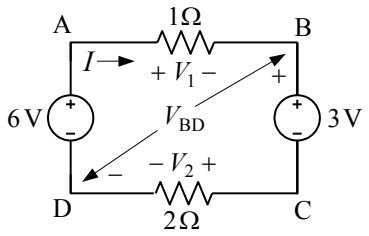
แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

จากวงจรในรูปที่ 1 ใช้สำหรับคำถามข้อที่ 1 ถึง 3



รูปที่ 1 วงจรสำหรับคำถามข้อที่ 1 ถึง 3

1. สมการ KVL รอบวงปิด ABCD คือข้อใด

ก. $+V_1+3\text{V}+V_2-6\text{V}=0$ ข. $+V_1+3\text{V}+V_2+6\text{V}=0$

ค. $+V_1-3\text{V}+V_2+6\text{V}=0$ ง. $+6\text{ V}+V_1+3\text{V}+V_2=0$

2. กระแสที่ไหลในวงจรมีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 1 A

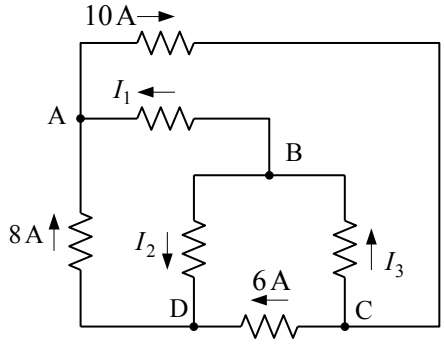
ค. 1.2 A ง. 2 A

3. V_{BD} มีค่าเท่าใด

ก. 6 V ข. 2 V

ค. 3 V ง. 5 V

จากวงจรในรูปที่ 2 ใช้สำหรับคำถามข้อที่ 4 ถึง 6



รูปที่ 2 วงจรสำหรับคำถามข้อที่ 4 ถึง 5

4. จากวงจรในรูปที่ 2 กระแสไฟฟ้า I_1 มีค่าเท่าใด

ก. 4 A ข. 1 A

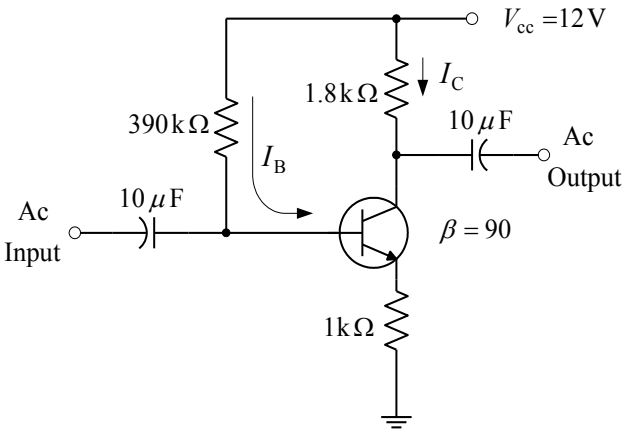
ค. 2A ง. 3A

5. จากวงจรในรูปที่ 2 กระแสไฟฟ้า I_2 มีค่าเท่าใด

ก. 4 A ข. 1 A

ค. 2A ง. 3A

จากวงจรในรูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อที่ 6 ถึง 10



รูปที่ 3 วงจรสำหรับคำถามข้อที่ 6 ถึง 10

6. สมการ KVL รอบลูปอินพุต คือข้อใด

ก. $-V_{CC}+V_{RB}-V_{BE}+V_{RE}=0$ ข. $-V_{CC}+V_{RB}+V_{BE}+V_{RE}=0$

ค. $-V_{CC}+V_{RB}-V_{BE}+V_{RE}=0$ ง. $-V_{CC}-V_{RB}+V_{CE}-V_{RE}=0$

7. กระแสไฟฟ้า I_B มีค่าเท่าใด

ก. 2.34 μA ข. 2.34 mA

ค. 23.49 μA ง. 2.11 mA

8. กระแสไฟฟ้า I_C มีค่าเท่าใด

ก. 2.34 μA ข. 2.34 mA

ค. 23.49 μA ง. 2.11 mA

9. สมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต คือข้อใด

ก. $+V_{CC}-V_{RB}-V_{BE}-V_{RE}=0$ ข. $+V_{CC}-V_{RB}-V_{BE}-V_{RE}=0$

ค. $+V_{CC}-V_{RE}-V_{BE}-V_{RE}=0$ ง. $+V_{CC}-V_{RE}-V_{CE}-V_{RC}=0$

10. V_{CE} มีค่าเท่าใด

ก. 6.08 V ข. 6.92 V

ค. 5.08 V ง. 5.92 V

หน่วยที่ 3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

สาระสำคัญ

กฎของเคอร์ชอฟฟ์เป็นกฎที่พัฒนามาจากกฎของโอห์ม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าให้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งมีอยู่ 2 กฎคือ กฎแรงดัน และกฎกระแส ซึ่งทั้งสองกฎสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้ทั้ง วงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น วงจรทรานซิสเตอร์ วงจรออปแอมป์ เป็นต้น

เนื้อหาสาระ

3.1 กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

3.2 กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

3.3 การนำกฎของเคอร์ชอฟฟ์ไปใช้วิเคราะห์วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้มีความรู้และเข้าใจในเรื่อง :

3.1 กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

3.2 กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

3.3 การนำกฎของเคอร์ชอฟฟ์ไปใช้วิเคราะห์วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม หลังจากเรียนจบหน่วยเรียนนี้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถดังนี้

1.1 เขียนสมการกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ได้

1.2 ใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์วิเคราะห์หาแรงดันไฟฟ้า ได้

1.3 เขียนสมการกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ได้

1.4 ใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์วิเคราะห์หากระแสไฟฟ้า ได้

1.5 นำกฎของเคอร์ชอฟฟ์ไปใช้วิเคราะห์วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ ได้

หน่วยที่ 3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

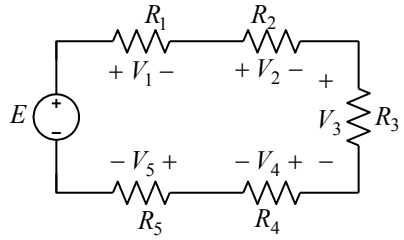
กฎของเคอร์ชอฟฟ์เป็นกฎที่พัฒนามาจากกฎของโอห์มเพื่อให้การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าทำได้สะดวกและรวดเร็ว กฎของเคอร์ชอฟฟ์ มี 2 กฎ คือ กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ และ กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ ใช้วิเคราะห์หาแรงดันไฟฟ้า ส่วน กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ใช้วิเคราะห์หากระแสไฟฟ้า ใช้ทั้ง 2 กฎนี้ร่วมกับกฎของโอห์มจะทำให้การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าได้ง่ายขึ้น

3.1 กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff Voltage Law : KVL)

กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ กล่าวไว้ว่า

> ในวงจรไฟฟ้าปิดใดๆ ผลรวมทางพีชคณิตของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า *ในวงจรไฟฟ้าปิดใดๆ ผลรวมทางพีชคณิตของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวจะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย*



รูปที่ 3.1 แสดงกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

จากวงจรในรูปที่ 3.1 จะพบว่า E = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจร

$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$ = แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน

ดังนั้น $E = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$

ใช้คุณสมบัติของสมการเชิงเส้นมาพิสูจน์

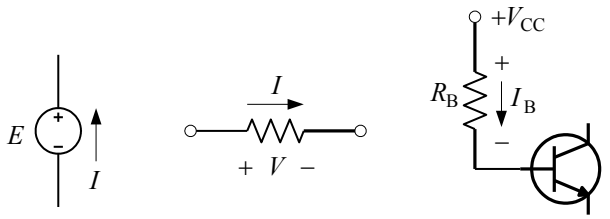
ย้ายข้างสมการ $E - V_1 - V_2 - V_3 - V_4 - V_5 = 0$

ซึ่งเป็นไปตามกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ที่ กล่าวไว้ว่า ในวงจรไฟฟ้าปิดใดๆ ผลรวมทางพีชคณิตของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์

ขั้นตอนการนำ กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งต่อไปจะใช้ ตัวอักษรย่อ KVL ไปวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีดังนี้

1. กำหนดลูป
2. เขียนสมการ KVL ตามทิศทางลูป(จะวนซ้ายหรือขวาก็ได้แต่ต้องให้ครบรอบ)
3. แก้สมการ KVL โดยใช้วิธีการของ สมการเชิงเส้นที่ได้ทบทวนมาแล้วในหน่วยที่ 1

หลักการเขียน KVL การเขียนสมการ KVL ให้ถูกต้องนั้นมีความสำคัญมาก เพราะถ้าหากนักเรียนเขียนผิด ขั้นต่อไปก็จะผิดด้วยเพราะว่าเริ่มต้นผิด ส่วนมากนักเรียนจะสับสนการกำหนดขั้วแรงดันตกคร่อมองค์ประกอบในวงจรและทิศทางกระแสไฟฟ้า ให้นักเรียนพิจารณา รูปที่ 3.2

