

# ใบงานที่ 7

## วงจรขมิตทริกเกอร์

### จุดประสงค์การทดลอง

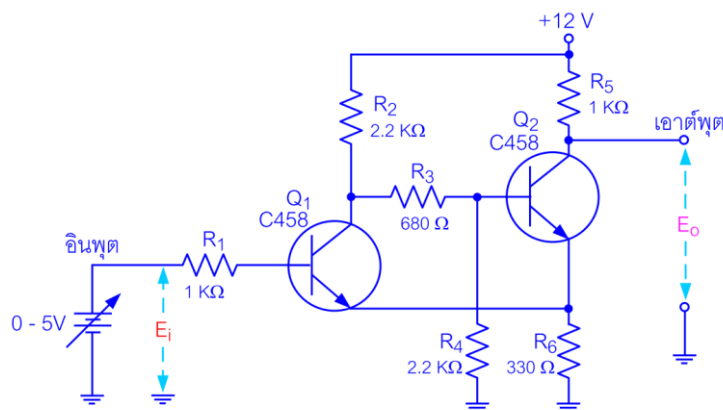
1. ใช้ดีซีโวลต์มิเตอร์วัดสัญญาณไฟฟ้าได้
2. ประกอบวงจรขมิตทริกเกอร์ได้
3. อ่านค่าทางไฟฟ้าจากดีซีโวลต์มิเตอร์
4. เขียนรูปร่างสัญญาณที่ผ่านวงจรขมิตทริกเกอร์ได้

### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. ฟังก์ชันเจนเนเรเตอร์  | จำนวน 1 เครื่อง |
| 2. ออสซิลโลสโคป  | จำนวน 1 เครื่อง |
| 3. ดีซีโวลต์มิเตอร์  | จำนวน 2 ตัว     |
| 4. ตัวต้านทาน 150 $\Omega$ , 330 $\Omega$ , 680 $\Omega$ , 1 k $\Omega$ x2, 2.2 k $\Omega$ x2, 5.1 k $\Omega$ , 5.6 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 39 k $\Omega$ 0.5 W | จำนวน 11 ตัว    |
| 5. ทรานซิสเตอร์เบอร์ C458  | จำนวน 2 ตัว     |
| 6. ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF353   | จำนวน 1 ตัว     |
| 7. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ 0 – 15 V   | จำนวน 1 เครื่อง |
| 8. แผ่นเบรอนบอร์ด ภาคจ่ายไฟ $\pm 12$ V และสายต่อวงจร   | จำนวน 1 ชุด     |

### ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 1 วงจรสำหรับการทดลองข้อ 1

2. ต่อสายดีซีโวลต์มิเตอร์ไว้ที่ตำแหน่งอินพุต ( $E_i$ ) ปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ 0–5 V ให้มีค่าตามตารางที่ 1 และให้ใช้ดีซีโวลต์มิเตอร์อีกตัววัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต ( $E_o$ ) บันทึกลงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 2

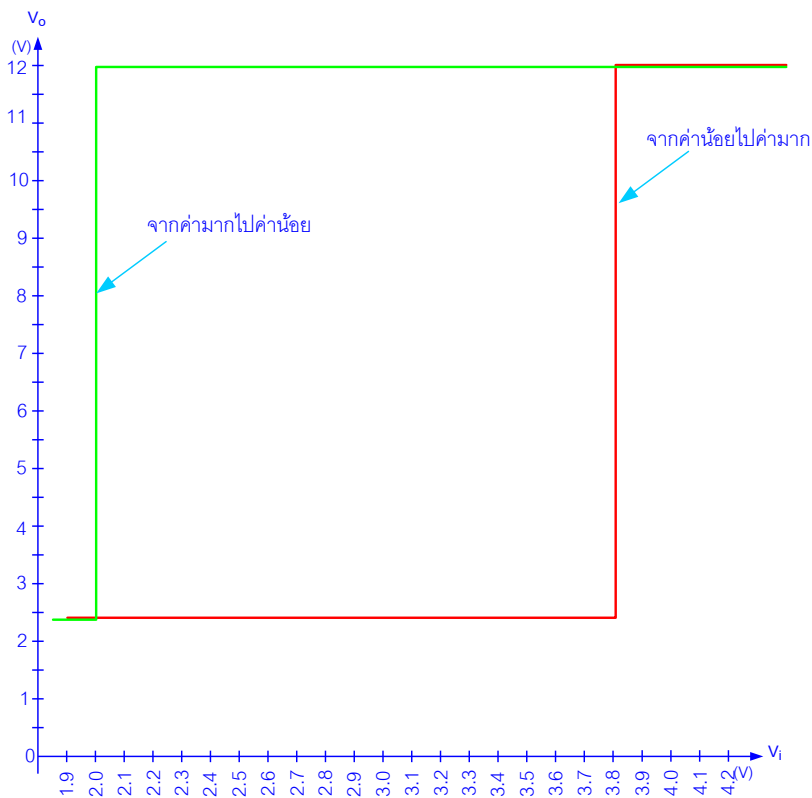
$E_i$ (V)	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2
$E_o$ (V)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	12	12	12	12	12

3. ปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ให้มีค่าตามตารางที่ 2 และใช้ดีซีโวลต์มิเตอร์อีกตัววัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต ( $E_o$ ) บันทึกลงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 3

