

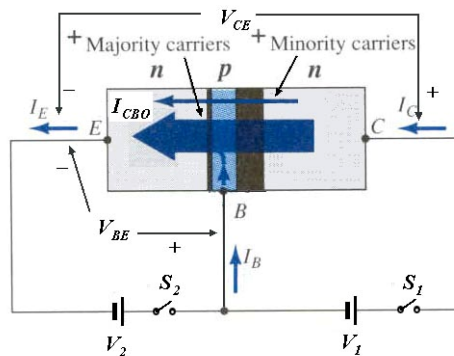
บทที่ 4

การไบอัสทรานซิสเตอร์ (Transistor Biasing)

4. การไบอัสทรานซิสเตอร์

การไบอัส (Biasing) หมายถึง การกำหนดค่าแรงดันและกระแสทางไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ทำงานตามต้องการ

จากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่ทำมาจากสารเจอร์มันเนียม มีค่าแรงดันตกคร่อม $V_{BE} = 0.3 \text{ V}$ และทำมาจากสารซิลิกอนมีค่า $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ (ที่ 25 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบ NPN

จากกระแสของทรานซิสเตอร์

$$I_E = I_C + I_B \quad (4.1)$$

ซึ่งอัตราส่วนของกระแส I_C ต่อ I_B จะแทนด้วยสัญลักษณ์ β (เบต้า) หรือ h_{FE} ส่วนอัตราส่วนของกระแส I_C ต่อ I_E แทนด้วยสัญลักษณ์ α (อัลฟา) และ อัตราส่วนของกระแส I_E ต่อ I_B แทนด้วยสัญลักษณ์ γ (แกมมา) ซึ่งแต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้คือ

$$\text{เบต้าในเทอมอัลฟา} \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (4.2)$$

$$\text{เบต้าในเทอมแกมมา} \quad \beta = \gamma - 1 \quad (4.3)$$

$$\text{อัลฟาในเทอมเบต้า} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta+1} \quad (4.4)$$

$$\text{อัลฟาในเทอมแกมมา} \quad \alpha = \frac{\gamma-1}{\gamma} \quad (4.5)$$

แกรมม่าในทอมมเบต้า $\gamma = \beta + 1$ (4.6)

แกรมม่าในทอมอัลฟลา $\gamma = \frac{1}{1 - \alpha}$ (4.7)

อัตราส่วนของกระแสในตัวทรานซิสเตอร์ I_B และ I_C จากสมการ

$$I_C = h_{FE} I_B \quad (4.8)$$

หรือ

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

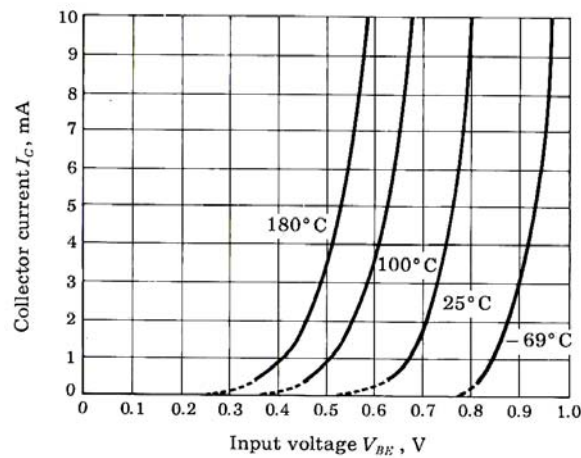
ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} I_E &= I_B + h_{FE} I_B \\ &= (1 + h_{FE}) I_B \\ &\cong I_C \end{aligned}$$

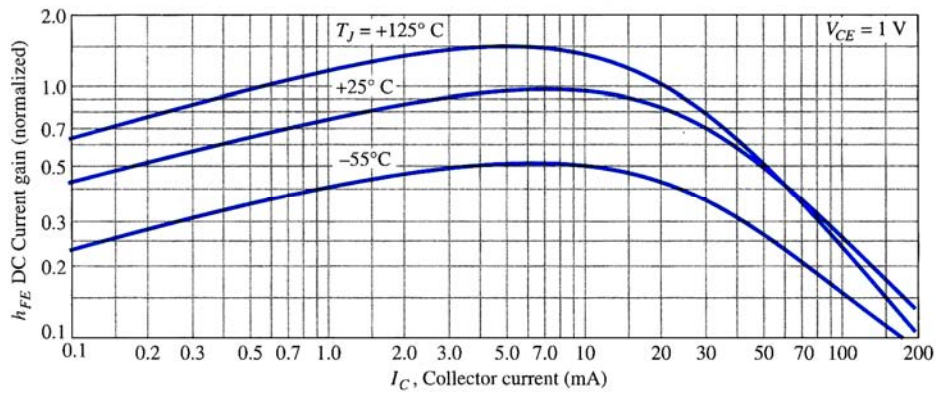
และ

$$I_C = I_{C(\text{majority})} + I_{CBO(\text{minority})} \quad (4.9)$$

เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานที่อุณหภูมิที่ต่างจากอุณหภูมิห้องก็จะทำให้ค่าของ V_{BE} และค่า h_{FE} เปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ แรงดัน V_{BE}



