

บทที่ 9

วงจรมิททริกเกอร์

(Schmitt trigger circuit)

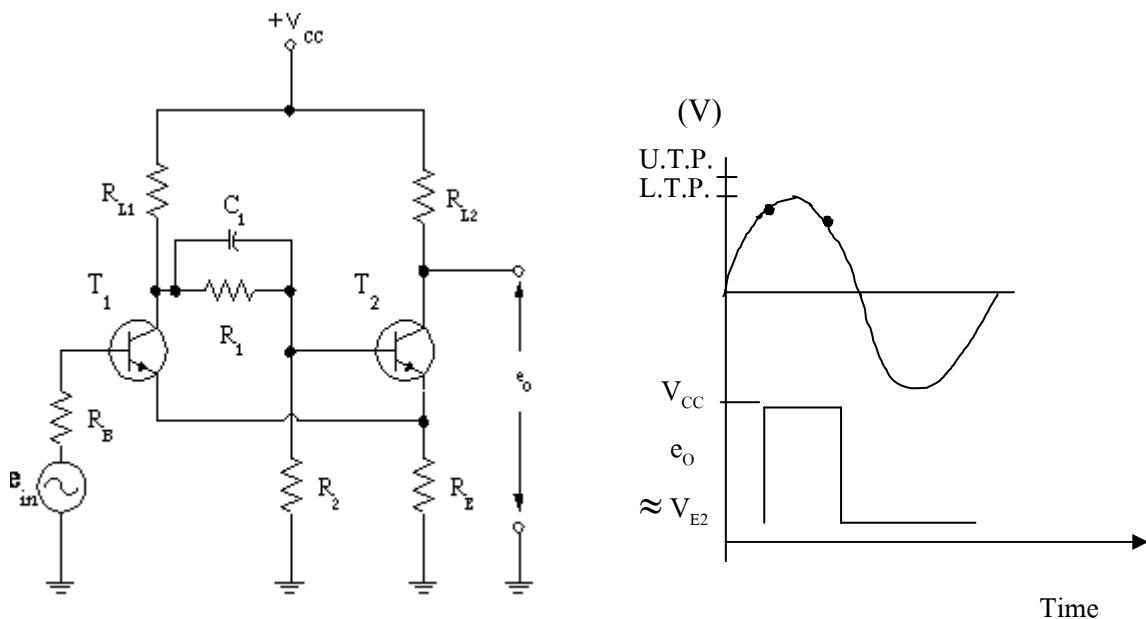
6.1 คุณสมบัติของวงจรมิททริกเกอร์

6.1.1 การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นวงจรมิททริกเกอร์แบบง่ายๆ ในขณะที่ไม่มีแรงดันอินพุตใดๆ ทรานซิสเตอร์ T_1 จะมีสถานะเป็น OFF และทรานซิสเตอร์ T_2 จะมีสถานะเป็น ON ขณะที่ทรานซิสเตอร์ T_2 ทำงานอยู่ในภาวะอิ่มตัว จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_E ซึ่งสมมติให้มีค่า V_E ดังนั้นแรงดันที่เอาต์พุตช่วงเวลา t_1 ก็คือ $(V_{E2} + V_{CEsat})$ และก่อนที่ทรานซิสเตอร์ T_1 จะทำงานแรงดันอินพุตจะต้องมีค่ามากกว่า V_{E2} ขนาดของแรงดันอินพุตที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ T_1 ทำงานได้นี้ถูกเรียก

วงจรมิททริกเกอร์ (Schmitt trigger circuit) จัดได้ว่าเป็นวงจรไบสแตเบิลชนิดดิไวเวอร์เตอร์แบบอิมิตเตอร์คัปเปิลชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถสร้างพัลส์จัตุรัสหรือพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากใดๆ ได้จากการป้อนสัญญาณอินพุต ลักษณะรูปไซน์ ลักษณะของพัลส์ที่เอาต์พุตสร้างขึ้นมานี้สามารถถูกควบคุมและกำหนดได้ว่า “ ศักดาทริกเกอร์ระดับสูง ” (Upper trigger potential) หรือต่อไปจะเรียกย่อๆว่า U.T.P.

