

วิชา Data Communication Laboratory

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทดลองที่ 9 Digital Modulation Techniques

วัตถุประสงค์

1. ศึกษารูปแบบของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก
2. เพื่อเข้าใจวิธีการของมอดูเลชันแบบ ASK
3. ศึกษาการมอดูเลตจากการสร้างวงจรภาคส่งและภาครับ

ทฤษฎี

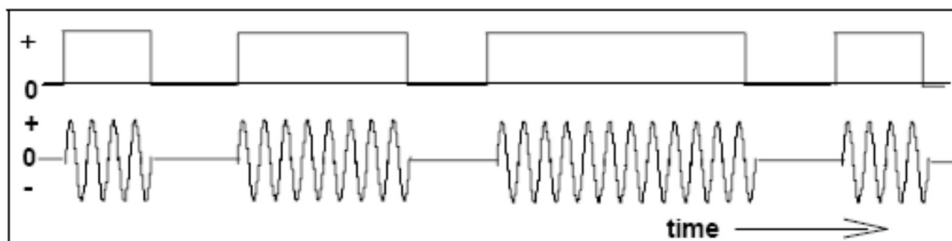
จุดประสงค์ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลดิจิทัลไปได้ระยะทางไกลโดยผ่านช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณแอนะล็อก เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลสามารถทำได้หลายเทคนิค หลักการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล คือ การใช้สัญญาณพาห้ (Carrier Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกนำพาเอาบิตข้อมูลไปยังช่องทางการส่งสัญญาณ เทคนิคการนำพาบิตข้อมูลสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห้ ได้แก่ ขนาด (Amplitude) ความถี่ (Frequency) และ เฟส (Phase) ตามค่าข้อมูลบิตที่ต้องการแปลงสัญญาณ สัญญาณพาห้ที่นิยมใช้จะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) ตัวอย่างเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล ได้แก่ ASK (Amplitude-Shift Keying), FSK (Frequency-Shift Keying), PSK (Phase Shift) และ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) เป็นต้น

การมอดูเลตแบบดิจิทัลทางแอมพลิจูด (ASK : Amplitude-Shift Keying)

เป็นการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันของสัญญาณพาห้คลื่นไซน์ ตามบิตข้อมูล

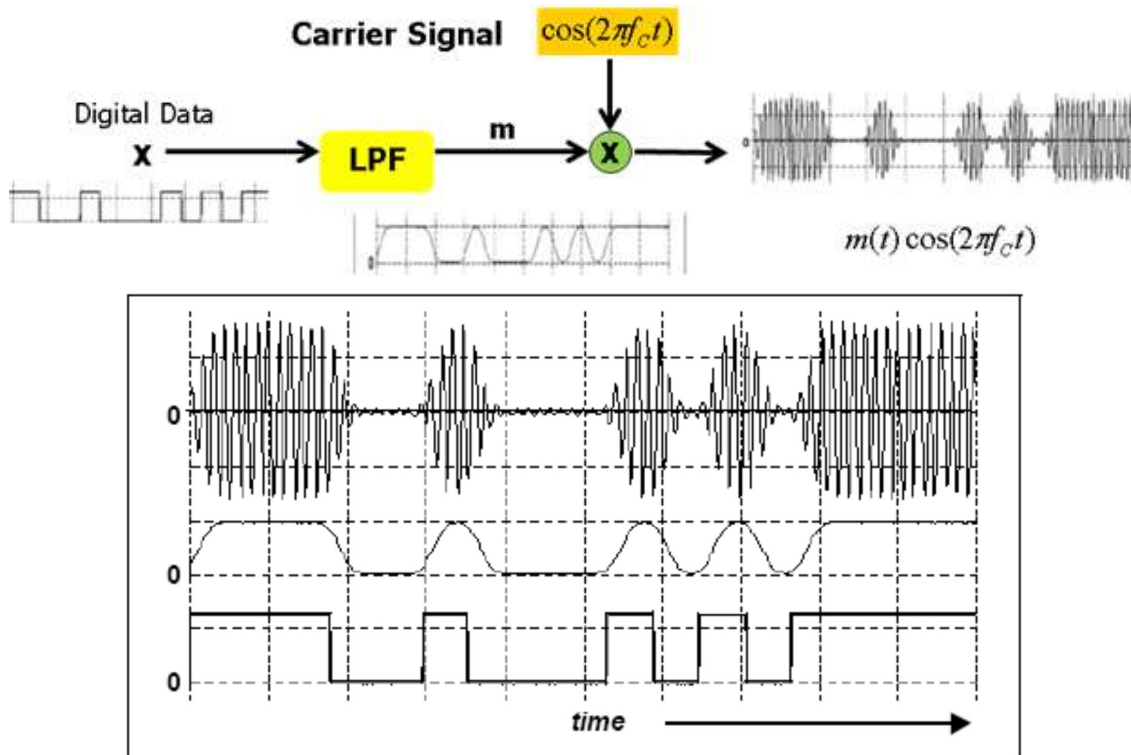
- o ถ้าบิตข้อมูลเป็น '0' ให้ค่าขนาดแรงดันของสัญญาณพาห้เท่ากับ A_1
- o ถ้าบิตข้อมูลเป็น '1' ให้ค่าขนาดแรงดันของสัญญาณพาห้เท่ากับ A_2

