

วิชา Data Communication Laboratory
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทดลองที่ 9 Digital Modulation Techniques

วัตถุประสงค์

- ศึกษารูปแบบของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อก
- เพื่อเข้าใจวิธีการของมอดูลเลชันแบบ ASK
- ศึกษาการมอดูลเลตจากการสร้างวงจรภาคส่งและภาครับ

ทฤษฎี

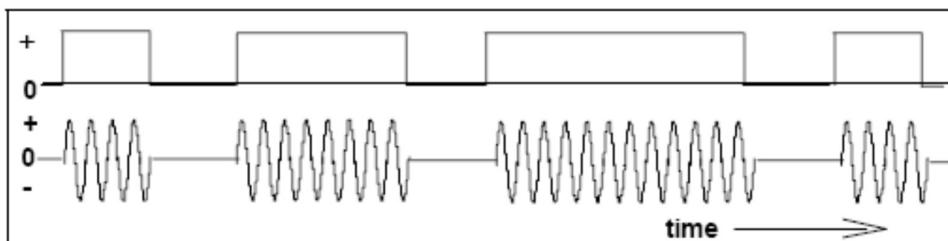
จุดประสงค์ในการมอดูลเลตสัญญาณดิจิตอลเพื่อทำให้สามารถส่งข้อมูลดิจิตอลไปได้ระยะทางไกลโดยผ่านช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณแอนะล็อก เทคนิคการมอดูลเลตสัญญาณดิจิตอลสามารถทำได้หลายเทคนิค หลักการมอดูลเลตสัญญาณดิจิตอล คือ การใช้สัญญาณพาห์ (Carrier Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกนำพาเอาบิตข้อมูลไปยังช่องทางการส่งสัญญาณ เทคนิคการนำพาบิตข้อมูลสามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห์ ได้แก่ ขนาด (Amplitude) ความถี่ (Frequency) และ เฟส (Phase) ตามค่าข้อมูลบิตที่ต้องการแปลงสัญญาณ สัญญาณพาห์ที่นิยมใช้จะเป็นคลื่นไอน์ (Sine Wave) ตัวอย่างเทคนิคการมอดูลเลตสัญญาณดิจิตอล ได้แก่ ASK (Amplitude-Shift Keying), FSK (Frequency-Shift Keying), PSK (Phase Shift) และ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) เป็นต้น

การมอดูลเลตแบบดิจิตอลทางแอมเพลจูด (ASK : Amplitude-Shift Keying)

เป็นการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันของสัญญาณพาห์คืนไอน์ ตามบิตข้อมูล

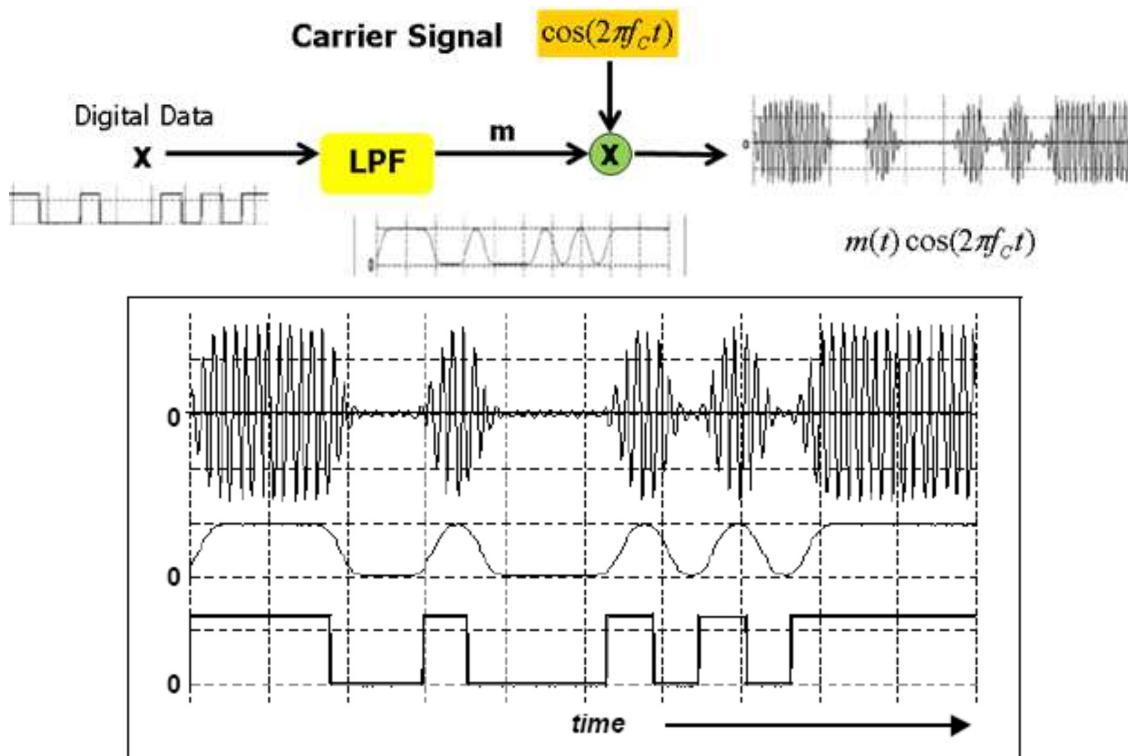
- ค่าบิตข้อมูลเป็น ‘0’ ให้ค่าขนาดแรงดันของสัญญาณพาห์เท่ากับ A_1
- ค่าบิตข้อมูลเป็น ‘1’ ให้ค่าขนาดแรงดันของสัญญาณพาห์เท่ากับ A_2

