

## วิชา Data Communication Laboratory

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### การทดลองที่ 10 Analog Modulation techniques for data communication

#### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเรื่องความถี่และดิจิตอลและดิจิตอลแบบแอนเพลจูด
2. เข้าใจและสามารถแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการmodulationได้
3. ทดลองวิธีการสร้างเรื่องความถี่และดิจิตอล

#### ทฤษฎี

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเรื่องความถี่และการmodulationแบบ Amplitude Modulation (AM) โดยใช้เทคนิคการคูณสัญญาณแบบ Double Sideband Suppressed Carrier (DSBSC) ซึ่งการmodulationนี้เป็นเทคนิคที่ใช้แปลงข่าวสารที่เป็นสัญญาณอะนalog ให้เป็นสัญญาณที่มีความถี่สูงที่เรียกว่า Message เข้ากับสัญญาณที่มีความถี่สูงที่เรียกว่า สัญญาณพาห์ (Carrier) เพื่อประโยชน์ในการสื่อสาร

##### **DSBSC (Double Sideband Suppressed Carrier)**

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการนำสัญญาณเสียง หรือสัญญาณข่าวสาร (Message) นำไปคูณกับสัญญาณพาห์ (Carrier) ที่มีความถี่สูง ในโคล เมื่อความถี่พนท. ว่ามีสัญญาณที่จุดความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณพาห์อยู่ 1 ครั้ง แต่ไม่มีสัญญาณที่จุดสัญญาณพาห์ โดยที่สัญญาณ Double Sideband Suppressed Carrier หรือ DSBSC สามารถเขียนแสดงได้ดังสมการ (1)

$$DSBSC = A \cos(\mu t) \cos(\omega t) \quad (1)$$

โดยสมมุติให้สัญญาณข้อมูลข่าวสารคือ  $A \cos(\mu t)$  และ สัญญาณพาห์ คือ  $\cos(\omega t)$  ซึ่งในทางปฏิบัติจะกำหนดลักษณะของค่า  $\mu$  และ  $\omega$  ดังนี้

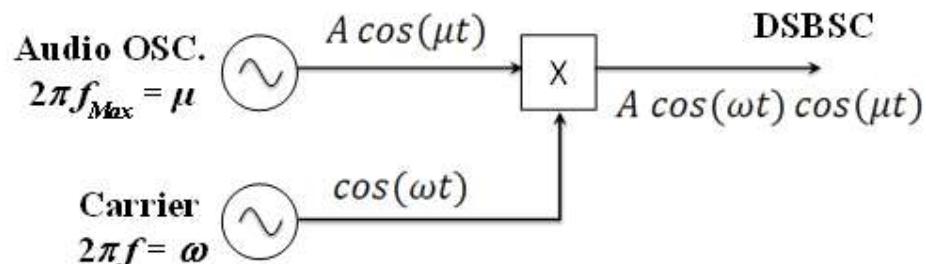
$$\omega > \mu \quad (2)$$

และจากเอกสารนี้ได้รีบกนิพลด์ของสมการที่ (1) ได้ดังสมการที่ (3)

$$A \cos(\mu t) \cos(\omega t) = \left( \frac{A}{2} \right) \cos((\omega - \mu)t) + \left( \frac{A}{2} \right) \cos((\omega + \mu)t) \quad (3)$$