6.1.2 อธิบายลักษณะรูปคลื่นของวงจร



รูปที่6.1 แสดงวงจรมิททริกเกอร์

“ สักคาทริกเกอร์ระดับสูง ” (Upper trigger potential) หรือต่อไปจะเรียกย่อๆว่า U.T.P.

$$\text{ดังนั้น } U.T.P. = V_{E2} + V_{BEa}$$

โดยที่ V_{E2} คือ แรงดันตกคร่อม R_E ขณะที่ทรานซิสเตอร์ T_2 ทำงานในภาวะอิ่มตัว

V_{BEa} คือ ขนาดของแรงดันไบอัสตรง ที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านแอกทีฟ (active region) ซึ่งสำหรับทรานซิสเตอร์แบบซิลิกอนจะมีค่าราว 0.5 โวลต์

ขณะที่ทรานซิสเตอร์ T_1 เริ่มทำงานสักคาที่คอลเลคเตอร์ (V_{C1}) ก็จะลดลงจากค่า V_{CC} การที่ค่า V_{C1} ลดลงนี้ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ T_2 นำไฟฟ้าได้น้อยลง นั่นคือทรานซิสเตอร์ ทั้งสองตัวจะมีจุดทำงานอยู่ในย่านแอกทีฟ และในที่สุดทรานซิสเตอร์ T_2 ก็จะหยุดทำงานโดยสมบูรณ์ดังนั้นที่เวลา t_{+1} แรงดันเอาต์พุตจะมีค่า V_{CC} และทรานซิสเตอร์ T_1 จะทำงานในภาวะอิ่มตัว ทรานซิสเตอร์ T_2 จะอยู่ในภาวะ OFF ต่อไปจนกว่าแรงดันอินพุตจะมีขนาดลดลงและน้อยกว่าค่า U.T.P. และเมื่อนั้นทรานซิสเตอร์ T_2 จะกลับสู่สถานะทำงานอีกครั้งหนึ่ง ขนาดของแรงดันอินพุตที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ T_2 กลับมามีสถานะ ON และอยู่ในภาวะอิ่มตัวได้อีกครั้งหนึ่งนี้ถูกเรียกว่า “สักคาทริกเกอร์ระดับต่ำ” (Lower trigger potential) หรืออาจเรียกย่อๆว่า L.T.P.

ดังนั้นจะเห็นว่า วงจรนี้ไม่เปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานดั้งเดิมจนกว่าแรงดันตกคร่อม R_2 จะมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อม R_E ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ T_1 ทำงาน (V_{E1})

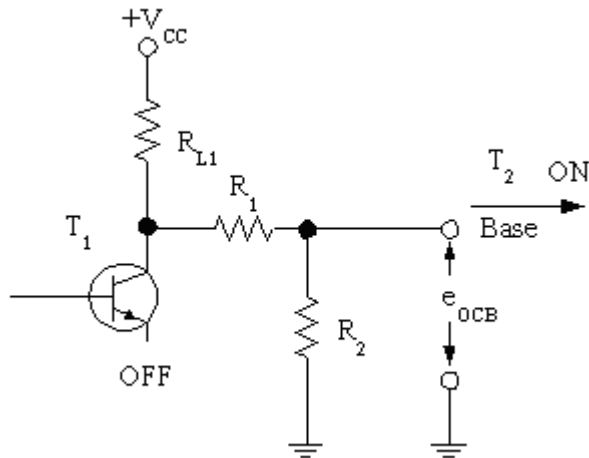
6.1.3 ตัวอย่างการนำวงจรไปประยุกต์ใช้งาน

วงจรมิททริกเกอร์ (Schmitt trigger circuit) จัดได้ว่าเป็นวงจรไบสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์แบบอิมิตเตอร์คัปเปิลชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถสร้างพัลส์จัตุรัสหรือพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากใดๆ ได้จากการป้อนสัญญาณอินพุตลักษณะรูปไซน์ ลักษณะของพัลส์ที่เอาต์พุตสร้างขึ้นมานี้สามารถถูกควบคุมและกำหนดได้ และสร้างเป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลือกระดับค่าแรงดันในการตัดสินใจได้

6.2 พารามิเตอร์ของวงจรมิททริกเกอร์

6.2.1 การกำหนดค่า U.T.P.