$E_i$ (V)	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5
$E_o$ (V)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3

4. นำค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากตารางที่ 1 และค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากตารางที่ 2 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุต ( $E_i$ ) กับค่าเอาต์พุต ( $E_o$ ) เขียนในรูปที่ 2

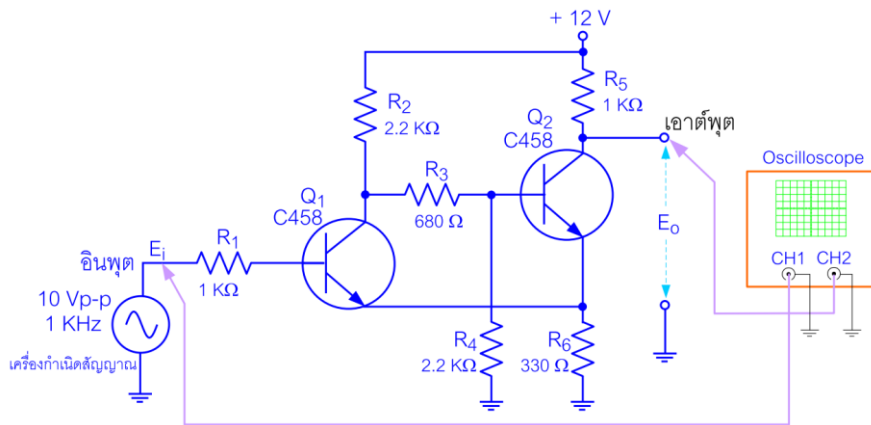


รูปที่ 2 สำหรับบันทึกกราฟของข้อ 4

5. จากผลการทดลองในกราฟรูปที่ 2 มีผลแตกต่างกันอย่างไรระหว่างการปรับแรงดันอินพุตจาก มากไปหาน้อยกับ การปรับแรงดันอินพุตจากน้อยไปหามาก

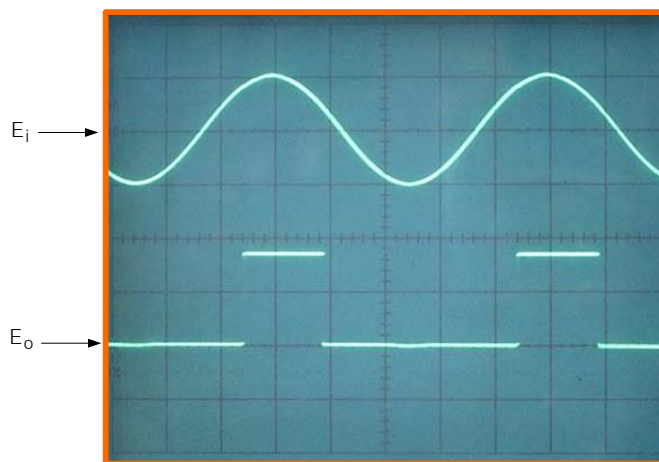
**ตอบ** จากการทดลองที่เปลี่ยนแรงดันอินพุตจากค่าน้อยไปค่ามากพบว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่า 3.3V เป็น 12V เมื่ออินพุตมีขนาดแรงดัน 3.8 V เป็นต้นไป และการทดลองที่เปลี่ยนแรงดันอินพุตจากค่ามากไปค่าน้อยพบว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่า 12V เป็น 3.3V เมื่ออินพุตมีขนาดแรงดัน 1.9 V เป็นต้นไป

6. เปลี่ยนอินพุตให้เป็นสัญญาณจากฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ โดยปรับเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 KHz ความแรง 14 V<sub>p-p</sub> ซึ่งต่อตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรสำหรับการทดลองข้อ 6

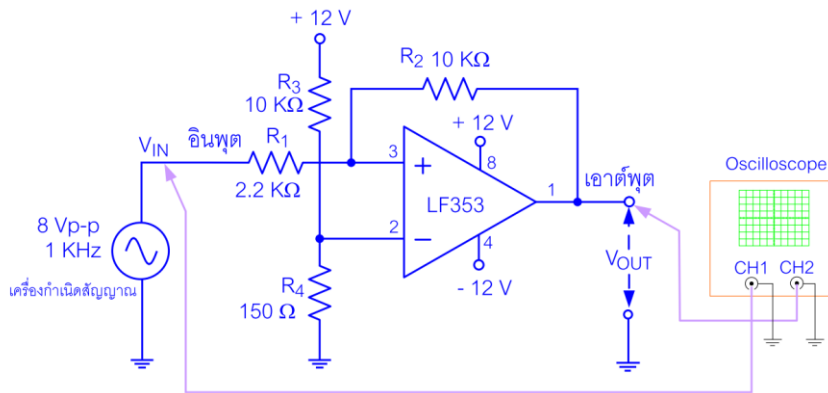
7. ใช้สายวัดสัญญาณของออสซิลโลสโคปแบบ 2 เส้นภาพ โดย CH<sub>1</sub> ต่อที่อินพุต (E<sub>i</sub>) CH<sub>2</sub> ต่อที่เอาต์พุต (E<sub>o</sub>) แล้วปรับออสซิลโลสโคปให้อ่านสัญญาณให้ชัดเจนที่สุด บันทึกรูปคลื่นสัญญาณ พร้อมบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 7

