

Digital modulation

1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทำความเข้าใจในวิธีการส่งสัญญาณดิจิทัลแบบพาสแบนด์
2. สามารถประยุกต์การใช้งานในระบบสื่อสารด้วยการส่งสัญญาณแบบพาสแบนด์

2 ทฤษฎี

2.1 การส่งสัญญาณดิจิทัลแบบพาสแบนด์

สัญญาณดิจิทัลนั้น ถ้าส่งผ่านสายนำสัญญาณ อาจจะส่งในรูปสัญญาณเบสแบนด์ได้ แต่เมื่อต้องการส่งโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ไมโครเวฟและแสงเลเซอร์ เป็นต้น ต้องทำการมอดูเลตเข้ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเช่นเดียวกับการส่งสัญญาณอนาล็อก การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลนั้นจะเป็นการนำสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการส่งไปเปลี่ยนแปลงสัญญาณ Carrier ซึ่งก็หมายถึงอาจจะเปลี่ยนขนาด ความถี่ หรือเฟสของสัญญาณ Carrier ตามสัญญาณดิจิทัลที่เข้ามามอดูเลต การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลเข้ากับสัญญาณ Carrier นี้ เราสามารถใช้สัญญาณ 1 สัญญาณแทนสัญญาณดิจิทัล 1 บิต หรือมากกว่าก็ได้ ดังนั้น ถ้าเป็นสัญญาณไบนารี ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล 1 บิต สัญญาณ Carrier ที่ถูกมอดูเลตแล้วก็จะมีย่านน้อย 2^N แบบด้วยกัน ในการพิจารณาว่า การมอดูเลตแบบไหนมีประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์มากกว่ากันนั้น เราอาจดูได้จากอัตราข้อมูลที่สามารถส่งได้ต่อแบนด์วิดท์ 1 Hz กล่าวคือถ้าให้ R_B bps เป็นอัตราข้อมูลที่สามารถส่งได้โดยใช้แบนด์วิดท์กว้าง B_T Hz ประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ η_B จะเขียนได้ดังนี้

$$\eta_B = \frac{R_B}{B_T} \quad \text{bps/Hz} \quad (1)$$

สัญญาณที่มอดูเลตแล้วจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัญญาณอินเฟส และสัญญาณควอดราเจอร์เฟสเสมอ ดังนี้

$$x_c(t) = A_c [x_i(t) \cos(\omega_c t + \theta) - x_q(t) \sin(\omega_c t + \theta)] \quad (2)$$

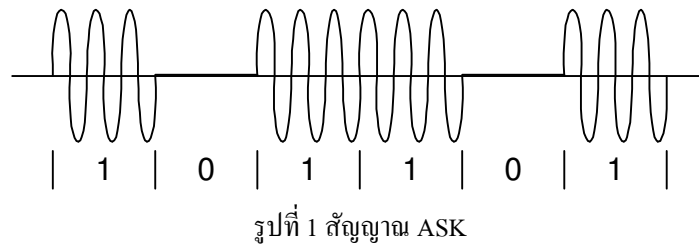
โดยที่ $\cos(\omega_c t + \theta)$ และ $\sin(\omega_c t + \theta)$ เป็น Carrier อินเฟส และ Carrier ควอดราเจอร์เฟส ตามลำดับ ขั้วสารของสัญญาณเบสแบนด์จะอยู่ใน $x_i(t)$ และ $x_q(t)$ ซึ่งเป็นส่วนประกอบอินเฟส และส่วนประกอบควอดราเจอร์เฟสตามลำดับ

2.2 การมอดูเลตโดยเปลี่ยนขนาดของ Carrier (Amplitude-shift keying ; ASK)

การมอดูเลตโดยการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณ Carrier นั้น มีหลักการง่าย ๆ คือ ทำการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณ Carrier เมื่อข้อมูลที่จะส่งเปลี่ยนไป