ค่าของ U.T.P. (Upper Trigger Potential) ของวงจรในรูปที่ 6.1 อาจกำหนดได้ดังนี้ สมมติว่าขณะที่ไม่มีแรงดันอินพุตใดๆเข้ามา ทรานซิสเตอร์ T_1 จะมีสถานะเป็น OFF และทรานซิสเตอร์ T_2 จะมีสถานะเป็น ON วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ T_2 เขียนเป็นวงจรเสมือนได้โดยการใช้ทฤษฎีของ “ เทวินิน ” (Thevenin's theorem) ดังแสดงในรูปที่ 6.2

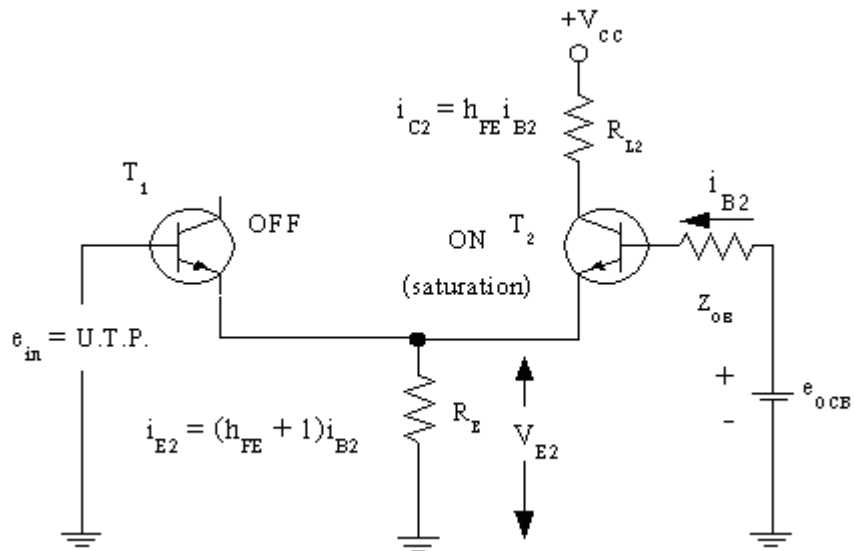


รูปที่ 6.2 วงจรเสมือน

โดยการสมมติว่า แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อในทรานซิสเตอร์ไม่ต้องนำมาพิจารณาด้วย
ดังนั้น

$$Z_{OB} = \frac{R_2 (R_1 + R_{L1})}{R_1 + R_2 + R_L}$$

และเมื่อนำค่า e_{oCB} และ Z_{OB} ไปแทนลงในวงจรจึงอาจเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงวงจรที่แทนค่า e_{oCB} และ Z_{OB} ไปในวงจร

จากรูปที่ 6.3 จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's voltage law) จะได้ว่า

$$V_{E2} + e_{ZOB} = e_{OCB}$$

$$V_{E2} = e_{OCB} - I_{B2} Z_{OB}$$

แทนค่า e_{OCB} และ Z_{OB}

$$\text{ดังนั้น} \quad V_{E2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_{L1}} - I_{B2} \left(\frac{R_2 (R_1 + R_{L1})}{R_1 + R_2 + R_{L1}} \right)$$

$$\text{แต่} \quad V_{E2} = I_{E2} R_E$$

$$\text{และ} \quad I_{E2} = (h_{FE} + 1) I_{B2}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad V_{E2} = (h_{FE} + 1) I_{B2} R_E$$

$$I_{B2} = \frac{V_{E2}}{R_E (h_{FE} + 1)}$$

$$V_{E2} = \frac{R_2 V_{CC} - I_{B2} \cdot R_2 (R_1 + R_{L1})}{R_1 + R_2 + R_{L1}}$$

$$= \frac{R_2 V_{CC} - \frac{V_{E2} R_2 (R_1 + R_{L1})}{R_E (h_{FE} + 1)}}{R_1 + R_2 + R_{L1}}$$

$$V_{E2} = \frac{R_2 \cdot R_E (h_{FE} + 1) V_{CC}}{R_E (R_1 + R_2 + R_{L1}) (h_{FE} + 1) + R_2 (R_1 + R_{L1})}$$

$$= \frac{V_{CC}}{\frac{R_1 + R_2 + R_{L1}}{R_2} + \frac{R_1 + R_{L1}}{R_E (h_{FE} + 1)}}$$

และโดยที่ไม่ต้องนำค่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อของทรานซิสเตอร์มาพิจารณา ดังนั้น