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่า h_{FE}

เมื่อนำเอาทรานซิสเตอร์ไปใช้งานจริง จะพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นคือ ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะมีคุณสมบัติและจุดทำงานที่แตกต่างกันออกไป ถ้าให้กระแสไหลในวงจรมากเกินไปจะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัวได้ และถ้าลดกระแสมากเกินไปก็อาจจะทำให้ถึงจุดคัทออฟได้

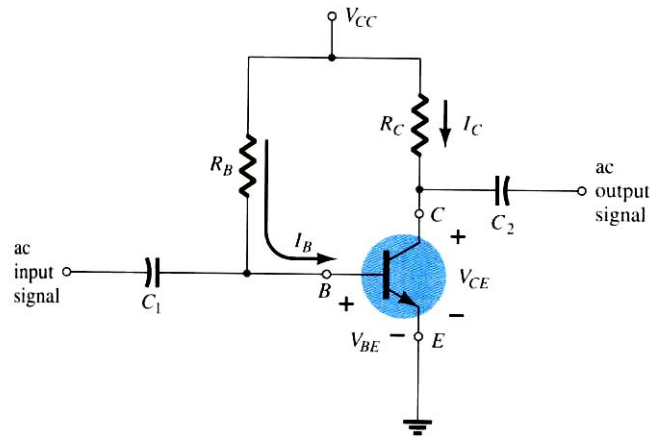
ปัญหาอีกอย่างหนึ่งคือ เวลาใช้งานเมื่อทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต้องการกระแสไม่เท่ากันหรือจุดทำงานแตกต่างกันไปแล้วแต่เบอร์ของทรานซิสเตอร์ จึงจำเป็นที่แหล่งจ่ายจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่เวลาใช้งานจริงจะใช้แหล่งจ่ายหลาย ๆ ภาค ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช้เหตุ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการทำงานให้กับทรานซิสเตอร์หรือที่เรียกว่า การจัด ไบอัสทรานซิสเตอร์

การ ไบอัสทรานซิสเตอร์แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

- การ ไบอัสแบบคงที่ (Fixed Biasing)
- การ ไบอัสแบบป้อนกลับ (Self Biasing)
- การ ไบอัสแบบสเตบิไลซ์ (Stabilize Biasing)

4.1 การไบอัสแบบคงที่

เป็นการไบอัสแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งเป็นการพิจารณาวงจรไบอัสแบบคงที่ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามาทาง อินพุต ซึ่ง C_1 เป็นตัวเก็บประจุทำหน้าที่ คัปปลิ่งสัญญาณอินพุต เข้ามายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้กระแสเบสแปรไปตามอินพุต และกระแสคอลเลกเตอร์ก็จะแปรผันตามกระแสเบส ทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดใหญ่กว่าอินพุต และจะถูกนำออกไปยังวงจรอื่นโดย C_2



