

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ และวงจรไบแอส

หัวข้อเนื้อหา

1. ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์
2. การไบแอสวงจรรขยายด้วยทรานซิสเตอร์
3. บทสรุป

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์
2. เพื่อทดลองหาค่าคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์
3. เพื่อสามารถอธิบายผลจากการทดลองได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
 - 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
 - 1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
 - 1.3 วิธีสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน
 - 2.1 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ และวงจรไบแอส
 - 2.2 แสดงตัวอย่างการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ และการออกแบบ
 - 2.3 ให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัด
 - 2.4 ให้การบ้านกับนักศึกษา

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. กระดานไวท์บอร์ด
3. โปรเจ็คเตอร์

การวัดผลและการประเมินผล

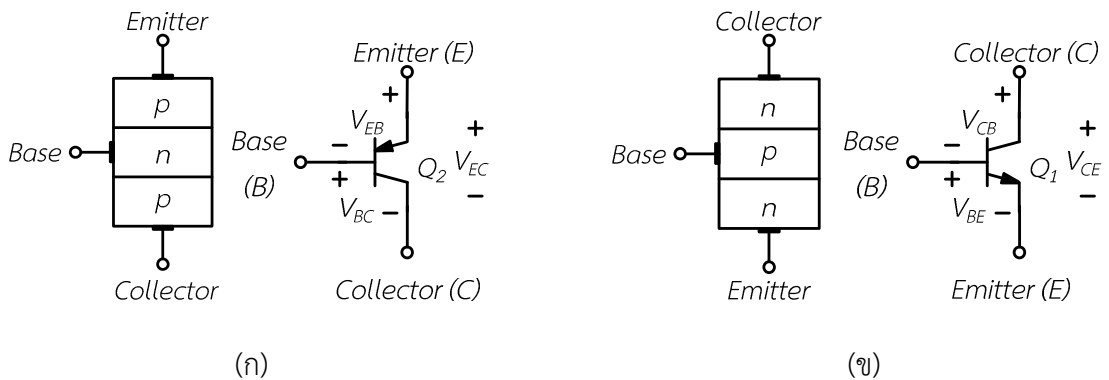
1. การเข้าเรียน
2. การบ้าน
3. สอบกลางภาค
4. สอบปลายภาค

บทที่ 3

ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ และวงจรไบแอส

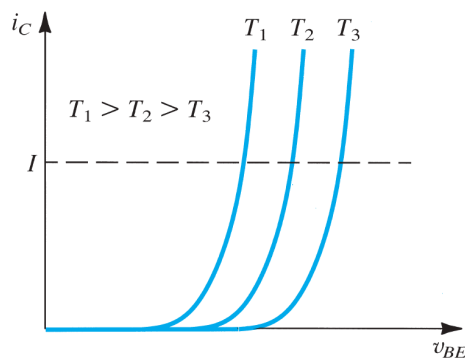
3.1 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (bipolar junction transistor : BJT) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกสร้างจากสารกึ่งตัวนำซิลิกอน (silicon: Si) หรือเยอรมันเนียม (germanium: Ge) ที่ถูกได้ปให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพี ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิดพีต่อกับขาคอลเล็กเตอร์, ชนิดเอ็นต่อกับขาเบส และชนิดพีอีกข้างต่อกับขาอีมิเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.1 (ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นต่อกับขาคอลเล็กเตอร์ ชนิดพีต่อกับขาเบส และชนิดเอ็นอีกข้างต่อกับขาอีมิเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.1 (ข)



ภาพที่ 3.1 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (ก) ชนิด PNP และ (ข) ชนิด NPN

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทุกชนิด อุณหภูมิมีผลต่อจุดการทำงานของอุปกรณ์ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดิม แรงดันตกคร่อมเบสกับอีมิเตอร์ (V_{BE}) ที่ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์นั้นเริ่มไหลนั้นลดลง ซึ่งสังเกตได้จากภาพที่ 3.2 อุณหภูมิ $T_1 > T_2 > T_3$ แรงดัน V_{BE} ที่ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ที่อุณหภูมิ T_1 น้อยกว่า T_3 ย่านการทำงานของทรานซิสเตอร์มี 3 ย่านดังนี้



ภาพที่ 3.2 กราฟผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดัน V_{BE} ที่มา (Sedra and Smith, 2016, p. 371)

