

## AEL-05 การไบอัสทรานซิสเตอร์ประเภท BJT

## วัตถุประสงค์ของการทดลอง

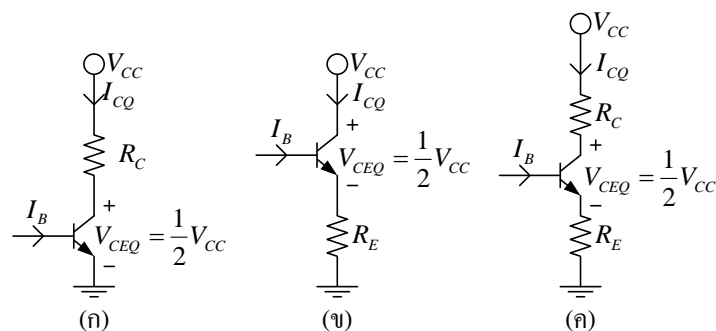
1. ศึกษาวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ประเภท BJT
2. ศึกษาความไวของจุดทำงานต่ออุณหภูมิของวงจรไบอัส

การไบอัสทรานซิสเตอร์เป็นการให้ไฟเลี้ยงแก่ทรานซิสเตอร์ ทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะแอคทีฟ (active) พร้อมทั้งจะขยายสัญญาณไฟสลับได้. เราจะเรียกแรงดัน  $V_{CE}$  และกระแส  $I_C$  ของทรานซิสเตอร์ที่เกิดจากการไบอัสว่า จุดทำงานสงบ (quiescent-point หรือ Q-point).

พารามิเตอร์บางตัวของทรานซิสเตอร์ประเภท bipolar junction มีค่าไวต่ออุณหภูมิ. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าอัตราขยายกระแสตรง  $\beta_{dc}$  มีค่าเพิ่มขึ้น และแรงดัน  $|V_{BE}|$  จะเปลี่ยนไปประมาณ  $-2.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . ผลจากการเปลี่ยนไปของ  $\beta_{dc}$  และขนาดของ  $V_{BE}$  โดยทั่วไปจะทำให้ทรานซิสเตอร์ซึ่งต่ออยู่ในวงจรขยายสัญญาณ มีจุดทำงานที่เปลี่ยนไปในลักษณะที่ ขนาดของ  $V_{CE}$  ลดลงและ  $I_C$  สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น. แต่วงจรที่ใช้ไบอัสทรานซิสเตอร์บางวงจร จะทำให้ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนค่าของจุดทำงานสงบ (Q-point shift) ลดลงได้.

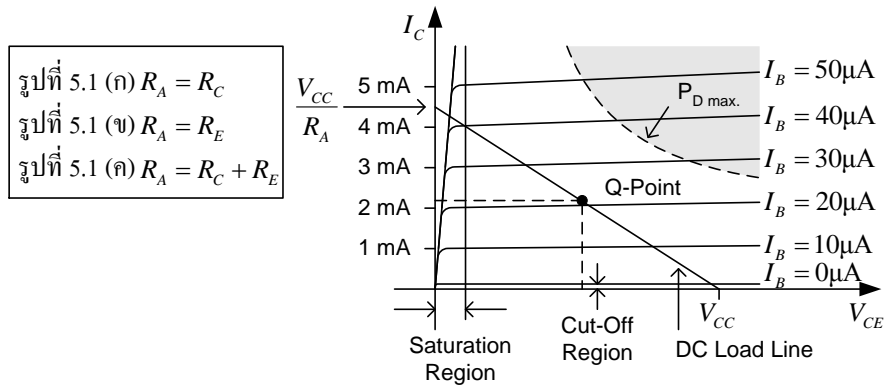
## 5.1. การหาจุดทำงานสงบโดยการเขียน DC Load Line

การให้ไฟเลี้ยงวงจรทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสม จะทำให้สามารถขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับทั้งซีกบวกและลบได้พอกัน โดยสัญญาณไม่เกิดการขลิบซีกใดซีกหนึ่งก่อน.  $V_{CEQ}$  ที่เหมาะสมจึงมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่ายไฟ  $V_{CC}$  (midpoint bias) ดังแสดงในรูปที่ 5.1.



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการต่อทรานซิสเตอร์ประเภท BJT ชนิด NPN ในวงจรขยาย.

