

## แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4 วงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

### หัวข้อเนื้อหา

1. วงจรขยายทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (BJT Amplifier circuit)
2. วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter amplifier)
3. วงจรขยายแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector amplifier)
4. วงจรขยายแบบเบสร่วม (Common base amplifier)
5. ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์ (Transistor operating in switch)

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่ออธิบายคุณลักษณะวงจรถ่ายด้วยทรานซิสเตอร์
2. เพื่ออธิบายการทำงานของวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์
3. เพื่อบอกขั้นตอนการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์
4. เพื่อคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

### วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
  - 1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
  - 1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
  - 1.3 แสดงตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าต่าง ๆ ในวงจร
  - 1.4 วิธีสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน
  - 2.1 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรถ่ายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า
  - 2.2 อธิบายการทำงานของวงจรถ่ายด้วยทรานซิสเตอร์
  - 2.3 แสดงตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าต่าง ๆ ในวงจร
  - 2.4 นักศึกษาทำแบบฝึกหัด
  - 2.5 ให้การบ้านนักศึกษา

### สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. กระดานไวท์บอร์ด
3. โปรเจคเตอร์

### การวัดผลและการประเมินผล

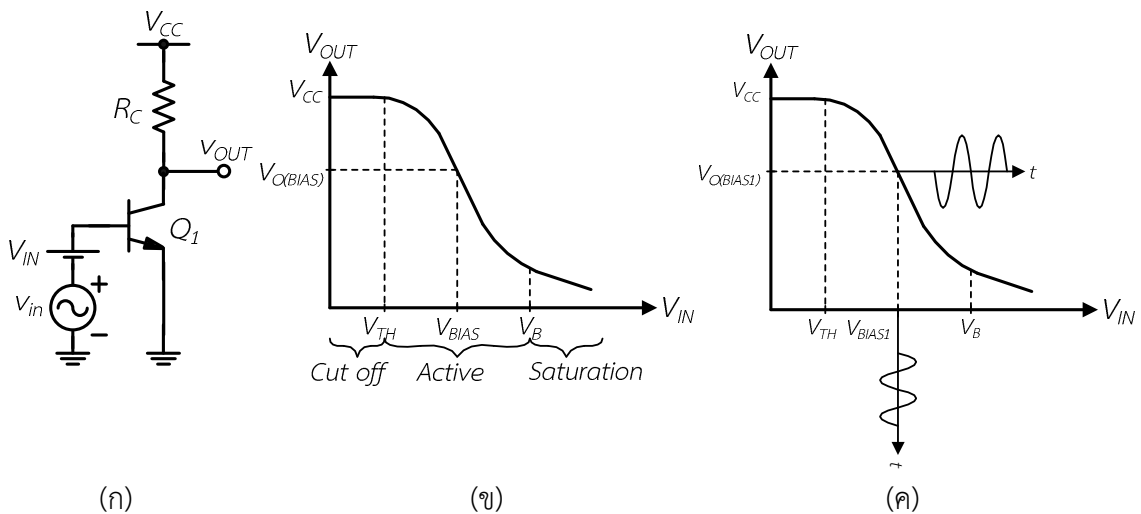
1. การเข้าเรียน
2. การบ้าน
3. สอบกลางภาค
4. สอบปลายภาค

## บทที่ 4

### วงจรรขยายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

#### 4.1 วงจรรขยายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (BJT Amplifier circuit)

รูปที่ 4.1 (ก) แสดงวงจรรขยายอิมิตเตอร์ร่วมที่เทียบเคียงการไบอัสแรงดันดีซี และมีสัญญาณอินพุต รูปที่ 4.1 (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซีย่านการทำงานของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่ามีย่านการทำงาน 3 ย่าน คือ ย่านไม่ทำงาน (Cutoff) ย่านอิ่มตัว (Saturation) และย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ (Forward active) การไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานเป็นวงจรรขยาย จะต้องไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ การประยุกต์ใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์จะทำการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านอิ่มตัว รูปที่ 4.1 (ค) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซีที่ถูกแสดงให้เห็นถึงการไบอัสในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำการขยายสัญญาณ หากไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในค่าที่เหมาะสม สัญญาณที่ถูกขยายจะไม่มีมอดูเลชัน