ตัวอย่างเช่น ให้ $A_1 = 0 \text{ V}$ และ $A_2 = 5 \text{ V}$ ผลการมอดูเลตแบบ ASK เป็นดังรูปที่ 9.1



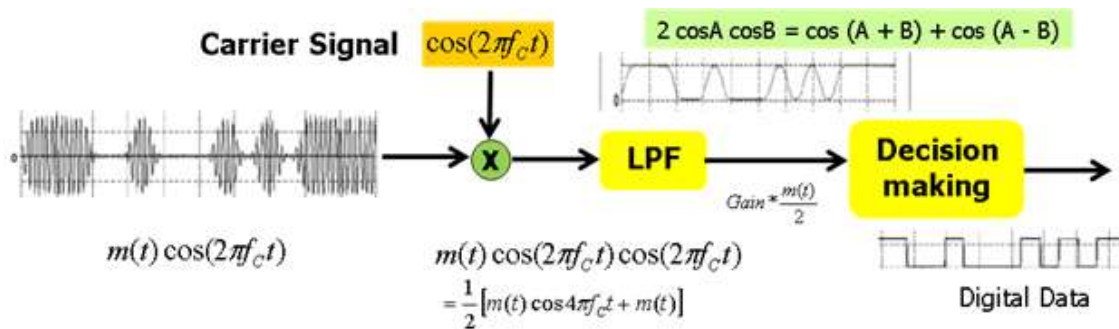
รูปที่ 9.1 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิทัล และสัญญาณการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยเทคนิค ASK

ในทางปฏิบัติการปรับเปลี่ยนขนาดแรงดันของสัญญาณพาห้ตามค่าบิตข้อมูลทำได้โดยการส่งข้อมูลดิจิทัล ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาปรับขนาด แล้วจึงนำไปคูณกับสัญญาณพาห้ ดังรูปที่ 9.2



รูปที่ 9.2 แสดง Block diagram และ สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลแบบ ASK ในทางปฏิบัติ

สำหรับขั้นตอนการถอดสัญญาณกลับ หรือ ASK Demodulation ดำเนินการ โดยย้อนกลับขั้นตอนของการทำ ASK Modulation ดังรูปที่ 9.3



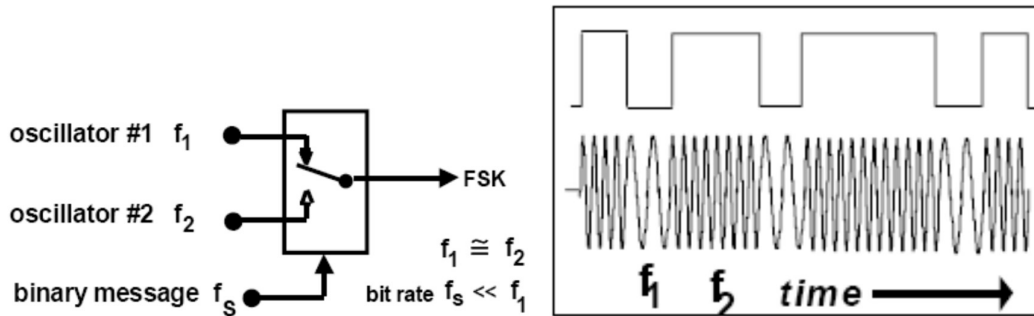
รูปที่ 9.3 แสดง Block diagram สำหรับการแปลงสัญญาณกลับสำหรับ ASK Demodulation

การมอดูเลตแบบดิจิตอลทางความถี่ (FSK : Frequency Shift Keying)

เป็นการเปลี่ยนค่าขนาดความถี่ของสัญญาณพาห้คลื่นไซน์ ตามบิตข้อมูล

- o ค่าบิตข้อมูลเป็น '0' ให้ความถี่ของสัญญาณพาห้เท่ากับ f_1
- o ค่าบิตข้อมูลเป็น '1' ให้ความถี่ของสัญญาณพาห้เท่ากับ f_2

ตัวอย่างผลลัพธ์ของการมอดูเลตแบบ FSK ดังแสดงในรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิตอล และสัญญาณการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค FSK

การมอดูเลตแบบดิจิตอลทางเฟส (PSK : Phase Shift Keying)

การมอดูเลตแบบ PSK เป็นการเปลี่ยนค่าเฟส ของสัญญาณพาห้คลื่นไซน์ ตามบิตข้อมูล เทคนิคที่ง่ายที่สุดสำหรับมอดูเลตแบบ PSK คือ BPSK (Binary Phase Shift Keying) หรือ PRK (Phase Reversal Keying) หรือ Biphase Modulation เป็นการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอล โดยที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณแบบสองขั้ว (Bipolar) แล้วทำการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห้ ลักษณะของสัญญาณ BPSK เป็นดังนี้

