

การทดลองที่ 4 เรื่อง การมอดูเลตและดีมอดูเลต แบบ AM และ ASK (AM and ASK Modulator and Demodulator)

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

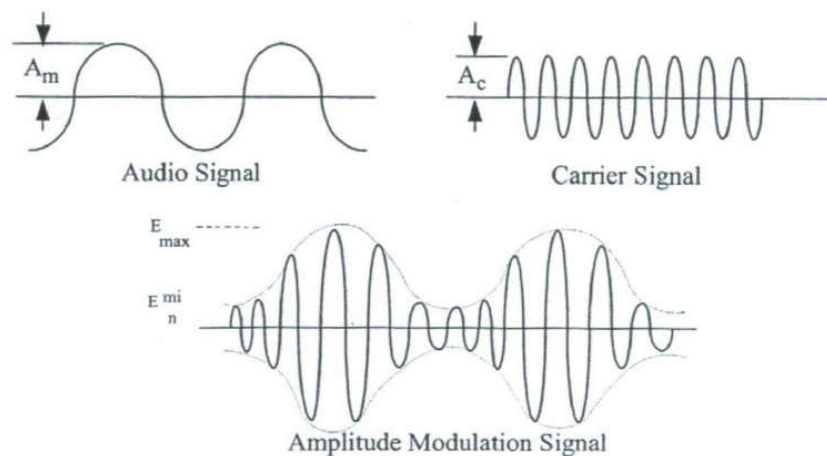
1. เพื่อศึกษาการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM และ ASK
2. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM และ ASK
3. เพื่อศึกษาการวัดและปรับการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM และ ASK

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. หลักการทำงานของมอดูเลตแบบ AM

การมอดูเลตทางแอมพลิจูดเป็นการมอดูเลตแอมพลิจูดสัญญาณเสียง (Audio signal) กับแอมพลิจูดสัญญาณพาหะ (Carrier signal) ทำให้แอมพลิจูดสัญญาณพาหะเปลี่ยนไปตามขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเสียง รูปสัญญาณการมอดูเลตทางแอมพลิจูดแสดงดังรูปที่ 4-1 เมื่อสัญญาณเสียง คือ $A_m \cos(2\pi f_m t)$ และสัญญาณพาหะ คือ $A_c \cos(2\pi f_c t)$ ดังนั้นการมอดูเลตทางแอมพลิจูด คือ

$$X_{AM}(t) = A_{DC} A_C [1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (4-1)$$



รูปที่ 4-1 รูปสัญญาณการมอดูเลตทางแอมพลิจูด

ที่

$$M = A_m / A_{DC}$$

A_{DC} : DC signal magnitude.

A_m : Audio signal amplitude.

A_c : Carrier signal amplitude.

f_m : Audio signal frequency.

f_c : Carrier signal frequency.

m : Modulation index or depth of modulation.

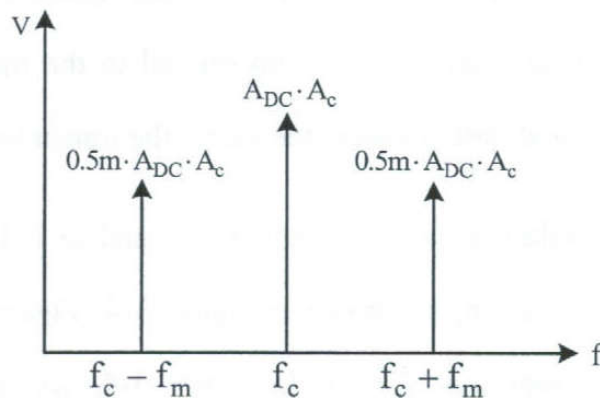
สามารถเขียนสมการ (4-1) ได้เป็น

$$X_{AM}(t) = \frac{1}{2} A_{DC} A_c m \{ \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \} + A_{DC} A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (4-2)$$

เทอมแรกของสมการ คือ ไซด์แบนด์คู่ (Double sideband signals) ส่วนเทอมที่สอง คือ สัญญาณพาหะนั้นเอง จากสมการ (4-2) สามารถเขียนสเปกตรัมความถี่ (Frequency spectrum) ของการมอดูเลตทางแอมพลิจูดได้ดังรูปที่ 4-2 โดยสัญญาณเสียงจะอยู่รวมในสัญญาณไซด์แบนด์คู่ ไม่ได้อยู่ในสัญญาณพาหะ กำลังคลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการส่งผ่านการมอดูเลตทางแอมพลิจูด ทั้งนี้ประสิทธิภาพการส่งผ่านของการมอดูเลตทางแอมพลิจูดจะต่ำกว่าแบบ Double Sidebands Suppressed Carrier (DSB-SC) แต่จะมีโครงสร้างวงจรที่ง่ายกว่า

จากสมการ (4-1) มีตัวแปรที่สำคัญ คือ m ที่เรียกว่า ดัชนีการมอดูเลต หรือ ความลึกของการมอดูเลต (Depth of modulation) นิยมแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ เรียกว่า เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต (Modulation percentage) นิยามด้วย

$$m = \frac{\text{Audiosignal amplitude}}{\text{DC signal magnitude}} \times 100\% = \frac{A_m}{A_{DC}} \times 100\% \quad (4-3)$$



รูปที่ 4-2 สเปกตรัมสเปกตรัมความถี่ของการมอดูเลตทางแอมพลิจูด

เนื่องจากการวัดค่าขนาดของสัญญาณไฟกระแสดตรง (DC) ทำได้ยาก จึงจัดรูปสมการใหม่เป็น

$$m = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\% \quad (4-4)$$

ที่ E_{\max} และ E_{\min} มีลักษณะที่แสดงในรูปที่ 4-1 ซึ่ง $E_{\max} = A_c + A_m$ และ $E_{\min} = A_c - A_m$