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของ ASK เรียกว่า *ON-OFF Keying (OOK)* ซึ่งมีวิธีการง่าย ๆ คือ เครื่องส่งจะส่งสัญญาณ Carrier ทุกครั้งที่ข้อมูลเป็น 1 และจะไม่ทำการส่งสัญญาณใด ๆ เมื่อข้อมูลเป็น 0 กล่าวคือ สัญญาณ Carrier จะถูกส่งเมื่อข้อมูลเป็น 1 เท่านั้น วิธี OOK นี้ นิยมใช้กันมากในการส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ออปติก โดยจะส่องแสงเมื่อข้อมูลเป็น 1 (ON) และไม่ส่องเมื่อข้อมูลเป็น 0 (OFF)

การมอดูเลตดังกล่าวข้างต้น ทำได้โดยทำการคูณสัญญาณ Carrier กับสัญญาณไลน์โค้ดแบบยูนิโพลาร์ NRZ โดยสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีรูปร่างตามรูปที่ 1



ในการพิจารณาแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่มีการทำ ASK นี้จะทำได้แบบเดียวกับสัญญาณ AM โดยทั่วไป ในกรณีของสัญญาณยูนิโพลาร์ NRZ 2 ระดับตามรูปนั้น เราสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

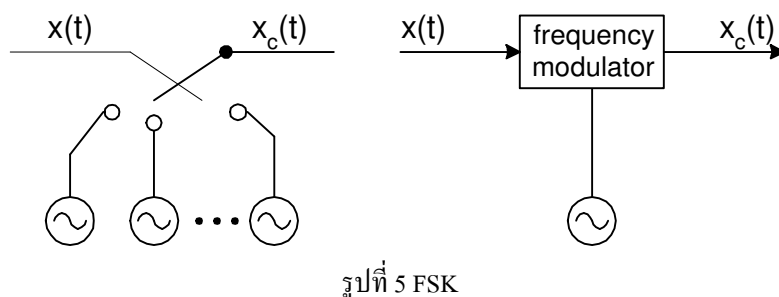
$$x_c(t) = A_c [1 + x(t)] \cos \omega_c t \quad (3)$$

2.3 การมอดูเลตโดยการเปลี่ยนความถี่ของ Carrier (Frequency-shift keying)

การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลโดยการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ Carrier นั้น อาจจะทำให้ได้ 2 วิธีด้วยกันตามรูปที่ 5 ซึ่งวิธีแรกเป็นการใช้สวิตช์ตอบสนองสัญญาณดิจิทัลแล้วทำการเลือกออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ที่ต้องการ ซึ่งจำนวนของออสซิลเลเตอร์ที่เตรียมไว้จะต้องเท่ากับจำนวนของระดับสัญญาณ การมอดูเลตวิธีนี้เฟสของสัญญาณแต่ละช่วงจะไม่ต่อเนื่องกันเพราะมาจาก ออสซิลเลเตอร์คนละชุดกัน วิธีนี้โดยทั่วไปเรียกว่า FSK (frequency shift keying) สำหรับวิธีที่สองนั้นเป็นการมอดูเลตสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ตัวเดียวกัน เพราะฉะนั้นเฟสของสัญญาณจึงต่อเนื่องกัน บางครั้งจะถูกเรียกว่า CPFSK (continuous-phase frequency shift keying) สัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตด้วยวิธีนี้ใน Time Domain จะเขียนได้ดังนี้

$$X_c(t) = A_c \sum_k \cos(\omega_c t + \theta + a_k \omega_d t) p(t - kD) \quad (6)$$

โดยที่ $a_k \omega_d$ เป็นความถี่ที่เลื่อนออกไปจากความถี่ Carrier และ a_k แสดงระดับสัญญาณดิจิทัล โดยมีค่าเป็น $\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)$ นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณที่อยู่ติดจากกันจะห่างกัน $2f_d$



2.4 Line Coding

ในการส่งข้อมูลดิจิทัล เราจะต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะได้ส่งผ่านสายส่งต่อไปได้ และเมื่อถึง Receiver สัญญาณที่ส่งก็จะถูกแปลงกลับเป็นข้อมูล โดย Receiver จะต้องรู้สิ่งต่อไปนี้ จึงจะทำการแปลงสัญญาณกลับเป็นข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