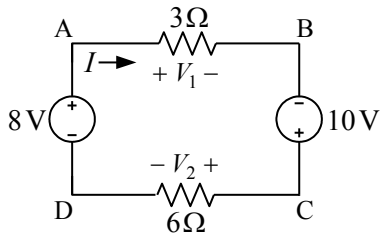


(ก) ทิศทางกระแสของแหล่งจ่ายแรงดัน (ข) ขั้วแรงดันที่ตกคร่อมโหลด (ค) ขั้วแรงดันในวงจรทรานซิสเตอร์

รูปที่ 3.2 แสดงทิศทางกระแสและขั้วแรงดัน

จากรูปที่ 3.2 (ก) ทิศทางของกระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายแรงดัน จะออกจากขั้วบวกซึ่งเป็นขั้วที่มีศักย์ฟ้าสูงกว่าขั้วลบ กระแสออกจากขั้วบวกไหลไปในวงจร ผ่านโหลดในวงจรแต่ละวงจรอาจมีโหลดหลายตัว กระแสไหลครบวงจร โดยเข้าที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดัน กระแสที่ไหลออกจากแหล่งจ่ายผ่านโหลด จะมีแรงดันตกคร่อมโหลด ตามกฎของโอห์ม ขั้วของแรงดันตกคร่อมจะเป็นดังรูปที่ 3.2 (ข) พิจารณาตามหลักธรรมชาติ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากศักย์สูงไปยังศักย์ต่ำ จึงกำหนดให้ ต้นทางของลูกศรของทิศทางกระแสเป็นบวก และปลายทางเป็นลบ ส่วนในรูปที่ 3.2 (ค) จะพบว่า แรงดัน $+V_{CC}$ เป็นแรงดันที่มีศักย์ไฟตรงสูงที่สุดในวงจรทรานซิสเตอร์ เราใช้หลักการ เช่นเดียวกันกับ ในรูป 3.2 (ก) และ (ข) หรือนักเรียนจะสังเกตทิศทางกระแสเบส จากชนิดของทรานซิสเตอร์ ก็ได้

ตัวอย่างที่ 3.1 จากวงจรในรูปที่ 3.3 จงใช้ KVL หาค่า V_1 และ V_2



รูปที่ 3.3 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 3.1

วิธีทำ เขียนสมการ KVL รอบวงรอบ ABCDA : $+V_1 - 10\,\text{V} + V_2 - 8\,\text{V} = 0$

หรือ $V_1 + V_2 = 18\,\text{V}$ .....(1)

จากกฎของโอห์ม $I(3\Omega + 6\Omega) = 18\,\text{V}$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร : $I = \dfrac{18\,\text{V}}{9\Omega} = 2\,\text{A}$

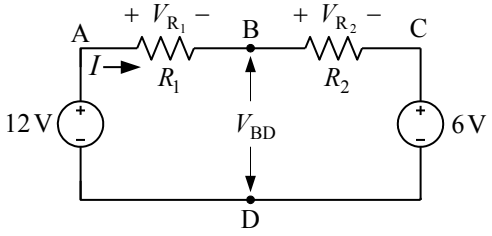
$\therefore\ V_1 = I(3\Omega) = (2\,\text{A})(3\Omega) = 6\ \text{V}$ .....**ตอบ**

แทนค่า V_1 ลงใน (1) $6\,\text{V} + V_2 = 18\ \text{V}$

$\therefore \quad V_2 = 12\ \text{V}$ .....**ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.2 จากวงจรในรูปที่ 3.4 จงใช้ KVL หาค่า V_{R_2} และ V_{BD} ถ้า $V_{R_1} = 4\ \text{V}$

วิธีทำ



รูปที่ 3.4 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 3.2

เขียนสมการ KVL รอบวงรอบ ABCDA : $+V_{R_1} + V_{R_2} + 6\text{V} - 12\text{V} = 0$

$$+V_{R_1} + V_{R_2} = +12\text{V} - 6\text{V} = 6\text{V}$$

เมื่อ $V_{R_1} = 4\text{V}$ ดังนั้น $V_{R_2} = 6\text{V} - 4\text{V} = 2\ \text{V}$ .....**ตอบ**

เขียนสมการ KVL รอบวงรอบ BCDB : $+V_{R_2} + 6\text{V} - V_{BD} = 0$

ดังนั้น $V_{BD} = V_{R_2} + 6\text{V}$

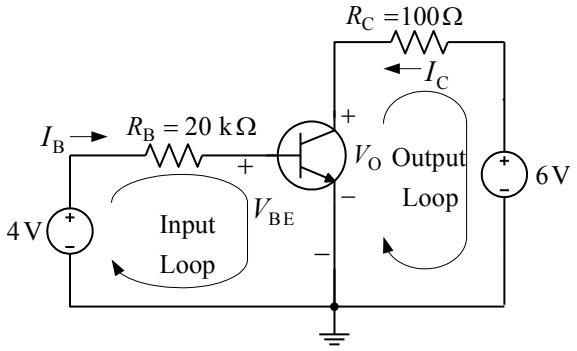
$\therefore \quad V_{BD} = 2\text{V} + 6\text{V} = 8\text{V}$ .....**ตอบ**

หรือจะใช้ลูปทางซ้ายมือ เขียนสมการ KVL รอบวงรอบ ABDA : $+V_{R_1} + V_{BD} - 12\text{V} = 0$

$$V_{BD} = 12\text{V} - V_{R_1}$$

$\therefore \quad V_{BD} = 12\text{V} - 4\text{V} = 8\text{V}$ .....**ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.3 จากวงจรในรูปที่ 3.5 จงใช้ KVL และกฎของโอห์มหา I_B , I_C และ V_O ในวงจรทรานซิสเตอร์ เมื่อกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในแอคตีฟโหมด $V_{BE} = 0.7\text{V}$, $I_C = \beta I_B$ และ $\beta = 100$



รูปที่ 3.5 วงจรทรานซิสเตอร์

วิธีทำ เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $+V_{RB}+V_{BE}-4\text{ V}=0$

$$I_B R_B + V_{BE} = 4\text{ V}$$

$$I_B R_B + 0.7\text{ V} = 4\text{ V}$$

$$I_B(20\times10^3\,\Omega) = 4\text{ V} - 0.7\text{ V}$$

$$I_B = \frac{3.3\text{ V}}{20\times10^3\,\Omega}$$

$$\therefore\quad I_B = 165\ \mu\text{A} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

$$\therefore\quad I_C = \beta I_B = (100)(165\ \mu\text{A}) = 16.5\text{ mA} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $+V_O - 6\text{V} + V_{RC} = 0$

$$V_O = 6\text{ V} - V_{RC}$$

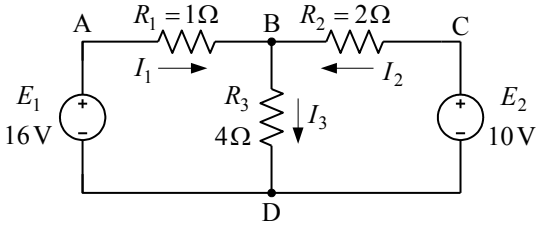
$$V_O = 6\text{ V} - (I_C R_C)$$

$$V_O = 6\text{ V} - (16.5\text{ mA})(100\,\Omega)$$

$$V_O = 6\text{ V} - 1.65\text{ V}$$

$$\therefore\quad V_O = 4.35\text{ V} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

ตัวอย่างที่ 3.4 จากวงจรในรูปที่ 3.6 จงเขียนสมการ KVL รอบวงปิด ทั้ง 2 ลูป แล้วแทนค่าด้วยกฎของโอห์ม



รูปที่ 3.6 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 3.4

วิธีทำ ลูป (1) ทางซ้ายมือวงรอบ ABDA เขียนสมการ KVL ได้ดังนี้

$$+V_{R_1}+V_{R_3}-16\text{V} = 0$$

แทนค่า V_{R_1}, V_{R_3} ด้วยกฎของโอห์ม

$$I_1R_1 + I_3R_3 = 16\text{ V}$$

แต่ $I_3 = I_1 + I_2$: $I_1R_1 + (I_1+I_2)R_3 = 16\text{ V}$

$$I_1(R_1+R_3) + I_2R_3 = 16\text{ V} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

ลูป (2) ทางขวามือวงรอบ CBDC เขียนสมการ KVL ได้ดังนี้

$$+V_{R_2}+V_{R_3}-10\text{V} = 0$$

แทนค่า V_{R_2}, V_{R_3} ด้วยกฎของโอห์ม

$$I_2R_2 + I_3R_3 = 10\text{ V}$$

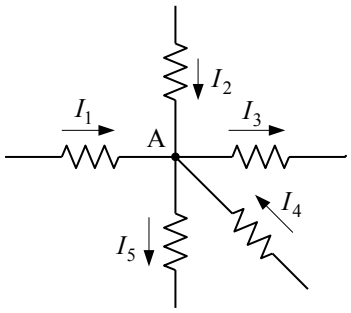
แต่ $I_3 = I_1 + I_2$: $I_2R_2 + (I_1 + I_2)R_3 = 10\ \text{V}$

$$I_1R_3 + I_2(R_2 + R_3) = 10\ \text{V}$$ .....**ตอบ**

3.2 กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff Current Law : KCL)

กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งต่อไปจะเขียนย่อๆ ว่า KCL กล่าวไว้ว่า ณ จุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้า ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าและไหลออกมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ณ จุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้า ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าจะมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้า = ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก



รูปที่ 3.7 แสดงกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

จากรูปที่ 3.7 จุด A เป็นจุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้า พิจารณาได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้า คือ I_1 , I_2 และ I_4 ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก คือ I_3 และ I_5 ปกติแล้วจะกำหนดให้กระแสที่ไหลเข้าทั้งหมดเป็นบวก (+) และกระแสไหลออกทั้งหมดเป็นลบ (–) เมื่อเขียนเป็นสมการจะได้ดังนี้

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$$

หรือ $$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

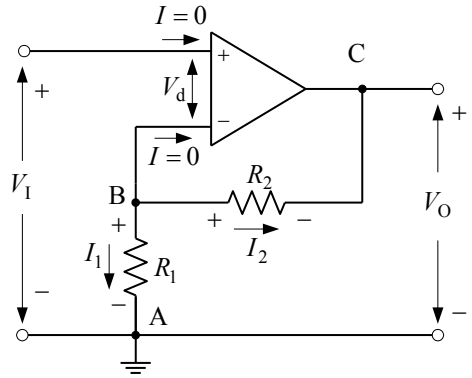
หรือ $$\sum I = I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

ตัวอย่างที่ 3.5 จากวงจรในรูปที่ 3.7 จงหาค่า I_1 โดยใช้ KCL ถ้า $I_2 = 2\,\text{A}, I_3 = 3\,\text{A}, I_4 = 2\,\text{A}$ และ $I_5 = 4\,\text{A}$

วิธีทำ ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสที่โนด A คือ $I_1 + 2\,\text{A} - 3\,\text{A} + 2\,\text{A} - 4\,\text{A} = 0$

$$I_1 = -2\,\text{A} + 3\,\text{A} - 2\,\text{A} + 4\,\text{A} = 3\,\text{A}$$ .....**ตอบ**

ตัวอย่างที่ 3.6 จากวงจรในรูปที่ 3.8 จงหาค่า V_O โดยใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์และกฎของโอห์ม กำหนดคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ มีดังนี้ $V_d = 0\,V$ และกระแสไหลเข้าอินพุตทั้ง 2 ขั้วเป็น 0 A



รูปที่ 3.8 วงจรออปแอมป์สำหรับตัวอย่างที่ 3.6

วิธีทำ เขียนสมการ KVL รอบวงปิด ABCA ; $-V_{AB} + V_{BC} + V_O = 0$

$$V_{BC} = V_{AB} - V_O$$

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ $V_d = 0\,V$ จะพบว่า $V_{AB} = V_I$

ดังนั้น $V_{BC} = V_I - V_O$

เขียน KCL ที่จุด B : $I_1 + I_2 = 0$

แทนค่า I_1 , I_2 ด้วยกฎของโอห์ม :

$$\frac{V_I}{R_1} + \frac{V_I - V_O}{R_2} = 0$$

$$\frac{V_I}{R_1} + \frac{V_I}{R_2} = \frac{V_O}{R_2}$$

$$V_O = \left(\frac{V_I}{R_1} + \frac{V_I}{R_2}\right) R_2$$

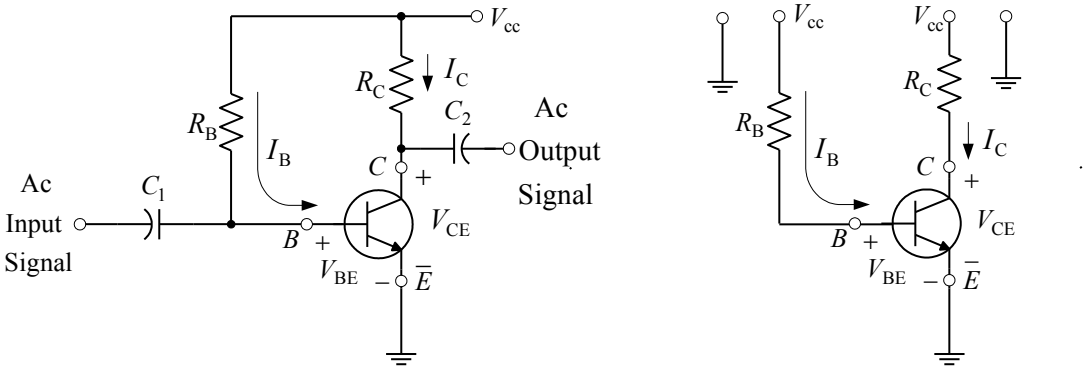
$$\therefore \; V_O = V_I \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_2}\right)$$

หรือ $$V_O = V_I \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$ .....**ตอบ**

3.3 การนำกฎของเคอร์ชอฟฟ์ไปใช้ วิเคราะห์วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

วงจรไบอัสกระแสตรง วงจรไบอัสกระแสตรงมีหลายวงจรด้วยกัน เช่น วงจรไบอัสคงที่ วงจรไบอัสอิมิตเตอร์สเตบิไลซ์ วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้า วงจรไบอัสป้อนกลับคอลเลคเตอร์ เป็นต้น ในการวิเคราะห์ในหน่วยนี้ จะหาเฉพาะค่า I_B และ V_{CE} เพื่อกำหนดจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาอย่างละเอียดในวิชาการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในที่นี้ จะเน้นการวิเคราะห์ด้วยกฎของเคอร์ชอฟฟ์

3.3.1 วงจรไบอัสคงที่ วงจรไบอัสคงที่ แสดงดังรูปที่ 3.9 ในหน่วยนี้วงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นวงจรทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แต่สมการและวิธีการวิเคราะห์ก็สามารถนำมาใช้กับ วงจรทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ได้ โดยการเปลี่ยนทิศทางกระแสและขั้วแรงดันไฟฟ้าของการไบอัสเท่านั้น



(ก) วงจรไฟสลับ (ข) วงจรไฟตรง

รูปที่ 3.9 วงจรไบอัสคงที่

ขณะทำการวิเคราะห์นักเรียนจะต้องย้ายส่วนที่เป็นองค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสสลับออกไปก่อน ด้วยการเปิดวงจรที่ ตัวคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 แล้วแยกแหล่งจ่าย V_{CC} ออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 3.9 (ข) เพื่อให้วงจรทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตแยกออกจากกัน โดยแบ่งวงจรไบอัสคงที่ออกเป็น 2 ลูป คือ

1. ลูปอินพุต (Base – Emitter Loop) และ
2. ลูปเอาต์พุต (Collector – Emitter Loop)

วิเคราะห์ลูปอินพุต จากรูปที่ 3.9 (ข)

เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $-V_{CC}+V_{RB}+V_{BE} = 0$

$$+V_{RB}+V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B R_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B R_B = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B} \quad \text{.....(3.1)}$$

วิเคราะห์ลูปเอาต์พุต จากรูปที่ 3.9 (ข)

เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $-V_{CC}+V_{RC}+V_{CE} = 0$

$$V_{CE} = V_{CC}-V_{RC}$$

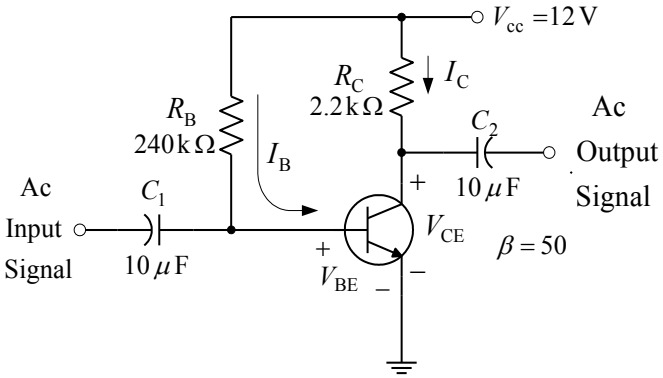
$$\boxed{V_{CE} = V_{CC}-I_C R_C \text{ .....(3.2)}}$$

สำหรับ I_C มีความสัมพันธ์กับ I_B ดังนี้ $\boxed{I_C = \beta I_B \text{ .....(3.3)}}$

ส่วน I_E เป็นผลรวมของ I_C กับ I_B ดังนั้น $\boxed{I_E = (\beta+1)I_B \text{.....(3.4)}}$

ในการคำนวณจะประมาณค่า I_E กับ I_C ให้มีค่าเท่ากันเนื่องจากค่าของ I_Bมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ I_E และ I_C ดังนั้น จะประมาณให้ $\boxed{I_E = (\beta+1)I_B \cong I_C \text{ .....3.5}}$

ตัวอย่างที่ 3.7 จากวงจรไบอัสดังรูปที่ 3.10 จงหาค่าต่อไปนี้ (ก) I_B และ I_C (ข) V_{CE}



รูปที่ 3.10 วงจรไบอัสคงที่สำหรับตัวอย่างที่ 3.7

วิธีทำ (ก) I_B และ I_C

จากสมการที่ 3.1 $$I_B = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{12\,\text{V}-0.7\,\text{V}}{240\,\text{k}\Omega}$$

$$\therefore\ I_B = \frac{11.3\,\text{V}}{240\,\text{k}\Omega} = 47.08\ \mu\text{A} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

จากสมการที่ 3.3 $$I_C = \beta I_B$$

$$I_C = (50)(47.08\ \mu\text{A}) = 2.35\ \text{mA} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

