

## แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3 การทดลองคุณลักษณะทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

### หัวข้อเนื้อหา

1. ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (Bipolar Junction Transistor: BJT)
2. การไบอัสวงจรรขยายด้วยทรานซิสเตอร์
3. การทดลองคุณลักษณะทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อศึกษาทดลองหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า
2. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรรขยายไบอัสทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า
3. เพื่อสามารถอธิบายผลจากการทดลองได้

### วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
  - 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
  - 1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
  - 1.3 วิธีสอนแบบปฏิบัติการ
  - 1.4 วิธีสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน
  - 2.1 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า
  - 2.2 อธิบายขั้นตอนการทดลองทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า
  - 2.3 อธิบายการบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง
  - 2.4 นักศึกษาทำการทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และตอบคำถาม

ท้ายการทดลอง

### สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. ใบประกอบ
3. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

### การวัดผลและการประเมินผล

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



### บทที่ 3

## การทดลองทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

### 3.1 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar Junction Transistor: BJT) (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)

ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar Junction Transistor : BJT) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ประยุกต์ใช้ในวงจรรขยายสัญญาณ หรือวงจรสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ BJT ถูกสร้างจากสารกึ่งตัวนำ Silicon (Si) หรือ Germanium (Ge) ชนิดเอ็นและชนิดพี โดยตัว BJT จะประกอบด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำที่โด๊ปแล้วชนิดพี และชนิดเอ็น ถ้าสารกึ่งตัวนำชนิดพีต่อกับขาคอลเล็กเตอร์, ชนิดเอ็นต่อกับขาเบส และชนิดพีอีกข้างต่อกับขาอีมิเตอร์ เรียกว่า BJT ชนิด PNP ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ก) ในทางกลับกัน ถ้าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นต่อกับขาคอลเล็กเตอร์, ชนิดพีต่อกับขาเบส และชนิดเอ็นอีกข้างต่อกับขาอีมิเตอร์ เรียกว่า BJT ชนิด NPN ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ข)

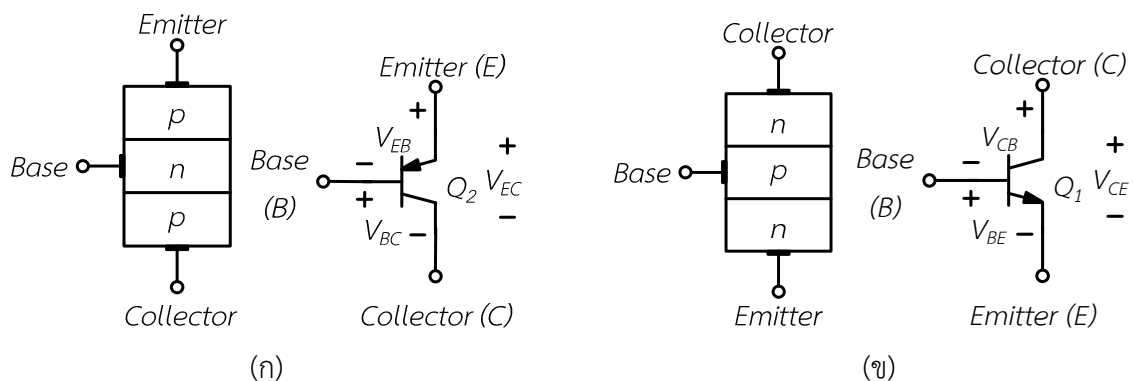
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทุกชนิด อุณหภูมิมีผลต่อจุดการทำงานของอุปกรณ์ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดิม แรงดันตกคร่อมเบสกับอีมิเตอร์ ( $V_{BE}$ ) ที่ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์นั้นเริ่มไหลนั้นลดลง ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 3.2 อุณหภูมิ  $T_1 > T_2 > T_3$  แรงดัน  $V_{BE}$  ที่ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ที่อุณหภูมิ  $T_1$  น้อยกว่า  $T_3$  ในการทำงานของ BJT นั้นมีย่านการทำงาน 3 ย่านดังนี้

- ย่านคัทออฟ (Cutoff region)

การทำงานในย่านคัทออฟนี้กระแสเบสไม่ไหล ( $I_B = 0 \mu A$ ) ส่งผลให้กระแสคอลเล็กเตอร์ไม่ไหล

- ย่านอิ่มตัว (Saturation region)

