

## วิชา Data Communication Laboratory

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## การทดลองที่ 10 Analog Modulation techniques for data communication

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวงจรมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบแอมพลิจูด
2. เข้าใจและสามารถแสดงลักษณะของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตได้
3. ทดลองวิธีการสร้างวงจรมอดูเลตและดีมอดูเลต

## ทฤษฎี

การทดลองนี้เป็นการศึกษามอดูเลตการมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation) โดยใช้เทคนิคการคูณสัญญาณแบบ Double Sideband Suppressed Carrier (DSBSC) ซึ่งการมอดูเลตนี้เป็นเทคนิคที่ใช้แปลงข่าวสารที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกความถี่ต่ำ (เรียกว่า Message) เข้ากับสัญญาณที่มีความถี่สูงที่เรียกว่า สัญญาณพาห้ (Carrier) เพื่อประโยชน์ในการสื่อสาร

## DSBSC (Double Sideband Suppressed Carrier)

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการนำสัญญาณเสียง หรือสัญญาณข่าวสาร (Message) นำไปคูณกับสัญญาณพาห้ (Carrier) ที่มีความถี่สูง ในโดเมนของความถี่พบว่ามีสัญญาณที่จุดความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณพาห้อยู่ 1 คู่ แต่ไม่มีสัญญาณที่จุดสัญญาณพาห้ โดยที่สัญญาณ Double Sideband Suppressed Carrier หรือ DSBSC สามารถเขียนแสดงได้ดังสมการ (1)

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

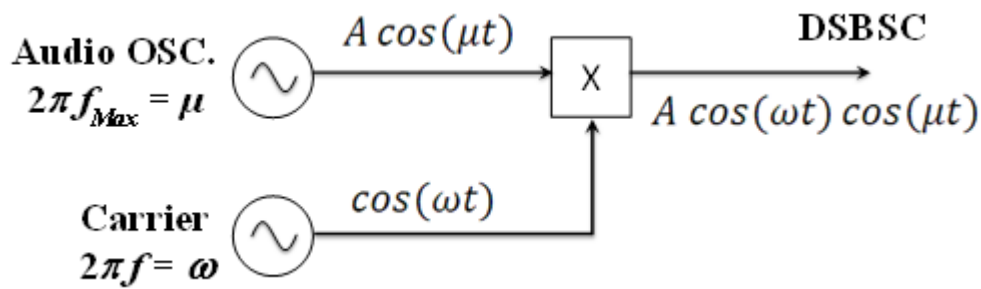
โดยสมมติให้สัญญาณข้อมูลข่าวสารคือ  $\cos(\mu t)$  และ สัญญาณพาห้ คือ  $\cos(\omega t)$  ซึ่งในทางปฏิบัติจะกำหนดลักษณะของค่า  $\mu$  และ  $\omega$  ดังนี้