ในการมอดูเลตทางแอมพลิจูดนั้น สัญญาณเสียงจะอยู่ในส่วนไซด์แบนด์คู่ ทำให้สัญญาณไซด์แบนด์คู่มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านดี จากสมการ (4-2) สัญญาณไซด์แบนด์คู่จะสัมพันธ์กับดัชนีการมอดูเลต เมื่อดัชนีการมอดูเลตที่มีค่ามาก การส่งผ่านก็มีประสิทธิภาพดีค่าดัชนีการมอดูเลตโดยปกติ จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ถ้าหากมีค่ามากกว่าจะเรียกว่า การมอดูเลตเกิน (Over modulation) ซึ่งจะ

เห็นได้ว่าสัญญาณพาหะไม่อยู่ในรูปแบบไซน์ โดยรูปสัญญาณแบบนี้จะไม่สามารถทำการดีมอดูเลต (Demodulate) ได้

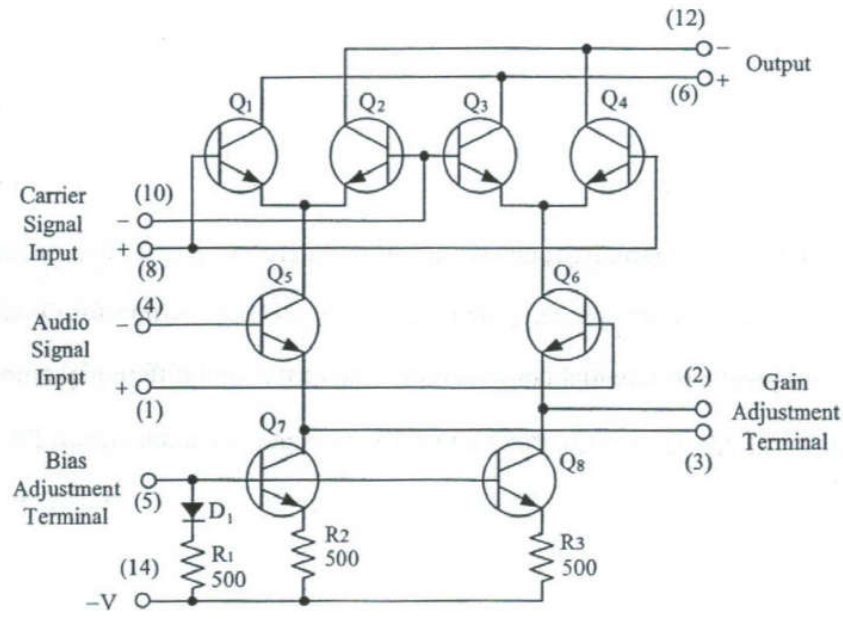
2. การออกแบบและสร้างตัวมอดูเลตทางแอมพลิฟิเคชัน

ในการทดลองนี้ เป็นการออกแบบการมอดูเลตทางแอมพลิฟิเคชันโดยใช้บาลานซ์มอดูเลเตอร์ MC1496 ที่สามารถ ทำการคูณความถี่, มอดูเลตแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการมอดูเลตทางแอมพลิฟิเคชัน หรือแบบ DSB-SC โดยลักษณะสัญญาณขาเข้า ขาออก และลักษณะวงจรของบาลานซ์มอดูเลเตอร์มี ลักษณะเป็นดังตารางที่ 4-1

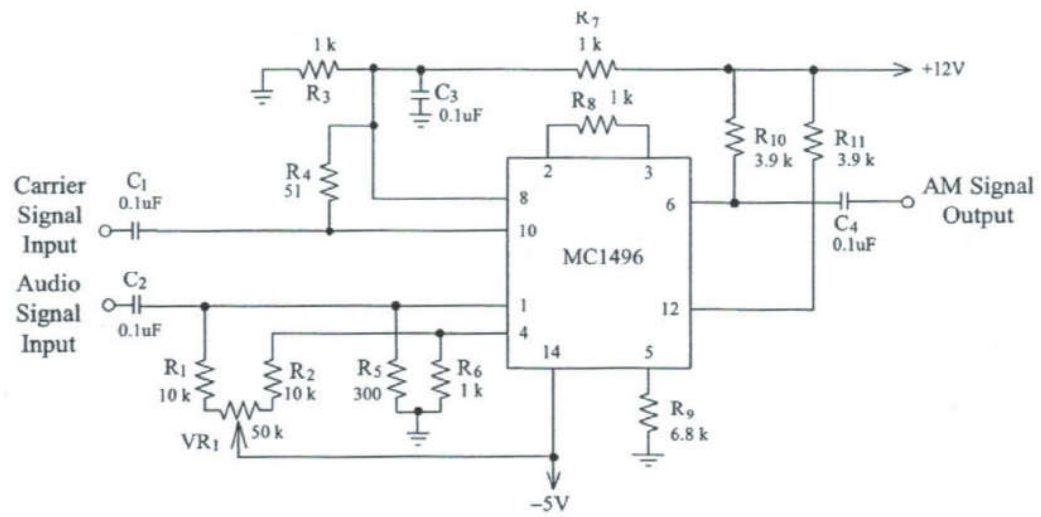
ตารางที่ 4-1 ลักษณะสัญญาณขาเข้า ขาออก และลักษณะวงจรของบาลานซ์มอดูเลเตอร์แบบต่าง ๆ

Input Carrier Signal	Input Audio Signal	Output Balanced Modulator	Circuit Characteristics
f_c	f_c	$2f_c$	Frequency Multiplier
f_c	f_m	$f_c, f_c + f_m, f_c - f_m$	Amplitude Modulator
f_c	f_m	$f_c + f_m, f_c - f_m$	DSB-SC Modulator

