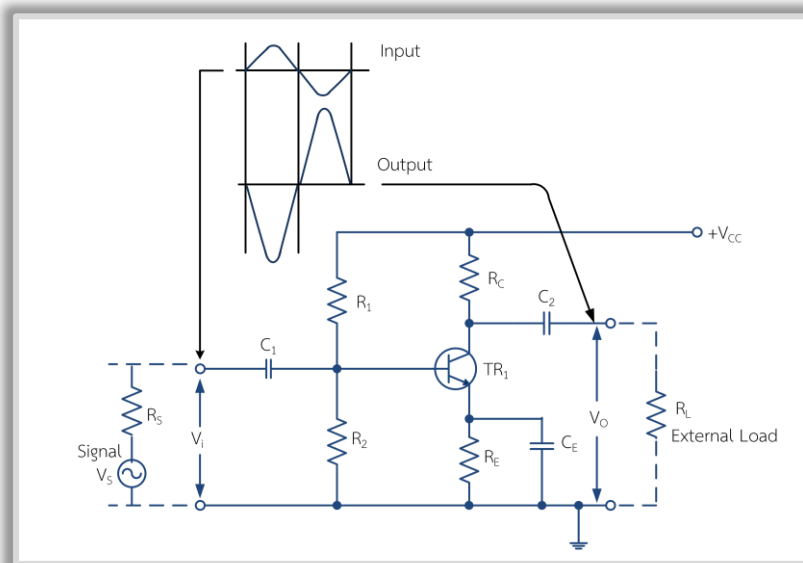
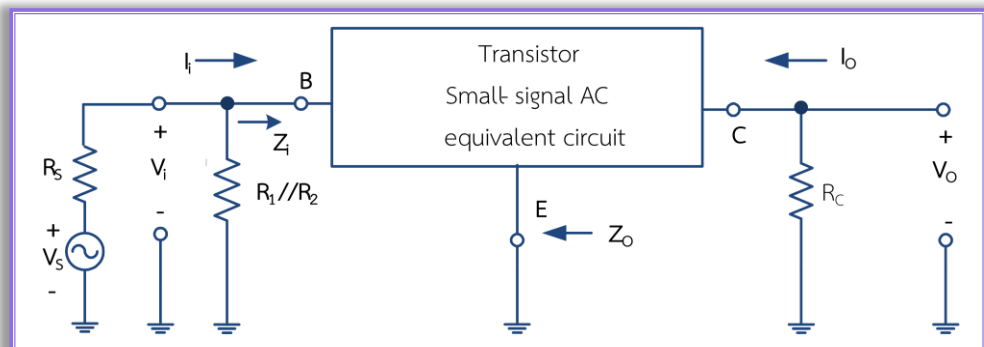


หน่วยที่ 5 การวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบ
 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์
 Small Signal Analysis And Design Transistor Circuit



โดย

นายเอกนรินทร์ พลาชีวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 5

การวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบ

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์

Small Signal Analysis And Design Transistor Circuit

สาระสำคัญ

การวิเคราะห์วงจรขยายทรานซิสเตอร์ โดยใช้วงจรสมมูลของ h พารามิเตอร์ ซึ่งแทนทรานซิสเตอร์ในรูปของค่า h พารามิเตอร์ เป็นการเขียนสมการในรูปของกระแสและแรงดันรวมกันได้ค่า h พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ในวงจรไฮบริดจ์ ประกอบไปด้วยสมการแรงดันอินพุตและสมการกระแสเอาต์พุตวงจรสมมูลไฮบริดจ์ (Hybrid Equivalent Circuit) เป็นวงจรสมมูลที่ใช้สำหรับหาคุณลักษณะในการทำงานของทรานซิสเตอร์ประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์คือ h_{ie} , h_{re} , h_{oe} และ h_{fe} ซึ่งตัวอักษรตัวแรกแสดงถึงค่า h พารามิเตอร์ ตัวอักษรตัวที่สองแสดงถึงความหมายของค่า h พารามิเตอร์ และตัวอักษรตัวที่สามแสดงถึงการต่อวงจร

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ วงจรเทียบเคียงของ h - พารามิเตอร์ การวิเคราะห์การทำงานของวงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์ การวิเคราะห์การทำงานของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ การวิเคราะห์การทำงานของวงจรคอมมอนเบส ด้วย h - พารามิเตอร์ การออกแบบวงจรขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

5.1 บอกความหมายของค่าพารามิเตอร์ (Parameter) จากวงจรเทียบเคียง h - พารามิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

5.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์ด้วย h - พารามิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

5.3 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ด้วย h - พารามิเตอร์ได้

5.4 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนเบสด้วย h - พารามิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

5.5 ออกแบบวงจรขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหา

- 5.1 วงจรเทียบเคียงของ h - พารามิเตอร์
- 5.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์ด้วย h - พารามิเตอร์
- 5.3 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ด้วย h - พารามิเตอร์
- 5.4 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรคอมมอนเบส ด้วย h - พารามิเตอร์
- 5.5 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์

แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 5 การวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบวงจรขยาย

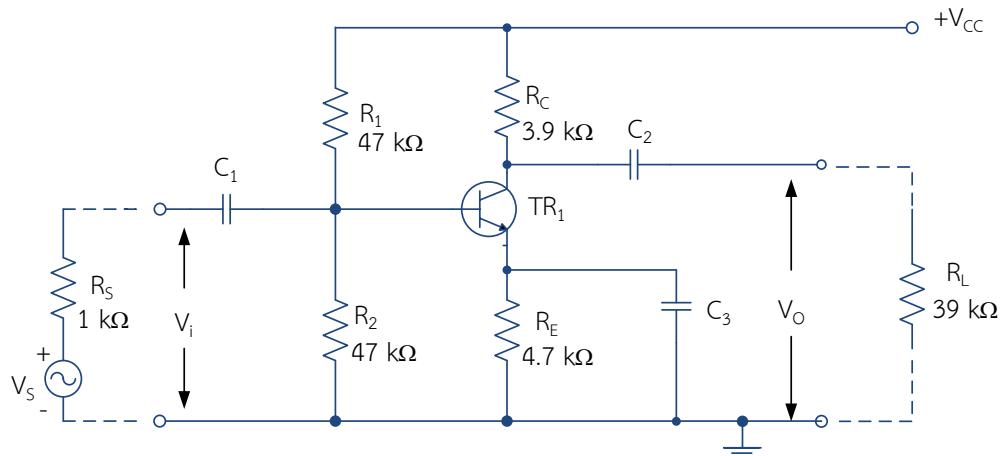
สัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์

(Small Signal Analysis And Design Transistor Circuit)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

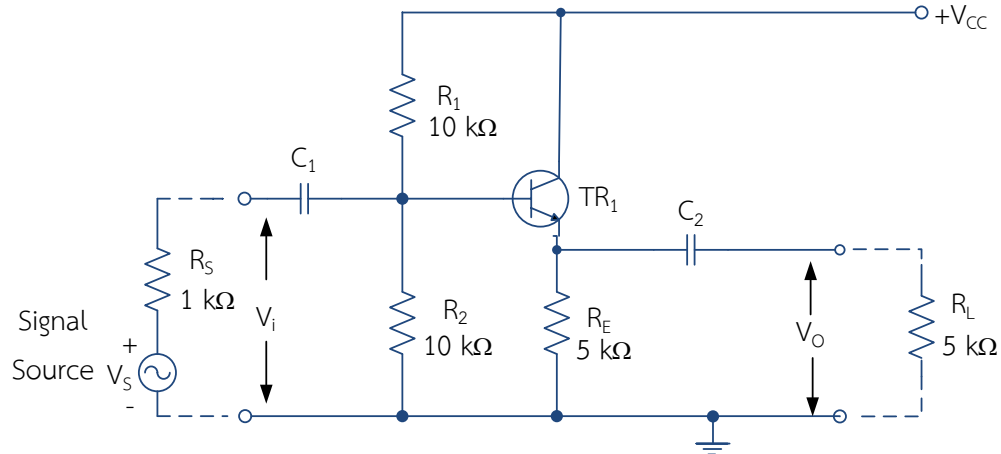
1. จากวงจรขยายคอมมอนอีมีเตอร์มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 40$ และ $h_{oe} = 1 \text{ }\mu\text{S}$ จงคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 1 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 1

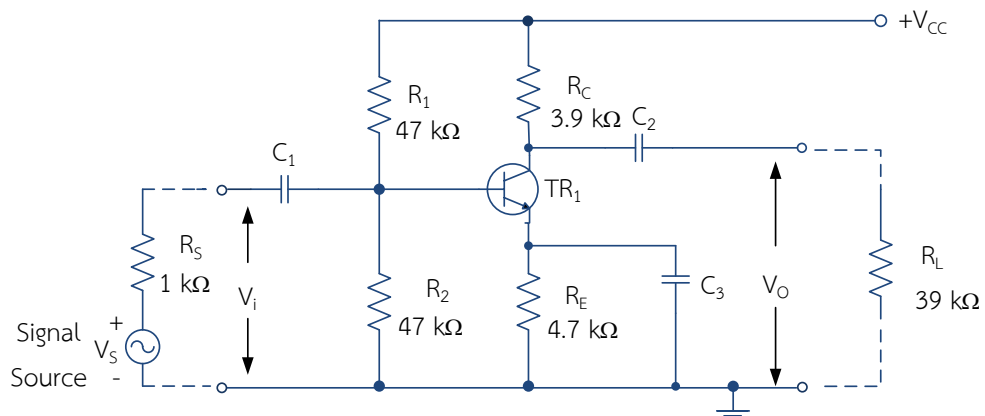
- ก. $454.62 \text{ }\Omega$
- ข. $574.93 \text{ }\Omega$
- ค. $621.46 \text{ }\Omega$
- ง. $832.32 \text{ }\Omega$
- จ. $959.18 \text{ }\Omega$

2. จากวงจรขยายคอมมอนคอลเลคเตอร์กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie} = 1\text{k}\Omega$ และ $h_{fe} = 40$ จงคำนวณหาค่าค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจร (Z_O)



รูปที่ 2 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 2

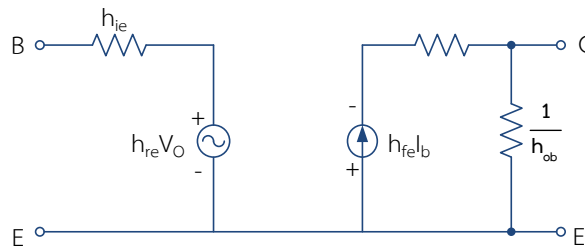
- ก. $4.77\text{ k}\Omega$
 ข. $6.45\text{ k}\Omega$
 ค. $7.61\text{ k}\Omega$
 ง. $5.43\text{ k}\Omega$
 จ. $9.38\text{ k}\Omega$
3. จากวงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาสมีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ $h_{ie} = 1\text{k}\Omega$, $h_{fe} = 40$ และ $h_{oe} = 1\mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดัน (A_V)



รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 3

- ก. -0.55
 ข. -0.66
 ค. -0.73
 ง. -0.89
 จ. -0.91

4. จากวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ข้อใดคือความหมายของ h_{re}



รูปที่ 4 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 4

ก. Input Resistance

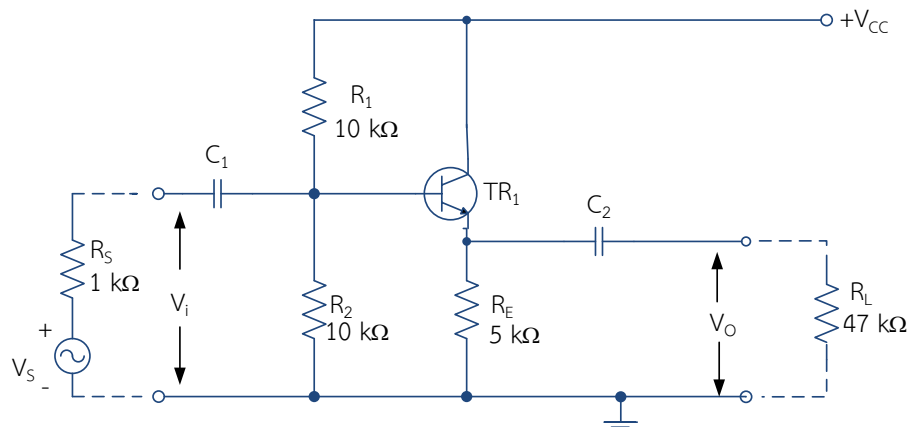
ข. Output Conductance

ค. Reverse Voltage Transfer Ratio

ง. Forward Current Transfer Ratio

จ. Reverse Current Transfer Ratio

5. จากวงจรขยายคอมมอนคอลเลคเตอร์กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie} = 1\text{ k}\Omega$ และ $h_{fe} = 40$ จงคำนวณหาอัตราขยายแรงดันเมื่อ $R_L \gg R_E$



รูปที่ 5 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 5

ก. $A_V \geq 1$

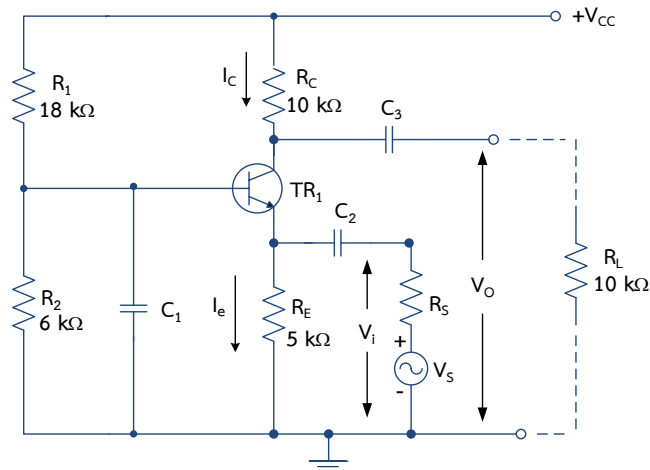
ข. $A_V \leq 1$

ค. $A_V \approx 1$

ง. $A_V = \pm 1$

จ. $A_V = \pm 2$

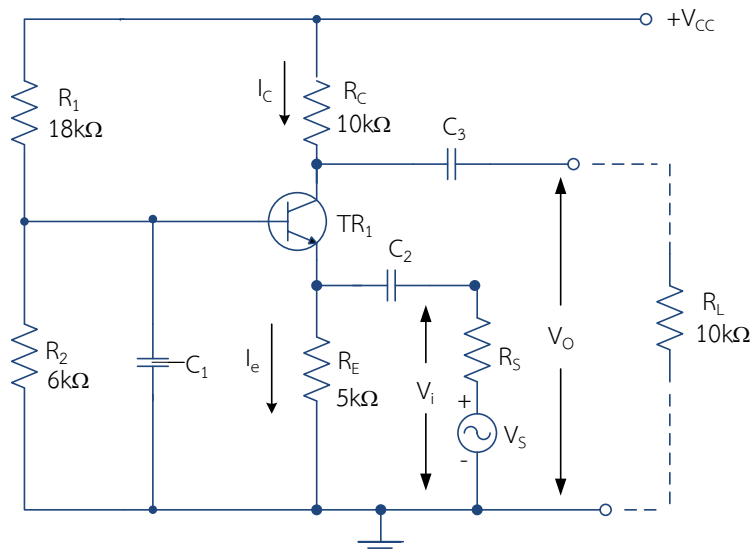
6. จากวงจรขยายคอมมอนเบส กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie} = 2.1\text{ k}\Omega$ และ $h_{fe} = 100$ จงคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 6 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 6

- ก. 15.78 Ω
- ข. 21.49 Ω
- ค. 27.45 Ω
- ง. 29.41 Ω
- จ. 31.32 Ω

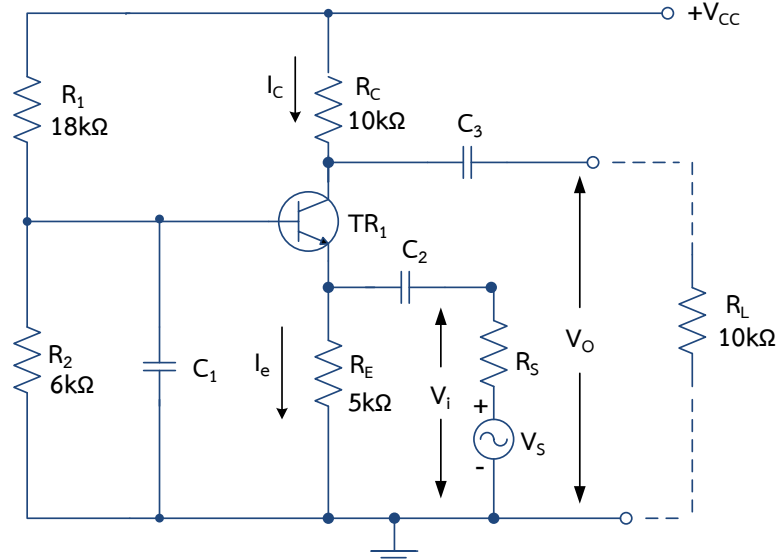
7. จากวงจรขยายคอมมอนเบส กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie} = 2.1 \text{ k}\Omega$ และ $h_{fe} = 100$ จงคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_v)



รูปที่ 7 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 7

- ก. 151
- ข. 221
- ค. 184
- ง. 238
- จ. 261

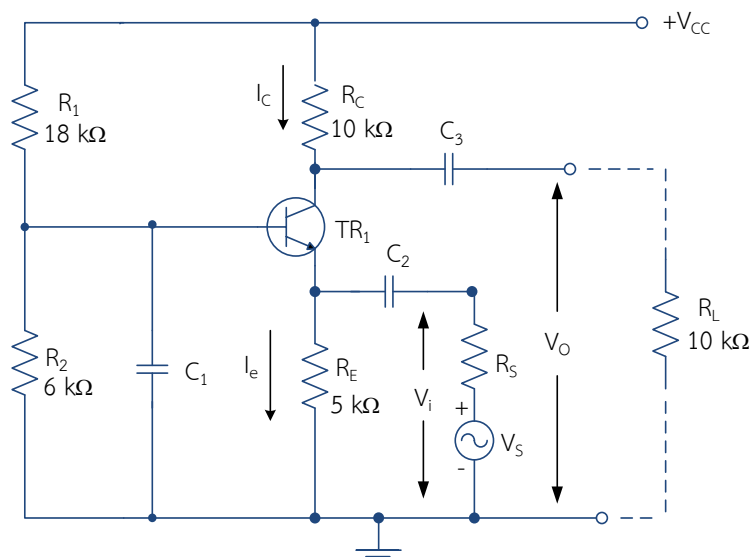
8. จากวงจรขยายคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังนี้ $h_{ie}=2.1 \text{ k}\Omega$ และ $h_{fe}=100$ จงคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 8 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 8 ที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ

- ก. 25.22 Ω
- ข. 45.48 Ω
- ค. 53.46 Ω
- ง. 64.90 Ω
- จ. 71.42 Ω

9. จากวงจรขยายคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังนี้ $h_{ie}=2.1 \text{ k}\Omega$ และ $h_{fe} = 100$ จงคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 9 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 9 กรณีไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ

ก. 150.46

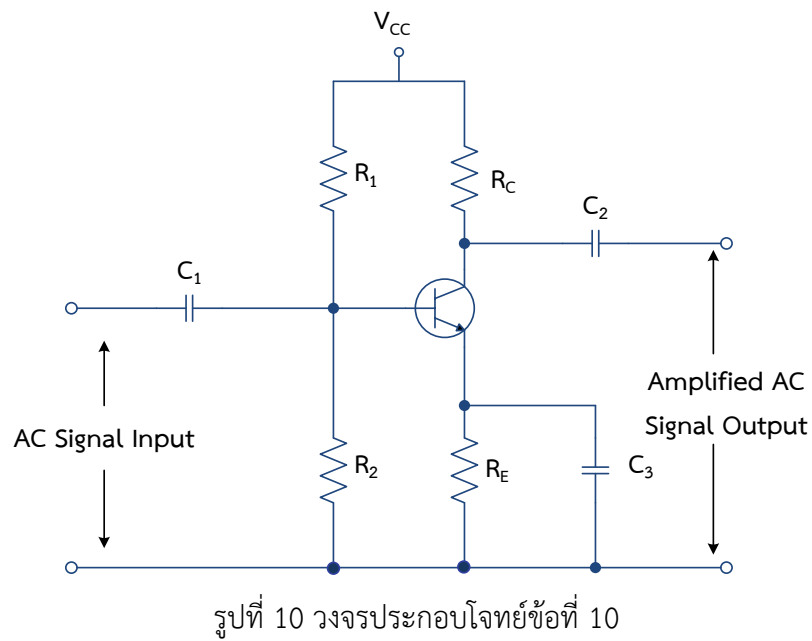
ข. 164.58

ค. 219.11

ง. 242.52

จ. 285.33

10. จากวงจร จงคำนวณหาค่า R_C เมื่อวงจรใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง 12 V ทรานซิสเตอร์มีค่า $h_{fe} = 100$ ต้องการกระแสไหลออกที่เอาต์พุต 300 mA

ก. 40.00 Ω ข. 40.48 Ω ค. 40.46 Ω ง. 40.90 Ω จ. 40.42 Ω

หน่วยที่ 5

การวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบ

วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์

Small Signal Analysis And Design Transistor Circuit

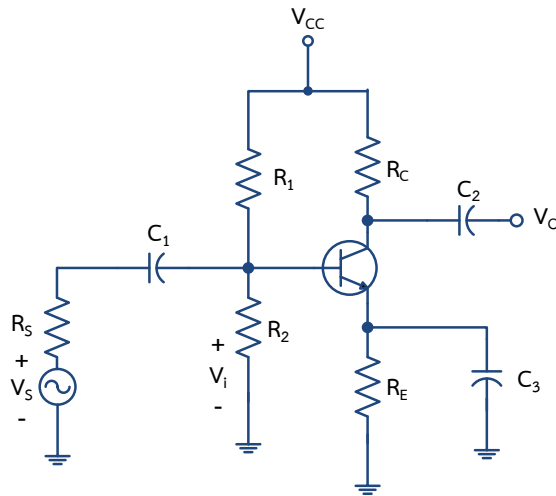
เนื้อหาสาระ

เมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับการไบอัสโดยมีจุดการทำงานอยู่บริเวณกึ่งกลางของเส้นโหลดไลน์ (Load Line) เราสามารถป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กเข้าไปที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นที่ขาคอลเล็กเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณที่ป้อนเข้าไปที่ขาเบส นั่นหมายความว่า ทรานซิสเตอร์มีการขยายเกิดขึ้นนั่นเอง โดยในอดีตุอุปกรณ์ที่สามารถขยายสัญญาณได้ อันดับแรกคือหลอดสุญญากาศ ต่อมาก็คือ ทรานซิสเตอร์ หากไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถขยายสัญญาณได้ ก็คงไม่มีเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ หรือคอมพิวเตอร์ ให้ใช้อย่างในปัจจุบัน

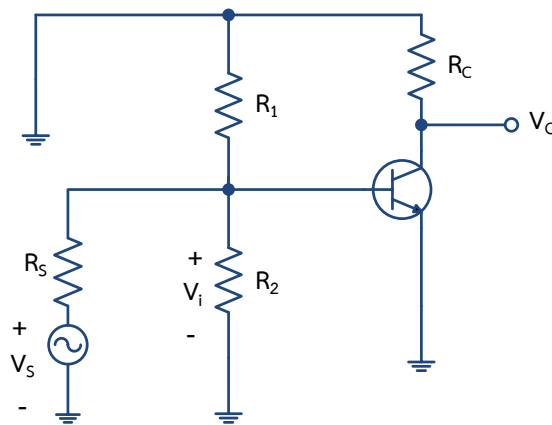
ในการวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก (Transistor small signal Analysis) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น เราจะใช้แบบจำลองของทรานซิสเตอร์ (Transistor Model) แทนการใช้สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ แบบจำลองของทรานซิสเตอร์ เป็นวงจรเทียบเคียง หรือบางครั้งอาจเรียกว่า วงจรเทียบเคียงที่สมมูลค่าส่วนประกอบต่าง ๆ ในวงจรขึ้นมาให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงของทรานซิสเตอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลอง r_e และ แบบจำลองไฮบริดจ์ โดยเนื้อหาของเอกสารประกอบการเรียนในหน่วยนี้จะใช้แบบจำลองไฮบริดจ์ในการอธิบาย

สมมติเราเขียนแบบจำลอง หรือวงจรเทียบเคียงของทรานซิสเตอร์ที่มีสัญญาณ AC ขนาดเล็ก (Transistor Small Signal AC Equivalent Circuits) ได้แล้ว เราจะมาพิจารณากันว่าส่วนอื่น ๆ ของวงจรที่ต่อเชื่อมกับแบบจำลองของทรานซิสเตอร์มีวิธีการเขียนอย่างไร

จากที่เราทราบว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ มีความสำคัญกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ในเรื่องของการยกระดับสัญญาณเอาต์พุต แต่ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงหรือการสวิงของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ นอกจากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับทรานซิสเตอร์ มีความสำคัญสำหรับการกำหนดจุดการทำงานเมื่อได้จุดการทำงานแล้วแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก็ไม่มีสำคัญต่อการพิจารณาการขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นเราจึงกำหนดให้ลัวงจรที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูป



5.1 (ก)

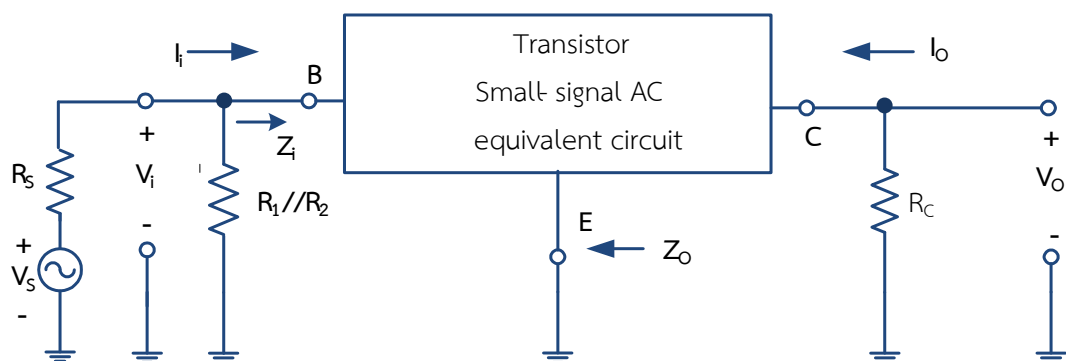


5.1 (ข)

รูปที่ 5.1 แสดงการลัดวงจรที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ความถี่ใช้งานในวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 100 kHz จะทำให้รีแอคแตนซ์ของ C_1 , C_2 และ C_3 มีค่าน้อยจึงแทน C เหล่านี้ด้วยการลัดวงจร)

เนื่องจาก C_3 ต่อคร่อมกับ R_E จึงไม่มีกระแสไหลผ่าน R_E แต่จะไหลผ่าน C_3 (ซึ่งถูกลัดวงจร) จึงนำ R_E ออกจากวงจรดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 วงจรเทียบเคียง

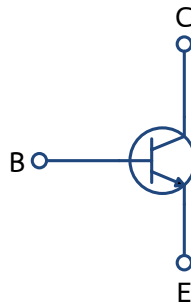
สรุปขั้นตอนการเขียนวงจรเทียบเคียงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์วงจรทางไฟฟ้ากระแสสลับ ได้ดังนี้

1. กำหนดแหล่งจ่าย DC ทั้งหมดให้เป็นศูนย์ และแทนแหล่งจ่ายด้วยค่าเทียบเคียงลัดวงจร
2. แทน C ทั้งหมดด้วยค่าเทียบเคียงลัดวงจร
3. ย้ายองค์ประกอบทั้งหมดที่ถูกลัดวงจรออกไป
4. เขียนวงจรใหม่

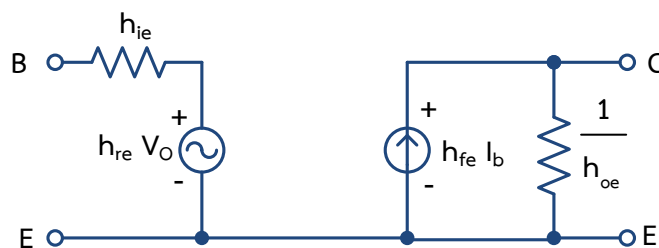
5.1 วงจรเทียบเคียงของ h พารามิเตอร์

การวิเคราะห์วงจรขยายทรานซิสเตอร์ โดยใช้วงจรสมมูลของ h พารามิเตอร์ ซึ่งแทนทรานซิสเตอร์ในรูปของค่า h พารามิเตอร์เป็นการเขียนสมการในรูปของกระแสและแรงดันรวมกันได้ ค่า h พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ในวงจรไฮบริดจ์ ประกอบไปด้วยสมการแรงดันอินพุตและสมการกระแสเอาต์พุตวงจรสมมูลไฮบริดจ์ (Hybrid Equivalent Circuit) เป็นวงจรสมมูลที่ใช้สำหรับหาคูณลักษณะในการทำงานของทรานซิสเตอร์ ประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์คือ h_{ie} , h_{re} , h_{oe} และ h_{fe} ซึ่งตัวอักษรตัวแรกแสดงถึงค่า h พารามิเตอร์ ตัวอักษรตัวที่สองแสดงถึงความหมายของค่า h พารามิเตอร์และตัวอักษรตัวที่สามแสดงถึงการต่อวงจร

h พารามิเตอร์ (h parameter) มาจากคำว่า Hybrid Parameter เป็นข้อมูลทั่วไปของทรานซิสเตอร์เป็นค่าที่สามารถวัดได้ในส่วนของทรานซิสเตอร์จะเขียนวงจรเทียบเคียงได้ ดังนี้



(ก) แสดงสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์



(ข) แสดงค่า h พารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์

รูปที่ 5.3 แสดงการแทน h พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์

เมื่อ

$$h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} \quad \text{คือ Input Resistance}$$

$$h_{re} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} \quad \text{คือ Reverse Voltage Transfer Ratio}$$

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \text{คือ Forward Current Transfer Ratio}$$

$$h_{oe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} \quad \text{คือ Output Conductance}$$

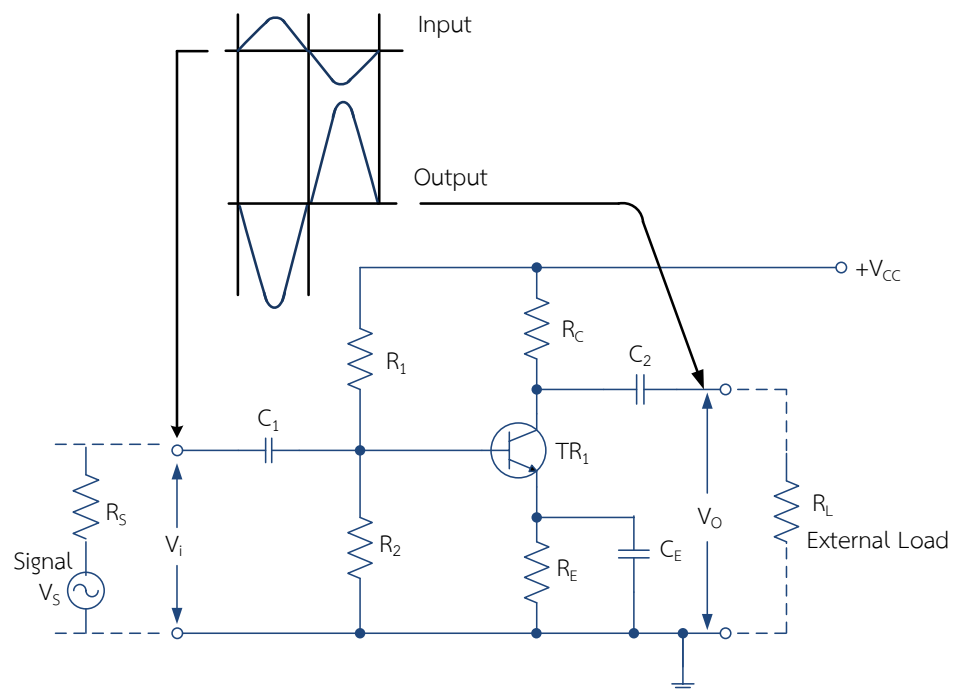
ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ใน Data Sheet จะบอกเฉพาะค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์เท่านั้นหากต้องการทราบค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนอื่น ๆ ต้องเทียบค่าใน

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ (Parameter) จากวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์กับวงจรอื่นๆ

Common Emitter to Common Collector	Common Emitter to Common Base	Common Emitter h - Parameter to r - Parameter
$h_{ic}=h_{ie}$	$h_{ib} \approx \frac{h_{ie}}{(1+h_{fe})}$	$\alpha \approx \frac{h_{fe}}{(1+h_{fe})}$
$h_{rc}=1-h_{re}$	$h_{rb} \approx \frac{h_{ie}h_{oe}-h_{re}}{1+h_{fe}}$	$r_c \approx \frac{1+h_{fe}}{h_{oe}}$
$h_{fc}=-(1+h_{fe})$	$h_{fb} \approx \frac{-h_{fe}}{1+h_{fe}}$	$r_e \approx \frac{h_{re}}{h_{oe}}$
$h_{oc}=h_{oe}$	$h_{ob} \approx \frac{h_{oe}}{1+h_{fe}}$	$r_b \approx h_{ie} - \frac{h_{re}(1+h_{fe})}{h_{oe}}$

5.2 การวิเคราะห์การทำงานของวงจรขยายคอมมอนอิมิตเตอร์ด้วย h พารามิเตอร์ (Common Emitter h Parameter Analysis)

วัตถุประสงค์ของการใช้ h พารามิเตอร์ วิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราขยายแรงดัน ค่าอัตราขยายกระแส ค่ากำลังขยายของวงจรซึ่งจะมีวิธีการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

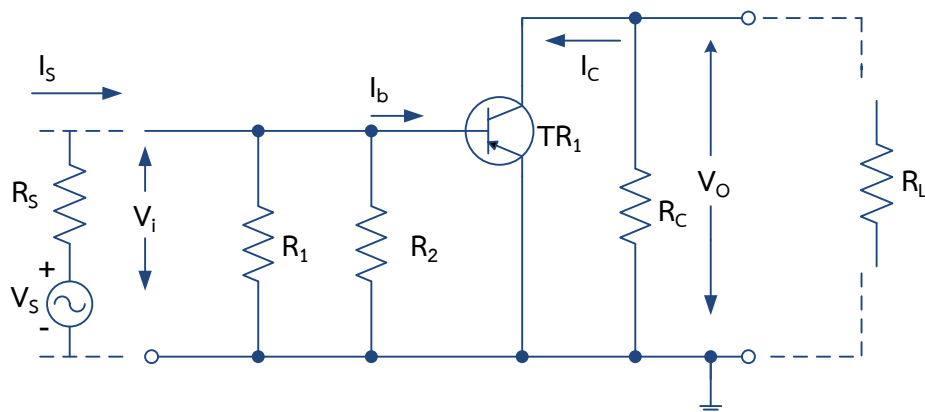


รูปที่ 5.4 แสดงวงจรขยายแบบคอมมอนอีมิเตอร์

จากวงจรในรูปที่ 5.4 เป็นวงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์ จัดไบอัสแบบโวลเตจดีไวเดอร์และเก็บประจุบายพาสส์ (C_E) ต่อเพื่อกำจัดการป้อนกลับของสัญญาณไฟสลับที่ตัวต้านทาน R_E แหล่งกำเนิดสัญญาณจะต่อที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์โดยผ่านตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ C_1 และตัวเก็บประจุ C_2 จะใช้เชื่อมต่อสัญญาณจากขาคอลเลคเตอร์ไปที่โหลดภายนอก R_L

จากวงจรในรูปที่ 5.4 สามารถเขียนวงจรเปรียบเทียบแบบทางไฟสลับ (AC Equivalent Circuit) ของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์ได้ตามลำดับขั้นดังต่อไปนี้

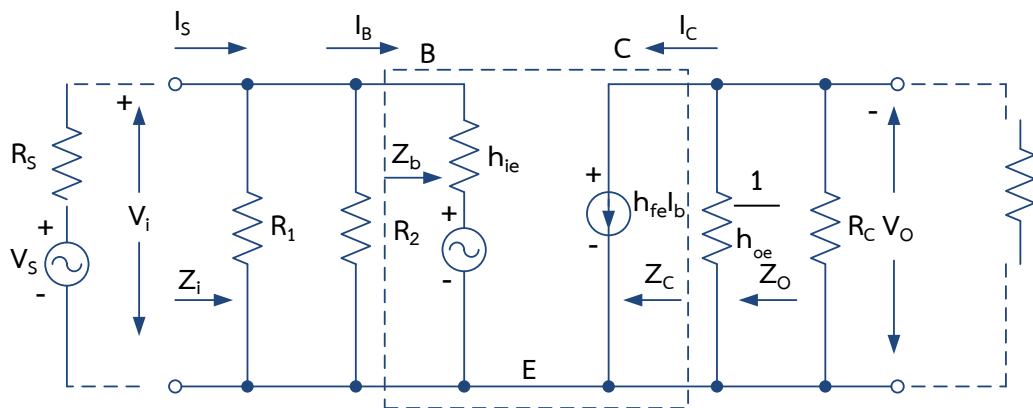
1. ลัตวงจรที่ตัวเก็บประจุทุกตัว
2. ลัตวงจรแหล่งจ่ายไฟ $+V_{CC}$ กับกราวด์
3. ทำการเขียนวงจรเปรียบเทียบทางไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Equivalent Circuit) ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 วงจรเปรียบเทียบทางไฟสลับ (AC Equivalent Circuit) วงจรคอมมอนอีมิเตอร์

จากวงจรในรูปที่ 5.5 การวิเคราะห์วงจรทางไฟสลับ จะแทนตัวเก็บประจุและแหล่งจ่ายแรงดัน ด้วยการลัดวงจร ขั้วบวกของ V_{CC} เปรียบเสมือนเป็นกราวด์ จะได้ว่า R_1 ต่อที่ขาเบสกับกราวด์ ดังนั้น R_1 และ R_2 จะต่อขนานกัน และ R_C จะเปรียบเสมือนกับต่อที่ขั้วคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์กับกราวด์ เป็นผลทำให้ R_C และ R_L ต่อขนานกัน

เมื่อเขียนวงจรเปรียบเทียบทางไฟสลับเสร็จเรียบร้อยแล้วเขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ Equivalent แทนที่ตัวทรานซิสเตอร์หลังจากนั้นทำการเขียนส่วนประกอบของวงจรได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงวงจร Common Emitter h Parameter Circuit

วงจรในรูปที่ 5.6

- เมื่อ V_s = ค่าของแหล่งจ่ายสัญญาณไฟกระแสสลับ (Voltage Source)
 r_s = ค่าความต้านภายในแหล่งจ่ายไฟ (ค่ารีซิสแตนซ์ของแหล่งจ่ายไฟ)
 I_s = ค่ากระแสที่ได้จากแหล่งจ่าย (Current Source)
 Z_i = ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่มองจากจุดที่เราป้อนสัญญาณเข้าไปที่ขาเบส
 Z_o = ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่มองจากจุดที่วัดสัญญาณจากเอาต์พุตเข้าไปที่
 ขาคอลเลคเตอร์
 Z_C = ค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจากขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์เข้าไป

