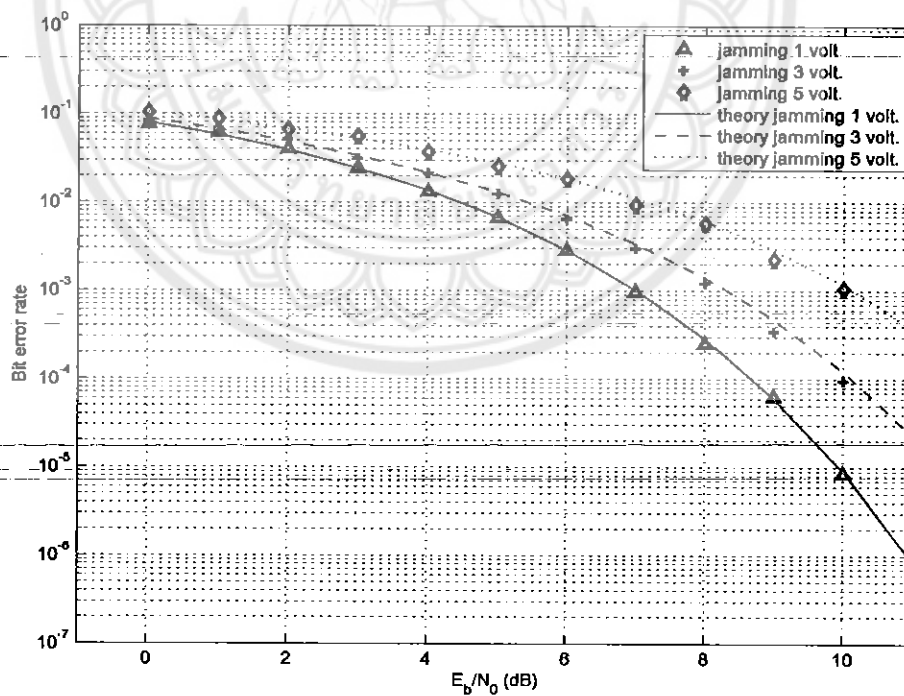
รูปที่ 4.13 BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่เดียวกันกับความถี่หลักของระบบ DSSS-CDMA



รูปที่ 4.14 BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ห่างจากความถี่หลักของระบบ DSSS-CDMA ไป 2 Hz



รูปที่ 4.15 BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ห่างจากความถี่หลัก  
ของระบบ DSSS-CDMA ไป 3 Hz



รูปที่ 4.16 BER ของสัญญาณ Jamming ที่ความถี่ห่างจากความถี่หลัก  
ของระบบ DSSS-CDMA ไป 5 Hz

จากรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16 เป็นผลการทดลองเมื่อมีสัญญาณ BPSK Jamming เข้ามา และตรงตามทฤษฎีที่เราทำการวิเคราะห์มา โดยเอาค่าแอมพลิจูดในรูปที่ 4.12 นำมาแทนค่าใน  $\varphi_n$  โดยที่  $n$  เป็นการ Jamming ที่ความถี่ห่างไป  $n$  Hz ซึ่งถ้าแอมพลิจูดสูงก็จะทำให้สัญญาณมีการรบกวนมาก และจะทำให้ BER แย่ลง และยังมีผลการทดลองที่มีการ Jamming ที่ความถี่ต่างๆ อีกหลายๆ ความถี่ สามารถพิจารณาเพิ่มเติมที่ ภาคผนวก(ค.)



## สรุปผลการดำเนินการ

## 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีจำนวนผู้ใช้ 1 ราย จะทำให้ระบบ DSSS-CDMA มีประสิทธิภาพเท่ากับการสื่อสารระบบ BPSK ไม่ว่าจะใช้จำนวนบิตของรหัสมากหรือน้อย แต่เมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้นประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA จะแย่ลง ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9 แต่ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพดีขึ้นต้องใช้จำนวนบิตของรหัสที่มากขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 4.10 ระบบ DSSS-CDMA เป็นระบบที่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มาก และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบ BPSK อีกด้วย เมื่อระบบ DSSS-CDMA มีจำนวนของรหัสที่มากขึ้น ก็จะต้องใช้ความกว้างของความถี่ที่มากด้วย

จากการวิเคราะห์ระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีสัญญาณ BPSK Jamming จะทำให้ระบบ DSSS-CDMA แย่ลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางความถี่ที่เข้ามา Jamming ซึ่งองค์ประกอบทางความถี่นี้เรานิยามให้เป็น  $\varphi$ , โดยที่ค่านี้ได้จากการวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 3 จากการวิเคราะห์และผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลอง พบว่าถ้าองค์ประกอบทางความถี่ที่เข้ามา Jamming มีค่าน้อย ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA แย่ลงเล็กน้อย เพราะสัญญาณที่เข้ามา Jamming จะเข้ามารบกวนระบบ DSSS-CDMA น้อย แต่ถ้าองค์ประกอบทางความถี่ที่เข้ามา Jamming มีค่ามาก ก็จะทำให้ระบบ DSSS-CDMA แย่ลงมากด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิเคราะห์ระบบ DSSS-CDMA เราใช้การวิเคราะห์โดยใช้หลักการทฤษฎีของความน่าจะเป็น เมื่อเราต้องการผลการทดลองที่ใกล้เคียงค่าจริง เราต้องทำการทดลองโดยการส่งข้อมูลในการสื่อสารให้มากขึ้น และในโครงการนี้ การทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการรันโปรแกรมหลายวันถึงจะได้รูปแต่ละรูป ควรมีคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลที่เร็ว  
มาก

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mr.RuengritPetchvorakul.“CDMAConcept.”[Online]. Available:  
<http://www.geocities.com/learncdma/overview.html> : 2002.
- [2] ดัชนีกร วุฒิสัทธาภิณฑก. เทค โนโลยีสื่อสารไร้สาย CDMA. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [3] วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์. ความรู้พื้นฐานวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร. กรุงเทพฯ: เดอร์บุ๊กส์-เลิฟเวอร์. 2549.
- [4] Couch, L. W., *Digital and Analog Communication Systems*, 7<sup>th</sup> ed., New Jersey : PrenticeHall. Inc. 2007.
- [5] Proakis, J. G., *Digital Communications*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1995.
- [6] Curt M. White., *Data Communication and Computer Networks*, 4<sup>th</sup> ed., Thomson, Massachusetts, 2007
- [7] Proakis, J. G., *Contemporary Communication Systems using MATLAB*, 2<sup>nd</sup> ed., Tomson Brooks/Cole, New York, 2004.
- [8] Proakis, J. G., *Communication Systems Engineering*, 2<sup>nd</sup> ed., New Jersey : Prentice-Hall. Inc. 2007.
- [9] Glover, I. A., *Digital Communications*, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice-Hall. Inc. 2004.

