

## หน่วยที่ 7

### วงจรถานซิสเตอร์

#### สาระสำคัญ

วงจรถานซิสเตอร์พื้นฐาน ประกอบด้วย 3 วงจร คือ วงจรเบสร่วม (Common base) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter) และ วงจรคอลเลกเตอร์ร่วม (Common collector) ในส่วนของวงจรถานซิสเตอร์ที่นิยมนำไปใช้ในภาคของการขยายสัญญาณ และใช้ในวงจรถานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ (Switching) คือ วงจรอิมิตเตอร์ร่วม

#### เรื่องที่จะศึกษา

- 7.1 บทนำ
- 7.2 การจัดวงจรถานซิสเตอร์
- 7.3 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

#### จุดประสงค์การสอน

##### 1. จุดประสงค์ทั่วไป

- 1.1 เพื่อให้ให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดวงจรถานซิสเตอร์ชนิดต่าง ๆ
- 1.2 เพื่อให้ให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้เป็นสวิตช์
- 1.3 เพื่อให้ให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนเกี่ยวกับวงจรถานซิสเตอร์ ทั้งในด้านการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ความมีวินัย ความรับผิดชอบ การใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างประหยัดและรู้คุณค่า

##### 2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อเรียนจบบทเรียนหน่วยนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

- 2.1 บอกวิธีการจัดวงจรถานซิสเตอร์แบบต่าง ๆ ได้
- 2.2 คำนวณหาค่าขยายต่าง ๆ ของวงจรถานซิสเตอร์ได้
- 2.3 บอกวิธีการควบคุมการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ได้
- 2.4 คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ได้

## 2.5 สามารถบ่งชี้ประกอบวงจรทรานซิสเตอร์ได้

### คุณธรรมและจริยธรรมที่มุ่งเน้น

1. ความมีวินัย
2. ความรับผิดชอบ
3. ความมีมนุษยสัมพันธ์
4. ความสนใจใฝ่รู้
5. ความเชื่อมั่นในตนเอง

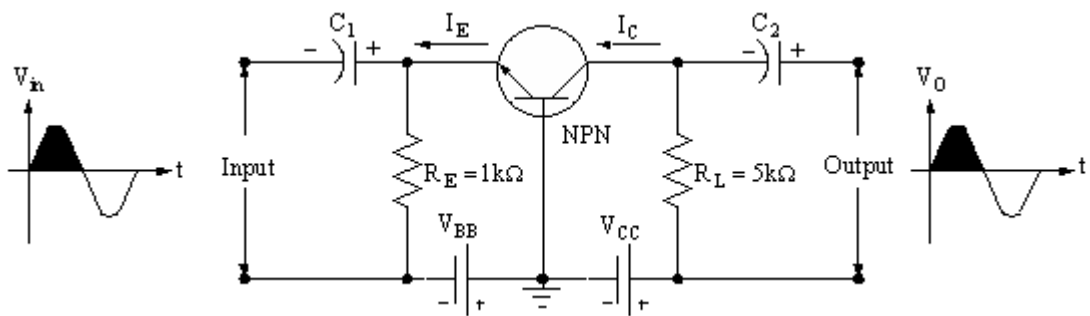
## 7.1 บทนำ

ในการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งาน จำเป็นจะต้องต่อวงจรไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์เพื่อให้มันสามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการ เราเรียกวิธีการดังกล่าวว่า การจัดวงจรทรานซิสเตอร์