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



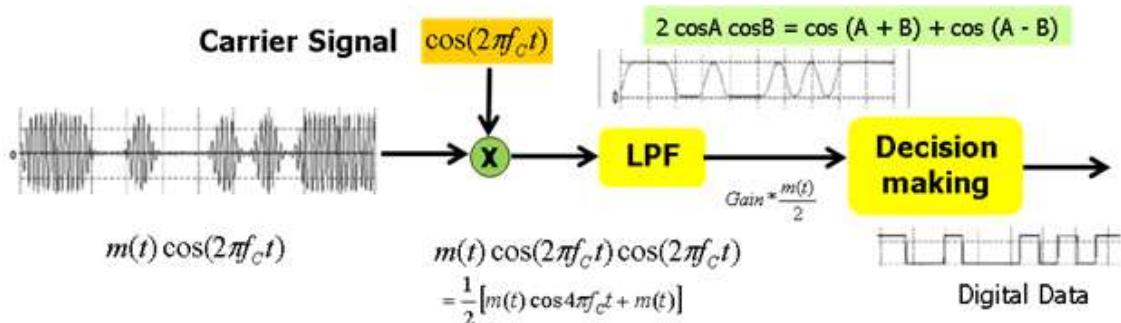
รูปที่ 9.1 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิตอล และสัญญาณการมอดูลเลตสัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค ASK

ในการปฏิบัติการปรับเปลี่ยนขนาดแรงดันของสัญญาณพาห์ตามค่าบิตข้อมูลทำได้โดยการส่งข้อมูลดิจิตอล ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter: LPF) หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาปรับขนาด แล้วจึงนำไปคูณกับสัญญาณพาห์ ดังรูปที่ 9.2



รูปที่ 9.2 แสดง Block diagram และ สัญญาณที่ได้จากการมอคุเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ ASK ในทางปฏิบัติ

สำหรับขั้นตอนการถอดสัญญาณกลับ หรือ ASK Demodulation ดำเนินการโดยย้อนกลับขั้นตอนของการทำ ASK Modulation ดังรูปที่ 9.3



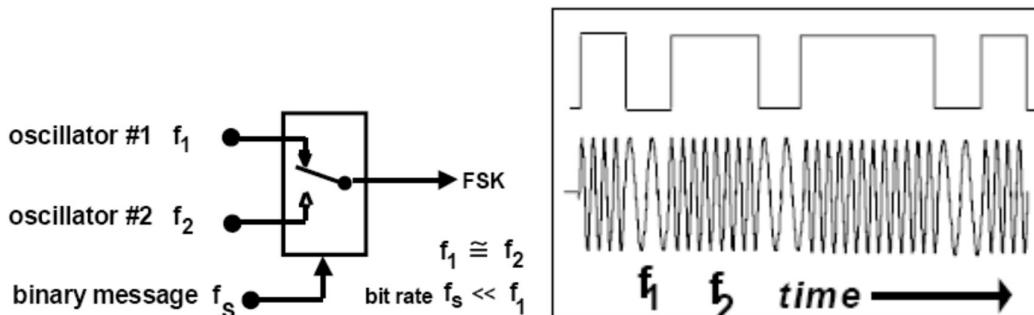
รูปที่ 9.3 แสดง Block diagram สำหรับการทำแปลงสัญญาณกลับสำหรับ ASK Demodulation

