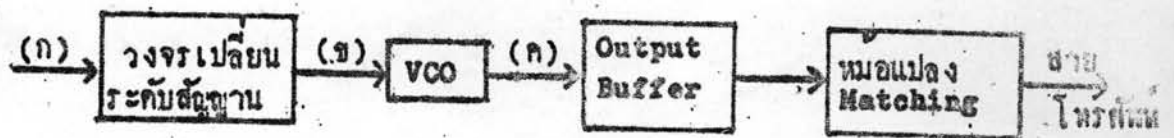


บทที่ 3

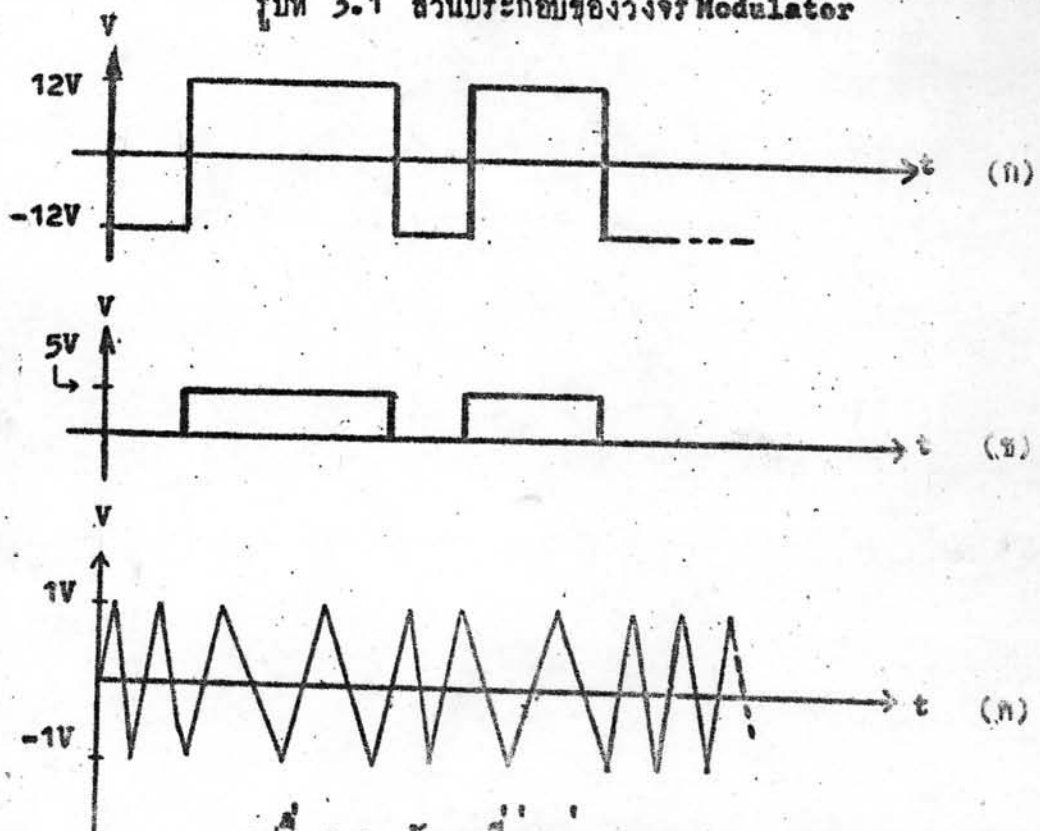
การสร้างโมเด็ม

3.1 ส่วนประกอบของวงจร Modulator¹⁰

วงจร Modulator จะเปลี่ยนสัญญาณข้อมูล ± 12 โวลต์ให้เป็นสัญญาณ rsk เพื่อส่งเข้าไปในสายโทรศัพท์ ประกอบด้วยวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ วงจร vco วงจร Output Buffer และหม้อแปลง Matching ดังในรูปที่ 3.1 ส่วนรูปของสัญญาณที่ส่วนต่างๆ อยู่ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของวงจร Modulator

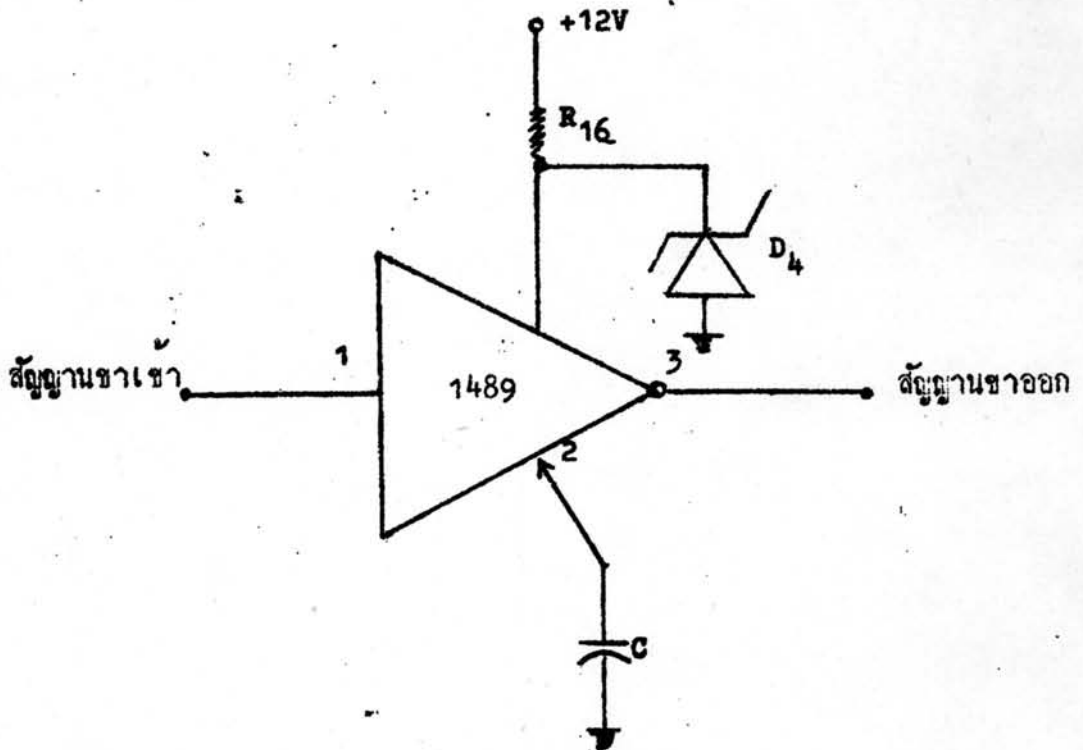


รูปที่ 3.2 สัญญาณที่ส่วนต่างๆของวงจร Modulator

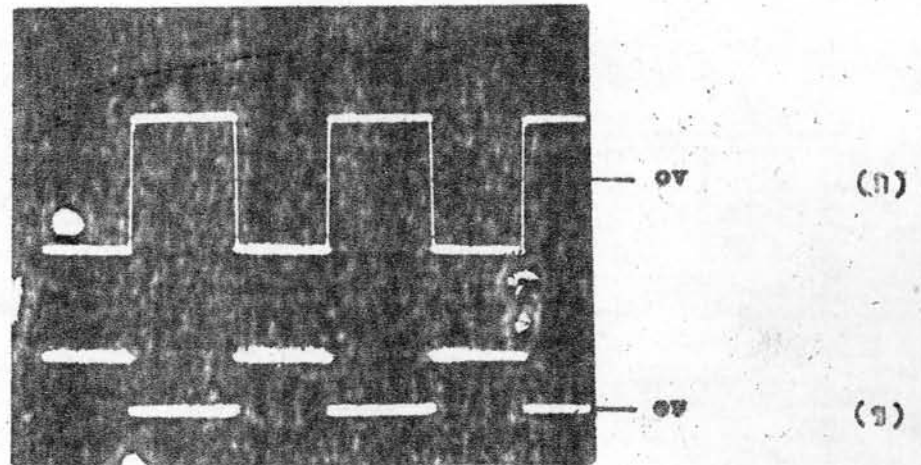
วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ¹¹

วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณจะรับสัญญาณข้อมูลจาก Terminal หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยระดับแรงดันของสัญญาณ ± 12 โวลต์ตามมาตรฐาน CCITT V. 24 เพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันของสัญญาณเป็น 0 กับ 5 โวลต์ให้พอดีกับระดับสัญญาณเข้าของ VCO ซึ่งระดับของแรงดันมีผลต่อความถี่ของ Mark และ Space โดยตรง

การสร้างวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณใช้ IC 1489 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Line Receiver โดยตรง จะรับสัญญาณข้อมูลตามมาตรฐาน CCITT (The International Telegraph and Telephone Consultative Committee) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นระดับ TTL การต่อวงจรอยู่ในรูปที่ 3.3 ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกอยู่ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 วงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ



รูปที่ 3.4 สัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ

(ก) สัญญาณขาเข้า แยกตั้ง 10 ไมโครวินาที 1 ของ แยกบน 1 ไมโครวินาที

(ข) สัญญาณขาออก แยกตั้ง 5 ไมโครวินาที 1 ของ แยกบน 1 ไมโครวินาที

วงจร VCO (Voltage Controlled Oscillator) ^{11,12}

วงจร VCO เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เป็น Modulator โดยจะสร้างความถี่ของสัญญาณออกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันของสัญญาณเข้าดังสมการ

$$f_o = kV_{in} \quad (3.1)$$

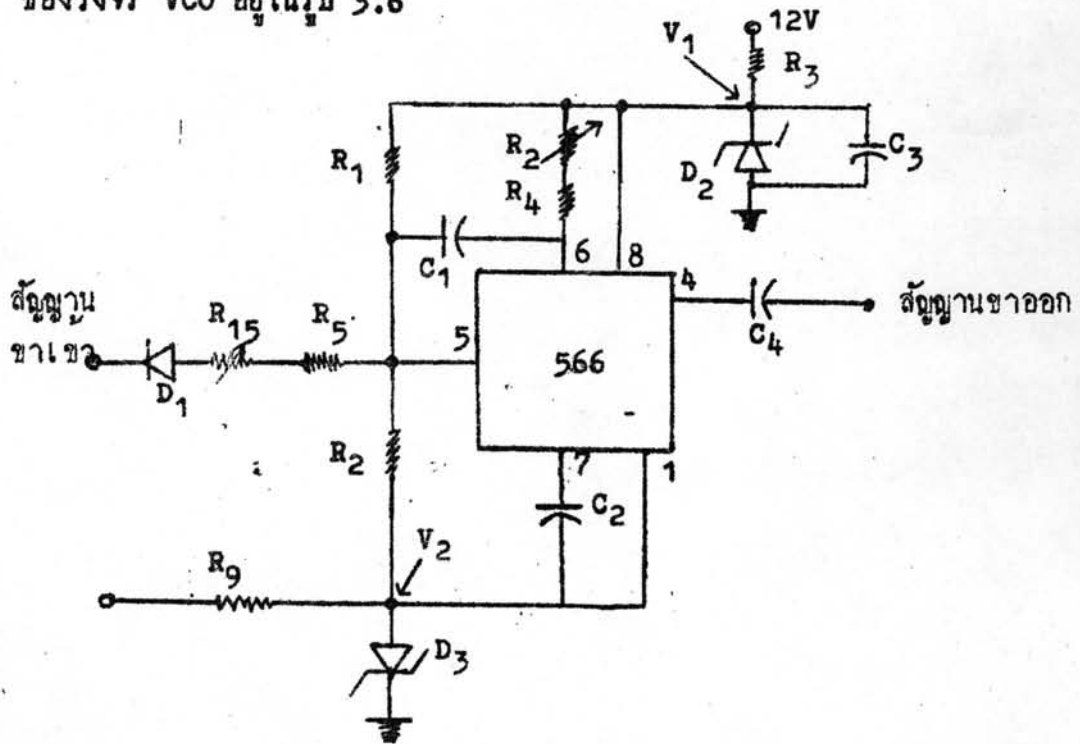
ในที่นี้ f_o เป็นความถี่ของสัญญาณขาออก

k เป็นค่าคงที่ของวงจร

V_{in} เป็นแรงดันของสัญญาณขาเข้า

ค่าคงที่ k ของวงจรสามารถปรับได้โดยเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับ VCO ทำให้สามารถเปลี่ยนความถี่ Mark และ Space ได้ ถึงแม้ว่าระดับแรงดันเข้าจะเป็น 0 และ 5 โวลต์คงที่ จากคุณสมบัติของ VCO จะได้สัญญาณออกเป็น FSK ที่มีเฟสต่อเนื่องเพราะใช้วงจรสร้างความถี่ที่ตัวเดียวกันทั้ง Mark และ Space

การสร้างวงจร VCO ใช้ IC เบอร์ 566 ซึ่งทำให้การสร้างวงจร Modulator ง่ายลง และ IC นี้คุณสมบัติที่เหมาะสมเพราะควบคุมความถี่ด้วยแรงดันขาเข้าโดยตรง สามารถเลือกความถี่ Mark และ Space ได้ในช่วงกว้าง ความถี่สูงสุดก็เพียงพอแก่ความต้องการโดยสร้างได้ถึง 1 MHz Linearity มีค่า 0.5% frequency Stability กับอุณหภูมิ 200ppm/°c และใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ 2%/โวลต์ การค่อวงจร VCO อยู่ในรูปที่ 3.5 ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร VCO อยู่ในรูป 3.6



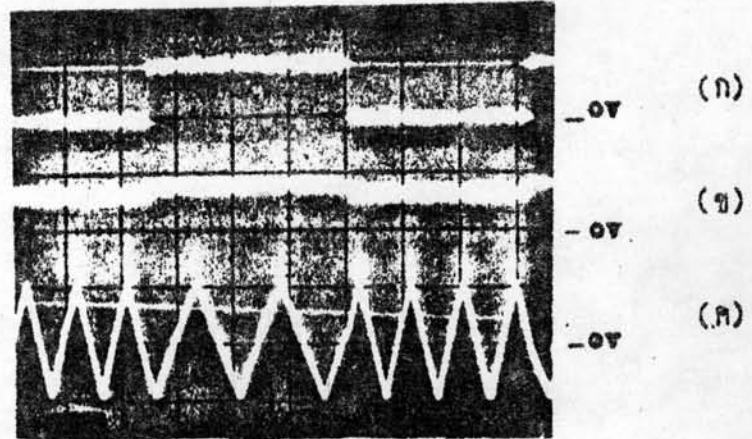
รูปที่ 3.5 วงจร VCO

การเปลี่ยนค่าความถี่ของ Mark และ Space ทำได้โดยการปรับค่า R₂ กับ R₁₅ และจัดค่า R₁ และ R₂ ให้ถูกต้องเพราะมีผลต่อความถี่ขาออกของวงจรถามความสัมพันธ์ดังนี้

$$f_o \approx \frac{2(V_1 - V_c)}{(R_2 + R_4) C_2 V_1} \quad (3.2)$$

ในที่นี้ V_c เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขา 5 ของ VCO กำหนดด้วยค่า R_1 และ R_2 กับแรงดันของสัญญาณเข้า

f_o เป็นความถี่ของสัญญาณขาออกของวงจร VCO



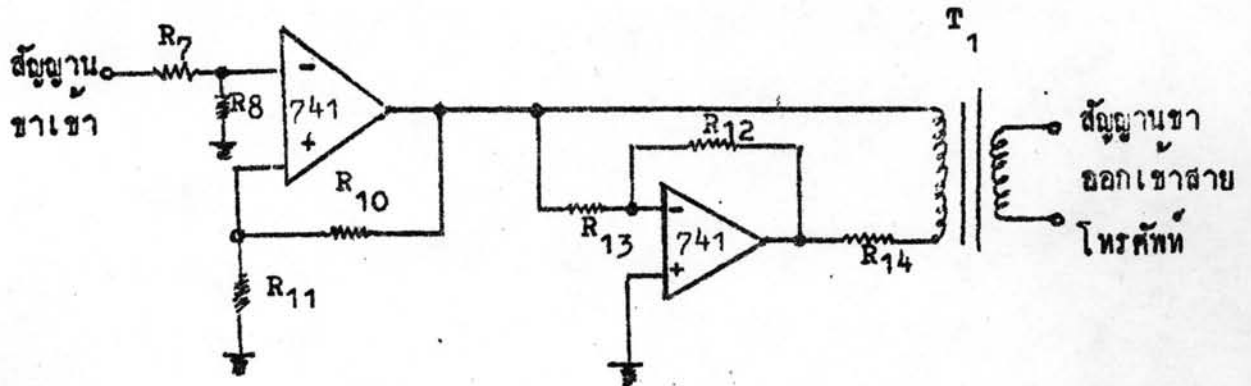
รูปที่ 3.6 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร VCO

- (ก) สัญญาณขาเข้า แยกตั้ง 5 โวลต์/ช่อง แยกนชน 0.5 ms/ช่อง
- (ข) สัญญาณที่ขา 5 ของ ICเบอร์ 566 แยกตั้ง 5 โวลต์/ช่อง แยกนชน 0.5 ms/ช่อง
- (ค) สัญญาณขาออก แยกตั้ง 1 โวลต์/ช่อง แยกนชน 0.5 ms/ช่อง

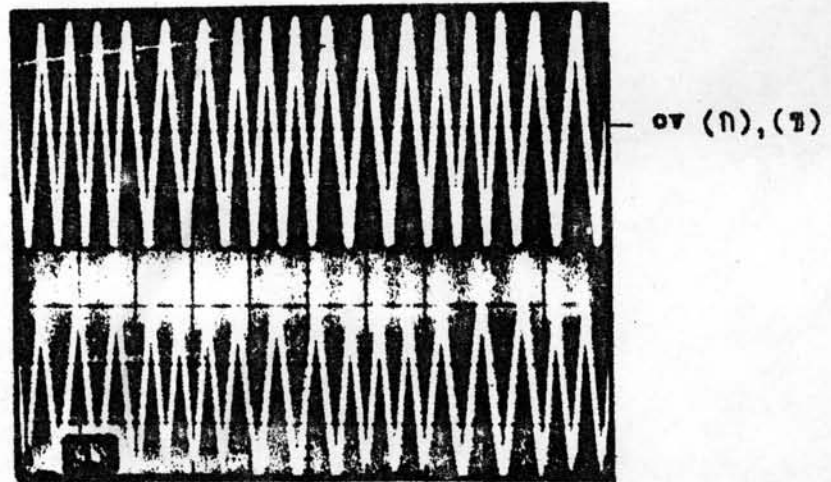
วงจร Output Buffer และหม้อแปลง Matching¹³