1. Timing ของแต่ละ Bit กล่าวคือ Receiver จะต้องรู้ว่า แต่ละ bit เริ่มต้นและสิ้นสุด ณ เวลาใด

2. ขนาดของสัญญาณที่ใช้แทนค่า 0 และ 1

ปัจจัยที่จะใช้ในการออกแบบวิธีสำหรับ Line Coding มีดังต่อไปนี้

1. **Signal spectrum** กล่าวคือ ถ้าไม่มี High Frequency Component ก็จะลดขนาดของ Bandwidth ได้ และถ้าจะให้ดี ก็ควรที่จะไม่มี DC Component ด้วย เพราะทำให้ง่ายต่อการส่งยิ่งขึ้น นอกจากนี้ Signal Distortion และ Interference จะขึ้นกับ Signal Spectrum ของสัญญาณที่ส่ง
2. **Clocking** วิธีที่ดี จะช่วยให้ Receiver รู้ตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละ bit ได้ง่ายขึ้น
3. **Error Detection** สัญญาณที่ดี จะมีกลไกการค้นหา Error ในสัญญาณเอง ซึ่งทำให้การสื่อสารมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
4. **Cost and Complexity** สัญญาณที่ซับซ้อน จะมีผลทำให้ Signaling Rate สูงขึ้น และมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น

วิธีที่นิยมใช้ใน Line Coding ได้แก่

1. **Non-Return-to-Zero (Level) - NRZ(L)** เป็นแบบที่ธรรมดาที่สุด กล่าวคือ ใช้ระดับ Low แทน bit 0 และระดับ High แทน bit 1
2. **Non-Return-to-Zero (Mark) - NRZ(M)** คล้ายกับ NRZ(L) ต่างกันตรงที่ระดับของสัญญาณจะเปลี่ยนเมื่อเป็น bit 1 และไม่เปลี่ยนเมื่อเป็น bit 0
3. **Return-to-Zero - RZ** คล้ายกับ NRZ(L) แต่จะทำการแบ่งช่วงของแต่ละ bit เป็น 2 ช่วง ข้อมูลจะอยู่เฉพาะครึ่งแรกของแต่ละ bit และครึ่งหลังจะเป็นสัญญาณ 'zero' เสมอ
4. **Biphase (Manchester)** คล้ายกับ RZ โดยทำการแบ่งช่วงของแต่ละ bit เป็น 2 ช่วง ใช้ระดับ LOW-HIGH แทน bit 0 และระดับ HIGH-LOW แทน bit 1
5. **Biphase (MARK)** มีลักษณะเหมือนกับ NRZ(M) ที่แบ่งช่วงของแต่ละ bit เป็น 2 ช่วง โดยสัญญาณจะเปลี่ยนเมื่อเป็น bit 1 และไม่เปลี่ยนเมื่อเป็น bit 0
6. **Return-to-Bias - RB** คล้ายกับ RZ ที่ข้อมูลจะอยู่เฉพาะครึ่งแรกของแต่ละ bit เพียงแต่ bit 1 จะแทนด้วยระดับบวก และ bit 0 จะแทนด้วยระดับลบ
7. **Alternate Mark Inversion - AMI** คล้ายกับ Biphase (MARK) เพียงแต่จะใช้ 3 ระดับในการแสดง bit 0 จะแทนด้วยระดับ bias และ bit 1 จะแทนโดยการสลับระดับของ bit 1 ตัวที่แล้ว

