

# บทที่ 3

## การใช้วิธีการกราฟวิเคราะห์ห้วงจรทรานซิสเตอร์

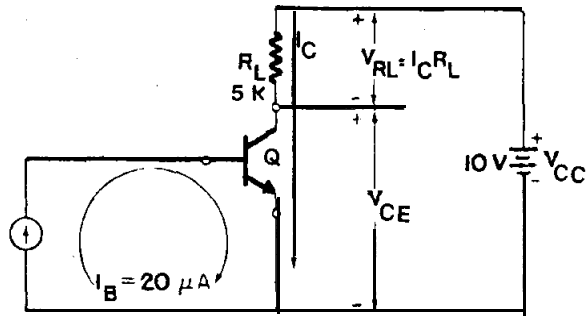
### 3.1 บทนำ

หลังจากได้มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้สร้าง หลักทฤษฎีการสร้าง และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทรานซิสเตอร์แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือศึกษาวงจรถานซิสเตอร์ ซึ่งรายละเอียดในบทนี้จะกล่าวเฉพาะเมื่อทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณ การวิเคราะห์ห้วงจรทรานซิสเตอร์โดยวิธีการกราฟเป็นวิธีการง่าย ๆ ทำให้เห็นภาพพจน์ของการขยายสัญญาณการแกว่งของแรงดันเอาต์พุท และลักษณะที่จุดทำงาน (operating point หรือ quiescent point) ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตัวทรานซิสเตอร์เองและธาตุงจรภายนอก (เช่น ตัวต้านทานเบตเตอร์ เป็นต้น)

รายละเอียดในบทนี้ กล่าวถึงเส้นโหลด (load line) ของไฟกระแสตรงและกระแสสลับ การเลือกจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นตำแหน่งเหมาะสมที่สุดที่จะรักษาคุณสมบัติของตัวทรานซิสเตอร์ให้สอดคล้องกับธาตุงจรภายนอก เมื่อทำการแปรค่าของธาตุงจรภายนอก ย่อมมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของทรานซิสเตอร์

### 3.2 เส้นโหลดของไฟกระแสตรง (The DC Load Line)

เส้นโหลด เป็นเส้นตรงที่ลากทับบนกลุ่มเส้นกราฟแสดงลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ สมการเส้นโหลดของไฟกระแสตรงและกระแสสลับมีค่าต่างกันไป แล้วแต่กรณีตัวอย่างคือใช้วงจรถึงแสดงในรูป 3.1 ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ Q ต่ออนุกรมกับธาตุงจรภายนอกคือ  $V_{CC}$  คือ  $R_L$  ดังนั้น จึงต้องมีกระแสปริมาณเดียวกันไหลผ่านแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานโหลดนั้นหาค่าโดยใช้ความสัมพันธ์  $V_{RL} = I \cdot R_L$  สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ ความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟ มีหรือไม่? โดยทั่วไป มีค่าความต้านทานภายในดังกล่าวต่ำมากจนสามารถละทิ้งได้ และในกรณีนี้ ไม่แสดงค่าไว้ในวงจรถึงนั้น จะละทิ้งค่านี้ไป กล่าวได้ว่า แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟได้ป้อนเข้าในวงจรถึง ไม่ขึ้นกับกระแสที่ถูกส่งออกมาจากแหล่งเดียวกันนี้ ต่อไปพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีวิธีการพิจารณา ดังนี้



รูป 3.1 วงจรแอมพลิจูดร่วม ในวงจรเอาต์พุตที่มีปริมาณกระแสไหลผ่านเป็นค่าเดียว

(1) ใช้ความสัมพันธ์

แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ = แรงดันตกคร่อมโหลด + แรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์

(2) อ่านค่าจากกราฟลักษณะสมบัติ ดังนั้น ทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์จากรูป 3.1 แบตเตอรี่  $V_{CC}$  บ่อนแรงดันไฟฟ้าให้กับ  $V_{RL}$  และ  $V_{CE}$  เขียนสมการลูปเอาต์พุต

ดังนี้

$$V_{CC} = V_{RL} + V_{CE} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เขียน (3.1) ใหม่ โดยแทน  $V_{RL}$  ด้วยผลคูณของ  $I_C$  กับ  $R_L$  นั่นคือ

$$V_{CC} = I_C R_L + V_{CE} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

เรียกสมการ (3.2) เป็น “สมการเส้นโหลด” (load-line equation) ใช้ในการพล็อต  $V_{CC}$  และ  $R_L$  ซ้อนลงบนกราฟลักษณะสมบัติด้านเอาต์พุต (คือกราฟ  $I_C$  vs  $V_{CE}$ )

