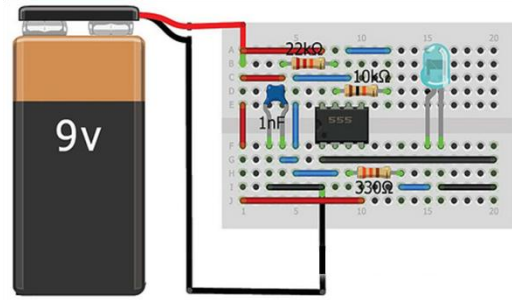


บทที่ 8

ไอ.ซี.ตั้งเวลา



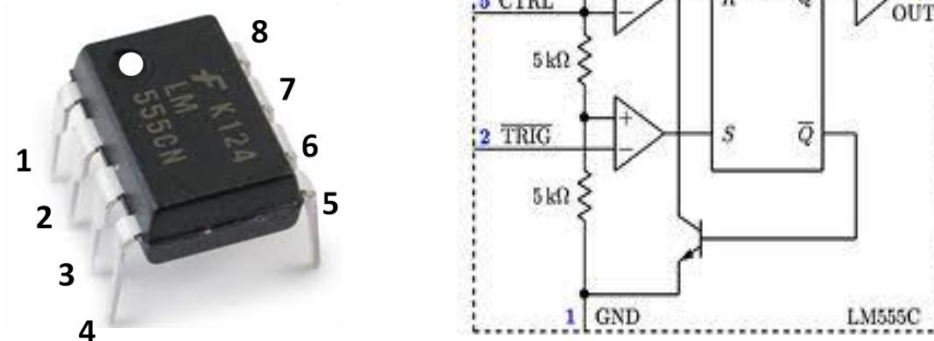
วัตถุประสงค์

1. อธิบายการทำงานของ ไอ.ซี.ตั้งเวลา Timer 555 ได้
2. คำนวณวงจรโมโนสเตเบิล ที่ใช้ ไอ.ซี. Timer 555 ได้
3. คำนวณวงจรอะสเตเบิล ที่ใช้ ไอ.ซี. Timer 555 ได้

8.1 ไอ.ซี. ตั้งเวลา

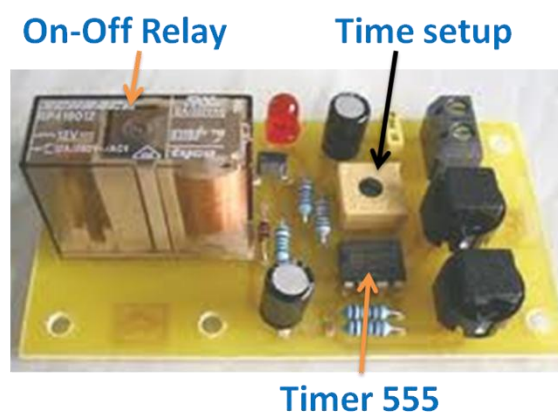
ไอ.ซี. ตั้งเวลา เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไอ.ซี.ไทเมอร์(Timer ICs) หรือ ไอ.ซี. ตั้งเวลาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Timer 555 Timer 555 นั้นเป็นไอ.ซี.ที่ทำงานได้หลายฟังก์ชัน แต่หน้าที่หลัก คือ ทำงานในโหมดกำเนิดสัญญาณต่อเนื่อง (Free Running Multi-vibrator) และ โหมดกำเนิดสัญญาณไม่ต่อเนื่อง หรือ โมโนสเตเบิล(Mono Stable Multi-vibrator) แต่สามารถนำไปประยุกต์ให้เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม วงจรตั้งเวลาเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า วงจรพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น วงจรขมิตต์ทริกเกอร์ วงจรควบคุมไฟจราจร วงจรเตือนภัย ฯลฯ ในปัจจุบัน Timer 555 บรรจุอยู่ในตัวถัง 2 แบบ คือ แบบ DIP 8ขา อีกแบบหนึ่งคือ DIP 14 ขา เป็นเบอร์ 556 ซึ่งภายในบรรจุด้วย Timer 555 จำนวน 2 ตัว ที่ได้ชื่อว่า Timer หรือตัวตั้งเวลาก็เพราะว่า Timer 555 สามารถกำหนด Delay Time ด้วย R และ C ภายนอกได้ตั้งแต่ μS จนถึงหลาย ๆ ชั่วโมง

Timer 555 ใช้ได้กับแหล่งจ่ายตั้งแต่ +5 V ถึง +18 V จ่ายกระแสเอาต์พุตได้ไม่เกิน 200 mA เอาต์พุตของมันเชื่อมต่อกับไอซีลอจิกได้ทั้งแบบ TTL และแบบ CMOS ลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ 555 แสดงในรูป 8.1