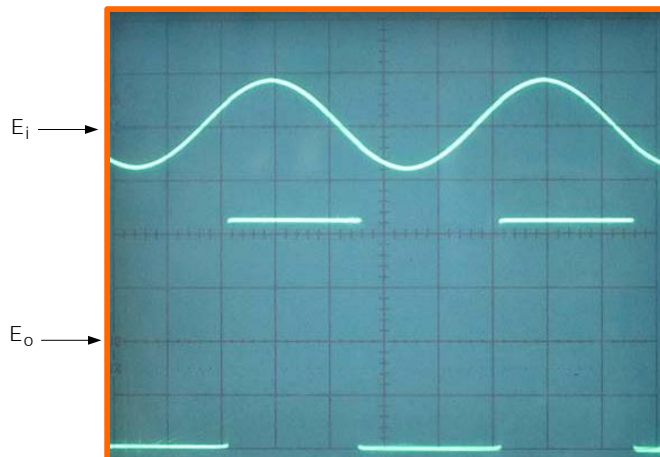
ขนาดสัญญาณอินพุต = 10 V<sub>p-p</sub>, ขนาดสัญญาณเอาต์พุต = 8.7 V<sub>p-p</sub>

8. ประกอบวงจรตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 5 วงจรสำหรับการทดลองข้อ 8

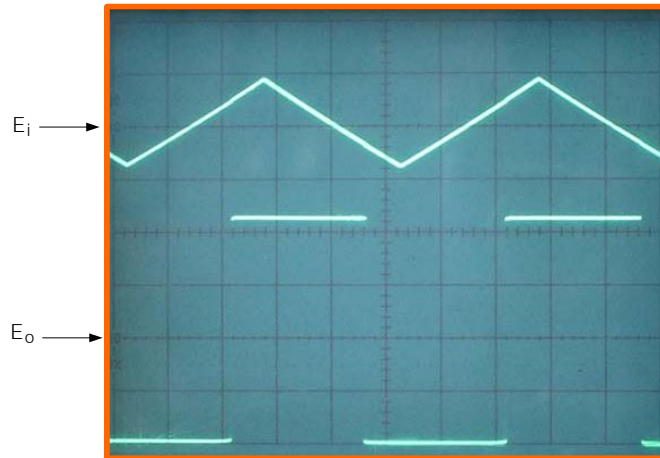
9. ปรับเลือกรูปแบบของสัญญาณที่เครื่องกำเนิดสัญญาณให้เป็นคลื่นไซน์ ขนาดสัญญาณ  $14 V_{p-p}$  ความถี่  $1 \text{ kHz}$  ใช้ออสซิลโลสโคปแบบ 2 เส้นภาพ โดยสายวัด CH<sub>1</sub> ต่อที่อินพุต (E<sub>i</sub>) CH<sub>2</sub> ต่อที่เอาต์พุต (E<sub>o</sub>) แล้วปรับออสซิลโลสโคปให้อ่านสัญญาณให้ชัดเจนที่สุด บันทึกรูปคลื่นสัญญาณ พร้อมบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 9

ขนาดสัญญาณอินพุต =  $8 V_{p-p}$ , ขนาดสัญญาณเอาต์พุต =  $22 V_{p-p}$

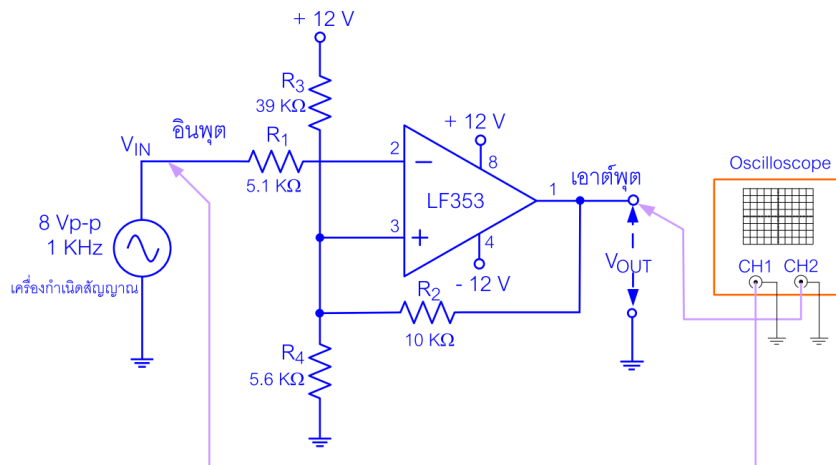
10. เปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณที่เครื่องกำเนิดสัญญาณให้เป็นคลื่นสามเหลี่ยม แล้วทำตามข้อ 9 บันทึกค่าต่าง ๆ ลงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 10

