

คำแนะนำการใช้เอกสารประกอบการสอน

เอกสารประกอบการสอนชุดนี้ ใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขางานอิเล็กทรอนิกส์ โดยแบ่งออกเป็น 11 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยกำหนดให้นักศึกษาปฏิบัติดังนี้

1. นักเรียนจะต้องศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้
2. นักเรียนต้องทำแบบทดสอบก่อนเรียน และตรวจคำตอบในแบบเฉลยด้วยความซื่อสัตย์
3. นักเรียนต้องศึกษาใบเนื้อหาให้ละเอียดเพื่อให้เกิดความเข้าใจ
4. นักเรียนต้องทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยเรียน และตรวจคำตอบการทำแบบฝึกหัดด้วยตนเองร่วมกับครูผู้สอน
5. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนด้วยความซื่อสัตย์
6. นักเรียนเปรียบเทียบผลของคะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการในการเรียนรู้
7. หากนักเรียนได้ผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนไม่ถึงร้อยละ 80 ให้นักเรียนกลับไปศึกษาเอกสารประกอบการสอนใหม่อีกครั้ง
8. นักเรียนทำการทดลองใบงาน บันทึกผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง
9. หากนักเรียนมีปัญหาจากการศึกษาเอกสารประกอบการสอนสามารถปรึกษาครูได้ที่

แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 3 เรื่องทรานซิสเตอร์

วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

รหัสวิชา 2105 – 2005

ข้อสอบจำนวน 15 ข้อ (15 คะแนน)

เวลา 15 นาที

คำสั่ง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียวโดยทำเครื่องหมาย (X) ลงในกระดาษคำตอบ

1. ไบโพลาร์จังก์ชันของทรานซิสเตอร์ (BJT) มีกี่ชนิด

ก. 2 ชนิด

ข. 3 ชนิด

ค. 4 ชนิด

ง. 5 ชนิด

2. โครงสร้างของทรานซิสเตอร์คือข้อใด

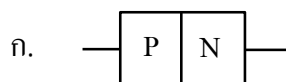
ก. โครงสร้างมี 2 ตอน 1 รอยต่อมี 2 ขา

ข. โครงสร้างมี 3 ตอน 2 รอยต่อมี 3 ขา

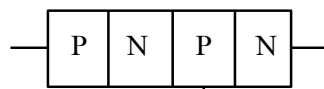
ค. โครงสร้างมี 4 ตอน 3 รอยต่อมี 3 ขา

ง. โครงสร้างมี 4 ตอน 3 รอยต่อมี 2 ขา

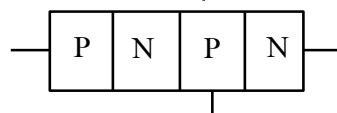
3. ข้อใดคือโครงสร้างของทรานซิสเตอร์



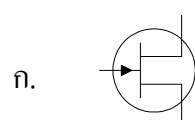
ข.



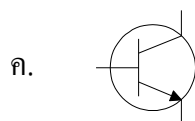
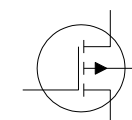
ง.



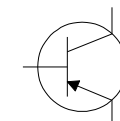
4. ข้อใดคือสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



ข.



ง.



5. ค่า β_{dc} ของทรานซิสเตอร์หมายถึงข้อใด

ก. อัตราขยายกระแส

ข. อัตราขยายแรงดัน

ค. แรงดันที่ขาเบส

ง. อัตราขยายกำลัง

6. การไบอัสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ข้อใดถูกต้อง

ก. ไบอัสกลับให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบส และไบอัสตรงรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

ข. ไบอัสตรงให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบส และไบอัสกลับรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

ค. ไบอัสตรงให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบสและรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

ง. ไบอัสกลับให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบสและรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

7. ข้อใดคือลักษณะการจัดวงจรไบอัสคงที่

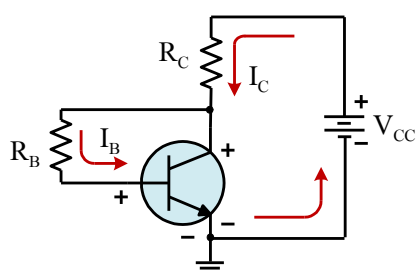
ก. ใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ที่รองรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรงป้อนให้ขาเบส

ข. ใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ที่รองรับแรงดันจากขาคอลเล็กเตอร์ขาหนึ่งอีกขาหนึ่งต่อไปจ่ายให้ขาเบส

ค. ใช้ตัวต้านทานสองตัวต่อแบบแบ่งแรงดันควบคุมแรงดันขาเบส

ง. การจัดแรงดันไบอัสให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์เป็นแบบผสม

8. จากรูปเป็นการจัดวงจรไบอัสแบบใด



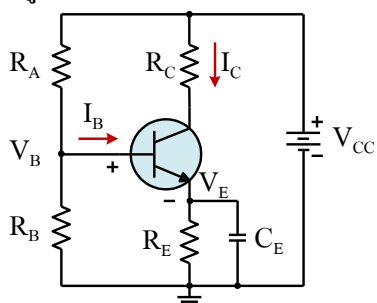
ก. วงจรไบอัสคงที่

ข. วงจรไบอัสตัวเอง

ค. วงจรไบอัสกระแสย้อนกลับ

ง. วงจรไบอัสแบบผสม

9. จากรูปเป็นการจัดวงจรไบอัสแบบใด



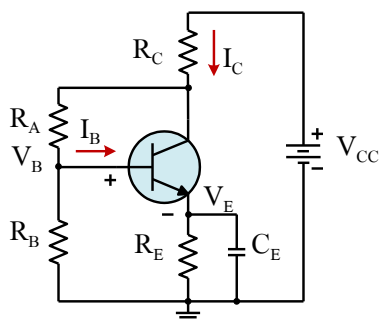
ก. วงจรไบอัสคงที่

ข. วงจรไบอัสตัวเอง

ค. วงจรไบอัสกระแสย้อนกลับ

ง. วงจรไบอัสแบบผสม

10. จากรูปเป็นการจัดวงจรไบอัสแบบใด



ก. วงจรไบอัสคงที่

ข. วงจรไบอัสตัวเอง

ค. วงจรไบอัสกระแสย้อนกลับ

ง. วงจรไบอัสแบบผสม

11. วงจรไบอัสแบบใดนิยมใช้งานมากที่สุด

ก. ไบอัสแบบย้อนกลับ

ข. ไบอัสตัวเอง

ค. ไบอัสผสม

ง. ไบอัสคงที่

12. ค่า V_{CEO} ที่ระบุในคู่มือทรานซิสเตอร์หมายถึงของใด
- ก. แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับเบสเมื่ออิมิตเตอร์ปิดวงจร
 - ข. แรงดันระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสเมื่อสวิตช์ปิดวงจร
 - ค. แรงดันระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสเมื่อสวิตช์เปิดวงจร
 - ง. แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์เมื่อเบสเปิดวงจร
13. จากกราฟคุณลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานเป็นสวิตช์จะใช้ย่านใด
- ก. ย่านแอกทีฟ
 - ข. ย่านอิ่มตัวและย่านคัตออฟ
 - ค. ย่านเบรกดาวน์
 - ง. ย่านคัตออฟ
14. จากกราฟคุณลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานเป็นวงจรขยายสัญญาณจะใช้ย่านใด
- ก. ย่านแอกทีฟ
 - ข. ย่านอิ่มตัวและย่านคัตออฟ
 - ค. ย่านเบรกดาวน์
 - ง. ย่านคัตออฟ
15. ในการตรวจสอบทรานซิสเตอร์ถ้าวัดคู่ขา B-E และคู่ขา B-C สลับสายวัดและวัดขึ้นทั้งสองครั้งสรุปได้ว่าอย่างไร
- ก. ทรานซิสเตอร์ปกติดี
 - ข. ทรานซิสเตอร์ชำรุดในลักษณะคู่ขา B-E และ B-C ขาด
 - ค. ทรานซิสเตอร์ชำรุดในลักษณะคู่ขา B-E และ B-C ช็อต
 - ง. ทรานซิสเตอร์ชำรุดในลักษณะคู่ขา B-E ช็อต และ B-C ขาด

	เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน		หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005		สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์		
เรื่อง ทรานซิสเตอร์			เวลา 4 ชั่วโมง

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน			
ข้อที่	คำตอบ	ข้อที่	คำตอบ
1	ก	9	ค
2	ข	10	ง
3	ค	11	ค
4	ค	12	ง
5	ก	13	ข
6	ข	14	ก
7	ก	15	ค
8	ข		

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

ทรานซิสเตอร์(Transistor)เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ มี 2 รอยต่อ 3 ตอนมี 3 ขาคือขาเบส (Base;B) ขาอิมิตเตอร์ (Emitter;E)และขาคอลเลกเตอร์(Collector;C) แบ่งตามวิธีการผลิตได้เป็น 2 ลักษณะคือ ทรานซิสเตอร์โครงสร้างแบบจุดสัมผัส (Point Contact Transistor) และ ทรานซิสเตอร์โครงสร้างเป็นแบบรอยต่อ (Junction Transistor) ทรานซิสเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเอ็นพีเอ็น(NPN)กับชนิดพีเอ็นพี(PNP) การจ่ายไบแอสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ต้องจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้ขาอิมิตเตอร์(E)และขาเบส (B)เทียบกัน และจ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ขาคอลเลกเตอร์(C) เทียบกับขาเบส(B)

การจัดวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์จัดวงจรได้ 4 แบบ ได้แก่ วงจรไบแอสคงที่ วงจรไบแอสช่วย วงจรไบแอสกระแสป้อนกลับ และวงจรไบแอสแบบผสม ในการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานจะต้องรู้ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์เพื่อจะได้จัดแรงดันและกระแสได้อย่างเหมาะสมและเกิดความปลอดภัยแก่ทรานซิสเตอร์ ในการตรวจสอบทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์ทำให้สามารถหาขาต่างๆของทรานซิสเตอร์ได้และยังทำให้ทราบว่าทรานซิสเตอร์ดีหรือเสีย ทรานซิสเตอร์ถูกนำไปใช้ต่อเป็นวงจรสวิตช์ และวงจรขยายสัญญาณแบบต่างๆ

สาระการเรียนรู้

- 3.1 ชนิดของทรานซิสเตอร์
- 3.2 โครงสร้าง สัญลักษณ์และรูปร่างของทรานซิสเตอร์
- 3.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์
- 3.4 การไบแอสทรานซิสเตอร์เบื้องต้น
- 3.5 การจัดวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์
 - 3.5.1 วงจรไบแอสคงที่
 - 3.5.2 วงจรไบแอสช่วย
 - 3.5.3 วงจรไบแอสกระแสป้อนกลับ

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

3.5.4 วงจรไบแอสแบบผสม

3.6 การอ่านคู่มือทรานซิสเตอร์และการแปลความหมาย

3.7 การนำทรานซิสเตอร์ไปประยุกต์ใช้งาน

3.7.1 วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์

3.7.2 วงจรขยายสัญญาณ

3.8 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์

3.9 สรุป

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์
2. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการพัฒนาคุณธรรม จริยธรรม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกชนิดของทรานซิสเตอร์ได้
2. เขียนโครงสร้างของทรานซิสเตอร์ได้
3. เขียนสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ได้
4. บอกคุณลักษณะทางไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์ได้
5. บอกลักษณะการไบแอสเบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ได้
6. บอกลักษณะการจัดวงจรไบแอสคงที่ได้
7. บอกลักษณะการจัดวงจรไบแอสช่วยได้
8. บอกลักษณะการจัดวงจรไบแอสกระแสป้อนกลับได้
9. บอกลักษณะการจัดวงจรไบแอสแบบผสมได้
10. แปลความหมายจากการอ่านคู่มือทรานซิสเตอร์ได้
11. บอกลักษณะวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ได้

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

12. บอกลักษณะวงจรขยายสัญญาณได้

13. บอกลักษณะอาการเสียของทรานซิสเตอร์ที่ทำการวัดและทดสอบด้วยโอห์มมิเตอร์ได้

14. มีการพัฒนาคุณธรรม จริยธรรม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ที่ผู้สอนสามารถสังเกตเห็นได้ ในด้านมนุษยสัมพันธ์ มีวินัย ความรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา มีความซื่อสัตย์สุจริต สนใจใฝ่รู้ รักสามัคคี