3 คำถามก่อนการทดลอง

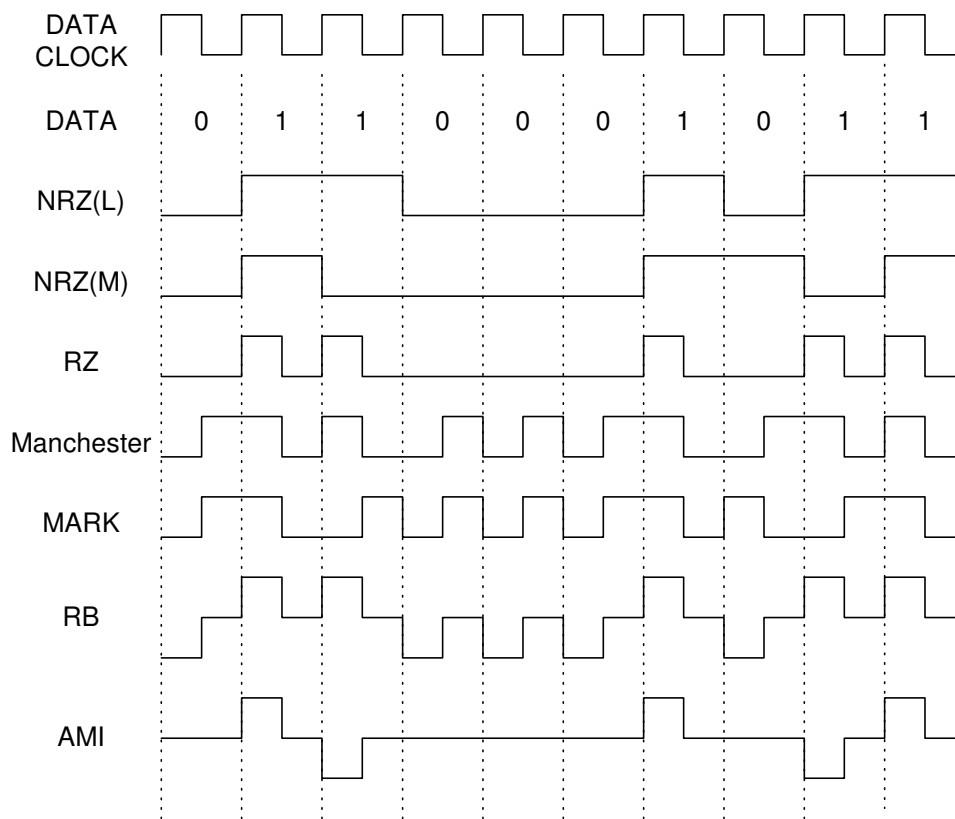
จงอธิบายความจำเป็นและการประยุกต์ใช้ของ Digital Modulation พร้อมยกตัวอย่างประกอบการอธิบาย

4 อุปกรณ์

1. Oscilloscope
2. Power supply
3. MIDI COM 3/1
4. MIDI COM 3/2
5. MIDI COM 5/1

6. MIDI COM 5/2

7. Connection Lead



รูปที่ 6 สัญญาณ Line Coding แบบต่าง ๆ

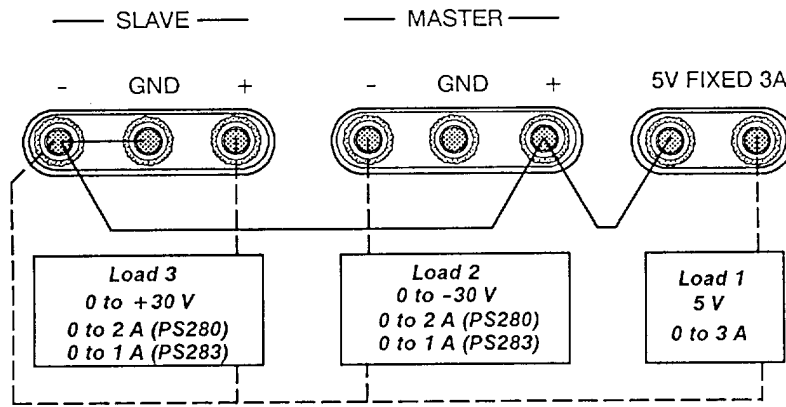
5 การทดลอง

ข้อปฏิบัติในการทดลอง

1. จะต้องแน่ใจเสียก่อนว่า ต่อสาย Power Supply ถูกต้อง (ตามรูปที่ 7, 8) จึงจะทำการเปิดเครื่อง Power Supply
2. ในการวัดสัญญาณ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสัญญาณในจุดต่าง ๆ ได้ จะต้องทำการวัดในช่วงบิตที่มีค่าเดียวกัน (Bit Stream เดียวกัน) ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าทำการวัดที่ Bit Stream 0 1 0 1 0 1 0 1 ขอให้วัดที่ Bit Stream นี้ ทุกครั้ง โดยไม่จำเป็นต้องบันทึกทั้งหน้าจอของ Oscilloscope
3. ในการบันทึกสัญญาณ ให้บันทึกลงบนกระดาษกราฟทุกครั้ง