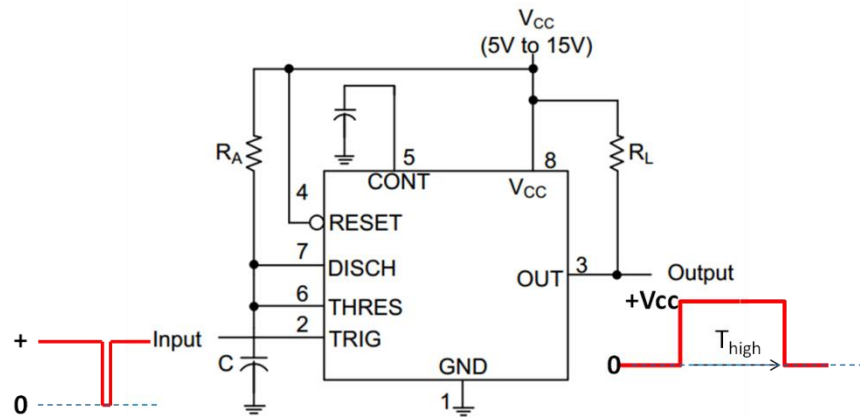
รูปที่ 8.1 แสดงลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในของไอ.ซี.เบอร์ 555

จากโครงสร้างของไอ.ซี.เบอร์ 555 หรือ Timer 555 ที่แสดงในรูปที่ 8.1 (ข) จะเห็นว่าระหว่างขา V_{CC} (8) และขา GND(1) จะมีตัวต้านทาน $5\text{ k}\Omega$ 3 ตัวต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน ดังนั้น ค่าของแรงดันตกคร่อม R $5\text{ k}\Omega$ ตัวแรกจึงเท่ากับ $\frac{1}{3}V_{CC}$ และตัวที่สองคือ $\frac{2}{3}V_{CC}$ นั้น คือค่าแรงดันที่ขาของออปแอมป์ตัวบน (Upper Comparator) จะเท่ากับ $\frac{2}{3}V_{CC}$ และแรงดันที่ขา + ของออปแอมป์ตัวล่าง (Lower Comparator) จะเท่ากับ $\frac{1}{3}V_{CC}$ ดังนั้นการเปลี่ยนและค่าแรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ทั้งสองดังจะขึ้นอยู่กับผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน $\frac{2}{3}V_{CC}$ และ V_{CC} และ R-S flip-flop ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมส่งออกไปที่ขาเอาต์พุต(3) ของ Timer 555 ในทางปฏิบัติบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดให้มี $C = 0.01\text{ }\mu\text{F}$ ต่อระหว่างขา Control (5) ลง GND (1) เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

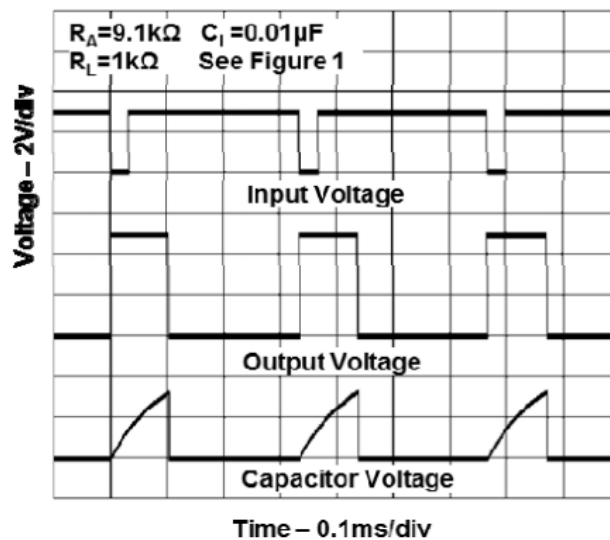


8.2 การทำงานในโหมดโมโนสเตเบิล

วงจรการทำงาน Timer 555 ในโหมดโมโนสเตเบิลจะแสดงในรูปที่ 8.2



(ก) วงจรโมโนสเตเบิล 555



(ข) รูปสัญญาณอินพุต-เอาต์พุตของวงจรโมโนสเตเบิล

รูปที่ 8.2 วงจรโมโนสเตเบิล Timer 555 และสัญญาณอินพุต-เอาต์พุต

ลักษณะของวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ Timer 555 นั้น จากรูป(ก) จะรับสัญญาณอินพุตที่เป็นลักษณะของพัลส์ขาลงหรือ (Negative Going Pulse) เป็นสัญญาณจุดชนวนการทำงานของวงจร โดยวงจรจะกำเนิดเอาต์พุตหนึ่งพัลส์ต่อหนึ่งอินพุตพัลส์ สำหรับพัลส์เอาต์พุตจะเป็นแบบพัลส์บวก รูป(ข) แสดงรูปคลื่นสัญญาณอินพุตเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุต ค่าความกว้างของพัลส์คือ t_{high} จะมีค่าเท่ากับสมการ