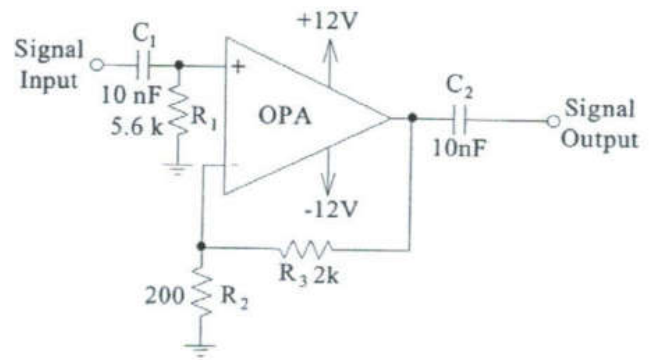
โครงสร้างวงจรภายในของ MC1496 มีลักษณะดังรูปที่ 4-3 โดย ไดโอด D1, ตัวต้านทาน R1, R2, R3 และทรานซิสเตอร์ Q7, Q8 ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส เมื่อทำการไบแอส ทรานซิสเตอร์ Q5, Q6, จะทำหน้าที่เป็นขั้ววงจรขยายแบบผลต่างสองวงจร (Dual differential amplifier) ที่สร้างจาก ทรานซิสเตอร์ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ตำแหน่งขาที่ 1 และ 4 เป็นทางเข้าสัญญาณเสียงขาเข้า และ ขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายแบบผลต่างที่สร้างด้วยทรานซิสเตอร์ Q5 และ Q6 ส่วนตำแหน่งขา 8 และ 10 เป็นทางเข้าสัญญาณพาหะขาเข้า และนำสัญญาณนั้นมาทำการคูณกับสัญญาณเสียงที่ได้รับ การขยายแล้ววงจรขยายแบบผลต่างสองวงจร สัญญาณขาออกที่ได้จากขาคอลเลคเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ตัวต้านทานที่อยู่ระหว่างขา 2 และ 3 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม อัตราขยายของบาลานซ์มอดูเลเตอร์ ส่วนตัวต้านทานที่ขา 5 เป็นตัวกำหนดขนาดกระแสไบแอส วงจรขยาย โครงสร้างวงจรมอดูเลตทางแอมพลิฟิเคชันมีลักษณะดังรูปที่ 4-4 โดยสัญญาณขาเข้าของทั้ง สัญญาณเสียงและพาหะมีลักษณะเป็นแบบ Single ended มีสัญญาณพาหะขาเข้าที่ขา 10 และ สัญญาณเสียงขาเข้าที่ขา 1 ตัวต้านทาน R8 เป็นตัวควบคุมอัตราขยายของวงจร และตัวต้านทาน R9 เป็นตัวกำหนดขนาดของกระแสไบแอส เมื่อทำการปรับตัวต้านทาน VR1 หรือเปลี่ยนขนาด สัญญาณเสียงขาเข้า จะเป็นการปรับเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตของการมอดูเลตทางแอมพลิฟิเคชัน โดย สัญญาณที่ได้จากบาลานซ์มอดูเลเตอร์นี้มีขนาดเล็กจึงต้องทำการขยายสัญญาณ โดยใช้วงจรขยาย สัญญาณแบบ non-inverting ดังรูปที่ 4-5 ที่มีอัตราขยายประมาณ 11



รูปที่ 4-3 โครงสร้างวงจรรภายในของ MC1496



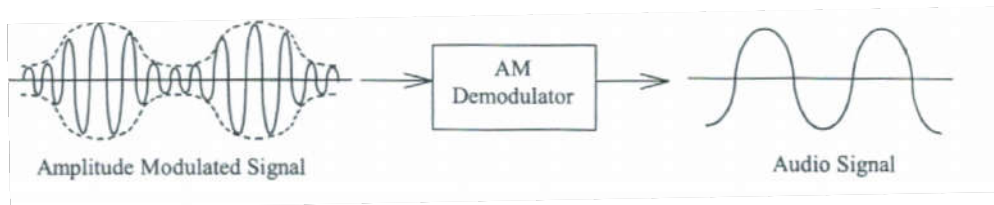
รูปที่ 4-4 วงจรมอดูเลตทางแอมพลิจูด โดยใช้ MC1496



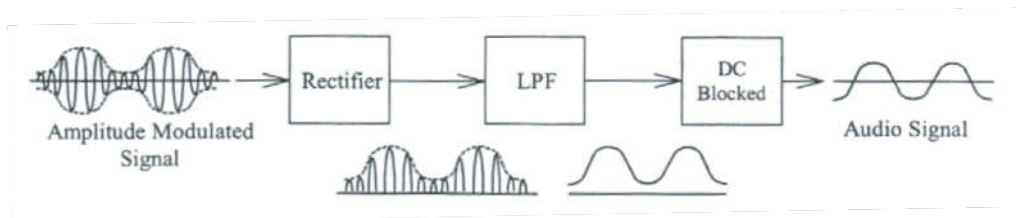
รูปที่ 4-5 วงจรขยายสัญญาณแบบ non-inverting ที่มีอัตราขยายประมาณ 11

3. การออกแบบและสร้างตัวดีมอดูเลตทางแอมพลิจูด

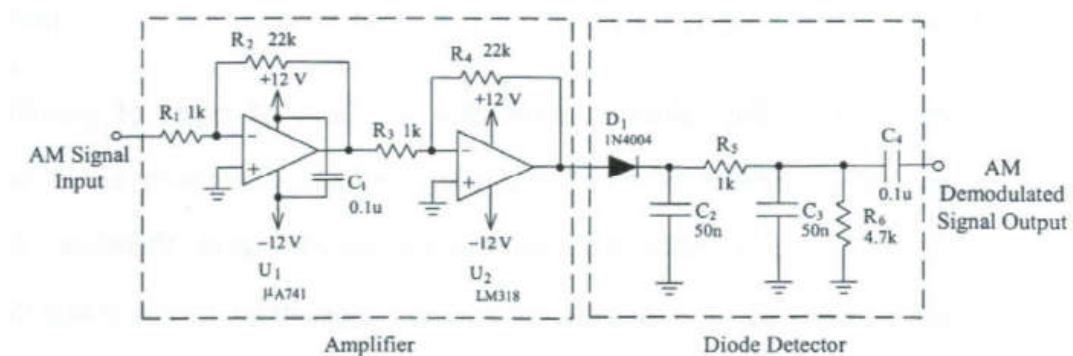
จากที่กล่าวมาถึงการมอดูเลตทางแอมพลิจูด ซึ่งเป็นการมอดูเลตขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเสียง เข้ากับสัญญาณพาหะความถี่สูง เมื่อได้รับสัญญาณมอดูเลต การถอดสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณเสียง ที่ส่งมานั้น เป็นไปตามโครงสร้างในรูปที่ 4-6 ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งตัวถอดสัญญาณเป็น 2 แบบ คือ แบบ ซิงโครนัส (Synchronous detector) และอซิงโครนัส (Asynchronous detector) การมอดูเลต สัญญาณทางแอมพลิจูด ประกอบด้วยสัญญาณเสียงกับสัญญาณพาหะ โดยที่ขนาดแอมพลิจูดของ สัญญาณพาหะจะเป็นไปตามสัญญาณเสียง จุดมุ่งหมายของการดีมอดูเลตทางแอมพลิจูดนั้นก็เพื่อแยก สัญญาณเอนเวลลอป (Envelope) ซึ่งเป็นรูปคลื่นของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณมอดูเลตทางแอมพลิจูด



รูปที่ 4-6 โครงสร้างการดีมอดูเลตทางแอมพลิจูด



รูปที่ 4-7 โครงสร้างการดีมอดูเลตที่มีการเรียงสัญญาณ



รูปที่ 4-8 วงจรไดโอดดีเทคเตอร์

จากรูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างการดีมอดูเลตที่มีการเรียงสัญญาณซึ่งเป็นแบบซิงโครนัส ดีเทคเตอร์ ที่มีการเรียงสัญญาณที่มีการมอดูเลตทางแอมพลิจูด โดยเลือกสัญญาณเพียงครึ่งบวกของสัญญาณ ส่งผ่านไปยังตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ เพื่อถอดสัญญาณ และกำจัดสัญญาณไฟกระชากตรง จนได้สัญญาณเสียงออกมาในที่สุด วงจรไดโอดดีเทคเตอร์ดังรูปที่ 4-8อันประกอบด้วย วงจรขยายแบบ inverting 2 วงจร และวงจรไดโอดดีเทคเตอร์ โดยวงจรขยาย 2 วงจรนั้น ประกอบด้วย ตัวต้านทาน R1, R2, R3, R4 ออปแอมป์ U1, U2 ส่วนวงจรไดโอดดีเทคเตอร์ ประกอบด้วย ตัวไดโอด D1 ทำ

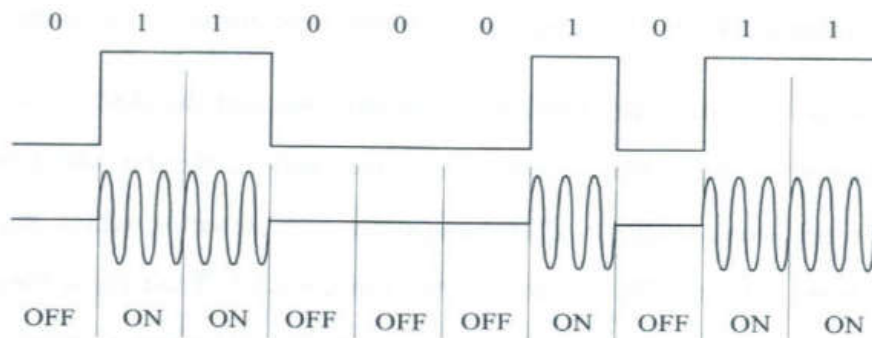
หน้าที่เรียงสัญญาณ เลือกเพียงครึ่งบวกของสัญญาณ และตัวเก็บประจุ C2, C2 กับตัวต้านทาน R5 ที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้ได้สัญญาณเสียงที่มีไฟกระแสดตรงออกมาด้วย จึงต้องมีตัวเก็บประจุ C4 ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไฟกระแสดตรง ทำให้ได้สัญญาณเสียงออกมาที่ช่องทางขาออกของสัญญาณ

4. การออกแบบและสร้างตัวมอดูเลตแบบ ASK

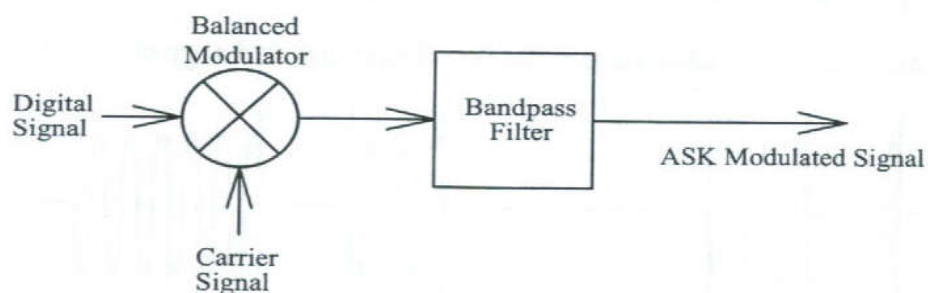
ในระบบสื่อสารดิจิทัลไร้สาย การส่งข้อมูลดิจิทัลโดยตรงทำได้ยาก ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณโดยที่สัญญาณพาหะต้องมีความสามารถในการส่งข้อมูล แต่วิธีหนึ่งที่ช่วยในการส่งสัญญาณนี้ก็คือ การมอดูเลตแบบ ASK (Amplitude Shift Keying) สัญญาณการมอดูเลตแบบ ASK สามารถอธิบายได้ด้วย

$$X_{ASK}(t) = A_i \cos(\omega_c t + \phi_0); \quad 0 \leq t \leq T, \quad i=1,2,\dots, M \quad (4-5)$$

จากสมการ(4-5) ค่าแอมพลิจูด A_i มีจำนวน M ค่า ส่วนค่า ω_c และ ϕ_0 คือ ค่าความถี่คัทออฟและเฟส ถ้าให้ $M = 2$ สัญญาณ $x_{ASK}(t)$ จะส่งผ่านสัญญาณไบนารี ค่าแอมพลิจูด A ที่ $A_1 = 0$ และ $A_2 = A$ เมื่อ A เป็นค่าคงที่ ทั้งนี้สัญญาณการมอดูเลตแบบ ASK มีลักษณะสัญญาณดังรูปที่ 4-9 เมื่อสัญญาณขาเข้ามีค่า 1 ก็จะมีเกิดการส่งสัญญาณ ถ้ามีค่า 0 ก็จะไม่มีการส่งสัญญาณ ซึ่งเรียกว่า “on-off keying” หรือ OOK