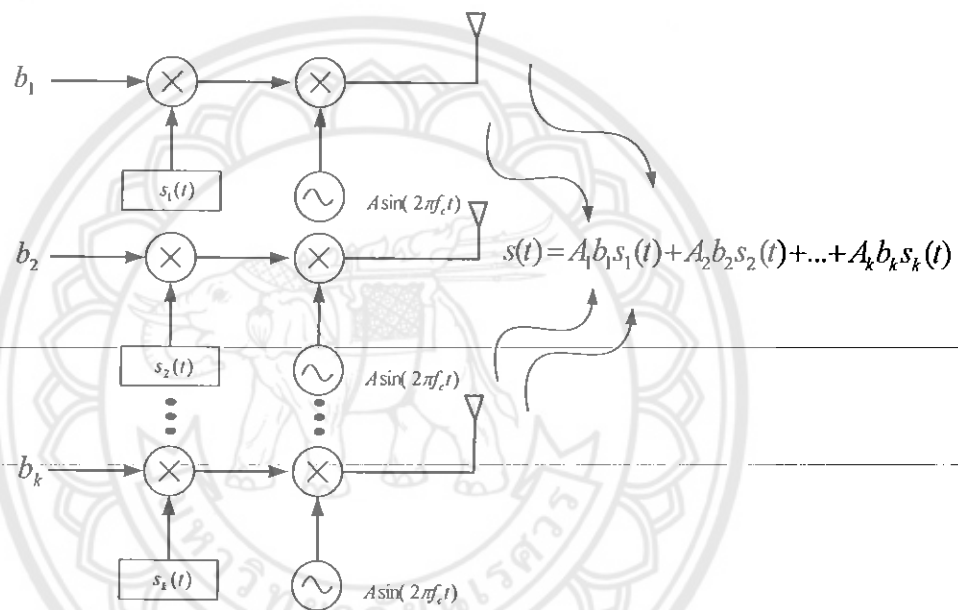


## ภาคผนวก (ก)

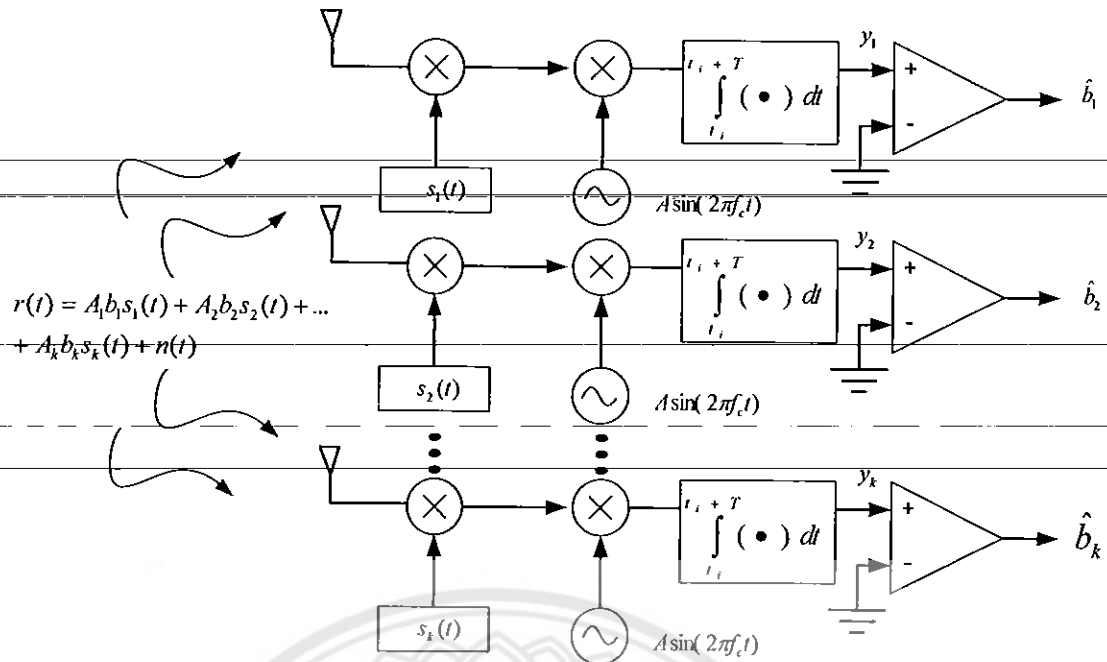
### BER ของระบบ DSSS-CDMA

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีผู้ใช้งานหลายๆ ราย จะพิจารณาจำนวนผู้ใช้งานในระบบน้อยๆ ก่อน เราจะวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งาน 1 ราย แล้วค่อยทำการวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งาน 2 รายและวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งาน 3 ราย แล้วนำทั้ง 3 กรณีมาพิจารณาเพื่อให้ได้ BER ของจำนวนผู้ใช้งานรายใดๆ ได้

พิจารณารูปภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA



รูปที่ 1ก. วงจรภาคส่งของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้งาน  $K$  ราย



รูปที่ 2ก. วงจรภาครับของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้  $K$  ราย

จากทฤษฎีที่ใช้การ Modulation และ Demodulation ด้วยสัญญาณ  $-A_c \sin(2\pi f_c t)$  จะได้  $-A_c \sin(2\pi f_c t)$  เมื่อส่งบิต 1 และ  $A_c \sin(2\pi f_c t)$  เมื่อส่งบิต 0 แต่ในโครงงานนี้เราจะใช้สัญญาณที่ส่งบิต 1 คือ  $A_c \sin(2\pi f_c t)$  และส่งบิต 0 คือ  $-A_c \sin(2\pi f_c t)$  ซึ่งเราจึงใช้  $A_c \sin(2\pi f_c t)$  เป็นตัว Modulation และ Demodulation แทน ซึ่งจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเพราะทั้งสองวิธีนี้ต่างก็มีมูมเฟสต่างกัน  $180^\circ$  เท่ากัน

พิจารณาจากรูปที่ 2ก. รูปวงจรภาครับจะได้สัญญาณ  $r(t)$  ดังนี้

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_k(i) s_k(t - iT) + n(t) \quad (1ก.)$$

โดย

$A_k$  แทนแอมพลิจูดที่ใช้สำหรับส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $k$

$b_k(i)$  แทนค่าบิตข้อมูลของผู้ใช้รายที่  $k$  บิตที่  $i$  ซึ่งมีได้สองระดับคือ  $\pm 1$

$s_k(t)$  แทนรูปสัญญาณของรหัสแผ่ (spreading waveform) ของผู้ใช้รายที่  $k$

$T$  แทนช่วงเวลาของการส่งข้อมูลหนึ่งบิต

$n(t)$  แทนสัญญาณรบกวน AWGN ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma^2$

$\rho_{jk} = \int_0^T s_j(t) s_k(t) dt$  คือค่าสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ระหว่างรหัสของผู้ใช้รายที่  $j$  และรหัสของผู้ใช้รายที่  $k$



### 1. พิจารณาสมการผู้ใช้ 1 ราย ที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แล้ว

$$y_1 = A_1 b_1 + n_1 \quad (2ก.)$$

โดยที่

$$n_1 = \int_0^T n(t) s_1(t) dt \quad (3ก.)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายนี้คือ

$$P_1 = P(\hat{b}_1 \neq b_1)$$

$$P_1 = P(\hat{b}_1 = -1, b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1, b_1 = -1) \quad \text{ใช้คุณสมบัติ } P(AB) = P(A|B)P(B)$$

$$P_1 = P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1)P(b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1)P(b_1 = -1)$$

$$P_1 = \frac{1}{2} P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1) + \frac{1}{2} P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1) ; P(b_1 = 1), P(b_1 = -1) \text{ เป็น}$$