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

และจาก

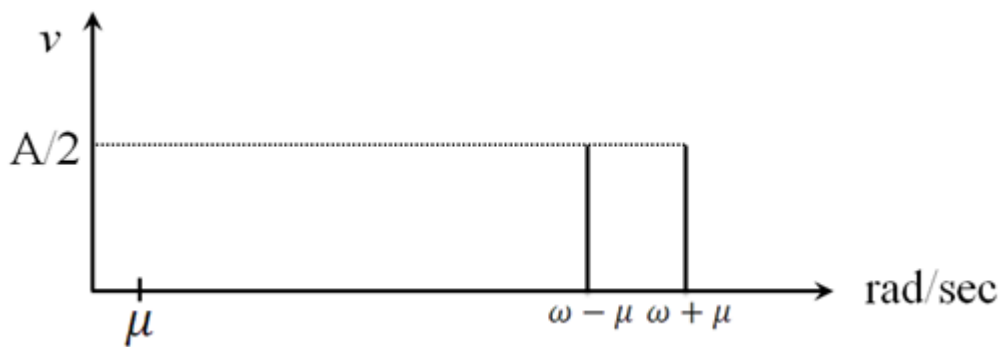
$$A \cos(\omega t) \cos(\mu t) = \left(\frac{A}{2}\right) \cos(\omega - \mu)t + \left(\frac{A}{2}\right) \cos(\omega + \mu)t \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่าสามารถเปลี่ยนรูปสมการจากสมการผลคูณของ  $\cos$  เป็นสมการผลบวกของ  $\cos$  ได้ โดยจะได้  $\cos$  ที่ความถี่  $(\omega + \mu)$  และ  $(\omega - \mu)$  เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ของความถี่ของสมการที่เปลี่ยนรูป พบว่าองค์ประกอบของความถี่ของทั้งสองพจน์ จะอยู่ระหว่างความถี่  $\omega$  โดยพจน์หนึ่งของสมการความถี่จะอยู่เหนือกว่า  $\omega$  อยู่  $\mu$  (ความถี่มากกว่า  $\omega$  เป็น  $\mu$ ) และอีกพจน์ของสมการความถี่จะอยู่ต่ำกว่า  $\omega$  (ความถี่น้อยกว่า  $\omega$  เป็น  $\mu$ ) หมายถึง Upper Sideband และ Lower Sideband ตามลำดับ และ  $A$  ซึ่งเป็นขนาดของสัญญาณข้อมูลข่าวสารจะมีขนาดของสัญญาณแต่ละพจน์ของสมการใหม่เป็น  $\frac{1}{2}$  เท่าของสัญญาณเดิม

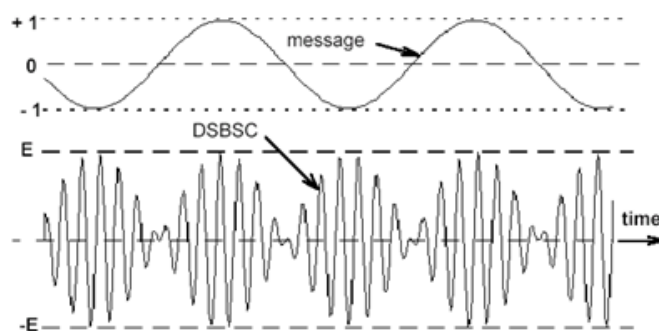


รูปที่ 10.1 การมอดูเลตแบบ DSBSC

จากสมการที่ (3) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน และ ความถี่ จะพบองค์ประกอบของสัญญาณสององค์ประกอบที่ความถี่  $\omega - \mu$  และ  $\omega + \mu$  ดังแสดงในรูปที่ 10.2 ซึ่งมาจากค่าของสัญญาณพาห้ที่มีความถี่เท่ากับ  $\omega$  rad/s และข้อมูลที่มีความถี่  $\mu$  rad/s แต่ไม่มีสัญญาณที่ความถี่พาห้ 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 ความถี่ที่ปรากฏในตำแหน่งหลังจากมอดูเลต ใน Angular Frequency Domain



รูปที่ 10.3 รูปสัญญาณของ DSBSC ใน Time domain

จากรูปที่ 10.3 พบว่าขอบของสัญญาณพาห้จะเปลี่ยนขนาดไปตามขนาดของสัญญาณข้อมูลข่าวสาร หรือกล่าวได้ว่าลักษณะของสัญญาณพาห้เปลี่ยนขนาดไปตามขนาดของสัญญาณข่าวสาร

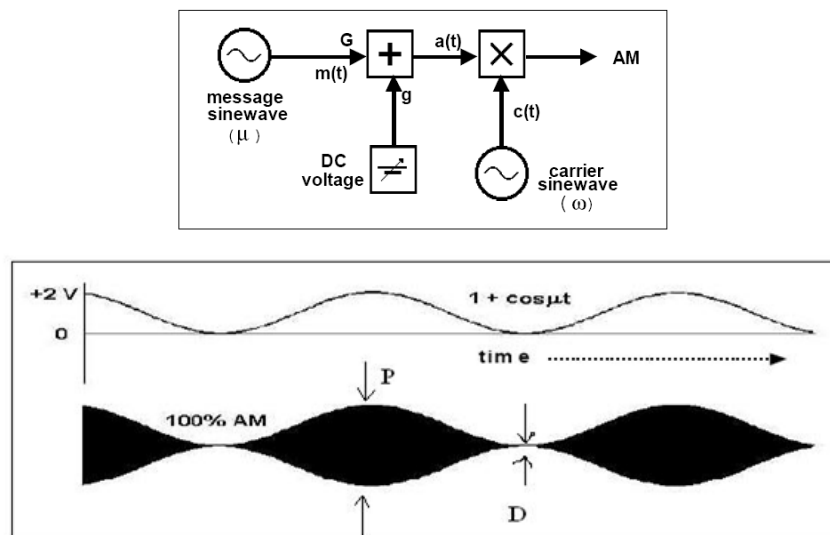
### การมอดูเลตแบบแอมพลิจูดธรรมดา (AM with carrier)