จากวงจร h Parameter Equivalent ของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ในรูปที่ 5.6 สามารถหาค่าต่าง ๆ ในวงจรได้ดังนี้

จากวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ในรูปที่ 5.6 สามารถหาค่าต่าง ๆ ในวงจรได้ดังนี้

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

ในวงจรที่ 5.6 หากพิจารณาเข้าไปทางด้านขาเบสกับขาคอลเลคเตอร์ (Z_b) จะพบว่ามีความ h_{ie} ต่ออนุกรมกับ $h_{re}V_o$ สำหรับวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์นั้นปกติจะมีค่า h_{ie} น้อยมากแต่ก็ยังมีค่ามากกว่า $h_{re}V_o$ (แรงป้อนกลับจากเอาต์พุต) ดังนั้นจึงไม่นำค่า $h_{re}V_o$ มาคิดคำนวณด้วยจึงหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ขาเบส (Z_b) ได้ดังนี้

$$Z_b \approx h_{ie} \quad \dots 5.1$$

ปกติค่าของ $h_{ie} = 1.5 \text{ k}\Omega$

ดังนั้นหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรสามารถหาได้ดังนี้

$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b \quad \dots 5.2$$

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)

พิจารณาที่ขาคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์จะพบค่าความต้านทาน $1/h_{oe}$ ดังนั้น

$$Z_C = \frac{1}{h_{oe}}$$

เมื่อ Z_C คือ เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ (Z_o)

ดังนั้นสามารถหาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ได้ดังนี้

$$Z_o = \frac{1}{h_{oe}} // R_C$$

หรือ

$$Z_o = Z_C // R_C$$

โดยปกติ $1/h_{oe}$ มีค่ามากกว่าค่าของ R_C มากๆ เมื่อนำความต้านทานทั้งสองตัวมาหาค่าอิมพีแดนซ์รวมจะมีค่าเท่ากับ R_C ดังนั้นจะได้ว่า

$$Z_o \approx R_C \quad \dots 5.3$$

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)

ค่าอัตราขยายแรงดันสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Voltage Gain} = A_v$$

$$= \frac{V_o}{V_i}$$

จากรูปที่ 5.6 จะได้

$$V_o = I_C (R_C // R_L)$$

และ

$$V_i = I_b (h_{ie} // h_{re} V_o)$$

เนื่องจากค่าของ $h_{re} V_o$ มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิดฉะนั้นจะได้

$$V_i = I_b h_{ie}$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$A_V = \frac{I_C(R_C // R_L)}{I_b h_{ie}}$$

$$A_V = \frac{I_C}{I_b} \times \frac{(R_C // R_L)}{h_{ie}}$$

เมื่อ

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_b}$$

จะได้ว่า

$$A_V = \frac{-h_{fe} (R_C // R_L)}{h_{ie}} \quad \dots 5.4$$

เครื่องหมายลบในสมการการหาค่าอัตราขยายแรงดันแสดงว่าแรงดันเอาต์พุตที่มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุต 180° (Out of Phase 180° กับ V_i)

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)

ค่าอัตราขยายกระแสเฉพาะของตัวทรานซิสเตอร์หาได้จากสมการ

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_b} \quad \dots 5.5$$

จากวงจรรูปที่ 5.6 เมื่อพิจารณาทางด้านอินพุตจะเห็นว่าแหล่งจ่ายสัญญาณที่อินพุต (V_s) ซึ่งแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุตจะเป็นตัวจ่ายกระแส (Current Source) คือค่า I_s ให้กับวงจรทางด้านอินพุต ซึ่งกระแส I_s จะจ่ายกระแสให้กับความต้านทานขาเบสหรือค่า R_B ซึ่งได้แก่ความต้านทาน $R_1 // R_2$ และกระแสอีกส่วนจะไหลเข้าที่ขาเบส (I_b) ซึ่งจะสามารถหาค่า I_b ได้ดังนี้

$$I_b = \frac{I_s R_B}{R_B + Z_b} \quad \dots 5.6$$

และเมื่อ

$$I_C = h_{fe} I_b \quad \dots 5.7$$

นำค่า I_b ในสมการที่ 5.6 แทนลงในสมการที่ 5.7 จะได้

$$I_C = \frac{h_{fe} I_s R_B}{R_B + Z_b} \quad \dots 5.8$$

หากมีโหลด R_L ต่ออยู่ในวงจรจะหาค่าของอัตราขยายกระแส (A_i) ได้ดังนี้

$$\frac{I_C}{I_S} = \frac{h_{fe} R_B}{R_B + Z_b} \quad \dots 5.9$$

ในกรณีที่ต่อโหลด R_L เข้าวงจรจะหาค่ากระแสโดยใช้หลักการของแบ่งกระแสได้ดังนี้

$$I_L = \frac{I_C R_C}{R_C + R_L} \quad \dots 5.10$$

นำสมการที่ 5.8 แทนลงในสมการที่ 5.10 จะได้ว่า

$$I_L = \frac{h_{fe} I_S R_C R_B}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

นำสมการที่ 5.8 แทนค่าลงในสมการที่ 5.10 จะได้สมการหาค่าอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = \frac{I_L}{I_S} = \frac{h_{fe} \cdot R_C \cdot R_B}{(R_C + R_L) \cdot (R_B + Z_b)} \quad \dots 5.11$$

5) ค่าอัตราขยายกำลังของวงจร (A_p)

กำลังที่อินพุตของทรานซิสเตอร์คือ $V_i \times I_b$ และกำลังที่เอาต์พุตคือ $V_o \times I_C$ ดังนั้นอัตราขยายกำลังของทรานซิสเตอร์คือ

$$A_{PT} = \frac{(V_o \times I_C)}{(V_i \times I_b)}$$

$$A_{PT} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{I_C}{I_b}$$

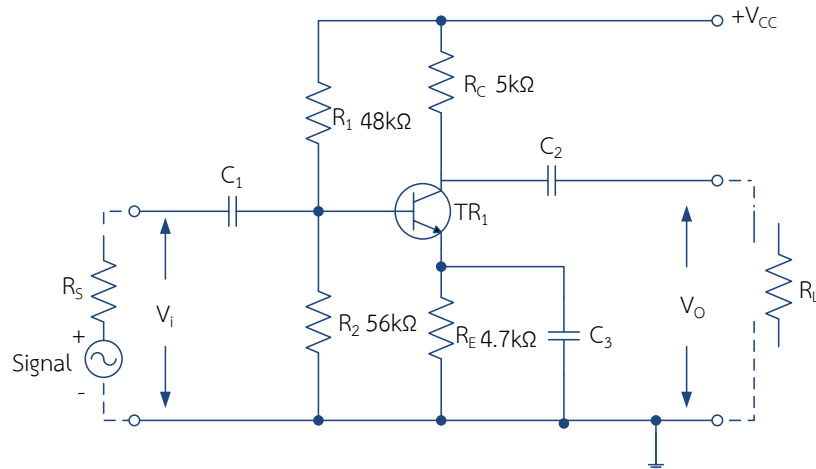
$$A_{PT} = A_V \times h_{fe} \quad \dots 5.12$$

ดังนั้น จะได้สมการการหาค่ากำลังขยายของวงจร (Power Gain) ของทั้งวงจรจะหาได้ดังนี้

$$A_p = A_V \times A_i \quad \dots 5.13$$

ตัวอย่างที่ 5.1 วงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.7 มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้ $h_{ie} = 4 \text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 200$ และ $h_{oe} = 1 \mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)
- 4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)
- 5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p)



รูปที่ 5.7 วงจรขยายแบบคอมมอนอีมิเตอร์

วิธีทำ 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ได้จากสมการที่ 5.1

$$\begin{aligned} Z_b &\approx h_{ie} \\ &\approx h_{ie} \\ &= 4 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

และอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรทั้งหมดหาได้จากสมการที่ 5.2

$$\begin{aligned} Z_i &= R_1 // R_2 // Z_b \\ &= 48 \text{ k}\Omega // 56 \text{ k}\Omega // 4 \text{ k}\Omega \\ &= 3.46 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ได้จาก

$$\begin{aligned} Z_c &= \frac{1}{h_{oe}} \\ &= 1 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

และจะหาเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ได้ดังนี้จากสมการที่ 5.3

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{1}{h_{oe}} // R_C \\ Z_o &= 1 \text{ M}\Omega // 5 \text{ k}\Omega \\ Z_o &\approx 4.97 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_V) ได้จากสมการที่ 5.4

$$\begin{aligned} A_V &= \frac{-h_{fe}(R_C // R_L)}{h_{ie}} \\ &= \frac{-100(5 \text{ k}\Omega // 82 \text{ k}\Omega)}{4 \text{ k}\Omega} \\ &= -117.81 \end{aligned}$$

ตอบ

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i) ได้จากสมการที่ 5.11

เมื่อ

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{h_{fe} \cdot R_C \cdot R_B}{(R_C + R_L) \cdot (R_B + Z_b)} \\ R_B &= R_1 // R_2 \\ &= 48 \text{ k}\Omega // 56 \text{ k}\Omega \\ &= 25.84 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{100 \times 5 \text{ k}\Omega \times 25.84 \text{ k}\Omega}{(5 \text{ k}\Omega + 82 \text{ k}\Omega) \cdot (25.84 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega)} \\ &= 4.97 \end{aligned}$$

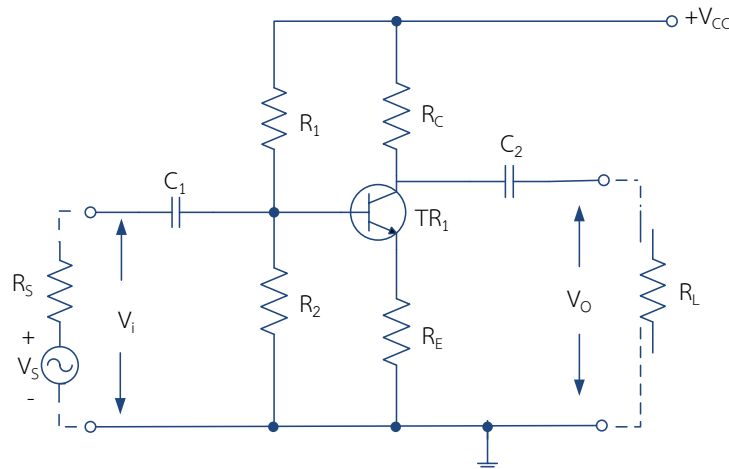
ตอบ

5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p) ได้จากสมการที่ 5.13

$$\begin{aligned} A_p &= A_V \times A_i \\ &= 117.81 \times 4.97 \\ &= 585.51 \end{aligned}$$

ตอบ

5.2.1 การวิเคราะห์วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส (C_E) ด้วย พารามิเตอร์

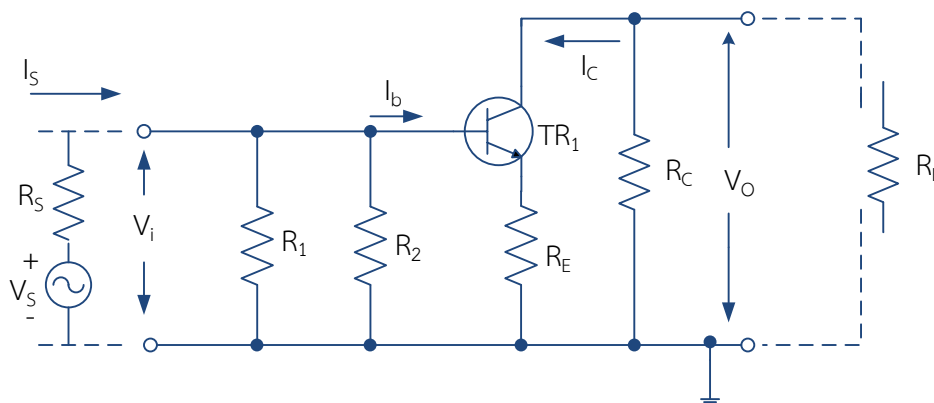


รูปที่ 5.8 แสดงวงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส

จากวงจรในรูปที่ 5.8 จะพบว่า ที่ขาอิมิตเตอร์ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาสต่อขานานกับ R_E (Unbypassed Emitter Capacitor) หรือไม่ได้ต่อ C_E ซึ่งตัวเก็บประจุ C_E ทำหน้าที่ชดเชยอัตราขยายแรงดัน อัตราการขยายกระแสและอัตราการขยายกำลังของวงจรถ้าหากไม่ต่อตัวเก็บประจุ C_E แล้วจะมีผลทำให้ค่าอัตราขยายแรงดัน อัตราการขยายกระแสและอัตราการขยายกำลังของวงจรลดลง ซึ่งสามารถใช้ h พารามิเตอร์ วิเคราะห์วงจรได้ดังนี้

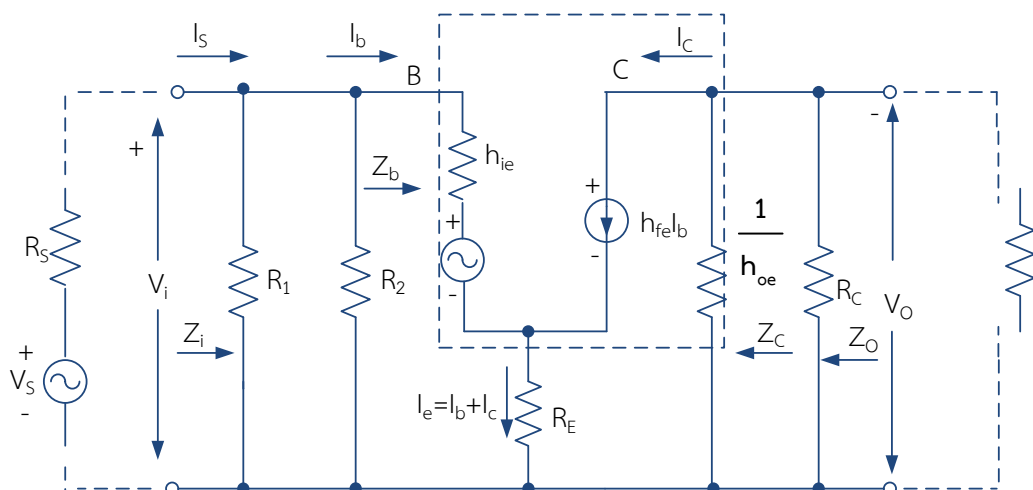
จากวงจรในรูปที่ 5.8 สามารถเขียนเป็นวงจรเปรียบเทียบทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังนี้

1. ลัทธิวงจรตัวเก็บประจุ
2. ลัทธิวงจรแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} ลงกราวด์
3. เขียนวงจรเปรียบเทียบทางด้านไฟสลับได้ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงวงจรเปรียบเทียบของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส

จากรูปที่ 5.9 เขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ดังนี้



รูปที่ 5.10 เขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ของวงจร Unbypassed Emitter Capacitor

จากวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ในรูปที่ 5.10 สามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ค่าอัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain; A_v) ค่าอัตราการขยายกระแส (Current Gain; A_i) และค่าอัตราการขยายกำลัง (Power Gain; A_p) ได้ดังนี้

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

จากวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ในรูปที่ 5.10 เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุบายพาสที่ R_E ดังนั้น R_E จะต่ออนุกรมที่ขาอิมิตเตอร์ และคำนวณหาค่า Z_b ได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาค่า $h_{re}V_O$ ซึ่งเป็นแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตกลับมายังอินพุตซึ่งโดยปกติจะมีค่าน้อยกว่า h_{ie} มากดังนั้นในการหาสมการเพื่อหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์จึงไม่นำค่า $h_{re}V_O$ มาคิด ดังนั้นจึงหาค่าได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

หาค่าอิมพีแดนซ์ที่ขาเบส (Z_b) ก่อน ซึ่งหาได้จาก

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b}$$

เมื่อ $V_i = I_b h_{ie} + I_e R_E$ (โดยไม่คิดค่า $h_{re}V_O$) ...5.14

และจากสมการ $I_e = I_b + I_C$...5.15

นำ I_e จากในสมการที่ 5.15 แทนค่าลงในสมการที่ 5.14 จะได้

$$V_i = I_b h_{ie} + I_e R_E$$

$$V_i = I_b h_{ie} + R_E (I_b + I_C)$$

$$V_i = I_b h_{ie} + R_E I_b + R_E I_C$$
 ...5.16

จากสมการ $I_C = h_{fe} I_b$...5.17

นำค่า I_C จากในสมการที่ 5.17 แทนค่าลงในสมการที่ 5.16 จะได้

$$V_i = I_b h_{ie} + R_E I_b + R_E h_{fe} I_b$$

$$V_i = I_b (h_{ie} + R_E + R_E h_{fe})$$

$$V_i = I_b [h_{ie} + R_E (1 + h_{fe})]$$
 ...5.18

และจากสมการ

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b}$$

แทนค่า V_i ที่ได้จากในสมการที่ 5.18 ลงในสมการการหาอิมพีแดนซ์ที่ขาเบส (Z_b) จะได้

$$Z_b = \frac{I_b [h_{ie} + R_E (1 + h_{fe})]}{I_b}$$

$$Z_b = h_{ie} + R_E (1 + h_{fe})$$
 ...5.19

เมื่อพิจารณาจากจุดที่ป้อนสัญญาณอินพุต V_i ของวงจรในรูปที่ 5.10 ซึ่งจะพบว่า $R_1 // R_2 // Z_b$ ซึ่งเท่ากับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ดังนั้นจะได้ว่า

$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b \quad \dots 5.20$$

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)

การหาเอาต์พุตอิมพีแดนซ์นั้นจะต้องหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ขาคอลเลคเตอร์กับกราวด์ก่อนคือ Z_C แล้วจึงนำค่า Z_C ไปหาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ถ้าพิจารณาที่ขาคอลเลคเตอร์เทียบกับกราวด์ (Z_C) จะพบว่าค่าเอาต์พุตคอนดักแตนซ์ $1/h_{oe}$ ต่ออนุกรมกับ R_E ซึ่งโดยปกติแล้วค่าของ $1/h_{oe}$ จะมีค่าประมาณเท่ากับ $1 \text{ M}\Omega$ ส่วนค่าของ R_E จะมีค่าประมาณ $4.7 \text{ k}\Omega$ ซึ่งจะทำให้ค่า $1/h_{oe} \geq R_E$ มากดังนั้นในการหาค่า Z_C จะหาได้ดังนี้

$$Z_C \approx \frac{1}{h_{oe}}$$

เมื่อ Z_C เป็นเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ทรานซิสเตอร์

การหาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) จะพิจารณาจากขั้วต่อแรงดันเอาต์พุต (V_o) เข้าไปที่ขาคอลเลคเตอร์จะพบว่าความต้านทาน R_C ต่อขนานกับ Z_C ดังนั้นจะได้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์จากสมการ

$$Z_o = R_C // Z_C \quad \dots 5.21$$

Z_C โดยทั่วไปจะมีค่าสูงมาก และ R_C จะมีค่าน้อยกว่า Z_C มากๆ ดังนั้นเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมีค่าใกล้เคียงกับ R_C นั่นคือ $Z_o \cong R_C$

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)

จากในวงจรที่ 5.10 หาค่าอัตราขยายแรงดันจะต้องแสดงวิธีทำเป็นลำดับขั้น ดังนี้

หาค่า Voltage gain ของตัวทรานซิสเตอร์ได้จาก

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

หาค่าแรงดันทางด้านอินพุต (V_i) ได้จาก

$$V_i = I_b h_{ie} + I_e R_E \quad (\text{โดยไม่คิดค่า } h_{re} V_o) \quad \dots 5.19$$