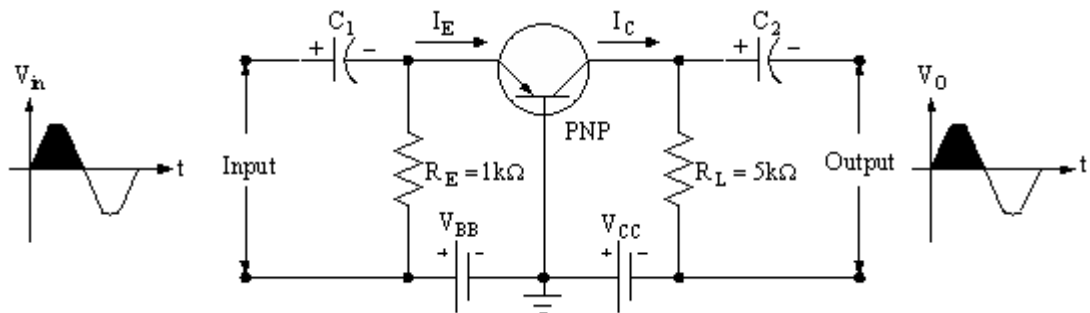
## 7.2 การจัดวงจรทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขา เราจึงจัดวงจรทรานซิสเตอร์ได้ 3 รูปแบบคือ

1) วงจรเบสร่วม (Common base)



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.1 วงจรเบสร่วม

วงจรในรูปที่ 7.1 (ก) เป็นวงจรเบสร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะมีขาเบสต่อร่วมระหว่างด้านอินพุตกับเอาต์พุต สัญญาณความถี่อินพุตจะผ่านตัวเก็บประจุ  $C_1$  เข้ามาและถูกกำหนดอัตราขยายต่าง ๆ ด้วยอิทธิพลของ  $I_E$  และ  $I_C$  ดังนี้

อัตราขยายกระแสของวงจร (ใช้สัญลักษณ์ตัว อัลฟา ;  $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \dots\dots\dots(7.1)$$

จะเห็นว่าตัวหารมีค่ามากกว่าตัวตั้ง ดังนั้นอัตราขยายกระแสจะไม่ถึงหนึ่ง จึงเป็นวงจรที่ให้  
อัตราขยายกระแสไม่ดี

อัตราขยายแรงดัน (ใช้สัญลักษณ์;  $A_V$ )

$$A_V = \alpha \frac{R_L}{R_E} \dots\dots\dots(7.2)$$

อัตราขยายกำลัง (ใช้สัญลักษณ์;  $P_G$ )

$$P_G = \alpha \cdot A_V \dots\dots\dots(7.3)$$

ส่วนวงจรในรูปที่ 7.1 (ข) เป็นวงจรเบสร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะมีขาเบสต่อร่วม  
ระหว่างด้านอินพุตกับเอาต์พุตเช่นเดียวกันกับวงจรในรูปที่ 7.1(ก) สัญญาณความถี่อินพุตที่ผ่านตัว  
เก็บประจุ  $C_1$  เข้ามาก็จะถูกกำหนดอัตราขยายต่าง ๆ ด้วยอิทธิพลของ  $I_E, I_C$  เช่นกันคือ

อัตราขยายกระแสของวงจร (ยังคงใช้สัญลักษณ์ตัว อัลฟา ;  $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \dots\dots\dots(7.4)$$

อัตราขยายกระแสจะไม่ถึงหนึ่ง จึงเป็นวงจรที่ให้อัตราขยายกระแสไม่ดี

อัตราขยายแรงดัน (ยังคงใช้สัญลักษณ์;  $A_V$ )

$$A_V = \alpha \frac{R_L}{R_E} \dots\dots\dots(7.5)$$

อัตราขยายกำลัง (ยังคงใช้สัญลักษณ์;  $P_G$ )

$$P_G = \alpha \cdot A_V \dots\dots\dots(7.6)$$

สมมติว่าวงจรขยายเบสร่วมในรูปที่ 7.1(ก) มีกระแสอิมิตเตอร์  $I_E = 6.1$  mA และมีกระแส  
คอลเลกเตอร์  $I_C$  ด้านเอาต์พุต 6 mA ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายกระแส ; } \alpha &= \frac{I_C}{I_E} \\ &= \frac{6}{6.1} \\ &= 0.98 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าอัตราขยายกระแสมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ จึงถือว่าให้อัตราขยายกระแสไม่ดี

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายแรงดัน ; } A_V &= \alpha \frac{R_L}{R_E} \\ &= 0.98 \times \frac{5}{1} \\ &= 4.9 \end{aligned}$$

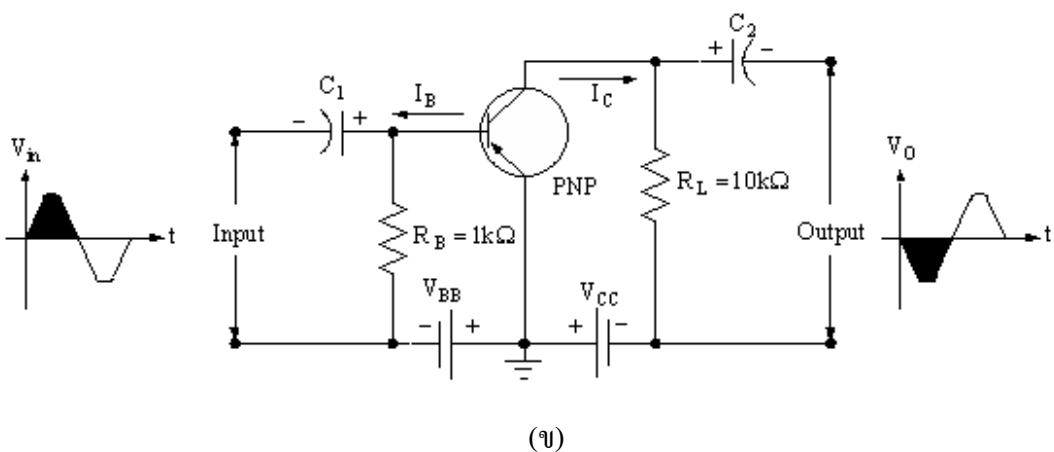
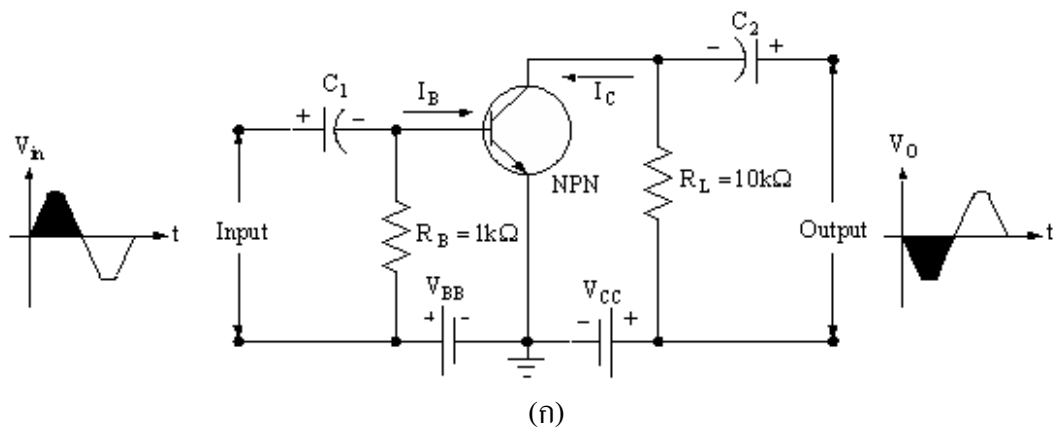
$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายกำลัง ; } p_G &= \alpha A_v \\ &= 0.98 \times 4.9 \\ &= 4.8 \end{aligned}$$

สรุปโดยรวมแล้ววงจรขยายเบสร่วมให้อัตราขยายต่าง ๆ ก่อนข้างต่ำไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณ

**ข้อสังเกต** สำหรับสัญญาณอินพุตมีเฟสด้านใด ทางด้านเอาต์พุตก็จะเกิดสัญญาณมีเฟสเหมือนกันกับด้านอินพุต

$C_1$  และ  $C_2$  ในวงจรทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณ (Coupling) โดยจะให้สัญญาณความถี่ด้านอินพุตผ่านเข้ามาได้ทาง  $C_1$  และสัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะผ่าน  $C_2$  ออกไปทางด้านเอาต์พุตของวงจร ในขณะที่เดียวกันก็จะกั้นไฟตรงทั้งจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง  $V_{BB}$ ,  $V_{CC}$  ไม่ให้ผ่านออกไปภายนอกและกั้นไฟตรงจากแหล่งจ่ายภายนอกไม่ให้ผ่านเข้ามาในวงจร

## 2) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter)



รูปที่ 7.2 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม

วงจรในรูปที่ 7.2 (ก) เป็นวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ขาอิมิตเตอร์จะถูกร่วมอยู่ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของวงจร สัญญาณเอาต์พุตจะกลับเฟสกับด้านอินพุตและมีขนาดใหญ่กว่า สัญญาณความถี่อินพุตจะผ่านตัวเก็บประจุ  $C_1$  เข้ามาและถูกกำหนดอัตราขยายต่าง ๆ ด้วยอิทธิพลของ  $I_B$  และ  $I_C$  ดังนี้

อัตราขยายกระแส (ใช้สัญลักษณ์ตัวเบต้า,  $\beta$ )

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \dots\dots\dots(7.7)$$

จะเห็นว่าอัตราขยายกระแสมีค่าสูงมากเพราะตัวตั้งคือ  $I_C$  มีค่ามาก (เกือบเท่า  $I_E$ ) แต่ที่ส่วนตัวหาร  $I_B$  มีค่าน้อยที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\beta$  และ  $\alpha$  สามารถหาได้ดังนี้

จาก 
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

วงจรเป็นอิมิตเตอร์ร่วม นำ  $I_E$  หารทั้ง  $I_C$  และ  $I_B$  จะได้

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

เนื่องจาก 
$$I_B = I_E - I_C$$

ดังนั้น 
$$\beta = \frac{I_C/I_E}{(I_E - I_C)/I_B}$$

และ 
$$\frac{I_C}{I_E} = \alpha$$

$$\therefore \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \dots\dots\dots(7.8)$$

อัตราขยายแรงดัน ;  $A_V$

$$A_V = \beta \frac{R_L}{R_B} \dots\dots\dots(7.9)$$

อัตราขยายกำลัง ;  $P_G$

$$P_G = \beta \cdot A_V \dots\dots\dots(7.10)$$

สำหรับวงจรในรูปที่ 7.2 (ข) เป็นวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ขาอิมิตเตอร์ยังคงถูกร่วมอยู่ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของวงจร เหมือนกับวงจรในรูปที่ 7.1(ก) สัญญาณด้านเอาต์พุตจะกลับเฟสกับด้านอินพุต และมีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณอินพุตเช่นเดียวกัน สัญญาณความถี่อินพุตจะผ่านตัวเก็บประจุ  $C_1$  เข้ามาและถูกกำหนดอัตราขยายต่าง ๆ ด้วยอิทธิพลของ  $I_B$  และ  $I_C$  เช่นเดียวกับวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN คือ

อัตราขยายกระแส (ใช้สัญลักษณ์ตัวเบต้า,  $\beta$ )

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \dots\dots\dots(7.11)$$

อัตราขยายแรงดัน ;  $A_V$

$$A_V = \beta \frac{R_L}{R_B} \dots\dots\dots(7.12)$$

อัตราขยายกำลัง ;  $P_G$

$$P_G = \beta \cdot A_V \dots\dots\dots(7.13)$$

สมมติว่า วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมในรูปที่ 7.2(ก) มีกระแสเบสด้านอินพุต ( $I_B$ ) = 20  $\mu$ A กระแสคอลเลกเตอร์ ( $I_C$ ) ด้านเอาต์พุต = 2 mA ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายกระแส ; } \beta &= \frac{I_C}{I_B} \\ &= \frac{2}{0.02} \\ &= 100 \end{aligned}$$

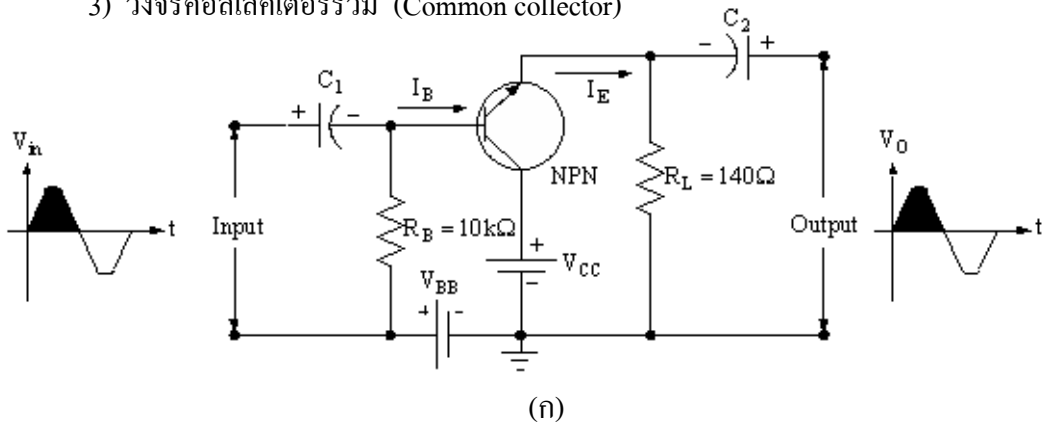
$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายแรงดัน ; } A_V &= \beta \frac{R_L}{R_B} \\ &= 100 \times \frac{10}{1} \\ &= 1,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราขยายกำลัง ; } P_G &= \beta A_V \\ &= 100 \times 1,000 \\ &= 100,000 \end{aligned}$$

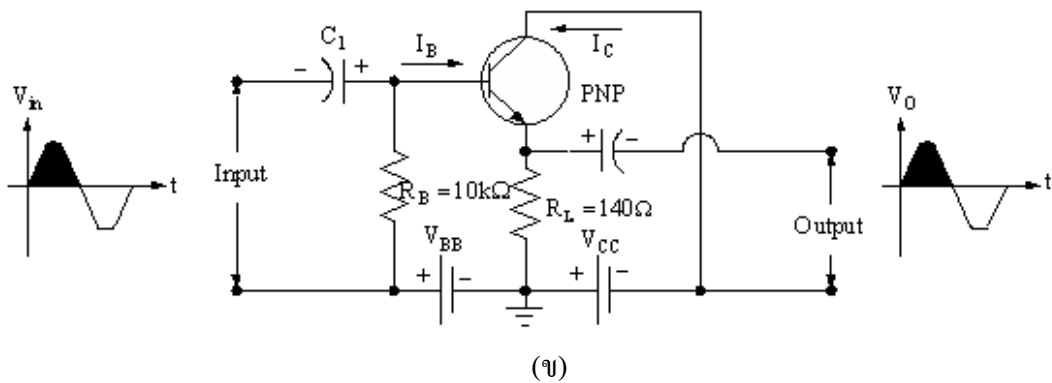
สรุปโดยรวม วงจรอิมิตเตอร์ร่วมจะให้อัตราขยายสูงมาก ทั้งอัตราขยายกระแส อัตราขยายแรงดันและอัตราขยายกำลัง สัญญาณด้านเอาต์พุตจะกลับเฟสกับกับด้านอินพุต  $180^\circ$  จึงมักนิยมนำไปใช้ในวงจรขยายสัญญาณ และที่นิยมใช้อีกวงจรหนึ่ง คือ วงจรสวิตซ์ (Switching)

**ข้อสังเกต** สัญญาณที่ได้ทางเอาต์พุตของวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วม จะมีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายเบสร่วมและมีเฟสต่างกัน โดยสัญญาณอินพุตของวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมจะกลับเฟสกับสัญญาณด้านเอาต์พุต

3) วงจรคอลเลกเตอร์ร่วม (Common collector)



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.3 วงจรคอลเลกเตอร์ร่วม

การต่อวงจรคอลเลกเตอร์ร่วมนั้น ไม่ว่าจะทรานซิสเตอร์ที่ใช้จะเป็นชนิด NPN หรือ PNP ก็ตาม มีข้อที่นำสังเกตได้ก็คือที่ขั้วของคอลเลกเตอร์จะไม่ถูกต่อลงกราวนด์(Ground)โดยตรง แต่จะเห็นว่าจะต้องมีไฟเลี้ยงวงจรต่อร่วมอยู่ก่อน บางครั้งอาจเรียกววงจรคอลเลกเตอร์ร่วมว่า “วงจรรขยายอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์”(Emitter follower) โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าความต้านทานด้านอินพุตสูงกว่าด้านเอาต์พุต

พิจารณาตามรูปที่ 7.3(ก) ซึ่งเป็นการต่อวงจรคอลเลกเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะได้

อัตราขยายกระแส (ใช้สัญลักษณ์ตัวแกมมา,  $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \dots\dots\dots(7.14)$$

ความสัมพันธ์ของ  $\gamma$  และ  $\beta$  พิจารณาจากสมการจะได้

จาก  $I_E = I_C + I_B$   
 $\therefore \gamma = \frac{I_C + I_B}{I_B}$



$$\text{และ} \quad \frac{I_C}{I_B} = \beta$$

$$\therefore \gamma = \beta + 1 \dots \dots \dots (7.15)$$

จากสมการที่ 7.14 จะเห็นได้ว่า อัตราขยายกระแสของวงจรคอลเลกเตอร์ร่วม จะมีค่ามากที่สุด  
 อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลที่ความต้านทานทางอินพุตมีค่าสูงกว่าด้านเอาต์พุตอัตราขยายแรงดันจะมี  
 ค่าน้อย (โดยทั่วไปน้อยกว่าหนึ่งแต่ใกล้เคียงมากจนประมาณว่าเท่ากับหนึ่ง)

$$\text{อัตราขยายแรงดัน ; } A_V$$

$$A_V = \gamma \frac{R_L}{R_B} \dots \dots \dots (7.16)$$

$$\text{อัตราขยายกำลัง ; } P_G$$

$$P_G = \gamma \cdot A_V \dots \dots \dots (7.17)$$

เมื่อพิจารณารูปที่ 7.3(ข) ซึ่งเป็นการต่อวงจรคอลเลกเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP  
 อัตราขยายกระแส อัตราขยายแรงดันตลอดจนอัตราขยายกำลังก็ยังคงพิจารณาได้เช่นเดียวกับการต่อ  
 วงจรคอลเลกเตอร์ร่วมของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN นั่นคือ

$$\text{อัตราขยายกระแส (ยังคงใช้สัญลักษณ์ตัวเกมมา, } \gamma)$$

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \dots \dots \dots (7.18)$$

$$\text{อัตราขยายแรงดัน ; } A_V$$

$$A_V = \gamma \frac{R_L}{R_B} \dots \dots \dots (7.19)$$

$$\text{อัตราขยายกำลัง ; } P_G$$

$$P_G = \gamma \cdot A_V \dots \dots \dots (7.20)$$

สมมติว่าวงจรขยายคอลเลกเตอร์ร่วมในรูปที่ 7.3(ก) มีค่าของอัตราขยายกระแส เมื่อต่อวงจร  
 แบบอิมิตเตอร์ร่วม  $(\beta) = 70$  ดังนั้น

$$\text{อัตราขยายกระแส ; } \gamma = \beta + 1$$

$$= 70 + 1$$

$$= 71$$

$$\text{อัตราขยายแรงดัน ; } A_V = \gamma \frac{R_L}{R_B}$$

$$= 71 \times \frac{140}{10,000}$$

$$= 0.99 \cong 1$$

$$\text{อัตราขยายกำลัง ; } P_G = \gamma A_V$$

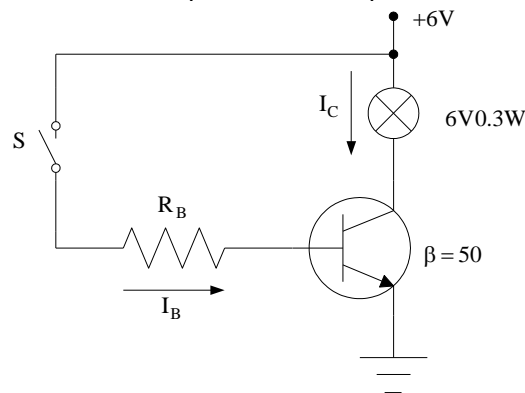
$$= 71 \times 1 = 71$$

สรุปได้ว่า วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมจะให้อัตราขยายกระแสและอัตราขยายกำลังสูงพอประมาณ แต่ไม่มากนักและจะให้อัตราขยายแรงดันต่ำ คือมีค่าอัตราขยายแรงดันระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ประมาณเท่ากัน จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวงจขยายสัญญาณที่ต้องการอัตราขยายแรงดันและกำลังสูง ๆ แต่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัววงจรกันชน (Buffer) สำหรับใช้ในการเชื่อมต่อวงจรสองวงจรเข้าหากัน

**ข้อสังเกต** สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม จะมีเฟสตรงกัน

### 7.3 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

ในการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ จะนำย่านการทำงานในย่าน Cut – off (ไม่นำกระแส) และย่าน Saturation (ย่านอิ่มตัวทรานซิสเตอร์นำกระแสสูงสุด) มาใช้งาน โดยอาศัยการควบคุมการสวิตช์ที่ขาเบส เพื่อให้กระแสเบสไปควบคุมการนำหรือหยุดนำกระแสคอลเลคเตอร์



รูปที่ 7.4 การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

จากรูปที่ 7.4 ถ้าสวิตช์ S เปิดวงจร หลอดไฟจะยังไม่สว่าง แต่ถ้าสวิตช์ S ต่่วงจร หลอดไฟจึงจะสว่างเพราะมีกระแสเบส ( $I_B$ ) มาป้อนที่ขาเบส ทำให้มีกระแสคอลเลคเตอร์ ( $I_C$ ) ไหลผ่านหลอดหลอดไฟ 6 V 0.3 W ได้ และไหลมารวมกับ  $I_B$  ผ่านขา E ครบวงจร อย่างไรก็ตามการที่จะให้หลอดไฟสว่างเต็มที่จะต้องคำนวณหาขนาด  $R_B$  ที่จะนำมาต่อให้เหมาะสม ซึ่งจากข้อมูลในรูปที่ 7.4 สามารถคำนวณหาค่า  $R_B$  ได้ดังนี้

จากขนาดหลอดไฟคือ 6 V 0.3 W

กระแสไหลผ่านหลอดไฟคือ  $I_C$

$$\begin{aligned} \therefore I_C \text{ สูงสุด} &= \frac{0.3}{6} = 0.05\text{A} \\ &= 50\text{mA} \end{aligned}$$

เมื่อ  $\beta = 50$  หมายความว่าถ้า  $I_B$  มีค่าเป็น 1 ส่วน จะได้  $I_C = 50$  ส่วน (ตามสมการ  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ )

ดังนั้นถ้า  $I_C = 50 \text{ mA}$

$$\therefore I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{50 \text{ mA}}{50} = 1 \text{ mA}$$

กระแส  $I_B = 1 \text{ mA}$  ไหลผ่าน  $R_B$

ขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแสแรงดันตกคร่อม ตัวต้านทาน  $R_B$  บวกกับ  $V_{BE} = 6 \text{ V}$  นั่นคือ

$$6 \text{ V} = V_{RB} + V_{BE}$$

ขณะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแสให้  $V_{BE}$  มีค่าเท่ากับ  $0.7 \text{ V}$

$$\therefore V_{RB} = 6 \text{ V} - 0.7 \text{ V}$$

$$= 5.3 \text{ V}$$

ดังนั้นค่า

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{V_{RB}}{I_B} \\ &= \frac{5.3 \text{ V}}{1 \text{ mA}} \\ &= 5.3 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

เราจะนำหลักการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ ไปใช้ควบคุมโหลดที่ต้องการทั้งแรงดันต่ำและแรงดันสูง ซึ่งในส่วนของวงจรควบคุมที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์นี้เรียกว่า “ระบบควบคุมแรงดันต่ำ” (Low voltage control system)