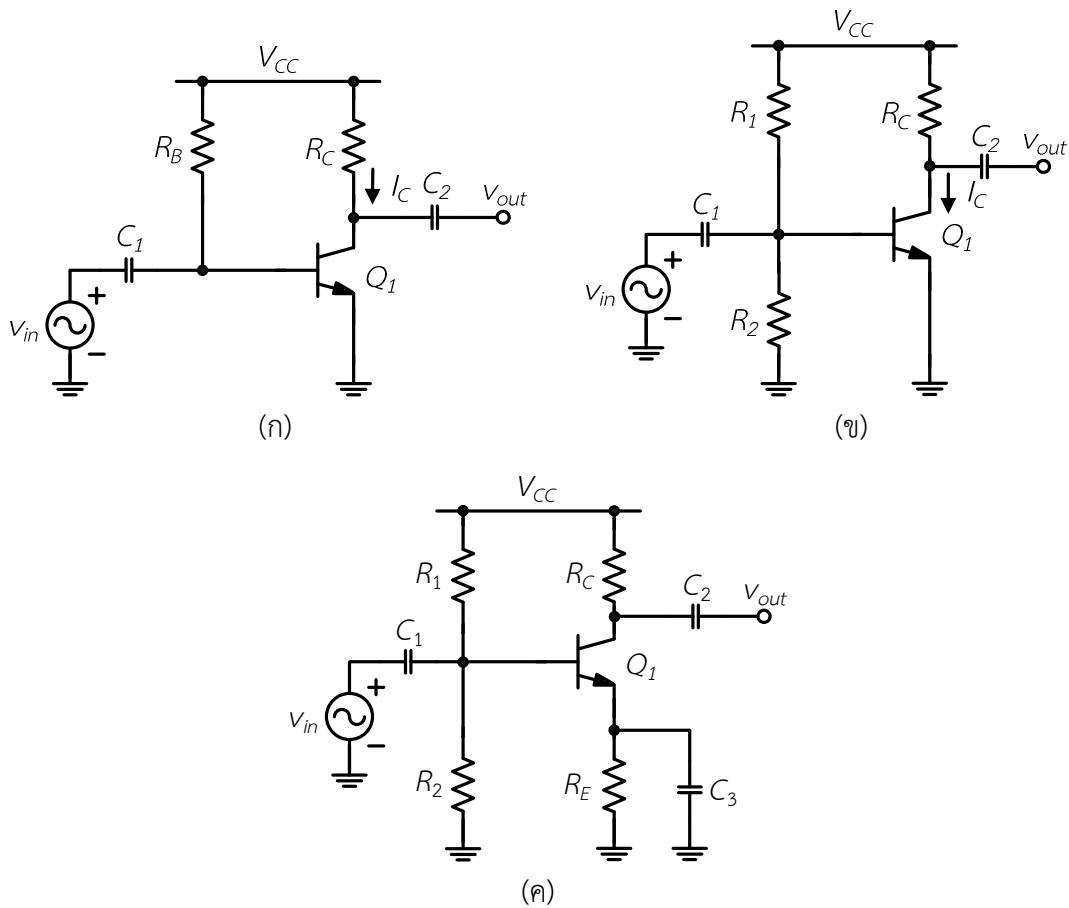
รูปที่ 4.1 (ก) วงจรรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (ข) กราฟคุณลักษณะทางดีซี และ (ค) กราฟคุณลักษณะทางดีซีแสดงจุดทำงานที่เหมาะสม

วงจรรขยายด้วยทรานซิสเตอร์จะต้องมีการจัดไบอัสที่เหมาะสม เพื่อเลือกจุดทำงานที่เหมาะสม (Quiescent operation point; Q-point) เพื่อนำวงจรไปขยายสัญญาณขนาดเล็กตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังได้กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 3 วงจรรขยายที่ใช้ BJT สามารถต่อวงจรได้ 3 แบบ คือ

- ก. วงจรรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter amplifier)
- ข. วงจรรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector amplifier)
- ค. วงจรรขยายเบสร่วม (Common base amplifier)

### 4.2 วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter amplifier)

รูปที่ 4.2 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter amplifier) วงจรจะต่อขาอิมิตเตอร์ร่วมกับกราวด์ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาเบส และเอาต์พุตออกที่ขาคอลเล็กเตอร์ อัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) ของวงจรคำนวณได้จากสมการ



รูปที่ 4.2 วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (ก) วงจรไบอัสคงที่ (ข) วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน และ (ค) วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดันแบบมี  $R_E$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -g_m (r_o \parallel R_C) \tag{4.1}$$

สมมติให้  $r_o = \infty$   $A_v$  มีค่าเท่ากับ

$$A_v \cong -g_m R_C \tag{4.2}$$

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ ( $g_m$ ) มีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (4.3)$$

โดยที่  $V_T = 25 - 26$  mV ค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบส ( $r_\pi$ ) มีค่าเท่ากับ

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad (4.4)$$

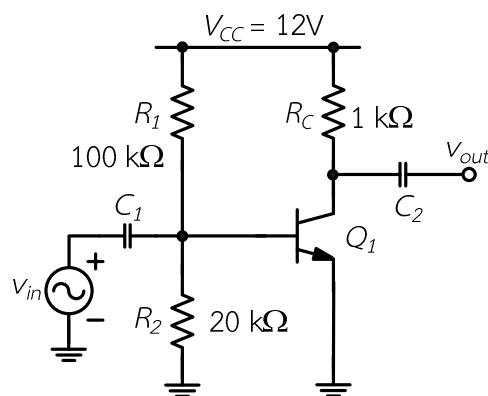
ค่าความต้านทานทางอินพุต ( $R_{in}$ ) หาได้จากสมการ

$$R_{in} = r_\pi // R_1 // R_2 \quad (4.5)$$

ค่าความต้านทานทางเอาต์พุต ( $R_{out}$ ) หาได้จากสมการ

$$R_{out} = R_C \quad (4.6)$$

**ตัวอย่างที่ 4.1** รูปที่ 4.3 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 100$ ,  $V_{BE(on)} = 0.7$  V และ  $V_A = \infty$  ทำการหาค่า  $A_v$ ,  $R_{in}$  และ  $R_{out}$