(ข) V_{CE}

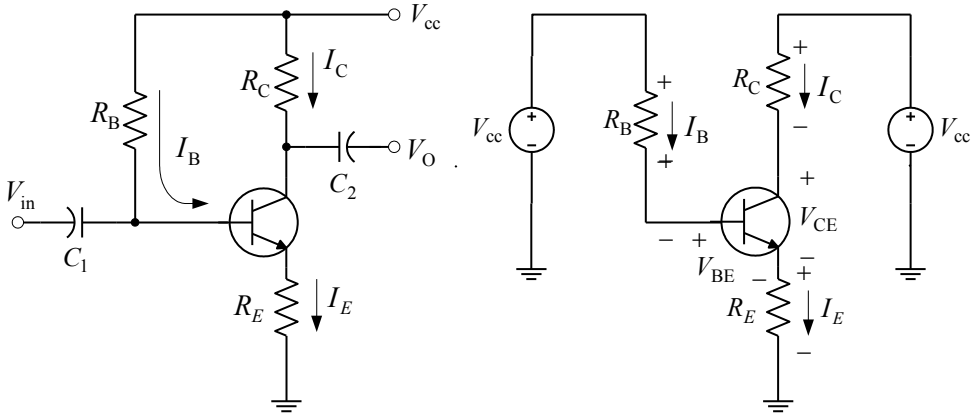
จากสมการที่ 3.2 $$V_{CE} = V_{CC}-I_C R_C$$

$$V_{CE} = 12\,\text{V}-(2.35\,\text{mA})(2.2\,\text{k}\Omega)$$

$$V_{CE} = 12\,\text{V}-5.17\,\text{V}$$

$$\therefore\ V_{CE} = 6.83\,\text{V} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

3.3.2 วงจรไบอัสอิมิตเตอร์สเตบิไลซ์ (Emitter – Stabilized Bias Circuit) วงจรไบอัสอิมิตเตอร์สเตบิไลซ์ ลักษณะวงจรเหมือนกับวงจรไบอัสคงที่ ที่มีตัวต้านทานอิมิตเตอร์ (R_E) ต่อเพิ่มเข้ามาที่ขั้ว E ตัวต้านทาน R_E นี้จะเป็นตัวช่วยปรับความเสถียรภาพของการไบอัสให้มั่นคงยิ่งขึ้น ในกรณีที่ค่า อัตราการขยายทางกระแส (β) ของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลง วงจรไบอัส อิมิตเตอร์สเตบิไลซ์ แสดงดังรูปที่ 3.11



(ก) วงจรไฟสลับ (ข) วงจรไฟตรง

รูปที่ 3.11 วงจรไบอัส อิมิตเตอร์สเตบิไลซ์

วิเคราะห์ลูปอินพุต จากรูปที่ 3.11 (ข)

เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $-V_{CC}+V_{RB}+V_{BE}+V_{RE}=0$

$$V_{RB}+V_{BE}+V_{RE}=V_{CC}$$

$$I_B R_B+V_{BE}+I_E R_E=V_{CC}$$

จากสมการที่ 3.4 $I_E=(\beta+1)I_B$

$$I_B R_B+(\beta+1)I_B R_E=V_{CC}-V_{BE}$$

$$I_B(R_B+(\beta+1)R_E=V_{CC}-V_{BE}$$

$$\boxed{I_B=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B+(\beta+1)R_E} \text{ .....(3.6)}}$$

วิเคราะห์ลูปเอาต์พุต จากรูปที่ 3.11 (ข)

เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $+V_{CC}-V_{RE}-V_{CE}-V_{RC}=0$

$$V_{CE}=V_{CC}-V_{RC}-V_{RE}$$

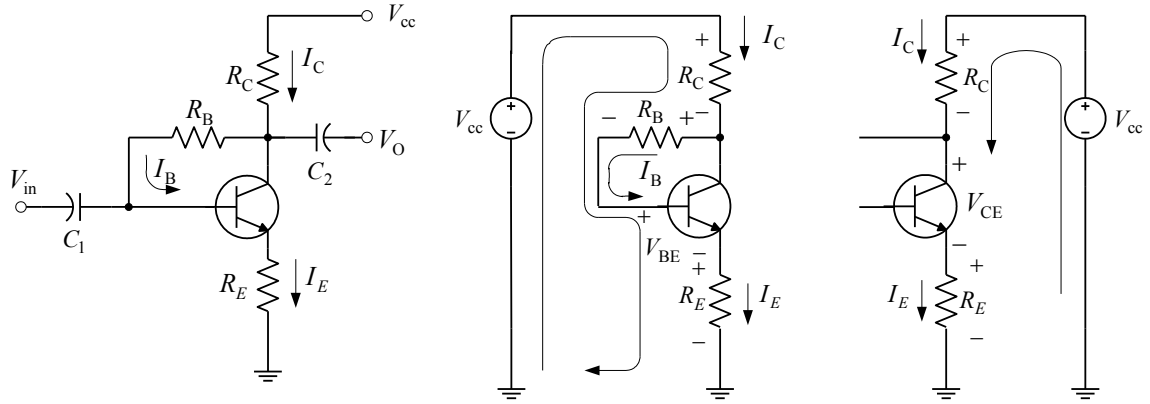
$$V_{CE}=V_{CC}-I_C R_C-I_E R_E$$

แทนค่า $I_E \cong I_C$ (จากสมการที่ 3.5)

$$\boxed{V_{CE}=V_{CC}-I_C(R_C+R_E) \text{ .....(3.7)}}$$

3.3.3 วงจรไบอัส dc ที่มีแรงดันป้อนกลับ (DC Bias with Voltage Feedback Circuit)

วงจรไบอัส dc ที่มีแรงดันป้อนกลับ เป็นการปรับปรุงเสถียรภาพของวงจรไบอัส โดยการต่อเส้นทางป้อนกลับจากคอลเลคเตอร์ ไปยัง เบส ที่เรียกว่า วงจรป้อนกลับคอลเลคเตอร์ (Collector – feedback Circuit) แม้ว่าจุด Q จะขึ้นอยู่กับค่า β แต่เสถียรภาพดีกว่าวงจรไบอัสคงที่และวงจรไบอัสอิมิตเตอร์ วงจรไบอัส dc ที่มีแรงดันป้อนกลับ แสดงดังรูปที่ 3.12



(ก) วงจรไฟสลับ (ข) วงจรไฟตรงลูปอินพุต (ค) วงจรไฟตรงลูปเอาต์พุต

รูปที่ 3.12 วงจรไบอัส dc ที่มีแรงดันป้อนกลับ

วิเคราะห์ลูปอินพุต จากรูปที่ 3.12 (ข)

เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $-V_{CC}+V_{RC}+V_{RB}+V_{BE}+V_{RE} = 0$

$$V_{RC}+V_{RB}+V_{BE}+V_{RE} = V_{CC}$$

$$I_C R_C + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = V_{CC}$$

จากสมการที่ 3.5 : $I_E \cong I_C$ และ สมการที่ 3.3 : $I_C = \beta I_B$

$$\beta I_B R_C + I_B R_B + V_{BE} + \beta I_B R_E = V_{CC}$$

$$I_B(\beta R_C + R_B + \beta R_E) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B(R_B + \beta(R_C + R_E)) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} \qquad \text{.....(3.8)}$$

วิเคราะห์ลูปเอาต์พุต จากรูปที่ 3.12 (ค)

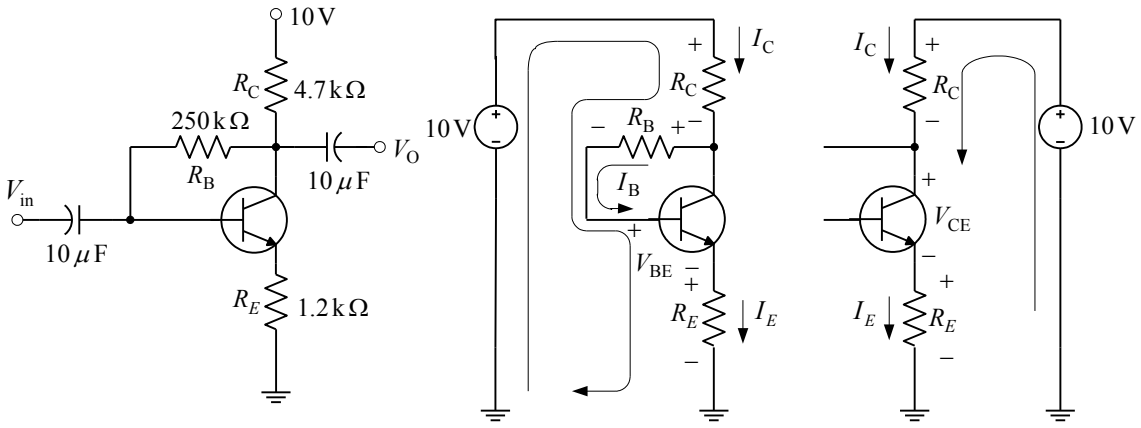
เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $-V_{RE} - V_{CE} - V_{RC} + V_{CC} = 0$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} - V_{RE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

จากสมการที่ 3.5 : $I_E \cong I_C$: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$ ……(3.9)

ตัวอย่างที่ 3.8 จากวงจรไบอัส dc ที่มีแรงดันป้อนกลับ ดังรูปที่ 3.13 จงหาค่า I_C และ V_{CE} ถ้า $\beta = 90$