5.0 การเตรียมการทดลอง

1. ต่อสาย Power Supply ตามรูปที่ 7
2. ต่อสายจาก Power Supply ไปยังวงจรทั้ง 3 แผงตามรูปที่ 8 ทั้งนี้ ไม่ต้องต่อบอร์ด 3/2
3. กำหนดค่าต่าง ๆ บนบอร์ด 3/1 ให้เป็นดังนี้



รูปที่ 7 การต่อ Power Supply

FAST mode selected ;

SYNC CODE GENERATOR off ;

ERROR CHECK CODE SELECTOR switches in A=0, B=0 positions;

All switched faults off

4. เช็ท MODE switch บนบอร์ด 5/1 ให้อยู่ที่ตำแหน่ง '1'

5. กำหนดค่าต่าง ๆ บนบอร์ด 3/2 ให้เป็นดังนี้

FAST mode selected ;

SYNC CODE DETECTOR on ;

ERROR CHECK CODE SELECTOR switches in A=0, B=0 positions;

All switched faults off

6. ต่อขั้ว 0 volts ของทุกบอร์ดเข้าด้วยกัน

7. เปิดเครื่อง Power Supply

8. ต่อสายสัญญาณต่อไปนี้

- บนบอร์ด MIDICOM 3/1

DC 1 -> CH 0 input

CH 0 input -> CH 1 input

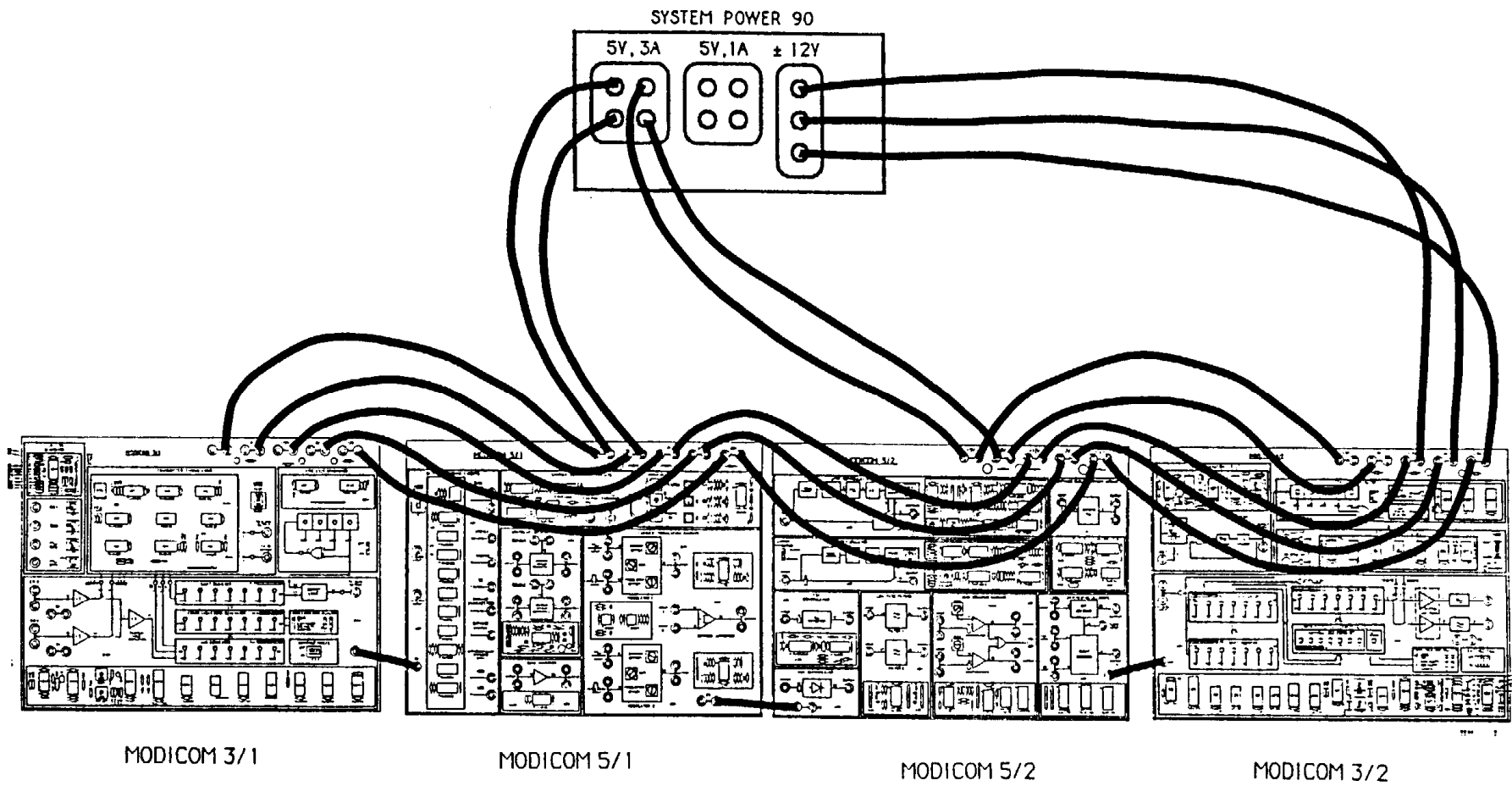
- ระหว่างบอร์ด MIDICOM 3/1 กับ 5/1

TX CLOCK OUTPUT -> TX.CLOCK INPUT

TX. DATA OUTPUT -> TX.DATA INPUT

9. ต่อ External Trigger ของเครื่อง Oscilloscope เข้ากับ TX.TO OUTPUT (3/1-t.p.4) และเช็ท Oscilloscope ให้เป็น **negative edge triggering**

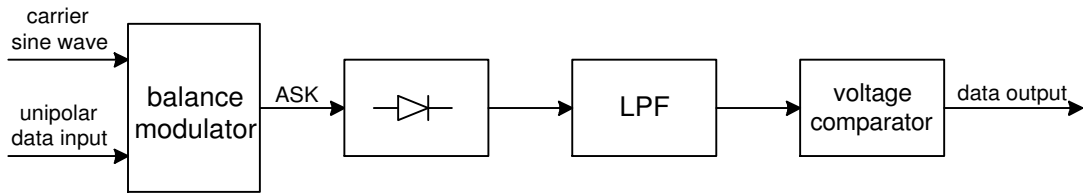
10. บนบอร์ด MIDICOM 3/1 ปรับปุ่ม DC 1 preset จนกว่า LED ของ A/D CONVERTER จะเป็น 0 1 0 0 1 1 (D6 = 0, D0 = 1)



รูปที่ 8 การต่อสายจาก Power Supply

5.1 ASK

ระบบ ASK ที่ใช้ในการทดลองนี้ จะประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังรูปที่ 9