3.1.1 ย่านคัทออฟ

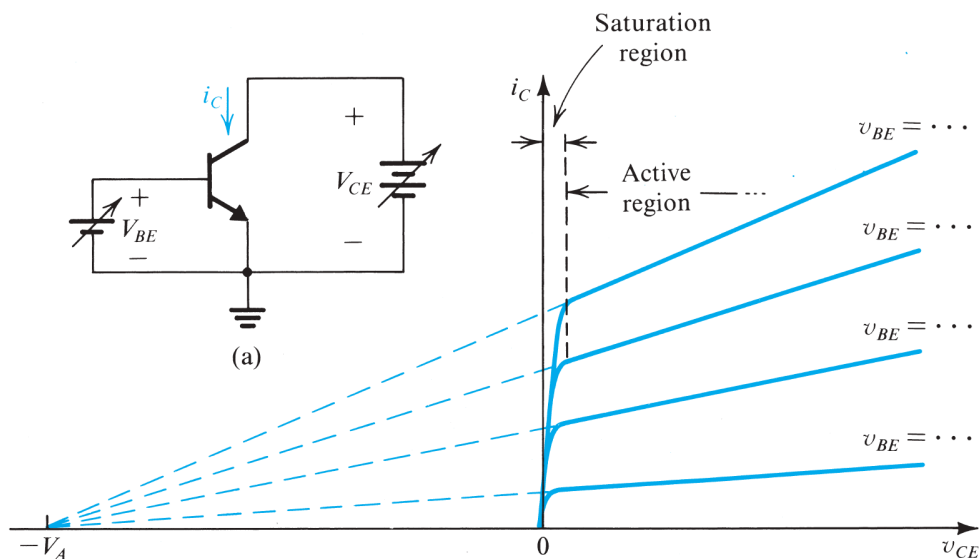
ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านคัทออฟ (cutoff region) จะมีลักษณะการไบแอสแรงดันระหว่างเบสและอิมิตเตอร์ (V_{BE}) น้อยกว่าแรงดันขีดเริ่มของไดโอด ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ไม่กระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) ไหลผ่านทรานซิสเตอร์

3.1.2 ย่านอิ่มตัว

ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านอิ่มตัว (saturation region) จะทำงานในช่วงที่แรงดัน V_{BE} มีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่มของไดโอด และมีกระแสคอลเล็กเตอร์นั้นไหลแบบเชิงเส้นด้วยการเพิ่มแรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์ และอิมิตเตอร์ (V_{CE}) เล็กน้อย

3.1.3 ย่านฟอร์เวิร์ดแอกทีฟ

ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอกทีฟ (forward active region) จะถูกไบแอสให้กระแส I_C ค่อนข้างคงที่ถึงแม้จะเพิ่มแรงดัน V_{CE} มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 กระแส i_C และแรงดัน v_{CE} ที่มา (Sedra and Smith, 2016, p. 372)

ตัวอย่างที่ 3.1 ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่างจากชนิด PNP อย่างไร

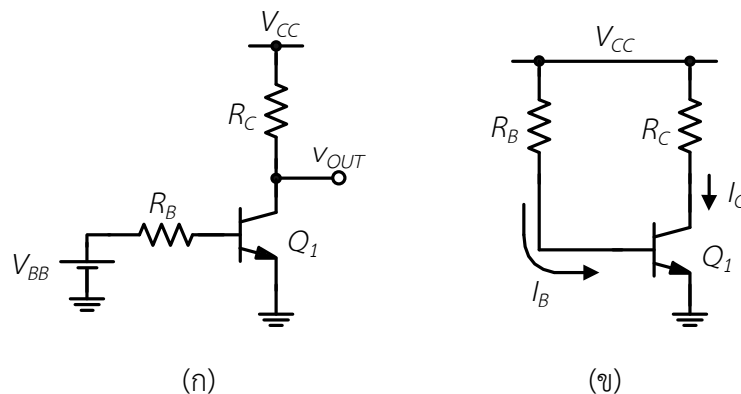
ตอบ ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะต้องไบแอสแรงดัน V_{BE} ให้มีลักษณะไบแอสและป้อนกระแส I_B ไหลเข้าขาเบส แล้วกระแส I_C ปริมาณมากจะไหล ขณะที่ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะต้องไบแอสแรงดัน V_{EB} ให้มีลักษณะไบแอสตรงและกระแส I_B ไหลออกจากขาเบส แล้วกระแส I_C ปริมาณมากจะไหลออกจากทรานซิสเตอร์