(ก) วงจรไฟสลับ (ข) วงจรไฟตรงลูปอินพุต (ค) วงจรไฟตรงลูปเอาต์พุต

รูปที่ 3.13 วงจรไบอัส dc ที่มีแรงดันป้อนกลับ สำหรับตัวอย่างที่ 3.6

วิธีทำ จากสมการที่ 3.8 :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$I_B = \frac{10\,\text{V} - 0.7\,\text{V}}{250\,\text{k}\Omega + (90)(4.7\,\text{k}\Omega + 1.2\,\text{k}\Omega)}$$

$$I_B = \frac{9.3\,\text{V}}{250\,\text{k}\Omega + 531\,\text{k}\Omega}$$

$$I_B = \frac{9.3\,\text{V}}{781\,\text{k}\Omega} = 11.91\,\mu\text{A}$$

จากสมการที่ 3.3 :

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_C = (90)(11.91\,\mu\text{A})$$

$$\therefore \quad I_C = 1.07\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

จากสมการที่ 3.9 :

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 10\,\text{V} - (1.07\,\text{mA})(4.7\,\text{k}\Omega + 1.2\,\text{k}\Omega)$$

$$V_{CE} = 10\,\text{V} - (1.07\,\text{mA})(5.9\,\text{k}\Omega)$$

$$V_{CE} = 10\,\text{V} - 6.31\,\text{V}$$

$$\therefore \quad V_{CE} = 3.69\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

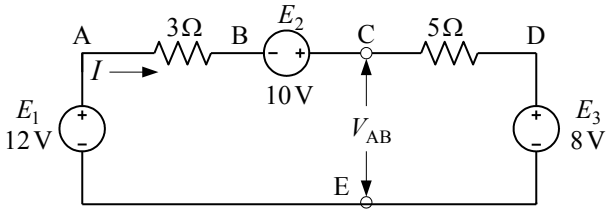
สรุปสาระสำคัญ

กฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Law) แบ่งออกเป็น 2 กฎ คือกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งมีใจความสำคัญ คือ กระแสไฟฟ้าไหลเข้า เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก และ กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ มีใจความสำคัญ คือ แรงดันไฟฟ้ารอบวงปิดใดๆ มีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้ง 2 กฎ มีประโยชน์มาก ช่วยให้การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยใช้ร่วมกับ กฎของโอห์ม สามารถนำไปใช้วิเคราะห์วงจรที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยผู้ใช้จะต้องมีพื้นฐานคณิตศาสตร์ ในเรื่อง สมการเชิงเส้น ด้วย

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

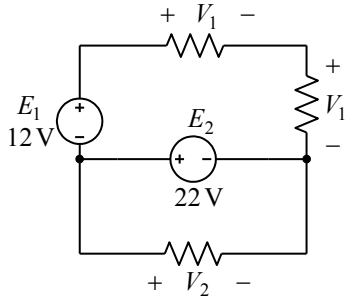
1. วงจรในรูปที่ 3.14 จงใช้ KVL หาค่า I และ V_{AB} **ตอบ** $I = 1.75\,\text{A}$, $V_{AB} = 16.75\,\text{V}$



รูปที่ 3.14 วงจรไฟฟ้าสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

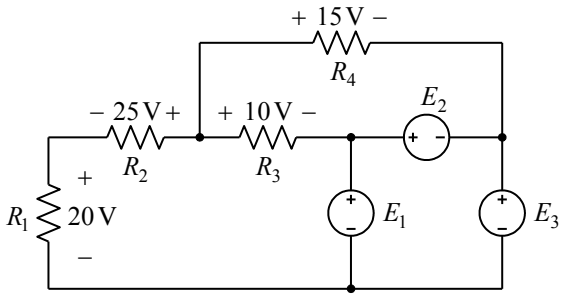
2. จงใช้ KVL เขียนสมการแรงดันรอบวงปิดและหาค่า V_1 และ V_2 ในรูปที่ 3.15

ตอบ 17V, 22V



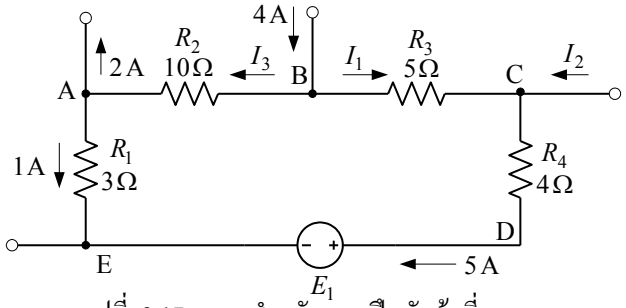
รูปที่ 3.15 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

3. จงใช้ KVL หาค่า E_1 , E_2 , E_3 ในวงจรรูปที่ 3.16 **ตอบ** 35 V , 5 V , 30 V



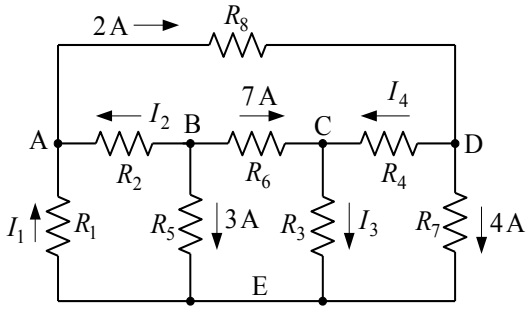
รูปที่ 3.16 วงจรโครงข่ายสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

4. จงใช้ KVL , KCL และกฎของโอห์มหาค่า I_1 , I_2 และ E_1 ในวงจรรูปที่ 3.17 **ตอบ** 1A , 4 A , 8 V



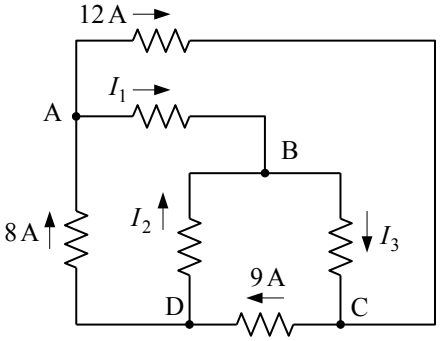
รูปที่ 3.17 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

5. จงใช้ KCL หา I_1 , I_2 , I_3 , I_4 ในวงจรรูปที่ 3.18 **ตอบ** 12 A , –10 A , 5 A , –2 A



รูปที่ 3.18 วงจรโครงข่ายสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

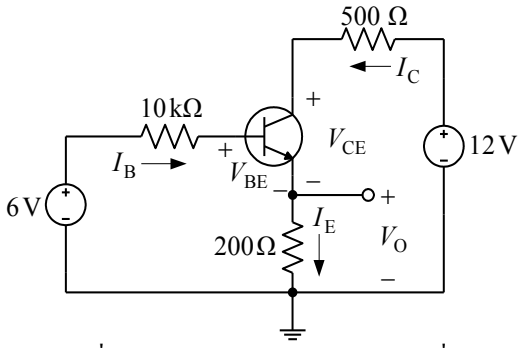
6. จงหา I_1 , I_2 , I_3 ในวงจรโครงข่ายรูปที่ 3.18 โดยใช้ KCL **ตอบ** –4 A , 1 A , –3 A



รูปที่ 3.18 วงจรโครงข่ายสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. จากวงจรในรูปที่ 3.19 จงใช้ KVL หาค่า V_O และ V_{CE} กำหนดให้ $\beta = 50$, $V_{BE} = 0.7\,V$

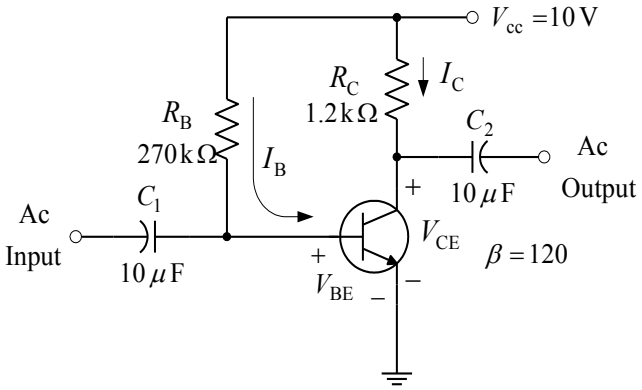
ตอบ $V_{CE} = 2.78\,V$ และ $V_O = 6.55\,V$



รูปที่ 3.19 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

8. จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.20 จงแสดงการใช้ KVL วิเคราะห์หา I_B และ V_{CE}

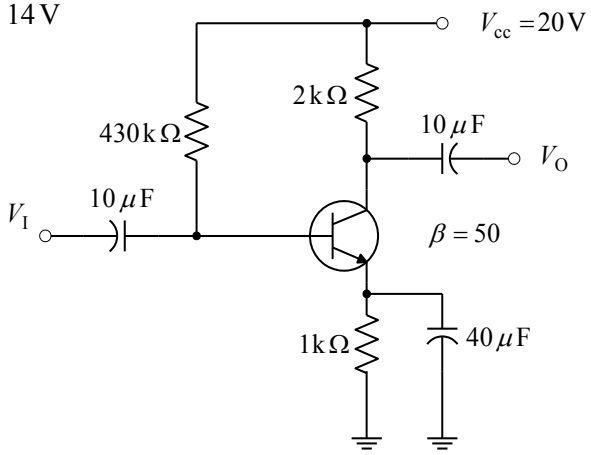
ตอบ $I_B = 34.44\,\mu A$, $V_{CE} = 5.04\,V$



รูปที่ 3.20 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

9. จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.21 จงแสดงการใช้ KVL วิเคราะห์หา I_B และ V_{CE}

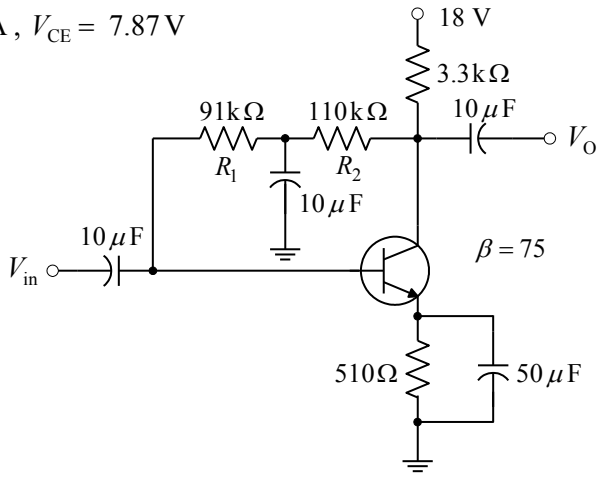
ตอบ $I_B = 40\,\mu A$, $V_{CE} = 14\,V$



รูปที่ 3.21 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

10. จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.22 จงแสดงการใช้ KVL วิเคราะห์หา I_B และ V_{CE}

ตอบ $I_B = 35.54\,\mu A$, $V_{CE} = 7.87\,V$



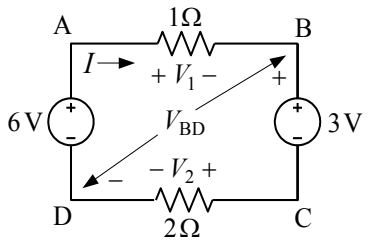
รูปที่ 3.22 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

จากวงจรในรูปที่ 1 ใช้สำหรับคำถามข้อที่ 1 ถึง 3



รูปที่ 1 วงจรสำหรับคำถามข้อที่ 1 ถึง 3

1. สมการ KVL รอบวงปิด ABCD คือข้อใด

ก. $+V_1 - 3\text{V} + V_2 + 6\text{V} = 0$ ข. $+V_1 + 3\text{V} + V_2 + 6\text{V} = 0$

ค. $+V_1 + 3\text{V} + V_2 - 6\text{V} = 0$ ง. $+6\text{ V} + V_1 + 3\text{V} + V_2 = 0$

2. กระแสที่ไหลในวงจรมีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 2 A

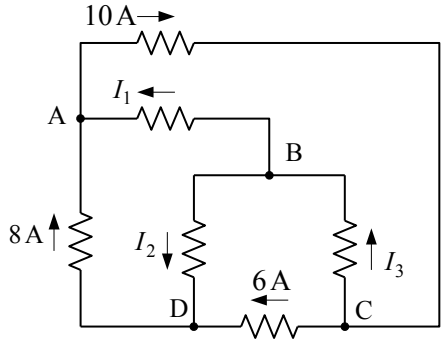
ค. 1.2 A ง. 1A

3. V_{BD} มีค่าเท่าใด

ก. 6 V ข. 2 V

ค. 5 V ง. 3 V

จากวงจรในรูปที่ 2 ใช้สำหรับคำถามข้อที่ 4 ถึง 5



รูปที่ 2 วงจรสำหรับคำถามข้อที่ 4 ถึง 5

4. จากวงจรในรูปที่ 2 กระแสไฟฟ้า I_1 มีค่าเท่าใด

ก. 4 A ข. 2 A

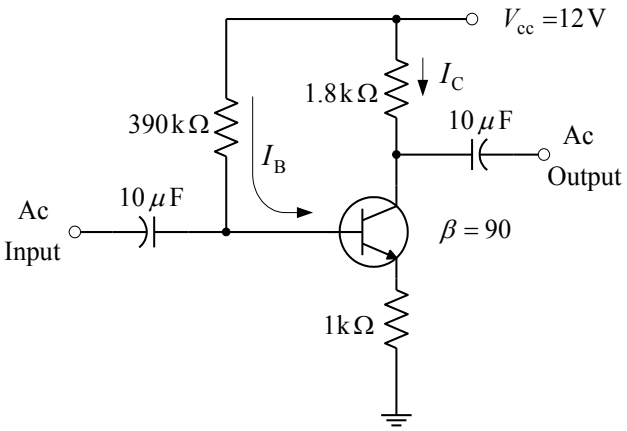
ค. 1A ง. 3A

5. จากวงจรในรูปที่ 2 กระแสไฟฟ้า I_2 มีค่าเท่าใด

ก. 2 A ข. 1 A

ค. 4A ง. 3A

จากวงจรในรูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อที่ 6 ถึง 10



รูปที่ 3 วงจรสำหรับคำถามข้อที่ 6 ถึง 10

6. สมการ KVL รอบลูปอินพุต คือข้อใด

ก. $-V_{CC}+V_{RB}-V_{BE}+V_{RE}=0$ ข. $-V_{CC}-V_{RB}+V_{CE}-V_{RE}=0$

ค. $-V_{CC}+V_{RB}-V_{BE}+V_{RE}=0$ ง. $-V_{CC}+V_{RB}+V_{BE}+V_{RE}=0$

7. กระแสไฟฟ้า I_B มีค่าเท่าใด

ก. 23.49 μA ข. 2.34 mA

ค. 2.34 μA ง. 2.11 mA

8. กระแสไฟฟ้า I_C มีค่าเท่าใด

ก. 2.34 μA ข. 2.11 mA

ค. 23.49 μA ง. 2.34 mA

9. สมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต คือข้อใด

ก. $+V_{CC}-V_{RB}-V_{BE}-V_{RE}=0$ ข. $+V_{CC}-V_{RE}-V_{CE}-V_{RC}=0$

ค. $+V_{CC}-V_{RE}-V_{BE}-V_{RE}=0$ ง. $+V_{CC}-V_{RB}-V_{BE}-V_{RE}=0$

10. V_{CE} มีค่าเท่าใด

ก. 5.08 V ข. 6.92 V

ค. 6.08 V ง. 5.92 V

เอกสารอ้างอิง

กิติพล ชิตสกุล. (2540). **ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์คณิตศาสตร์พื้นฐาน สำหรับไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์ส, อิงค์.

มงคล ทองสงคราม. (2540). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1.** กรุงเทพฯ : หจก. วี.เจ.พริ้นติ้ง.

มงคล ทองสงคราม. (2538). **อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : หจก. วี.เจ.พริ้นติ้ง.

ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. (2550). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเชียเพรส (1989) จำกัด.

นภัทร วัจนเทพินทร์. (2550). **การประมวลผลสัญญาณด้วย ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.** กรุงเทพฯ : บริษัท สกายบุกส์ จำกัด.

สุภาภรณ์ แก้วศักดา. (2548). **อิเล็กทรอนิกส์ 1.** พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

Charles K. Alexander Matthew N.O. Sadiku. **Fundamentals of Electric Circuits**. Second Edition Singapore. McGraw-Hill. 2004.

David E. Johnson, Johnny R. Johnson, John L. Hilburn. **Electric circuit analysis.** (2 rd . Ed.), Simon & Schuster Asia Pte Ltd., Singapore. Prentice-Hall International, Inc . 1996.

Robert Boylestad Louis Nashelsky . **Electronic Devices and Circuit Theory.** 7th. Ed. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall, Inc. 1996.

William H. Hayt, JR. Jack E. Kemmerly. **Engineering Circuit Analysis.** (5 th Ed.) Singapore. McGraw-Hill. 1993.

ภาคผนวก

- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายหน่วย

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

1) ก 2) ข 3) ง 4) ค 5) ค 6) ข 7) ค 8) ง 9) ง 10) ก

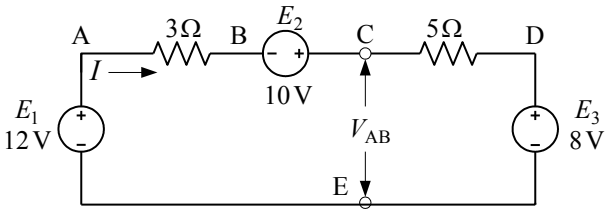
เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

1) ค 2) ง 3) ค 4) ข 5) ก 6) ง 7) ก 8) ข 9) ข 10) ค

เฉลยแบบฝึกหัด

หน่วยที่ 3 กฎของเคอร์ชอฟฟ์

1. วงจรในรูปที่ 3.14 จงใช้ KVL หาค่า I และ V_{AB}



รูปที่ 3.14 วงจรไฟฟ้าสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

วิธีทำ

เขียนสมการ KVL รอบวงปิด ABCDEA : $+V_1 - 10\,\text{V} + V_2 + 8\,\text{V} - 12\,\text{V} = 0$

$$+V_1 + V_2 = +12\,\text{V} + 10\,\text{V} - 8\,\text{V} = 14\,\text{V}$$

$$V_1 + V_2 = 14\,\text{V}$$

จากกฎของโอห์ม $I(R_1 + R_2) = 14\,\text{V}$

$$I = \frac{14\,\text{V}}{8\,\Omega} = 1.75\,\text{A}$$ .....**ตอบ**

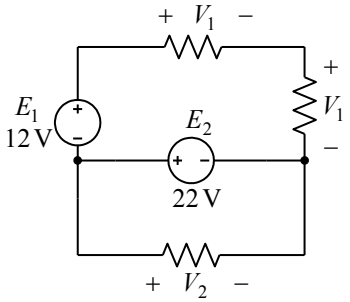
เขียนสมการ KVL รอบวงรอบ CDEC : $+V_2 + 8\,\text{V} - V_{AB} = 0$

