การทดลองที่ 9 Sawtooth (Ramp-Function) Generator

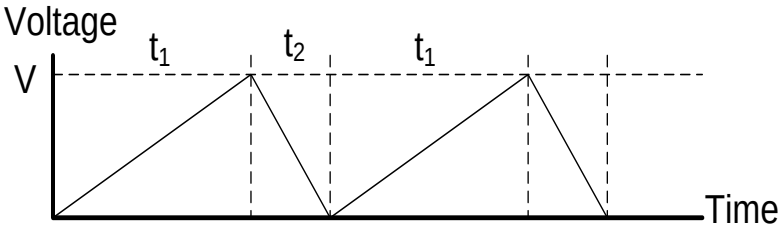
วัตถุประสงค์

1. เพื่อที่จะศึกษาและสังเกตดูรูปที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณ ที่ทำการทดลอง
2. เพื่อที่จะหาผลในทางความถี่ และค่า time constant ที่ขนาดของสัญญาณและความเป็นเส้นตรงของขนาดของสัญญาณ

สัญญาณ Sawtooth

ทฤษฎี

สัญญาณ Sawtooth เป็นสัญญาณที่มีคาบเวลาที่แน่นอนและมีประโยชน์ในการใช้งานเป็นอย่างมากในวงจรอิเลคทรอนิคส์ต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นสัญญาณฐานเวลาใน Oscilloscope หรือ ในระบบแสดงผล Radar และการใช้งานอื่นๆ อีกมาก

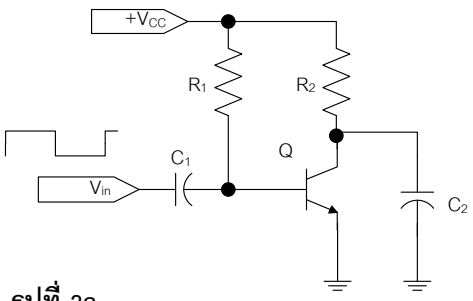


รูปที่ 1

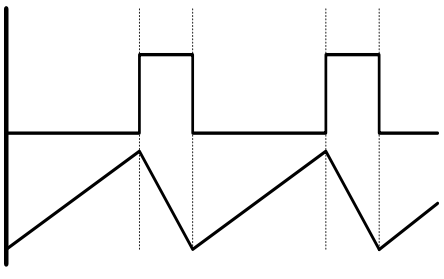
จากรูปที่ 1 เป็นลักษณะของสัญญาณ Sawtooth ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณ Sawtooth นี้เป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นกับเวลา กล่าวคือระดับ Voltage จะเพิ่มขึ้นจาก 0 จนถึงระดับ V อย่างเป็นเส้นตรงด้วยเวลา t_1 และจะลดลงจากระดับ V เป็น 0 อย่างเป็นเส้นตรงด้วยเวลา t_2 และเกิดขึ้นซ้ำๆ กันไป ซึ่งมองแล้วจะเหมือนฟันของเลื่อยนั่นเอง ในช่วงเวลา t_1 เราเรียกว่า rise time และในช่วงเวลา t_2 เราเรียกว่า fall time ซึ่งสัญญาณ Sawtooth นี้ก็จะมีค่า $t_1 > t_2$

1. **การสร้างสัญญาณ Sawtooth**

สัญญาณ Sawtooth เราสร้างได้จากการ Charge และ Discharge RC time constant ที่เหมาะสม



รูปที่ 2a.



รูปที่ 2b.

จากวงจรรูปที่ 2a. เป็นการขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์ Q แบบ NPN ซึ่งจะนำกระแส(ON) เมื่อทีสัญญาณเข้ามา เมื่อมีสัญญาณ Pulse สี่เหลี่ยม (V_{in} ในรูปที่ 2b.)เข้ามาที่อินพุท และค่า R_1C_1 time constant มีค่ามากเมื่อเทียบกับช่วงเวลา t_1+t_2 ของสัญญาณ Pulse ดังนั้นสัญญาณสี่เหลี่ยมก็จะ Coupling ผ่าน R_1C_1 ไปยังขา BASE จะได้ว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของ t_1 ขาBASE ของทรานซิสเตอร์ Q จะเป็นลบเมื่อเทียบกับขา EMITTER ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Cut off ดังนั้น Voltage ที่ขา COLLECTOR ซึ่งเดิมก่อนหน้านี้มีค่าเป็น 0 ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากกระแสที่ผ่าน R_2 ซึ่งเดิมนั้นไหลผ่านทรานซิสเตอร์ เมื่อทรานซิสเตอร์ Cut off ไปแล้วจะไหลมา Charge C_2 แทน ดังนั้นค่า Voltage ที่ขา COLLECTOR ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกับค่า R_2C_2 time constant นั่นเอง ซึ่งถ้าค่า R_2C_2 time constant มีค่ายาวนานกว่าคาบเวลา t_1 C_2 ก็จะถูก Charge ได้เพียงบางส่วนเท่านั้นเอง ในช่วงเวลา t_2 ซึ่งค่า V_{in} มีค่าเพิ่มมากขึ้นนั้นจะทำให้เกิดกระแสไหลเข้าสู่ BASE ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งทำให้ทรานซิสเตอร์ ON ดังนั้น $R_{ce}C_2$ time constant จึงมีค่าน้อย เป็นผลให้ระดับ Voltage ที่ขา COLLECTOR ของทรานซิสเตอร์ลดลงอย่างรวดเร็วคือ

$$i_{out} = i_{in} = v_{in}/R \qquad ...(1)$$

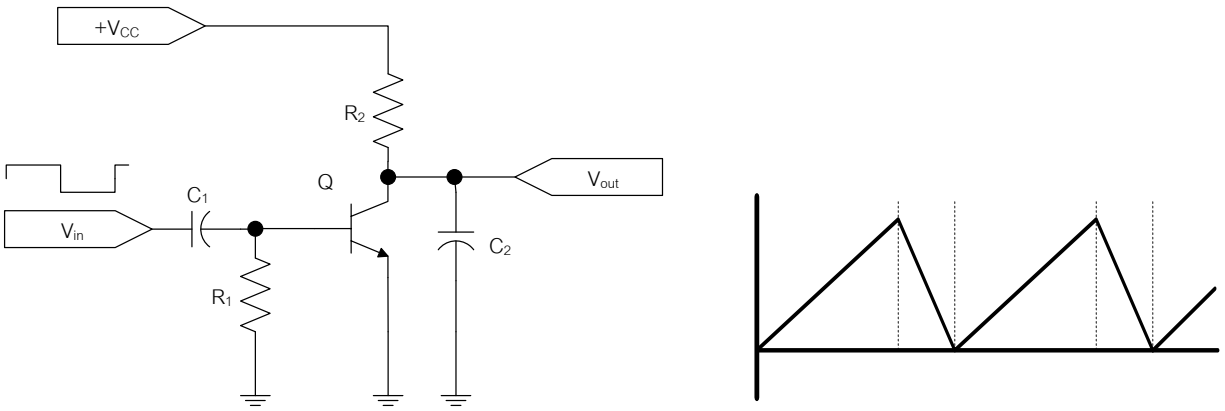
หรือจะกล่าวได้ว่ากระแสที่ Charge เข้าตัวเก็บประจุ มีค่าเท่ากับอินพุท Voltage หารด้วยค่าความต้านทาน R นั่นเอง เนื่องจากค่าของความจุ(C) กำหนดโดย

$$C = Q/V \qquad ...(2)$$

เขียนใหม่ได้เป็น

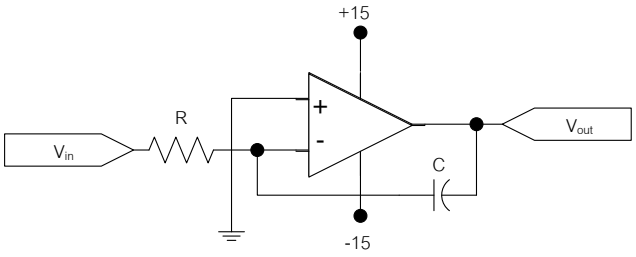
$$V = Q/C \qquad ...(3)$$

ดังนั้นเมื่อเราให้กระแสที่ Charge ตัวเก็บประจุ มีค่าคงที่ ค่า Q ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ด้วย จากสมการที่ (3) ก็จะได้ว่าค่าของ V ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่สัมพันธ์กับ Q



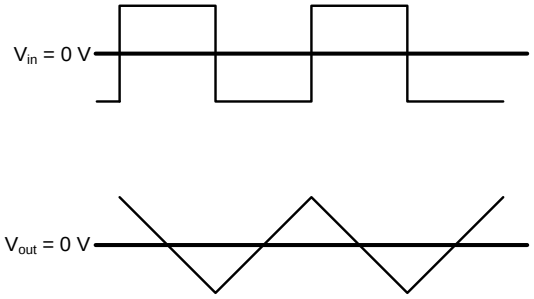
รูปที่ 3

2. **วงจร** Op Amp Integrator



รูปที่ 4a.

รูปที่ 4b.



รูปที่ 4c.