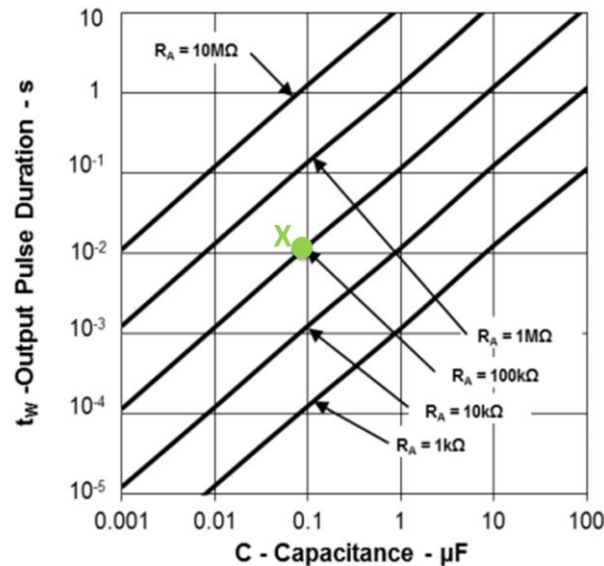
$$t_{high} = 1.1 R_A C \quad (8.1)$$

เมื่อ R_A คือ ตัวต้านทานภายนอกที่กำหนดค่าเวลา

C คือ ตัวเก็บประจุภายนอกที่กำหนดค่าเวลา

การทำงานของวงจรจะเกิดขึ้นเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาที่ขา(2) ตามรูปที่ 8.2 (ข) จะทำให้ขา 7 ต่อกับ GND ผลคือ C จะคายประจุผ่านขา 7 จะทำให้ขณะนั้นแรงดัน $V_O \cong V_{CC}$ เอาต์พุต

ขา 3 และเมื่อ C คายประจุไปช่วงเวลาเท่ากับ t_{high} แรงดัน $V_C = \frac{2}{3}V_{CC}$ ตัวเปรียบเทียบแรงดันภายในไอซี 555 จะทำงานทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนจากสูงเป็นต่ำ ($\cong 0\text{ V}$) ซึ่งค่าของ t_{high} เป็นไปตามสมการ (8.1) ดังนั้น ค่าแรงดันอินพุตต้องมีค่าสูงสุดมากกว่า $\frac{2}{3}V_{CC}$ เสมอ



รูปที่ 8.3 กราฟช่วยคำนวณค่า t_{high} ของโมโนสเตเบิล 555

กราฟในรูป 8.3 เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลอย่างรวดเร็วเพราะจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C (μF) และค่า R_A โดยแกนเวลา คือ ค่า t_{high} หรือ t_w (output pulse duration) จะมีค่าตั้งแต่ 0.001-100 S (วินาที) และค่าของ C จะมีค่าระหว่าง 10^{-5} ถึง 10^{-1} μF และกราฟค่า R_A จะมีค่าตั้งแต่ 1 K Ω จนถึง 10 M Ω

การใช้กราฟช่วยออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลทำได้โดยสะดวก เช่น หากต้องการ $t_{\text{high}}(t_w) = 0.01\text{ S}$ จากกราฟ 8.3 ถ้าเลือกออกแบบที่จุด X จะได้ค่า $R_A = 100\text{ K}\Omega$, $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ และ $t_{\text{high}}(t_w) = 10^{-2}\text{ S} = 0.01\text{ S}$ นั่นเอง



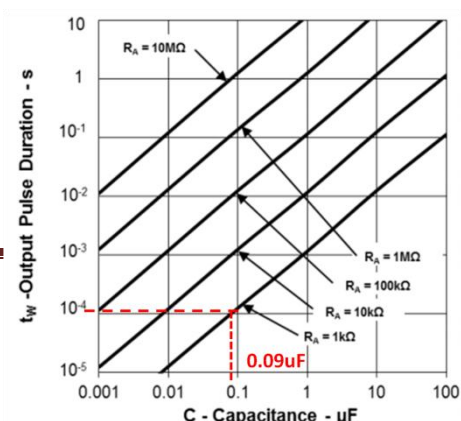
การทำงานของ Timer 555

http://www.williamson-labs.com/pu-aa-555-timer_med.htm

ตัวอย่างที่ 8.1 จงออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ Timer 555 ดังรูปที่ 8.2 (ข) โดยกำหนดให้ V_O มีค่า $t_{\text{high}} = 10\text{ mS}$