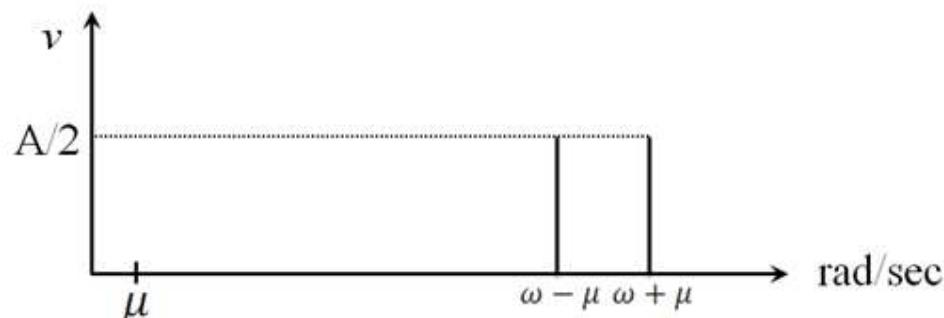
จากสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่าสามารถเปลี่ยนรูปสมการจากสมการผลคูณของ cosine เป็นสมการผลบวกของ cosine ได้ โดยจะได้ cosine ที่ความถี่  $(\omega + \mu)$  และ  $(\omega - \mu)$  เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ของความถี่ของสมการที่เปลี่ยนรูป พบร่วมกับความถี่ของทั้งสองพาห์ จะอยู่ระหว่างความถี่  $\omega$  โดยพาห์หนึ่งของสมการความถี่จะอยู่เหนือกว่า  $\omega$  อยู่  $\mu$  (ความถี่มากกว่า  $\omega$  เป็น  $\mu$ ) และอีกพาห์ของสมการความถี่จะอยู่ต่ำกว่า

$\mu$  (ความถี่น้อยกว่า  $\omega$  เป็น  $\mu$ ) หมายถึง Upper Sideband และ Lower Sideband ตามลำดับ และ  $A$  ซึ่งเป็นขนาดของสัญญาณข้อมูลข่าวสารจะมีขนาดของสัญญาณแต่ละพจน์ของสมการใหม่เป็น  $\frac{1}{2}$  เท่าของสัญญาณเดิม

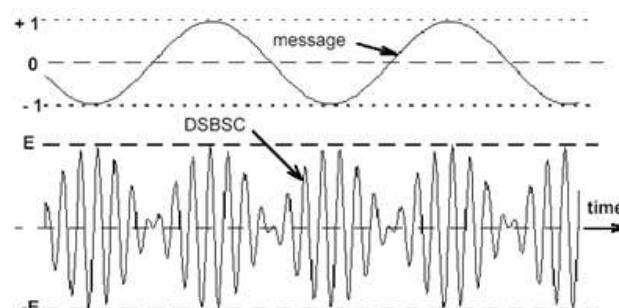


รูปที่ 10.1 การmodulationแบบ DSBSC

จากสมการที่ (3) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน และ ความถี่ จะพบองค์ประกอบของสัญญาณสององค์ประกอบที่ความถี่  $\omega - \mu$  และ  $\omega + \mu$  ดังแสดงในรูปที่ 10.2 ซึ่งมาจากค่าของสัญญาณพาห์ที่มีความถี่เท่ากับ  $\omega$  rad/s และข้อมูลที่มีความถี่  $\mu$  rad/s แต่ไม่มีสัญญาณที่ความถี่พาห์ จึงเรียกสัญญาณที่ได้ว่า Double Sideband Suppressed Carrier (DSBSC) โดยสัญญาณที่แสดงใน Angular Frequency Domain และ Time Domain ของ DSBSC แสดงดังรูปที่ 10.2 และ 10.3 ตามลำดับ



รูปที่ 10.2 ความถี่ที่ปรากฏในตำแหน่งหลังจากการmodulation ใน Angular Frequency Domain



รูปที่ 10.3 รูปสัญญาณของ DSBSC ใน Time domain

จากรูปที่ 10.3 พบร่วมของของสัญญาณพาห์จะเปลี่ยนขนาดไปตามขนาดของสัญญาณข้อมูลข่าวสาร หรือกล่าวได้ว่าลักษณะของสัญญาณพาห์เปลี่ยนขนาดไปตามขนาดของสัญญาณข่าวสาร