$$s(t) = Am(t) \cos 2\pi f_c t ; 0 \leq t \leq T \quad \text{สมการที่ 9-1}$$

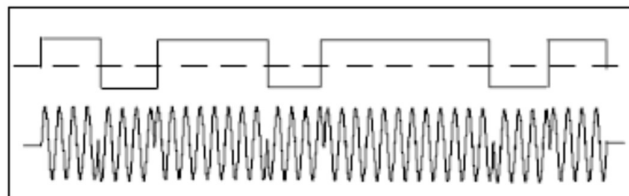
โดยที่ A คือค่าคงที่

$m(t)$ คือสัญญาณอินพุตที่มีค่า +1 และ -1

f_c คือความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้

T คือช่วงเวลาของบิต

ด้วยการมอดูเลตแบบ BPSK นั้นเอาท์พุทที่จะเป็นไปได้เพียงสองเฟสโดยที่มีสัญญาณคลื่นพาห้เพียงความถี่เดียว โดยเอาท์พุทตัวแรกจะเป็นตัวแทนของสัญญาณไบนารี “1” และเอาท์พุทตัวที่สองจะเป็นตัวแทนของสัญญาณไบนารี “0” ดังรูปที่ 9.5



รูปที่ 9.5 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิตอลแบบสองขั้ว และสัญญาณการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค BPSK

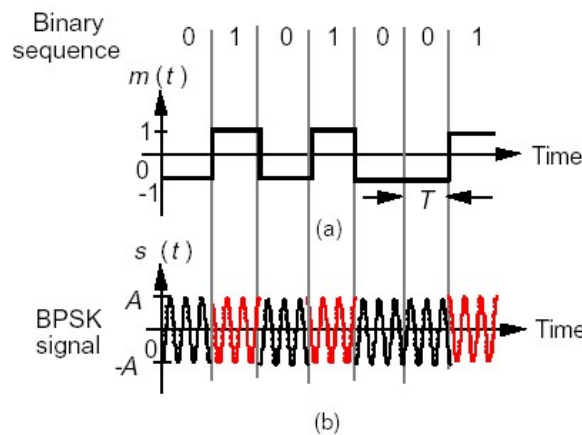
เมื่อสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณดิจิทัลมีการเปลี่ยนสถานะ (จาก “0” เป็น “1” หรือ จาก “1” เป็น “0”) ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนเฟสไป 180° ซึ่งทำให้แทนลักษณะการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยเทคนิค BPSK ได้ดังนี้

- o ค่าบิตข้อมูลเป็น ‘0’ ให้มุมเลื่อนของสัญญาณพาห์เท่ากับ π
- o ค่าบิตข้อมูลเป็น ‘1’ ให้มุมเลื่อนของสัญญาณพาห์เท่ากับ 0

จากที่กล่าวมาสามารถเขียนสมการของการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยเทคนิค BPSK อีกรูปแบบได้ดังนี้

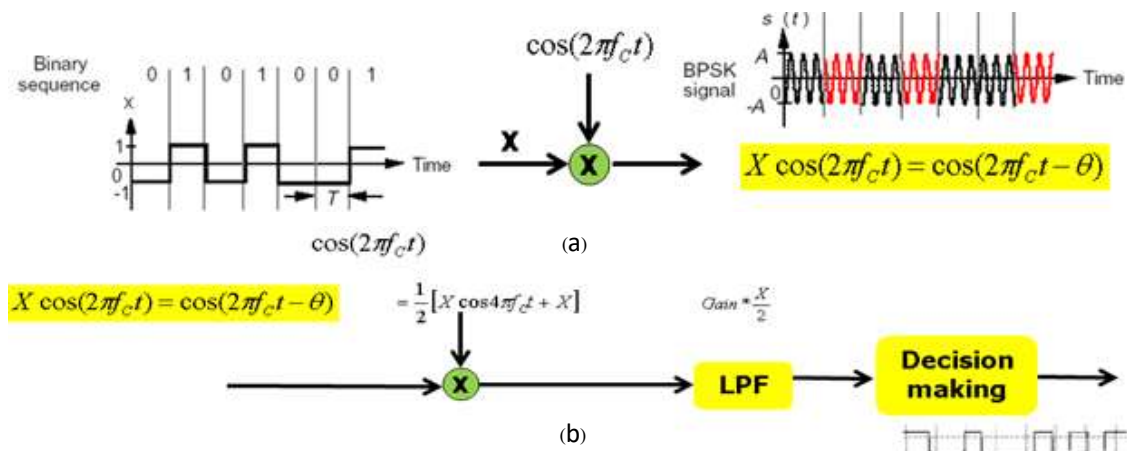
$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t); & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi); & \text{binary 0} \end{cases} \quad \text{สมการที่ 9-2}$$

ในรูปที่ 9.6 (a) นั้นเป็นการแสดงสัญญาณดิจิทัลที่มีสัญญาณข้อมูลเป็น 0 1 0 1 0 0 1 เมื่อทำการมอดูเลตแบบ BPSK จะได้สัญญาณเอาต์พุตในดังรูปที่ 9.6(b)



รูปที่ 9.6 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลแบบสองขั้ว และสัญญาณการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยเทคนิค BPSK

บล็อกไดอะแกรมการมอดูเลตแบบ BPSK แสดงดังรูปที่ 9.7 (a) บล็อกไดอะแกรมของการดีมอดูเลตแบบ BPSK แสดงดังรูปที่ 9.7 (b)



รูปที่ 9.7 แสดง Block diagram สำหรับการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ BPSK