รูปที่ 4.3 วงจรไบอัสแบบคงที่

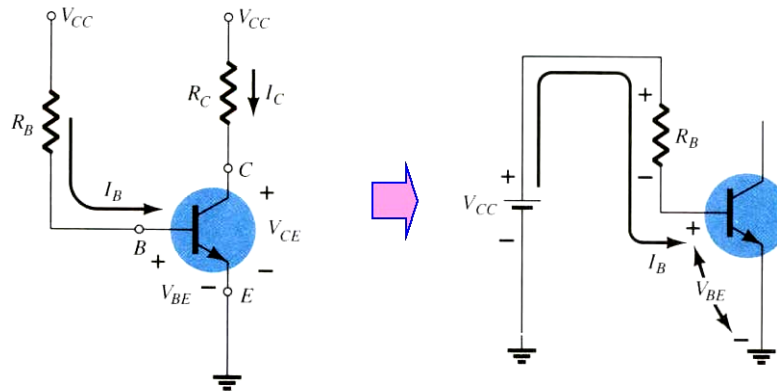
วงจรตามรูปที่ 4.3 ความต้านทาน R_B เป็นความต้านทานที่กำหนดค่ากระแส I_B โดยมี แรงดัน V_{CC} จ่ายไบอัสตรงให้กับขา B เทียบกับขา E เมื่อกระแส I_B ไหลจะทำให้กระแส I_C ไหลด้วย ทรานซิสเตอร์เมื่อนำกระแสจะเกิดความร้อน ทำให้ความต้านทานรอยต่อระหว่างขา C และขา E ลดลง กระแส I_C จะไหลมากขึ้น ซึ่งถ้ายังจ่าย V_{BE} เท่าเดิม กระแส I_B จะไหลมากขึ้น นั่นหมายถึงไบอัสที่จ่าย ให้ขา B ของทรานซิสเตอร์มากเกินไป R_B ซึ่งถูกกำหนดไบอัสให้ขา B ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ไบอัสถูกจ่ายให้ขา B ของทรานซิสเตอร์มากขึ้นตลอดเวลา กระแส I_C ก็จะไหลมากขึ้นตลอดเวลา ทรานซิสเตอร์จะร้อนมากขึ้นทุกขณะจนชำรุดเสียหายได้

นอกจากนี้ I_{CBO} ยังมีความไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น ทรานซิสเตอร์ที่ทำจากเยอรมันเนียม ค่า I_{CBO} จะเพิ่มขึ้นประมาณหนึ่งเท่าตัวทุก ๆ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เป็นผลให้ค่าของกระแส I_C มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ข้อดี ใช้อุปกรณ์น้อย

ข้อเสีย ไม่คงที่ต่ออุณหภูมิ ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบต่อเนื่องได้

จากวงจรที่ในรูปที่ 4.3 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วงจร คือวงจรการไบอัสทางอินพุต และ เอาต์พุต



รูปที่ 4.4 วงจรทางด้านอินพุตของการไบอัสแบบคงที่

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาโดยใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) จะได้สมการ

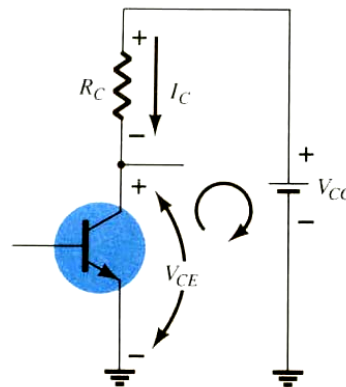
$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} \tag{4.10}$$

ดังนั้น I_B จึงถูกจำกัดค่าด้วย R_B ดังนี้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \tag{4.11}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} \tag{4.12}$$



รูปที่ 4.5 วงจรทางด้านเอาต์พุตของการไบอัสแบบคงที่

จากรูปที่ 4.5 เขียนสมการเพื่อหาค่า I_C และ V_{CE} จากความสัมพันธ์ของ I_C กับ I_B จะได้

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

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C R_C) \tag{4.13}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \tag{4.14}$$

ตัวอย่างที่ 4.1 จากวงจรการไบอัสแบบคงที่ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด Silicon กำหนดให้ $V_{CC} = 20 \text{ V}$ $R_B = 300 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2 \text{ k}\Omega$, $h_{FE} = 100$ จงคำนวณหาค่าแรงดันและกระแสไบอัสวิธีทำ

หาค่า I_B จากสมการ (4.11)

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \\ &= \frac{(20 - 0.7) \text{ V}}{300 \text{ k}\Omega} \\ &= 64.33 \mu\text{A} \end{aligned}$$

หาค่า I_C จากสมการ (4.8)

$$\begin{aligned} I_C &= h_{FE} I_B \\ &= 100 \times 64.33 \mu\text{A} \\ &= 6.43 \text{ mA} \end{aligned}$$

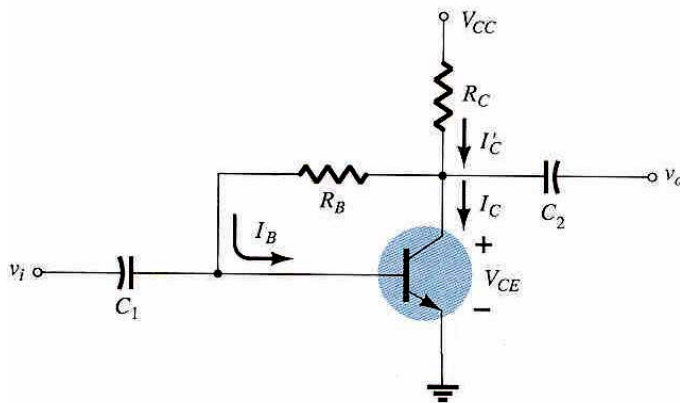
หาค่า V_{CE} จากสมการ (4.13)