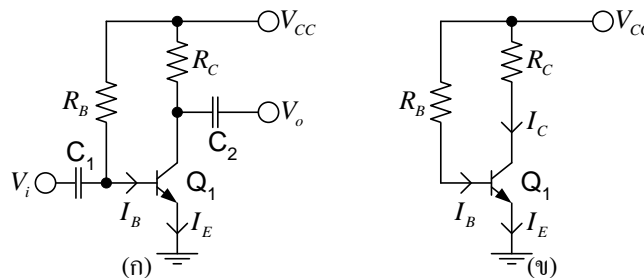
จากกราฟคุณสมบัติระหว่าง  $V_{CE}$  และ  $I_C$  ของทรานซิสเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 5.2 เราสามารถหาจุดทำงานสงบของทรานซิสเตอร์ โดยการเขียน dc load line ซึ่งเป็นเส้นตรงที่แสดงไว้ในรูป. ด้านหนึ่งของเส้นตรงจะตัดกับแกน  $V_{CE}$  ที่แรงดัน  $V_{CC}$ . อีกด้านหนึ่งของเส้นตรงจะตัดกับแกนกระแส  $I_C$  ที่ค่า  $V_{CC}/R_A$  โดยที่  $R_A$  เป็นความต้านทานรวมทางด้าน collector และ emitter ขึ้นอยู่กับวงจร ทั้งนี้สมมติให้  $I_C \cong I_E$  ด้วย. จุดทำงานสงบจะเป็นจุดใดจุดหนึ่งบนเส้น dc load line นี้ ขึ้นอยู่กับค่า  $I_B$  ที่ใช้.



รูปที่ 5.2 การเขียน dc load line.

## 5.2. วงจรไบอัสแบบ Base Bias

วงจรนี้เป็นวงจรไบอัสอย่างง่ายที่สุด แต่มีปัญหาในทางปฏิบัติ เนื่องจากจุดทำงานสงบไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก. ที่ขา base และ collector ของทรานซิสเตอร์มีการต่อความต้านทาน  $R_B$  และ  $R_C$  ตามลำดับ เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดัน  $V_{CC}$ . ส่วนขา emitter ต่อลงกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 (ก). ในการวิเคราะห์ให้พิจารณาตรง ให้ตัดตัวเก็บประจุออกจากวงจรได้ เนื่องจากไฟฟ้กระแสตรงไม่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ. รูปที่ 5.3 (ข) เป็นรูปวงจรเมื่อตัดตัวเก็บประจุออกแล้ว.



รูปที่ 5.3 วงจรไบอัสแบบคงที่ (fixed-bias circuit) ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN.

การวิเคราะห์ห้วงจรในสถานะแอกทีฟ สามารถทำได้ดังนี้.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \cong \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B}$$

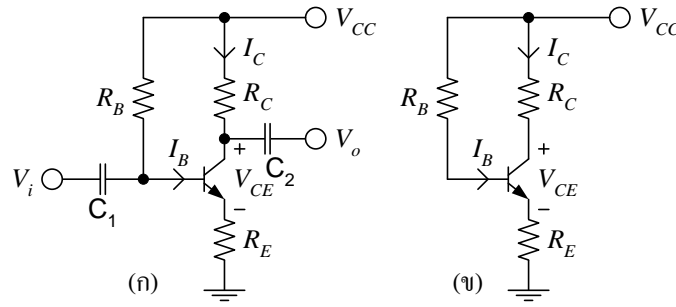
$$I_C = \beta I_B$$

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

ค่า  $I_B$  ของวงจรไบอัสนี้ มีค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับ  $V_{CC}$  และ  $R_B$ . เนื่องจากทรานซิสเตอร์ในสถานะแอกทีฟ จะต้องม  $V_{CE} > 0.2 \text{ V}$  ดังนั้นเมื่อได้คำนวณ  $V_{CE}$  แล้ว ต้องตรวจสอบดูว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่. ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข แสดงว่าที่คำนวณมาถูกต้อง. แต่ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ทรานซิสเตอร์น่าจะอยู่ในสถานะอิ่มตัว ซึ่งมีการคำนวณต่างกันไป ตามที่ได้กล่าวไว้ในบททดลองที่ AEL-04.

## 5.3. วงจรไฟเลี้ยงแบบ Emitter Feedback

วงจรไบอัสชนิดนี้มีความไวต่ออุณหภูมิลดลงเมื่อเทียบกับวงจรที่แล้ว. วงจรได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 (ก). ถ้าพิจารณาเฉพาะไฟตรง สามารถตัดตัวเก็บประจุทิ้งได้ ทำให้เหลือวงจรในรูปที่ 5.4 (ข).