การมอดูเลตสัญญาณ BPSK

การมอดูเลตแบบ BPSK สามารถทำได้โดยการนำสัญญาณพาห้คูณกับสัญญาณที่รับเข้ามาได้ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} r(t) &= [Am(t) \cos 2\pi f_c t] \cos 2\pi f_c t \\ &= \frac{1}{2} Am(t) \cos 4\pi f_c t + \frac{1}{2} Am(t) \end{aligned} \quad \text{สมการที่ 9-3}$$

เมื่อผ่านวงจรฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่านจะได้สัญญาณ $\frac{1}{2} Am(t)$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่สามารถแปลงกลับเป็นไบนารีได้

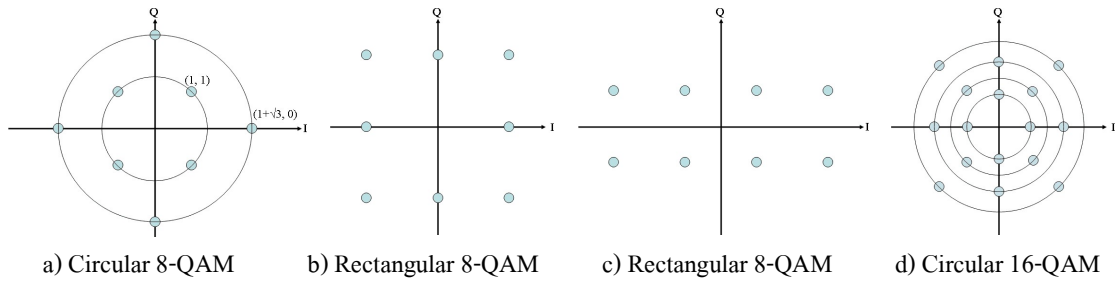
การมอดูเลตแบบ QAM

เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห้คลื่นไซน์ตามบิตข้อมูล 2 คุณสมบัติคือ ค่าขนาดแรงดัน และ มุมเฟส สามารถเลือกเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดัน และมุมเฟสตามลักษณะของ QAM เช่น 8-QAM สามารถเลือกค่าขนาดและมุมได้หลายแบบ เช่น มี 1 ค่าขนาดแรงดัน และ 8 มุมเฟส หรือ มี 2 ค่าขนาดแรงดัน และ 4 มุมเฟส ได้เช่นกัน

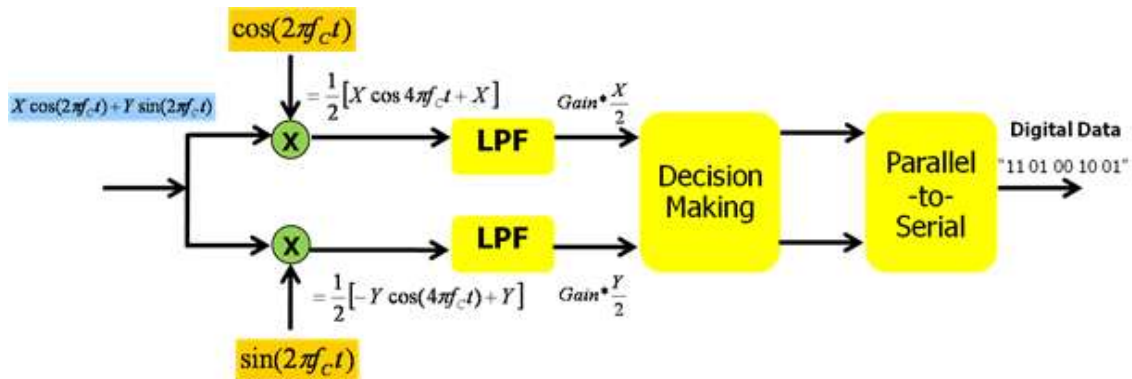
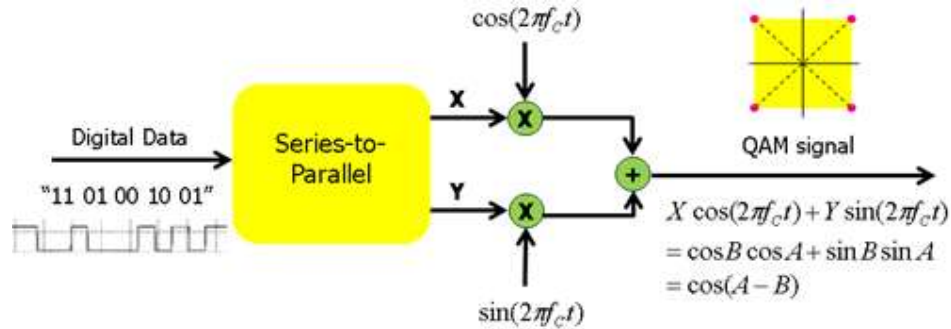
ซึ่งค่าขนาดและมุมเลื่อนที่ถูกเลือกใช้สำหรับ QAM สามารถแสดงได้ในกราฟ Constellation diagram โดยรัศมีของพิกัดของแต่ละจุดจากจุดศูนย์กลางของ Constellation diagram แสดงถึงขนาดของสัญญาณพาห้ และ มุมของพิกัดแต่ละจุดเป็นมุมเลื่อนของสัญญาณพาห้นั่นเอง ตัวอย่างของ Constellation diagram ของ 8-QAM และ 16-QAM แสดงในรูปที่ 9.8