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - (I_C R_C) \\ &= 20 \text{ V} - (6.43 \text{ mA} \times 2 \text{ k}\Omega) \\ &= 7.14 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

4.2 การไบอัสทรานซิสเตอร์แบบป้อนกลับหรือการไบอัสตัวเอง

ในวงจรไบอัสแบบป้อนกลับดังรูปที่ 4.6 แทนที่ R_B จะรับกระแสเบสมาจาก V_{CC} เหมือนกับวงจรไบอัสคงที่ กลับนำกระแสเบสมาจากขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 4.6 วงจรไบอัสแบบป้อนกลับ

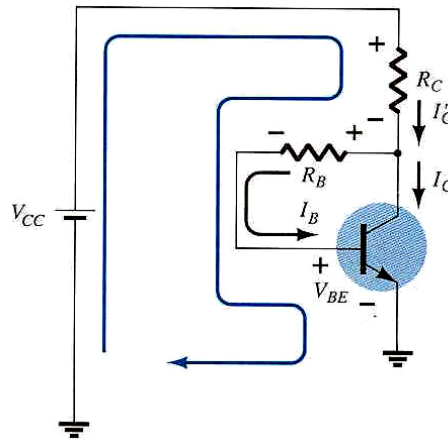
จากรูปที่ 4.6 R_B เป็นความต้านทานกำหนดกระแส I_B โดย R_B จะต่อเข้ากับขา C และขา B ของทรานซิสเตอร์ เกิดแรงดัน V_{BE} ง่ายเป็นแรงดันไบอัสเมื่อกระแส I_B ไหลก็จะทำให้กระแส I_C ไหลมากขึ้นทำให้ความต้านทานระหว่างขา C และขา E ของทรานซิสเตอร์ลดลง ทำให้ V_{CE} จะมีแรงดันตก

คร่อมลดลงด้วย ทำให้แรงดันที่จ่ายให้ขา B ลดลงด้วย เมื่อแรงดัน V_{BE} ลดลง จะทำให้กระแส I_B ไหลน้อยลง ทรานซิสเตอร์จะทำงานลดลงจนเข้าสู่สภาวะปกติ จะเห็นว่าวงจรไบอัสแบบป้อนกลับมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิดีกว่าการไบอัสแบบคงที่ เพราะมีการป้อนกลับแบบลบของ V_{CE} ซึ่งจะทำให้ I_C เพิ่มขึ้นน้อยกว่าในกรณีที่ต่อ R_B กับ V_{CC} โดยตรง

ข้อดี มีความคงที่ต่ออุณหภูมิ และสัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีความเพี้ยนต่ำ

ข้อเสีย มีอัตราขยายต่ำเพราะสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุต มีบางส่วนถูกป้อนกลับมามีอินพุต

จากวงจรในรูปที่ 4.6 สามารถแยกวงจรเพื่อพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจรทางด้าน อินพุต และวงจรทางด้านเอาต์พุต ดังนี้



รูปที่ 4.7 วงจรทางด้านอินพุตของการไบอัสแบบป้อนกลับ

จากรูปที่ 4.7 เมื่อพิจารณาโดยใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการ

$$V_{CC} - I_C' R_C - I_B R_B - V_{BE} = 0 \quad (4.15)$$

จะเห็นว่ากระแสที่ไหลผ่าน R_C ไม่ใช่ I_C แต่เป็น I_C' (เมื่อ $I_C' = I_C + I_B$) ซึ่งค่ากระแส I_C และ I_C' ตามปกติจะมีค่าสูงกว่า I_B มาก ๆ จึงประมาณได้ว่า $I_C' \cong I_C$ แต่ถ้าไม่ประมาณค่าของกระแสแล้วจะได้สมการของการหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$I_C' \cong I_C = h_{FE} I_B \quad (4.16)$$