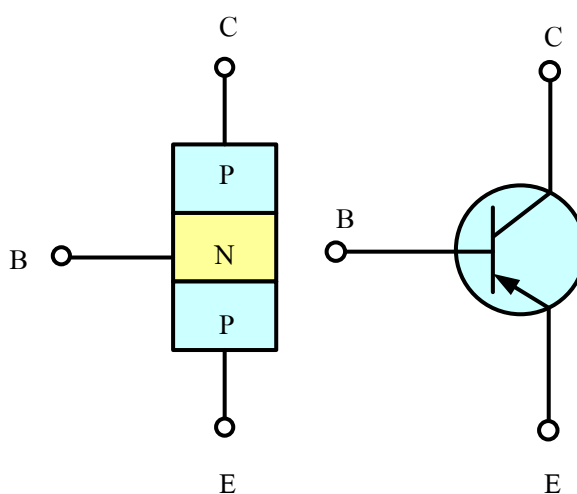
	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

3.1 ชนิดของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ (Transistor) จัดเป็นอุปกรณ์จำพวกโซลิดสเตต (Solid state) ที่มีการผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็น ถูกนำมาใช้งานในลักษณะการนำมาเป็นสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ นำมาใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณ วงจรขยายกำลัง ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานแทนหลอดสุญญากาศ เนื่องจากมีขนาดเล็ก ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย กินกำลังไฟต่ำ ทนกระแสไฟฟ้าและทนกำลังไฟฟ้าได้สูง ทรานซิสเตอร์แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด คือ ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (PNP Transistor) และ ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN Transistor)

3.2 โครงสร้าง สัญลักษณ์ และรูปร่างของทรานซิสเตอร์

โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี(P)และชนิดเอ็น(N)ต่อชนกัน 3 ตอน 2 รอยต่อ มี 3 ขาคือ ขาอีมิเตอร์(Emitter;E) ขาเบส(Base;B) และขาคอลเลกเตอร์ (Collector;C) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดพีเอ็นพี(PNP) กับชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) โครงสร้าง สัญลักษณ์และรูปร่างของทรานซิสเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.1



(ก) รูปแสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์	เวลา 4 ชั่วโมง	

จากรูปที่ 3.1 (ก) ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี(PNP)มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นต่อชนกัน 2 รอยต่อ 3 ตอน โดยมีสารชนิดพี(P) อยู่ 2 ตอน และสารชนิดเอ็น(N) อยู่ 1 ตอน ในส่วนของสัญลักษณ์ขามิตเตอร์หัวลูกศรชี้เข้าด้านใน

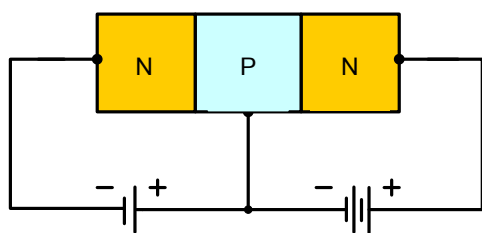
จากรูปที่ 3.1 (ข) ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น(NPN) มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นและชนิดพีต่อชนกัน 2 รอยต่อ 3 ตอน โดยมีสารชนิดเอ็น(N) อยู่ 2 ตอน และสารชนิดพี (P) อยู่ 1 ตอน ในส่วนของสัญลักษณ์ขามิตเตอร์หัวลูกศรชี้ออกด้านนอก

3.3 การจ่ายไบแอสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน

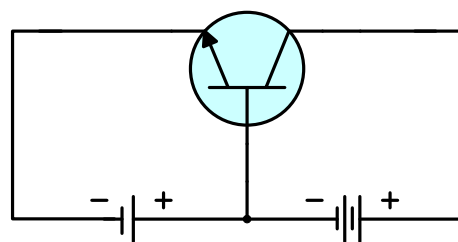
การที่ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ สิ่งที่สำคัญอยู่ที่การจ่ายแรงดันไบแอสให้ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ถูกต้องตามความต้องการของขาต่างๆบนตัวทรานซิสเตอร์แต่ละชนิด วิธีการจ่ายแรงดันที่ถูกต้องให้ทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแสได้ทำได้วิธีเดียว ทั้งทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีและทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นจะต้องจ่ายแรงดันไบแอสดังนี้

1.จ่ายแรงดันไบแอสตรงให้ขามิตเตอร์ (E) และขาเบส (B)เทียบกัน

2. จ่ายแรงดันไบแอสกลับให้ขาคอลเลกเตอร์ (C) เทียบกับขามิตเตอร์ (E) ขาใดขาหนึ่งการจ่ายแรงดันไบแอสที่ถูกต้องให้ทรานซิสเตอร์แต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 3.2

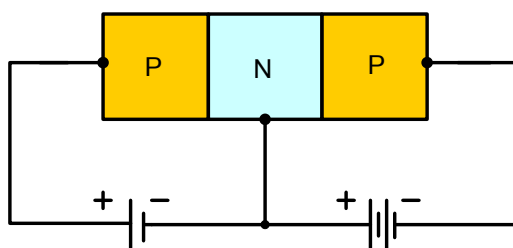


(ก) วงจรโครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

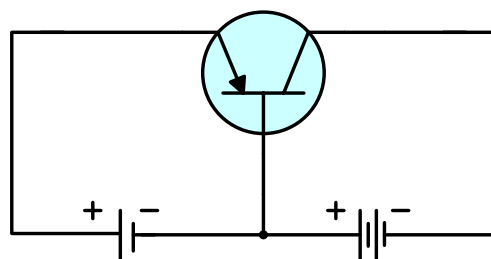


(ข) วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง



(ก) วงจรโครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



(ง) วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

รูปที่ 3.2 การไบแอสเบื้องต้นให้กับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ PNP

ทีมา (พันธ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์, 2548, หน้า 22)

จากรูปที่ 3.2(ก)และ(ง) แสดงการจ่ายแรงดันไบแอสแบบเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ NPN ซึ่งเป็นแสดงการจ่ายแรงดันไบแอสถูกต้องตามที่ NPN ทรานซิสเตอร์ต้องการ สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ คือ เมื่อจ่ายแรงดันไบแอสตรง V_{EB} ให้ขา E กับขา B และจ่ายแรงดันไบแอสกลับ V_{CB} ให้ขา C กับขา B อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา E ถูกผลักโดยประจุลบ V_{EB} และถูกดึงดูดโดยประจุบวก V_{EB} อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่จากสารชนิด N ขา E เข้ารวมตัวกับโฮลในสารชนิด P ขา B และเคลื่อนที่ไปรวมตัวกับโฮลตัวถัดไป ในเวลาเดียวกันนี้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา C ถูกดึงดูดโดยศักย์บวกของแหล่งจ่าย V_{CB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{EB} ถูกผลักโดยศักย์ลบของแหล่งจ่าย V_{EB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{CB} อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา C เกิดการเคลื่อนที่เข้าหาบวกแหล่งจ่าย V_{CB} และเลยไปแหล่งจ่าย V_{EB} วิ่งเข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา E ที่หลุดไปรวมตัวกับโฮลในสารชนิด P ขา B ส่วนอิเล็กตรอนอิสระที่วิ่งเข้าขา B ก็วิ่งเลยไปเข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา C ที่หลุดไปแหล่งจ่าย V_{CB} เนื่องจากสารชนิด P ที่ทำเป็นขาเบสแคบ อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและถูกผลักโดยศักย์ลบของแหล่งจ่าย V_{CB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{EB} ถูกดึงดูดโดยศักย์บวกที่แหล่งจ่าย V_{EB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{CB} อิเล็กตรอนอิสระ

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

จึงวิ่งผ่านดีพลีชันริจินตรงรอยต่อ PN ขา C และขา B ไปได้เกิดกระแสไหลผ่าน NPN ทรานซิสเตอร์ครบวงจร ทำให้ NPN ทรานซิสเตอร์ทำงานและนำกระแส

จากรูปที่ 3.2(ค)และ(ง) แสดงการจ่ายแรงดันไบแอสแบบเบื่องต้นให้ PNP ซึ่งเป็นแสดงการจ่ายแรงดันไบแอสถูกต้องให้ PNP ทรานซิสเตอร์ ทำให้ PNP ทรานซิสเตอร์ทำงาน เมื่อจ่ายแรงดันไบแอสตรง V_{EB} ให้ขา E กับขา B และจ่ายแรงดันไบแอสกลับ V_{CB} ให้ขา B อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา B ถูกผลักโดยประจุลบ V_{EB} และถูกดึงดูดโดยประจุบวก V_{EB} อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่จากสารชนิด N ขา B เข้ารวมตัวกับโฮลตัวถัดไป จนเคลื่อนที่หลุดออกจากขา E มาแหล่งจ่าย V_{EB} วิ่งเลยไปถึงจุดต่อขา B อิเล็กตรอนอิสระส่วนมากวิ่งไปยังแหล่งจ่าย V_{CB} และอิเล็กตรอนอิสระส่วนน้อยวิ่งเข้าขา B เพราะแหล่งจ่าย V_{CB} มีแรงดันสูง ทำให้อิเล็กตรอนอิสระส่วนมากวิ่งไปแหล่งจ่าย V_{CB} วิ่งเลยไปขา C เข้ารวมตัวกับโฮลในสารชนิด P และวิ่งไปหาโฮลตัวถัดไปเรื่อย ๆ เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว สารชนิด N ที่เป็นเบสแคบ ในเวลาเดียวกันถูกผลักโดยศักย์ลบของแหล่งจ่าย V_{CB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{EB} และถูกดูดโดยศักย์บวกของแหล่งจ่าย V_{EB} รวมกับแหล่งจ่าย V_{CB} อิเล็กตรอนอิสระจะวิ่งผ่านดีพลีชันริจินตรงรอยต่อ PN ขา C และขา B ไปได้ เข้าแทนที่อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ขา B ที่หลุดออกไป และวิ่งไปรวมตัวกับโฮลในสารชนิด P ขา E เกิดกระแสไหลผ่าน PNP ทรานซิสเตอร์ครบวงจร ทรานซิสเตอร์ทำงาน

กระแสไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์มี 3 ค่า คือ กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) เป็นกระแสรวมมีค่า 100% กระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) มีค่ากระแสประมาณ 95-98% และกระแสเบส (I_B) มีค่ากระแสประมาณ 2-5% กระแสทั้ง 3 ค่า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

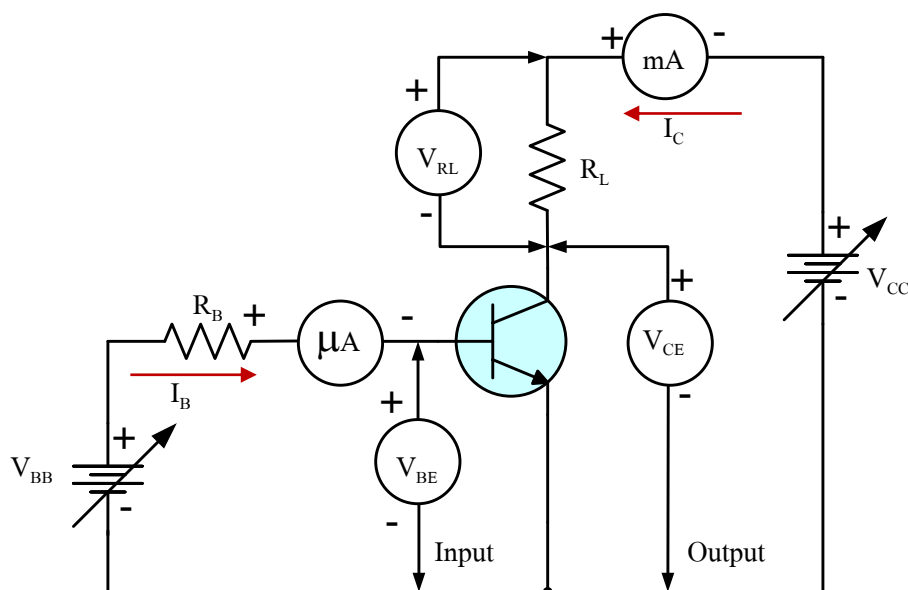
$$\text{หรือ } I_E = I_C + I_B \quad \dots (3-1)$$

$$I_C = I_E + I_B \quad \dots (3-2)$$

3.4 คุณลักษณะของทรานซิสเตอร์

เมื่อทำการไบอัสทรานซิสเตอร์ได้แล้ว เราก็สามารถที่จะนำมาต่อวงจรเพื่อหาคุณลักษณะได้ดังรูปที่ 3.3

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 วงจรการหาคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น

ที่มา(พุทธรักษ์ แสงกิ่ง,2558,หน้า128)

จากวงจรรูปที่ 3.3 จะต้องไบแอสทรานซิสเตอร์ครบทุกขั้ววงจรจึงจะทำงาน โดยถ้าปรับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} คงที่ ที่ค่า ๆ หนึ่งแล้วปรับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{BB} เพิ่มจากค่าศูนย์ขึ้นมา ค่ากระแสเบส (I_B) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม

ต่อมาหยุดทำการปรับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{BB} แต่ไปปรับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} เพิ่มขึ้น ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากหรือแทบจะไม่เพิ่มเลย ณ จุดที่เรียกว่า กระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) เกิดการอิ่มตัว (Saturate)

ครั้นต่อมาทำการปรับเพิ่มค่าแหล่งจ่ายแรงดัน V_{BB} จะทำให้กระแสเบส (I_B) เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ที่ได้คือ ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ I_C จะเพิ่มขึ้นตามกระแสเบส (I_B) และเมื่อหยุดปรับแหล่งจ่ายแรงดัน V_{BB} ไปทำการเพิ่มค่าแหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) ก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากและเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวอีกครั้งหนึ่ง

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

ข้อสังเกต ในขณะที่เพิ่มค่ากระแสเบส (I_B) แล้วทำให้ค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าแรงดันคอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ (V_{CE}) จะลดลง เมื่อกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) เพิ่มขึ้น ค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_L (V_{RL}) จะเพิ่มตามค่ากระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) และข้อสังเกตอีกประการหนึ่งก็คือ ค่าแรงดันเบส-อิมิตเตอร์ (V_{BE}) ขณะวงจรทรานซิสเตอร์นำกระแส จะมีค่าคงที่อยู่มากประมาณ $0.6\text{ V} - 0.7\text{ V}$ (เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อม P-N ขณะไบอัสตรงเหมือนไดโอด) จึงสรุปคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ได้ว่าค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) ขึ้นอยู่กับค่ากระแสเบส (I_B) โดยเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$I_C = \beta I_B \dots\dots\dots (3.3)$$

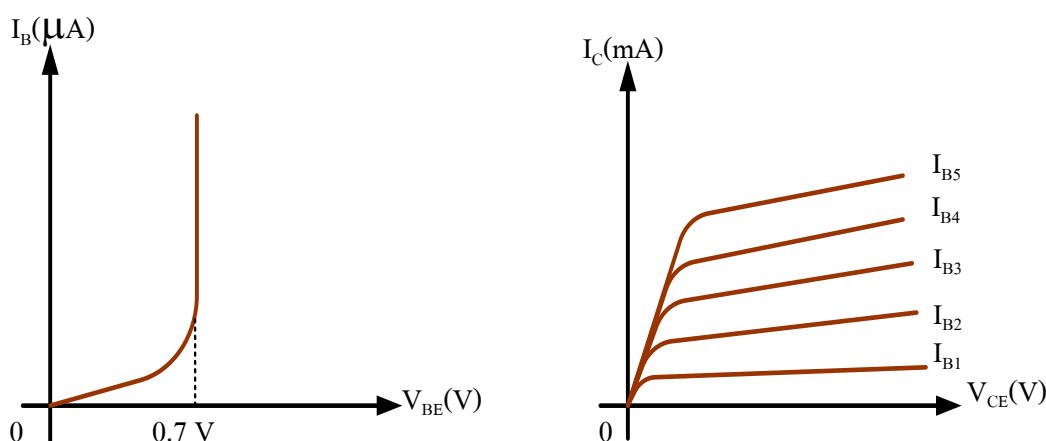
เมื่อ

β = อัตราขยายทางกระแสของทรานซิสเตอร์

I_C = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขาคอลเลกเตอร์

I_B = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขาเบส

จากรูปที่ 3.3 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นออกมาเป็นรูปกราฟดังรูปที่ 3.4



ก) ความสัมพันธ์อินพุตระหว่าง I_B และ V_{BE}

ข) ความสัมพันธ์เอาต์พุตระหว่าง I_C และ V_{CE}

รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของทรานซิสเตอร์ด้านอินพุตและเอาต์พุต

ที่มา(พุทธรักษ์ แสงกิ่ง, 2558, หน้า 129)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3.4 (ก) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ด้านอินพุตของทรานซิสเตอร์ระหว่างกระแสอินพุต I_B และแรงดันอินพุต V_{BE} เมื่อค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายด้านอินพุตเพิ่มขึ้น ค่าของกระแสอินพุต I_B ก็จะเพิ่มตาม เส้นกราฟในแนวแกนตั้งซึ่งเป็นแกนของกระแส I_B จะสูงขึ้นดังรูป แต่จะสังเกตเห็นว่าแรงดันตกคร่อมที่ขา B – E ซึ่งเรียกว่าค่าแรงดัน V_{BE} จะเริ่มเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนแทบคงที่ ซึ่งในการศึกษาจะมีค่าอยู่ประมาณ 0.7 V และไม่ว่าค่าของกระแสอินพุต I_B จะเพิ่มขึ้นอีกเท่าใดก็ตาม ค่าแรงดันอินพุต V_{BE} ก็จะถือว่ามีความคงที่อยู่ที่ 0.7 V

จากรูปที่ 3.4 (ข) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ระหว่างกระแสเอาต์พุต I_C และแรงดันเอาต์พุต V_{CE} ซึ่งก็จะสืบเนื่องมาจากกระแสอินพุต I_B นั่นคือเมื่อเราทำการเพิ่มกระแสอินพุต I_B จะเป็นผลทำให้กระแสเอาต์พุต I_C เพิ่มขึ้นถ้าทำการลดค่ากระแส I_B ก็ทำให้กระแสเอาต์พุต I_C ลดตาม ดังนั้นค่ากระแสเอาต์พุต I_C จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแส I_B นั้นเอง แต่ในขณะที่เดียวกันค่าแรงดันเอาต์พุต V_{CE} กลับมีค่าลดลง

ความสัมพันธ์ด้านเอาต์พุต คือ ด้านที่เราจะนำมาใช้งาน ซึ่งถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ อาจพิจารณาอาจพิจารณาความสัมพันธ์ที่ได้ออกเป็นย่านต่าง ๆ ดังนี้คือ

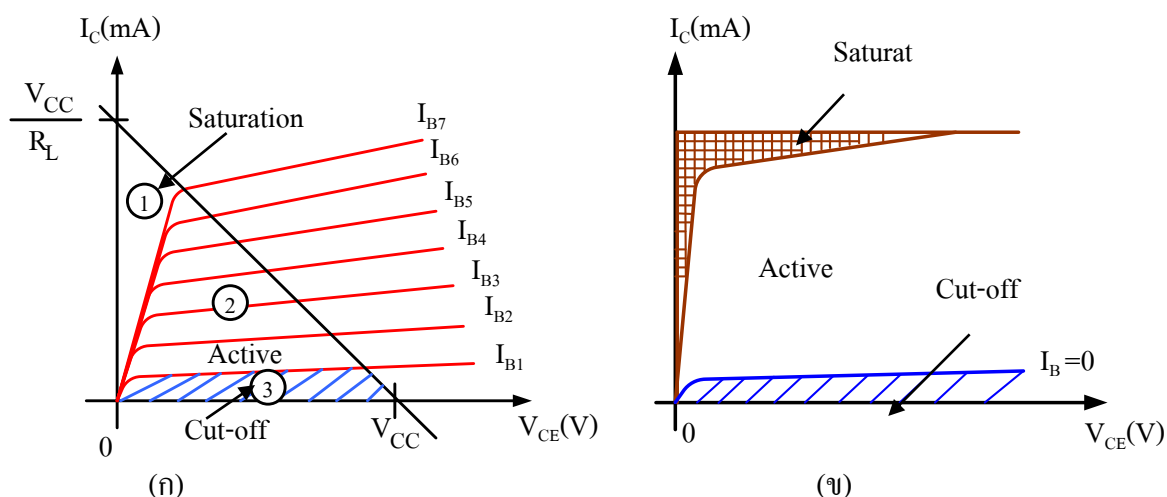
1. ย่านแอคทีฟ (Active region) เป็นย่านการทำงานของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) และค่าของแรงดัน V_{CE} ทำงานตามค่าของกระแสเบส (I_B) ที่ป้อนให้กับขาเบส (B) ถูกนำไปใช้ในวงจรขยายต่าง ๆ

2. ย่านอิ่มตัว (Saturation region) เป็นย่านที่กระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) อิ่มตัว

3. ย่านคัตออฟ (Cut – Off region) เป็นย่านที่ทรานซิสเตอร์ ไม่นำกระแสหรือค่ากระแสเบส (I_B) มีค่าเป็นศูนย์

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าย่านอิ่มตัว เป็นย่านที่ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้สูงที่สุด ส่วนย่านคัตออฟเป็นย่านที่ทรานซิสเตอร์ไม่นำกระแส ดังนั้น เราจึงนำย่านทั้งสองดังกล่าวมาใช้งานในวงจรการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ (Switching)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง



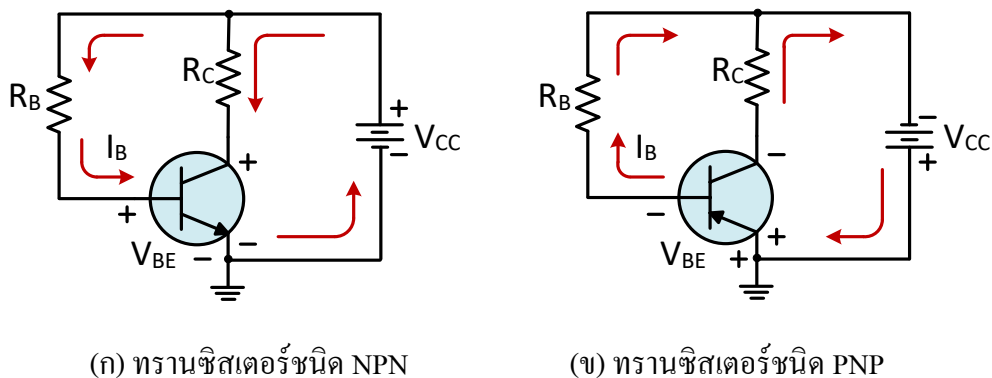
รูปที่ 3.5 ย่านที่ทำงานต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์

ที่มา((พุทธิรักษ์ แสงกิจ, 2558, หน้า 129)

3.5 การจัดวงจรไบแอสทรานซิสเตอร์

3.5.1 วงจรไบแอสคงที่ (Fixed Bias Circuit)

วงจรไบแอสคงที่ คือการจ่ายแรงดันไฟไบแอสให้กับขาเบส ของทรานซิสเตอร์คงที่ตลอดเวลา โดยใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายและจำกัดกระแสป้อนให้กับขาเบส ของทรานซิสเตอร์ตลอดเวลาวงจรไบแอสคงที่เบื้องต้น แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรไบแอสคงที่เบื้องต้น

ที่มา (พันธ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์, 2553, หน้า 76)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3.6 (ก) แสดงวงจรไบแอสคงที่เบื้องต้นของทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น ประกอบด้วย R_B เป็นตัวต้านทานค่าคงที่ทำหน้าที่จำกัดกระแส I_B ให้ไหลผ่านขาเบสมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน เกิดแรงดันไฟ V_{BE} ตกคร่อมระหว่างขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ เป็นแรงดันไฟไบแอสตรง คือที่ขาเบส ได้รับแรงดันไฟบวก และที่ขาอิมิตเตอร์ ได้รับแรงดันไฟลบ ส่วนขาคอลเลคเตอร์ได้รับแรงดันไฟไบแอสกลับจากแหล่งจ่าย V_{CC} ผ่าน R_C โดยขาคอลเลคเตอร์ ได้รับแรงดันไฟบวก ซึ่งขาอิมิตเตอร์ เป็นขาร่วม และรูปที่ 3.6 (ข) แสดงวงจรไบแอสคงที่ ทรานซิสเตอร์เป็นชนิดพีเอ็นพี ประกอบด้วย R_B เป็นตัวต้านทานค่าคงที่ทำหน้าที่จำกัดกระแส I_B ให้ไหลผ่านขาเบส มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานเกิดแรงดันไฟ V_{BE} ตกคร่อมระหว่างขาเบส กับขาอิมิตเตอร์ เป็นแรงดันไฟไบแอสตรงเช่นกัน คือที่ขาเบสได้รับแรงดันไฟลบ และที่ขาอิมิตเตอร์ได้รับแรงดันไฟบวก ส่วนขาคอลเลคเตอร์ ได้รับแรงดันไฟไบแอสกลับจากแหล่งจ่าย V_{CC} ผ่าน R_C โดยขาคอลเลคเตอร์ได้รับแรงดันไฟลบซึ่งขาอิมิตเตอร์เป็นขาร่วม