การมอดูลेटแบบดิจิตอลทางความถี่ (FSK : Frequency Shift Keying)

เป็นการเปลี่ยนค่าขนาดความถี่ของสัญญาณพาห์คลื่นไอน์ ตามบิตข้อมูล

- ค่าบิตข้อมูลเป็น ‘0’ ให้ความถี่ของสัญญาณพาห์เท่ากับ f_1
- ค่าบิตข้อมูลเป็น ‘1’ ให้ความถี่ของสัญญาณพาห์เท่ากับ f_2

ตัวอย่างผลลัพธ์ของการมอดูลेटแบบ FSK ดังแสดงในรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิตอล และสัญญาณการมอดูลेटสัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค FSK

การมอดูลेटแบบดิจิตอลทางฟasis (PSK : Phase Shift Keying)

การมอดูลेटแบบ PSK เป็นการเปลี่ยนค่าเฟส ของสัญญาณพาห์คลื่นไอน์ ตามบิตข้อมูล เทคนิคที่ง่ายที่สุด สำหรับมอดูลेटแบบ PSK คือ BPSK (Binary Phase Shift Keying) หรือ PRK (Phase Reversal Keying) หรือ Biphasic Modulation เป็นการมอดูลेटสัญญาณดิจิตอล โดยที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณแบบสองขั้ว (Bipolar) !! ถ้าทำการมอดูลेटกับสัญญาณคลื่นพาห์ ลักษณะของสัญญาณ BPSK เป็นดังนี้

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

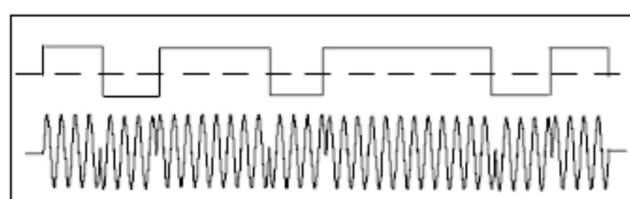
โดยที่ A กือค่าคงที่

$m(t)$ กือสัญญาณอินพุตมีค่า +1 และ -1

f_c กือความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์

T กือช่วงเวลาของบิต

ด้วยการมอดูลेटแบบ BPSK นั้นเอาท์พุทที่จะเป็นไปได้เพียงสองเฟส โดยที่มีสัญญาณคลื่นพาห์เพียง ความถี่เดียว โดยเอาท์พุตตัวแรกจะเป็นด้วยแทนของสัญญาณไบนาเรี่ย “1” และเอาท์พุตตัวที่สองจะเป็นด้วยแทนของ สัญญาณไบนาเรี่ย “0” ดังรูปที่ 9.5



รูปที่ 9.5 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิตอลแบบสองขั้ว และสัญญาณการมอดูลेटสัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค BPSK

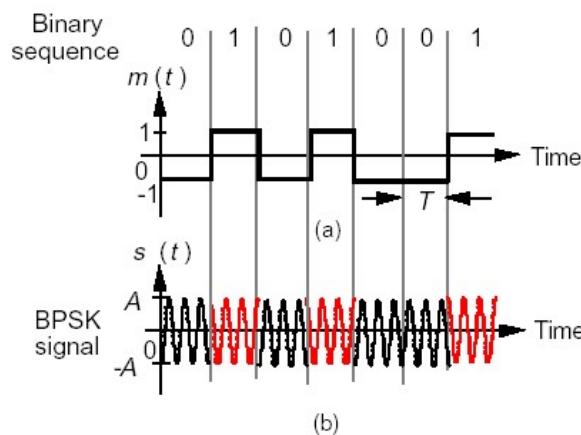
เมื่อสัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณดิจิตอลมีการเปลี่ยนสถานะ (จาก “0” เป็น “1” หรือ จาก “1” เป็น “0”) ทำให้อาทพุเปลี่ยนเฟสไป 180° ซึ่งทำให้แทนลักษณะการมอคูลต์สัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค BPSK ได้ดังนี้

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

จากที่กล่าวมาสามารถใช้ขั้นตอนการของมอคูลต์สัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค BPSK อธิบายแบบได้ดังนี้