วงจร Output Buffer เป็นวงจรที่มี Input Impedance สูงเพื่อมิให้ถึงกระแสจากวงจร VCO มากนักเพราะจะทำให้อุณหภูมิขึ้นซึ่งจะทำให้เสถียรภาพเสียไป และทำหน้าที่เป็นตัวขับ (Driver) สามารถปรับระดับแรงดันของสัญญาณและค่าของ Output Impedance ได้ด้วย การต่อวงจรอยู่ในรูปที่ 3.7 ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Output Buffer อยู่ในรูปที่ 3.8 ส่วนหม้อแปลง Matching จะป้องกันกระแสไฟตรงที่อยู่ในสายโทรศัพท์อันจะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ สำหรับการ

ตัดต่อสายโทรศัพท์ระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับวงจร Modulator นั้นจะต้องใช้ Relay เพื่อให้ระยะเวลาของการสับเปลี่ยนสั้นลงไม่เช่นนั้นสายโทรศัพท์จะถูกปลดออกโดยวงจรอัตโนมัติ



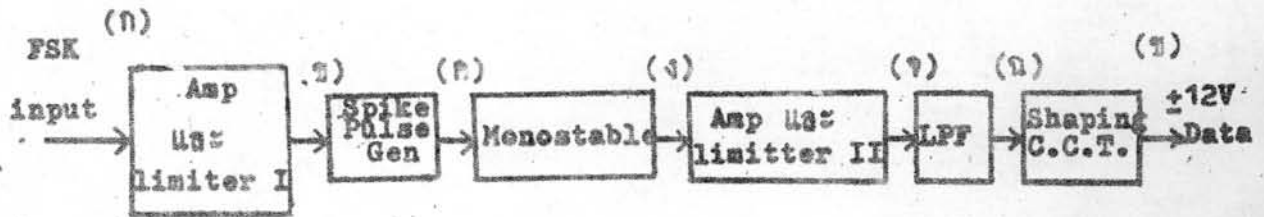
รูปที่ 3.7 วงจร Output Buffer และหม้อแปลง Matching



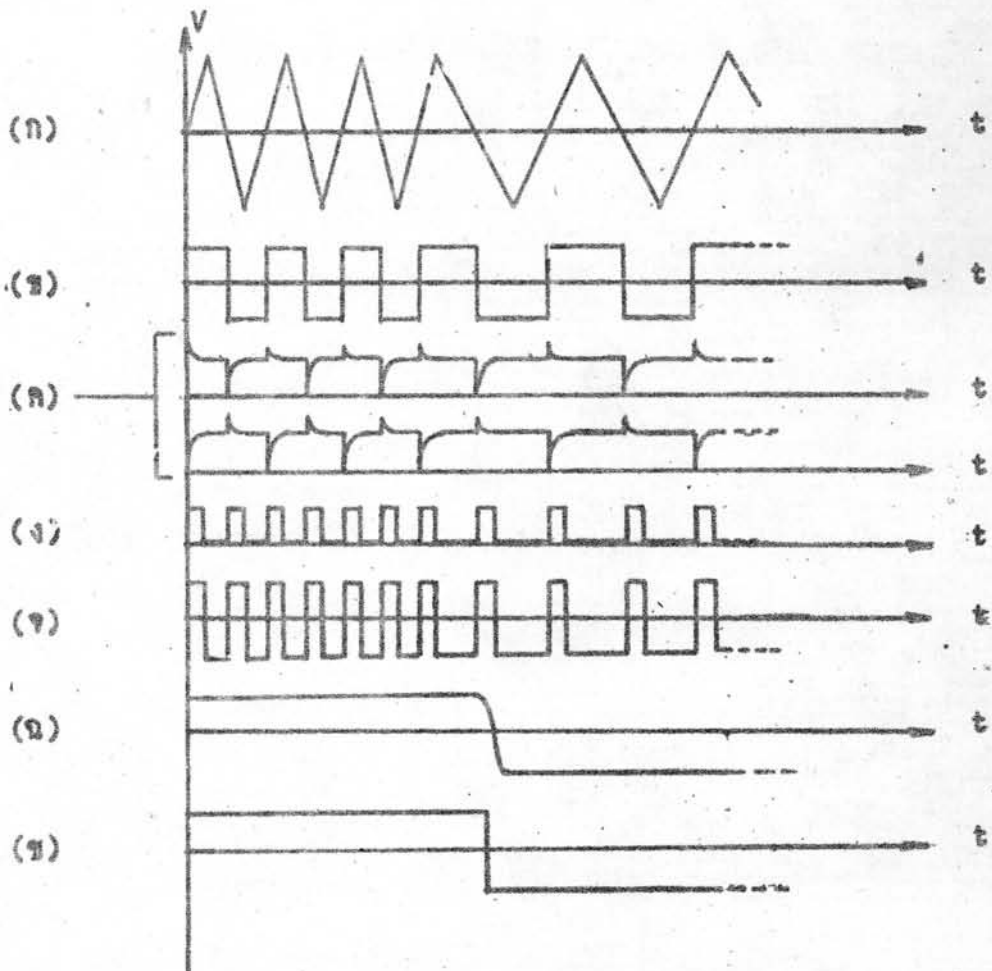
รูปที่ 3.8 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Output Buffer
 (ก) สัญญาณขาเข้า แกนตั้ง 0.5 โวลต์/ช่อง แกนนอน 1ms/ช่อง
 (ข) สัญญาณขาออกที่หม้อแปลง แกนตั้ง 0.5 โวลต์/ช่อง
 แกนนอน 1ms/ช่อง

3.2 ส่วนประกอบของวงจร Demodulator⁹

Demodulator ใช้เทคนิคของ Zero-crossing ซึ่งจะแยกสัญญาณออกมาเป็น Baseband ออกโดยตรงจากจำนวน Zero-crossing ต่อหน่วยเวลา มีการจัดส่วนประกอบ ดังในรูปที่ 3.9 และสัญญาณที่ผ่านวงจรต่างๆดังในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบของ Demodulator



รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณเมื่อผ่านวงจร Demodulator

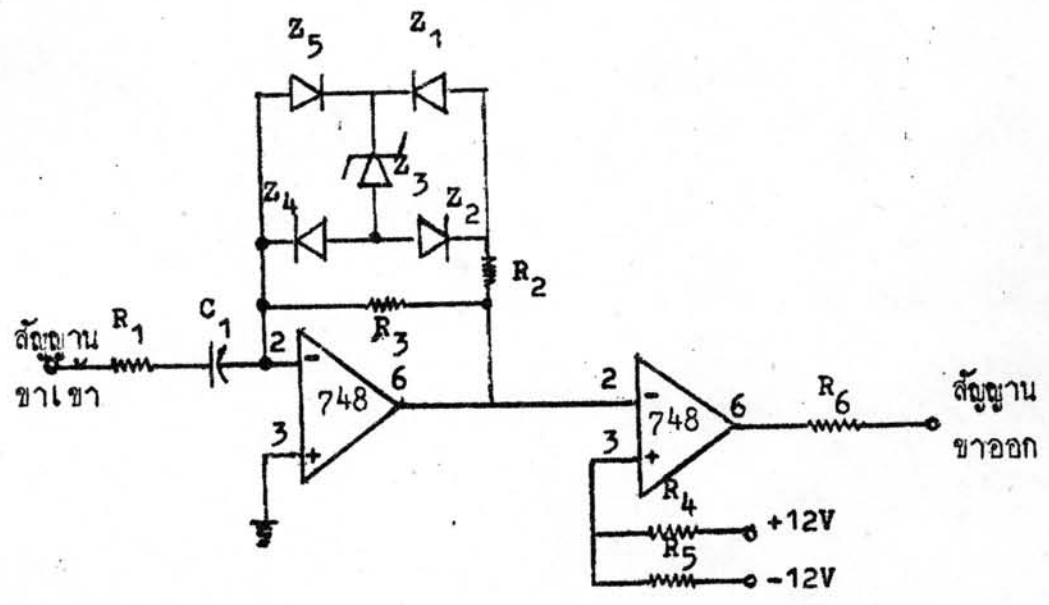
วงจรวงจร Amplifier และ Limiter ที่ 1¹⁴

วงจรวงจร Amplifier และ Limiter ที่ 1 เป็นวงจรวางขยายสัญญาณ FSK ที่เข้ามาและจำกัด Amplitude ของสัญญาณทั้งทางบวกและทางลบไว้ที่ระดับคงที่ค่าหนึ่ง เพราะต้องการเฉพาะ Zero-crossing ของสัญญาณเท่านั้น และเพื่อป้องกันผลกระทบกระเทือนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทาง Amplitude ที่มีต่อการแยกสัญญาณข้อมูล เพราะการเปลี่ยนแปลงทาง Amplitude ที่ไม่แน่นอนซึ่งกลลวจะทำให้เกิด High Frequency Component ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปด้วย คุณสมบัติของ Limiter อธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