3.2 การไบแอสวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์

การใช้งานทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในวงจรขยายจะต้องมีการจัดไบแอสที่เหมาะสมเพื่อเลือกจุดทำงานที่เหมาะสม (quiescent operation point: Q-point) เพื่อนำวงจรไปขยายสัญญาณขนาดเล็กตามที่ได้ออกแบบไว้ วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์มีดังนี้ 1) วงจรไบแอสคงที่ (fixed bias circuit) 2) วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดัน (voltage divider bias circuit) และ 3) ไบแอสด้วยตัวเอง (self-bias circuit)

3.2.1 วงจรไบแอสคงที่

ภาพที่ 3.4 (ก) แสดงวงจรไบแอสคงที่ (fixed-bias circuit) ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (Q_1) แรงดันไบแอส (V_{BB}) และแรงดันไฟเลี้ยง (V_{CC}) ตัวต้านทานที่ขาเบส (R_B) ทำหน้าที่กำหนดกระแสเบส (I_B) ที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ และตัวต้านทานที่ขาคอลเล็กเตอร์ (R_C) หน้าที่กำหนดแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์ ขณะที่ภาพที่ 3.4 (ข) แสดงวงจรไบแอสคงที่ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ ตัวต้านทาน R_B และ R_C และแรงดันไฟเลี้ยง V_{CC} สมมติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ กระแส I_B ที่สัมพันธ์กับแรงดัน V_{BB} มีค่าเท่ากับ



ภาพที่ 3.4 วงจรไบแอสคงที่ (ก) ไบแอสด้วย V_{BB} และ (ข) ไบแอสด้วย V_{CC}

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (3.1)$$

กรณีของกระแส I_B ที่สัมพันธ์กับแรงดัน V_{CC} มีค่าเท่ากับ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (3.2)$$

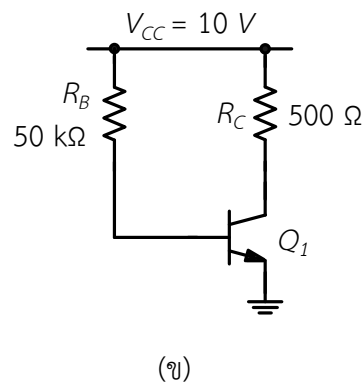
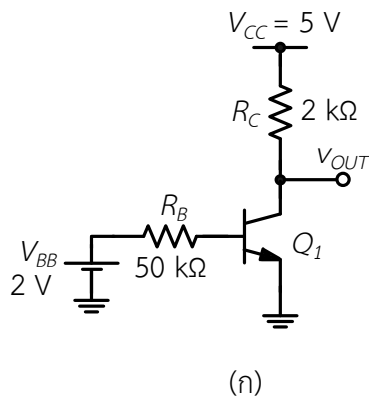
และกระแส I_C มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.3)$$

แรงดัน V_{CE} ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.4)$$

ตัวอย่างที่ 3.2 ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์แบบแรงดันคงที่ กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี $\beta = 50$ ทำการหาค่า I_B I_C และ V_{CE} ของวงจรในภาพ 3.5 (ก) และ 3.5 (ข) วิธีทำ (ก) วิธีทำ หากกระแส I_B ในภาพที่ 3.5 (ก) ด้วยการสมมติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ ซึ่งกระแส I_B เท่ากับ



แก้ไขรูป ภาพที่ 3.5 วงจรไบแอสคงที่

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} \quad (3.5)$$

แทนค่า $V_{BB} = 2 \text{ V}$ $R_{BB} = 50 \text{ k}\Omega$ และ $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$$I_B = \frac{2\text{V} - 0.7\text{V}}{50\text{k}\Omega} \quad (3.6)$$

$$= 0.026 \text{ mA}$$

และกระแส I_C สามารถเขียนได้ว่า

$$I_C = \beta I_B \quad (3.7)$$

แทนค่า I_B และ $\beta = 50$ กระแส I_C มีค่าเท่ากับ

$$I_C = 50 \times 0.026 \text{ mA} \quad (3.8)$$

$$= 1.3 \text{ mA}$$

แรงดัน V_{CE} สามารถเขียนได้ว่า

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.9)$$

แทนค่า $V_{CC} = 5 \text{ V}$ $R_C = 2 \text{ k}\Omega$ และ $I_C = 1.3 \text{ mA}$ แรงดัน V_{CE} มีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = 5 \text{ V} - (1.3 \text{ mA} \times 2 \text{ k}\Omega) \quad (3.10)$$

$$= 2.4 \text{ V}$$

(ข) วิธีทำ หากกระแส I_B ในภาพที่ 3.5 (ข) ด้วยการสมมุติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ ซึ่งกระแส I_B เท่ากับ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (3.11)$$