และ $I_E \cong I_C$

จากสมการ (4.15) จะได้

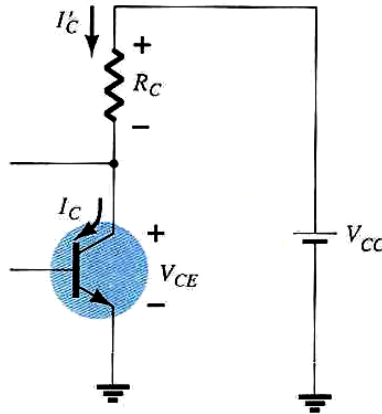
$$\begin{aligned} V_{CC} &= (I_C + I_B) R_C + I_B R_B + V_{BE} \\ V_{CC} - V_{BE} &= (I_C + I_B) R_C + I_B R_B \\ &= (h_{FE} I_B + I_B) R_C + I_B R_B \\ V_{CC} - V_{BE} &= (h_{FE} + 1) I_B R_C + I_B R_B \\ &= I_B [(h_{FE} + 1) R_C + R_B] \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่า I_B และ R_B ได้ดังนี้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(h_{FE} + 1)R_C + R_B} \quad (4.17)$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} - (h_{FE} + 1)R_C \quad (4.18)$$

และวงจรทางด้านเอาต์พุต ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 วงจรทางเอาต์พุตของการไบอัสแบบป้อนกลับ

จากวงจรในรูปที่ 4.8 เขียนสมการได้คือ

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

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_B) R_C \quad (4.19)$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C + I_B} \quad (4.20)$$

ตัวอย่างที่ 4.2 จากวงจรไบอัสแบบป้อนกลับ กำหนดให้

$V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_B = 50 \text{ k}\Omega$, $R_C = 980 \Omega$, $h_{FE} = 50$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่าแรงดันและกระแสไบอัส

วิธีทำ

หาค่า I_B จากสมการ (4.17)

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(h_{FE} + 1)R_C + R_B}$$

$$= \frac{(10 - 0.7) \text{ V}}{[(50 + 1) \times 980 \Omega] + 50 \text{ k}\Omega}$$

$$= 93 \mu\text{A}$$

หาค่า I_C จากสมการ (4.8)

$$\begin{aligned}
 I_C &= h_{FE} I_B \\
 &= 50 \times 93 \mu\text{A} \\
 &= 4.65 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

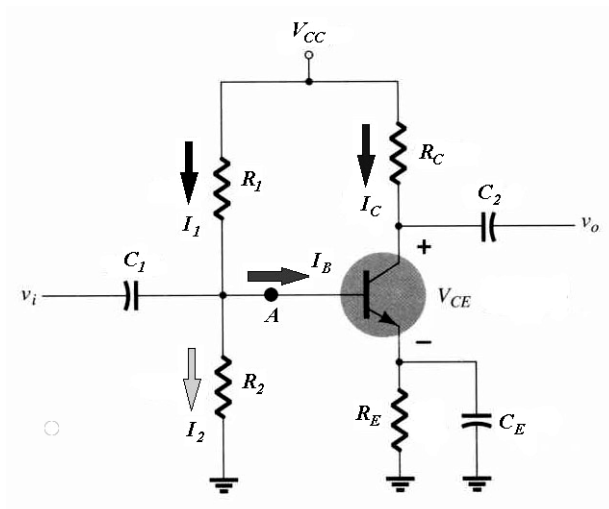
หาค่า V_{CE} จากสมการ (4.19)

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - (I_C + I_B) R_C \\
 &= 10 \text{ V} - [(4.65 \text{ mA} + 93 \mu\text{A}) \times 980 \Omega] \\
 &= 5.351 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ตอบ

4.3 การไบอัสทรานซิสเตอร์แบบสเตบิไลซ์

การไบอัสแบบสเตบิไลซ์อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิมิตเตอร์ไบอัส ซึ่งมักจะนิยมจัดวงจรแบบวงจรแบ่งแรงดันทางอินพุต ทำให้บางครั้งการจัดไบอัสแบบนี้ถูกเรียกว่าการไบอัสแบบแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Bias) คือการจ่ายแรงดันไบอัสที่ขา B ของทรานซิสเตอร์เป็นแบบไบอัส คงที่ ซึ่งถูกจัดเป็นวงจรแบ่งแรงดัน และใส่ความต้านทานที่ขา E ที่เรียกว่าความต้านทานสเตบิไลซ์ (Stabilize Resistor) เป็นตัวช่วยปรับการไบอัสให้ขา B ของทรานซิสเตอร์อย่างพอเหมาะให้กับที่ทรานซิสเตอร์ต้องการ ดังรูปที่ 4.9