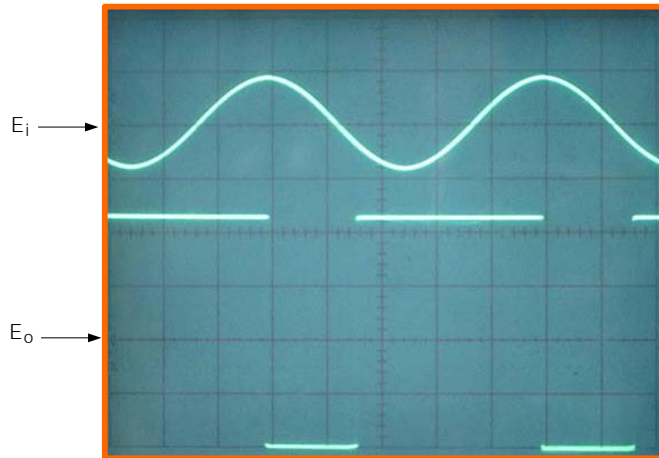
ขนาดสัญญาณอินพุต =  $8 V_{p-p}$ , ขนาดสัญญาณเอาต์พุต =  $22 V_{p-p}$

11. ประกอบวงจรตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 วงจรสำหรับการทดลองข้อ 11

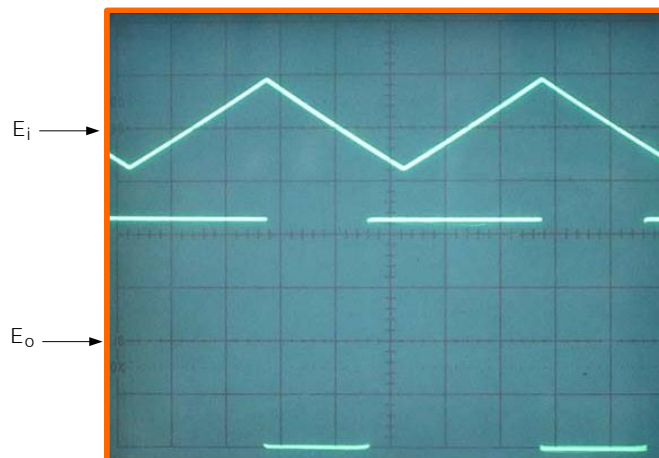
12. ปรับเลือกรูปแบบของสัญญาณที่เครื่องกำเนิดสัญญาณให้เป็นคลื่นไซน์ ขนาดสัญญาณ  $14 V_{p-p}$  ความถี่  $1 \text{ kHz}$  ใช้ข้อสซิลโลสโคปแบบ 2 เส้นภาพ โดยสายวัด CH<sub>1</sub> ต่อที่อินพุต (E<sub>i</sub>) CH<sub>2</sub> ต่อที่เอาต์พุต (E<sub>o</sub>) แล้วปรับออสซิลโลสโคปให้อ่านสัญญาณให้ชัดเจนที่สุด บันทึกรูปคลื่นสัญญาณ พร้อมบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 12

ขนาดสัญญาณอินพุต =  $8 V_{p-p}$ , ขนาดสัญญาณเอาต์พุต =  $22 V_{p-p}$

13. เปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณที่เครื่องกำเนิดสัญญาณให้เป็นคลื่นสามเหลี่ยม แล้วทำตามข้อ 12 บันทึกค่าต่าง ๆ ลงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 สำหรับบันทึกผลการทดลองข้อ 13

ขนาดสัญญาณอินพุต =  $8 V_{p-p}$ , ขนาดสัญญาณเอาต์พุต =  $22 V_{p-p}$

14. จากผลการทดลองในรูปที่ 6 กับผลการทดลองในรูปที่ 9 มีข้อแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

**ตอบ** แตกต่างกัน กล่าวคือรูปที่ 6 เป็นวงจรมิตริกเกอร์แบบไม่กลับเฟส ส่วนรูปที่ 9 เป็นวงจรมิตริกเกอร์แบบกลับเฟส ดังนั้นจุดทำงานจึงต่างกัน



# แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 7

## วงจรมิตทริกเกอร์

ตอนที่ 1 จงทำเครื่องหมาย X ลงในข้อที่ถูกต้องที่สุด

### 1. ประโยชน์ของวงจรมิตทริกเกอร์คือข้อใด

- ก. ผลิตสัญญาณพัลส์
- ข. เปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นอื่น ๆ ให้เป็นพัลส์
- ค. เปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นอื่น ๆ ให้เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- ง. ผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีสัญญาณรูปคลื่นไซน์เป็นตัวควบคุม

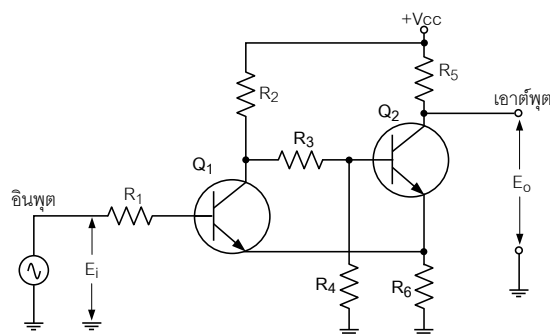
### 2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใดไม่สามารถสร้างเป็นวงจรมิตทริกเกอร์ได้

- ก. Diode
- ข. Transistor
- ค. MOSFET
- ง. Op-amp

### 3. ข้อใดกล่าวผิด

- ก. วงจรมิตทริกเกอร์อาศัยวงจรรขยายที่มีการป้อนกลับแบบบวก
- ข. วงจรมิตทริกเกอร์จะให้สถานะเอาต์พุตเปลี่ยนจาก Low เป็น High
- ค. วงจรมิตทริกเกอร์จะให้สถานะเอาต์พุตเปลี่ยนจาก High เป็น Low
- ง. วงจรมิตทริกเกอร์จะทำงานตรงกันข้ามเมื่อแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลง

### วงจรสำหรับข้อ 4-5



### 4. จากวงจรที่กำหนด ข้อใดกล่าวถูกต้อง

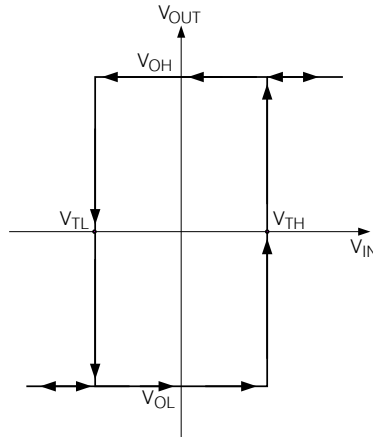
- ก. แรงดันเอาต์พุต ( $E_o$ ) จะเป็น "0" เมื่อแรงดันอินพุตสูงกว่า UTP
- ข. แรงดันเอาต์พุต ( $E_o$ ) จะเป็น "1" เมื่อแรงดันอินพุตต่ำกว่า LTP
- ค. แรงดันเอาต์พุต ( $E_o$ ) จะเป็น "1" เมื่อแรงดันอินพุตสูงกว่า UTP
- ง. ถูกทั้งข้อ ก และข้อ ข



5. จากวงจรในรูปที่กำหนด อุปกรณ์ตัวใดที่มีผลต่อการป้อนกลับแบบ Positive feedback

- ก.  $R_2$
- ข.  $R_3$
- ค.  $R_4$
- ง.  $R_6$

6. จากด้านล่าง ข้อใดเป็นการแปลความหมายจากรูปภาพ hysteresis ของวงจรสมิตทริกเกอร์ได้ถูกต้อง

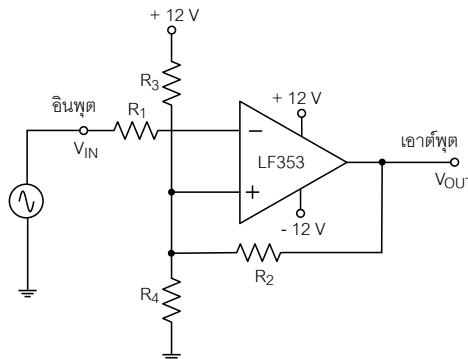


- ก. เมื่อแรงดันอินพุตต่ำกว่า  $V_{TH}$  จะทำให้เอาต์พุตมีค่าระดับลอจิก 1
- ข. เมื่อแรงดันอินพุตสูงกว่า  $V_{TH}$  จะทำให้เอาต์พุตมีค่าระดับลอจิก 0
- ค. เมื่อแรงดันอินพุตต่ำกว่า  $V_{TL}$  จะทำให้เอาต์พุตมีค่าระดับลอจิก 0
- ง. เมื่อแรงดันอินพุตสูงกว่า  $V_{TL}$  จะทำให้เอาต์พุตมีค่าระดับลอจิก 0

7. จากสมการ  $V_{TH} = \frac{R_1}{R_2} \times V_{OL}$  ข้อใดกล่าวผิด

- ก. วงจรสมิตทริกเกอร์ใช้ทรานซิสเตอร์
- ข. วงจรสมิตทริกเกอร์ชนิดกลับเฟส
- ค. อินพุตป้อนเข้าที่ขา inverting input
- ง.  $R_1$  เป็นอุปกรณ์สำหรับการป้อนกลับแบบ Positive feedback

วงจรสำหรับข้อ 8-9



8. จากวงจรที่กำหนด อุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราการขยายทางแรงดันไฟฟ้าคืออุปกรณ์ใด

ก.  $R_1$  และ  $R_2$

ข.  $R_1$  และ  $R_3$

ค.  $R_3$  และ  $R_4$

ง.  $R_2$  และ  $R_4$

9. จากวงจรที่กำหนด ข้อใดกล่าวผิด

ก. วงจรขมิตทริกเกอร์ที่ใช้ฮอปแอมป์แบบกลับเฟส

ข. แรงดันที่เอาต์พุตไม่เกิน 12 V

ค.  $R_3$  และ  $R_4$  เป็นวงจรแบ่งแรงดัน

ง. ถ้าหาก  $V_{IN} > V_{TH}$  เอาต์พุตจะเป็นลอจิก 1

10. สัญลักษณ์ในข้อใดที่บ่งบอกว่าอุปกรณ์นั้น ๆ ที่อินพุตมีวงจรมิตทริกเกอร์อยู่ด้วย