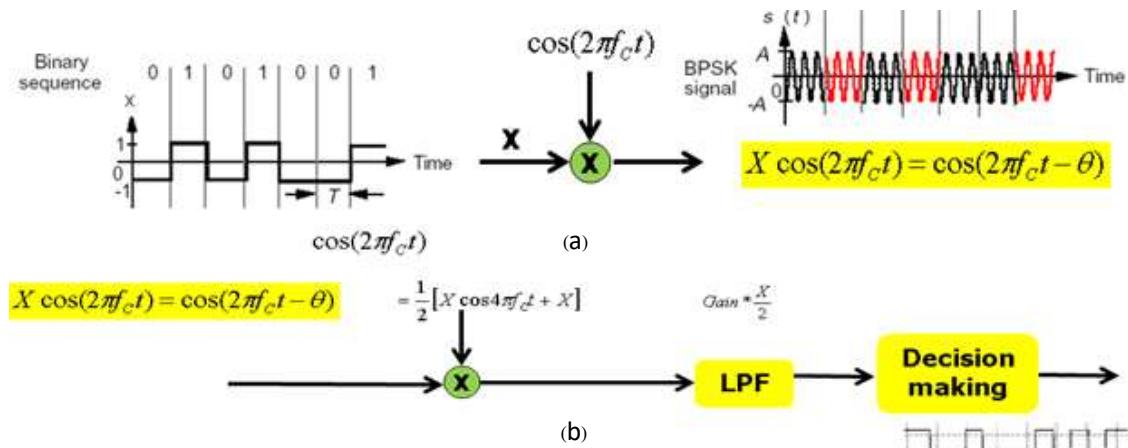
$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t); & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi); & \text{binary 0} \end{cases} \quad \text{สมการที่ 9-2}$$

ในรูปที่ 9.6 (a) นี้เป็นการแสดงสัญญาณดิจิตอลที่มีสัญญาณข้อมูลเป็น 0 1 0 1 0 0 1 เมื่อทำการมอคูลต์แบบ BPSK จะได้สัญญาณเอาท์พุทในรูปที่ 9.6(b)



รูปที่ 9.6 แสดงสัญญาณข้อมูลดิจิตอลแบบสองข้า และสัญญาณการมอคูลต์สัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิค BPSK

บล็อกไซด์แกรนด์การมอคูลต์แบบ BPSK แสดงดังรูปที่ 9.7 (a) บล็อกไซด์แกรนด์ของการดีบีมมอคูลต์แบบ BPSK แสดงดังรูปที่ 9.7 (b)



รูปที่ 9.7 แสดง Block diagram สำหรับการมอคูลต์และดีบีมมอคูลต์แบบ BPSK

การดีมอดูลอเดตสัญญาณ BPSK

การmodulateแบบ BPSK สามารถทำได้โดยการนำสัญญาณพาห์คูณกับสัญญาณที่รับเข้ามาได้ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อผ่านวงจรฟิลเตอร์แบบความถี่ตัดผ่านจะได้สัญญาณ $\frac{1}{2} Am(t)$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่สามารถแปลงกลับ

เป็นไบนาเรียได้

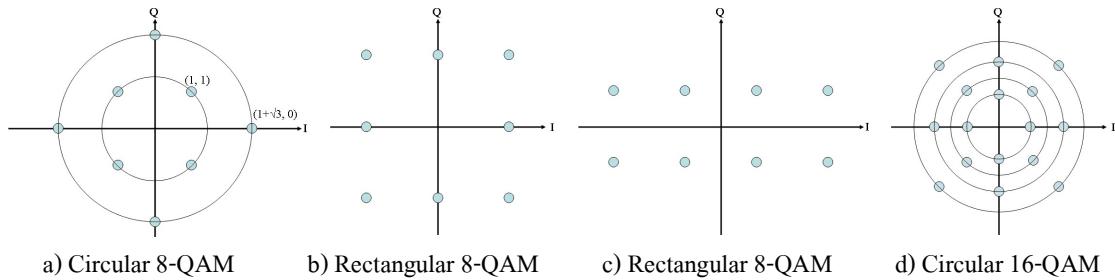
การmodulateแบบ QAM

เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของสัญญาณพาห์คู่นี้ ใช้น์ตามบิตข้อมูล 2 คุณลักษณะคือ ค่าบนาคแรงดัน และ มุมไฟส สามารถเลือกเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าบนาคแรงดัน และมุมไฟสตามลักษณะของ QAM เช่น 8-QAM สามารถเลือกค่าบนาคและมุมไฟได้หลายแบบ เช่น มี 1 ค่าบนาคแรงดัน และ 8 มุมไฟ หรือ มี 2 ค่าบนาคแรงดัน และ 4 มุมไฟส ได้เช่นกัน