วิธีทำ

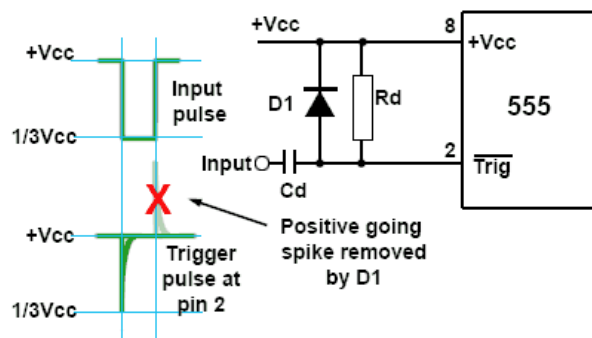
ก) จากกราฟช่วยออกแบบในรูปที่ 8.2 (ข) ที่ค่า $t_{\text{high}} = 10\text{ mS}$ (10^{-4} S) เลือกค่า $R_A = 1\text{ K}\Omega$ จากกราฟจะอ่านค่า C ได้ประมาณ $0.09\text{ }\mu\text{F}$



ข) คำนวณจากสมการ

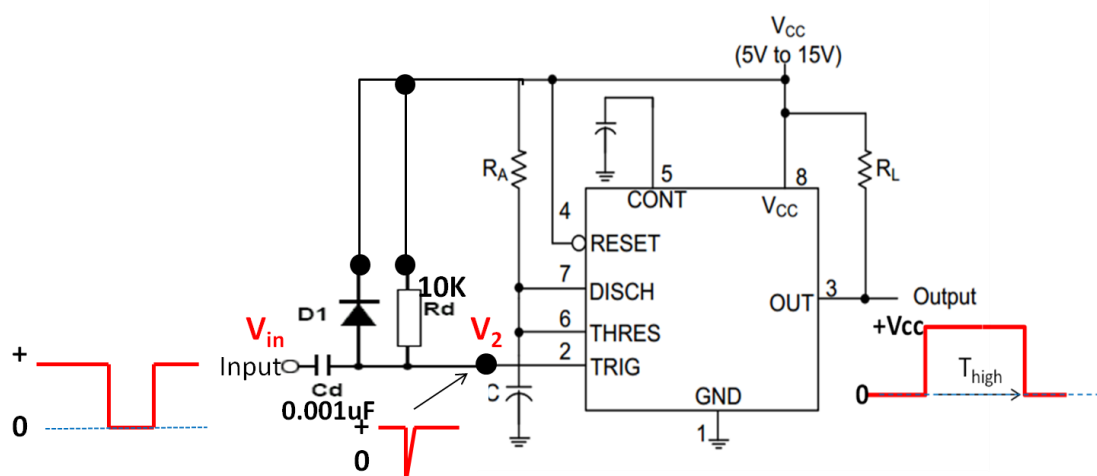
$$\begin{aligned} t_{\text{high}} &= 1.1 R_A C \\ &= 1.1 (1 \text{ k}\Omega) (0.09 \text{ }\mu\text{F}) \\ t_{\text{high}} &= 9.9 \text{ mS} \end{aligned}$$

ลักษณะของสัญญาณอินพุตพัลส์ของโมโนสเตเบิลที่มีลักษณะเป็นพัลส์ลบนั้น อาจเป็นรูปที่เหลี่ยมหรือรูปแหลมก็ได้ ดังรูปที่ 8.3 (ก) อย่าลืมว่าวงจรโมโนสเตเบิลต้องการพัลส์อินพุต 1 พัลส์ เพื่อกำเนิดพัลส์เอาต์พุต 1 พัลส์เช่นกัน หากพัลส์อินพุตเป็นสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างมากเกินไปจะทำให้วงจรโมโนสเตเบิลทำงานผิดพลาดได้ เช่น พัลส์จากลอจิกเกต อาจปรับปรุงส่วนอินพุตใหม่ โดยใช้วงจรดัดแปลงรูปพัลส์ให้เป็นพัลส์รูปแหลมได้โดยใช้วงจร R C และ D ช่วยดังรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.4 วงจรเปลี่ยนรูปพัลส์สี่เหลี่ยมเป็นพัลส์รูปแหลมด้วย R_d D และ C_d

ที่มา : <http://www.learnabout-electronics.org/Oscillators/osc45.php>



รูปที่ 8.5 วงจรโมโนสเตเบิล 555 ที่ปรับปรุงแล้ว

เมื่อนำสัญญาณอินพุต V_{in} เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมป้อนให้กับวงจรเปลี่ยนรูปพัลส์สี่เหลี่ยมเป็นพัลส์รูปแหลมด้วย $R_d C_d$ และ D_1 จะได้พัลส์รูปแหลมเพื่อจ่ายให้กับอินพุต (V_2) ขา 2 ของวงจรโมโนสเตเบิลที่ใช้ Timer 555 ทำให้ได้วงจรโมโนสเตเบิลที่ปรับปรุงแล้วดังรูปที่ 8.5 อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ค่าคงตัวเวลา (Time Constant) ของวงจร $R_d C_d$ นั้นจะต้องน้อยกว่า t_{high} ของวงจรโมโนสเตเบิล