ในวิทยุกระจายเสียงระบบ AM จะส่งสัญญาณพาห์ไปยังฝั่งรับด้วยการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดธรรมดา (Ordinary Amplitude Modulation) เพื่อความง่าย และประหยัดในการออกแบบเครื่องรับ โดยในเครื่องส่ง AM จะใช้วงจรขยายสัญญาณที่ทำงานใน class C ในการมอดูเลตสามารถเขียนเป็นสมการแสดงการมอดูเลตได้ดังนี้

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

โดยที่  $E$  คือขนาดของสัญญาณ AM และ  $m$  คือค่าคงที่หรือบางครั้งเรียกว่า Modulation Index  $\mu$  คือความถี่ของสัญญาณเสียงหรือ message และ  $\omega$  คือความถี่ของสัญญาณพาห์

จากสมการที่ (4) จะพบว่าเทอมของสัญญาณประกอบไปด้วยสัญญาณไฟ DC และ AC ผสมกันอยู่โดยส่วนที่เป็น AC คือ  $m(t)$  เป็นข้อมูลซึ่งอาจใช้เป็น  $\cos(\mu t)$  การมอดูเลตแบบแอมพลิจูดจากสมการที่ (4) ดังนี้

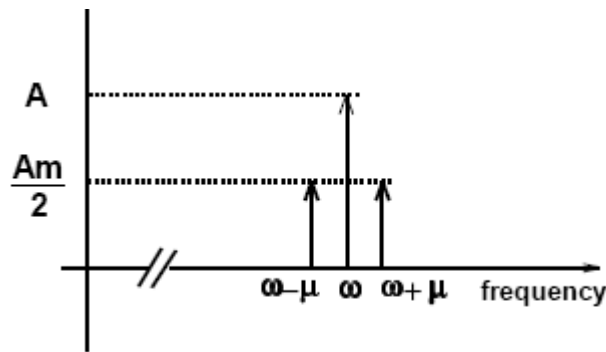


รูปที่ 10.4 การมอดูเลตแบบ AM with carrier

รูปที่ 10.4 แสดงถึงการมอดูเลต 100% AM หมายถึง  $m=1$  ซึ่งในที่นี้สามารถคำนวณหาค่าของ  $m$  ได้ดังสมการต่อไปนี้

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

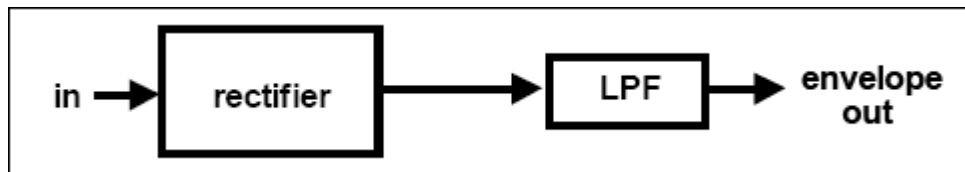
เมื่อ  $P$  และ  $D$  ในสมการที่ (5) คือขนาดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณที่วัดแบบ peak-to-peak ตามลำดับ เมื่อทำการมอดูเลตแล้ว ถ้าทำการวัดความถี่เราจะได้สเปกตรัมของความถี่ดังรูปที่ 10.5