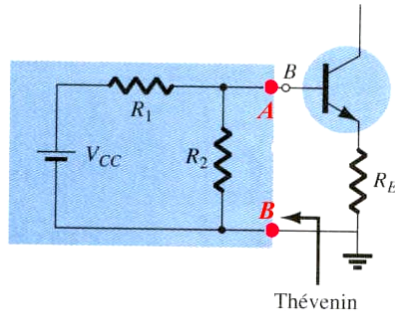


รูปที่ 4.9 วงจรไบอัสแบบสเตบิไลซ์

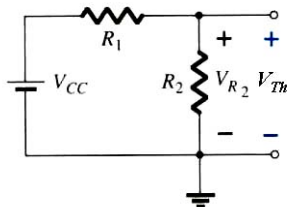
วงจรสเตบิไลซ์ไบอัสมีการ **ป้อนกลับแบบลบ** โดยใช้ตัวต้านทาน R_E ต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับกราวด์ แรงดันของเบสถูกกำหนดโดยตัวต้านทานแบ่งแรงดัน R_1, R_2 ปกติจะมีกระแสไหลใน R_1, R_2 มากกว่า I_B หลายเท่า ดังนั้นแรงดันที่เบสจึงค่อนข้างคงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ I_C เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อม R_E เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นผลให้ V_{BE} ลดลง จึงทำให้ I_B ไหลน้อยลง ซึ่ง I_B จะเป็นตัวควบคุม I_C ไหลลดลงเข้าสู่สภาวะปกติจากการป้อนกลับแบบลบด้วย และ C_E เป็นการลัดวงจรเมื่อมองวงจรด้วยเงื่อนไขไฟฟักระแสสลับ

ข้อดี มีความคงที่ต่ออุณหภูมิดีมาก R_E ที่เพิ่มขึ้นมาทำให้กระแส I_C ไหลคงที่

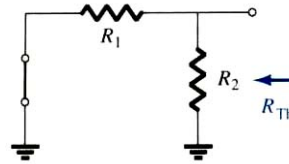
ข้อเสีย ใช้อุปกรณ์ในการต่อวงจรมากค่าใช้จ่ายก็ขึ้นตามไปด้วย



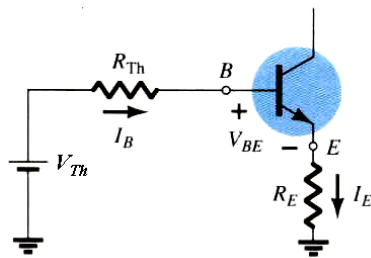
ก. การแทนวงจรของเทวินินที่อินพุตของวงจร



ข. การหา V_{Th}



ค. การหา R_{Th}



ง. การแทน R_{Th} และ V_{Th}

รูปที่ 4.10 วงจรสมมูลของการไบอัสแบบสแตบิไลซ์

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ห้วงจร จะใช้**ทฤษฎีของเทวินิน**แปลงวงจรไบอัสทางด้านอินพุต (ขา B) โดยพิจารณาเฉพาะวงจรกระแสตรง (ตัวเก็บประจุจะเปรียบเป็นสวิตช์เปิดวงจร) เมื่อมองที่ขาเบส จะเห็นว่าแรงดันระหว่างขั้ว AB เป็นตัวสร้างกระแส I_B ดังนั้นจึงสามารถแทนวงจรที่ประกอบด้วย V_{CC} , R_1 และ R_2 ด้วยแหล่งกำเนิดแรงดัน V_{Th} และ R_{Th} สามารถหาค่าได้ดังนี้

1. แรงดัน V_{Th} คือแรงดันระหว่างจุด AB สามารถหาได้จากการแบ่งแรงดันดังรูปที่ 4.10 ข.

$$V_{Th} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2} \tag{4.21}$$

2. ความต้านทานภายใน R_{Th} คือความต้านทานที่มองเห็นเมื่อมองเข้าระหว่างขั้ว AB ในวงจรรูปที่ 4.10 ก. โดยมีการลัดวงจรของแหล่งจ่ายแรงดันและเปิดวงจรแหล่งจ่ายกระแสทั้งหมดผลก็คือเห็น R_1 ต่อขนานกับ R_2 ดังรูปที่ 4.10 ค. ซึ่งจะได้สมการ R_{Th} คือ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.22)$$

เมื่อแทนวงจรในรูปที่ 4.9 ด้วยรูปที่ 4.10 ง. แล้ว จะสามารถเขียนสมการของวงจรที่ขาเบสได้ เป็นสมการทางอินพุต เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุต เข้ามาได้ คือ

$$V_{Th} = I_B R_B + V_{BE} + (I_C + I_B) R_E \quad (4.23)$$

และ

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (h_{FE} + 1) R_E} \quad (4.24)$$