สำหรับเทคนิคการสร้างสัญญาณ QAM ทำได้ดังแสดงในรูปที่ 9.9 โดยทางภาคส่งจะทำการสร้างสัญญาณ QAM หนึ่งชุดที่เป็นตัวแทนข้อมูล 2 บิต จึงมีส่วนของการแปลง serial-to-parallel มาช่วย เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณ 2 บิต (X และ Y) ไปบนสัญญาณพาห้ที่มีความถี่เดียวกัน โดยเอาสัญญาณบิตที่ 1 (X) คูณกับสัญญาณพาห้ที่เป็นสัญญาณ cosine ส่วนบิตที่ 2 (Y) จะถูกคูณกับสัญญาณพาห้ cosine ที่เลื่อนไป 90 องศา นั่นคือ สัญญาณพาห้ sine นั่นเอง จากนั้น สัญญาณของทั้งสองบิตจะถูกรวมเพื่อส่งออกไปพร้อมกันเป็นสัญญาณ QAM

ส่วนที่ภาครับจะนำสัญญาณ QAM ที่ได้รับ มาทำการถอดสัญญาณบิต X และ บิต Y ทีละบิต แล้วจึงจัดเรียงลำดับบิตข้อมูลส่งออกไป (Parallel-to-Serial) โดยการถอดบิตข้อมูลบิต X สามารถทำได้ด้วยการนำสัญญาณ QAM คูณกับสัญญาณพาห้ cosine อย่างไรก็ดี เมื่อสัญญาณเดินทางผ่านช่องนำสัญญาณ สัญญาณอาจมีการเลื่อนตัวทำให้สัญญาณ QAM ที่ได้รับอาจเลื่อนไปจากที่ภาคส่งส่งออกมา ดังนั้น จึงต้องมีการ Sync สัญญาณพาห้ cosine ของภาครับให้ตรงกับภาคส่ง โดยปรับเปลี่ยนให้สัญญาณพาห้ตรงกับสัญญาณ QAM ด้วย phase shifter จากนั้น กรองสัญญาณด้วย LPF เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน สุดท้ายจะต้องมีการตัดสินใจว่าสัญญาณที่ได้รับ ควรเป็นข้อมูล '0' หรือ '1' ซึ่งทำได้โดยใช้ Decision Maker สุดท้ายจะได้สัญญาณบิต X กลับออกมาที่ภาครับ ส่วนขั้นตอนในการถอดข้อมูลบิต Y ทำได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 9.8 แสดง Constellation Diagram ของการมอดูเลตแบบ QAM



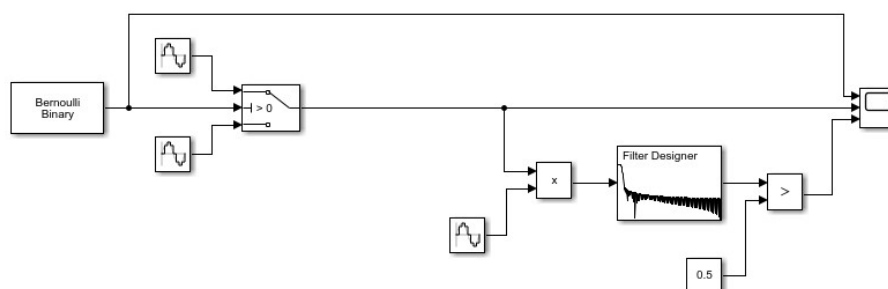
$$\begin{aligned}
 & [X \cos(2\pi f_c t) + Y \sin(2\pi f_c t)] \cos(2\pi f_c t) & [X \cos(2\pi f_c t) + Y \sin(2\pi f_c t)] \sin(2\pi f_c t) \\
 & = X \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) + Y \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) & = X \cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c t) + Y \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c t) \\
 & = X \left(\frac{1}{2} [\cos(0) + \cos(4\pi f_c t)] \right) + Y \left(\frac{1}{2} \sin(4\pi f_c t) \right) & = X \left(\frac{1}{2} \sin(4\pi f_c t) \right) + Y \left(\frac{1}{2} [\cos(0) - \cos(4\pi f_c t)] \right) \\
 & = \frac{1}{2} [X + X \cos(4\pi f_c t) + Y \sin(4\pi f_c t)] & = \frac{1}{2} [X \sin(4\pi f_c t) + Y - Y \cos(4\pi f_c t)]
 \end{aligned}$$

(b) เทคนิคการดีมอดูเลชันสัญญาณแบบ 4-QAM

รูปที่ 9.9 Block diagram แสดงเทคนิคการมอดูเลชัน และดีมอดูเลชันสัญญาณแบบ 4-QAM

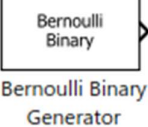


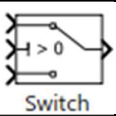
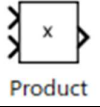
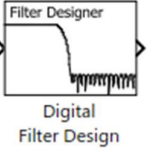


การทดลองที่ 9.1 ศึกษาการทำงาน ASK Modulation และ ASK Demodulation จากโปรแกรม Matlab Simulink