ก.  $\perp$

ข.  $\perp$

ค.  $\lrcorner$

ง.  $\lrcorner$

**ตอนที่ 2** จงอธิบาย/บรรยายหรือออกแบบ

1. จงบอกประโยชน์ของวงจรมิตทริกเกอร์

**ตอบ** ประโยชน์ของวงจรมิตทริกเกอร์คือ

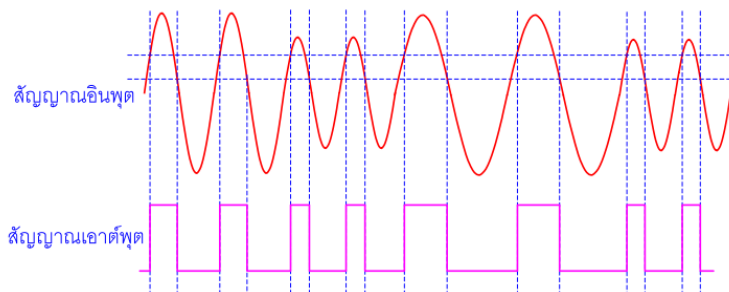
1. แปลงรูปร่างสัญญาณไฟฟ้าจากรูปร่างอื่น ๆ ให้เป็นสัญญาณพัลส์ เพื่อใช้งานับวงจรพัลส์และดิจิตอล
2. ลดขนาดสัญญาณให้มีค่าตามที่กำหนด

2. อุปกรณ์ประเภท Active ที่สามารถสร้างเป็นวงจรมิตทริกเกอร์ ได้แก่ประเภทใดบ้าง

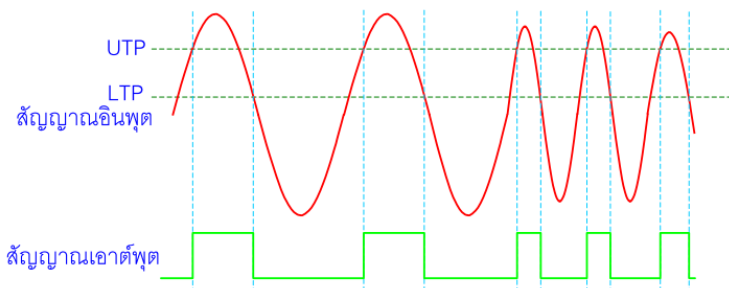
**ตอบ** อุปกรณ์ประเภท Active ที่สามารถสร้างเป็นวงจรมิตทริกเกอร์ เช่น

1. ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ (BJT)
2. ทรานซิสเตอร์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (FET)
3. ฮอปแอมป์ (OP-Amp)

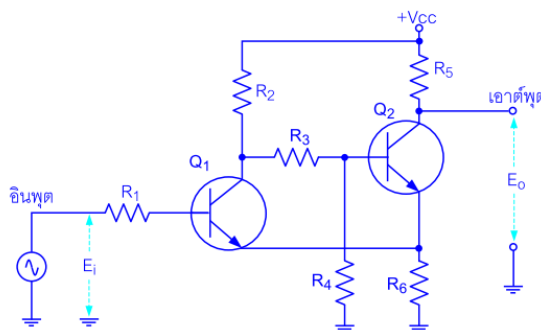
3. จากรูปด้านล่าง จงอธิบายการทำงานของวงจรมิตทริกเกอร์



ตอบ การทำงานของวงจรมิตทริกเกอร์นั้น จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นใด ๆ ให้เป็นสัญญาณรูปพัลส์ โดยมีตำแหน่งแรงดันอินพุตด้านที่เพิ่มจากน้อยไปหามากที่ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนเรียกว่า UTP แรงดันอินพุตด้านที่ลดจากมากไปหาน้อยที่ทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนเรียกว่า LTP แสดงดังรูปด้านล่าง



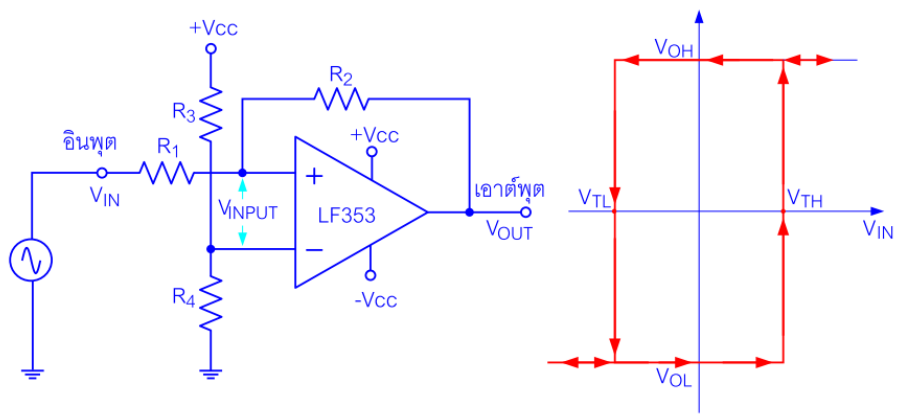
4. วงจรในรูปด้านล่าง จงอธิบายการทำงานของวงจรมิตทริกเกอร์