ดังนั้น $V_{AB} = V_2 + 8\,\text{V}$

จากกฎของโอห์ม $V_2 = (1.75\,\text{A})(5\,\Omega) = 8.75\,\text{V}$

$$\therefore\ V_{AB} = 8.75\,\text{V} + 8\,\text{V} = 16.75\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

2. จงใช้ KVL เขียนสมการแรงดันรอบวงปิดและหาค่า V_1 และ V_2 ในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

KVL ลูปบน $+V_1 + V_1 - 22\,\text{V} - 12\,\text{V} = 0$

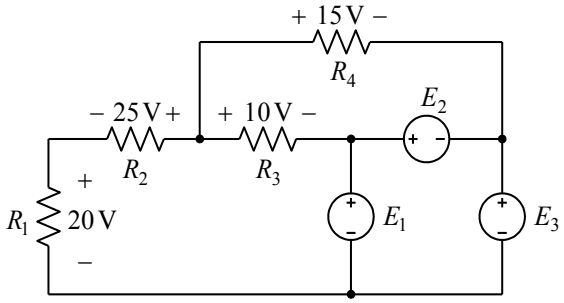
$$2V_1 = 22\,\text{V} + 12\,\text{V} = 34\,\text{V}$$

$$\therefore\ V_1 = 17\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

KVL ลูปล่าง จากวงจรพบว่า $V_2 = E_2 = 22\,\text{V}$

$\therefore \quad V_2 = 22\ \text{V}$ .....**ตอบ**

3. จงใช้ KVL หาค่า E_1 , E_2 ,E_3 ในวงจรรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

วิธีทำ

เขียน KVL ลูป E_1 : $+E_1 - 20\,\text{V} - 25\,\text{V} + 10\,\text{V} = 0$

$\therefore \quad E_1 = 20\,\text{V} + 25\,\text{V} - 10\,\text{V} = 35\ \text{V}$ .....**ตอบ**

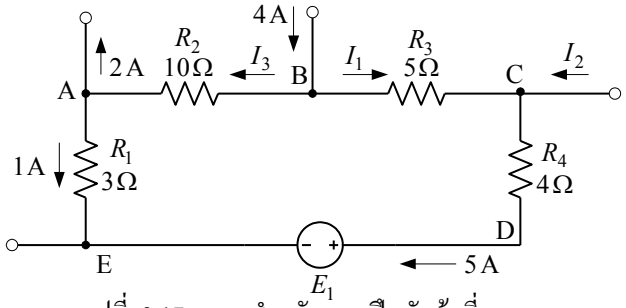
เขียน KVL ลูป E_2 : $+E_2 - 15\,\text{V} + 10\,\text{V} = 0$

$\therefore \quad E_2 = 15\,\text{V} - 10\,\text{V} = 5\ \text{V}$ .....**ตอบ**

เขียน KVL ลูป E_3 : $+E_3 - E_1 + E_2 = 0$

$\therefore \quad E_3 = E_1 - E_2 = 35\,\text{V} - 5\,\text{V} = 30\ \text{V}$ .....**ตอบ**

4. จงใช้ KVL , KCL และกฎของโอห์มหาค่า I_1 , I_2 และ E_1 ในวงจรรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

วิธีทำ

เขียนสมการ KCL ที่จุด A : $I_3 = 1\text{A} + 2\,\text{A}$

$\therefore \quad I_3 = 3\,\text{A}$

จากกฎของโอห์ม $V_{\text{R1}} = (1\text{A})(3\Omega) = 3\text{V}$

และ $V_{\text{R2}} = I_3(10\Omega) = (3\text{A})(10\Omega) = 30\text{V}$

เขียนสมการ KCL ที่จุด B : $I_1 + I_3 = 4\,\text{A}$

$$\therefore \quad I_1 = 4\text{A} - I_3 = 4\text{A} - 3\text{A} = 1\text{A}$$ .....**ตอบ**

จากกฎของโอห์ม $V_{R3} = I_1(5\Omega) = (1\text{A})(5\Omega) = 5\text{V}$

เขียนสมการ KCL ที่จุด C : $I_1 + I_2 = 5\text{A}$

$$\therefore \quad I_2 = 5\text{A} - I_1 = 5\text{A} - 1\text{A} = 4\text{A}$$ .....**ตอบ**

จากกฎของโอห์ม $V_{R4} = (5\text{A})(4\Omega) = 20\text{V}$

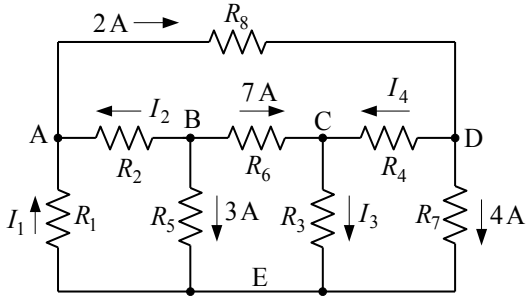
เขียนสมการ KVL รอบวง ABCDEA : $-V_{R2} + V_{R3} + V_{R4} + E_1 - V_{R1} = 0$

$$E_1 = V_{R2} - V_{R3} - V_{R4} + V_{R1}$$

$$E_1 = 30\text{V} - 5\text{V} - 20\text{V} + 3\text{V}$$

$$\therefore \quad E_1 = 8\text{V}$$ .....**ตอบ**

5. จงใช้ KCL หาค่า I_1, I_2, I_3, I_4 ในวงจรรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรโครงข่ายสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

วิธีทำ

สมการ KCL ที่จุด D : $2\text{A} = I_4 + 4\text{A}$

$$I_4 = 2\text{A} - 4\text{A} = -2\text{A}$$

สมการ KCL ที่จุด C : $7\text{A} = I_3 + I_4$

$$7\text{A} = I_3 + 2\text{A}$$

$$\therefore \quad I_3 = 7\text{A} - 2\text{A} = 5\text{ A}$$ .....**ตอบ**

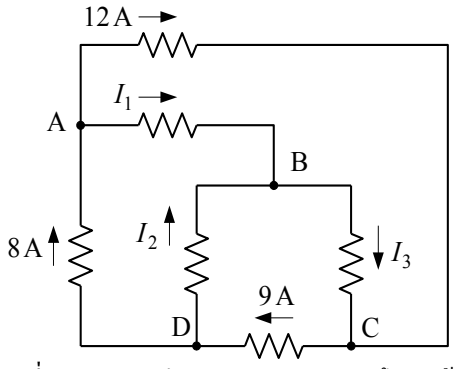
สมการ KCL ที่จุด B : $-I_2 = 7\text{A} + 3\text{A} = 10\text{ A}$ .....**ตอบ**

$$I_2 = -10\text{A}$$

สมการ KCL ที่ จุด A : $I_1 = 2\text{A} + 10\text{A} = 12\text{ A}$

หรือ สมการ KCL ที่จุด E : $I_1 = 3\text{A} + 5\text{A} + 4\text{A} = 12\text{ A}$ .....**ตอบ**

6. จงใช้ KCL หาค่า I_1 , I_2 , I_3 ในวงจรรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 วงจรโครงข่ายสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

วิธีทำ

สมการ KCL ที่ จุด A : $I_1 + 12\,\text{A} = 8\,\text{A}$

$\therefore \; I_1 = 8\,\text{A} - 12\,\text{A} = -4\,\text{A}$ .....**ตอบ**

สมการ KCL ที่ จุด C : $I_3 + 12\,\text{A} = 9\,\text{A}$

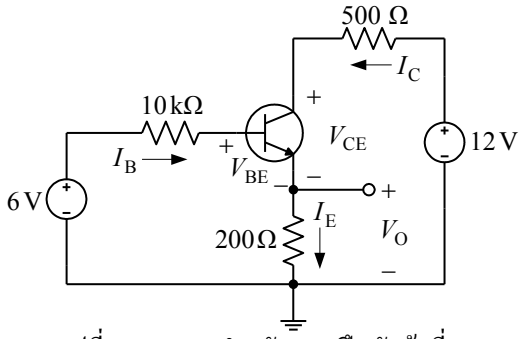
$\therefore \; I_3 = 9\,\text{A} - 12\,\text{A} = -3\,\text{A}$ .....**ตอบ**

สมการ KCL ที่ จุด B : $I_1 + I_2 = I_3$

$I_2 = I_3 - I_1$

$\therefore \; I_2 = -3\,\text{A} - (-4\,\text{A}) = 1\,\text{A}$ .....**ตอบ**

7. จากวงจรในรูปที่ 3.19 จงใช้ KVL หาค่า V_O และ V_CE กำหนดให้ $\beta = 50$, $V_\text{BE} = 0.7\,\text{V}$



