

วิชา Data Communication Laboratory
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทดลองที่ 8 Pulse Code Modulation

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเกี่ยวกับการชักตัวอย่างสัญญาณ (Sampling)
2. ศึกษาเกี่ยวกับการเข้ารหัสสัญญาณของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM)
3. อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสุ่มตัวอย่างกับการมอดูเลต

การทดลองที่ 8.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเสียงที่มีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของ PCM

1. ดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลเสียงต้นฉบับ MAGNIFICAT_16bits_96kHz.flac จาก <https://goo.gl/XhKvsx>
2. ใช้โปรแกรม Matlab ทำการอ่านข้อมูลเสียงต้นฉบับ ด้วยคำสั่ง


```
filename='d:\MAGNIFICAT_16bits_96kHz.flac';
[y, Fs]=audioread(filename);
nBits=24;
playerObj=audioplayer(y(:,1), Fs, nBits);
get(playerObj);
play(playerObj);
```

Note: ถ้าต้องการหยุดฟังให้ใช้คำสั่ง

```
stop(playerObj);
```
3. แสดงกราฟเสียงที่อ่านได้ ด้วยคำสั่ง


```
plot(y(:,1));
```
4. ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัว Quantizer คุณสมบัติของ PCM โดยเปลี่ยนค่า Fs และ nBits ตามข้อ 5 และ 6 แล้วเปรียบเทียบเสียงผลลัพธ์ที่ได้ โดย
 - 4.1. สร้าง และตรวจสอบคุณสมบัติของไฟล์เสียงที่ต้องการเล่นด้วยคำสั่ง

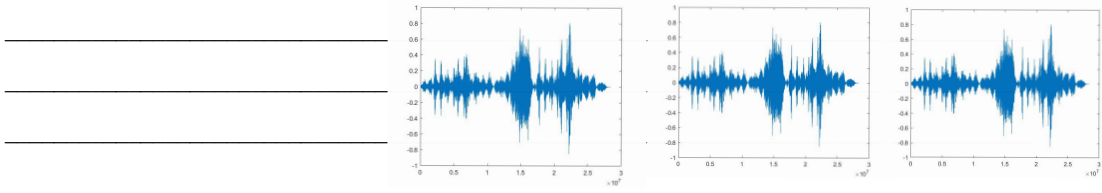

```
playerObj=audioplayer(y, Fs, nBits);
get(playerObj);
```
 - 4.2. ทดลองฟังเสียงที่ได้ ด้วยคำสั่ง


```
play(playerObj);
```
5. ทดลองปรับค่า Sampling Frequency (Fs) ให้มากกว่า และ น้อยกว่าค่า Fs ที่อ่านได้จากไฟล์เสียงต้นฉบับ (โดยที่กำหนดค่า nBits (Bit Depth: Bits/Sample) คงเดิม) ให้ นศ. บอกค่า Fs ที่ทำให้เกิดความแตกต่างเมื่อเทียบกับต้นฉบับ พร้อมอธิบายความแตกต่างของคุณภาพเสียงที่ได้ฟัง เมื่อเทียบกับเสียงที่ฟังจากไฟล์ต้นฉบับ

$$2F_s \rightarrow F_s \text{ สูงขึ้น (เสียงสูงขึ้น) (แหลม)}$$

$$F_s/2 \rightarrow F_s \text{ ต่ำลง (เสียงต่ำลง) (ทุ้ม)}$$

6. ทดลองปรับค่า Bit Depth (Bit Resolution) ให้มากกว่า และน้อยกว่า ค่า nBits ที่อ่านได้จากไฟล์เสียงต้นฉบับ (โดยปรับ fs ให้มีค่าเท่ากับต้นฉบับ) ให้ นศ. บอกค่า nBits ที่ทำให้เกิดความแตกต่างเมื่อเทียบกับต้นฉบับ พร้อม นศ. อธิบายความแตกต่างของคุณภาพเสียงที่ได้ฟัง เมื่อเทียบกับเสียงที่ฟังจากไฟล์ต้นฉบับ
- ไม่ใช้วิธีดัดแปลง (Matlab)