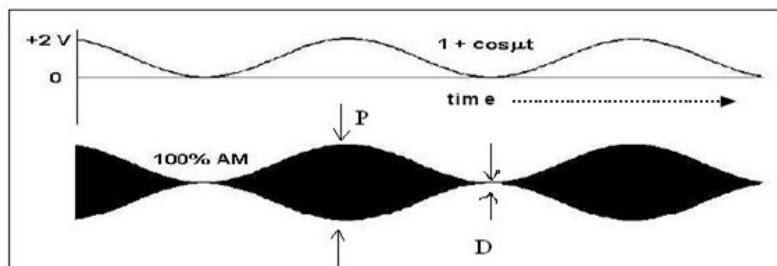
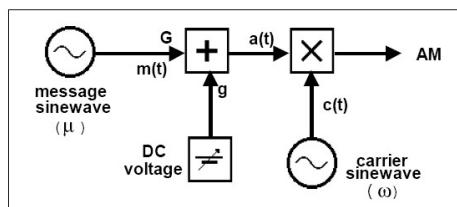
### การมอduleทแบบแอมเพลจูดธรรมดา (AM with carrier)

ในวิทยุกระจายเสียงระบบ AM จะส่งสัญญาณพาห์ไปยังผู้รับด้วยการมอduleทแบบแอมเพลจูดธรรมดา (Ordinary Amplitude Modulation) เพื่อความง่าย และประหัดในการออกแบบเครื่องรับ โดยในเครื่องส่ง AM จะใช้วงจรขยายสัญญาณที่ทำงานใน class C ในการมอduleทสามารถเขียนเป็นสมการแสดงการมอduleทได้ดังนี้

$$\begin{aligned} AM &= E[1 - m \cos(\mu t)] \cos(\omega t) \\ &= A[1 - m \cos(\mu t)] \cdot B \cos(\omega t) \\ &= \text{low frequency term } a(t) \times \text{high frequency term } b(t) \end{aligned} \quad (4)$$

โดยที่  $E$  คือขนาดของสัญญาณ AM และ  $m$  คือค่าคงที่ที่เรียกว่า Modulation Index  $\mu$  คือความถี่ของ สัญญาณเดิมหรือ message และ  $\omega$  คือความถี่ของสัญญาณพาห์

จากสมการที่ (4) จะพบว่าเทอมของสัญญาณประกอบไปด้วยสัญญาณไฟ DC และ AC ผสมกันอยู่โดย ส่วนที่เป็น AC คือ  $m(t)$  เป็นข้อมูลซึ่งอาจใช้เป็น  $\cos(\mu t)$  การมอduleทแบบแอมเพลจูดจากสมการที่ (4) ดังนี้

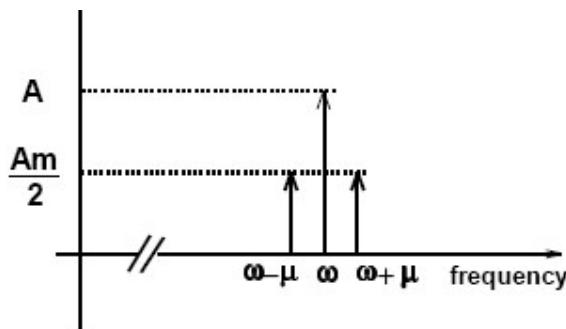


รูปที่ 10.4 การมอduleทแบบ AM with carrier

รูปที่ 10.4 แสดงถึงการมอduleท 100% AM หมายถึง  $m=1$  ซึ่งในที่นี้สามารถคำนวณหาค่าของ  $m$  ได้ดัง สมการต่อไปนี้

$$m = \frac{P - D}{P + D} \quad (5)$$

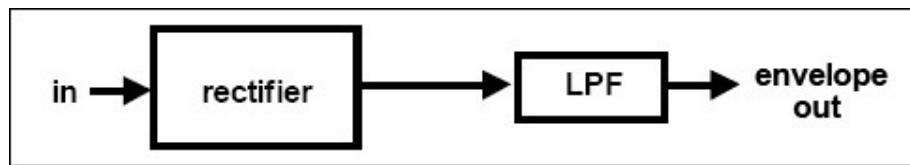
เมื่อ  $P$  และ  $D$  ในสมการที่ (5) คือขนาดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณที่วัดแบบ peak-to-peak ตามลำดับ เมื่อทำการมอduleทแล้ว ถ้าทำการวัดความถี่เราจะได้สเปกตรัมของความถี่ดังรูปที่ 10.5