รูปที่ 4-9 ลักษณะสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK

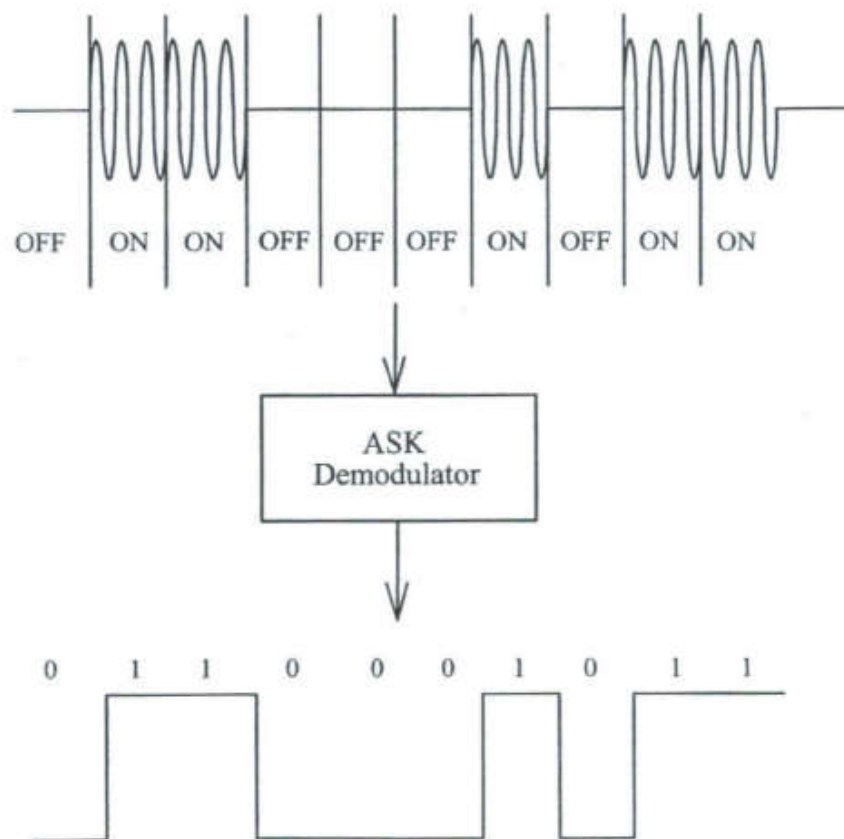


รูปที่ 4-10 โครงสร้างการมอดูเลตแบบ ASK

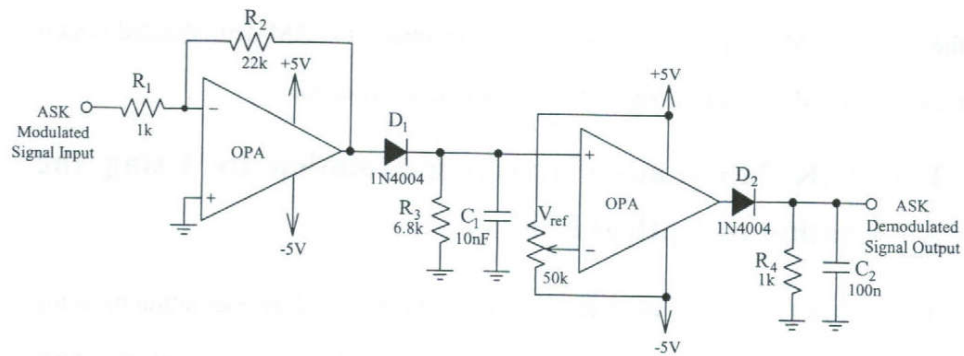
โครงสร้างการมอดูเลตแบบ ASK ดังรูปที่ 4-10 ประกอบด้วย บาลานซ์มอดูเลเตอร์ที่ทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณแบบแอมพลิจูด และตัวกรองสัญญาณแบบผ่านเป็นช่วง เพื่อกำจัดสัญญาณความถี่สูง ทำให้ได้สัญญาณมอดูเลตแบบ ASK ที่สมบูรณ์ การมอดูเลตแบบ AM และ ASK มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน สิ่งที่แตกต่างก็คือ สัญญาณขาเข้า ซึ่งเป็นสัญญาณเสียงกับสัญญาณข้อมูล ส่วนสัญญาณพาหะนั้นเหมือนกัน จึงสามารถใช้วงจรดังรูปที่ 4-4 ในการสร้างสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK ได้

5. การออกแบบและสร้างตัวมอดูเลตแบบ ASK

จากที่กล่าวมาถึงการมอดูเลตทางแอมพลิจูด ซึ่งเป็นการมอดูเลตขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะความถี่สูง ในการรับสัญญาณต้องทำการแปลงสัญญาณให้ได้สัญญาณดิจิทัลข้อมูลกลับมา ซึ่งเรียกว่า การดีมอดูเลต นั่นเอง ซึ่งการดีมอดูเลตแบบ ASK แสดงได้ดังรูปที่ 4-11 ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบซิงโครนัส และอซิงโครนัส