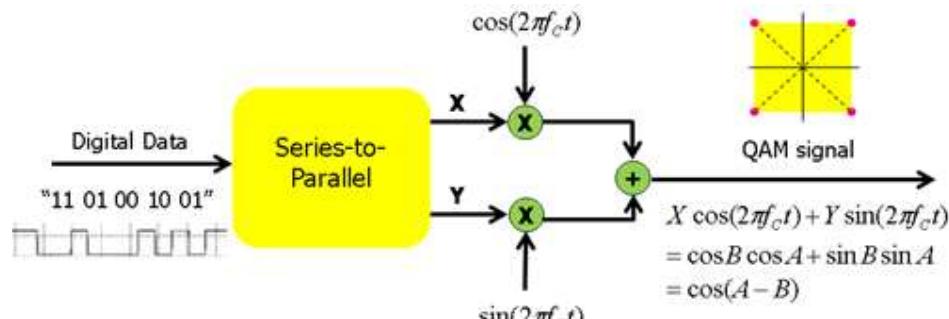
ซึ่งค่าบนาคและมุมเดือนที่ถูกเลือกใช้สำหรับ QAM สามารถแสดงได้ในกราฟ Constellation diagram โดยรากมีของพิกัดของแต่ละจุดจากจุดศูนย์กลางของ Constellation diagram และแสดงลักษณะของสัญญาณพาห์ และ มุมของพิกัดแต่ละจุดเป็นมุมเดือนของสัญญาณพาห์นั่นเอง ตัวอย่างของ Constellation diagram ของ 8-QAM และ 16-QAM แสดงในรูปที่ 9.8

สำหรับเทคนิคการสร้างสัญญาณ QAM ทำได้ดังแสดงในรูปที่ 9.9 โดยทางภาคส่งจะทำการสร้างสัญญาณ QAM หนึ่งชุดที่เป็นตัวแทนข้อมูล 2 บิต จึงมีส่วนของการแปลง serial-to-parallel มาช่วย เพื่อทำให้สามารถส่งสัญญาณ 2 บิต (X และ Y) ไปบนสัญญาณพาห์ที่ความถี่เดียวกัน โดยเอาสัญญาณบิตที่ 1 (X) คูณกับสัญญาณพาห์ที่เป็นสัญญาณ cosine ส่วนบิตที่ 2 (Y) จะถูกคูณกับสัญญาณพาห์ cosine ที่เดือนไป 90 องศา นั่นคือ สัญญาณพาห์ sine นั่นเอง จากนั้น สัญญาณของทั้งสองบิตจะถูกรวมเพื่อส่งออกไปพร้อมกันเป็นสัญญาณ QAM

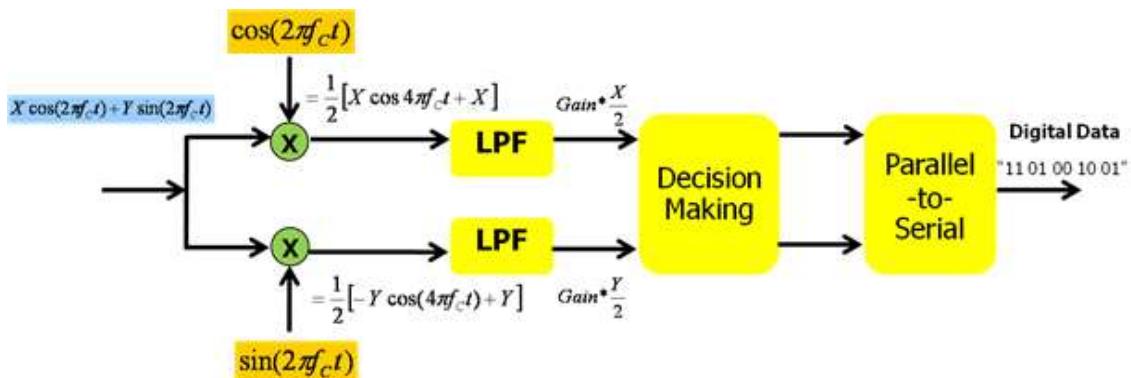
ส่วนที่ภาครับจะนำสัญญาณ QAM ที่ได้รับ มาทำการคัดสัญญาณบิต X และ บิต Y ทีละบิต แล้วจึงจัดเรียงลำดับบิตข้อมูลส่งออกไป (Parallel-to-Serial) โดยการคัดบิตข้อมูลบิต X สามารถทำได้ด้วยการนำสัญญาณ QAM คูณกับสัญญาณพาห์ cosine อย่างไรก็ได้ เมื่อสัญญาณเดินทางผ่านช่องนำสัญญาณ สัญญาณอาจมีการเลื่อนตัวทำให้สัญญาณ QAM ที่ได้รับอาจเลื่อนไปจากที่ภาคส่งส่งออกมา ดังนั้น จึงต้องมีการ Sync สัญญาณพาห์ cosine ของภาครับให้ตรงกับภาคส่ง โดยปรับเลื่อนให้สัญญาณพาห์ตรงกับสัญญาณ QAM ด้วย phase shifter จากนั้น กรองสัญญาณด้วย LPF เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน สุดท้ายจะต้องมีการตัดสินใจว่าสัญญาณที่ได้รับ ควรเป็นข้อมูล '0' หรือ '1' ซึ่งทำได้โดยใช้ Decision Maker ฉุดท้ายจะได้สัญญาณบิต X กลับออกมานั่นคือการ คัดบิต Y ทำได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 9.8 แสดง Constellation Diagram ของการมอดูลейชันแบบ QAM