รูปที่ 10.5 สเปกตรัมความถี่ของ AM with carrier

#### การหาค่าของ AM with carrier

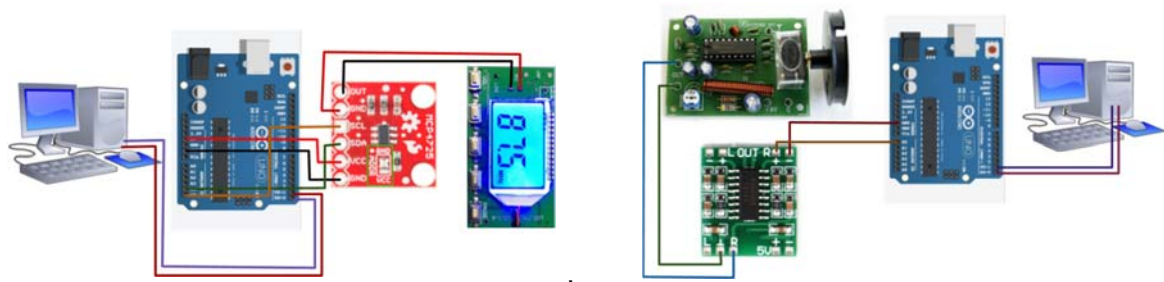
การหาค่าของ AM with carrier จะใช้ Envelope Detector โดยที่ Ideal Envelope Detector เป็นวงจรที่เป็น Diode ซึ่งวงจรนั้นจะนำค่าของ Absolute Value ของสัญญาณอินพุตและส่งเข้าสู่ Lowpass filter (LPF) ต่อไป เอาท์พุทจาก LPF เพื่อกรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำ (Message) ออกไปยังเอาท์พุท



รูปที่ 10.6 การหาค่าของแบบ AM with carrier

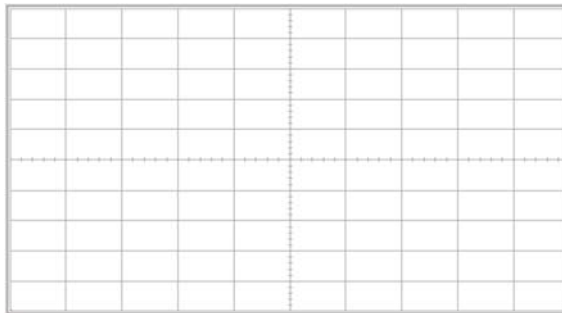
#### การทดลองที่ 10.1 การทดลองส่งข้อมูลผ่าน FM Wireless Transmission

ให้ นศ.ต่อวงจรภาคส่ง (Tx) และ ภาครับ (Rx) ตามรูปที่ 10.7 เพื่อทำการรับข้อมูลดิจิทัลชุดละ 8 บิตจาก คอมพิวเตอร์ ส่งให้ Arduino ผ่าน Serial Communication จากนั้นเขียนโปรแกรมทำการแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็น Analog Sampling Signal ให้กับ วงจรแปลง Digital-To-Analog Converter (DAC) ซึ่งจะทำการสร้างสัญญาณ Analog Waveform ส่งผ่าน FM Wireless Transmission Module โดยจะรับสัญญาณ FSK Modulation จาก DAC ไปทำการมอดูเลตแบบ FM Modulation ส่งผ่าน Wireless Channel (อากาศ) ไปยังภาครับ (Rx) ภาครับจะรับสัญญาณเข้าที่ วงจรรับสัญญาณ FM Tuner ที่นศ.ต้องปรับช่องสัญญาณ ให้ตรงกับช่วงความถี่ของภาคส่ง แต่ด้วยสัญญาณมีการลดทอนและมีสัญญาณรบกวนในช่องส่งสัญญาณสูง จึงต้องนำสัญญาณที่รับได้ ต่อเข้าวงจร Power Amp เพื่อทำการลดสัญญาณรบกวนและขยายสัญญาณด้วยกำลัง 15 W จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ต่อเข้า Analog Port ของ Arduino ซึ่งจะทำการสุ่มวัดค่า (Sampling) และ จัดระดับสัญญาณใหม่ (Quantization) ตามเงื่อนไขของ Analog-To-Digital Converter (ADC) ที่ขา Analog Port ของ Arduino โดย Arduino Uno R3 ที่ใช้ในการทดลอง จะทำการจัดระดับเป็นดิจิทัล 10 บิต ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 1023]$  จากนั้นเขียนโปรแกรมที่ Arduino ให้นำค่า Amplitude ของ Sampling นั้น มาแปลงกลับเป็นข้อมูลดิจิทัล และแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ฝั่งรับ