Equalization

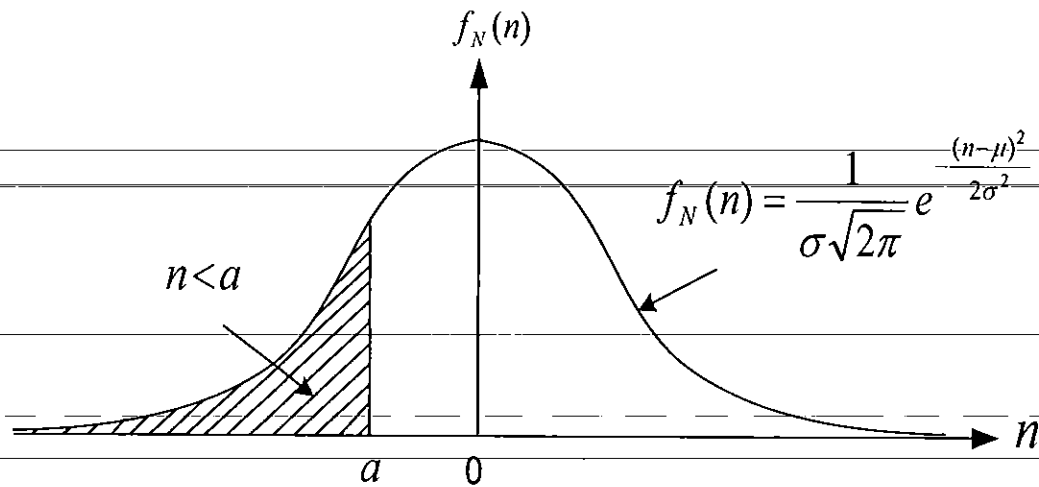
$$P_1 = \frac{1}{2} P(y_1 < 0 | b_1 = 1) + \frac{1}{2} P(y_1 > 0 | b_1 = -1) \quad (4ก.)$$

จากสมการที่ (4ก.) พิจารณาพจน์แรก  $y_1 < 0$  จะได้ว่า (2ก.) จะเป็น  $A_1 b_1 + n_1 < 0$  ด้วย แล้วย้ายข้างสมการแทนค่า  $b_1 = 1$  ในพจน์แรกจะได้เป็น  $n_1 < -A_1$  ส่วนพจน์หลัง  $y_1 > 0$  แทนค่าในสมการที่ (2ก.) จะได้  $A_1 b_1 + n_1 > 0$  แล้วย้ายข้างสมการแทนค่า  $b_1 = -1$  ในพจน์หลังจะทำให้ได้  $n_1 > -A_1$  จากนั้น แทนค่าลงไปในสมการที่ (4ก.) จะได้เป็น

$$P_1 = \frac{1}{2} P(n_1 < -A_1) + \frac{1}{2} P(n_1 > A_1) \quad (5ก.)$$

จากสมการที่ (5ก.) เราสามารถหาความสัมพันธ์ของค่า  $n_1$  และ  $A_1$  อีกรูปแบบของ Q-function โดยใช้ค่าของ PDF ของ  $n_1$  แล้วนำค่า  $A_1$  แทนเพื่อที่จะทำให้สมการที่เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นให้เปลี่ยนเป็น Q-function แทน เพื่อที่จะง่ายต่อการนำไปคำนวณ และจากสมการที่ (5ก.) เราสามารถแปลงสมการที่ติดอยู่ในรูปของฟังก์ชันของความน่าจะเป็นให้เปลี่ยนมาเป็น Q-function และเราต้องทราบคุณสมบัติของ noise ก่อนว่ามีค่าของ variance ( $\sigma^2$ ) เท่าใดถึงจะนำไปคำนวณได้ และวิธีการแปลงสมการมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่-1 คือวาดรูปของการกระจายตัวของสัญญาณรบกวน  $n$  ให้สัมพันธ์กับพจน์แรกในรูปของ PDF ได้เป็น



**รูปที่ 3ก.** แสดง PDF ของ Gaussian noise ที่มี mean = 0 และ variance =  $\sigma^2$  ที่มีความน่าจะเป็นที่  $n$  น้อยกว่าค่าคงที่  $a$

จากรูปเราจะแปลงสมการความน่าจะเป็นให้เป็น Q - function

$$P(n < a) = \int_{-\infty}^a f_N(n) dn = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^a e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\sigma^2}} dn$$

$$y = -\left(\frac{n-\mu}{\sigma}\right) = \frac{\mu-n}{\sigma} \quad dy = -\frac{dn}{\sigma}$$

$$P(n < a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\mu-a}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} (-\sigma) dy$$

$$P(n < a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\mu-a}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (6ก.)$$

$$Q(x) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (7ก.)$$

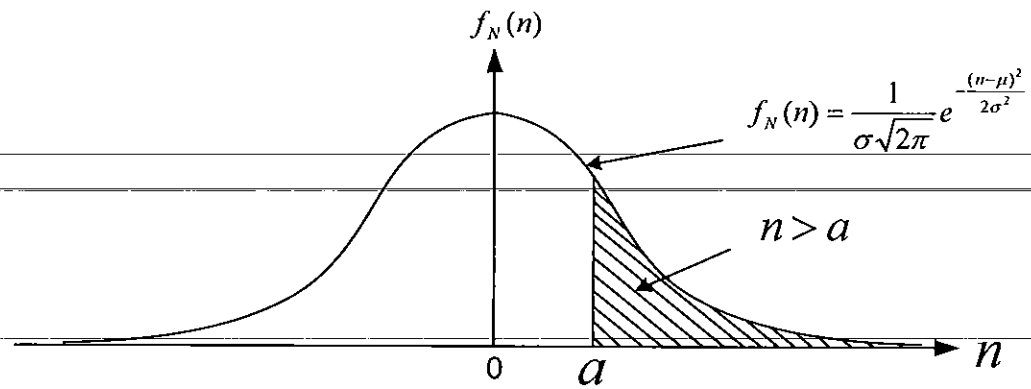
จากสมการที่ (6ก.) และเทียบกับสมการที่ (7ก.) จะทำให้เราได้

$$P(n < a) = Q\left(\frac{\mu-a}{\sigma}\right) \quad (8ก.)$$

จากนั้นแทนสมการที่ (8ก.) ด้วย  $-A_1$  ลงใน  $a$  ให้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และ ค่า Variance เท่ากับ  $\sigma^2$  จะได้

$$P(n < -A_1) = Q\left(\frac{0-(-A_1)}{\sigma}\right) = Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) \quad (9ก.)$$

ขั้นตอนที่ 2 คือวาดรูปของสัญญาณรบกวน  $n$  ให้สัมพันธ์กับพจน์หลังในรูปของ PDF ได้เป็น



**รูปที่ 4ก.** แสดง PDF ของ Gaussian noise ที่มี mean = 0 และ variance =  $\sigma^2$  ที่มีความน่าจะเป็นที่  $n$  มากกว่าค่าคงที่  $a$

จากพจน์หลังของสมการที่ (5ก.)  $P(n_1 > A_1)$  จะสามารถแปลงสมการความน่าจะเป็นให้เป็น Q-function

$$P(n > a) = \int_a^{\infty} f_N(n) dn = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^{\infty} e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\sigma^2}} dn$$

$$y = \frac{n-\mu}{\sigma} \quad dy = \frac{dn}{\sigma}$$

$$P(n > a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a-\mu}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} (\sigma) dy$$

$$P(n > a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a-\mu}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (10ก.)$$