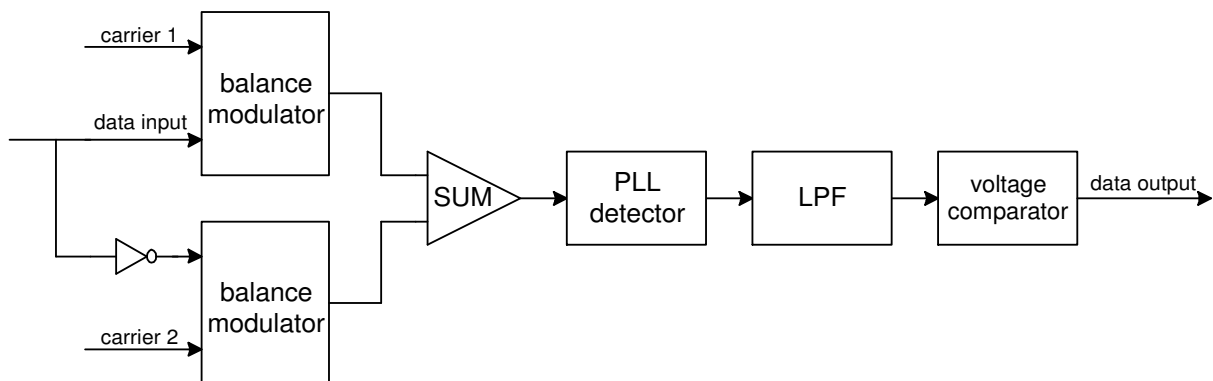
รูปที่ 9 ASK System Block Diagram

1. ต้องจตามรูปที่ 11
2. วัดสัญญาณ ASK (5/1-t.p. 30) แล้วทำการปรับสัญญาณ โดยใช้ปุ่มต่อไปนี้
 - MODULATION OFFSET ใช้สำหรับปรับค่า Amplitude ของสัญญาณ 'off' ปรับให้สัญญาณ 'off' ใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด
 - CARRIER OFFSET ใช้สำหรับปรับ bias level ของสัญญาณ 'off' ปรับให้ระดับของ 'off' อยู่กึ่ง กลางระหว่าง peak ของสัญญาณ 'on'
 - GAIN ใช้ปรับ Amplitude ของ Output ปรับจนกว่าจะได้ 2 volts pk-pk
3. เปรียบเทียบสัญญาณ NRZ(L) กับสัญญาณ ASK แล้วทำการวัดสัญญาณ ASK ด้วย Spectrum Analyzer
4. วัดและบันทึกสัญญาณ output ของ ASK Demodulator (5/2-t.p.22), Output ของ Low Pass Filters (5/2-t.p.24) และ Output ของ Comparator 1 (5/2-t.p.33) ถ้าจำเป็น ปรับปุ่ม BIAS preset ของ Comparator 1 จนกว่าสัญญาณจะมีลักษณะเหมือนกับ NRZ(L) เปรียบเทียบสัญญาณนี้ กับ NRZ(L) (5/1-t.p.5)