การทำงานในย่านอิ่มตัวนี้ กระแสคอลเล็กเตอร์นั้นไหลแบบเชิงเส้น เพียงเพิ่มแรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์-อีมิเตอร์ ( $V_{CE}$ ) เล็กน้อย ซึ่งลักษณะการทำงานแบบนี้จึงเหมาะที่นำไปประยุกต์ใช้เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์



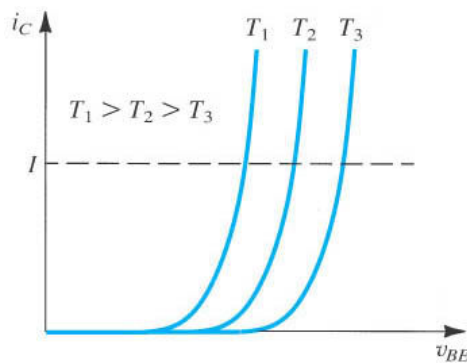
รูปที่ 3.1 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (ก) PNP และ (ข) NPN (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)

- ย่านไวงาน (Active region)

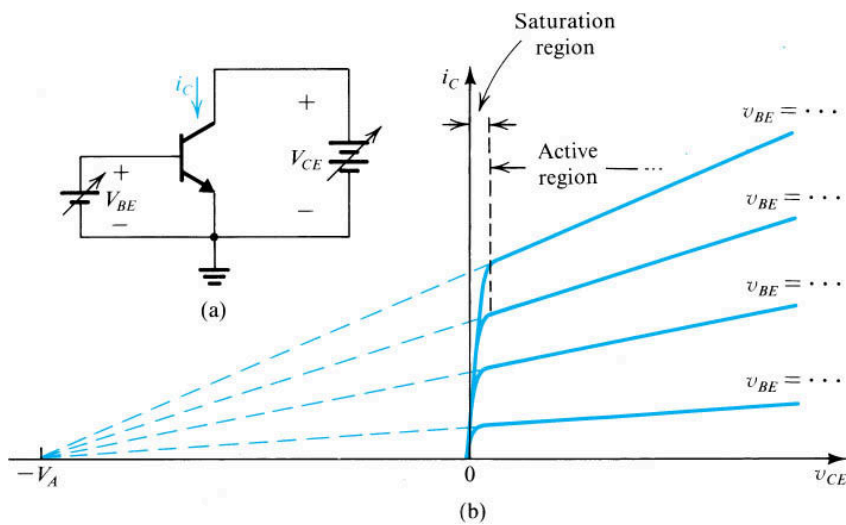
การทำงานในย่านไวงานนั้นกระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_C$ ) เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ถึงแม้จะเพิ่มแรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ ( $V_{CE}$ ) มากขึ้น ดังรูปที่ 3.3 และในย่านการทำงานนี้แรงดันตกคร่อมเบส-อิมิตเตอร์ ( $V_{BE}$ ) มีค่า  $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$  จากการไหลของกระแสคอลเล็กเตอร์ที่ค่อนข้างคงที่ถึงแม้แรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ ( $V_{CE}$ ) จะมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น การทำงานในย่านไวงานจึงนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรขยายสัญญาณ

**ตัวอย่างที่ 3.1** ทราานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่างจากชนิด PNP อย่างไร

**ตอบ** ทราานซิสเตอร์ชนิด NPN จะต้องไบอัสแรงดัน  $V_{BE}$  ให้มีลักษณะไบอัสและป้อนกระแส  $I_B$  ไหลเข้าขาเบส แล้วกระแส  $I_C$  ปริมาณมากจะไหล ขณะที่ทราานซิสเตอร์ชนิด PNP จะต้องไบอัสแรงดัน  $V_{EB}$  ให้มีลักษณะไบอัสตรงและกระแส  $I_B$  ไหลออกจากขาเบส แล้วกระแส  $I_C$  ปริมาณมากจะไหลออกจากทราานซิสเตอร์



**รูปที่ 3.2** กราฟผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดันเบส-อิมิตเตอร์ (Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith)



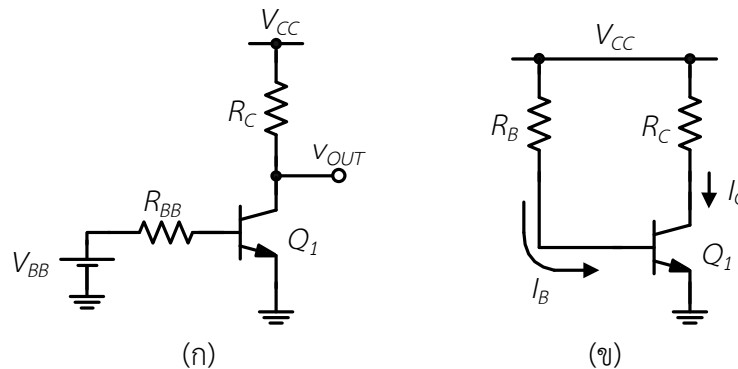
**รูปที่ 3.3** กระแสคอลเล็กเตอร์และแรงดันคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ (Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith)