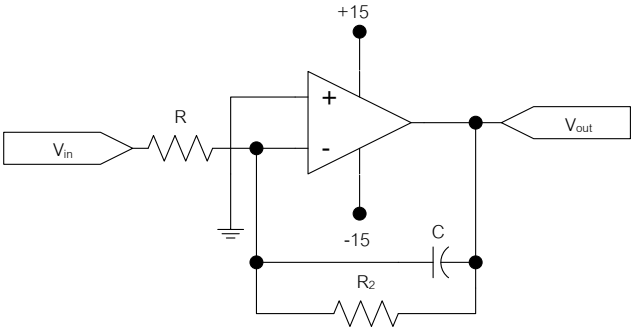
เมื่อเราป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4b. เข้าวงจร Op Amp Integrator เราก็จะได้ เอาท์พุทรูปสามเหลี่ยมดังรูป 4c และจากการวิเคราะห์ วงจรเราก็จะได้ขนาดของสัญญาณเอาท์พุทจากยอดถึงยอด ($V_{out(p-p)}$) คือ

$$v_{out(p-p)} = \frac{v_{in(p-p)}}{4FRC} \qquad ...(4)$$

ตัวอย่างเช่น เมื่อเราให้ความถี่ของสัญญาณอินพุท F=1 kHz, R = 10kΩ, C = 0.2 μF และขนาดของสัญญาณอินพุทจากยอดถึงยอด = 12 V จะได้

$$v_{out(p-p)} = \frac{12V}{4*10^3*10^4*0.2*10^6} = 1.5\ V$$

แต่ทางปฏิบัตินั้นตัวเก็บประจุเหมือนมีความต้านทานเป็นอนันต์ เมื่อมีความถี่เท่ากับ 0 ซึ่งในกรณีนี้ก็คือ เมื่อเราป้อนอินพุทที่มีลักษณะเป็นไฟตรงเข้าไป ซึ่งก็จะทำให้ Op Amp Saturate เพื่อที่จะแก้ไขปัญหานี้เราก็จะใส่ตัวต้านทาน R_2 คร่อมตัวเก็บประจุ C เข้าไปอีกดังรูปที่ 5

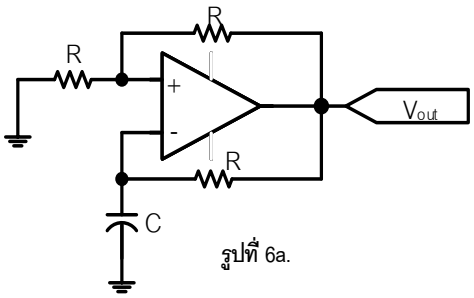


รูปที่ 5

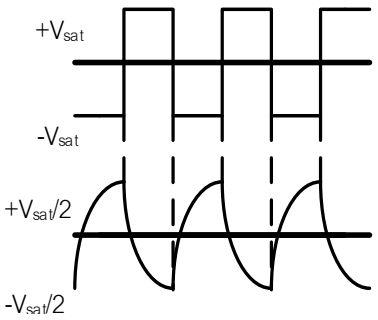
ซึ่งค่า R_2 นี้ก็ควรจะมีค่ามากกว่า R ประมาณ 5 -10 เท่า ซึ่งก็จะไม่มีผลกับสัญญาณเอาท์พุทเท่าใดนัก เมื่อความถี่ f ที่ใช้

$$f = \frac{1}{2R_2C} \qquad ...(5)$$

3. Relaxation Oscillator



รูปที่ 6a.



รูปที่ 6b.

รูปที่ 6c.

จากรูปวงจรรูปที่ 6a. เป็นวงจรแบบหนึ่งของ Relaxation Oscillator ซึ่งค่าความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จะขึ้นอยู่กับการ Charge และ Discharge ของตัวเก็บประจุจากวงจร จะเห็นได้ว่า Op Amp ทำหน้าที่เป็น Schmitt Trigger ซึ่งมีค่า UTP = $V_{sat}/2$ และ LTP = $-V_{sat}/2$ และอินพุทของวงจรก็จะเกิดจากวงจร RC ที่ต่ออยู่ระหว่างเอาท์พุทกับอินพุทนั่นเอง

เราจะอธิบายถึงวงจรได้คือ เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับวงจรเราสมมติให้เอาท์พุทของ Op Amp Saturate ทางด้านบวก ตัวเก็บประจุ C ซึ่งไม่มีประจุอยู่ (Voltage เป็น 0) ก็จะถูก Charge ผ่าน R ดังนั้น Voltage ที่คร่อมตัวเก็บประจุ C ก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่าง Exponential จนเมื่อ Voltage ที่คร่อมตัวเก็บประจุ C มีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่า UTP (ในที่นี้คือ $V_{sat}/2$) เอาท์พุทของ Op Amp ก็จะ Saturate ทางด้านลบทันที เป็นแหตุให้ตัวเก็บประจุ C ซึ่งขณะนี้มี Voltage เท่ากับ $V_{sat}/2$ ถูก Discharge ผ่าน R ค่า Voltage ที่คร่อม C ก็จะลดลงอย่าง Exponential จนกระทั่ง Voltage ที่คร่อมตัวเก็บประจุ C ก็จะถูก Charge อีกครั้งวนเวียนไป สัญญาณเอาท์พุทที่ได้ ก็จะเป็นดังรูปที่ 12b. และ Voltage ที่คร่อมตัวเก็บประจุก็จะเป็นดังรูปที่ 6c.

จากการวิเคราะห์วงจรเราจะได้ความถี่ของสัญญาณเอาท์พุท f คือ

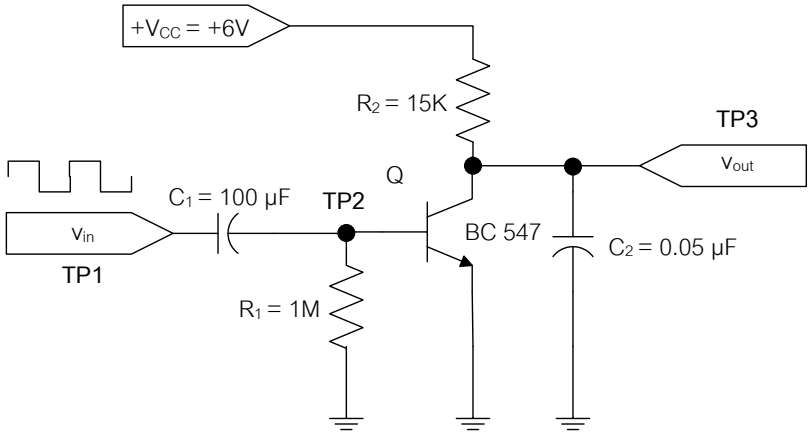
$$f = \frac{0.455}{RC}$$

เช่นถ้า R = 6.8 kΩ และ C = 0.02 μF

$$f = \frac{0.455}{6.8*10^{3}*0.02*10^{-6}} = 3.35kHz$$

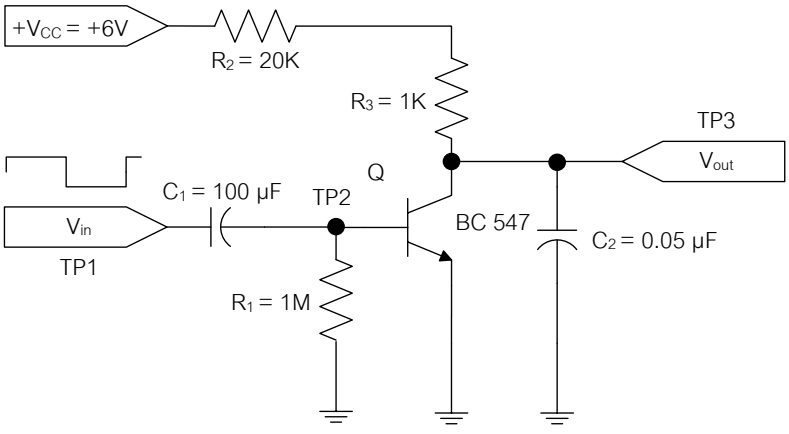
การทดลองตอนที่ 1 Low–Level Sawtooth wave

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 6 ปรับ Function Gen. ไปที่ความถี่ 250 H_Z ปรับ Amplitude ของสัญญาณเอาท์พุทจาก Function Gen. ให้มีขนาดเล็กที่สุด เลือกสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม ป้อนสัญญาณที่ได้จาก Function Gen. เข้าที่จุด v_{in} ปรับ Amplitude ของสัญญาณจนกระทั่งได้สัญญาณรูป Sawtooth ออกมาที่ TP3.



รูปที่ 6

2. ใช้ Oscilloscope ทำการวัดสัญญาณที่จุด TP2, TP3 โดยเทียบกับจุด TP1 บันทึกลักษณะของสัญญาณที่วัดได้เทียบกับ TP1 (ให้ time และ Phase ตรงกับที่วัดได้ Oscilloscope) บันทึกค่าของ Amplitude แบบ Peak – Peak และค่าความถี่ของสัญญาณต่าง ๆ ลงในตารางที่ 1.
3. เปลี่ยนค่า C_2 ในวงจรรูปที่ 6 เป็นค่า 0.22 µF (ไม่ต้องปรับค่า v_{in} อีก) แล้วใช้ Oscilloscope ทำการวัดสัญญาณที่จุด TP3 (ให้ time และ Phase ตรงกับที่วัดได้จากข้อ 1 และ 2) บันทึกค่าของ Amplitude แบบ Peak – Peak และค่าความถี่ของสัญญาณต่าง ๆ ลงในตารางที่ 1
4. เปลี่ยนวงจรใหม่เป็นดังรูปที่ 7. วัดสัญญาณที่จุด TP3 เทียบกับ TP1 ด้วย Oscilloscope บันทึกสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเราทำการเปลี่ยน R_2 ให้มีค่าตามตารางที่ 2



รูปที่ 7

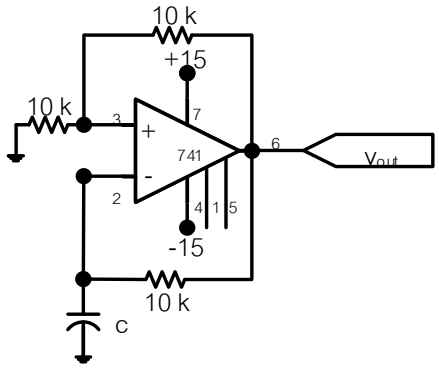
ตารางที่ 1

C_2	สัญญาณ	Waveform	Amplitude (V_{p-p})	Frequency (H_Z)
0.05μF	TP1			
0.05μF	TP2			
0.05μF	TP3			
0.22μF	TP2			
0.22μF	TP3			

ตารางที่ 2

R_2	Waveform	Amplitude (V_{p-p})	Frequency (H_Z)
5kΩ			
10kΩ			
15kΩ			
20kΩ			

การทดลองตอนที่ 2 Op-Amp Relaxation Oscillator



รูปที่ 8

1. คำนวณค่าความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทของวงจรในรูปที่ 8. สำหรับค่า C ต่างๆ ดังตารางที่ 3 บันทึกค่าลงในช่อง fcalc ของตาราง

2. ต่อวงจรดังรูปที่ 7. โดยใช้ค่า C เท่ากับ 0.02 μF

3. สังเกตสัญญาณเอาท์พุทที่ได้โดยใช้ Oscilloscope สัญญาณที่ได้ควรมีรูปแบบคล้ายรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมทำการวัดค่า Amplitude ของสัญญาณเอาท์พุทในแบบ Peak – Peak แล้วบันทึกเป็นค่าของ v_{out} ในตารางที่ 3

4. วัดค่าความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 3 ในช่อง fmeas

5. ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณที่ขา 2 ของ Op Amp สัญญาณที่วัดได้ควรมีลักษณะเป็น Exponential วัดค่า Amplitude ของสัญญาณในแบบ Peak – Peak แล้วบันทึกค่าลงในช่อง v_{in} ของตารางที่ 3

ตารางที่ 3

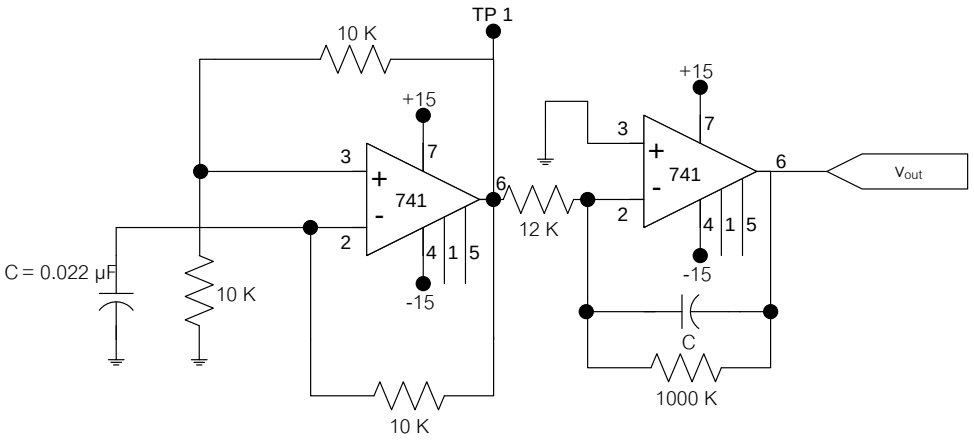
C(μF)	fcalc	v_{out} (p-p)	fmeas	v_{in} (p-p)
0.022				
0.047				
0.1				

การทดลองตอนที่ 3 Op Amp Integrator

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 9. โดยใช้ค่า C เท่ากับ 0.022 μF

2. วัดสัญญาณที่จุด v_{out} เทียบกับจุด TP1 โดยใช้ Oscilloscope

3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3. โดยเปลี่ยนค่า C ตามตารางที่ 3 บันทึกลักษณะของสัญญาณ (Peak – Peak) ทั้งหมดลงในตารางที่ 4



รูปที่ 9

ตารางที่ 4

	TP1			V_{out}		
C	Waveform	Vpp	Hz	Waveform	Vpp	Hz
0.01 µF						
0.022 µF						
0.047 µF						

<u>คำถามท้ายการทดลอง</u>

1. อธิบายการกำเนิดสัญญาณในการทดลองที่ 1 และ 2

……

……

……

……

2. อธิบายความแตกต่างของสัญญาณที่ได้ ณ จุด TP3 ในการทดลองข้อ 3 และ 4

   .....

   .....

   .....

   .....

   .....

3. จากการทดลองตอนที่ 3 ความถี่ป้อนให้กับวงจร Integrator ที่จุด TP1 มีค่าประมาณเท่าใด

   .....

   .....

   .....

   .....

   .....

4. อธิบายว่าทำไมเมื่อเพิ่มค่า C ในการทดลองที่ 3 ขนาดของ v_{out} ที่ได้จึงมีค่าลดลง

   .....

   .....

   .....

   .....

   .....

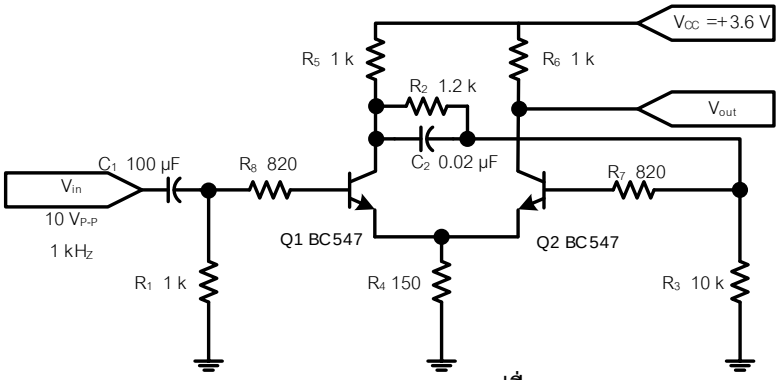
2 วงจร SCHMITT TRIGGER

วัตถุประสงค์

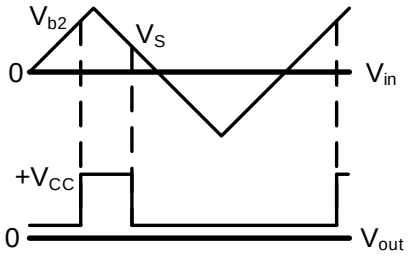
1. เพื่อที่จะศึกษาการทำงานและคุณสมบัติของวงจร Schmitt trigger
2. เพื่อที่จะทำการทดลองหาจุดเปลี่ยน (Trip Point) ของวงจร Op Amp Schmitt Trigger)
3. เพื่อศึกษาถึงการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม จากสัญญาณ Sine Wave โดยอาศัยวงจร Schmitt trigger
4. ศึกษาถึงการออกแบบสร้างวงจรกำหนดคลื่นสี่เหลี่ยม โดยใช้ Op Amp

ทฤษฎี

Schmitt trigger



รูปที่ 10a.



รูปที่ 10b

จากวงจรในรูปที่ 10a. ซึ่งแสดงถึงวงจร Schmitt trigger โดยใช้ทรานซิสเตอร์ จากการทำงานของวงจรซึ่งจะมีสถานะที่เสถียรอยู่สองสถานะคือ Q_1 ON และ Q_2 OFF หรือ Q_1 OFF และ Q_2 ON ในการที่วงจรจะเปลี่ยนสถานะได้นั้นก็จะอาศัยอินพุทที่ขา Base ของ Q_1 เราจะอธิบายได้คือเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุทเข้าที่ Q_1 วงจรแบ่งแรงดัน R_3, R_2 และ R_5 ก็จะทำให้ Voltage ที่ขา BASE ของ Q_2 มีค่ามากกว่า Voltage ที่ขา EMITTER ของ Q_2 เอง ซึ่งก็จะทำให้ Q_2 ทำงานอยู่ในช่วง Saturation เราก็จะสามารถคำนวณ Voltage ที่ขา BASE ของ Q_2 (V_{b2}) ได้จากสมการการแบ่งแรงดัน ได้คือ

$$V_{b2} = \frac{V_{CC}(R_3)}{R_2+R_3+R_5} \qquad ...(1)$$

จากการที่ Q_2 ทำงาน (ON) ก็จะทำให้เกิด Voltage คร่อม R_4 ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่ต่อกับขา EMITTER ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัว ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_{b2} – 0.7 ดังนั้น Q_1 ก็จะต้อง Cut off เพราะ BASE ของ Q_1 นั้นมี Voltage ที่ต่ำกว่าก็จะเป็นสถานะที่คงตัวคือ Q_1 OFF และ Q_2 ON จากความรู้เกี่ยวกับทรานซิสเตอร์เราก็จะได้ว่า Q_1 จะทำงาน (ON) ได้ก็ต่อเมื่อ Voltage ที่ขา BASE ของทรานซิสเตอร์นั้นจะต้องมากกว่า Voltage ที่ขา EMITTER + 0.7 V จากวงจรขา EMITTER ของ Q_1 ต่ออยู่กับ R_4 ซึ่ง Voltage ที่จุด R_4 เท่ากับ Voltage ที่จุด R_4 เท่ากับ V_{b2} – 0.7 V ดังนั้นเราจะได้ว่าการที่ Q_1 จะทำงานได้นั้น Voltage ที่ขา BASE ของ Q_1 จะต้องเท่ากับหรือมากกว่า

$$V_{b1}(ON) >= V_{b2} - 0.7 + 0.7$$
$$\geq= V_{b2}$$

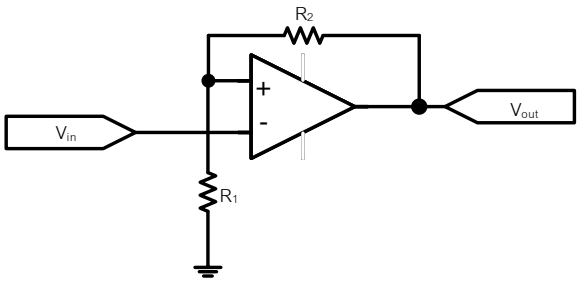
เมื่อ Q_1 ทำงานก็จะทำให้ Voltage ที่ขา BASE ของ Q_2 มีค่าลดลง Q_2 ก็จะหยุดทำงาน Q_1 จะยังคงทำงานต่อไปถ้า V_{b1} ยังคงมีค่ามากกว่า Voltage ที่ขา EMITTER ของ Q_1 เอง ซึ่งขณะนี้มีค่าเป็น

$$V = \frac{V_{CC}(R_4)}{R_4+R_5} \qquad ...(2)$$

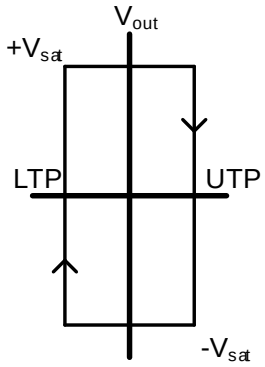
ดังนั้นเราจะได้ว่า Q_1 จะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อ Voltage ที่ขา BASE มีค่าน้อยกว่า V_{e1} + 0.7 V เราจะกำหนดค่านี้เป็น V_S ซึ่งเมื่อค่า Voltage ที่ขา BASE ของ Q_1 มีค่าน้อยกว่าค่า V_S Q_1 ก็จะหยุดทำงาน และ Q_2 ก็จะทำงานตามเหตุผลข้างต้น ดังนั้นเราจะเห็นว่า Q_1 จะทำงานและหยุดทำงานเมื่ออินพุทมีค่ามากกว่า V_{b1} และน้อยกว่า V_S ซึ่งค่า V_S และ V_{b1} อาจจะเท่าหรือไม่เท่ากันก็ได้

เมื่อเรานำสัญญาณรูป Sine Wave ป้อนเข้าที่อินพุทของวงจรก็จะได้ว่า สัญญาณอินพุทจะเป็นดังรูปที่ 10b.

Op Amp Schmitt Trigger



รูปที่ 11a.



รูปที่ 11b.