(a) เทคนิคการมอดูลейชันแบบ 4-QAM



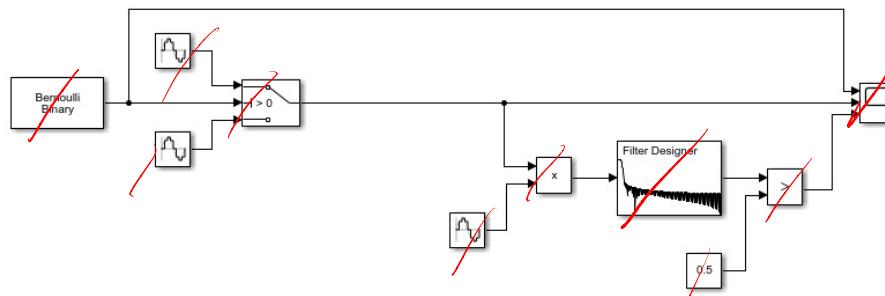
$$\begin{aligned} & [X \cos(2\pi f_c t) + Y \sin(2\pi f_c t)] \cos(2\pi f_c t) \\ & = X \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) + Y \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) \\ & = X \left(\frac{1}{2} [\cos(0) + \cos(4\pi f_c t)] \right) + Y \left(\frac{1}{2} \sin(4\pi f_c t) \right) \\ & = \frac{1}{2} [X + X \cos(4\pi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

(b) เทคนิคการดีมอยดูลейชันสัญญาณแบบ 4-QAM

รูปที่ 9.9 Block diagram แสดงเทคนิคการมอดูลейชัน และดีมอยดูลейชันสัญญาณแบบ 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

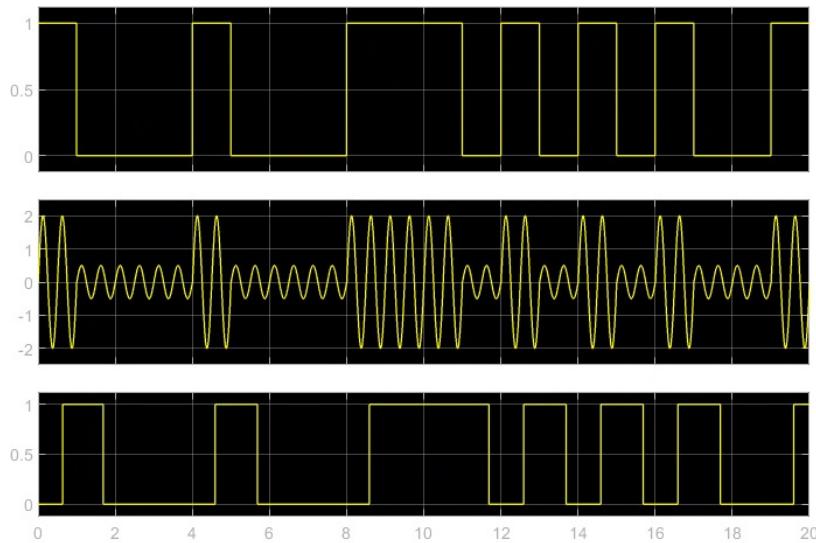
ส่วนประกอบของโมเดล	สัญลักษณ์	Simulink Library Browser
Bernoulli Binary Generator		Communications Toolbox → Comm Sources → Random data Sources
Sine Wave		
Constant		Simulink → Sources
Switch		Simulink → Signal Routing
Product		Simulink → Math Operations
Digital Filter Design		DSP System Toolbox → Filtering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