ตอบ เมื่อไม่ป้อนสัญญาณอินพุตให้กับทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 จะทำให้ Q1 ไม่นำกระแส (Cut off) กระแสจึงไหลจาก +Vcc ผ่าน R<sub>2</sub> ผ่าน R<sub>3</sub> แล้วแยกเป็น 2 ทาง คือไหลเข้าที่ขา B ของ Q<sub>2</sub> และส่วนหนึ่งไหลผ่าน R<sub>4</sub> ดังแสดงในรูปที่ 6.2 เมื่อมีกระแสไหลเข้าที่ I<sub>B</sub> ของ Q<sub>2</sub> ทำให้ Q<sub>2</sub> นำกระแสเต็มที่ (Saturation) กระแสไหลจาก +V<sub>CC</sub> ผ่าน R<sub>5</sub> ผ่านขา C ของ Q<sub>2</sub> ออกที่ขา E ผ่าน R<sub>6</sub> ลงกราวด์ กระแสที่ไหลผ่าน R<sub>6</sub> นี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขบ E ของ Q<sub>1</sub> และ ขา E ของ Q<sub>2</sub> จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขา E ของ Q<sub>2</sub> มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขา B ของ Q<sub>1</sub> เป็นผลให้ Q<sub>1</sub> ไม่นำกระแส หากป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณไฟฟ้าบวกเข้าที่ขา B ของ Q<sub>1</sub> ดังแสดงในรูปที่ 7.4 ซึ่งมีค่ามาก

พอที่จะทำให้  $Q_1$  นำกระแส กระแสไหลจาก  $+V_{CC}$  ผ่าน  $R_2$  ผ่านขา C ของ  $Q_1$  ออกที่ขา E ของ  $Q_1$  ผ่าน  $R_6$  ลงกราวด์ จึงทำให้ไม่มีกระแสไปที่ขา B ของ  $Q_2$  เป็นเหตุให้  $Q_2$  ไม่นำกระแส นอกจากนี้ กระแส  $I_E$  ของ  $Q_1$  ที่ไหลผ่าน  $R_6$  จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขา E ของ  $Q_2$  มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขา B ของ  $Q_2$  จึงทำให้  $Q_2$  ไม่นำกระแส (Cut off) แรงดันไฟฟ้าอินพุต  $E_1$  ที่ป้อนให้  $Q_1$  ทำให้  $Q_1$  เริ่มนำกระแสเรียกว่า UTP (Upper trigger point)

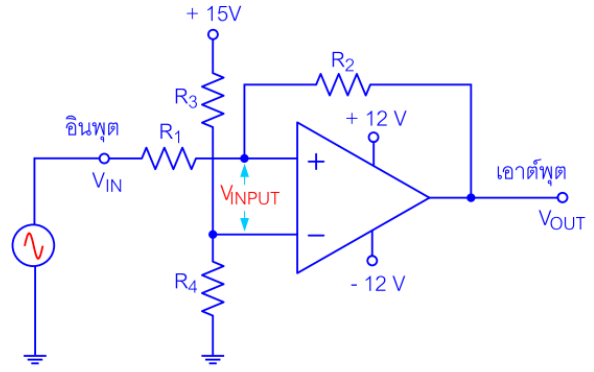
5. จากวงจรในรูปด้านล่าง จงออกแบบวงจรขมิตริกเกอร์แบบไม่กลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LF353 ให้วงจรทำงานที่จุด  $V_{TH} = 4.5\text{ V}$ ,  $V_{TL} = -4\text{ V}$  และ  $V_{OH} = 14.8\text{ V}$  และเขียนค่าลงใน Hysteresis ด้านล่าง



**วิธีออกแบบ**

จากโจทย์กำหนดต้องการ  $V_{OH} = 14.8\text{ V}$  ดังนั้นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง  $\pm 15\text{ V}$

( $V_{OH} = V_{cc} - 0.2$  สำหรับออปแอมป์)



จากสูตร

$$V_{INPUT} = \frac{V_{OH} \times (V_{TH} + V_{TL})}{2 \times V_{OH} (V_{TH} - V_{TL})} = \frac{14.8 \times (4.5 + (-4))}{2 \times 14.8 \times (4.5 - (-4))} = \frac{14.8 \times (4.5 - 4)}{2 \times 14.8 \times (4.5 + 4)}$$

$$= \frac{14.8 \times (0.5)}{29.6 \times (8.5)} = \frac{7.4}{251.6} = 0.029\text{ V}$$

จากรูป เลือก  $R_2 = 10\text{ K}\Omega$

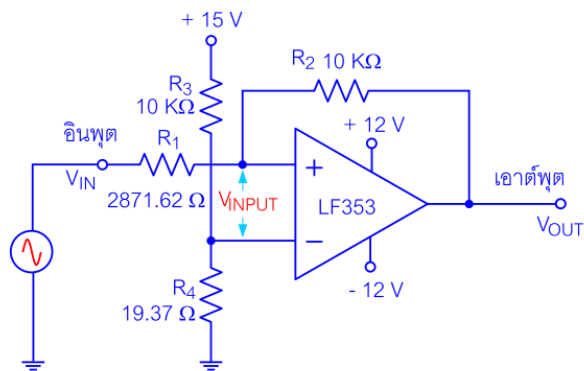
$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } R_1 &= \frac{R_2 \times (V_{TH} - V_{TL})}{2 \times V_{OH}} = \frac{10 \times 10^3 \times (4.5 - (-4))}{2 \times 14.8} \\
 &= \frac{10 \times 10^3 \times (4.5 + 4)}{2 \times 14.8} \\
 &= \frac{10 \times 10^3 \times 8.5}{29.6} \\
 &= 2871.62 \, \Omega
 \end{aligned}$$