### 3.2 การไบอัสวงจรรขยายทรานซิสเตอร์ (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)

การใช้งาน BJT ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในวงจรรขยาย จะต้องมีการจัดไบอัสที่เหมาะสม เพื่อเลือกจุดทำงานที่เหมาะสม (Quiescent operation point, Q-point) เพื่อนำวงจรรขยายสัญญาณขนาดเล็กตามที่ได้ออกแบบไว้ วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์มีดังนี้ 1. วงจรไบอัสคงที่ (Fixed bias circuit) 2. วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน (Voltage divider bias circuit) และ 3. ไบอัสด้วยตัวเอง (Self-bias circuit)

#### 3.2.1 วงจรไบอัสคงที่ (Fixed-bias circuit)

รูปที่ 3.4 (ก) แสดงวงจรไบอัสคงที่ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบไปโพล่า ตัวต้านทาน  $R_{BB}$  ทำหน้าที่กำหนดกระแส  $I_B$  ที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน  $R_C$  หน้าที่กำหนดแรงดันที่ขาคอลเล็กเตอร์ แรงดันไบอัส  $V_{BB}$  และแรงดันไฟเลี้ยง  $V_{CC}$  ขณะที่รูปที่ 3.4 (ข) แสดงวงจรไบอัสคงที่ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์แบบไปโพล่า ตัวต้านทาน  $R_B$  และ  $R_C$  และแรงดันไฟเลี้ยง  $V_{CC}$  กระแสเบส ( $I_B$ ) ที่ใช้ในการไบอัส  $I_B$  ได้จากแรงดันไฟเลี้ยงจ่ายผ่านตัวต้านทาน  $R_B$  ซึ่งทำหน้าที่กำหนดค่ากระแสเบส สมมุติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านแอกทีฟ กระแสเบสมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 3.4 วงจรไบอัสคงที่ (Fixed-bias circuit) (ก) ไบอัสด้วย  $V_{BB}$  และ (ข) ไบอัสด้วย  $V_{CC}$

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

และกระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

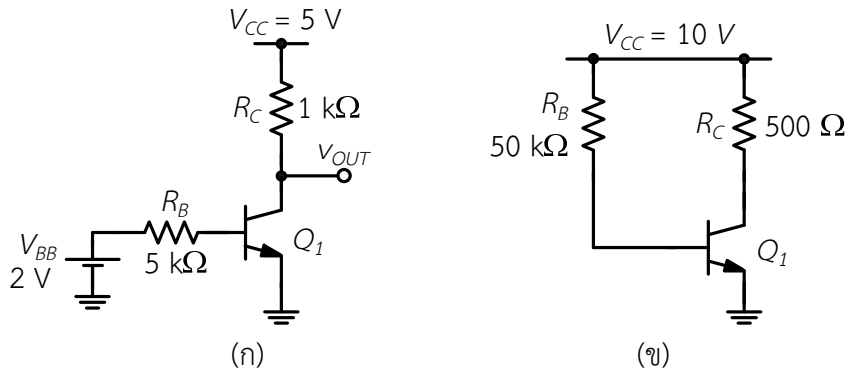
$$I_C = \beta I_B \quad (3.2)$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.3)$$

**ตัวอย่างที่ 3.2** รูปที่ 3.5 แสดงวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์แบบแรงดันคงที่ กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 50$  ทำการหาค่า  $I_B$   $I_C$  และ  $V_{CE}$  ของวงจรในรูป 3.5 (ก) และ 3.5 (ข)

**(ก) วิธีทำ** หากกระแส  $I_B$  ในรูปที่ 3.5 (ก) ด้วยการสมมติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่าน Active Forward ซึ่งกระแส  $I_B$  เท่ากับ



รูปที่ 3.5 วงจรไบอัสคงที่ (Fixed-bias circuit)