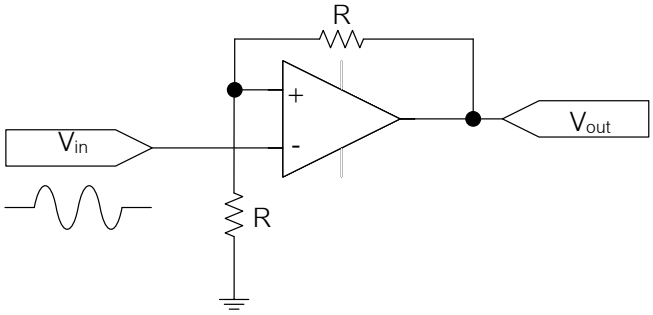
จากรูปที่ 11a. แสดงถึงวงจร Schmitt Trigger โดยใช้ Op Amp เนื่องจากวงจรมีการป้อนกลับแบบบวกเข้าที่ขาอินพุท Non-inverting จะทำให้เอาท์พุทของ Op Amp นี้มีได้เพียง 2 สถานะคือ Saturate ทางด้านบวก และ Saturate ทางด้านลบ การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้โดย ขั้นแรกเราสมมติให้เอาท์พุทของ Op Amp เป็นบวก ก็จะเกิดกระแสไหลจากเอาท์พุทผ่าน R_2 ซึ่งก็จะเกิด Voltage คร่อม R_1 ขึ้น Voltage ที่จุดอินพุทแบบ Non-inverting ของ Op Amp ก็จะมีค่าเป็นบวก ค่า Voltage นี้ก็จะเรียกว่าจุดเปลี่ยนขึ้น (Upper Trip Point) นั่นก็คือว่าตราบใดที่ Voltage อินพุทยังคงน้อยกว่าค่า UTP เอาท์พุทของ Op Amp มีค่าเป็นลบแล้ว ก็จะทำให้กระแสไหลจาก R_1 ผ่าน R_2

ไปยัง เอาท์พุท ทำให้ Voltage ที่จุดอินพุทแบบ Non-inverting ของ Op Amp มีค่าเป็นลบ ค่า Voltage นี้ก็จะเรียกว่าจุดเปลี่ยนลง (Lower Trip Point) นั่นก็คือว่า ตราบใดที่ Voltage อินพุทของ Op Amp ลงจนมีค่าน้อยกว่าค่า LTP เอาท์พุทของ Op Amp ก็จะเปลี่ยนเป็น Saturate ทางด้านบวกในทันที ค่าของจุดเปลี่ยนนี้สามารถคำนวณได้ดังนี้

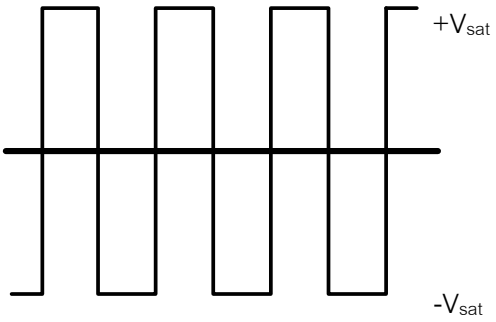
$$UTP = \frac{(R_1)V_{SAT}}{R_1+R_2} \qquad LTP = \frac{(-R_1)V_{SAT}}{R_1+R_2}$$

การสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม

ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมนั้น เราอาจทำได้โดยป้อนสัญญาณรูป Sine Wave ซึ่งมีค่าสูงสุดมากกว่า UTP และมีค่าต่ำสุดน้อยกว่า LTP เข้าไปที่อินพุทของวงจร Schmitt Trigger จะได้สัญญาณรูปที่สี่เหลี่ยมออกมา ดังเช่นในรูปที่ 12a. เป็นวงจร Schmitt Trigger



รูปที่ 12a



รูปที่ 12b

เราจะได้ว่า

$$UTP = \frac{(R)V_{SAT}}{2R} = \frac{V_{SAT}}{2} \qquad LTP = \frac{(-R)V_{SAT}}{2R} = \frac{-V_{SAT}}{2}$$

ถ้า V_{sat} = 10 V เราจะได้ UTP = 5 V และ LTP = -5 V ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณรูป Sine Wave เข้าที่จุดอินพุทของวงจร โดยที่สัญญาณ Sine Wave นั้นมีค่าสูงสุดมากกว่า 5 V และมีค่าต่ำสุดน้อยกว่า -5 V เราก็จะได้สัญญาณเอาท์พุทดังรูปที่ 12b.

จากการทำงานของวงจรจะเห็นได้ว่าสัญญาณอินพุทที่ป้อนเข้าไปไม่จำเป็นจะต้องเป็นรูป Sine Wave เราอาจใช้สัญญาณรูปแบบใดๆ ก็ได้ แต่ต้องมีขนาดตรงตามที่กำหนดข้างต้น

การทดลองตอนที่ 4 Schmitt Trigger

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 10a. ปรับ Supply ให้ได้ +3.6 V ป้อนให้เป็นไฟเลี้ยงของวงจร ปรับ Function Gen. ไปที่รูปคลื่น Sine ความถี่ 1 kH_Z Amplitude 10 V_{P-P}

2. ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณที่จุด V_{in}

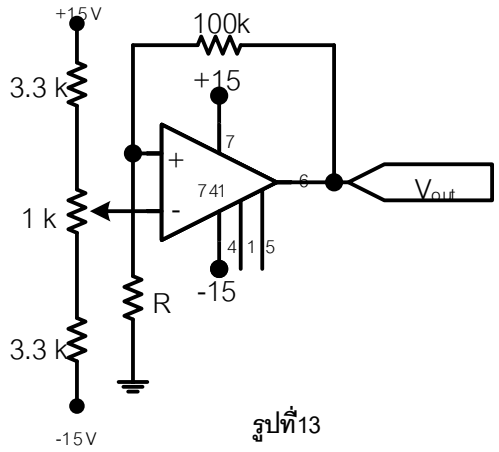
3. วัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขา Collector ของ Q_2 บันทึกลักษณะของสัญญาณที่ได้เทียบกับ V_{in} และวัดค่าขนาดของสัญญาณที่ได้ (V_{P-P}) และบันทึกค่าความกว้างของสัญญาณ Pulse ในช่วงที่เป็นบวกลงในตารางที่ 5

4. เปลี่ยนขนาดของสัญญาณอินพุทตามตารางที่ 1แล้วบันทึกค่าลงในตาราง

ตารางที่ 5

	Waveform	V_{P-P}	Pulse Width
V_{in} = 10 V_{P-P}, 1 kHz			----
V_{out} (V_{in} = 10 V_{P-P}, 1 kHz)			
V_{out} (V_{in} = 4 V_{P-P}, 1 kHz)			

V_{out}(V_{in} = 10 V_{P-P}, 2.5 kHz)			
V_{out}(V_{in} = 4 V_{P-P}, 2.5 kHz)			



รูปที่13

6. ต่อวงจรตามรูปที่ 13 โดยใช้ค่าของ R เท่ากับ 10 kΩ

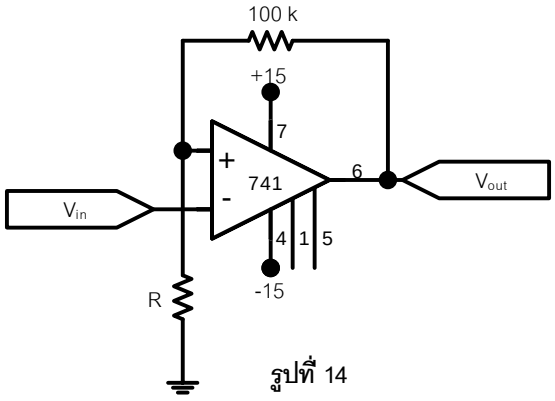
7. ทำการปรับค่าอินพุท Voltage โดยการปรับ VR 1k จนค่าเอาท์พุทที่ได้มีค่าเป็นบวก

8. ค่อยๆ ปรับค่าอินพุต Voltage โดยการปรับ VR 1k จนกระทั่งถึงจุดที่เอาท์พุทที่ได้เปลี่ยนจากบวกไปเป็นลบ วัดค่าของอินพุท Voltage แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2 เป็นค่าของ UTP

9. ค่อยๆ ปรับค่าอินพุท Voltage จนกระทั่งถึงจุดที่เอาท์พุทที่ได้เปลี่ยนจากลบไปเป็นบวก วัดค่าของอินพุท Voltage แล้วบันทึกในตารางที่ 6 เป็นค่าของ LTP

10. เปลี่ยนค่า R เป็น 1 kΩ ทำการทดลองซ้ำข้อ 7-9 แล้วบันทึกในตารางที่ 6

11. ต่อวงจรตามรูปที่ 14 โดยใช้ค่าของ R เท่ากับ 10 kΩ ปรับ Function Gen. ไปที่รูปที่คลื่น Sine ปรับความถี่ไปที่ 1 kH_Z ค่อยๆ เพิ่ม Amplitude ของสัญญาจนกระทั่งได้สัญญาณรูปที่สี่เหลี่ยมออกมาที่เอาท์พุท (V_{out})



รูปที่ 14

12. ค่อยๆ ลด Amplitude ของสัญญาณจาก Function Gen. จนกระทั่งไม่มีสัญญาณออกมาที่เอาท์พุท

13. ทำการวัดค่า Amplitude ของสัญญาณจาก Function Gen. ในแบบ Peak – Peak บันทึกลงในตารางที่เป็นค่าของ V_{in}

14. ทำซ้ำในข้อ 11 ถึง 13 แต่ใช้ค่าของ R เท่ากับ 1 kΩ

ตารางที่ 6

R (kΩ)	UTP	LTP	Vin (Vpp)
10			
1			

<u>คำถามท้ายการทดลอง</u>

1. ทำไมขนาดของสัญญาณอินพุทจึงมีผลต่อความกว้างของช่วงที่เป็นบวก ของสัญญาณที่วัดได้จากขา Collector ของ Q_2

   .....

   .....

   .....

   .....

2. ทำไมความถี่ของสัญญาณอินพุทจึงมีผลต่อความกว้างของช่วงที่เป็นบวก ของสัญญาณที่วัดได้จากขา Collector ของ Q_2

   .....

   .....

   .....

   .....

3. ทำไม UTP จึงอยู่ใกล้กับ LTP เมื่อให้ค่าของ R เท่ากับ 1 kΩ ในการทดลอง Op Amp Schmitt trigger

   .....

   .....

   .....

   .....