การทำงานของวงจร เมื่อจ่ายไฟให้กับวงจรจะมีกระแส I_B ไหล ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแส มีกระแส I_C ไหล ทรานซิสเตอร์เมื่อนำกระแสแล้ว จะเกิดความร้อนขึ้นในตัว มีผลทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขาคอลเลคเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ ของตัวทรานซิสเตอร์ ลดลงส่งผลให้กระแส I_C ไหลเพิ่มขึ้น ถ้ายังคงจ่ายแรงดัน V_{BE} ให้เท่าเดิม ทำให้กระแส I_B ไหลมากขึ้น ส่งผลให้กระแส I_C ยิ่งไหลมากขึ้นไปอีก ซึ่งหมายถึงการจ่ายไบแอสให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์มากเกินไปเพราะไบแอสที่ขาเบส เป็นแบบคงที่ เมื่อกระแส I_C ยิ่งไหลมากขึ้น ทรานซิสเตอร์ก็จะมีความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนทำให้ทรานซิสเตอร์ชำรุดเสียหาย ซึ่งวงจรไบแอสคงที่นี้มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

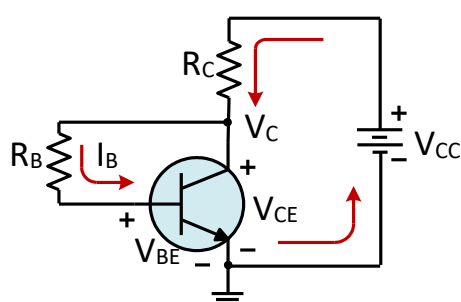
ข้อดีของวงจรไบแอสคงที่ คือใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น ประกอบวงจรง่าย

ข้อเสียของวงจรไบแอสคงที่ คือทำงานไม่คงที่ต่ออุณหภูมิ อัตราขยายของวงจรไม่คงที่นำไปใช้งานกับวงจรที่ทำงานต่อเนื่องนาน ๆ จะทำให้ชำรุดเสียหาย

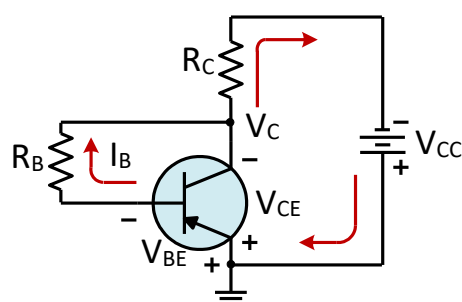
	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

3.5.2 วงจรไบแอสช่วย (Self Bias Circuit)

วงจรไบแอสช่วย เป็นการจัดวงจรไบแอสเพื่อแก้ไขข้อเสียของวงจรไบแอสคงที่ ที่ทำงานไม่คงที่ต่ออุณหภูมิเมื่อทำงานต่อเนื่อง ซึ่งวงจรไบแอสช่วยสามารถทำให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานคงที่ต่ออุณหภูมิเมื่อทำงานต่อเนื่องได้ ในการจัดวงจรทำการย้ายขาของ R_B ด้านที่ต่อกับ แหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} ไปต่อที่ขาคอลเลกเตอร์ ของทรานซิสเตอร์แทนส่วน R_B และขาที่ต่อกับ ขาเบส ของทรานซิสเตอร์ต่อคงเดิมไว้ การต่อวงจรไบแอสแบบนี้ แรงดันไฟไบแอสที่จ่ายให้ขาเบส สามารถเปลี่ยนค่าได้ตามค่าแรงดันตกคร่อมขาคอลเลกเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ ลักษณะวงจร ไบแอสช่วย แสดงดังรูปที่ 3.7



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 3.7 วงจรไบแอสช่วย

ทีมา (พันธ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์, 2553, หน้า 77)

จากรูปที่ 3.7 แสดงวงจรไบแอสช่วย ประกอบด้วย R_B เป็นตัวต้านทานค่าคงที่ทำหน้าที่ จำกัดกระแส I_B ให้ไหลผ่านขาเบส มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน ขาบนของ R_B ต่อรับ แรงดันไฟจากขาคอลเลกเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ ขาล่างของ R_B ต่อเข้าขาเบส เกิดแรงดันไฟ V_{BE} ตกคร่อมระหว่างขาเบส กับขาอิมิตเตอร์ เป็นแรงดันไฟไบแอสตรง คือที่ขาเบส ได้รับแรงดันไฟบวก

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

และที่ขาอิมิตเตอร์ ได้รับแรงดันไฟลบ ส่วนขาคอลเลคเตอร์ ได้รับแรงดันไฟไบแอสกลับจากแหล่งจ่าย V_{CC} ผ่าน R_C โดยคอลเลคเตอร์ ได้รับแรงดันไฟบวกและขาอิมิตเตอร์เป็นขาร่วม

การทำงานของวงจรไบแอสช่วยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อมีกระแส I_B ไหลจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานนำกระแส มีกระแส I_C ไหล ทรานซิสเตอร์เมื่อนำกระแสแล้วจะเกิดความร้อนขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขาคอลเลคเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ ของตัวทรานซิสเตอร์ลดลง ส่งผลให้กระแส I_C ไหลเพิ่มขึ้น เมื่อความต้านทานของทรานซิสเตอร์ลดลงแรงดันที่จุด V_C ก็ลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้แรงดันที่จ่ายให้ขาเบส ก็ลดลง ทำให้แรงดัน V_{BE} ลดลงตาม เมื่อ V_{BE} ลดลงกระแส I_B ก็ลดลงตาม V_{BE} ทรานซิสเตอร์ทำงานน้อยลง สถานะการจ่ายไบแอสที่ขาเบสไม่คงที่ สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามค่าแรงดัน V_C ที่ป้อนให้ ผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะช่วยในการปรับสถานะการทำงานของทรานซิสเตอร์ ให้คงที่ต่ออุณหภูมิมากขึ้น โดยวงจรไบแอสช่วยมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของวงจรไบแอสช่วย คือมีความคงที่ต่ออุณหภูมิดี สัญญาณที่ขยายออกเอาต์พุตมีความผิดเพี้ยนต่ำ

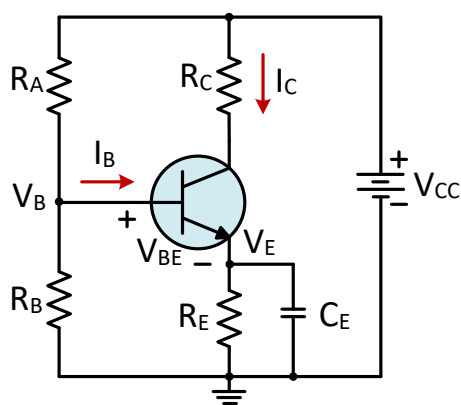
ข้อเสียของวงจรไบแอสช่วย คือมีอัตราขยายสัญญาณต่ำ เพราะสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุต สัญญาณบางส่วนถูกป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) ป้อนสัญญาณกลับมาเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

4.3 วงจรไบแอสกระแสป้อนกลับ (Current Feedback Bias Circuit)

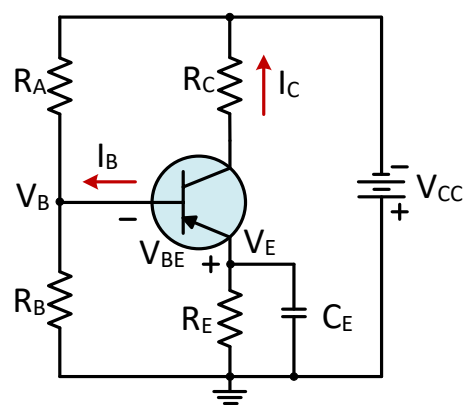
ไบแอสกระแสป้อนกลับ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่ง คือวงจรไบแอสปรับช่วยให้คงที่ (Stabilize Bias) ซึ่งทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานคงที่ต่ออุณหภูมิเช่นเดียวกับวงจรไบแอสช่วย แต่วงจรไบแอสกระแสป้อนกลับมีข้อดีกว่า คือสามารถให้อัตราการขยายสัญญาณสูงกว่า การจัดวงจรจ่ายแรงดันไฟไบแอสให้ขาเบส ของทรานซิสเตอร์ จะกำหนดแรงดันโดยวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งจะจ่ายแรงดันออกมาคงที่ตลอดเวลา การควบคุมแรงดันไบแอส V_{BE} ให้ทรานซิสเตอร์คงที่

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

โดยใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ต่อให้กับขาอิมิตเตอร์ ช่วยในการปรับค่าแรงดัน V_{BE} ให้คงที่ และควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ทำงานคงที่ต่ออุณหภูมิตลอดเวลา ตัวต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ เรียกว่า ตัวต้านทานปรับช่วยให้คงที่ (Stabilize Resistor) ลักษณะวงจรไบแอสกระแสสลับย้อนกลับ แสดงดังรูปที่ 3.8



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 3.8 วงจรไบแอสกระแสสลับย้อนกลับ

ทีมา (พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, 2553, หน้า 78)

จากรูปที่ 3.8 แสดงวงจรไบแอสกระแสสลับย้อนกลับ ประกอบด้วยตัวต้านทาน R_A และ R_B เป็นวงจรแบ่งแรงดันป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ โดย R_A ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลผ่านในวงจรแบ่งแรงดันเพื่อกำหนดแรงดันตกคร่อม R_B มากหรือน้อย ส่วนตัวต้านทาน R_B เป็นตัวจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้ขาเบส ของทรานซิสเตอร์จะได้แรงดันตกคร่อมขาเบส คือ V_B และตัวต้านทาน R_E เป็นตัวต้านทานปรับช่วยควบคุมแรงดัน V_{BE} ที่จ่ายให้ขาเบส กับขาอิมิตเตอร์ให้คงที่ ส่วนตัวเก็บประจุ C_E ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกจ่ายออกมาที่ขาอิมิตเตอร์ลงกราวด์ เพื่อให้ค่าแรงดัน V_E ที่ขาอิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์มีเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้นและขาคอลเลกเตอร์ ได้รับแรงดันไบแอสกลับจากแหล่งจ่าย V_{CC} จ่ายผ่าน R_C มาเข้าขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

การทำงานของวงจรไบแอสกระแสป้อนกลับมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อจ่ายไฟ V_{CC} ให้กับวงจร กระแสไหลผ่าน R_A และ R_B มีแรงดัน V_{BE} จ่ายให้วงจร ทำให้กระแส I_B ไหลส่งผลให้กระแส I_C ไหลตามไปด้วย ค่าความต้านทานระหว่างขาคอลเลกเตอร์ กับขามิตเตอร์ลดลง ทำให้ทรานซิสเตอร์เกิดความร้อนขึ้น กระแส I_C จะไหลเพิ่มมากขึ้น มีกระแสไหลผ่าน R_E มากขึ้น เกิดศักย์ตกคร่อม R_E มากขึ้น คือ V_E มีศักย์สูงขึ้น เช่น ทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีมีศักย์บวกมากขึ้น ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นมีศักย์ลบมากขึ้น ส่วนที่ขาเบส มีแรงดัน V_B คงที่เพราะ R_A และ R_B ถูกจัดไบแอสเป็นแบบไบแอสคงที่ ทำให้ V_B และ V_E จะหักล้างกันเหลือเป็นแรงดัน V_{BE} ซึ่งแรงดัน V_{BE} จะลดลงทำให้กระแส I_B ไหลลดลงตามไปด้วย ทรานซิสเตอร์ทำงานน้อยลง กระแส I_C ไหลน้อยลงทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเข้าสู่ภาวะปกติ ซึ่งวงจรไบแอสกระแสป้อนกลับมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของวงจรไบแอสกระแสป้อนกลับ คือ มีความคงที่ต่ออุณหภูมิดีมาก ตัวต้านทาน R_E ที่เพิ่มเข้ามาในวงจรช่วยควบคุมให้กระแส I_C ไหลคงที่ ถึงแม้ว่าความต้านทาน R_A และ R_B จะเปลี่ยนแปลงค่าไปก็ตาม หรือมีค่าคลาดเคลื่อนไปบ้าง และวงจรมีอัตราขยายสูง

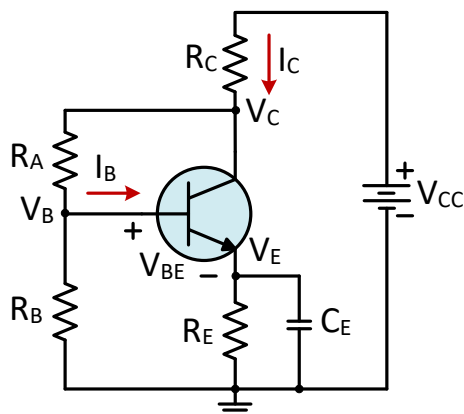
ข้อเสียของวงจรไบแอสกระแสป้อนกลับ คือ ใช้ส่วนประกอบในการต่อวงจรมาก

3.5.4 วงจรไบแอสแบบผสม (Mixed Bias Circuit)