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} \tag{3.4}$$

แทนค่า  $V_{BB} = 2\text{ V}$   $R_{BB} = 5\text{ k}\Omega$  และ  $V_{BE} = 0.7\text{ V}$

$$I_B = \frac{2\text{V} - 0.7\text{V}}{5\text{k}\Omega} \tag{3.5}$$

$$= 0.26\text{ mA}$$

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \tag{3.6}$$

แทนค่า  $I_B$  และ  $\beta = 50$

$$I_C = 50 \times 0.26\text{ mA} \tag{3.7}$$

$$= 1.3\text{ mA}$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.8)$$

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

$$\begin{aligned} V_{CE} &= 5 \text{ V} - (1.3 \text{ mA} \times 2 \text{ k}\Omega) \\ &= 2.4 \text{ V} \end{aligned} \quad (3.9)$$

(ข) **วิธีทำ** หากกระแส  $I_B$  ในรูปที่ 3.5 (ข) ด้วยการสมมติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่าน Active Forward ซึ่งกระแส  $I_B$  เท่ากับ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (3.10)$$

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

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{50\text{k}\Omega} \\ &= 0.186 \text{ mA} \end{aligned} \quad (3.11)$$

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.12)$$

แทนค่า  $I_B$  และ  $\beta = 50$

$$\begin{aligned} I_C &= 50 \times 0.186 \text{ mA} \\ &= 9.3 \text{ mA} \end{aligned} \quad (3.13)$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

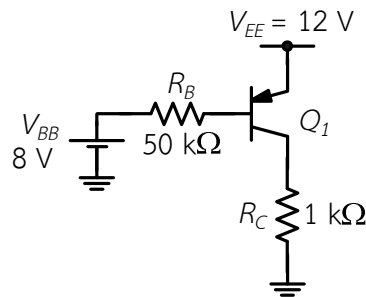
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.14)$$

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

$$V_{CE} = 10 \text{ V} - (9.3 \text{ mA} \times 500 \text{ } \Omega) \tag{3.15}$$

$$= 5.35 \text{ V}$$

**ตัวอย่างที่ 3.3** กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ในรูปที่ 3.6 มี  $\beta = 50$  ทำการหาค่า  $I_B$ ,  $I_C$  และ  $V_{CE}$



**รูปที่ 3.6** วงจรไบอัสคิงที่ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

**วิธีทำ** หากกระแส  $I_B$  ในรูปที่ 3.6 ด้วยการสมมุติให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่าน Active Forward ซึ่งกระแส  $I_B$  เท่ากับ

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{EB} - V_{BB}}{R_B} \tag{3.16}$$

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

$$I_B = \frac{12\text{V} - 0.7\text{V} - 8\text{V}}{50\text{k}\Omega} \tag{3.17}$$

$$= 0.066 \text{ mA}$$

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \tag{3.18}$$

แทนค่า  $I_B$  และ  $\beta = 50$

$$I_C = 50 \times 0.066 \text{ mA} \tag{3.19}$$



$$= 3.3 \text{ mA}$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{EC} = V_{EE} - I_C R_C \tag{3.20}$$

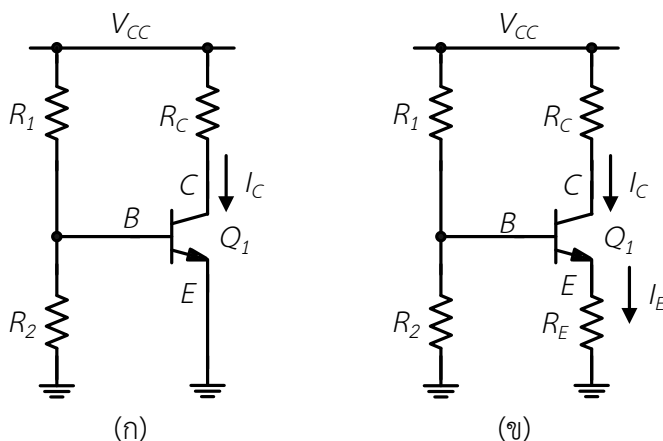
แทนค่า  $V_{EE} = 12 \text{ V}$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$  และ  $I_C = 3.3 \text{ mA}$

$$V_{CE} = 12 \text{ V} - (3.3 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) \tag{3.21}$$