รูปที่ 4-11 โครงสร้างการดีมอดูเลตแบบ ASK

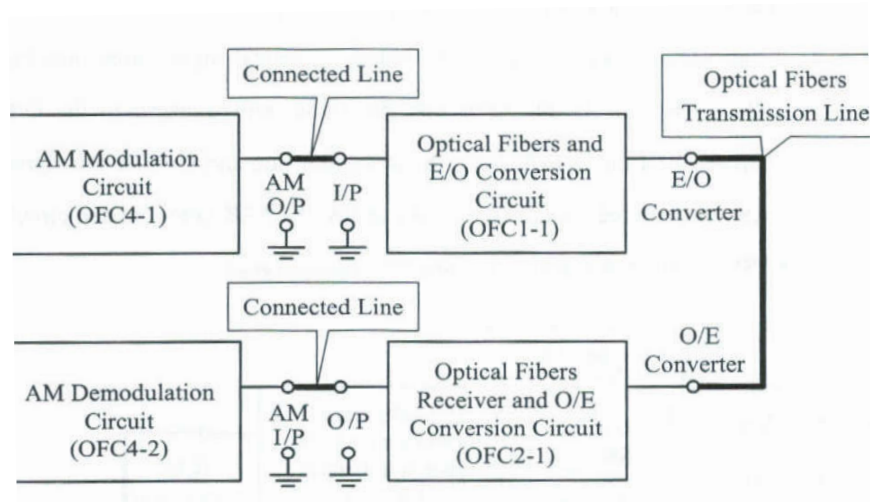


รูปที่ 4-12 วงจร ASK ดีเทคเตอร์แบบอซิงโครนัส

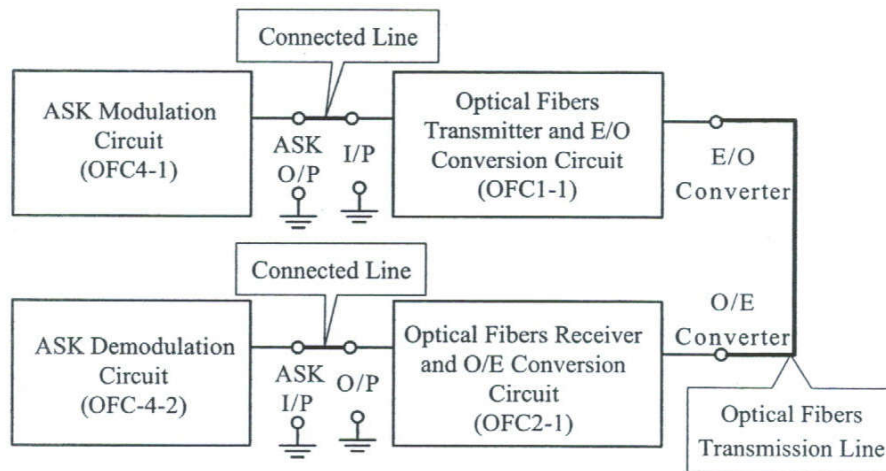
การดีมอดูเลตแบบ ASK ด้วยวิธีไดโอดดีเทคเตอร์ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับการดีมอดูเลตแบบ AM ที่กล่าวมาแล้ว แต่การดีมอดูเลตแบบอซิงโครนัสของสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 4-12 ที่ประกอบด้วยวงจรขยายแบบ inverting ซึ่งสร้างจากตัวต้านทาน R1, R2 และออปแอมป์ U1 แล้วทำการเรียงสัญญาณตัวนำไดโอด D1 ผ่านตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านที่สร้างจากตัวต้านทาน R3 และตัวเก็บประจุ C1 เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ (comparator) ที่สร้างจากออปแอมป์ U2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 ไดโอด D2 ตัวต้านทาน R4 และตัวเก็บประจุ C2 ทำให้สัญญาณข้อมูลออกมาในที่สุด

6. การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM

การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในเชื่อมต่อเพื่อรับส่งสัญญาณการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM แสดงดังรูปที่ 4-13 โดยมีการเชื่อมต่อสัญญาณขาออกของวงจรมอดูเลตแบบ AM เข้ากับตัวส่งสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงแบบอนาล็อก ทำให้สัญญาณมอดูเลตแบบ AM กลายเป็นสัญญาณแสงหลังจากผ่านวงจรแปลง E/O แล้วส่งสัญญาณแสงที่ได้ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปยังตัวรับสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงแบบอนาล็อก ผ่านวงจรแปลง O/E ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงที่ได้เป็นสัญญาณมอดูเลตแบบ AM และในที่สุดเมื่อส่งสัญญาณนี้ผ่านไปยังวงจรมอดูเลตแบบ AM ก็จะได้สัญญาณเสียงออกมาในที่สุด



รูปที่ 4-13 การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM



รูปที่ 4-14 การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ ASK

7. การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ ASK

การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในเชื่อมต่อเพื่อรับส่งสัญญาณการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ ASK แสดงดังรูปที่ 4-14 โดยมีการเชื่อมต่อสัญญาณขาออกของวงจรมอดูเลตแบบ ASK เข้ากับตัวส่งสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงแบบอนาล็อก ทำให้สัญญาณมอดูเลตแบบ ASK กลายเป็นสัญญาณแสง หลังจากผ่านวงจรแปลง E/O แล้วส่งสัญญาณแสงที่ได้ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปยังตัวรับสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงแบบอนาล็อก ผ่านวงจรแปลง O/E ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงที่ได้เป็นสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK และในที่สุดเมื่อส่งสัญญาณนี้ผ่านไปยังวงจรดีมอดูเลตแบบ ASK ก็จะได้สัญญาณข้อมูลดิจิทัลออกมาในที่สุด

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลอง ETEX (Optical Fibers Communication)
2. Oscilloscope แบบสองแชนแนล
3. ดิจิทัลมัลติมิเตอร์
4. DC Power Supply
5. สายต่อวงจร

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1: การมอดูเลตแบบ AM

1. จากวงจรมอดูเลตแบบ AM รูปที่ 4-4 และ 4-5 หรือวงจร OFC4-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04
2. ที่ช่องสัญญาณเสียงขาเข้า I/P2 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 300mV ความถี่ 1 KHz และที่ช่องสัญญาณพาหะขาเข้า I/P1 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 150mV ความถี่ 20 KHz
3. ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณมอดูเลตแบบ AM ที่ TP1 และสัญญาณที่ผ่านการขยายที่ TP2 และสัญญาณขาออกของวงจรที่ O/P และทำการปรับตัวต้านทาน VR1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 50% แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-2
4. ปรับขนาดสัญญาณขาเข้า ตามตารางที่ 4-2 และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 และทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-2