1. เปิดโปรแกรม Matlab สร้าง Blank Model ใน Simulink Start Page
2. สร้างโมเดล ASK Modulation และ ASK Demodulation ดังรูปที่ 9.10 โดยที่ส่วนประกอบของโมเดลนำมาจาก Simulink Library Browser ดังตารางที่ 9.1



รูปที่ 9.10 โมเดล ASK Modulation และ ASK Demodulation

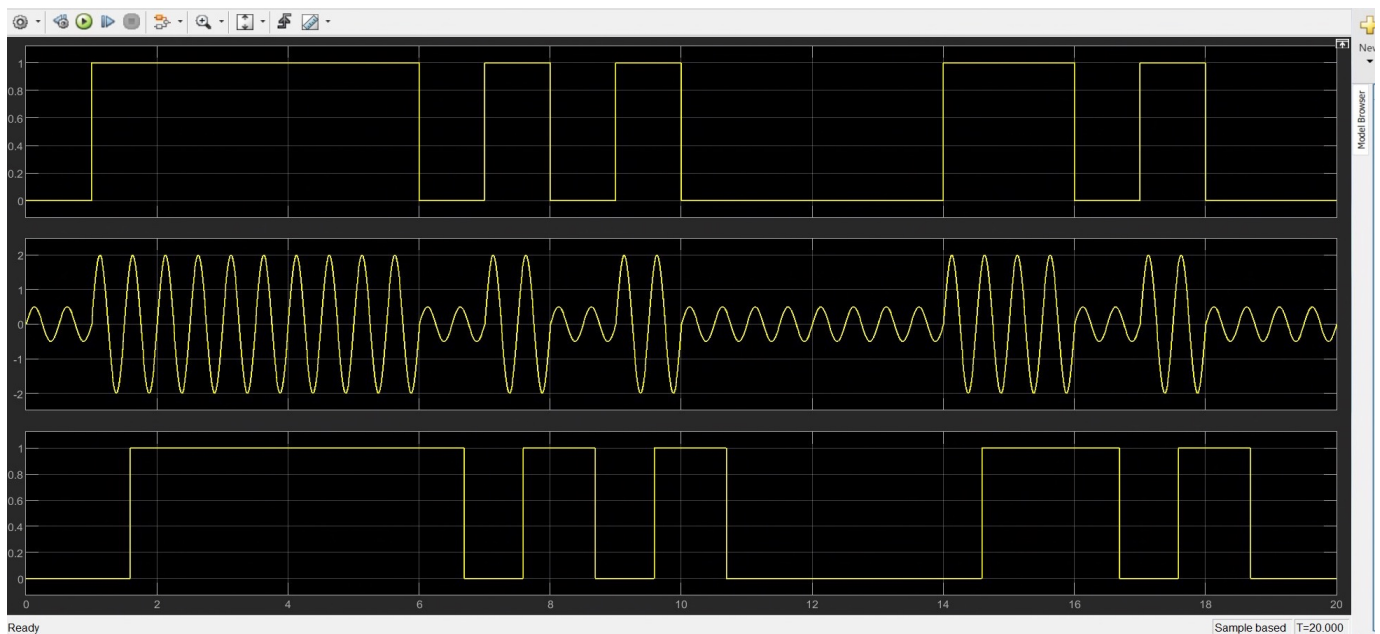
ตารางที่ 9.1 ตารางแสดงส่วนประกอบของโมเดล ASK Modulation และ ASK Demodulation

ส่วนประกอบของโมเดล	สัญลักษณ์	Simulink Library Browser
Bernoulli Binary Generator	 Bernoulli Binary Generator	Communications Toolbox → Comm Sources → Random data Sources
Sine Wave	 Sine Wave	Simulink → Sources
Constant	 Constant	
Switch	 Switch	
Product	 Product	Simulink → Math Operations
Digital Filter Design	 Digital Filter Design	DSP System Toolbox → Filtering → Filter Implementations
Relational Operator	 Relational Operator	Simulink → Logic and Bit Operations
Scope	 Scope	Simulink → Sinks

ตารางที่ 9.2 ตารางแสดงการตั้งค่าตัวแปรภายในโมเดล ASK Modulation และ ASK Demodulation

ส่วนประกอบของโมเดล	ตัวแปร	ค่า
Sine Wave (Modulation-Top)	Amplitude	2
	Frequency	4π
	Sample time	0.01
Sine Wave (Modulation-Bottom)	Amplitude	0.5
	Frequency	4π
	Sample time	0.01
Sine Wave (Demodulation)	Amplitude	1
	Frequency	4π
	Sample time	0.01
Digital Filter Design	Design Method: FIR	Least-squares
	Filter Order: Specify order	127
	Frequency Spec.: wpass	.01
	Frequency Spec.: wstop	.05
Constant	Constant value	0.5
Relational Operator	Relational Operator	>
Scope	Setting: Layout	3

3. ตั้งค่า Stop Time ในเมนูของ Simulink prerelease เป็น 20.0
4. สั่งให้โมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง



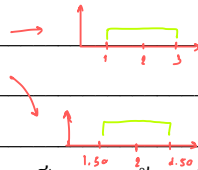
5. แสดงวิธีคำนวณ Bit Rate ของข้อมูล และ Bandwidth ของการมอดูเลตแบบ ASK จากผลการทดลองข้อ 4