5.2 FSK

ระบบ FSK ที่ใช้ในการทดลองนี้ จะเป็นดังรูปที่ 10

1. ต้องจตามรูปที่ 12

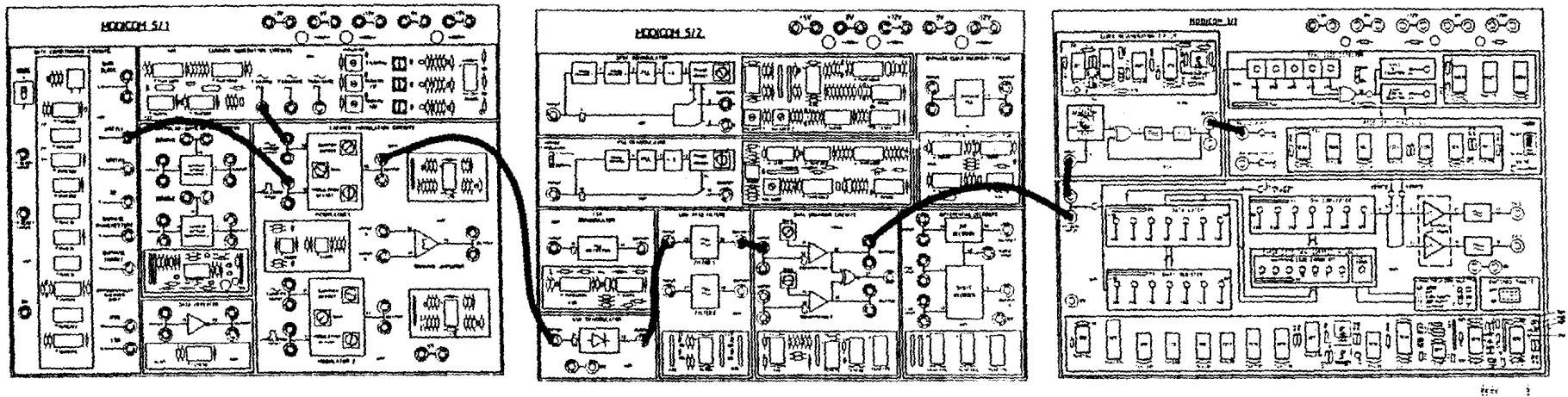


รูปที่ 10 FSK System Block Diagram

2. วัดสัญญาณ output ของ Modulator 1 (5/1-t.p.30) แล้วทำการปรับสัญญาณ โดยใช้ปุ่มต่อไปนี้
 - MODULATION OFFSET ใช้สำหรับปรับค่า Amplitude ของสัญญาณ 'off' ปรับให้สัญญาณ 'off' ใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด
 - CARRIER OFFSET ใช้สำหรับปรับ bias level ของสัญญาณ 'off' ปรับให้ระดับของ 'off' อยู่กึ่ง กลางระหว่าง peak ของสัญญาณ 'on'
 - GAIN ใช้ปรับ Amplitude ของ Output ปรับจนกว่าจะได้ 2 volts pk-pk
3. วัดสัญญาณ output ของ Modulator 2 (5/1-t.p. 33) แล้วทำการปรับสัญญาณเหมือนข้อ 2
4. วัดและบันทึกสัญญาณ output ของ Summing Amplifier Block (5/1-t.p.36) ถ้าจำเป็น ปรับปุ่ม GAIN ของ MODULATOR ทั้ง 2 อันให้ Amplitude เป็น $2 V_{p-p}$
5. เปรียบเทียบสัญญาณ NRZ(L) กับสัญญาณ FSK แล้วทำการวัดสัญญาณ FSK ด้วย Spectrum Analyzer