รูปที่ 10.5 สเปกตรัมความถี่ของ AM with carrier

#### การดีมอคุเลต AM with carrier

การดีมอคุเลต AM with carrier จะใช้ Envelope Detector โดยที่ Ideal Envelope Detector เป็นวงจรที่เป็น Diode ซึ่งจะจับนิจนาค่าของ Absolute Value ของสัญญาณอินพุตและส่งเข้าสู่ Lowpass filter (LPF) ต่อไป เอาท์พุตจาก LPF เพื่อกรองอาณาเขตความถี่ต่ำ (Message) ออกไปยังเอาท์พุต



รูปที่ 10.6 การดีมอคุเลตแบบ AM with carrier

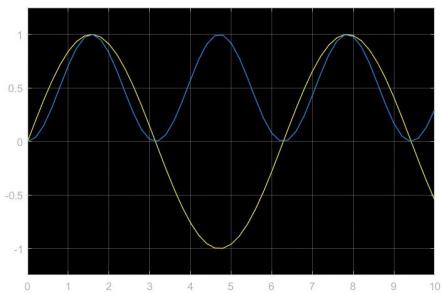
#### การทดลองที่ 10.1 ศึกษาการทำงาน Amplitude Modulation จากโปรแกรม Matlab Simulink

1. เปิดโปรแกรม Matlab สร้าง Blank Model ใน Simulink Start Page
2. สร้างโมเดล Double Sideband Suppressed Carrier ดังรูปที่ 10.7 โดยที่ส่วนประกอบของโมเดลนำมาจาก Simulink Library Browser ดังตารางที่ 10.1

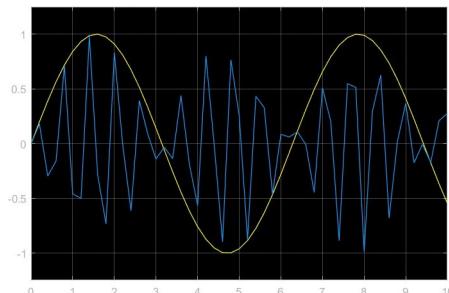


รูปที่ 10.7 การมอดูลейตแบบ Double Sideband Suppressed Carrier

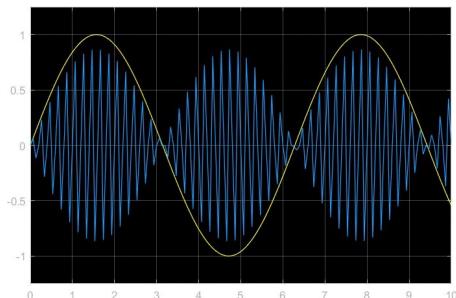
3. ตั้งให้มोเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทำงาน ในรูปที่ 10.8 (ก)
4. ตั้งค่า Frequency ใน Sine Wave เป็น 10 สำหรับโมเดลทำงาน และบันทึกผลการทำงาน ในรูปที่ 10.8 (ข)
5. ตั้งค่า Frequency ใน Sine Wave เป็น  $10\pi$  สำหรับโมเดลทำงาน และบันทึกผลการทำงาน ในรูปที่ 10.8 (ค)
6. ตั้งค่า Frequency ใน Sine Wave เป็น  $10\pi$  และ Sample time 0.01 สำหรับโมเดลทำงาน (Run) และบันทึกผลการทำงาน ในรูปที่ 10.8 (ง)



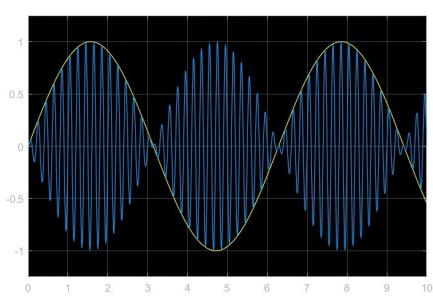
(n)



(u)



(v)



(w)

รูปที่ 10.8 ผลการทดลองปรับค่าในการมอดูลейตแบบ Double Sideband Suppressed Carrier

7. สรุปผลการทดลองจากการทดลอง ข้อ 3.-6.