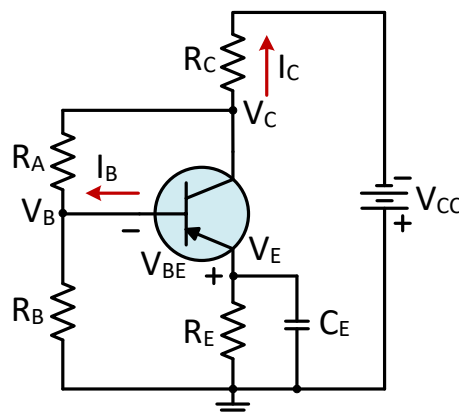
วงจรไบแอสผสม เป็นการจัดแรงดันไบแอสให้ขาเบส ของทรานซิสเตอร์แบบผสม ระหว่างวงจรไบแอสช่วยกับวงจรไบแอสกระแสป้อนกลับ ทำให้การทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์แบบนี้มีความคงที่ต่ออุณหภูมิมากที่สุด ลักษณะวงจรไบแอสแบบผสม แสดงดังรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.9 แสดงวงจรไบแอสแบบผสม ประกอบด้วยตัวต้านทาน R_A และ R_B เป็นวงจรแบ่งแรงดันป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ โดย R_A ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลผ่านในวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อกำหนดแรงดันตกคร่อม R_B มากหรือน้อย ส่วนตัวต้านทาน R_E เป็นตัวจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์ จะได้แรงดันตกคร่อมขาเบส คือ V_B ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสที่ไหลผ่าน R_A ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่ตกคร่อมขาคอลเลกเตอร์ หรือ V_C ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจัดวงจรเป็นวงจรไบแอสช่วย ตัวต้านทาน R_E เป็นตัวต้านทานปรับเสถียรภาพ

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



(ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 3.9 วงจรไบแอสแบบผสม

ทิมา (พันธศักดิ์ พุดมามิตพงศ์, 2553, หน้า 79)

ของวงจร ช่วยควบคุมแรงดัน V_{BE} ที่จ่ายให้ขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ให้คงที่ ส่วนตัวเก็บประจุ C ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกจ่ายออกมาที่ขาอิมิตเตอร์ทิ้งลงกราวด์ เพื่อให้ค่าแรงดัน V_E ที่ขาอิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์มีเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น และขาคอลเลกเตอร์ ได้รับแรงดันไบแอสกลับจากแหล่งจ่าย V_{CC} จ่ายผ่าน R_C มาเข้าขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์

การทำงานของวงจรไบแอสแบบผสมมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อจ่ายไฟ V_{CC} ให้กับวงจร และมีแรงดัน V_{BE} จ่ายให้วงจรทำให้กระแส I_B ไหล ส่งผลให้กระแส I_C ไหลตามไปด้วย ค่าความต้านทานระหว่างขาคอลเลกเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ ลดลงทรานซิสเตอร์เกิดความร้อนขึ้น กระแส I_C จะไหลเพิ่มมากขึ้น มีกระแสไหลผ่าน R_E มากขึ้น เกิดศักย์ตกคร่อม R_E มากขึ้น คือ V_E มีศักย์สูงขึ้นเมื่อค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อขาคอลเลกเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ลดลง ส่งผลให้แรงดัน V_C ลดลงด้วย ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นคือ V_C ลดลง V_E เพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงดัน V_{BE} เกิดการควบคุมให้มีศักย์เปลี่ยนแปลงค่า V_C ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดัน V_{BE} เปลี่ยนค่าลดลง แรงดันไบแอส

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

ที่จ่ายให้ขาเบส ของทรานซิสเตอร์ลดลง กระแส I_B ไหลลดลง ควบคุมให้กระแส I_C ไหลลดลงตามไปด้วย ทรานซิสเตอร์ทำงานเข้าสู่ภาวะปกติ วงจรไบแอสแบบผสมมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของวงจรไบแอสแบบผสม คือ วงจรทำงานมีความคงที่ต่ออุณหภูมิสูงที่สุด และมีความผิดเพี้ยนในการขยายสัญญาณต่ำ

ข้อเสียของวงจรไบแอสแบบผสม คือ มีอัตราขยายของสัญญาณต่ำ เพราะมีการป้อนกลับแบบลบของสัญญาณเอาต์พุตไปเข้าอินพุต และใช้ส่วนประกอบในการต่อวงจรมาก

3.6 การอ่านคู่มือทรานซิสเตอร์และการแปลความหมายของคุณลักษณะทางไฟฟ้า

3.6.1 เบอร์ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ที่ผลิตออกมาใช้งานมีหลายบริษัท หลายยี่ห้อ การกำหนดเบอร์จากบริษัทผู้ผลิตแต่ละบริษัทต้องมีมาตรฐานเดียวกัน เบอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานบ่อยๆมีดังนี้

1.ประเภทใช้งานทั่วไป (General Purpose) ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในงานทั่วไป ได้แก่

- 2SA Series ชนิด PNP ใช้งานในย่านความถี่สูง เช่น 2SA 1015
- 2SB Series ชนิด PNP ใช้งานในย่านความถี่ต่ำ เช่น 2SB 772
- 2SC Series ชนิด NPN ใช้งานในย่านความถี่สูง เช่น 2SC 1815 และ

2SC2774

- 2SD Series ชนิด NPN ใช้งานในย่านความถี่ต่ำ เช่น 2SD 400 และ

2SD1496

- 2N Series เช่น 2N3904 และ 2N3055
- BC Series เช่น BC337 และ BC458
- BD Series เช่น BD136 BD139 และ BD140

2. ประเภททรานซิสเตอร์กำลัง (Power Transistor)

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานโดยทั่วไปมีด้วยกันหลายเบอร์ ที่นิยมใช้งานบ่อยในวงจรขยายกำลัง คือ ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2N3055 ชนิด NPN และ MJ2955 ชนิด PNP ซึ่งทั้งสองเบอร์ต่างชนิดกันแต่มีคุณสมบัติเหมือนกัน

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 3.10 แสดงทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3055 และ MJ2955

ที่มา (<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/2N3055-D.PDF>)

จากรูปที่ 3.10 ทรานซิสเตอร์ทั้งสองเบอร์มีรูปร่างและตัวถังแบบเดียวกันคือ Case 1-07 TO-204AA(TO-3) เป็นซิลิคอนทรานซิสเตอร์ใช้ในวงจรขยายกำลัง ทนกระแสคอลเลกเตอร์สูงสุด 15 แอมป์ แรงดันระหว่างขาคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์สูงสุด 60 โวลต์ กำลังงานสูญเสียเท่ากับ 115 วัตต์

ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดสูงสุดของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3055 และ MJ2955 MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector - Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector - Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter - Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	7	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^{\circ}C$	P_D	115	Watts
Derate Above $25^{\circ}C$		0.657	W/ $^{\circ}C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	- 65 to +200	$^{\circ}C$

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

จากตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่างๆแสดงค่าพิกัดสูงสุด(Maximum Rating) ดังนี้

V_{CEO} คือค่าแรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์ – อิมิตเตอร์สูงสุด เมื่อเบสเปิดวงจรเท่ากับ 60 V

V_{CER} คือแรงดันไบแอสกลับระหว่างคอลเล็กเตอร์ – อิมิตเตอร์สูงสุดเมื่อเบสเปิดวงจรเท่ากับ 70 V

V_{CB} คือแรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์ – เบสสูงสุด เมื่ออิมิตเตอร์เปิดวงจรเท่ากับ 100 V

V_{EB} คือแรงดันระหว่างอิมิตเตอร์ – เบสสูงสุด เมื่อคอลเล็กเตอร์เปิดวงจรเท่ากับ 7 V

I_C คือ กระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุดเท่ากับ 15 A

I_B คือกระแสเบสสูงสุดเท่ากับ 7 A

P_D คือ กำลังงานสูญเสียเท่ากับ 115 Watt

T_J, T_{stg} คือ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่รอยต่อขณะการใช้งาน เท่ากับ -65 ถึง 200 องศาเซลเซียส

3.7 การนำทรานซิสเตอร์ไปประยุกต์ใช้งาน

ทรานซิสเตอร์นำไปใช้งานโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะคือ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดวงจร และเป็นตัวขยายสัญญาณ(Amplifier) โดยมีหลักการทำงานเบื้องต้นดังนี้

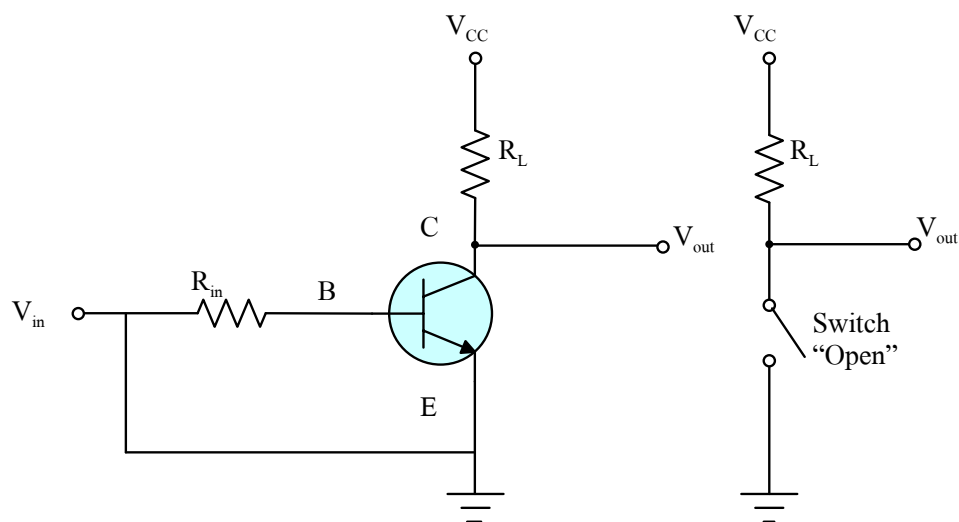
3.7.1 ทรานซิสเตอร์สวิตช์

การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ จะถูกออกแบบให้ทำงานในย่านอิ่มตัวและย่านคัตออฟ การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ในย่านคัตออฟ แสดงดังรูปที่ 3.11

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าทรานซิสเตอร์สวิตช์จะทำงานในย่านคัตออฟได้นั้นคือ

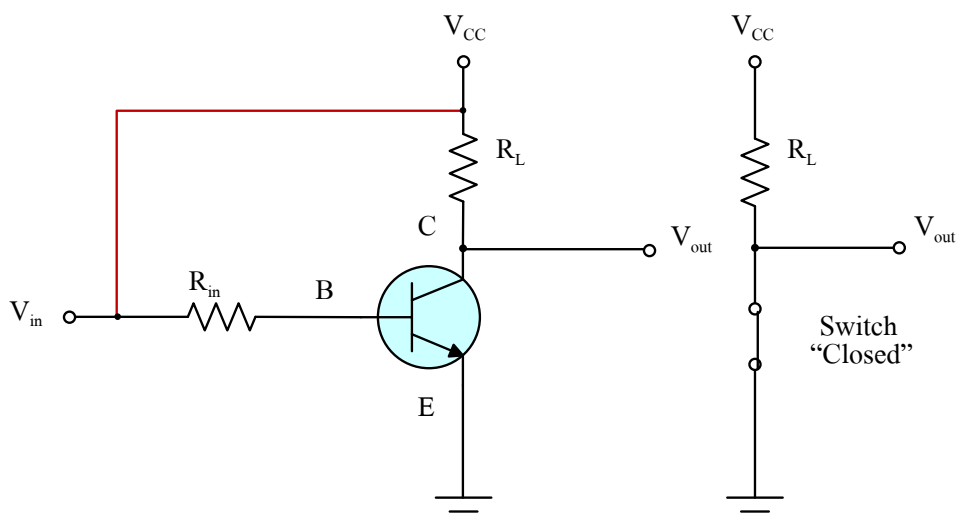
1. ไม่มีสัญญาณด้านอินพุตหรืออินพุตเป็นศูนย์
2. แรงดันที่จ่ายระหว่างรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ $V_{BE} < 0.7$ V หรือได้รับไบแอสกลับ
3. รอยต่อเบส-คอลเล็กเตอร์ได้รับไบแอสกลับ
4. ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit)
5. กระแสคอลเล็กเตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 แสดงทรานซิสเตอร์สวิตช์ในย่านคัตออฟ

ที่มา(วีระศักดิ์ สุวรรณเพชร, 2557, หน้า 120)



รูปที่ 3.12 แสดงทรานซิสเตอร์สวิตช์ในย่านอิ่มตัว

ที่มา(วีระศักดิ์ สุวรรณเพชร, 2557, หน้า 121)

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าทรานซิสเตอร์สวิตช์จะทำงานในย่านอิ่มตัวได้นั้นคือ

1. แรงดันที่จ่ายระหว่างรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ $V_{BE} > 0.7 \text{ V}$ หรือได้รับไบแอสตรง