การทดลองที่ 2: การมอดูเลตแบบ ASK

1. จากวงจรมอดูเลตแบบ ASK รูปที่ 4-4 และ 4-5 หรือวงจร OFC4-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04
2. ที่ช่องสัญญาณข้อมูลขาเข้า I/P2 ใส่สัญญาณ TTL ความถี่ 100 Hz และที่ช่องสัญญาณพาหะขาเข้า I/P1 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 150 mV ความถี่ 20 KHz
3. ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK ที่ TP1 และสัญญาณที่ผ่านการขยายที่ TP2 และสัญญาณขาออกของวงจรที่ O/P และทำการปรับตัวต้านทาน VR1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีขนาดสัญญาณสูงสุดโดยไม่ผิดรูปแล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-3
4. ปรับขนาดสัญญาณขาเข้า ตามตารางที่ 4-3 และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 และทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-3

การทดลองที่ 3: การดีมอดูเลตแบบ AM

1. จากวงจรมอดูเลตแบบ AM รูปที่ 4-4 และ 4-5 หรือวงจรOFC4-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04 ที่สร้างสัญญาณมอดูเลตแบบ AM
2. จากวงจร OFC4-1 ที่ช่องสัญญาณเสียงขาเข้า/I/P2 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 300 mV ความถี่ 1 KHz และที่ช่องสัญญาณพาหะขาเข้า I/P1 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 150 mV ความถี่ 20 KHz ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณขาออกของวงจรที่ O/P และทำการปรับตัวต้านทาน VR1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตที่ 50%
3. จากวงจรดีมอดูเลตแบบ AMรูปที่ 4-8 หรือวงจรOFC4-2 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04
4. ปิดวงจร (Short circuit) ที่ J1 ของวงจร OFC4-2 และต่อสัญญาณขาออกจากวงจรมอดูเลตแบบ AM ที่ O/P ของวงจร OFC4-1 เข้าที่ช่องสัญญาณขาเข้าวงจรดีมอดูเลตแบบAM ของวงจร OFC4-2 ที่ I/P
5. ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณขาออกวงจรดีมอดูเลตแบบ AM ของวงจร OFC4-2 ที่ OP1 แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-4
6. ปรับขนาดสัญญาณขาเข้า ตามตารางที่ 4-4และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-5 และทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-4

การทดลองที่ 4: การดีมอดูเลตแบบ ASK

1. จากวงจรมอดูเลตแบบ ASK รูปที่ 4-4 และ 4-5 หรือ รูป OFC4-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04 ที่สร้างสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK
2. จากวงจร OFC4-1 ที่ช่องสัญญาณเสียงขาเข้า I/P2 ใส่สัญญาณTTL ความถี่ 100 Hz และที่ช่องสัญญาณพาหะขาเข้า I/P1 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 150 mV ความถี่ 20 kHz ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณขาออกของวงจรที่ O/P และทำการปรับตัวต้านทาน VR1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีขนาดสูงสุดโดยไม่ผิดรูป
3. จากวงจรดีมอดูเลตแบบ ASK รูปที่ 4-12 หรือวงจรOFC4-2 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04
4. ปิดวงจร (Short circuit)ที่ J2 ของวงจร OFC4-2 และต่อสัญญาณขาออกจากวงจรมอดูเลตแบบ ASK ของวงจรOFC4-1ที่ O/P เข้าที่ช่องสัญญาณขาเข้าวงจรดีมอดูเลตแบบ ASK ของวงจรOFC4-2ที่I/P
5. ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณขาออกของวงจรดีมอดูเลตแบบ ASKที่ OP2ของวงจร OFC4-2แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-5
6. ปรับขนาดสัญญาณขาเข้า ตามตารางที่ 4-5และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-5 และทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-5

การทดลองที่ 5: การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM

1. จากโครงสร้าง ดังรูปที่ 4-13 หรือวงจรOFC1-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-01 และวงจร OFC4-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04
2. ที่ช่องสัญญาณเสียงขาเข้า I/P2 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด300mV ความถี่ 1 kHz และที่ช่องสัญญาณพาหะขาเข้าI/P1 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด150mV ความถี่ 20 kHz ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณขาออกของ วงจรที่ O/P และทำการปรับตัวต้านทาน VR1เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต 50%แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-6
3. นำสัญญาณมอดูเลตแบบ AM จาก AM O/P ของวงจรOFC4-1 ต่อเข้าไปที่ช่องขาเข้า สัญญาณ I/P ของวงจรOFC1-1 และทำการปิดวงจร (Short circuit) ที่ J3 (เพื่อเลือกใช้ งานตัวส่งสัญญาณที่ความยาวคลื่น 820 nmของวงจร OFC1-1) แล้วใช้ออสซิลโลสโคป สังเกตรูปสัญญาณขาออกที่ TP4 ของวงจร OFC1-1และทำการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 ให้ได้สัญญาณที่มีขนาดสูงสุดโดยไม่ผิดรูป แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตาราง ที่ 4-6
4. ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อวงจรแปลง E/O ของ OFC1-1เข้ากับ วงจรแปลง O/E ของ OFC2-1 ที่ปิดวงจร (Short circuit) ที่ J1 (เพื่อเลือกใช้ใช้งานตัวส่งสัญญาณที่ความยาวคลื่น 820 nm) และใช้ออสซิลโลสโคป สังเกตรูปสัญญาณติมมอดูเลตที่ O/P ของ OFC2-1 และ ทำการปรับตัวต้านทานVR1 และ VR2 ให้ได้สัญญาณขาออกที่มีขนาดสูงสุดโดยไม่ผิดรูป แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-6
5. นำสัญญาณขาออกจาก O/P ของ OFC2-1 ใส่เข้าที่ I/P ของ OFC4-2 และปิดวงจร (Short circuit) ที่ J1 (เพื่อเลือกใช้ใช้งานวงจรขยายสัญญาณเสียง) ใช้ออสซิลโลสโคป สังเกตรูป สัญญาณติมมอดูเลตที่ O/P1แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-6