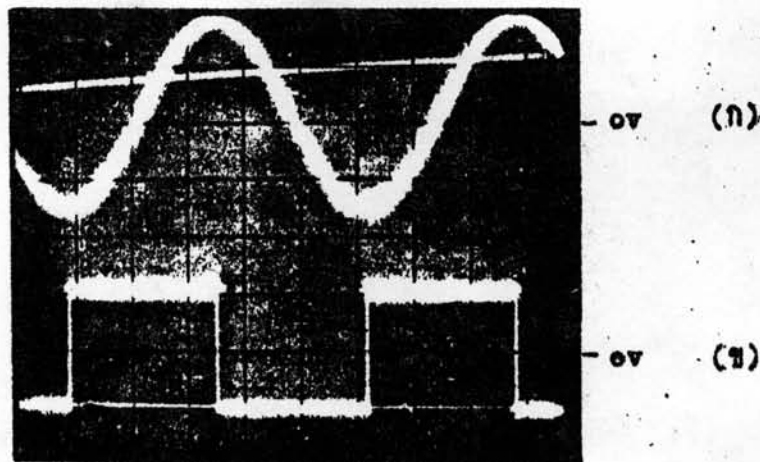
$$V_o = K \quad , V_i > 0 \quad (3.3)$$
$$= -K \quad , V_o < 0$$

ในที่นี้ V_i เป็นแรงดันไฟฟ้าขาเข้า
 V_o เป็นแรงดันไฟฟ้าขาออก
 K เป็นค่าคงที่

การสร้างวงจรวงจร Amplifier และ Limiter ที่ 1 อยู่ในรูป 3.11¹⁵
ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกอยู่ในรูปที่ 3.12



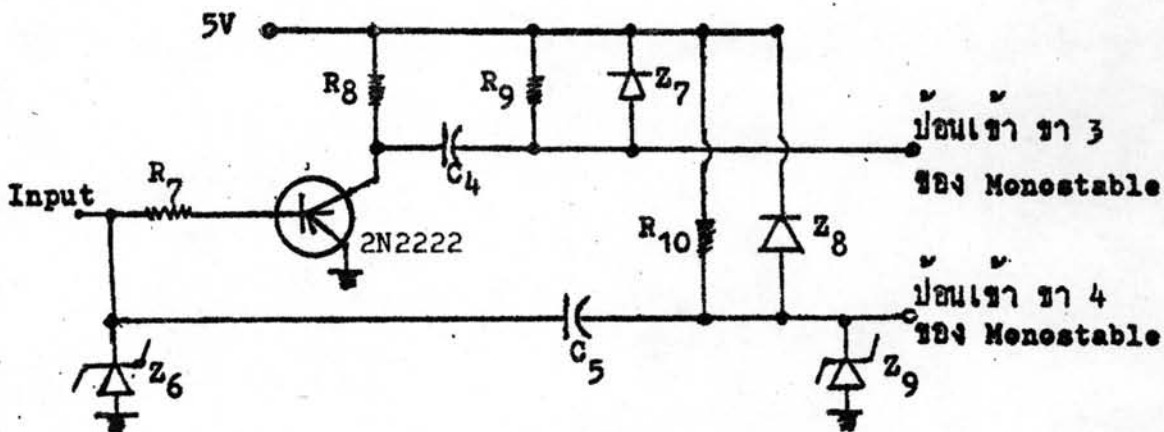
รูปที่ 3.11 วงจรวงจร Amplifier และ Limiter ที่ 1



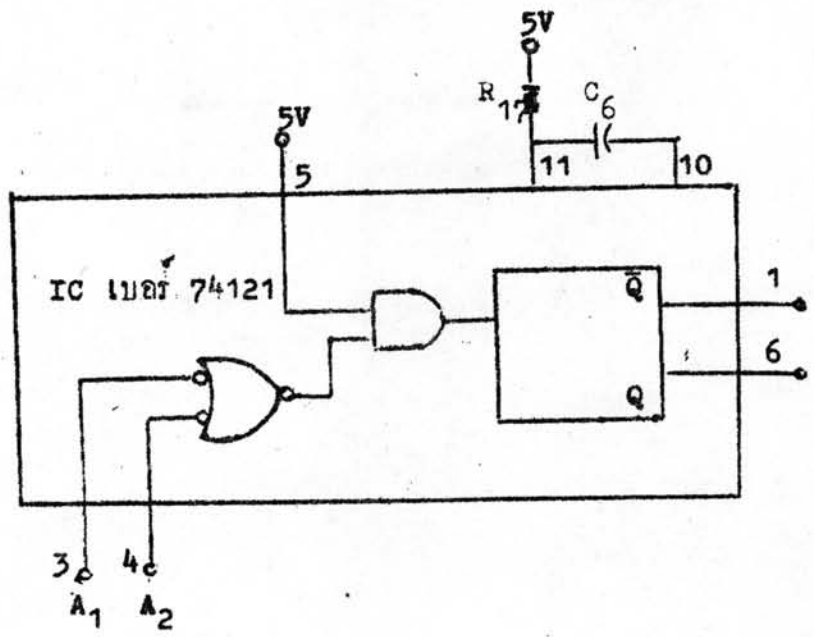
รูปที่ 3.12 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Amplifier และ Limiter ที่ 1
 (ก) สัญญาณขาเข้ารูป Sine แอมพลิจูด 2V/ช่อง แกรมตึง 0.2 ms/ช่อง
 (ข) สัญญาณขาออก แอมพลิจูด 10V/ช่อง แกรมตึง 0.2 ms/ช่อง

15
วงจร Spike Pulse Generator

วงจร Spike Pulse Generator เป็นวงจรที่สร้าง Spike Pulse แบบ Negative Going จากระดับ 5 โวลต์ตรงจุด zero-crossing ของสัญญาณที่ได้รับจาก Limiter ที่ 1 เพื่อเป็นสัญญาณ Trig วงจร Monostable ให้สร้าง Pulse ขึ้นตรงจุด zero-crossing หรือที่ รายละเอียดของวงจร Spike Pulse Generator อยู่ในรูปที่ 3.13 ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกอยู่ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 วงจร Spike Pulse Generator



รูปที่ 3.15 วงจร Monostable

ตารางที่ 3.1 Truth Table ของวงจร Monostable

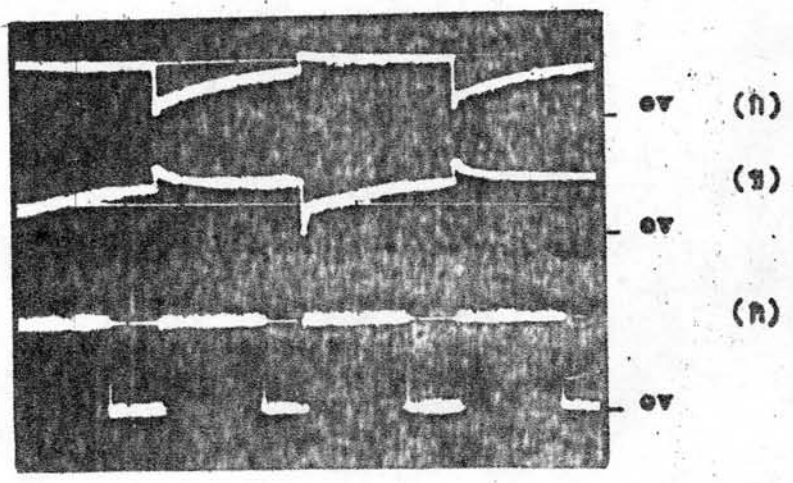
เงื่อนไข	สัญญาณขาเข้า			สัญญาณขาออก	
	A1	A2	B	Q	\bar{Q}
1	L	X	H	L	H
2	X	L	H	L	H
3	X	X	L	L	H
4	H	H	X	L	H
5	H	↓	H	⌋	⌋
6	↓	H	H	⌋	⌋
7	↓	↓	H	⌋	⌋
8	L	X	↑	⌋	⌋
9	X	L	↑	⌋	⌋

การทำงานของวงจร Monostable ใช้เงื่อนไขที่ 5 และ 6 โดยให้ขา 8 ต่อกับ 5 โวลต์ตลอดเวลา ดังนั้นสัญญาณพัลส์ที่ขาออกจะเกิดขึ้นเมื่อ ขา A₁ หรือ A₂ เกิด Negative Going ดังในตารางที่ 3.1 ส่วนความกว้างของพัลส์ได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Pulse width จากการคำนวณ} &= C_T R_T \ln 2 = (19.1 \times 10^{-9} F) \\ & (12.598 \times 10^3 \Omega) \ln 2 \quad (3.4) \\ & = 168 \mu s \end{aligned}$$

$$\text{Pulse width จากการวัด} = 170 \mu s \quad (3.5)$$

หลังจากผ่านวงจร Monostable แล้วความถี่ของพัลส์ในช่วง Mark และ Space จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความถี่ Mark และ Space ตามลำดับ เพราะสัญญาณที่เข้า 1 พัลส์ทำให้เกิด Spike Pulse 2 ครั้ง (รูปที่ 3.14) จึงทำให้เกิดพัลส์ 2 พัลส์ขึ้น (รูป 3.15) ความกว้างของพัลส์ทั้งสองที่เกิดขึ้นถ้าเปลี่ยนไปก็จะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_{ref}) ของวงจร Shaping ต้องเปลี่ยนตามไป เพราะมีผลถึงความกว้างของ Mark หรือ Space ที่สัญญาณขาออกของ Demodulator ภาย