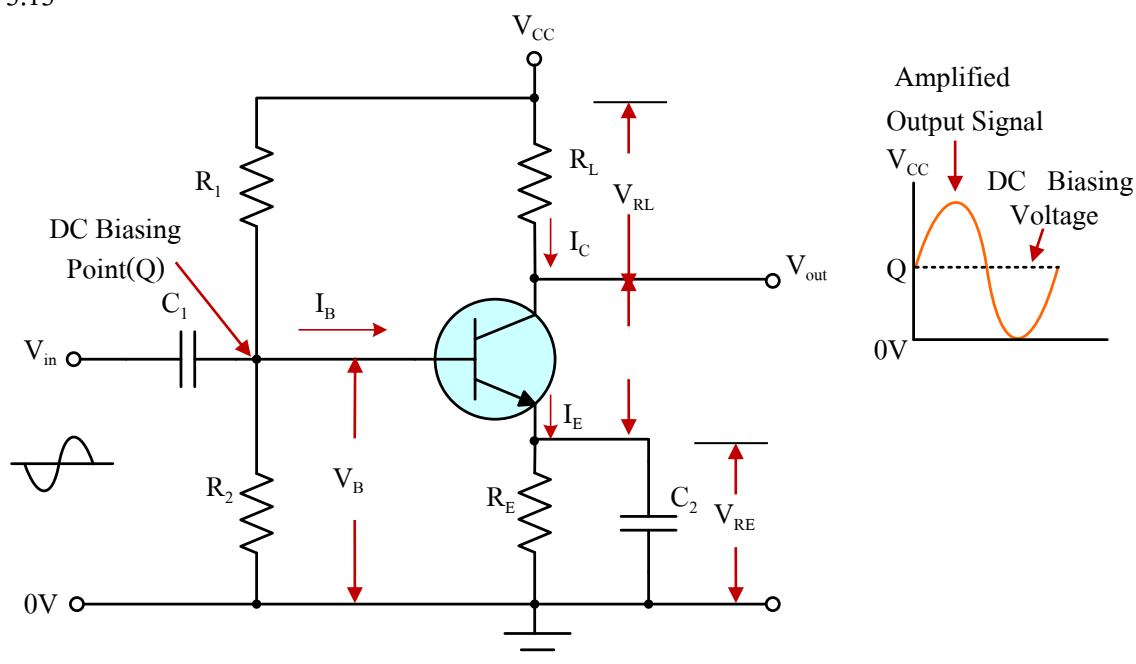
	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

2. รอยต่อเบส-คอลเลกเตอร์ได้รับไบแอสตรง
3. ทรานซิสเตอร์ทำงานเต็มที่เป็นสวิตช์ปิดวงจร (Close Circuit)
4. กระแสคอลเลกเตอร์มีค่าสูงสุด $I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$
5. แรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์

3.7.2 ทรานซิสเตอร์สำหรับวงจรขยายสัญญาณ

การใช้ทรานซิสเตอร์สำหรับวงจรขยายสัญญาณมีลักษณะการต่อวงจรดังรูปที่

3.13



รูปที่ 3.13 ทรานซิสเตอร์สำหรับวงจรขยายสัญญาณ

ที่มา(วีระศักดิ์ สุวรรณเพชร, 2557, หน้า 122)

จากรูปที่ 3.13 การนำทรานซิสเตอร์ไปขยายสัญญาณ จะต้องจัดไบแอสให้เหมาะสม และเลือกจุดทำงานต้องอยู่ในย่านแอคทีฟ (Active Region) เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณตามที่ต้องการ

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

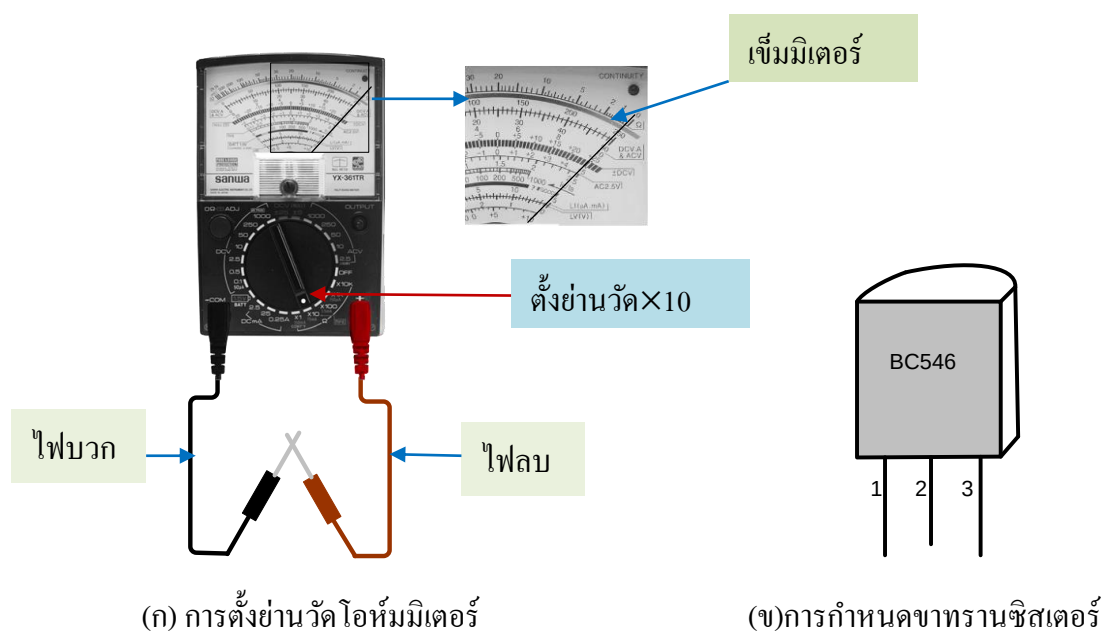
3.8 การวัดและทดสอบทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์

ทรานซิสเตอร์จากโครงสร้างภายนอกจะแบ่งออกได้ 2 แบบคือ แบบตัวถังที่เป็นอีพ็อกซีสีดำ และแบบตัวถังที่เป็นโลหะ ในการวัดหาขาเบส (B) จะใช้หลักการแบบเดียวกัน ในการวัดหรือตรวจสอบ ทรานซิสเตอร์ในที่นี้ใช้มัลติมิเตอร์แบบอะนาล็อก ยี่ห้อ SANWA รุ่น YX-361TR ซึ่งในย่านวัดโอห์มมิเตอร์จะจ่ายแรงดันออกมาจากมิเตอร์ ดังนั้นคือขั้วบวก(+) สายสีแดงจะจ่ายแรงดันไฟลบ ส่วนขั้วลบ(-)สายสีดำจะจ่ายแรงดันไฟบวกออกมาโดยมีขั้นตอนดังนี้ (ในที่นี้ใช้ ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC546)

3.8.1 การวัดหาขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์

ลำดับขั้นตอนที่ 1 ตั้งย่านวัดโอห์มปรับไปที่ย่าน $\times 10$ นำปลายสายของมิเตอร์แตะกัน แล้วปรับปุ่ม 0Ω ADJ. ให้เข็มบ่ายเบนชี้ที่ศูนย์โอห์ม (0Ω)

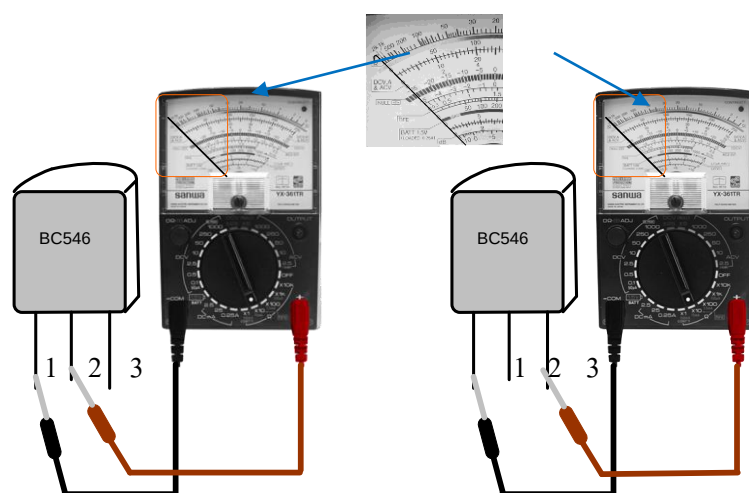
ลำดับขั้นตอนที่ 2 นำทรานซิสเตอร์มาเพื่อวัดหาขาและชนิด โดยกำหนดขา ทรานซิสเตอร์เบื้องต้นให้เป็นขาที่ 1 ขาที่ 2 และขาที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการตั้งย่านวัดโอห์มมิเตอร์และกำหนดขาทรานซิสเตอร์

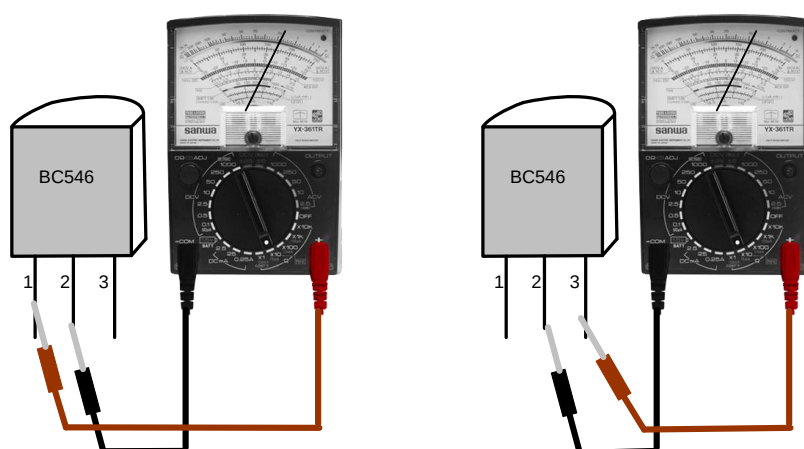
	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

ลำดับขั้นตอนที่ 3 ใช้ขา 1 เป็นขาหลักนำสายมิเตอร์สีดำ(ไฟบวก)วัดที่ขา 1 และนำสายมิเตอร์สีแดง(ไฟลบ)วัดที่ขา 2 และขา 3 ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการวัดหาเบสโดยใช้ขา 1 เป็นขาหลัก(ไฟบวก)

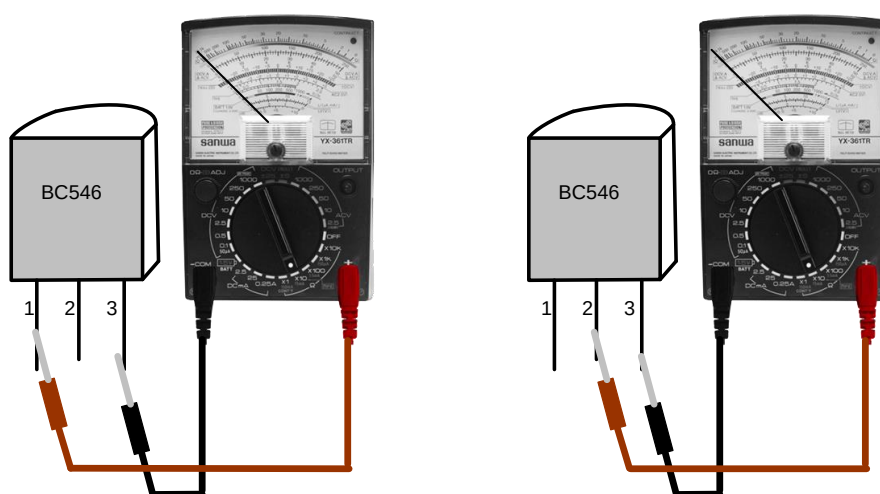
ลำดับขั้นตอน 4. เปลี่ยนเป็นใช้ขา 2 เป็นขาหลักนำสายสีดำ(ไฟบวก)ไปวัดที่ขา 2 แล้วนำสายสีแดง(ไฟลบ)วัดที่ขา 1 และขา 3 ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการวัดหาเบสโดยใช้ขา 2 เป็นขาหลัก(ไฟบวก)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

ลำดับขั้นตอน 5. เปลี่ยนเป็นใช้ขา 3 เป็นขาหลักนำสายสีดำ(ไฟบวก)ไปวัดที่ขา 3 แล้วนำสายสีแดง(ไฟลบ)วัดที่ขา 1 และขา 2 ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงการวัดหาขาเบสโดยใช้ขา 3 เป็นขาหลัก(ไฟบวก)