การทดลองที่ 6: การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและติมมอดูเลตแบบ ASK

1. จากโครงสร้าง ดังรูปที่ 4-14 หรือวงจรOFC1-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-01 และวงจร OFC4-1 ในโมดูล ETEK OFC-9000-04
2. จากวงจร OFC4-1 ที่ช่องสัญญาณขาเข้า I/P2 ใส่สัญญาณ TTL ความถี่ 100 Hz และที่ ช่องสัญญาณพาหะขาเข้า I/P1 ใส่สัญญาณรูปไซน์ (Sine wave) ขนาดแอมพลิจูด 150 mV ความถี่ 20 kHz ใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูปสัญญาณขาออกของวงจรที่ O/P และทำ การปรับตัวต้านทาน VR1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีขนาดสูงสุดโดยไม่ผิดรูปแล้วทำการบันทึก ผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-7
3. นำสัญญาณมอดูเลตแบบ ASKจาก O/P ของ OFC4-1 ต่อเข้าไปที่ช่องขาเข้าสัญญาณ I/P ของวงจร OFC1-1 และทำการปิดวงจร (Short circuit) ที่ J3 (เพื่อเลือกใช้ใช้งานตัวส่ง สัญญาณที่ความยาวคลื่น 820 nm ของวงจร OFC1-1) แล้วใช้ออสซิลโลสโคปสังเกตรูป สัญญาณขาออกที่ TP4ของวงจรOFC1-1 และทำการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 ให้ได้ สัญญาณที่มีขนาดสูงสุดโดยไม่ผิดรูป แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-7

4. ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อวงจรแปลง E/O ของ OFC1-1 เข้ากับ วงจรแปลง O/E ของ OFC2-1 ที่ปิดวงจร (Short circuit) ที่ J1 (เพื่อเลือกใช้งานตัวส่งสัญญาณที่มีความยาวคลื่น 820 nm) และใช้ออสซิลโลสโคป สังเกตรูปสัญญาณที่มอดูเลตที่ O/P ของ OFC2-1 และทำการปรับตัวต้านทาน VR1 และ VR2 ให้ได้สัญญาณขาออกที่มีขนาดสูงสุดโดยไม่ผิดรูป แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-7
5. นำสัญญาณขาออกจาก O/P ของ OFC2-1 ใส่เข้าที่ I/P ของ OFC4-2 และปิดวงจร (Short circuit) ที่ J2 ใช้ออสซิลโลสโคป สังเกตรูปสัญญาณที่มอดูเลตที่ O/P2 และทำการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ (Comp. Level Adjust) เพื่อให้ได้สัญญาณ TTL แล้วทำการบันทึกผลการวัดที่ได้ลงในตารางที่ 4-7

บันทึกผลการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4-2 การวัดวงจรมอดูเลตแบบ AM

Carrier Signal	Audio Signal	Measured Results
20kHz 600mV	1kHz 150mV	TP1
		TP2
		O/P

ตารางที่ 4-2 (ต่อ) การวัดวงจรมอดูเลตแบบ AM

Carrier Signal	Audio Signal	Measured Results
20kHz 600mV	2kHz 150mV	TP1
		TP2
		O/P

ตารางที่ 4-3 การวัดวงจรมอดูเลตแบบ ASK

Carrier Signal	Audio Signal	Measured Results
20kHz 600mV	100Hz TTL	TP1
		TP2
		O/P

ตารางที่ 4-3 (ต่อ) การวัดวงจรมอดูเลตแบบ ASK

Carrier Signal	Audio Signal	Measured Results
20kHz 600mV	200Hz TTL	TP1
		TP2
		O/P

ตารางที่ 4-4 การวัดวงจรดีมอดูเลตแบบ AM

Carrier Signal	Audio Signal	Measured Results (O/P1)
20kHz 600mV	1kHz 150V	
50kHz 600mV	2kHz 150mV	

ตารางที่ 4-5 การวัดวงจรดีมอดูเลตแบบ ASK

Carrier Signal	Audio Signal	Measured Results (O/P2)
20kHz 600mV	100Hz TTL	
50kHz 600mV	200Hz TTL	

ตารางที่ 4-6 การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ AM

<p>OFC4-1 AM O/P</p>	
<p>OFC 1-1 TP4</p>	
<p>OFC2-1 O/P</p>	
<p>OFC4-2 AM O/P</p>	

ตารางที่ 4-7 การประยุกต์ใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ ASK

<p>OFC4-1 ASK O/P</p>	
<p>OFC 1-1 TP4</p>	
<p>OFC2-1 O/P</p>	
<p>OFC4-2 O/P2</p>	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายวิธีการปรับสัญญาณมอดูเลตแบบ AM

2. จงอธิบายวิธีการปรับสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK
3. การดีมอดูเลตที่กล่าวถึงบทนี้มีกี่แบบ อะไรบ้าง พร้อมอธิบายของแต่ละแบบ
4. จงอธิบายหน้าที่ของวงจรเปรียบเทียบในรูปที่ 4-12

เอกสารอ้างอิง

1. คู่มือทดลอง Optical Fibers Communication Applications and Measurements, Etek Technology Co, LTD.
2. ปุณยวิทย์ จามจรีกุล, ระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้ว, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
3. รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
4. ผศ.อภิรักษ์ มัณยานนท์, ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง, ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534.
5. พันธุ์ศักดิ์ ศรีทรัพย์, การสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก, บริษัทอิเล็กทรอนิกส์เวิลด์, 2526.
6. Robert J. Hoss, Fiber Optic Communications Design Handbook, Prentice – Hall International Inc., 1990.
7. Keigo Lizuka, Elements of Photonics for Fiber and Integrated Optics, Volume II, A John Wiley & Son Inc., 2002.
8. Gerd Keiser, Optical Fiber Communications, Second Edition, McGraw-Hill, Inc, 1991.
9. Harold B. Killen, Fiber Optic Communications, Prentice Hall, 1991.
10. Stephen B. Alexander, Optical Communication Receiver Design, Institute of Electrical Engineering, London UK, 1997.