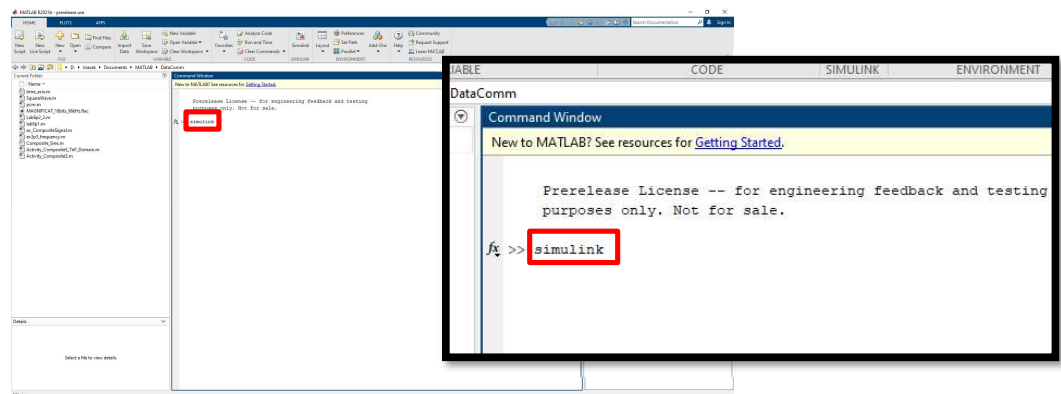


.....

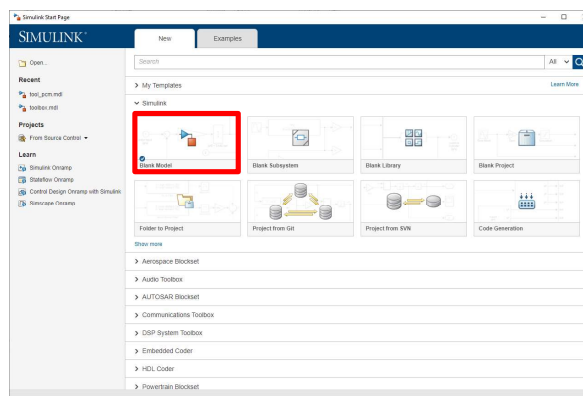
ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจการทดลอง

การทดลองที่ 8.2 ศึกษาการทำงานของ Pulse Code Modulation จากโปรแกรม Matlab และ Simulink

1. เปิดโปรแกรม Matlab แล้วพิมพ์คำสั่ง simulink ใน Command Window ดังรูปที่ 8.1
2. เลือก Blank Model ใน Simulink Start Page ดังรูปที่ 8.2