ตัวอย่างที่ 8.2 จากวงจรในรูปที่ 8.5 จงออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลให้มีค่า $t_{high} = 2 \text{ ms}$ กำหนดให้ $C = 0.2 \text{ } \mu\text{F}$ และจงคำนวณค่าคงตัวเวลาของวงจร $R_d C_d$



วิธีทำ

จากสมการ

$$t_{high} = 1.1 R_A C$$

$$2 \text{ ms} = 1.1 (R_A)(0.2 \mu\text{F})$$

$$\therefore R_A = \frac{2 \text{ ms}}{1.1(0.2 \mu\text{F})} = 9.09 \text{ K}\Omega$$

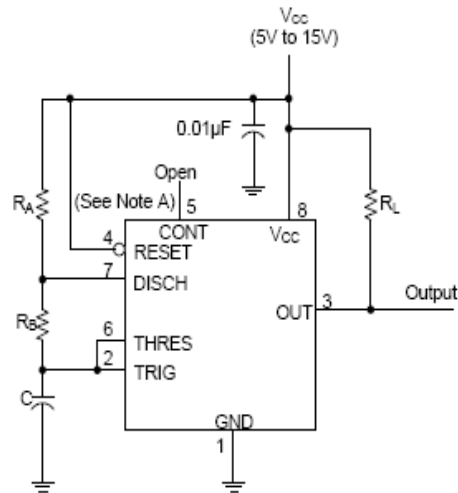
$$T_{RdCd} = R_d C_d \\ = 10 \text{ K}\Omega (0.001 \mu\text{F})$$

=

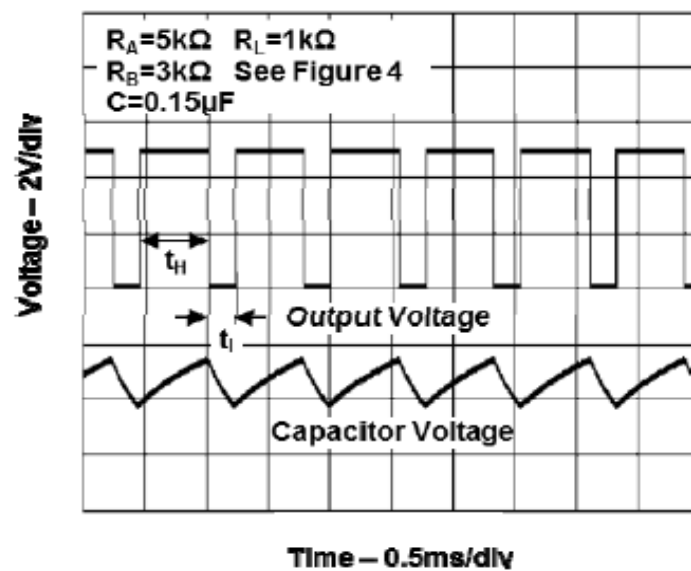
0.01ms

8.3 การทำงานในโหมด ออสเตเบิล

วงจรการทำงานของ Timer 555 ในโหมด ออสเตเบิลจะแสดงในรูปที่ 8.6 วงจรออสเตเบิลเป็นวงจรที่ใช้กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีสัญญาณอินพุต การต่อ R_B เข้าไปที่ขา 2 ทำให้วงจรนี้สามารถกระตุ้นตนเองได้อัตโนมัติ วงจรจึงทำงานได้อย่างต่อเนื่อง C จะเก็บประจุผ่าน R_A และ R_B แต่ช่วงการคายประจุจะผ่านเฉพาะ R_B เท่านั้นในช่วงเวลาการเก็บประจุ (t_H) และการคายประจุ (t_L) ดังรูป(ข) จึงเป็นตัวกำหนดค่า ความถี่ และ Duty cycle ของสัญญาณเอาต์พุต



(ก) วงจรอะสเตเบิล 555



(ข) รูปสัญญาณอินพุต-เอาต์พุตของวงจรอะสเตเบิล
รูปที่ 8.6 วงจรอะสเตเบิล Timer 555 และสัญญาณอินพุต-เอาต์พุต