เมื่อ

$$I_e = I_b + I_c \quad \dots 5.20$$

นำค่า I_e จากในสมการที่ 5.20 ไปแทนค่าลงในสมการที่ 5.19 จะได้ว่า

$$V_i = I_b h_{ie} + R_E (I_b + I_c)$$

$$V_i = I_b h_{ie} + R_E I_b + R_E I_c \quad \dots 5.21$$

เมื่อ

$$I_c = h_{Fe} I_b \quad \dots 5.22$$

นำค่า I_C จากในสมการที่ 5.22 ไปแทนลงในสมการที่ 5.21 จะได้ว่า

$$V_i = I_b h_{ie} + R_E I_b + R_E h_{fe} I_b$$

$$V_i = I_b [h_{ie} + R_E + R_E h_{fe}]$$

$$V_i = I_b [h_{ie} + R_E (1 + h_{fe})]$$

หาค่าแรงดันที่เอาต์พุต (V_o) ได้จาก

$$V_o = I_C (R_C // R_L)$$

ดังนั้น จะสามารถหาค่าอัตราขยายแรงดันได้ดังนี้

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

$$A_v = \frac{I_C (R_C // R_L)}{I_b [h_{ie} + R_E (1 + h_{fe})]}$$

เมื่อ

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_b}$$

จะได้

$$A_v = - \frac{h_{fe} (R_C // R_L)}{h_{ie} + R_E (1 + h_{fe})} \quad \dots 5.23$$

เครื่องหมายลบในสมการที่ 5.23 แสดงให้ทราบว่าแรงดันทางเอาต์พุตมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุต 180°

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)

การหาค่าอัตราขยายกระแสจะมีหลักการเหมือนกับวงจรที่มีการต่อตัวเก็บประจุ (C_E) โดยต้องหาค่าอัตราขยายกระแสของตัวทรานซิสเตอร์ก่อนแล้วจึงหาค่าอัตราขยายกระแสของวงจรได้ซึ่งจะมีลำดับขั้นตอนการหาดังต่อไปนี้

ค่าอัตราขยายกระแสของตัวทรานซิสเตอร์คือ

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_b} \quad \dots 5.24$$

จากรูปที่ 5.10 เมื่อพิจารณาทางด้านอินพุตจะเห็นว่าแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุตคือ V_s ซึ่งแหล่งจ่ายนี้เป็นแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) คือค่า I_s ให้แก่วงจรทางด้านอินพุตกระแส I_s จะจ่ายกระแสให้กับ R_B คือ $R_1 // R_2$ และกระแสอีกส่วนหนึ่งไหลเข้าที่ขาเบส (I_b) ซึ่งจะสามารถหาค่า I_b ได้ดังนี้

$$I_b = \frac{I_s R_B}{R_B + Z_b} \quad \dots 5.25$$

และเมื่อ

$$I_c = h_{fe} I_b$$

...5.26

จึงแทนค่า I_b จากสมการที่ 5.25 ลงในสมการที่ 5.26 จะได้

$$I_b = \frac{h_{fe} I_s R_B}{R_B + Z_b}$$

...5.27

หากไม่ต่อโหลด R_L ในวงจรจะหาค่าของอัตราขยายกระแส (A_i) ได้ดังนี้

$$\frac{I_c}{I_s} = \frac{h_{fe} R_B}{R_B + Z_b}$$

...5.28

ในกรณีที่ต่อโหลด R_L เข้าวงจรจะสามารถหาค่ากระแสได้ดังนี้

$$I_L = \frac{I_c R_C}{R_C + R_L}$$

...5.29

นำ I_c จากสมการที่ 5.27 แทนค่าลงในสมการที่ 5.29 จะได้ค่าของอัตราขยายกระแส (A_i) ได้ดังนี้

$$I_L = \frac{h_{fe} I_s R_B R_C}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

จะได้

$$A_i = \frac{I_L}{I_s}$$

$$A_i = \frac{h_{fe} R_B R_C}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

...5.30

5) ค่าอัตราขยายกำลังของวงจร (A_p)

ค่า Transistor Power Gain คือ

$$A_{PT} = \frac{(V_o \times I_c)}{(V_i \times I_b)}$$

$$A_{PT} = \frac{V_o}{V_i} \times \frac{I_c}{I_b}$$

$$A_{PT} = A_v \times h_{fe}$$

ดังนั้นค่าอัตราขยายกำลังของวงจรทั้งวงจรสามารถหาได้ดังนี้

$$A_p = A_v \times A_i$$

...5.31

ตัวอย่างที่ 5.2 จากวงจรรูปที่ 5.7 ในตัวอย่างที่ 5.1 เมื่อวงจรไม่ได้ต่อ C_3 นั้น จะเกิดผลอย่างไรกับวงจร ดังนั้นจึงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)
- 4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)
- 5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p)

วิธีทำ 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

หาค่า Z_b ก่อนได้จากสมการที่ 5.19

$$\begin{aligned} Z_b &= h_{ie} + R_E(1 + h_{fe}) \\ &= 4 \text{ k}\Omega + 4.7 \text{ k}\Omega (1+100) \\ &= 478.7 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

จากนั้นสามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ Z_i ได้จากสมการที่ 5.20

$$\begin{aligned} Z_i &= R_1 // R_2 // Z_b \\ &= 48 \text{ k}\Omega // 56 \text{ k}\Omega // 478.7 \text{ }\Omega \\ &= 24.52 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ได้จากสมการที่ 5.21

$$\begin{aligned} Z_o &= R_C // Z_C \\ &= 5 \text{ k}\Omega // 1 \text{ M}\Omega \\ &= 4.97 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v) ได้จากสมการที่ 5.23

$$\begin{aligned} A_v &= - \frac{h_{fe}(R_C // R_L)}{h_{ie} + R_E(1 + h_{fe})} \\ &= \frac{-100 \cdot (5 \text{ k}\Omega // 82 \text{ k}\Omega)}{4 \text{ k}\Omega + 4.7 \text{ k}\Omega (1+100)} \\ &= \frac{-100 \cdot (4.71 \text{ k}\Omega)}{4 \text{ k}\Omega + 4.7 \text{ k}\Omega (101)} \\ &= -0.98 \end{aligned}$$

ตอบ

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i) หาได้จากสมการที่ 5.30

$$A_i = \frac{h_{fe} R_B R_C}{(R_C + R_L)(R_B + Z_b)}$$

$$= \frac{100 \times 25.84 \text{ k}\Omega \times 5 \text{ k}\Omega}{(5 \text{ k}\Omega + 82 \text{ k}\Omega) \cdot (25.84 \text{ k}\Omega + 478.7 \text{ k}\Omega)}$$

$$= 0.29$$

ตอบ

5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p) หาได้จากสมการที่ 8.15

$$A_p = A_v \times A_i$$

$$= 0.98 \times 0.29$$

$$= 0.28$$

ตอบ

จากคำตอบของตัวอย่างที่ 5.2 จะพบว่าเมื่อปลดตัวเก็บประจุบายพาส (C_E) ออกจากวงจรจะทำให้อัตราขยายแรงดัน (A_v) อัตราขยายกระแส (A_i) และค่ากำลังขยายของวงจรลดลงอย่างมาก

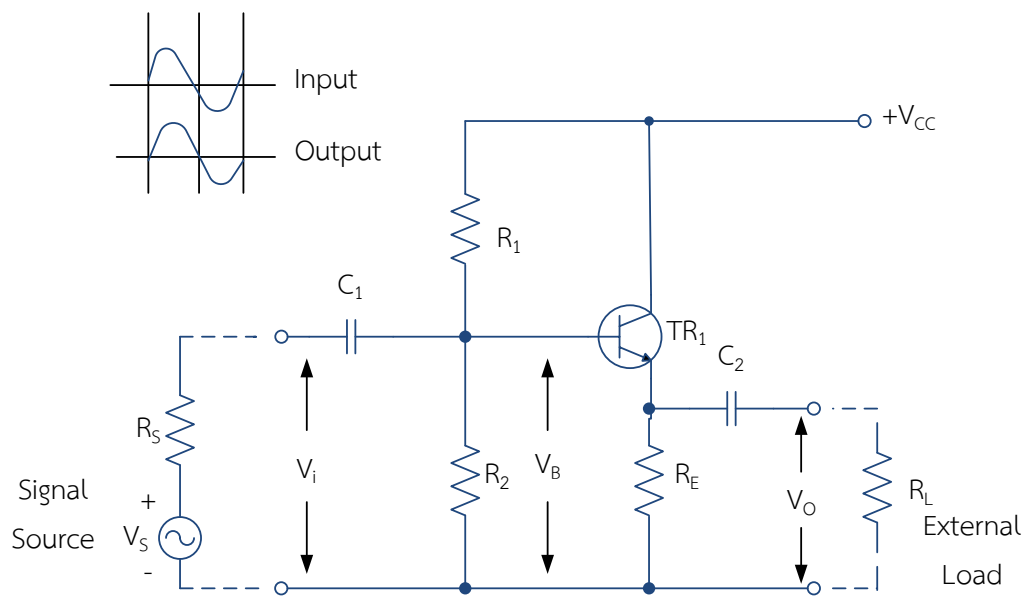
5.3 วิเคราะห์วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ด้วย h พารามิเตอร์ (Common Collector Circuit)

คุณสมบัติของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ มีดังนี้

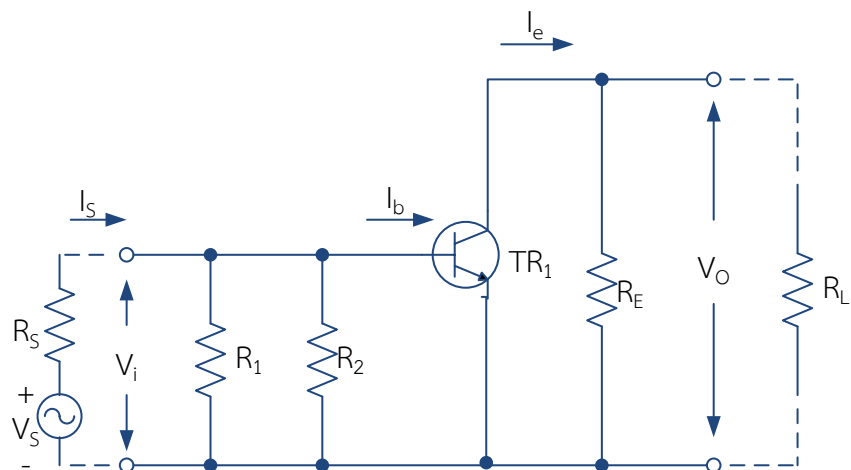
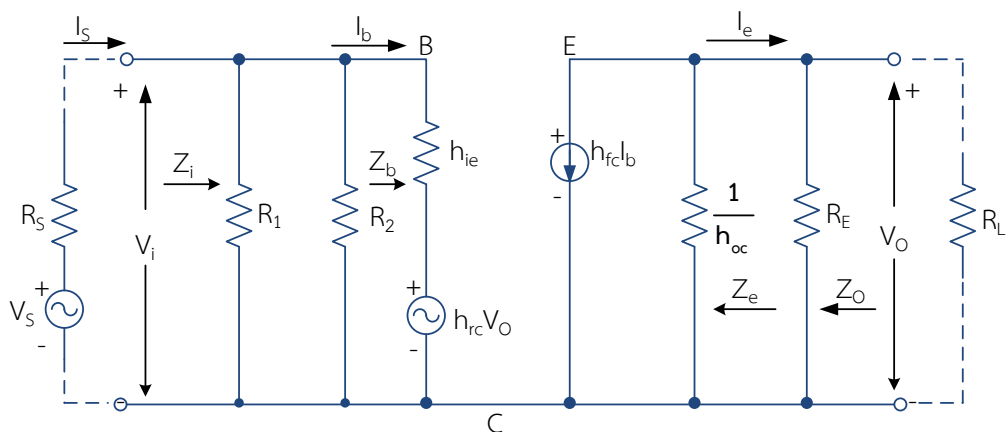
1. สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน (In phase)
2. อัตราขยายของแรงดัน (Voltage Gain) เท่ากับ 1
3. กระแสของอินพุตและเอาต์พุตแยกจากกัน

จากคุณสมบัติของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ ทำให้วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจร Voltage Follower เป็นที่นิยมใช้เป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งทำหน้าที่แยกกระแสระหว่างวงจรทางด้านอินพุตและทางด้านเอาต์พุตออกจากกันโดยไม่เกี่ยวข้องกัน ซึ่งวงจรนี้เฟสของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจะมีเฟสเหมือนกันและมีขนาดของรูปคลื่นเท่ากันซึ่งลักษณะการต่อวงจรแสดงดังในรูปที่ 5.11

จากวงจรในรูปที่ 5.11 สามารถเขียนวงจรเปรียบเทียบกับไฟสลั (AC Equivalent Circuit) ได้ดังรูปที่ 5.12 และเขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ได้ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.11 แสดงวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์และสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต

รูปที่ 5.12 แสดงวงจรการเขียนวงจรทางไฟฟ้ากระแสสลับ
(AC Equivalent Circuit) ของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

รูปที่ 5.13 แสดงการเขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์

จากวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ในรูปวงจรที่ 5.13 สามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p) ได้ดังต่อไปนี้

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

จากรูปที่ 5.13 เมื่อพิจารณาค่าของ h_{rc} นั้นจะเห็นว่าค่าของ h_{rc} ในวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นค่าแรงดันป้อนกลับจึงมีค่าเท่ากับ V_o

ดังนั้น จะได้สมการ

$$V_i = I_b h_{ic} + V_o \quad \dots 5.32$$

และเมื่อ

$$V_o = I_e (R_E // R_L) \quad \dots 5.33$$

นำค่า V_o จากสมการที่ 5.33 ลงในสมการที่ 5.32 จะได้ว่า

$$V_i = I_b h_{ic} + I_e (R_E // R_L) \quad \dots 5.34$$

และ

$$I_e = h_{fc} I_b \quad \dots 5.35$$

นำค่า I_e จากสมการที่ 5.35 ลงในสมการที่ 5.34 จะได้ว่า

$$V_i = I_b h_{ic} + h_{fc} I_b (R_E // R_L)$$

$$V_i = I_b [h_{ic} + h_{fc} (R_E // R_L)] \quad \dots 5.36$$

และถ้า

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b} \quad \dots 5.37$$

นำค่า V_i จากสมการที่ 5.36 ลงในสมการที่ 5.37 เพื่อหาค่า Z_b จะได้ดังนี้

$$Z_b = \frac{I_b [h_{ic} + h_{fc} (R_E // R_L)]}{I_b} \quad \dots 5.38$$

$$Z_b = h_{ic} + h_{fc} (R_E // R_L) \quad \dots 5.39$$

และสามารถหาค่า Z_i ได้จากสมการ

$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b \quad \dots 5.40$$

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)

การเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุต การหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ขาอิมิตเตอร์ (Z_e) จะกำหนดค่าแรงดัน V_s เท่ากับศูนย์โวลต์และสามารถหาค่ากระแส I_e ได้ดังต่อไปนี้

$$Z_e = \frac{V_o}{I_e} \quad \dots 5.41$$

และ $I_e = h_{fc} I_b \quad \dots 5.42$

จากรูปที่ 5.13 เมื่อกำหนดให้ $V_s = 0$ จะหาค่า I_b ได้จาก

$$I_b = \frac{V_o}{h_{ic} + (R_1 // R_2 // r_s)} \quad \dots 5.43$$

จากสมการที่ 5.42 จะหาได้โดยการลัดวงจร V_s และกลับมาพิจารณา V_o เป็นแหล่งจ่ายแรงดันทางด้านอินพุตแทนเมื่อมองจากทาง V_o กลับไปทางด้านอินพุตจะเห็นว่า $R_1 // R_2$ และต่ออนุกรมกับ h_{ic} ดังนั้นจะหาค่า I_b ได้ดังสมการที่ 5.43

และจะหา I_e ได้โดยเอา I_b จากสมการที่ (2) มาแทนค่าในสมการที่ (1) จะได้

$$I_e = \frac{h_{fc} V_o}{h_{ic} + (R_1 // R_2 // r_s)}$$

และ

$$Z_e = \frac{V_o}{I_e}$$

$$Z_e = \frac{V_o}{\frac{h_{fc} V_o}{h_{ic} + (R_1 // R_2 // r_s)}}$$

$$Z_e = \frac{h_{ic} + (R_1 // R_2 // r_s)}{h_{fc}} \quad \dots 5.44$$

ดังนั้นจะหาค่าของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$Z_o = R_E // R_Z \quad \dots 5.45$$

ซึ่ง $R_E \geq Z_e$ จะได้

$$Z_o \approx Z_e \quad \dots 5.46$$

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)

หาค่าอัตราขยายแรงดันของตัวทรานซิสเตอร์ได้จาก

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \quad \dots 5.47$$

เมื่อ

$$V_O = I_e (R_E // R_L) \quad \dots 5.48$$

และ

$$I_e = h_{fc} I_b \quad \dots 5.49$$

ค่า I_e จากในสมการที่ 5.49 แทนลงในสมการที่ 5.48 จะได้ว่า

$$V_O = h_{fc} I_b (R_E // R_L) \quad \dots 5.50$$

และ

$$I_b = \frac{(V_i - V_O)}{h_{ic}} \quad \dots 5.51$$

นำ I_b จากสมการที่ 5.51 แทนลงในสมการที่ 5.50 จะได้ว่า

$$V_O = \frac{h_{fc} (R_E // R_L)}{h_{ic}} \times (V_i - V_O)$$

$$V_O = \frac{h_{fc} (R_E // R_L) (V_i)}{h_{ic}} - \frac{h_{fc} (R_E // R_L) (V_O)}{h_{ic}}$$

$$V_O + \frac{h_{fc} (R_E // R_L) (V_O)}{h_{ic}} = \frac{h_{fc} (R_E // R_L) (V_i)}{h_{ic}}$$

$$V_O \left[1 + \frac{h_{fc} (R_E // R_L)}{h_{ic}} \right] = \frac{h_{fc} (R_E // R_L) (V_i)}{h_{ic}}$$

ดังนั้นหาค่าอัตราขยายแรงดันได้จาก

$$A_V = \frac{V_O}{V_i}$$

$$A_V = \frac{\frac{h_{fc} (R_E // R_L)}{h_{ic}}}{1 + \frac{h_{fc} (R_E // R_L)}{h_{ic}}}$$

จะเห็นว่าค่าสมการเศษและส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะได้ว่า

$$A_V \approx 1 \quad \dots 5.52$$

ในสมการที่ 5.52 ถ้าหากแทนค่าที่เป็นตัวเลขลงไปในการสมการจะได้ค่าของอัตราขยายแรงดันประมาณเท่ากับ 1

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)

ค่าอัตราการขยายกระแสของเฉพาะตัวทรานซิสเตอร์ (h_{fc}) หาได้จากสมการ

$$h_{fc} = \frac{I_e}{I_b} \quad \dots 5.53$$

จากรูปที่ 5.12 จะมีการหาค่าอัตราการขยายกระแสเหมือนกับวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ในสมการที่ 5.6 ดังนี้

$$A_i = \frac{h_{fc} R_B R_E}{(R_B + Z_b)(R_E + R_L)} \quad \dots 5.54$$

5) อัตราขยายกำลังของวงจร (A_p)

ค่า Transistor Power Gain คือ

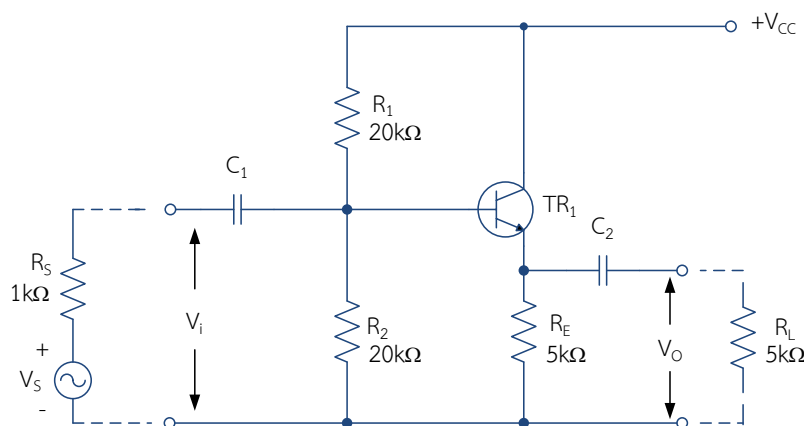
$$A_{PT} = A_V \times h_{fc} \quad \dots 5.55$$