จากกราฟ $f_{bit\ Rate} = 1$ $S = 1$, $B = (1+d)S$

ถ้า $d = 1$, $B = (1+1)1 = 2$

$d = 0$, $B = (1+0)1 = 1$

$f_s = 2$

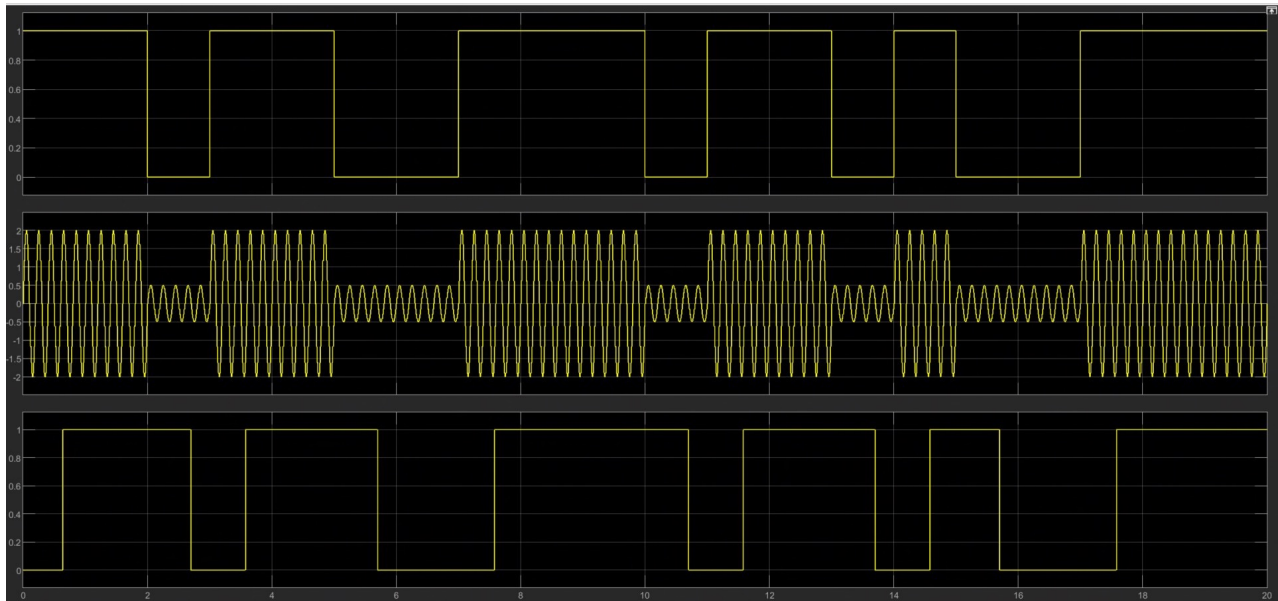


6. หากต้องการเปลี่ยน Carrier frequency เป็น 5 Hz ต้องเปลี่ยนการตั้งค่าตัวแปรของส่วนประกอบใดบ้าง อย่างไร

แก้ไข sine wave เปลี่ยน frequency จาก 4π เป็น 10π จะได้เงิน 5 Hz

$f_c = 5$ $B = (1+r)S$ $d = 0$ $d = 1$

7. สั่งให้โมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง



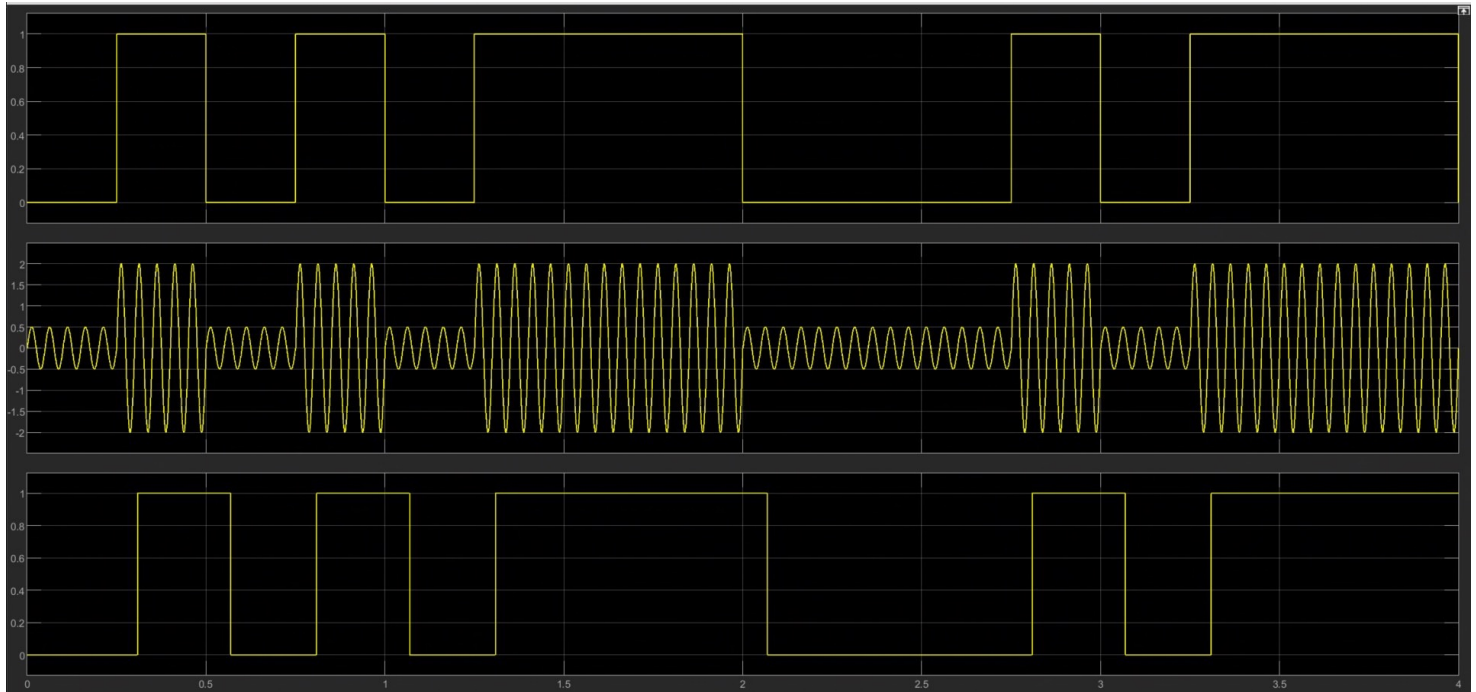
8. หากต้องการเปลี่ยน Bit Rate ของข้อมูลเป็น 4 bps และ Carrier frequency เป็น 20 Hz ต้องเปลี่ยนการตั้งค่าตัวแปรของส่วนประกอบใดบ้าง อย่างไร