1)  $f_m$  message on carrier ให้เป็น  $f_c > f_m$

2)  $f_c \gg f_m$  ( $f_c > f_m$  re sample time ต้องมากกว่า)

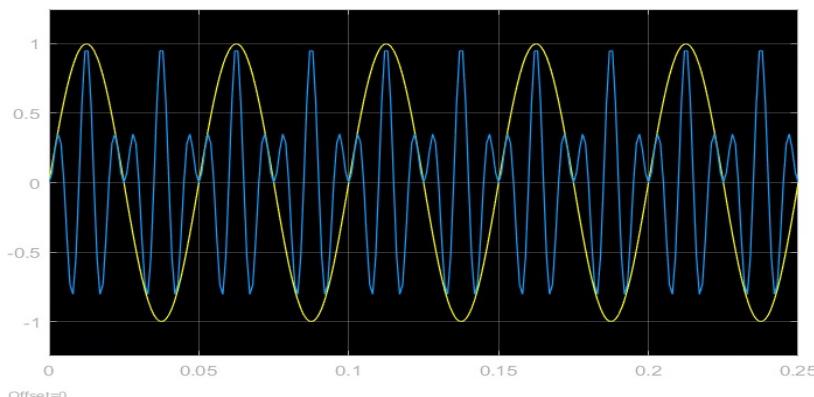
8. หากต้องการปรับค่า Signal Generator เป็นสัญญาณ Sine ความถี่ 20 Hz และสัญญาณพาห์เป็น 100 Hz ควรต้องปรับค่าตัวแปรภายในโมเดลใดบ้างอย่างไร

Sine Wave : Frequency  $\rightarrow 20$  Hz, sampletime  $\rightarrow 0.0001$

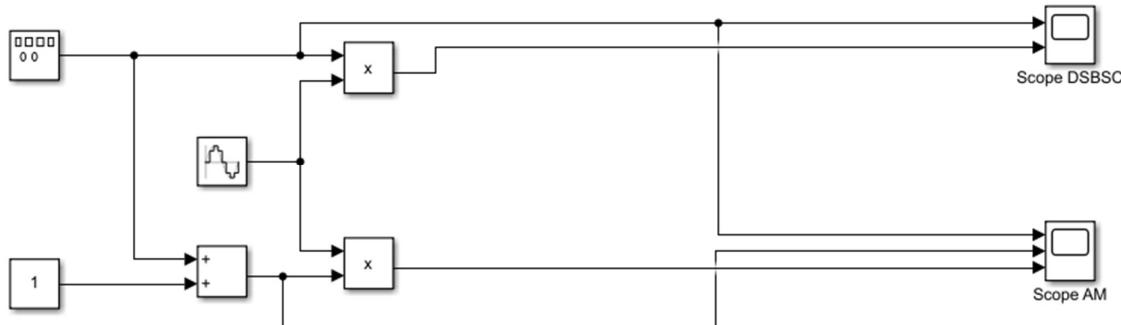
Signal Generator : Frequency  $\rightarrow 20$ , units  $\rightarrow$  Hertz

9. ตั้งค่า Stop Time ในเมนูของ Simulink prerelease เป็น 0.25

10. สั่งให้โมเดลทำงาน (Run) และบันทึกผลการทดลอง



11. สร้างโมเดล เพื่อเปรียบเทียบ Double Sideband Suppressed Carrier กับ Amplitude Modulation ดังรูปที่ 10.9 โดยที่ส่วนประกอบของโมเดลนำมายก Simulink Library Browser ดังตารางที่ 10.1



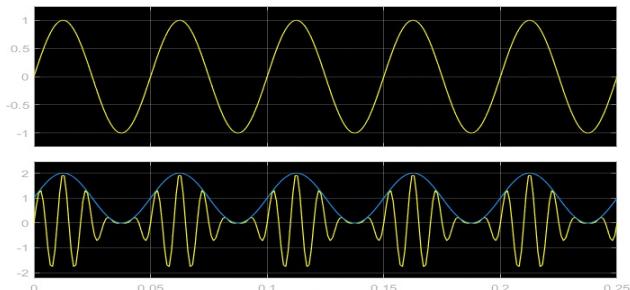
รูปที่ 10.9 เปรียบเทียบการmodulationแบบ DSBSC และ AM