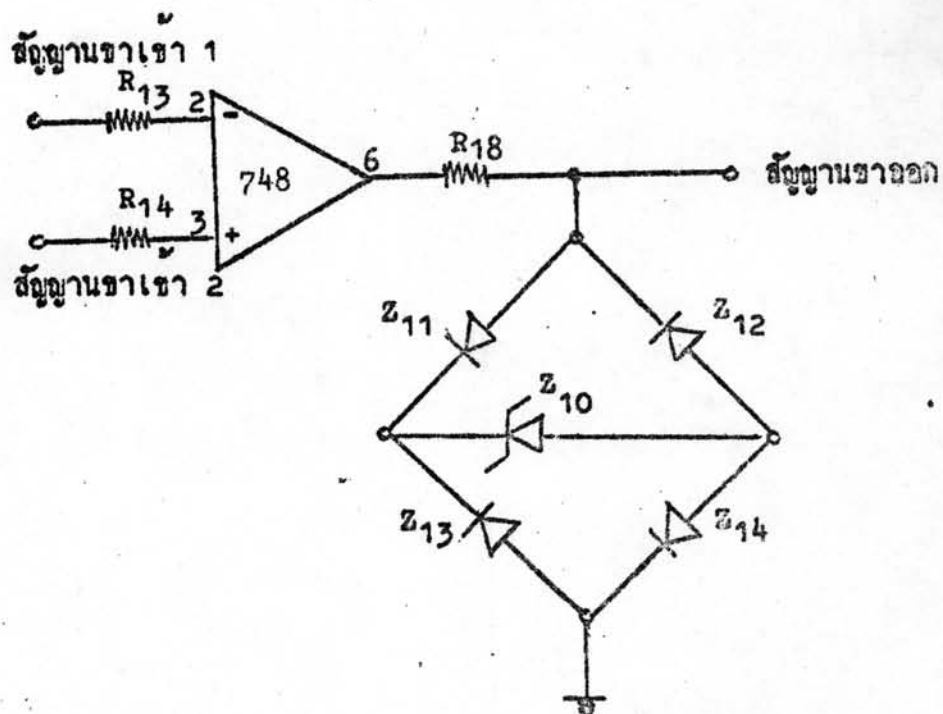


รูปที่ 3.16 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Monostable

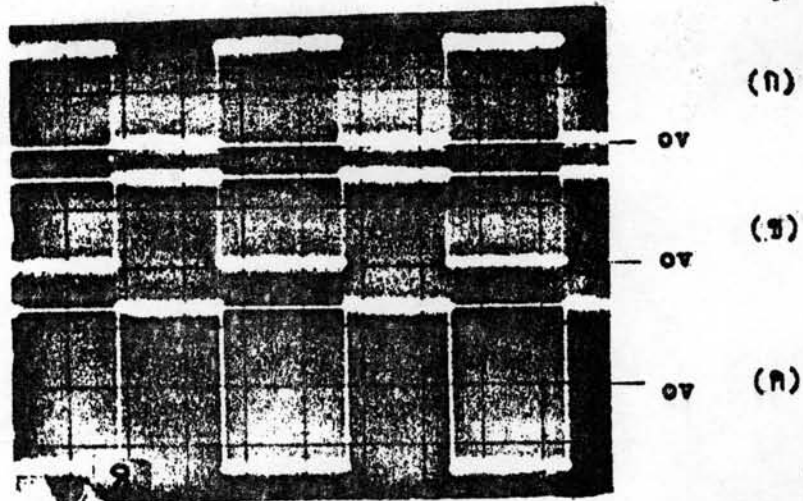
- (ก) สัญญาณเข้าที่ขา 3 แบนตั้ง 5 โวลต์/ช่อง แบนนอน 0.1 ms/ช่อง
 (ข) สัญญาณเข้าที่ขา 4 แบนตั้ง 5 โวลต์/ช่อง แบนนอน 0.1 ms/ช่อง
 (ค) สัญญาณออกที่ขา 6 แบนตั้ง 2 โวลต์/ช่อง แบนนอน 0.1 ms/ช่อง

วงจร Comparator และ Limiter ที่ 2

วงจร Comparator และ Limiter จะรับสัญญาณจาก Monostable มาเปรียบเทียบและ Limit Amplitude ของพัลส์ทั้งทางบวกและทางลบให้มีระดั้เท่ากัน (Amplitude Symmetry) ดังนั้นสัญญาณขาออกจะมี Pulse Width คงเดิม ขนาดของสัญญาณใหญ่ขึ้นและ Symmetry การต่อวงจรอยู่ในรูปที่ 3.17 ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกอยู่ในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 วงจร Comparator และ Limiter ที่ 2

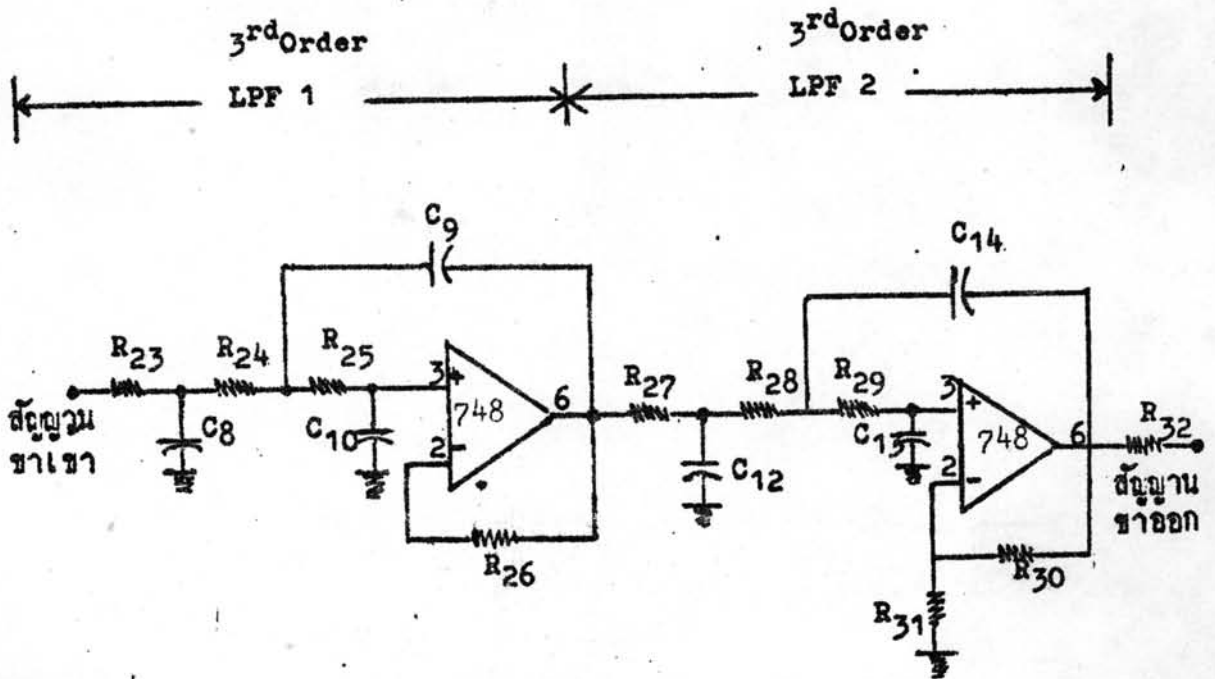


รูปที่ 3.18 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Comparator และ Limiter ที่ 2

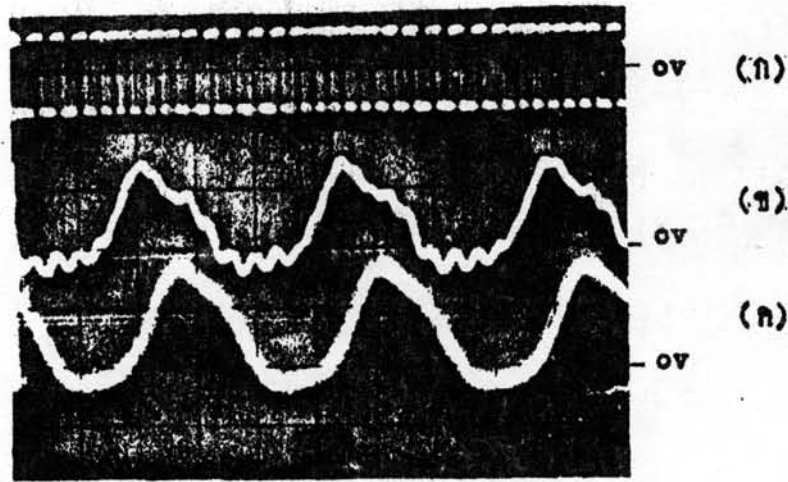
- (ก) สัญญาณขาเข้า 1 แคนทิง 2 โวลต์/ช่อง แคนนอน 0.1 ms/ช่อง
- (ข) สัญญาณขาเข้า 2 แคนทิง 2 โวลต์/ช่อง แคนนอน 0.1 ms/ช่อง
- (ค) สัญญาณขาออก แคนทิง 5 โวลต์/ช่อง แคนนอน 0.1 ms/ช่อง