$$= 8.7 \text{ V}$$

### 3.2.2 วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน (Voltage-divider bias circuit)

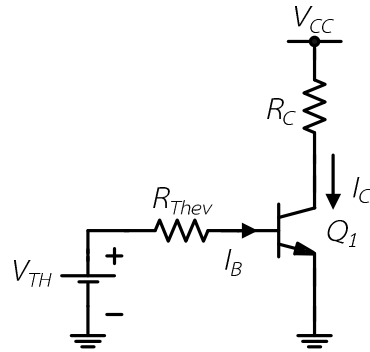
รูปที่ 3.7 (ก) แสดงวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์แบบแบ่งแรงดันซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และตัวต้านทาน  $R_C$  ขณะที่รูปที่ 3.7 (ข) แสดงวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์แบบแบ่งแรงดันซึ่งมีตัวต้านทาน  $R_E$  เพิ่มเข้ามาในวงจร ซึ่งการไบอัสวงจรลักษณะนี้วงจรจะมีเสถียรภาพดี เนื่องจากวงจรมีการป้อนกลับแบบลบผ่านตัวต้านทาน  $R_E$  แต่อัตราขยายของวงจรจะน้อยกว่าวงจรวจรไบอัสแบบไม่ได้ต่อ  $R_E$  ซึ่งการหาอัตราขยายของวงจรจะกล่าวในบทที่ 4



รูปที่ 3.7 (ก) วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน และ (ข) วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดันและมี  $R_E$

การวิเคราะห์ห้วงจรไบอัสทั้ง 2 วงจร จะต้องแทนวงจรด้านอินพุตของวงจรด้วยวงจรเทียบเคียงแบบเทวินิน รูปที่ 3.8 แสดงวงจรไบอัสที่เทียบเคียงด้วยวิธีของเทวินินของวงจรวจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันเทวินิน  $V_{Th}$  เท่ากับ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \tag{3.22}$$



รูปที่ 3.8 วงจรไบอัสที่เทียบเคียงด้วยวิธีของเทวินิน

และค่าความต้านทานขาออกของวงจรเทียบเทียงเทวินิน  $R_{Thev}$  เท่ากับ

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

กระแสเบสที่ใช้ในการไบอัส ( $I_B$ ) คำนวณได้จากสมการ

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th}} \quad (3.24)$$

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.25)$$

แรงดันระหว่าง คอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบคำนวณได้จากสมการ

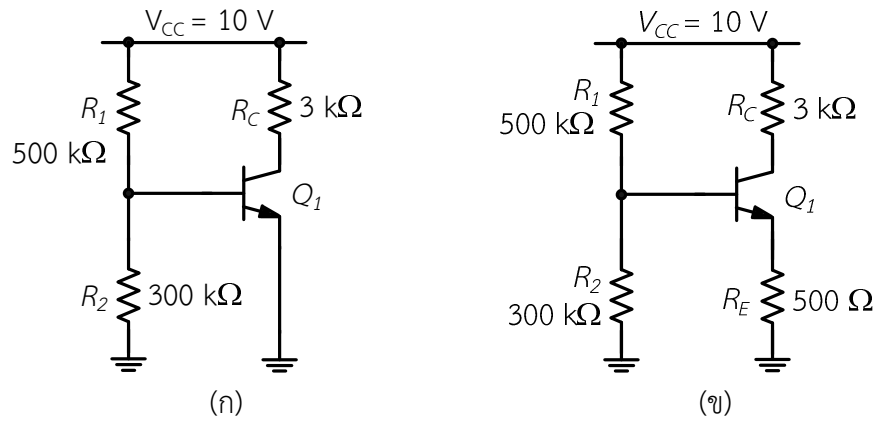
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.26)$$

**ตัวอย่างที่ 3.3** กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในรูปที่ 3.9 มี  $\beta = 100$  ให้หาค่า  $I_B$ ,  $I_C$  และ  $V_{CE}$

ก) วิธีทำ หากระแส  $I_B$  ด้วยวิธีการเทวินิน ซึ่งเราจะทำการหาค่าแรงดันเทวินินได้จากสมการ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (3.27)$$

$$V_{Th} = \frac{300k\Omega}{500k\Omega + 300k\Omega} \times 10V \quad (3.28)$$



รูปที่ 3.9 (ก) วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน และ (ข) วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดันและมี  $R_E$

$$= 3.75 \text{ V}$$

และค่าความต้านทานขาออกของวงจรเทียบเทียงเทวินิน  $R_{Th_{ev}}$  เท่ากับ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{3.29}$$

$$R_{Th} = \frac{500k\Omega \times 300k\Omega}{500k\Omega + 300k\Omega} \tag{3.30}$$