รูปที่ 5.4 วงจรไบอัสแบบ emitter feedback ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN.

การวิเคราะห์วงจรในสถานะแอกทีฟ สามารถทำได้ดังนี้.

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

จัดเทอมต่างๆใหม่ จะได้

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

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B \cong I_C$$

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

จากการคำนวณหา  $I_B$  จะเห็นว่า ความต้านทาน  $R_E$  เมื่อมองเข้าไปที่ขา base เสมือนว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $(\beta + 1) R_E$ . ค่า  $V_{CE}$  ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า 0.2V โดยประมาณ ทรานซิสเตอร์จึงจะอยู่ในสถานะ active ตามที่สมมุติไว้. มิฉะนั้น จะต้องใช้การคำนวณที่ได้อธิบายไว้ในบททดลองที่ AEL-04 เพื่อวิเคราะห์วงจร.

#### 5.4. วงจรไบอัสแบบ Voltage Divider

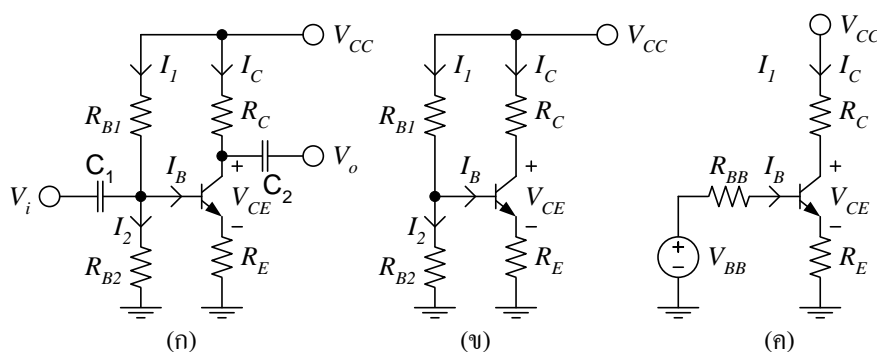
วงจรนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 (ก) และเมื่อตัดตัวเก็บประจุออกไป จะได้วงจรในรูปที่ 5.5 (ข). วงจรนี้มีการทำงานคล้ายกับวงจรที่แล้ว แตกต่างที่แรงดันไบอัสที่ขา base เป็นแรงดันที่ต่ำกว่า  $V_{CC}$  โดยวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งประกอบด้วย  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$ . เราสามารถเขียนวงจรสมมูลย์แบบ Thevenin สำหรับวงจรแบ่งแรงดันนี้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 (ค) โดยที่

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$R_{BB} = R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

ดังนั้น เราสามารถคำนวณ  $I_B$  ในขณะที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะแอกทีฟ ได้จาก

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



รูปที่ 5.5 วงจรไบอัสแบบ voltage divider ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN.

และคำนวณหา  $I_C$ ,  $I_E$  และ  $V_{CE}$  ได้จากสมการเดียวกันกับกรณีของวงจรไบอัสแบบ emitter feedback ดังต่อไปนี้.

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B \cong I_C$$

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

ถ้าเราออกแบบวงจรให้  $I_2 \geq 10I_B$  (หรือ  $10R_{B2} \leq \beta R_E$  โดยประมาณ) เราอาจสมมุติว่า  $V_B \cong V_{BB}$  เลยก็ได้. ดังนั้น เราจะได้

$$V_E = V_B - V_{BE} \cong V_{BB} - V_{BE} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$I_C = \beta I_B \cong I_E$$

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

ค่า  $V_{CE}$  ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า 0.2V โดยประมาณ ทรานซิสเตอร์จึงจะอยู่ในสภาวะ active ตามที่สมมุติไว้. มิฉะนั้น จะต้องใช้การคำนวณที่ได้อธิบายไว้ในบททดลองที่ AEL-04 เพื่อวิเคราะห์วงจร.

### 5.5. วงจรไบอัสแบบ Collector feedback

วงจรไบอัสชนิดนี้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.6 (ก) จะเป็นวงจรที่มีจุดทำงานสงบไวต่ออุณหภูมิน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ  $V_{CE}$  จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ  $I_B$  ในลักษณะเดียวกัน เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า  $\beta_{dc}$  เพิ่มขึ้น  $V_{CE}$  ลดลง จะทำให้  $I_B$  ลดลงด้วย. แต่เมื่อ  $I_B$  ลดลง  $V_{CE}$  จะเพิ่มขึ้น ซึ่งไปหักล้างการลดลงของ  $V_{CE}$  จึงทำให้  $V_{CE}$  เปลี่ยนน้อยมาก. รูปที่ 5.6 (ข) แสดงวงจรเฉพาะส่วนที่ใช้วิเคราะห์กระแสตรงเท่านั้น.