วงจร LPF (Low Pass Filter)¹⁴

วงจร LPF เป็นวงจรที่ประกอบด้วย Third Order Butterworth Filter 2 วงจรต่อ Cascade กัน ดังรูป 3.19 มี Frequency Response ที่ 3dB BW ความถี่ประมาณ 730 Hz ดังรูป 3.21 แต่เนื่องจากความถี่ของ Mark และ Space หลังจากผ่านวงจร Monostable มีความถี่เป็น 2 เท่าซึ่งสูงกว่าความถี่ Cut off ของ LPF มาก ดังนั้นความถี่ Mark และ Space จึงไม่สามารถผ่าน LPF นี้ แต่ระดับ DC ที่เกิดจาก Mark และ Space จะสามารถผ่าน LPF นี้ได้ ระดับ DC ที่ผ่านมานี้จะแสดงแรงดันของ Mark และ Space ตามต้องการดังรูป 3.20 จะเห็นได้ว่าสัญญาณขาออกของ Third Order Butterworth ที่ 2 นั้นยังมี Harmonicsหลงเข้ามาปะปนอยู่ทำให้ Amplitude หรือระดับ DC ไม่คงที่ จึงต้องผ่านวงจร Shaping อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.19 วงจร LPF

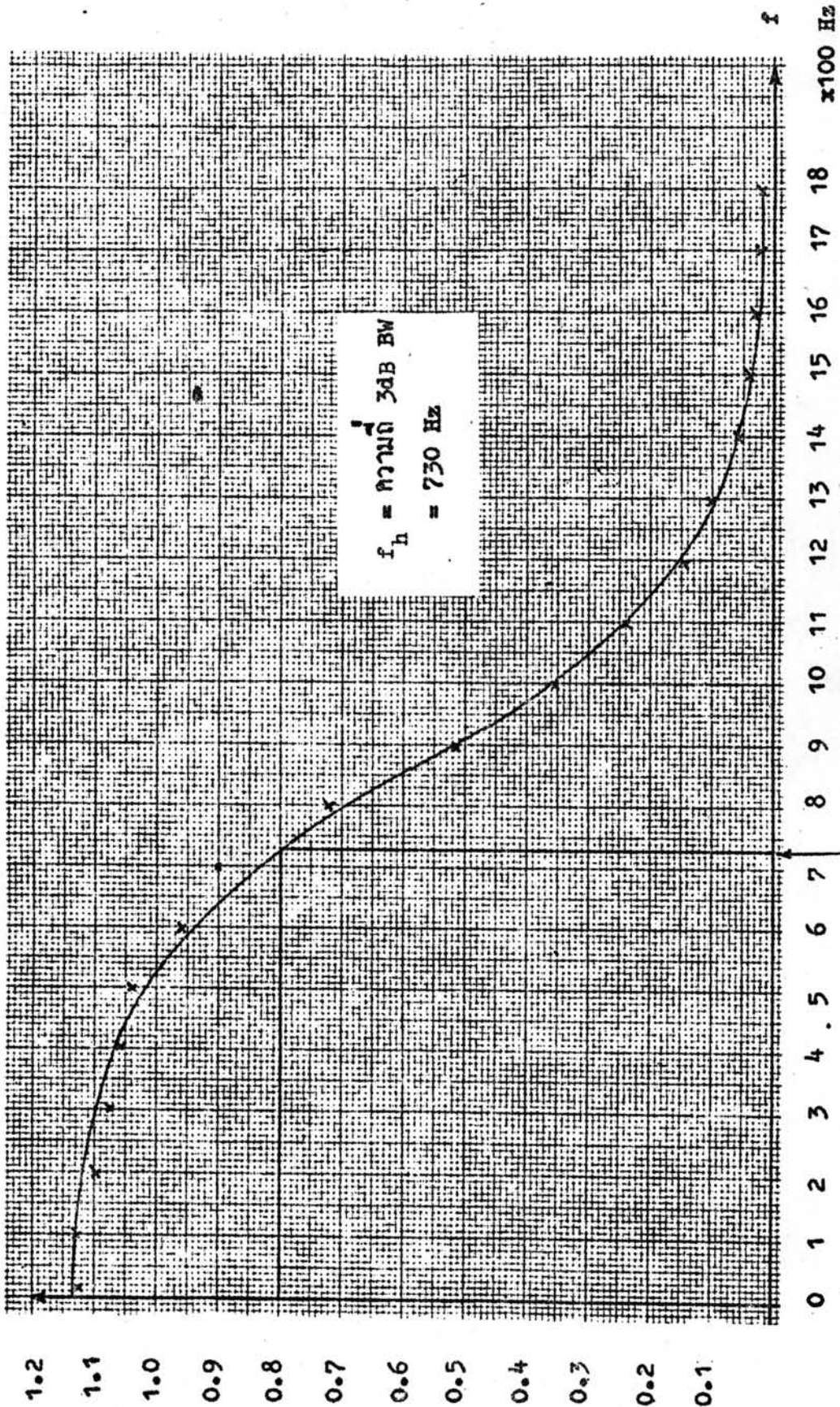


รูปที่ 3.20 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร LPF

- (ก) สัญญาณเข้า แยกตั้ง 10 โวลต์/ช่อง แคนนอน .5 ms/ช่อง
- (ข) สัญญาณที่ขา 6 IC5 แยกตั้ง 1 โวลต์/ช่อง แคนนอน .5 ms/ช่อง
- (ค) สัญญาณออก แยกตั้ง 2 โวลต์/ช่อง แคนนอน .5 ms/ช่อง

หนึ่งการทดสอบผลของทางความถี่ของ LPF โดยป้อนความถี่ของ LPF โดยความถี่รูป sin ที่มีระดับแรงดัน 10 โวลต์ (Peak to Peak) และวัฏระดั้มแรงดันของสัญญาณขาออกได้ค่าออกมาอยู่ในภาคผนวกดังตารางที่ ก.1

V_o/V_i



รูปที่ 3.21 ผลทอยทางความถี่ของ LPF

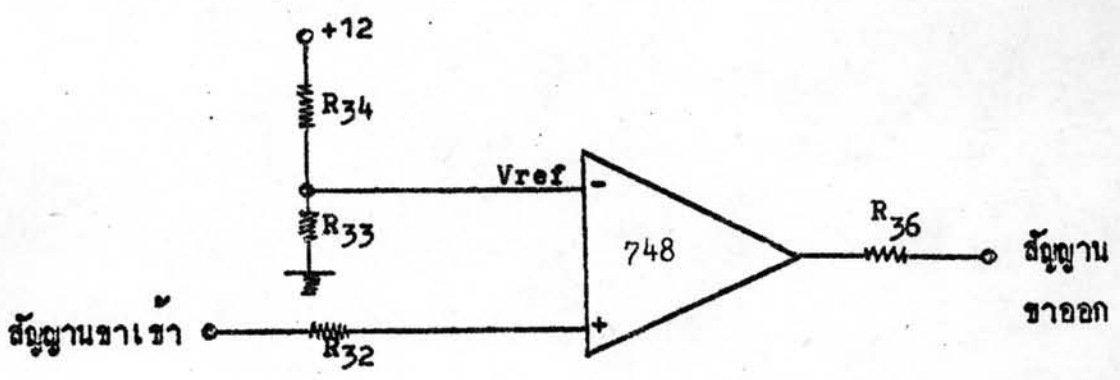
วงจร Shaping ¹⁴

วงจร Shaping ทำหน้าที่เป็นตัว shape สัญญาณที่ออกจาก LPF ให้มีระดับเป็น 12 โวลต์หรือ -12 โวลต์ โดยเปรียบเทียบสัญญาณที่เข้ามากับแรงดันที่กำหนด ทั่ววงจร Comparator ที่มีความสัมพันธ์ดังสมการดังต่อไปนี้

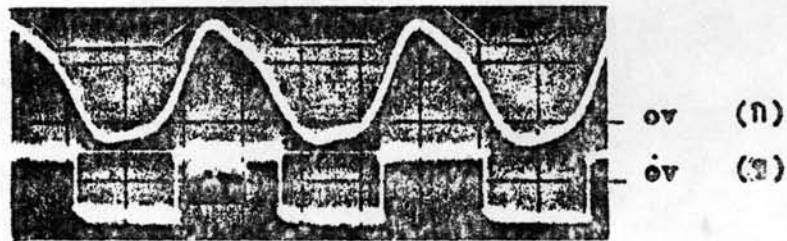
$$\begin{aligned} V_o &= 12 \text{ โวลต์} , V_{in} > V_{ref} \\ &= -12 \text{ โวลต์} , V_{in} < V_{ref} \end{aligned} \tag{3.6}$$

- ในที่นี้ V_o เป็นแรงดันขาออก
- V_{in} เป็นแรงดันขาเข้า
- V_{ref} เป็นแรงดัน Reference

รายละเอียดของวงจร Shaping อยู่ในรูป 3.22 โดยที่ $V_{ref}=0.832$ โวลต์ ส่วนสัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Shaping อยู่ในรูป 3.23 สัญญาณขาออกมีลักษณะเป็นพัลส์ที่มี Amplitude คงที่และ Duration ถูกต้อง