$$t_H = 0.693(R_A + R_B)C \quad (8.2)$$

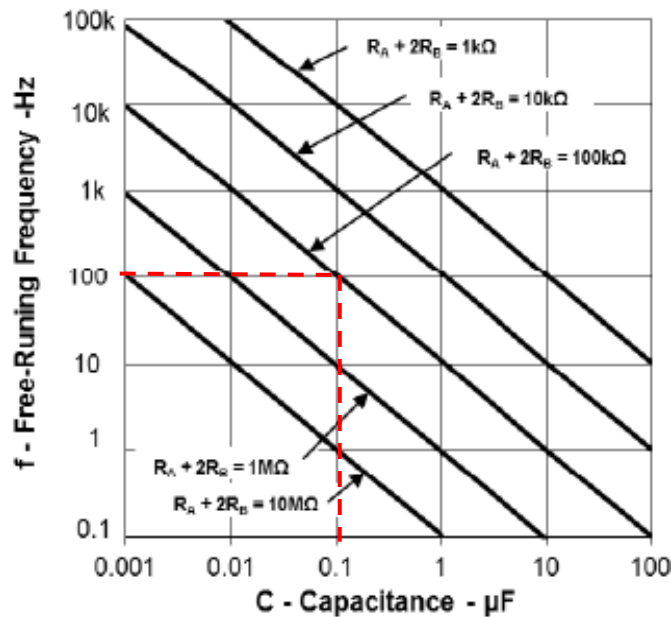
$$t_L = 0.693(R_B)C \quad (8.3)$$

สมการอื่นๆที่สำคัญ ดังนี้ :

$$\text{คาบเวลา}(T) = t_H + t_L = 0.693(R_A + 2R_B)C$$

$$\text{ความถี่}(f) = 1.44/(R_A + 2R_B)C$$

$$\text{Duty cycle} = t_H/(t_H + t_L) = 1 - R_B/(R_A + 2R_B)$$



รูปที่ 8.7 กราฟช่วยคำนวณค่า t_{high} ของอะสเตเบิล 555

กราฟในรูป 8.7 เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบวงจรอะสเตเบิลอย่างรวดเร็วเพราะจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C (μF) และค่า R_A, R_B โดยแกนความถี่มีค่า f จะมีค่าตั้งแต่ 0.1-100 kHz และค่าของ C จะมีค่าระหว่าง 0.001-100 μF และกราฟค่า $R_A + 2R_B$ จะมีค่าตั้งแต่ 1 K Ω จนถึง 10 M Ω การใช้กราฟช่วยออกแบบวงจรอะสเตเบิลทำได้ง่าย เช่น หากต้องการ $f = 100\text{Hz}$ จากกราฟ 8.7 เลือกค่า $f = 100\text{Hz}$ จะได้ค่า $C = 0.1 \mu F$ และ $R_A + 2R_B = 100\text{K}\Omega$ เป็นต้น จากนั้นจึงกำหนดค่า R_A แล้วแทนค่า เพื่อหา R_B ต่อไป



การทำงานของวงจรอะสเตเบิล ศึกษาเพิ่มเติมได้ที่
http://www.doctronics.co.uk/555.htm#pb_02

ตัวอย่างที่ 8.3 วงจรอะสเตเบิลที่ใช้ Timer 555 ดังรูปที่ 8.6 โดยกำหนดให้ V_O มีค่า +5V และ $R_A = 5\text{K}$, $R_B = 3\text{K}$, $C = 0.15\mu F$ จงหาค่าของ T_H , T_L , f , Duty cycle

วิธีทำ

ก) หาค่า t_H, t_L

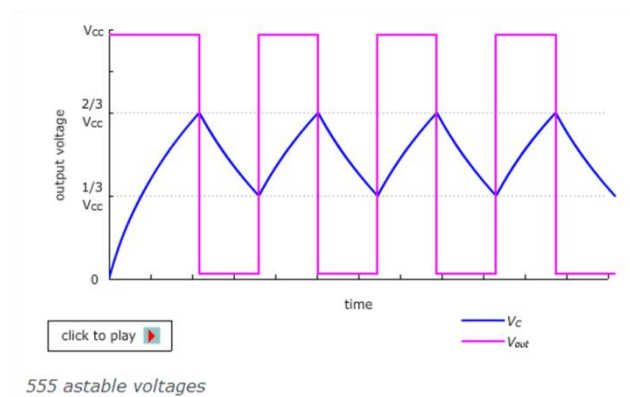
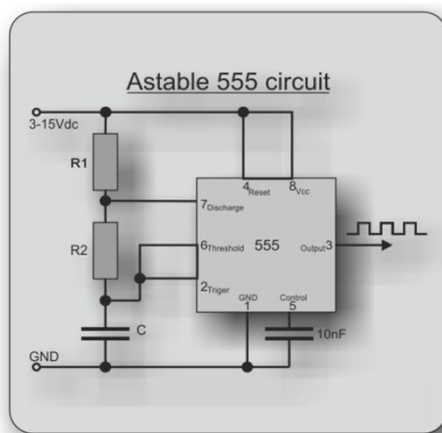
$$\begin{aligned} t_H &= 0.693(R_A + R_B)C \\ &= 0.693(5\text{K}\Omega + 3\text{K}\Omega) 0.15 \mu F \\ &= 0.831\text{ms} \\ t_L &= 0.693(R_B)C \\ &= 0.693(3\text{K}\Omega) 0.15 \mu F \\ &= 0.311\text{ms} \end{aligned}$$