ตารางที่ 10.1 ตารางแสดงส่วนประกอบของโมเดล Amplitude Modulation

ส่วนประกอบของโมเดล	สัญลักษณ์	Simulink Library Browser
Signal Generator		
Sine Wave		Simulink → Sources
Constant		
Product		
Add		Simulink → Math Operations
Abs		
Scope		Simulink → Sinks
Analog Filter Design		DSP System Toolbox → Filtering → Filter Implementations

12. ตั้งค่า Layout ของ Scope DSBSC เป็น 1 และค่า Layout ของ Scope AM เป็น 2

13. สั่งให้โปรแกรมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง พร้อมคำนวณ Modulation index

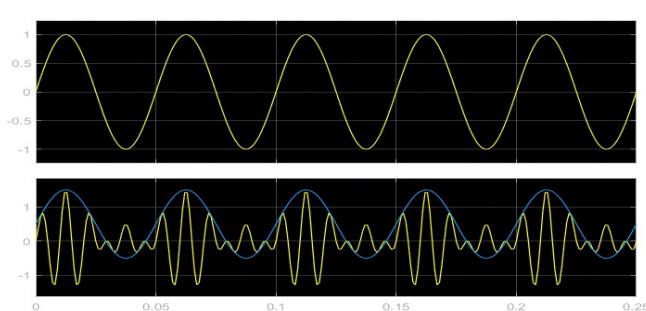


$$P = 2 - (-2) = 4$$

$$D = 0 - (0) = 0$$

$$m = \frac{P-D}{P+D} = \frac{4-0}{4+0} = 1$$

14. ตั้งค่า Constant เป็น 0.5 สั่งให้โปรแกรมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง พร้อมคำนวณ Modulation index

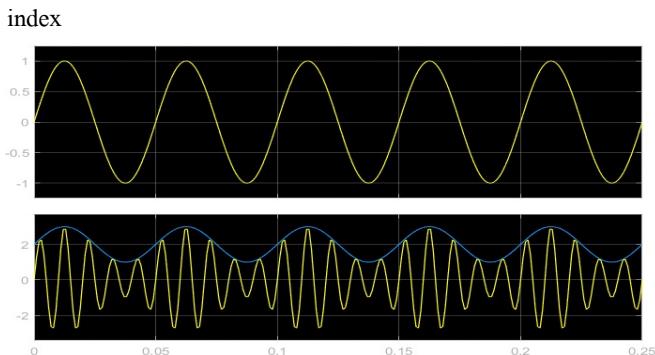


$$P = 1.5 - (-1.5) = 3$$

$$D = 0.5 - (-0.5) = 1$$

$$m = \frac{P-D}{P+D} = \frac{3-(-1)}{3+(-1)} = \frac{4}{2} = 2$$

15. ตั้งค่า Constant เป็น 2 สั่งให้โปรแกรมเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง พร้อมคำนวณ Modulation index