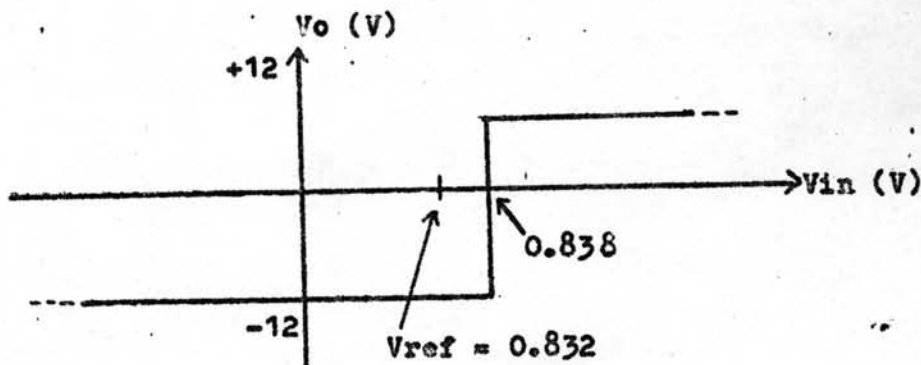


รูป 3.22 วงจร Shaping



รูปที่ 3.23 สัญญาณขาเข้าและขาออกของวงจร Shaping
 (ก) สัญญาณขาเข้า แอมพลิจูด 2 โวลต์/Sec แพนนอล .5 MHz ของ
 (ข) สัญญาณขาออก แอมพลิจูด 20 โวลต์/Sec แพนนอล .5 MHz ของ

ในการทดลองคุณสมบัติของวงจร Shaping นั้น ป้อนแรงดัน V_1 เข้าที่ขา 3 และวัดแรงดันที่ขา 6 โดยตามคุณสมบัติดังในรูปที่ 3.24

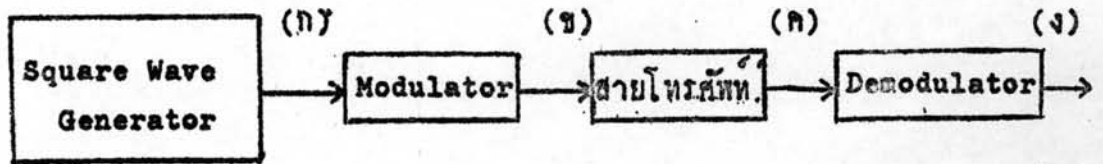


รูปที่ 3.24 คุณสมบัติของวงจร Shaping

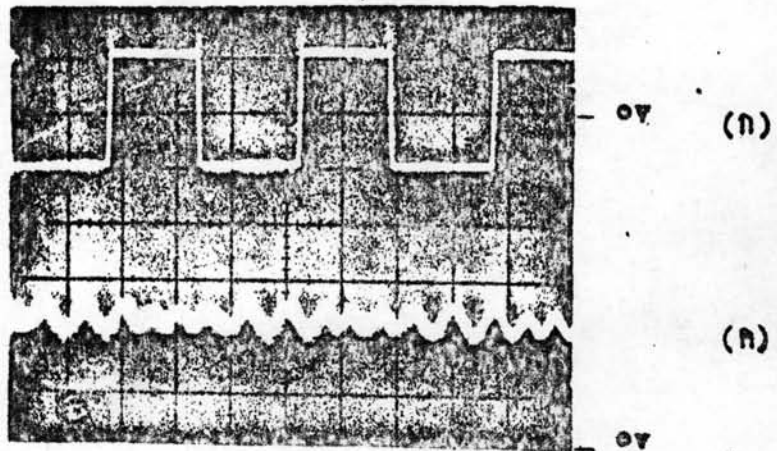
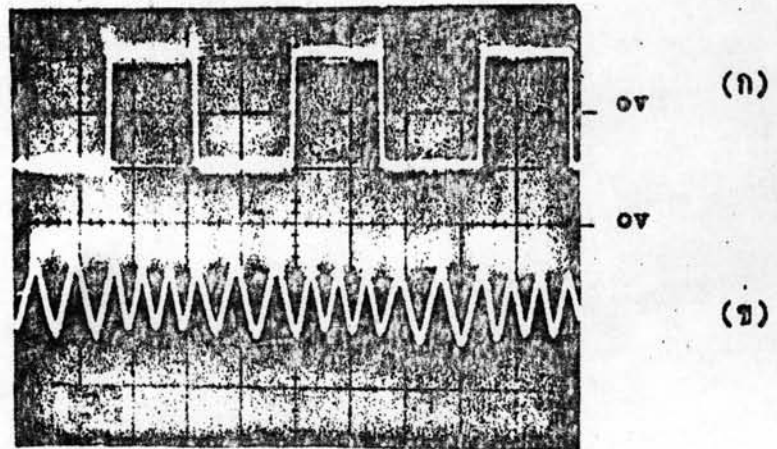
3.3 การทดลองส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ชุมสายเพอลินจิก

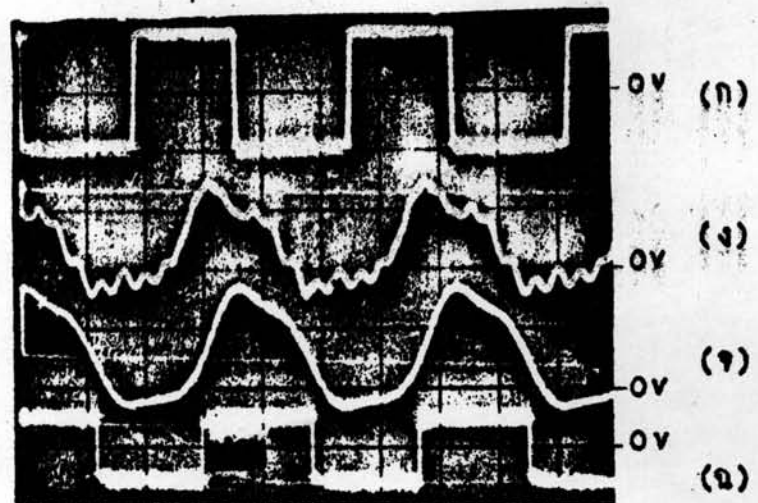
การทดลองส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ชุมสายเพอลินจิก เราได้จับอุปกรณ์ดังรูป 3.25 ในรูป Square Wave Generator จะทำหน้าที่ป้อน Square Wave ให้นัก วงจร Modulator ดังในรูป 3.26 (ก) ซึ่งจะแปลง Square Wave ออกมาเป็น Triangular Wave ที่มีความถี่แปรโดยตรงกับค่า Amplitude ของสัญญาณ

Square Wave สัญญาณที่วัดได้ตามจุดต่างๆในระบบอุปกรณ์ เพื่อทดสอบสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์แสดงอยู่ในรูป 3.26 วัดค่า Delay Time เนื่องจากสายโทรศัพท์ได้ 0.15 ms ค่า Delay time เนื่องจาก LPF แต่ละภาคได้ 0.5 ms ส่วนสัญญาณข้อมูลที่ได้ Delay time เทียบกับข้อมูลเดิมวัดได้ 1.15 ms



รูป 3.25 การจับอุปกรณ์เพื่อทดสอบสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์





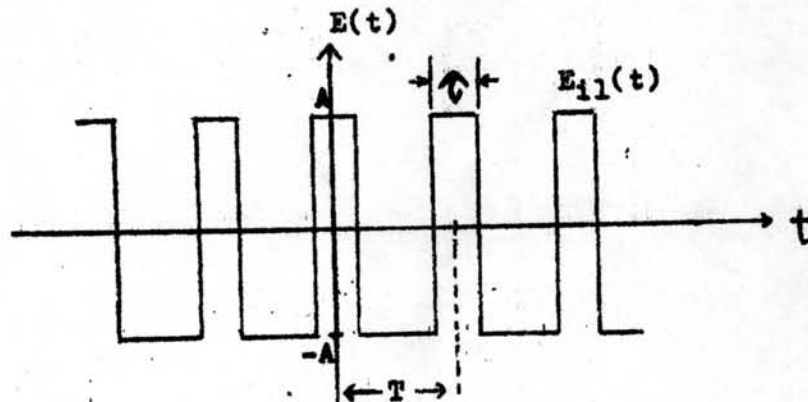
รูปที่ 3.26 สัญญาณที่ทดสอบผ่านสายโทรศัพท์

- (ก) สัญญาณออกจาก Square Wave Generator แยกตั้ง 10 โวลต์/ช่อง
แกนนอน 1 ms/ช่อง
- (ข) สัญญาณออกจาก Modulator เข้าสายโทรศัพท์ แยกตั้ง 1 โวลต์/ช่อง
แกนนอน 1 ms/ช่อง
- (ค) สัญญาณรับจากสายโทรศัพท์เข้า Demodulator แยกตั้ง 1 โวลต์/ช่อง
แกนนอน 1 ms/ช่อง
- (ง) สัญญาณออกจาก LPF IC5 แยกตั้ง 1 โวลต์/ช่อง แกนนอน
1 ms/ช่อง
- (จ) สัญญาณออกจาก LPF IC6 แยกตั้ง 2 โวลต์/ช่อง แกนนอน
1 ms/ช่อง
- (ฉ) สัญญาณออกจาก Demodulator แยกตั้ง 20 โวลต์/ช่อง แกนนอน
1 ms/ช่อง