การวิเคราะห์วงจรในสภาวะแอคทีฟ สามารถทำได้ดังนี้.

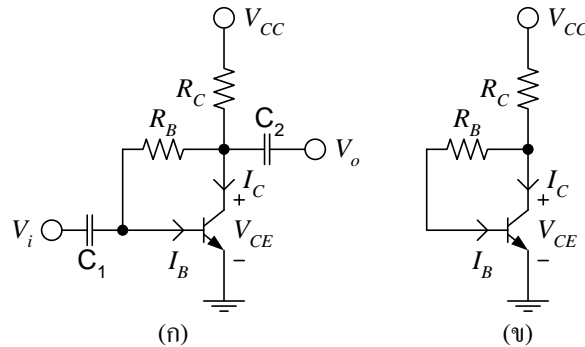
$$I_B = \frac{V_{CB}}{R_B} = \frac{V_{CC} - V_{BE} - (I_C + I_B)R_C}{R_B} = \frac{V_{CC} - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_C}{R_B}$$

จัดเทอมต่างๆใหม่ ได้ดังนี้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_C} \cong \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B + (\beta + 1)R_C}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_B)R_C \cong V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \beta I_B R_C$$



รูปที่ 5.6 วงจรไบอัสแบบ collector feedback ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN.

ค่า  $V_{CE}$  ที่คำนวณได้ต้องมากกว่า 0.2V โดยประมาณ ทรานซิสเตอร์จึงจะอยู่ในสภาวะ active ตามที่สมมุติไว้. มิฉะนั้น จะต้องใช้ในการคำนวณที่ได้อธิบายไว้ในบททดลองที่ AEL-04 เพื่อวิเคราะห์วงจร.

วงจรไบอัสที่ยกตัวอย่างผ่านมาใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทั้งหมด. วงจรขยายสัญญาณสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ได้เช่นเดียวกัน. การวิเคราะห์วงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ จะต้องระมัดระวังทิศทางของกระแสที่ไหล และทิศทางของแรงดันคร่อมขาต่างๆของทรานซิสเตอร์ด้วย.

## 5.6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904	1 ตัว
R 1/4W 5% 27k $\Omega$ , 1k $\Omega$ , 820 $\Omega$ , 180 $\Omega$ ค่าละ	1 ตัว
แหล่งจ่ายแรงดัน	1 ตัว
Digital Multimeters	2 ตัว
ชุดทำความร้อน	1 ชุด

## 5.7. การทดลอง

### 5.7.1. การทดลองเพื่อหากระแส $I_B$ ที่เหมาะสม

ต่อวงจรตามรูปที่ 5.7. ใช้ multimeter วัดค่า  $R_B$  และ  $R_C$  ที่จะใช้ในวงจร แล้วบันทึกลงในช่องว่างข้างล่างนี้.

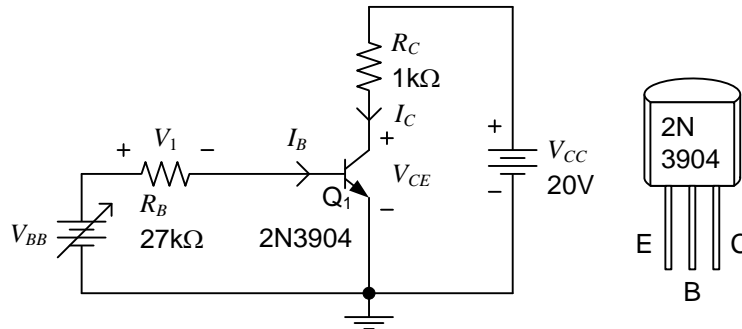
$$R_B = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$R_C = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

ให้  $V_{BB}$  เริ่มต้นจากค่า 0 V. ค่อยๆเพิ่มค่า  $V_{BB}$  จนกระทั่งวัด  $V_{CE}$  ได้ครึ่งหนึ่งของ  $V_{CC}$  ( $1/2 V_{CC} = 10$  V). บันทึกค่าแรงดัน  $V_1$ ,  $V_{BE}$  และ  $V_{RC}$  แล้วคำนวณหา  $I_B$  และ  $\beta_{dc}$ .

$$V_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 V_{BE} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \\
 V_{RC} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \\
 I_B = \frac{V_1}{R_B} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}, \quad I_C = \frac{V_{RC}}{R_C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \\
 \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} &= \underline{\hspace{2cm}}
 \end{aligned}$$

รูปที่ 5.7 วงจรสำหรับการหา  $I_B$  ที่เหมาะสม.