แทนค่า $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_B = 50 \text{ k}\Omega$ และ $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$$I_B = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{50\text{k}\Omega} \quad (3.12)$$

$$= 0.186 \text{ mA}$$

และหากกระแส I_C ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.13)$$

แทนค่า I_B และ $\beta = 50$ กระแส I_C มีค่าเท่ากับ

$$I_C = 50 \times 0.186 \text{ mA} \quad (3.14)$$

$$= 9.3 \text{ mA}$$

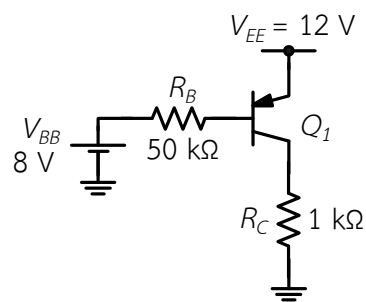
แรงดัน V_{CE} เขียนได้ว่า

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.15)$$

แทนค่า $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_C = 500 \text{ } \Omega$ และ $I_C = 9.3 \text{ mA}$ แรงดัน V_{CE} มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{CE} &= 10 \text{ V} - (9.3 \text{ mA} \times 500 \text{ } \Omega) \\ &= 5.35 \text{ V} \end{aligned} \quad (3.16)$$

ตัวอย่างที่ 3.3 กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ในภาพที่ 3.6 มี $\beta = 50$ ทำการหาค่า I_B , I_C และ V_{EC}



ภาพที่ 3.6 วงจรไบแอสคงที่ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

วิธีทำ หากระแส I_B ในภาพที่ 3.6 ด้วยการสมมติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ ซึ่งกระแส I_B เท่ากับ

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{EB} - V_{BB}}{R_B} \quad (3.17)$$

แทนค่า $V_{EE} = 12 \text{ V}$, $R_B = 50 \text{ k}\Omega$ และ $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{12\text{V} - 0.7\text{V} - 8\text{V}}{50\text{k}\Omega} \\ &= 0.066 \text{ mA} \end{aligned} \quad (3.18)$$

และหากระแส I_C ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.19)$$

แทนค่า I_B และ $\beta = 50$ กระแส I_C มีค่าเท่ากับ

$$I_C = 50 \times 0.066 \text{ mA} = 3.3 \text{ mA} \quad (3.20)$$

แรงดัน V_{CE} หาได้ด้วยสมการ

$$V_{EC} = V_{EE} - I_C R_C \quad (3.21)$$

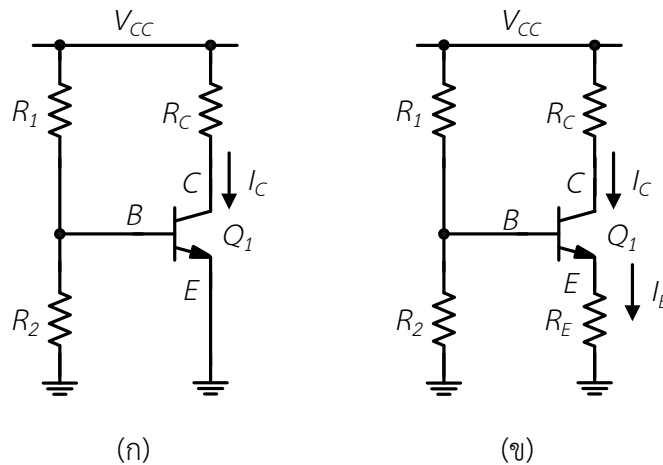
แทนค่า $V_{EE} = 12 \text{ V}$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ และ $I_C = 3.3 \text{ mA}$ แรงดัน V_{CE} มีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = 12 \text{ V} - (3.3 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) \quad (3.22)$$