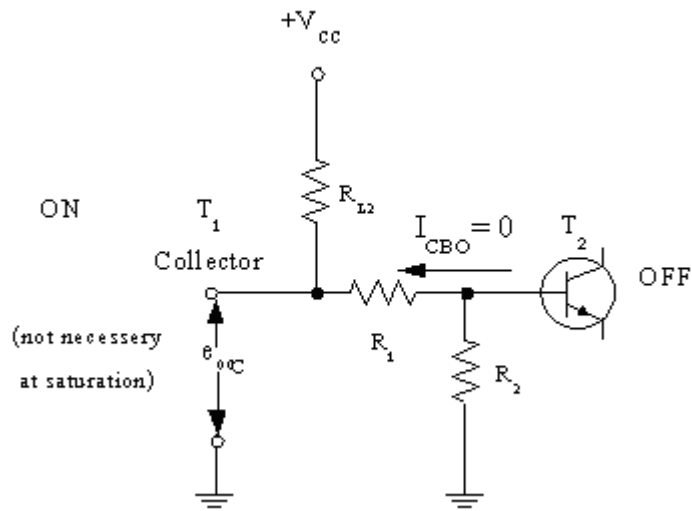
$$U.T.P. = V_{E2}$$

นั่นคือ

$$U.T.P. = \frac{V_{CC}}{\frac{R_1 + R_2 + R_{L1}}{R_2} + \frac{R_1 + R_{L1}}{R_E (h_{FE} + 1)}}$$

6.2.2 การกำหนดค่า L.T.P.

ค่าของ L.T.P. (Lower Trigger Potential) ของวงจรในรูปที่ 6.1 ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ T_2 หยุดทำงาน อาจกำหนดได้โดยการพิจารณาจากวงจรในรูปที่ 6.4 ซึ่งเป็นวงจรเสมือนของวงจรทางด้านคอลเล็กเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์ T_1 โดยการใช้กฎของเชวินิน และเคอร์ชอฟฟ์



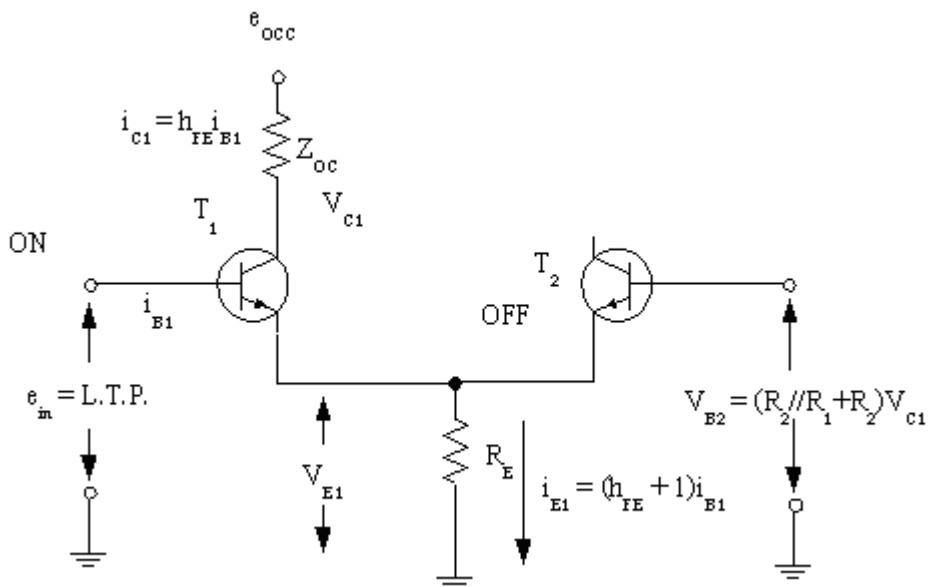
รูปที่ 6.4 แสดงวงจรเสมือนทางด้านคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์

ดังนั้น

$$e_{OC} = \frac{(R_1 + R_2)V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_{L1}}$$

$$Z_{OC} = \frac{R_{L1}(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_{L1}}$$

และเมื่อนำค่า e_{OC} และ Z_{OC} ไปแทนลงในวงจรที่ 6.1 จึงอาจเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงวงจรสมิททริกเกอร์ ที่แทน e_{OC} และ Z_{OC} ไปแทนลงในวงจร