6. วัดและบันทึกสัญญาณ output ของ FSK Demodulator (5/2-t.p.17), Output ของ Low Pass Filters (5/2-t.p.24) และ Output ของ Comparator 1 (5/2-t.p.33) ถ้าจำเป็น ปรับปุ่ม BIAS preset ของ Comparator 1 จนกว่าสัญญาณจะมีลักษณะเหมือนกับ NRZ(L) เปรียบเทียบสัญญาณนี้ กับ NRZ(L) (5/1-t.p.5)

6 คำถามท้ายการทดลอง

1. การทดลองทั้ง ASK และ FSK จะเป็นลักษณะของการต่อใช้งานจริงเมื่อสัญญาณอินพุตมี 2 ระดับ จงวิเคราะห์ว่า ถ้าสัญญาณอินพุตมีมากกว่า 2 ระดับ หลักการต่อวงจรดังกล่าวจะยังคงใช้งานได้หรือไม่
2. จงเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ ASK และ FSK
3. จงอธิบายวิธีการดีมอดูเลตสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแบบ ASK และ FSK

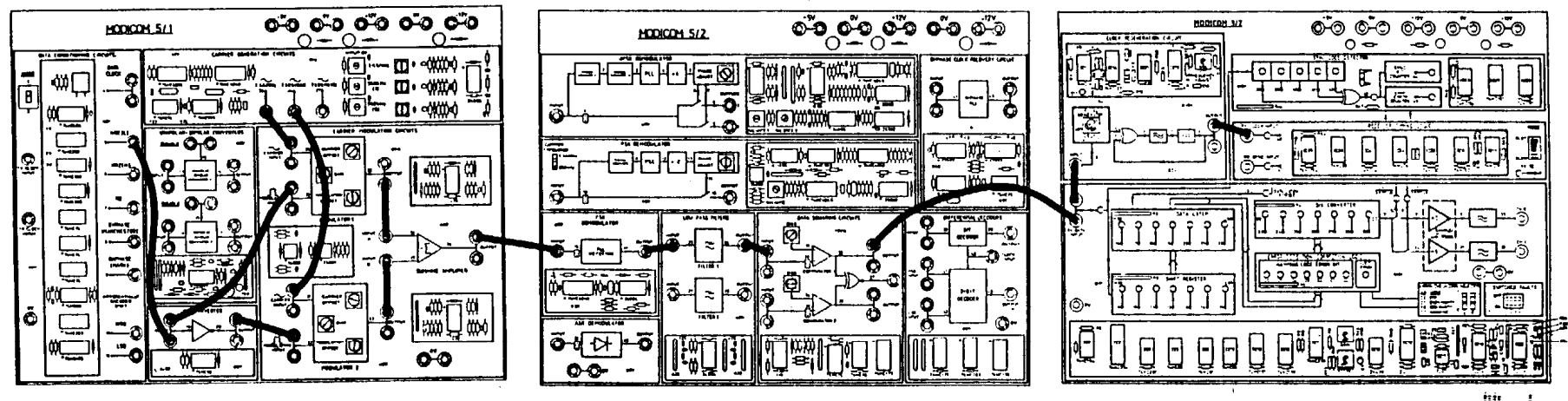


MODICOM
5/1

MODICOM
5/2

MODICOM
3/2

รูปที่ 11 การทดลอง ASK



MODICOM
5/1

MODICOM
5/2

MODICOM
3/2

รูปที่ 12 การทดลอง FSK