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

จากรูปที่ 3.6 แสดงวงจรไบอัสที่เทียบเคียงด้วยวิธีของเทวินิน ซึ่งกระแสเบสที่ใช้ในการไบอัส ( $I_B$ ) คำนวณได้จากสมการ

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th}} \tag{3.31}$$

$$I_B = \frac{3.75V - 0.7V}{187.5k\Omega} \tag{3.32}$$

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

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \tag{3.33}$$

$$I_C = 100 \times 16.26 \mu\text{A} \quad (3.34)$$

$$= 1.626 \text{ mA}$$

แรงดันระหว่าง คอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบคำนวณได้จากสมการ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.35)$$

$$= 10 \text{ V} - (1.626 \text{ mA} \times 3 \text{ k}\Omega) \quad (3.36)$$

$$= 5.122 \text{ V}$$

**ข) วิธีทำ** กระแส  $I_B$  ด้วยวิธีการเทวินิน ซึ่งแรงดันเทวินิน และค่าความต้านทานเทวินินมีค่าเท่ากับข้อ (ก) กระแสเบสที่ใช้ในการไบอัส ( $I_B$ ) คำนวณได้จากสมการ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \quad (3.37)$$

$$I_B = \frac{3.75\text{V} - 0.7\text{V}}{187.5\text{k}\Omega + (101 \times 500\Omega)} \quad (3.38)$$

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

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \quad (3.39)$$

$$I_C = 100 \times 28.57 \mu\text{A} \quad (3.40)$$

$$= 1.28 \text{ mA}$$

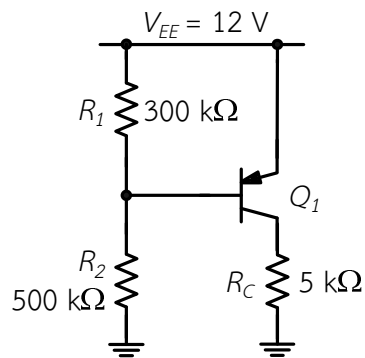
แรงดันระหว่าง คอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบคำนวณได้จากสมการ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (3.41)$$

$$V_{CE} = 10 \text{ V} - (1.28 \text{ mA} \times 5.5 \text{ k}\Omega) \quad (3.42)$$

$$= 5.52 \text{ V}$$

ตัวอย่างที่ 3.4 กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 80$  ให้หาค่า  $I_B$ ,  $I_C$  และ  $V_{EC}$  วงจรในรูปที่ 10



รูปที่ 3.10 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

วิธีทำ หากกระแส  $I_B$  ด้วยวิธีการเทวินิน ซึ่งเราจะทำการหาค่าแรงดันเทวินินได้จากสมการ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (3.43)$$

$$V_{Th} = \frac{500\text{k}\Omega}{500\text{k}\Omega + 300\text{k}\Omega} \times 12\text{V} \quad (3.44)$$

$$= 7.5 \text{ V}$$

และค่าความต้านทานขาออกของวงจรเทียบเทียงเทวินิน  $R_{Thev}$  เท่ากับ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.45)$$

$$R_{Th} = \frac{500\text{k}\Omega \times 300\text{k}\Omega}{500\text{k}\Omega + 300\text{k}\Omega} \quad (3.46)$$

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

กระแสเบสที่ใช้ในการไบอัส ( $I_B$ ) คำนวณได้จากสมการ

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{Th} - V_{EB}}{R_{Th}} \quad (3.47)$$

$$I_B = \frac{12V - 7.5V - 0.7V}{187.5k\Omega} \tag{3.48}$$

$$= 20.26 \mu A$$

และหากระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  ด้วยสมการ

$$I_C = \beta I_B \tag{3.49}$$

$$I_C = 80 \times 20.26 \mu A \tag{3.50}$$

$$= 1.62 \text{ mA}$$

แรงดันระหว่าง อิมิตเตอร์กับคอลเล็กเตอร์  $V_{EC}$  ของจุดทำงานสงบคำนวณได้จากสมการ

$$V_{EC} = V_{EE} - I_C R_C \tag{3.51}$$

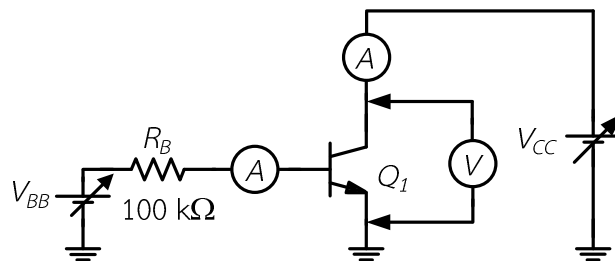
$$= 12 \text{ V} - (1.26 \text{ mA} \times 5 \text{ k}\Omega) \tag{3.52}$$