ส่วนทางเอาต์พุต สามารถเขียนสมการได้คือ

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

จาก $I_C = h_{FE} I_B$ ซึ่งถ้าสมมติว่า $h_{FE} \gg 1$ ซึ่งจะทำให้ I_C จึงมากกว่า I_B มาก ดังนั้นจากสมการเอาต์พุตจะได้

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \quad (4.25)$$

นอกจากนี้เพื่อให้การออกแบบวงจรง่ายขึ้น จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า $I_1 = I_2 + I_B$ โดยสัดส่วนของกระแสจะหาได้จาก

$$\eta = \frac{I_B}{I_2} \approx 0.1 \quad \text{หรือ} \quad I_2 = 10 I_B \quad (4.26)$$

และกำหนดค่าแรงดันตกคร่อม R_E มีค่าเท่ากับ $V_E \cong 0.1 V_{CC}$

และสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$R_E = \frac{V_E}{I_C + I_B} \quad (4.27)$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} \quad (4.28)$$

$$V_{Th} = V_{BE} + V_E$$

$$R_2 = \frac{V_{Th}}{10 I_B} \quad (4.29)$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} R_2}{V_{Th}} - R_2 \quad (4.30)$$

ตัวอย่างที่ 4.3 วงจรสเตบิลไลซ์ไบอัสมี $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $R_E = 500 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 17.6 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$
กำหนดให้ $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $h_{FE} = 50$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่า I_C , V_{CE}
วิธีทำ

หาค่าของ V_{Th}

$$\begin{aligned} V_{Th} &= \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{10 \text{ V} \times 10 \text{ k}\Omega}{17.6 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \\ &= 3.62 \text{ V} \end{aligned}$$

หาค่าของ R_{Th}

$$\begin{aligned} R_{Th} &= \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{17.6 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ k}\Omega}{17.6 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \\ &= 6376.81 \Omega \end{aligned}$$

หาค่าของ I_B

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (h_{FE} + 1)R_E} \\ &= \frac{(3.26 - 0.7) \text{ V}}{6376.81 + [(50 + 1) \times 500 \text{ k}\Omega]} \\ &= 0.1 \mu\text{A} \end{aligned}$$

หาค่าของ I_C

$$\begin{aligned} I_C &= h_{FE}I_B \\ &= 50 \times 0.1 \mu\text{A} \\ &= 5 \mu\text{A} \end{aligned}$$

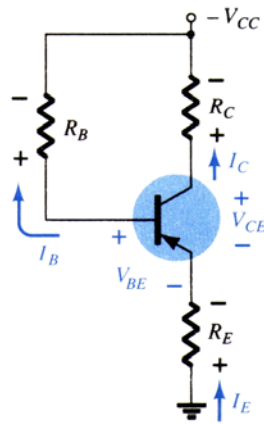
หาค่าของ V_{CE}

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\ &= 10 \text{ V} - [5 \mu\text{A} \times (1 \text{ k}\Omega + 500 \text{ k}\Omega)] \\ &= 7.495 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

4.4 ทรานซิสเตอร์แบบ พีเอ็นพี (PNP Transistors)

หลักการวิเคราะห์ที่ใช้กับทรานซิสเตอร์ NPN นำมาใช้กับทรานซิสเตอร์ PNP ได้ คือ อันดับแรกต้องหาค่า I_B ก่อน แล้วใช้ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์หาค่าที่ยังไม่ทราบ ความแตกต่างประการเดียวระหว่างสมการของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ประเภทก็คือ เครื่องหมายของค่าต่าง ๆ



รูปที่ 4.11 การจัดไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แบบสเตบิลไลซ์

จากรูปที่ 4.11 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะหาค่าได้เหมือนกับทรานซิสเตอร์แบบ NPN แต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะตรงกันข้าม และเมื่อใช้ KVL มาพิจารณา ลูปของขา B-E จะได้สมการคือ

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

แทนค่า $I_E = (h_{FE} + 1)I_B$ ลงในสมการจะได้

$$\begin{aligned} 0 &= V_{CC} - I_B R_B + V_{BE} - (h_{FE} + 1)I_B R_E \\ &= V_{CC} + V_{BE} - I_B [R_B + (h_{FE} + 1)R_E] \end{aligned} \quad (4.31)$$