แต่ค่าอัตราการขยายแรงดัน (A_V) ของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์มีค่าประมาณ 1 ดังนั้นกำลังขยายของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์คือ

$$A_p = A_i \quad \dots 5.55$$

ตัวอย่างที่ 5.3 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.14 กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie}=2.1k\Omega$ และ $h_{fe}=200$ จงคำนวณหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจร
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจร
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดันเมื่อ $R_L \gg R_E$



รูปที่ 5.14 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

วิธีทำ เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทรานซิสเตอร์ของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ให้เป็นค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์โดยใช้ตารางที่ 5.1 จะได้ว่า

$$h_{ic} = h_{ie} = 2.1 k\Omega$$

$$h_{fc} = 1 + h_{fe} = 201$$

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจร (Z_i)

จากสมการที่ 5.39 หาค่า Z_b ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_b &= h_{ic} + h_{fc} (R_E // R_L) \\ &= 2.1 \text{ k}\Omega + 201 (5 \text{ k}\Omega // 5 \text{ k}\Omega) \\ &= 2.1 \text{ k}\Omega + 201 (2.5 \text{ k}\Omega) \\ &= 504.6 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

จากสมการที่ 5.40 หาค่า Z_i ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_i &= R_1 // R_2 // Z_b \\ &= 20 \text{ k}\Omega // 20 \text{ k}\Omega // 504.6 \text{ k}\Omega \\ &= 9.80 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจร (Z_o)

จากสมการที่ 5.44 หาค่า Z_e ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_e &= \frac{h_{ic} + (R_1 // R_2 // r_s)}{h_{fc}} \\ &= \frac{2.1 \text{ k}\Omega + (20 \text{ k}\Omega // 20 \text{ k}\Omega // 1 \text{ k}\Omega)}{201} \\ &= 10.45 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

จากสมการที่ 5.45 หาค่า Z_o ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_o &= R_E // Z_e \\ &= 5 \text{ k}\Omega // 10.45 \text{ k}\Omega \\ &= 10.42 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

3) ค่าอัตราขยายแรงดันเมื่อ $R_L \gg R_E$

จากสมการที่ 5.21 หาค่า A_v ได้ดังนี้

$$A_v \approx 1$$

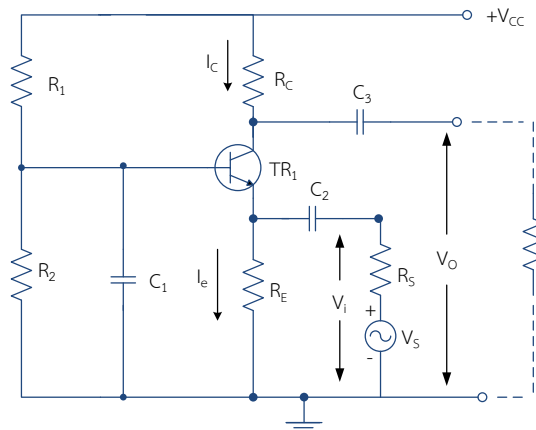
ตอบ

5.4 วิเคราะห์วงจรคอมมอนเบสด้วย h พารามิเตอร์ (Common Base Circuit)

คุณสมบัติของวงจรคอมมอนเบสดังต่อไปนี้

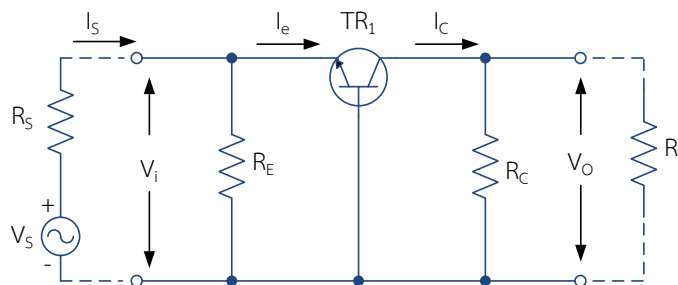
1. มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ต่ำและค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูง
2. อัตราการขยายทางด้านแรงดัน (A_v) สูง
3. อัตราการขยายทางด้านกระแส (A_i) ไม่เกิน 1

วงจรคอมมอนเบสนิยมใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณวิทยุเพราะต้องการอัตราการขยายทางด้านแรงดันสูงและมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ต่ำสามารถขยายสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำได้ดีลักษณะการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.15



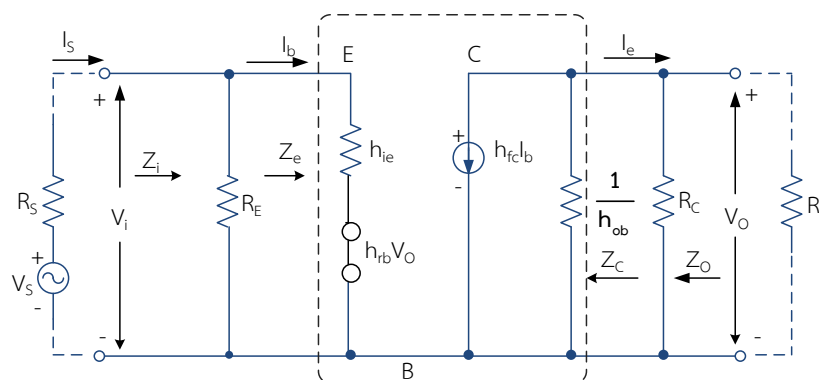
รูปที่ 5.15 วงจรคอมมอนเบสเมื่อมีตัวเก็บประจุบายพาสที่ขาเบส

จากวงจรในรูปที่ 5.15 วงจรคอมมอนเบสเมื่อมีตัวเก็บประจุบายพาสที่ขาเบส ตัวต้านทานโหลด R_L จะต่อที่ขาคอลเลคเตอร์โดยผ่านตัวเก็บประจุ C_3 แรงดันไบอัสที่ขาเบสเกิดจากวงจรแบ่งแรงดัน R_1 และ R_2 จาก V_{CC} และแหล่งจ่ายสัญญาณจะถูกป้อนที่อิมิตเตอร์โดยผ่าน C_2 ส่วน C_1 ทำหน้าที่ลัดวงจรที่ขาเบสลงกราวด์และสามารถเขียนวงจร AC Circuit Equivalent Circuit ได้ดังวงจรในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 แสดงวงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของวงจรคอมมอนเบส

จากรูปที่ 5.16 สามารถเขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ได้ดังนี้



รูปที่ 5.17 แสดงวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนเบส

จากรูปที่ 5.17 แสดงวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ของวงจรสามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p) ได้ดังนี้

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

จากรูปที่ 5.17 เมื่อพิจารณาค่าที่ขาอิมิตเตอร์และขาเบสในวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์แล้ว จะเห็นว่าค่า $h_{rb}V_o$ ต่อกันกับ h_{ib} แต่ค่า $h_{ib} \geq h_{rb}V_o$ มากจึงไม่นำค่า $h_{rb}V_o$ มาคิด ดังนั้น จะหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ขาอิมิตเตอร์กับขาเบส (Z_e) ได้ดังนี้

$$Z_e \approx h_{ib} \quad \dots 5.56$$

ดังนั้น จะหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ได้ดังนี้

$$Z_i = Z_e // R_E \quad \dots 5.57$$

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)

เมื่อพิจารณาที่วงจรรูปที่ 5.17 ที่ขาคอลเลคเตอร์กับขาเบสจะได้

$$Z_c \approx \frac{1}{h_{ob}} \quad \dots 5.58$$

ดังนั้น หาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ได้ดังนี้

$$Z_o = R_C // Z_c \quad \dots 5.59$$

จากสมการที่ 5.59 ค่า R_C ที่ใช้ในวงจรจะมีค่าน้อยกว่า $1/h_{ob}$ มากดังนั้นค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ จึงมีค่าเท่ากับ R_C

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)

ค่าอัตราขยายแรงดันของเฉพาะตัวทรานซิสเตอร์สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

เมื่อ $V_o = I_C (R_C // R_L)$

และ $V_i \approx I_e h_{ib}$

ดังนั้น แทนค่าจะได้ว่า

$$A_v \approx \frac{I_C (R_C // R_L)}{I_e h_{ib}}$$

เมื่อ $\frac{I_C}{I_e} = h_{fb}$

จะได้

$$A_V \approx \frac{h_{fb}(R_C // R_L)}{h_{ib}} \quad \dots 5.60$$

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)

ค่าอัตราขยายกระแส (Current Gain) เฉพาะตัวทรานซิสเตอร์คือ

$$h_{fb} = \frac{I_C}{I_E}$$

การหาค่าอัตราขยายกระแสของทั้งวงจรจะมีวิธีการคำนวณค่าเหมือนวงจรคอมมอน อิมิตเตอร์ซึ่งจะหาได้ดังนี้

$$A_i = \frac{h_{fb} R_E R_C}{(R_E + Z_e)(R_C + R_L)} \quad \dots 5.61$$

5) ค่าอัตราขยายกำลังของวงจร (A_P)

ค่าอัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของตัวทรานซิสเตอร์หาได้ดังนี้คือ

$$A_{PT} = A_V \times h_{fb} \quad \dots 5.62$$

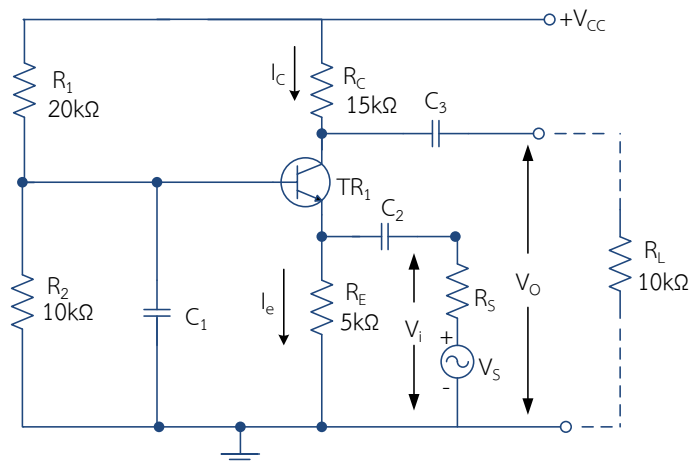
ดังนั้นจะหาค่าอัตราขยายกำลังของวงจรทั้งวงจรได้ดังนี้

$$A_{PT} = A_V \times A_i \quad \dots 5.63$$

ตัวอย่างที่ 5.4 ในวงจรคอมมอนเบสดังแสดงในรูปที่ 5.18 มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้

$h_{ie} = 2.1 \text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 50$ จงคำนวณหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร



รูปที่ 5.18 วงจรคอมมอนเบส

วิธีทำ เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทรานซิสเตอร์ของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์ให้เป็นค่าพารามิเตอร์ของวงจรคอมมอนเบสโดยใช้ตารางที่ 5.1 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} h_{ib} &\approx \frac{h_{ie}}{(1+h_{fe})} \\ &\approx \frac{2.1 \text{ k}\Omega}{(1+50)} \\ &\approx 41.1 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{fb} &\approx \frac{h_{fe}}{1+h_{fe}} \\ &\approx \frac{50}{1+50} \\ &\approx 0.98 \end{aligned}$$

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

จากสมการที่ 5.56 หาค่าของ Z_e ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_e &\approx h_{ib} \\ &\approx 41.1 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

จากสมการที่ 5.57 หาค่า Z_i ได้ดังนี้

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} Z_i &= Z_e // R_E \\ &= 41.1 \text{ }\Omega // 5 \text{ k}\Omega \\ &= 40.76 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)

จากสมการที่ 5.59 หาค่า Z_o ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_o &= R_C // Z_C \\ &= 15 \text{ k}\Omega // 1 \text{ M}\Omega \\ &\approx 14.77 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

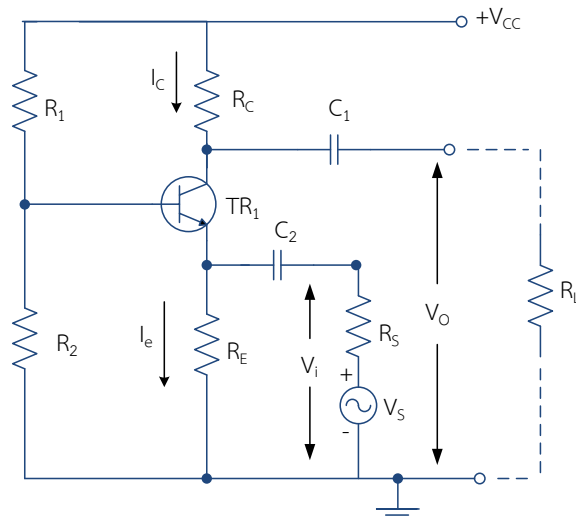
3) ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_v)

จากสมการที่ 5.60 หาค่า A_v ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_v &\approx \frac{h_{fb}(R_C // R_L)}{h_{ib}} \\ &\approx \frac{0.98 (15 \text{ k}\Omega // 10 \text{ k}\Omega)}{41.1 \text{ }\Omega} \\ &\approx 143.06 \approx 143 \end{aligned}$$

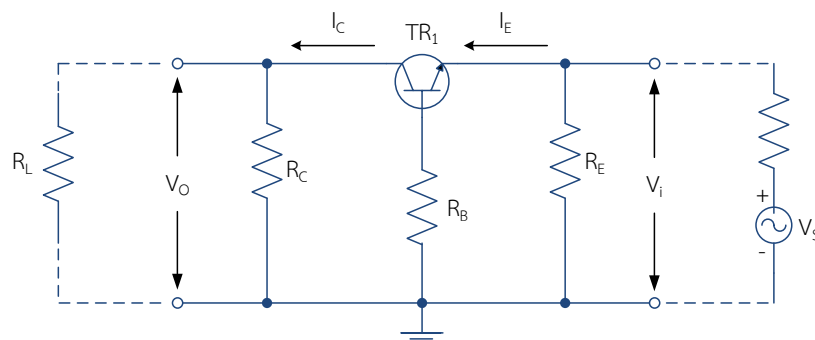
ตอบ

5.4.1 วิเคราะห์วงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาสด้วย h พารามิเตอร์



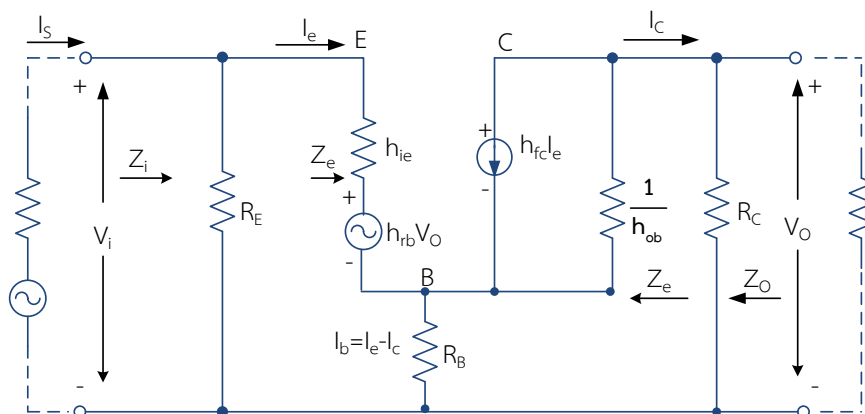
รูปที่ 5.19 แสดงวงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส

จากวงจรที่ 5.19 สามารถเขียนเป็น AC Equivalent Circuit ได้ดังนี้



รูปที่ 5.20 แสดงวงจร AC Equivalent Circuit

จากวงจรที่ 5.20 สามารถเขียนวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 5.21 วงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ของวงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส

1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

จากรูปที่ 5.21 วงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ ของวงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส เมื่อพิจารณาเฉพาะส่วนของ $h_{fb}V_o$ แล้ว พบว่ามีค่าน้อยกว่า h_{ib} มากดังนั้นจะหาค่า V_i ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_i &= I_e h_{ib} + I_e R_B - I_c R_B \\ &= I_e h_{ib} + I_e R_B - h_{fb} I_e R_B \\ &= I_e [h_{ib} + R_B - h_{fb} R_B] \\ &= I_e [h_{ib} + R_B (1 - h_{fb})] \end{aligned}$$

และเมื่อ

$$Z_e = \frac{V_i}{I_e}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$Z_e = h_{ib} + R_B(1 - h_{fb}) \quad \dots 5.64$$

ในที่นี้ค่า h_{fb} เท่ากับ 0.987 และจะหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) ได้ดังนี้

$$Z_i = Z_e // R_E \quad \dots 5.65$$

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)

จากรูปที่ 5.21 เมื่อพิจารณาจากขาคอลเลคเตอร์กับขาเบสเข้าไปจะเห็นว่ามี $1/h_{ob}$ ต่ออนุกรมกับ R_B แต่ค่าของ $1/h_{ob}$ มีค่ามากกว่า R_B มากดังนั้นจะหาค่าของ Z_C ได้ดังนี้

$$Z_C \approx \frac{1}{h_{ob}} \quad \dots 5.66$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่า Z_o ได้ดังนี้

$$Z_o = R_C // Z_C \quad \dots 5.67$$

ซึ่งค่าของ R_C มีค่าน้อยกว่า Z_C มาก ดังนั้นค่าของ Z_o จึงมีค่าเท่ากับ R_C

$$Z_o = R_C$$

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)

เมื่อค่า Voltage Gain คือ

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

เมื่อ

$$V_o = I_c (R_C // R_L)$$

$$V_i = I_e [h_{ib} + R_B (1 - h_{fb})]$$

จะได้

$$A_V = \frac{I_c(R_C // R_L)}{I_e[h_{ib} + R_B(1 - h_{fb})]}$$

และเมื่อ

$$h_{fb} = \frac{I_c}{I_e}$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$A_V = \frac{h_{fb}(R_C // R_L)}{h_{ib} + R_B(1 - h_{fb})} \quad \dots 5.68$$

4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)

ค่าอัตราขยายกระแสเฉพาะตัวทรานซิสเตอร์คือ

$$h_{fb} = \frac{I_c}{I_e} \quad \dots 5.69$$

การหาค่าอัตราขยายกระแสของทั้งวงจรจะมีการหาเหมือนวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ซึ่งจะหาได้ดังนี้

$$A_i = \frac{h_{fb}R_E R_C}{(R_E + Z_e)(R_C + R_L)} \quad \dots 5.70$$

5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p)

ค่ากำลังขยายของตัวทรานซิสเตอร์หาได้ดังนี้คือ

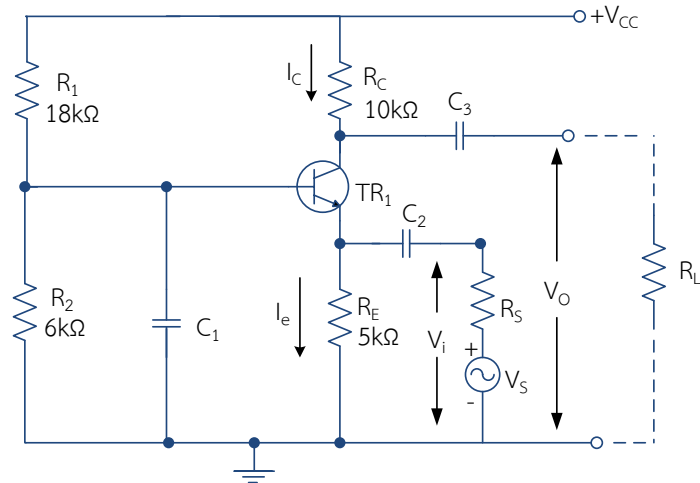
$$A_{PT} = A_V \times h_{fb}$$

นำค่า A_i แทนค่า h_{fb} จะได้ค่ากำลังขยายทั้งวงจรได้ดังนี้

$$A_{PT} = A_V \times A_i \quad \dots 5.71$$

ตัวอย่างที่ 5.5 จากวงจรดังรูปที่ 5.22 แสดงวงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ C_1 โดยนำค่าพารามิเตอร์ในตัวอย่างที่ 5.4 มาใช้ในการคำนวณหาค่าต่างดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_V)

รูปที่ 5.22 แสดงวงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ C_1

วิธีทำ 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)

หาค่า R_B

$$\begin{aligned} R_B &= R_1 // R_2 \\ &= 18 \text{ k}\Omega // 6 \text{ k}\Omega \\ &= 4.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

จากสมการที่ 5.64 หาค่า Z_e ได้คือ

$$\begin{aligned} Z_e &= h_{ib} + R_B (1 - h_{fb}) \\ &= 20.8 \text{ }\Omega + 4.5 \text{ k}\Omega (1 - 0.99) \\ &= 65.8 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

จากสมการที่ 5.65 หาค่า Z_i คือ

$$\begin{aligned} Z_i &= Z_e // R_E \\ &= 65.8 \text{ }\Omega // 5 \text{ k}\Omega \\ &= 64.9 \text{ }\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o) ได้จากสมการที่ 5.67

$$\begin{aligned} Z_o &= R_C // Z_C \\ &\approx R_C \\ &\approx 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v) ได้จากสมการที่ 5.68

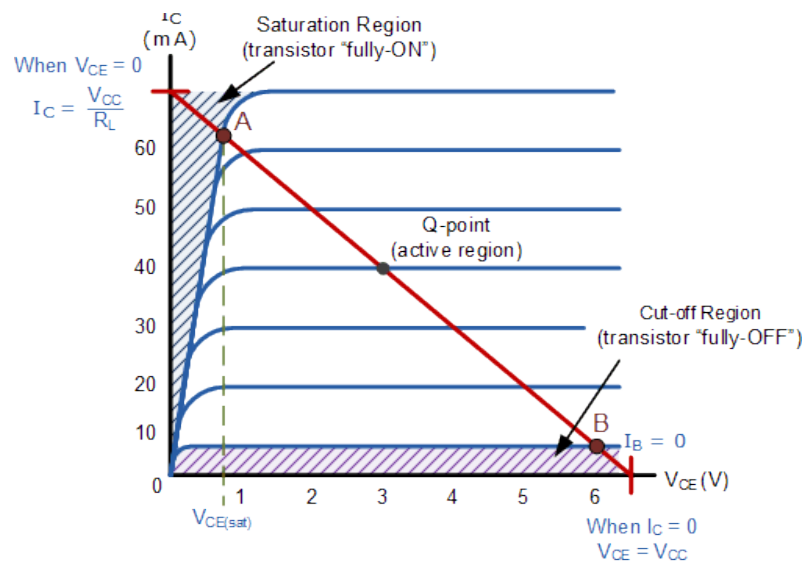
$$\begin{aligned} A_v &= \frac{h_{fb} (R_C // R_L)}{h_{ib} + R_B (1 - h_{fb})} \\ &= \frac{0.99(10 \text{ k}\Omega)}{20.8 \text{ }\Omega + 4.5 \text{ k}\Omega (1 - 0.99)} \\ &= 150.46 \end{aligned}$$

ตอบ

5.5 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์

ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ มีลำดับขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. กำหนดจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ เพื่อเลือกให้จุดการทำงาน (Q-Point) อยู่บนเส้นโหลด (DC Load Line) ในย่านการทำงานที่เป็นแอคทีฟ ดังแสดงในรูป 5.23



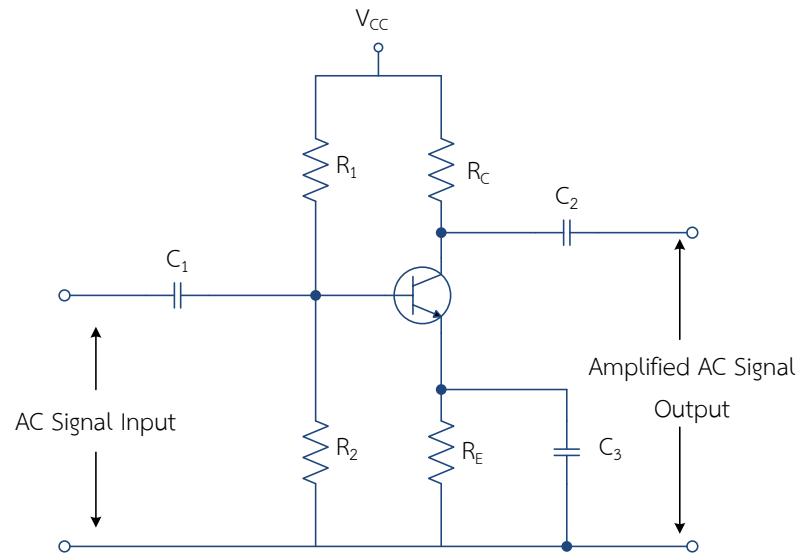
รูปที่ 5.23 แสดงกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

2. หาค่า อัตราขยาย (h_{fe}) ของทรานซิสเตอร์โดยดูจากคู่มือ (Datasheet) หรือใช้เครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่า h_{fe} ได้เช่น ดิจิตอลมัลติมิเตอร์



รูปที่ 5.24 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

3. ออกแบบวงจรขยายโดยเลือกใช้เป็นแบบคอมมอนอิมิตเตอร์เป็นตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจ



รูปที่ 5.25 แสดงวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์

โดยกำหนดให้วงจรใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Supply Voltage) = 15V และ เบต้า (β) เท่ากับ 300 การเลือกใช้ทรานซิสเตอร์สามารถพิจารณาจากค่า เบต้า (β) หรือที่เรียกกันหว่าค่า h_{fe} โดยถ้าค่าเบต้าของทรานซิสเตอร์มีค่าสูงจะมีผลต่อการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ที่จะใช้ค่ากระแสเบส น้อยลง ต้องการกระแสเอาต์พุตที่ขาคอลเลคเตอร์ 500 mA ใช้กฎของโอห์มเขียนเป็นสมการ

1. การคำนวณหาค่าความต้านทาน R_C ในวงจร

ถ้าเราทราบค่ากระแสที่ต้องการใช้งาน เราก็จะทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_C โดย แรงดันตกคร่อม R_C จะกำหนดให้มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย ข้อควรระวังในเรื่องกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ จะมีค่าสูงสุดได้ไม่เกินกระแสที่แหล่งจ่ายไฟตรงสามารถจ่ายได้ ในการคำนวณเราจะใช้กฎของโอห์มเพื่อหาค่า R_C ดังนี้

$$V = I \times R$$

$$7.5 = 0.5 \times R$$

$$R = \frac{7.5 \text{ v}}{0.5 \text{ A}}$$

$$R_C = 15 \Omega$$

ตอบ

2. การคำนวณหาค่าความต้านทาน R_E ในวงจร

โดยปกติแล้วจะกำหนดให้แรงดันที่ขาอิมิตเตอร์มีค่าประมาณ 1 V หรือ 10 % ของแรงดัน แหล่งจ่ายไฟเพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพที่ดีในด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้น เมื่อแหล่งจ่ายไฟ 15 V จะได้ค่าแรงดันที่ขาอิมิตเตอร์มีค่าประมาณ 1.5 V ในการคำนวณเราทราบแล้วว่า กระแสที่ไหลผ่านขา คอลเลคเตอร์ มีค่าประมาณเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านขาอิมิตเตอร์ ทำการคำนวณโดยใช้กฎของโอห์มเพื่อ หาค่า R_E ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V &= I \times R \\
 1.5 &= 0.5 \text{ A} \times R \\
 R &= \frac{1.5 \text{ V}}{0.5 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

$$R_E = 3 \Omega$$

ตอบ

3. การคำนวณหาค่าความต้านทาน R_B ในวงจร

คำนวณหาค่ากระแสเบสโดยใช้สมการ

$$\begin{aligned}
 I_b &= \frac{I_c}{\beta} \\
 I_b &= \frac{500 \text{ mA}}{300} \\
 I_b &= 0.0016 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4. ใช้หลักการ Thevenin หาค่า I_B เพื่อหา ค่า R_{B2}

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (1 + \beta) \cdot R_E} \\
 R_{th} &= 0.1 \times (1 + \beta) R_E \\
 &= 0.1 \times (301) \times (3\Omega) \\
 &= 90.3 \Omega
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 V_{th} &= V_B = V_{RB2} \\
 &= V_E + V_{be} \\
 &= 1.5 \text{ V} + 0.6 \text{ V} \\
 &= 2.1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{RB2} &= \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} \\
 &= 2.1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

หรือ

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$$

$$\frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{2.1 \text{ V}}{15 \text{ V}}$$

$$\frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 0.14 \text{ V}$$

เมื่อ

$$R_{th} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$\begin{aligned}
 90.3 \, \Omega &= R_{B2} \times \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \\
 90.3 \, \Omega &= R_{B2} \times 0.86 \\
 \text{ดังนั้น} \quad R_{B2} &= \frac{90.3}{0.86} \\
 &= 105 \quad \text{ตอบ} \\
 \text{เพราะฉะนั้นเลือกใช้} \quad R_{B2} &= 100 \, \Omega
 \end{aligned}$$

สรุป

ในการวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก (Transistor small signal Analysis) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น เราจึงใช้ แบบจำลองของ ทรานซิสเตอร์ (Transistor Model) แทนการใช้สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ แบบจำลองของ ทรานซิสเตอร์ เป็นวงจรเทียบเคียงหรือบางครั้งอาจเรียกว่า วงจรสมมูล ที่สมมติค่าส่วนประกอบต่าง ๆ ในวงจรขึ้นมาให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงของทรานซิสเตอร์

สรุปขั้นตอนการเขียนวงจรเทียบเคียงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์วงจรทางไฟฟ้ากระแสสลับ ได้ดังนี้

1. กำหนดแหล่งจ่าย DC ทั้งหมดให้เป็นศูนย์ และแทนแหล่งจ่ายด้วยค่าเทียบเคียงลัทธิวงจร
2. แทน C ทั้งหมดด้วยค่าเทียบเคียงลัทธิวงจร
3. ย้ายองค์ประกอบทั้งหมดที่ถูกลัทธิวงจรออกไป
4. เขียนวงจรใหม่

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 5 การวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบวงจรขยาย

สัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์

(Small Signal Analysis And Design Transistor Circuit)

คำสั่ง จงตอบคำถามให้สมบูรณ์และถูกต้อง ใช้เวลาทำแบบฝึกหัด 20 นาที (คะแนนเต็ม 15 คะแนน)

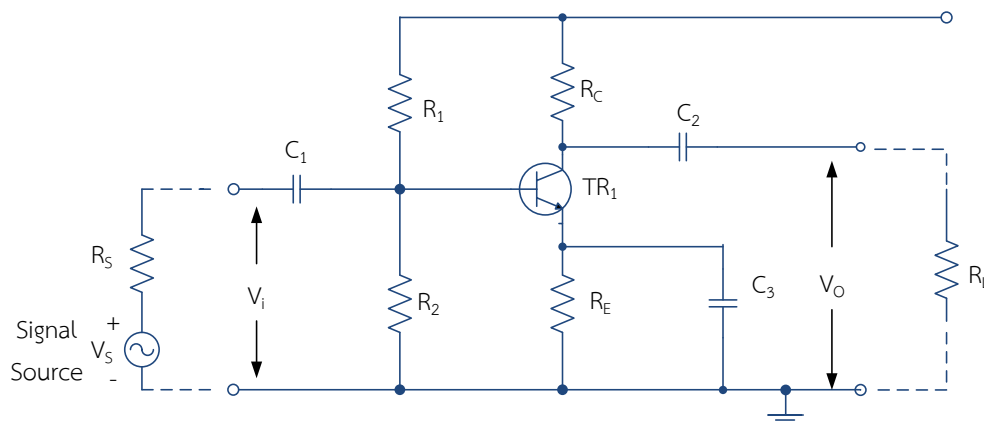
1. จากข้อมูลใน Data Sheet ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N4401 จงคำนวณหา ค่าพารามิเตอร์สำหรับวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์และวงจรคอมมอนเบส

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain – Bandwidth Product	($I_C = 20 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	f_T	250	–	MHz
Collector-Base Capacitance	($V_{CB} = 5.0 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{cb}	–	6.5	pF
Emitter-Base Capacitance	($V_{EB} = 0.5 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{eb}	–	30	pF
Input Impedance	($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{ie}	1.0	15	k Ω
Voltage Feedback Ratio	($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{re}	0.1	8.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain	($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{fe}	40	500	–
Output Admittance	($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{oe}	1.0	30	μhos

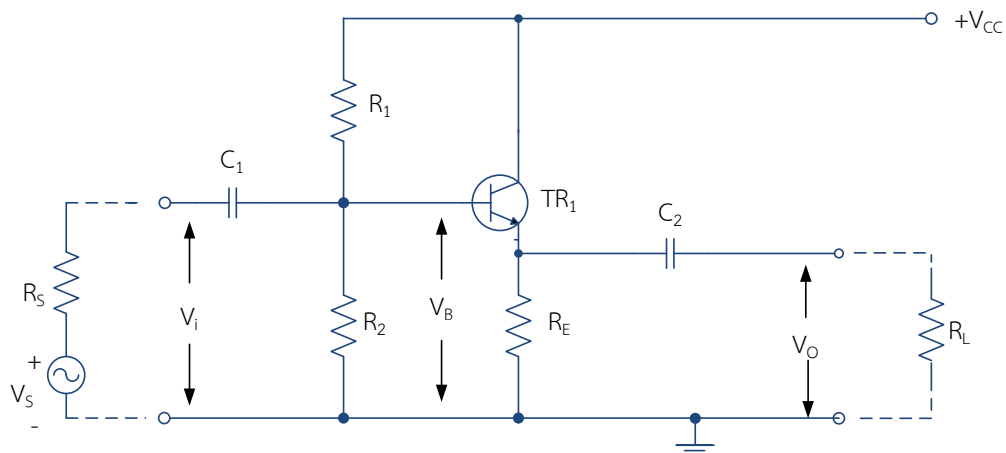
รูปที่ 1 รูปตารางแสดงค่า h พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N4401

2. จากรูปที่ 2 เป็นวงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ จงเขียนวงจรเปรียบเทียบทางไฟสลั (AC Equivalent Circuit)



รูปที่ 2 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์

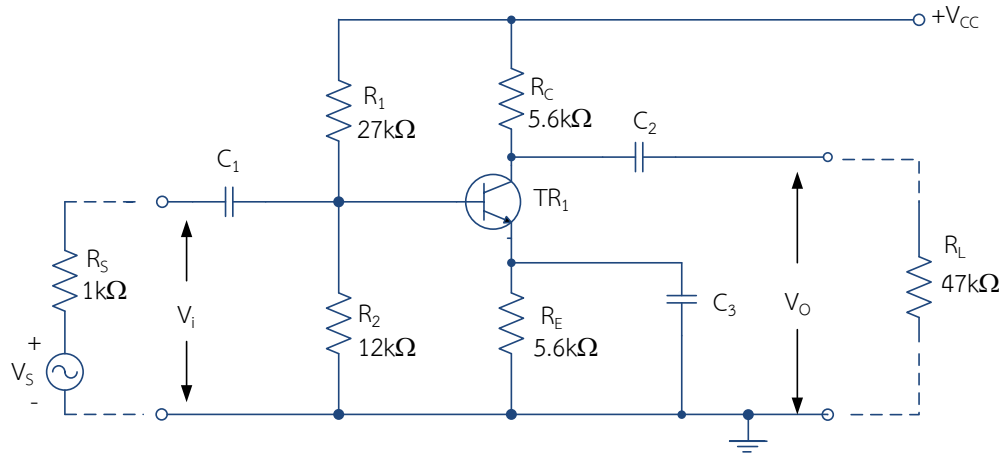
3. จากรูปที่ 3 เป็นวงจรขยายแบบคอมมอนคอลเลคเตอร์จงเขียนวงจรเปรียบเทียบกับไฟสลับ (AC Equivalent Circuit)



รูปที่ 3 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

4. จากรูปที่ 4 เป็นวงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้
 $h_{ie}=1\text{ k}\Omega$, $h_{fe}=85$ และ $h_{oe}=2\mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)
- 4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)
- 5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p)

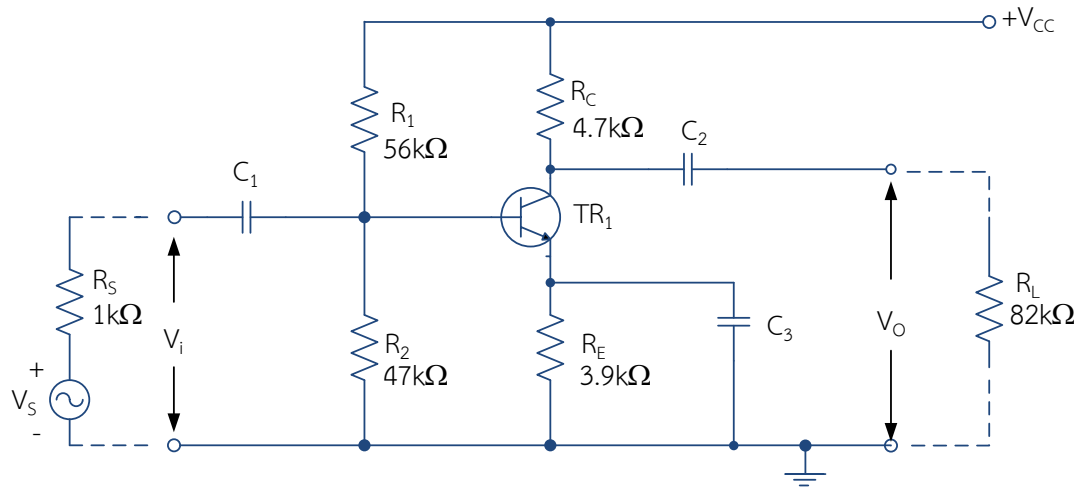


รูปที่ 4 วงจรขยายแบบคอมมอนอีมิเตอร์

5. จากรูปที่ 5 เป็นวงจรรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้

$h_{ie}=1\text{ k}\Omega$, $h_{fe}=50$ และ $h_{oe}=1\mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราการขยายแรงดัน (A_v)
- 4) ค่าอัตราการขยายกระแส (A_i)
- 5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p)

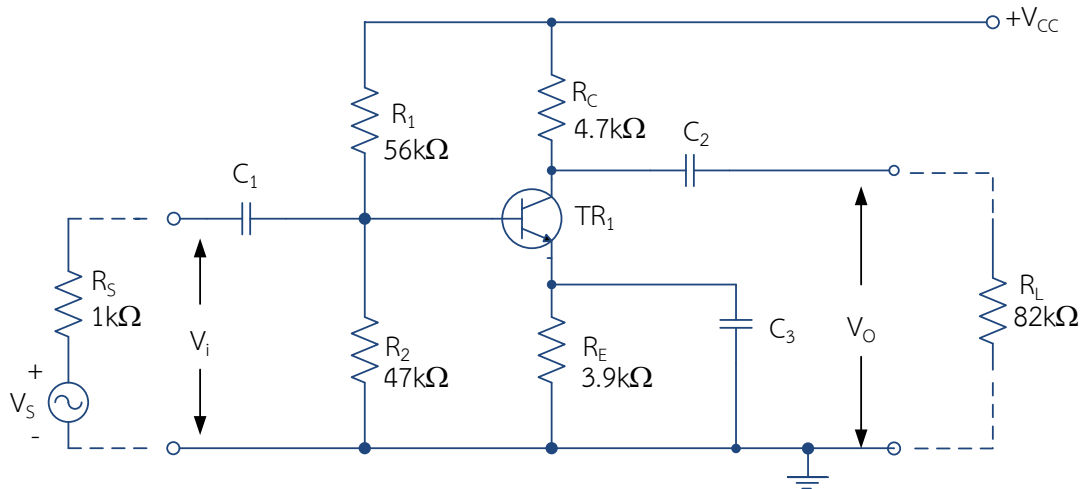


รูปที่ 5 วงจรขยายแบบคอมมอนอีมิเตอร์

[illegible]

6. จากรูปที่ 6 เป็นวงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาสมีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้ $h_{ie}=1\text{ k}\Omega$, $h_{fe}=50$ และ $h_{oe}=1\mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราการขยายแรงดัน (A_v)
- 4) ค่าอัตราการขยายกระแส (A_i)
- 5) ค่ากำลังขยายของวงจร (A_p)

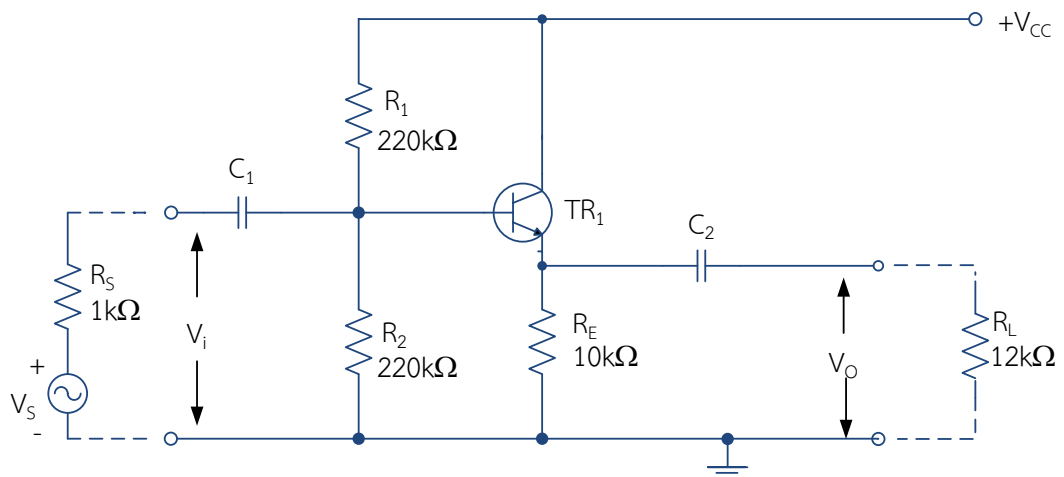


รูปที่ 6 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาส

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school writing paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

7. จากรูปที่ 7 เป็นวงจรขยายแบบคอมมอนคอลเลคเตอร์ มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้ กำหนดให้ $h_{ie}=1\text{ k}\Omega$, $h_{fe}=50$ และ $h_{oe}=1\mu\text{s}$ $R_L \gg R_E$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

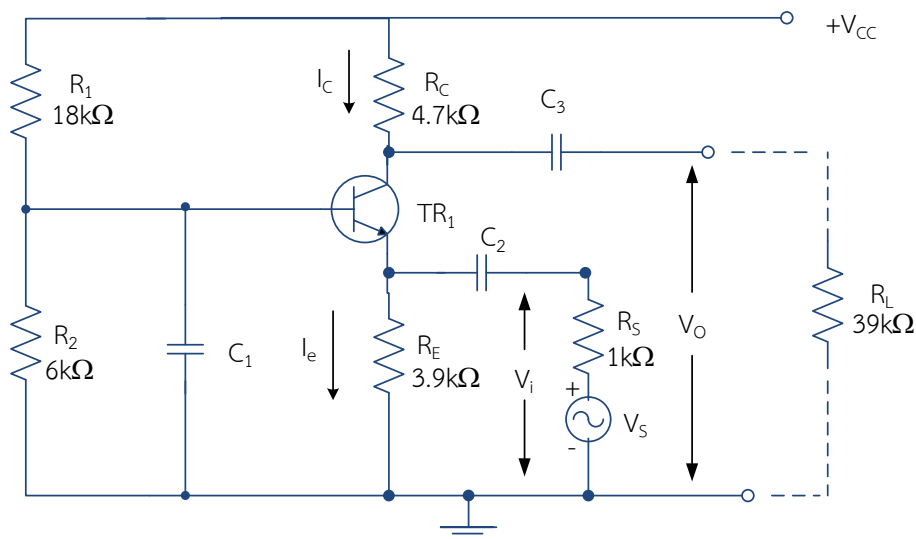
- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดัน (A_v)
- 4) ค่าอัตราขยายกระแส (A_i)



รูปที่ 5.27 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

9. จากรูปที่ 9 เป็นวงจรขยายแบบคอมมอนเบส มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้
 $h_{ie}=1\text{ k}\Omega$, $h_{fe}=50$ และ $h_{oe}=1\mu\text{s}$ จงคำนวณค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร
- 4) ค่าอัตราการขยายกระแส (A_i)

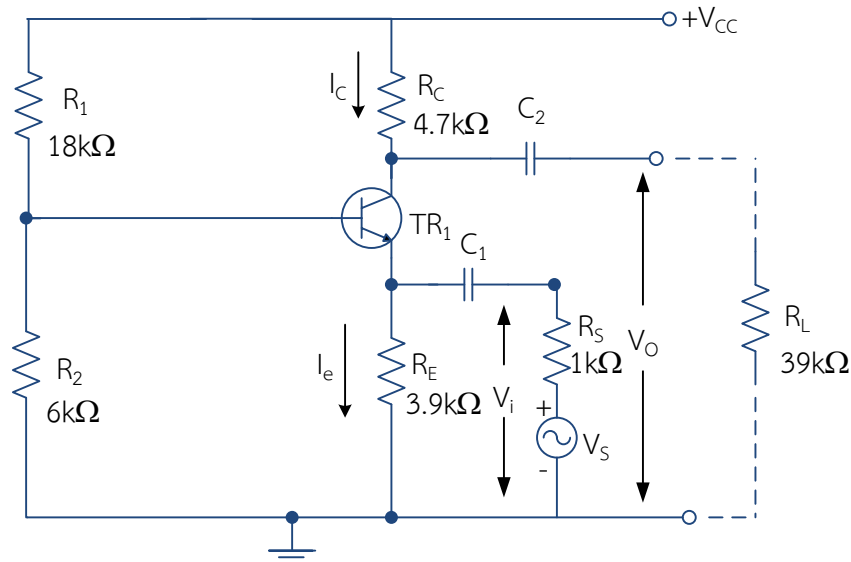


รูปที่ 9 วงจรคอมมอนเบส

[illegible]

10. จากรูปที่ 10 เป็นวงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาส มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังต่อไปนี้
 $h_{ie}=1\text{ k}\Omega$, $h_{fe}=50$ และ $h_{oe}=1\mu\text{s}$ จงคำนวณค่าดังต่อไปนี้

- 1) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)
- 2) ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Z_o)
- 3) ค่าอัตราขยายแรงดันของวงจร



รูปที่ 10 วงจรคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ

[illegible]

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 5 การวิเคราะห์การทำงาน และการออกแบบวงจรขยาย

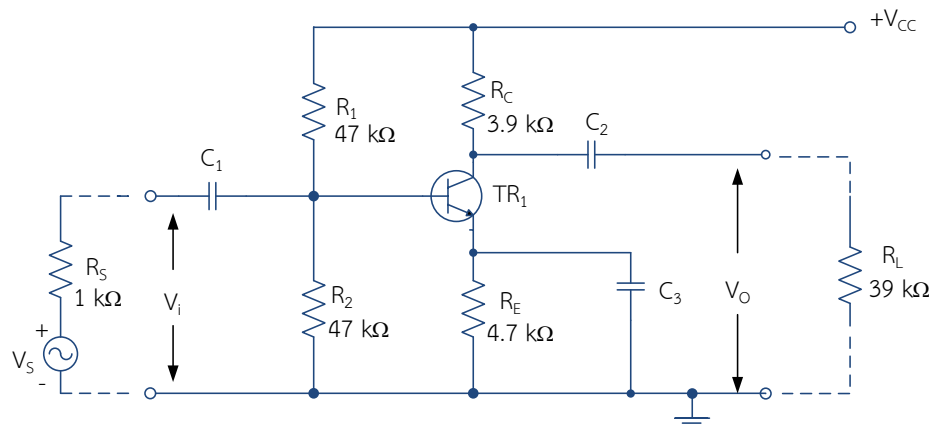
สัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์

(Small Signal Analysis And Design Transistor Circuit)

คำชี้แจง

1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที

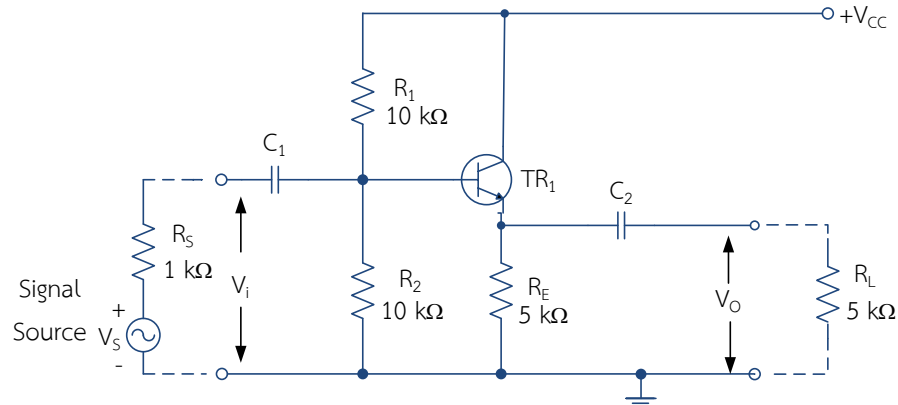
1. จากวงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์มีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 40$ และ $h_{oe} = 1 \text{ }\mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 1 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 1

- ก. $454.62 \text{ }\Omega$
- ข. $574.93 \text{ }\Omega$
- ค. $621.46 \text{ }\Omega$
- ง. $832.32 \text{ }\Omega$
- จ. $959.18 \text{ }\Omega$

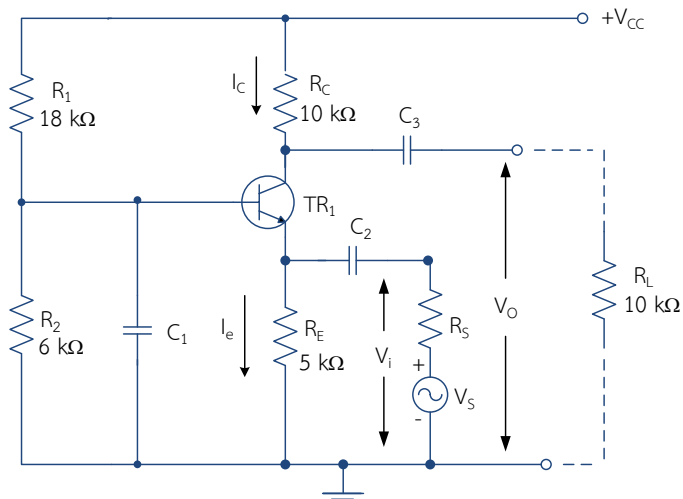
2. จากวงจรขยายคอมมอนคอลเลคเตอร์กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie} = 1\text{ k}\Omega$ และ $h_{fe} = 40$ จงคำนวณหาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจร (Z_O)



รูปที่ 2 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 2

- ก. $4.77\text{ k}\Omega$
- ข. $6.45\text{ k}\Omega$
- ค. $7.61\text{ k}\Omega$
- ง. $5.43\text{ k}\Omega$
- จ. $9.38\text{ k}\Omega$

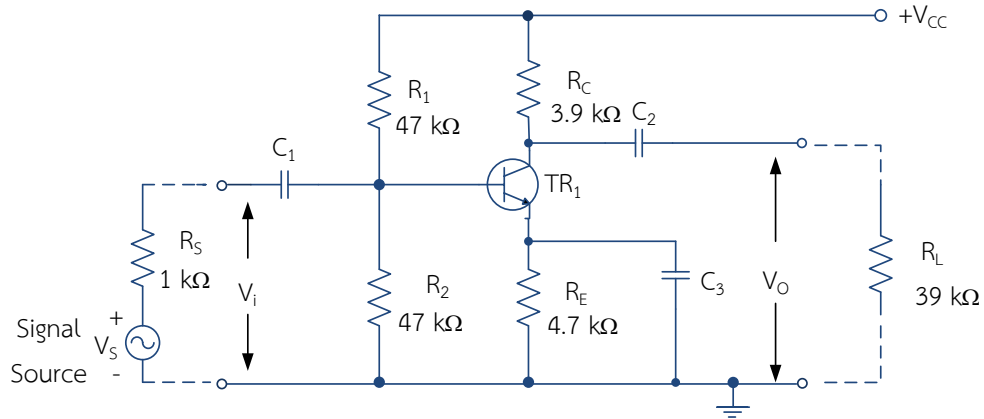
3. จากวงจรขยายคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie} = 2.1\text{ k}\Omega$ และ $h_{fe} = 100$ จงคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 3 กรณีไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ

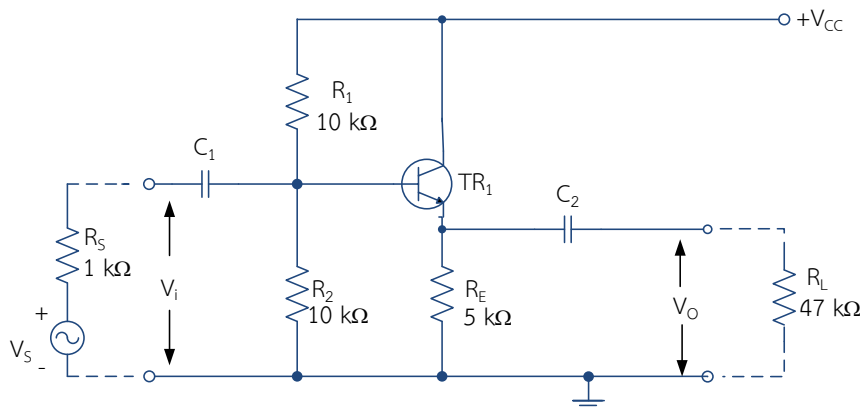
- ก. 150.46
- ข. 164.58
- ค. 219.11
- ง. 242.52
- จ. 285.33

4. จากวงจรขยายคอมมอนอีมิเตอร์ที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุบายพาสมีค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ $h_{ie} = 1\text{k}\Omega$, $h_{fe} = 40$ และ $h_{oe} = 1\mu\text{s}$ จงคำนวณหาค่าอัตราขยายแรงดัน (A_V)



รูปที่ 4 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 4

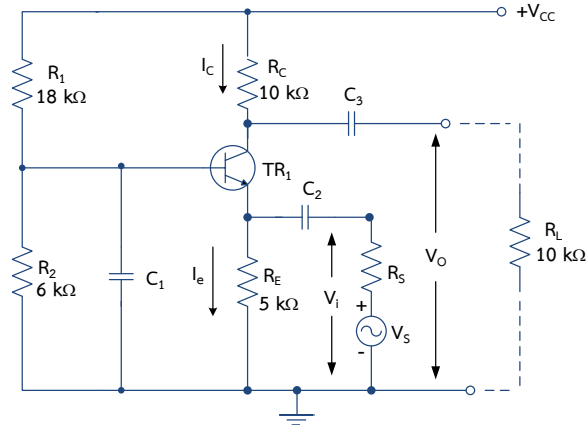
- ก. -0.55
ข. -0.66
ค. -0.73
ง. -0.89
จ. -0.91
5. จากวงจรขยายคอมมอนคอลเลคเตอร์กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie}=1\text{k}\Omega$ และ $h_{fe} = 40$ จงคำนวณหาอัตราขยายแรงดันเมื่อ $R_L \gg R_E$



รูปที่ 5 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 5

- ก. $A_V \geq 1$
ข. $A_V \leq 1$
ค. $A_V \approx 1$
ง. $A_V = \pm 1$
จ. $A_V = \mp 2$

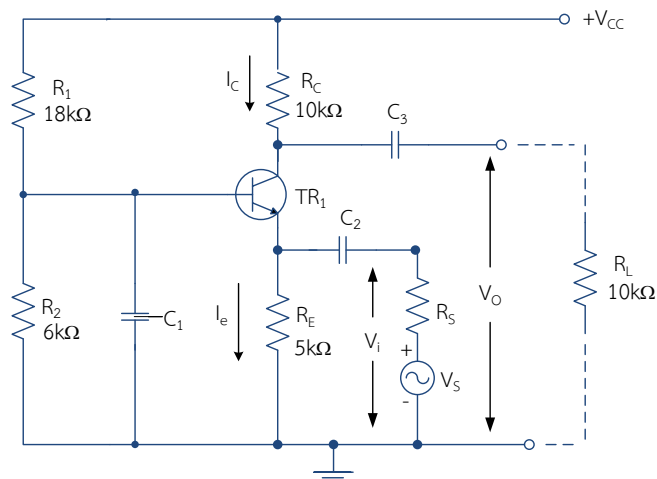
6. จากวงจรขยายคอมมอนเบส กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie}=2.1\text{ k}\Omega$ และ $h_{fe}=100$ จงคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 6 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 6

- ก. $15.78\ \Omega$
- ข. $21.49\ \Omega$
- ค. $27.45\ \Omega$
- ง. $29.41\ \Omega$
- จ. $31.32\ \Omega$

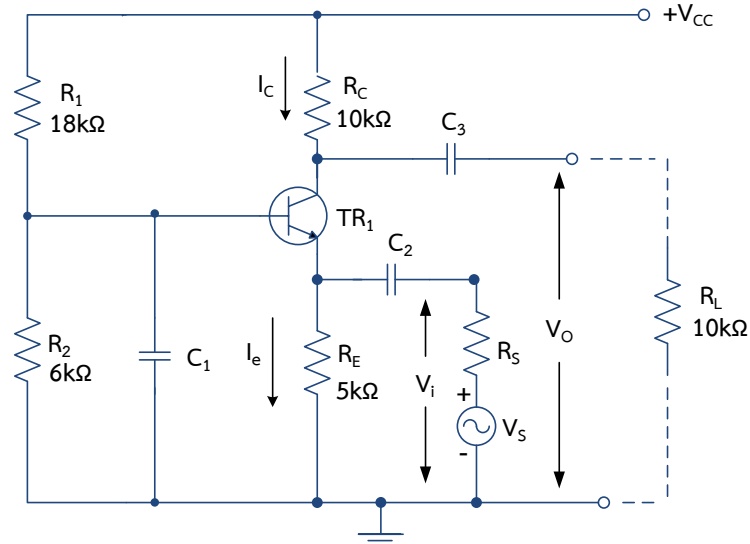
7. จากวงจรขยายคอมมอนเบส กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังนี้ $h_{ie}=2.1\text{ k}\Omega$ และ $h_{fe}=100$ จงคำนวณหาอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_v)



รูปที่ 7 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 7

- ก. 151
- ข. 221
- ค. 184
- ง. 238
- จ. 261

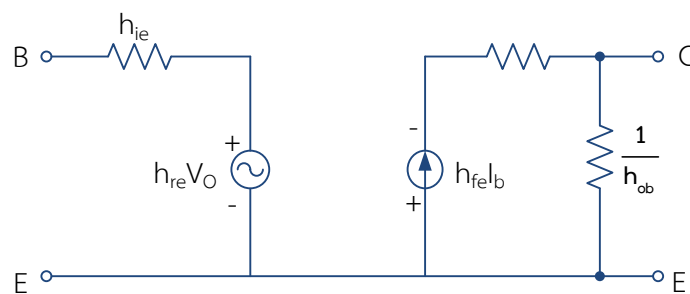
8. จากวงจรขยายคอมมอนเบสที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังนี้ $h_{ie}=2.1 \text{ k}\Omega$ และ $h_{fe}=100$ จงคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i)



รูปที่ 8 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 8 ที่ไม่ต่อบายพาสตัวเก็บประจุ

- ก. 25.22 Ω
- ข. 45.48 Ω
- ค. 53.46 Ω
- ง. 64.90 Ω
- จ. 71.42 Ω

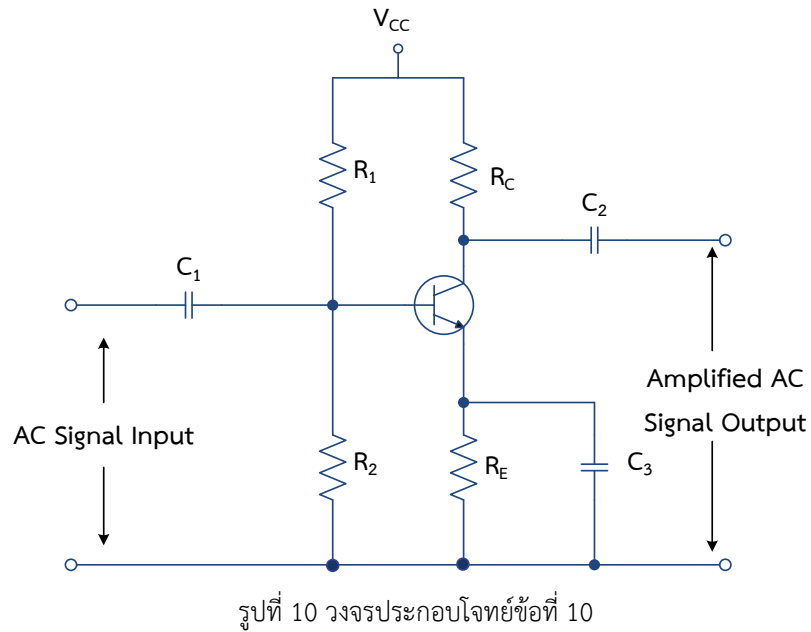
9. จากวงจรเทียบเคียง h พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ข้อใดคือความหมายของ h_{re}



รูปที่ 9 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 9

- ก. Input Resistance
- ข. Output Conductance
- ค. Reverse Voltage Transfer Ratio
- ง. Forward Current Transfer Ratio
- จ. Reverse Current Transfer Ratio

10. จากวงจร จงคำนวณหาค่า R_C เมื่อวงจรใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง 12 V ทรานซิสเตอร์มีค่า $h_{fe} = 100$ ต้องการกระแสไหลออกที่เอาต์พุต 300 mA



- ก. 40.00 Ω
- ข. 40.48 Ω
- ค. 40.46 Ω
- ง. 40.90 Ω
- จ. 40.42 Ω

บรรณานุกรม

- เจน สงสมพันธุ์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. 2552.
- นภัทร วัจนเทพพิรินทร์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์. 2538.
- ทรงพล กาญจนชูชัย. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
- ธันต์ ศรีสกุล. พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: วิดีทัศน์ กรู๊ป. 2552.
- สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2558.
- สายัณต์ ชื่นอารมณ. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ. 2552.
- เพื่อชาติ สุขเรือน, การวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์, กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2556.
- อำนวย เกาตระกูล, คู่มือการเขียนแผนการสอน การจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะอาชีพ, กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา, 2551.
- Robert L.Boylestad, Louis Nashelsky. Electronic Devices and Circuit Theory : United States., 2009.

	ใบงานที่ 5.1	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย การวิเคราะห์การทำงานและการออกแบบวงจรขยาย สัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่วงจรขยายสัญญาณแบบ คอมมอนเบส และคอมมอนคอลเลคเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. คำนวณหาค่าคุณสมบัติของวงจรขยาย (Z_i , Z_o , A_v , A_i) ได้อย่างถูกต้อง
4. หาค่า h_{fb} , h_{ob} , h_{rb} , h_{ib} จากคู่มือได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

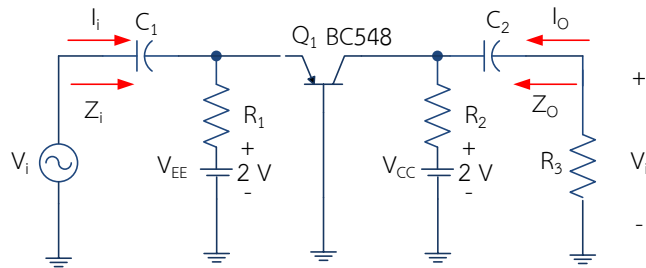
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|---------------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลอสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 5. ตัวต้านทานคงที่ 56 k Ω 0.5 W, R_2 5.6 k Ω 0.5 W
และ R_3 22 k Ω , 0.5 W | อย่างละ 1 ตัว |
| 6. ตัวเก็บประจุ C_1 100 uF 16V ; C_2 10 uF 16V | อย่างละ 1 ตัว |
| 7. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 k Ω , 100 k Ω และ 2.2 k Ω | อย่างละ 1 ตัว |
| 8. ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 548 | 1 ตัว |
| 9. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต้องวงจรตามรูปและเขียนรูปแบบจำลอง h-parameter



รูปที่ 5.1.1 วงจรขยายสัญญาณแบบคอมมอนเบส

2. ตั้ง Function Gen. ให้ผลิตสัญญาณ Sine wave ที่ความถี่ 1 kHz แรงดัน 4 V_{p-p}
3. ปรับ V_{R1} จนกระทั่งค่า I_C = 5 mA V_{CE} = 10V
4. ปลด V_{R1} ออก นำมาวัดค่าความต้านทาน บันทึกลง

$$V_{R1} = \dots\dots\dots \Omega$$

5. คำนวณหาค่าแรงดันที่ขา Base-Emitter ของวงจร

$$V_{BE} = \frac{V_{CC} \cdot R_E}{R_i + R_E}$$

$$V_{BE} = \dots\dots\dots V$$

6. วัดหาค่ากระแส I_{CO} ที่ไหลในวงจร

$$I_{CO} = h_{fb} I_B$$

$$I_{CO} = \dots\dots\dots A$$

7. วัดหาค่ากระแสที่ขา Base บันทึกลง

$$I_B = \dots\dots\dots A$$

8. คำนวณหาอัตราขยายกระแส (A_i)

$$A_i = \frac{I_O}{I_B} = \frac{I_{CO}}{I_B}$$

$$A_i = \dots\dots\dots$$

9. วัดแรงดันที่ขา Collector บันทึกลง

$$V_O = \dots\dots\dots V$$

10. คำนวณหาอัตราขยายแรงดัน (A_v)

$$A_v = \frac{V_O}{V_i} = \frac{-h_{fe}}{h_{ie}} \times R_L$$

$$A_v = \dots\dots\dots$$

11. หาคณสมบัติของทรานซิสเตอร์จากคู่มือ ดังนี้

$$h_{fe} = \dots\dots\dots$$

$$h_{ob} = \dots\dots\dots$$

$$h_{rb} = \dots\dots\dots$$

$$h_{ib} = \dots\dots\dots$$

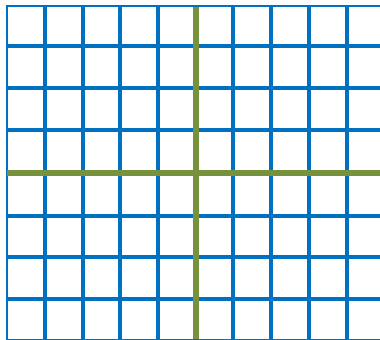
12. คำนวณหาค่า Z_i , Z_o ของวงจร

$$Z_i = \dots\dots\dots \Omega$$

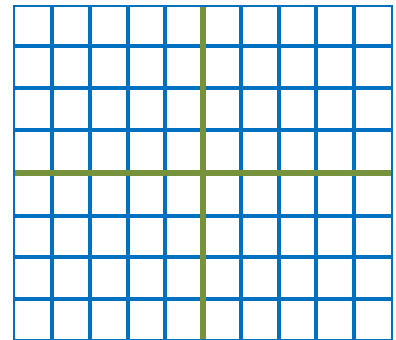
$$Z_o = \dots\dots\dots \Omega$$

13. เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตโดยนำออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณทั้งสอง

พิจารณาสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุต บันทึกผล



ก) สัญญาณอินพุต



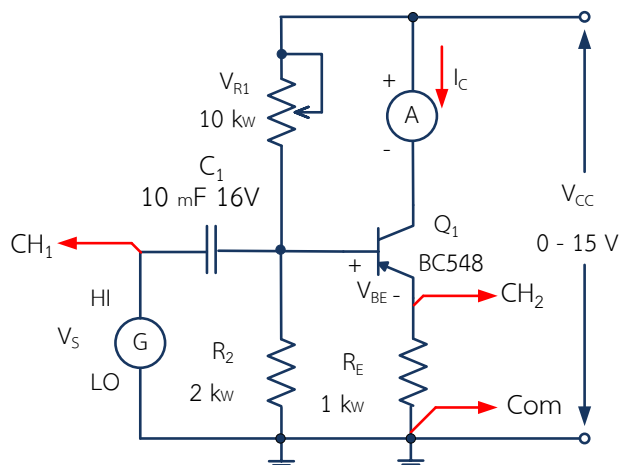
ข) สัญญาณเอาต์พุต

14. บันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตารางที่ 5.1.1

ตารางที่ 5.1.1 บันทึกผลการทดลองข้อ 14

คุณสมบัติผลการทดลอง	Z_i	Z_o	A_v	A_i

15. ต่อยวงจรตามรูปที่ 5.1.1 เขียนรูปแบบจำลอง h-parameter ของวงจรนี้



รูปที่ 5.1.2 แสดงวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

16. ตั้ง Function Gen. ให้ผลิตสัญญาณ Sine Wave ที่ความถี่ 1kHz แรงดัน 4 V_{p-p}

17. ปรับ V_{R1} จนกระทั่งไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ $I_C = 5 \text{ mA}$ และ $V_{CE} = 10 \text{ V}$

18. หาคณสมบัติของทรานซิสเตอร์จากหนังสือได้ดังนี้

$$h_{fe} = \dots\dots\dots$$

$$h_{oe} = \dots\dots\dots$$

$$h_{rc} = \dots\dots\dots$$

$$h_{ic} = \dots\dots\dots$$

19. ปลด V_{R1} ออกนำมาวัดค่าความต้านทาน บันทึกลง

$$V_{R1} = \dots\dots\dots \Omega$$

20. คำนวณหาค่าความต้านทาน (R_B)

$$R_B = \dots\dots\dots \Omega$$

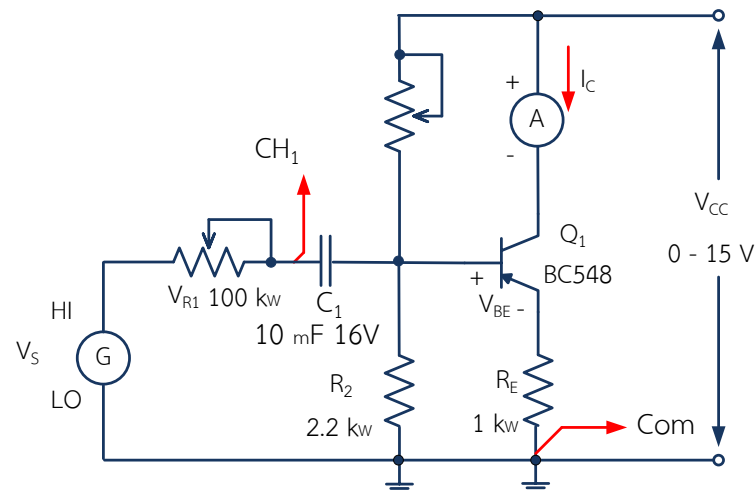
21. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ต่อไปนี้

$$Z_o = \dots\dots\dots R_i = \dots\dots\dots$$

$$A_v = \dots\dots\dots R_o = \dots\dots\dots$$

$$A_i = \dots\dots\dots R_{st} = \dots\dots\dots$$

22. ใส่ $R_{V2} = 100 \text{ k}\Omega$ อนุกรมลงในวงจรระหว่างแหล่งจ่ายกับ C_1 ดังรูปที่ 5.1.2

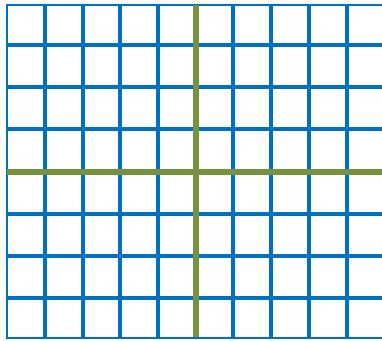


รูปที่ 5.1.3 แสดงการเพิ่ม R_{V2} ในวงจร

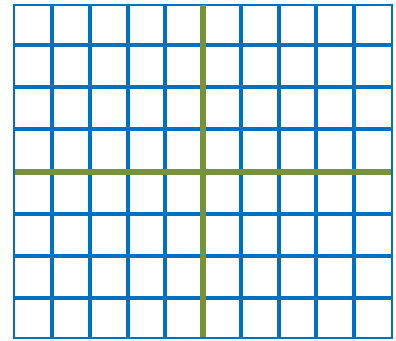
23. ใช้ Digital-Multimeter วัดแรงดันไบอัสระหว่างขา Base ของทรานซิสเตอร์กับคอมมอน บันทึกลง

$$V_i = \dots\dots\dots \text{V}$$

24. ใช้ออสซิลโลสโคป 2 CH วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจร บันทึกผล



ก) สัญญาณอินพุต



ข) สัญญาณเอาต์พุต

25. ปรับ VR_2 จนกระทั่งสัญญาณอินพุตมีค่าครึ่งหนึ่ง

26. ปลด VR_2 นำมาวัดค่าความต้านทาน บันทึกผล

$$Z_i = V_{R2} = \dots\dots\dots \Omega$$

27. นำค่าคุณสมบัติต่าง ๆ บันทึกผลในตารางที่ 5.1.2

ตารางที่ 5.1.2 บันทึกผลการทดลองข้อ 27

	Z_i	Z_o	A_v	A_o
คุณสมบัติจากการคำนวณ				
คุณสมบัติจากการวัด				

28. แทนค่า R_2 ด้วย R_5 และ VR_1 ด้วย VR_3

29. ตั้งค่าการทำงานที่ Operating point โดยให้ค่า $I_C = 5 \text{ mA}$; $V_{CE} = 10 \text{ V}$

30. เริ่มทำการทดลอง บันทึกผลลงในตารางที่ 5.1.3

ตารางที่ 5.1. บันทึกผลการทดลองข้อ 30

	Z_i	Z_o	A_v	A_o
คุณสมบัติจากการคำนวณ				
คุณสมบัติจากการวัด				

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

1. จงอธิบายลักษณะคุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณคอมมอนเบส และ คอมมอนคอลเลคเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. อธิบายผลการคำนวณค่าของ A_v , A_i , Z_i , Z_o ของวงจรขยายสัญญาณคอมมอนเบส และ คอมมอนคอลเลคเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

	ใบงานที่ 5.2	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย การวิเคราะห์การทำงานและการออกแบบวงจรขยาย สัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	คุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กด้วยทรานซิสเตอร์	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่อกับวงจรขยายสัญญาณคอมมอนอิมิตเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. คำนวณหาค่าคุณสมบัติของวงจรขยาย (Z_i , Z_o , A_v , A_i) ได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

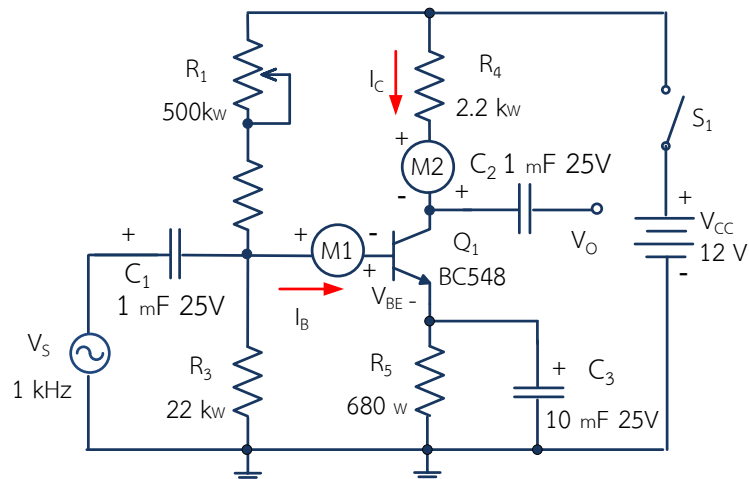
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|---------------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 1 เครื่อง |
| 3. ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 4. ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 5. ตัวต้านทานค่าคงที่ 680 Ω , 1 k Ω , 2.2 k Ω ,
22 k Ω ; 0.5 W | อย่างละ 1 ตัว |
| 6. ตัวเก็บประจุ 1 μ F 25V ; C_2 10 μ F 25V | อย่างละ 2 ตัว |
| 7. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 500 k Ω | 1 ตัว |
| 8. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่างเบอร์กัน | 3 ตัว |
| 9. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 5.2.1 โดยสวิตช์ S_1 ยังไม่ต้องต่อวงจร แหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} ปรับไว้ที่ 12 V ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_1 ปรับไว้ที่ค่าความต้านทานสูงสุดไว้ก่อน M1 ใช้ไมโครแอมมิเตอร์ M2 ใช้มิลลิแอมมิเตอร์ โดยตั้งย่านวัดไว้ที่ย่านสูงสุดไว้ก่อน



รูปที่ 5.2.1 วงจรทดลองคอมมอนอีมิเตอร์

2. ON สวิตช์ S_1 เช้าวงจรใช้มัลติมิเตอร์ตั้งที่ย่านวัดดีซีโวลต์วัดคร่อมขา B และ E ของทรานซิสเตอร์ (V_{BE}) ขั้วบวกของดีซีโวลต์มิเตอร์วัดที่ขา B ขั้วลบวัดที่ขา E
3. ปรับลดค่าความต้านทาน R_1 ลด ให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่จุดกึ่งกลาง คือวัดแรงดัน V_{BE} ได้ 0.6 V พอดี โดยยังไม่ตองป้อนสัญญาณขายนเข้าทางอินพุต
4. ต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณขายนเข้าทางอินพุต V_S ใช้ความถี่ 1 kHz ที่เอาต์พุต V_O ใช้ ออสซิลโคปัดคร่อม V_O เทียบกับกราวด์ ปรับเพิ่มความแรงของสัญญาณขายน ให้ได้สัญญาณขายน ออกเอาต์พุต V_O สูงสุด โดยที่สัญญาณไมผิดเพี้ยน

ตารางที่ 5.2.1 บันทึกผลการทดลอง 5 – 9

ค่าที่วัด	เวลาเริ่มต้น			เวลา 1 นาที		
	ทรานซิสเตอร์			ทรานซิสเตอร์		
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_1	Q_2	Q_3
$V_S (V_{P-P})$						
$V_O (V_{P-P})$						
$A_V = V_O/V_S$						
$V_{BE} (V)$						
$V_{CE} (V)$						
$I_B (\mu A)$						
$I_C (mA)$						