$$= 5.7 \text{ V}$$

### 3.3 การทดลองทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

#### 3.3.1 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)

3.3.1.1 ให้ต่อวงจรในรูปที่ 3.11 โดยทำการปรับแรงดัน  $V_{BB}$  เพื่อให้กระแส  $I_B = 0 \mu A$ ,  $20 \mu A$ ,  $40 \mu A$  และ  $60 \mu A$  พร้อมทั้งวัดกระแสคอลเล็กเตอร์แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1.1, 1.2, 1.3 และ 1.4



รูปที่ 3.11 วงจรทดลองหาค่าคุณลักษณะทรานซิสเตอร์

ตารางที่ 3.1  $I_B = 0 \mu A$

$V_{CE}$	0	0.2	0.6	1	2	6	8	V
$I_C$								$\mu A$

ตารางที่ 3.2  $I_B = 20 \mu A$

$V_{CE}$	0	0.2	0.6	1	2	6	8	V
$I_C$								$\mu A$

ตารางที่ 3.3  $I_B = 40 \mu A$

$V_{CE}$	0	0.2	0.6	1	2	6	8	V
$I_C$								$\mu A$

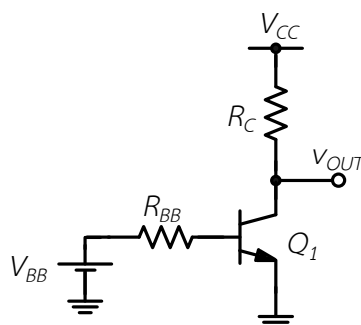
ตารางที่ 3.4  $I_B = 60 \mu A$

$V_{CE}$	0	0.2	0.6	1	2	6	8	V
$I_C$								$\mu A$

3.3.1.2 นำค่าที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 1.1 1.2 1.3 และ 1.4 ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{CE}$  กับ  $I_C$

### 3.3.2 การทดลองวงจรไบอัสแบบคงที่ (Fixed bias)

3.3.2.1 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 3.12 กำหนดให้ทรานซิสเตอร์มีค่า  $\beta = 90$  วงจรมีแรงดัน  $V_{CC} = 12 V$   $V_{BB} = 4 V$   $R_{BB} = 100 k\Omega$  และ  $R_C = 1 k\Omega$  และคำนวณหาค่ากระแส  $I_B$   $I_C$  และ แรงดัน  $V_{CE}$



รูปที่ 3.12 วงจรไบอัส BJT แบบไบอัสคงที่

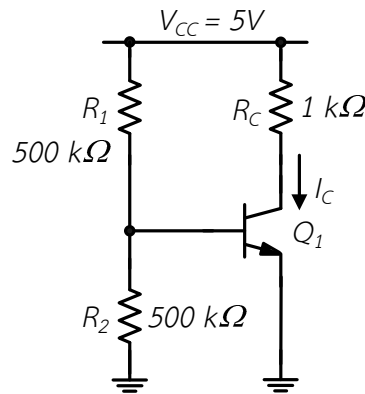
$I_B = \dots\dots\dots$        $I_C = \dots\dots\dots$        $V_{CE} = \dots\dots\dots$

3.3.2.3 ให้วัดและบันทึกผลของกระแส  $I_B$   $I_C$  และ แรงดัน  $V_{CE}$

$I_B$  = .....  $I_C$  = .....  $V_{CE}$  = .....

3.3.3 การทดลองวงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน

3.3.3.1 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 3.13 กำหนดให้แรงดัน  $V_{CC} = 5\text{ V}$   $R_1 = R_2 = 500\text{ k}\Omega$  และ  $R_C = 1\text{ k}\Omega$  กำหนดให้ BJT ทำงานในสถานะ Active forward mode



รูปที่ 3.13 วงจรไบอัส BJT แบบแบ่งแรงดัน

3.3.3.2 ให้คำนวณหาค่ากระแส  $I_B$   $I_C$  และ แรงดัน  $V_{CE}$

$I_B$  = .....  $I_C$  = .....  $V_{CE}$  = .....

3.3.3.3 ให้วัดและบันทึกผลของกระแส  $I_B$   $I_C$  และ แรงดัน  $V_{CE}$

$I_B$  = .....  $I_C$  = .....  $V_{CE}$  = .....

3.3.3.4 ให้เลือกปรับค่าความต้านทานตามความเหมาะสมเพื่อให้แรงดัน  $V_{CE} = V_{CC}/2$  และทำการวัดและบันทึกผลของกระแส  $I_B$   $I_C$  และ แรงดัน  $V_{CE}$

$I_B$  = .....  $I_C$  = .....  $V_{CE}$  = .....

3.3.4 สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....



### 3.4 บทสรุป

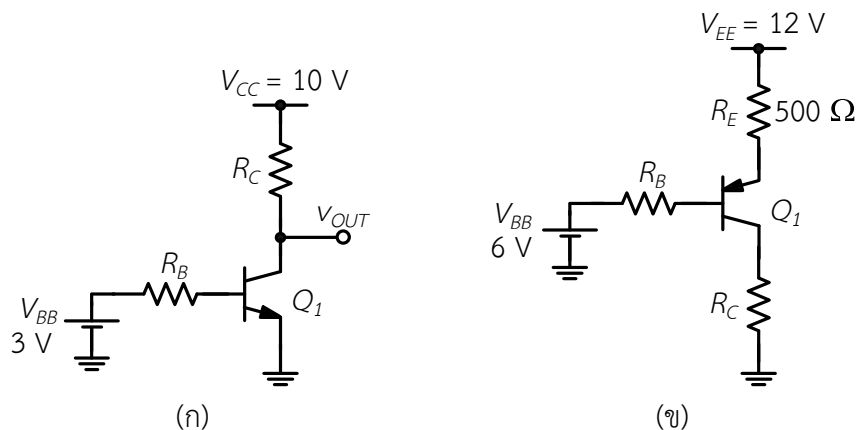
ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ถูกนำไปใช้ออกแบบเป็นวงจรขยาย และวงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์จำเป็นต้องออกแบบวงจรไบอัสทางดีซีที่เหมาะสมเพื่อให้วงจรสามารถขยายสัญญาณไม่ผิดเพี้ยน วงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ถูกนำไปต่อระดับประยุกต์ในวงจรแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซิง วงจรตัดต่อตามคำสั่ง และวงจรแสดงผลด้วยแอลอีดี การทดลองต่อวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์เป็นการเพิ่มทักษะการต่อวงจร การเพิ่มทักษะการวัดค่าแรงดันและกระแสภายในวงจร และการแก้ไขวงจรเมื่อวงจรเกิดความผิดพลาด

#### คำถามหลังการทดลอง

1. ค่ากระแส  $I_B$ ,  $I_C$  และแรงดัน  $V_{CE}$  ที่ได้จากการวัดเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณหรือไม่ ถ้าแตกต่างกัน เพราะเหตุ?
2. ถ้าทำการปรับค่าความต้านทาน  $R_B$  เพิ่มขึ้น นักศึกษาคิดว่ากระแส  $I_C$  จะลดลงหรือเพิ่มขึ้น เพราะเหตุใด
3. ค่ากระแส  $I_B$ ,  $I_C$  และแรงดัน  $V_{CE}$  ที่ได้จากการวัดเท่ากับค่าที่กำหนดให้หรือจากการคำนวณหรือไม่ ถ้าแตกต่างกัน เพราะเหตุ?
4. ถ้าต้องการให้แรงดัน  $V_{CE}$  เพิ่มขึ้นหรือลดลง ต้องปรับค่าความต้านทานตัวใด และให้อธิบายวิธีการปรับเพื่อให้แรงดัน  $V_{CE}$  เพิ่มขึ้นหรือลดลง

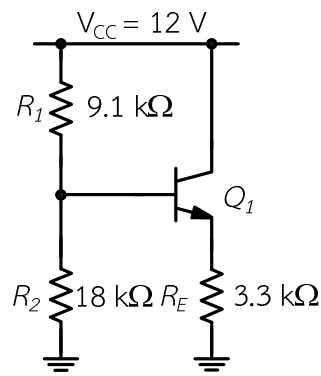
#### แบบฝึกหัดท้ายบท

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

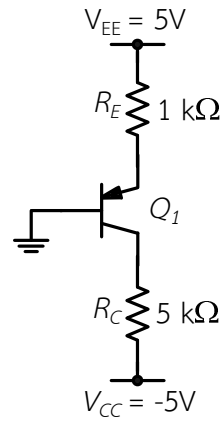


รูปที่ 3.14 วงจรไบอัสของที่ (ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ (ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

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



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.15 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์แบบแบ่งแรงดัน