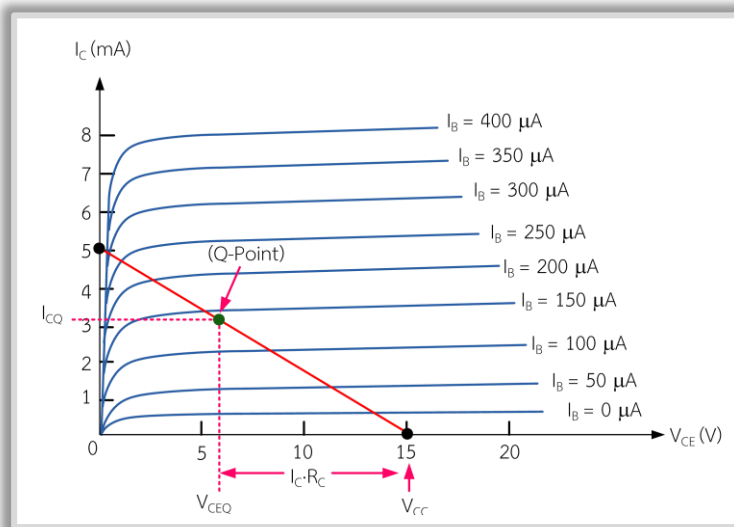
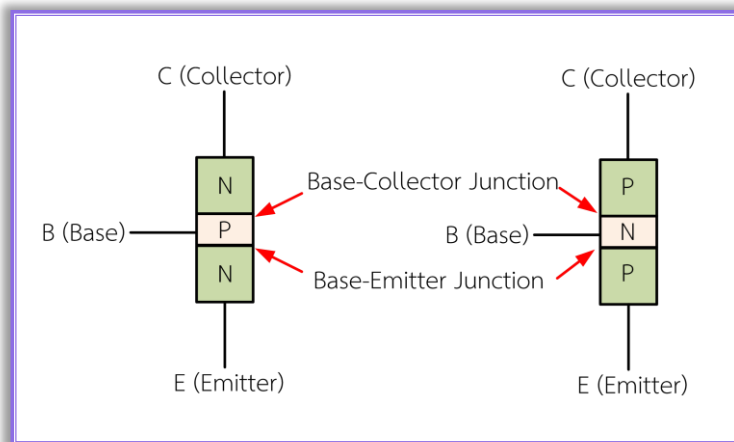


หน่วยที่ 4 คุณสมบัติ และการวิเคราะห์การทำงาน
ของทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง
Characteristic And Analysis Transistor DC Bias Circuit



โดย

นายเอกนรินทร์ พลาชีวะ

แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ

หน่วยที่ 4

คุณสมบัติ และการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์

ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

Characteristic And Analysis Transistor DC Bias Circuit

สาระสำคัญ

ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ หรือเรียกชื่อเต็มว่า ไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Transistor) สาเหตุที่เรียกว่าไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์เพราะว่ามาจากโครงสร้างที่สร้างขึ้นมาจากการเอาสารกึ่งตัวนำชนิดพี-ชนิดเอ็นมาติดต่อกัน 3 ชั้น เกิดสนามไฟฟ้าที่เรียกว่า ดีพลีชันอยู่ 2 ช่วง ในองค์ประกอบสามส่วนของรีเยียน (Region) โดยมีชื่อเรียกขาที่ต่อออกมาใช้งานว่า ขาคอลเลคเตอร์ ขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 แบบคือ NPN กับ PNP ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถขยายสัญญาณได้เพราะมีคุณสมบัติในการควบคุมการไหลของกระแส โดยมีการจัดไบอัสเพื่อให้ทรานซิสเตอร์สามารถกำหนดให้กระแสขาเข้าควบคุมกระแสขาออกได้

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ การทำงานของทรานซิสเตอร์ อัตราขยายของทรานซิสเตอร์ การวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Analysis) ของทรานซิสเตอร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1 อธิบายโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
- 4.2 อธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
- 4.3 คำนวณค่าอัตราขยายเบต้า (β) ของทรานซิสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
- 4.4 คำนวณค่าหาอัลฟา (α) ของทรานซิสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
- 4.5 วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Analysis) ของทรานซิสเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
- 4.6 วิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้เส้นโหลดไลน์ได้อย่างถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหา

4.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์

- โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
- โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

4.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์

- การทำงานของทรานซิสเตอร์
- การไบอัสเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์

4.3 อัตราขยายของทรานซิสเตอร์

- อัตราขยายเบต้า (β)
- อัตราขยายเบต้า (α)

4.4 การวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Analysis) ของทรานซิสเตอร์

- การแสดงคุณสมบัติการทำงานของทรานซิสเตอร์
- หลักการในการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง
- การวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง วงจรคอมมอนเบส
- การวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง วงจรคอมมอนอีมิเตอร์
- การวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์
- การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้เส้นโหลดไลน์ (Load Line

Analysis)

แบบทดสอบก่อนเรียน
หน่วยที่ 4 คุณสมบัติ และการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์
ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง
(Characteristic And Analysis Transistor DC Bias Circuit)

คำชี้แจง

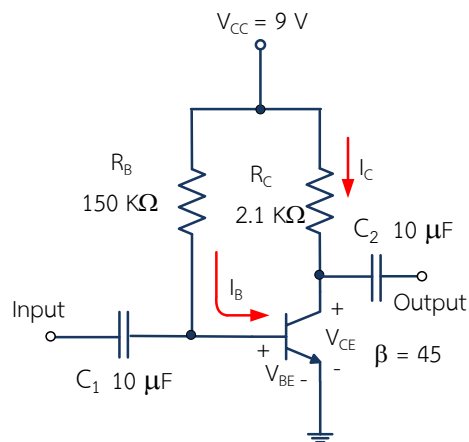
1. จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
 2. แบบทดสอบมีจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลาทำแบบทดสอบ 10 นาที
-

1. ถ้า $\beta = 100$ ค่าของ α จะมีค่าเท่าไร
 - ก. 0.89
 - ข. 0.99
 - ค. 0.79
 - ง. 0.69
 - จ. 0.59
2. โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ชั้นสาร N คือข้อใด
 - ก. เบส, อิมิตเตอร์
 - ข. เบส, คอลเลคเตอร์
 - ค. อิมิตเตอร์, คอลเลคเตอร์
 - ง. เบส, กราวด์
 - จ. อินพุต, เอาท์พุต
3. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับกระแสอิมิตเตอร์
 - ก. มากกว่ากระแสเบส
 - ข. น้อยกว่ากระแสคอลเลคเตอร์
 - ค. มากกว่ากระแสคอลเลคเตอร์
 - ง. เท่ากับกระแสเบส
 - จ. เกิดจากการรวมกันของกระแสเบสและคอลเลคเตอร์

4. จงคำนวณหาค่า β ของทรานซิสเตอร์เมื่อ $I_B = 10 \mu A$ และ $I_C = 200 mA$

- ก. 0.2
- ข. 2
- ค. 200
- ง. 2000
- จ. 20000

5. จากวงจรดังรูป จงคำนวณหากระแส I_B



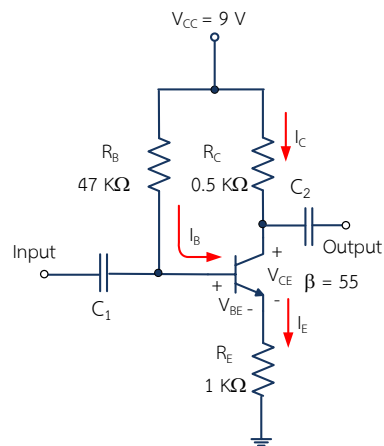
รูปที่ 1 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 5

- ก. 55.33 μA
- ข. 71.46 μA
- ค. 58.93 μA
- ง. 85.11 μA
- จ. 97.92 μA

6. ถ้า $\beta = 100$ ค่าของ α จะมีค่าเท่าไร

- ก. 0.89
- ข. 0.99
- ค. 0.79
- ง. 0.69
- จ. 0.59

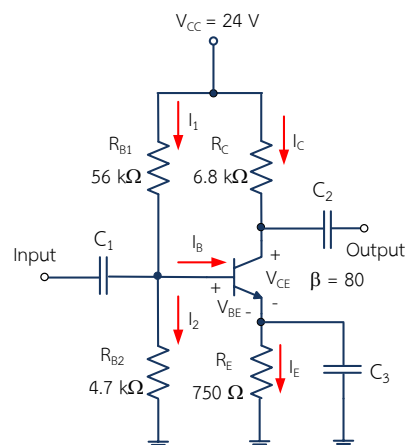
7. จากวงจรดังรูป จงคำนวณหาค่ากระแส I_C



รูปที่ 2 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 7

- ก. 4.43 mA
- ข. 4.32 mA
- ค. 4.23 mA
- ง. 4.54 mA
- จ. 4.62 mA

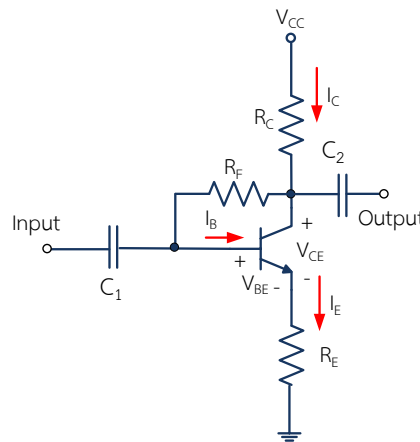
8. จากวงจรดังรูป จงหาค่าแรงดันที่ขาอิมิตเตอร์ (V_E)



รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 8

- ก. 0.87 V
- ข. 1.02 V
- ค. 1.16 V
- ง. 2.11 V
- จ. 2.72 V

9. จากวงจรดังรูป จงเขียนสมการหาค่า V_{CE}



รูปที่ 4 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 9

ก. $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_E + R_C)$

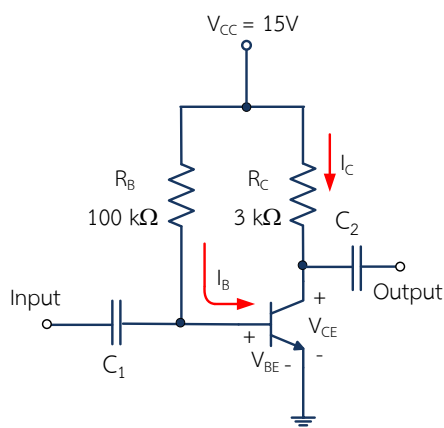
ข. $V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_E + R_F)$

ค. $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_F + R_C)$

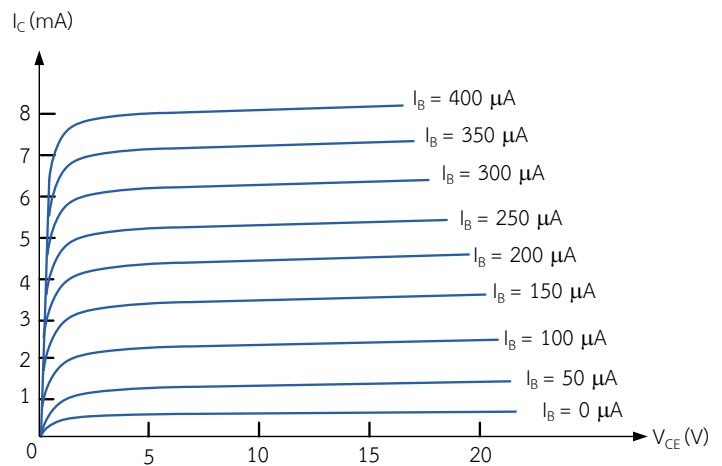
ง. $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_E + R_C)$

จ. $V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_E + R_C)$

10. จากรูปที่ 5 กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์จงกำหนดเส้นดัดซีโพลไลน์



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์และกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

ก. $V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 2 \text{ mA}$

ข. $V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 6 \text{ mA}$

ค. $V_{CE} = 15 \text{ V}$, $I_C = 5 \text{ mA}$

ง. $V_{CE} = 20 \text{ V}$, $I_C = 5 \text{ mA}$

จ. $V_{CE} = 22 \text{ V}$, $I_C = 7 \text{ mA}$

หน่วยที่ 4

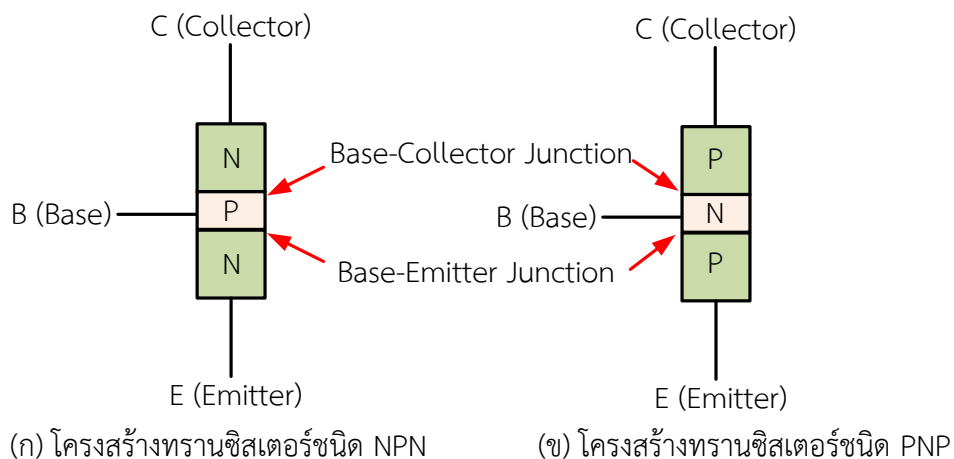
คุณสมบัติ และการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

Characteristic And Analysis Transistor DC Bias Circuit

เนื้อหาสาระ

ในปี ค.ศ. 1951 นายวิลเลียม ซอกลีย์ นักฟิสิกส์และนักประดิษฐ์ชาวอังกฤษสัญชาติอเมริกันผู้ค้นคิดและประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถขยายสัญญาณได้ โดยได้นำมาใช้ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ยกตัวอย่างเช่น วิทยุ โทรทัศน์ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างรวมกันเป็นวงจรรวม (integrated circuit) ที่เรียกว่าไอซี ซึ่งภายในประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ที่มีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากมาย จากจุดนี้ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ หรืองานอิเล็กทรอนิกส์ในด้านอื่น ๆ ตามมา ดังนั้น เราจึงต้องมาศึกษา และเรียนรู้อุปกรณ์ที่มีความสำคัญในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า ทรานซิสเตอร์

4.1 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 4.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

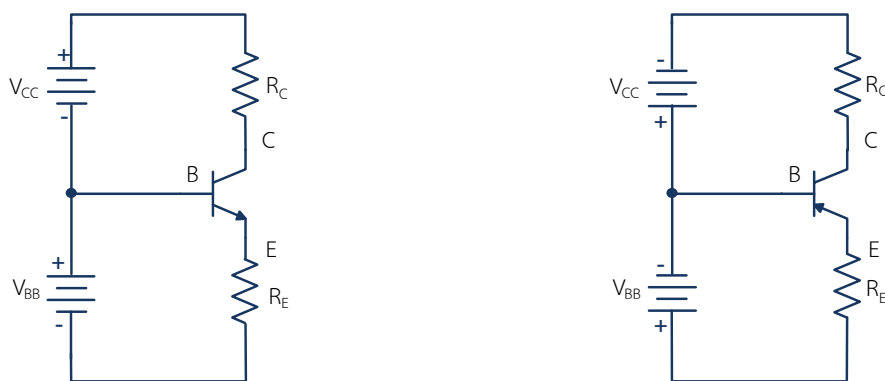
ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ หรือเรียกชื่อเต็มว่า ไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์ (Bipolar Junction Transistor : BJT) สาเหตุที่เรียกว่าไบโพลาร์จังก์ชันทรานซิสเตอร์เพราะว่ามาจากโครงสร้างที่สร้างขึ้นมาจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิดพี-ชนิดเอ็นมาต่อเข้าด้วยกัน 3 ชั้น เกิดสนามแม่เหล็กที่เรียกว่าดีพลีชันอยู่ 2 ช่วง ในองค์ประกอบ 3 ส่วนของรีเยียน (Region) โดยมีชื่อเรียกขาที่ต่อออกมาใช้งานว่า ขาคอลเลคเตอร์ ขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 แบบคือ NPN กับ PNP ดังแสดงตามรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 การสร้างในส่วนของเบสมีการโด๊ปสารที่แคบที่สุดหรือบางมาก เมื่อเทียบกับขาอิมิตเตอร์ และขาคอลเลคเตอร์ ซึ่งโครงสร้างของทรานซิสเตอร์อย่างนี้ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ส่วนคำว่าไบโพลาร์หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถใช้ทั้งโฮลด์ (Hold) และอิเล็กทรอนิกส์เป็นพาหะข้างมากในการทำงาน

4.2 การทำงานของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถขยายสัญญาณได้เพราะมีคุณสมบัติในการควบคุมการไหลของกระแสได้ โดยมีการจัดไบอัสหรือระบบการจ่ายไฟเพื่อให้ทรานซิสเตอร์สามารถกำหนดให้กระแสขาเข้าหรือกระแสควบคุม สามารถควบคุมกระแสขาออกได้ การไบอัสมีผลมาจากโครงสร้างจากโครงสร้างของทรานซิสเตอร์พบว่าพื้นที่ของคอลเลคเตอร์มีพื้นที่มากที่สุด ในขณะที่เบสมีพื้นที่น้อยที่สุด จึงกำหนดให้กระแสขาออกเป็นกระแสคอลเลคเตอร์ ดังนั้นจึงต้องจ่ายไบอัสระหว่างเบสและคอลเลคเตอร์ให้เป็นไบอัสกลับ ด้วยเหตุผลที่ว่าหากจ่ายไบอัสให้เบสและคอลเลคเตอร์เป็นไบอัสตรงย่อมทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้ เมื่อยังไม่มีกระแสขาเข้าแต่กลับมีกระแสขาออกแล้ว