จากการวัดจะเห็นว่าเมื่อเราใช้ขา 2 เป็นขาหลักนำสายสีดำซึ่งเป็นไฟบวกไปวัด แล้วนำสายสีแดงซึ่งเป็นไฟลบไปวัดที่ขา 1 และขา 2 เข็มของมิเตอร์ชี้ไปยังเบสมีค่าเท่ากับประมาณ 50-70 โอห์ม แสดงว่าขาเบสคือขา 2 และเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) ส่วนขา 1 และขา 3 ยังไม่ทราบว่าขาใดเป็นขาคอลเลกเตอร์ และขาอิมิตเตอร์

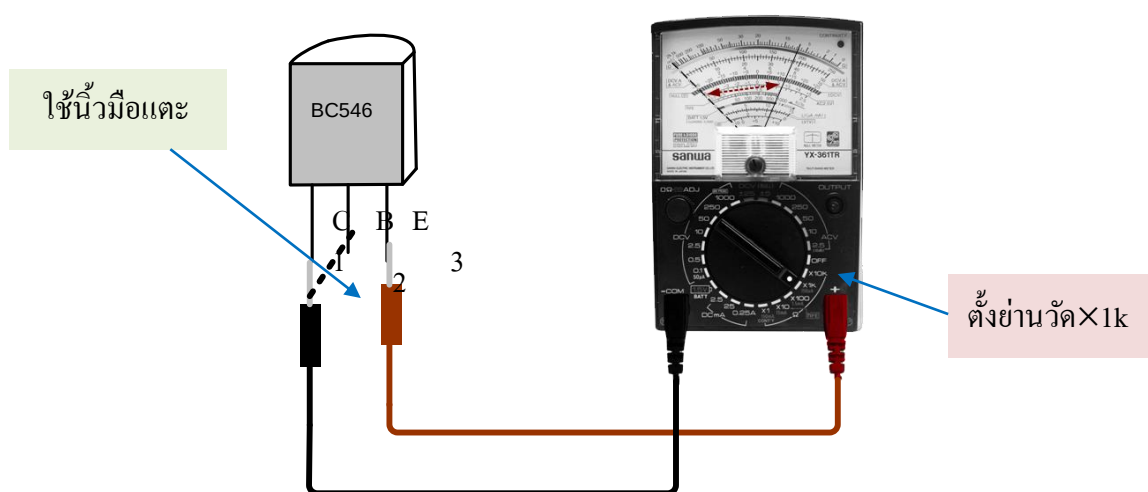
ในกรณีที่ทรานซิสเตอร์เป็นชนิดพีเอ็นพี(PNP) การหาขาเบส(B) ให้ใช้สายสีแดง(ไฟลบ)วัดที่ขาใดขาหนึ่งเป็นหลักและใช้สายสีดำ(ไฟบวก) วัดเทียบกับสองขาที่เหลือ โดยทำการวัดตามลักษณะแบบเดียวกันการวัดทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN) ตามลำดับขั้นตอนที่ 2-5 จะพบว่าเข็มของมิเตอร์ชี้ไปยังเบสขึ้นมาสองครั้งค่าเท่ากับแสดงว่าขาที่สายสีแดง (ไฟลบ) วัดอยู่คือขาเบสและเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพี (PNP)

3.8.2 การวัดหาขาคอลเลกเตอร์และขาอิมิตเตอร์ในกรณีที่ตัวถังเป็นอีพ็อกซี(พลาสติกสีดำ)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

ลำดับขั้นตอนที่ 1 ตั้งย่านวัดของโอห์มมิเตอร์ไว้ที่ $\times 10\text{ k}$ ทำการปรับศูนย์โอห์ม (Zero Ohm) โดยนำปลายสายทั้งสองข้างมาแตะกัน ปรับปุ่ม ADJ ให้เข็มบ่ายเบนไปที่ตำแหน่งศูนย์โอห์ม

ลำดับที่ 2 นำสายสีดำที่เคยจับขาเบส มาจับขาที่ 1 ส่วนสายสีแดงแตะขาที่ 3 สังเกตว่าเข็มของโอห์มมิเตอร์จะไม่ดีขึ้นจากนั้นนำมือที่จับสายสีดำมาแตะระหว่างขาที่ 1 กับขาที่ 2 โดยไม่ให้ขาของทรานซิสเตอร์ช็อตกันแต่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านนิ้วมือซึ่งเป็นเสมือนตัวต้านทานไปไบแอสที่ขาเบสแทน แสดงดังรูปที่ 3.18 จะสังเกตว่าเข็มของโอห์มมิเตอร์จะดีขึ้นตามแรงนิ้วกดเกือบสุดสเกล แสดงว่า ขาที่ 1 เป็นขาคอลเลกเตอร์ ส่วนขาที่ 3 เป็นขาอิมิตเตอร์ เพราะทรานซิสเตอร์จะทำงานได้นั้น ระหว่าง ขาเบสกับขาอิมิตเตอร์ได้รับแรงดันไบแอสตรง ส่วนขาคอลเลกเตอร์ กับขาอิมิตเตอร์ ได้รับแรงดันไบแอสกลับ หรืออาจสรุปได้ว่า ขาเบส กับขาคอลเลกเตอร์ ใช้ไฟขั้วเหมือนกัน

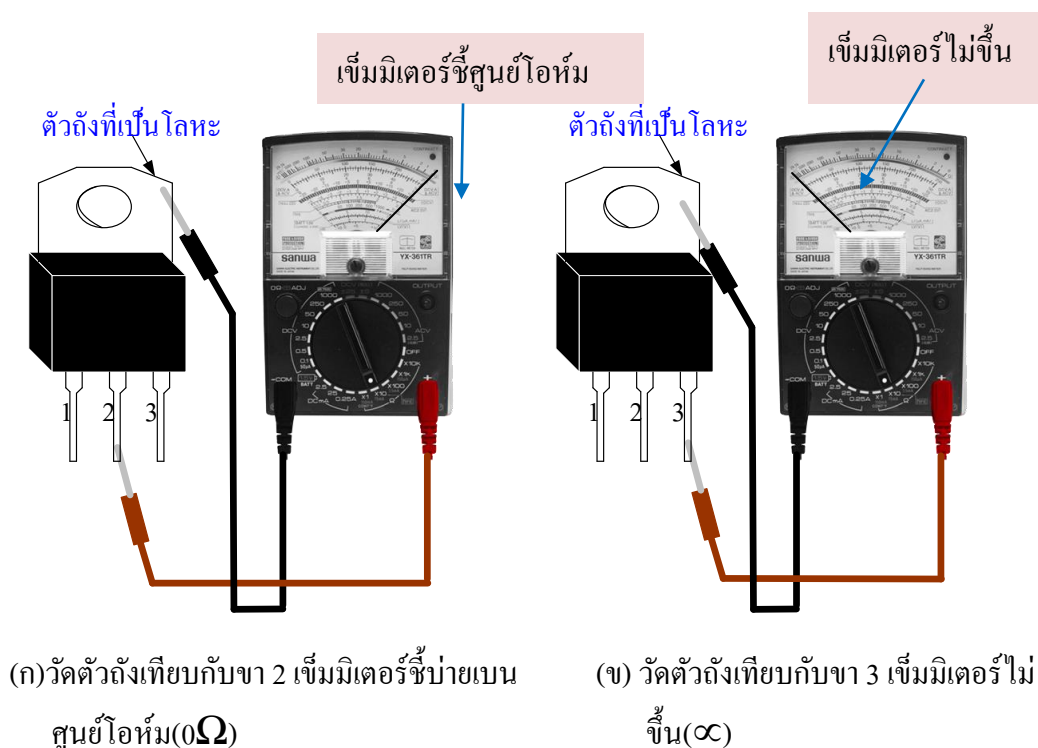


(ข) การวัดเพื่อหาขา C และขา E

รูปที่ 3.18 แสดงการวัดเพื่อหาขา C และ
ที่มา (ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2553, หน้า 52)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

3.8.3 การวัดหาคอลเลกเตอร์และขาอิมิตเตอร์ในกรณีที่ตัวถังเป็นโลหะ(ในที่นี้ใช้ ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1061) เมื่อทำการวัดหาขาเบส(B)ได้แล้วคือขา 1 ให้ทำการวัดหา 2 กับขา 3 เพื่อหา ขาคอลเลกเตอร์ (C) และขาอิมิตเตอร์ (E) ที่เหลือ โดยใช้ย่านวัดเดิมคือ $\times 10$ ทำการวัด โดยนำปลายสายของโอห์มมิเตอร์มีเตอร์ข้างใดข้างหนึ่งวัดที่ตัวถังส่วนที่เป็นโลหะ แล้วนำปลายสายอีกข้างที่เหลือไปวัดกับขาของทรานซิสเตอร์ที่เหลือทั้งสองขาคือขา 2 กับขา 3 ดังรูปที่



รูปที่ 3.19 แสดงการวัดหาคอลเลกเตอร์โดยวัดเทียบกับตัวถังที่เป็นโลหะ

จากรูปที่ 3.19 (ก) เมื่อเราใช้โอห์มมิเตอร์วัดตัวถังเทียบกับขา 2 ของทรานซิสเตอร์ เข็มของมิเตอร์ชี้ซ้ายเบนที่ศูนย์โอห์ม แสดงว่าตัวถังกับขา 2 ต่อถึงกัน ดังนั้นขา 2 คือขาคอลเลกเตอร์ (C) ส่วนขา 3 คือขาอิมิตเตอร์ เพราะทรานซิสเตอร์ที่ตัวถังเป็นโลหะ ขาคอลเลกเตอร์จะต่อถึงตัวถัง สรุปได้ว่า ขา 1 ขาเบส ขา 2 ขาคอลเลกเตอร์ และขา 3 ขาอิมิตเตอร์

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005	สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์	
เรื่อง ทรานซิสเตอร์		เวลา 4 ชั่วโมง

3.8.4 การวัดตรวจสอบทรานซิสเตอร์ดีหรือเสีย

ในการวัดตรวจสอบทรานซิสเตอร์ดีหรือเสียนั้นใช้ย่านวัดโอห์มมิเตอร์ $\times 1$ หรือ $\times 10$ ทำการวัดในลักษณะไบแอสตรงและไบแอสกลับตามชนิดของทรานซิสเตอร์โดยวัดเป็นคู่คือ เบส-อิมิตเตอร์ (B-E) เบส-คอลเลกเตอร์ (B-C) และคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ (C-E) วัดคู่ละสองครั้ง โดยการสลับสายของมิเตอร์ ทรานซิสเตอร์ดีคู่เบส-อิมิตเตอร์ (B-E) เบส-คอลเลกเตอร์ (B-C) ของเข็มของมิเตอร์จะวัดขึ้นครั้งหนึ่งไม่ขึ้นครั้งหนึ่ง ถ้าเข็มมิเตอร์ขึ้นทั้งสองครั้งแสดงว่าทรานซิสเตอร์เสียในลักษณะลัดวงจร ถ้าเข็มมิเตอร์ไม่ขึ้นทั้งสองครั้งแสดงว่าเสียในลักษณะขาด ในส่วนของคู่คอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ (C-E) ถ้าวัดแล้วเข็มมิเตอร์ไม่ขึ้นแสดงว่าดี ถ้าเข็มมิเตอร์ขึ้นแสดงว่าเสียในลักษณะลัดวงจร

บรรณานุกรม

ทีมงานสมาร์เทิร์นนิ่ง. **ตรวจวัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยมิเตอร์ SUNWA**. กรุงเทพมหานคร :
ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์เทิร์นนิ่ง, 2553.

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. **ทฤษฎีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร 1**. กรุงเทพมหานคร :
สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, ม.ป.ป.

_____. **วงจรอิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ,
2545.

_____. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์
ส่งเสริมวิชาการ, 2542.

พุทธรักษ์ แสงกิ่ง. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2558.

วีระศักดิ์ สุวรรณเพชร. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์บริษัท
ศูนย์หนังสือเมืองไทย, 2557.

อดุลย์ กัลยาแก้ว. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร(อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์)**. กรุงเทพมหานคร :
ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2546.

อิทธิพล วรรณวงศ์. **อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค
จำกัด, 2552.