**รูปที่ 4.3** วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม

**วิธีทำ** ทำการหากระแส  $I_B$  ด้วยวิธีการเทวินิน แรงดันเทวินิน ( $V_{Th}$ ) เท่ากับ

$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (4.7)$$

$$= \frac{20k\Omega}{100k\Omega + 20k\Omega} \times 12V \quad (4.8)$$

$$= 2V$$

และค่าความต้านทานขาออกของวงจรเทียบเทียงเทวินิน ( $R_{Th}$ ) เท่ากับ

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.9)$$

$$R_{Th} = \frac{100k\Omega \times 20k\Omega}{100k\Omega + 20k\Omega} \quad (4.10)$$

$$= 16.67 k\Omega$$

สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอกทีฟ กระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th}} \quad (4.11)$$

$$= \frac{2V - 0.7V}{16.67k\Omega} \quad (4.12)$$

$$= 78 \mu A$$

และกระแสคอลเล็กเตอร์ ( $I_C$ ) มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \quad (4.13)$$

$$= 100 \times 78 \mu A \quad (4.14)$$

$$= 7.8 mA$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ ( $V_{CE}$ ) ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (4.15)$$

$$= 12 \text{ V} - (7.8 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) \quad (4.16)$$

$$= 4.2 \text{ V}$$

ค่า  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (4.17)$$

$$= \frac{7.8 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 312 \text{ mA/V} \quad (4.18)$$

$A_v$  มีค่าเท่ากับ

$$A_v = -g_m R_C \quad (4.19)$$

$$= -312 \text{ mA/V} \times 1 \text{ k}\Omega \quad (4.20)$$

$$= 312$$

ค่า  $r_\pi$  มีค่าเท่ากับ

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad (4.21)$$

$$= \frac{100}{312 \text{ mA/V}} = 320.5 \Omega \quad (4.20)$$

ค่า  $R_{in}$  หาได้จากสมการ

$$R_{in} = r_\pi // R_1 // R_2 \quad (4.22)$$

$$= 320.5 \Omega // 100 \text{ k}\Omega // 20 \text{ k}\Omega \quad (4.23)$$

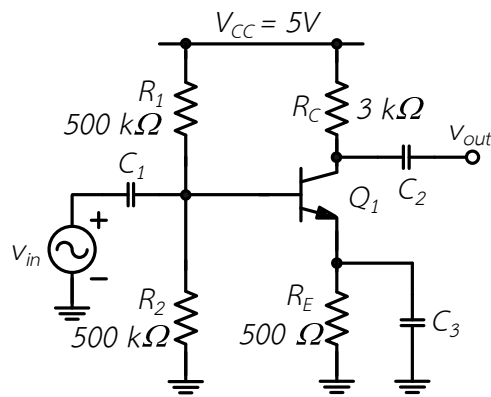
$$= 314.45 \Omega$$

ค่า  $R_{out}$  หาได้จากสมการ

$$R_{out} = R_C \quad (4.24)$$

$$= 1 \text{ k}\Omega$$

**ตัวอย่างที่ 4.2** กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมในรูปที่ 4.4 มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  ทำการหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$



**รูปที่ 4.4** วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม

**วิธีทำ** แรงดันเทวินิน  $V_{Th} = 2.5 \text{ V}$  และค่า  $R_{Th} = 250 \text{ k}\Omega$  สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ กระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

$$I_B \cong \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + \beta R_E} \quad (4.25)$$

$$= \frac{2.5\text{V} - 0.7\text{V}}{250\text{k}\Omega + (100 \times 500\Omega)} \quad (4.26)$$

$$= 11.9 \mu\text{A}$$

และกระแส  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \quad (4.27)$$

$$= 100 \times 11.9 \mu\text{A} \quad (4.28)$$



$$= 1.2 \text{ mA}$$

แรงดัน  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (4.29)$$

$$= 5 \text{ V} - (1.2 \text{ mA} \times 3 \text{ k}\Omega) \quad (4.30)$$

$$= 1.4 \text{ V}$$

ค่า  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (4.31)$$

$$= \frac{1.2 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 48 \text{ mA/V} \quad (4.32)$$