ใช้ชุดทำความร้อนเพิ่มอุณหภูมิที่ตัวทรานซิสเตอร์สักครู่หนึ่งจนแรงดัน  $V_{CE}$  ไม่เปลี่ยนแปลง และให้แอมมิเตอร์วัดค่าแรงดัน  $V_1$ ,  $V_{BE}$  และ  $V_{RC}$  แล้วคำนวณหา  $I_B$  และ  $\beta_{dc}$ .

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \\
 V_{BE} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \\
 V_{RC} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \\
 I_B = \frac{V_1}{R_B} &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}, \quad I_C = \frac{V_{RC}}{R_C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \\
 \beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B} &= \underline{\hspace{2cm}}
 \end{aligned}$$

ในรายงานให้เขียนอธิบายผลการทดลองว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบต่อทรานซิสเตอร์อย่างไรบ้าง. ( $V_{BE}$  จะลดลงประมาณ 2.5 mV ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส.)

### 5.7.2. วงจรไบอัสแบบ Base Bias

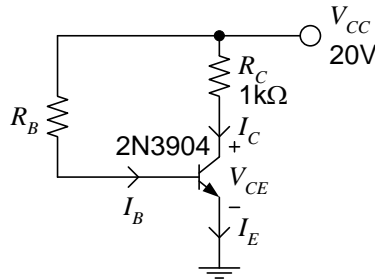
วงจรไบอัสสำหรับการทดลองนี้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.8. ให้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 5.7.1 เพื่อคำนวณหา  $R_B$  ที่จะทำได้  $V_{CE}$  เท่ากับ 10 V.

$$R_B \text{ ที่คำนวณได้} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega. \text{ เลือกใช้ค่า} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega. \text{ วัดได้} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega.$$

ให้ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เพียงตัวเดียว (ไม่ให้ใช้ตัวต้านทานหลายตัวต่ออนุกรม หรือขนานกัน). บันทึกค่า  $V_{CE}$  ที่ได้.

$$\text{วัด } V_{CE} \text{ ได้} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V.}$$

ในรายงานให้อธิบายการคำนวณค่า  $R_B$  และให้คำนวณว่า ถ้าทรานซิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า  $V_{CEQ}$  และ  $I_{CQ}$  จะมีค่าเท่าใด โดยใช้ค่า  $\beta_{dc}$  ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการทดลองที่ 5.7.1.



รูปที่ 5.8 วงจรไบอัสแบบ base bias.

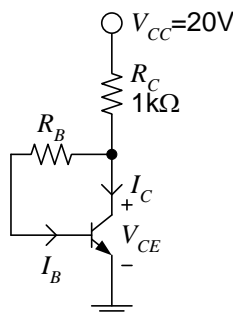
**5.7.3. วงจรไบอัสแบบ Collector feedback**

วงจรไบอัสสำหรับการทดลองนี้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9. ให้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้อ 5.7.1 เพื่อคำนวณหา  $R_B$  ที่จะทำได้  $V_{CE}$  เท่ากับ 10 V. แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.

$R_B$  ที่คำนวณได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . เลือกใช้ค่า = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . วัดได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ .

ให้ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เพียงตัวเดียว (ไม่ให้ใช้ตัวต้านทานหลายตัวต่ออนุกรม หรือขนานกัน). บันทึกค่า  $V_{CE}$  ที่ได้.

วัด  $V_{CE}$  ได้ = \_\_\_\_\_ V.



รูปที่ 5.9 วงจรไบอัสแบบ collector feedback.

ในรายงานให้อธิบายการคำนวณค่า  $R_B$  และให้คำนวณว่า ถ้าทรานซิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า  $V_{CEQ}$  และ  $I_{CQ}$  จะมีค่าเท่าใด โดยใช้ค่า  $\beta_{dc}$  ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการทดลองที่ 5.7.1.