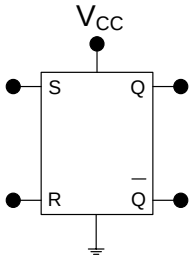
ตอนที่ 3 The 555 Timer

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการใช้ 555 Timer มาสร้างเป็นวงจร Astable ที่มีความถี่ Duty cycle ต่างๆ
2. เพื่อศึกษาถึงการใช้ 555 Timer มาสร้างเป็นวงจร Monostable ให้ได้ Pulse ความกว้างตามที่ต้องการ
3. เพื่อที่จะพิจารณาสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากวงจร Voltage Oscillator
4. เพื่อที่จะสามารถออกแบบวงจรสร้าง Saw tooth Generator โดยใช้ 555 timer ได้
5.

ทฤษฎี

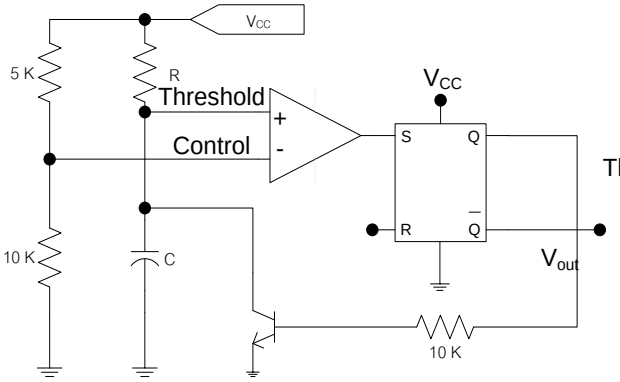
RS Flip – Flop

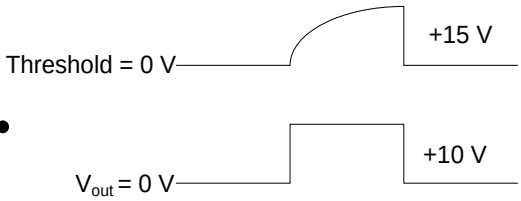


รูปที่ 1.

จากรูปที่ 1. ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของ RS Flip – Flop ถ้าเราป้อน Logic 1($+V_{CC}$) เข้าที่ขา S และ Logic 0 (0V) เข้าที่ขา R เอาท์พุท Q ก็จะได้เป็น High ($+V_{CC}$) และ Q ก็จำได้เป็น Low(0V) ซึ่งเรานิยามได้ว่าการป้อน Logic 1 เข้าที่ S และ 0 เข้าที่ขา R เป็นการ set RS – FF (เอาท์พุท Q เป็น High) ในทางกลับกันถ้าเราป้อน Logic 0 เข้าที่ขา S และ Logic 1 เข้าที่ขา R เอาท์พุท Q ก็จะได้เป็น Low และ Q ก็จะได้เป็น High ก็จะเห็นได้ว่าเป็นการ Reset RS - FF นั่นเอง ซึ่งค่าสถานะของเอาท์พุท Q และ Q นี้ก็จะยังคงค่าเอาไว้ แม้ว่าจะไม่ป้อนอินพุทเข้าไปแล้วก็ตามจนกว่าจะมีการ Set หรือ Reset ให้เป็นสถานะที่ตรงกันข้ามกับสถานะที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ค่าสถานะของ Q และ Q จึงจะมีการเปลี่ยนแปลง

Basic Timing Concept





รูปที่ 2a. **รูปที่ 2b.**

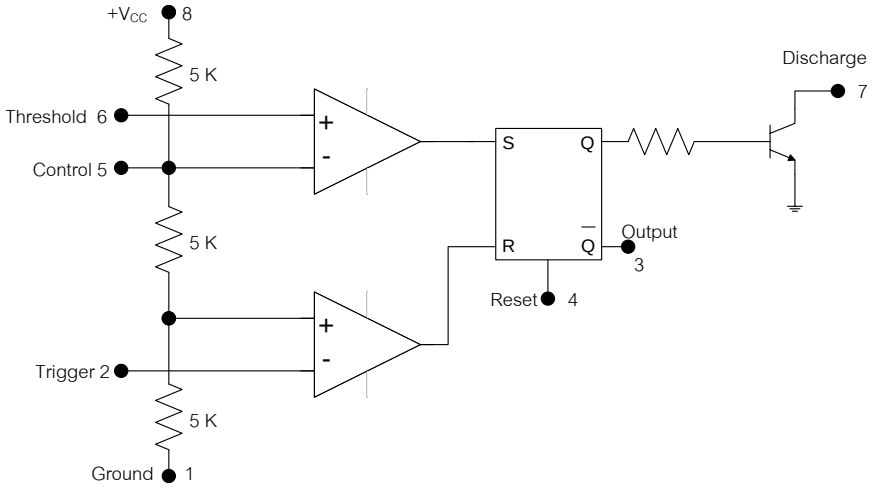
จากรูปที่2a. แสดงถึงแนวคิดพื้นฐานที่จะใช้อธิบายถึงการทำงานของ 555 TIMER โดยจากวงจรนี้จะอธิบายการทำงานของวงจรได้คือ ในขั้นแรกเราสมมติให้เอาท์พุท Q มีสถานะเป็น High($+V_{CC}$) ซึ่งก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Saturate

ดังนั้นตัวเก็บประจุ C ก็จะถูก Short ลง Ground ค่าของ Voltage ที่ตัวเก็บประจุก็จะเป็น 0V เนื่องจากตัวเก็บประจุไม่สามารถถูก Charge ได้ เรานิยามค่า Voltage ที่ขา Non-inverting Input ของ Op Amp ในวงจรดังรูปว่า ค่า Threshold Voltage และในทำนองเดียวกัน ค่า Voltage ที่ขา Inverting Input เราจะนิยามว่า Control Voltage และก็จะสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อ RS – FF ถูก Set ทรานซิสเตอร์จะ Saturate ซึ่งก็จะทำให้ค่า Threshold Voltage มีค่า 0V ค่าของ Control Voltage ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 V จากการแบ่งแรงดัน ก็จะทำให้เอาท์พุทของ Op Amp มีค่าเป็น 0V ถ้าเราป้อน Logic High เข้าที่ขา R ซึ่งก็จะเป็นการ Reset RS – FF ซึ่งเอาท์พุท Q ก็จะมีสถานะเป็น Low และทรานซิสเตอร์ก็จะ Cut off ตัวเก็บประจุ C ก็จะถูก Charge ผ่านตัวต้านทาน R ค่าของ Threshold Voltage ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าของ Threshold Voltage มีค่าเพิ่มมากขึ้นจนมากกว่าค่าของ Control Voltage (+10 V) นิดหน่อย เอาท์พุทของ Op Amp ก็จะมีสถานะเป็น High (+15 V) ซึ่งก็จะทำให้ RS – FF ถูก Set เอาท์พุท Q ก็จะเป็น High ทรานซิสเตอร์ก็จะ Saturate ตัวเก็บประจุ C ก็จะถูก Discharge ผ่านทางทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2b. ก็จะเห็นว่าค่า Threshold Voltage ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็น Exponential นั่นก็เพราะการ Charge ตัวเก็บประจุนั่นเอง ในขณะเดียวกันเราก็จะได้ Pulse ออกมาหนึ่งลูกที่เอาท์พุทของวงจร (ซึ่งก็คือที่ขา Q) ด้วย

555 Block Diagram

IC 555 TIMER นี้เป็น IC ที่มี 8 ขา ซึ่งจะเอาไว้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อที่จะให้ IC ทำงานในแบบต่าง ๆ กัน เช่น Astable หรือ Monostable จากรูปที่ 3.



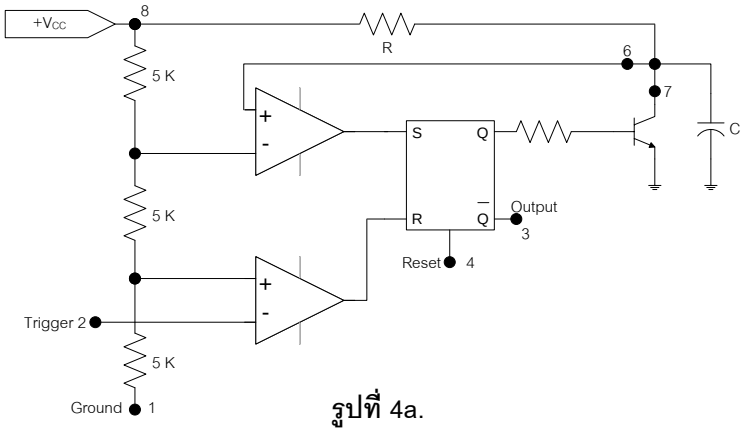
รูปที่ 3

แสดงวงจรภายในของ IC 555 จะเห็นได้ว่าในวงจรส่วนของ Op Amp ตัวบนนั้นจะเหมือนกับวงจรที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อน ๆ โดยสัญญาณ Threshold จะเป็นขา 6 IC และสัญญาณ Control ก็จะเป็นขา 5 ซึ่งการใช้งานโดยทั่วไปนั้นขาสัญญาณ Control นี้มักจะไม่ได้ใช้ ดังนั้นค่าของ Control Voltage จึงเท่ากับ +2 V_{CC} / 3 ซึ่งได้จากการแบ่งแรงดันของตัวต้านทาน 5Ω 3 ขา Collector ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้สำหรับ Discharge ตัวเก็บประจุ IC และมีเพิ่มขึ้นมาคือ สัญญาณ Reset ซึ่งจะเป็นขา 4 ของ IC ที่ขา Reset นี้เมื่อถูกต่อเข้ากับ Ground แล้ว IC 555 นี้ก็จะไม่ทำงาน ซึ่งก็จะเหมือนกับ Switch ปิดเปิด การทำงานนั้นเอง คุณสมบัติข้อนี้ก็จะมีประโยชน์มากในการใช้งานบางอย่าง แต่การใช้งานโดยส่วนใหญ่แล้วเรามักไม่ได้ใช้ ดังนั้นเมื่อเราไม่ต้องการให้ IC หยุดการทำงานเราจะต่อขา 4 ของ IC เข้ากับ V_{CC} และในส่วนของ Op

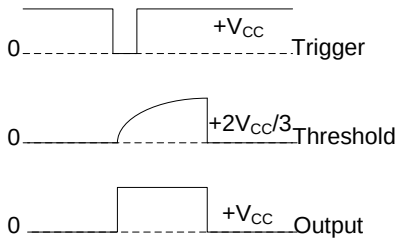
Amp ตัวล่างนั้นขา Inverting Input ของ Op Amp เรียกว่า Trigger (ขา 2 ของ IC) เพราะขา Noninverting Input ของ Op Amp มีค่า Voltage ที่เกิดจากตัวต้านทานเปลี่ยนแรงดันจะทำให้ค่าคงที่คือ V_{CC} / 3

ดังนั้นเมื่อสัญญาณ Trigger มีค่าน้อยกว่า $+V_{CC}$ / 3 เอาท์พุทของ Op Amp ก็จะมีค่าเป็น $+V_{CC}$ (high) Reset RS – FF ทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุทออกมา และสุดท้ายขา 1 ก็จะเป็น Ground และขา 8 ก็จะเป็น ไฟเลี้ยง ($+V_{CC}$) ค่าของ $+V_{CC}$ นี้ก็จะใช้ได้อยู่ในช่วง 4.5 ถึง 16 V

Monostable Operation



รูปที่ 4a.