เมื่อทรานซิสเตอร์ผลิตจากสารซิลิกอนจะมี $V_{BE} = -0.7V$ เมื่อแทนค่า V_{BE} ลงในสมการนี้จะได้สมการหากระแส I_B ดังนี้

$$I_B = \frac{V_{CC} + V_{BE}}{R_B + (h_{FE} + 1)R_E} \quad (4.32)$$

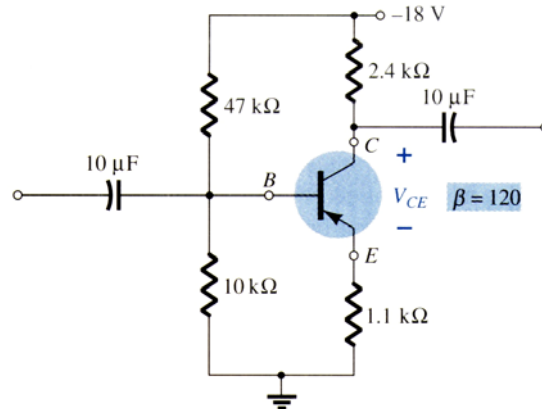
ข้อควรจำ คือ I_B ของทรานซิสเตอร์แบบ NPN กับ PNP มีทิศทางตรงกันข้ามเสมอ

ส่วนสมการทางเอาต์พุต เมื่อนำ KVL มาพิจารณาที่ลูปของขา C-E จะได้

$$\begin{aligned} -V_{CC} &= -I_C R_C + V_{CE} - I_E R_E \\ V_{CE} &= -V_{CC} + I_C R_C + I_E R_E \\ &= -V_{CC} + h_{FE} I_B R_C + (h_{FE} + 1)I_B R_E \\ &= -V_{CC} + I_B [h_{FE} R_C + (h_{FE} + 1)R_E] \end{aligned} \quad (4.33)$$

จากสมการ (4.33) ค่าของ V_{CE} จะมีค่าติดลบ เพราะค่าของ V_{CC} มีค่ามากกว่า $I_B [h_{FE} R_C + (h_{FE} + 1)R_E]$ นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 4.4 จากรูปที่ 4.12 เป็นวงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน จงหาค่า V_{CE}



รูปที่ 4.12 วงจรการไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แบบแบ่งแรงดัน

วิธีทำ

เงื่อนไขในการไบอัสแบบแบ่งแรงดันที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ

$$\beta R_E \geq 10R_2$$

$$120 \times 1.1 \text{ k}\Omega \geq 10 \times 10 \text{ k}\Omega$$

$$132 \text{ k}\Omega \geq 100 \text{ k}\Omega \quad (\text{เป็นจริงตามเงื่อนไข})$$

จากรูปที่ 4.12 หาค่าแรงดันที่ขาเบส จะได้

$$\begin{aligned} V_B &= \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{10 \text{ k}\Omega \times (-18 \text{ V})}{47 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \\ &= -3.16 \text{ V} \end{aligned}$$

พิจารณาวงจรทางด้านอินพุตโดยใช้ KVL จะได้สมการ คือ

$$\begin{aligned} V_B &= V_{BE} + V_E \\ V_E &= V_B - V_{BE} \\ &= (-3.16 \text{ V}) - (-0.7 \text{ V}) \\ &= (-3.16 + 0.7) \text{ V} \\ &= -2.46 \text{ V} \end{aligned}$$

หาค่ากระแส I_E ได้คือ

$$\begin{aligned} I_E &= \frac{V_E}{R_E} = \frac{-2.46 \text{ V}}{1.1 \text{ k}\Omega} \\ &= -2.24 \text{ mA} \end{aligned}$$

เครื่องหมายลบที่เกิดขึ้นหมายถึงทิศทางการไหลของกระแสจริงจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม

กับที่ทำการคำนวณ

หาค่ากระแส I_B จากสมการ $I_E = (h_{FE} + 1)I_B$ จะได้

$$I_B = \frac{I_E}{(h_{FE} + 1)} = \frac{2.24 \text{ mA}}{121}$$

$$= 18.5 \text{ } \mu\text{A}$$

พิจารณาวงจรทางด้านเอาต์พุตโดยใช้ KVL จะได้สมการ คือ

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

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

$$V_{CE} = -V_{CC} + h_{FE} I_B R_C + (h_{FE} + 1) I_B R_E$$

$$= -V_{CC} + I_B [h_{FE} R_C + (h_{FE} + 1) R_E]$$

แทนค่า

$$V_{CE} = (-18) + \{18.5 \mu\text{A} \times [(120 \times 2.4 \text{ k}\Omega) + (121 \times 1.1 \text{ k}\Omega)]\}$$

$$= (-18) + \{18.5 \mu\text{A} \times (421.1 \text{ k}\Omega)\}$$

$$= (-18 + 7.79) \text{ V}$$

$$= -10.2 \text{ V}$$

ตอบ