จากสมการที่ (10ก.) และเทียบกับสมการที่ (7ก.) จะทำให้เราได้

$$P(n > a) = Q\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \quad (11ก.)$$

จากนั้นแทนสมการที่ (11ก.) ด้วย  $A_1$  ลงใน  $a$  ให้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และ ค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ  $\sigma^2$  จะได้

$$P(n_1 > A_1) = Q\left(\frac{(A_1) - 0}{\sigma}\right) = Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) \quad (12ก.)$$

จากสมการที่ (5ก.)  $P_1 = \frac{1}{2} P(n_1 < -A_1) + \frac{1}{2} P(n_1 > A_1)$  แทนค่าสมการที่ (9ก.) และสมการที่ (12ก.) ได้

$$P_1 = \frac{1}{2} Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) = Q\left(\frac{A_1}{\sigma}\right) \quad (13ก.)$$

จะทำให้เราได้ BER ของระบบ DSSS-CDMA สำหรับผู้ใช้รายเดียว

## 2. พิสูจน์สมการผู้ใช้ 2 ราย ที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แล้ว

$$y_1 = A_1 b_1 + \rho A_2 b_2 + n_1 \quad (14ก.)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายดังกล่าวคือ

$$\begin{aligned} P_1 &= P(\hat{b}_1 \neq b_1) \\ &= P(\hat{b}_1 = -1, b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1, b_1 = -1) \\ &= P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1)P(b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1)P(b_1 = -1) \\ &= \frac{1}{2}P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1) + \frac{1}{2}P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1) \quad ; P(b_1 = 1), P(b_1 = -1) \text{ เป็น Equalization} \end{aligned}$$

การส่งบิตข้อมูลมีค่าเป็น  $\{-1, 1\}$  ออกด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2}P(y_1 < 0 | b_1 = 1) + \frac{1}{2}P(y_1 > 0 | b_1 = -1) \\ &= \frac{1}{2} \left[ P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = 1)P(b_2 = 1) + P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = -1)P(b_2 = -1) \right. \\ &\quad \left. + P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = 1)P(b_2 = 1) + P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = -1)P(b_2 = -1) \right] \quad (15ก.) \end{aligned}$$

จากสมการที่ (15ก.)  $y_1 = A_1 b_1 + \rho A_2 b_2 + n_1$  และสมการที่ (15ก.) พิจารณาพจน์แรก  $y_1 < 0$  จะได้  $A_1 b_1 + \rho A_2 b_2 + n_1 < 0$  ด้วย ย้ายข้างสมการ  $n_1 < -A_1 b_1 - \rho A_2 b_2$  และแทนค่า  $b_1 = 1, b_2 = 1$  จะได้  $n_1 < -A_1 - \rho A_2$  แทนลงไปในพจน์แรกและ  $P(b_2 = 1) = \frac{1}{2}$  ส่วนพจน์ที่สอง ก็ทำเช่นเดียวกัน จะได้  $n_1 < -A_1 + \rho A_2$

เมื่อพิจารณาพจน์ที่สาม  $y_1 < 0$  จะได้  $A_1 b_1 + \rho A_2 b_2 + n_1 > 0$  ด้วย ย้ายข้างสมการ  $n_1 > -A_1 b_1 - \rho A_2 b_2$  และแทนค่า  $b_1 = -1, b_2 = 1$  จะได้  $n_1 > A_1 - \rho A_2$  แทนลงไปในพจน์แรกและ  $P(b_2 = 1) = \frac{1}{2}$  ส่วนพจน์ที่สอง ก็ทำเช่นเดียวกัน จะได้  $n_1 > A_1 + \rho A_2$  จะทำให้เราได้

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2}P(n_1 < -A_1 - \rho A_2) + \frac{1}{2}P(n_1 < -A_1 + \rho A_2) \right. \\ \left. + \frac{1}{2}P(n_1 > A_1 - \rho A_2) + \frac{1}{2}P(n_1 > A_1 + \rho A_2) \right] \quad (16ก.)$$

จากสมการที่ (16ก.) เราสามารถแปลงเป็น Q - function ได้ตามสมการที่ (8ก.) และสมการที่ (11ก.) ได้เป็น

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2}Q\left(\frac{A_1 + \rho A_2}{\sigma}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{A_1 - \rho A_2}{\sigma}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{A_1 - \rho A_2}{\sigma}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{A_1 + \rho A_2}{\sigma}\right) \right] \\ P_1 &= \frac{1}{2} \left[ Q\left(\frac{A_1 + \rho A_2}{\sigma}\right) + Q\left(\frac{A_1 - \rho A_2}{\sigma}\right) \right] \quad (17ก.) \end{aligned}$$

## 3. พิสูจน์สมการผู้ใช้ 3 ราย ที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แล้วได้

$$y_1 = A_1 b_1 + \rho_{12} A_2 b_2 + \rho_{13} A_3 b_3 + n_1 \quad (18ก.)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายดังกล่าวคือ

$$\begin{aligned}
P_1 &= P(\hat{b}_1 \neq b_1) \\
&= P(\hat{b}_1 = -1, b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1, b_1 = -1) \\
&= P(\hat{b}_1 = -1, b_1 = 1)P(b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1, b_1 = -1)P(b_1 = -1) \\
&= \frac{1}{2}P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1) + \frac{1}{2}P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1) \quad ; P(b_1 = 1), P(b_1 = -1) \text{ เป็น Equalization} \\
&= \frac{1}{2} \left[ P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = 1)P(b_2 = 1) + P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = -1)P(b_2 = -1) \right. \\
&\quad \left. + P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = 1)P(b_2 = 1) + P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = -1)P(b_2 = -1) \right] \\
&= \frac{1}{2} \left[ \begin{aligned} &P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = 1, b_3 = 1)P(b_2 = 1)P(b_3 = 1) \\ &+ P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = 1, b_3 = -1)P(b_2 = 1)P(b_3 = -1) \\ &+ P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = -1, b_3 = 1)P(b_2 = -1)P(b_3 = 1) \\ &+ P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = -1, b_3 = -1)P(b_2 = -1)P(b_3 = -1) \\ &+ P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = 1, b_3 = 1)P(b_2 = 1)P(b_3 = 1) \\ &+ P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = 1, b_3 = -1)P(b_2 = 1)P(b_3 = -1) \\ &+ P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = -1, b_3 = 1)P(b_2 = -1)P(b_3 = 1) \\ &+ P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = -1, b_3 = -1)P(b_2 = -1)P(b_3 = -1) \end{aligned} \right] \quad (19ก.)
\end{aligned}$$

จากสมการที่ (18ก.)  $y_1 = A_1b_1 + \rho_{12}A_2b_2 + \rho_{13}A_3b_3 + n_1$  และ (19ก.) พิจารณาพจน์แรก  $y_1 < 0$  จะได้  $A_1b_1 + \rho_{12}A_2b_2 + \rho_{13}A_3b_3 + n_1 < 0$  ด้วยย้ายข้างอสมการ  $n_1 < -A_1b_1 - \rho_{12}A_2b_2 - \rho_{13}A_3b_3$  และแทนค่า  $b_1 = 1, b_2 = 1$  และ  $b_3 = 1$  จะได้  $n_1 < -A_1 - \rho_{12}A_2 - \rho_{13}A_3$  แทนลงไปพจน์แรก