รูปที่ 3.19 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

ใช้ KVL รอบลูปอินพุต

$$V_\text{RB} + V_\text{BE} + V_\text{RE} - 6\ \text{V} = 0$$

$$V_\text{RB} + V_\text{BE} + V_\text{RE} = 6\ \text{V}$$

$$I_\text{B}R_\text{B} + I_\text{E}R_\text{E} = 6\,\text{V} - 0.7\,\text{V}$$

$$I_\text{B}R_\text{B} + I_\text{E}R_\text{E} = 5.3\ \text{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\text{สมการ 1}$$

แต่ $I_\text{C} = \beta I_\text{B}$ และ $I_\text{E} = I_\text{C} + I_\text{B}$

ดังนั้น $I_E = (\beta+1)I_B$ แทนค่าลงในสมการ 1

$$I_B R_B + (\beta+1)I_B R_E = 5.3\text{ V}$$

$$I_B\left[R_B + (\beta+1)R_E\right] = 5.3\text{ V}$$

$$I_B = \frac{5.3\text{ V}}{R_B + (\beta+1)R_E}$$

$$I_B = \frac{5.3\text{ V}}{(10\times10^3) + (51)(200)}$$

$$\therefore\quad I_B = \frac{5.3\text{ V}}{20{,}200\ \Omega} = 262.37\ \mu\text{A}$$ .....**ตอบ**

จาก $I_C = \beta I_B$ ดังนั้น $I_C = (50)(262.37\times10^{-6}\text{ A}) = 13.11\text{ mA}$

และ $I_E = (\beta+1)I_B = (51)(262.37\times10^{-6}\text{ A}) = 13.38\text{ mA}$

ใช้ KVL รอบลูปเอาต์พุต

$$V_{CE} + V_{RE} - 12\text{V} + V_{RC} = 0$$

$$V_{CE} = 12\text{V} - V_{RE} - V_{RC}$$

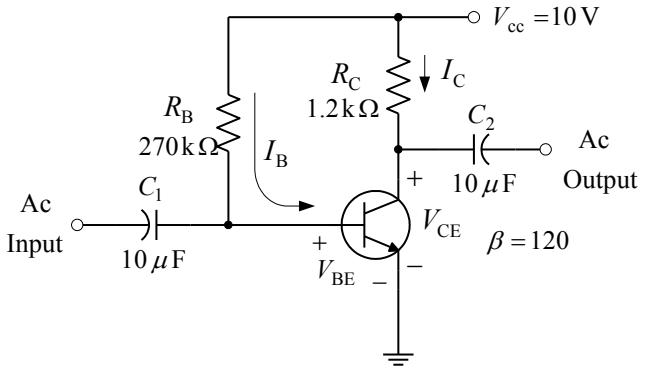
$$V_{CE} = 12\text{V} - (I_E R_E) - (I_C R_C)$$

$$V_{CE} = 12\text{V} - (13.38\text{mA})(200\Omega) - (13.11\text{mA})(500\Omega)$$

$$V_{CE} = 12\text{V} - 6.55\text{V} - 2.67\text{V} = 2.78\text{V}$$

จากวงจร $V_O = V_{RE} = 6.55\text{V}$ .....**ตอบ**

8. จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.20 จงแสดงการใช้ KVL วิเคราะห์หา I_B และ V_{CE}



รูปที่ 3.20 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

วิธีทำ

เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $-V_{CC} + V_{RB} + V_{BE} = 0$

$$+V_{RB} + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B R_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B R_B = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{10\,\text{V} - 0.7\,\text{V}}{270\,\text{k}\Omega}$$

$$I_B = \frac{9.3\,\text{V}}{270\,\text{k}\Omega} = 34.44\times10^{-6}\,\text{A} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

และ $I_C = \beta I_B$: $I_C = (120)(34.44\times10^{-6}\,\text{A}) = 4.133\,\text{mA}$

เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $-V_{CC} + V_{RC} + V_{CE} = 0$

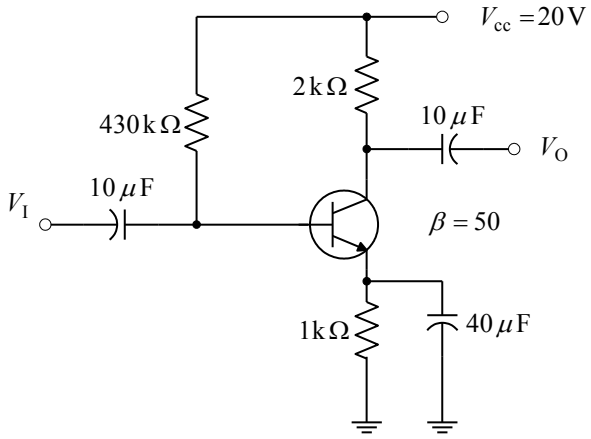
$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CE} = 10\,\text{V} - (4.133\,\text{mA})(1.2\,\text{k}\Omega)$$

$$\therefore\ V_{CE} = 10\,\text{V} - 4.96\,\text{V} = 5.04\,\text{V} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

9. จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.21 จงแสดงการใช้ KVL วิเคราะห์หา I_B และ V_{CE}



รูปที่ 3.21 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

วิธีทำ

เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $-V_{CC} + V_{RB} + V_{BE} + V_{RE} = 0$

$$V_{RB} + V_{BE} + V_{RE} = V_{CC}$$

$$I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = V_{CC}$$

จากสมการที่ 3.4 $I_E = (\beta+1) I_B$: $I_B R_B + (\beta+1) I_B R_E = V_{CC} - V_{BE}$

$$I_B (R_B + (\beta+1) R_E = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta+1) R_E}$$

$$I_B = \frac{20\,\text{V} - 0.7\,\text{V}}{430\,\text{k}\Omega + (50+1)1\,\text{k}\Omega}$$

$$\therefore \quad I_B = \frac{19.3\,\text{V}}{481\,\text{k}\Omega} = 0.04\times10^{-3}\,\text{A} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

และ $I_C = \beta I_B$: $I_C = (50)(40\times10^{-6}\,\text{A}) = 2\,\text{mA}$

เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $+V_{CC} - V_{RE} - V_{CE} - V_{RC} = 0$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} - V_{RE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

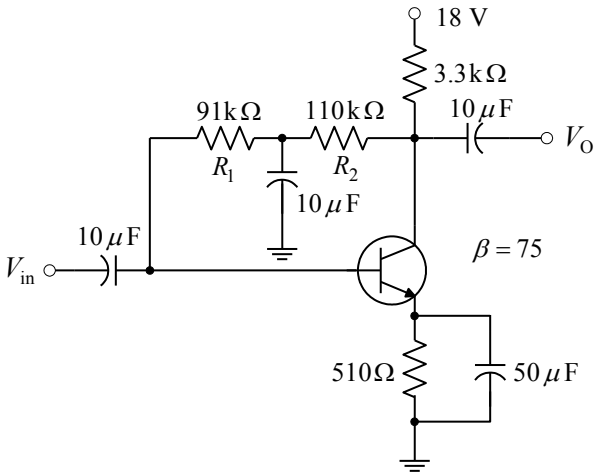
แทนค่า $I_E \cong I_C$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 20\,\text{V} - (2\,\text{mA})(2\,\text{k}\Omega + 1\,\text{k}\Omega)$$

$$\therefore \quad V_{CE} = 20\,\text{V} - 6\,\text{V} = 14\,\text{V} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

10. จากวงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.22 จงแสดงการใช้ KVL วิเคราะห์หา I_B และ V_{CE}



รูปที่ 3.22 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

วิธีทำ พิจารณาวงจรจะพบว่า $R_B = R_1 + R_2 = 201\,\text{k}\Omega$

เขียนสมการ KVL รอบลูปอินพุต : $-V_{CC} + V_{RC} + V_{RB} + V_{BE} + V_{RE} = 0$

$$V_{RC} + V_{RB} + V_{BE} + V_{RE} = V_{CC}$$

$$I_C R_C + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = V_{CC}$$

จากสมการที่ 3.5 : $I_E \cong I_C$ และ สมการที่ 3.3 : $I_C = \beta I_B$

$$\beta I_B R_C + I_B R_B + V_{BE} + \beta I_B R_E = V_{CC}$$

$$I_B(\beta R_C + R_B + \beta R_E) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B(R_B + \beta(R_C + R_E)) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$I_B = \frac{18\,\text{V} - 0.7\,\text{V}}{201\,\text{k}\Omega + (75)(3.3\,\text{k}\Omega + 510\,\Omega)}$$

$$I_B = \frac{17.3\,\text{V}}{201\,\text{k}\Omega + 285.75\,\text{k}\Omega}$$

$$I_B = \frac{17.3\,\text{V}}{486.75\,\text{k}\Omega} = 0.0335\times10^{-3}\,\text{A} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

และ $I_C = \beta I_B$: $I_C = (75)(35.54\times10^{-6}\,\text{A}) = 2.66\,\text{mA}$

เขียนสมการ KVL รอบลูปเอาต์พุต : $-V_{RE} - V_{CE} - V_{RC} + V_{CC} = 0$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} - V_{RE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

จากสมการที่ 3.5 : $I_E \cong I_C$: $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$

$$V_{CE} = 18\,\text{V} - (2.66\,\text{mA})(3.3\,\text{k}\Omega + 510\Omega)$$

$$V_{CE} = 18\,\text{V} - (2.66\,\text{mA})(3.81\,\text{k}\Omega)$$

$$\therefore\ V_{CE} = 18\,\text{V} - 10.13\,\text{V} = 7.87\,\text{V} \quad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$