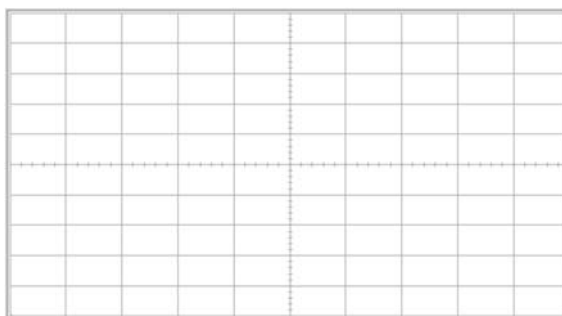


รูปที่ 10.7

- เขียนโปรแกรมภาคส่ง (Tx) ส่วนส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ให้กับ Arduino เพื่อทำการสร้างสัญญาณดิจิทัลมอดูเลชัน ผ่าน DAC ให้กับวงจร FM wireless transmission module โดยกำหนดให้สามารถเลือกรูปแบบการมอดูเลตสัญญาณแบบ 4-ASK modulation หรือ 4-FSK Modulation (ใช้พื้นฐานการเขียนโปรแกรมในการทดลองส่งสัญญาณ ASK และ FSK modulation ครั้งก่อน)
- ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณที่ได้จาก DAC วาดรูปสัญญาณที่วัดได้ พร้อมระบุค่า Volt/Div (ช่อง) และ Time/Div (ช่อง)



- เลือกความถี่ FM ที่ต้องการใช้ส่งสัญญาณ \_\_\_\_\_ Hz
- ปรับวงจรรับสัญญาณ FM Tuner ให้รับสัญญาณได้ใกล้เคียงกับสัญญาณในข้อ 2 มากที่สุด โดยดูจากสัญญาณที่วัดได้จาก Oscilloscope วาดรูปสัญญาณที่วัดได้



- เขียนโปรแกรมภาครับ (Rx) โดยเขียนให้รับสัญญาณจาก Analog port ของ Arduino โดยสามารถเลือกได้ว่าจะรับสัญญาณการมอดูเลตแบบ 4-ASK modulation หรือ 4-FSK Modulation (ใช้พื้นฐานการเขียนโปรแกรมในการทดลองรับสัญญาณ ASK และ FSK modulation ครั้งก่อน) นำสัญญาณที่รับได้ มาทำการถอดข้อมูลดิจิทัลและส่งไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์
- ให้ นศ. ทดลองส่งสัญญาณ 4-ASK modulation จากนั้นนับจำนวนบิตผิดพลาด \_\_\_\_\_ บิต จากที่ส่งทั้งหมด \_\_\_\_\_ บิต อัตราความผิดพลาด (จำนวนบิตผิดพลาด / จำนวนบิตที่ส่งทั้งหมด) \_\_\_\_\_

7. ส่งสัญญาณ 4-FSK modulation ให้ นศ. นับจำนวนบิตผิดพลาด \_\_\_\_\_ บิต จากที่ส่งทั้งหมด \_\_\_\_\_ บิต อัตราความผิดพลาด (จำนวนบิตผิดพลาด / จำนวนบิตที่ส่งทั้งหมด) \_\_\_\_\_

8. ถ้ามีสิ่งกีดขวางระหว่างภาคส่งและภาครับ จะมีผลทำให้จำนวนบิตผิดพลาดเปลี่ยนไปหรือไม่ อย่างไร

---

---

---

9. นศ. คิดว่าต้องทำอะไร จึงจะทำให้การรับส่งข้อมูลนี้เป็นไปได้อย่างถูกต้อง

---

---

---

.....

ลายเซ็นอาจารย์ผู้ตรวจการทดลอง