ส่วนพจน์ที่สอง สาม และสี่ ก็ทำเช่นเดียวกัน

พิจารณาพจน์ที่ห้า  $y_1 > 0$  จะได้  $A_1b_1 + \rho_{12}A_2b_2 + \rho_{13}A_3b_3 + n_1 > 0$  ด้วยย้ายข้างอสมการ

$n_1 > -A_1b_1 - \rho_{12}A_2b_2 - \rho_{13}A_3b_3$  และแทนค่า  $b_1 = -1, b_2 = 1$  และ  $b_3 = 1$  จะได้

$n_1 > A_1 - \rho_{12}A_2 - \rho_{13}A_3$  แทนลงไปพจน์แรกและ

$P(b_2 = 1) = \frac{1}{2}, P(b_3 = 1) = \frac{1}{2}, P(b_2 = -1) = \frac{1}{2}, P(b_3 = -1) = \frac{1}{2}$  ส่วนพจน์ที่หก เจ็ด และแปด

ก็ทำเช่นเดียวกัน จะได้เป็น

$$\begin{aligned}
P_1 &= \frac{1}{2} \left[ \begin{aligned} &\frac{1}{4}P(n_1 < -A_1 - \rho_{12}A_2 - \rho_{13}A_3) + \frac{1}{4}P(n_1 < -A_1 - \rho_{12}A_2 + \rho_{13}A_3) \\ &+ \frac{1}{4}P(n_1 < -A_1 + \rho_{12}A_2 - \rho_{13}A_3) + \frac{1}{4}P(n_1 < -A_1 + \rho_{12}A_2 + \rho_{13}A_3) \\ &+ \frac{1}{4}P(n_1 > A_1 - \rho_{12}A_2 - \rho_{13}A_3) + \frac{1}{4}P(n_1 > A_1 - \rho_{12}A_2 + \rho_{13}A_3) \\ &+ \frac{1}{4}P(n_1 > A_1 + \rho_{12}A_2 - \rho_{13}A_3) + \frac{1}{4}P(n_1 > A_1 + \rho_{12}A_2 + \rho_{13}A_3) \end{aligned} \right] \quad (20ก.)
\end{aligned}$$

จากสมการที่ (20ก.) เทียบกับสมการที่ (8ก.) และสมการที่ (11ก.) จะได้เป็น

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + \frac{1}{4} Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right] \\
 P_1 &= \frac{1}{2} \left[ \frac{2}{4} Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + \frac{2}{4} Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{2}{4} Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + \frac{2}{4} Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right] \\
 P_1 &= \frac{1}{4} \left[ Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\
 &\quad \left. + Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right] \quad (21ก.)
 \end{aligned}$$

จากการพิสูจน์ทั้ง 3 กรณี ได้

$$P_1 = Q \left( \frac{A_1}{\sigma} \right) \quad \text{ผู้ใช้ 1 ราย}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2}{\sigma} \right) \right] \quad \text{ผู้ใช้ 2 ราย}$$

$$P_1 = \frac{1}{4} \left[ Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 + \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\ \left. + Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 + \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 - \rho_{12} A_2 - \rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right] \quad \text{ผู้ใช้ 3 ราย}$$

จัดรูปสมการเพื่อเปรียบเทียบ

$$P_1 = \frac{1}{2^{1-1}} Q \left( \frac{A_1}{\sigma} \right) \quad \text{ผู้ใช้ 1 ราย}$$

$$P_1 = \frac{1}{2^{2-1}} \left[ Q \left( \frac{A_1 + (1)\rho_{12} A_2}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 + (-1)\rho_{12} A_2}{\sigma} \right) \right] \quad \text{ผู้ใช้ 2 ราย}$$

$$P_1 = \frac{1}{2^{3-1}} \left[ Q \left( \frac{A_1 + (1)\rho_{12} A_2 + (1)\rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 + (1)\rho_{12} A_2 + (-1)\rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right. \\ \left. + Q \left( \frac{A_1 + (-1)\rho_{12} A_2 + (1)\rho_{13} A_3}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 + (-1)\rho_{12} A_2 + (-1)\rho_{13} A_3}{\sigma} \right) \right] \quad \text{ผู้ใช้ 3 ราย}$$

สำหรับกรณีทั่วไปคือมีผู้ใช้จำนวน  $K$  ราย ค่าอัตราความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายที่  $k$  สามารถเขียนได้เป็น

$$P_k = \frac{1}{2^{K-1}} \sum_{e_1 \in \{-1,1\}} \cdots \sum_{\substack{e_j \in \{-1,1\} \\ j \neq k}} \cdots \sum_{e_K \in \{-1,1\}} Q\left(\frac{A_k}{\sigma} + \sum_{j \neq k} \frac{A_j}{\sigma} \rho_{jk} e_j\right) \quad (22ก.)$$

$$\rho_{jk} = \rho_{kj}$$

$K$  คือ จำนวนผู้ใช้ทั้งหมด

$k$  คือ ผู้ใช้รายที่  $k$

$e$  คือ บิตข้อมูลที่เป็นไปได้ที่ภาคส่ง ส่งออกมา



## ภาคผนวก (ข)

### BER ของระบบ DSSS-CDMA

#### เมื่อมีสัญญาณระบบ BPSK Jamming เข้ามา

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ เราจะวิเคราะห์ที่ส่งสัญญาณด้วยระบบ DSSS-CDMA ที่มีผู้ใช้  
หนึ่งราย และมีสัญญาณที่ส่งด้วยระบบ BPSK หนึ่งรายที่ส่งโดยใช้สัญญาณพาห์ เดียวกัน

##### 1. พิสูจน์สมการ Jamming ที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แล้ว

$$y_1 = A_1 b_1 + \varphi_1 A_2 b_2 + n_1 \quad (1ข.)$$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตของผู้ใช้รายดังกล่าวคือ

$$P_1 = P(\hat{b}_1 \neq b_1)$$

$$= P(\hat{b}_1 = -1, b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1, b_1 = -1)$$

$$= P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1)P(b_1 = 1) + P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1)P(b_1 = -1)$$

$$= \frac{1}{2} P(\hat{b}_1 = -1 | b_1 = 1) + \frac{1}{2} P(\hat{b}_1 = 1 | b_1 = -1) ; P(b_1 = 1), P(b_1 = -1) \text{ เป็น Equalization}$$

การส่งบิตข้อมูลมีค่าเป็น  $\{1, -1\}$  ออกด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

$$= \frac{1}{2} P(y_1 < 0 | b_1 = 1) + \frac{1}{2} P(y_1 > 0 | b_1 = -1)$$

$$= \frac{1}{2} \left[ P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = 1)P(b_2 = 1) + P(y_1 < 0 | b_1 = 1, b_2 = -1)P(b_2 = -1) \right. \\ \left. + P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = 1)P(b_2 = 1) + P(y_1 > 0 | b_1 = -1, b_2 = -1)P(b_2 = -1) \right] \quad (2ข.)$$

จากสมการที่ (1ข.)  $y_1 = A_1 b_1 + \varphi_1 A_2 b_2 + n_1$  และสมการที่ (2ข.) พิจารณาพจน์แรก  $y_1 < 0$  จะได้