ตัวอย่างการพล็อตค่า เพื่อสร้างเส้นโหลดลงบนกราฟลักษณะสมบัติ ใช้ค่า  $R_L = 5$  กิโลโอห์ม (kilohm) และ  $V_{CC} = 10$  โวลต์ แทนค่าลงในสมการ (3.2) ผลคือ

$$10 = 5000 I_C + V_{CE} \quad \dots\dots\dots(3.2)'$$

จากสมการ (3.2)' มี 2 ตัวแปรคือ  $I_C$  และ  $V_{CE}$  ซึ่งเป็นค่าบนแกนตั้งและแกนนอน ตามลำดับ วิธีการอย่างง่ายทำดังนี้

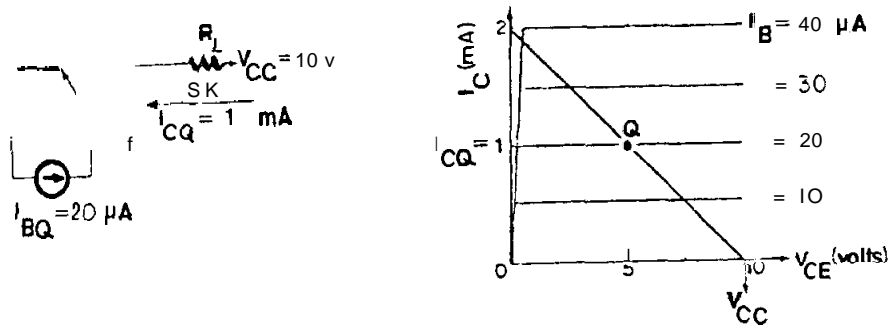
(1) หาจุดตัดบนแกนตั้ง โดยให้  $V_{CE} = 0$  ดังนั้น

$$I_C = \frac{10}{5000} = 2 \text{ mA}$$

(2) หาจุดตัดบนแกนนอน โดยให้  $I_C = 0$  ดังนั้น

$$V_{CE} = 10 \text{ v} = V_{CC}$$

ความชันของเส้นโหลด มีค่า  $-\frac{1}{R_L}$  และแสดงไว้แล้วในรูป 3.2



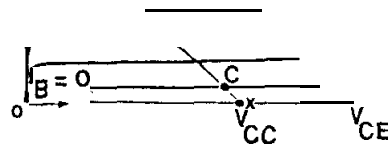
รูป 3.2 แสดงการพล็อตเส้นโหลดจากสมการ (3.2) โดยแทนค่า  $R_L = 5$  กิโลโอห์ม,  $V_{CC} = 10$  v เส้นกราฟตัดแกนตั้งที่ค่า  $I_C = 2$  มิลลิแอมแปร์ และตัดแกนนอน  $V_{CE} = 10$  v =  $V_{CC}$

### 3.3 จุดทำงาน (Operating point)

จุดทำงานของทรานซิสเตอร์ เป็นจุดใด ๆ บนเส้นโหลด ผู้ใช้วงจรสามารถเลือกตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ เช่น วงจรขยาย ย่อมต้องการให้สัญญาณแรงดันเอาต์พุทมีค่าแกว่งอย่างสมมาตรทั้งด้านบนและด้านล่างของจุดทำงาน ดังนั้น จุดทำงานควรจะอยู่บริเวณกึ่งกลางเส้นโหลด ตัวอย่างของจุดทำงานแสดงในรูป 3.3 โดยทั่วไป เลือกจุดทำงาน ณ ตำแหน่งที่เส้นโหลดตัดกับกระแสอินพุทของวงจร (ในรูป คือ  $I_B$ ) พิจารณาแต่ละตำแหน่ง ดังนี้

- (1) จุด A เป็นตำแหน่งกึ่งกลางเส้นโหลด เหมาะสมกับวงจรขยาย
- (2) จุด B ทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะอิ่มตัว
- (3) จุด C ทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะตัดออฟ ( $I_B = 0$ )

ทั้งจุด B และ C สัญญาณเอาต์พุทจะถูกขลิบ จึงไม่เหมาะจะใช้กับวงจรขยาย นอกจากนี้ การกำหนดเลือกใช้ค่าของธาตุงจรภายนอกยังส่งผลถึงความเคลื่อนของตำแหน่งจุดทำงานได้ ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของเส้นโหลดเมื่อมีการแปรค่าตัวต้านทานโหลดหรือแหล่งจ่ายไฟตรง



ขั้นที่ 2 เป็นกรณี  $R_L = 8$  กิโลโอห์ม ยังคงใช้สมการเส้นโหลด (3.2) แต่ใช้ค่า  $R_L$  ตามกำหนด จากนั้นแทนค่าเพื่อหาจุดตัดบนแกนทั้งสอง ได้เส้นโหลดที่สองเป็นเส้นตรงตัดแกนตั้งที่ค่า  $I_C = 1.25$  mA และตัดแกนนอนที่ค่า  $V_{CE} = 10$  v จุดทำงานใหม่  $Q_2$  เป็นตำแหน่งที่เส้นโหลดที่สองนี้ตัดกับเส้นกราฟ  $I_B = 20\mu A$  มีค่า  $I_{CQ_2} = I_{CQ_1} = 1$  mA,  $V_{CE} = 2$  v

