3.4 วิเคราะห์การทำงานของวงจร Demodulator ⁹

สัญญาณที่ป้อนเข้า LPF มีลักษณะเป็นพัลส์หลายๆต่อเนื่องกัน (Sequence of Pulses) ความถี่ของพัลส์มีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่ Mark หรือ Space เนื่องจาก

วงจร Monostable ที่อยู่ที่ชนกันก็กล่าวมาแล้ว ถ้าพิจารณาเฉพาะในช่วง Mark หรือ Space ใดๆ จะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.27



รูป 3.27 สัญญาณที่ป้อนเข้า LPF
 ในที่นี้ C เป็นความกว้างของพัลส์
 T เป็น Period ของสัญญาณในขณะนั้น
 A เป็น Amplitude ของสัญญาณ
 $E_{11}(t)$ เป็นสัญญาณเข้าของ LPF

สัญญาณ $E_{11}(t)$ เขียนอยู่ในรูป Fourier Series ได้ดังนี้

$$E_{11}(t) = A \left[\frac{2C}{T} - 1 + \frac{4C}{T} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\pi n C/T)}{\pi n C/T} \cos n\omega t \right] \quad (3.7)$$

เมื่อผ่านวงจร LPF จะเหลือแต่ DC Component เท่านั้น ดังนั้น
 สัญญาณขาออกจาก LPF เขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{o1}(t) = GA \left[\frac{2C}{T} - 1 \right] \quad (3.8)$$

ในที่นี้ $E_{o1}(t)$ เป็นสัญญาณที่ออกจาก LPF

G เป็นอัตราขยาย DC ของ LPF

เหตุที่เหลือแต่ DC Component ก็เพราะว่าความถี่ Cut off ของ LPF อยู่ที่ 730 Hz ซึ่งต่ำกว่าความถี่ของพัลส์ในช่วงความถี่ของ Mark หรือความถี่ของ Space มาก

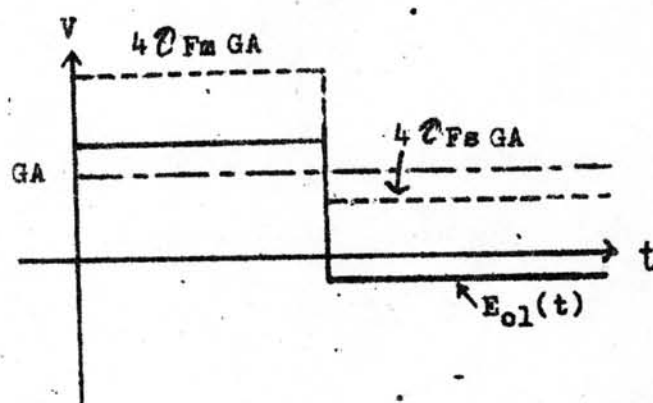
จึงถูก LPF ตัดทิ้งออกไปเกือบหมด ลักษณะของสัญญาณที่ควรจะออกมาจาก LPF อยู่ในรูปที่ 3.29 ซึ่งเขียนตามสมการดังนี้

$$\text{ในช่วงความถี่ของ Mark } E_{o1}(t) = GA(2C(2F_m) - 1) \quad (3.9)$$

$$\text{ในช่วงความถี่ของ Space } E_{o1}(t) = GA(2C(2F_s) - 1) \quad (3.10)$$

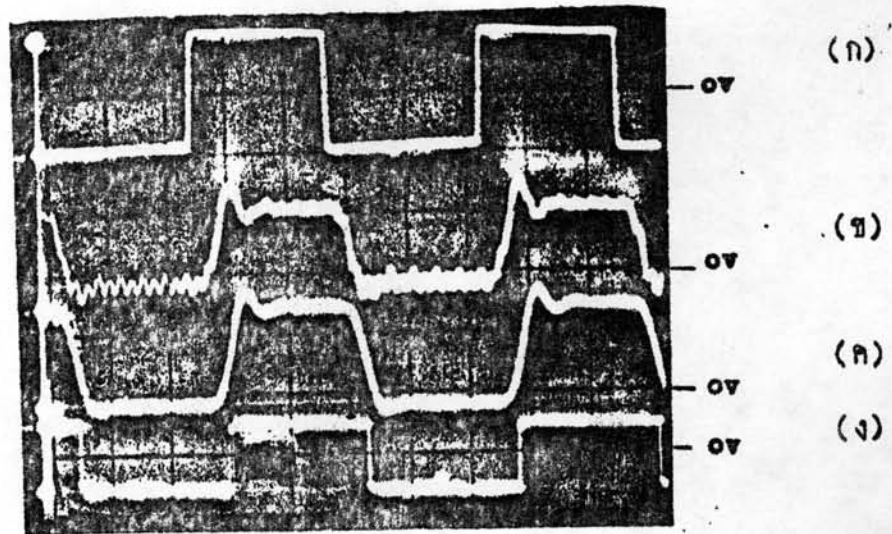
ในที่นี้ F_s เป็นความถี่ของสัญญาณ Space

F_m เป็นความถี่ของสัญญาณ Mark



รูปที่ 3.28 สัญญาณจากสมการ $E_{o1}(t)$

รูปที่ 3.30 เป็นสัญญาณที่ได้จากการทดสอบ รูป (ก) เป็นสัญญาณข้อมูลเดิม รูป (ข) เป็นสัญญาณเมื่อผ่าน LPF1 ซึ่งจะหลงเหลือ Fundamental Component ออกมาบางส่วน รูป (ค) เป็นสัญญาณที่ผ่าน LPF2 จะเห็นได้ว่าไม่มี Fundamental Component เหลืออยู่เลย เปรียบเทียบกับกับรูป 3.29 เพียงแต่ในรูป (ค) มี Overshoot เนื่องจาก Transient Response ของ LPF จึงต้องใช้วงจร Shaping เพื่อให้ได้สัญญาณในรูป (ง) ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่ต้องการ



- รูปที่ 3.29 สัญญาณข้อมูลหลังจากผ่าน LPF และวงจร Shaping
- (ก) สัญญาณข้อมูลเดิม แกนแนวนอน 10 โวลต์/ช่อง แกนตั้ง 2 ms/ช่อง
 - (ข) สัญญาณข้อมูลหลังจากผ่าน LPF1 แกนแนวนอน 1 โวลต์/ช่อง แกนตั้ง 2 ms/ช่อง
 - (ค) สัญญาณข้อมูลหลังจากผ่าน LPF2 แกนแนวนอน 2 โวลต์/ช่อง แกนตั้ง 2 ms/ช่อง
 - (ง) สัญญาณข้อมูลหลังจากผ่านวงจร Shaping แกนแนวนอน 20 โวลต์/ช่อง แกนตั้ง 2 ms/ช่อง

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของวงจร Demodulator

จากสมการที่ 3.8 พบว่าระดับ DC ขึ้นอยู่กับความถี่ของ Mark และ Space แต่การเปลี่ยนระดับ DC จากความถี่ของ Space ไปความถี่ของ Mark นั้นค่อยๆ เพิ่ม เนื่องจากคุณสมบัติของ LPF ดังรูป 3.29 (ค) จึงต้องใช้วงจร Shaping เข้ามาช่วยค่า V_{ref} ของวงจร Shaping มีผลต่อการทำงานของ Demodulator มากกล่าวคือ ถ้าเปลี่ยน V_{ref} ความถี่ของ Mark และ Space จะเปลี่ยนตามไปทั่วทั้งในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ทดสอบหาความถี่และช่วงความถี่ Mark และ Space

Vref(V)	ความถี่ที่เหมาะสม (Hz)	ช่วงความถี่ของ Mark และ Space ที่ใช้ได้ (Hz)
0.832	1250 2040	$F_m < 1538$
	1300 1960	$F_s > 1580$
	1428 1851	
	1492 1694	
0.326	1219 1851	
	1234 1818	
	1250 1785	$F_m < 1472$
	1300 1740	
	1324 1724	$F_s > 1492$
	1369 1666	
0.304	1200 2000	
	1250 1785	
	1282 1754	$F_m < 1449$
	1300 1700	$F_s > 1470$
	1333 1694	
	1369 1652	
1388 1612		

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าความสมมาตร (Symmetry) ของสัญญาณ Mark และ Space นั้นขึ้นอยู่กับระดับของ V_{ref} และคู่ความถี่ที่เหมาะสมของสัญญาณ Mark และ Space ในแต่ละคู่ความถี่ที่เหมาะสมที่ให้ในตารางที่ 3.2 นั้น จะต้องใช้ V_{ref} ค่าเจาะจงค่าหนึ่งจึงจะได้ Pulse Duration ของสัญญาณ Mark และ Space เท่ากัน นั่นคือ Symmetry นั้นในที่นี้เนื่องจากเราเลือกความถี่ของสัญญาณเป็น 1300 และ 1700 Hz ตามมาตรฐาน CCITT V_{ref} จะมีค่าเท่ากับ 0.304 โวลต์