$A_1 b_1 + \varphi_1 A_2 b_2 + n_1 < 0$  ด้วยย้ายข้างสมการ  $n_1 < -A_1 b_1 - \varphi_1 A_2 b_2$  และแทนค่า  $b_1 = 1, b_2 = 1$  จะ

ได้  $n_1 < -A_1 - \varphi_1 A_2$  แทนลงไปในพจน์แรกและ  $P(b_2 = 1) = \frac{1}{2}$  ส่วนพจน์ที่สอง ก็ทำเช่นเดียวกัน

จะได้  $n_1 < -A_1 + \varphi_1 A_2$

เมื่อพิจารณาพจน์ที่สาม  $y_1 > 0$  จะได้  $A_1 b_1 + \varphi_1 A_2 b_2 + n_1 > 0$  ด้วย ย้ายข้างสมการ

$n_1 > -A_1 b_1 - \varphi_1 A_2 b_2$  และแทนค่า  $b_1 = -1, b_2 = 1$  จะได้  $n_1 > A_1 - \varphi_1 A_2$  แทนลงไปในพจน์แรก

และ  $P(b_2 = 1) = \frac{1}{2}$  ส่วนพจน์ที่สอง ก็ทำเช่นเดียวกัน จะได้  $n_1 > A_1 + \varphi_1 A_2$  จะทำให้เราได้



$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ \begin{aligned} &\frac{1}{2} P(n_1 < -A_1 - \varphi_i A_2) + \frac{1}{2} P(n_1 < -A_1 + \varphi_i A_2) \\ &+ \frac{1}{2} P(n_1 > A_1 - \varphi_i A_2) + \frac{1}{2} P(n_1 > A_1 + \varphi_i A_2) \end{aligned} \right] \quad (3ข.)$$

จากสมการที่ (3ข.) เราสามารถแปลงเป็น Q-function ได้ตามสมการจากภาคผนวก (ก) สมการที่ (9ก.) และสมการที่ (12ก.) ได้เป็น

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} Q\left(\frac{A_1 + \varphi_i A_2}{\sigma}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\frac{A_1 - \varphi_i A_2}{\sigma}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\frac{A_1 - \varphi_i A_2}{\sigma}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\frac{A_1 + \varphi_i A_2}{\sigma}\right) \right]$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ Q\left(\frac{A_1 + \varphi_i A_2}{\sigma}\right) + Q\left(\frac{A_1 - \varphi_i A_2}{\sigma}\right) \right] \quad (4ข.)$$

โดยที่  $\varphi_i$  คือ แอมพลิจูดทางความถี่ของสัญญาณ Jamming ที่ไปรบกวนความถี่กลางของระบบ DSSS-CDMA โดยที่  $i$  คือระยะห่างทางความถี่ของความถี่ของการ Jamming กับความถี่กลางของระบบ DSSS-CDMA

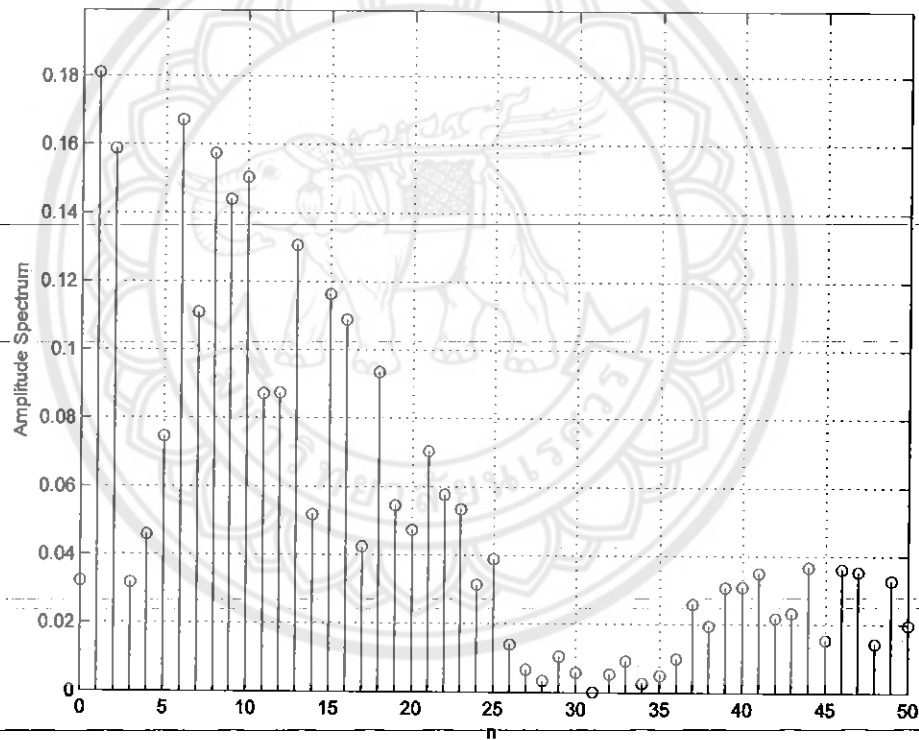


## ภาคผนวก (ค)

### แสดงผล BER ของระบบ DSSS-CDMA

### เมื่อมีสัญญาณระบบ BPSK Jamming เข้ามา

BER ของระบบ DSSS-CDMA จะดีหรือแย่ขึ้นอยู่กับการกวนของสัญญาณรบกวน และที่เราศึกษานี้คือมีสัญญาณระบบ BPSK Jamming เข้ามาที่ Bandwidth ของระบบ DSSS-CDMA ทำให้สัญญาณนี้ไปกวนสัญญาณของระบบ DSSS-CDMA การ Jamming ที่ความถี่ต่างๆ จะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์หอนุกรมฟูเรียร์ของรหัสระบบ DSSS-CDMA การ Jamming ที่ความถี่ต่างๆ เราจะได้สัญญาณของระบบ BPSK ที่เข้ามากวนในระบบ DSSS-CDMA ดังรูปต่อไปนี้

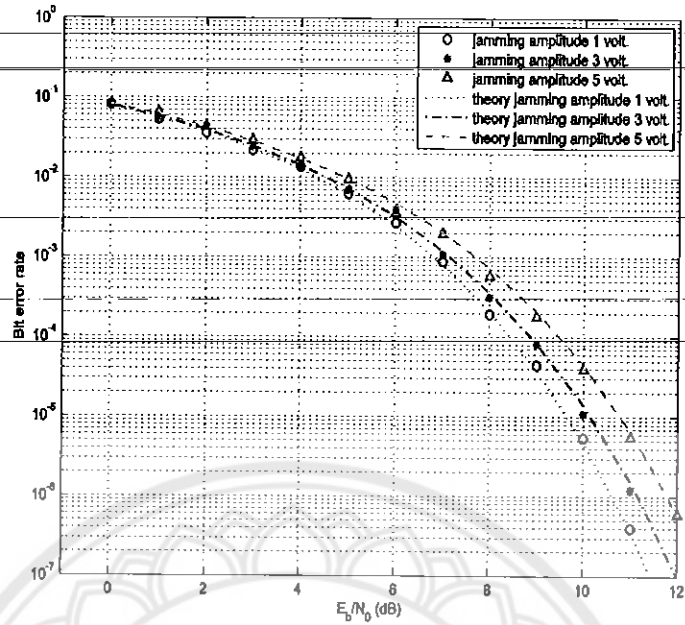


รูปที่ 1ค. ผลการวิเคราะห์ Fourier Series ของรหัสระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีการ Jamming ( $\phi$ )