$$P = 3 - (-3) = 6$$

$$D = 1 - (-1) = 2$$

$$m = \frac{P-D}{P+D} = \frac{4}{8} = 0.5$$

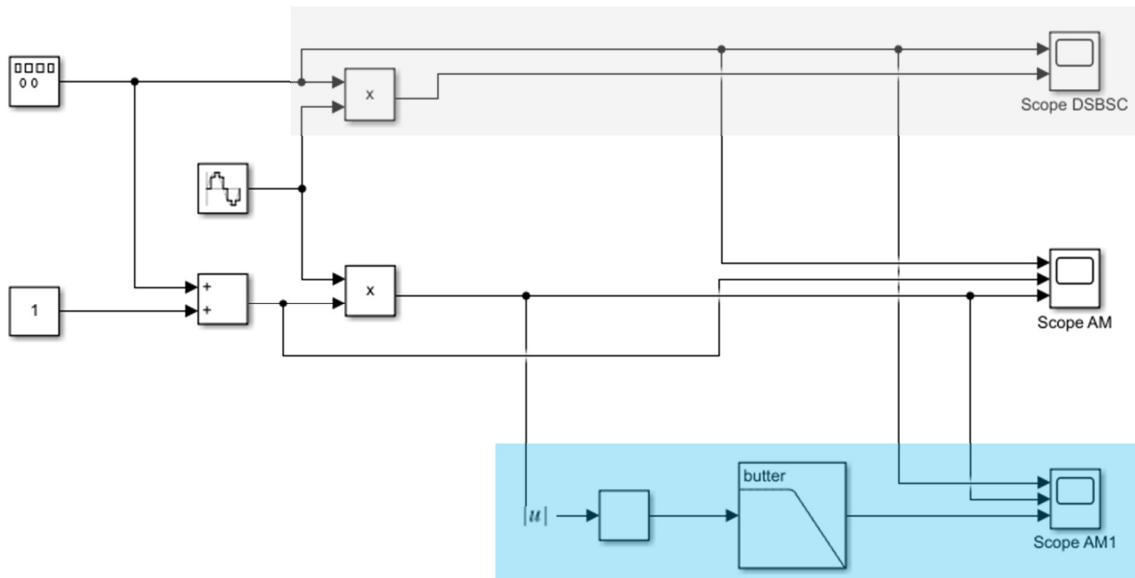
16. สรุปผลการทดลองจากการทดลอง ข้อ 11.-15.

ข้อ 13) Modulation Index = 1 หมายความว่า

ข้อ 14) Modulation Index = 2 หมายความว่า Over-Modulated wave

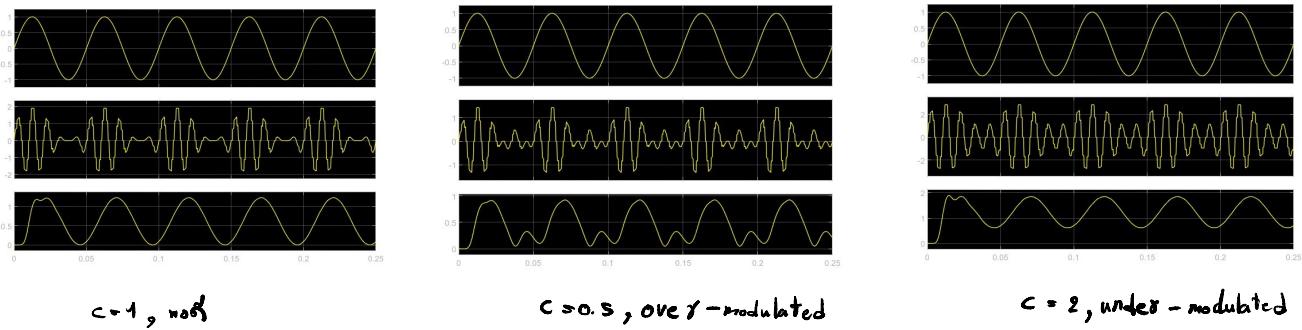
ข้อ 15) Modulation Index = 0.5 หมายความว่า Under-Modulated wave

17. สร้างโมเดลคิมอคุเลทธอง Amplitude Modulation (ส่วนสีฟ้า) ดังรูปที่ 10.10 โดยที่ส่วนประกอบของโมเดลนำมาราบจาก Simulink Library Browser ดังตารางที่ 10.1



รูปที่ 10.10 โมเดลคิมอคุเลทธอง Amplitude Modulation

18. ตั้งค่า Passband edge frequency ของ Analog Filter Design เท่ากับความถี่ของสัญญาณพาห์
19. ตั้งค่า Layout ของ Scope AM1 เป็น 3
20. สั่งให้มोเดลทำงาน (Run) แล้วบันทึกผลการทดลอง จาก Scope AM1