$A_v$  มีค่าเท่ากับ

$$A_v = -g_m R_C \quad (4.33)$$

$$= -48 \text{ mA/V} \times 3 \text{ k}\Omega \quad (4.34)$$

$$= 144$$

ค่า  $r_\pi$  มีค่าเท่ากับ

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad (4.35)$$

$$= \frac{100}{1.2 \text{ mA/V}} = 83,333.33 \Omega \quad (4.36)$$

ค่า  $R_{in}$  เขียนได้ว่า

$$R_{in} = r_\pi // R_1 // R_2 \quad (4.37)$$

$$= 83333.33\Omega // 500\text{ k}\Omega // 500\text{ k}\Omega \quad (4.38)$$

$$= 62.5\text{ k}\Omega$$

ค่า  $R_{out}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{out} = R_C \quad (4.39)$$

$$= 3\text{ k}\Omega$$

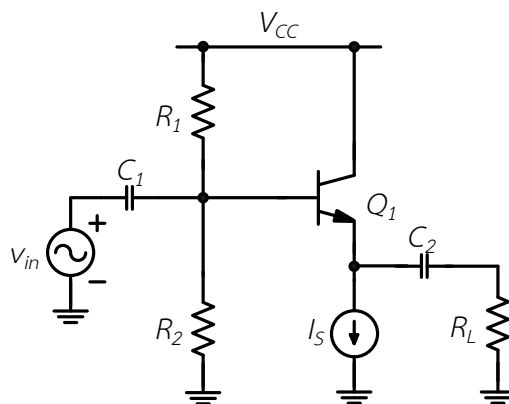
### 4.3 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector amplifier)

รูปที่ 4.5 แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector amplifier) วงจรจะต่อขาคอลเล็กเตอร์ร่วมกับกราวด์ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาเบส และสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขาอีมิเตอร์ การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อสัญญาณอินพุตเข้าที่เบส ทรานซิสเตอร์จะทำการรักษาระดับแรงดัน  $V_{BE}$  ให้คงที่ ดังนั้น สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเท่ากับสัญญาณอินพุต อัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$A_V \cong \frac{R_E}{r_e + R_E} \quad (4.40)$$

เนื่องจาก  $r_e$  มีค่าน้อยมาก อัตราขยายของวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมมีค่าประมาณหนึ่ง  $A_V \cong 1$  ค่า  $R_{in}$  สามารถเขียนได้ว่า

$$R_{in} = R_{ib} // R_{TH} \quad (4.41)$$



รูปที่ 4.5 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม

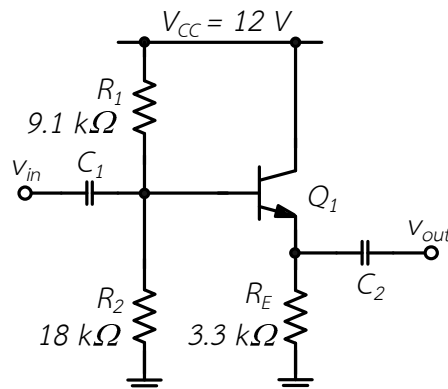
เมื่อ  $R_{ib}$  คือค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบสมีค่าเท่ากับ

$$R_{ib} = R_{ib} // R_{TH} \quad (4.42)$$

ค่า  $R_{out}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{out} = 1/g_m \quad (4.43)$$

**ตัวอย่างที่ 4.3** รูปที่ 4.6 แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7$  V และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$



**รูปที่ 4.6** วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม

**วิธีทำ** แรงดัน  $V_{Th} = 8$  V และค่า  $R_{TH} = 6$  k $\Omega$  สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าทำงานในย่านฟอร์เวิร์ดแอคทีฟ กระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

$$I_B \cong \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{TH} + \beta R_E} \quad (4.44)$$

เมื่อแทนค่าในสมการกระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

$$= \frac{8V - 0.7V}{6k\Omega + (100 \times 3.3k\Omega)} \quad (4.45)$$

$$= 21.72 \mu A$$

กระแส  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B$$

$$= 100 \times 21.72 \mu\text{A} = 2.17 \text{ mA} \quad (4.47)$$

ค่า  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (4.48)$$

$$= \frac{2.17 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 86.8 \text{ mA/V} \quad (4.49)$$

ค่า  $r_\pi$  มีค่าเท่ากับ

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad (4.50)$$

$$= \frac{100}{86.8 \text{ mA/V}} = 1,152 \Omega \quad (4.51)$$

$A_v$  มีค่าเท่ากับ

$$A_v \cong 1 \quad (4.52)$$

ค่า  $R_{ib}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{ib} = \beta R_E \quad (4.53)$$

$$= 100 \times 3.3 \text{ k}\Omega \quad (4.54)$$

$$= 330 \text{ k}\Omega$$

ค่า  $R_{in}$  หาได้จากสมการ

$$R_{in} = R_{ib} // R_{TH} \quad (4.55)$$

$$= 330 \text{ k}\Omega // 6 \text{ k}\Omega \quad (4.56)$$

$$= 6 \text{ k}\Omega$$

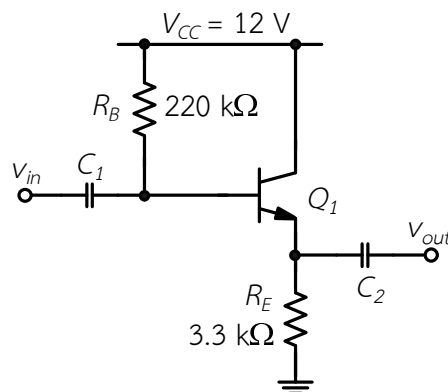
ค่า  $R_{out}$  หาได้จากสมการ

$$R_{out} = 1/g_m \quad (4.57)$$

$$= 1/86.8 \text{ mA/V} \quad (4.58)$$

$$= 11.52 \ \Omega$$

**ตัวอย่างที่ 4.4** รูปที่ 4.7 แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  ทำการหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$



**รูปที่ 4.7** วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม

**วิธีทำ** เราเขียนสมการกระแส  $I_B$  ได้ว่า

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \quad (4.59)$$

เมื่อแทนค่าในสมการกระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

$$I_B = \frac{12\text{V} - 0.7\text{V}}{220\text{k}\Omega + (100 \times 3.3\text{k}\Omega)} \quad (4.60)$$

$$= 20.54 \ \mu\text{A}$$

กระแส  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \quad (4.61)$$

$$= 100 \times 20.54 \mu\text{A} = 2 \text{ mA} \quad (4.62)$$

ค่า  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (4.63)$$

$$= \frac{2\text{mA}}{25\text{mV}} = 80\text{mA/V} \quad (4.64)$$

$A_v$  มีค่าเท่ากับ

$$A_v \cong 1 \quad (4.65)$$

ค่า  $R_{ib}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{ib} = \beta R_E \quad (4.66)$$

$$= 100 \times 3.3 \text{ k}\Omega \quad (4.67)$$

$$= 330 \text{ k}\Omega$$

ค่า  $R_{in}$  เขียนได้ว่า

$$R_{in} = R_{ib} // R_B \quad (4.68)$$

$$= 330 \text{ k}\Omega // 220 \text{ k}\Omega \quad (4.69)$$

$$= 132 \text{ k}\Omega$$

ค่า  $R_{out}$  ค่าเท่ากับ

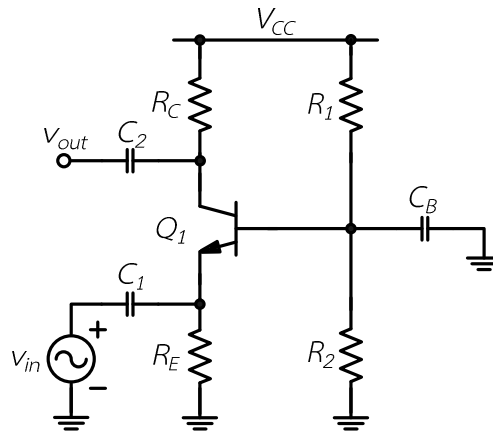
$$R_{out} = 1/g_m \quad (4.70)$$

$$= 1/80 \text{ mA/V} \quad (4.71)$$

$$= 12.5 \Omega$$

#### 4.4 วงจรขยายเบสร่วม (Common base amplifier)

รูปที่ 4.8 แสดงวงจรขยายเบสร่วม (Common base amplifier) วงจรจะต่อขาเบสร่วมกับกราวด์ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาอีมิเตอร์ และสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขาคอลเล็กเตอร์ เมื่อวิเคราะห์วงจรขยายเบสร่วมด้วยวิธีใช้วงจรเทียบเคียงสัญญาณขนาดเล็ก  $A_v$  มีค่าเท่ากับ



รูปที่ 4.8 วงจรขยายเบสร่วม

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} \cong g_m R_C \quad (4.72)$$

อัตราขยายกระแส ( $A_i$ ) ของวงจรคำนวณได้จากสมการ

$$A_i = -\alpha = -1 \quad (4.73)$$

ค่า  $R_{in}$  มีค่าเท่ากับ

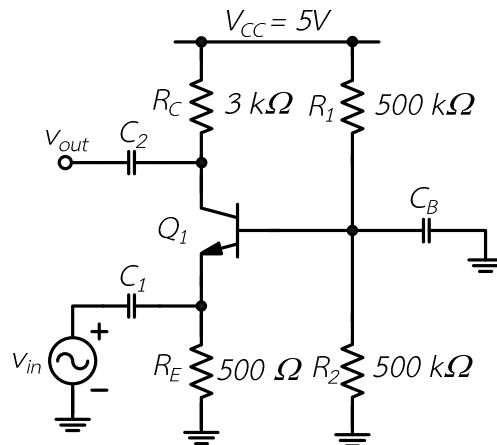
$$R_{in} = 1/g_m \quad (4.74)$$

ค่า  $R_{out}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{out} = R_C \quad (4.75)$$

**ตัวอย่างที่ 4.5** รูปที่ 4.9 แสดงวงจรขยายเบสร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  ทำการหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$

**วิธีทำ** เนื่องจากวงจรถูกไบอัสทางดีซีเหมือนกับวงจรในรูปที่ 4.4 ดังนั้น ค่า  $g_m = 48 \text{ mA/V}$   $A_v$  มีค่าเท่ากับ



รูปที่ 4.9 วงจรขยายเบสร่วม

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cong g_m R_C \quad (4.76)$$

$$= 48 \text{ mA/V} \times 3 \text{ k}\Omega \quad (4.77)$$

$$= 144$$

ค่า  $R_{in}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{in} = 1/g_m \quad (4.78)$$

$$= 1/48 \text{ mA/V} \quad (4.79)$$

$$= 20.83 \Omega$$

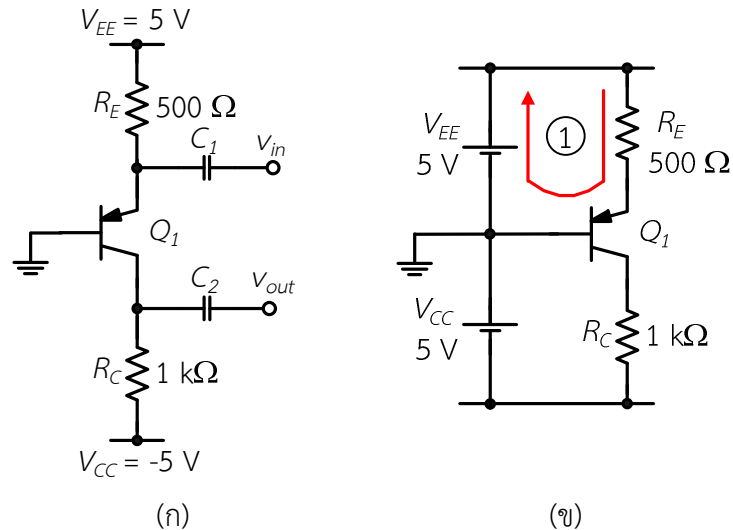
ค่า  $R_{out}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{out} = R_C \quad (4.80)$$

$$= 3 \text{ k}\Omega$$



ตัวอย่างที่ 4.6 รูปที่ 4.10 แสดงวงจรขยายเบสร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  ทำการหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$  ในรูปที่ 4.10 (ก)



รูปที่ 4.10 (ก) วงจรขยายเบสร่วม และ (ข) การวิเคราะห์ห้วงจรด้วยวิธีการ KVL

วิธีทำ เพื่อให้การวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน เราสามารถเขียนวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 4.10 (ข) สมการ KVL ลูปที่ 1 เขียนได้ดังนี้

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_E} \quad (4.81)$$

$$I_E = \frac{5\text{V} - 0.7\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 4.3\text{mA} \quad (4.82)$$

เนื่องจากกระแส  $I_E \cong I_C$  ค่า  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (4.83)$$

$$= \frac{4.3\text{mA}}{25\text{mV}} = 172\text{mA/V} \quad (4.84)$$

$A_v$  มีค่าเท่ากับ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cong g_m R_C \quad (4.85)$$

$$= 172 \text{ mA/V} \times 5 \text{ k}\Omega \quad (4.86)$$

$$= 860$$

ค่า  $R_{in}$  สามารถเขียนได้ว่า

$$R_{in} = 1/g_m \quad (4.87)$$

$$= 1/172 \text{ mA/V} \quad (4.88)$$

$$= 5.81 \Omega$$

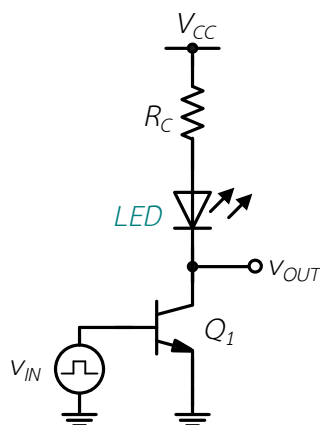
ค่า  $R_{out}$  มีค่าเท่ากับ

$$R_{out} = R_C \quad (4.89)$$

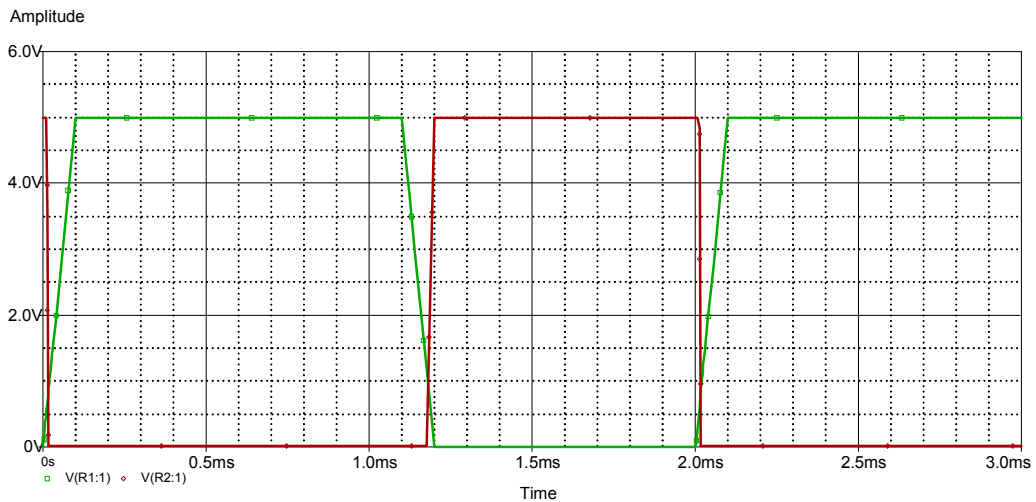
$$= 3 \text{ k}\Omega$$

#### 4.5 ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์ (Transistor operating in switch)

รูปที่ 4.11 แสดงการต่อใช้งานทรานซิสเตอร์ลักษณะสวิตช์ ซึ่งทรานซิสเตอร์จะทำงานในโหมดอิ่มตัว โดยจะควบคุมแรงดันเอาต์พุตของ BJT ด้วยแรงดันที่ขาเบส รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 4.11 เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์เข้าที่ขาเบส (เส้นสีแดง) แรงดันเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ (เส้นสีเขียว) มีลักษณะกลับเฟสกับสัญญาณอินพุต



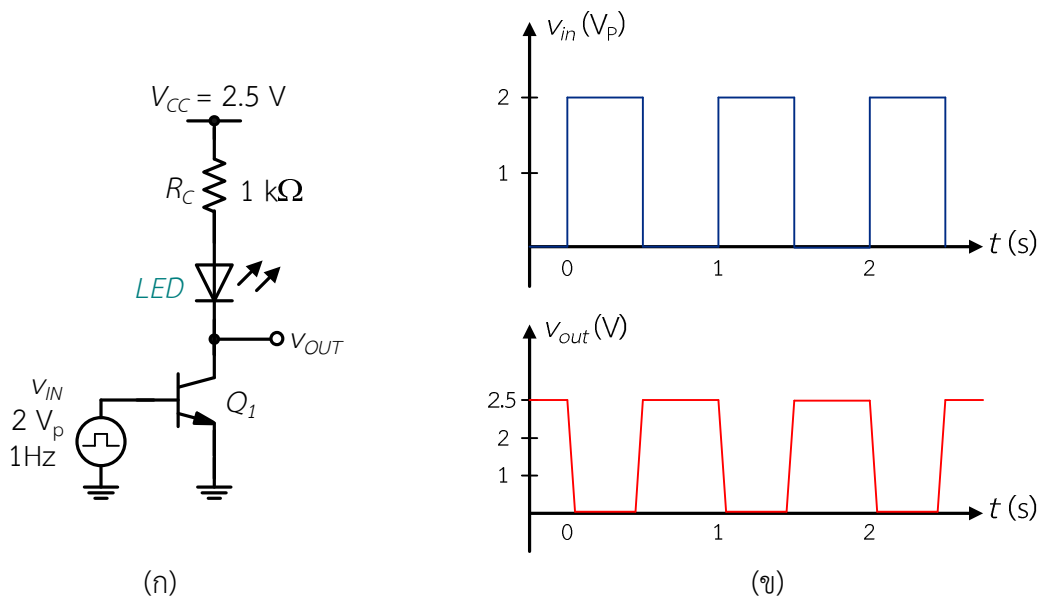
รูปที่ 4.11 วงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์



รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุต

ตัวอย่างที่ 4.9 การทำงานของวงจรทำได้ต่อไปนี้ และวาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 4.13 (ก)

วิธีทำ รูปที่ 4.17(ข) แสดงสัญญาณพัลส์อินพุตและเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 4.13 (ก) เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์เข้าที่ขาเบส ( $V_{in}$ ) แรงดันเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ มีลักษณะกลับเฟสกับสัญญาณอินพุต หลอด LED จะสว่างและดับตามสัญญาณอินพุต



รูปที่ 4.13 (ก) วงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ และ (ข) สัญญาณอินพุต และเอาต์พุต

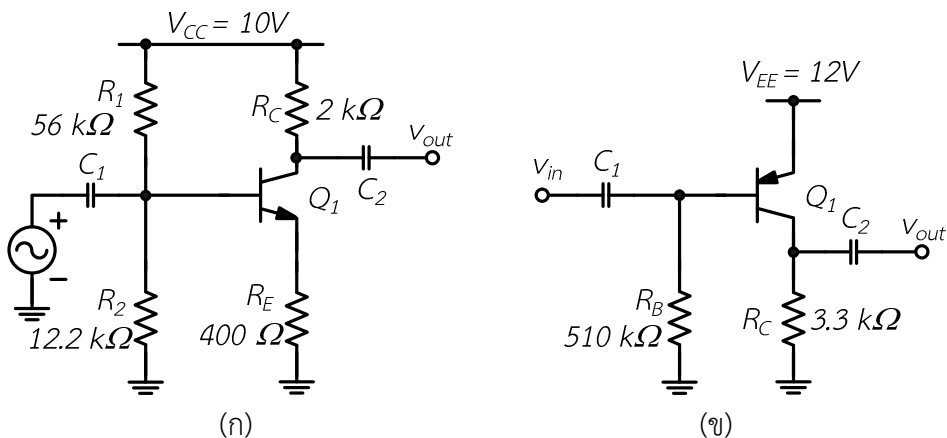
### แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ให้อธิบายการทำงานของวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วม
2. ให้อธิบายการทำงานของวงจรขยายแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม

3. ให้อธิบายการทำงานวงจรขยายแบบเบสร่วม
4. ให้อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่สังเกตได้จากการทดลอง
5. สัญญาณพัลส์ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงใด LED จึงสว่าง เพราะเหตุใด?
6. รูปที่ 4.24 (ก) แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$

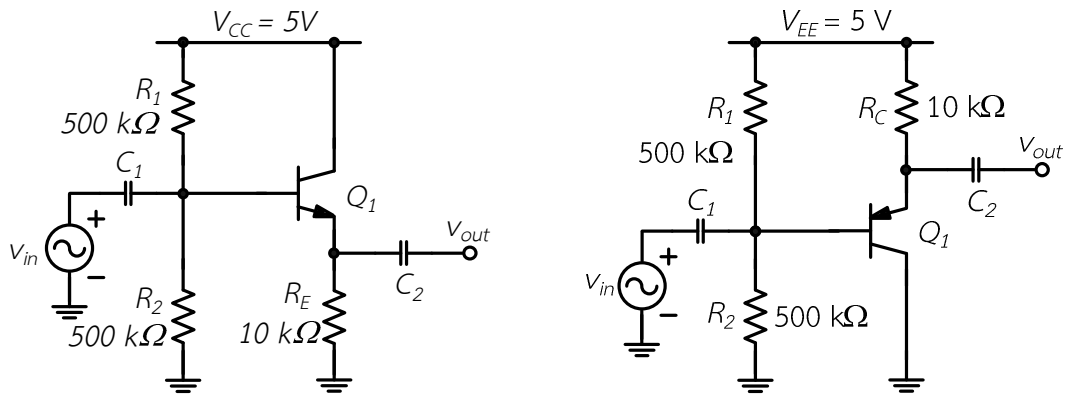
$V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$

7. กำหนดให้รูปที่ 4.24 (ข) วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมมี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$

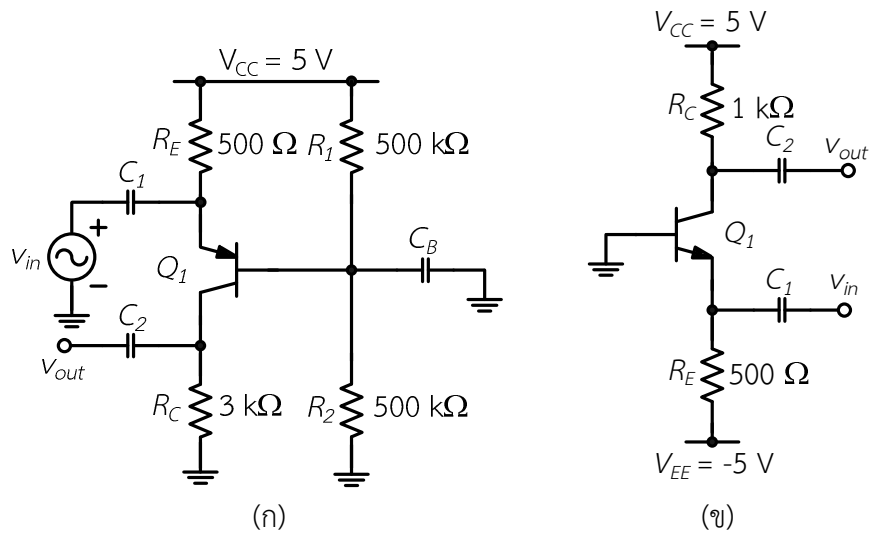


รูปที่ 4.24 วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม (ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ (ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

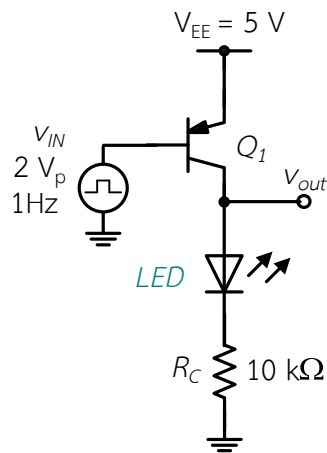
8. รูปที่ 4.25 (ก) แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$
9. รูปที่ 4.25 (ข) แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$
10. รูปที่ 4.26 (ก) แสดงวงจรขยายเบสร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$
11. กำหนดให้รูปที่ 4.26 (ข) วงจรขยายเบสร่วมมี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาอัตราขยาย  $A_v$  ค่าความต้านทานอินพุต  $R_{in}$  และเอาต์พุต  $R_{out}$
12. ให้อธิบายสัญญาณเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.25 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (ก) ทรานซิสเตอร์ NPN และ (ข) ทรานซิสเตอร์ PNP



รูปที่ 4.26 วงจรขยายเบสร่วม



รูปที่ 4.27 วงจรสวิตช์ที่ใช้แอลอีดีแสดงผล