รูปที่ 4b.

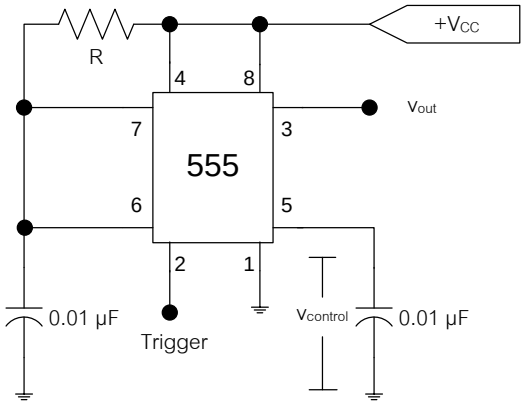
จากวงจรในรูปที่ 4a. จะเป็นการต่อ IC 555 TIMER เพื่อให้ทำงานในแบบของ Monostable (one – short) เอาท์พุทของวงจรก็จะได้เป็น Pulse สี่เหลี่ยมที่มีค่าของความกว้าง Pulse คงที่ ในแต่ละครั้งที่เราป้อนสัญญาณ Trigger Pulse ให้กับวงจรที่ขา 2 ของ IC เมื่อค่า Voltage ของสัญญาณ Trigger มีค่าลดลงจนน้อยกว่า $+V_{CC}$ / 3 Op Amp ตัวล่างก็จะมีเอาท์พุทออกมาเป็น High ซึ่งก็จะ Reset RS – FF ทรานซิสเตอร์ก็จะ Cutoff และตัวเก็บประจุ C ก็จะถูก Charge เมื่อค่า Threshold Voltage มีค่าเพิ่มขึ้นจนมากกว่า $+2V_{CC}$ / 3 แล้ว Op Amp ตัวบนก็จะมีการเอาท์พุทออกมาเป็น High ซึ่งจะ Set RS – FF ในขณะที่เอาท์พุท Q เปลี่ยนสถานะจาก Low มาเป็น High ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ก็จะทำให้ตัวเก็บประจุ C ซึ่งจะถูก Discharge อย่างรวดเร็วผ่านทรานซิสเตอร์นั่นเอง สัญญาณ Trigger ก็จะเป็นสัญญาณ Pulse ที่แคบ ๆ มีลักษณะดังรูปที่ 4b และสัญญาณเอาท์พุทก็จะได้ดังรูป ซึ่งจะเป็นสัญญาณ Pulse สี่เหลี่ยม ตัวเก็บประจุ C ซึ่งจะถูก Charge ผ่านตัวต้านทาน R ถ้าค่า RC time constant มีค่ามาก ก็ใช้เวลามาก ในการที่จะ Charge ตัวเก็บประจุให้มี Voltage ถึงค่า $+2V_{CC}$ / 3 หรืออาจจะกล่าวได้ว่า RC time constant นี้จะมีผลต่างการกำหนดความกว้างของ Pulse สัญญาณเอาท์พุทจากการแก้สมการ Exponential เราจะสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าความกว้าง Pulse (Pulse Width) ได้คือ

$$W = 1.1(RC) \qquad \text{....(1)}$$

ยกตัวอย่างเช่น ถ้า R = 22 kΩ และ C = 0.068 μF ดังนั้นค่าความกว้าง Pulse ที่ได้จาก 555 คือ

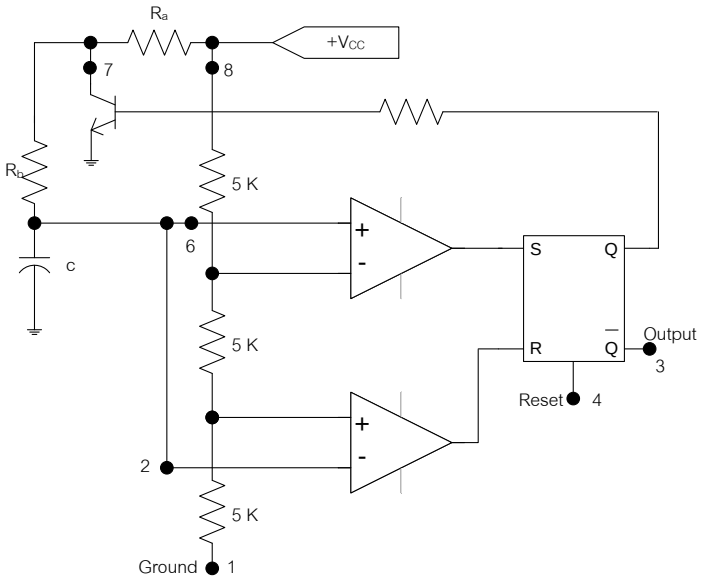
$$W = 1.1 * 22(10^3) * 0.068(10^{-6}) = 1.65ms$$

โดยทั่วไปแล้วการเขียนวงจรเรามักจะไม่แสดง Op Amp, Flip – Flop และอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในตัว IC แต่เราจะเขียนวงจรดังรูปที่ 5. เป็นวงจร Monostable ทีใช้ 555 โดยเราจะเขียนเฉพาะตัว IC และอุปกรณ์ที่อยู่ภายนอก เท่านั้น (Control) ของ IC 555 เรามักจะต่อ ตัวเก็บประจุค่าน้อยๆ ลง Ground เพื่อเป็นการลด Noise ให้สัญญาณ Control Voltage เพื่อความกว้าง Pulse ที่แน่นอน

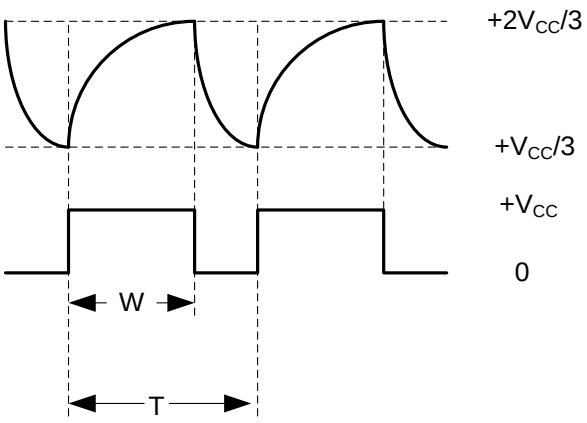


รูปที่ 5.

Astable Operation



รูปที่ 6a.



รูปที่ 6b.

จากรูปที่ 6a. แสดงถึงการต่อ IC 555 TIMER ทำงานในแบบ Astable หรือ free–running เอาท์พุทที่ได้ของวงจรจะเป็นสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ต่อเนื่องกันออกมา เราจะสามารถอธิบายการทำงานได้คือ เมื่อเอาท์พุท Q มีสถานะเป็น Low ทรานซิสเตอร์ก็จะ Cut off ตัวเก็บประจุ C จะถูก ผ่านตัวต้านทานรวมของ R_A + R_B ดังนั้นค่า time constant จะเป็น (R_A + R_B)C เมื่อตัวเก็บประจุถูก Charge ค่า Threshold Voltage ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่า Threshold Voltage มีค่าเพิ่มขึ้นจนมากกว่าค่า +2V_{CC}/ 3 Op Amp ตัวบนก็จะมีค่าเอาท์พุทเป็น High ทรานซิสเตอร์ก็จะ Saturate ซึ่งก็จะเหมือนกับการ Short ขา 7 ของ IC ลง Ground ขณะนี้ตัวเก็บประจุ C ก็จะถูก Discharge โดยผ่าน ทาง R_B ดังนั้นค่า time constant ของการ Discharge คือ R_{BC} เมื่อค่า Voltage คร่อมตัวเก็บประจุ C มีค่าลดลงจนน้อยกว่า +V_{CC}/ 3 Op Amp ตัวล่างก็จะมี

เอาท์พุทเป็น High ซึ่งจะ Reset RS – FF จากรูปที่ 6b จะแสดงถึงลักษณะสัญญาณที่จุดต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าการ Charge และ Discharge ของตัวเก็บประจุจะเป็นแบบ Exponential และสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม แต่เนื่องจากค่า time constant ของการ Charge นั้นมีค่ามากกว่าค่า time constant ของการ Discharge สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากจึงไม่สมมาตร ซึ่งคาบเวลาของสัญญาณในขณะที่มีสถานะ High จะยาวนานกว่าในขณะที่สถานะ Low ดังรูป