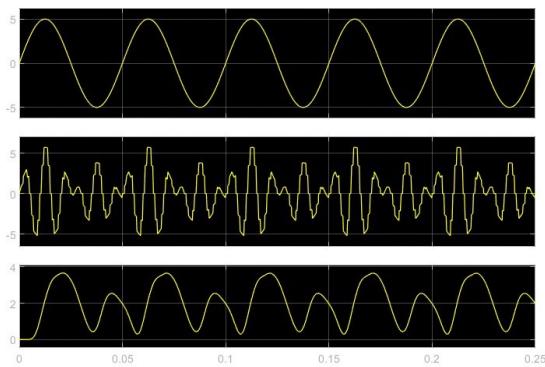
21. หากต้องการปรับค่า Signal Generator เป็นสัญญาณ Sine แอมพลิจูด 5 ความถี่ 20 Hz และสัญญาณพาห์ เป็น 100 Hz ควรต้องปรับค่าตัวแปรภายในโมเดลใดบ้างอย่างไร

Signal Generator: Wave form  $\rightarrow$  Sine, Amplitude  $\rightarrow$  5, Frequency  $\rightarrow$  20

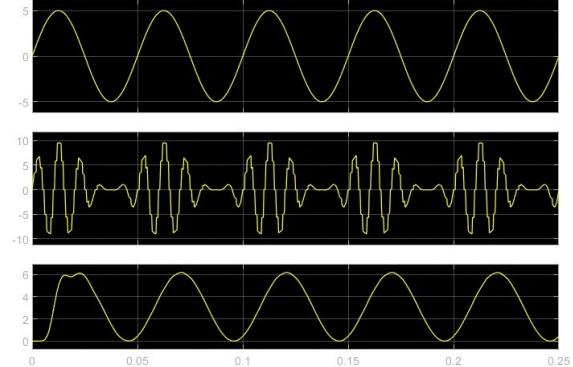
Sine Wave: Frequency  $\rightarrow$   $20\pi$

22. สั่งให้ไม่เดลทำงาน (Run) และบันทึกผลการทดลอง จาก Scope AM1

$$C = S$$

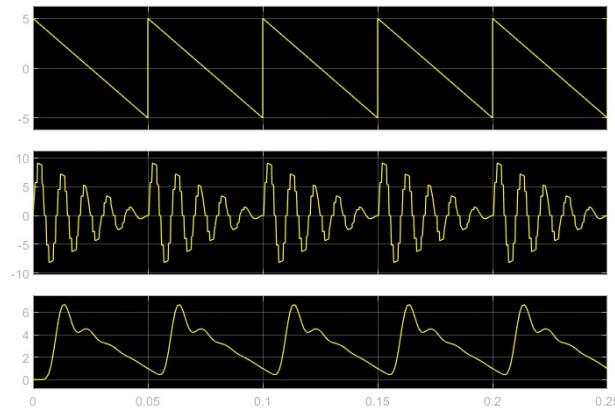


$$C = S$$



23. เปลี่ยนรูปแบบ Wave form ของ Signal Generator เป็น sawtooth สั่งให้ไม่เดลทำงาน (Run) และบันทึกทึก

ผลการทดลอง จาก Scope AM1



$$C = S, f_C = 100 \text{ Hz}$$

24. สรุปผลการทดลองจากการทดลอง ข้อ 20.-23.

d<sub>1</sub>, constant (c) กับการ over, under - modulation ของ signal

d<sub>2</sub>, กรณี carrier (f<sub>c</sub>) ซึ่งต้องควบคุมเข้ากับ message signal

ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจการทดลอง

### คำถามท้ายการทดลอง

- ในการทดลอง AM with carrier เปอร์เซนต์การmodulation มีผลอย่างไรกับสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากการดีเมอคุณภาพ

✓. Modulate (Modulation index)

ถ้า  $m = 1$  No distortion

ถ้า  $m > 1$  Over-modulated

ถ้า  $m < 1$  Under-modulated

- ในการทดลอง AM with carrier ถ้าปรับขนาดของไฟ DC มากขึ้นมากๆ จะเกิดผลอย่างไรกับเอาท์พุทของ การ modulation

การปรับขนาดไฟ DC มากๆ สิ่งที่คงต้อง constant (c) ไฟ Lab

กรณีไฟ Under modulation