$$= 8.7 \text{ V}$$

3.2.2 วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดัน

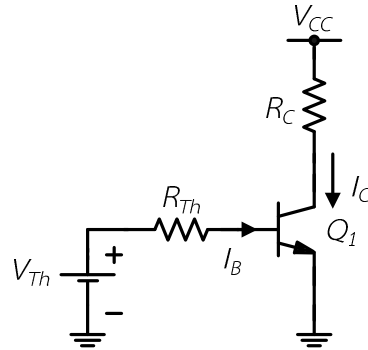
ภาพที่ 3.7 (ก) แสดงวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์แบบแบ่งแรงดัน (voltage divider bias circuit) ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไบแอสให้กับทรานซิสเตอร์ Q_1 และตัวต้านทาน R_C ขณะที่ภาพที่ 3.7 (ข) แสดงวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์แบบแบ่งแรงดันซึ่งมีตัวต้านทาน R_E เพิ่มเข้ามาในวงจร ซึ่งการไบแอสวงจรถักษณะนี้วงจรจะมีเสถียรภาพดี เนื่องจากวงจรมีการป้อนกลับแบบลบผ่านตัวต้านทาน R_E แต่อัตราขยายของวงจรจะน้อยกว่าวงจบบิแอสแบบไม่ได้ต่อ R_E ซึ่งการหาอัตราขยายของวงจรจะกล่าวในบทที่ 4



ภาพที่ 3.7 (ก) วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดัน และ (ข) วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันและมี R_E

การวิเคราะห์ห้วงจรไบแอสทั้ง 2 วงจร จะต้องแทนวงจрд้านอินพุตของวงจรด้วยวงจรเทียบเคียงแบบเทวินิน ภาพที่ 3.8 แสดงวงจรไบแอสที่เทียบเคียงด้วยวิธีของเทวินินของวงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันเทวินิน (V_{Th}) มีค่าเท่ากับ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (3.23)$$



ภาพที่ 3.8 วงจรไบแอสที่เทียบเคียงด้วยวิธีของเทวินิน

และค่าความต้านทานของวงจรเทียบเคียงเทวินิน (R_{Th}) เท่ากับ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.24)$$

กระแส I_B สามารถเขียนได้ว่า

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th}} \quad (3.25)$$

และกระแส I_C สามารถเขียนได้ว่า

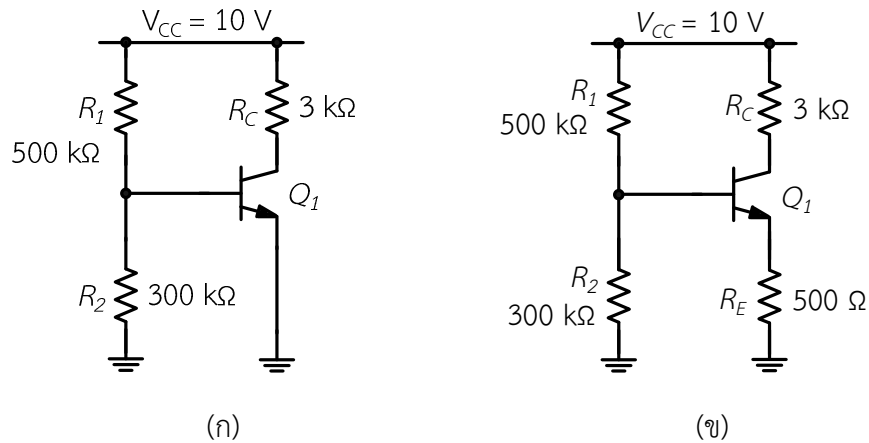
$$I_C = \beta I_B \quad (3.26)$$

แรงดัน V_{CE} สามารถเขียนได้ว่า

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.27)$$

ตัวอย่างที่ 3.3 กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในภาพที่ 3.9 มี $\beta = 100$ ให้หาค่า I_B , I_C และ V_{CE} วิธีทำ (ก) วิธีทำ หากกระแส I_B ด้วยวิธีการเทวินิน ซึ่งเราจะทำการหาค่าแรงดันเทวินินได้จากสมการ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (3.28)$$