เปลี่ยน Binary Generator \rightarrow Sample time = 0.25

เปลี่ยน Sine Wave = $(\cos(\pi))$ และ Sample time = 0.001

$f_c = 50$

9. ตั้งค่า Stop Time ในเมนูของ Simulink prerelease เป็น 4.0
10. สั่งให้โมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง

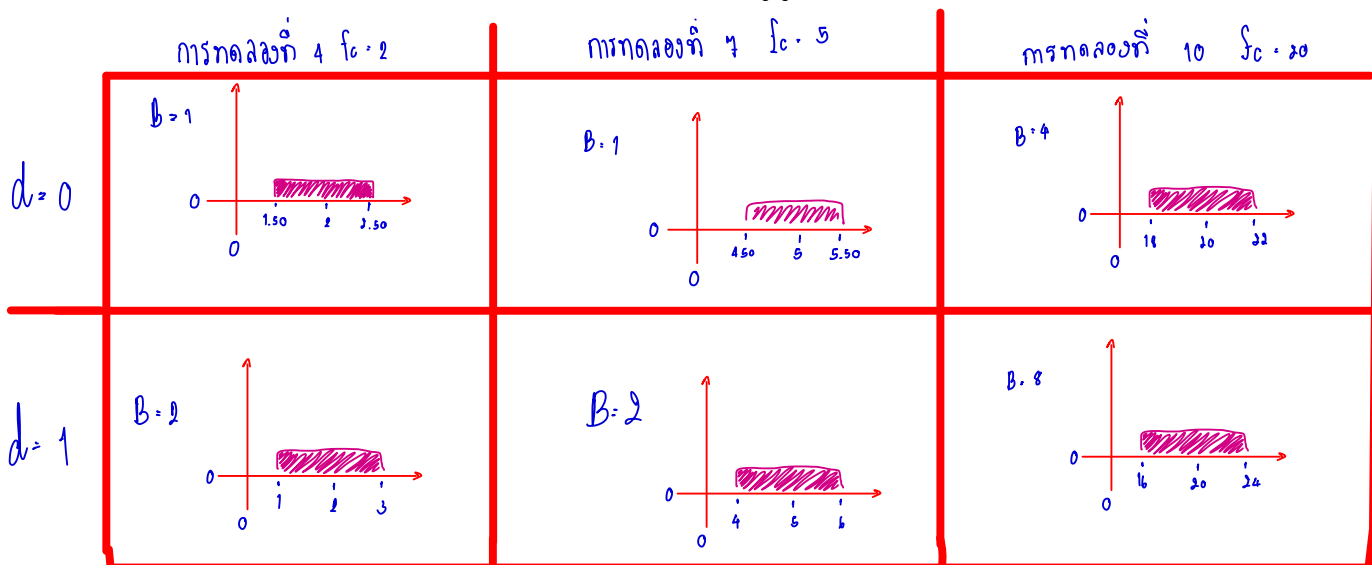


11. แสดงวิธีคำนวณ Bandwidth ของการมอดูเลตแบบ ASK จากผลการทดลองข้อ 10

$$\text{จากสูตร } B = (1+r)S \text{ แล้ว } S = N \cdot \frac{1}{T}, N = A, S = A \cdot \frac{1}{T} = 4$$

$$d=0 \text{ แทนค่า } B \cdot (1+0)4 = 4 \quad d=1 \text{ แทนค่า } B \cdot (1+1)4 = 8$$

12. แสดงกราฟการใช้งาน Bandwidth ของสัญญาณ ASK ในการทดลองข้อที่ 4, 7 และ 10



ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจการทดลอง