

TRANSISTOR

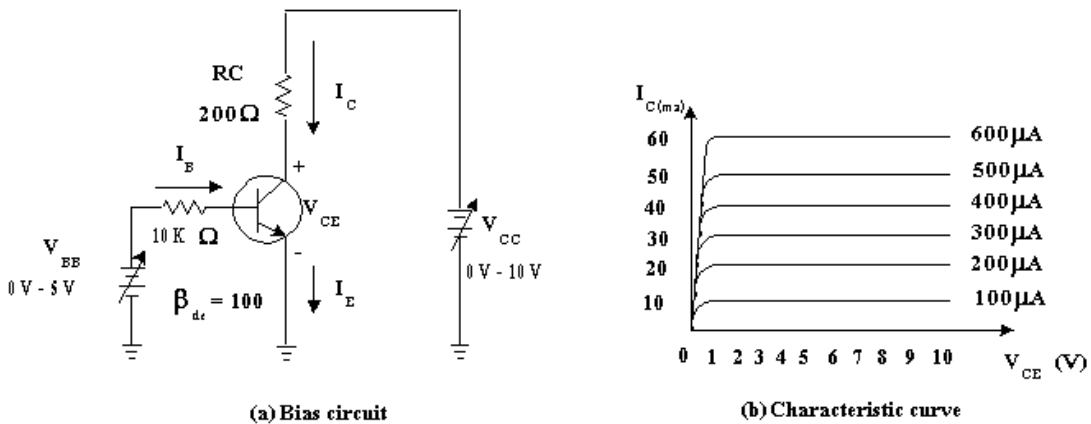
การไบอัสทรานซิสเตอร์

การไบอัส (Biasing) ทรานซิสเตอร์นั้นมีหลายวิธีแต่ละวิธีจะให้เสถียรภาพ (Stabilized) ในการทำงานของวงจร ทรานซิสเตอร์แตกต่างกัน เมื่อนำทรานซิสเตอร์นั้นไปใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป จุดทำงาน (Q-Point) ของทรานซิสเตอร์นั้นจะเปลี่ยนไปด้วย เป็นผลให้แรงดันที่จุดต่าง ๆ ซึ่งตกคร่อมทรานซิสเตอร์เปลี่ยนไป

วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอก จะเป็นผลให้จุดทำงาน ของ ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไปน้อยมากหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย ผลคือเสถียรภาพในการทำงานของทรานซิสเตอร์ ในวงจรไบอัสนั้นดีขึ้น

จุดทำงานในวงจรไฟตรง

การวิเคราะห์ด้วยกราฟ (Graphical Analysis) วงจรทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 1 (a) ได้รับแรงดันไบอัส ที่เบสคือ V_{BB} และแรงดันที่คอลเลกเตอร์ ด้วย V_{CC} ทำให้เกิดกระแส I_B , I_C และ I_E ไหลในวงจรเมื่อทำการปรับค่าแรงดัน V_{BB} ให้ได้กระแส I_B **100 μ A**, **200 μ A**, จนถึง **600 μ A** โดยให้แรงดัน V_{CC} คงที่ที่ 10 V จะได้ลักษณะ สมบัติทางคอลเลกเตอร์ ดังกราฟรูปที่ 1 (b)



รูปที่ 1 แสดงการหากราฟลักษณะสมบัติทางคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

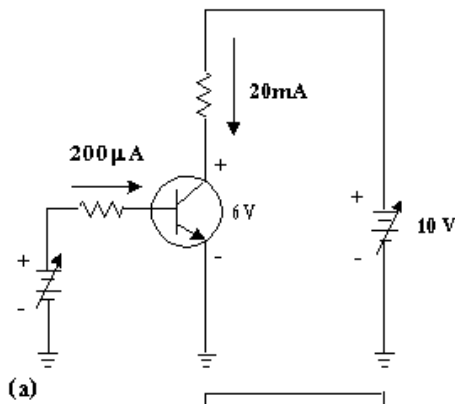
การหาจุดทำงาน (Q-Point) ของทรานซิสเตอร์ เริ่มจากการปรับ V_{BB} ให้ได้ $I_B = 220 \mu A$ ดังรูป 2 (a) จะได้

ค่ากระแส I_C ตามสมการ $I_C = \beta_{dc} \cdot I_B = 20 \text{ mA}$ และค่าแรงดัน V_{CE} คือ

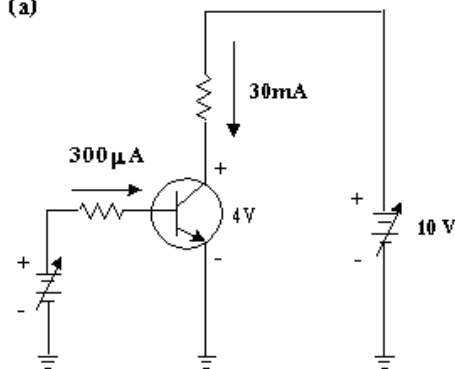
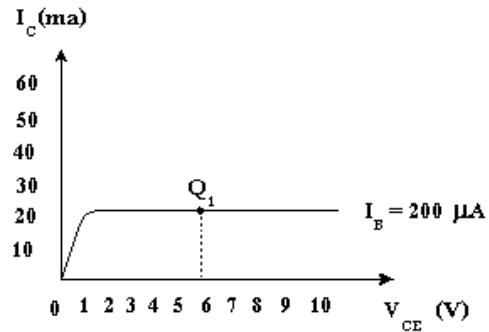
$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 10 \text{ V} - 4 \text{ V} \\ &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

เมื่อลากเส้นประจากจุดแรงดัน $V_{CE} = 6 \text{ V}$ ไปตัดเส้นกราฟ I_C ที่ $I_B = 200 \mu A$ จะได้จุดทำงาน (Q1) ของ วงจร ดังรูปที่ 2 (a) ในทำนองเดียวกันเมื่อปรับแรงดัน V_{BB} ให้กระแส I_B เพิ่มขึ้นเป็น 300 μA จะได้ I_C เพิ่มขึ้น

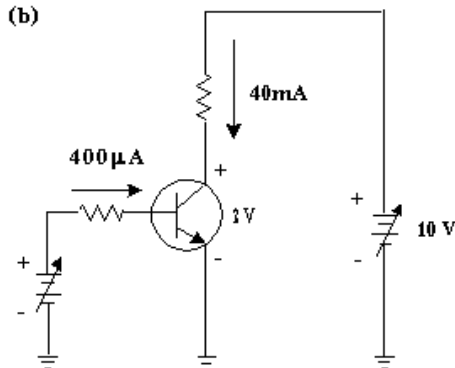
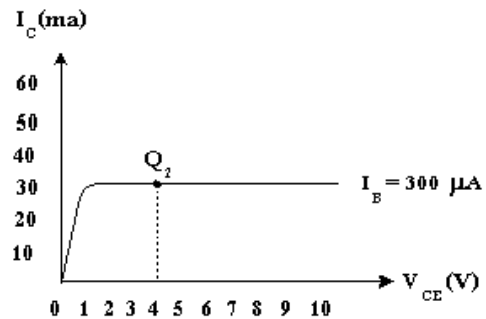
เป็น 30 mA เป็นผลให้แรงดัน $V_{CE} = 4$ V ขณะที่จุดทำงาน (Q) ของวงจรเปลี่ยนไปจาก Q_1 เป็น Q_2 ดังรูปที่ 2 (b) และเมื่อปรับแรงดัน V_{BB} อีกครั้งให้ได้ $I_B = 400$ μ A จะได้ $I_C = 40$ mA ทำให้เกิดแรงดัน V_{CE} เท่ากับ 2 V จะได้จุดทำงานเปลี่ยนจาก Q_2 เป็น Q_3 ดังรูปที่ 2 (c)



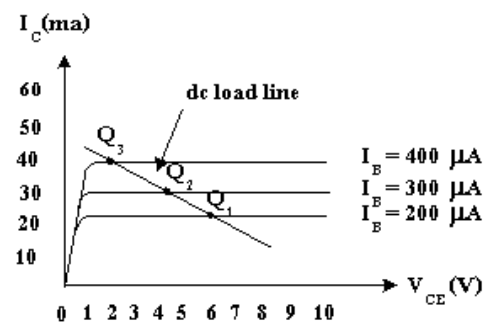
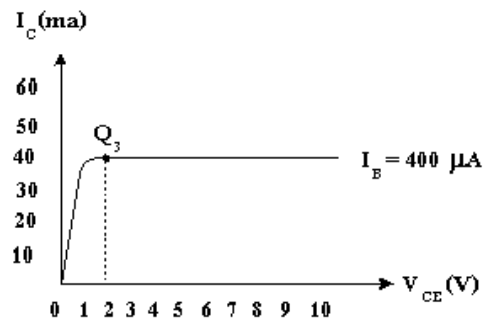
(a)



(b)



(c)

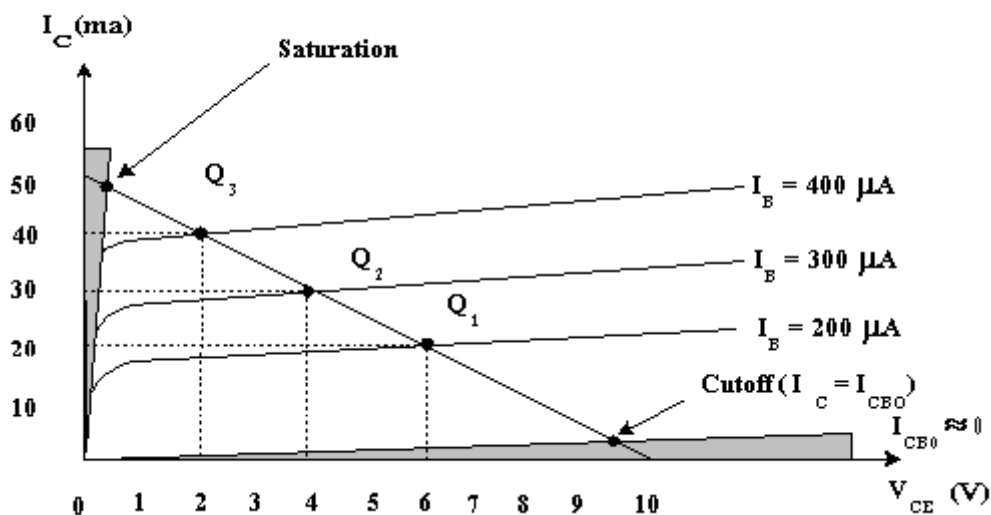


(d)

รูปที่ 2 แสดงการปรับจุดทำงาน (Q-Point) ของวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

เส้นโหลดไฟตรง (DC-load Line) จากการสังเกตจะพบว่าค่ากระแส IC เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่า กระแส IB และค่าแรงดัน VCE จะลดลงเมื่อกระแส IC เพิ่มขึ้น ดังนั้นจุดทำงานของทรานซิสเตอร์จะเปลี่ยนแปลง ไปตามค่ากระแส IB (คือ กระแสที่วงจรไบอัสจ่ายให้กับทรานซิสเตอร์) และทางเดินของจุด Q นี้เองเรียกว่า เส้นโหลดไฟตรง (DC-load Line) ดังรูปที่ 2 (d)

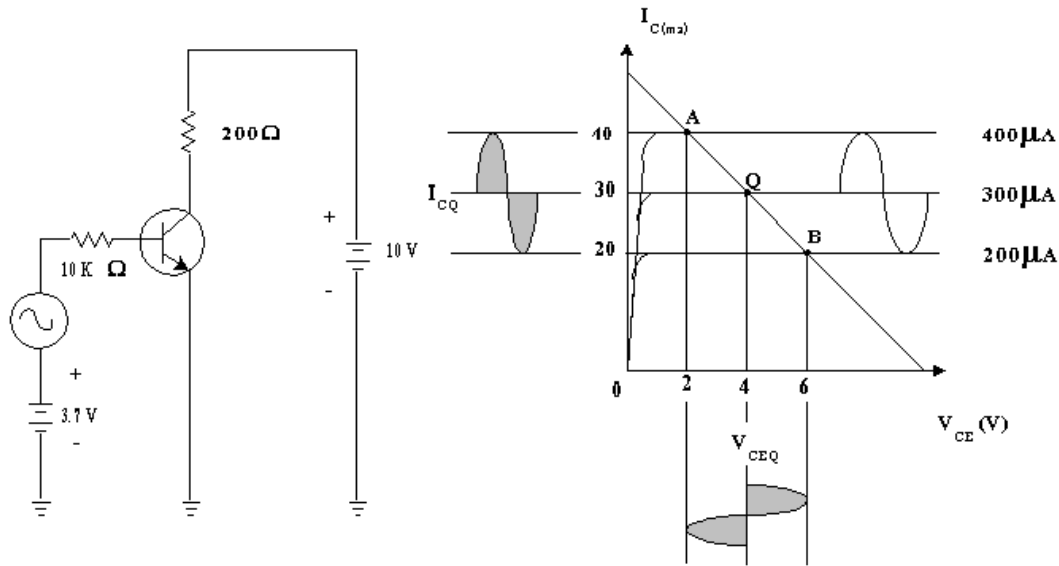
จากวงจรในรูปที่ 2 นั้นถ้าทำการปรับค่ากระแส IB เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ค่ากระแส IC จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุด สูงสุด เรียกว่าจุดอิ่มตัว (Saturation Point) ที่ค่ากระแส IC ประมาณ 50 mA ดังรูปที่ 3 และถ้าลดค่ากระแส IB ลงมาจนทรานซิสเตอร์หยุดทำงานคือ IC = 0 mA (IB = 0 mA) จะเรียกว่าจุดคัตออฟ ในขณะที่กระแสคอลเลกเตอร์จะเกิดเฉพาะกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบสเท่านั้น (IC = ICBO) จากรูปที่ 3 จะเห็นว่า เส้นโหลดไฟตรงจะลาดเอียงจากจุดอิ่มตัวไปสู่จุดคัตออฟ และนี่คือทางเดินของจุดทำงานของวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3 แสดงเส้นโหลดไฟตรง (DC Load Line)

การทำงานแบบเชิงเส้น

การทำงานแบบเชิงเส้น (Linear Operation) เมื่อพิจารณาในกราฟรูปที่ 3 ย่านการทำงานระหว่างจุด อิ่มตัวจนถึงคัตออฟเรียกว่า ย่านขยายสัญญาณเชิงเส้น (Linear Region) หมายความว่าถ้านำทรานซิสเตอร์ไปขยายสัญญาณไฟสลบ เช่น รูปไซน์ ฯลฯ ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้รับจะปรากฏอย่างสมบูรณ์ไม่มีการผิดเพี้ยน (Distortion) ในย่านนี้เท่านั้น ถ้านำทรานซิสเตอร์ที่ได้รับไบอัสไปขยายสัญญาณไซน์ดังรูปที่ 4 ถ้าเส้นโหลดไฟตรงแสดงจุดทำงานของวงจรที่แรงดันอินพุตเท่ากับมุมศูนย์ จุดทำงาน (Q) คือจุดที่แรงดัน VCE = 4 V และ IC = 30 mA จุดนี้จะเรียกระแสคอลเลกเตอร์ว่ากระแสคอลเลกเตอร์ที่จุด Q (ICQ = 30 mA) และเรียกแรงดัน VCE ที่จุด Q ว่า (VCEQ = 4 V) ที่จุดทำงานจะมีกระแส IB เท่ากับ 300 Ma



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนค่าสัญญาณอินพุต (I_B) เป็นผลต่อกระแส I_C และแรงดัน V_{CE}

สมมติว่าแรงดันคลื่นไซน์สูงสุดทำให้เกิด $I_B = 400 \mu A$ และเมื่อแรงดันคลื่นไซน์ต่ำสุดทำให้เกิด I_B เท่ากับ $200 \mu A$ จะทำให้กระแส I_C เปลี่ยนแปลงไปด้วยกล่าวคือ เมื่อ $I_B = 400 \mu A$ (เมื่อ $\beta_{DC} = 100$) และเมื่อ กระแส $I_B = 200 \mu A$ จะได้กระแส $I_C = 20 \mu A$ ในทำนองเดียวกันเมื่อกระแส I_C เปลี่ยนแปลงเป็นคลื่นไซน์ระหว่าง $20 \mu A$ ถึง $40 \mu A$ จะทำให้แรงดัน V_{CE} เปลี่ยนแปลงไปด้วยคือเปลี่ยนแปลงไปในย่าน $2 V$ ถึง $4 V$ เมื่อกำหนดจุดที่เกี่ยวข้องทั้ง 3 จุดคือ จุด A จุด Q และจุด B ลงบนเส้นโหลดไฟตรงเราจะได้ข้อมูลเพิ่มเติมพออธิบายได้ดังนี้คือ

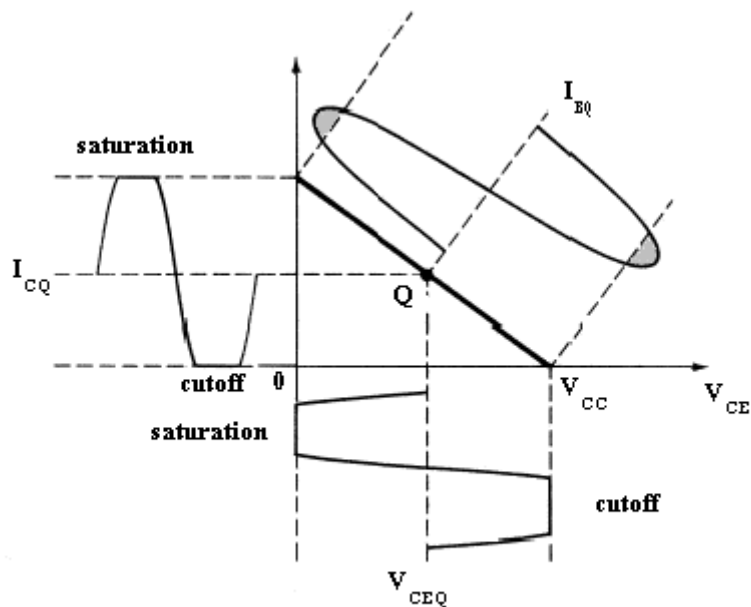
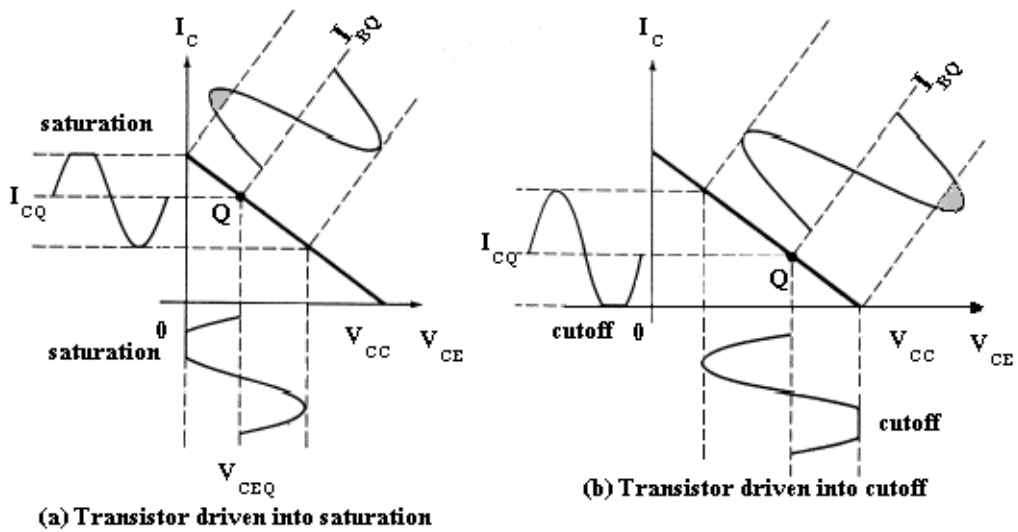
ที่จุด A ของเส้นโหลดไฟตรง เรียกว่า จุดสูงสุดด้านบวก (Positive Peak)

ที่จุด B ของเส้นโหลดไฟตรง เรียกว่า จุดสูงสุดด้านลบ (Negative Peak)

ที่จุด Q คือจุดทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์ที่จุดนี้คือจุดที่คลื่นไซน์อินพุตมีค่าแรงดันเท่ากับศูนย์จะทำให้เกิดค่าของ V_{CEQ} , I_{CQ} , และ I_{BQ}

ความเพี้ยนของสัญญาณขาออก (Distortion of The Output) ความเพี้ยนของสัญญาณขาออกเกิดขึ้นเมื่อ **สัญญาณขาออกโดนขริบ (Clip) เนื่องจากสาเหตุ 3 ประการคือ**

1. จุดทำงานอยู่ใกล้จุดอิ่มตัว ดังรูปที่ 5 (a) ทำให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าสู่วงจรเกินขอบเขต (Over Driven) จะเห็นว่าด้านบนของ I_B ส่วนที่แรงเกินจากจุดอิ่มตัวทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ขยายกระแส I_C ออกมาถูกขริบทางด้านบนด้วย ส่วนด้านล่างกระแส I_C ขยายแล้วไม่เกินจุดคัตออฟจึงไม่ถูกขริบเหมือนด้านบน สำหรับ V_{CE} จะถูกขริบด้านบนเช่นเดียวกัน



(c) Transistor driven into both saturation and cutoff

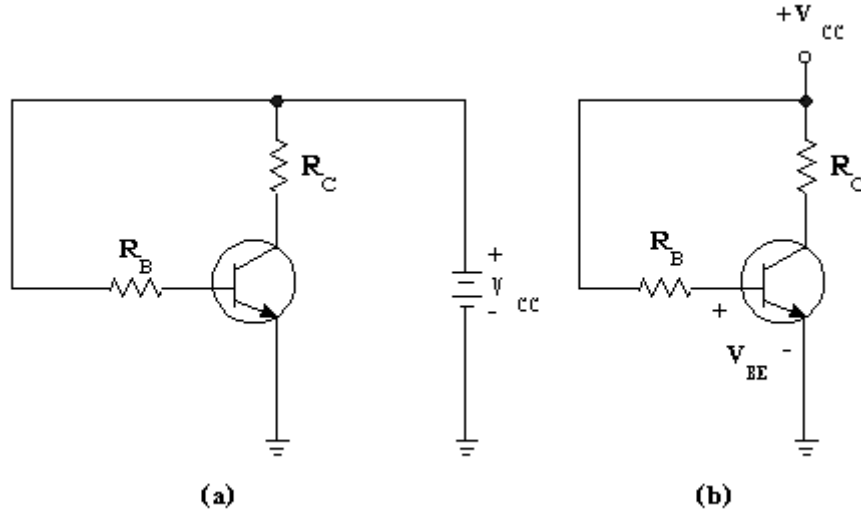
รูปที่ 5 แสดงภาพความเพี้ยนของสัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรขยายทรานซิสเตอร์

2. จุดทำงานอยู่ใกล้จุดคัตออฟ ตามรูปที่ 5 (b) เมื่อจุดทำงานของวงจรอยู่ใกล้จุดคัตออฟทำให้การขยายสัญญาณ I_B ไปสู่สัญญาณขาออก I_C ถูกขริบด้านล่างออกไป คือส่วนที่แรงงาในรูปที่ 5 (b) ทำให้ สัญญาณขาออก I_C และ V_{CE} ถูกขริบออกด้านล่างดังรูป

3. จุดทำงานอยู่กลางเส้นโหลดไฟตรง ตามรูปที่ 5 (c) สภาวะที่ปกติคือการกำหนดจุดทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์ให้อยู่กลางเส้นโหลดไฟตรง เพราะจะทำให้การขยายสัญญาณขาออกสามารถขยายได้สูงสุดทั้งทางด้านบนและด้านล่าง แต่จะเกิดความเพี้ยนของสัญญาณขาออกได้เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตมากเกินไปจนขอบเขตสัญญาณอินพุตจะถูกขริบทั้งด้านบนและด้านล่าง เป็นผลให้สัญญาณขาออกถูกขริบทั้งสองด้านเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 5 (c)

การไบอัสเบส

การไบอัสเบส (Base Bias) เป็นวิธีการไบอัสทรานซิสเตอร์เบื้องต้น ที่ประกอบไปด้วยแหล่งจ่าย ไบอัสที่คอลเล็กเตอร์ (Vcc) และแหล่งจ่ายไบอัสที่เบส (VBB) หรืออาจใช้แหล่งจ่ายไบอัสชุดเดียวกันก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 (a) แสดงการไบอัสด้วยสัญลักษณ์ของแบตเตอรี่ (VCC) สำหรับรูปที่ 5.9 (b) ใช้สัญลักษณ์ของแหล่งจ่ายแรงดันแทน



รูปที่ 6 แสดงวงจรไบอัสเบส (Base Bias)

จากรูปที่ 5.9 $V_{RB} = V_{CC} - V_{BE}$

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

สมการ 1

เมื่อพิจารณาค่า I_{CBO} เพราะว่า $I_{CBO} \ll I_C$

ดังนั้น $I_C = \beta_{dc} \cdot I_B$

สมการ 2

และ $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$

สมการ 3

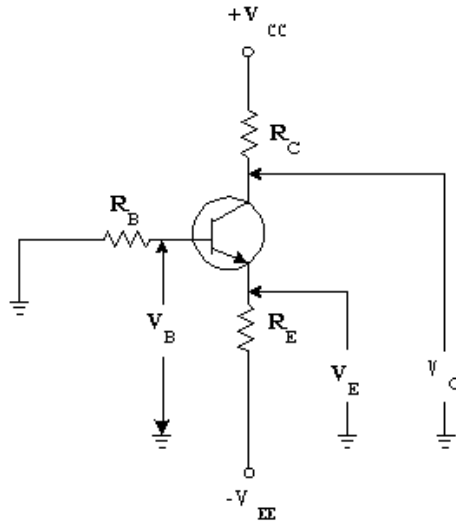
แทนค่า 2 ใน 3

$$V_{CE} = V_{CC} - \beta_{dc} \cdot I_B \cdot R_C$$

สมการ 4

การไบอัสอิมิตเตอร์

วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์แบบ Emitter Bias นี้มีเสถียรภาพของการทำงานดีกว่าแบบไบอัสเบส ต้องใช้แหล่งจ่ายไบอัส 2 ชุดคือ VCC เป็นแหล่งจ่ายแรงดันบวกไบอัสที่คอลเล็กเตอร์และ -VEE เป็นแหล่งจ่ายแรงดันลบไบอัสระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส ดังแสดงในรูป 7



รูปที่ 7 แสดงวงจรไบอัสเอมิเตอร์

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่า

$$V_B \cong 0 \quad \text{สมการ 5}$$

$$V_E \cong -V_{BE} \quad \text{สมการ 6}$$

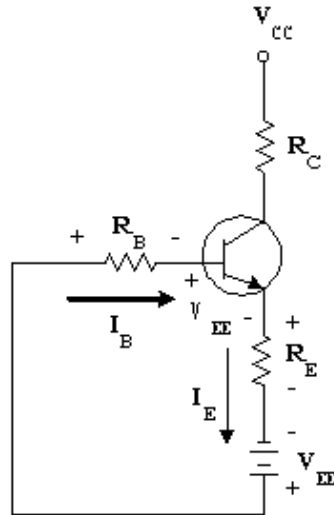
$$I_E = \frac{V_E - V_{EE}}{R_E} \quad \text{สมการ 7}$$

$$I_C \cong I_E \quad \text{สมการ 8}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \quad \text{สมการ 9}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \quad \text{สมการ 10}$$

เสถียรภาพของวงจรไบอัสเอมิเตอร์ (Stability of Emitter Bias) ถ้าใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์วิเคราะห์ที่วงจรในรูปที่ 7 สามารถเขียนใหม่ได้ดังรูปที่ 8 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่วงจรไบอัสเอมิเตอร์



รูปที่ 8 การใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์วิเคราะห์วงจรในส่วนของเบสและอิมิตเตอร์

$$V_{EE} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

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

$$I_B = \frac{I_E}{\beta_{dc}}$$

$$\left(\frac{I_E}{\beta_{dc}}\right) R_B + I_E R_E + V_{BE} = V_{EE}$$

$$I_E \left(\frac{R_B}{\beta_{dc}} + R_E\right) + V_{BE} = V_{EE}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + R_B/\beta_{dc}}$$

สมการ 11

$$I_E \gg R_B/\beta_{dc}$$

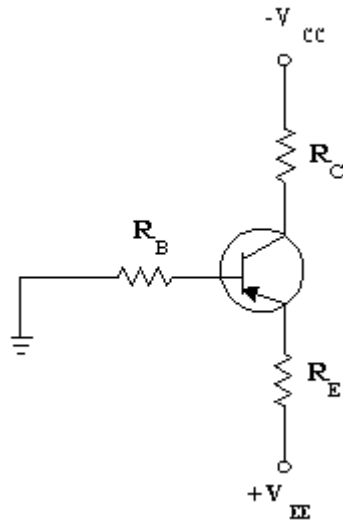
$$I_E \approx \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

สมการ 12

ปกติค่าของ $V_{EE} \gg V_{BE}$ ดังนั้น

$$I_E \approx \frac{V_{EE}}{R_E}$$

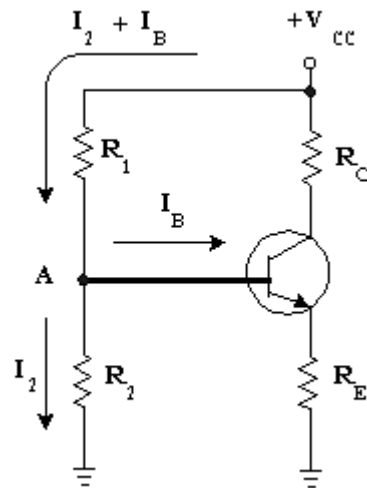
การไบอัสอิมิตเตอร์กับทรานซิสเตอร์ PNP (Emitter Biased PNP) วงจรการไบอัสเบื้องต้นแสดง ดังรูปที่ 9