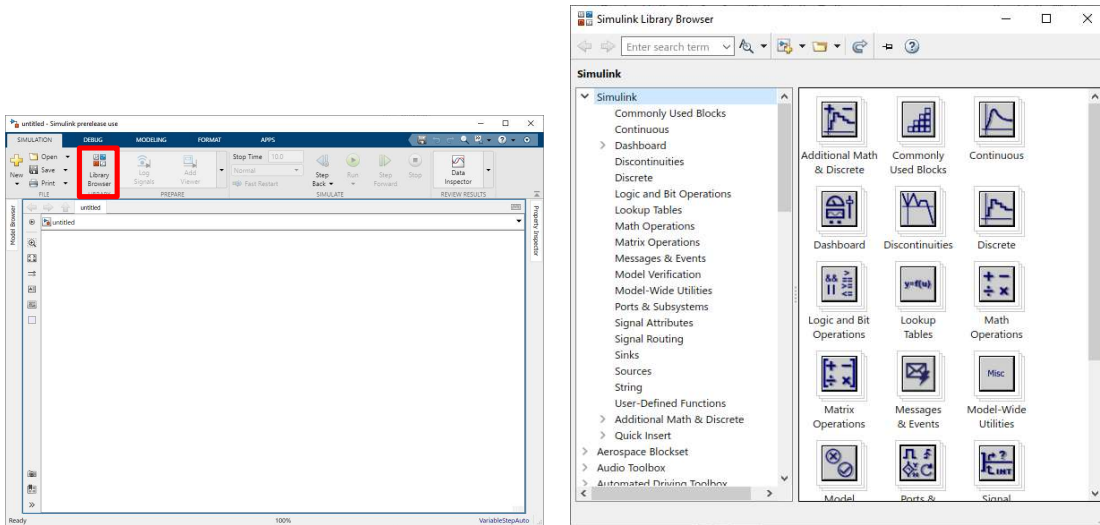


รูปที่ 8.1 ภาพแสดงโปรแกรม Matlab



รูปที่ 8.2 ภาพแสดง Simulink Start Page

3. เลือก Library Browser ใน Simulink จะได้ Simulink Library Browser ดังรูปที่ 8.3

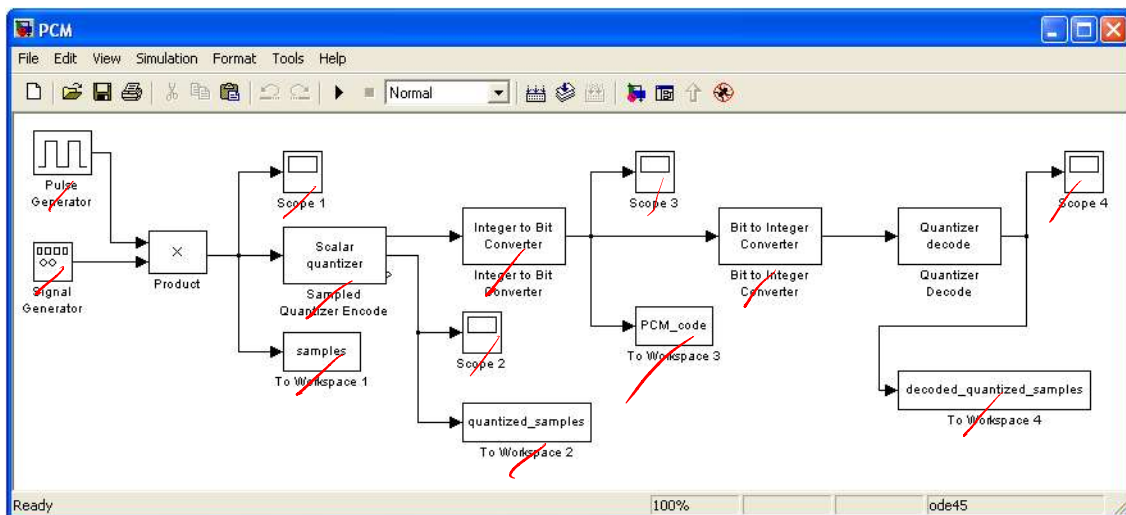


Simulink prerelease

Simulink Library Browser




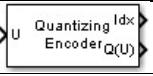
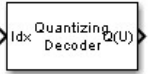
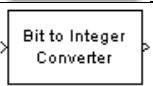



รูปที่ 8.3 ภาพแสดง Simulink prerelease และ Simulink Library Browser

4. สร้างโมเดล การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM) ดังรูปที่ 8.4 โดยที่ส่วนประกอบของโมเดลนำมาจาก Simulink Library Browser ดังตารางที่ 8.1



รูปที่ 8.4 แสดงโมเดล การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM)

ตารางที่ 8.1 ตารางแสดงส่วนประกอบของโมเดล การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM)

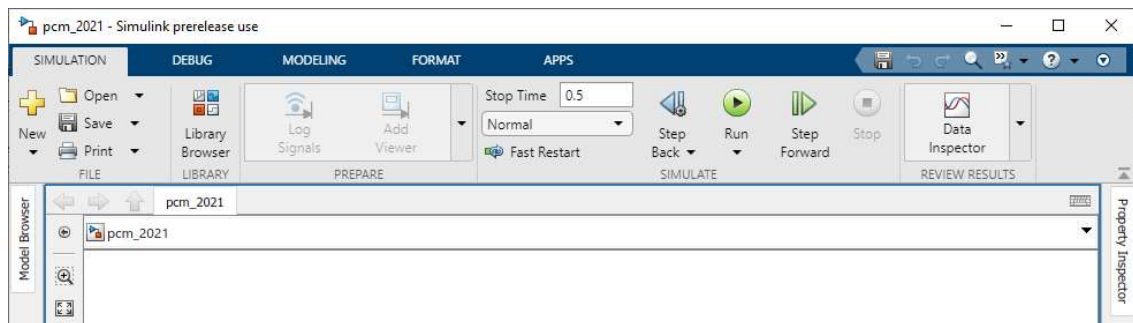
ส่วนประกอบของโมเดล	สัญลักษณ์	Simulink Library Browser
Pulse Generator		Simulink→Sources
Signal Generator		
Product		Simulink→Math Operations
Quantizing Encode		Communications Toolbox→Source Coding
Quantizing Decode		Communications Toolbox→Sources Coding
Bit to Integer Converter		Communications Toolbox →Utility Blocks
Integer to Bit Converter		
Scope		Simulink→Sinks
To Workspace		

ตารางที่ 8.2 ตารางแสดงการตั้งค่าตัวแปรภายในโมเดล การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM)

ส่วนประกอบของโมเดล	ตัวแปร	ค่า
Signal Generator	Wave form	Sine
	Amplitude	1
	Frequency	5
	Units	Hertz
	Interpret vector parameters as 1-D	Yes
Pulse Generator	Pulse type	Timebased
	Amplitude	1
	Period (secs)	0.01
	Pulse Width (% of period)	1
	Phase delays (secs)	0
	Interpret vector parameters as 1-D	Yes
Product	Number of inputs	2
	Multiplication	Element-wise (.*)
Quantizer Encode	Quantization partition	[-.5 0 .5]
	Quantization codebook	[-.75 -.25 .25 .75]
	Sample time (*เปลี่ยนตาม Period ทุกครั้ง*)	.01

ส่วนประกอบของโมเดล	ตัวแปร	ค่า
Integer to Bit Converter	Number of bit per integer	2
Bit to Integer Converter	Number of bit per integer	2
Quantizer Decode	Quantization codebook	[-.75 -.25 .25 .75]
To Workspace	Variable name	(ชื่อตามในรูป)
	Limit data points to last	inf
	Decimation	1
	Sample time (*เปลี่ยนตาม Period ทุกครั้ง*)	0.01

- ตั้งค่า Stop Time ในเมนูของ Simulink prerelease เป็น 0.5 ดังรูปที่ 8.5
- สั่งให้โมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 8.5 แสดงการตั้งค่า Stop Time

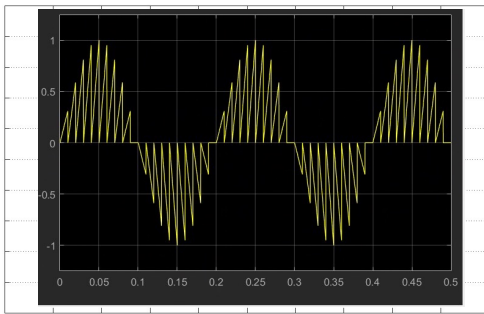
- เปลี่ยนค่าตัวแปร ภายใน Pulse Generator และ Signal Generator ตามตารางที่ 8.3 แล้วบันทึกผลการทดลอง
- พิจารณาความถี่ f_s ในตารางที่ 8.3 เป็นเท่าใด (เดิมค่าลงในตาราง)

ตารางที่ 8.3 ตารางแสดงการตั้งค่าตามการทดลองที่ข้อที่ 3

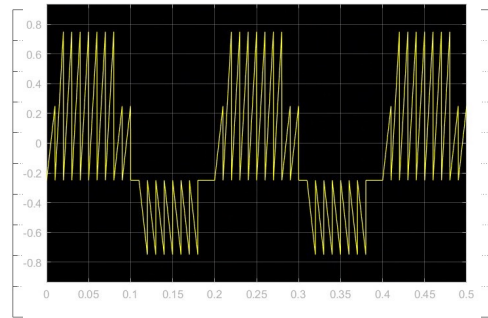
การทดลอง	f_s	Pulse Generator Signal	Sampled Quantizer Encode To Workspace	Signal Generator
ก	100 Hz	Period = 0.01	Sample time = .01	Amplitude = 1
ข	100 Hz	Period = 0.01	Sample time = .01	Amplitude = 0.1
ค	5 Hz	Period = 0.2	Sample time = .2	Amplitude = 1

*** เมื่อเปลี่ยนค่า Period ใน Signal Generator ให้เปลี่ยน Sample time ใน Sampled Quantizer Encode และ To Workspace ตามทุกครั้ง

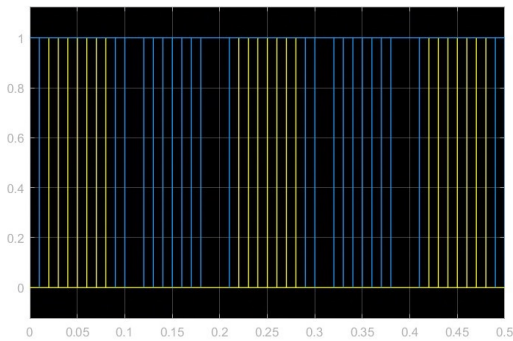
บันทึกผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (การทดลองข้อ 8 ก.)



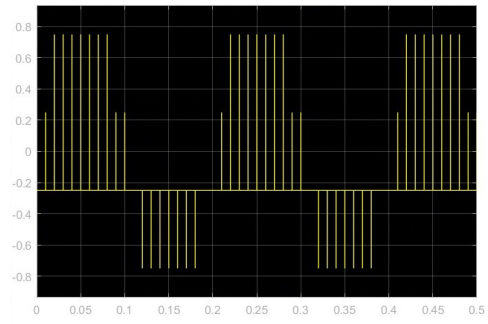
สัญญาณจาก Signal Generator



สัญญาณที่ผ่านการ Sampling (Scope 1)

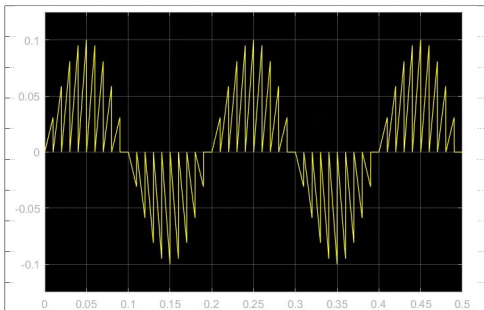


สัญญาณทบทวน PCM (Scope 3)

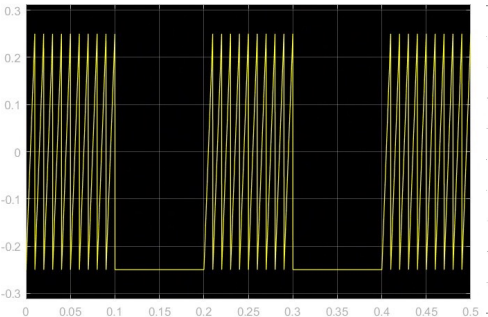


สัญญาณที่แปลงกลับ (Scope 4)

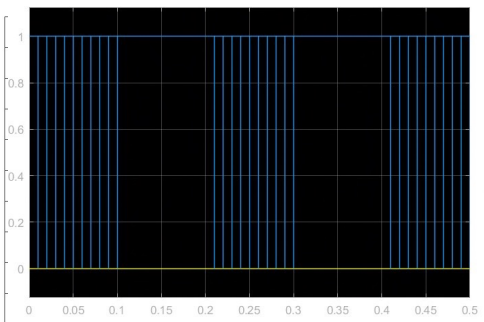
บันทึกผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (การทดลองข้อ 8 ข.)