<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/2N3055-D.PDF>, เข้าถึง 25 มีนาคม 2559

แบบฝึกหัดหน่วยที่ 3 เรื่องทรานซิสเตอร์

คำชี้แจง 1. แบบฝึกหัดเป็นแบบถูกหรือผิดจำนวน 15 ข้อๆละ 1 คะแนน คะแนนเต็ม 15 คะแนน
2. เวลาที่ใช้ในการทำแบบฝึกหัด 15 นาที

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายถูก(✓) ลงในวงเล็บหน้าข้อที่ถูกและทำเครื่องหมายผิด(×) ลงในวงเล็บหน้าข้อที่ผิด

- () 1. ทรานซิสเตอร์มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ตอนมี 3 ขาคือ ขาเบส ขาคอลเล็กเตอร์ และขาอิมิตเตอร์
- () 2. ทรานซิสเตอร์มี 2 ชนิดคือ NPN กับ PNP
- () 3. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ขาอิมิตเตอร์จะมีหัวลูกศรชี้เข้า
- () 4. การจ่ายไบแอสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ตัวจ่ายไบแอสตรงให้ขา E-B และจ่ายไบแอสกลับให้ขา C-B
- () 5. กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวทรานซิสเตอร์ใช้กระแสเบสเป็นกระแสควบคุมการทำงาน
- () 6. วิธีการจัดวงจรจ่ายไบแอสให้ตัวทรานซิสเตอร์ทำงานแบ่งออกได้ 4 แบบ
- () 7. การไบแอสแบบคงที่ คือการจัดแรงดันไบแอสให้ขาเบส(B) ของทรานซิสเตอร์คงที่ตลอดเวลา
- () 8. การจัดวงจรไบแอสแบบคงที่มีข้อดีคือใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น
- () 9. วงจรไบแอสแบบป้อนกลับจะทำงานมีความคงที่ต่ออุณหภูมิมีค่ามากให้อัตราขยายสัญญาณสูง
- () 10. วงจรไบแอสตัวเอง เป็นการจัดแรงดันไบแอสเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของวงจรไบแอสคงที่
- () 11. วงจรไบแอสตัวเองมีข้อเสียคือ มีอัตราขยายสัญญาณสูงเกินไป
- () 12. วงจรไบแอสผสมเป็นวงจรจัดแรงดันไบแอสที่ดีที่สุด
- () 13. ในข้อมูลรายละเอียดของตัวทรานซิสเตอร์ บริษัทผู้ผลิตจะข้อดีข้อเสียของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์
- () 14. ในข้อมูลรายละเอียดของตัวทรานซิสเตอร์ บริษัทผู้ผลิตจะไม่บอกรูปร่างและตำแหน่งขาของทรานซิสเตอร์
- () 15. ในการวัดหาขาทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์จะต้องวัดหาขาเบส(B) ก่อนเสมอ

เฉลยแบบฝึกหัดหน่วยที่3 เรื่องทรานซิสเตอร์

- คำชี้แจง** 1. แบบฝึกหัดเป็นแบบถูกหรือผิดจำนวน 15 ข้อๆละ 1 คะแนน คะแนนเต็ม 15 คะแนน
2. เวลาที่ใช้ในการทำแบบฝึกหัด 15 นาที
- คำสั่ง** จงทำเครื่องหมายถูก(✓) ลงในวงเล็บหน้าข้อที่ถูกและทำเครื่องหมายผิด(×) ลงในวงเล็บหน้าข้อที่ผิด
- (✓) 1. ทรานซิสเตอร์มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ3ตอนมี3ขา คือ ขาเบส ขาคอลเล็กเตอร์ และขาอิมิตเตอร์
 - (×) 2. ทรานซิสเตอร์มี 2 ชนิดคือ NPN กับ PNP
 - (×) 3. ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ที่ขาอิมิตเตอร์จะมีหัวลูกศรชี้เข้า
 - (✓) 4. การจ่ายไบแอสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ตัวจ่ายไบแอสตรงให้ขา E-B และจ่ายไบแอสกลับให้ขา C-B
 - (✓) 5. กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวทรานซิสเตอร์ใช้กระแสเบสเป็นกระแสควบคุมการทำงาน
 - (✓) 6. วิธีการจัดวงจรจ่ายไบแอสให้ตัวทรานซิสเตอร์ทำงานแบ่งออกได้ 4 แบบ
 - (✓) 7. การไบแอสแบบคงที่ คือการจัดแรงดันไบแอสให้ขาเบส(B) ของทรานซิสเตอร์คงที่ตลอดเวลา
 - (✓) 8. การจัดวงจรไบแอสแบบคงที่มีข้อดีคือใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น
 - (✓) 9. วงจรไบแอสแบบป้อนกลับจะทำงานมีความคงที่ต่ออุณหภูมิดีมากให้อัตราขยายสัญญาณสูง
 - (✓) 10. วงจรไบแอสตัวเอง เป็นการจัดแรงดันไบแอสเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของวงจรไบแอสคงที่
 - (×) 11. วงจรไบแอสตัวเองมีข้อเสียคือ มีอัตราขยายสัญญาณสูงเกินไป
 - (✓) 12. วงจรไบแอสผสมเป็นวงจรจัดแรงดันไบแอสที่ดีที่สุด
 - (×) 13. ในข้อมูลรายละเอียดของตัวทรานซิสเตอร์ บริษัทผู้ผลิตจะข้อดีข้อเสียของทรานซิสเตอร์แต่ละเบอร์
 - (×) 14. ในข้อมูลรายละเอียดของตัวทรานซิสเตอร์ บริษัทผู้ผลิตจะไม่บอกรูปร่างและตำแหน่งขาของทรานซิสเตอร์
 - (✓) 15. ในการวัดหาขาทรานซิสเตอร์ด้วยโอห์มมิเตอร์จะต้องวัดหาขาเบส(B)ก่อนเสมอ

แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 3 เรื่องทรานซิสเตอร์

วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร

รหัสวิชา 2105 – 2005

ข้อสอบจำนวน 15 ข้อ (15 คะแนน)

เวลา 15 นาที

คำสั่ง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียวโดยทำเครื่องหมาย (X) ลงในกระดาษคำตอบ

1. ไบโพลาร์จังก์ชันของทรานซิสเตอร์ (BJT) มีกี่ชนิด

ก. 2 ชนิด

ข. 5 ชนิด

ค. 4 ชนิด

ง. 3 ชนิด

2. โครงสร้างของทรานซิสเตอร์คือข้อใด

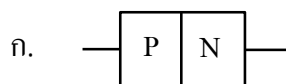
ก. โครงสร้างมี 2 ตอน 1 รอยต่อมี 2 ขา

ข. โครงสร้างมี 4 ตอน 3 รอยต่อมี 3 ขา

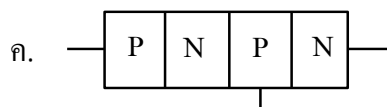
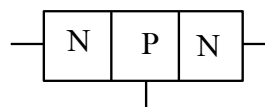
ค. โครงสร้างมี 4 ตอน 3 รอยต่อ มี 2 ขา

ง. โครงสร้างมี 3 ตอน 2 รอยต่อมี 3 ขา

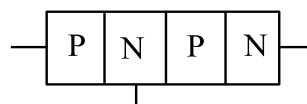
3. ข้อใดคือโครงสร้างของทรานซิสเตอร์



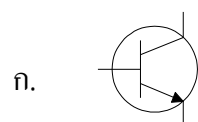
ข.



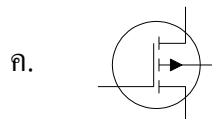
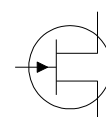
ง.



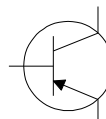
4. ข้อใดคือสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



ข.



ง.



5. ค่า β_{dc} ของทรานซิสเตอร์หมายถึงข้อใด

ก. แรงดันที่ขาเบส

ข. อัตราขยายแรงดัน

ค. อัตราขยายกระแส

ง. อัตราขยายกำลัง

6. การไบอัสเบื้องต้นให้ทรานซิสเตอร์ข้อใดถูกต้อง

ก. ไบอัสกลับให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบส และไบอัสตรงรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

ข. ไบอัสตรงให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบสและรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

ค. ไบอัสตรงให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบส และไบอัสกลับรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

ง. ไบอัสกลับให้รอยต่ออิมิตอร์กับเบสและรอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบส

7. ข้อใดคือลักษณะการจัดวงจรไบอัสคงที่

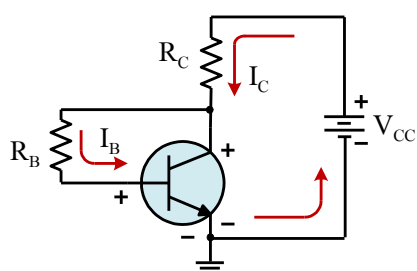
ก. ใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ที่รองรับแรงดันจากขาคอลเล็กเตอร์หาหนึ่งอีกขาหนึ่งต่อไปจ่ายให้ขาเบส

ข. ใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ที่รองรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรงป้อนให้ขาเบส

ค. ใช้ตัวต้านทานสองตัวต่อแบบแบ่งแรงดันควบคุมแรงดันขาเบส

ง. การจัดแรงดันไบอัสให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์เป็นแบบผสม

8. จากรูปเป็นการจัดวงจรไบอัสแบบใด



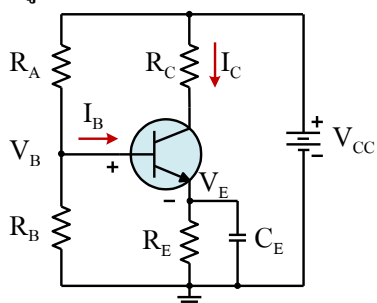
ก. วงจรไบอัสตัวเอง

ข. วงจรไบอัสคงที่

ค. วงจรไบอัสกระแสย้อนกลับ

ง. วงจรไบอัสแบบผสม

9. จากรูปเป็นการจัดวงจรไบอัสแบบใด



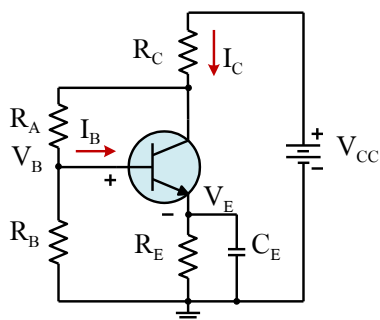
ก. วงจรไบอัสคงที่

ข. วงจรไบอัสตัวเอง

ค. วงจรไบอัสแบบผสม

ง. วงจรไบอัสกระแสย้อนกลับ

10. จากรูปเป็นการจัดวงจรไบอัสแบบใด



ก. วงจรไบอัสแบบผสม

ข. วงจรไบอัสตัวเอง

ค. วงจรไบอัสกระแสย้อนกลับ

ง. วงจรไบอัสคงที่

11. วงจรไบอัสแบบใดนิยมใช้งานมากที่สุด

ก. ไบอัสแบบย้อนกลับ

ข. ไบอัสตัวเอง

ค. ไบอัสคงที่

ง. ไบอัสผสม

12. ค่า V_{CEO} ที่ระบุในคู่มือทรานซิสเตอร์หมายถึงของใด
- แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับเบสเมื่ออิมิตเตอร์ปิดวงจร
 - แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์กับอิมิตเตอร์เมื่อเบสเปิดวงจร
 - แรงดันระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสเมื่อสวิตช์เปิดวงจร
 - แรงดันระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสเมื่อสวิตช์ปิดวงจร
13. จากกราฟคุณลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานเป็นสวิตช์จะใช้ย่านใด
- ย่านอิ่มตัวและย่านคัตออฟ
 - ย่านแอกทีฟ
 - ย่านเบรกดาวน์
 - ย่านคัตออฟ
14. จากกราฟคุณลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ เมื่อนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานเป็นวงจรขยายสัญญาณจะใช้ย่านใด
- ย่านเบรกดาวน์
 - ย่านอิ่มตัวและย่านคัตออฟ
 - ย่านแอกทีฟ
 - ย่านคัตออฟ
15. ในการตรวจสอบทรานซิสเตอร์ถ้าวัดค่า $B-E$ และค่า $B-C$ สลับสายวัดและวัดขึ้นทั้งสองครั้งสรุปได้ว่าอย่างไร
- ทรานซิสเตอร์ชำรุดในลักษณะค่า $B-E$ และ $B-C$ ช็อต
 - ทรานซิสเตอร์ชำรุดในลักษณะค่า $B-E$ และ $B-C$ ขาด
 - ทรานซิสเตอร์ปกติดี
 - ทรานซิสเตอร์ชำรุดในลักษณะค่า $B-E$ ช็อต และ $B-C$ ขาด

	เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน		หน่วยที่ 3
	วิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร รหัสวิชา 2105-2005		สอนครั้งที่ 4-5
	ชื่อหน่วย ทรานซิสเตอร์		
เรื่อง ทรานซิสเตอร์			เวลา 4 ชั่วโมง

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน			
ข้อที่	คำตอบ	ข้อที่	คำตอบ
1	ง	9	ง
2	ง	10	ก
3	ข	11	ง
4	ก	12	ข
5	ค	13	ก
6	ค	14	ค
7	ข	15	ก
8	ก		

แบบเก็บคะแนนทดสอบก่อนเรียน และทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 3 เรื่อง ทรานซิสเตอร์

ลำดับ	ชื่อ – สกุล	ผลคะแนน	
		Pre-Test	Post-Test
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			