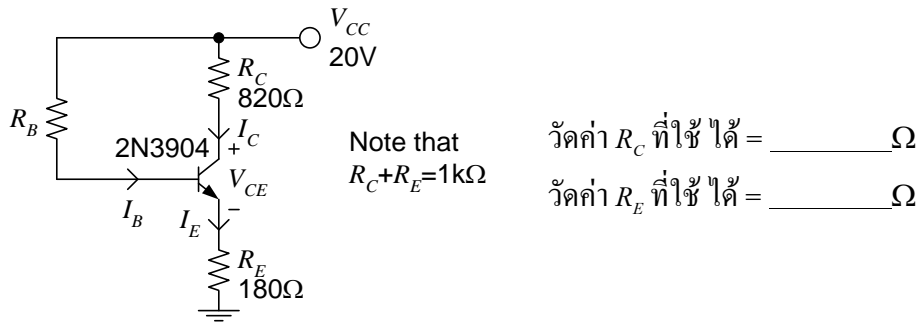
**5.7.4. วงจรไบอัสแบบ Emitter feedback**

วงจรไบอัสสำหรับการทดลองนี้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.10. ให้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองข้อ 5.7.1 เพื่อคำนวณหา  $R_B$  ที่จะทำได้  $V_{CE}$  เท่ากับ 10 V. แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.

$R_B$  ที่คำนวณได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . เลือกใช้ค่า = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . วัดได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ .

ให้ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เพียงตัวเดียว (ไม่ให้ใช้ตัวต้านทานหลายตัวต่ออนุกรม หรือขนานกัน). บันทึกค่า  $V_{CE}$  ที่ได้.

วัด  $V_{CE}$  ได้ = \_\_\_\_\_ V.



รูปที่ 5.10 วงจรไบอัสแบบ emitter feedback.

ในรายงานให้อธิบายการคำนวณค่า  $R_B$  และให้คำนวณว่า ถ้าทรานซิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า  $V_{CEQ}$  และ  $I_{CQ}$  จะมีค่าเท่าใด โดยใช้ค่า  $\beta_{dc}$  ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการทดลองที่ 5.7.1.

### 5.7.5. วงจรไบอัสแบบ Voltage Divider

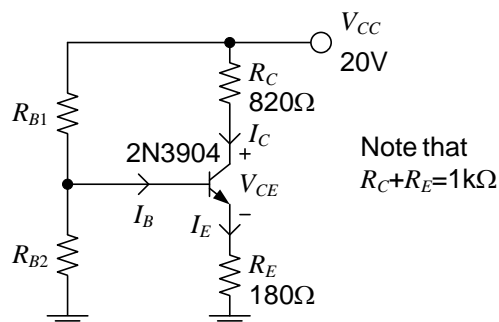
วงจรไบอัสสำหรับการทดลองนี้ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.11. ให้คำนวณหา  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  ที่จะทำให้ได้  $V_{CE}$  เท่ากับ 10 V โดยให้กระแส  $I_B$  มีค่าน้อยกว่ากระแสที่ไหลผ่าน  $R_{B2}$  ประมาณ 10 เท่า. ให้แสดงวิธีคำนวณในรายงานด้วย.

$R_{B1}$  ที่คำนวณได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . เลือกใช้ค่า = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . วัดได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ .

$R_{B2}$  ที่คำนวณได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . เลือกใช้ค่า = \_\_\_\_\_  $\Omega$ . วัดได้ = \_\_\_\_\_  $\Omega$ .

ให้ใช้ตัวต้านทานที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เพียงตัวเดียว (ไม่ให้ใช้ตัวต้านทานหลายตัวต่ออนุกรม หรือขนานกัน). บันทึกค่า  $V_{CE}$  ที่ได้.

วัด  $V_{CE}$  ได้ = \_\_\_\_\_ V.



รูปที่ 5.11 วงจรไบอัสแบบ voltage divider.

ในรายงานให้อธิบายการคำนวณค่า  $R_{B1}$  และ  $R_{B2}$  และให้คำนวณว่า ถ้าทรานซิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า  $V_{CEQ}$  และ  $I_{CQ}$  จะมีค่าเท่าใด โดยใช้ค่า  $\beta_{dc}$  ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการทดลองที่ 5.7.1.

### 5.8. สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้

- 5.8.1. ให้สรุปสิ่งที่เรียนรู้ทั้งหมดจากการทดลองแยกเป็นอีกหัวข้อหนึ่งในท้ายรายงาน โดยสรุปเรียงตามลำดับเรื่องที่ทดลอง.
- 5.8.2. อภิปรายเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงจุดทำงานสงบของวงจรต่างๆ ซึ่งได้คำนวณไว้แล้ว. วงจรใดให้เสถียรภาพของจุดทำงานสงบดีที่สุด.