ตารางที่ 9.2 ตารางแสดงการตั้งค่าตัวแปรภายในโมเดล ASK Modulation และ ASK Demodulation

ส่วนประกอบของโมเดล	ตัวแปร	ค่า
Sine Wave (Modulation-Top)	Amplitude	2
	Frequency	$4*\pi$
	Sample time	0.01
Sine Wave (Modulation-Bottom)	Amplitude	0.5
	Frequency	$4*\pi$
	Sample time	0.01
Sine Wave (Demodulation)	Amplitude	1
	Frequency	$4*\pi$
	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 ของการมอดูลейแบบ ASK จากผลการทดลองข้อ 4

$$\theta = (1+d) \times S = 2 \times N \times \frac{1}{T} = 2 \times N$$

$$\text{Band Rate} = 1 \text{ band/sec} \quad \text{Bandwidth } J=0 / (1+0)_1 = 1 \in [1.5, 2.5]$$

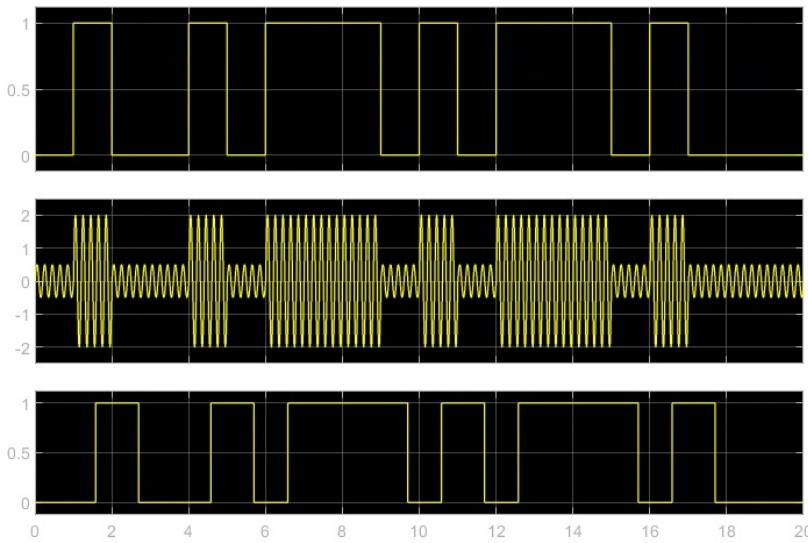
$$\text{Bit Rate} = 1 \text{ bit/sec} \quad J=1 / (1+1)_1 = 2 \in [1, 3]$$

6. หากต้องการเปลี่ยน Carrier frequency เป็น 5 Hz ต้องเปลี่ยนการตั้งค่าตัวแปรของส่วนประกอบใดบ้าง อย่างไร

เปลี่ยน Frequency sine wave ทั้ง 3 ชิ้นใน 10π

(ในส่วน demodulation ต้องเปลี่ยน sine wave ที่ 10π ด้วย)