ข) หาค่า f

$$\begin{aligned} f &= 1/(t_H + t_L) \\ &= 1/(0.831 + 0.311) \text{ ms} \\ &= 374 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ค) หาค่า Duty cycle

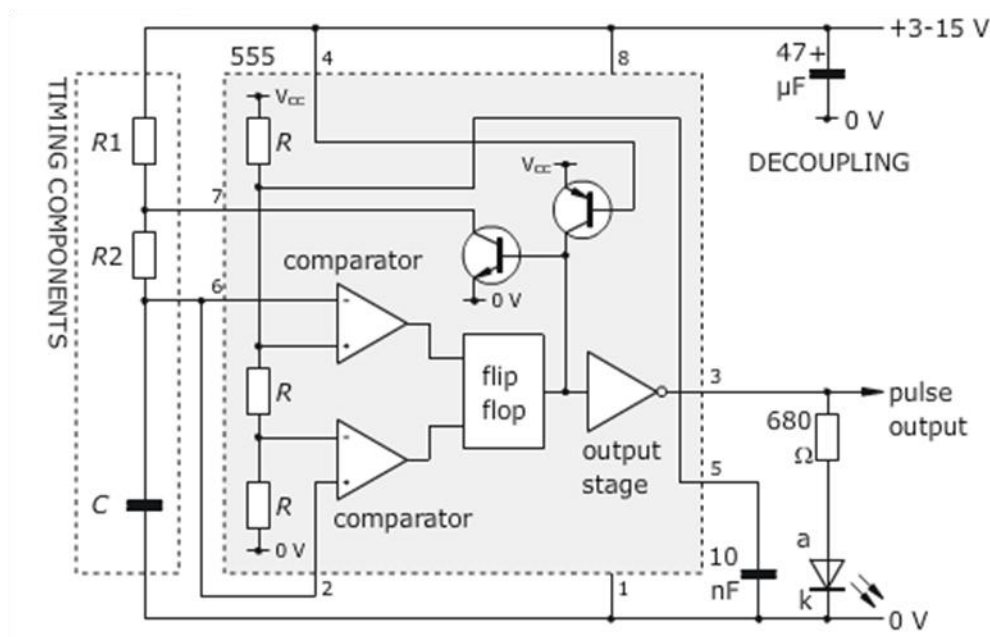
$$\begin{aligned} \text{Duty cycle} &= t_H / T \\ &= 0.831 / 1.142 \\ &= 0.58 \end{aligned}$$



แบบฝึกหัดบทที่ 8

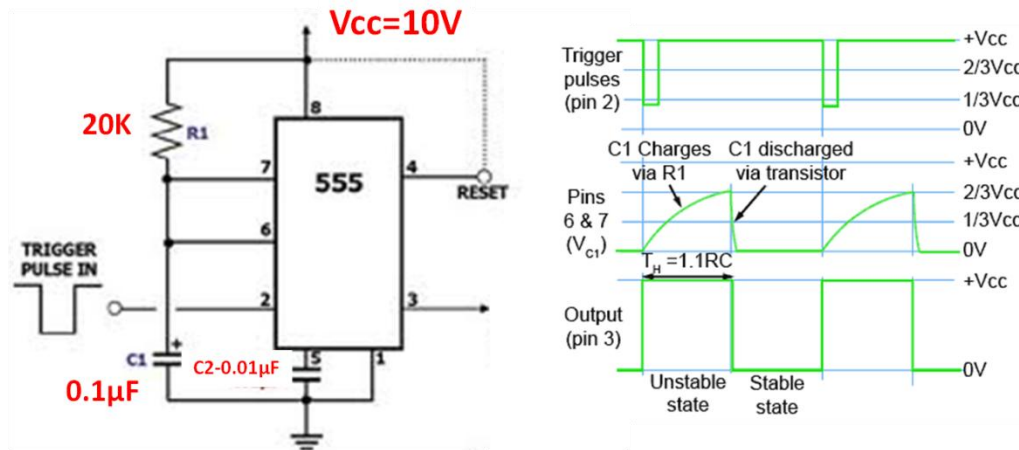
จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด

จงรตอบนี้ใช้สำหรับตอบคำถามข้อ 1-4



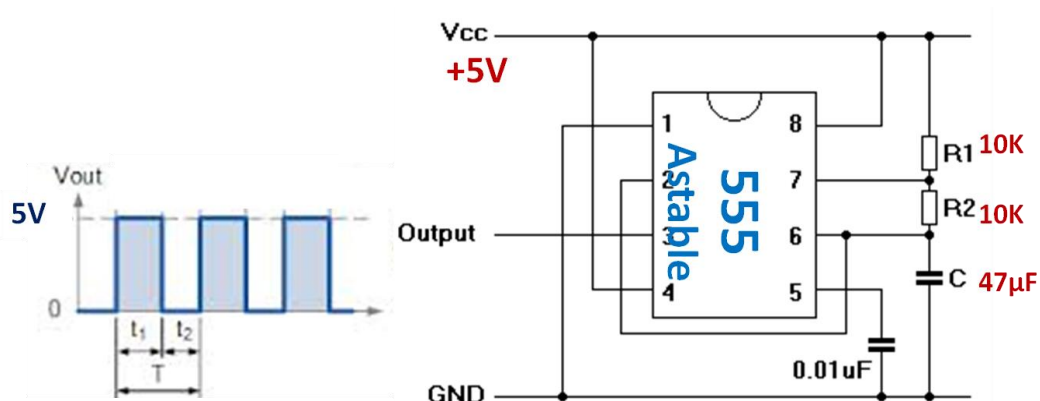
1. ภายใน ไอ.ซี. Timer 555 มีวงจรเปรียบเทียบแรงดันกี่ตัว
 - ก) 1
 - ข) 2
 - ค) 3
 - ง) ไม่มี
2. ไอ.ซี. Timer 555 ใช้แรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้ เท่ากับ
 - ก) 2-10V
 - ข) 3-10V
 - ค) 3-15V
 - ง) 5-15V
3. อุปกรณ์ในข้อใด กำหนดคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุต ของไอ.ซี. Timer 555
 - ก) R1,R2,C
 - ข) R, R1,R2,C
 - ค) Flip-flop
 - ง) R, C
4. ไอ.ซี. Timer 555 ทำงานได้ในโหมดใดบ้าง
 - ก) โมนโทน, อะสเทเบิล
 - ข) ไทมเมอร์ และ โมนอสเตเบิล
 - ค) ไทมเมอร์ โมนอสเตเบิล และ อะสเทเบิล
 - ง) โมนอสเตเบิล และ อะสเทเบิล

วงจรต่อไปนี้จะใช้สำหรับตอบคำถามข้อ 5-8



5. อุปกรณ์ในข้อใด กำหนดคาบเวลาของสัญญาณ Output(pin 3)
 - ก) R_1, C_2
 - ข) R_1, C_2, C_1
 - ค) R_1, C_1
 - ง) R, C , Timer 555
6. วงจรดังกล่าวเรียกว่าอะไร
 - ก) อะสเทเบิล
 - ข) ไทมเมอร์ และ โมโนสเตเบิล
 - ค) โมโนสเตเบิล
 - ง) ไบสเตเบิล
7. คาบเวลาของสัญญาณ Output(pin 3) มีค่าเท่ากับข้อใด
 - ก) $20\mu S$
 - ข) $2.2mS$
 - ค) $0.2mS$
 - ง) $2mS$
8. ถ้าต้องการคาบเวลาของสัญญาณ Output(pin 3) เท่ากับ $5mS$ ค่า R_1 จะมีค่าเท่าไร
 - ก) $20K$
 - ข) $22K$
 - ค) $50K$
 - ง) $55K$

วงจรถ่ายไปนี้ใช้สำหรับตอบคำถามข้อ 9-15



9. วงจรดังกล่าวเรียกว่าอะไร
 - ก) อะสเทเบิล
 - ข) ไทมเมอร์ และ โมโนสเตเบิล
 - ค) โมโนสเตเบิล
 - ง) ไบสเตเบิล

10. ช่วงเวลา t_1 ของสัญญาณ Output ค่าเท่ากับข้อใด
ก) 366.54mS ข) 651.42mS ค) 122.12mS ง) 542.42mS
11. ความถี่ (f) ของสัญญาณ Output มีค่าเท่าไร
ก) 0.22KHz ข) 1.200Hz ค) 1.023Hz ง) 5.11Hz
12. คาบเวลา (T) ของสัญญาณ Output ค่าเท่ากับข้อใด
ก) 366.54mS ข) 977.13mS ค) 822.12mS ง) 542.42mS
13. ค่า Duty cycle ของสัญญาณ Output เท่ากับข้อใด
ก) 36.67% ข) 46.67% ค) 56.67% ง) 66.67%
14. ถ้าเปลี่ยนค่า $C=0.1 \mu F$ ความถี่ของสัญญาณ Output เท่ากับข้อใด
ก) 481Hz ข) 466Hz ค) 227% ง) 681Hz
15. ถ้าเปลี่ยนค่า $C=0.1 \mu F$ ค่า Duty cycle ของสัญญาณ Output เท่ากับข้อใด
ก) 36.67% ข) 46.67% ค) 56.67% ง) 66.67%