และจากรูปที่ 6.5 โดยใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchoff's voltage law) จะได้ว่า

$$e_{oc} = V_{C1} + E_{ZOC}$$

และ $e_{oc} = V_{C1} + h_{FE} I_{B1} Z_{OC}$

แต่ $I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_E}$
 $= (h_{FE} + 1) I_{B1}$

$$I_{B1} = \frac{V_{E1}}{R_E (h_{FE} + 1)}$$

$$e_{oc} = V_{C1} + \frac{h_{FE} V_{E1} Z_{OC}}{R_E (h_{FE} + 1)}$$

แต่ $e_{OC} = \frac{(R_1 + R_2) V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_{L1}}$

และ $Z_{OC} = \frac{R_{L1} (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_{L1}}$

ดังนั้น

$$\frac{(R_1 + R_2) V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_{L1}} = \left(\frac{h_{FE} V_{E1} R_{L1} (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_{L1}} \right) \frac{V_{CC}}{R_E (h_{FE} + 1)}$$

แต่ $V_{E1} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{C1}$
 $V_{C1} = \frac{V_{E1} (R_1 + R_2)}{R_2}$

แทนค่า V_{C1} ลงไป

ดังนั้น

$$\frac{(R_1 + R_2) V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_{L1}} = \left(\frac{h_{FE} V_{E1} R_{L1} (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_{L1}} \right) \frac{V_{E1} (R_1 + R_2)}{R_2}$$

$$V_{E1} = \frac{R_E R_2 (h_{FE} + 1) V_{CC}}{R_E (h_{FE} + 1) (R_1 + R_2 + R_{L1}) + h_{FE} R_2 R_{L1}}$$

$$V_{E1} = \frac{V_{CC}}{\frac{R_1 + R_2 + R_{L1}}{R_2} + \frac{h_{FE} R_L}{R_E (h_{FE} + 1)}}$$

ทรานซิสเตอร์ T_1 จะหยุดทำงาน เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ V_{EI}