จากรูปด้านบน เลือก  $R_3 = 10 \, \text{K}\Omega$

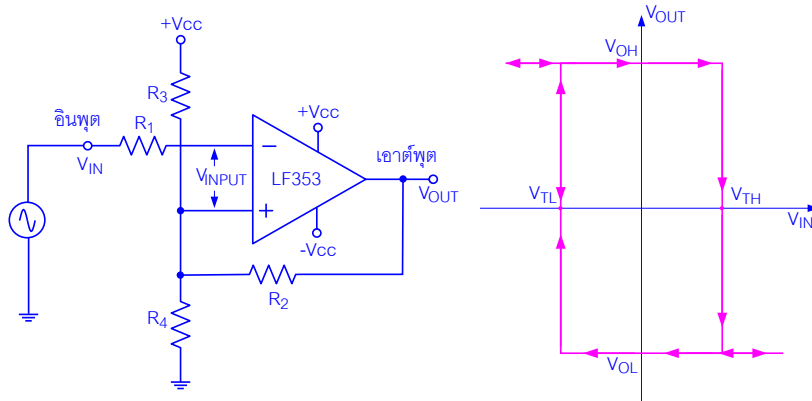
จากสูตรวงจรแบ่งแรงดัน

$$\begin{aligned}
 R_4 &= \frac{R_3 \times V_{\text{INPUT}}}{V_{CC} - V_{\text{INPUT}}} \\
 &= \frac{10 \times 10^3 \times 0.029}{15 - 0.029} \\
 &= 19.37 \, \Omega
 \end{aligned}$$

วงจรที่ออกแบบได้ดังรูปด้านล่าง



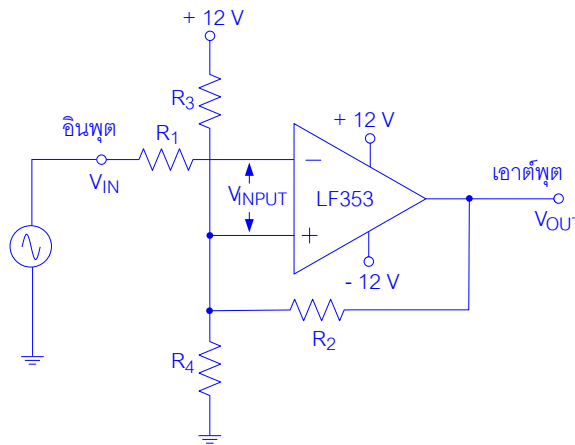
6. จากวงจรในรูปด้านล่าง จงออกแบบวงจรขั้วตริกเกอร์แบบกลับเฟสโดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LF353 ให้วงจรทำงานที่จุด  $V_{TH} = 2.4 \text{ V}$ ,  $V_{TL} = -1.5 \text{ V}$  และ  $V_{OH} = 11.8 \text{ V}$  และเขียนค่าลงใน Hysteresis ด้านล่าง



**วิธีออกแบบ**

จากโจทย์กำหนดต้องการ  $V_{OH} = 11.8 \text{ V}$  ดังนั้นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง  $\pm 12 \text{ V}$

( $V_{OH} = V_{CC} - 0.2 \text{ V}$  สำหรับออปแอมป์)



กำหนดค่า R feedback ( $R_2$ ) =  $10 \text{ K}\Omega$

คำนวณหา  $V_{INPUT}$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } V_{INPUT} &= \frac{V_{OH} \times (V_{TH} + V_{TL})}{(2 \times V_{OH}) - V_{TH} + V_{TL}} \\
 &= \frac{12 \times (2.4 + (-1.5))}{(2 \times 11.8) - 2.4 + (-1.5)} \\
 &= \frac{12 \times 0.9}{23.6 - 2.4 - 1.5} \\
 &= \frac{10.8}{19.7} = 0.548 \text{ V}
 \end{aligned}$$

คำนวณหา  $R_1$

จากสูตร

$$R_1 = \frac{R_2 \times (V_{TH} - V_{TL})}{(2 \times V_{OH}) - V_{TH} + V_{TL}}$$
$$= \frac{10 \text{ K}\Omega \times (2.4 - (-1.5))}{(2 \times 11.8) - 2.4 + (-3)}$$
$$R_1 = \frac{10 \times 10^3 \times (2.4 + 1.5)}{(23.6) - 2.4 - 1.5}$$
$$= \frac{10 \times 10^3 \times 3.9}{23.6 - 3.9}$$
$$= 1979.69 \Omega \quad \text{เลือกใช้ } 2 \text{ K}\Omega$$

คำนวณหา  $R_3$

จากสูตร

$$R_3 = \frac{R_1 \times V_{CC}}{V_{INPUT}}$$
$$= \frac{2 \text{ K}\Omega \times 12 \text{ V}}{0.548 \text{ V}}$$
$$= 43795.62 \Omega \quad \text{เลือกใช้ } 39 \text{ K}\Omega + 3.9 \text{ K}\Omega$$

คำนวณหา  $R_4$

จากสูตร

$$R_4 = \frac{R_1 \times V_{CC}}{V_{CC} - V_{INPUT}}$$
$$= \frac{2 \text{ K}\Omega \times 12 \text{ V}}{12 \text{ V} - 0.548 \text{ V}}$$
$$= 2095.70 \Omega \quad \text{เลือกใช้ } 2 \text{ K}\Omega$$

เขียนวงจรตามที่ออกแบบวงจรได้ดังรูปด้านล่าง