ในการที่จะกำหนดความไม่สมมาตรของสัญญาณเอาท์พุท เราจะนิยามค่าว่า Duty cycle ซึ่งจะกำหนดโดย

$$D = \frac{W}{T} * 100\% \qquad ...(2)$$

ยกตัวอย่าง W = 2 ms และ T = 2.5 ms ดังนั้นค่า duty cycle คือ

$$D = \frac{2ms}{2.5ms} * 100\% = 80\%.$$

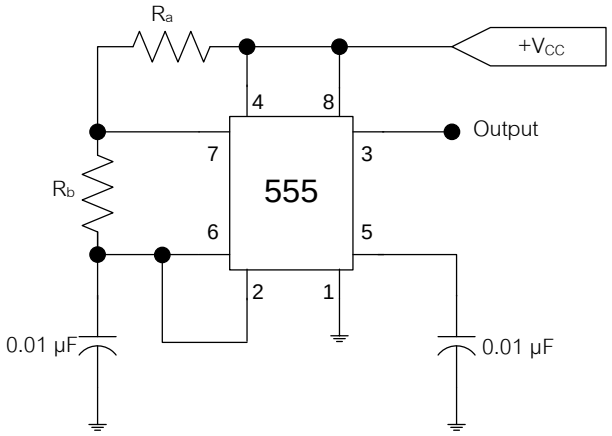
ค่า Duty cycle ของวงจรนี้ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 50 – 100% ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าของ R_A และ R_B จากการ Charge และ Discharge เราจะสามารถคำนวณหาค่าของความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทคือ

$$f = \frac{1.44}{(R_A+2R_B)C} \qquad ...(3)$$

และค่า Duty cycle จะคำนวณได้จาก

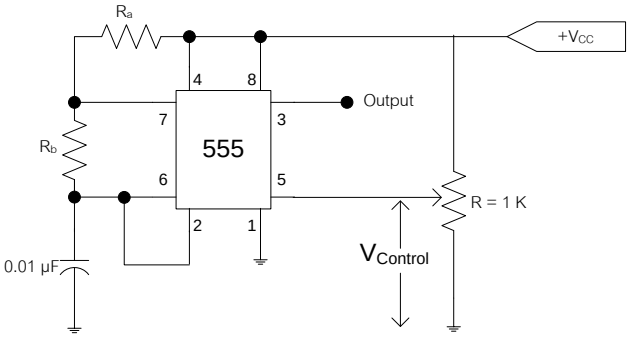
$$D = \frac{R_A+R_B}{R_A+2R_B} * 100\% \quad ...(4)$$

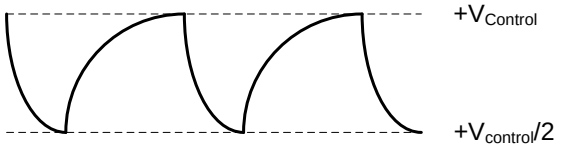
จากสูตรจะเห็นได้ว่าถ้าค่า R_A มีค่าน้อยกว่า R_B มาก ๆ แล้วค่าของ Duty cycle จะประมาณ 50% และจากรูปที่ 7 จะเป็นรูปวงจรที่นิยมเขียน โดยทั่วไปของ Astable 555 TIMER โดยเราจะต้องต่อขา 4 ของ IC เข้ากับ $+V_{CC}$ และเช่นเดียวกับขาสัญญาณ control ก็ควรต่อตัวเก็บประจุน้อย (โดยมากใช้ 0.01 μF) เอาไว้ดังรูป



รูปที่ 7.

Voltage Control Oscillator



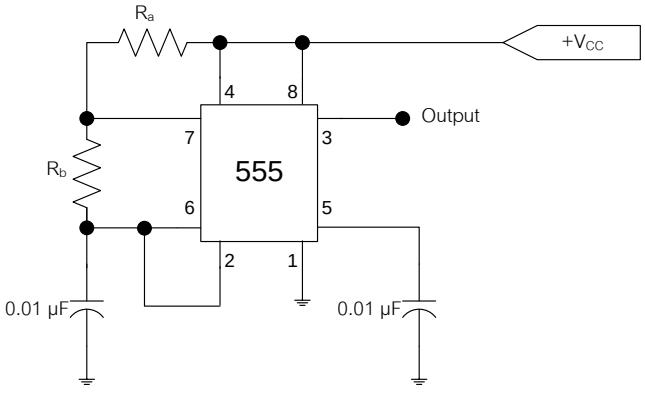


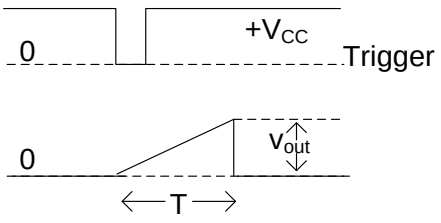
รูปที่ 8a. **รูปที่** 8b.

จากรูปที่ 8a. แสดงถึงวงจร Voltage Control Oscillator (VCO) โดยใช้ 555 TIMER จากที่ผ่านมา ขา 5 ของ IC 555 ซึ่งเป็นสัญญาณ Control แล้วต่ออยู่กับอินพุทแบบ Inverting ของ Op - Amp ตัวบน โดยปกติแล้ว Control Voltage ก็จะมีค่าเท่ากับ $+2V_{CC} / 3$ อันเนื่องจากมากจากตัวต้านทานแบ่งแรงดันที่อยู่ภายใน แต่จากวงจรที่อยู่ในรูป 8a. โดยอาศัยตัวต้านทานปรับค่าได้ภายนอก เราก็สามารถเปลี่ยนค่าของ Control Voltage ได้ โดยการปรับค่าการแบ่งแรงดันของตัวต้านทานภายนอกนั่นเอง

จากรูปที่ 8a. จะแสดงถึงค่า Voltage ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C จะสังเกตเห็นได้ว่า Voltage นี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $+V_{CONTROL} / 2$ ถึง $+V_{CONTROL}$ ถ้าเราเพิ่มค่าของ $V_{CONTROL}$ ตัวเก็บประจุ C ก็จะใช้เวลานานขึ้นในการ Charge และ Discharge ดังนั้นค่าความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ก็จะลดลง จากผลลัพธ์ข้างต้น เราก็จะสามารถที่จะเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทของวงจรได้ โดยการปรับค่าของ Control Voltage นั่นเอง โดยปกติแล้วค่าของ Control Voltage นี้ไม่จำเป็นต้องได้จากการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เพียงอย่างเดียว ค่าของ Control Voltage นี้อาจได้จากเอาท์พุทของวงจรทรานซิสเตอร์ Op – Amp และอื่น ๆ

Sawtooth Generator





รูปที่ 9a รูปที่ 9b

จากการทดลองที่ผ่านมาถ้าตัวเก็บประจุด้วยกระแสคงที่ ค่าของ Voltage ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุนั้น ก็จะมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง (Linear Ramp Function) ทรานซิสเตอร์แบบ PNP ในวงจรรูปที่ 9a จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) โดยจ่ายกระแสไป Charge ตัวเก็บประจุเท่ากับ

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R}$$

เมื่อ

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้า V_{cc} = 15V, R = 20k$\boldsymbol{\Omega}$, R_1 = 5k$\boldsymbol{\Omega}$, R_2 = 10k$\boldsymbol{\Omega}$ และ V_{BE} = 0.7V ดังนั้น

$$V_E = 0.7\,V + 10\,V = 10.7\,V$$

และ

$$I_C = \frac{15V - 10.7V}{20k\Omega} = 0.215\,mA$$

เมื่อมีสัญญาณ Trigger เข้ามาที่ Monostable 555 Timer ในวงจรรูป 9a ก็จะทำให้แหล่งจ่ายกระแสคงที่ (วงจรในส่วนของ PNP transistor) ทำการ charge ตัวเก็บประจุ C ด้วยกระแสคงที่ ดังนั้นค่า Voltage ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุก็จะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่เป็นเส้นตรงดังรูป 9b ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ Voltage (slope) ก็จะคำนวณโดย

$$S = \frac{V}{T}$$

เมื่อ V คือค่า Voltage ที่มากที่สุดที่เวลา T ยกตัวอย่างเช่น ถ้า V = 10V และ T= 2 ms ดังนั้น ค่า Slope คือ

$$S = \frac{10V}{2ms} = 5\frac{V}{ms}$$

จากสมการพื้นฐานของตัวเก็บประจุคือ

$$V = \frac{Q}{C}$$

เมื่อเราหารสมการทั้งสองข้างด้วย T เราจะได้

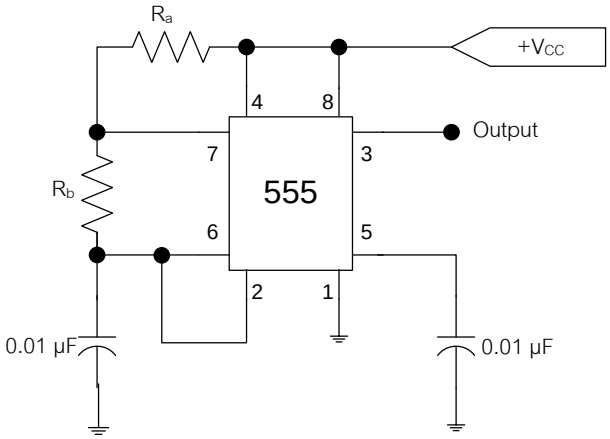
$$\frac{V}{T} = \frac{Q}{TC}$$

$$S = \frac{I}{C}$$

เราจึงสามารถคำนวณหาค่า Slope ได้โดยใช้ค่าของกระแสที่ Charge หารด้วยค่าความจุ ยกตัวอย่างเช่นถ้ากระแสที่ใช้ Charge ตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 0.215 mA และ ตัวเก็บประจุมีค่าความจุเท่ากับ 0.022 F ดังนั้น เราจะคำนวณค่า slope ของ Voltage ที่คร่อมตัวเก็บประจุได้คือ

$$S = \frac{0.215mA}{0.022\mu F} = 9.77\frac{V}{ms}$$

การทดลองตอนที่ 2 Astable 555 TIMER



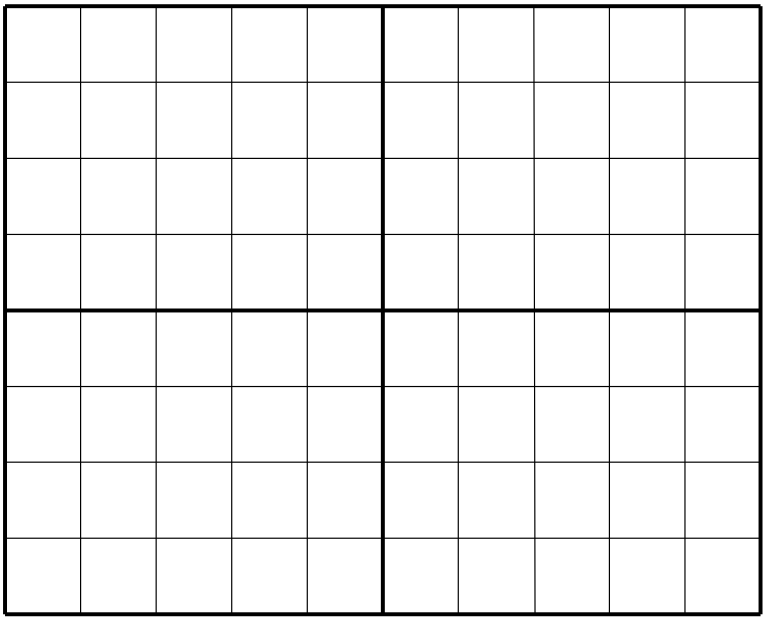
รูปที่ 10

1. คำนวณหาค่าความถี่และค่า Duty cycle จากวงจรรูปที่ 10 สำหรับค่าความต้านทานแสดงดังตารางบันทึกผลทดลองในช่องของ fcalc และ Dcalc
2. ต่อวงจรตามรูปที่ 10 โดยใช้ค่าความต้านทาน R_A = 10 kΩ. และ R_B = 100 kΩ. V_{CC} = 10 V
3. วัดค่า W และ T คำนวณหาความถี่และ duty factor บันทึกผลจากทดลองในช่อง fmeas และ Dmeas ในตารางที่ 1
4. ใช้ scope วัดสัญญาณที่ขา 6 ซึ่งเป็นศักดาคร่อม C ควรจะเป็นรูป Exponential ขึ้นลงระหว่างค่า 5 V ถึง 10 V บันทึกลักษณะของสัญญาณลงในตารางกราฟที่ 1
5. ทำซ้ำอีกครั้งตั้งแต่ข้อ 2 ถึง 4 โดยใช้ค่าความต้านทานตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