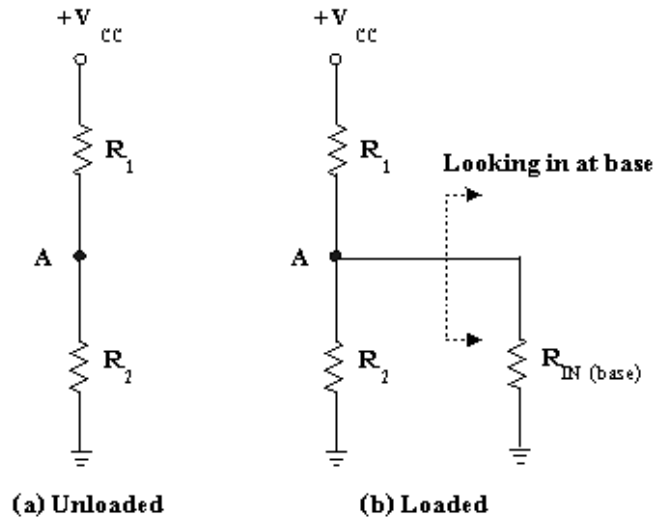
รูปที่ 9 แสดงวงจร Emitter Bias กับทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

การไบอัสด้วยการแบ่งแรงดัน

การไบอัสด้วยการแบ่งแรงดัน (Voltage - Divider Bias) ใช้เทคนิคของวงจรแบ่งแรงดันเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบส (I_b) เนื่องจากค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 มีค่าคงที่ ดังนั้น I_b จึงเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าปกติ และที่อิมิตเตอร์ยังคงมีตัวต้านทาน R_E ต่ออยู่คล้ายวงจรไบอัสอิมิตเตอร์ ดังรูปที่ 10



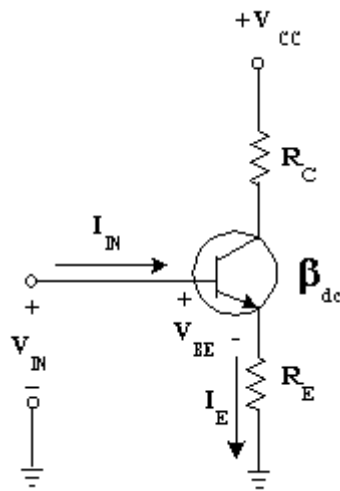
รูปที่ 10 วงจร Voltage-divider Bias



รูปที่ 11 Simplified Voltage-divider

และเมื่อพิจารณาความต้านทานทางด้านอินพุตของวงจร จะเห็นว่าวงจรไบอัสด้วยการแบ่งแรงดันนั้นจะเป็นดังรูปที่ 11 (a), (b) ในวงจรนี้ค่าความต้านทานภายในของเบส คือ $R_{in}(base)$ ดังรูปที่ 11 (b)

การหาค่าความต้านทานภายในที่เบส (Input Resistance at The Base) การวิเคราะห์เพื่อหาค่า $R_{in}(base)$ ควรใช้วงจรง่าย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยตัดส่วนของวงจรแบ่งแรงดันออกไป



รูปที่ 12 แสดงวงจรที่ใช้หาค่าความต้านทานอินพุตของวงจรไบอัสด้วยการแบ่งแรงดันจากรูปที่ 12 เมื่อใช้กฎของโอห์มได้ว่า

$$R_{IN(base)} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \quad \text{สมการที่ 14}$$

แต่ $V_{in} = V_{BE} + I_E R_E$

เมื่อ $V_{BE} \ll I_E R_E$

ดังนั้น $V_{IN} \approx I_E R_E$

แต่ $I_E \approx I_C = \beta_{dc} I_B$

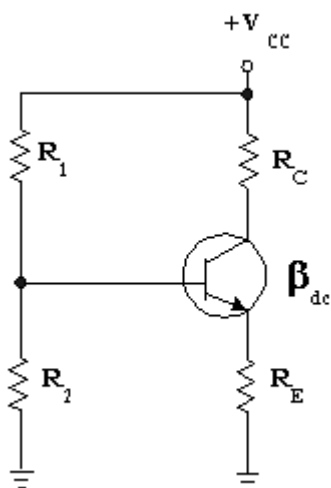
ดังนั้น $V_{IN} \approx \beta_{dc} I_B R_E$

ถ้ากำหนดให้กระแส I_{in} (ในรูปที่ 12) เท่ากับ I_B แทนค่าในสมการ 14 ได้ว่า

$$R_{N(\text{base})} \approx \frac{\beta_{dc} I_B R_E}{I_B}$$

$$R_{N(\text{base})} \approx \beta_{dc} R_E \quad \text{สมการที่ 15}$$

วิเคราะห์วงจรไบอัสด้วยการแบ่งแรงดัน (Analysis of a Voltage-divider Bias Circuit) วงจรที่จะใช้วิเคราะห์แสดงในรูป 13 ในการวิเคราะห์เราจะเริ่มพิจารณาที่แรงดันเบส (V_B) แล้วจึงหาค่าแรงดันอิมิตเตอร์ (V_E) และหาจุดทำงานของวงจร (V_{CE} และ I_C) ตามลำดับดังนี้



รูปที่ 13 วงจรไบอัสด้วยการแบ่งแรงดัน (Voltage-divider Bias, NPN Transistor)

แต่ค่าความต้านทานรวมระหว่างเบสกับจุดดินคือ $R_2 \parallel R_{in}$ (base) หรือ $R_2 \parallel \beta_{dc} R_E$ ด้วยหลักการของวงจรแบ่งแรงดันจึงหาค่า V_B ได้ว่า

$$V_B = \frac{R_2 \parallel \beta_{dc} R_E}{R_1 + (R_2 \parallel \beta_{dc} R_E)} V_{CC} \quad \text{สมการที่ 16}$$

ถ้า $\beta_{dc} R_E \gg R_2$ จะได้ว่า

$$V_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} \quad \text{สมการที่ 17}$$

เมื่อรู้ค่า V_B สามารถหาค่า V_E ได้ว่า

$$V_E = V_B - V_{BE} \quad \text{สมการที่ 18}$$

และหาค่า I_E ได้ว่า

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \quad \text{สมการที่ 19}$$

เมื่อรู้ค่า I_E สามารถหาค่า I_C และ V_{CE} ได้ดังนี้

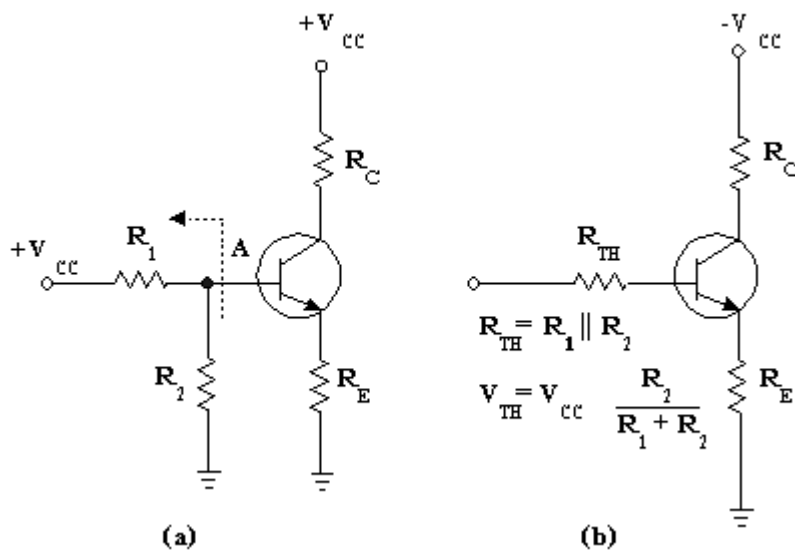
$$I_C \cong I_E$$

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

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_E (R_C + R_E) \quad \text{สมการที่ 20}$$

เสถียรภาพของวงจรไบอัสด้วยการแบ่งแรงดัน (Stability of Voltage-divider Bias) เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้นจากวงจรในรูป 14 (a) จะใช้ทฤษฎีของเทวินินช่วยในการวิเคราะห์โดยพิจารณาที่จุด A แปลง วงจรของ R_1 และ R_2 ให้อยู่ในรูปของวงจรเทียบเท่าของเทวินิน (Thevenin Equivalent Circuit) ดังรูปที่ 14 (b)



รูปที่ 14 แสดงการใช้วงจรเทียบเท่าของเทวินิน วิเคราะห์วงจรไบอัสด้วยการแบ่งแรงดัน จากรูปที่ 14 (b) หาค่า R_{TH} ได้จากสมการ

$$R_{TH} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TH} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC}$$

ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์กับวงจรในรูปที่ 14 (b)

$$V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E$$

แทนค่า $I_E / \beta_{dc} = I_B$ ได้ว่า

$$V_{TH} = I_E (R_E + R_{TH} / \beta_{dc}) + V_{BE}$$

หรือ

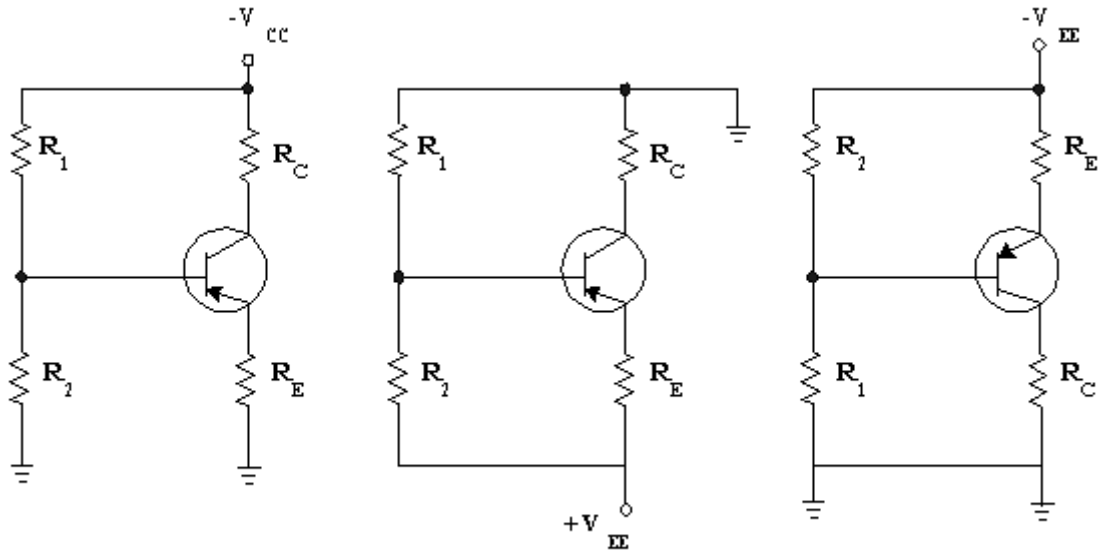
$$I_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + R_{TH} / \beta_{dc}}$$

ถ้า $R_E \gg R_{TH} / \beta_{dc}$ จะได้ว่า

$$I_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E} \quad \text{สมการ 21}$$

จากสมการ 21 จะเห็นว่า ค่า I_E ไม่ขึ้นอยู่กับค่า β_{dc} โดยตรง นั่นคือกระแส I_C ก็ไม่ขึ้นอยู่กับค่า β_{dc} ด้วย (เพราะ $I_C \approx I_E$) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปมาก ๆ ถ้า β_{dc} เปลี่ยนแปลงไป แต่ค่า I_C จะไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าเสถียรภาพของวงจรต่ออุณหภูมิดีกว่าวงจรไบอัสที่เคยศึกษามา

วงจรไบอัสแบบการแบ่งแรงดันกับทรานซิสเตอร์ PNP (Voltage-divider Biased PNP) สังเกตเห็นว่าการไบอัสทรานซิสเตอร์ PNP นั้นต้องการแรงดันไบอัสที่มีขั้วตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN กรณีก็เช่นเดียวกัน เราสามารถไบอัสทรานซิสเตอร์ PNP ได้หลายวิธี เช่น ไบอัสด้วยแรงดันลบ (Negative Supply Voltage) โดยต่อแหล่งจ่าย $-V_{V}$ ที่คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 15 (a) หรือการไบอัสด้วยแรงดันบวก (Positive Supply Voltage) โดยต่อแหล่งจ่าย $+V_{EE}$ ที่อิมิตเตอร์ของวงจรและต่อคอลเล็กเตอร์ลงจุดดิน ดังรูปที่ 15 (b) หรืออาจจัดรูป วงจร 15 (b) ใหม่โดยนำอิมิตเตอร์ไว้ด้านบนได้ดังรูปที่ 16