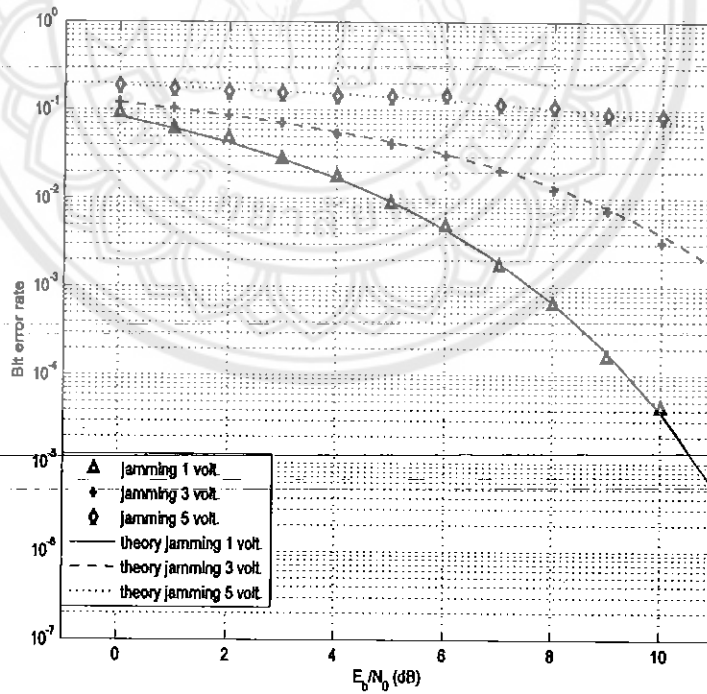
จากรูปที่ 1ค. จะเห็นว่า การ Jamming ที่ความถี่ห่างไปไม่จำเป็นต้องมีการรบกวนของสัญญาณน้อยกว่าเสมอ จึงทำให้เรานำผลจากการกวนในรูปที่ 1ค. ไปแทนในสมการ

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[ Q \left( \frac{A_1 + \phi_1 A_2}{\sigma} \right) + Q \left( \frac{A_1 - \phi_1 A_2}{\sigma} \right) \right] \quad (1ค.)$$

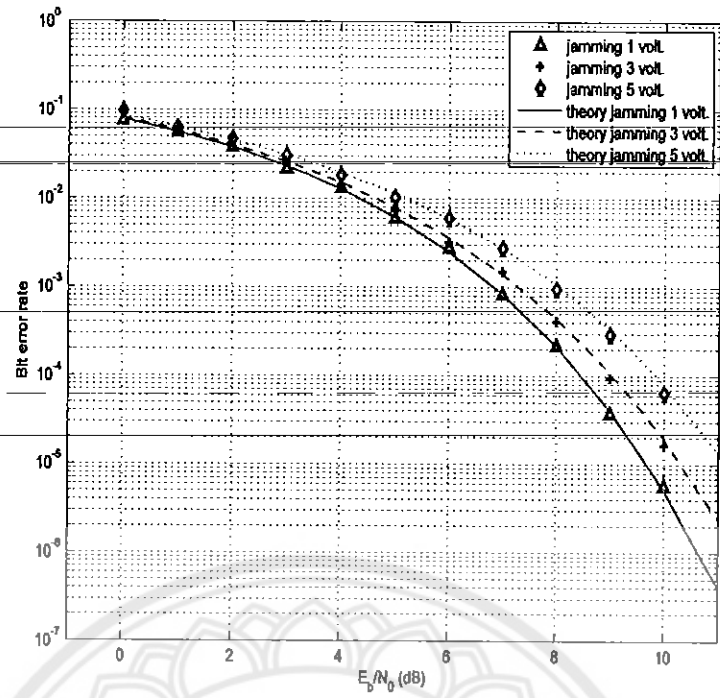
ทำให้เราได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



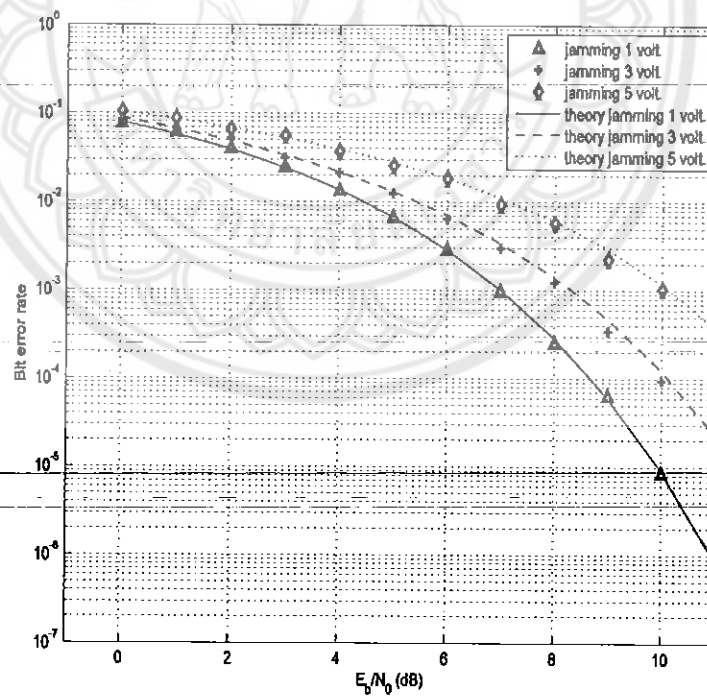
รูปที่ 2ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่เดียวกัน



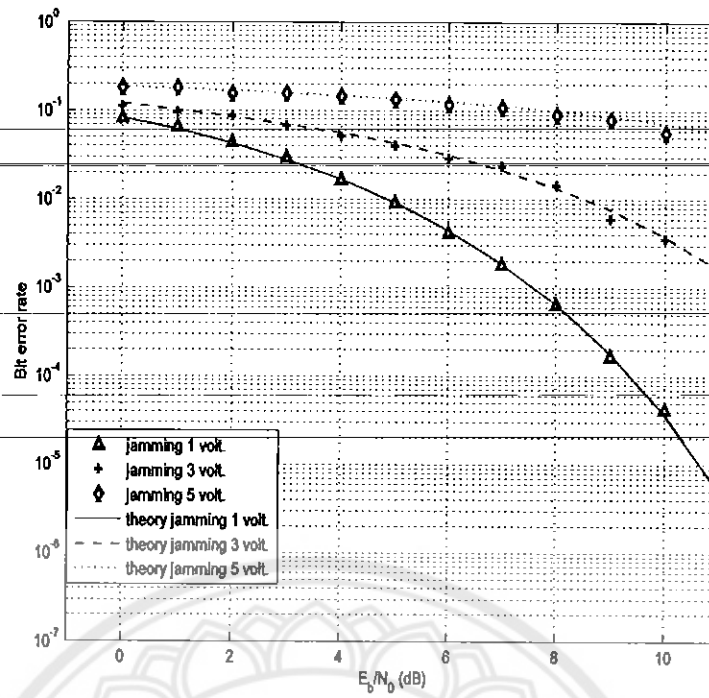
รูปที่ 3ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 2 Hz