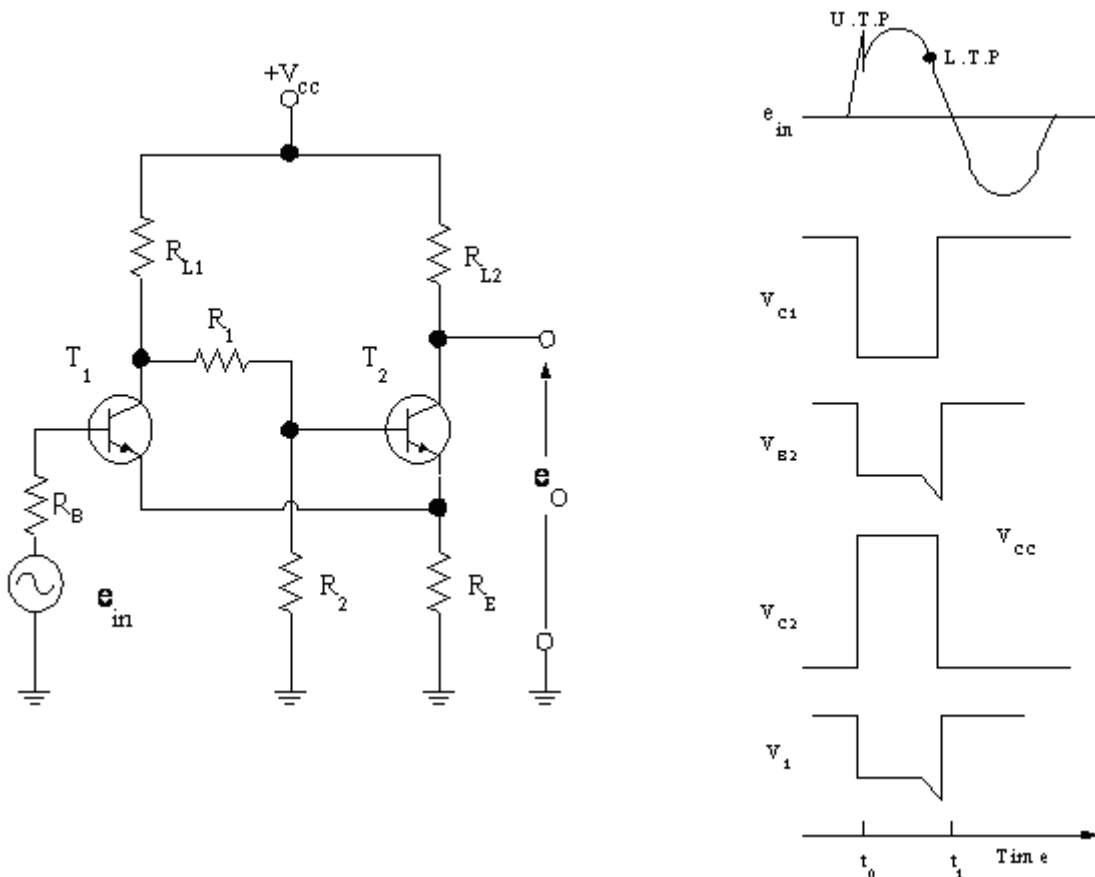
ดังนั้น $L.T.P. = V_{EI}$

นั่นคือ

$$L.T.P. = \frac{V_{CC}}{\frac{R_1 + R_2 + R_{L1}}{R_2} + \frac{h_{FE} R_L}{R_E (h_{FE} + 1)}}$$

6.2.3 การออกแบบวงจร

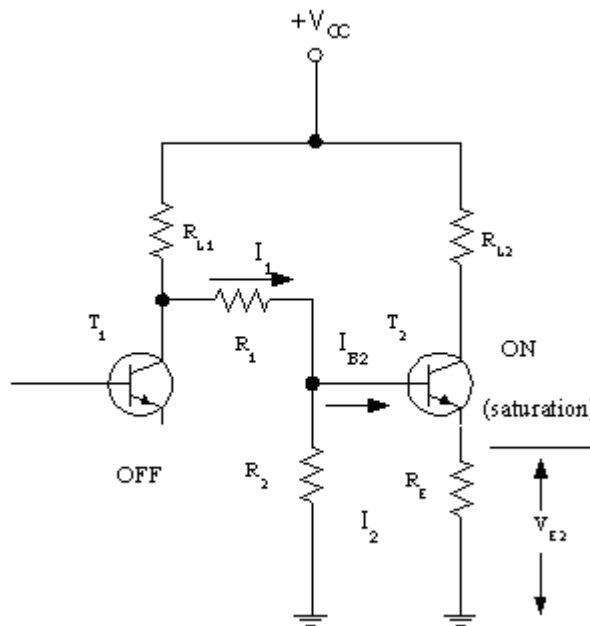
ในตอนนี้จะพิจารณาการออกแบบวงจรขั้วทรานซิสเตอร์ โดยพิจารณาจากรูปที่ 6.6 ซึ่งกำหนดให้ $V_{CC} = 15$ V, $U.T.P. = 5$ V, $I_{C2} = 5$ mA และ $L.T.P. = 3$ V. และทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นชนิด NPN ซึ่งมี $h_{FEmin} = 20$ แหล่งจ่ายศักดา (กระแสตรง) มีค่า 1 ~ 5 โวลต์ และสมมติว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์มีค่าน้อยมากไม่ต้องนำมาพิจารณา และ $I_2 = 10\%$ ของ I_{C2} , $I_{CBO} = 0$ ค่าต่างๆที่ต้องการหาเพื่อการออกแบบวงจรก็คือ $R_1, R_2, R_E, R_{L1}, R_{L2}$ และ R_B



รูปที่ 6.6 แสดงวงจรขั้วทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

วิธีการพิจารณาและออกแบบตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การใช้กฎของโอห์ม หาค่าของ $(R_{L2}+R_E)$ เมื่อทรานซิสเตอร์ T_2 อยู่ในสภาวะ ON และอิมิต์วโดยที่ไม่มีแรงดันอินพุตใดๆเข้ามา
2. เมื่อไม่ต้องพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมรอยต่อ $V_{E2} = U.T.P.$ โดยค่าของ V_{E2} อาจแสดงอยู่ในเทอมของ V_{E2}, R_{L2} และ V_{CC}
3. ค่าของ R_{L2} หาได้จากผลของข้อ 1 และ 2
4. ค่าของ $V_{E1} = L.T.P.$ โดยค่าของ V_{E1} อาจแสดงอยู่ในเทอม R_E, R_L , และ V_{CC}
5. ค่าของ R_2 โดยสมมติว่า กระแสซึ่งไหลผ่าน R_2 มีค่าเป็น 10% ของค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ซึ่งไหลผ่านทรานซิสเตอร์ T_2 ขณะทำงานในภาวะอิมิต์ว และการที่ทรานซิสเตอร์ T_2 เปลี่ยนสถานะจาก OFF ที่เวลา t_{+1} ไปเป็นสถานะ ON ที่เวลา t_{+1} ค่าของแรงดันตกคร่อมที่รอยต่ออิมิตเตอร์และเบสจะต้องมีค่าเป็น ศูนย์ โดยที่ $V_{E1} = L.T.P.$ และ $E_{R2} = V_{E1} = L.T.P.$ ดังนั้นอาจใช้กฎของโอห์ม หาค่าของ R_2 ได้
6. หาค่าของ R_1 จากสมการกระแสโหนด (current-node equation) ของวงจรดังแสดงในรูปที่ 11.7
7. เนื่องจากทรานซิสเตอร์ T_1 ไม่จำเป็นต้องทำงานในภาวะอิมิต์ว ดังนั้นค่าของ R_B จึงอาจมีค่าน้อยกว่า $h_{FE} R_E$ ได้