(a) Negative supply voltage (b) Positive supply voltage

รูปที่ 15 การไบอัสทรานซิสเตอร์ PNP

รูปที่ 16 นาอิมิตเตอร์ไว้ด้านบน

จากวงจรรูปที่ 16 กำหนดให้ β_{dc} , $R_E \gg R_2$

$$V_B = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{FF} \quad \text{สมการที่ 22}$$

และ $V_E = V_B + V_B$ สมการที่ 23

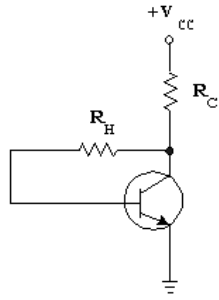
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E} \quad \text{สมการที่ 24}$$

และ $V_C = I_C R_C$ สมการที่ 25

$$V_{EC} = V_E - V_C \quad \text{สมการที่ 26}$$

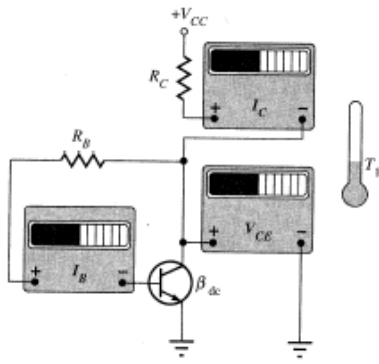
วงจรไบอัสป้อนกลับที่คอลเล็กเตอร์

การไบอัสด้วยวิธีป้อนกลับโดยใช้แรงดันคอลเล็กเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อ β_{dc} เปลี่ยนแปลงเนื่อง จาก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมาควบคุมค่ากระแส I_b เพื่อให้ค่ากระแส I_b เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง และเพื่อให้ค่ากระแส I_b ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ค่าของ I_c และ V_{ce} ค่อนข้างคงที่ ผลคือจุดทำงาน (Q-point) ของ วงจรคงที่ด้วย ลักษณะของวงจรไบอัสป้อนกลับที่คอลเล็กเตอร์แสดงในรูปที่ 17

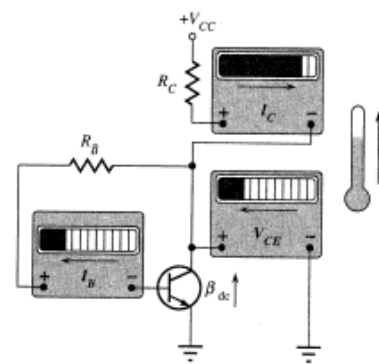


รูปที่ 17 วงจรไบอัสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์ (Collector-feedback Bias)

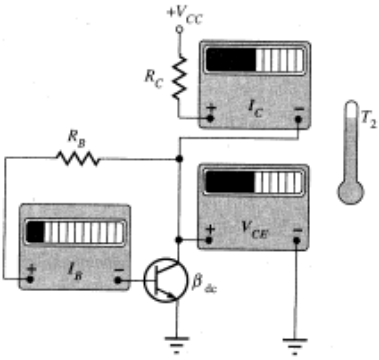
ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และการทำงานของวงจรไบอัสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์แสดงขั้นตอนโดยละเอียดในรูปที่ 18 (a), (b), (c), (d), (e)



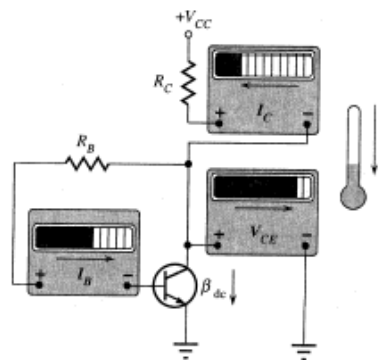
(a) Stabilized at initial temperature



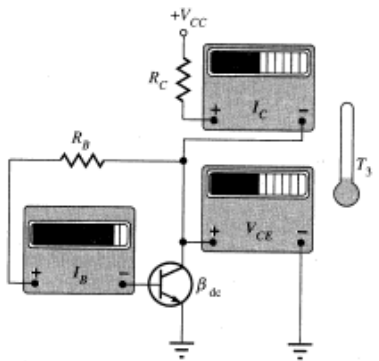
(b) Initial response to temperature rise



(d) Initial response to temperature drop



(c) Stabilized at higher temperature



(e) Stabilized at lower temperature

รูปที่ 18 แสดงเสถียรภาพของวงจรไบอัสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง

จากรูปที่ 18 (a) ที่อุณหภูมิห้อง (T1) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทันทีทันใด ดังรูปที่ 18 (a) กระแสเบส Ib จะ ลดลง

กระแส Ic จะเพิ่มขึ้น และ Vce จะลดลงเพราะค่า β_{dc} เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นคงที่ที่ T2 ดังรูปที่ 18 (c) กระแส Ib จะลดลงและคงที่ ส่วนแรงดัน Vce จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและคงที่ สำหรับกระแส Ic จะลดลงและคงที่

เช่นกัน จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น Ic และ Ib จะลดลงเพื่อชดเชยการเพิ่มขึ้นของ β_{dc} และ Vce ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากอุณหภูมิสูงเช่น T2 ลดต่ำลงในชั่วขณะเริ่มต้นแสดงในรูป 18 (d) ค่า bdc จะลดลงด้วยเป็นผลให้ Ic ลดลง Ib และ Vce จะเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิ T2 ลดลงจนคงที่ที่อุณหภูมิ T2 ดังรูปที่ 18 (e) วงจรจะรักษาค่ากระแส Ic และ Vce ให้คงที่อีกครั้ง แต่ค่ากระแส Ib จะเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

การวิเคราะห์วงจรไบอัสป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์ (Analysis of Collector Feedback) จากวงจรใน รูปที่ 17

$$I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B} \quad \text{สมการ 27}$$

$$V_C \cong V_{CC} - I_C R_C$$

$$\text{แต่ } I_B = \frac{I_C}{\beta_{dc}}$$

แทนค่า IB ในสมการ 27

$$\frac{I_C}{\beta_{dc}} = \frac{V_{CC} - I_C R_C - V_{BE}}{R_B}$$

$$\frac{I_C R_B}{\beta_{dc}} + I_C R_C = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_C (R_C + R_B / \beta_{dc}) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / \beta_{dc}} \quad \text{สมการ 28}$$