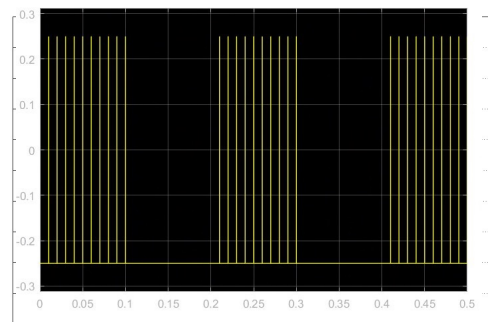
สัญญาณจาก Signal Generator



สัญญาณที่ผ่านการ Sampling (Scope 1)

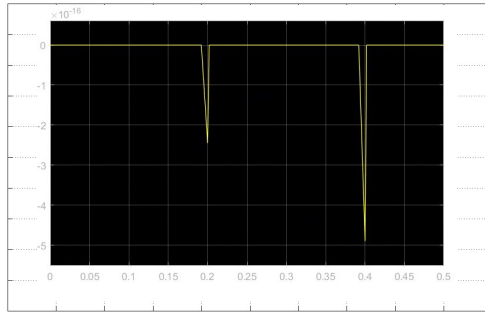


สัญญาณที่เป็น PCM (Scope 3)

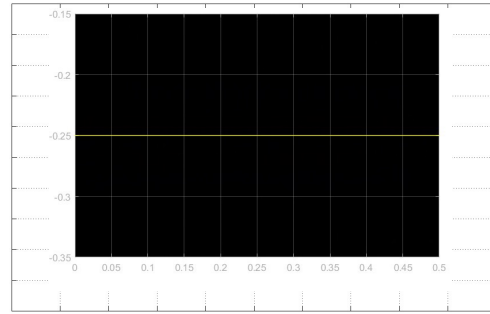


สัญญาณที่แปลงกลับ (Scope 4)

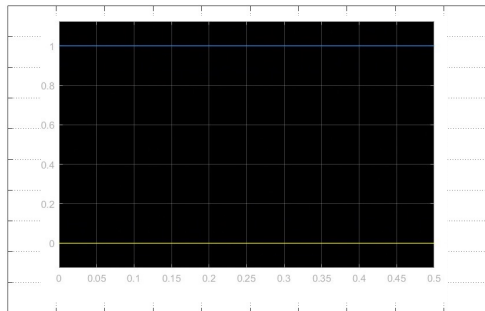
บันทึกผลการทดลองการเข้ารหัสสัญญาณของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (การทดลองข้อ 8 ค.)



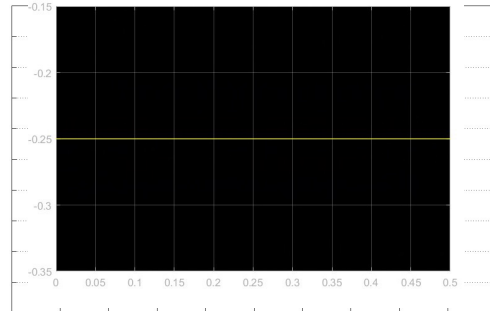
สัญญาณจาก Signal Generator



สัญญาณที่ผ่านการ Sampling (Scope 1)



สัญญาณที่เป็น PCM (Scope 3)



สัญญาณที่แปลงกลับ (Scope 4)

9. หาก Amplitude สัญญาณจาก Signal Generator เป็น 2 V และต้องการใช้ระดับการควอนไทซ์เป็น 8 ระดับ ต้องทำอย่างไร เมื่อทำสมบูรณ์แล้วเชิญอาจารย์ตรวจการทดลอง

$$2^3 = 8$$

3 บิต

ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจการทดลอง

สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง การเข้ารหัสสัญญาณของการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM)

Pulse Code Modulation \rightarrow sampling \rightarrow quantizing \rightarrow แปลงเป็น bit encoding

ในการทดลองนี้ ใช้แอมพลิจูดของสัญญาณ generator = 2V และ sampling rate = 8 ครั้งต่อวินาที (ค่าคงที่ของฟังก์ชัน $\sin(2\pi k)$ $k \in \mathbb{N}$)

คำถามท้ายการทดลอง

1. ในโมเดล Sampling อะไรที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการสุ่มในการสร้างสัญญาณกลับ (Reconstructed Signal)

- ระดับ quantized

- ค่าในการ sampling

2. ในโมเดล PCM ถ้าใช้ระดับการควอนไทซ์ที่น้อยๆ จะมีผลอย่างไร

ด. จะเกิดข้อผิดพลาดมากขึ้น