R_A(kΩ)	R_B(kΩ)	fcalc	Dcalc	fmeas	Dmeas
10	100				
100	10				
10	10				

กราฟที่ 1



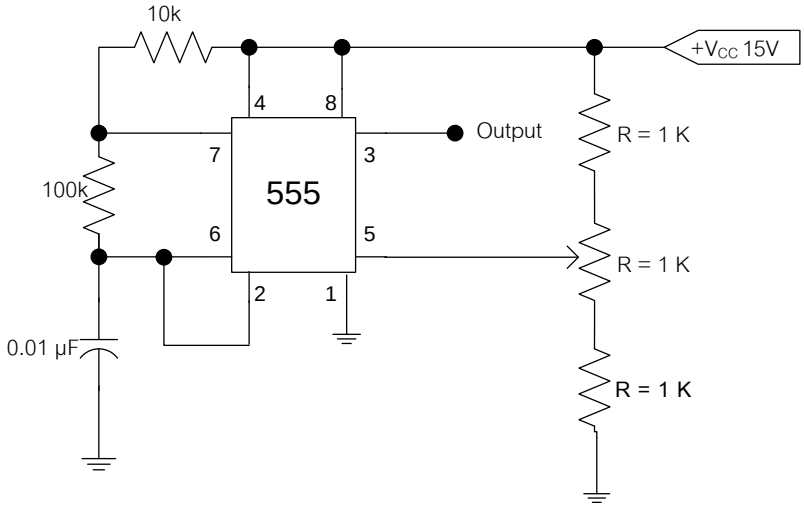
Time =…….s/DIV

CH1 =…….V/DIV

CH2 = ……..V/DIV

Voltage – Controlled Oscillator

6. ต่อ VCO ตามรูปที่ 11



รูปที่ 11

7. วัด Output โดยใช้ Oscilloscope V_{output} = ……

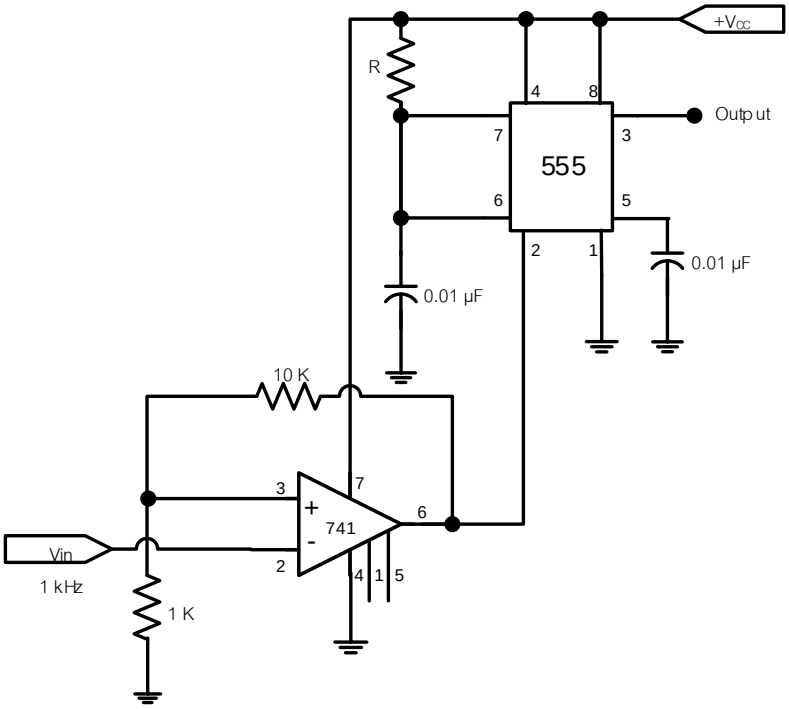
8. ปรับค่าความต้านทาน 1kΩ และสังเกตว่ามีอะไรเกิดขึ้น บันทึกค่า f_{min} และ f_{max} ที่สามารถปรับได้

f_{min} =……

f_{max}=……

Monostable 555 TIMER

9. รูปที่ 12 แสดงวงจรชมิททริกเกอร์ซึ่งใช้ขับวงจร Monostable 555 time



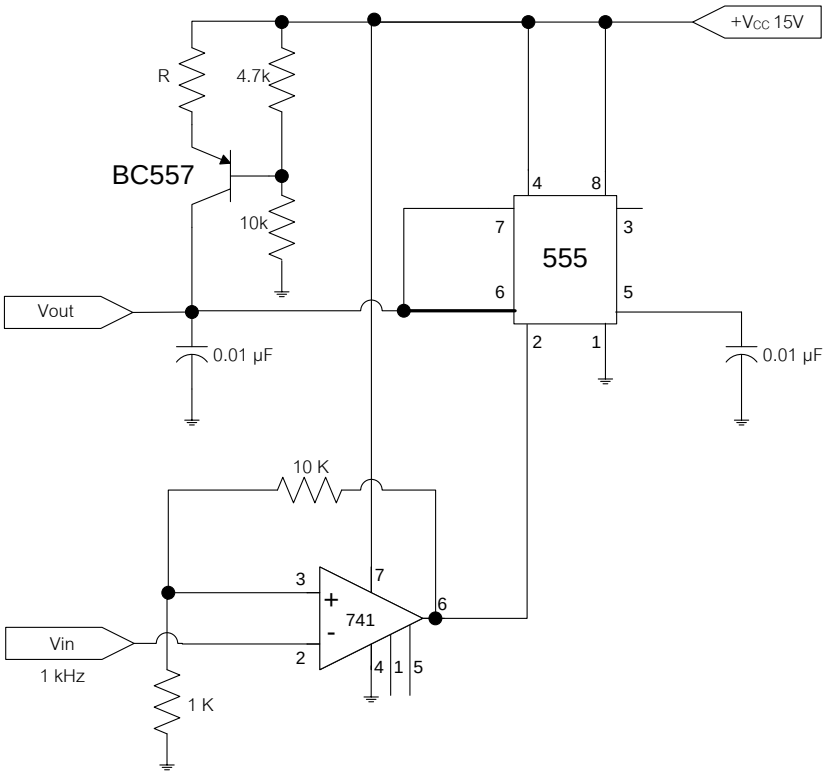
รูปที่ 12

10. ต่อวงจรตามรูปที่ 12 โดยใช้ค่าความต้านทาน R = 33 kΩ kΩ V_{CC} = 10V
11. ใช้ Oscilloscope วัดสัญญาณ Output ของวงจรชมิททริกเกอร์ (ขา 6 ของ 741C) ปรับค่าความถี่ของสัญญาณ Sine Wave Input ให้เท่ากับ 1 kHz ปรับค่า Amplitude ของ Sine Wave จนกระทั่งได้ Output ของชมิท-ทริกเกอร์ที่มีค่า duty cycle ประมาณ 90%
12. วัดค่า Pulse Width ของ Output ของ 555 TIMER บันทึกค่าในช่องของ Wmeas ในตารางที่ 2
13. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 10 ถึง 12 โดยใช้ค่าความต้านทาน R ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2

R_A	Waveform	Wcalc	Wmeas
33kΩ			
47kΩ			
68kΩ			

Sawtooth Generator



รูปที่ 13

14. คำนวณค่า Charging Current จากวงจรรูปที่ 13 โดยใช้ค่าความต้านทานต่างๆ กันดังแสดงในตารางที่ 3 บันทึกค่าในช่องของ I_{charge}
15. คำนวณค่าความชันของ Capacitor Voltage ในหน่วยของ Volts per millisecond บันทึกค่าในช่อง Scale ในตารางที่ 3
16. ต่อวงจรตามรูปที่ 13 โดยใช้ค่า R 10 kΩ ซึ่งรูปนี้เกือบจะเหมือนกับรูปที่ 12 ต่างกันเพียง PNP Current Source
17. ตั้งค่า Function Gen. ให้มีความถี่เท่ากับ 1 kHz และปรับค่า Amplitude ให้ได้ค่า Output ของชมิททริกเกอร์ที่มีค่า Duty cycle ประมาณ 90 %
18. ใช้ Oscilloscope วัดดูสัญญาณ Output ควรจะเป็นสัญญาณ Sawtooth วัดค่า Ramp Voltage และเวลา คำนวณหาความชัน (Volts/msec) บันทึกในช่อง Smeas ในตารางที่ 3
19. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 16 ถึง 18 โดยใช้ค่า R ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3

R_A (kΩ)	Waveform	Icharge (mA)	Scalc (V/ms)	Smeas (V/ms)
10				
22				
33				

คำถามท้ายการทดลอง

1. ค่าอัตราส่วน R_A/R_B มีผลต่อค่าของ duty cycle ของ Astable 555 TIMER อย่างไร

   .....

   .....

   .....

   .....

2. ในการเพิ่มค่า timing capacitor จะมีผลอย่างไรบ้างต่อค่าความถี่ที่ Output ของวงจร Astable 555 TIMER

   .....

   .....

   .....

   .....

3. ที่ขา 5 ในรูปที่ 12 มีค่า AC Voltage และ DC Voltage เท่าไร

   .....

   .....

   .....

   .....

4. อะไรจะเกิดขึ้นกับค่าความกว้างของสัญญาณ Output ถ้าหากเราลดค่า timing Resistor ในรูปที่ 13

   .....

   .....

.....

.....

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองทั้งหมด