7. สั่งให้โปรแกรมเดินทำงาน (Run)  และบันทึกผลการทดลอง



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

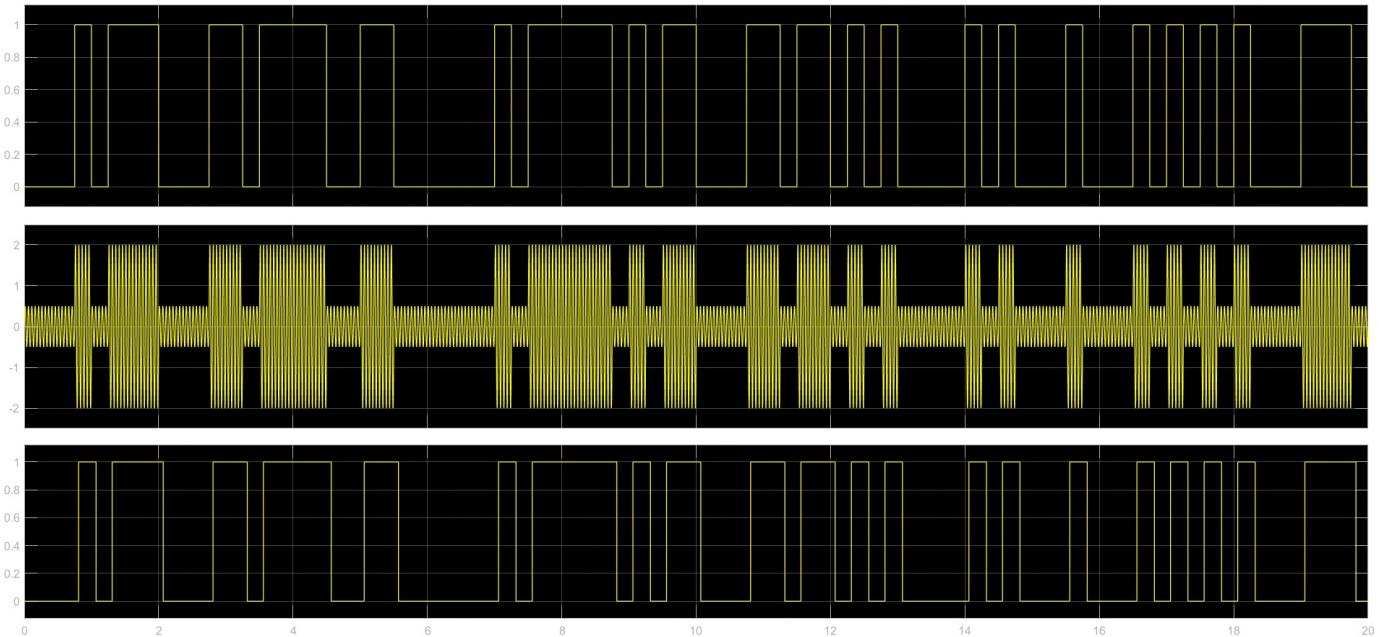
เปลี่ยน frequency ของ sine wave $T_{fc} = 40\pi$

เปลี่ยน sample time ของ sine wave $T_{sc} = 0.001$ (หรือ 0.0001)

เปลี่ยน sample time ของ demoduli $T_{dc} = 1/4$

9. ตั้งค่า Stop Time ในเมนูของ Simulink prerelease เป็น 4.0

10. สั่งให้โปรแกรมเดลทำงาน (Run)  แล้วบันทึกผลการทดลอง



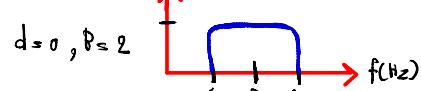
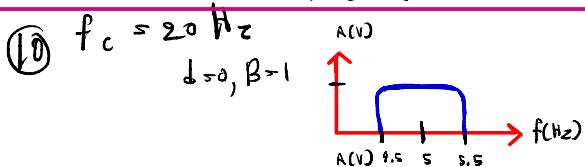
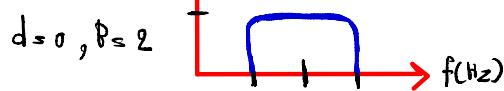
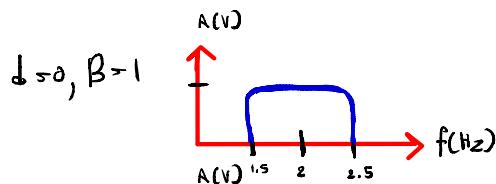
11. แสดงวิธีคำนวณ Bandwidth ของการมอดูลเชิงแบบ ASK จากผลการทดลองข้อ 10

$$\text{N} = 4 \text{ b/s} \quad d=0 \quad \theta = (1+0)4 = 4 \in [18, 22]$$

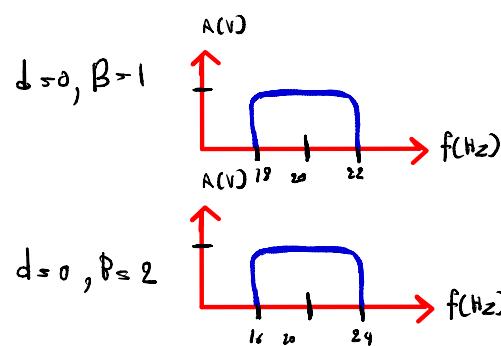
$$d=1 \quad \theta = (1+1)4 = 8 \in [16, 24]$$

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

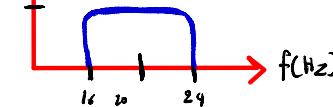
④ $f_c = 2 \text{ Hz}$



⑦ $f_c = 5 \text{ Hz}$



$d=0, \beta=2$



ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจการทดลอง