

## แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4

### การทดลองวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

#### หัวข้อเนื้อหา

1. วงจรขยายทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (BJT Amplifier circuit)
2. การหาอัตราขยายแรงดัน และกระแส
3. การหาค่าความต้านทานอินพุต ( $R_{in}$ ) และเอาต์พุต ( $R_{out}$ ) ทางไฟฟ้ากระแสสลับ
4. ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์ (Transistor operating in switch)
5. การทดลองวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์ไบโพล่า

#### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อทดลองวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์
2. เพื่อทดลองวงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยทรานซิสเตอร์

#### วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

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

ท้ายการทดลอง

#### สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 1
2. ใบประกอบ
3. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

#### การวัดผลและการประเมินผล

1. การเข้าเรียน
2. เอกสารปฏิบัติการ

3. สอบกลางภาค

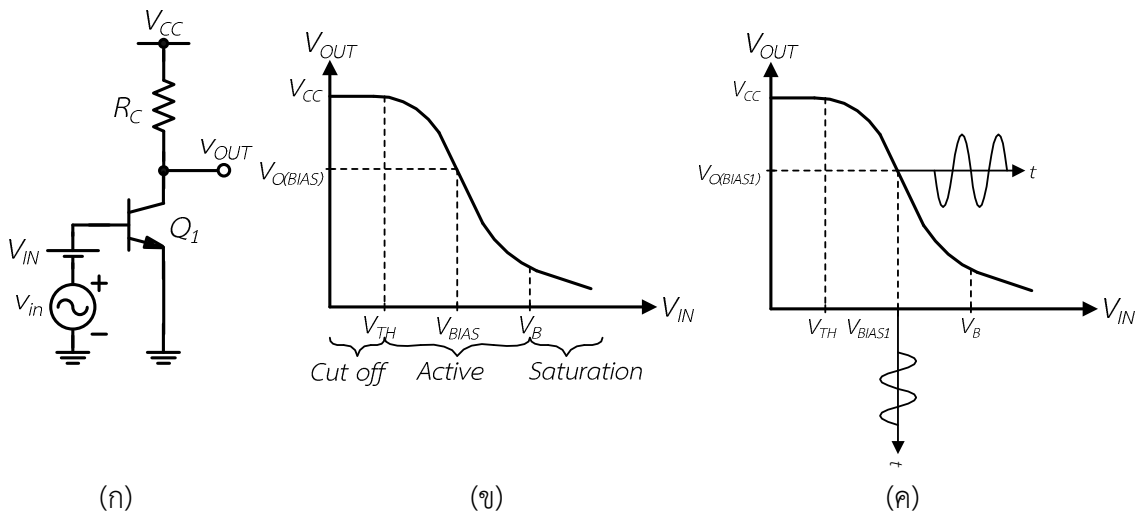
4. สอบปลายภาค

## บทที่ 4

### การทดลองวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า

#### 4.1 วงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่า (BJT Amplifier circuit) (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)

รูปที่ 4.1 (ก) แสดงวงจรขยายอิมิตอร์ร่วมที่เทียบเคียงการไบอัสแรงดันดีซี และมีสัญญาณอินพุต รูปที่ 4.1 (ข) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซีย่านการทำงานของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่ามีย่านการทำงาน 3 ย่าน คือ ย่านไม่ทำงาน (Cutoff) ย่านอิ่มตัว (Saturation) และย่านไงานงาน (Active) การไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานเป็นวงจรขยาย จะต้องไบอัสทรานซิสเตอร์ให้ทำงานในย่านแอกทีฟ การประยุกต์ใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์จะทำการไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านอิ่มตัว รูปที่ 4.1 (ค) แสดงกราฟคุณลักษณะทางดีซีที่ถูกแสดงให้เห็นถึงการไบอัสในย่านแอกทีฟเพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำการขยายสัญญาณ หากไบอัสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในค่าที่เหมาะสม สัญญาณที่ถูกขยายจะไม่มีมอดูเลชัน



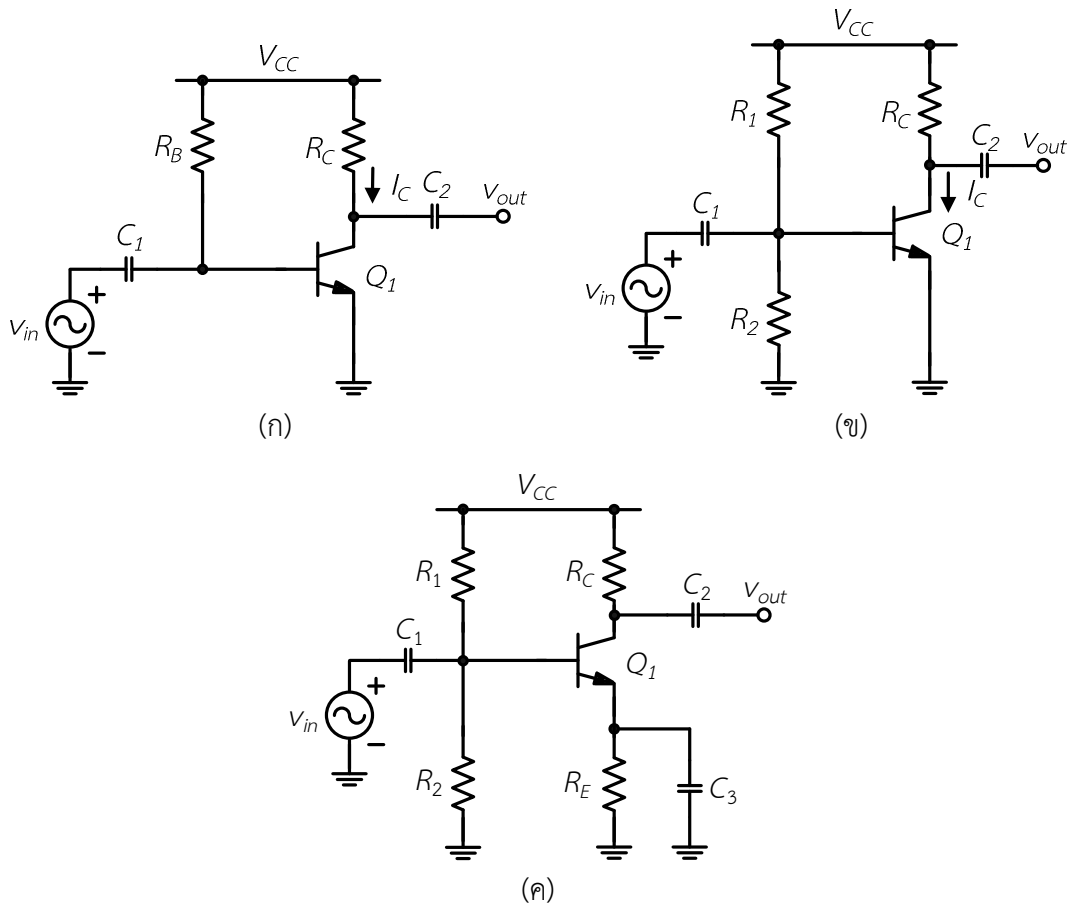
รูปที่ 4.1 (ก) วงจรขยายซอร์ร่วม (ข) กราฟคุณลักษณะทางดีซี และ (ค) กราฟคุณลักษณะทางดีซีแสดงจุดทำงานที่เหมาะสม

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

- ก. วงจรขยายอิมิตอร์ร่วม (Common emitter amplifier)
- ข. วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector)
- ค. วงจรขยายเบสร่วม (Common base)

### 4.2 วงจรขยายอิมิตอร์ร่วม (Common emitter circuit)

รูปที่ 4.2 แสดงวงจรขยายอิมิตอร์ร่วม วงจรจะต่อขาอิมิตอร์ร่วมกับกราวด์ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาเบส และเอาต์พุตออกที่ขาคอลเล็กเตอร์ อัตราขยายแรงดันของวงจรคำนวณได้จากสมการ



รูปที่ 4.2 วงจรขยายอิมิตอร์ร่วม (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  $r_o = \infty$  อัตราขยายแรงดันมีค่าเท่ากับ

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

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

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

โดยที่  $V_T = 25 - 26 \text{ mV}$  ค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบส  $r_\pi$  มีค่าเท่ากับ

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

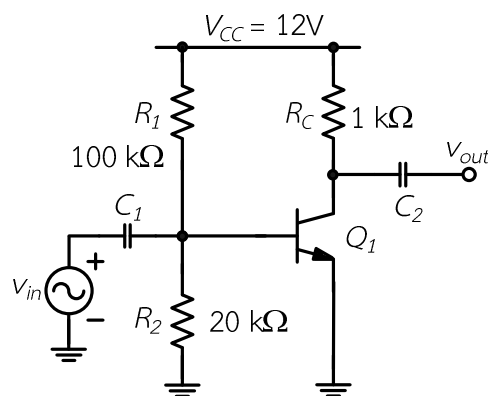
ค่าความต้านทานทางอินพุตหาได้จากสมการ

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

ค่าความต้านทานทางเอาต์พุตหาได้จากสมการ

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

**ตัวอย่างที่ 4.1** รูปที่ 4.3 แสดงวงจรขยายอิมิเตอร์ร่วม 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 4.3 วงจรขยายอิมิเตอร์ร่วม

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

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

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

$$= 2V$$

และค่าความต้านทานขาออกของวงจรเทียบเคียงเทวินิน  $R_{Thev}$  เท่ากับ

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

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

$$= 16.67 k\Omega$$

สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ทำงานในย่าน Active forward 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

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

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

$$= 7.8 mA$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

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

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

$$= 4.2 \text{ V}$$

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

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

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

อัตราขยายแรงดันมีค่าเท่ากับ

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

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

$$= 312$$

ค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบส  $r_\pi$  มีค่าเท่ากับ

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

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

ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

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

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

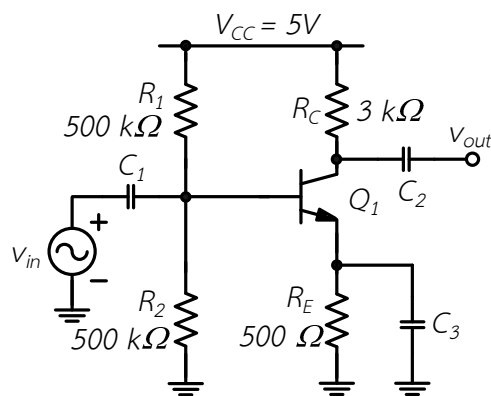
$$= 314.45 \Omega$$

ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

$$R_{out} = R_C \tag{4.24}$$

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

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



รูปที่ 4.4 วงจรขยายอิมิตอร์ร่วม

**วิธีทำ** แรงดันเทวินิน  $V_{Th} = 2.5$  V และค่าความต้านทานเทวินิน  $R_{Th} = 250$  kΩ สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่าทำงานในย่าน Active forward กระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

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

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

$$= 11.9 \mu A$$

และกระแสคอลเล็กเตอร์  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \tag{4.27}$$

$$= 100 \times 11.9 \mu A \tag{4.28}$$



$$= 1.2 \text{ mA}$$

แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์  $V_{CE}$  ของจุดทำงานสงบซึ่งมีค่าเท่ากับ

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

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

$$= 1.4 \text{ V}$$

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

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

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

อัตราขยายแรงดันมีค่าเท่ากับ

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

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

$$= 144$$

ค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบส  $r_\pi$  มีค่าเท่ากับ

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

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

ค่าความต้านทานทางอินพุตหาได้จากสมการ

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

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

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

ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

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

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

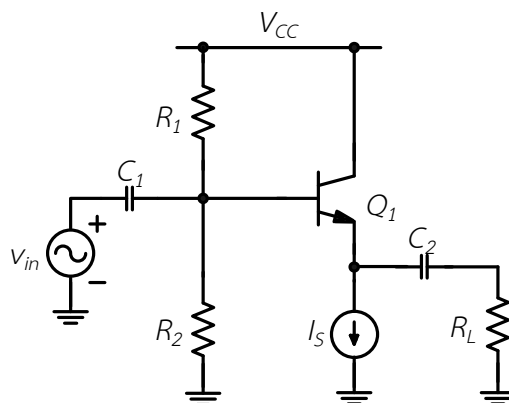
### 4.3 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector)

รูปที่ 4.5 แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม วงจรจะต่อขาคอลเล็กเตอร์ร่วมกับกราวด์ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาเบส และสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขาเอมิเตอร์ 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  $A_V \cong 1$   
ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

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



รูปที่ 4.5 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม

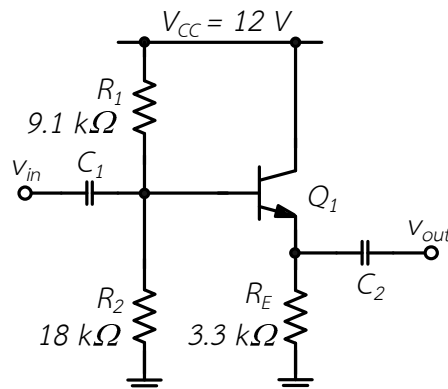
เมื่อ  $R_{ib}$  คือค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบสมีค่าเท่ากับ

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

ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

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

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



รูปที่ 4.6 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม

**วิธีทำ** แรงดันเทวินิน  $V_{Th} = 8 \text{ V}$  และค่าความต้านทานเทวินิน  $R_{TH} = 6 \text{ k}\Omega$  สมมติให้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ทำงานในย่าน Active forward กระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

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

เมื่อแทนค่าในสมการกระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} &= \frac{8\text{V} - 0.7\text{V}}{6\text{k}\Omega + (100 \times 3.3\text{k}\Omega)} \\ &= 21.72 \mu\text{A} \end{aligned} \quad (4.45)$$

กระแส  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B$$

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

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์  $g_m$  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

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

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

อัตราขยายของวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมมีค่าเท่ากับ

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

ค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบสมีค่าเท่ากับ

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

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

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

ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

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

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

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

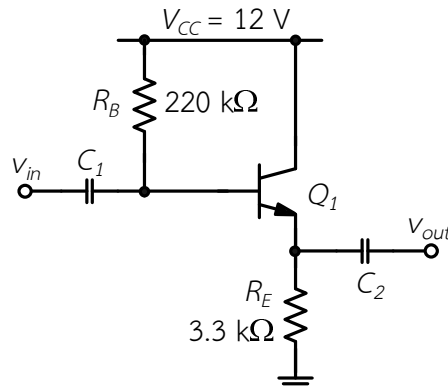
ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

$$R_{out} = 1/g_m \tag{4.57}$$

$$= 1/86.8 \text{ mA/V} \tag{4.58}$$

$$= 11.52 \ \Omega$$

**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

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

เมื่อแทนค่าในสมการกระแส  $I_B$  มีค่าเท่ากับ

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

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

กระแส  $I_C$  มีค่าเท่ากับ

$$I_C = \beta I_B \tag{4.61}$$

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

ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์  $g_m$  มีค่าเท่ากับ

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

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

อัตราขยายของวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วมมีค่าเท่ากับ

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

ค่าความต้านทานเสมือนที่ขาเบสมีค่าเท่ากับ

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

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

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

ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

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

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

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

ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

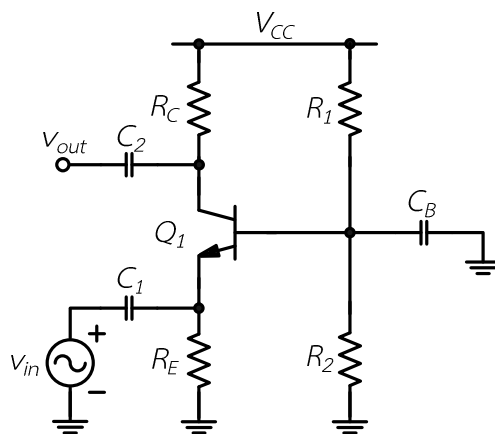
$$R_{out} = 1/g_m \quad (4.70)$$

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

$$= 12.5 \Omega$$

### 4.4 วงจรขยายเบสร่วม (Common base amplifier)

รูปที่ 4.8 แสดงวงจรขยายเบสร่วม วงจรจะต่อขาเบสร่วมกับกราวด์ สัญญาณอินพุตเข้าที่ขาอิมิตเตอร์ และสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขาคอลเล็กเตอร์ เมื่อวิเคราะห์วงจรขยายเบสร่วมด้วยวิธีใช้วงจรเทียบเคียงสัญญาณขนาดเล็ก อัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 4.8 วงจรขยายเบสร่วม

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

อัตราขยายกระแสของวงจรคำนวณได้จากสมการ

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

ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

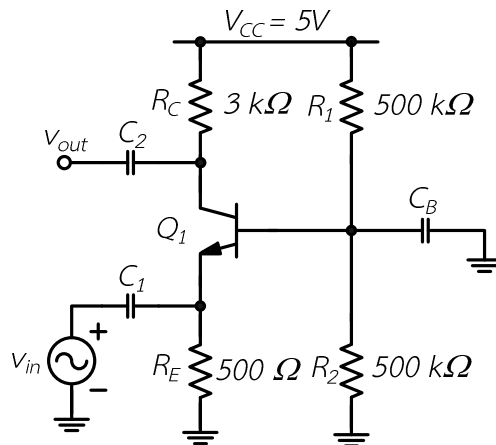
$$R_{in} = 1/g_m \quad (4.74)$$

ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

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

**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  $g_m = 48 \text{ mA/V}$  อัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่าเท่ากับ



รูปที่ 4.9 วงจรขยายเบสร่วม

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

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

$$= 144$$

ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

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

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

$$= 20.83 \Omega$$

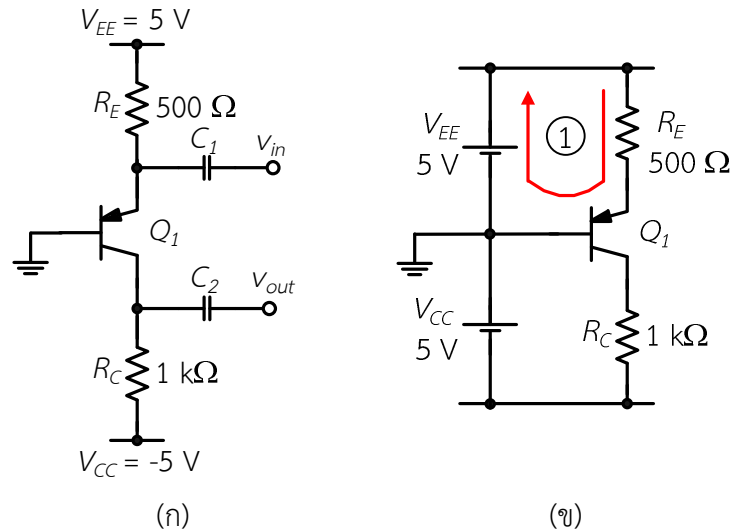
ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

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

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



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

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_E} \tag{4.81}$$

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

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

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \tag{4.83}$$

$$= \frac{4.3\text{mA}}{25\text{mV}} = 172\text{mA/V} \tag{4.84}$$

อัตราขยายแรงดันของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cong g_m R_C \tag{4.85}$$

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

$$= 860$$

ค่าความต้านทานอินพุตหาได้จากสมการ

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

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

$$= 5.81 \text{ }\Omega$$

ค่าความต้านทานเอาต์พุตหาได้จากสมการ

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

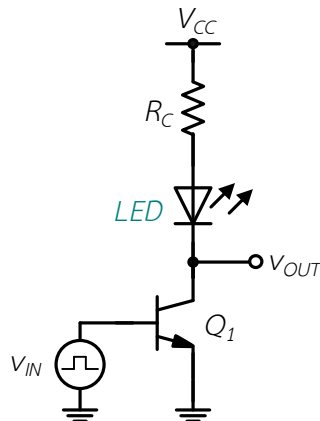
$$= 3 \text{ k}\Omega$$

ตารางที่ 4.1 สรุปคุณสมบัติทั่วไปของวงจรขยายร่วมต่าง ๆ

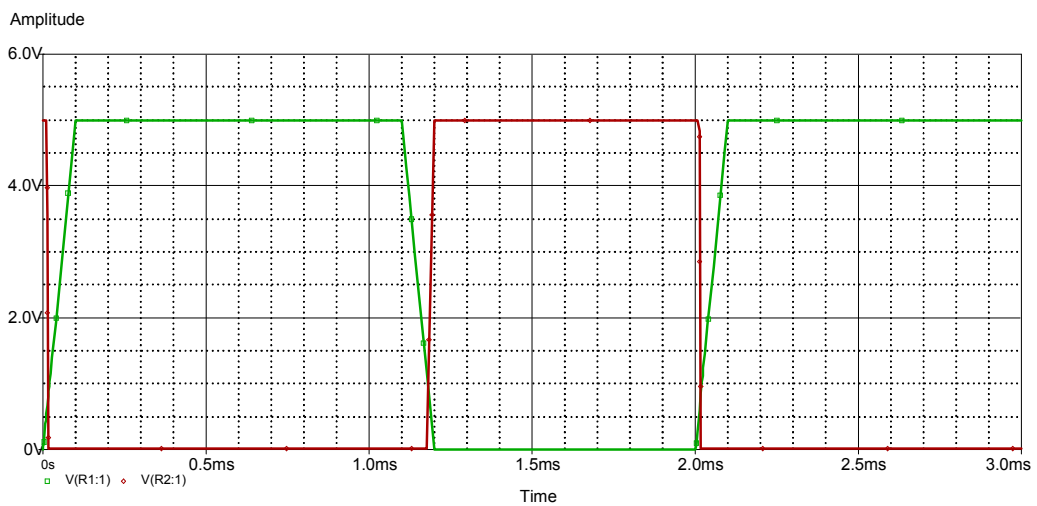
Configuration	$A_V$	$A_i$	$R_i$	$R_o$	Phase
Common Emitter	High	Low	Medium	Medium	180
Emitter-Follower	$\cong 1$	High	High	Low	0
Common Base	High	-1	Low	Medium	0

#### 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



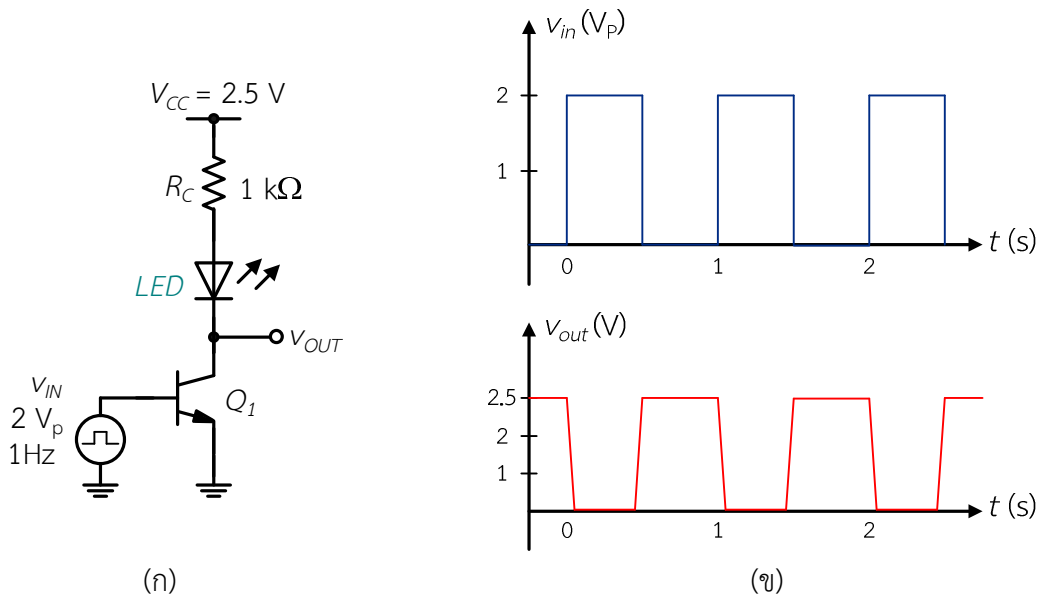
รูปที่ 4.11 วงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์



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



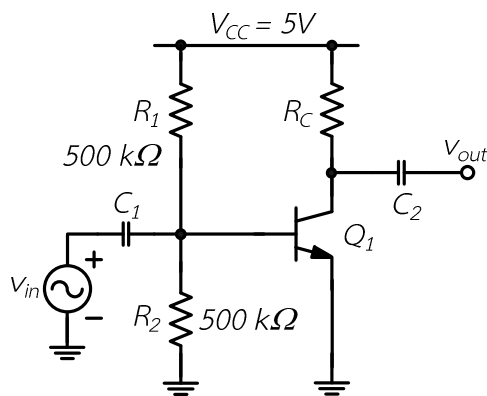
รูปที่ 4.13 (ก) วงจรสวิตซ์ทรานซิสเตอร์ และ (ข) สัญญาณอินพุต และเอาต์พุต

#### 4.6 การทดลองวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์ไบโพล่า

##### 4.6.1 การทดลองวงจรขยายอิมิตอร์ร่วม (มนตรี คิริปรัชญานันท์)

4.6.1.1 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 4.14 กำหนดให้  $C_1 = C_2 = 10 \mu\text{F}$  ทำการวัดกระแส  $I_C$  และแรงดัน  $V_{CE}$

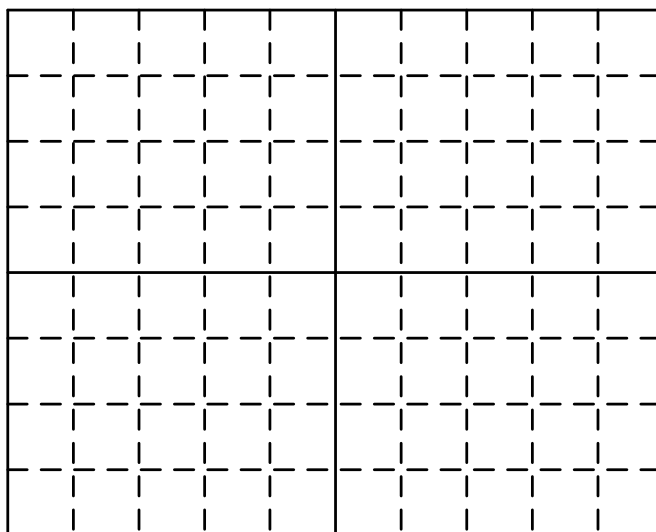
$R_C = \dots\dots\dots$      $I_C = \dots\dots\dots$      $V_{CE} = \dots\dots\dots$



รูปที่ 4.14 วงจรขยายอิมิตอร์ร่วม

4.4.1.2 ป้อนสัญญาณขนาด  $1 \text{ mV}_p$  มีความถี่เท่ากับ  $1 \text{ kHz}$  และต่อ  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  ทำการวัด และวาดภาพสัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตลงในรูปที่ 4.15 พร้อมทั้งระบุขนาดต่าง ๆ ให้ชัดเจน

$V_{in} = \dots\dots\dots$      $V_{out} = \dots\dots\dots$      $I_L = \dots\dots\dots$

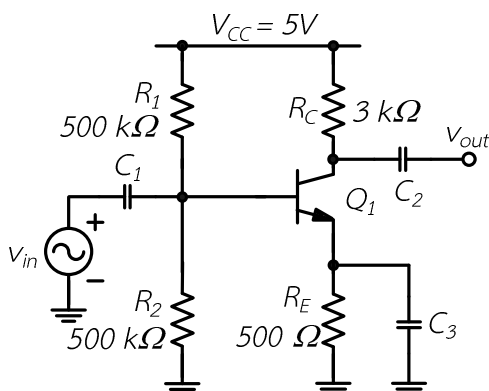


รูปที่ 4.15 ผลการทดลอง

4.6.1.3 ให้คำนวณหาค่าความต้านทานด้านอินพุต ( $R_{in}$ ) และเอาต์พุต ( $R_{out}$ ) อัตราการขยายแรงดัน ( $A_V$ ) อัตราการขยายกระแส ( $A_I$ ) และอัตราการขยายกำลัง ( $A_P$ ) เมื่อต่อตัวต้านทาน  $1\text{ k}\Omega$  ที่เอาต์พุต

4.6.1.4 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 4.16 กำหนดให้  $C_1 = C_2 = C_3 = 10\text{ }\mu\text{F}$  ทำการวัดกระแส  $I_C$  และแรงดัน  $V_{CE}$

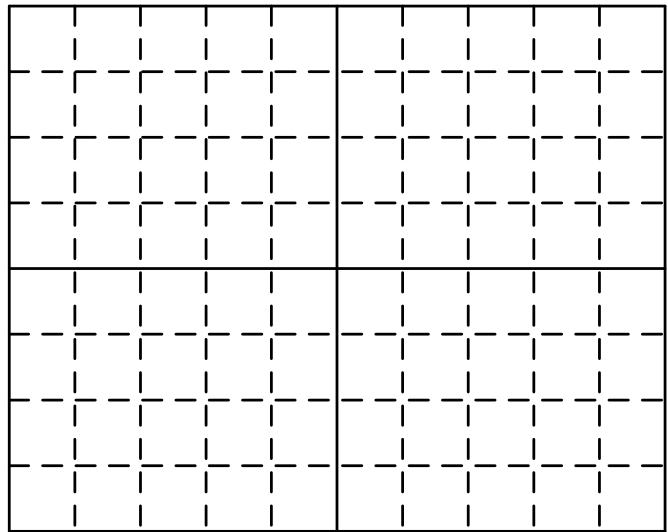
$I_C = \dots\dots\dots$      $V_{CE} = \dots\dots\dots$



รูปที่ 4.16 วงจรขยายอิมิตอร์ร่วม

4.6.1.5 ป้อนสัญญาณขนาด  $1\text{ mV}_p$  มีความถี่เท่ากับ  $1\text{ kHz}$  และต่อ  $R_L = 1\text{ k}\Omega$  ทำการวัด และวาดภาพสัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตลงในรูปที่ 4.17 พร้อมทั้งระบุขนาดต่าง ๆ ให้ชัดเจน

$V_{in} = \dots\dots\dots$        $V_{out} = \dots\dots\dots$        $I_L = \dots\dots\dots$

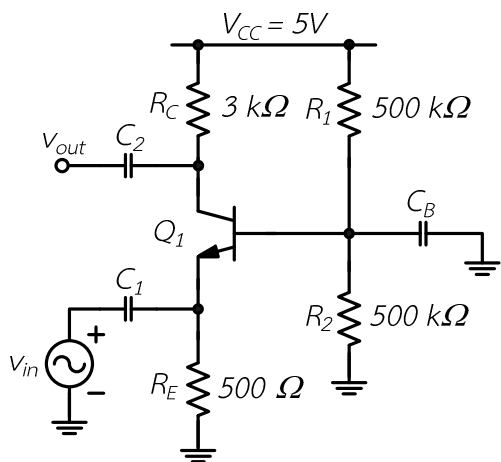


รูปที่ 4.17 ผลการทดลอง

4.6.1.6 ให้คำนวณหาค่าความต้านทานด้านอินพุต ( $R_{in}$ ) และเอาต์พุต ( $R_{out}$ ) อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) อัตราการขยายกระแส ( $A_i$ ) และอัตราการขยายกำลัง ( $A_p$ ) เมื่อต่อตัวต้านทาน  $1\text{ k}\Omega$  ที่เอาต์พุต

**4.6.2 การทดลองวงจรขยายเบสร่วม (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)**

4.6.2.1 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 4.18 กำหนดให้  $C_1 = C_2 = C_3 = 10\ \mu\text{F}$  ทำการวัดกระแส  $I_C$  และแรงดัน  $V_{CE}$

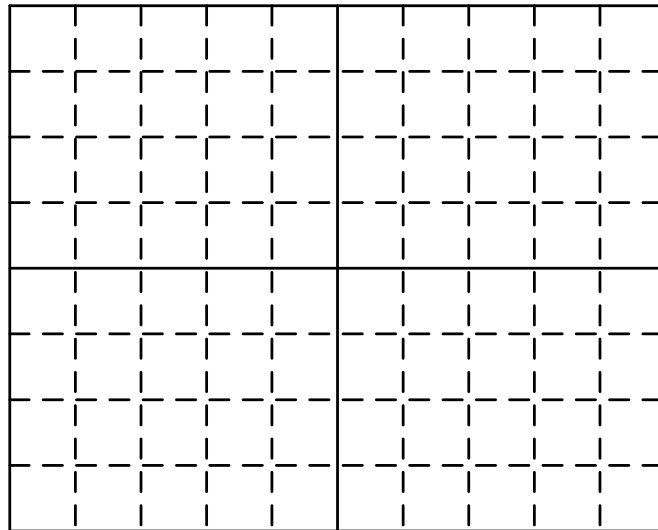


รูปที่ 4.18 วงจรขยายเบสร่วม

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

4.6.2.2 ป้อนสัญญาณขนาด  $1\text{ mV}_p$  มีความถี่เท่ากับ  $1\text{ kHz}$  และต่อ  $R_L = 1\text{ k}\Omega$  ทำการวัด และวาดภาพสัญญาณอินพุต และเอาต์พุตลงในรูปที่ 4.19 พร้อมทั้งระบุขนาดต่าง ๆ ให้ชัดเจน

$V_{in} = \dots\dots\dots$        $V_{out} = \dots\dots\dots$        $I_L = \dots\dots\dots$



รูปที่ 4.19 ผลการทดลอง

4.6.2.3 ให้คำนวณหาค่าความต้านทานด้านอินพุต ( $R_{in}$ ) และเอาต์พุต ( $R_{out}$ ) อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) อัตราการขยายกระแส ( $A_i$ ) และอัตราการขยายกำลัง ( $A_p$ ) เมื่อต่อตัวต้านทาน  $1\text{ k}\Omega$  ที่เอาต์พุต

4.6.2.4 ให้เขียนตารางเพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานด้านอินพุตและเอาต์พุต อัตราการขยายแรงดัน อัตราการขยายกระแส และอัตราการขยายกำลังของวงจรขยายทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากการทดลอง และคำนวณ

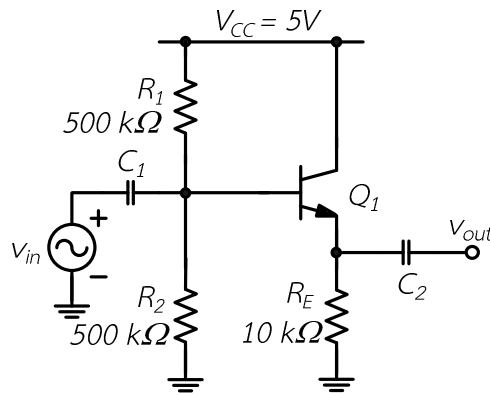
**4.6.3 การทดลองวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม (มนตรี ศิริปรัชญานันท์)**

4.6.3.1 ให้ต่อวงจรตามรูปที่ 4.20 กำหนดให้  $C_1 = C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$  และวัดกระแส  $I_C$  และแรงดัน  $V_{CE}$

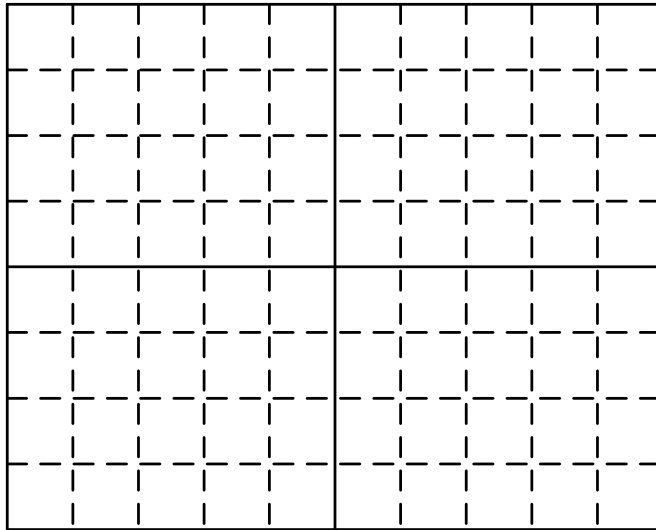
$I_C = \dots\dots\dots$        $V_{CE} = \dots\dots\dots$

4.6.3.2 ป้อนสัญญาณขนาด  $1\text{ mV}_p$  มีความถี่เท่ากับ  $1\text{ kHz}$  และต่อ  $R_L = 500\text{ }\Omega$  ทำการวัด และวาดภาพสัญญาณอินพุต และเอาต์พุตลงในรูปที่ 4.21 พร้อมทั้งระบุขนาดต่าง ๆ ให้ชัดเจน

$V_{in} = \dots\dots\dots$        $V_{out} = \dots\dots\dots$        $I_L = \dots\dots\dots$



รูปที่ 4.20 วงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม



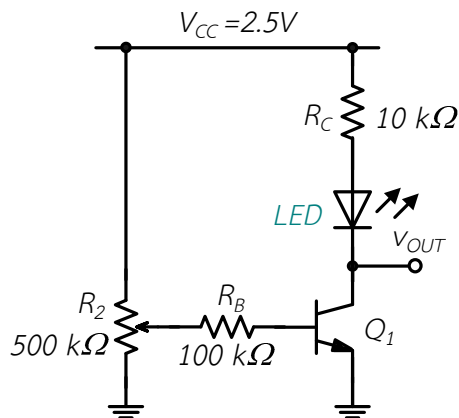
รูปที่ 4.21 ผลการทดลอง

4.6.3.3 ให้คำนวณหาค่าความต้านทานที่อินพุต ( $R_{in}$ ) และเอาต์พุต ( $R_{out}$ ) อัตราการขยายแรงดัน ( $A_v$ ) อัตราการขยายกระแส ( $A_i$ ) และอัตราการขยายกำลัง ( $A_p$ ) เมื่อต่อตัวต้านทาน  $100\ \Omega$  ที่เอาต์พุต

#### 4.6.4 การใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์

4.6.4.1 ต่อดังตามรูปที่ 4.22 คำนวณหาค่าแรงดัน  $V_{CE(cutoff)}$   $V_{CE(sat)}$   $V_{RC(sat)}$  และกระแส  $I_{sat}$  และทำการทดลองวัดหาค่าแรงดัน  $V_{CE(cutoff)}$   $V_{CE(sat)}$   $V_{RC(sat)}$  และกระแส  $I_{sat}$  เพื่อบันทึกลงในตารางที่ 4.2



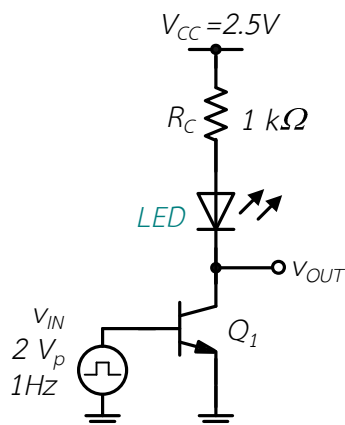


รูปที่ 4.22 วงจรที่ใช้ BJT เป็นสวิตช์ โดยใช้  $R_1$  ปรับแรงดันอินพุต

ตารางที่ 4.2 ผลการปรับ potentiometer

ตัวแปร	ค่าที่คำนวณ	ค่าที่วัด
$V_{CE(cutoff)}$		
$V_{CE(sat)}$		
$V_{RC(sat)}$		
$I_{sat}$		

4.6.4.2 ต่่วงจรตามรูปที่ 4.23 โดยป้อนสัญญาณพัลส์แรงดัน  $2 V_p$  ที่ความถี่ 1 Hz และ 10 Hz วัดสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่ความถี่ 1 Hz และ 10 Hz



รูปที่ 4.23 วงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานลักษณะสวิตช์โดยใช้สัญญาณพัลส์เป็นแรงดันอินพุต

#### 4.6.5 สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

#### 4.7 บทสรุป

วงจรขยายแบบอิมิตอร์ร่วมมีอินพุตที่ขาเบส และมีเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ คุณลักษณะที่สำคัญของวงจร คือวงจรจะขยายสัญญาณลักษณะแบบกลับเฟส วงจรขยายแบบเบสร่วมมีอินพุตที่ขาอิมิตอร์ และมีเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ วงจรจะขยายสัญญาณลักษณะแบบไม่กลับเฟส และวงจรขยายแบบคอลเล็กเตอร์ร่วมมีอินพุตที่ขาเบส และมีเอาต์พุตที่ขาอิมิตอร์ วงจรจะขยายสัญญาณลักษณะแบบไม่กลับเฟส และขนาดสัญญาณเอาต์พุตมีค่าประมาณเท่ากับขนาดของสัญญาณอินพุต คุณลักษณะดังกล่าวถูกนำไปทดลองเพื่อพิสูจน์การทำงานของวงจรมีความสอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่ วงจรสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยทรานซิสเตอร์แบบไบโพล่ามีความสำคัญอย่างมากในการนำไปใช้ขับรีเลย์ หรือตัดต่อกระแสที่จ่ายให้กับแอลอีดี

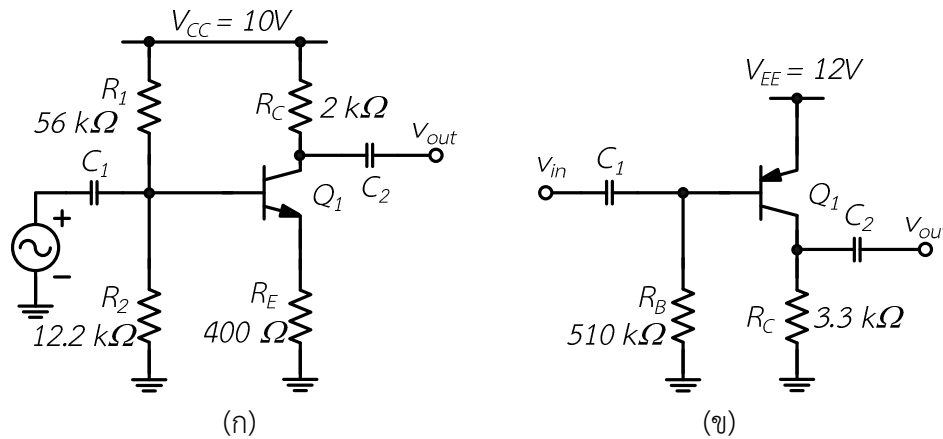
#### คำถามหลังการทดลอง

1. ให้อธิบายการทำงานของวงจรขยายแบบอิมิตอร์ร่วม
2. จากการทดลองวงจรขยายแบบอิมิตอร์ร่วม สัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
3. ให้อธิบายการทำงานของวงจรขยายแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม
4. จากการทดลองวงจรขยายแบบคอลเล็กเตอร์ร่วม สัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
5. ให้อธิบายการทำงานของวงจรขยายแบบเบสร่วม
6. จากการทดลองวงจรขยายแบบเบสร่วม สัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
7. ให้อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่สังเกตได้จากการทดลอง
8. สัญญาณพัลส์ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วงใด LED จึงสว่าง เพราะเหตุใด?

#### แบบฝึกหัดท้ายบท

1. รูปที่ 4.24 (ก) แสดงวงจรขยายอิมิตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$   
 $V_{BE(on)} = 0.7 \text{ V}$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$ ,  $R_{in}$  และ  $R_{out}$

2. กำหนดให้รูปที่ 4.24 (ข) วงจรขยายอิมิตอร์ร่วมมี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 V$  และ  $V_A = \infty$  จงหาอัตราขยาย  $A_v$  ค่าความต้านทานอินพุต  $R_{in}$  และเอาต์พุต  $R_{out}$



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

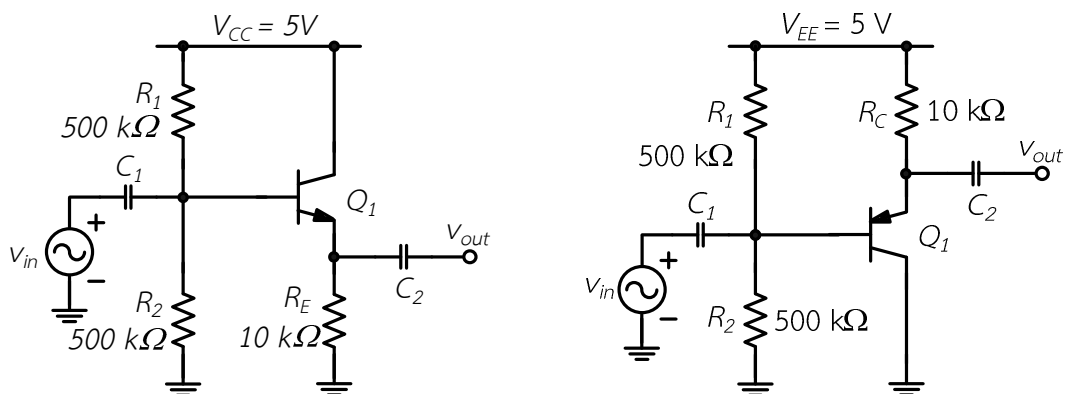
3. รูปที่ 4.25 (ก) แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 V$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$

4. รูปที่ 4.25 (ข) แสดงวงจรขยายคอลเล็กเตอร์ร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 V$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$

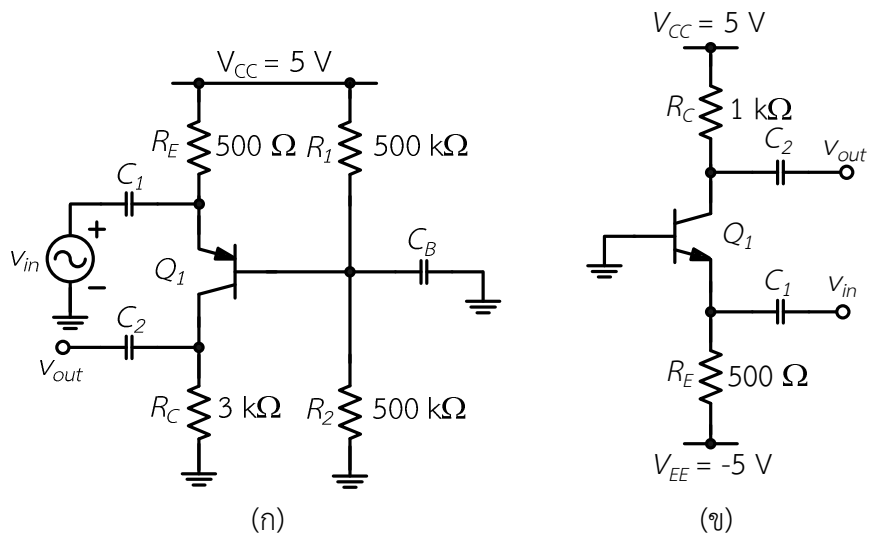
5. รูปที่ 4.26 (ก) แสดงวงจรขยายเบสร่วม กำหนดให้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 V$  และ  $V_A = \infty$  จงหาค่า  $A_v$   $R_{in}$  และ  $R_{out}$

6. กำหนดให้รูปที่ 4.26 (ข) วงจรขยายเบสร่วมมี  $\beta = 100$   $V_{BE(on)} = 0.7 V$  และ  $V_A = \infty$  จงหาอัตราขยาย  $A_v$  ค่าความต้านทานอินพุต  $R_{in}$  และเอาต์พุต  $R_{out}$

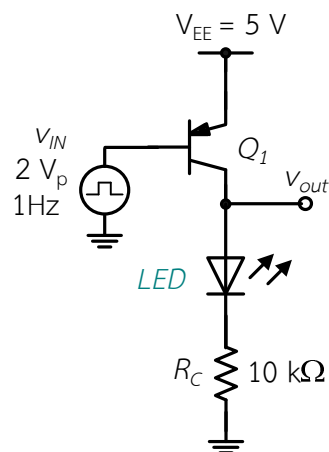
7. ให้วาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรในรูปที่ 4.27



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



รูปที่ 4.26 วงจรขยายเบสร่วม



รูปที่ 4.27 วงจรสวิตช์ที่ใช้แอลอีดีแสดงผล