รูปที่ 6.7 แสดงทิศทางกระแส และแรงดันประกอบการออกแบบวงจร

จากลำดับขั้นตอนดังกล่าวข้างบน สามารถเขียนได้ดังนี้

สมมติว่า $I_{C2} = I_{E2}$

$$(R_{L2} + R_E) = \frac{V_{CC}}{I_{C2}} = \frac{15}{5mA} = 3k \Omega$$

$$U.T.P. = V_{E2} = 5 V$$

$$V_{E2} = \frac{R_E V_{CC}}{(R_{L2} + R_E)}$$

$$R_E = V_{E2} \frac{(R_{L2} + R_E)}{V_{CC}} = \frac{5 \text{ v} (3 \text{ k}\Omega)}{15 \text{ v}} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{L2} = (R_{L2} + R_E) - R_E = 3 \text{ k}\Omega - 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{L2} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{L.T.P.} = V_{E1} = 3 \text{ V}$$

$$V_{E1} = \frac{R_E V_{CC}}{(R_E + R_{L1})}$$

$$R_{L1} = \frac{R_E V_{CC}}{V_{E1}} - R_E$$

$$= \left(\frac{(1 \text{ k}\Omega) \times 15}{3} \right) - 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{L1} = 5 - 1 = 4 \text{ k}\Omega$$

ซึ่งสามารถใช้ตัวต้านทานที่วางขายอยู่มีค่า 3.9 kΩ แทน

และ

$$I_2 = 10\% I_{C2}$$

$$I_2 = (10\%) (5 \text{ mA}) = 0.5 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{E_{R2}}{I_2} = \frac{V_{E1}}{I_2} = \frac{\text{L.T.P.}}{I_2} = \frac{3}{0.5 \text{ mA}}$$

$R_2 = 6 \text{ k}\Omega$ (ซึ่งสามารถใช้ตัวต้านทานที่มีอยู่ตามท้องตลาดคือ 5.6 kΩ แทน)

จากรูปที่ 6.7

$$I_1 = I_2 + I_{B2}$$

$$\frac{E_{RL1} + E_{R1}}{R_1 + R_{L1}} = \frac{E_{R2}}{R_2} + I_{B2}$$

$$\frac{V_{CC} - \text{U.T.P.}}{R_1 + R_{L1}} = \frac{\text{U.T.P.}}{R_2} + I_{B2}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE \min}} = \frac{5 \text{ mA}}{20} = 0.25 \text{ mA}$$

$$\frac{15 - 5}{3.9 \text{ k}\Omega + R_1} = \frac{5}{5.6 \text{ k}\Omega} + 0.25 \text{ mA}$$

$$\frac{10}{3.9 \text{ k}\Omega + R_1} = 0.829 \text{ mA} + 0.25 \text{ mA}$$

$$10 = 4.45 - 1.142 \text{ mA} \cdot R_1$$

$$R_1 = \frac{5.55}{1.142 \text{ mA}} = 4.87 \text{ k}\Omega$$

ซึ่งเราใช้ค่า $4.7 \text{ k}\Omega$ แทน เนื่องจากมีขายในท้องตลาด

$$R_B = \frac{h_{FE} R_E}{10} = \frac{20 \times 1 \text{ k}\Omega}{10} = 2 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้นสรุปได้ว่า

$R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$	$R_{L1} = 4 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 5.6 \text{ k}\Omega$	$R_{L2} = 2 \text{ k}\Omega$
$R_E = 1 \text{ k}\Omega$	และ $R_B = 2 \text{ k}\Omega$

จบเนื้อหา บทที่ 9 วงจรซิมิทริกเกอร์