ส่วนในด้านระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ เนื่องจากโครงสร้างของพื้นที่น้อยกว่าคอลเลคเตอร์ จึงกำหนดในขั้นต้นว่าให้ชั้นส่วนตรงนี้เป็นชุดกระแสขาเข้า จึงต้องจ่ายไบอัสระหว่างเบส-อิมิตเตอร์เป็นไบอัสตรง เพื่อให้กระแสส่วนนี้ไหลเป็นกระแสเริ่มต้นของระบบ หากกระแสขาเข้าไม่ไหลกระแสขาออกก็ย่อมไม่ไหลด้วย แต่หากกระแสขาเข้าไหลมากกระแสขาออกต้องไหลมากตามไปด้วยเป็นสัดส่วนซึ่งกันและกัน

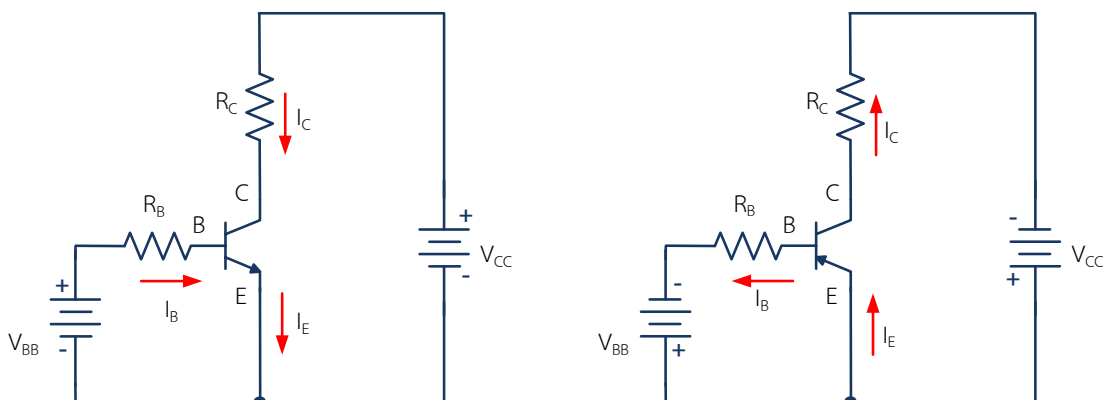


(ก) การไบอัสเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN (ข) การไบอัสเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 4.2 แสดงการไบอัสเบื้องต้น

เมื่อพิจารณาจากหลักการเบื้องต้นของการไบอัสทรานซิสเตอร์ตามรูปที่ 4.2 สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งหากสมมติให้อาขามีเตอร์เป็นขาเทียบศักย์ทางไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.3 (ก) ในวงจรทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรง จากแหล่งจ่าย V_{BB} โดยมีตัวต้านทาน R_B ทำหน้าที่จำกัดปริมาณกระแส I_B ตอนนี้นี้กระแสเบสจะไหลได้ และเมื่อขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสกลับจากแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} จึงเปรียบเทียบเสมือนการทำให้ความต้านทานระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ต่ำลง ทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} จ่ายกระแสจากขั้วบวกผ่านตัวต้านทาน R_C เข้าขาคอลเลคเตอร์ออกขาอิมิตเตอร์ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่าย V_{CC} จากรูปที่ 4.3 (ข) ในวงจรทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แหล่งจ่ายไฟ V_{BB} เป็นแหล่งจ่ายไบอัสตรงให้ระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ V_{BB} เข้าขาอิมิตเตอร์ ไหลออกขาเบสเป็นกระแส I_B ส่งผ่านตัวต้านทาน R_B ครบวงจรที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ V_{BB} เมื่อมีกระแส I_B ส่งผลให้เกิดการไหลของกระแสจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลคเตอร์ เป็นกระแสคอลเลคเตอร์ I_C โดยถือว่าเป็นกระแสไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ V_{CC} เข้าขา E ออกขา C ไหลผ่าน R_C ไปครบวงจรที่ขั้วลบแหล่งจ่ายไฟ V_{CC}



(ก) การไบอัสเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN (ข) การไบอัสเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP
รูปที่ 4.3 แสดงการไบอัสเบื้องต้นโดยใช้ขาอิมิตเตอร์เป็นขาเทียบศักย์ทางไฟฟ้า

เขียนสมการความสัมพันธ์ของกระแสทั้ง 3 ได้ดังสมการที่ 4.1

$$I_E = I_C + I_B \quad \dots 4.1$$

4.3 อัตราขยายของทรานซิสเตอร์

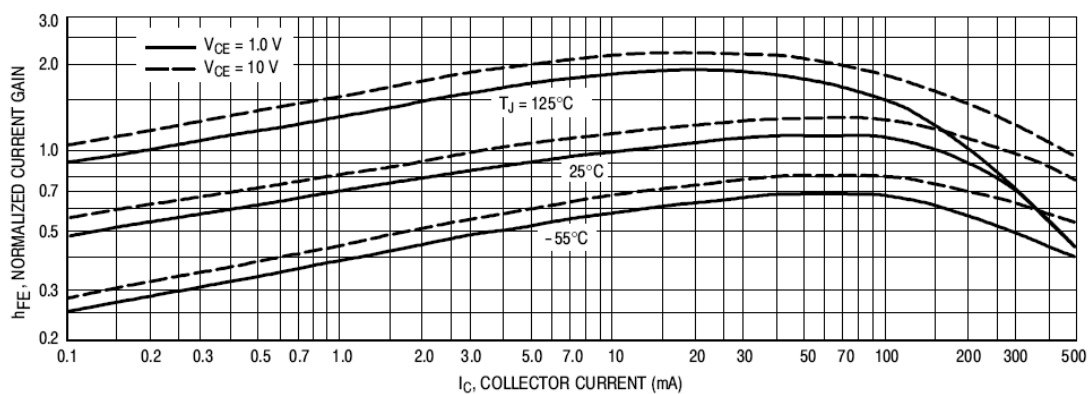
อัตราขยายของทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 อย่าง ได้แก่ เบต้า (β) และอัลฟา (α)

อัตราขยายเบต้า (β) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) กับกระแสเบส (I_B) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \dots 4.2$$

ทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปจะมีค่า β อยู่ระหว่าง 20-200 หรือมากกว่า ดูได้จากคู่มือ (Data Sheet) ของทรานซิสเตอร์ หรืออาจเรียก β ว่า h_{fe} ซึ่งหมายถึงอัตราขยาย (Gain) ทางกระแสของทรานซิสเตอร์

ค่า β เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ไปใช้ในวงจรขยายแบบต่าง ๆ ค่า β คือ อัตราขยายทางกระแสของทรานซิสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงได้ถ้าอุณหภูมิที่รอยต่อของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนไป (T_J = Junction Temperature) ค่า β จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อสูงขึ้นตามไปด้วย กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า β และค่า I_C ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของรอยต่อทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า β และค่า I_C ที่เปลี่ยนค่าไปตามอุณหภูมิ

ที่มา : Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**, Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.

สำหรับค่า α คืออัตราขยายทางกระแสระหว่างกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) กับกระแสอิมิตเตอร์ (I_E) ปกติจะมีค่าไม่เกิน 1 คือมีค่าระหว่าง 0.95 - 0.99 ดังสมการที่ 4.3

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \dots 4.3$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง β และ α

เมื่อกำหนดให้ $I_E = I_C + I_B$ นำ I_C หารตลอดทั้ง 2 ข้างของสมการจะได้ว่า

$$\begin{aligned} I_E &= I_C + I_B \\ \frac{I_E}{I_C} &= \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C} \\ \alpha &= 1 + \frac{I_B}{I_C} \end{aligned}$$

แต่ $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ และ $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ ดังนั้น

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\beta+1}{\beta}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \dots 4.4$$

จากสมการที่ 4.4 สามารถหาค่า α ได้เมื่อได้ค่า β และก็สามารถหาค่า β ได้จากค่า α ตามสมการที่ 4.5

$$\alpha(\beta+1) = \beta$$

$$\alpha \cdot \beta + \alpha = \beta$$

$$\alpha = \beta - \alpha \cdot \beta$$

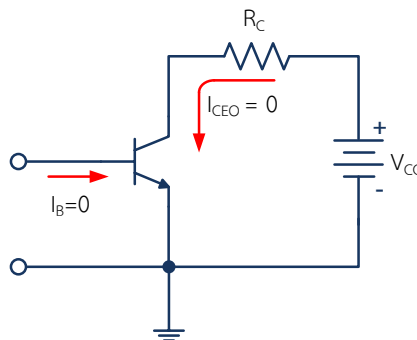
$$\beta (1 - \alpha) = \alpha$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \dots 4.5$$

4.4 การวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Analysis) ของทรานซิสเตอร์

การแสดงคุณสมบัติการทำงานของทรานซิสเตอร์ สามารถแสดงได้ 3 สภาวะ คือ

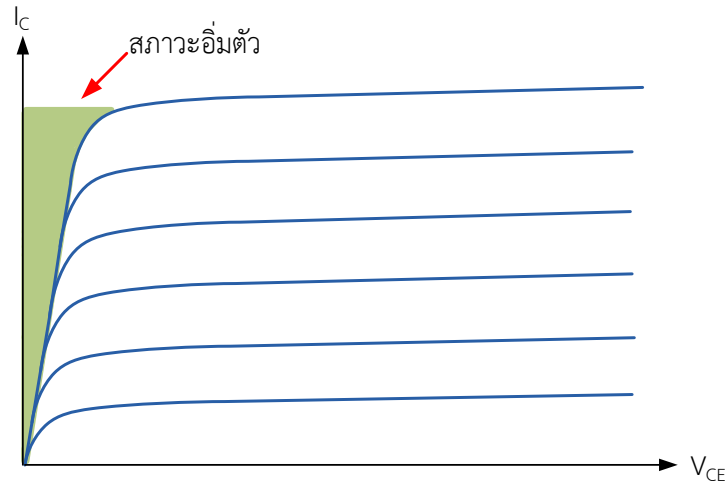
1. สภาวะคัทออฟ (Cutoff) สภาวะนี้เราจะพิจารณาจากกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ บริเวณนี้ ค่ากระแสเบส $I_B = 0$ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงานหรือคัทออฟ (Cutoff) นั่นคือไม่มีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลจาก V_{CC} ไปสู่อิมิตเตอร์ เมื่อพิจารณาในวงจรแสดงดังรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเกิดกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเลคเตอร์ไปสู่อิมิตเตอร์เรียกว่า I_{CEO} ซึ่งมีค่าน้อยมาก (ปกติจะมีปริมาณน้อยเป็น μA เท่านั้น)



รูปที่ 4.5 แสดงการรั่วไหลของกระแสคอลเลคเตอร์ I_{CEO} ในสภาวะคัทออฟ

2. สภาวะอิ่มตัว (Saturation) หมายถึง สภาวะที่กระแสคอลเลคเตอร์ไหลผ่านอิมิตเตอร์จนทำให้แรงดันตกคร่อมระหว่างขาคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์มีค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งน้อยมาก เรียกว่า $V_{CE(sat)}$ ในกรณีชิลิกอนทรานซิสเตอร์ค่าแรงดันจุดอิ่มตัวจะมีค่าประมาณ $V_{CE(sat)} = 0.2 V$ แสดงดังรูปที่ 4.6

3. สภาวะแอคทีฟ (Active) เป็นสภาวะที่กระแสคอลเลคเตอร์แปรผันตามแรงดันระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์อย่างเป็นเชิงเส้นหรือเกือบเป็นเชิงเส้น ในสภาวะนี้ทรานซิสเตอร์ มีการขยายทั้งทางด้านแรงดันและกระแส ทรานซิสเตอร์จะทำงานในสภาวะนี้เมื่อได้รับไบอัสตรงให้กับรอยต่อเบสกับอิมิตเตอร์และป้อนไบอัสกลับให้กับให้กับรอยต่อคอลเลคเตอร์กับเบส



รูปที่ 4.6 เส้นแสดงลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ในสภาวะอิมิตตัว

4.4.1 หลักการในการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

ในการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อตรวจสอบการทำงานของทรานซิสเตอร์จะทำให้เราสามารถทราบว่าทรานซิสเตอร์ในวงจรทำงานอยู่ในสภาวะใด ซึ่งทำให้เราสามารถแก้ปัญหาในการทำงานได้ง่ายขึ้นประหยัดเวลามากขึ้น โดยหลักการในการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงมีหลักการดังนี้

4.4.1.1 ในวงจรที่ทำการวิเคราะห์การทำงาน ถ้ามีตัวเก็บประจุต่ออยู่ ให้ทำการปลดออก (Open capacitor circuit) เพราะว่าการวิเคราะห์วงจรทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในวงจรจะมีความถี่มีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้นเราจะพบว่า ค่าคาปาซิแตนซ์ของตัวเก็บประจุ (X_C) ที่อยู่ในวงจรจะมีค่าสูงมากเป็นอนันต์ นั่นคือเสมือนตัวเก็บประจุอยู่ในสภาวะเปิดวงจร แสดงให้เห็นได้จากสมการดังนี้

เมื่อความถี่ (F) = 0 จะได้ว่า

$$X_C = \frac{1}{2\pi F C} \quad \dots 4.6$$

เมื่อ	X_C	คือ ค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ	มีหน่วยเป็น โอห์ม
	F	คือ ความถี่	มีหน่วยเป็น เฮิรต
	C	คือ ค่าความจุ	มีหน่วยเป็น ฟารัด

แทนค่าความถี่ $F = 0$ ลงในสมการที่ 4.1

$$X_C = \frac{1}{0} = \infty$$

นั่นคือ C จะอยู่ในสภาวะ เปิดวงจร

4.4.1.2 ทำการวิเคราะห์วงจรโดยแยกวิเคราะห์เป็นภาค Input และ Output โดยที่

- วิเคราะห์ที่ภาค Input ของวงจรเพื่อหาค่า I_B และ I_C
- วิเคราะห์ที่ภาค Output ของวงจรเพื่อหาค่า V_{CE}

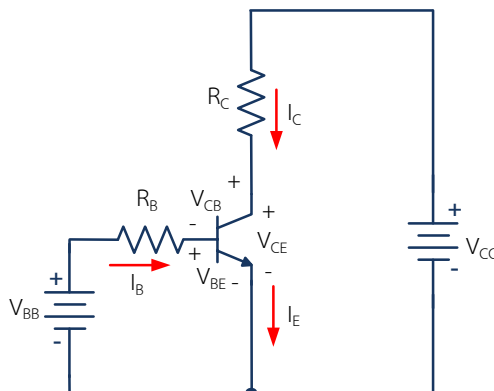
4.4.1.3 ทำการตรวจสอบการทำงานของ ทรานซิสเตอร์ โดย

- ใช้สมการที่ภาค Output
- ให้แรงดัน $V_{CE(sat)}$ มีค่าเท่ากับ 0.2 V
- หาค่ากระแส $I_{C(MAX)}$
- ทำการเปรียบเทียบค่า $I_{C(MAX)}$ กับ ค่า I_{CQ}

ถ้า $I_{C(MAX)}$ มากกว่า I_{CQ} แสดงว่าทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะทำงาน Active สามารถทำงานขยายสัญญาณได้ แต่ถ้า $I_{C(MAX)}$ น้อยกว่า I_{CQ} แสดงว่าทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว (Saturation) ก็แสดงว่าทรานซิสเตอร์ไม่สามารถทำงานเป็นวงจรขยายได้

$I_{C(MAX)} \geq I_C$	Transistor Active
$I_{C(MAX)} \leq I_C$	Transistor Saturation
$I_{CQ} = 0$	Transistor Cut off

ตัวอย่างที่ 4.1 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์เมื่อวิเคราะห์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 4.7 พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อหาค่าคือ กระแส I_B , I_E , I_C และแรงดัน V_{CB} , V_{CE} และตรวจสอบการทำงานของทรานซิสเตอร์



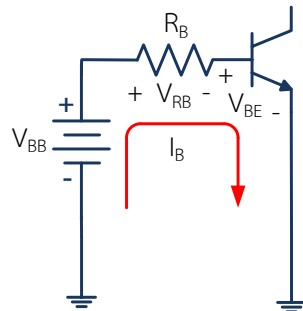
รูปที่ 4.7 แสดงการไบอัสทรานซิสเตอร์ NPN

และการกำหนดกระแสแรงดันในวงจรเพื่อวิเคราะห์แบบไฟตรง

วิธีทำ จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อเบสและอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรงจะเกิดแรงดันตกคร่อมรอยต่อ ดังนี้

$$V_{BE} \cong 0.7 \text{ V}$$

...4.7



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรทางด้าน Input

จากรูปที่ 4.8 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการทางด้านอินพุตได้ดังนี้

$$V_{BB} - V_{RB} - V_{BE} = 0$$

...4.8

จากสมการที่ 4.3 แรงดันตกคร่อม R_B คือ

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE}$$

และ

$$V_{RB} = I_B \cdot R_B$$

ดังนั้น

$$I_B \cdot R_B = V_{BB} - V_{BE}$$

หรือ

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

...4.9

จากสมการที่ 4.3 หาค่า I_E

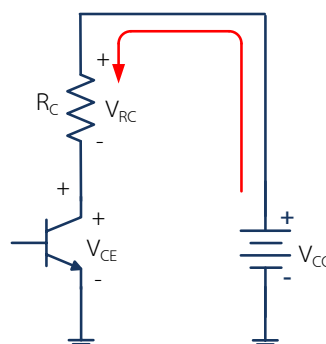
$$I_E = \frac{I_C}{\alpha}$$

...4.10

จากสมการที่ 4.2 หาค่า I_C

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

...4.11



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรทางด้าน OUTPUT

จากรูปที่ 4.9 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการทางด้านเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} = 0 \quad \dots 4.12$$

เมื่อแรงดันตกคร่อม R_C คือ

$$V_{RC} = I_C \cdot R_C$$

แรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ คือ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad \dots 4.13$$

แรงดันตกคร่อมรอยต่อคอลเลคเตอร์กับเบส คือ

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad \dots 4.14$$

ตรวจสอบสภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์ทำได้โดยใช้สมการทางด้านเอาต์พุตดังนี้

$$V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{CE} = 0 \quad \dots 4.15$$

กำหนดให้ $V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$ และแทนค่าลงในสมการที่ 4.10 เพื่อหาค่ากระแส $I_{C(MAX)}$

$$V_{CC} - I_C \cdot R_C - 0.2 = 0$$

$$I_{C(max)} = \frac{V_{CC} - 0.2 \text{ V}}{R_C}$$

ทำการเปรียบเทียบ ค่ากระแส $I_{C(MAX)}$ กับ กระแส I_C ที่มาจากสมการที่ 4.6 เพื่อตรวจสอบสภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ตัวอย่างที่ 4.2 จงคำนวณหาค่า β และ α ของทรานซิสเตอร์เมื่อ $I_B = 50 \mu\text{A}$ และ $I_C = 3.65 \text{ mA}$

วิธีทำ จากสมการที่ 4.2

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\beta = \frac{3.65 \text{ mA}}{50 \mu\text{A}}$$

$$\beta = 73$$

ตอบ

จากสมการที่ 4.4

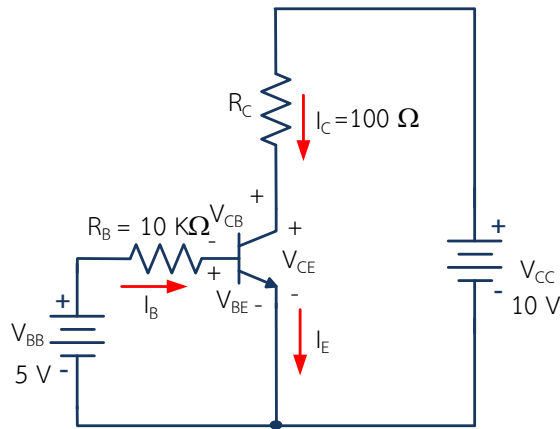
$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$\alpha = \frac{73}{1 + 73}$$

$$\alpha = 0.989$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4.3 จากวงจรในรูปที่ 4.10 จงหาค่าของ I_B , I_E , I_C , α , V_{CE} และ V_{CB} และตรวจสอบสถานะการทำงานของทรานซิสเตอร์ ถ้าทรานซิสเตอร์ในวงจรมี ค่า $\beta = 150$



รูปที่ 4.10 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \\
 &= \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} \\
 &= 430 \text{ }\mu\text{A}
 \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 I_C &= \beta \cdot I_B \\
 &= (150) \times (430 \text{ }\mu\text{A}) \\
 &= 64.5 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{\beta}{1 + \beta} \\
 &= \frac{150}{1 + 150} \\
 &= 0.993
 \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 I_E &= \frac{I_C}{\alpha} \\
 &= \frac{64.5 \text{ mA}}{0.993} \\
 &= 64.95 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C \cdot R_C \\
 &= 10 \text{ V} - (64.5 \text{ mA}) \times (100 \text{ }\Omega) \\
 &= 3.55 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 V_{CB} &= V_{CE} - V_{BE} \\
 &= 3.55 \text{ V} - 0.7 \text{ V} \\
 &= 2.85 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 I_{C(\max)} &= \frac{V_{CC} - 0.2}{R_C} \\
 &= \frac{10 \text{ V} - 0.2 \text{ V}}{100 \Omega} \\
 &= 98 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

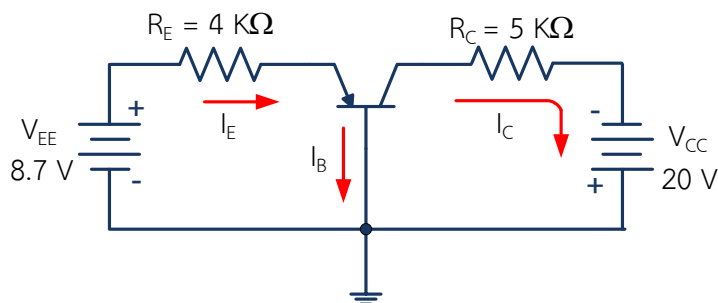
ตอบ

ตรวจสอบการทำงาน โดยเปรียบเทียบ ค่ากระแส $I_{C(\max)}$ มากกว่า I_C ทรานซิสเตอร์ทำงานในสถานะแอกทีฟ

4.4.2 วงจรคอมมอนเบส (Common Base Circuit)

คุณสมบัติพื้นฐานของวงจรคอมมอนเบสคือ

1. สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกันกับสัญญาณอินพุต (Inphase)
2. อัตราการขยายทางด้านกระแส (α) น้อยกว่า 1 เสมอ
3. อัตราการขยายทางด้านแรงดัน (Voltage Gain) หรือ A_V สูง
4. อินพุตอิมพีแดนซ์ต่ำมีค่าเป็นโอห์มแต่เอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูงเท่า R_C



รูปที่ 4.11 วงจรคอมมอนเบส

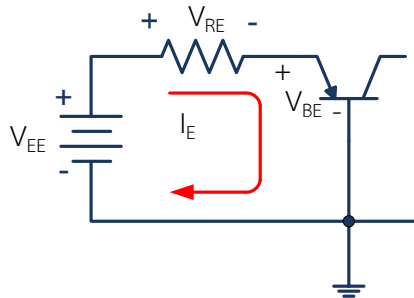
จากวงจรตามรูปที่ 4.11 สามารถแยกส่วนเพื่อเขียนสมการภายในวงจรคอมมอนเบสได้ดังนี้คือ

1. สมการของวงจรทางด้านอินพุต
2. สมการของวงจรทางด้านเอาต์พุต

โดยปกติแล้วการให้ไบอัสของวงจรทางด้านอินพุตจะให้ไบอัสตรงและการให้ไบอัสทางด้านเอาต์พุตของวงจรจะเป็นการให้ไบอัสกลับ ในการพิจารณาสมการทางด้านอินพุตจะหาเฉพาะกระแสทางด้านอินพุตในที่นี้คือ กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) ส่วนทางด้านเอาต์พุตของวงจรนั้นจะหาเฉพาะค่าแรงดันตกคร่อมระหว่างขาคอลเลคเตอร์กับขาเบส (V_{CE}) ของวงจรซึ่งจะได้พิจารณาดังนี้

4.4.2.1 การหาค่ากระแสทางด้านอินพุต

จากวงจรในรูปที่ 4.9 สามารถเขียนวงจรทางด้านอินพุต (Input Section) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.12 วงจรทางด้านอินพุต

จากรูปที่ 4.10 สามารถเขียนสมการ Voltage Loop โดยใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law ซึ่งในวงจรตามรูปที่ 4.10 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$+ V_{EE} - V_{RE} - V_{BE} = 0$$

เมื่อ $V_{RE} = I_E \cdot R_E$

$$+ V_{EE} - (I_E \cdot R_E) - V_{BE} = 0$$

$$I_E \cdot R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

ดังนั้นจะได้

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

...4.11

เมื่อ $V_{BE(\text{Ge})} \cong 0.3 \text{ V}$

$V_{BE(\text{Si})} \cong 0.7 \text{ V}$

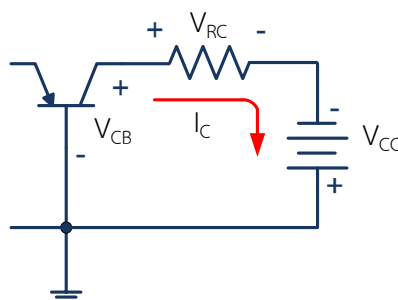
หรือจะหา I_E โดยประมาณ เนื่องจาก V_{BE} น้อยกว่า V_{EE} จะได้ดังนี้

$$I_E \cong \frac{V_{EE}}{R_E}$$

...4.12

4.4.2.2 การหาค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุต

เขียนวงจรวงจรทางด้านเอาต์พุต (Output Section) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 วงจรทางด้านเอาต์พุต

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

จากวงจรในรูปที่ 4.11 หาค่าแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเลคเตอร์กับเบส ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$+ V_{CC} - V_{RC} - V_{CB} = 0$$

$$\text{เมื่อ } V_{RE} = I_C \cdot R_C$$

$$+ V_{CC} - (I_C \cdot R_C) - V_{CB} = 0$$

$$V_{CB} = -V_{CC} + (I_C \cdot R_C) \quad \dots 4.13$$

ในวงจรคอมมอนเบสหาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ได้จากสมการ

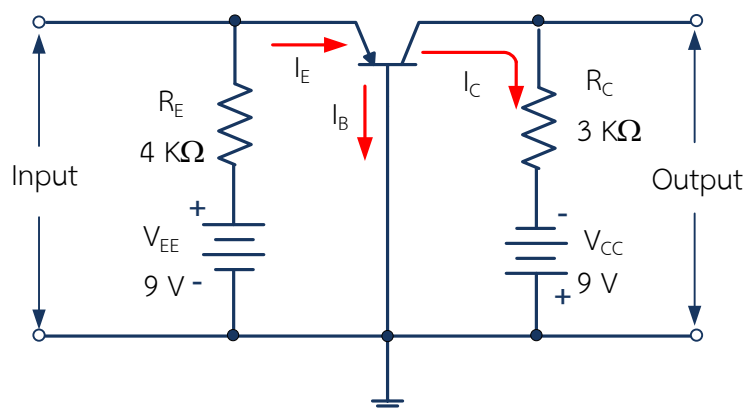
$$I_C \cong I_E$$

อัตราการขยายทางด้านกระแส (α) หาได้ดังนี้

$$\alpha \cong \frac{I_C}{I_E} \quad \dots 4.14$$

ซึ่งอัตราการขยายทางด้านกระแสในวงจรคอมมอนเบสจะไม่เกิน 1

ตัวอย่างที่ 4.4 จงคำนวณหาค่าแรงดันไบอัส V_{BE} V_{CB} กระแส I_E และ I_C ดังแสดงในวงจรตามรูปที่ 4.12 ทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นชนิดซิลิกอนซึ่งมีอัตราการขยายทางด้านกระแสเท่ากับ 0.99



รูปที่ 4.12 วงจรคอมมอนเบส

วิธีทำ มีลำดับขั้นตอนในการคำนวณดังต่อไปนี้

หาค่าแรงดัน V_{BE}

$$V_{BE} \cong 0.7 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่ากระแส I_E

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

$$I_E = \frac{9 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{4 \text{ k}\Omega}$$

$$= 2.075 \text{ mA}$$

ตอบหาค่ากระแส I_C

$$I_C \cong I_E$$

$$\cong 2.075 \text{ mA}$$

ตอบหาค่าแรงดัน V_{CB}

$$V_{CB} = -V_{CC} + I_C \cdot R_C$$

$$= -9 \text{ V} + (2.075 \text{ mA}) \cdot (3\text{K}\Omega)$$

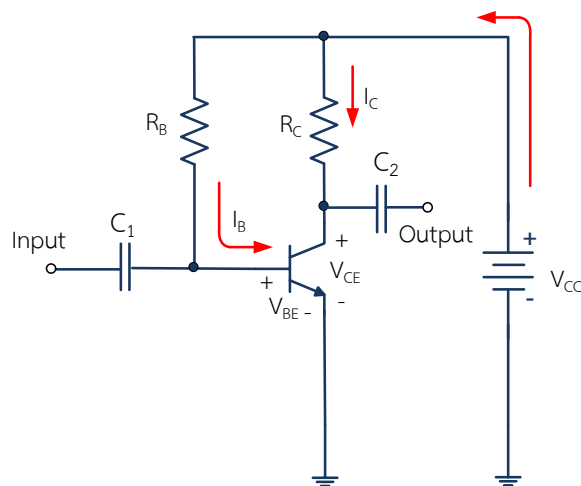
$$= -3.775 \text{ V}$$

ตอบ

4.4.3 วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ (Common Emitter Circuit)

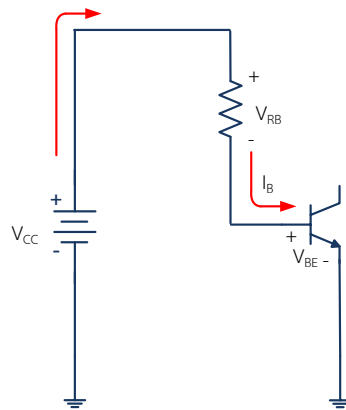
คุณสมบัติพื้นฐานของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์

1. สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุต 180° (Out Of Phase 180°)
2. มีค่าอัตราขยายทางด้านกระแส (Current Gain) หรือ β สูง
3. อัตราขยายทางด้านแรงดัน (Voltage Gain) หรือ A_V สูง
4. ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ R_B และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ R_C
5. เป็นวงจรขยายแบบคลาสเอ



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์

จากรูปที่ 4.13 เป็นวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ที่มีการให้ไบอัสแบบคงที่ (Fixed Bias) ลักษณะการจัดวงจรแบบนี้จะเป็นการขยายในคลาสเอจะมีการจัดให้ไบอัสที่จุด Q-Point สัญญาณที่วงจรขยายได้จะเหมือนกับสัญญาณที่ป้อนให้แก่วงจรแต่จะมีเฟสต่างกัน 180° ซึ่งมีวิธีการหาสมการของวงจรโดยแบ่งรูปวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนอินพุต และส่วนเอาต์พุตซึ่งจะหาสมการได้ดังนี้



รูปที่ 4.14 แสดงรูปวงจรทางด้านอินพุตของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์

4.4.3.1 การหาค่ากระแสทางด้านอินพุต

จากรูปที่ 4.13 เขียนวงจรทางด้านอินพุตได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RB} - V_{BE} = 0$$

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} = 0$$

$$I_B \cdot R_B = V_{CC} - V_{BE}$$

ดังนั้น จะได้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

...4.15

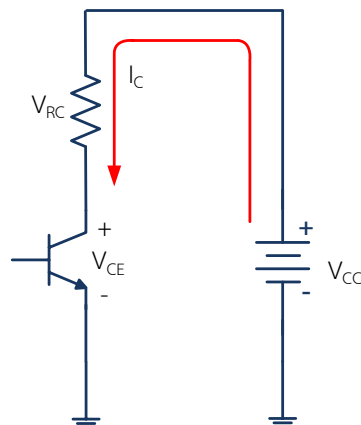
หรือจะได้ค่าโดยประมาณเนื่องจาก V_{BE} มีค่าน้อยกว่า V_{CC} จะได้

$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_B}$$

...4.16

4.4.3.2 การหาค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุต

จากวงจรในรูปที่ 4.13 เขียนวงจรทางด้านเอาต์พุตได้ดังนี้



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรทางด้านเอาต์พุตของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์

จากรูปที่ 4.15 ใช้กฎของ Kirchoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} = 0$$

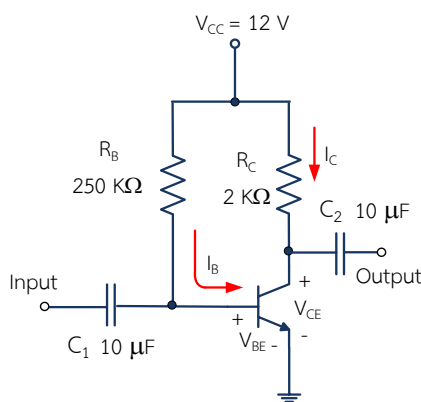
$$V_{CC} - (I_C \cdot R_C) - V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C) \quad \dots 4.17$$

ในวงจรคอมมอนอีมิเตอร์หาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ได้จากสมการ

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

ตัวอย่างที่ 4.5 จงหาค่าแรงดันไบอัสเบส และกระแสไหลในวงจร เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นชนิดซิลิกอน (S_i) และมีอัตราการขยายทางด้านกระแส (β) = 50 จากวงจรในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์

วิธีทำ หาค่ากระแส (I_B) ได้จากสมการ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ} \quad I_B &= \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{250 \text{ k}\Omega} \\ &= 45.2 \text{ }\mu\text{A} \end{aligned}$$

ตอบ

หาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ได้จากสมการ

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ} \quad I_C &= (50) \cdot (45.2 \text{ }\mu\text{A}) \\ &= 2.26 \text{ mA} \end{aligned}$$

ตอบ

หาค่าแรงดันตกคร่อมคอลเลคเตอร์และอีมิเตอร์ (V_{CE}) ได้จากสมการ

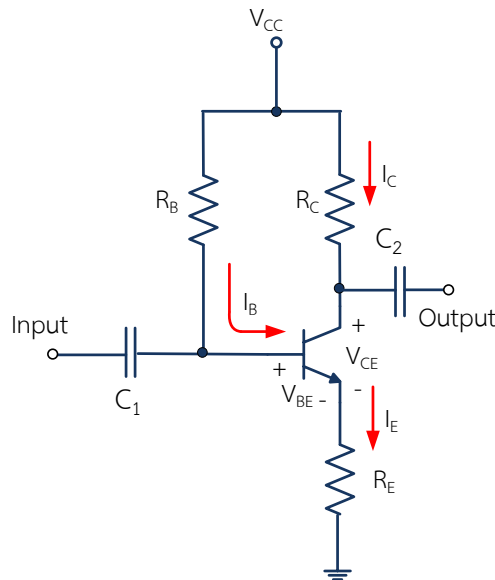
$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ} \quad V_{CE} &= 12 \text{ V} - (2.26 \text{ mA} \cdot 2 \text{ k}\Omega) \\ &= 12 \text{ V} - 4.52 \text{ V} \\ &= 7.48 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

4.4.4 วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์มีความต้านทาน R_E (DC Bias Circuit With Emitter Resistor)

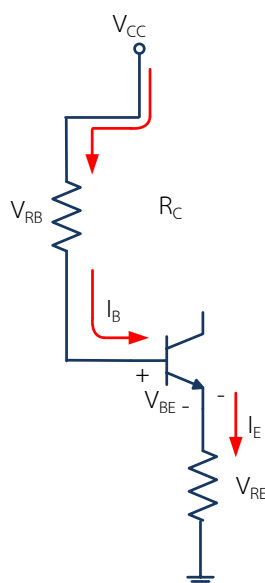
วงจรในรูปที่ 4.16 มีการต่อวงจรเหมือนกับวงจรการให้ไบอัสแบบคงที่ แต่มีการต่อความต้านทาน R_E เพิ่มขึ้น การเพิ่มความต้านทาน R_E จะทำให้เสถียรภาพในการขยายของวงจรดีกว่าการให้ไบอัสแบบคงที่ดังแสดงในรูปวงจรที่ 4.16



รูปที่ 4.17 แสดงวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ที่มีความต้านทาน R_E

สำหรับการวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 4.17 นี้จะพิจารณาในส่วนของวงจรทางด้านอินพุตและ ส่วนของวงจรด้านเอาต์พุตดังนี้

4.4.4.1 การหาค่ากระแสทางด้านอินพุต



รูปที่ 4.18 แสดงวงจรทางด้านอินพุตของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์มีความต้านทาน R_E

จากรูปที่ 4.18 ใช้กฎของ Kirchoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RB} - V_{BE} - V_{RE} = 0$$

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} - (I_E \cdot R_E) = 0$$

เมื่อ $I_E = I_C + I_B$

แทนในสมการด้านบนจะได้ว่า

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} - (I_C + I_B) \cdot R_E = 0$$

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} - (I_C \cdot R_E) - (I_B \cdot R_E) = 0$$

เมื่อ $I_C = \beta \cdot I_B$ จะได้

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} - [(\beta \cdot I_B) \cdot R_E] - (I_B \cdot R_E) = 0$$

$$I_B [R_B + (\beta \cdot R_E) + R_E] = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_B [R_B + R_E (\beta + 1)] = V_{CC} - V_{BE}$$

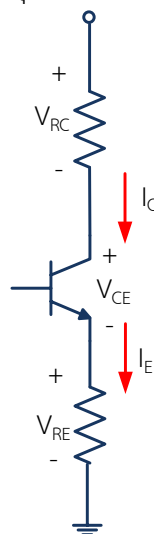
ดังนั้น จะได้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)} \quad \dots 4.18$$

หรือจะหาค่าประมาณได้จากสมการ

$$I_B \cong \frac{V_{CC}}{R_B + (\beta \cdot R_E)} \quad \dots 4.19$$

4.4.2 การหาค่ากระแสทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 4.19 แสดงการเขียนวงจรทางด้านเอาต์พุต

จากรูปที่ 4.19 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} - V_{RE} = 0$$

$$V_{CC} - (I_C \cdot R_C) - V_{BE} - (I_E \cdot R_E) = 0$$

เมื่อ $I_C \cong I_E$

จะได้

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \quad \dots 4.20$$

หาค่าแรงดันตกคร่อมที่อีมิเตอร์กับกราวด์ได้ดังนี้

$$V_E = I_E \cdot R_E \cong I_C \cdot R_E \quad \dots 4.21$$

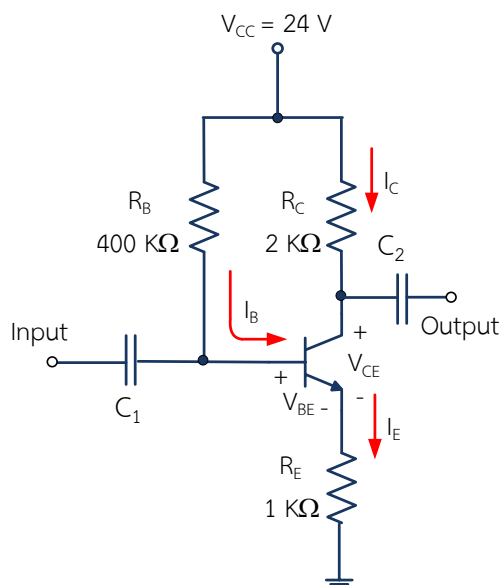
และหาค่าแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์กับกราวด์ได้ดังนี้

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad \dots 4.22$$

ซึ่งสามารถนำค่า V_E และ V_C ไปหาค่า V_{CE} ได้ดังนี้

$$V_{CE} = V_C - V_E \quad \dots 4.23$$

ตัวอย่างที่ 4.6 จากรูปที่ 4.20 จงคำนวณหาค่าแรงดันไบอัส และกระแสของวงจรโดยกำหนดให้
ทรานซิสเตอร์มีอัตราขยาย $\beta = 100$



รูปที่ 4.20 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์ที่มีความต้านทาน R_E

วิธีทำ หาค่า I_B ได้จากสมการ

$$I_B \cong \frac{V_{CC}}{R_B + (\beta \cdot R_E)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่าในสมการ} \quad I_B &\cong \frac{24 \text{ V}}{400 \text{ k}\Omega + (100) \cdot (1 \text{ k}\Omega)} \\
 &\cong \frac{24 \text{ V}}{500 \text{ k}\Omega} \\
 &\cong 48 \text{ }\mu\text{A} \quad \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

หาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ได้จากสมการ

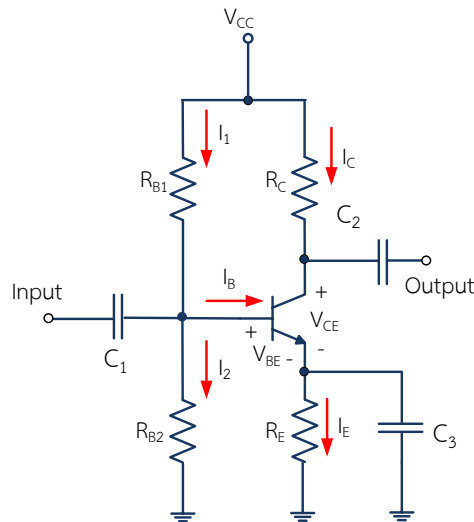
$$\begin{aligned}
 I_C &= \beta \cdot I_B \\
 \text{แทนค่าในสมการ} \quad I_C &= (100) \cdot (48 \text{ }\mu\text{A}) \\
 &= 4.8 \text{ mA} \cong I_E \quad \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

หาค่าแรงดันตกคร่อมที่ขาคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ (V_{CE}) ได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 V_{CE} &\cong V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \\
 &= 24 \text{ V} - (4.8 \text{ mA}) \cdot (2 \text{ k}\Omega) - (4.8 \text{ mA}) \cdot (1 \text{ k}\Omega) \\
 &= 24 \text{ V} - 9.6 \text{ V} - 4.8 \text{ V} \\
 &= 9.6 \text{ V} \quad \text{ตอบ}
 \end{aligned}$$

4.4.5 การให้ไบอัสแบบดีซีของวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับการ β (DC Bias Circuit Independent of Beta)

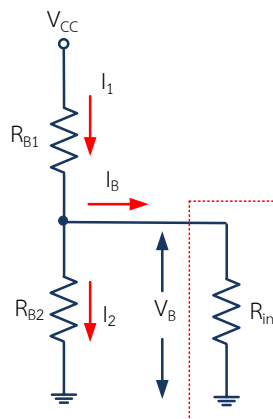
ในการออกแบบวงจรที่ผ่านมาจำเป็นต้องนำค่าอัตราขยายทางด้านกระแส หรือค่าเบต้า (β) นำมาใช้ในการออกแบบด้วยซึ่งค่าอัตราขยายทางด้านกระแส (β) ของตัวทรานซิสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการขยายทางด้านกระแสลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรขยายลดลง จึงได้มีการพัฒนารูปแบบในการออกแบบวงจรโดยที่ไม่ใช้ค่าเบต้า (β) ซึ่งการออกแบบวงจรที่ไม่ใช้ค่าเบตตานี้ ทำให้เสถียรภาพในการขยายดีขึ้นและยังมีการขยายของวงจรเป็นแบบคลาสเอ ซึ่งการขยายสัญญาณจะไม่เปลี่ยนแปลงอัตราขยายของสัญญาณตามอุณหภูมิลักษณะการออกแบบนี้บางครั้งเรียกว่า การให้ไบอัสแบบแบ่งแรงดันลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงการให้ไบอัสแบบไม่ขึ้นอยู่กับค่าเบต้า

4.4.5.1 การหาค่าทางด้านอินพุต

ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์คือ R_{in} เมื่อเราต้องการหาค่าแรงดันที่ขั้วเบส สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์

จากรูปวงจรที่ 4.22 สามารถหาค่าแรงดันที่ตกคร่อมที่ขาเบสได้ดังนี้

$$V_B \cong \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} \quad \dots 4.24$$

เมื่อค่า V_B คือแรงดันที่วัดได้ที่ขาเบสกับกราวด์

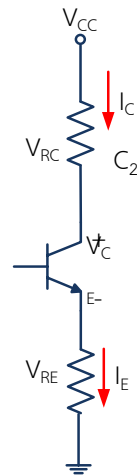
สามารถคำนวณหาแรงดันตกคร่อมที่อิมิตเตอร์กับกราวด์ได้ดังนี้

$$V_E = V_B - V_{BE} \quad \dots 4.25$$

หาค่ากระแสคอลเลคเตอร์ได้ดังนี้

$$I_C \cong I_E \quad \dots 4.26$$

4.4.5.2 การหาค่าทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 4.23 แสดงวงจรทางด้านเอาต์พุตของวงจรคอมมอนอีมิเตอร์
วงจรคอมมอนอีมิเตอร์ที่ไม่ขึ้นอยู่ค่า β

จากรูปที่ 4.23 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} - V_{RE} = 0$$

$$V_{CC} - (I_C \cdot R_C) - V_{BE} - (I_E \cdot R_E) = 0$$

เมื่อ
จะได้

$$V_{CE} \cong V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \quad \dots 4.27$$

หาค่าแรงดันตกคร่อมที่อีมิเตอร์กับกราวด์ได้ดังนี้

$$V_E = I_E \cdot R_E \cong I_C \cdot R_E \quad \dots 4.28$$

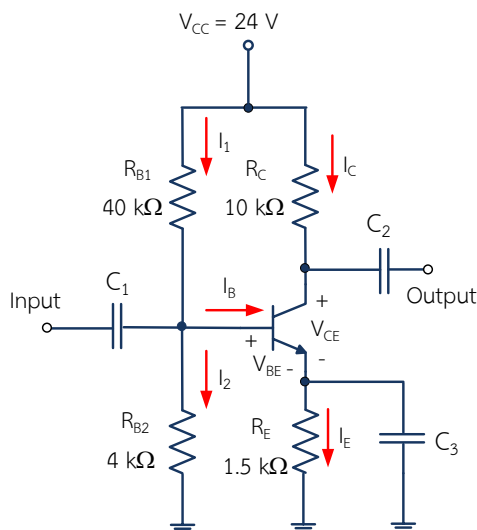
และหาค่าแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์กับกราวด์ได้ดังนี้

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad \dots 4.29$$

ซึ่งสามารถนำค่า V_E และ V_C ไปหาค่า V_{CE} ได้ดังนี้

$$V_{CE} = V_C - V_E \quad \dots 4.30$$

ตัวอย่างที่ 4.7 จากรูปที่ 4.32 จงคำนวณหาค่าแรงดันดีซีไบอัสและกระแสที่ไหลในวงจร



รูปที่ 4.23 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับค่า β

วิธีทำ จากสมการ 4.23 หาค่าแรงดันที่เบสเทียบกราวด์ (V_B)

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

แทนค่าในสมการ

$$V_B = \frac{4 \text{ k}\Omega}{40 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega} \times 24 \text{ V}$$

$$V_B = 2.18 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่าแรงดันที่อีมิเตอร์เทียบกราวด์ (V_E) ได้จากสมการ

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

แทนค่าในสมการ

$$V_E = 2.18 \text{ V} - 0.7 \text{ V}$$

$$V_E = 1.48 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่ากระแสอีมิเตอร์ (I_E) ได้จากสมการ

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

แทนค่าในสมการ

$$I_E = \frac{1.48 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega}$$

$$I_E = 0.987 \text{ mA}$$

ตอบ

หาค่าแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์เทียบกราวด์ได้จากสมการ

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

แทนค่าในสมการ

$$V_C = 24 \text{ V} - (0.987 \text{ mA}) \cdot (10 \text{ k}\Omega)$$

$$V_C = 24 \text{ V} - 9.87 \text{ V}$$

$$V_C = 14.13 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่าแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ได้จากสมการ

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} V_{CE} &= 14.13 \text{ V} - 1.48 \text{ V} \\ &= 12.65 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

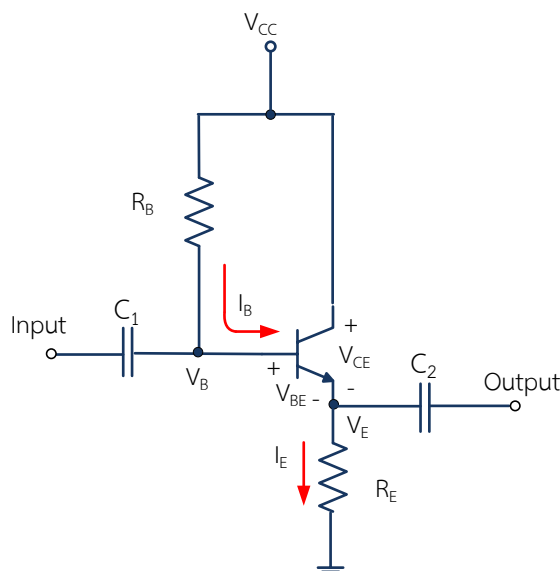
4.4.6 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ดีซีไบอัสหรือวงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (Common Collector DC Bias Circuit or Emitter Follower)

คุณสมบัติของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

1. สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน
2. อัตราการขยายแรงดัน (Voltage Gain) เท่ากับ 1
3. ค่าแรงดัน V_{CE} เท่ากับครึ่งหนึ่งของ V_{CC}

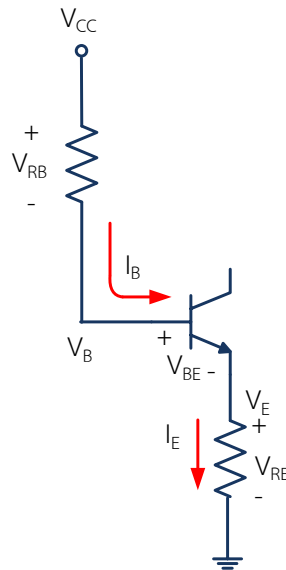
การขยายสัญญาณแบบวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์หรือวงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์นี้รูปคลื่นของทางด้านอินพุตและเอาต์พุตมีเฟสเหมือนกัน ความสูงของรูปคลื่นมีขนาดเท่ากัน ในวงจรนี้แยกกระแสระหว่างวงจรทางด้านอินพุตและเอาต์พุตออกจากกันโดยไม่เกี่ยวข้องกัน วงจรนี้จึงนิยมทำเป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ใช้กันระหว่างภาคขยายความถี่วิทยุ (RF Power Amp) กับภาคออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) เป็นต้น

จากรูปที่ 4.24 แสดงวงจรวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์หรือวงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ซึ่งมีวิธีการหาสมการของวงจรโดยแบ่งการหาสมการออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของอินพุตและส่วนของวงจรด้านเอาต์พุตดังนี้



รูปที่ 4.24 แสดงวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์หรือวงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์

4.4.5.1 การหาค่ากระแสทางด้านอินพุต



รูปที่ 4.25 แสดงวงจรสมมูลของวงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ทางด้านอินพุต

จากรูปที่ 4.25 ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law เขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} - (I_E \cdot R_E) = 0$$

เมื่อ $I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$

$$I_E \cong \beta \cdot I_B$$

สามารถเขียนสมการหากระแสเบส (I_B) ในวงจรได้ดังนี้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E \cdot (\beta + 1)} \quad \dots 4.29$$

$$I_B \cong \frac{V_{CC}}{R_B + \beta \cdot R_E} \quad \dots 4.30$$

4.4.5.2 การหาค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุต

หาค่าแรงดันที่ขาอิมิตเตอร์เทียบกราวด์ได้ดังนี้

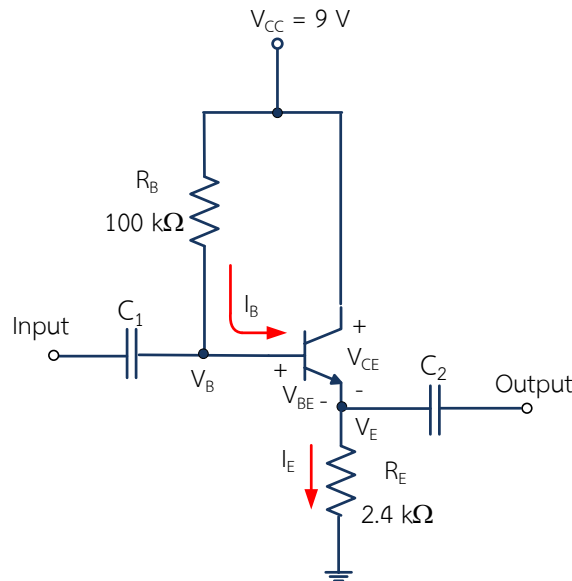
$$V_E = I_E \cdot R_E \quad \dots 4.31$$

และจะได้แรงดันที่คอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ คือ

$$V_{CE} = V_{CC} - V_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_E \cdot R_E) \quad \dots 4.32$$

ตัวอย่างที่ 4.24 จากรูปที่ 4.26 จงคำนวณหาค่าแรงดันดีซีไบอัสและกระแสโดยมีเบต้า(β) เท่ากับ 45



รูปที่ 4.26 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์

วิธีทำ หาค่ากระแส I_B ได้จากสมการ 4.30

$$I_B \cong \frac{V_{CC}}{R_B + \beta \cdot R_E}$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad I_B \cong \frac{9 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega + (45) \cdot (2.4 \text{ k}\Omega)}$$

$$I_B \cong 43.26 \text{ }\mu\text{A}$$

ตอบ

หาค่ากระแส I_E ได้จากสมการ

$$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad I_E = (45 + 1) \cdot (3.26 \text{ }\mu\text{A})$$

$$I_E = 1.98 \text{ mA}$$

ตอบ

หาค่า V_{CE} ได้จากสมการ

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_E \cdot R_E)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad V_{CE} = 9 \text{ V} - (1.98 \text{ mA}) \cdot (2.4 \text{ k}\Omega)$$

$$= 4.25 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่า V_E ได้จากสมการ

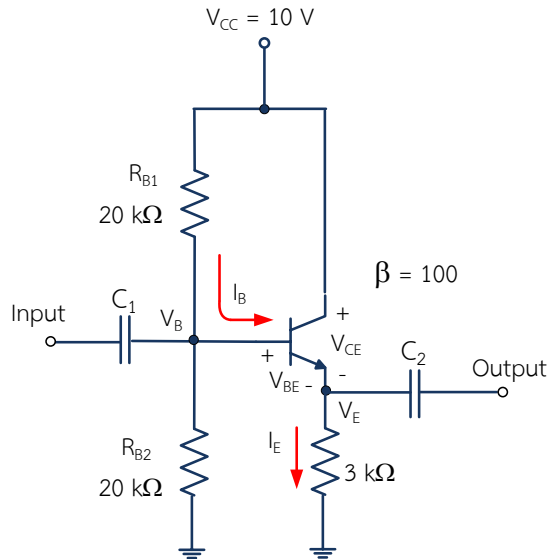
$$V_E = I_E \cdot R_E$$

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad V_E = (1.98 \text{ mA}) \cdot (2.4 \text{ k}\Omega)$$

$$= 4.75 \text{ V}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4.25 จากรูปที่ 4.27 จงคำนวณหากระแสและแรงดันไบอัสในวงจร เมื่อทรานซิสเตอร์เป็นชนิดซิลิกอน



รูปที่ 4.27 วงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์

วิธีทำ หาค่า V_B ได้จากสมการ

$$V_B \cong \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$$

แทนค่าในสมการ

$$V_B \cong \frac{20 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega} \times 10 \text{ V}$$

$$V_B = 5 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่า V_E ได้จากสมการ

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

แทนค่าในสมการ

$$V_E = 5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}$$

$$V_E = 4.3 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่า I_E ได้จากสมการ

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

แทนค่าในสมการ

$$I_E = \frac{4.3 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega}$$

$$I_E = 1.43 \text{ mA}$$

ตอบ

หาค่า V_{CE} ได้จากสมการ

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E \cdot R_E$$

แทนค่าในสมการ

$$V_{CE} = 10 - (1.43 \text{ mA}) \cdot (3 \text{ k}\Omega)$$

$$V_{CE} = 5.71 \text{ V}$$

ตอบ

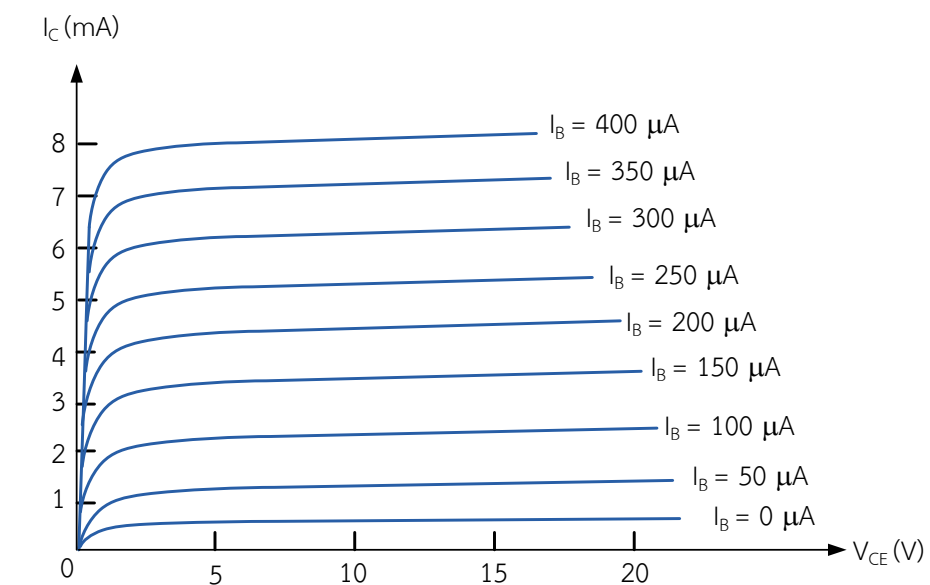
4.4 การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้เส้นโหลดไลน์ (Load Line Analysis)

จากกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือทดสอบทรานซิสเตอร์มีชื่อเรียกว่า เคิฟเทรเซอร์ (Curve Tracer) โดยเครื่องจะมีรูปลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.28



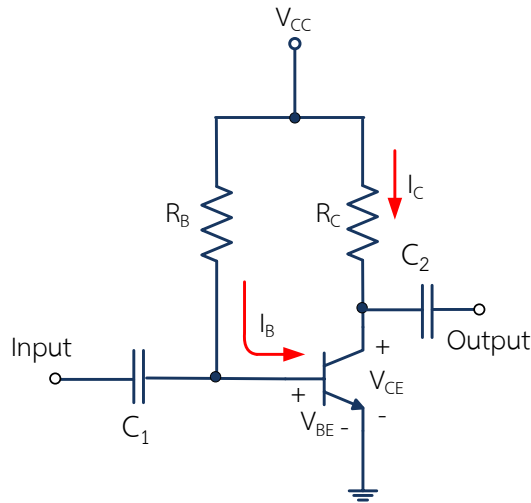
รูปที่ 4.28 เครื่องเคิฟเทรเซอร์ (Curve Tracer)

โดยกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่ได้จากการใช้เครื่องเคิฟเทรเซอร์ วัดทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.29 กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์จะนำไปใช้ในการสร้างเส้นเส้นโหลดไลน์ (Load Line) เพื่อที่จะหาค่า V_{CEQ} และ ค่า I_{CQ} ในขณะที่ยานซิสเตอร์ทำงาน ณ จุด Q-Point แล้วนำค่าที่ได้ไปใช้ในการออกแบบวงจรทรานซิสเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.29 กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่วัดจากเครื่องเคิฟเทรเซอร์

ลำดับขั้นตอนการหาเส้นโหลดไลน์ (Load Line) จะหาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.30 แสดงวงจรการให้ไบอัสแบบคงที่ (Fixed Bias)

จากรูปที่ 4.30 สามารถเขียนสมการทางด้านเอาต์พุตได้ดังนี้

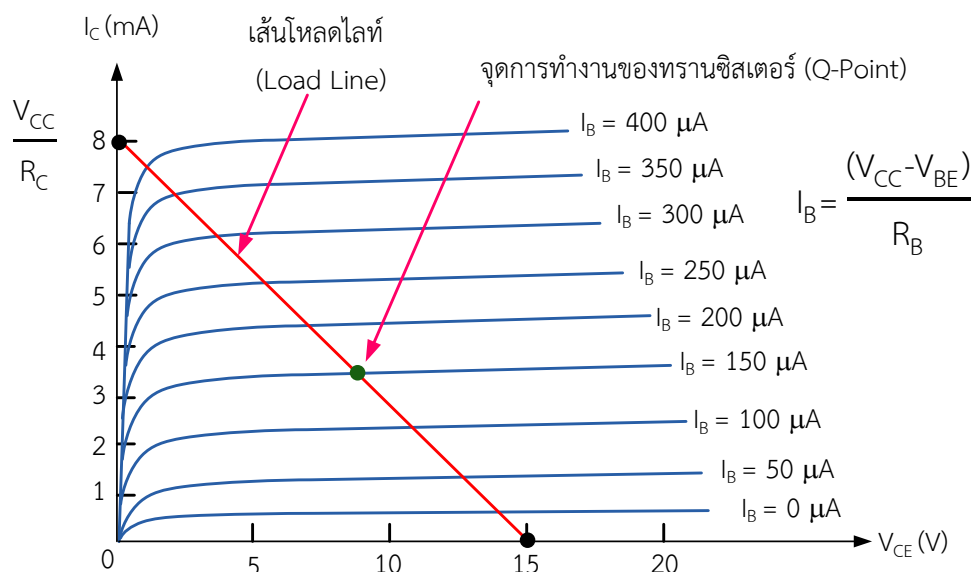
$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CE}$$

จากสมการทางด้านเอาต์พุตถ้าให้ค่า $I_C = 0$

จะได้ $V_{CC} = V_{CE}$

และจากสมการทางด้านเอาต์พุตถ้าให้ค่า $V_{CE} = 0$

จะได้ $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$



รูปที่ 4.31 แสดงกราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์วงจรการให้ไบอัสแบบคงที่ (Fixed Bias)

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

นำค่าของ V_{CE} และ I_C ที่ได้ไปกำหนดที่กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ แล้วทำการลากเส้นโหลดไลน์ (Load Line) ระหว่างจุดทั้งสอง จากนั้นหาค่ากระแส I_B เพื่อหาจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ (Q - Point) ต่อไปได้จากสมการ

$$V_{CC} - (I_B \cdot R_B) - V_{BE} = 0$$

ย้ายข้างสมการจะได้

$$V_{CC} = (I_B \cdot R_B) + V_{BE}$$

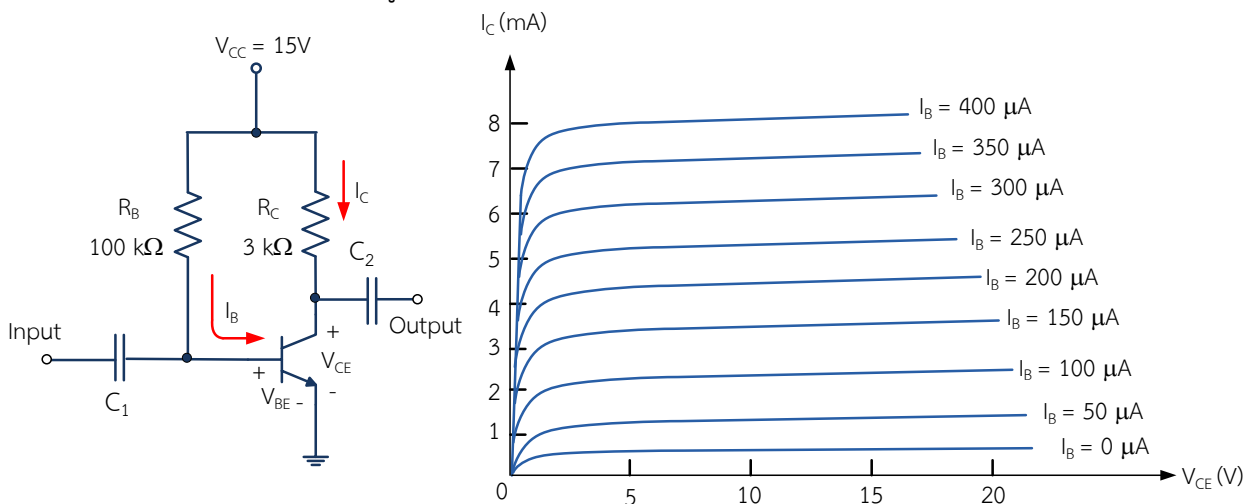
$$I_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B}$$

ถ้าได้ค่า I_B แล้วให้นำค่า I_B ที่ได้ไปดูค่ากระแส I_B ในกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ของค่ากระแส I_B ที่ตัดกับเส้นโหลดไลน์ กำหนดจุดให้เป็นจุด Q - Point ทำการลากเส้นจุด Q - Point ทางด้านแนวตั้งลงมาหาเส้นแสดงค่าแรงดัน V_{CE} จะได้ค่า V_{CEQ} และลากเส้นแนวนอนไปตัดเส้นแสดงค่าของกระแสคอลเลคเตอร์ I_C จะได้ค่า I_{CQ} ค่าของ V_{CEQ} และ I_{CQ} คือค่าแรงดันและกระแสที่จุดการทำงานของทรานซิสเตอร์หรือจะคำนวณหาค่าทั้งสองได้จากวงจร โดยค่า V_{CE} และ $I_C = I_{CQ}$ ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 4.26 จากวงจรในรูปที่ 4.32 จงคำนวณหา

(ก) กำหนดเส้นดีซี โหลดไลน์ และหาจุด Q - Point

(ข) หา V_{CE} และ I_C จากรูปกราฟ



(ก) วงจรการให้ไบอัสแบบคงที่ (Fixed Bias)

(ข) กราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์

รูปที่ 4.32 วงจรการให้ไบอัสแบบคงที่ (Fixed Bias)

วิธีทำ (ก) เขียนเส้นดีซีโหลดไลน์ ดังแสดงในรูปที่ 7.21 (ข)

$$\text{ที่ } I_C = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC}$$

$$= 15 \text{ V}$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 \text{ที่ } V_{CE} = 0 \quad I_C &= \frac{V_{CC}}{R_C} \\
 &= \frac{15 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega} \\
 &= 5 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

ตอบ

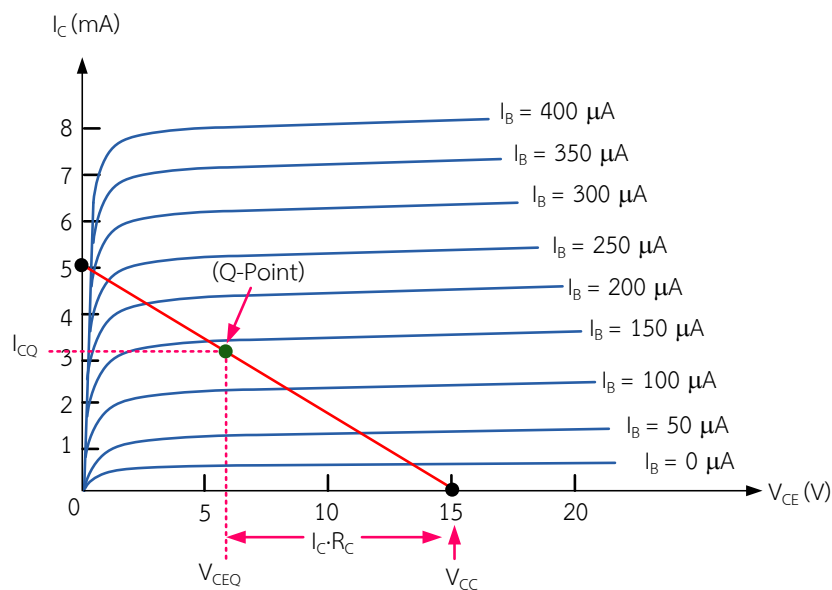
คำนวณหากระแสเบส (I_B) ได้จากสูตร

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B} \\
 &= \frac{(15 \text{ V} - 0.7 \text{ V})}{100 \text{ k}\Omega} \\
 &= 143 \text{ }\mu\text{A}
 \end{aligned}$$

ตอบ

ดูในกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูปกำหนดจุด Q - Point

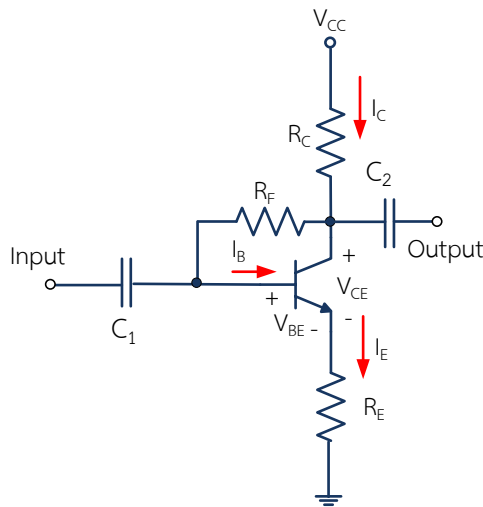
(ข) ที่ จุด Q - Point หาค่า $V_{CEQ} = 6.2 \text{ V}$ และ $I_{CQ} = 3.2 \text{ mA}$



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่าจุด Q - Point หาค่า $V_{CEQ} = 6.2 \text{ V}$ และ $I_{CQ} = 3.2 \text{ mA}$

4.7.7 วงจรไบอัสป้อนกลับที่ขาคอลเลคเตอร์

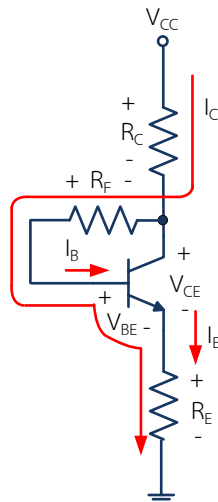
การไบอัสด้วยการป้อนกลับแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์ เมื่อ β เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมาควบคุมค่ากระแสเบส I_B เพื่อให้ค่ากระแสเบส I_B เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง และเพื่อให้ค่ากระแสเบส I_B ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าของ I_C และ V_{CE} ค่อนข้างคงที่และจะส่งผลให้จุดการทำงาน (Q - Point) ของวงจรคงที่ด้วย ลักษณะการต่อวงจรไบอัสป้อนกลับที่ขาคอลเลคเตอร์แสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 วงจรไบอัสพ้อนกลับที่ขาคอลเลคเตอร์

การวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเบส-อิมิตเตอร์และส่วนของคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์

ก) ส่วนของเบส-อิมิตเตอร์



รูปที่ 4.35 เบส-อิมิตเตอร์

จากรูปที่ 4.35 แสดงเบส-อิมิตเตอร์ของวงจรไบอัสพ้อนกลับที่ขาคอลเลคเตอร์ ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law สามารถหาสมการในส่วนเบส-อิมิตเตอร์ได้ดังนี้

$$V_{CC} - (I_C' \cdot R_C) - (I_B \cdot R_F) - V_{BE} - (I_E \cdot R_E) = 0$$

จากสมการจะเห็นว่ากระแสที่ไหลผ่าน R_C ไม่ใช่ I_C แต่เป็น I_C' (เมื่อ $I_C' = I_C + I_B$) อย่างไรก็ตาม I_C และ I_C' มีค่ามากกว่า I_B มาก จึงประมาณให้ $I_C' \cong I_C$ และ $I_C' \cong I_C = \beta \cdot I_B$ และ $I_E \cong I_C$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการในส่วนเบส-อิมิตเตอร์ได้ดังนี้

$$V_{CC} - [(\beta \cdot I_B) \cdot R_C] - (I_B \cdot R_F) - V_{BE} - [(\beta \cdot I_B) \cdot R_E] = 0$$

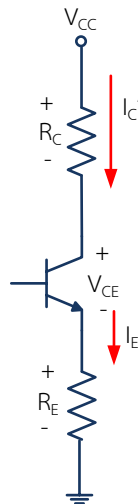
$$V_{CC} - V_{BE} - [(\beta \cdot I_B) \cdot (R_C + R_E)] - (I_B \cdot R_F) = 0$$

$$V_{CC} - V_{BE} - I_B [\beta \cdot (R_C + R_E) + R_F] = 0$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_B [\beta \cdot (R_C + R_E) + R_F]$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\beta \cdot (R_C + R_E) + R_F} \quad \dots 4.33$$

ข) ส่วนของคอลเลคเตอร์ - อิมิตเตอร์รูป



รูปที่ 4.36 คอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์รูป

จากรูปที่ 4.36 แสดงคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์รูปของวงจรไบอัสที่ซ้ำคอลเลคเตอร์ ใช้กฎของ Kirchhoff's Voltage Law สามารถหาสมการในส่วนคอลเลคเตอร์-อิมิตเตอร์รูปได้ดังนี้

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} - V_{RE} = 0$$

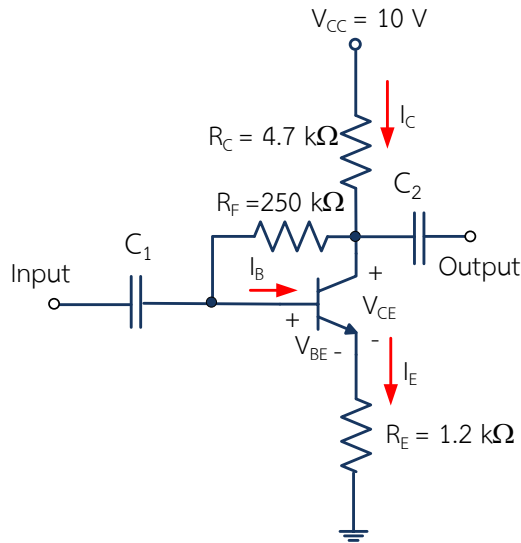
$$V_{CC} - (I_C' \cdot R_C) - V_{CE} - (I_E \cdot R_E) = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C' \cdot R_C) - (I_E \cdot R_E)$$

จาก $I_C' \cong I_C$ และ $I_E \cong I_C$ จะได้สมการดังนี้

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \quad \dots 4.34$$

ตัวอย่างที่ 4.27 จากวงจรในรูปที่ 4.37 จงคำนวณหาค่า I_C และ V_{CE} ที่จุดการทำงานของวงจร



รูปที่ 4.37 วงจรไบอัสพ็อนกลับที่ขาคอลเลคเตอร์

วิธีทำ หาค่า I_B ได้จากสมการที่ 4.33 และนำค่า I_B ไปหาค่า I_C

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\beta \cdot (R_C + R_E) + R_F}$$

$$I_B = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{90 \cdot (4.7 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega) + 250 \text{ k}\Omega}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$I_B = 11.91 \text{ }\mu\text{A}$$

ดังนั้น

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_C = (90) \cdot (11.91 \text{ }\mu\text{A})$$

$$I_C = 1.07 \text{ mA}$$

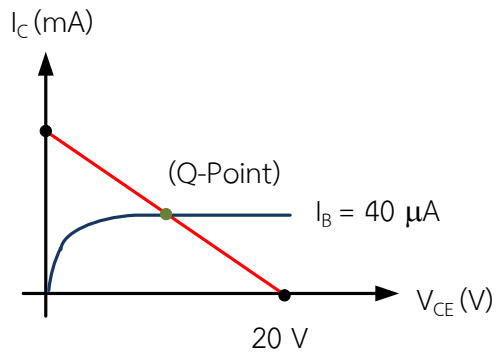
หาค่า V_{CE} โดยใช้สมการ 4.34 ได้ดังนี้

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

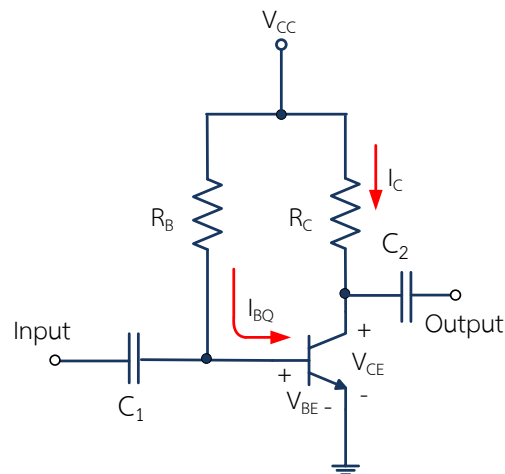
$$V_{CE} = 10 \text{ V} - 1.07 \text{ mA} \cdot (4.7 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega)$$

$$V_{CE} = 3.69 \text{ V}$$

ตัวอย่างที่ 4.27 จากรูปที่ 4.38 (ก) แสดงกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ จงหาค่า V_{CC} R_B และ R_C สำหรับวงจร Fixed Bias ดังแสดงในรูปที่ 4.38 (ข)



(ก) กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์



(ข) วงจร Fixed Bias

รูปที่ 4.38 วงจร Fixed Bias

วิธีทำ จากเส้นโหลดไลน์ (Load Line) กำหนดให้

$$V_{CC} = 20 \text{ V}$$

ตอบ

หาค่าความต้านทานจากสมการ R_C

จากสมการ

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \bigg|_{V_{CE} = 0 \text{ V}}$$

จะได้

$$\begin{aligned} R_C &= \frac{V_{CC}}{I_C} \\ &= \frac{20 \text{ V}}{8 \text{ mA}} \\ &= 2.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ตอบ

หาค่าความต้านทาน R_B

จากสมการ

จะได้

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

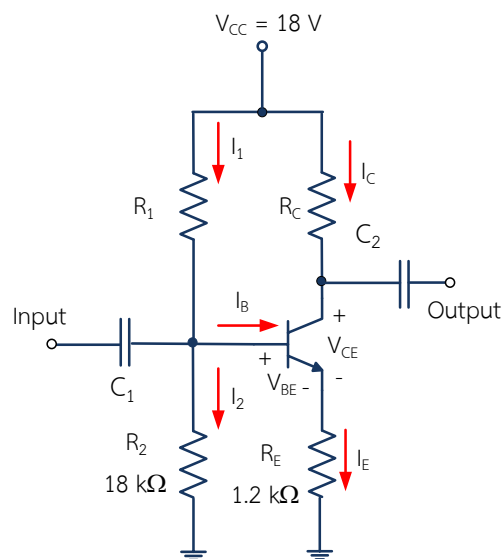
$$R_B = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{40 \mu\text{A}}$$

$$= \frac{19.3 \text{ V}}{40 \mu\text{A}}$$

$$= 482.5 \text{ k}\Omega$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4.28 จากรูปที่ 4.39 กำหนดให้ $I_{CQ} = 2 \text{ mA}$ และ $V_{CEQ} = 9 \text{ V}$ จงคำนวณหาค่า R_1 และ R_C



รูปที่ 4.39 วงจรไบอัสแบบแบ่งแรงดัน

วิธีทำ

$$\begin{aligned} V_E &= I_E \cdot R_E \\ &\cong I_C \cdot R_E \\ &= (2 \text{ mA}) \cdot (1.2 \text{ k}\Omega) \\ &= 2.4 \text{ V} \end{aligned}$$

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

$$\begin{aligned}
 V_B &= V_{BE} + V_E \\
 &= 0.7 \text{ V} + 2.4 \text{ V} \\
 &= 3.1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

หาค่าความต้านทาน R_1 ได้จากสมการ

$$V_B \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC}$$

$$\text{แทนค่าลงในสมการ} \quad 3.1 \text{ V} = \frac{18 \text{ k}\Omega}{R_1 + 18 \text{ k}\Omega} \times 18 \text{ V}$$

$$3.1 \text{ V} (R_1 + 18 \text{ k}\Omega) = 324 \text{ k}$$

$$(3.1 \cdot R_1) + 55.8 \text{ k} = 324 \text{ k}$$

$$(3.1 \cdot R_1) = 324 \text{ k} - 55.8 \text{ k}$$

$$R_1 = \frac{268.2 \text{ k}}{3.1}$$

$$R_1 = 86.52 \text{ k}\Omega$$

ตอบหาค่าความต้านทาน R_C ได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 R_C &= \frac{V_{RC}}{I_C} \\
 &= \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

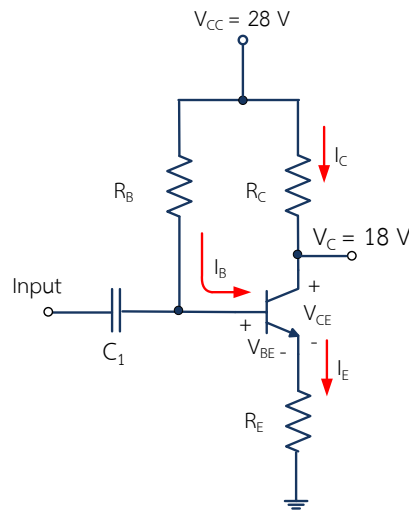
$$\begin{aligned}
 V_C &= V_{CE} + V_E \\
 &= 9 \text{ V} + 2.4 \text{ V} \\
 &= 11.4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

และจะได้

$$\begin{aligned}
 R_C &= \frac{18 \text{ V} - 11.4 \text{ V}}{2 \text{ mA}} \\
 &= 3.3 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4.29 จากรูปที่ 4.40 มีข้อมูล Data Sheet ดังนี้ $I_{CQ} = 0.5I_{C(sat)} = 4 \text{ mA}$, $V_C = 18 \text{ V}$ และ $\beta = 110$ จงคำนวณหา R_C , R_E และ R_B



รูปที่ 4.40 วงจรคอมมอนอีมิเตอร์

วิธีทำ หาค่าความต้านทาน R_C
เมื่อ

$$\begin{aligned} R_C &= \frac{V_{RC}}{I_{CQ}} \\ &= \frac{V_{CC} - V_C}{I_{CQ}} \\ &= \frac{28 \text{ V} - 18 \text{ V}}{4 \text{ mA}} \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$R_C = 2.5 \text{ k}\Omega$$

ตอบ

หาค่าความต้านทาน R_E

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

และ

$$R_C + R_E = \frac{V_{CC}}{I_{C(sat)}}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$R_C + R_E = \frac{28 \text{ V}}{8 \text{ mA}}$$

$$R_C + R_E = 3.5 \text{ k}\Omega$$

จาก $R_C = 2.5 \text{ k}\Omega$ ดังนั้น

$$R_E = 3.5 \text{ k}\Omega - 2.5 \text{ k}\Omega$$

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

ตอบ

หาค่าความต้านทาน R_B ได้จาก

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$I_{BQ} = \frac{4 \text{ mA}}{110}$$

$$= 36.36 \text{ }\mu\text{A}$$

และ

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) \cdot R_E}$$

จะได้

$$R_B + (\beta + 1) \cdot R_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{BQ}}$$

ซึ่ง

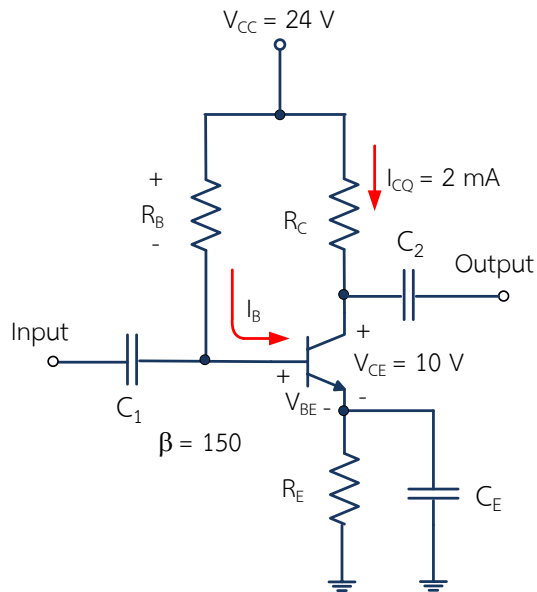
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{BQ}} - (\beta + 1) \cdot R_E$$

$$R_B = \frac{28 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{36.36 \mu\text{A}} - (110 + 1) \cdot 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 639.8 \text{ k}\Omega$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4.30 จากรูปที่ 4.41 จงคำนวณหาค่าของตัวต้านทานทุกตัวในวงจร



รูปที่ 4.41 แสดงวงจร Emitter Stabilized Bias Circuit

วิธีทำ

$$V_E = \frac{1}{10} \cdot V_{CC}$$

$$= \frac{1}{10} \cdot 24 \text{ V}$$

$$= 2.4 \text{ V}$$

หาค่าความต้านทานที่อีมิเตอร์

$$R_E = \frac{V_E}{I_E}$$

$$\cong \frac{V_E}{I_C}$$

$$= \frac{2.4 \text{ V}}{2 \text{ mA}}$$

$$= 1.2 \text{ k}\Omega$$

ตอบ

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C}$$

$$= \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C}$$

$$= \frac{24 \text{ V} - 10 \text{ V} - 2.4 \text{ V}}{2 \text{ mA}}$$

$$= \frac{11.6 \text{ V}}{2 \text{ mA}}$$

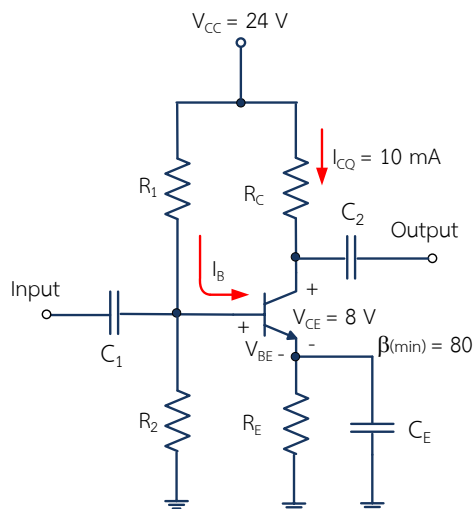
$$= 5.8 \text{ k}\Omega$$

ตอบ

$$\begin{aligned}
 I_B &= \frac{I_C}{\beta} \\
 &= \frac{2 \text{ mA}}{150} \\
 &= 13.333 \mu\text{A} \\
 R_B &= \frac{V_{RB}}{I_B} \\
 &= \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_E}{I_B} \\
 &= \frac{24 \text{ V} - 0.7 \text{ V} - 2.4 \text{ V}}{1.3333 \mu\text{A}} \\
 &= 15.68 \text{ M}\Omega
 \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 4.31 จากรูปที่ 4.42 จงคำนวณหาค่า R_C , R_E , R_1 และ R_2



รูปที่ 7.31 วงจร Current Gain Stabilized

วิธีทำ หาค่าแรงดันที่อิมิตเตอร์

$$\begin{aligned}
 V_E &= \frac{1}{10} \cdot V_{CC} \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 24 \text{ V} \\
 &= 2.4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

หาค่าความต้านทานที่อิมิตเตอร์ $R_E = \frac{V_E}{I_E}$

$$\begin{aligned}
 &\cong \frac{V_E}{I_C} \\
 &= \frac{2.4 \text{ V}}{10 \text{ mA}} \\
 &= 240 \Omega
 \end{aligned}$$

ตอบ

หาค่าความต้านทานที่ขาคอลเลคเตอร์ R_C

$$\begin{aligned}
 &= \frac{V_{RC}}{I_C} \\
 &= \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} \\
 &= \frac{24 \text{ V} - 8 \text{ V} - 2.4 \text{ V}}{10 \text{ mA}} \\
 &= \frac{11.6 \text{ V}}{10 \text{ mA}} \\
 &= 1.36 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

ตอบหาค่าความต้านทานที่ขาเบส (R_1 และ R_2)

$$\begin{aligned}
 V_B &= V_{BE} + V_E \\
 &= 0.7 \text{ V} + 2.4 \text{ V} \\
 &= 3.1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

เมื่อ
จะได้

$$R_2 \leq \frac{1}{10} \beta \cdot R_E$$

$$\begin{aligned}
 R_2 &\leq \frac{1}{10} (80) \cdot (240 \Omega) \\
 &= 1.92 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

ตอบ

แทนค่า

$$\begin{aligned}
 V_B &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} \\
 3.1 \text{ V} &= \frac{1.92 \text{ k}\Omega}{R_1 + 1.92 \text{ k}\Omega} \times 24 \text{ V} \\
 R_1 + 1.92 \text{ k}\Omega &= \frac{1.92 \text{ k}\Omega}{3.1 \text{ V}} \times 24 \text{ V} \\
 R_1 + 1.92 \text{ k}\Omega &= 14.86 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

$$R_1 = 14.86 \text{ k}\Omega - 1.92 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 12.94 \text{ k}\Omega$$

ตอบ



ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถขยายสัญญาณได้เพราะมีคุณสมบัติในการควบคุมการไหลของกระแสได้ โดยมีการจัดไบอัสหรือระบบการจ่ายไฟเพื่อให้ทรานซิสเตอร์สามารถกำหนดให้กระแสขาเข้าหรือกระแสควบคุม สามารถควบคุมกระแสขาออกให้ได้โดยเหตุผลของการกำหนดไบอัสมาจากเหตุผลทางโครงสร้าง ในการนำทรานซิสเตอร์ทรานซิสเตอร์ไปใช้งานนั้นในทางด้านอิเล็กทรอนิกส์จะต้องคำนึงถึงหลักใหญ่ ๆ สำหรับการคำนวณในการออกแบบวงจรอยู่ 2 ส่วน คือ การคำนวณการจัดวงจรไบอัสแบบดีซี (Transistor DC Bias) และการวิเคราะห์การทำงานแบบเอซี (AC Equivalent Analysis) การให้ไบอัสแบบดีซีไบอัสจะพิจารณาในลักษณะการจัดวงจรไบอัสแบบดีซีมีวงจรพื้นฐานซึ่ง ได้แก่ วงจรคอมมอนเบส วงจรคอมมอนอีมิเตอร์ วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ เป็นต้น ในการออกแบบวงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์นั้นจะต้องเลือกวิธีการให้ไบอัสตามงานที่ต้องการใช้ให้เหมาะสมแต่ละงาน

แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดหน่วยที่ 4 คุณสมบัติ และการวิเคราะห์การทำงาน

ของทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

(Characteristic And Analysis Transistor DC Bias Circuit)

คำสั่ง จงตอบคำถามให้สมบูรณ์และถูกต้อง ใช้เวลาทำแบบฝึกหัด 20 นาที (คะแนนเต็ม 8 คะแนน)

1. จงหาค่า α เมื่อ $I_C = 8.23 \text{ mA}$ และ $I_E = 8.69 \text{ mA}$

.....

.....

.....

2. ทรานซิสเตอร์มีค่า $I_C = 25 \text{ mA}$ และ $I_E = 200 \mu\text{A}$ จงคำนวณหาค่า β

.....

.....

.....

3. จงคำนวณหาค่า β ของทรานซิสเตอร์ เมื่อ $\alpha = 0.96$

.....

.....

.....

4. จงคำนวณหาค่า α ของทรานซิสเตอร์ เมื่อ $\beta = 30$

.....

.....

.....

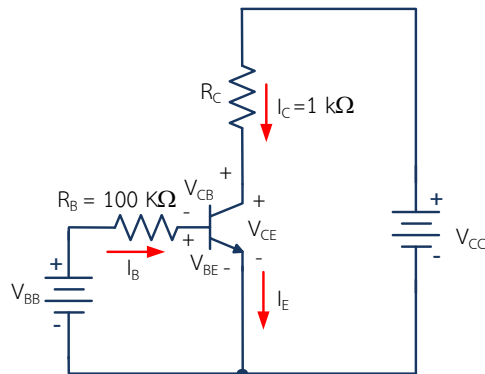
5. จงหาค่ากระแส I_C ของทรานซิสเตอร์เมื่อ $\alpha = 0.96$ และ $I_E = 9.35 \text{ mA}$

.....

.....

.....

6. จากวงจรในรูปที่ 1 กำหนดให้ $I_B = 50 \mu A$ และ $V_{RC} = 5 V$ จงหาค่าอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 1 วงจรประกอบโวลต์แบบฝึกหัดข้อที่ 6

.....

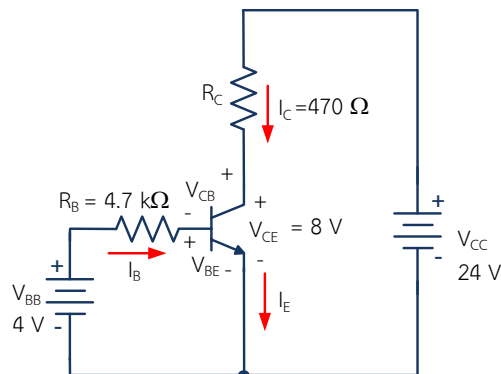
.....

.....

.....

.....

7. จากวงจรในรูปที่ 2 จงคำนวณหาค่า I_B , I_C และค่า β



รูปที่ 2 วงจรประกอบโวลต์แบบฝึกหัดข้อที่ 7

.....

.....

.....

.....

.....

.....

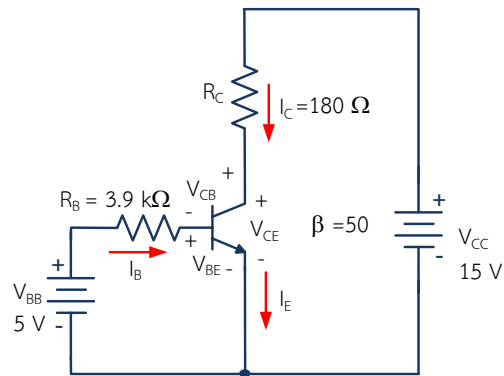
.....

.....

.....

.....

8. จากวงจรในรูปที่ 3 คำนวณหาค่าแรงดัน V_{CE} , V_{BE} และ V_{CB}



รูปที่ 3 วงจรประกอบโวลท์แบบฟิสิกส์ข้อที่ 8

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 4 คุณสมบัติ และการวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์

ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

(Characteristic And Analysis Transistor DC Bias Circuit)

คำชี้แจง

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

1. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับกระแสอิมิตเตอร์

- ก. มากกว่ากระแสเบส
- ข. น้อยกว่ากระแสคอลเลคเตอร์
- ค. มากกว่ากระแสคอลเลคเตอร์
- ง. เท่ากับกระแสเบส
- จ. เกิดจากการรวมกันของกระแสเบสและคอลเลคเตอร์

2. โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ชั้นสาร N คือข้อใด

- ก. เบส, อิมิตเตอร์
- ข. เบส, คอลเลคเตอร์
- ค. อิมิตเตอร์, คอลเลคเตอร์
- ง. เบส, กราวด์
- จ. อินพุต, เอาท์พุต

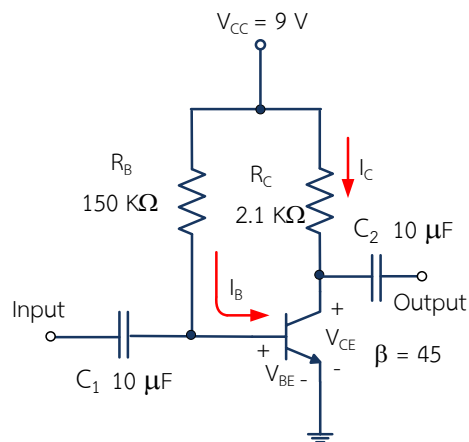
3. จงคำนวณหาค่า β ของทรานซิสเตอร์เมื่อ $I_B = 10 \mu A$ และ $I_C = 200 mA$

- ก. 0.2
- ข. 2
- ค. 200
- ง. 2000
- จ. 20000

4. ถ้า $\beta = 100$ ค่าของ α จะมีค่าเท่าไร

- ก. 0.89
- ข. 0.99
- ค. 0.79
- ง. 0.69
- จ. 0.59

5. จากวงจรดังรูป จงคำนวณหาค่ากระแส I_B



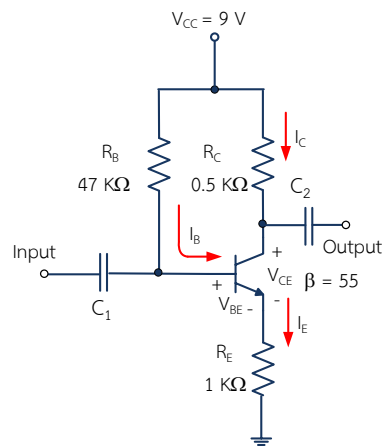
รูปที่ 1 วงจรประกอบโพลียซ์ข้อที่ 5

- ก. 55.33 μA
- ข. 71.46 μA
- ค. 58.93 μA
- ง. 85.11 μA
- จ. 97.92 μA

6. ถ้า $\beta = 100$ ค่าของ α จะมีค่าเท่าไร

- ก. 0.89
- ข. 0.99
- ค. 0.79
- ง. 0.69
- จ. 0.59

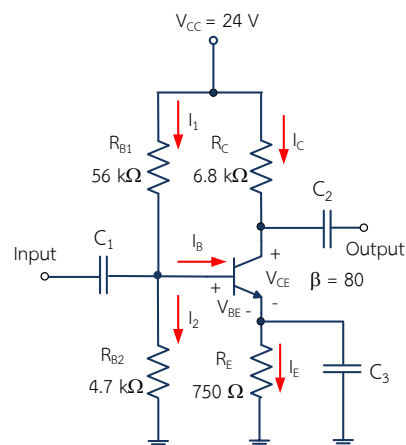
7. จากวงจรดังรูป จงคำนวณหาค่ากระแส I_C



รูปที่ 2 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 7

- ก. 4.43 mA
- ข. 4.32 mA
- ค. 4.23 mA
- ง. 4.54 mA
- จ. 4.62 mA

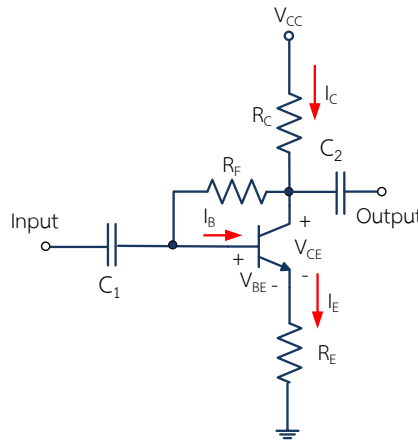
8. จากวงจรดังรูป จงหาค่าแรงดันที่ขาอิมิตเตอร์ (V_E)



รูปที่ 3 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 8

- ก. 0.87 V
- ข. 1.02 V
- ค. 1.16 V
- ง. 2.11 V
- จ. 2.72 V

9. จากวงจรดังรูป จงเขียนสมการหาค่า V_{CE}



รูปที่ 4 วงจรประกอบโจทย์ข้อที่ 9

ก. $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_E + R_C)$

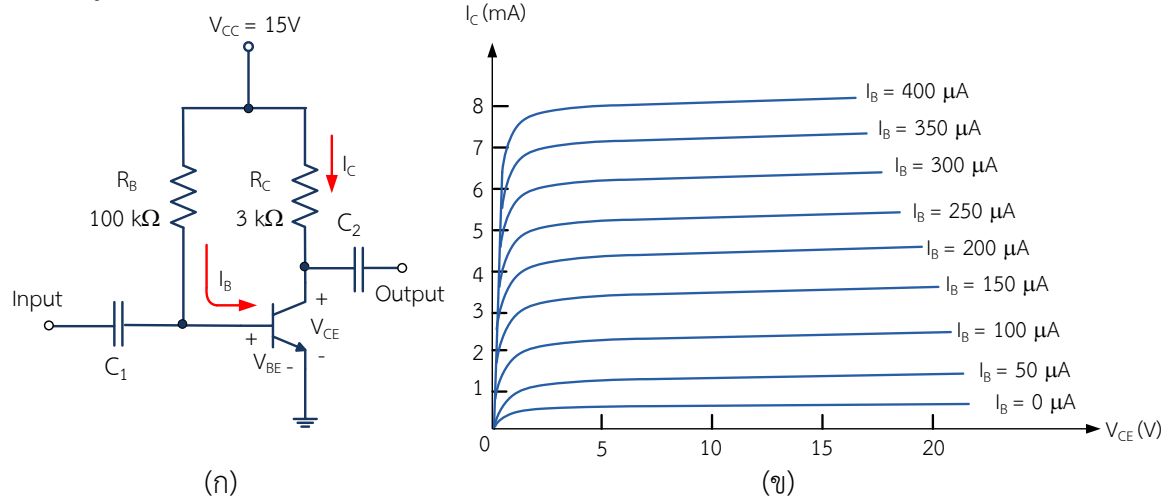
ข. $V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_E + R_F)$

ค. $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_F + R_C)$

ง. $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_E + R_C)$

จ. $V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_E + R_C)$

10. จากรูปที่ 5 กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์จงกำหนดเส้นดัดซีโพลไลน์



รูปที่ 5 วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์และกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

ก. $V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 2 \text{ mA}$

ข. $V_{CE} = 20 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}$

ค. $V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 6 \text{ mA}$

ง. $V_{CE} = 15 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}$

จ. $V_{CE} = 22 \text{ V}, I_C = 7 \text{ mA}$

บรรณานุกรม

- เจน สงสมพันธุ์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์. ปทุมธานี : สถาบัน
อิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพมหานคร. 2552.
- นภัทร วัจนเทพพินท์. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. สกายบุ๊กส์. 2538.
- ทรงพล กาญจนชูชัย. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556.
- ธันต์ ศรีสกุล. พื้นฐานการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: วิดีโอ กรุ๊ป. 2552.
- สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ,
2558.
- สายัณต์ ชื่นอารมณ์. วิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ. 2552.
- Albert Malvino and David J. Bates. **Electronic Principles**. Seventh Edition. New
York: McGraw-Hill. 2007.
- Robert Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices And Circuit Theory**,
Seventh Edition: New Jersey. Prentice Hall.
- http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

	ใบงานที่ 4.1	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ ทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ และการทำงานในวงจรคอมมอน ต่างๆ	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่อย่างจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. คำนวณอัตราขยายของทรานซิสเตอร์จากผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง
4. เขียนกราฟ คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์จากผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

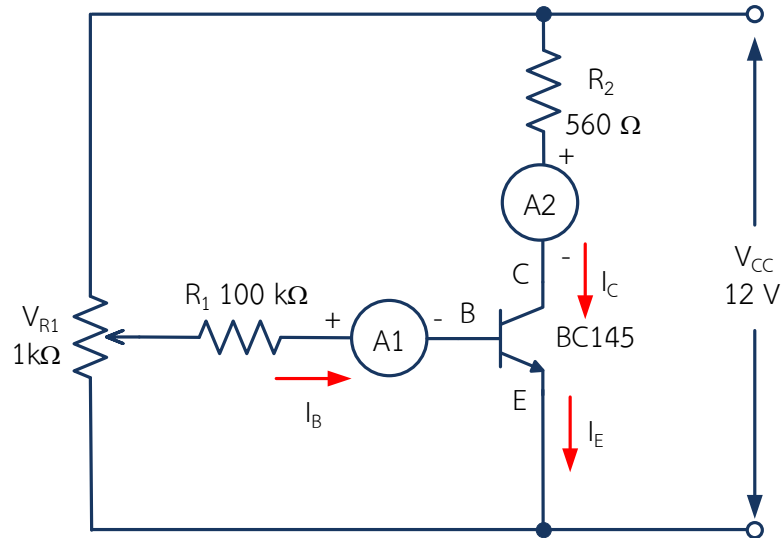
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0-30 V 3 A | 1 เครื่อง |
| 3. ตัวต้านทานคงที่ 100 k Ω 0.5 W, 500 Ω 0.5 W
220 Ω 0.5 W และ 5.6 k Ω 0.5 W อย่างละ | 1 ตัว |
| 4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 k Ω | 1 ตัว |
| 5. ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 548 | 1 ตัว |
| 6. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต่อดังตามรูปที่ 4.1.1



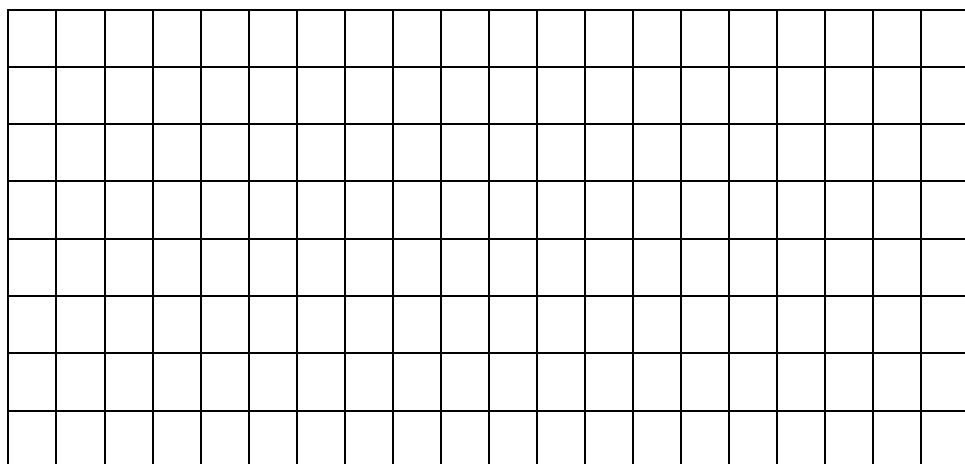
รูปที่ 4.1.1 แสดงการต่อวงจรข้อ 1

2. ปรับ V_{R1} ให้กระแสเบส (I_B) ตามตาราง แล้ววัดค่ากระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) พร้อมคำนวณหาอัตราขยาย (β) บันทึกผลลงในตาราง

ตารางที่ 4.1.1 บันทึกผลการทดลองข้อ 2

I_B (μA)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I_C (mA)										
$\beta = \frac{I_C}{I_B}$										

3. เขียนกราฟ $I_C = f(I_B)$ ลงในกราฟด้านล่างนี้



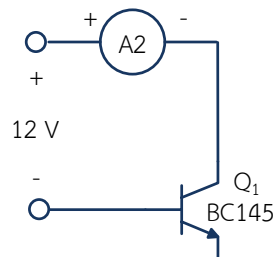
เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

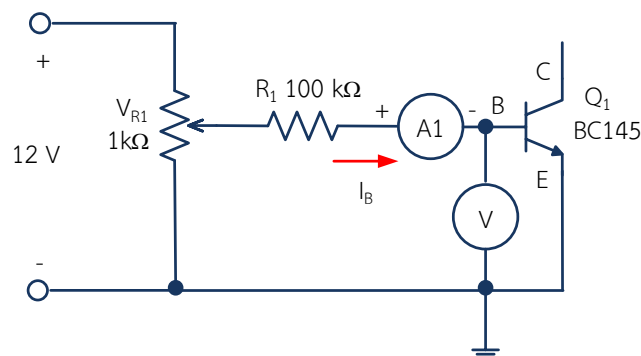
4. ใช้ Digital Multi – meter วัดค่ากระแส I_E ที่ขาอิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์
 5. ปรับ V_{R1} ให้กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ที่จุด A2 (ตามตาราง) แล้ววัดค่ากระแสอิมิตเตอร์ (I_E) พร้อมคำนวณหาอัตราขยาย (α) บันทึกผลลงตารางที่ 4.1.2
- ตารางที่ 4.1.2 บันทึกผลการทดลองข้อ 5

I_C (mA)	1	3	5	7	10	13	15
I_E (mA)							
$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$							

6. เปรียบเทียบค่า $h_{FE} = \alpha/(1-\alpha)$ หรือไม่ **ตอบ**.....
7. ต่อดังต่อไปนี้แสดงในรูปที่ 4.1.2

รูปที่ 4.1.2 แสดงการวัดกระแส I_C

8. ทำการวัดหาค่ากระแส I_{CBO} บันทึกผล.....
9. เปรียบเทียบค่าของ I_C และ I_B ที่ได้
10. ต่อดังต่อไปนี้แสดงในรูปที่ 4.1.3

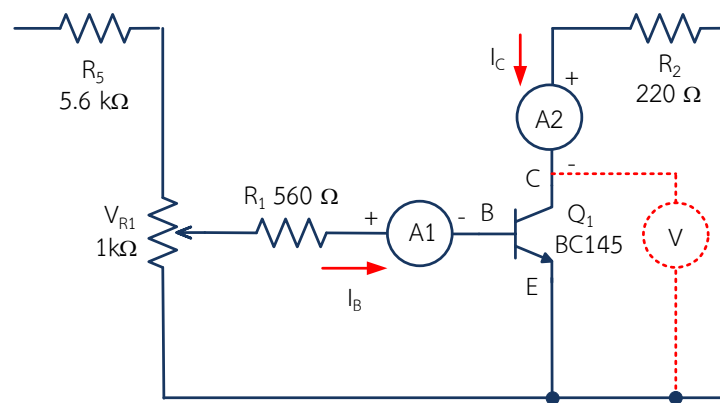
รูปที่ 4.1.3 แสดงการต่อดังต่อไปนี้วัดแรงดัน V_{BE} ที่ค่ากระแส I_B ตามที่แสดงในตารางบันทึกผล

11. วัดแรงดัน V_{BE} ที่ค่ากระแส I_B ตามที่แสดงในตารางที่ 4.1.3 บันทึกผลลงตาราง
- ตารางที่ 4.1.3 บันทึกผลการทดลองข้อ 11

I_B (mA)	0	0.5	1	2	3	4	6	8	10	15
V_{BE} (mA)										

12. เขียนกราฟ $V_{BE} = f(I_B)$ จากตารางที่ 4.1.3

13. ต่อดังต่อไปนี้ตามที่แสดงในรูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.4 แสดงการต่อวงจร

14. ปรับแรงดัน DC ไปที่ 0 V และ I_B เท่ากับ $20 \mu A$

15. ปรับแรงดัน DC แล้ววัดกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ที่ค่า V_{CE} ตามที่แสดงในตารางที่ 4.1.4

บันทึกผลลงในตาราง

ตารางที่ 4.1.4 บันทึกผลการทดลองข้อ 15

V_{CE} (V)	0.1	0.5	1	5	10	
I_C (mA)						$I_B = 20 \mu A$
						$I_B = 0.1 \text{ mA}$
						$I_B = 0.3 \text{ mA}$

16. เขียนกราฟ $I_C = f(V_{CE})$ จากค่า I_B ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1.4

17. คำนวณหาตัวอัตราขยายกระแส $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$ ที่ค่า (I_C, I_B) ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1.5 บันทึกผล

ตารางที่ 4.1.5 แสดงตัวอัตราขยายกระแส $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$

$V_{CE} = 5 \text{ V}$	$I_B (\mu\text{A})$	20	100	300
	$I_C (\text{mA})$			
	h_{FE}			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

1. อธิบายลักษณะกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

.....

.....

.....

.....

2. กระแส Reverse (I_{CBO}) มีผลต่อการทำงานของทรานซิสเตอร์อย่างไร

.....

.....

3. อธิบายลักษณะของกระแส I_B และ V_{BE} เมื่อให้ V_{CE} คงที่

.....

.....

4. จากตารางการทดลองข้อที่ 16 อัตราขยายกระแส (h_{fe}) มีค่าสูงสุดเมื่อใด

.....

.....

เอกสารประกอบการเรียน

วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (รหัสวิชา 3105-1003)

	ใบงานที่ 4.2	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 3105-1003 วิชา การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติและการวิเคราะห์การทำงานของ ทรานซิสเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง	คาบรวม 10
ชื่อเรื่อง	คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ และการทำงานในวงจรคอมมอน ต่างๆ	จำนวนคาบ 3

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ต่อบางวงจรคอมมอนเบส คอมมอนคอลเลคเตอร์ และคอมมอนอิมิตเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
2. วัด อ่านค่า แรงดันและกระแสในวงจรตามที่ใบงานกำหนดได้อย่างถูกต้อง
3. คำนวณอัตราขยายของทรานซิสเตอร์จากผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง
4. เขียนกราฟ คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์จากผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (จิตพิสัย) ที่มีการบูรณาการตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

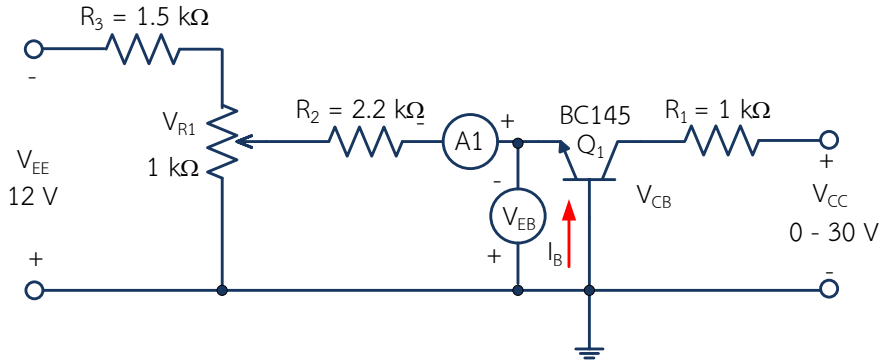
1. ความรับผิดชอบ
2. ความมีวินัย
3. การตรงต่อเวลา
4. ความมีมนุษยสัมพันธ์
5. ความรู้และทักษะวิชาชีพ
6. ความสนใจใฝ่หาความรู้
7. การพึ่งตัวเอง
8. มีความเพียร
9. รู้รักสามัคคี
10. การแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์หรือแอนะล็อกมัลติมิเตอร์ | 2 เครื่อง |
| 2. แหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ 0 - 30 V 3 A | 1 เครื่อง |
| 3. แหล่งจ่ายไฟตรงแรงดัน 12 V | 1 เครื่อง |
| 4. ตัวต้านทานคงที่ 1 k Ω 0.5 W, 560 k Ω 0.5 W, 220 k Ω 5 W,
1.5 k Ω 0.5 W, 2.2 k Ω 0.5 W และ 5.6 k Ω 0.5 W อย่างละ 1 ตัว | |
| 5. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 k Ω และ 10 k Ω อย่างละ | 1 ตัว |
| 6. ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 548 | 1 ตัว |
| 7. แผงประกอบวงจรและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

ลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติใบงาน

1. ต่อดังตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2.1



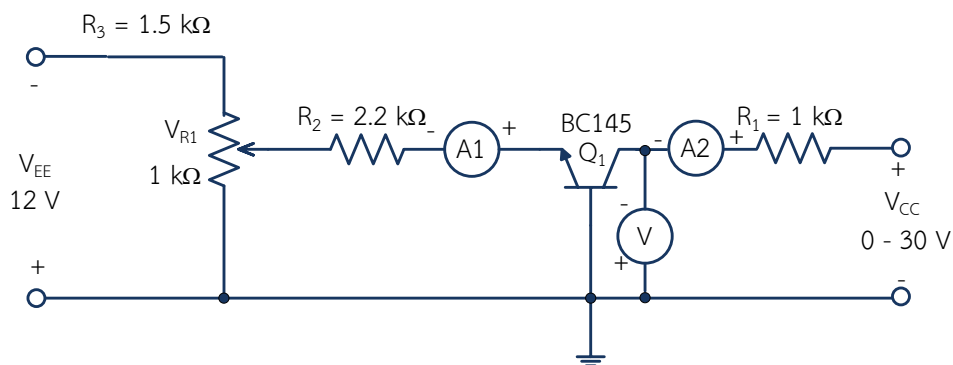
รูปที่ 4.2.1 แสดงวงจรการทำงานของวงจรขยายแบบเบสร่วม

2. ปรับแรงดัน V_{CC} ให้แรงดัน V_{CB} มีค่า 0.5 V และปรับค่า I_E ตามตารางที่ 4.2.1 วัดค่าแรงดัน V_{EB} พร้อมบันทึกผลการทดลองลง ตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.1 บันทึกผลการทดลองข้อ 2

$V_{CB} = 0.5 \text{ V}$	$I_E \text{ (mA)}$	0	0.05	0.1	0.3	0.5	1
	$V_{EB} \text{ (V)}$						

3. ต่อดังตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4.2.2



รูปที่ 4.2.2 แสดงการต่อดังตามข้อที่ 3

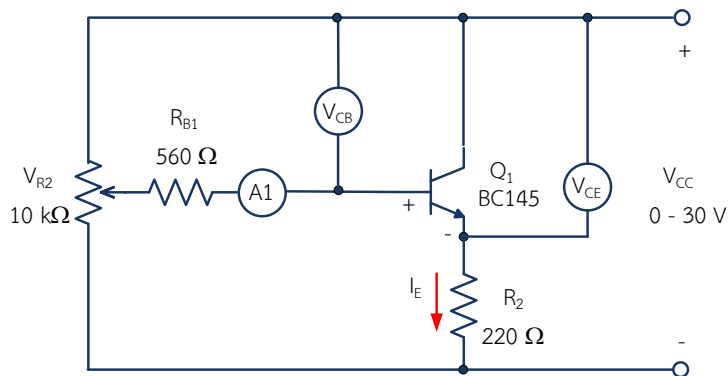
4. ปรับแรงดันแหล่งจ่าย 0-30 V ให้มีค่าเท่ากับ 0V และ ปรับ V_{R1} จนค่า $(A1) I_E$ ได้ 3 mA
5. ปรับแรงดันแหล่งจ่าย 0-30 V แล้ววัดกระแสคอลเลคเตอร์ $I_C (A2)$ ที่ค่า V_{CB} แต่ละค่าตามตารางที่ 4.2.2 บันทึกผลลงในตาราง
6. ปรับ V_{R1} จนค่า $(A1) I_E$ ได้ 1 mA ทำซ้ำข้อ 5 บันทึกผลลงตารางที่ 4.2.2

ตารางที่ 4.2.2 บันทึกผลการทดลองข้อ 4-6

$V_{CB}(V)$	-0.65	-0.6	-0.5	0	1	2	3	$-I_E(mA)$
$I_C(mA)$								3
								1

7. นำค่าที่ได้จากตารางที่ 4.2.2 มาเขียนกราฟคุณสมบัติ

8. ต่อยวงจรตามรูปที่ 4.2.3



รูปที่ 4.2.3 แสดงวงจรขยายแบบคอลเลคเตอร์ร่วม (Common Collector)

9. ปรับ V_{CC} ให้ $V_{CE} = 5 V$

10. ปรับ V_{R2} ให้ I_B (A1) มีค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.2.3 แล้ววัดแรงดัน V_{CB} ที่ค่า I_B ค่าต่าง ๆ บันทึกผลลงในตาราง

11. ปรับ V_{CC} ให้ V_{CE} คงที่ที่ 10 V แล้วทำซ้ำข้อ 10

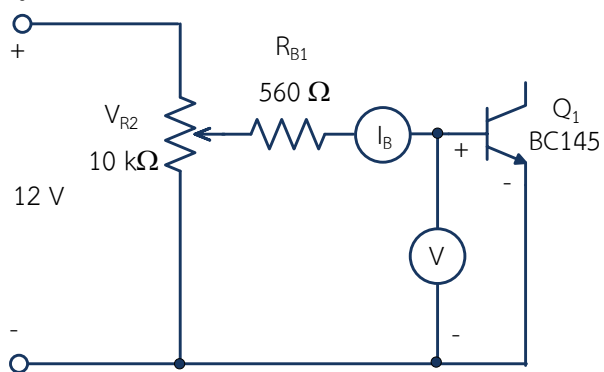
ตารางที่ 4.2.3 บันทึกผลการทดลองข้อ 10-11

$I_B(\mu A)$	0	5	10	50	100	$V_{CE}(V)$
$V_{CB}(V)$						5V
						10 V

15. นำค่าที่ได้เขียนกราฟของคุณสมบัติทางเอาต์พุตที่ค่า I_B แต่ละค่า

[illegible]

16. ต่อย่างจรตามรูปที่ 4.2.5



รูปที่ 4.2.5 แสดงวงจรขยาย Common Emitter

17. วัดแรงดัน V_{BE} ที่ค่ากระแส I_B ตามตารางที่ 4.2.5

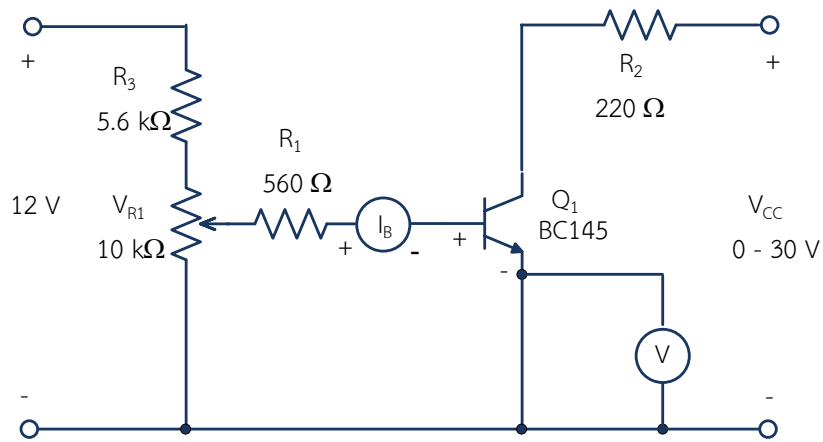
ตารางที่ 4.2.5 บันทึกผลข้อ 17

[illegible]

18. เขียนกราฟ V_{BE} ของวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วม

[illegible]

19. ต่อดังต่อไปนี้แสดงในรูปที่ 4.2.6



รูปที่ 4.2.6 แสดงวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วม

20. ปรับแรงดันแหล่งจ่าย 0-30 V ให้มีค่าเท่ากับ 0V ปรับ V_{R1} ให้ได้ $I_B = 20 \mu A$

21. ปรับแรงดันแหล่งจ่าย 0-30 V วัดกระแสคอลเลคเตอร์ I_C ที่ค่า V_{CE} ต่าง ๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 4.2.6 บันทึกผล

22. ปรับ V_{R1} ให้ได้ $I_B = 0.1 \text{ mA}$ ทำซ้ำข้อ 21 บันทึกผลในตารางที่ 4.2.6

23. ปรับ V_{R1} ให้ได้ $I_B = 0.3 \text{ mA}$ ทำซ้ำข้อ 21 บันทึกผลในตารางที่ 4.2.6

ตารางที่ 4.2.6 บันทึกผลข้อ 20-23

$V_{CE} \text{ (V)}$	0.1	0.5	1	5	10	
$I_C \text{ (mA)}$						$I_B = 20 \mu A$
						$I_B = 0.1 \text{ mA}$
						$I_B = 0.3 \text{ mA}$

24. นำค่าในตารางที่ 4.2.6 เขียนกราฟ $I_C = f(V_{CE})$ จากค่า I_B ต่างๆ

25. จากตารางที่ 4.2.6 คำนวณหาค่าอัตราขยายกระแสสถิต จาก $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$ บันทึกผลลง
ตารางที่ 4.2.7

ตารางที่ 4.2.7 แสดงค่าอัตราขยายกระแสสถิต $h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$

$V_{CE}=5V$	$I_B (\mu A)$	20	100	300
	$I_C (mA)$			
	h_{FE}			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามการทดลอง

- อธิบายลักษณะกราฟคุณสมบัติของวงจรคอมมอนเบส คอมมอนคอลเลคเตอร์ และคอมมอนอีมิเตอร์

.....

.....

.....

.....

- การเปลี่ยนแปลงอัตราขยายของกระแส ขึ้นอยู่กับอะไร

.....

.....

.....

.....