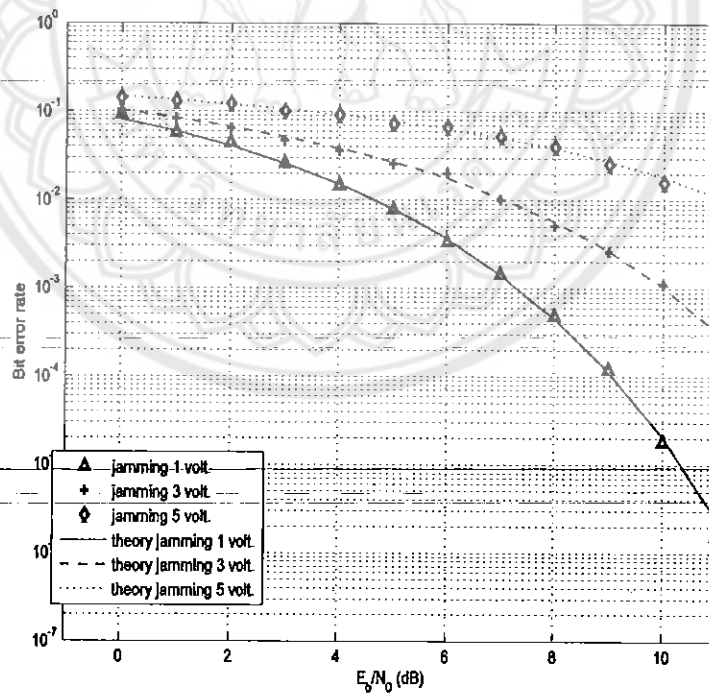
รูปที่ 4ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 3 Hz



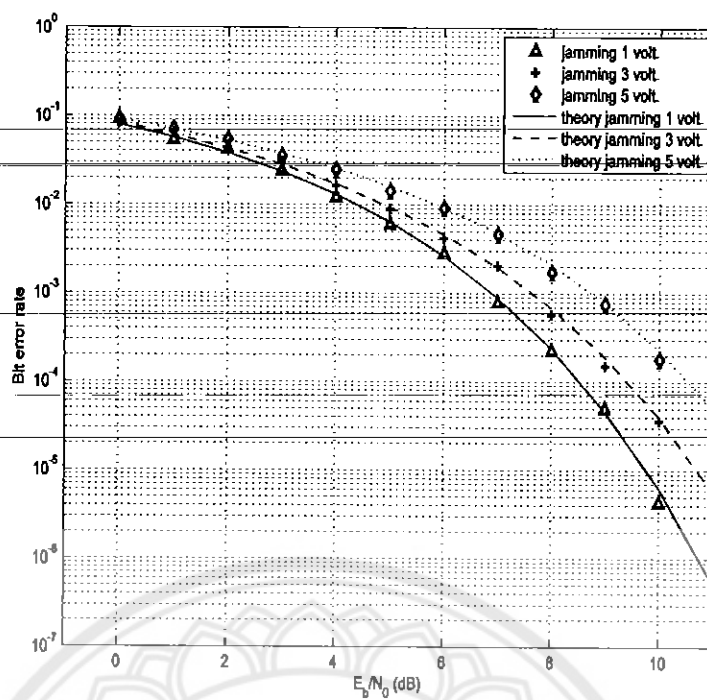
รูปที่ 5ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 5 Hz



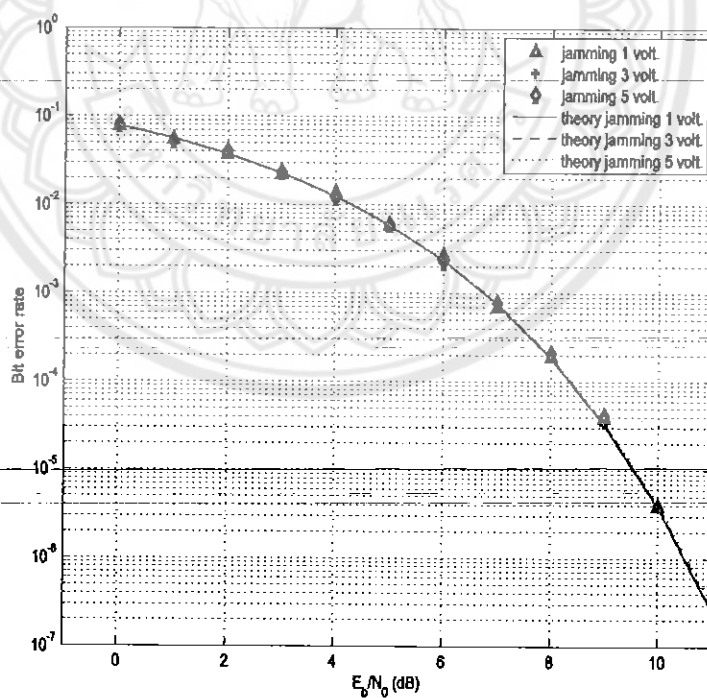
รูปที่ 6ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 10 Hz



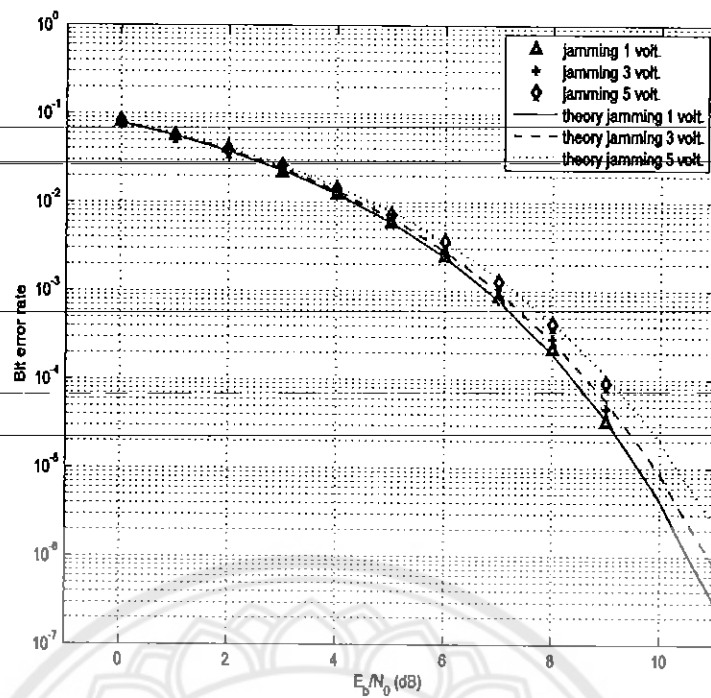
รูปที่ 7ก. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 15 Hz



รูปที่ 8ค. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 20 Hz



รูปที่ 9ค. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 30 Hz



รูปที่ 10ค. BER ของระบบ DSSS-CDMA เมื่อมีระบบ BPSK Jamming ที่ความถี่ห่างไป 50 Hz

## ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายพงษ์นาวิน เบญจพรหม

ภูมิลำเนา 61 ม.1 ต.ทุ่งลุยลาย อ.คอนสาร จ.ชัยภูมิ 36180

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนชุมแพศึกษา จังหวัดขอนแก่น

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: phongnawln\_benprom@hotmail.com