ภาพที่ 3.9 (ก) วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดัน และ (ข) วงจรไบแอสแบบแบ่งแรงดันและมี R_E

$$V_{Th} = \frac{300\text{k}\Omega}{500\text{k}\Omega + 300\text{k}\Omega} \times 10\text{V} \quad (3.29)$$

$$= 3.75 \text{ V}$$

และค่า R_{Th} มีค่าเท่ากับ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.30)$$

$$R_{Th} = \frac{500\text{k}\Omega \times 300\text{k}\Omega}{500\text{k}\Omega + 300\text{k}\Omega} \quad (3.31)$$

$$= 187.5 \text{ k}\Omega$$

จากภาพที่ 3.8 แสดงวงจรไบแอสที่เทียบเคียงด้วยวิธีของเทวินิน ซึ่งกระแส I_B สามารถเขียนได้ว่า

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th}} \quad (3.32)$$

กระแส I_B มีค่าเท่ากับ

$$I_B = \frac{3.75\text{V} - 0.7\text{V}}{187.5\text{k}\Omega} \quad (3.33)$$

$$= 16.26 \text{ }\mu\text{A}$$

และหากระแส I_C ได้ว่า

$$I_C = \beta I_B \quad (3.34)$$

$$I_C = 100 \times 16.26 \mu\text{A} \quad (3.35)$$

$$= 1.626 \text{ mA}$$

แรงดัน V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.36)$$

$$= 10 \text{ V} - (1.626 \text{ mA} \times 3 \text{ k}\Omega) \quad (3.37)$$

$$= 5.122 \text{ V}$$

(ข) วิธีทำ กระแส I_B ด้วยวิธีการเทวินิน ซึ่งแรงดันเทวินิน และค่าความต้านทานเทวินินมีค่าเท่ากับข้อ

(ก) กระแสเบสที่ใช้ในการไบแอส (I_B) คำนวณได้จากสมการ

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \quad (3.38)$$

$$I_B = \frac{3.75\text{V} - 0.7\text{V}}{187.5\text{k}\Omega + (101 \times 500\Omega)} \quad (3.39)$$

$$= 12.8 \mu\text{A}$$

และกระแส I_C มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.40)$$

$$I_C = 100 \times 12.8 \mu\text{A} \quad (3.41)$$

$$= 1.28 \text{ mA}$$

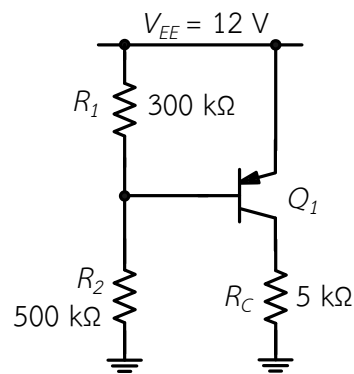
แรงดัน V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (3.42)$$

$$V_{CE} = 10 \text{ V} - (1.28 \text{ mA} \times 3.5 \text{ k}\Omega) \quad (3.43)$$

$$= 5.52 \text{ V}$$

ตัวอย่างที่ 3.4 กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ของวงจรในภาพที่ 3.10 มี $\beta = 80$ ให้หาค่า I_B , I_C และ V_{EC}



ภาพที่ 3.10 วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

วิธีทำ หากกระแส I_B ด้วยวิธีการเทวินิน ซึ่งเราจะทำการหาค่าแรงดันเทวินินได้จากสมการ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (3.44)$$

$$V_{Th} = \frac{500 \text{ k}\Omega}{500 \text{ k}\Omega + 300 \text{ k}\Omega} \times 12 \text{ V} \quad (3.45)$$

$$= 7.5 \text{ V}$$

และค่า R_{Th} มีค่าเท่ากับ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.46)$$

$$R_{Th} = \frac{500 \text{ k}\Omega \times 300 \text{ k}\Omega}{500 \text{ k}\Omega + 300 \text{ k}\Omega} \quad (3.47)$$

$$= 187.5 \text{ k}\Omega$$

กระแส I_B สามารถเขียนได้ว่า

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{Th} - V_{EB}}{R_{Th}} \quad (3.48)$$

กระแส I_B มีค่าเท่ากับ

$$I_B = \frac{12V - 7.5V - 0.7V}{187.5k\Omega} \quad (3.49)$$

$$= 20.26 \mu A$$

และกระแส I_C มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.50)$$

$$I_C = 80 \times 20.26 \mu A \quad (3.51)$$

$$= 1.62 \text{ mA}$$

แรงดัน V_{CE} ของทรานซิสเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$V_{EC} = V_{EE} - I_C R_C \quad (3.52)$$

$$= 12 \text{ V} - (1.26 \text{ mA} \times 5 \text{ k}\Omega) \quad (3.53)$$

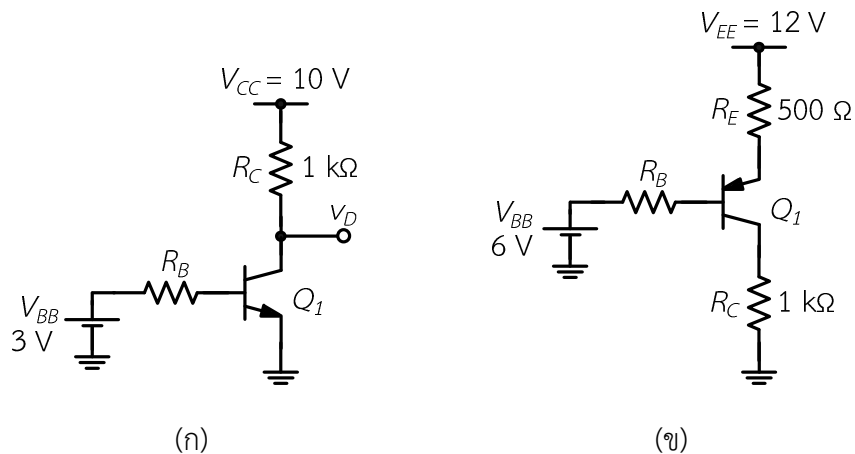
$$= 5.7 \text{ V}$$

3.4 บทสรุป

ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ถูกนำไปใช้ออกแบบเป็นวงจรขยาย และวงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์จำเป็นต้องออกแบบวงจรไบแอสทางดีซีที่เหมาะสม เพื่อให้วงจรสามารถขยายสัญญาณไม่ผิดเพี้ยน วงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ถูกนำไปต่อระดับประยุกต์ในวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซิง วงจรตัดต่อตามคำสั่ง และวงจรแสดงผลด้วยแอลอีดี การทดลองต่อวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์เป็นการเพิ่มทักษะการต่อวงจร การเพิ่มทักษะการวัดค่าแรงดันและกระแสภายในวงจร และการแก้ไขวงจรเมื่อวงจรเกิดความผิดพลาด

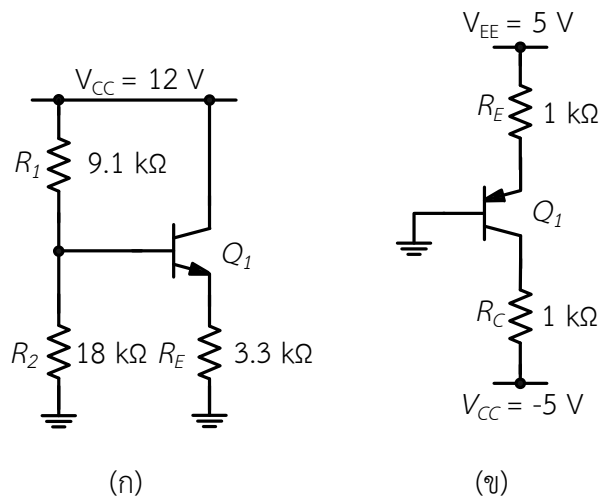
แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN แตกต่างจากชนิด PNP อย่างไร
2. ทรานซิสเตอร์มีย่านการทำงานที่ย่าน แต่ละย่านใช้งานในวงจรอะไรบ้าง อย่างไร
3. กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรภาพที่ 3.14 (ก) ซึ่งเป็นชนิด NPN มี $\beta = 100$ มีค่า $V_{CE} = 4.84 \text{ V}$ ให้หาค่า R_B และ I_B
4. กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรภาพที่ 3.14 (ข) ซึ่งเป็นชนิด PNP มี $\beta = 80$ มีค่า $V_{EC} = 3.46 \text{ V}$ ให้หาค่า R_B และ I_B



ภาพที่ 3.14 วงจรไบแอสคงที่ (ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ (ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

5. กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในภาพที่ 3.15 (ก) มี $\beta = 100$ ให้หาค่า I_B , I_C และ V_{CE}
6. กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ในภาพที่ 3.15 (ข) มี $\beta = 100$ ให้หาค่า I_B , I_C และ V_{EC}



ภาพที่ 3.15 วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์แบบแบ่งแรงดัน